



Bakalářská práce

Monitorování důsledků přetrvávající kontaminace způsobené havárií
jaderné elektrárny Černobyl na vybrané skupině obyvatel.

Studijní program:

B0914P360009 Radiologická asistence

Autor práce:

Zuzana Valášková

Vedoucí práce:

Ing. Jiří Landa, Ph.D.

Fakulta zdravotnických studií

Liberec 2023



Zadání bakalářské práce

Monitorování důsledků přetrvávající kontaminace způsobené havárií jaderné elektrárny Černobyl na vybrané skupině obyvatel.

Jméno a příjmení: **Zuzana Valášková**
Osobní číslo: D20000032
Studijní program: B0914P360009 Radiologická asistence
Zadávací katedra: Fakulta zdravotnických studií
Akademický rok: 2021/2022

Zásady pro vypracování:

Konzultant: Mgr. Vendula Rovenská

Cíle práce:

- 1) Monitorování vnitřní kontaminace Cesiumem 137 u dobrovolníků z řad obyvatel.
- 2) Vzájemné porovnání hodnot retence Cs-137 stanovené u skupiny dobrovolníků
- 3) Zhodnocení míry kontaminace Cesiumem 137 u vybraných obyvatel.
- 4) Zjistit, jaké mají specifické stravovací návyky vliv na vnitřní kontaminaci Cesiumem 137.

Teoretická východiska (včetně výstupu z kvalifikační práce):

Nejhorší jaderná havárie v historii se odehrála v černobylské elektrárně ve dne 26. dubna 1986. Při neúspěšném provedení měření doběhu turbogenerátoru zde došlo k výbuchu čtvrtého reaktoru, úniku velkého množství radioaktivních látek a kontaminaci velké části Evropy. Přetrvávající kontaminace je stále měřitelná v půdě a některých potravinách a to nejen v nejméně zasažených oblastech Ukrajiny, Běloruska a Ruské federace, ale i u nás v České republice. V rámci této práce bude prováděno a vyhodnoceno měření dobrovolníků z řad obyvatel.

Výzkumné předpoklady / výzkumné otázky:

Stanovení retence Cs-137 na celotělovém počítači u skupiny dobrovolníků, vybraných s ohledem na jejich stravovací návyky.

Předpokládáme, že vzhledem k přirozenému úbytku z životního prostředí nebude již aktivita Cs-137 u běžného obyvatelstva měřitelná in vivo.

Stanovení vlivu stravovacích návyků a sezónnosti potravin na příjem Cs-137.

Metoda:

Vícečetné měření skupiny dobrovolníků v období před letní sezónou, na podzim a v zimě na celotělovém počítači (CTP) v SÚRO Praha. Sledování souvislosti výskytu Cs-137 se stravovacími návyky obyvatel. Statistické zpracování a porovnání nasbíraných dat.

Výsledky měření budou zpracovány jak kvalitativně, tak kvantitativně.

Technika práce, vyhodnocení dat:

Statistické zpracování a porovnání nasbíraných dat z celotělového počítače.

Místo a čas realizace výzkumu:

Měření dobrovolníků z různých lokalit v SÚRO Praha v průběhu 3 ročních období.

Vzorek:

Skupina 11 dobrovolníků z řad obyvatel, každý z nich absolvuje 3 měření, tedy 33 různých naměřených hodnot.

Rozsah práce:

Rozsah bakalářské práce činí 50–70 stran (tzn. 1/3 teoretická část, 2/3 výzkumná část).

Forma zpracování kvalifikační práce:

Tištěná a elektronická.

Rozsah grafických prací:

Rozsah pracovní zprávy:

Forma zpracování práce:

tištěná/elektronická

Jazyk práce:

Čeština

Seznam odborné literatury:

- PLOKHY, Serhii. 2019. Černobyl: historie jaderné katastrofy. Brno: Jota. ISBN 978-80-7565-462-5.
- DE CORT, M. et al. 1998. Atlas of caesium deposition on Europe after the Chernobyl accident. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities. ISBN 92-828-3140-X.
- ČESKO. STÁTNÍ ÚŘAD PRO JADERNOU BEZPEČNOST. 2016. Vyhláška č. 422 ze dne 14. prosince 2016 o radiační ochraně a zabezpečení radionuklidového zdroje. In: *Sbírka zákonů České republiky*. Částka 172, s. 6618–6904. ISSN 1211-1244. Dostupné také z: <https://www.sujb.cz/legislativa/atomove-pravo>.
- ČESKO. STÁTNÍ ÚŘAD PRO JADERNOU BEZPEČNOST. 2016. Vyhláška č. 360 ze dne 17. října 2016 o monitorování radiační situace. In: *Sbírka zákonů České republiky*. Částka 143, s. 5642-5689. ISSN 1211-1244. Dostupné také z: <https://www.sujb.cz/legislativa/atomove-pravo>.
- MALÁTOVÁ, Irena a Pavel FOJTÍK. 2019. Activity of 137Cs in human body of inhabitants of the Czech Republic. *Radiation protection dosimetry*. 186(2-3), 196-201. DOI 10.1093/rpd/ncz257.
- POPAROVÁ, A., F. NEUPAUER a T. MELICHEROVÁ, eds. 2016. Černobyl 1986: minulost, důsledky, východiska: zborník z medzinárodnej multidisciplinárnej vedeckej konferencie: Bratislava 26. apríla 2016. Bratislava: Ústav pamäti národa. ISBN 978-80-89335-77-0.
- NAVRÁTIL, L., S. BRÁDKA a V. NAVRÁTIL. 2020. Klíčové momenty v historii československé radiobiologie. *Časopis lékařů českých*. 159(7-8), 252-257. ISSN 0008-7335.
- LEATHERBARROW, Andrew. 2020. Černobyl 01:23:40: neuvěřitelný příběh nejhorší jaderné katastrofy. Brno: CPress. ISBN 978-80-264-3032-2.
- FILIPOVÁ, A. et al. 2016. Radiační ochrana při radiační mimořádné události. Hradec Králové: Univerzita obrany. ISBN 978-80-7231-366-2.
- ALEKSÌJEVIČ, Svjatlana Aljaksandraŭna. 2017. Modlitba za Černobyl: kronika budoucnosti. Příbram: Pistorius & Olšanská. ISBN 978-80-87855-76-8.
- KUNOVÁ, Veronika. 2005. *Možnosti snižování aktivity radiocesia v houbách a mase lovné zvěře*. Brno. Disertační práce. Veterinární a farmaceutická univerzita, Fakulta veterinární hygieny a ekologie, Ústav biochemie, chemie a biofyziky.
- KALAČ, Pavel. 2022. Radioaktivita masa divokých prasat. *Výživa a potravinářství*. 77(1), 11-14. ISSN 1211-846X.
- HAVRÁNEK, Jiří a Renata HAVRÁNKOVÁ. 2005. Kinetika cesia-137 v lesním ekosystému. *Kontakt*. 7(3-4), 360-362. ISSN 1212-4117. Dostupné z: <https://kont.zsf.jcu.cz/pdfs/knt/2005/03/31.pdf>.
- BRUNCLÍK, Tomáš et al. 1991. Měření obsahu Cs-137 v organismu zvířat metodou in vivo: dílčí zpráva subetapy. Brno: Výzkumný ústav veterinárního lékařství P 06-529-837-03-04-05. Brno: Výzkumný ústav veterinárního lékařství.
- HAVRÁNKOVÁ, Renata et al. 2018. *Základy radiobiologie*. České Budějovice: Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Zdravotně sociální fakulta. ISBN 978-80-7394-696-8.
- STÁTNÍ ÚŘAD PRO JADERNOU BEZPEČNOST. Černobyl [online]. [cit. 2021]. Dostupný na WWW: <https://www.sujb.cz/cernobyl>.
- ŠÍŇ, Robin et al. 2017. *Medicína katastrof*. První vydání. Praha: Galén. ISBN 978-80-7492-295-4.

Vedoucí práce:

Ing. Jiří Landa, Ph.D.

Fakulta zdravotnických studií

Datum zadání práce:

14. června 2022

Předpokládaný termín odevzdání: 5. května 2023

L.S.

prof. MUDr. Karel Cvachovec, CSc.,
MBA
děkan

Prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci jsem vypracovala samostatně jako původní dílo s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé bakalářské práce a konzultantem.

Jsem si vědoma toho, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu Technické univerzity v Liberci.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědoma povinnosti informovat o této skutečnosti Technickou univerzitu v Liberci; v tomto případě má Technická univerzita v Liberci právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Současně čestně prohlašuji, že text elektronické podoby práce vložený do IS/STAG se shoduje s textem tištěné podoby práce.

Beru na vědomí, že má bakalářská práce bude zveřejněna Technickou univerzitou v Liberci v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů.

Jsem si vědoma následků, které podle zákona o vysokých školách mohou vyplývat z porušení tohoto prohlášení.

8. února 2023

Zuzana Valášková

Poděkování

Tímto bych chtěla poděkovat Ing. Jiřímu Landovi, Ph.D. který byl vedoucím mé bakalářské práce a konzultantce Mgr. Vendule Rovenské za jejich ochotu, trpělivost a cenné rady. Za nesmírnou podporu, motivaci a oporu děkuji své rodině a přátelům. Veliké poděkování patří také všem respondentům, kteří se zúčastnili měření na celotělovém počítači, za jejich ochotu a strávený čas.

Anotace

Monitorování důsledků přetrvávající kontaminace způsobené havárií jaderné elektrárny Černobyl na vybrané skupině obyvatel.

V důsledku havárie jaderné elektrárny Černobyl, byla zasažena velká část Evropy, včetně České republiky radioaktivním spadem. Kontaminace radionuklidem Cs-137 je stále měřitelná a to nejen v životním prostředí nebo třeba vzorcích potravin, ale i v lidech. Cílem práce je monitorování a zhodnocení retence Cs-137 u dobrovolníků z řad obyvatel, také vzájemné porovnání hodnot a zjištění případných vlivů, které retenci Cs-137 mohou ovlivňovat. Výzkum proběhl metodou vícečetného měření několika dobrovolníků na celotělovém počítací. Výsledné hodnoty byly porovnány se stravovacími návyky respondentů, které uvedli v dotazníku. Z výzkumu se ukázalo, že Cs-137 je u lidí stále měřitelné a míru retence mohou ovlivnit některé stravovací návyky, jako je třeba pravidelná konzumace kančího masa nebo sezónní konzumace lesních hub.

