



Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta životního prostředí

Terénní průzkum obsahu cesia 137 v pastevních biotopech havarijní zóny JETE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Vedoucí práce: doc. RNDr. Emilie Pecharová, CSc.

Bakalant: Bohuslav Flachs

2021

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta životního prostředí

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Bohuslav Flachs

Krajinářství
Územní technická a správní služba

Název práce

Terénní průzkum obsahu cesia 137 v pastevních biotopech havarijní zóny JETE

Název anglicky

Field survey of cesium 137 content in pasture habitats of the Temelín NPP emergency zone.

Cíle práce

Cílem je odebrat reálné vzorky půdy pod pastvinami a biomasy pro stanovení transferových koeficientů přestupu z půdy do rostlin pro budoucí projekty SÚRO v oblasti radioekologie.

Výsledky budou srovnány s daty poskytnutými SURO (z období po havarii Černobylu) a aktuálními daty, získanými průzkumem výzkumného týmu FŽP ČZU.

Metodika

Z každého typu biotopu budou odebrány 3 směsné vzorky (rýčem). Celkem bude k měření $3 \times 3(4) = 9$ (max. 12) vzorků půd z jednoho typu biotopu.

Odběry půdy se provádějí zpravidla z plochy 20 x 20 cm do hloubky 20 cm homogenně, odběry biomasy se budou provádět v době sklizně – před sečí.

Množství odebrané půdy je dáno rozměrem odběru, množství biomasy možnostmi na konkrétním poli („kolik dovolí majitel“), nejvhodnější je takové množství, aby výsledný vzorek měl objem 3000 ml. Biomasa bude sušena při 60 °C nebo na slunci.

U biomasy bude stanovována hmotnost:

o Celková hmotnost odebraného nativního vzorku

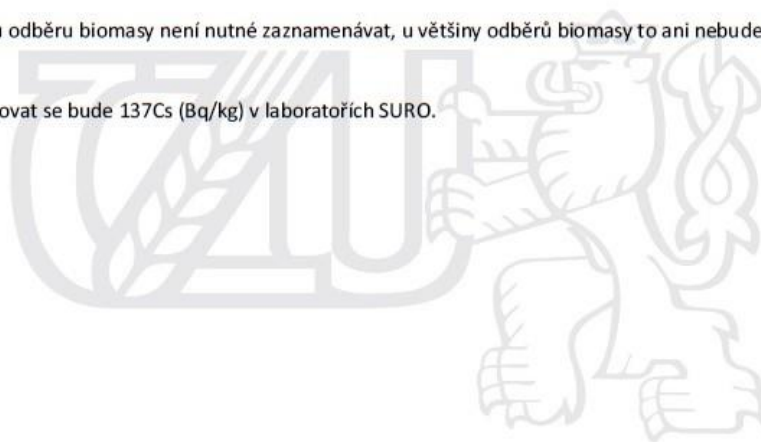
o Celková hmotnost vysušeného vzorku

- Při odběrech bude zaznamenána GPS a odběr zakreslen do katastrální mapy (fotografie ze všech odběrů není nutné pořizovat, stačí několik ilustračních s popisem)

- Majiteli pole bude v případě potřeby zajištěna anonymita, v případě publikace (zpráva, práce, článek) bude odběr z jeho pole dán do souvislosti s černobylským spadem, nebude uveřejněna přesná poloha pole

- Plochu odběru biomasy není nutné zaznamenávat, u většiny odběrů biomasy to ani nebude možné.

- Stanovovat se bude ^{137}Cs (Bq/kg) v laboratořích SURO.



Doporučený rozsah práce

35 stran + přílohy

Klíčová slova

cesium, radioaktivita, dávkový přísun

Doporučené zdroje informací

1. Databáze SÚRO – Kontaminace půdy ČR 137Cs ČR po havárii JE Černobyl (v excelu) (poskytnutá SURO)
2. Rulík, P., Helebrant, J.: Mapa kontaminace půdy České republiky 137Cs po havárii JE Černobyl. Zpráva SÚRO č. 22 / 2011 Státní ústav radiační ochrany, v.v.i. 2011 3. Zpráva o Radiační situaci na území ČSSR po havárii JE Černobyl, Institut hygieny a epidemiologie, Centrum hygieny záření, Praha 10, Šrobárova 48, 1987

Předběžný termín obhajoby

2020/21 LS – FŽP

Vedoucí práce

doc. RNDr. Emilie Pecharová, CSc.

Garantující pracoviště

Katedra aplikované ekologie

Elektronicky schváleno dne 13. 3. 2020

prof. Ing. Jan Vymazal, CSc.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 15. 3. 2020

prof. RNDr. Vladimír Bejček, CSc.

Děkan

V Praze dne 24. 03. 2021

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma Terénní průzkum obsahu cesia 137 v pastevních biotopech havarijní zóny JETE vypracoval samostatně a citoval jsem všechny informační zdroje, které jsem v práci použil a které jsem rovněž uvedl na konci práce v seznamu použitých informačních zdrojů.

Jsem si vědom, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, především ustanovení § 35 odst. 3 tohoto zákona, tj. o užití tohoto díla.

Jsem si vědom, že odevzdáním bakalářské/závěrečné práce souhlasím s jejím zveřejněním podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a to i bez ohledu na výsledek její obhajoby.

Svým podpisem rovněž prohlašuji, že elektronická verze práce je totožná s verzí tištěnou a že s údaji uvedenými v práci bylo nakládáno v souvislosti s GDPR.

V Příbrami dne 31. března 2021

.....

Poděkování

Tímto děkuji všem, kteří se podíleli na zpracování mé bakalářské práce. Největší poděkování patří paní doc. RNDr. Emilii Pecharové, CSc. Za odborné vedení práce, cenné rady a odborný dohled. Také děkuji Státnímu ústavu radiační ochrany za rozbor a analýzu poskytnutých vzorků. V poslední řadě patří poděkování i obcím Knín, Těšínov u Protivína a Nákří za poskytnutí možnosti odběru vzorků na jejich pozemcích.

V Příbrami dne 31. března 2021

.....

Abstrakt

V bakalářské práci jsem se zabýval terénním průzkumem obsahu ^{137}Cs v pastevních biotopech havarijní zóny Jaderné elektrárny Temelín. Literární řešerši jsem zaměřil na samotný radionuklid ^{137}Cs . V této části jsem pojednával detailně o prvku, jeho zdrojích a v poslední řadě jsem hovořil o obsahu ^{137}Cs v půdě. V rámci praktické části jsem se věnoval odběru a zpracování vzorků půdy a biomasy, které byly uskutečněny ve vybraných lokalitách Knín, Těšínov u Protivína a Nákří. Následně jsem v této části práce interpretoval dosažené výsledky analýzy, které byly poskytnuty Státním ústavem radiační ochrany, konkrétně oddělením spektrometrie. Poté byly provedeny a zaznamenány výpočty transferových koeficientů. Hodnoty hmotnostní aktivity ^{137}Cs u odebraných půdních vzorků se pohybovaly v rozhraní od 0,31 do 31 Bq/kg suš., dle odběrového místa a druhu půdní vrstvy. Hmotnostní aktivita odebraných vzorků biomasy činila od 0,26 do 1,2 Bq/kg suš. Transferový koeficient dosahoval hodnot v rozmezí od 0,022 do 0,250. Hodnoty získané měřením jsem následně porovnal s hodnotami naměřenými v roce 1986 v rámci celostátního průzkumu a také s výsledky studentů, kteří zpracovávali závěrečnou práci se stejnou tematikou v odlišných lokalitách.

Klíčová slova

transferový koeficient, biomasa, cesium, pastevní biotopy

Abstract

In my bachelor's thesis I dealt with field research of ^{137}Cs content in grazing habitats of the emergency zone of the Temelín Nuclear Power Plant. I focused my literature search on the radionuclide ^{137}Cs itself. In this part, I discussed in detail the element, its sources, and last but not least, I talked about the content of ^{137}Cs in the soil. In the practical part, I focused on the collection and processing of soil and biomass samples, which were carried out in selected localities Knín, Těšínov u Protivína and Nákří. Subsequently, in this part of the work I interpreted the achieved results of the analysis, which were provided by the State Institute of Radiation Protection, specifically the Department of Spektrometry. Calculations of transfer coefficients were performed and recorded. The values of ^{137}Cs mass activity in the taken soil samples ranged from 0,31 to 31 Bq/kg depending on the sampling point and the type of soil layer. The mass activity of the biomass samples taken was from 0,26 to 1,2 Bq/kg, and the transfer coefficient ranged from 0,022 to 0,250. Then I compared the values obtained by measurement with the values measured in 1986 as part of a nationwide survey and also with the results of students who were working on a thesis on the same topic in different localities.

Keywords

transfer coefficient, biomass, cesium, grazing habitats

Obsah

1. Úvod.....	10
2. Cíle	12
3. Literární rešerše.....	13
3.1 Cesium-137	13
3.2 Testy jaderných zbraní	15
3.3 Havárie jaderné elektrárny Černobyl.....	16
3.3.1 Průběh havárie	16
3.3.2 Následky havárie.....	18
3.3.3 Následky havárie na území ČSSR	21
3.4 Obsah ^{137}Cs v půdě.....	22
4. Metodika	25
4.1 Příprava k odběru vzorků	25
4.2 Určení vhodných lokalit	25
4.3 Popis odběrových lokalit.....	25
4.3.1 Lokalita Knín	25
4.3.2 Lokalita Těšínov u Protivína.....	26
4.3.3 Lokalita Nákří.....	27
4.4 Plán vzorkování půdy	28
4.5 Odběr půdních vzorků	29
4.6 Úprava půdních vzorků	30
4.7 Protokolární záznam o odběru vzorku biomasy	31
4.8 Odběr vzorků biomasy	32
4.9 Úprava vzorků biomasy.....	32
4.10 Odeslání vzorků biomasy a půdy	33
5. Výsledky měření	35
5.1 Výsledky měření ^{137}Cs v půdě.....	35
5.2 Výsledky měření ^{137}Cs v biomase	37
5.3 Stanovení Transferového koeficientu.....	39
6. Diskuze.....	41
6.1 Komparace plošné aktivity ^{137}Cs v půdě.....	41
6.2 Komparace hmotnostní aktivity ^{137}Cs v půdě	43
6.3 Komparace hmotnostní aktivity ^{137}Cs v biomase.....	50
7. Závěr	55

8.	Seznam použité literatury a zdrojů.....	56
8.1	Literatura	56
8.2	Internetové zdroje.....	58
9.	Seznam obrázků	59
10.	Seznam zkratk.....	61
11.	Přílohy	62

1. Úvod

Životní prostředí je vše, co vytváří přirozené podmínky existence všech organismů a tvoří předpoklad jejich dalšího vývoje. Člověk, ať už negativně či pozitivně, abnormálně životní prostředí ovlivňuje. S vývojem vědy a techniky se člověk podílel spíše negativně a jednotlivé složky životního prostředí byly stále více znečišťovány. V minulosti se příroda považovala za rovnovážnou a disponovala stabilizační schopností. Byla tedy schopna, pomocí přirozeně probíhajících fyzikálních, chemických a biologických procesů, udržet přírodu ve stabilitě (Odum, 1953). Dnes je narušení životního prostředí stále blíže nevratnému narušení a musíme se potýkat s globálními problémy, které jsme z části způsobili humanizací přírody my, jako společnost (Šmajš, 1990).

Jedním z těchto problémů je i radioaktivita. Ta je přirozenou vlastností některých izotopů prvků a tvoří tak přirozenou součást životního prostředí. Přirozená radioaktivita ale tvoří velmi malou část z celkového zastoupení. Vlivem činností člověka se do životního prostředí dostaly i radionuklidy, které dříve svým výskytem nebyly známy (Břížďala, 2021). Radioaktivitou se rozumí jev, při kterém dochází k vnitřní přeměně nebo rozpadu atomových jader. Tento jev je zpravidla doprovázen uvolňováním ionizujícího záření, které je definováno dostatečnou energií k ionizaci atomů a molekul, a především působením na životní prostředí a lidský organismus. Zdroje ionizačního záření jsou i přírodní, ale závažnějším zdrojem jsou právě zdroje umělé způsobené lidskou činností. Mezi ně patří především zdroje z atmosférických výbuchů jaderných zbraní a havárie. V České republice (ČR) především výbuch jaderné elektrárny Černobyl.

Z dlouhodobého hlediska je mezi nejvýznamnější radionuklidy řazen radionuklid cesium 137, zapisován chemickým označením ^{137}Cs . V posledních letech bylo uskutečněno mnoho projektů o šíření radionuklidů, jejichž předmětem bylo podrobné zkoumání znečištěného životního prostředí umělými radionuklidy a vlivů na fungování ekosystému a organismů. Nejvíce absorbují radioaktivní cesium rostliny a také houby. Tento radionuklid se dostává do potravního řetězce a dále do samotného organismu více způsoby, přičemž mezi ty hlavní patří zejména pastva zvěře a lov lovné zvěře. Ukládání a přenos ^{137}Cs se vlivem jedinečnému ekosystému situuje ve velké míře také v prostředí lesních porostů. Vrchní část půdy je tvořena organickou vrstvou a spodní část minerální vrstvou, což je důvodem pro rychlou fixaci ^{137}Cs v těchto podmínkách.

K pochopení vlivu radionuklidů na životní prostředí a zdraví organismů je nezbytné kontinuální získávání informací o jejich vývoji v čase. Způsobem, jak informací dosáhnout je studium této problematiky, kterým se zabývá tato bakalářská práce.

Teoretická část práce je věnována původu ^{137}Cs v životním prostředí. Praktická část práce je zaměřena detailně na radionuklid ^{137}Cs a jeho výskyt v místě havarijní zóny jaderné elektrárny Temelín. Jsou porovnány mnou odebrané vzorky půdy z pastevních biotopů v této zóně z roku 2018 s vzorky, které byly

odebrány v roce havárie jaderné elektrárny v Černobylu, tedy v roce 1986. Výsledky práce jsou, jako jedny z mnoha, součástí kontinuálního procesu monitorování a zkoumání obsahu ^{137}Cs v půdách. Tento proces je nezbytný pro pochopení a stanovení vlivu radionuklidů na životní prostředí a zdraví organismů, tedy i obyvatel havarijní zóny jaderné elektrárny Temelín.

2. Cíle

Cílem bylo odebrat reálné vzorky půdy pod pastvinami a biomasy pro stanovení transferových koeficientů přestupu z půdy do rostlin pro budoucí projekty SÚRO v oblasti radioekologie.

Výsledky byly srovnány s daty poskytnutými SÚRO (z období po havárii Černobylu) a aktuálními daty, získanými průzkumem výzkumného týmu FŽP ČZU.

Vzorky byly odebírány z takových pastevních biotopů, kde existuje předpoklad zachovalosti a neporušenosti vzorků půdy. To znamená, že půda nebyla orána nebo jinak využívána, a to od havárie jaderné elektrárny v Černobylu.

K provedení komparace dat SÚRO jsem nejprve nechal vzorky vyschnout a poté jsem je přesil pedologickým sítem 0,4mm, odebrané vzorky biomasy jsem též nechal vyschnout a následně jsem je upravil k provedení analýzy. Poté bylo nutné takto připravené vzorky odeslat do SÚRO. Zde proběhla analýza vzorků a zjištění hodnot ^{137}Cs . U zjištěných hodnot jsem provedl komparaci s hodnotami po Černobylské havárii roku 1986.

3. Literární rešerše

Cesium (Cs) bylo objeveno v roce 1860 Robertem Bunsenem a Gustavem Kirchhoffem v německém Heidelbergu při analýze spektra minerální vody, a to jako první prvek pomocí spektroskopu. Název vznikl z latinského slova „caesius“, což v překladu znamená nebeská modř (Stewart, 2014).

Cs je stříbrolesklý, měkký a lehký kov zařazený mezi alkalické kovy. Hlavní charakteristikou je jeho vysoká reaktivita a vzácný výskyt na Zemi i ve vesmíru (Kaňková, 2006). V mořské vodě je odhadem 0,5 µg/l Cs. Odhad množství Cs ve vesmíru se udává následovně: 1 atom Cs na zhruba 100 miliard atomů vodíku a v zemské kůře se odhaduje zastoupení Cs na 1-7 mg Cs/kg, tedy 2,6 ppm (parts per milion = počet částic na 1 milion částic) (Remy, 1961). Teplota tání Cs je velmi nízká (28 °C), a to i přesto, že se jedná o kov (Peterson, 2007). Cs se vyskytuje v přírodě pouze ve formě sloučenin v mocenství Cs⁺, přičemž důvodem je jeho výjimečně rychlá reakce s kyslíkem i vodou (Kaňková, 2006).

Přírodním izotopem cesia je pouze stabilní izotop ¹³³Cs, kdežto umělých nestabilních izotopů Cs je 67 a to s hmotnostními čísly od 112 do 151 (Stewart, 2014). Hlavních radioaktivních izotopů Cs existuje 11, ale pouze 3 z nich mají tak dlouhý poločas rozpadu, že vliv jejich radioaktivity přináší určité riziko. Mezi tyto rizikové izotopy vyznařující beta záření řadíme ¹³⁴Cs, ¹³⁵Cs a ¹³⁷Cs (Tab. 1) (Peterson, 2007).

Tab. 1: Izotopy cesia (Kaňková, 2007)

Izotop	Výskyt v přírodě	Poločas přeměny	Produkt rozpadu
¹³³ Cs	100%	Stabilní izotop s 78 neutrony	
¹³⁴ Cs	Syntetický radioizotop	65.159 Ms (2.0648r)	¹³⁴ Xe, ¹³⁴ Ba
¹³⁵ Cs	stopa	73 Ts (2,300,000 r)	¹³⁵ Ba
¹³⁷ Cs	syntetický radioizotop	948.9 Ms (30.07r)	¹³⁷ Ba

Poločasy rozpadu zmíněných izotopů se pohybují přibližně mezi 2 až 2 milióny let, zatímco u ostatních izotopů Cs jsou tyto hodnoty výrazně nižší, a to méně než 2 týdny (Peterson, 2007).

3.1 Cesium-137

Radioaktivní izotop ¹³⁷Cs má 55 protonů a 82 neutronů ve svém obalu. Vzniká při štěpení izotopů v jaderných zbraních a také je výsledkem nukleárního štěpení uranu (²³⁵U) v jaderných reaktorech (Isaure et al., 2006). Poločas rozpadu ¹³⁷Cs je přibližně 30 let (Peterson, 2007). Následně se rozkládá vysláním gama a beta záření na metastabilní baryum (^{137m}Ba – přechodný produkt rozkladu), které se rozkládá

vyzářením jiného energetického spektra gama záření na formu barya, jež je neradioaktivní (Isaure et al., 2006).

Izotop ^{137}Cs přináší největší riziko kontaminace životního prostředí, jelikož se nachází ve vyhořelém palivu jaderných reaktorů, a to ve velkém zastoupení. Rizikovitost tohoto izotopu vychází především z dlouhého poločasu přeměny a těkavosti s přihlédnutím k tomu, že obsahující soli jsou z velké části dobře rozpustné ve vodě (Ciffroy et al., 2009). Než se aktivita ^{137}Cs sníží na jednu tisícinu původní hodnoty, uplyne zhruba 300 let. Je tedy zřejmé, že Cs přispívá k vnějším i vnitřním dávkám kontaminace, a tak patří mezi případné významné zdroje radiačního zatížení populace (Starý et al., 1987). Pro detekci ^{137}Cs je nejvhodnější metodou polovodičová gamaspektrometrie (Ciffroy et al., 2009).

V lidském organismu se ^{137}Cs nejvíce koncentruje v měkkých tkáních, avšak při jakémkoliv proniknutí tohoto prvku do organismu se distribuuje po celém těle (Delacroix et al., 2002). Vzhledem ke skutečnosti, že v důsledku gama záření vzniká také baryum, je nutné při manipulaci s materiálem obsahující ^{137}Cs stínění koncentrace. Mimo gama záření je nebezpečné pro organismus také beta záření, jelikož oba tyto typy nesou jisté riziko vzniku rakoviny. Do organismu se ^{137}Cs dostává ve vodě, v potravě ale i inhalací vzduchu, následně je prakticky celkové přijaté množství vsřebáno do krve přes stěny střeva a koncentruje se ve svalech a měkkých tkáních. ^{137}Cs se relativně rychle vylučuje z organismu. Co se týká lidského organismu, tak u dospělých je zhruba 10 % vyloučeno s biologickým poločasem 2 dny, zbývající potom s poločasem 110 dní. Pokud je tedy zdroj expozice odstraněn a expozice již nepřetrvává, velká část ^{137}Cs se snadno vyloučí standartními procesy organismu a organismus se vyčistí během několika měsíců (Peterson, 2007).

Zdravotní nepříznivé účinky obecně ionizujícího záření, kam řadíme i záření ^{137}Cs , je možné rozdělit do dvou skupin, a to na deterministické a stochastické. Účinky deterministické přímo poškozují tkáň. Příkladem jsou záněty kůže, akutní nemoc z ozáření či zákal oční čočky. Tyto účinky závisí na prahové hodnotě. Pod prahovou hodnotou se žádné účinky neprojeví, avšak nad touto hodnotou poškození organismu roste s dávkou. Jelikož se dostávají po vysokých dávkách, mají tyto účinky akutní povahu. Stochastické účinky jsou příznačné vznikem dědičného poškození a zhoubných nádorů. Účinky tohoto typu mají pozdější efekt, to znamená, že klinické stádium nádoru se dostavuje zhruba po 5 až 15 letech (Kotulán, 2017).

Hlavními zdroji kontaminace přírody ^{137}Cs jsou důsledky výbuchů jaderných zbraní v atmosféře a havárií jaderných zařízení. Konkrétně pro ČR je to havárie jaderné elektrárny v Černobylu (Státní ústav radiační ochrany v.v.i., 2021).

Mimo uvedené hlavní zdroje kontaminace, lze uvést i řízené vypouštění odpadních vod z jaderných reaktorů a přepracování jaderného paliva v elektrárnách. V chladicí vodě a kapalných odpadech z jaderných zařízení se vyskytují radioaktivní látky. Tyto vody a odpady se vypouštějí do vodotečí, proto se i v takové situaci vyskytuje riziko kontaminace přírody. Také mimořádné úniky a nehody, mezi které řadíme již zmíněnou havárii v Černobylu či havárii ve Fukušimě, ale i nehody a úniky

menšího rozsahu (Kočer, 2020). Zdrojem kontaminace může být i nepatřičné zacházení a skladování radioaktivního materiálu, a to zejména v 50. letech 20. století, které bylo způsobeno neznalostí a nezkušeností se skladováním a ukládáním radioaktivního materiálu (Frankovská et al., 2010).

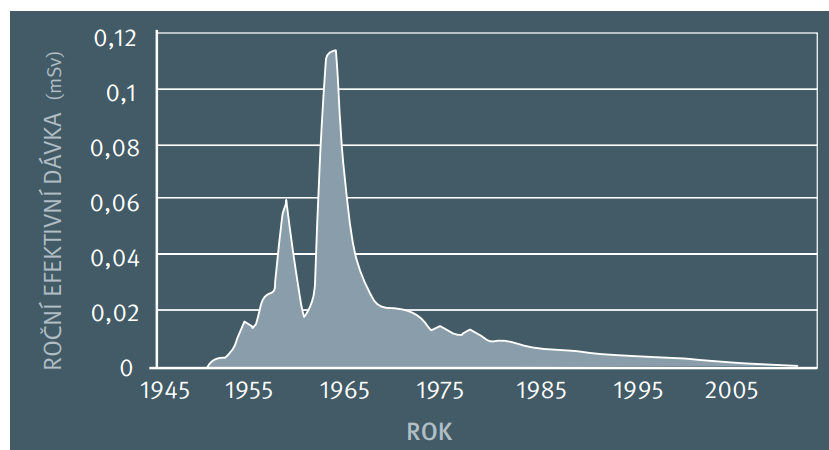
3.2 Testy jaderných zbraní

Vývoj jaderných zbraní započal zhruba na přelomu 30. a 40. let 20. století (Linhart et al., 2007). V roce 1939 odstartovalo Německo první pokus o vývoj jaderné zbraně, avšak neúspěšně. Následně se zapojila Velká Británie a Spojené státy americké (USA), přičemž právě USA jako první otestovalo první jadernou bombu Gadget s krycím názvem Trinity, a to v Novém Mexiku v červenci roku 1945 (Králová, 2021). Od tohoto roku proběhlo více než 2000 jaderných výbuchů. K těmto výbuchům patří nejen testy jaderných zbraní, ale i jejich použití ve druhé světové válce. Konkrétně byly svrženy v srpnu roku 1945 atomové bomby, Fat man a Little Boy, na města Hirošima a Nagasaki. Tyto útoky však zůstaly jedinými případy válečného využití jaderných zbraní (Bergvist, Ferm, 2000).

Jaderné zbraně byly od válečného využití do současnosti pouze testovány. Nejaktivnějším obdobím testování byly roky 1952 až 1962. Nejčastěji tyto testy probíhaly v atmosféře, a to zejména na severní polokouli, a méně často na pevnině či pod zemským povrchem (Cohen-Unger & Evrensel, 2016). Atmosférické testování bylo prováděno až do roku 1990 (Králová, 2021).