Klíčová slova: Cs-137, aktivita, celotělový počítač, vnitřní kontaminace, Černobyl

Anotation

Monitoring the consequences of persistent contamination caused by the Chernobyl nuclear power plant accident on a selected population group

As a result of the Chernobyl nuclear power plant accident, a large part of Europe, including the Czech Republic, was affected by radioactive fallout. Contamination with the radionuclide Cs-137 is still measurable, not only in the environment or food samples, but also in people. The aim of the work is to monitor and evaluate the retention of Cs-137 in volunteers from among the population, also to compare the values with each other and to determine possible influences that may affect the retention of Cs-137. The research was carried out using the method of multiple measurements of several volunteers on a whole-body counter. The resulting values were compared with the eating habits of the respondents, which they stated in the questionnaire. Research has shown that Cs-137 is still measurable in humans and that certain dietary habits, such as regular consumption of wild boar meat or seasonal consumption of forest mushrooms, can affect the retention rate.

Keywords: Cs-137, activity, full body counter, internal contamination, Chernobyl

Obsah

Seznam symbolů a zkratk	10
1 Úvod	11
2 Černobylská jaderná elektrárna	12
2.1 Historie a popis (případně popis a historie)	12
2.2 Havárie	12
2.3 Únik radioaktivity	13
2.4 Soubor opatření ke zmírnění následků radiální havárie	16
2.5 Účinky záření na lidský organizmus	16
3 Monitorování radiální situace v ČR	18
3.1 Veličiny	18
3.2 Cesium	19
3.2.1 Chování Cs-137 v organismu člověka	20
3.3 Draslík, K-40	20
3.3.1 Výskyt draslíku v přírodě	20
3.3.2 Biologický význam draslíku	21
3.3.3 Izotopové složení a aktivita draslíku	21
3.4 Způsoby monitorování radionuklidů v životním prostředí	22
3.4.1 Monitorování ovzduší	23
3.4.2 Monitorování potravin a životního prostředí	24
3.4.3 Monitorování obyvatelstva	26
4 Praktická část	29
4.1 Výzkumné cíle a předpoklady	29
4.2 Metody	29
4.3 Stanovení retence Cs-137 na celotělovém počítači	30
4.3.1 Průběh měření na CTP	30
4.4 Analýza výzkumných dat	33
4.4.1 Porovnání stravovacích návyků s množstvím Cs-137 v těle	41
4.4.2 Vliv sezónního stravování na množství Cs-137 v těle	42
4.5 Monitorování obsahu Cs-137 v potravinách	43
4.6 Analýza výzkumných dat	44
4.7 Monitorování obsahu K-40	45
4.8 Analýza výzkumných dat	45
4.9 Vyhodnocení cílů a výzkumných předpokladů	49
5 Diskuze	51
6 Závěr	55
Seznam použité literatury	56
Seznam obrázků	61
Seznam tabulek	62

Seznam příloh	63
Příloha A: Nevyplněná verze dotazníku	63
Příloha B: Protokol k realizaci výzkumu	64

Seznam symbolů a zkratek

A	Aktivita (veličina)
Bq	Becquerel (jednotka)
Cs	Cesium
CTP	Celotělový počítač
ČHMU	Český hydrometeorologický ústav
ČR	Česká republika
I	Jód
IRSN	L'institut de radioprotection et de sûreté nucléaire
K	Draslík
MMKO	Měřicí místa kontaminace ovzduší
NDA	Nejnižší detekovatelná aktivita
NVA	Nejnižší významná aktivita
Pu	Plutonium
RC	Regionální centrum
Sr	Stroncium
SÚJB	Státní úřad pro jadernou bezpečnost
SÚRO	Státní ústav radiační ochrany
U	Uran
Xe	Xenon

1 Úvod

Havárie jaderné elektrárny Černobyl se stala 26. 4. 1986 a v mnoha ohledech nás ovlivnila. Radioaktivita uvolněná nad územím ČR je stále měřitelná.

Při této katastrofě bylo do ovzduší emitováno velké množství škodlivých látek, zejména radioaktivních částic. Některé díky krátkému poločasu rozpadu zanikly, jiné s dlouhým poločasem rozpadu mohou být na území Evropy nadále přítomné. Patří mezi ně hlavně Cs-137 a Sr-90. V této práci budeme hovořit především o Cs-137. Tento radioaktivní izotop se do životního prostředí dostal pouze v důsledku testování jaderných zbraní a havárií elektráren. Na našem území je kontaminace Cs-137 zapříčiněna především havárií jaderné elektrárny Černobyl. Je měřitelná například ve vzorku půdy či ovzduší, ale i u lidí. Existuje několik způsobů, kterými se může Cs-137 do lidského organismu dostat: vdechnutím, požitím a poraněním přes kůži.

V průběhu tvorby bakalářské práce bylo provedeno vícečetné měření vnitřní kontaminace Cs-137 u dobrovolníků z řad obyvatel na celotělovém počítači v SÚRO Praha. Každý z nich bydlí v jiné lokalitě a má trochu jiné stravovací návyky, které byly zjištěny pomocí krátkého dotazníku. Výzkumná část je doplněna také o výsledky z monitorování kontaminace Cs-137 v lesních houbách, kančí svalovině a vzorků moči jednoho z respondentů.

Při celotělovém měření byla u dobrovolníků stanovena také aktivita přírodního radionuklidu K-40, který se v těle přirozeně vyskytuje, a vzhledem k jeho předvídatelným hodnotám jej lze využít jako kontrolu správnosti celotělového měření.