Následkem testování a jaderných výbuchů je radioaktivní spad, který je tvořen radioaktivními částicemi o různých velikostech a vlastnostech. Lze jej rozdělit na okamžitý, který dopadne do blízkého okolí výbuchu v nejkratším časovém úseku a na krátkodobý spad, který se rozptýlí do troposféry a dopadne v rozmezí několika týdnů a je schopen způsobit kontaminaci až na kontinentální úrovni. Posledním typem radioaktivního spadu je stratosférický spad. Tento spad proniká do stratosféry a na zemský povrch dopadá v rozmezí měsíců až několik let. Z toho plyne jeho globální charakter (Molnárová et al., 2011). Zmíněným radioaktivním spadům, které byly způsobeny mimo jiné také testováním jaderných zbraní, byli vystaveni lidé po celém světě.

V roce 1963 byl stanoven nejvyšší odhad průměrných ročních efektivních dávek (průměrná míra celkové roční újmy), způsobený stratosférickým spadem z testů jaderných zbraní. Jeho hodnota činila 0,11 milisievert (mSv) (Obr. 1). Snížení této hodnoty na 0,005 mSv trvalo až do roku 2016. Lze tedy předpovídat, že snížení této kontaminace bude i nadále klesat velice pomalým tempem, a to z důvodu podílu radioizotopů s dlouhým poločasem, jako je právě ^{137}Cs (Cohen-Unger & Evrensel, 2016).



Obr. 1: Celosvětové průměrné dávky na jednotlivce způsobené spadem z jaderných testů (Cohen-Unger & Evrensel, 2016)

Téměř polovina celkového radioaktivního spadu z pevninského testování dopadlo v přilehlých lokálních oblastech zhruba do 50 km. Testy byly ale většinou prováděny v odlehlých oblastech, vlivem čehož místní populace nebyly tolik násobně zasaženy. Avšak mnohem vyšší dávky přijala populace žijící po větru radioaktivního spadu (Cohen-Unger & Evrensel, 2016). Vlivem vědeckých podkladů, které byly podnětem k uzavírání řady dohod, se v 70. letech 20. století začaly testy jaderných zbraní omezovat (Holloway, 2008).

3.3 Havárie jaderné elektrárny Černobyl

V severní oblasti Ukrajiny, 10 kilometrů (km) od hranic s Běloruskem, byla v 70. letech 20. století zahájena stavba jaderné elektrárny Černobyl. Elektrárna byla postavena v blízkosti řeky Pripjat' a 2 km od města Pripjat', které především plnilo funkci zázemí pro zaměstnance elektrárny a jejich rodiny (Mould, 2000). Řeka Pripjat' plnila funkci zdroje vody pro chlazení reaktorů. Od hlavní města ČR, Prahy, je Černobylská elektrárna vzdálena zhruba 1118 km vzdušnou čarou (Tůma, 2000). V elektrárně byly využívány čtyři jaderné reaktory typu RBMK-1000, přičemž každý z nich imponoval výkonem zhruba 950 megawattů (MW). Čtvrtý, tedy poslední dokončený blok, byl uveden do provozu v prosinci 1983 (Kolektiv autorů, 1996). První z dvou hlavních příčin havárie je právě chybná konstrukce v projektu reaktoru RBMK-1000, který nevyhovoval podmínkám bezpečného provozu.

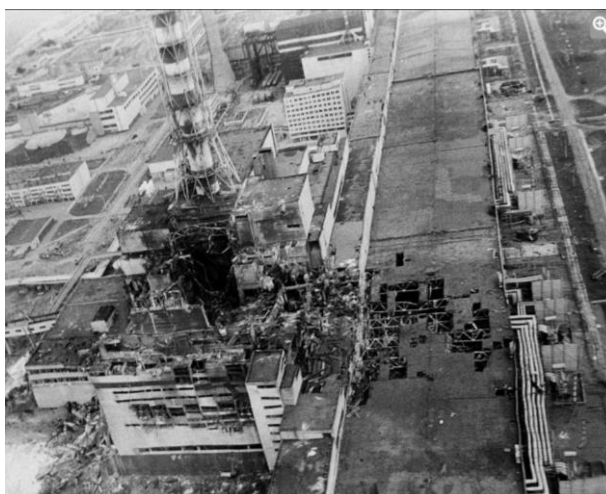
Největší jaderná katastrofa v lidské historii se stala v jaderné elektrárně Černobyl dne 26. dubna 1986. Brzo ráno došlo k výbuchu čtvrtého bloku elektrárny a vznikl tak požár, který trval do 10. května téhož roku a způsobil únik radionuklidů do životního prostředí. Prakticky na celé severní polokouli byla naměřena stopová množství těchto uniklých radionuklidů (Sinkulová, 2006).

3.3.1 Průběh havárie

Havárie vznikla v důsledku plánovaného odstavení čtvrtého bloku z důvodu opravy. Odstavení předcházely běžný experiment, ve kterém měla být vyzkoušena funkce nového regulátoru magnetického pole rotoru. V první řadě bylo naplánováno

snížení výkonu reaktoru na 25-30 %, tedy na nejnižší možný provozuschopný výkon, zhruba na 700-1000 MW dle směrnic. Následovně odstavení první turbíny, která byla připojena k reaktoru, odpojení havarijního chlazení a zastavení přívodu páry ke druhé turbíně. Experiment však nebyl řízen specialisty, ale elektrotechniky a nebyl vnímán jako významný pro jadernou bezpečnost, což přispělo k vzniku krizové situace (Kolektiv autorů, 1996).

Snižování výkonu v reaktoru bylo odstartováno v 1 hodinu po půlnoci dne 25. dubna. Téhož dne ve 13 hodin a 5 minut byl výkon snížen na polovinu, došlo k odstavení prvního turbogenerátoru a odpojil se systém havarijního chlazení. První zásadní krok způsobil dispečer ve 14 hodin, kdy požádal o odklad testu z důvodu blížícího se státního svátku. Odklad činil celých 9 hodin, během kterých byl stále odpojen systém havarijního chlazení a také došlo k výměně směn zaměstnanců. Odpolední směna tedy převzala experiment a pokračovala ve snižování výkonu. O půlnoci 26. dubna se opět vystřídaly směny z odpolední na noční, ve které byl nedostatek zkušených operátorů a nebyli na tento experiment připraveni. Zejména neznalost skutečnosti, jaký minimální výkon je bezpečný pro test. Chybami zaměstnanců došlo k poklesu výkonu na 0 wattů (W), následně k nárůstu na 200 MW a byl zahájen samotný test. I přes několikanásobné porušení směrnic mohli zaměstnanci ještě v relativně bezpečném čase reaktor odstavit. Na všech úrovních tak došlo k selhání lidského faktoru, které se stalo 2. hlavní příčinou havárie (Kostka, 2019).



Obr. 2: Reaktor v jaderné elektrárně Černobyl po výbuchu (Associated Press, 1986)

V 1 hodinu a 23 minut po půlnoci už ovšem bylo příliš pozdě na záchranu situace o kterou se zaměstnanci marně pokusili spuštěním havarijní ochrany. Výkon v reaktoru závratně rostl spolu s tlakem až došlo k přetlaku a pára odsunula betonovou desku vážící 1 000 tun. Vlivem průniku vzduchu do reaktoru vznikl vodík, který následně explodoval. Exploze 4. bloku způsobila požár, vlivem rozptýlení paliva a 700 tun radioaktivního materiálu. Požár se podařilo hasičům uhasit zhruba v 5 hodin po půlnoci za cenu jejich životů (Kostka, 2019). Následné sledování situace z vrtulníků ukázalo, že požáry stále přetrvávají, a to zejména na grafitových blocích. Reaktor byl proto zasypán 5 000 tunami sloučenin písku, hlíny, olova, dolomitu a bóru pro uhašení

požáru a částečné vstřebání radioaktivních aerosolů (Abagyan et al., 1992). Počínaje 7. květnem se aktivní zóna chladila tekutým dusíkem a následně přirozenou cestou, tedy volně proudícím vzduchem. K evakuaci obyvatelstva z města Pripjať došlo až den po havárii, tedy 27. dubna. Město Černobyl bylo evakuováno 2. května (Kaňková, 2007).



Obr. 3: Sarkofág 4. reaktoru v Černobyli (Globe24, 2017)

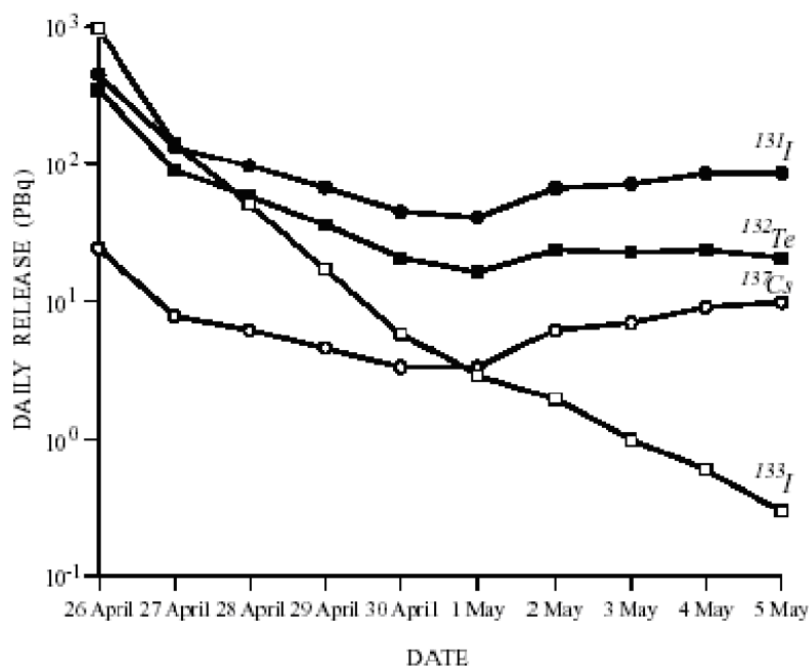
V polovině května roku 1986 byla vládní komisí, ustanovenou pro řešení havárie černobylské elektrárny, naplánována výstavba konstrukce z betonu, tzv. sarkofágu, k úplnému uzavření čtvrtého reaktoru jako ochrana před dlouhodobým únikem radioaktivních látek. Výstavba sarkofágu byla dostavena téhož roku v listopadu (Mould, 2000).

3.3.2 Následky havárie

Bezprostředně po výbuchu zemřeli dva operátoři kontrolující aktivní zónu, kteří byli ozáření smrtelnou dávkou. Zahynuli také hasiči, kteří hasili požár způsobený výbuchem, a to později na následky ozáření (Drábová, 2001). V čase výbuchu bylo v jaderné elektrárně přes 400 zaměstnanců. Celkem na následky ozáření zemřelo 31 lidí a 203 lidí postihla akutní nemoc z ozáření v různém rozsahu (Kostka, 2019). Úmrtnost na následky této havárie je obtížné určit, jelikož onemocnění se projevuje ve většině případech až po určité časové prodlevě a mnohdy v jiné podobě a rozsahu. Tvrzení o počtu úmrtí jsou dodnes velmi rozdílné. Tak zvaných eliminátorů čili lidí, kteří eliminovali důsledky havárie, zemřelo odhadem 60 000, přičemž dalších 170 000 trpí zdravotním postižením (Mould, 2000). Jiný názor zastává International Atomic Energy Agency (IAEA), v překladu Mezinárodní agentura pro atomovou energii. IAEA udává, že přemrštěné počty úmrtí jsou zcela nereálné, jelikož jsou způsobeny opomíjením úmrtí z jiných důvodů než právě ozáření. Odhaduje tak úmrtí v nejvíce kontaminovaných oblastech na 4 000 osob a úmrtí 3 940 osob z okruhu eliminátorů v letech 1986 a 1987 a evakuovaných osob. Celkový počet obětí havárie tedy nelze určit, vzhledem k tomu, že někteří se oběťmi teprve mohou stát a nebude prokazatelné, zda zemřeli právě na ozáření nebo by nemoci podleli i bez následků havárie. Mezi onemocnění způsobené ionizačním zářením se řadí především leukémie, nádorová onemocnění a choroby oběhového systému (Sinkulová, 2006).

Do životního prostředí se prostřednictvím oblaku z hořícího reaktoru rozšířilo závažné množství radioaktivních materiálů. Únik radioaktivních látek z reaktoru trval

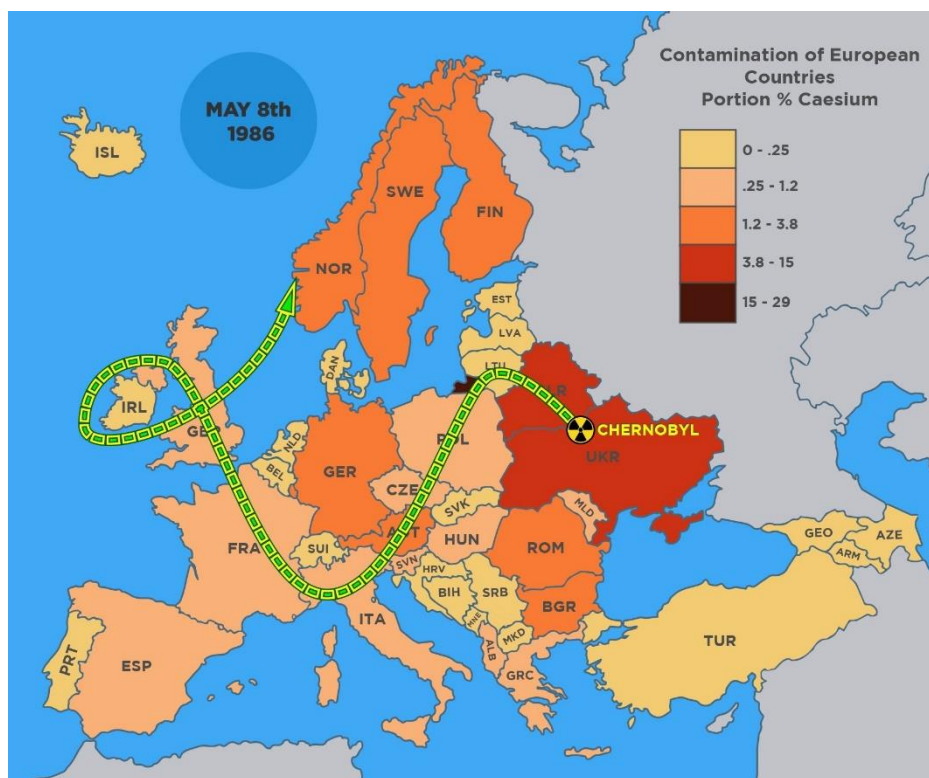
po dobu deseti dní, ale 25 % z celkového množství uniklo již první den (Obr. 4) (Kaňková, 2007).



Obr. 4: Denní únik vybraných radionuklidů z reaktoru elektrárny Černobyl (Kaňková, 2007)

Pozornost vyžadují zejména uniklé radionuklidy jódu a cesia. Radionuklid jódu ^{131}I má poločas rozpadu 8 dnů a převážně se rozpadl v několika týdnech po havárii. Jeho aktivita je 1 760 000 terabecquerel (TBq). 1 Becquerel udává aktivitu rovnou jedné přeměně za sekundu. Kdežto ^{137}Cs má, jak už bylo zmíněno, poločas rozpadu 30 let (Sinkulová, 2006) a aktivitu 74 000 - 85 000 TBq. Ostatní radionuklidy mají o mnohem menší hodnoty poločasu rozpadu nebo aktivit. Z tohoto důvodu nejsou tak rizikové jako právě radionuklidy jódu a cesia (Kaňková, 2007).

Na šíření radionuklidů z výbuchu měla velký vliv meteorologická situace. Vlivem výbuchu byly radioaktivní látky vyneseny do výšky 1 500 metrů nad zemí, kde jihovýchodní vítr dosahoval rychlosti 8-10 metrů za sekundu. První informace o zachycení měřitelných hodnot radioaktivních látek přišly 27. 4. 1986 ze Švédska. Radioaktivní mrak se tedy šířil větrem přes západní část Svazu sovětských socialistických republik (SSSR), dále přes Finsko a Švédsko. Směr proudění vzduchu se změnil 30. 4. 1986 a radioaktivní mrak nabral směr na střední Evropu, a tedy i na Československou socialistickou republiku (ČSSR) (Obr.5). ČSSR byla vlivem otáčení směru větru zasažena opakovaně (Kolektiv autorů, 1996).



Obr. 5: Kontaminace Evropských zemí procentním podílem Cesia a směr proudění radioaktivního spadu (Chernobylwel, 2020)

Jako první zjistili přítomnost radioaktivních látek ve Švédsku, a to díky nálezům částic na svém oblečení. Protože informace o havárii byla nejprve utajována, Švédsko neznalo příčinu výskytu těchto částic a hledali ji na jejich území. Vyloučením možnosti zdroje ze Švédska se na povrch dostala úvaha o příčině v západní části SSSR. Jelikož ve Finsku právě probíhala stávka zaměstnanců monitorovacích stanic, bylo odhalení havárie z jejich strany opožděno. Vodítkem pro odhalení příčiny byly snímky z družic pocházející od amatérů, na kterých se projevil i odhad dávky a úniku. Dne 28. 4. 1986 Švédsko zásluhou svých měření odhalilo velikost a závažnost havárie. Rozmístění radioaktivního mraku vlivem meteorologické situace, a to především větru a srážek, nebylo rovnoměrné (Kolektiv autorů, 1996). Nejvíce kontaminovanými oblastmi se staly území Běloruska, Ukrajiny a Ruské federace. Kontaminovaná území byla rozdělena na 4 kategorie dle úrovně aktivity ^{137}Cs . Tato kategorizace napomohla ke správnému rozdělení úkolů ochrany obyvatelstva a následné záchrany a zásahu (Sinkulová, 2006).

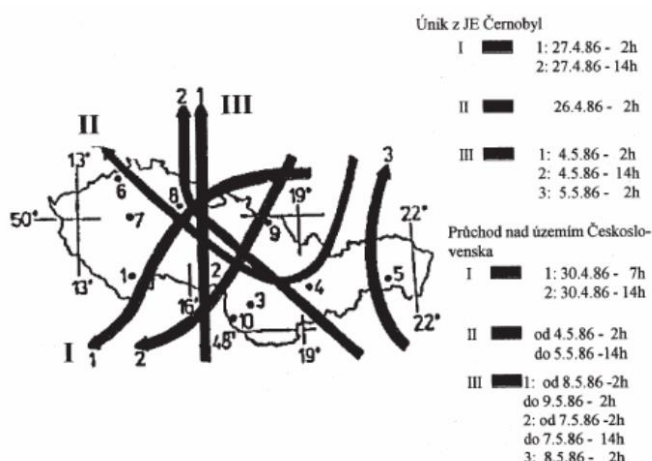
V přírodě havárie způsobila kontaminaci vody, půdy, ale i živočichů a rostlin. V krátkém časovém úseku po havárii se projevil problém zejména s pitnou vodou. Vlivem usazování a ředění ale klesala radioaktivita poměrně rychlým tempem. Zemědělci zaznamenaly kontaminaci radionuklidem jódu v kravském mléku. Půda nejvíce absorbovala radionuklid ^{137}Cs , a to také přispělo ke kontaminaci zvířete, rostlin, bobulí, a především hub nacházejících se v lesích. V půdě cesium zůstává velmi dlouho dobu (na některých územích až dodnes) jelikož dochází k propadu ^{137}Cs

hlouběji. Nejrozsáhlejší kontaminace byla lokalizována v okolí 30 km od havárie elektrárny a zasáhla především savce, bezobratlí a jehličnany (Sinkulová, 2006).

3.3.3 Následky havárie na území ČSSR

V ČSSR byly první projevy radioaktivity zaznamenány ranním kontrolním měřením, které prováděli pravidelně zaměstnanci jaderných elektráren a také měřením prováděným za účelem sběru dat o radiační situaci v ČSSR. Sběr dat náležel odborům hygieny záření Krajských hygienických stanic a Centru hygieny záření Institutu hygieny a epidemiologie (IHE) v Praze. K odhalení zvýšené radiace došlo v noci z 29. na 30. dubna 1986 (Kolektiv autorů, 1996). Samotná informace o havárii odstartovala v ČSSR plošné monitorování obsahu radionuklidů, měření zevní kontaminace a vyhodnocení ekvivalentní dávky. Toto monitorování bylo prováděno v oblasti lidských organismů, životního prostředí a potravinových řetězců. Vzhledem k velkému množství zapojených osob a organizací do monitorování, nebyly veškeré dosažené výsledky publikovány, ale pouze hlášeny do Ústřední monitorovací sítě (Kaňková, 2007). Hlášení výsledků se stalo základem pro zpracování Zprávy o radiační situaci na území ČSSR po havárii jaderné elektrárny, která byla sestavena na základě výzvy Mezinárodní agentury pro atomovou energii. Zpráva byla vyhotovená v roce 1986 a v roce 1987 vydaná v českém překladu. Autorem této zprávy je Centrum hygieny záření IHE v Praze (Kunz, 1987).

Během roku 1986 po havárii byly zpozorovány 3 vlny kontaminovaných vzdušných mas, které proudily přes ČSSR (Obr. 6). První z nich, která již byla zmíněna, přišla nad území v noci z 29. na 30. dubna. Druhá vlna byla zaznamenána 3. a 4. května a poslední 7. května.

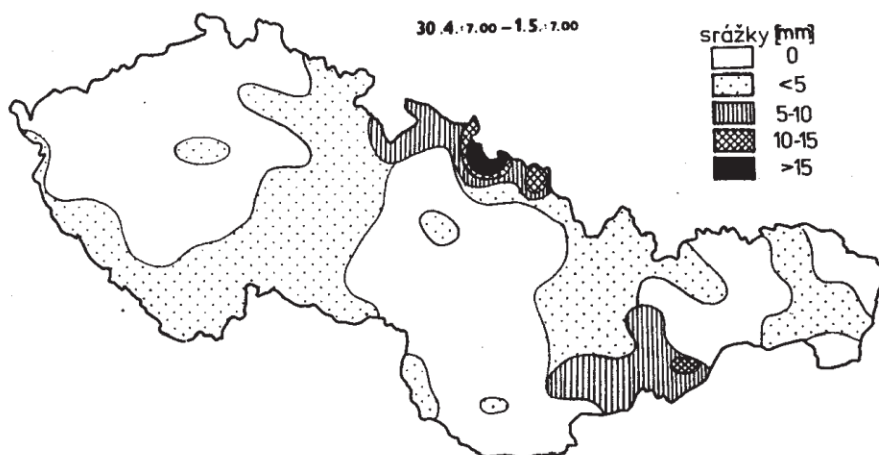


Obr. 6: Předpokládané trasy kontaminovaných vzdušných mas (Hůlka, Malátová, 1996)

Výsledkem monitorování bylo odhalení přítomnosti až dvaceti radionuklidů. Přičemž bylo nutné vyselektovat radionuklidy, které jsou významné z hlediska kontaminace. Mezi takovéto byly zařazeny radionuklidy ^{131}I , ^{103}Ru , ^{132}Te , ^{134}Cs a především ^{137}Cs . Většina z nich byly významné především v bezprostředním období

po havárii, v delším časovém úseku, vzhledem k poločas rozpadu, na významu ztrácely. Velmi důležitými zůstaly radionuklidy ^{137}Cs a ^{134}Cs , které tvořily více jak 90 % dávek zjištěných od července 1986 (Kolektiv autorů, 1996).

Kontaminace území ČSSR byla mimo jiné závislá na směru srážek. Nejintenzivnější vlnou šíření radionuklidů byla zaznamenána několik dní po havárii, a to od 30.4. do 5.5. 1986 (Obr. 7). Následující srážky byly znatelně slabší a kontaminace radionuklidy tedy nižší (Bučina et al., 1988).



Obr. 7: Srážky od 30. dubna 1986 do 1. května 1986 (Bučina et al., 1988)

Ekvivalentní dávka několikanásobně krátkodobě narostla při spadu z ozářených mraků. Hlavními radionuklidy tohoto záření byly opět izotopy cesia, vzhledem k jejich dlouhému poločas rozpadu. Hodnota průměrné efektivní dávky zevního ozáření ze srážkového spadu byla po černobylské havárii stanovena na 0,05 mSv, dle nového odhadu to bylo 0,15 mSv (Hůlka, Malátová, 1996).

Expoziční cesta skrz potravinové řetězce byla považována za závažnější než příjem formou inhalace, a především s možností regulace. Z tohoto důvodu byla oblast potravinářství zájmovou oblastí ČSSR. Za nejvýznamnější příjemce radionuklidů byly považovány mléko, mléčné výrobky a listová zelenina (Hůlka, Malátová, 1996).

Mezi opatření, která byla přijímána patří například kropení ulic, zastavení výroby léků z hovězích štítných žláz, vyřazovalo se mléko s objemovou aktivitou ^{131}I vyšší než 1 000 becquerel (Bq)/l, konaly se průzkumy mlékáren a další (Hůlka, Malátová, 1996). Opatření, monitorování a průzkumy se provádí až do nynější doby. ČR měří umělé radionuklidy v životním prostředí, odebírá vzorky vody, půdy a ovzduší s cílem zjištění hodnot radiační zátěže na obyvatele. Monitorování podléhají především potraviny jako je maso, mléko, houby, lesní plody a jiné (Státní úřad pro jadernou bezpečnost, 2018).