Cílem práce je monitorování a zhodnocení retence Cs-137 u dobrovolníků z řad obyvatel, vzájemné porovnání hodnot a zjištění možných vlivů, které retenci Cs-137 ovlivňují.

2 Černobylská jaderná elektrárna

2.1 Historie a popis (případně popis a historie)

Jaderná elektrárna Černobyl se nachází v severní části Ukrajiny, nedaleko hranic s Běloruskem. Velkou rolí pro výběr lokality budoucí elektrárny hrála především vzdálenost od různých letovisek, hustota osídlení okolí a také blízkost řeky Pripjat' a železniční tratě, jež byly nezbytné pro její fungování (Plohky, 2019).

Elektrárna začala vznikat v roce 1970, společně s ní i město Pripjat' a další přilehlá města. Plánování a přípravy ale probíhaly již mnoho let dopředu. Původně se měla elektrárna jmenovat: Centrální ukrajinská elektrárna (Plohky, 2019).

Zařízení disponovalo pěti bloky. První blok stál samostatně a druhý taktéž, blok tři a čtyři byly propojené v jedné budově. Byl zde i poslední, rozestavěný pátý blok. První zprovoznění elektrárny proběhlo koncem roku 1977, jednalo se o blok 1. Následně byly spouštěny další bloky až po poslední spuštěný blok 4 v roce 1983. Pátý blok se do provozu připojit nestihl (Plohky, 2019).

Tato jaderná elektrárna byla v době své funkce považována za nejlepší a nejspolehlivější jaderný závod v tehdejší sovětské svazu. Všechny bloky disponovaly reaktory typu RBMK-1000, fungujícími na principu štěpné reakce, jejíž produkty jsou radionuklidy s vysokou toxicitou a teplotou. Spolu s turbínovými parními generátory činil celkový výkon 1000 megawattů. Reaktor byl moderovaný grafitem a chladil se vařící vodou. Jeho výška činila 7 metrů a široký byl více než 11 metrů. Jako palivo zde působil U-235 (z většiny byl ale nahrazený obohaceným U-238), což je nejtěžší prvek, který se přirozeně vyskytuje. Po stranách reaktoru se nacházel vyztužený beton, nvrchu a vespodu deska zvaná biologický štít (Leatherborow, 2020).

2.2 Havárie

„V dubnu 1986 měla být před odstavením čtvrtého bloku černobylské jaderné elektrárny vyzkoušena funkce nového regulátoru magnetického pole rotoru. Cílem bylo též ověřit, zda bude turbogenerátor při setrvačném doběhu po rychlém uzavření přívodu páry do turbíny schopen ještě zhruba 40 sekund napájet čerpadla havarijního chlazení aktivní zóny reaktoru“ (Státní úřad pro jadernou bezpečnost, nedatováno a).

„Řetězcem následných událostí došlo 26. dubna v 1:24 ke dvěma výbuchům. První výbuch odhodil a posunul horní betonovou desku reaktoru o váze 1000 tun. Ke druhé explozi došlo o 2 až 3 vteřiny později, její přesná příčina nebyla objasněna.

Část aktivní zóny reaktoru byla rozmetána, včetně paliva a hořícího grafitu, střešní část budovy reaktoru byla zničena. Na střeše turbínové haly a v prostorách reaktorové haly propukl požár. Ten byl lokalizován a o 3 hodiny později se zdál být uhašen. Po několika hodinách bohužel znovu vzplanul grafitový moderátor a přes veškeré úsilí se jej hasit nedařilo. Požár v podstatě samovolně dohasl až 14. května“ (Státní úřad pro jadernou bezpečnost, nedatováno a).

2.3 Únik radioaktivity

„Po explozi 26. dubna docházelo po 10 dnů k velkým únikům radionuklidů ze 4. bloku černobylského reaktoru. Tyto úniky obsahovaly radioaktivní plyny, kondenzované aerosoly a velké množství částic paliva. Celkový únik radioaktivních látek byl kolem 14 EBq včetně 1,8 EBq jódu-131, 0,085 EBq ^{137}Cs , 0,01 EBq ^{90}Sr a 0,003 EBq radioizotopů plutonia. Vzácné plyny činily asi 50% celkových úniků“ (International Atomic Energy Agency, 2006, s. 16).

Od prvních hodin po havárii postupoval radioaktivní materiál ovzduším směrem na západ, postupně i na severozápad. V následujících dnech došlo ke změně povětrnostních podmínek a radioaktivní masa byla hnána na severovýchod a od 30. dubna postupoval radioaktivní mrak směrem na jih. V důsledku dlouhého trvání úniku a měnící se meteorologické situace byl radioaktivní materiál rozptýlen a deponován po velké části Evropy (De Cort et al., 1998).

Kontaminace radioaktivními látkami se výrazně lišila díky dešti. Tam, kde přšelo v době výskytu radioaktivní masy, byla výrazně vyšší (International Atomic Energy Agency, 2006).