3.4 Obsah ^{137}Cs v půdě

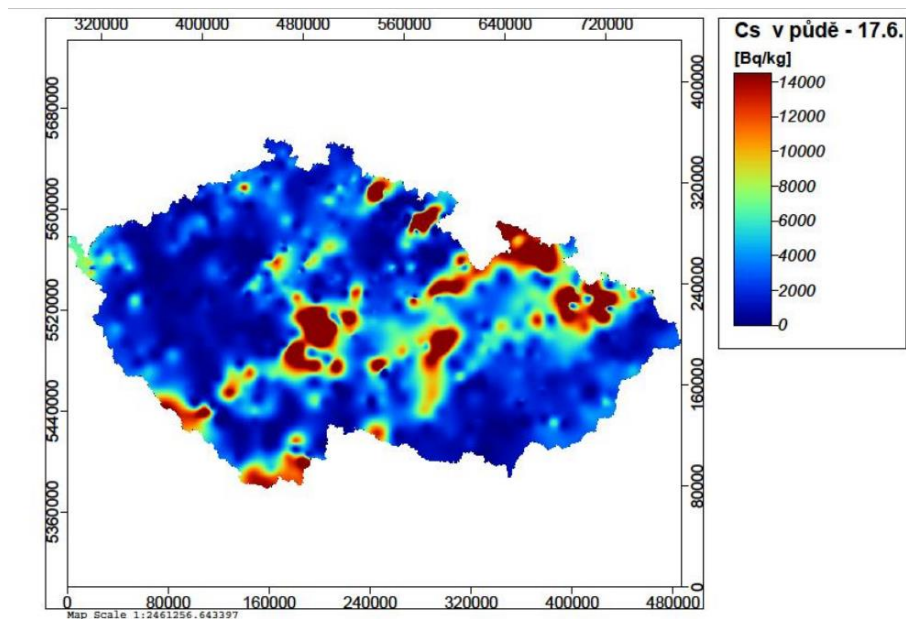
„Půda je jedinečný přírodní útvar, který vzniká vzájemným působením fyzikálních, chemických a biologických sil“ (Šantrůčková, 2014). Změny půdy jsou

způsobeny rozsáhlou škálou činitelů, mezi které patří například tepla, mrazy, vítr, rostliny, organismy ale především i člověk. Tento přírodní otevřený půdní systém je, vzhledem k úzkému propojení s okolním světem, velmi zranitelný a je tedy relativně snadné ho zničit a o to složitější obnovit (Šantrůčková, 2014).

Nynější stav půd, z hlediska obsahu radionuklidů, je způsoben zejména zdroji, které již byly výše rozebrány. Jsou to tedy především testy jaderných zbraní a havárie jaderné elektrárny Černobyl. Nejvýznamnějším radionuklidem, který i nyní nejvíce zasahuje životní prostředí je ^{137}Cs . Radionuklidy obsažené v půdě představují závažné riziko, jelikož se následně rozšiřují do různých složek životního prostředí (Doskočilová, 2019). Zásluhou studií, které byly provedeny po havárii černobylské elektrárny se zjistilo, jaké jsou cesty radionuklidů z půdy až ke člověku. Kontaminanty se šíří z půdy do kořenového systému dřeva a obvodovým lýkem se dostává až do srdce kmene. Dřevo ale není výjimkou, protože kontaminanty se stejně tak dostávají i do rostlin s lesními plody, do mechů a hub. Ve zmíněných složkách životního prostředí se radionuklidy kumulují a poté se dostávají do těl lesní zvěře jako součást potravy. Potravinový řetězec se touto formou dostává až k samotnému lidskému organismu i s obsaženými radionuklidy (Havránek, Havránková, 2008).

^{137}Cs se do půdy dostává oplachem z vegetace, opětovným uložením erodovaných částic půdy, depozicí z vody v záplavových územích a atmosférickou depozicí. Tento radionuklid má poměrně velkou pohyblivost, kterou ovlivňuje velikost pH, počet sorpčních center, teplota, chemické složení půdy a v neposlední řadě také činnosti zemědělců, tedy způsob obdělávání půdy. Akumulace ^{137}Cs je soustředěna do jílových vrstev, tedy do horních vrstev půdy a mobilita tohoto radionuklidu je zvýšená hlavně v rašelinných a písčitých půdách (Forsberg et al., 2000).

V polovině června v roce 1986, tedy po havárii jaderné elektrárny Černobyl, byl proveden průzkum kontaminace půdy několika radionuklidy. Tato havárie měla z největší části zasáhnout svrchní vrstvy půdy, které také byly předmětem průzkumu. Metodou využívanou v rámci tohoto průzkumu se stala polovodičová spektrometrie gama. Vzorky se odebíraly dle dané metodiky a plošně po celé ČSSR. Vzorkování bylo situováno především na místa bez budov, keřů a stromů, travnatého porostu a místa, která nebylo obdělávána zhruba 2 měsíce zpět. Sklon odběrového povrchu musel být menší jak 3° . Výsledné hodnoty byly zobrazeny v bodovém i plošném (Obr. 8) zobrazení na mapě (Rulík, Helebrant, 2011).



Poznámka: Oprava - správná jednotka v legendě je Bq/m².

Obr. 8: Plošné kontaminace ČR ^{137}Cs v důsledku havárie JE Černobyl, odběry 16.-18.6.1986 (Rulík, Helebrant, 2011)

Od černobylské havárie proběhlo velké množství testování půd. V roce 1995 byl proveden průzkum o 163 vzorcích. Hodnoty aktivity ^{137}Cs v orných půdách vycházely zhruba v desítkách Bq/kg a v horských oblastech řádově v kilobecquerel (kBq) na kg (Jandl, Procházka, 1995). Další průzkum uskutečněný v letech 1999 a 2000 ukázal pokles intenzity radiocesia od roku 1992. Největší hodnoty byly odhaleny pod povrchem v hloubce 4-6 cm. Pokles hodnot byl způsoben přirozenou vlastností radiocesia, a to radioaktivní přeměnou a také způsobem nakládání s půdou (Danielová et al., 2001). V letech 2000 až 2006 byl proveden průzkum kontaminace půd v horských oblastech na území Severní Moravy, konkrétně v oblastech Jeseníků, Králického Sněžníku a Orlických hor. Nejvyšší hodnoty byly naměřeny v Jeseníku a Orlických horách, přičemž na některých místech dosahovaly přes 50 kBq/m² (Hanák et al., 2007).

4. Metodika

4.1 Příprava k odběru vzorků

K odebrání vzorků bylo nejprve zapotřebí určit vhodné lokality. Bylo nutné, aby zvolené lokality vyhověly určeným kritériím, mezi které patří například volba správného období pro odběr vzorků biomasy, které bylo nutné provést v době sklizně, tedy před sečí. Tyto podmínky podléhaly odsouhlasení vedoucí práce.

4.2 Určení vhodných lokalit

Lokality k odebrání vzorků uvnitř havarijní zóny jaderné elektrárny Temelín (JETE), která dosahuje vzdálenosti do dvaceti kilometrů, jsem zvolil na třech rozdílných místech. V lokalitách na pastevních biotopech, kde nebyla půda od jaderné havárie v Černobylu s nejvyšším předpokladem orána, bylo odebráno dvanáct vzorků, jenž byly řádně označeny a zaznamenány.

4.3 Popis odběrových lokalit

4.3.1 Lokalita Knín

Jako první lokalitou k odebrání vzorků jsem zvolil místo v blízkosti samoty Coufalka v katastrálním území Knín [613959] (Obr. 9, 10) vzdálené od JETE vzdušnou čarou 3,32283 km. Odběrové místo se nachází na souřadnicích 49°09'13.7"N 14°23'28.7"E. Výměra pozemku prvotního odběru je 8,05 hektarů (ha). Uživatelem dotčeného pozemku je správní obec Temelín [545155].



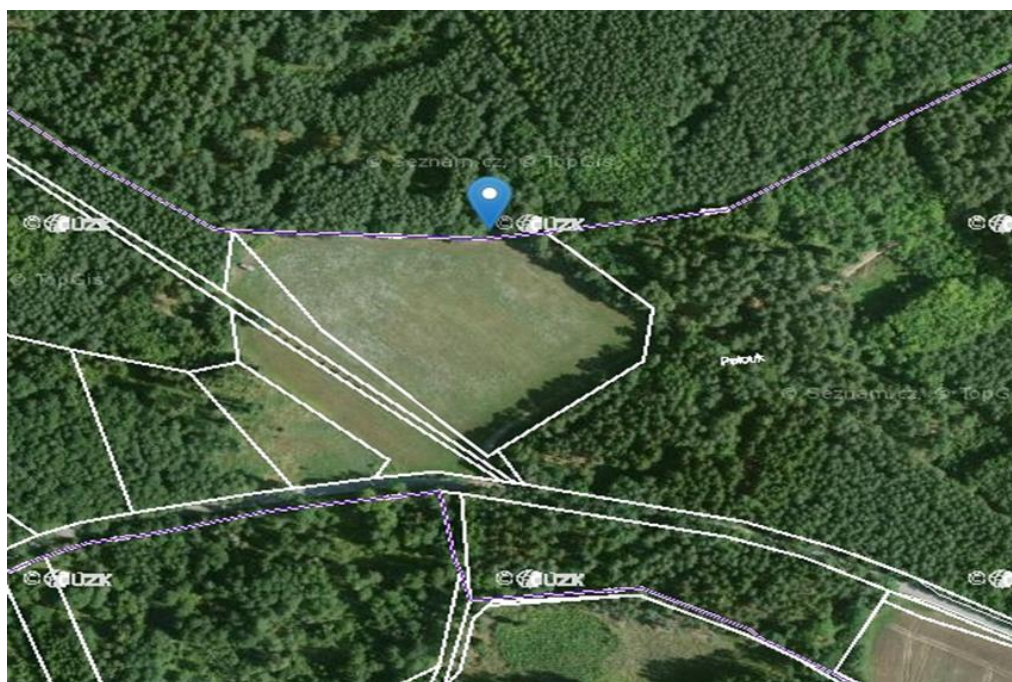
Obr. 9: Zakreslení odběrového místa, Knín (ČÚZK, 2018)



Obr. 10: Oblast odběru Knín

4.3.2 Lokalita Těšínov u Protivína

Následující lokalitu k odebrání vzorků jsem zvolil v katastrálním území Těšínov u Protivína [674311] (Obr. 11, 12) nedaleko vrchu Chocholouš. Vzdálenou od JETE vzdušnou čárou 5,27821 km. Odběrové místo se nachází na souřadnicích 49°11'14.8"N 14°18'01.3"E. Správní obec pro tento pozemek je Protivín [549771]. Výměra pozemku činí 120,1 ha. Vlastníkem a uživatelem dotčeného pozemku jsou Lesy České republiky, s. p.



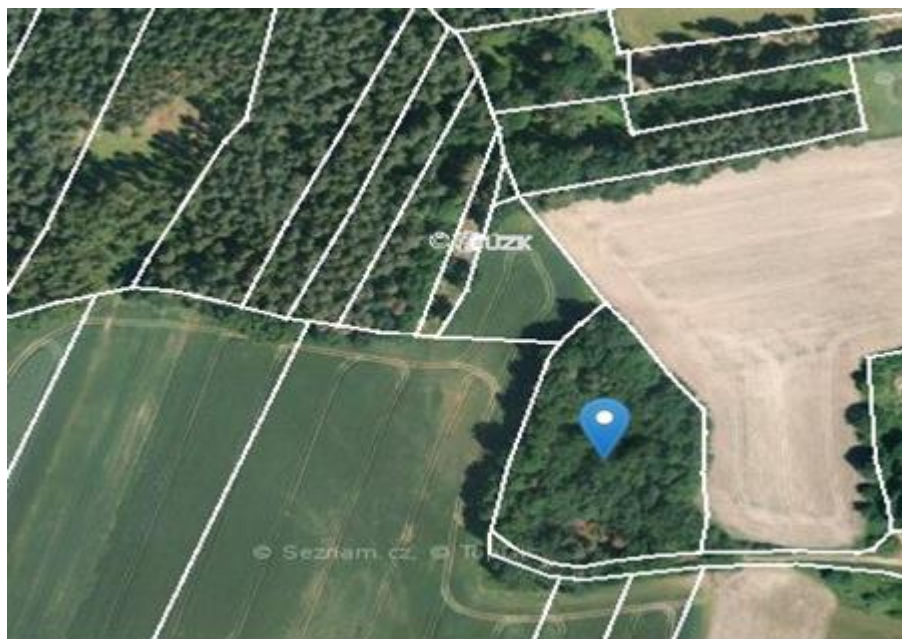
Obr. 11: Zakreslení odběrového místa, Těšínov u Protivína (ČÚZK, 2018)



Obr. 12: Oblast odběru Těšínov u Protivína

4.3.3 Lokalita Nákří

Jako poslední lokalitu k odebrání vzorků jsem zvolil místo v katastrálním území Nákří [633151] (obr. 13, 14) v blízkosti Velkého Luského rybníka. Vzdálené od JETE vzdušnou čarou 7.11968 km. Odběrové místo se nachází na souřadnicích 49°07'44.6"N 14°18'54.0"E. Vlastníkem a správní obcí pro tento pozemek odběrového místa je obec Nákří [533371].



Obr. 13: Zakreslení odběrového místa, Nákrří (ČÚZK, 2018)



Obr. 14: Oblast odběru Nákrří

4.4 Plán vzorkování půdy

Na základě identifikovaných dat jsem předem vytvořil plán vzorkování. Tento plán sloužil jako podklad k následným odběrům a skládá se ze dvou částí. První část je samotný plán vzorkování, který obsahuje přesný popis odběrového místa, záměr odběru, počet dílčích vzorků na jeden směsný vzorek, datum odběru, požadavky na zkoušky v místě odběru, bezpečnostní opatření, značení, plánovaná úprava a hmotnost vzorků. Ve druhé části dokumentu jsou shromážděny požadavky na balení, konzervaci, skladování a dopravu. Konkrétně se jedná o typ vzorkovnice, konzervace, skladování, dopravu, název zkušební laboratoře a rozsah požadovaných analýz.

4.5 Odběr půdních vzorků

Odběr půdních vzorků jsem uskutečnil ve dnech 7. 11. a 10. 11. 2018. Dne 7. 11. 2018 bylo převážně polojasno a teplota dosahovala 18°C. Dne 10. 11. 2018 bylo mlhavo a teplota dosahovala 13°C. Z každého typu biotopu jsem odebral 3 směsné vzorky na základě požadovaných kritérií. K odběru byla použita lopata, krumpáč, motyčka, rýč a PVC krabičky (obr. 15, 16). Půdní vzorky byly u všech lokalit odebrány ze třech různých vrstev na základě hloubky. Hloubka každé vrstvy činila 25 cm. Odběr svrchní vrstvy (A) nebyl nijak obtížný, půda byla dostatečně zvlhlá. Střední vrstva (B) již obsahovala kořínky dřevin, které odběr komplikovaly. Spodní vrstvu (C) tvořila udusaná hlína, která byla z velké části písčítá a bohatá na kamení, a proto byl její odběr nejobtížnější. Celkový souhrn činil devět odebraných vzorků.



Obr. 15: Oblast odběru, Těšínov u Protivína



Obr. 16: Nástroje použité k odběru

4.6 Úprava půdních vzorků

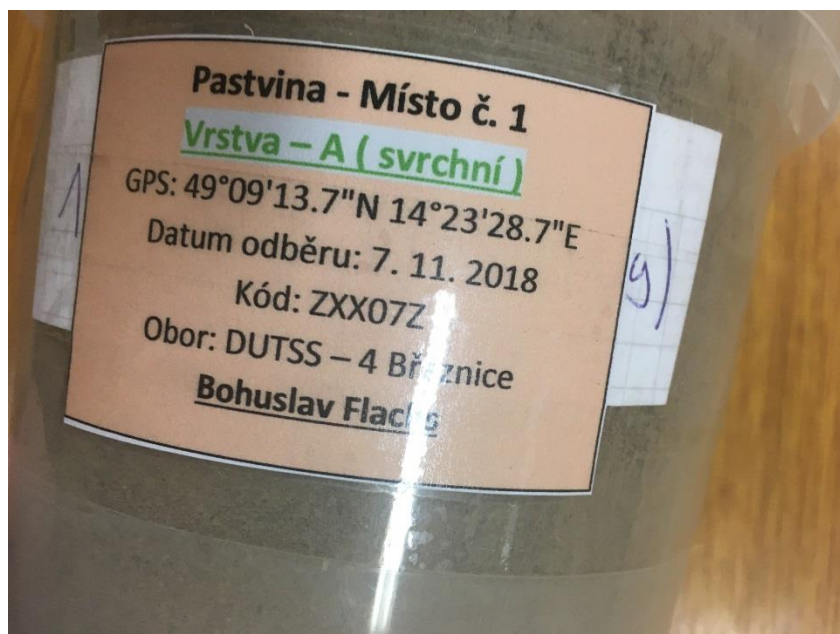
Nejprve bylo zapotřebí odebranou půdu vysušit. K sušení byla použita místnost s vytápěním, v níž byly vzorky uloženy na papírovém podkladu (Obr. 17). Sušení probíhalo po dobu šesti dnů, během kterých jsem půdu několikrát promísil a rozmělnil. Následně bylo zapotřebí použít síto s nímž byly vyselektovány fragmenty o velikosti nad 0,04 cm (Obr. 18). Upravená půda byla umístěna do PVC kyblíků, které byly řádně označeny a popsány (Obr. 19).



Obr. 17: Umístění půdních vzorků na papírový podklad



Obr. 18: Použití síta k úpravě půdních vzorků



Obr. 19: Zpracovaný půdní vzorek určen k odeslání

4.7 Protokolární záznam o odběru vzorku biomasy

Před samotným zahájením odběru vzorků biomasy jsem zaznamenal získané informace z daných třech oblastí Nákrí, Knín a Těšínov u Protivína do protokolárního záznamu o odběru vzorků biomasy. V protokolárním záznamu o odběru vzorků biomasy jsem vždy uvedl informace jako např. katastrální území, správní obec, druh pozemku, datum odběru, počasí, GPS souřadnice a teplotu.

4.8 Odběr vzorků biomasy

Odběr vzorků biomasy jsem uskutečnil ve dnech 7. 11. a 10. 11. 2018. Dne 7. 11. 2018 bylo převážně polojasno a teplota dosahovala 18°C. Dne 10. 11. 2018 bylo mlhavo a teplota dosahovala 13°C. Z každého typu biotopu jsem odebral dostatečné množství biomasy. K odběru byly použity nůžky. Vzorky biomasy byly u všech lokalit odebrány z místa odběru půdy. Odebrané vzorky byly příslušně označeny a uloženy do papírových obalů (Obr. 20).



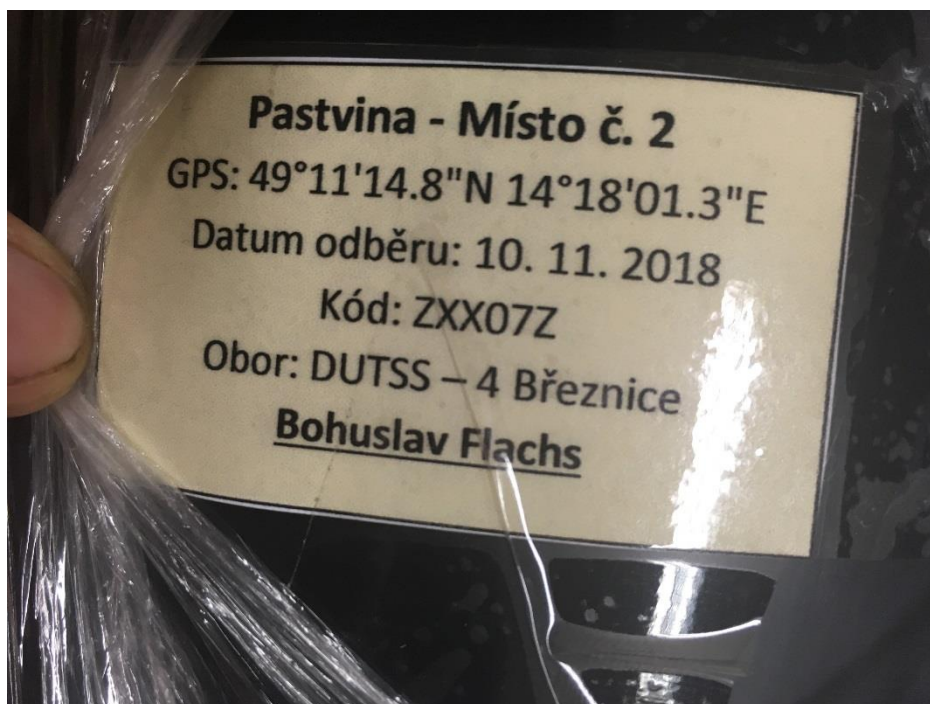
Obr. 20: Oblast odběru, Těšínov u Protivína

4.9 Úprava vzorků biomasy

Proces úpravy odebraných vzorků biomasy probíhal nenáročně. K sušení byla použita místnost s vytápěním, v níž byly vzorky umístěny na čistém podkladu. Sušení probíhalo po dobu 11 dnů, během kterých jsem nechal v místnosti pootevřená výklopná okna. Po procesu sušení byla biomasa upravena za pomoci nůžek na velikost 5 cm (Obr. 21). Takto nastříhané vzorky biomasy byly umístěny do PVC nádob, které byly řádně označeny a popsány (Obr. 22).



Obr. 21: Úprava vzorků biomasy na požadovanou velikost



Obr. 22: Zpracovaný vzorek biomasy určený k odeslání

4.10 Odeslání vzorků biomasy a půdy

Zpracované vzorky biomasy a půdy (Obr. 23) byly osobně předány mé vedoucí práce doc. RNDr. Emilie Pecharová, CSc. Paní docentka následně vzorky zaslala k laboratorní analýze do Státního ústavu radiační ochrany.



Obr. 23: Zasláné vzorky k laboratorní analýze

5. Výsledky měření

5.1 Výsledky měření ^{137}Cs v půdě

Výsledky laboratorního rozboru půdních vzorků a biomasy ze Státního ústavu radiální ochrany, které obsahovaly aktivitu ^{137}Cs [Bq/kg suš.], korekci na sušinu, kombinovanou standardní nejistotu ^{137}Cs [Bq/kg suš.], druh vzorku a úhrnnou aktivitu ^{137}Cs [Bq/m²], jsem zpracoval do dílčích tabulek dle odběrových lokalit (Tab. 2, 3, 4). Vypracované tabulky obsahují tyto údaje: název lokalit, druh vrstvy, aktivitu ^{137}Cs [Bq/kg suš.], korekci na sušinu, kombinovanou standardní nejistotu ^{137}Cs [Bq/kg suš.], druh vzorku a úhrnnou aktivitu ^{137}Cs [Bq/m²]. Pro srovnání mezi jednotlivými lokalitami a vrstvami jsem vypracoval názorný graf s příslušnými údaji (Graf 1).

Tab. 2: Výsledky analýz na hmotnostní aktivitu ^{137}Cs v půdě, lokalita Knín

Odběrové místo č. 1				
Seznam vzorků		Korekce na sušinu	Aktivita ^{137}Cs [Bq/kg suš.]	Kombinovaná standardní nejistota ^{137}Cs [Bq/kg suš.]
Lokalita	Půdní vrstva			
Knín	A	0,9796	18	1
	B	0,9896	1,6	0,1
	C	0,9891	1,1	0,1

Tab. 3: Výsledky analýz na hmotnostní aktivitu ^{137}Cs v půdě, lokalita Těšínov u Protivína

Odběrové místo č. 2				
Seznam vzorků		Korekce na sušinu	Aktivita ^{137}Cs [Bq/kg suš.]	Kombinovaná standardní nejistota ^{137}Cs [Bq/kg suš.]
Lokalita	Půdní vrstva			
Těšínov u Protivína	A	0,9899	13	1
	B	0,9959	1,3	0,1
	C	0,9964	0,31	0,02

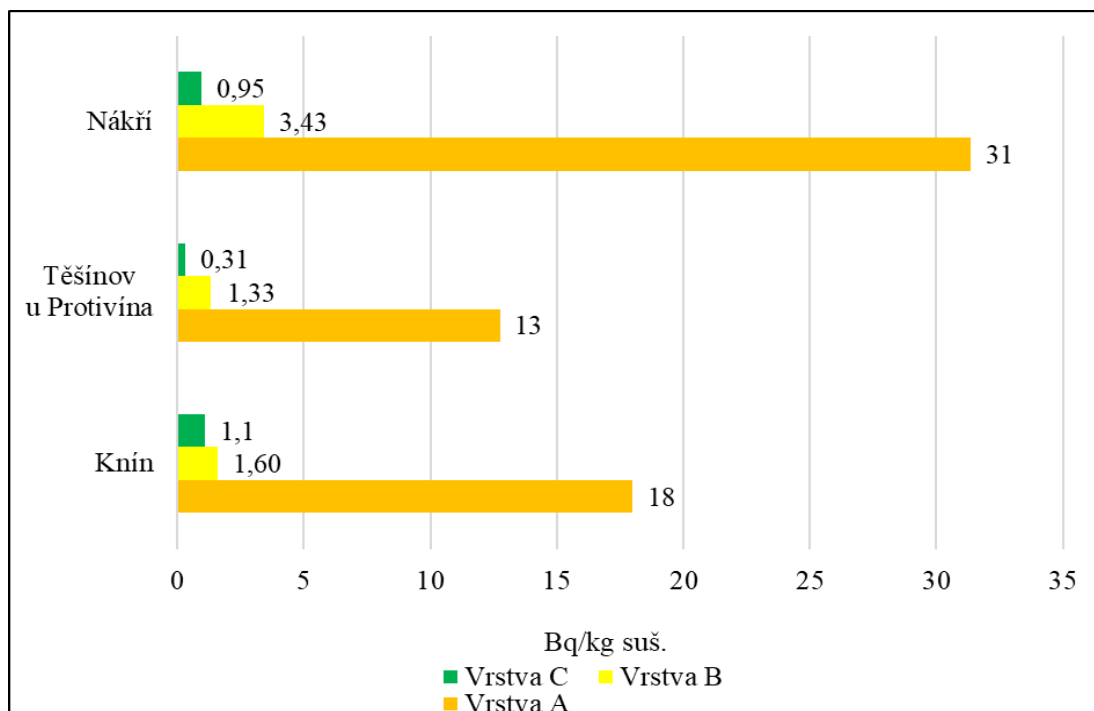
Tab. 4: Výsledky analýz na hmotnosti aktivitu ^{137}Cs v půdě, lokalita Nákří

Odběrové místo č. 3				
Seznam vzorků		Korekce na sušinu	Aktivita ^{137}Cs [Bq/kg suš.]	Kombinovaná standardní nejistota ^{137}Cs [Bq/kg suš.]
Lokalita	Půdní vrstva			
Nákří	A	0,9804	31	1
	B	0,9831	3,4	0,2
	C	0,9823	0,95	0,04

Tab. 5: Úhrnné měření aktivit ^{137}Cs v půdě, všech lokalit

Všechna odběrová místa		
Seznam vzorků		Aktivita ^{137}Cs [Bq/m ²]
Lokalita	Druh vzorku	
Knín	luční půda	584
Těšínov u Protivína	luční půda	480
Nákří	luční půda	958

Výsledkem měření kontaminace půdy ^{137}Cs bylo zjištěno, že nejvyšší hodnoty bylo dosaženo v odběrovém místě č. 3, v lokalitě Nákří. Aktivita ^{137}Cs ve svrchní vrstvě (A) zde dosáhla 31 Bq/kg suš. Střední vrstva (B) dosahovala nejvýše naměřených hodnot taktéž v lokalitě Nákří, bylo zde naměřeno 3,4 Bq/kg suš. Ve spodní vrstvě (C) byla naměřena nejvyšší hodnota na odběrovém místě č.1 v lokalitě Knín, činila 1,1 Bq/kg suš. Úhrnná měření aktivit ^{137}Cs v půdě byla v rozhraní od 480 do 958 Bq/kg suš. (Tab. 5).



Graf 1: Výsledky analýz na hmotnosti aktivitu ^{137}Cs v půdě, u daných lokalit a vrstev

5.2 Výsledky měření ^{137}Cs v biomase

Výsledky měření kontaminace biomasy ^{137}Cs byly zpracované do dílčích tabulek dle odběrových míst a lokalit (Tab. 6, 7, 8). Zároveň byl pro možné srovnání výsledných hodnot zpracován graf (Graf 2). Nejvyšší hodnoty bylo dosaženo v odběrovém místě č. 2, v lokalitě Těšínov u Protivína, aktivita ^{137}Cs v biomase zde dosáhla hodnoty 1,2 Bq/kg suš. Druhou nejvýše naměřenou hodnotou bylo 0,64 Bq/kg suš. na odběrovém místě č. 1 v lokalitě Knín. Nejnižší naměřená hodnota byla na odběrovém místě č. 3, v lokalitě Nákří, činila 0,26 Bq/kg suš. Odběrové místo č. 3, v lokalitě Nákří, která má nejnižší podíl hmotností aktivity ^{137}Cs v biomase má současně nejvyšší obsah hmotností aktivity ^{137}Cs v půdě.

Tab. 6: Výsledky analýz na hmotnosti aktivitu ^{137}Cs v biomase, lokalita Knín

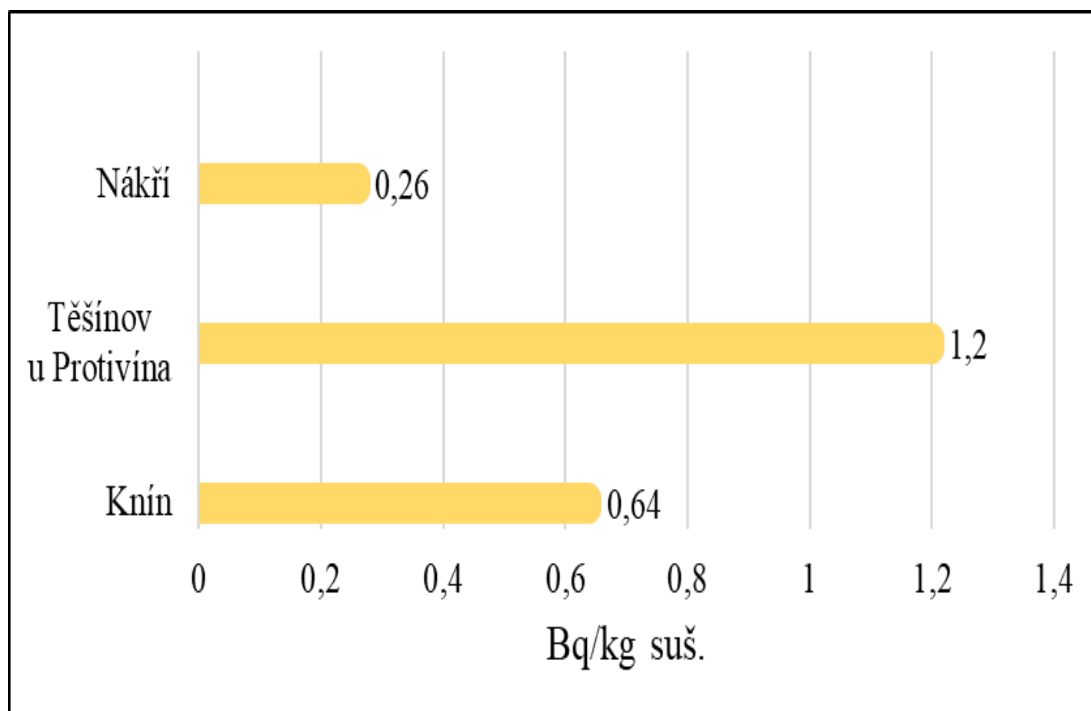
Odběrové místo č. 1				
Seznam vzorků		Korekce na sušinu	Aktivita ^{137}Cs [Bq/kg suš.]	Kombinovaná standardní nejistota ^{137}Cs [Bq/kg suš.]
Lokalita	Druh vzorku			
Knín	luční biomasa	0,9203	0,64	0,06

Tab. 7: Výsledky analýz na hmotnosti aktivitu ^{137}Cs v biomase, lokalita Těšínov u Protivína

Odběrové místo č. 2				
Seznam vzorků		Korekce na sušinu	Aktivita ^{137}Cs [Bq/kg suš.]	Kombinovaná standardní nejistota ^{137}Cs [Bq/kg suš.]
Lokalita	Druh vzorku			
Těšínov u Protivína	luční biomasa	0,9239	1,2	0,1

Tab. 8: Výsledky analýz na hmotnosti aktivitu ^{137}Cs v biomase, lokalita Nákří

Odběrové místo č. 3				
Seznam vzorků		Korekce na sušinu	Aktivita ^{137}Cs [Bq/kg suš.]	Kombinovaná standardní nejistota ^{137}Cs [Bq/kg suš.]
Lokalita	Druh vzorku			
Nákří	luční biomasa	0,9386	0,26	0,01



Graf 2: Výsledky analýz na hmotnostní aktivitu ^{137}Cs v biomase, u daných lokalit

5.3 Stanovení Transferového koeficientu

Zjištění transferového koeficientu (TK) je významné pro určení přestupu izotopu ^{137}Cs z půdy do rostlin a stanovení predikce budoucího přestupu izotopu ^{137}Cs z půdy do rostlin a kontaminaci plodin. Určení transferového koeficientu bylo provedeno na základě metodiky- Stanovení transferového koeficientu půda-rostlina v laboratoři (Ježková, Rulík, 2015).

Přestup izotopu ^{137}Cs z půdy do rostlin, tedy transferový koeficient, byl vypočítán pomocí váženého průměru hmotnostní aktivity v sušině rostliny (A_r) děleného váženým průměrem hmotnostní aktivity půdy korigované na obsah sušiny (A_p) (Ježková, Rulík, 2015).

Vzorec pro výpočet $TK = \frac{A_r}{A_p}$

TK-transferový koeficient

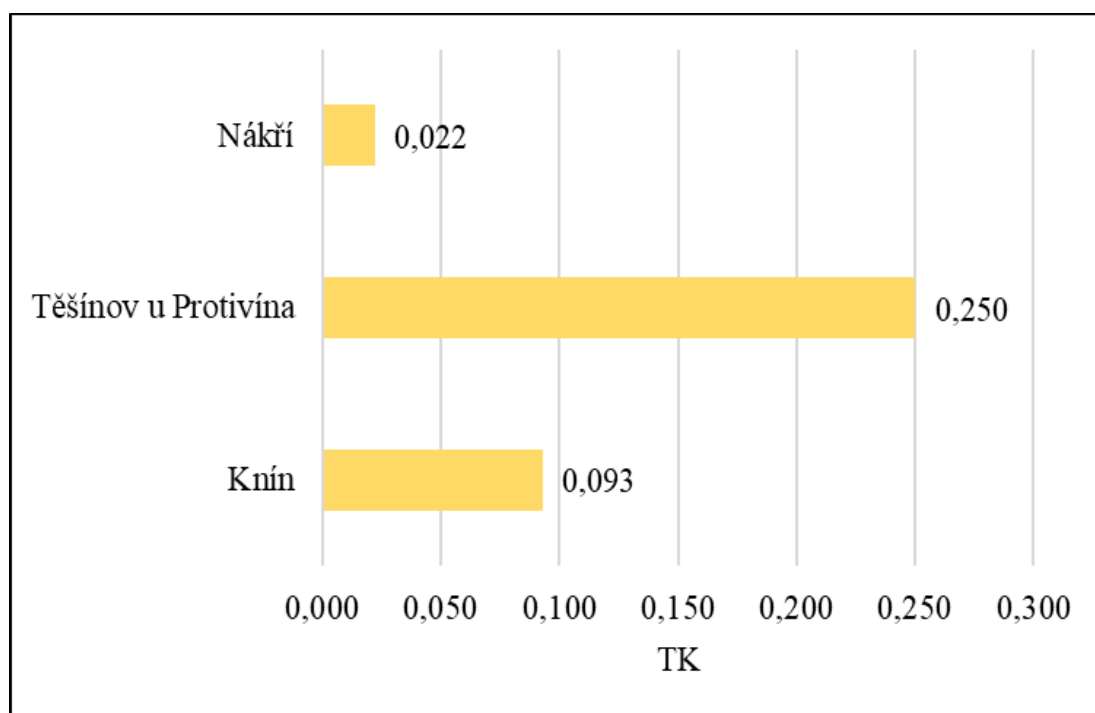
A_r -vážený průměr hmotnostní aktivity v sušině rostliny

A_p -vážený průměr hmotnostní aktivity půdy korigované na obsah sušiny

Výsledky transferového koeficientu byly zpracované do jedné tabulky (Tab. 9), která obsahuje tyto údaje: číslo odběrového místa, název lokality, druh biotopu, hmotnostní aktivitu ^{137}Cs v biomase, průměr hmotnostní aktivity ^{137}Cs v půdě a výsledné hodnoty transferového koeficientu. Pro možné srovnání výsledných hodnot jsem zpracoval graf (Graf 3).

Tab. 9: Výsledky transferového koeficientu jednotlivých lokalit

Odběrové místo č.	Název lokality	Druh biotopu	Hmotnostní aktivita ¹³⁷ Cs v biomase [Bq/kg suš.]	Průměr hmotnostní aktivity ¹³⁷ Cs v půdě [Bq/kg suš.]	Transferový koeficient
1	Knín	pastvina	0,64	6,9	0,093
2	Těšínov u Protivína	pastvina	1,2	4,798	0,250
3	Nákří	pastvina	0,26	11,910	0,022



Graf 3: Výsledky transferového koeficientu jednotlivých lokalit

6. Diskuze

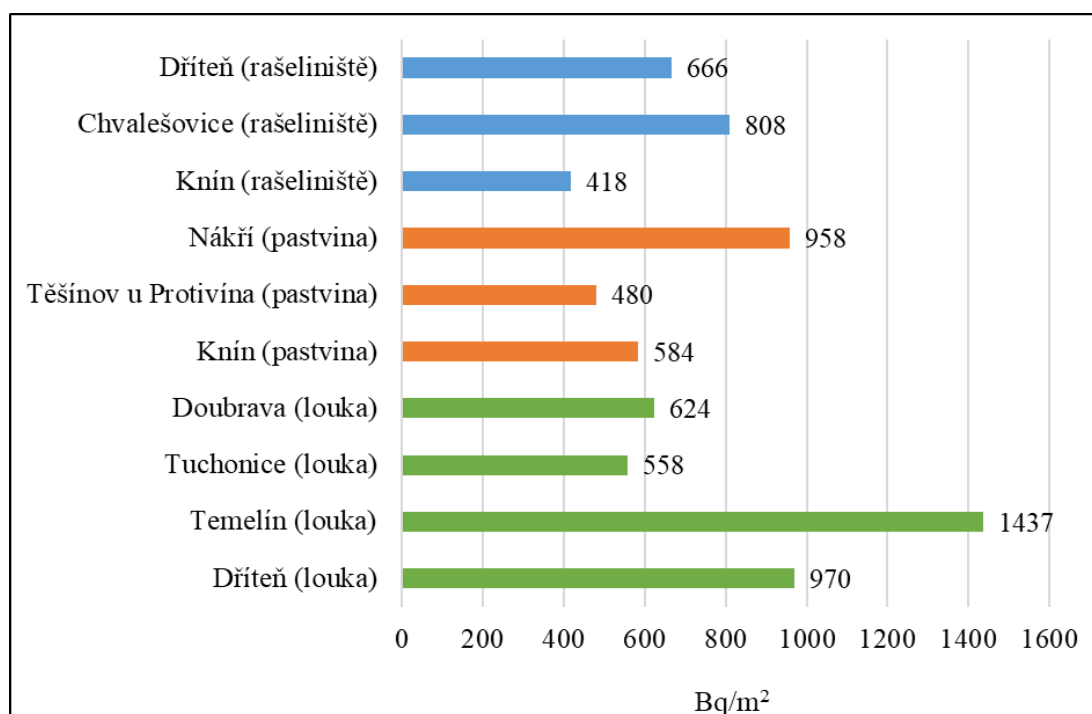
Ionizující záření má vliv na veškeré živé organismy, živočichy a člověka. Největší podíl na celkovém ozáření obyvatel má ozáření z přírodních zdrojů. Ozáření z přírodních zdrojů je nerovnoměrné a regulace tohoto ozáření je velmi složitá. Do přírodních zdrojů záření řadíme např. potravu, kosmické záření, půdu a radon. Mezi umělé zdroje záření patří např. jaderné elektrárny, havárie jaderné elektrárny v Černobyli, spad z testů jaderných zbraní, nukleární medicína a lékařská radiologie. Sledování obsaženého podílu radionuklidu v potravinách je důsledkem činností souvisejících s jadernými haváriemi a testováním jaderných zbraní.

Nejvýznamnějším zdrojem kontaminace izotopem ^{137}Cs na našem území byl průchod kontaminovaného vzdušného masu. Ten byl následkem havárie Jaderné elektrárny v Černobyli roku 1986 kde docházelo k úniku radioaktivních částic do ovzduší.

Vlivem těchto událostí byl vytvořen projekt, jenž se zabývá stavem a kontrolou kontaminace ^{137}Cs v biomase a půdách. Má bakalářská práce se zabývá množstvím ^{137}Cs v biomase a půdách u daných lokalit a jeho transferu z půdy do rostlin. Výsledky byly porovnány s několika kolegy, kteří se zúčastnili a vypracovali práci na podobné či stejné téma.

6.1 Komparace plošné aktivity ^{137}Cs v půdě

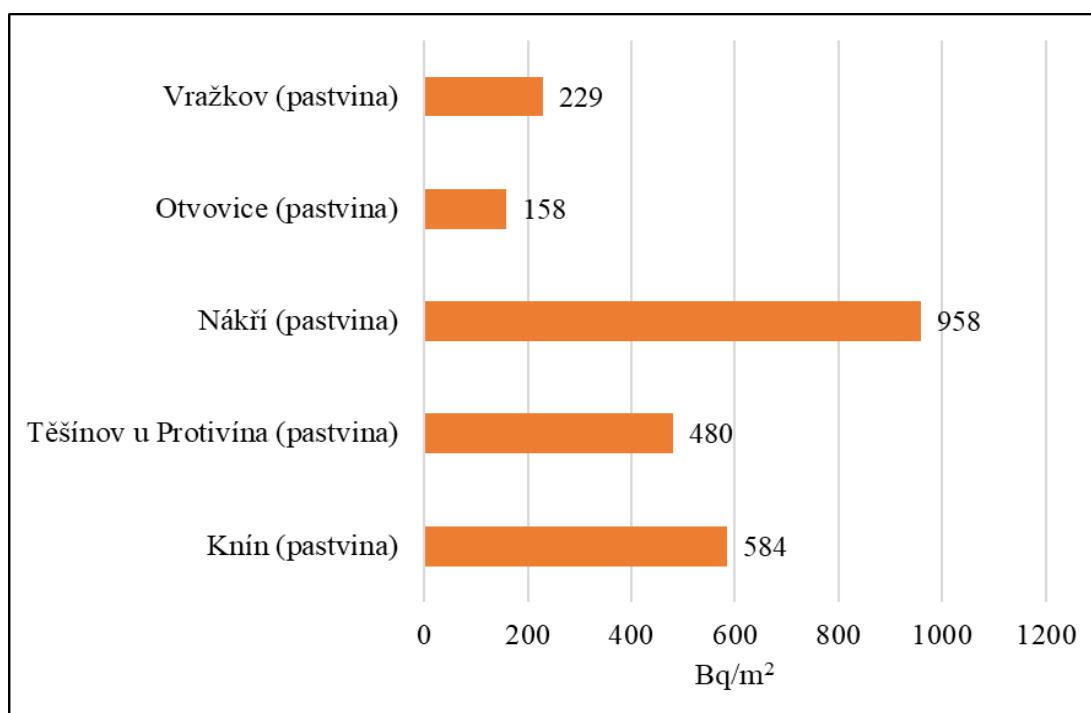
Porovnání výsledných hodnot plošné aktivity ^{137}Cs z odebraných půdních vzorků v lokalitách nacházejících se v havarijní zóně jaderné elektrárny Temelín je zobrazeno v následujícím grafu (Graf 4).



Graf 4: Plošná aktivita ^{137}Cs v půdě u lokalit v havarijní zóně JE Temelín

Půdní vzorek odebrán z lokality Temelín dosahoval nejvyšších hodnot, bylo zde naměřeno 1437 Bq/m² (Kočer, 2020). Druhá nejvyšší hodnota byla v lučním biotopu, v lokalitě Dříteň. Výsledná hodnota zde dosáhla 970 Bq/m² (Kočer, 2020). Třetí nejvyšší hodnota byla naměřena v pastevním biotopu lokality Nákří 958 Bq/m². Nejnižší naměřenou hodnotou bylo 418 Bq/m² (Vinohradský, 2020) v biotopu rašelin lokalitě Knín. V lokalitě Knín byl též odebrán půdní vzorek z pastevního biotopu, jehož naměřená hodnota činila 584 Bq/m². Ačkoliv byly tyto dvě hodnoty odebrány ve stejné lokalitě, rozdíl mezi nimi dosáhl 166 Bq/m².

Následně jsem zpracoval graf (Graf 5) a provedl komparaci mých výsledných hodnot plošné aktivity ¹³⁷Cs s dalšími pastevními biotopy a daty kolegů.

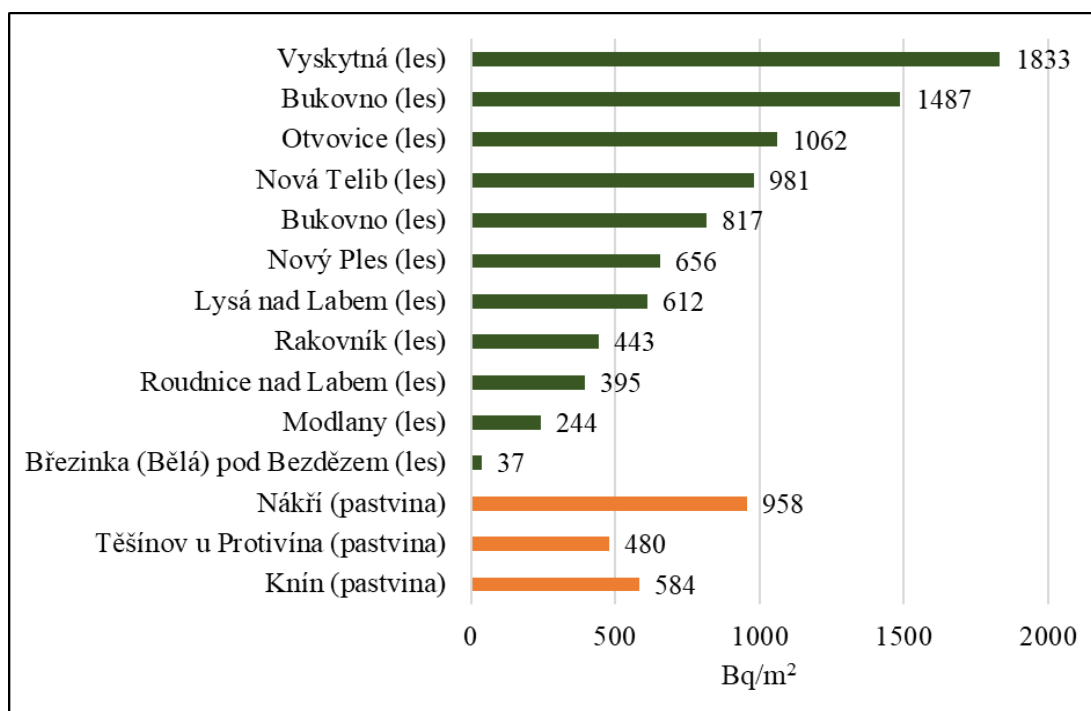


Graf 5: Plošná aktivita ¹³⁷Cs v půdě, pastevních biotopech

Prvních třech nejvyšších hodnot plošné aktivity ¹³⁷Cs v půdě pastevního biotopu bylo dosaženo u lokalit nacházejících se v havarijní zóně jaderné elektrárny Temelín. Nejnižší hodnota 158 Bq/m² byla naměřena v lokalitě Otovice (Stádníková, 2019). Druhou nejnižší byla lokalita Vražkov s hodnotou 229 Bq/m² (Hofmanová, 2019). Rozdíl mezi nejvyšší a nejnižší výslednou hodnotou činí 800 Bq/m². Pokud opomeneme lokalitu Nákří s nejvyšší naměřenou hodnotou, jež je 958 Bq/m², jsou hodnoty zbylých dvou míst, nenacházejících se v havarijní zóně JE Temelín, o více než polovinu menší než u lokalit, které jsou v této zóně situovány.

Tento jev může být zapříčiněn průchodem kontaminovaného vzdušného masu roku 1986 nad územím naší země a výskytem častějších srážek u daných lokalit. Nemůžeme však vyloučit eventualitu, že příčinou těchto hodnot může být jaderná elektrárna Temelín. Navzdory těmto výsledkům se domnívám, že JE Temelín nemá vliv na změřené hodnoty u lokalit v její havarijní zóně.

Následně jsem zpracoval graf (Graf 6) pro porovnání změřených hodnot v půdě lesního biotopu s pastevním biotopem.