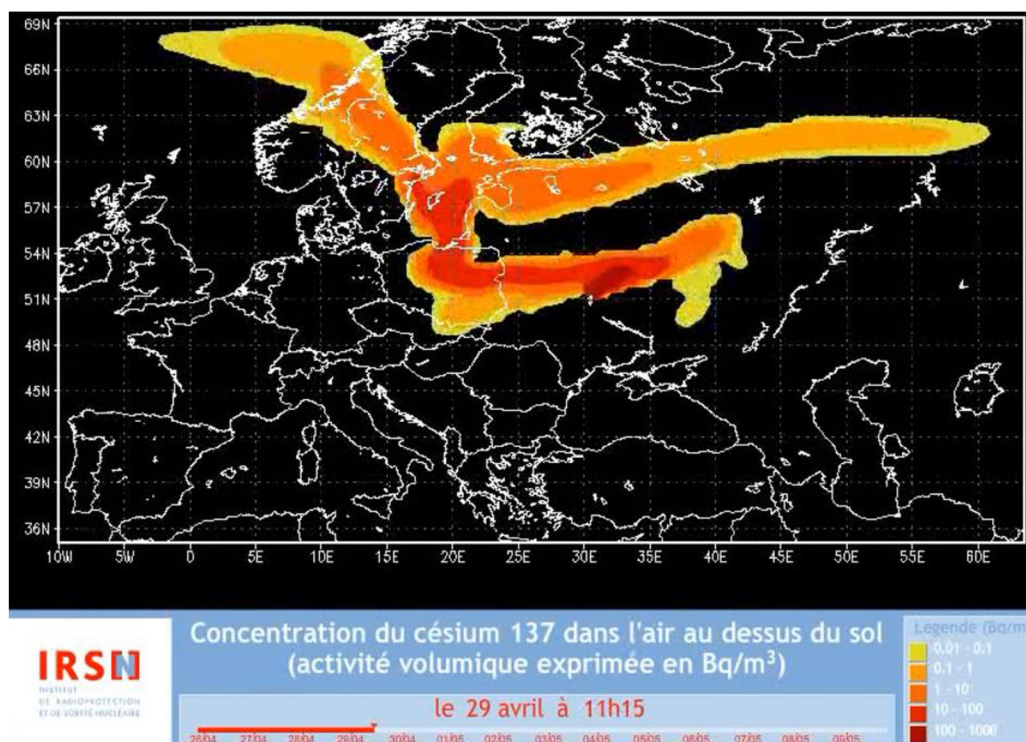
Jedním z unikajících radionuklidů při jaderné havárii v Černobylu byl I-131. Je to štěpný produkt U-235 a vyzařuje beta i gama záření. Poločas rozpadu činí 8,025 dní (Hála, 2013). *„Štítná žláza akumuluje jód z krevního řečiště v rámci normálního metabolismu. Proto spad radioaktivního jódu vedl u místních obyvatel k závažnému ozáření štítné žlázy při vdechování a požívání kontaminovaných potravin, zejména mléka. Štítná žláza je jedním z orgánů nejvíce náchylných k vyvolání rakoviny ozářením“ (International Atomic Energy Agency, 2006, s. 12).*

„V oblastech postižených radioaktivním spadem je nutné monitorovat mléko na přítomnost ^{131}I , vyřadit kontaminované mléko z konzumace a dobytek krmit starší, nezamořenou pící. Osobám, u nichž lze předpokládat příjem ^{131}I se podávají tablety

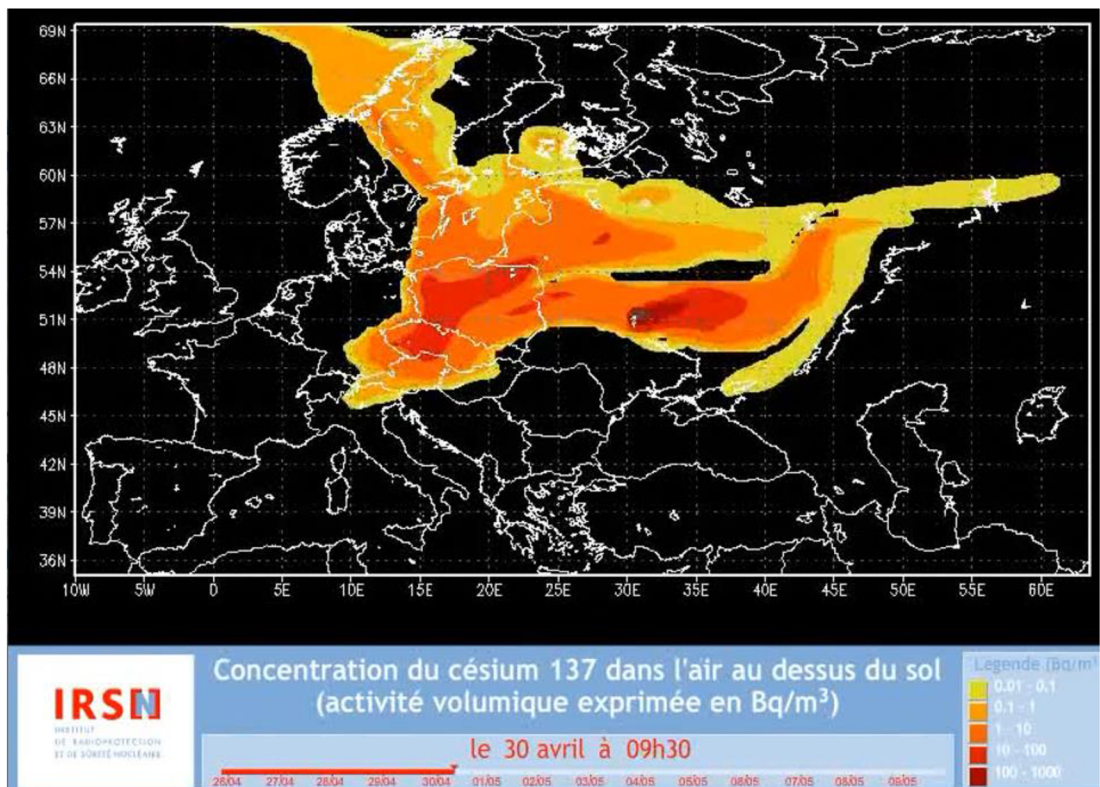
s jodidem draselným. Tím se štítná žláza nasytí neaktivním jódem a příjem ^{131}I je blokován. Toto opatření je však účinné jen tehdy, pokud se jodid draselný podá do dvou hodin od příjmu ^{131}I “ (Hála, 2013, s. 207).