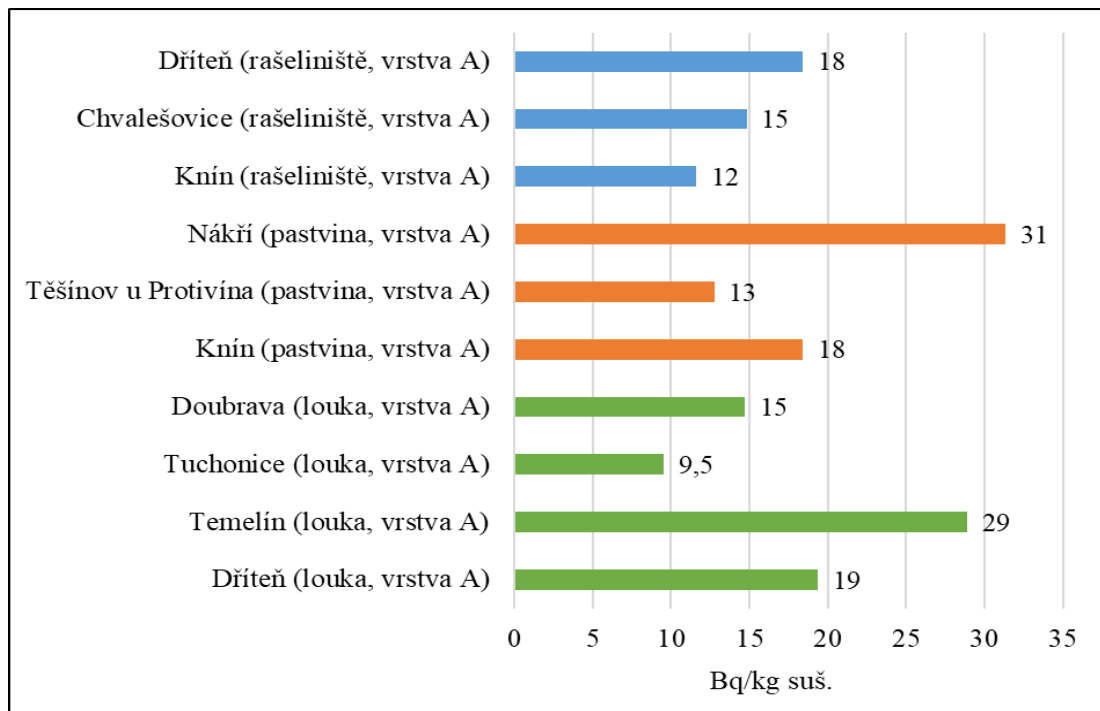
Graf 6: Plošná aktivita ¹³⁷Cs v půdě, lesního a pastevního biotopu

Ze všech odběrových míst bylo v lokalitě Vyskytná naměřeno nejvyšší hodnoty, jež činila 1833 Bq/m² (Doskočilová, 2019). Následující nejvyšší hodnota byla v lokalitě Bukovno 1487 Bq/m² (Finkous P., 2019). Třetí nejvýše zjištěná hodnota byla v lokalitě Otovice, a to 1062 Bq/m² (Stádníková, 2019). V lokalitě Nová Telib bylo zjištěno 981 Bq/m² (Šoltýs, 2020). Tato lokalita je poslední, kde došlo k naměření vyšších hodnot než u lokality pastevního biotopu. Nejnížší zjištěnou hodnotou bylo 37 Bq/m² v lokalitě Březinka pod Bezdězem (Finkous M., 2019). Hodnoty plošné aktivity ¹³⁷Cs v půdě lesního biotopu se u zbývajících lokalit Bukovno (Finkous P., 2019), Nový Ples (Šestáková, 2019), Lysá nad Labem (Bouška, 2020), Rakovník (Urbanová, nepublikované výsledky z roku 2017), Roudnice nad Labem (Hofmanová, 2019) a Modlany (Šváb, 2020) pohybovaly v rozpětí od 244 do 817 Bq/m².

Vyšší hodnoty plošné aktivity ¹³⁷Cs v půdě lesního biotopu mohou být zapříčiněny průchodem kontaminovaného vzdušného masu roku 1986 nad územím naší země a výskytem častějších srážek u daných lokalit. Také může být příčinou vyšších hodnot zjištěných z lesních půd větší absorbování kontaminovaného vzdušného masu.

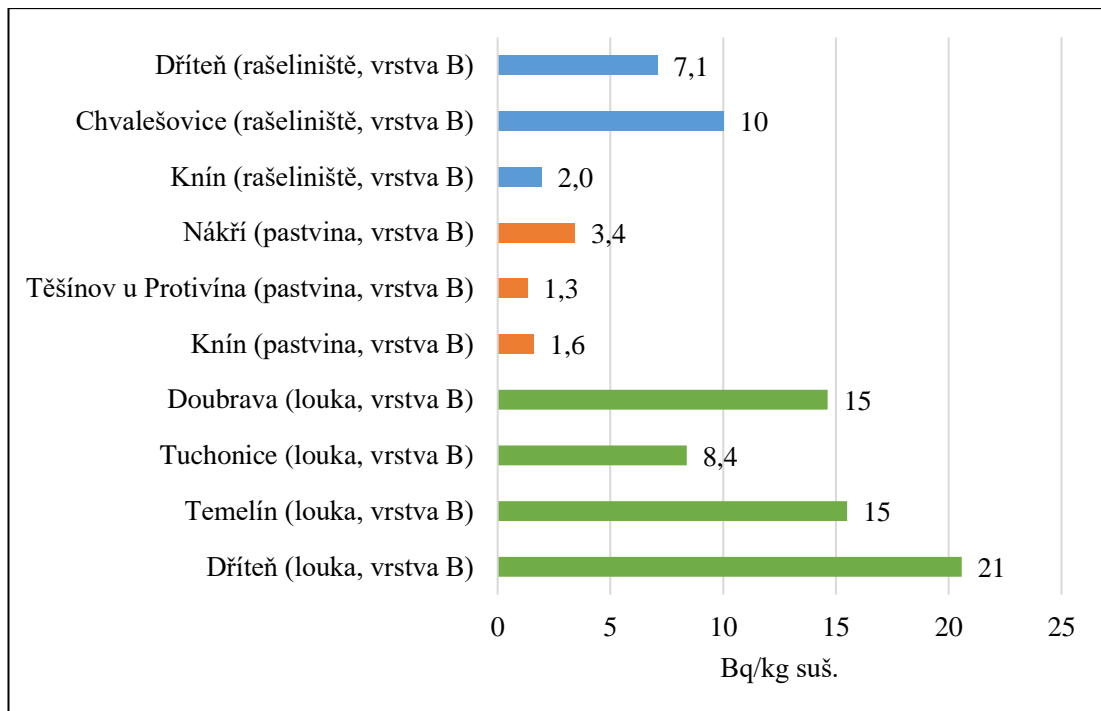
6.2 Komparace hmotnostní aktivity ¹³⁷Cs v půdě

Porovnání výsledných hodnot hmotnostní aktivity ¹³⁷Cs z odebraných půdních vzorků v lokalitách, nacházejících se v havarijní zóně jaderné elektrárny Temelín, je zobrazeno v následujících grafech (Graf 7, 8, 9), zpracovaných k jednotlivým vrstvám A, B a C.



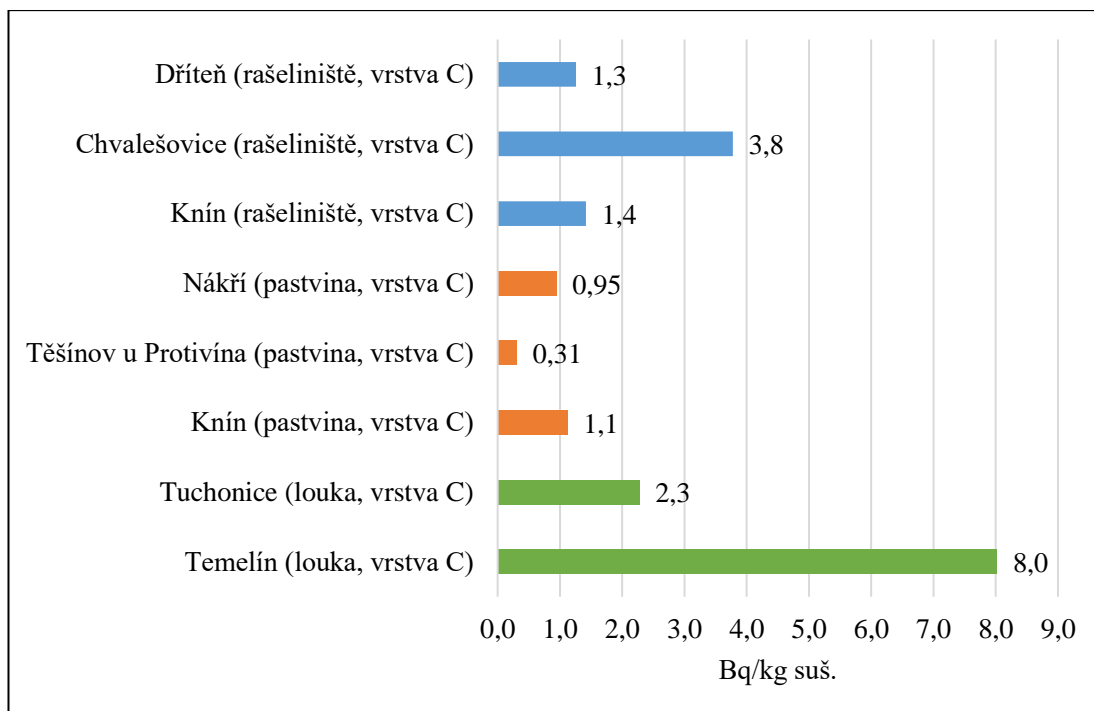
Graf 7: Hmotnostní aktivita ^{137}Cs v půdě u lokalit v havarijní zóny JE Temelín dle vrstev

Vrstva (A) dosahovala nejvyšších hodnot hmotnostní aktivity ^{137}Cs ze všech vrstev. Nejvyšší zjištěná hodnota byla v lokalitě Nákří 31 Bq/kg suš. pastevního biotopu. Druhou nejvyšší zjištěnou hodnotou bylo 29 Bq/kg suš. z půdního vzorku lučního biotopu v lokalitě Temelín (Kočer, 2020). Třetí nejvyšší naměřenou hodnotou bylo 19 Bq/kg suš. v lokalitě Dříteň (Kočer, 2020). Nejnižší hodnota byla v lokalitě Tuchonice činila 9,5 Bq/kg suš. (Kočer, 2020). Rozhraní ostatních lokalit Doubrava (Kočer, 2020), Chvalešovice, Knín, Dříteň (Vinohradský, 2020), Těšínov u Protivína a Knín byla od 12 do 18 Bq/kg suš. Hodnota rozdílu mezi zjištěnou nejvyšší a nejnižší hodnotou činila 21,5 Bq/kg suš. Nejvyššího rozdílu u stejného typu biotopu bylo dosaženo z půdních vzorků lučního typu, hodnota byla 19,5 Bq/kg suš. Při pozorování výsledných hodnot je viditelné, že nejvíce kontaminovanou vrstvou izotopem ^{137}Cs je svrchní vrstva (A). V následujících vrstvách (B) a (C) hodnoty aktivity ^{137}Cs klesají.



Graf 8: Komparace hmotnostní aktivity ^{137}Cs v půdě u lokalit v havarijní zóně JE Temelín dle vrstvy (B)

Nejvyšší hodnotou hmotnostní aktivity ^{137}Cs u středních vrstev (B) byla 21 Bq/kg suš. v lokalitě Dříteň (Kočer, 2020) z půdního vzorku lučního biotopu. Druhou nejvyšší naměřenou hodnotou bylo 15,4 Bq/kg suš. v lokalitě Temelín (Kočer, 2020). Třetí nejvyšší zjištěná hodnota byla 15 Bq/kg suš. v lokalitě Doubrava (Kočer, 2020). Zjištěná hodnota 1,3 Bq/kg suš., v lokalitě Těšínov u Protivína z půdního vzorku pastevního biotopu, byla nejnižší naměřenou hodnotou u středních vrstev (B) z lokalit situovaných v havarijní zóně JE Temelín. Naměřené hodnoty ostatních lokalit Knín, Chvalešovice, Dříteň (Vinohradský, 2020), Tuchonice (Kočer, 2020), Knín a Nákří byly v rozhraní od 1,6 do 8,4 Bq/kg suš. Půdní vzorky odebrané z lučního biotopu dosahovaly nejvyšších hodnot ve střední vrstvě (B) z lokalit v havarijní zóně JE Temelín. Lokalita Dříteň dosáhla vyšší naměřené hodnoty ve střední vrstvě (B) o 1,7 Bq/kg suš. než u svrchní vrstvy (A).

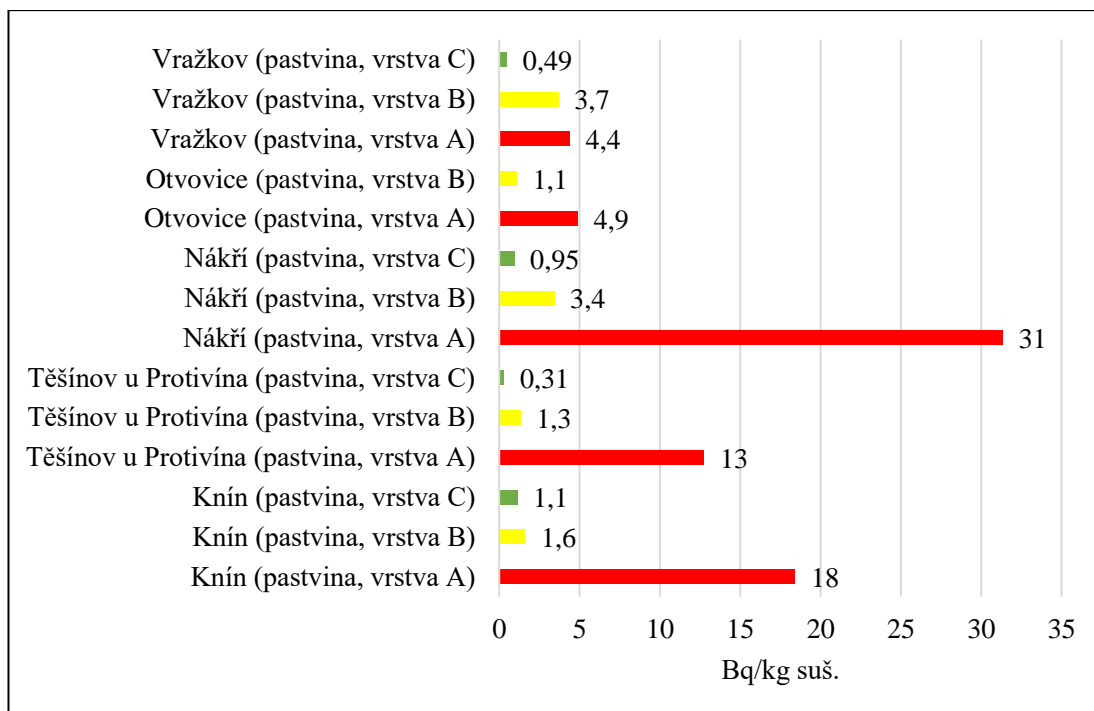


Graf 9: Komparace hmotnostní aktivity ^{137}Cs v půdě u lokalit v havarijní zóně JE Temelín dle vrstvy (C)

Ve spodních vrstvách (C) bylo dosaženo nejvyšší hodnoty 8,0 Bq/kg suš. v lokalitě Temelín (Kočer, 2020) z půdního vzorku lučního biotopu. Nejvyšší hodnota z půdního vzorku typů rašelin 3,8 Bq/kg suš. v lokalitě Chvalešovice (Vinohradský, 2020) je zároveň druhou nejvyšší hodnotou ze všech spodních vrstev (C), a to u lokalit nacházejících se v havarijní zóně JE Temelín. Třetí nejvyšší hodnotou je 2,3 Bq/kg suš. v lokalitě Tuchonice (Kočer, 2020). Nejnižší hodnoty vrstvy (C) byly získané z půdních vzorků pastevního biotopu, z nichž nejnižší hodnota činí 0,31 Bq/kg suš v lokalitě Těšínov u Protivína.

Ve svrchní vrstvě (A) byly průměrně naměřeny nejvyšší hodnoty hmotnostní aktivity ^{137}Cs v havarijní zóně jaderné elektrárny Temelín u vzorků půd z pastevních biotopů, ačkoliv v následujících vrstvách (B) a (C) jejich hodnoty klesaly a dosahovaly nejnižších hodnot. Získané hodnoty z půdních vzorků lučních biotopů u svrchních vrstev (A) byly průměrně druhými nejvyššími, ale v následných nižších vrstvách dosahovaly nejvyšších hodnot. Nemůžeme vyloučit eventualitu, že příčinou těchto hodnot může být jaderná elektrárna Temelín. Navzdory těmto výsledkům se domnívám, že JE Temelín nemá vliv na změřené hodnoty u lokalit v její havarijní zóně.

Komparace hmotnostní aktivity ^{137}Cs u odebraných půdních vzorků z pastevních biotopů dle vrstev nebyla zpracována u všech lokalit z důvodu chybějících hodnot kontaminace ^{137}Cs pouze u lokality Otovice ze spodní vrstvy (C).



Graf 10: Komparace hmotnostní aktivity ^{137}Cs v půdě, pastevních biotopů dle vrstev

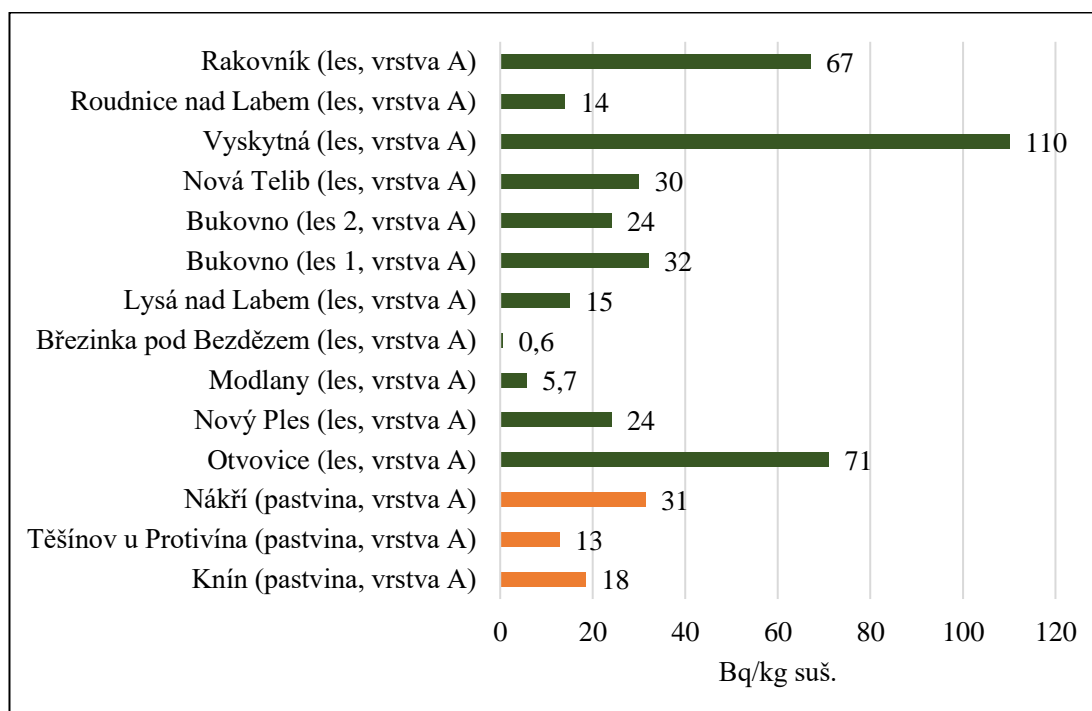
Při porovnávání hmotnostní aktivity ^{137}Cs svrchních vrstev (A) u všech lokalit pastevního typu bylo naměřeno nejvyšší hodnoty 31 Bq/kg suš. v lokalitě Nákří. Druhou nejvyšší hodnotou bylo 18 Bq/kg suš. v lokalitě Knín. Třetí nejvyšší hodnota byla 13 Bq/kg suš. v lokalitě Těšínov u Protivína. Nejnižší zjištěnou hodnotou bylo 4,4 Bq/kg suš. v lokalitě Vražkov (Hofmanová, 2019). U zbylé lokality Otovice činila hodnota 4,9 Bq/kg suš. (Stádníková, 2019).

U středních vrstev B bylo naměřeno nejvyšší hodnoty 3,7 Bq/kg suš. v lokalitě Vražkov (Hofmanová, 2019). Druhou nejvyšší naměřenou hodnotou u vrstev tohoto patra byla 3,4 Bq/kg suš. lokality Nákří. První nejnižší hodnou bylo 1,1 Bq/kg suš. v lokalitě Otovice (Stádníková, 2019). Druhá nejnižší hodnota 1,3 Bq/kg suš. byla naměřena u lokality Těšínov u Protivína.

Spodní vrstva (C) dosáhla nevyšší hodnoty 1,1 Bq/kg suš. v lokalitě Knín. Z tohoto typu vrstvy byla v lokalitě Těšínov u Protivína zjištěna nejnižší hodnota 0,31 Bq/kg suš.

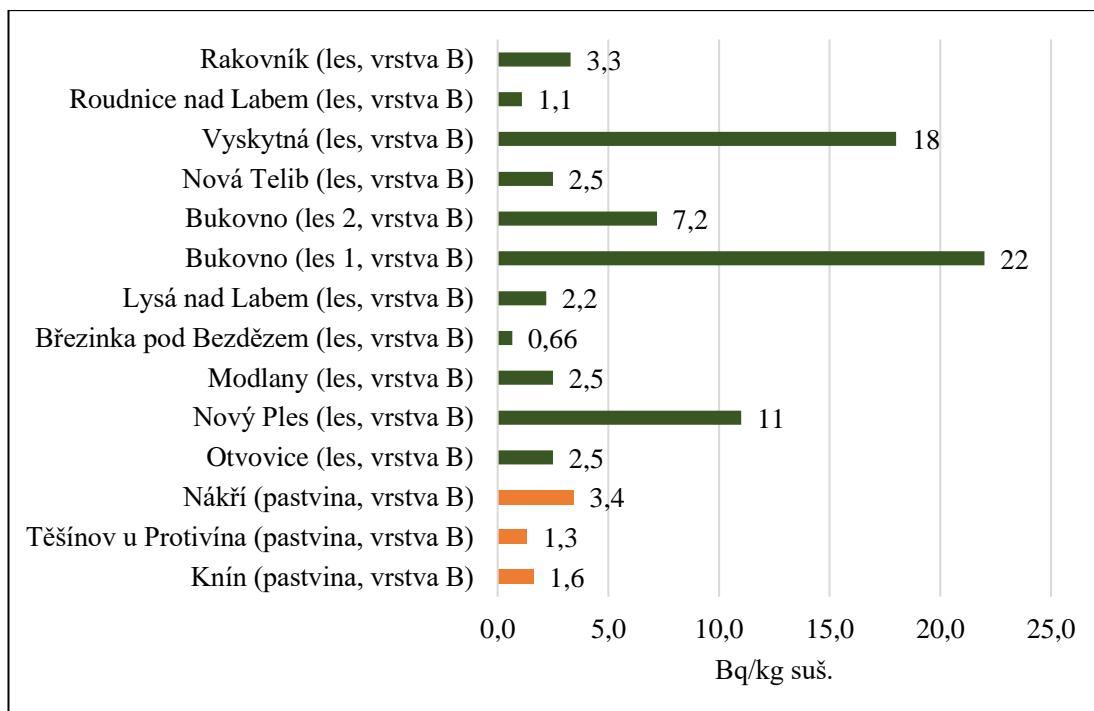
Z porovnání výsledků těchto hodnot je patrné, že všechny lokality dosahovaly nejvyšší hodnoty vždy u svrchní vrstvy (A). Hodnoty zbývajících vrstev (B) a (C) klesají. Zajímavé je, že lokality Knín, Nákří a Těšínov u Protivína, nacházející se v havarijní zóně JE Temelín, dosáhly ve vrstvě (A) rozdílně mnohem vyšších hodnot než ostatní lokality. V následujících vrstvách (B) a (C) již nebyl v naměřených hodnotách tak vysoký rozdíl, jako znázorňuje výše uvedený graf (Graf 10). Tento jev může být zapříčiněn vlivem pH na sorpci cesia, velikostí půdních částic a podnebnými podmínkami (Giannakopoulou et al., 2007).

Poté jsem provedl porovnání zjištěných hodnot aktivity ^{137}Cs v půdě pastevního biotopu z lokalit situovaných v havarijní zóně JE Temelín s půdními vzorky lesního typu v různých lokalitách na území České republiky a zpracoval pro lepší zobrazení ke každé vrstvě daného typu graf (Graf 11, 12, 13).



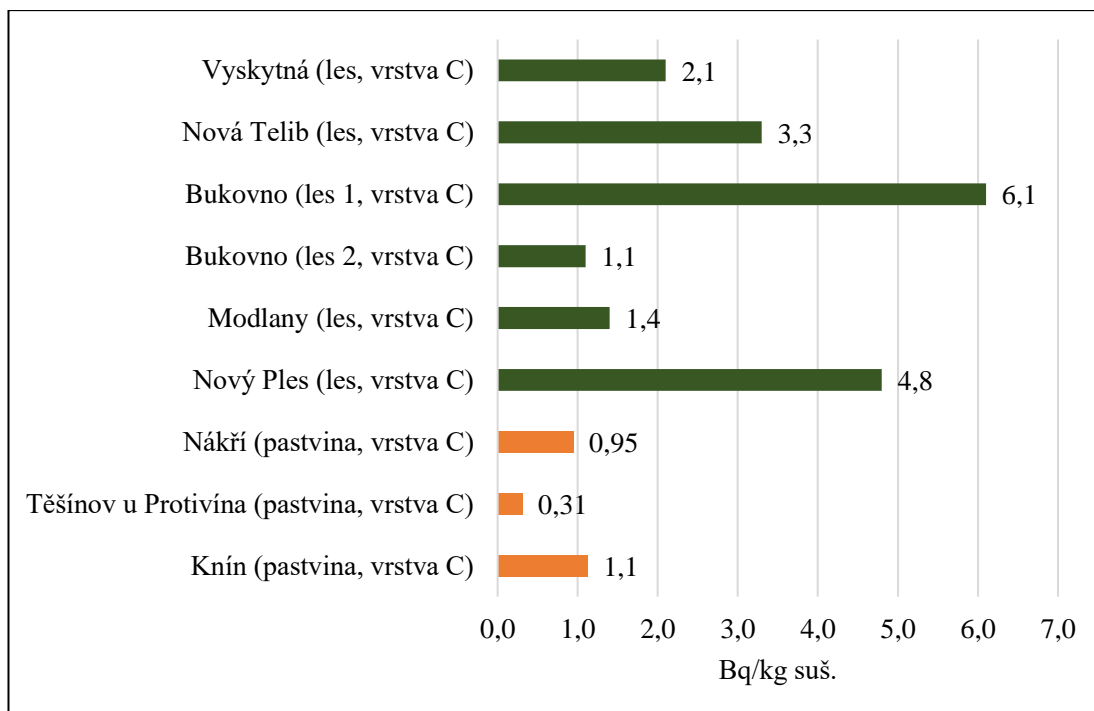
Graf 11: Komparace hmotnostní aktivity ^{137}Cs v půdě, lesního a pastevního biotopu dle vrstvy (A)

Hmotnostní aktivita ^{137}Cs z půdních vzorků lesního biotopu ve svrchní vrstvě (A) dosáhla nejvyšší hodnoty v lokalitě Vyskytná 110 Bq/kg suš. (Doskočilová, 2019). Následující nejvyšší hodnota 71 Bq/kg suš. byla naměřena v lokalitě Otovice (Stádníková, 2019). V lokalitě Rakovník byla zjištěna třetí nejvyšší hodnota 67 Bq/kg suš. (Urbanová, nepublikované výsledky z roku 2017). Nejnižší hodnotou byla 0,6 Bq/kg suš. v lokalitě Březinka pod Bezdězem (Finkous M., 2019). Rozdíl mezi nejvyšší a nejnižší naměřenou hodnotou činil 109,4 Bq/kg suš. Hodnoty ostatních lokalit Nová Telib (Šoltýs, 2020), Bukovno les 2 (Finkous M., 2019), Nový Ples (Šestáková, 2019), Modlany (Šváb, 2020), Roudnice nad Labem (Hofmanová, 2019), Bukovno les 1 (Finkous P., 2019), Lysá nad Labem (Bouška, 2020), lesního typu se pohybovaly v rozhraní od 5,7 do 32 Bq/kg suš. Nejvyšší naměřené hodnoty hmotnostní aktivity ^{137}Cs v půdě z vrstvy (A) dosáhly mezi pastvením a lesním biotopem značeného rozdílu jenž činil 79 Bq/kg suš.



Graf 12: Komparace hmotnostní aktivity ^{137}Cs v půdě, lesního a pastevního biotopu dle vrstvy (B)

Kontaminace ^{137}Cs z půdních vzorků lesního biotopu ve střední vrstvě (B) dosáhla nejvyšší hodnoty v lokalitě Bukovno les 2 22 Bq/kg suš. (Finkous P., 2019). Následující nejvyšší hodnota 18 Bq/kg suš. byla naměřena v lokalitě Vyskytná (Doskočilová, 2019). V lokalitě Nový Ples byla zjištěna třetí nejvyšší hodnota 11 Bq/kg suš. (Šestáková, 2019). Nejnižší hodnotou byla 0,66 Bq/kg suš. v lokalitě Březníka pod Bezdězem (Finkous M., 2019). Rozdíl mezi nejvyšší a nejnižší naměřenou hodnotou činil 21,34 Bq/kg suš. Hodnoty ostatních lokalit Rakovník (Urbanová, nepublikované výsledky z roku 2017), Roudnice nad Labem (Hofmanová, 2019), Nová Telib (Šoltýs, 2020), Bukovno les 1 (Finkous P., 2019), Lysá nad Labem (Bouška, 2020), Modlany (Šváb, 2020), Otovice (Stádníková, 2019), lesního typu se pohybovaly v rozhraní od 1,1 do 7,2 Bq/kg suš. Nejvyšší naměřené hodnoty hmotnostní aktivity ^{137}Cs v půdě ze střední vrstvy (B) dosáhly mezi pastvením a lesním biotopem vysokého rozdílu, jenž byl vyšší, než u svrchní vrstvy (A) a činil 18,6 Bq/kg suš. Tudíž hodnota zde byla 6,4krát vyšší v lesním typu půdy než u pastevního biotopu.



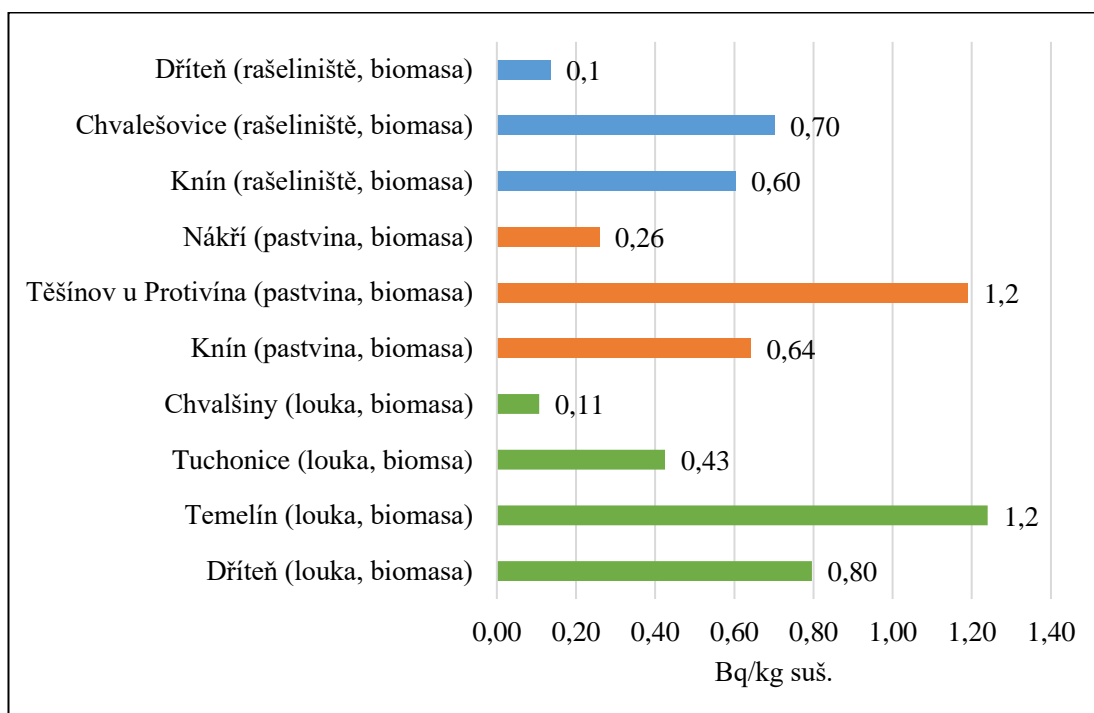
Graf 13: Komparace hmotnostní aktivity ^{137}Cs v půdě, lesního a pastevního biotopu dle vrstvy (C)

Poslední komparace podílu hmotnostní aktivity ^{137}Cs v půdě mezi lesním a pastevním biotopem byla provedena u spodní vrstvy (C). Nejvyšší hodnoty 6,1 Bq/kg suš. bylo dosaženo v lokalitě Bukovno les 1 (Finkous P., 2019), tato lokalita dosáhla nejvyšší hodnoty též u střední vrstvy (B). Druhou nejvyšší hodnotou bylo 4,8 Bq/kg suš. v lokalitě Nový Ples (Šestáková, 2019). U této lokality bylo zjištěno poměrně vyšších hodnot i ve střední vrstvě (B), kde tato lokalita byla třetí nejvyšší. Nejnižší zjištěnou hodnotou bylo 1,1 Bq/kg suš. v lokalitě Bukovno les 2 (Finkous P., 2019). Naměřené hodnoty zbývajících lokalit Modlany (Šváb, 2020), Nová Telib (Šoltýs, 2020) a Vyskytná (Doskočilová, 2019) byly v rozhraní od 1,4 do 3,3 Bq/kg suš. U lokalit Rakovník, Roudnice nad Labem, Lysá nad Labem, Březinka pod Bezdězem a Otovice nebylo možné provést komparaci hodnot spodní vrstvy (C) z důvodu chybějících dat.

Z výše vypracovaných grafů je patrné, že půdy lesního typu obsahují průměrně nejvyšší hodnoty hmotnostní aktivity ^{137}Cs ze všech uvedených typů půd. Důsledkem tohoto jevu je absorpce korun smrkového porostu radioaktivních částic a jejich přesunem do lesní půdy vlivem podnebného klimatu (Bunzl et al., 1989).

6.3 Komparace hmotnostní aktivity ^{137}Cs v biomase

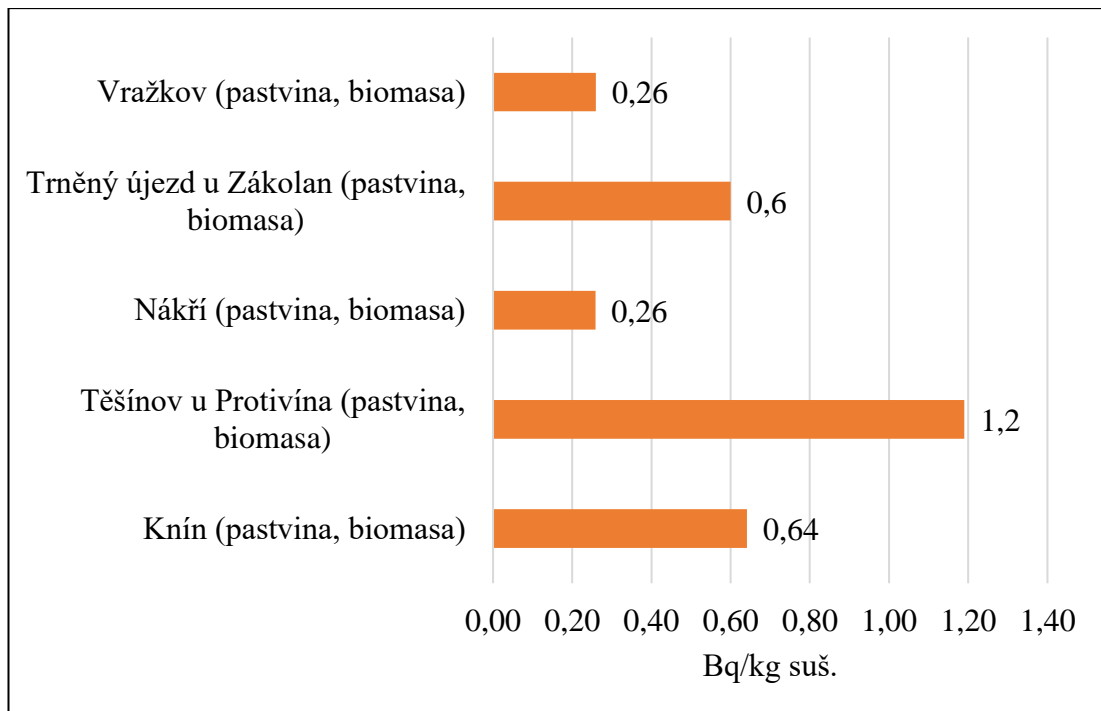
Porovnání naměřených hodnot hmotnostní aktivity ^{137}Cs v biomase s výsledky mých kolegů jsem provedl nejprve u lokalit nacházejících se v havarijní zóně jaderné elektrárny Temelín. Pro lepší porovnání těchto výsledků jsem zpracoval níže uvedený graf (Graf 14).



Graf 14: Komparace hodnot aktivity ^{137}Cs v Biomase u lokalit v havarijní zóny JE Temelín

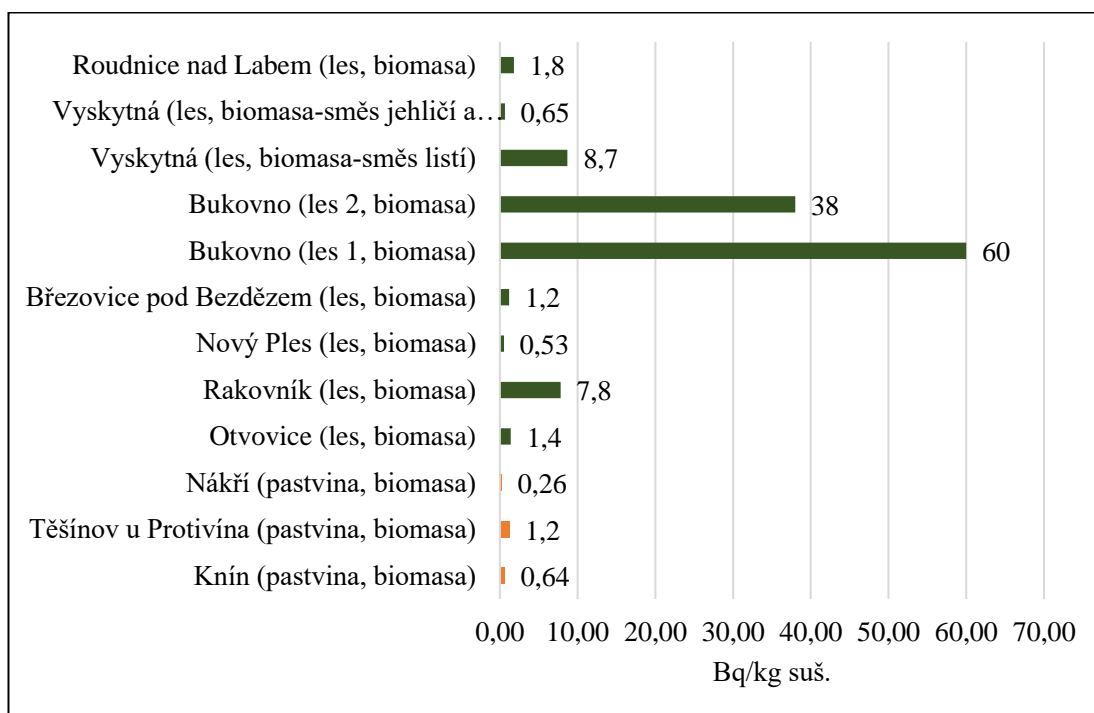
Odebrané vzorky biomasy z lučního biotopu v lokalitě Temelín dosáhly nejvyšší hodnoty. Bylo zde naměřeno 1,24 Bq/kg suš. (Kočer, 2020). Druhou nejvyšší hodnotou bylo 1,19 Bq/kg suš. v lokalitě Těšínov u Protivína. Třetí nejvyšší hodnota byla naměřena v lokalitě Dříteň 0,80 Bq/kg suš. Nejnižší naměřenou hodnotou bylo 0,1 Bq/kg suš. v lokalitě Dříteň (Vinohradský, 2020) v biotopu rašelin. U lokality Knín, kde byl odebrán vzorek biomasy z pastevního a rašelinného biotopu, jsou hodnoty poměrně podobné, avšak lokalita Dříteň tento jev nevykazuje. Získané hodnoty z odběru biomasy lučního a rašelinného typu jsou u této lokality velmi rozdílné.

Následkem tohoto jevu mohou být eventuality jako vyšší obsah vlhkosti v rašelinném typu půd, čímž může ^{137}Cs pronikat do nižších pater půdních vrstev.



Graf 15: Komparace hodnot aktivity ^{137}Cs v biomase, pastevních biotopů

Naměřenými výsledky kontaminace ^{137}Cs v biomase u pastvinných biotopů bylo dosaženo nejvyšší hodnoty 1,2 Bq/kg suš. u lokality Těšínov u Protivína nacházející se v havarijní zóně jaderné elektrárny Temelín. Tato hodnota byla 4,6krát vyšší než u lokalit s nejnižší naměřenou hodnotou. Nejnižší dvě zjištěné hodnoty činily 0,26 Bq/kg suš. v lokalitě Vražkov (Hofmanová, 2019) a lokalitě Nákří. V lokalitě Knín byla naměřená hodnota 0,64 Bq/kg suš. Podobného výsledků dosáhla lokalita Trněný újezd u Zákolan s hodnotou 0,6 Bq/kg suš. (Stádníková, 2019). Vyšších hodnot bylo průměrně dosaženo u lokalit situovaných v havarijní zóně JE Temelín. Pro lepší možnost porovnání jednotlivých lokalit byl vypracován výše uvedený graf (Graf 15).



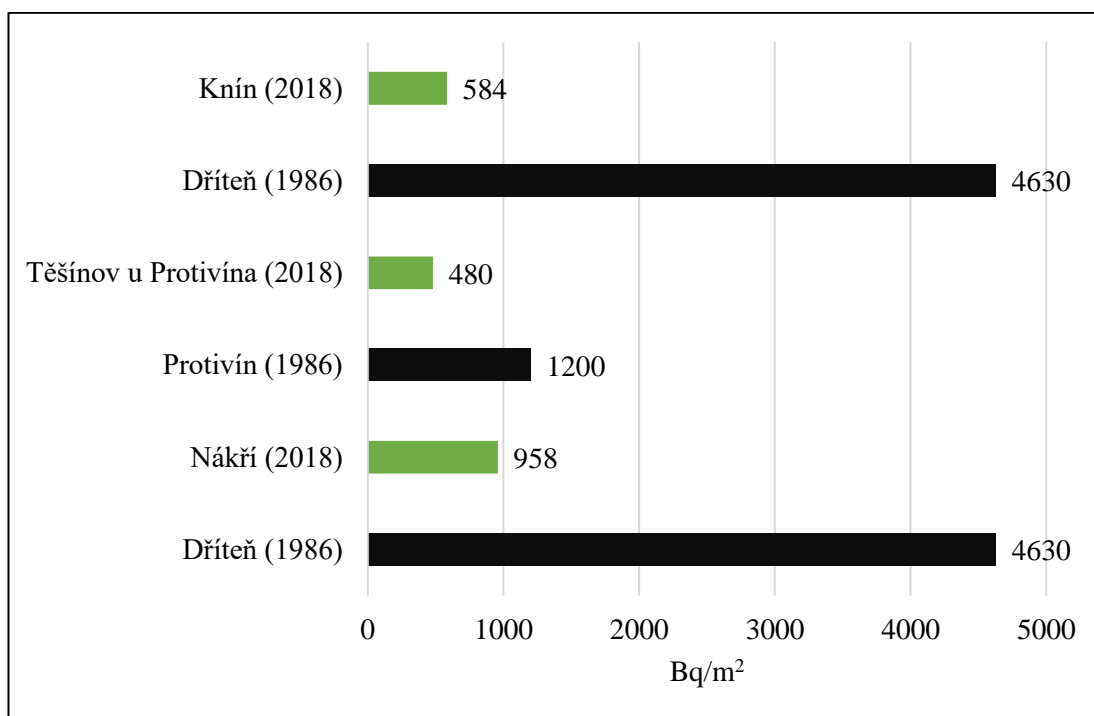
Graf 16: Komparace hodnot aktivity ^{137}Cs v biomase, lesních a pastevních biotopech

V lesních biotopech byly první dvě nejvyšší hodnoty aktivity ^{137}Cs v biomase zjištěny u lokalit Bukovno les 1, která činila 60 Bq/kg suš. a lokality Bukovno les 2, jenž byla 38 Bq/kg suš. (Finkous P., 2019). Třetí nejvyšší hodnotou byla 8,7 v lokalitě Vyskytná směs listí (Doskočilová, 2019). Nejnižší hodnota 0,53 Bq/kg suš. byla zjištěna v lokalitě Nový Ples (Šestáková, 2019). Ostatní lokality Roudnice nad Labem (Hofmanová, 2019), Vyskytná (Doskočilová, 2019), Březovice pod Bezdězem (Finkous M., 2019), Rakovník (Urbanová, nepublikované výsledky z roku 2017) a Otovice (Stádníková, 2019) dosahovaly hodnot aktivity ^{137}Cs v rozmezí od 0,65 do 7,8 Bq/kg suš. v biomase lesního typu. Rozdíl mezi nejnižší a nejvyšší hodnotou aktivity ^{137}Cs v biomase lesního typu činil 59,47 Bq/kg suš. Nejvyšší naměřená hodnota z biomasy lesního typu byla 50krát vyšší než hodnota naměřená v pastvinném biotopu. Při porovnání zjištěných hodnot dle výše zpracovaného grafu (Graf 16) je možno pozorovat, že v biomase lesního typu je mnohem více ^{137}Cs než v biomase pastvinného biotopu. V lokalitě Bukovno les 1 mohly zapříčinit takto vysoké hodnoty, mírné ale frekventované srážky z kontaminovaného vzdušného masu, které byly následkem havárie Jaderné elektrárny v Černobylu roku 1986.

6.4. Komparace hodnot plošné aktivity ^{137}Cs z roku 1986 s 2018

Po havárii v jaderné elektrárně Černobyl, roku 1986, se v České republice provedlo důkladné měření půdy na kontaminaci ^{137}Cs a ostatními radionuklidy. Uskutečněný průzkum ukázal aktivitu radionuklidu v oblasti havarijní zóny JE Temelín ze všech odebraných vzorků na střední úrovni. Tento jev byl zapříčiněn mnoha srážkami a jejich průchodem přes zničený reaktor a následným postupem nad územím naší země (Rulík, Helebrant, 2011). Pro komparaci hodnot plošné aktivity

^{137}Cs z roku 1986 s 2018 jsem vytvořil níže uvedený graf (Graf 17). Vybrané hodnoty k daným lokalitám jsem zvolil na základě měření vzdálenosti vzdušnou čarou k nejbližším odběrovým místům roku 1986. Lokalita Knín a Nákří jsou nejbližší k odběrovému místu Dříteň, jehož hodnota činila 4630 Bq/m² a lokalita Těšínov u Protivína k odběrovému místu Protivín, jehož hodnota byla 1200 Bq/m² (SÚRO, 1986). Komparaci naměřených hodnot v rozdílném časovém horizontu je možné sledovat významné snížení kontaminace ^{137}Cs . Vliv na snížení těchto hodnot bude do jisté míry i následkem poločasu rozpadu.



Graf 17: Komparace plošné aktivity ^{137}Cs z půdních rozborů v roce 1986 s 2018

7. Závěr

Následkem havárie jaderné elektrárny v Černobylu roku 1986 a přechodem kontaminovaného vzdušného masu nad územím severní polokoule se stal radionuklid ^{137}Cs nejvyskytovanějším radionuklidem v životním prostředí. Podíl však na tomto jevu nese i testování jaderných zbraní, a to převážně v druhé polovině 20. století. Kontaminací ^{137}Cs byla zasáhnuta i ČR, nad níž též došlo k přechodu kontaminované vzdušné masy.

Přestože od katastrofální události v Černobylu roku 1986 uběhlo 35 let a poločas rozpadu ^{137}Cs činí cca. 30 let, tak i po uplynutí této doby od havárie můžeme nalézat důsledky v životním prostředí, a to pomocí měření hodnot radionuklidu ^{137}Cs . Pomocí své bakalářské práce jsem se se svými kolegy přidal k projektu, který vznikl ve spolupráci se SÚRO, jenž se soustředil na zjištění hodnot plošné a hmotnostní aktivity ^{137}Cs v biomase a půdě po Černobylské havárii, a to na našem území. Cílem této práce bylo provedení odběrů biomasy a půdních vzorků z pastevních biotopů. Odběr jsem provedl v lokalitách Knín, Těšínov u Protivína a Nákří nacházejících se v havarijní zóně jaderné elektrárny Temelín. S daty získaných z analýz byla provedena porovnání hmotnostní a plošné aktivity ^{137}Cs u rozdílných lokalit s hodnotami vzorků odebranými kolegy, jež se tohoto projektu též účastnili. Lokality, nacházející se v havarijní zóně jaderné elektrárny Temelín, byly porovnány vždy jako první. Poté byly hodnoty porovnávány s hodnotami z rozdílných lokalit a odlišných typů biotopu. Na závěr byla provedena srovnání hodnot aktivity ^{137}Cs s daty získanými po Černobylské havárii roku 1986 na našem území.