Radioaktivní izotop Sr-90 vzniká při štěpení U-235 a Pu-239 a má poločas přeměny 28,78 roku. „Společně s izotopem ^{137}Cs představuje hlavní složku staršího odpadu z přepracování paliva a určuje dobu nezbytnou pro bezpečné, dlouhodobé ukládání odpadu“ (Hála, 2013, s. 157). Stroncium po spadu poměrně rychle prostupuje do spodnějších vrstev půdy. Po černobylské havárii však postupovalo mnohem pomaleji, protože vysoké přehřátí reaktoru způsobilo, že vznikl izotop Sr-90 v méně rozpustné chemické formě. Příjem Sr-90 rostlinami je také ovlivnitelný vápníkem, proto tam, kde je v půdě více vápníku, je výrazně potlačen (Hála, 2013).

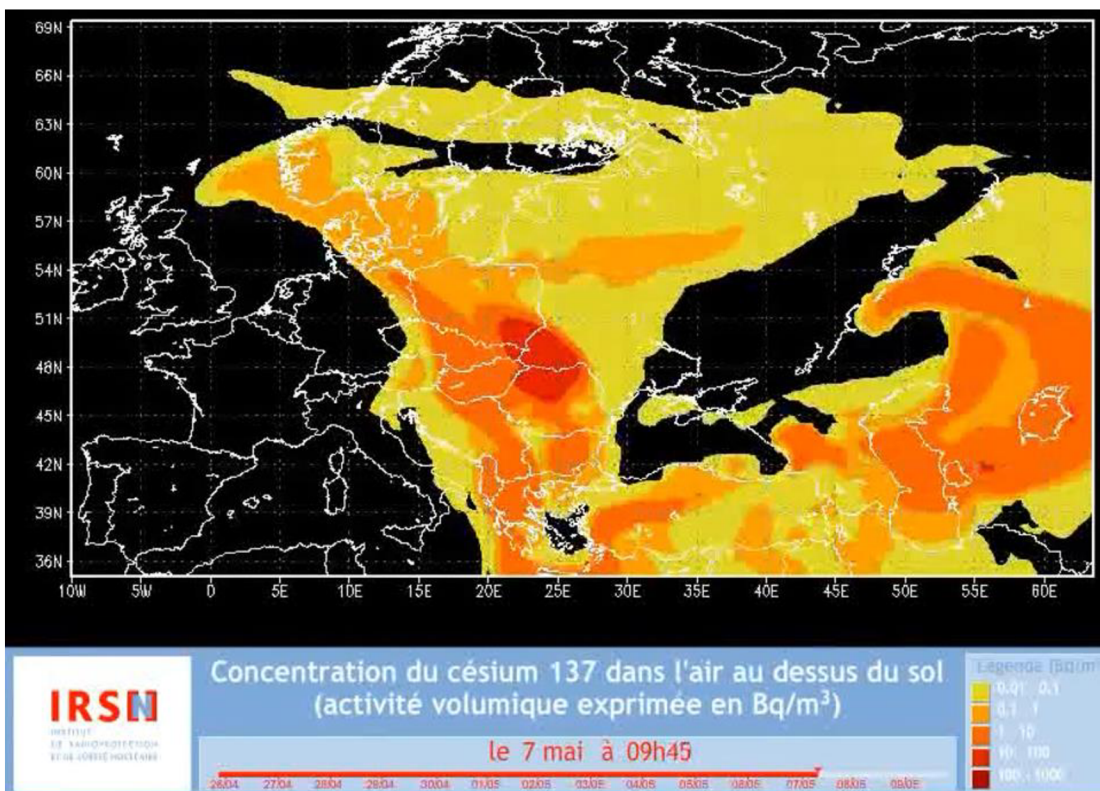
Podle výstřížků z videozáznamu dle IRSN (L'institut de radioprotection et de sûreté nucléaire, 2016) je z Obr. 2 a Obr. 3 patrné, že nad tehdejším Československem procházely dvě „vlny“ radioaktivního spadu. První se na území Československa dostala 29. dubna 1986 v dopoledních hodinách viz Obr. 1. Do druhého dne se kontaminovaná masa nacházela již nad celým Československem, viz Obr. 2. Od této chvíle kontaminovaná masa slábla, ale nezmizela úplně, až do zasažení druhou vlnou viz Obr. 3. Ta se k nám dostala 7. května, už však nepokryla celé území Československa.