Plošná aktivita ^{137}Cs dosáhla nevyšších hodnot u lesních biotopů. Nejvyšší hodnota činila 1833 Bq/m^2 v odběrovém místě Vyskytná (Doskočilová, 2019). Nejnížší naměřená hodnota byla též u půdy lesního typu v lokalitě Březinka pod Bezdězem a činila 37 Bq/m^2 (Finkous M., 2019). Nejvyšší hmotnostní aktivita ^{137}Cs byla 110 Bq/kg suš. v lokalitě Vyskytná (Doskočilová, 2019) u půdy lesního typu. Nejnížší hodnotou hmotnostní aktivity ^{137}Cs byla $0,31 \text{ Bq/kg}$ suš. ve spodní vrstvě (C) půdy pastevního biotopu v lokalitě Těšínov u Protivína. Vzorky biomasy dosáhly nejvyšší hodnoty 60 Bq/kg suš. v lokalitě Bukovno les 1 (Finkous P., 2019) a nejnížší v lokalitě Dříteň rašelinného typu s hodnotou $0,1 \text{ Bq/kg}$ suš. (Vinohradský, 2020). Nepochybně nejvyšších hodnot dosahuje půda lesního typu. Tento jev může být zapříčiněn vyšším zadržením vody v půdě a schopností absorpce korun stromů zachytávat radioaktivní částice, jenž se následně dostávají do půdy. Aktivita ^{137}Cs pastvinného, lučního a rašelinného biotopu byla v průměru vcelku obdobná.

Zúčastnění se v projektu SÚRO prostřednictvím České zemědělské univerzity v Praze, hodnotím jako přínosný nejen pro mě, ale i pro ostatní obyvatelé České republiky. Je důležité, aby aktivita ^{137}Cs byla monitorována a předešlo se tak jeho pronikání do potravin, zemědělství a organismů.

8. Seznam použité literatury a zdrojů

8.1 Literatura

- Abagyan, A., Adamov, E., Bol'shov, L., Petrov, V., Velikhov, E., 1992: The Chernobyl accident: a report by the International Nuclear Safety Advisory Group. Updating. International Atomic Energy Agency, Vienna.
- Bergvist, N., Ferm, R., 2000: Nuclear Explosions 1945 -1998. Defence Research Establishment, Division of Systems and Underwater. Stockholm: UD Ambasadén i Wien.
- Bouška P., 2020: Sledování množství ^{137}Cs v půdě a vegetaci a plošné měření dávkového příkonu na vybraných lokalitách - Lysá nad Labem. Bakalářská práce. ČZU v Praze, Praha.
- Bunzl K., Schimmack W., Kreutzer K., Schierl R., 1989: Interception and retention of Chernobyl – derived ^{134}Cs , ^{137}Cs and ^{106}Ru in a spruce stand, Science of The Total Environment, V. 78, 77-87.
- Ciffroy, P., Durrieu, D., Garnier, J., 2009: Quantification of Radionuclide Transfer in Terrestrial and Freshwater Environments for Radiological Assessments. International Atomic Energy Agency, Vienna.
- Cohen-Unger, S., Evrensel, A., 2016: Záření: účinky a zdroje. Program OSN pro ochranu životního prostředí. United Nations Environment Programme.
- Danielová, L., Matoušek, J., Pöschl, M., 2001: Výskyt ^{137}Cs v orných půdách České republiky. In: XIV Celostátní seminář o separační chemii a analýze toxických látek. Lázně Bohdaneč.
- Delacroix, D., Guerre, J. P., Leblanc, P., Hickman, C., 2002: Radionuclide and radiation protection data handbook 2002. Radiation Protection Dosimetry, 98(1), 1-168.
- Doskočilová, V., 2019: Průzkum transferových koeficientů ^{137}Cs z půdy do zemědělských plodin v k.ú. Vyskytná. Bakalářská práce. ČZU v Praze, Praha.
- Finkous, M., 2019: Průzkum transferových koeficientů ^{137}Cs z půdy do zemědělských plodin v k.ú. Katusice, Březovice a Březinka. Bakalářská práce. ČZU v Praze, Praha.
- Finkous, P., 2019: Průzkum transferových koeficientů ^{137}Cs z půdy do zemědělských plodin v k.ú. Bukovno, Líny. Bakalářská práce. ČZU v Praze, Praha.
- Forsberg, S., Rosén, K., Fernandez, V., Juhan, H., 2000: Migration of ^{137}Cs and ^{90}Sr in undisturbed soil profiles under controlled and close-to-real conditions. Journal of Environmental Radioactivity, 50(3), 235-252.
- Frankovská, J., Slaninka, I., Kordík, J. et al., 2010: Atlas sanačných metod environmentálních závaží. Bratislava, Štátny geologický ústav Dionýza Štúra, 362 s.
- Giannakopoulou F., Haidouti C., Chronopoulou A., Gasparatos D., 2007: Sorption behavior of cesium on various soils under different pH levels. Journal of Hazardous Materials, V. 149, I. 3, 553-556.

- Hanák, J., Müller, P., Müllerová, H., Kašparec, I., Pecina, V., Abraham, M., Veleba, B., 2007: Kontaminace půd v horských oblastech severní Moravy izotopem ^{137}Cs . Geol. výzk. Mor. Slez. v. r. 2006, Brno.
- Havránek, J., Havránková, R., 2008: Obsah cesia-137 v lesním ekosystému v lokalitě Újezd. KONTAKT - časopis pro ošetrovatelství a sociální vědy ve zdraví a nemoci, roč. 10, č. 2, 368-373.
- Hofmanová, D., 2019: Průzkum transferových koeficientů ^{137}Cs z půdy do zemědělských plodin k.ú. Roudnice nad Labem (741647), Písty (721042). Bakalářská práce. ČZU v Praze, Praha.
- Holloway, D., 2008: Stalin a bomba. Sovětský svaz a jaderná energie 1939-1956. Academia, Praha.
- Hůlka, J., Malátová, I., 2020: Radiační situace v České republice, přehled hlavních výsledků měření a opatření. In: Státní úřad radiační ochrany Praha, 1–14.
- Isaure, M., Fraysse, A., Deves, G., Le Lay, P., Fayard, B., Susini, J., Bourguignon, J., Ortega, R., 2006: Micro-chemical imaging of cesium distribution in *Arabidopsis thaliana* plant and its interaction with potassium and essential trace elements. *Biochemie*, Vol. 88, Iss. 11, 1583-1590.
- Jandl, J., Procházka, J., 1995: Příspěvek k ekologii Cs-137 a Sr-90 vybraných částí životního prostředí České republiky. In: Zborník príspevkov 2. 49 zjazd chemických spoločnosti, Bratislava. 323-325.
- Ježková, T., Rulík, P., 2015: Zpráva SÚRO 53/2015, Stanovení transferového koeficientu půda-rostlina v laboratoři - Metodika. SÚRO, Praha.
- Kaňková, J., 2007: Cesium 137 v lesním ekosystému. Diplomová práce. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, České Budějovice.
- Kočer, J., 2020: Terénní průzkum obsahu cesia 137 v lučních biotopech havarijní zóny jete. Bakalářská práce. ČZU v Praze, Praha.
- Kolektiv autorů, 1990: 10 let od havárie jaderného reaktoru v Černobylu - důsledky a poučení. Praha: Státní úřad pro jadernou bezpečnost, Státní ústav radiační ochrany, Praha.
- Kotulán, J., 2017: Nový jaderný zdroj v lokalitě Dukovany. Amec Foster Wheeler s. r. o., Praha.
- Linhart, P., Matoušek, J., Österreicher, J., 2007: CBRNE, 2007: Jaderné zbraně a radiologické materiály. Vyd. 1. Vyd. Ostrava: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství.
- Molnárová, M., Šmelková, M., Kramárová, Z., 2011: Antropogénne vplyvy na atmosféru, hydrosféru a pedosféru. Univerzita Komenského v Bratislave, Bratislava. 237.
- Mould, R., 2000: Chernobyl record: the definitive history of the Chernobyl catastrophe. Institute of Physics Publishing, Philadelphia.
- Odum, E., 1953: Fundamentals of ecology. Philadelphia Saunders, Philadelphia.

- Remy, H., 1961: Anorganická chemie. SNTL - Státní nakladatelství technické literatury, Praha.
- Rulík, P., Helebrant, J., 2011: Mapa kontaminace půdy České republiky ^{137}Cs po havárii JE Černobyl. Zpráva SÚRO č. 22/2011. Státní úřad radiační ochrany Praha.
- Sinkulová, V., 2006: Dědictví Černobylu: Zdravotní, ekologické a sociálně-ekonomické dopady a Doporučení vládám Běloruska, Ruské federace a Ukrajiny. ČSVTS, Praha.
- Starý et al., 1987: Cvičení z jaderné chemie. 3. vyd, Praha: ČVUT, 114 s
- Stádníková, D., 2019: Průzkum transferových koeficientů ^{137}Cs z půdy do zemědělských plodin v k.ú. Otovice (716987), Trněný újezd u Zákolan (790451). Bakalářská práce. ČZU v Praze, Praha.
- Státní úřad radiační ochrany, 1986: Plošná aktivita ^{137}Cs , ^{134}Cs a ^{103}Ru , zjištěná ve vzorcích odebraných půd při celostátním průzkumu dne 17.06.1986. SÚRO, Praha.
- Šantrůčková, H., 2014: Základy ekologie půdy. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, České Budějovice.
- Šestáková, K., 2019: Průzkum transferových koeficientů ^{137}Cs z půdy do zemědělských plodin v k.ú. Rasošky (739413), Vlkov u Jaroměře (784079) a Černožice nad Labem (620629). Bakalářská práce. ČZU v Praze, Praha.
- Šmajš, J., 1990: K problému humanizace přírody. Sborník prací filozofické fakulty Brněnské univerzity, Brno.
- Šoltýs, R., 2020: Sledování množství ^{137}Cs v půdě a vegetaci a plošné měření dávkového příkonu na vybraných lokalitách - Nová Telib. Bakalářská práce. ČZU v Praze, Praha.
- Šváb, M., 2020: Sledování množství ^{137}Cs v půdě a vegetaci a plošné měření dávkového příkonu na vybraných lokalitách – Modlany. Bakalářská práce. ČZU v Praze, Praha.
- Tůma J., 2000: Katastrofy techniky desítky 20. století. Academia, Praha.
- Vinohradský, P., 2020: Terénní průzkum obsahu cesia 137 v rašelinných biotopech havarijní zóny JETE. Bakalářská práce. ČZU v Praze, Praha.

8.2 Internetové zdroje

- Bučina, I., Dvořák, Z., Malátová, I., Vrbová, H., Drábová, D., 1988: Některé výsledky monitorování následků černobylské havárie v ČSSR. (online) [cit. 2021. 02. 11]. Dostupné z: https://www.suro.cz/cz/publikace/cernobyl/nektre_vysledky.pdf
- Břížďala, J., 2021: Radioaktivita. Obecná chemie. (online) [cit. 2021. 01. 11]. Dostupné z: [Obecná chemie | E-ChemBook :: Multimediální učebnice chemie \(e-chembook.eu\)](http://Obecná chemie | E-ChemBook :: Multimediální učebnice chemie (e-chembook.eu))

- Kunz, E., 1987: Zpráva o radiační situaci na území ČSSR po havárii jaderné elektrárny Černobyl. Centrum hygieny záření, (online) [cit. 2021. 02. 20]. Dostupné z: https://www.suro.cz/cz/publikace/cernobyl/zprava_1987.pdf.
- Kaňková, J., 2006: Špinavá bomba. (online) [cit. 2021. 02. 20]. Dostupné z: <http://toxicology.cz/modules.php?name=News&file=print&sid=31>
- Kostka, T., 2019: Od černobylské havárie uplynulo 33 let: Jak katastrofa minutu po minutě probíhala. (online), [cit. 2021. 02. 10]. Dostupné z: <http://www.stoplusjednicka.cz/od-cernobylske-havarie-uplynulo-33-letjak-katastrofa-minutu-po-minute-probihala>.
- Králová, M., 2021: Objev Radioaktivity: Encyklopedie. (online), [cit. 2021.02.20], dostupné z <https://edu.techmania.cz/cs/encyklopedie/fyzika/kvanta/objev-radioaktivity>
- Peterson, J., 2007: Radiological and Chemical Fact Sheets to Support Health Risk Analyses for Contaminated Areas. (online), [cit. 2021. 02. 10]. Dostupné z: <http://hpschapters.org/northcarolina/NSDS/cesium.pdf>
- Státní úřad pro jadernou bezpečnost, 2018: Monitorování radiační situace. (online), [cit. 2021. 02. 12]. Dostupné z: <https://www.sujb.cz/monitorovani-radiacni-situace>.
- Státní ústav radiační ochrany v.v.i., 2021: Vývoj obsahu Cs 137 u českého obyvatelstva po černobylské havárii. (online) [cit. 2021. 02. 02]. Dostupné z: Vývoj obsahu Cs 137 u českého obyvatelstva po černobylské havárii. — Státní ústav radiační ochrany, v.v.i. (suro.cz).
- Stewart, D., 2014: *Chemicool Periodic Table*. (online), [cit. 2021. 02. 15]. Dostupné z: <https://www.chemicool.com/elements/cesium.html>.

9. Seznam obrázků

- Obr. 1: Celosvětové průměrné dávky na jednotlivce způsobené spadem z jaderných testů. Cohen-Unger, S., Evrensel, A., 2016: Záření: účinky a zdroje. Program OSN pro ochranu životního prostředí. United Nations Environment Programme.
- Obr. 2: Reaktor v jaderné elektrárně Černobyl po výbuchu. Associated Press, 1986: Poničená jaderná elektrárna v Černobylu na snímku z května 1986. (online) [cit. 2021. 02. 08]. Dostupné z: Fotogalerie: Poničená jaderná elektrárna v Černobylu na snímku z května 1986 (idnes.cz)
- Obr. 3: Sarkofág 4. reaktoru v Černobylu. Globe24, 2017: Mutanti a radioaktivní švábi? Nenechte se mýlit, okolí Černobylu vypadá úplně jinak. (online) [cit. 2021. 02. 15]. Dostupné z: <https://globe24.cz/revue/45424-mutanti-a-radioaktivni-svabi-nenechte-se-mylit-okoli-cernobylu-vypada-uplne-jinak>.

- Obr. 4: Denní únik vybraných radionuklidů z reaktoru elektrárny Černobyl. Kaňková, J., 2007: Cesium 137 v lesním ekosystému. Diplomová práce. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, České Budějovice.
- Obr. 5: Kontaminace Evropských zemí procentním podílem Cesia a směr proudění radioaktivního spadu. Chernobylwel, 2020: Chernobylwel - Černobylská historie. (online) [cit. 2021. 02. 15]. Dostupné z: <https://www.chernobylwel.com/cz/chernobylska-historie>.
- Obr. 6: Předpokládané trasy kontaminovaných vzdušných mas. Hůlka, J., Malátová, I., 1996: Radiační situace v České republice, přehled hlavních výsledků měření a opatření. In: Státní úřad radiační ochrany Praha, 1–14.
- Obr. 7: Srážky od 30. dubna 1986 do 1. května 1986. Bučina, I., Dvořák, Z., Malátová, I., Vrbová, H., Drábová, D., 1988: Některé výsledky monitorování následků černobylské havárie v ČSSR. (online) [cit. 2021. 02. 11]. Dostupné z: https://www.suro.cz/cz/publikace/chernobyl/nekte-re_vysledky.pdf.
- Obr. 8: Plošné kontaminace ČR ^{137}Cs v důsledku havárie JE Černobyl, odběry 16.-18.6.1986. Rulík, P., Helebrant, J., 2011: Mapa kontaminace půdy České republiky ^{137}Cs po havárii JE Černobyl. Zpráva SÚRO č. 22/2011. Státní úřad radiační ochrany Praha.
- Obr. 9: Zakreslení odběrového místa, Knín, ČÚZK, 2018 (online) [cit. 2021. 03. 15]. Dostupné z: <http://sgi-nahlizenidokn.cuzk.cz/marushka/default.aspx?themeid=3&MarUId=E576B101%2062CEA7EE&MarUIdi=62CEA7EE&MarMiddlePoint=-759128.3957334382%20-1145580.5306658044&MarScale=7999>
- Obr. 11: Zakreslení odběrového místa, Těšínov u Protivína, ČÚZK, 2018 (online) [cit. 2021. 03. 15]. Dostupné z: <http://sgi-nahlizenidokn.cuzk.cz/marushka/default.aspx?themeid=3&MarUId=E576B101%208087062D&MarUIdi=8087062D&MarMiddlePoint=-765020.8463593216%20-114753.1403797134&MarScale=7999>
- Obr. 13: Zakreslení odběrového místa, Nákří, ČÚZK 2018 (online) [cit. 2021. 03. 15]. Dostupné z: <http://sgi-nahlizenidokn.cuzk.cz/marushka/default.aspx?themeid=3&MarUId=E576B101%208087062D&MarUIdi=8087062D&MarMiddlePoint=-765020.8463593216%20-114753.1403797134&MarScale=7999>

10. Seznam zkratek

- ^{103}Ru – radioizotop ruthenium
- ^{131}I – sloučeniny jodu
- ^{134}Cs – cesium 134
- ^{137}Cs – cesium 137
- Bq - becquerel
- Cs – cesium
- ČR – Česká republika
- ČSSR – Československá socialistická republika
- ha - hektar
- IAEA – International Atomic Energy Agency
- IHE - Institutu hygieny a epidemiologie
- JE – jaderná elektrárna
- JETE – jaderná elektrárna Temelín
- kBq - kilobecquerel
- KM – kilometr
- mSv - milisievert
- MW – megawatt
- ppm – parts per milion
- SSSR - svaz Sovětských socialistických republik
- SÚJB – Státní úřad pro jadernou bezpečnost
- SÚRO – Státní úřad pro jadernou bezpečnost
- Tbq - terabecquerel
- TK – Transferový koeficient
- USA – Spojené státy americké
- W – watt

11. Přílohy

Obsah

1. Plán vzorkování..... 1
2. Protokolární záznam odběru vzorku biomasy4
3. Protokolární záznam odběru vzorku pastviny10

PLÁN VZORKOVÁNÍ	
Plán vzorkování vytvořil: Kontakt	Bohuslav Flachs Hailova 118, Příbram 1, 261 01 tel: 720 378 134
Vzorkování bude provádět:	Bohuslav Flachs
Účel odběru vzorků	Odběr reprezentativního směsného vzorku půdního profilu pastviny pro zjištění přítomnosti radionuklidu Cs
Místo odběru:	Katastrální území: Knín (613959) půdní blok č. p.č. 87/5
Vzorkovací schéma	Náhodné vzorkování po vrstvách
Vzorkovací schéma na odběrové lokalitě	viz. celková situace se zákresem rozmístění odběrových míst pro směsný vzorek
typ odběrového zařízení	Rýč, lopata, krumpáč, motyka
Způsob odběru	manuálně
Počet dílčích vzorků na jeden směsný vzorek:	3
Datum odběru:	7.11.2018
Požadavky na zkoušky v místě odběru vzorku:	Změření mocnosti jednotlivých horizontů půdního profilu Fotodokumentace
Značení vzorků:	Směsný vzorek bude označen Pastvina, místo č.1, vrstva A, GPS, datum, obor, jméno Pastvina, místo č.1, vrstva B, GPS, datum, obor, jméno Pastvina, místo č.1, vrstva C, GPS, datum, obor, jméno
Bezpečnostní opatření:	Rukavice, kotníková obuv
Plánovaná úprava vzorku:	sušení, sítování na < 4 mm (nerezové síto)
Hmotnost směsného vzorku	1 kg
POŽADAVKY NA BALENÍ, KONZERVACI, SKLADOVÁNÍ A DOPRAVU	
Vzorkovnice, plnění:	PVC krabička
Konzervace:	--
Skladování:	normální prostředí
Doprava:	autem
Zkušební laboratoř	Státní ústav radiační ochrany, v. v. i. Bartoškova 1450/28, 140 00 PRAHA 4 - Nusle
rozsah požadovaných analýz:	Zjištění hodnot Cs v zemině
Plán zpracoval: Bohuslav Flachs	Dne: 5.11.2018

PLÁN VZORKOVÁNÍ	
Plán vzorkování vytvořil: Kontakt	Bohuslav Flachs Hailova 118, Příbram 1, 261 01 tel: 720 378 134
Vzorkování bude provádět:	Bohuslav Flachs
Účel odběru vzorků	Odběr reprezentativního směšného vzorku půdního profilu pastviny pro zjištění přítomnosti radionuklidu Cs
Místo odběru:	Katastrální území: Těšínov u Protivína (674311) půdní blok č. p.č. 375/1
Vzorkovací schéma	Náhodné vzorkování po vrstvách
Vzorkovací schéma na odběrové lokalitě	viz. celková situace se zákresem rozmístění odběrových míst pro směšný vzorek
typ odběrového zařízení	Rýč, lopata, krumpáč, motyka
Způsob odběru	manuálně
Počet dílčích vzorků na jeden směšný vzorek:	3
Datum odběru:	10.11.2018
Požadavky na zkoušky v místě odběru vzorku:	Změření mocnosti jednotlivých horizontů půdního profilu Fotodokumentace
Značení vzorků:	Směšný vzorek bude označen Pastvina,místo č.2, vrstva A, GPS, datum, obor, jméno Pastvina,místo č.2, vrstva B, GPS, datum, obor, jméno Pastvina,místo č.2, vrstva C, GPS, datum, obor, jméno
Bezpečnostní opatření:	Rukavice, kotníková obuv
Plánovaná úprava vzorku:	sušení, sítování na < 4 mm (nerezové síto)
Hmotnost směšného vzorku	1 kg
POŽADAVKY NA BALENÍ, KONZERVACI, SKLADOVÁNÍ A DOPRAVU	
Vzorkovnice, plnění:	PVC krabička
Konzervace:	--
Skladování:	normální prostředí
Doprava:	autem
Zkušební laboratoř	Státní ústav radiační ochrany, v. v. i. Bartošková 1450/28, 140 00 PRAHA 4 - Nusle
rozsah požadovaných analýz:	Zjištění hodnot Cs v zemině
Plán zpracoval: Bohuslav Flachs	Dne: 5.11.2018

PLÁN VZORKOVÁNÍ	
Plán vzorkování vytvořil: Kontakt	Bohuslav Flachs Hailova 118, Příbram 1, 261 01 tel: 720 378 134
Vzorkování bude provádět:	Bohuslav Flachs
Účel odběru vzorků	Odběr reprezentativního směsného vzorku půdního profilu pastviny pro zjištění přítomnosti radionuklidu Cs
Místo odběru:	Katastrální území: Nákří (633151) půdní blok č. p.č. 1939
Vzorkovací schéma	Náhodné vzorkování po vrstvách
Vzorkovací schéma na odběrové lokalitě	viz. celková situace se zákresem rozmístění odběrových míst pro směsný vzorek
typ odběrového zařízení	Rýč, lopata, krumpáč, motyka
Způsob odběru	manuálně
Počet dílčích vzorků na jeden směsný vzorek:	3
Datum odběru:	10.11.2018
Požadavky na zkoušky v místě odběru vzorku:	Změření mocnosti jednotlivých horizontů půdního profilu Fotodokumentace
Značení vzorků:	Směsný vzorek bude označen Pastvina, místo č.3, vrstva A, GPS, datum, obor, jméno Pastvina, místo č.3, vrstva B, GPS, datum, obor, jméno Pastvina, místo č.3, vrstva C, GPS, datum, obor, jméno
Bezpečnostní opatření:	Rukavice, kotníková obuv
Plánovaná úprava vzorku:	sušení, sítování na < 4 mm (nerezové síto)
Hmotnost směsného vzorku	1 kg
POŽADAVKY NA BALENÍ, KONZERVACI, SKLADOVÁNÍ A DOPRAVU	
Vzorkovnice, plnění:	PVC krabička
Konzervace:	--
Skladování:	normální prostředí
Doprava:	autem
Zkušební laboratoř	Státní ústav radiační ochrany, v. v. i. Bartoškova 1450/28, 140 00 PRAHA 4 - Nusle
rozsah požadovaných analýz:	Zjištění hodnot Cs v zemině
Plán zpracoval: Bohuslav Flachs	Dne: 5.11.2018

Protokolární záznam o odběru vzorku

Průvodní list odběru vzorků

Osoba, která provedla odběr vzorků, kontakt	Bohuslav Flachs Hailova 118, Příbram 1, 261 01, tel: 720 378 134
Vlastník nebo uživatel dotčených pozemků	Obec Temelín

Kultura	pastvina
katastrální území	Knín (613959)
správní obec	Temelín (545155)
Druh pozemku	Lesní pozemek
Velikost v ha	8,05
Parcelní čísla	87/5

Označení vzorku:

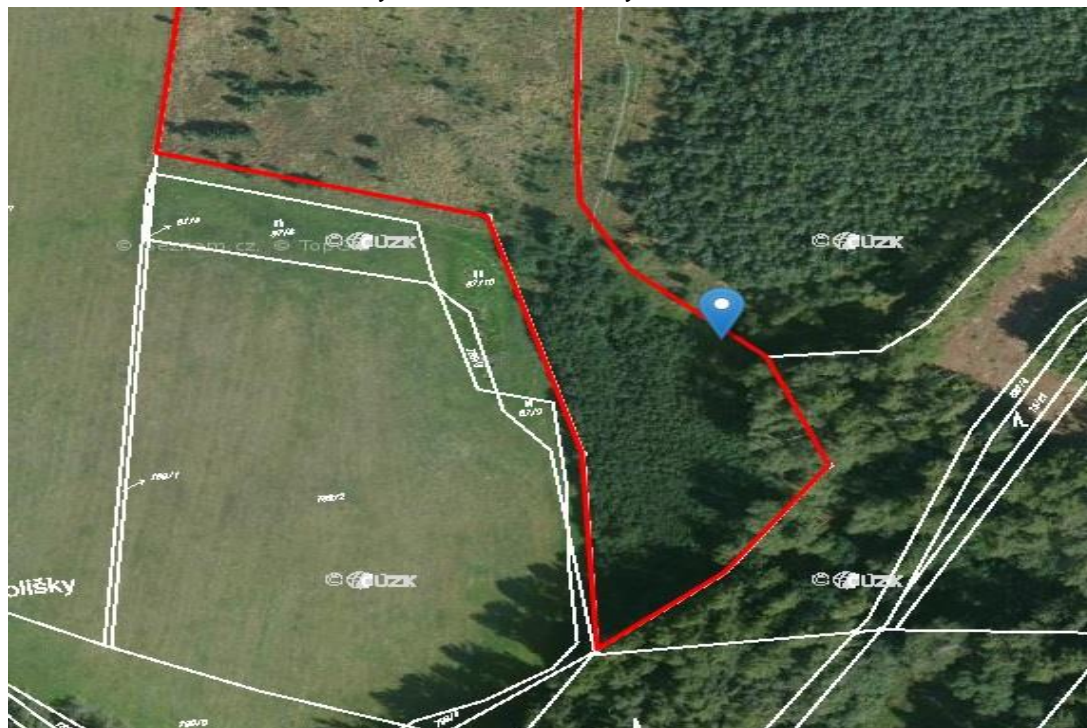
KÚ: Knín pastvina biomasa

Místní měření	
Ukazatel	Hodnota
Teplota vzduchu	18
Počasí:	polojasno

datum odběru:	7.11.2018	Čas odběru:	14:00:00
Souřadnice odběru:	49°09'13.7"N 14°23'28.7"E		
Označení vzorku	Poznámky		
Pastvina, místo č. 1, GPS, datum, obor, jméno	Směsný vzorek, vlhko		

Použité vzorkovací pomůcky: papírové sáčky, nůžky

Schéma odběrového místa s vyznačením odběrových míst



Poznámka k odběru: Biomasa při odběru byla mokrá.