Obr. 1: Černobylský radioaktivní mrak 29. 4. 1986 (L'institut de radioprotection et de sûreté nucléaire, 2016)



Obr. 2: Černobylský radioaktivní mrak - 1. vlna 30. 4. 1986 (L'institut de radioprotection et de sûreté nucléaire, 2016)



Obr. 3: Černobylský radioaktivní mrak - 2. vlna 7. 5. 1986 (L'institut de radioprotection et de sûreté nucléaire, 2016)

2.4 Soubor opatření ke zmírnění následků radiační havárie

Samotná elektrárna se musela nejprve vypořádat s požárem. I po uhašení se však v aktivní zóně vyvíjelo zbytkové teplo, při kterém se uvolňovalo vysoké množství radioaktivních látek. Aby se tomu zabránilo, byl za pomoci vrtulníků reaktor postupně zasypáván 5000 tunami směsí bóru, dolomitu, písku, hlíny a olova. Tento krok pomohl uhasit zbytek hořícího grafitu a částečně absorbovat unikající radioaktivitu. Dva týdny po havárii bylo rozhodnuto zakonzervovat celý čtvrtý reaktor i jeho strojovnu do tzv. „sarkofágu“. Šlo o betonové obálky se zabudovaným chladicím systémem k odvádění zbytkového tepla (Drábová et al., 2001).

Na území Československa bylo po zjištění jaderné havárie v Černobylu zintenzivněno monitorování radiační situace. Kompetenci pro něj měla ministerstva zdravotnictví a byl realizován skrze hlavní hygieniky obou států a krajskými hygienickými stanicemi. Jedním z prvních opatření bylo sledování obsahu radionuklidů v mléce a změna v krmení dojníc. Šlo o přesunutí krmení dobytka z čerstvé trávy na sušenou potravu, na co nejdelší možnou dobu. Některé mléko muselo být však z důvodu nesplnění limitů i vyléváno. Kvůli kontaminaci dětské mléčné výživy byly pro výrobce změněny i svozové oblasti mléka za ty, kde byla kontaminace nižší. Doporučeno bylo též zvýšené kropení ulic, dbát větší opatrnosti při výměně filtrů u ventilačních zařízení a přechodně zastavit výrobu léku ze štítných žláz dobytka. Konzumace zvěřiny se redukovala (Drábová et al., 2001).

Po Černobylské jaderné havárii došlo k výraznému zpřísnění a též i realizování požadavků na radiační a jadernou ochranu (Šín et al., 2017).

2.5 Účinky záření na lidský organizmus

„Z hlediska vztahu dávky a účinku je třeba rozlišovat dva základní typy účinků: Deterministické účinky: Jde o účinky, k nimž dochází v důsledku smrti části ozářené buněčné populace, jejich závažnost vzrůstá s dávkou od určitého dávkového prahu (pod ním se účinek neprojeví) a mají charakteristický klinický obraz. Do této skupiny patří např. akutní nemoc z ozáření nebo radiační zánět kůže“ (Státní úřad pro jadernou bezpečnost, nedatováno b).



Obr. 4: Způsoby ozáření (International Atomic Energy Agency, 2006)

Další účinek se označuje jako stochastický, dá se označit též jako pravděpodobný nebo náhodný. Velikost dávky nezmění, jak je projev závažný, ale mění frekvenci výskytu zhoubných nádorů a mutací v populaci. S dávkou tedy vzrůstá pravděpodobnost poškození u jednotlivce. Klinický obraz u stochastických účinků není ničím charakteristický, neodlišuje se od běžně vznikajících onemocnění. Patří sem především zhoubné nádory a genetické změny (Státní úřad pro jadernou bezpečnost, nedatováno b).

Účinky můžeme ještě rozdělit podle toho, zda jsou časně nebo pozdní. Po ozáření větší dávkou se nám objeví časně účinky, jako je již zmiňovaná nemoc z ozáření. Ta se projeví, pokud je celé tělo, či jeho velká část ozářena dávkou od 1 Gy výše. Mezi pozdní účinky pak řadíme výše zmíněné nádorové onemocnění, genetické vady, ale i zákal oční čočky, chronickou dermatitidu nebo nenádorová pozdní poškození (Státní úřad pro jadernou bezpečnost, nedatováno b).

3 Monitorování radiační situace v ČR

3.1 Veličiny

Vyhláška č. 360 o monitorování radiační situace říká: „*Veličinami důležitými z hlediska monitorování radiační situace jsou fyzikální veličiny charakterizující pole záření a obsah radionuklidů v monitorovaných položkách...*“ (Státní úřad pro jadernou bezpečnost, 2016g, s. 5647)

Aktivita

„*Aktivitou A se vyjadřuje počet radioaktivních přeměn za jednu sekundu. Měření probíhá v jednotkách becquerel [Bq]. Jedna přeměna za sekundu odpovídá 1 Bq. Dříve byla používána jednotka curie [Ci], 1Ci odpovídá $3,7 \cdot 10^{10}$ Bq*“ (WikiSkripta, 2022b).