Rozsah požadovaných analýz: zjištění hodnot Cs v biomase

Podpis osoby, která provedla odběry:

Protokolární záznam o odběru vzorku

Průvodní list odběru vzorků

Osoba, která provedla odběr vzorků, kontakt	Bohuslav Flachs Hailova 118, Příbram 1, 261 01, tel: 720 378 134
Vlastník nebo uživatel dotčených pozemků	Lesy České republiky, s.p.

Kultura	pastvina
katastrální území	Těšínov u Protivína (674311)
správní obec	Protivín (549771)
Druh pozemku	Lesní pozemek
Velikost v ha	120,1
Parcelní čísla	375/1

Označení vzorku:

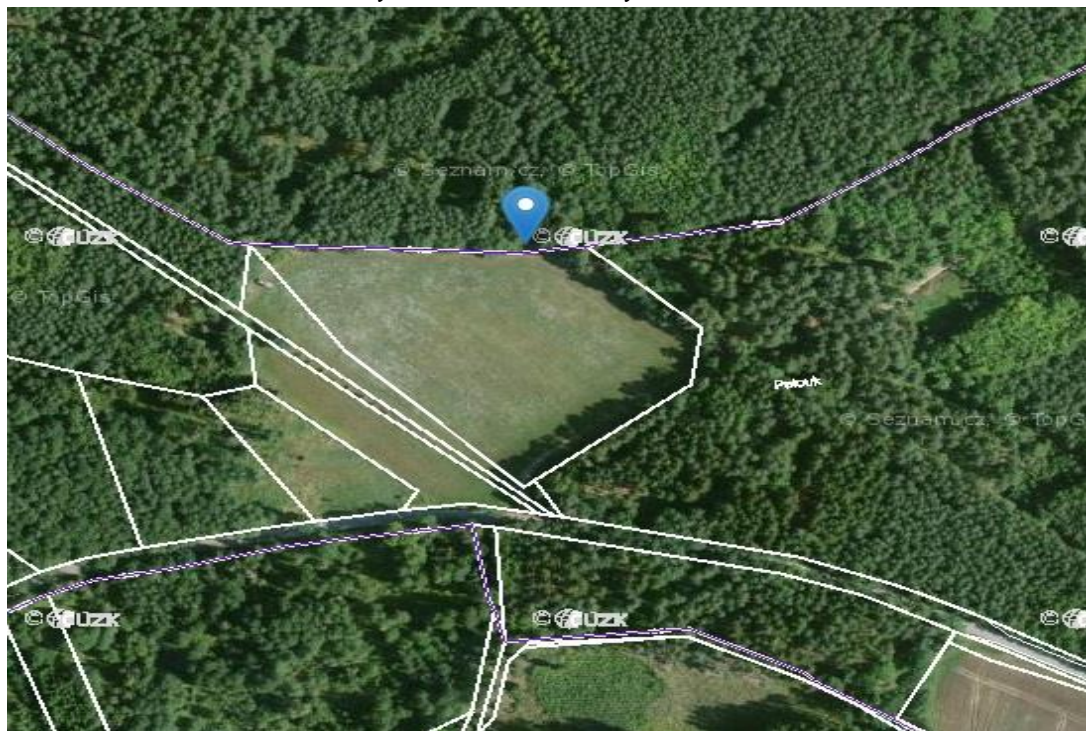
KÚ: Těšínov u Protivína pastvina biomasa

Místní měření	
Ukazatel	Hodnota
Teplota vzduchu	13
Počasí:	mlhavo

datum odběru:	10.11.2018	Čas odběru:	10:04:00
Souřadnice odběru:	49°11'14.8"N 14°18'01.3"E		
Označení vzorku	Poznámky		
Pastvina, místo č. 2, GPS, datum, obor, jméno	Směsný vzorek, vlhko		

Použité vzorkovací pomůcky: papírové sáčky, nůžky

Schéma odběrového místa s vyznačením odběrových míst



Poznámka k odběru: Biomasa při odběru byla mokrá.

Rozsah požadovaných analýz: zjištění hodnot Cs v biomase

Podpis osoby, která provedla odběry:

Protokolární záznam o odběru vzorku

Průvodní list odběru vzorků

Osoba, která provedla odběr vzorků, kontakt	Bohuslav Flachs Hailova 118, Příbram 1, 261 01, tel: 720 378 134
Vlastník nebo uživatel dotčených pozemků	Obec Nákří

Kultura	pastvina
katastrální území	Nákří (633151)
správní obec	Nákří (535371)
Druh pozemku	Ostatní plocha
Velikost v ha	0,7
Parcelní čísla	1939

Označení vzorku:

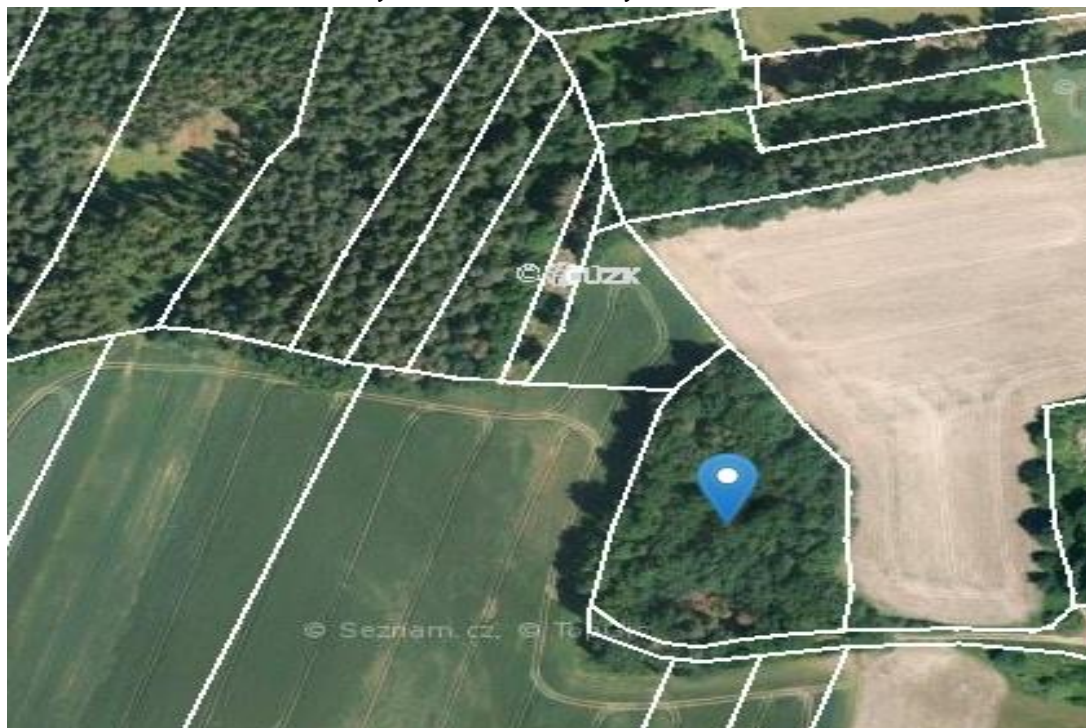
KÚ: Nákří pastvina biomasa

Místní měření	
Ukazatel	Hodnota
Teplota vzduchu	13
Počasí:	mlhavo

datum odběru:	10.11.2018	Čas odběru:	14:47:00
Souřadnice odběru:	49°07'44.6"N 14°18'54.0"E		
Označení vzorku	Poznámky		
Pastvina, místo č. 3, GPS, datum, obor, jméno	Směsný vzorek, vlhko		

Použité vzorkovací pomůcky: papírové sáčky, nůžky

Schéma odběrového místa s vyznačením odběrových míst



Poznámka k odběru: Biomasa při odběru byla mokrá.

Rozsah požadovaných analýz: zjištění hodnot Cs v biomase

Podpis osoby, která provedla odběry:

Protokolární záznam o odběru vzorku

Průvodní list odběru vzorků

Osoba, která provedla odběr vzorků, kontakt Bohuslav Flachs
Hailova 118, 261 01 tel: 720 378 134
Vlastník nebo uživatel dotčených pozemků Obec Temelín

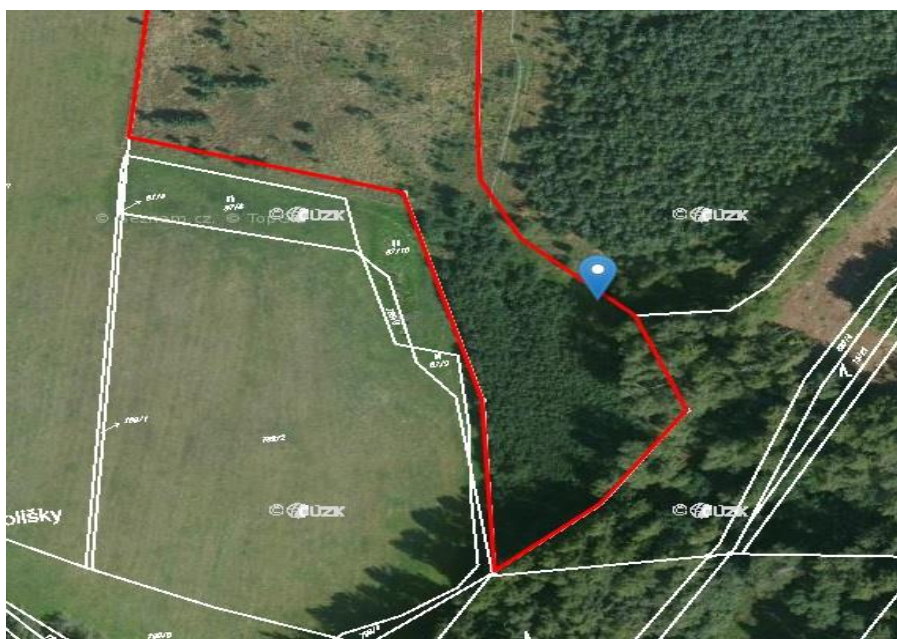
Kultura pastvina
katastrální území Knín (613959)
správní obec Temelín
Druh pozemku Lesní pozemek
Velikost v ha 8,05
Parcelní čísla 87/5

Ukazatel	Hodnota	Místní měření	Jednotka
Teplota vzduchu	18		°C
Počasí:	polojasno		
datum odběru:	7.11.2018	Čas odběru:	15:30:00
Souřadnice odběru:	49°09'13.7"N 14°23'28.7"E		
Označení dílčího vzorku	Mocnost vrstvy	Poznámky	
Pastvina, místo 1, vrstva A	25 cm	Svrchní kořenová vrstva	
Pastvina, místo 1, vrstva B	50 cm	Písčité, vlhká vrstva	
Pastvina, místo 1, vrstva B	75 cm	Písčité, kamenitá vrstva	

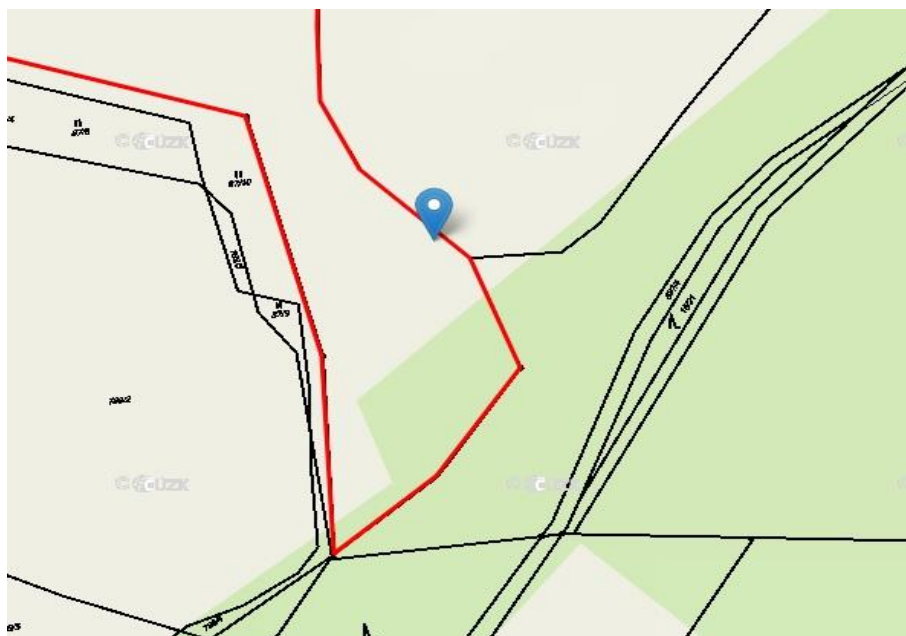
Použité vzorkovací pomůcky: Rýč, lopata, motyka, krumpáč

Schéma odběrového místa s vyznačením odběrových míst

Obrázek č. 1 (ortofotomapa)



Obrázek č. 2 (topografická mapa)



Poznámka k odběru:

Odběr byl náročnější z důvodu kamenité půdy,

Protokolární záznam o odběru vzorku

Průvodní list odběru vzorků

Osoba, která provedla odběr vzorků, kontakt Bohuslav Flachs
Hailova 118, 261 01 tel: 720 378 134
Vlastník nebo uživatel dotčených pozemků Lesy České republiky, s.p.

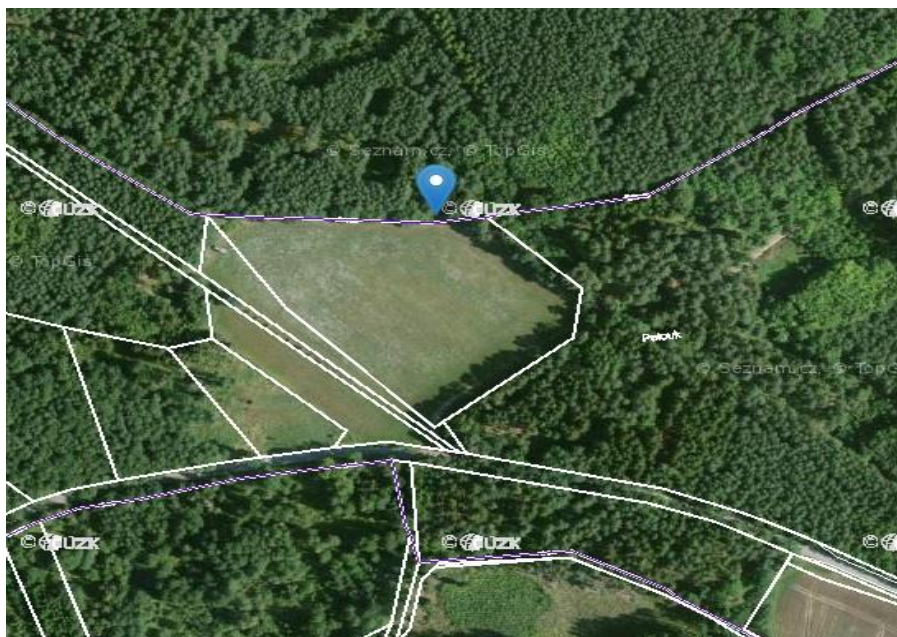
Kultura pastvina
katastrální území Tešínov u Protivína (674311)
správní obec Protivín (549771)
Druh pozemku Lesní pozemek
Velikost v ha 120,1
Parcelní čísla 375/1

Ukazatel	Hodnota	Místní měření	Jednotka
Teplota vzduchu	13		°C
Počasi:	mlhavo		
datum odběru:	10.11.2018	Čas odběru:	10:04:00
Souřadnice odběru:	49°11'14.8"N 14°18'01.3"E		
Označení dílčího vzorku	Mocnost vrstvy	Poznámky	
Pastvina, místo 2, vrstva A	25 cm	Svrchní kořenová vrstva	
Pastvina, místo 2, vrstva B	50 cm	Písčité, vlhká vrstva	
Pastvina, místo 2, vrstva B	75 cm	Písčité, kamenitá vrstva	

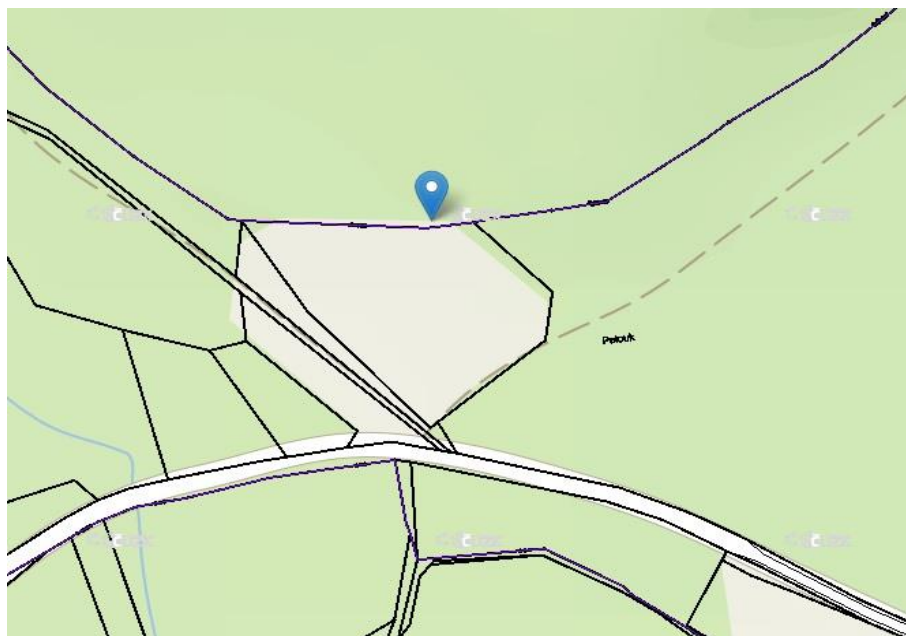
Použité vzorkovací pomůcky: Rýč, lopata, motyka, krumpáč

Schéma odběrového místa s vyznačením odběrových míst

Obrázek č. 1 (ortofotomapa)



Obrázek č. 2 (topografická mapa)



Poznámka k odběru:
Odběr byl náročnější z důvodu kamenité půdy,

Protokolární záznam o odběru vzorku

Průvodní list odběru vzorků

Osoba, která provedla odběr vzorků, kontakt Bohuslav Flachs
Hailova 118, 261 01 tel: 720 378 134
Vlastník nebo uživatel dotčených pozemků Obec Nákří

Kultura pastvina
katastrální území Nákří (633151)
správní obec Nákří (533371)
Druh pozemku Ostatní plocha
Velikost v ha 0,7
Parcelní čísla 1939

Ukazatel	Hodnota	Místní měření Jednotka
Teplota vzduchu	13	°C
Počasí:	mlhavo	

datum odběru: 10.11.2018 Čas odběru: 14:47:00

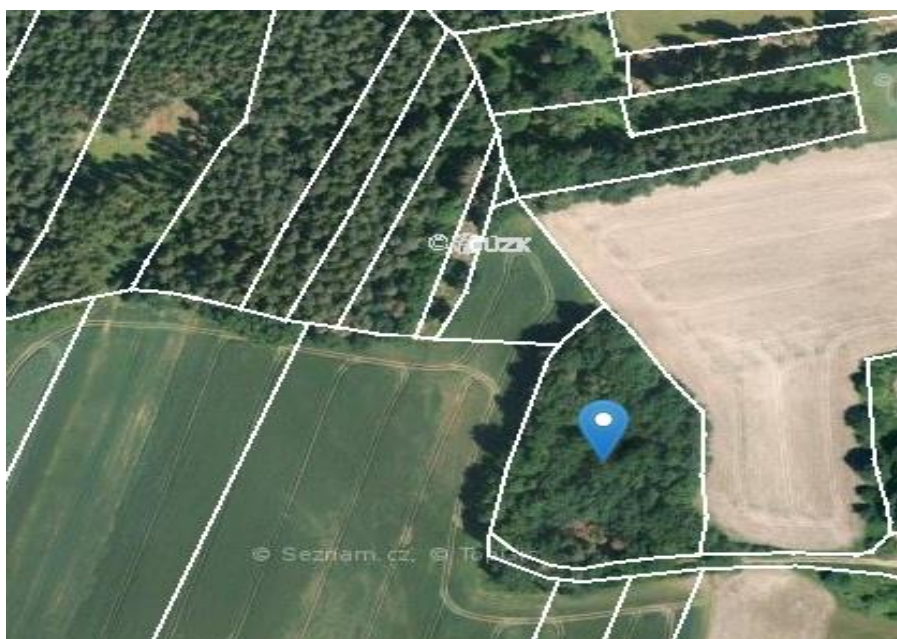
Souřadnice odběru: 49°07'44.6"N 14°18'54.0"E

Označení dílčího vzorku	Mocnost vrstvy	Poznámky
Pastvina, místo 3, vrstva A	25 cm	Svrchní kořenová vrstva
Pastvina, místo 3, vrstva B	50 cm	Písčítá, vlhká vrstva
Pastvina, místo 3, vrstva B	75 cm	Písčítá, kamenitá vrstva

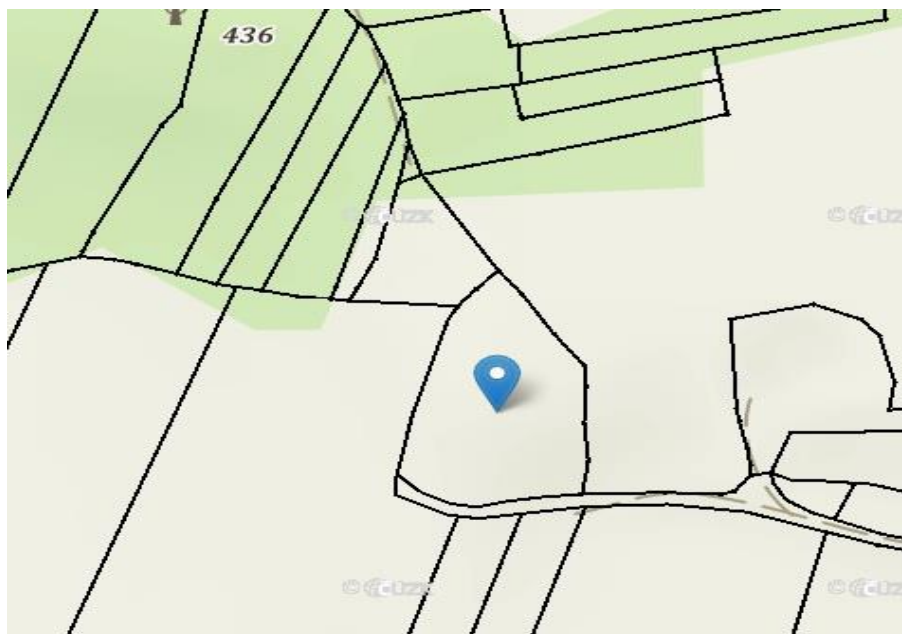
Použité vzorkovací pomůcky: Rýč, lopata, motyka, krumpáč

Schéma odběrového místa s vyznačením odběrových míst

Obrázek č. 1 (ortofotomapa)



Obrázek č. 2 (topografická mapa)



Poznámka k odběru:

Odběr byl náročnější z důvodu kamenité půdy,