„*Aktivita je přímo úměrná součinu celkového počtu dosud nepřeměněných jader s přeměnovou konstantou*“ (WikiSkripta, 2022b).

$$A(t) = \lambda N(t) \quad (1)$$

„*Přeměnová konstanta λ je charakteristická pro jednotlivé radioaktivní jádro a vyjadřuje pravděpodobnost jaderné přeměny. Tato konstanta odpovídá úměrnosti mezi počtem přeměněných radioaktivních jader a celkovým počtem nepřeměněných.*

Lze ji vyjádřit takto:“ (WikiSkripta, 2022b).

$$\lambda = \frac{\ln(2)}{T_{1/2}} \quad (2)$$

Kde $T_{1/2}$ odpovídá poločasu přeměny

Obecně lze proces úbytku radionuklidu v důsledku jeho radioaktivní přeměny popsat pomocí tzv. zákona radioaktivní přeměny.

$$N = N_0 \cdot e^{-\lambda(t-t_0)} \quad (3)$$

Kde N je počet atomů radionuklidu v čase t, N_0 je počet atomů radionuklidu v čase t_0 , λ je přeměnová konstanta (WikiSkripta, 2022b).

3.2 Cesium

Cesium je prvek, který se v tabulce značí jako „Cs“ a v jádře má 55 protonů. V životním prostředí se běžně vyskytuje v podobě stabilního izotopu Cs-133. Jedná se o měkký stříbřitý bílo-šedý druh kovu. V přírodě je pro nás jeho zdrojem vzácný minerál pollucit. Cesium má 11 hlavních radioaktivních izotopů. Ty se od sebe liší různým počtem neutronů v jádře, protonů mají však stejně. Pouze 3 z nich mají delší poločas rozpadu, jež vyvolává obavy z možného rizika. Jedním z nich je Cs-137 (Peterson et al., 2007).

Cs-137 s poločasem rozpadu 30 let je radioaktivní izotop, který vzniká při neutronovém štěpení U-235 a Pu-239. Používá se jako zdroj gama záření. V ozařovacích zařízeních pro radiobiologické účely a také v onkologii se používají zdroje Cs-137 s vyšší aktivitou - GBq (Hála, 2013).

Cs-137 pro nás může představovat riziko. *„Z ekologického hlediska patří Cs¹³⁷ k významným izotopům, protože při nekontrolovaném uvolnění způsobuje dlouhodobé zamoření životního prostředí.“* (Hála, 2013, s. 216) Cs-137 se umí pevně navázat na částice jílu, váže se také na organické složky sedimentu. Vzhledem k tomuto faktu bylo Cs-137, které se do životního prostředí dostalo díky testům jaderných zbraní či haváriemi využito i pro sledování eroze půdy (Hála, 2013).

Při testech jaderných zbraní a jaderných haváriích se do ovzduší dostal také jiný radionuklid cesia, je jím Cs-134. Díky kratšímu poločasu rozpadu než má Cs-137 už je však v současné době pod mezí detekce (Státní úřad pro jadernou bezpečnost, nedatováno c).

Radionuklid Cs-135 má poločas rozpadu okolo 2,3 milionu let. Je tedy izotopem cesia s nejdelším poločasem rozpadu. Vzniká ze Xe-135 při štěpení uranu v jaderném reaktoru. Produkce Cs-135 je však celkem nízká, protože jeho mateřský nuklid Xe-135 ve velké míře zachytává neutrony a mění se na stabilní Xe-136 dříve, než dojde k jeho rozpadu na Cs-135 (Wikipedie, 2022c). Vzhledem k jeho dlouhému poločasu přeměny je ale nutné tento radionuklid zahrnout do bezpečnostních rozborů hlubinných úložišť vysoceaktivních odpadů (Vokál et al., 2012).

3.2.1 Chování Cs-137 v organismu člověka

„Významnost monitoringu radionuklidu cesia-137 v životním prostředí spočívá v jeho interferenci s draslíkem, lidské tělo ho snadno vstřebává (asi z 80 %) a vylučuje ho močí. Jeho biologický poločas je 110 dní, ukládá se především v měkkých tkáních“ (Havránek a Havránková, 2005, s. 361).

Gastrointestinální absorpce z jídla či vody je hlavním zdrojem vnitřní depozice cesiem v běžné populaci. Po příjmu se Cs-137 vstřebá z trávicího traktu do krevního řečiště a následně se rovnoměrně rozloží po celém těle. Koncentruje se hlavně ve svalech. U dospělého člověka se 10% cesia vyloučí s biologickým poločasem 2 dny, pro zbytek platí již zmíněný biologický poločas 110 dní. Pokud je člověk vystaven radioaktivnímu cesiu a zdroj záření je následně odstraněn, jeho velká část se během několika měsíců vyloučí z těla stejným způsobem, jako se vylučuje draslík. U dětí a dospívajících probíhá vylučování rychleji (Peterson et al., 2007).

K vyjádření celkového úbytku Cs-137 z organismu je možné využít exponenciální rovnici, kterou lze formulovat ve tvaru:

$$A = A_0 \cdot e^{-\frac{\ln(2)}{T_{1/2}} \Delta t} \quad (4)$$

Kde A je aktivita v těle osoby v čase t , A_0 je aktivita v těle osoby v čase $t = 0$, $T_{1/2}$ je biologický poločas (ve dnech), Δt je rozdíl mezi daty měření ve dnech (WikiSkripta, 2015a).

3.3 Draslík, K-40

3.3.1 Výskyt draslíku v přírodě

Draslík je bohatě zastoupen na Zemi i ve vesmíru. Předpokládá se, že zemská kůra obsahuje 2,0–2,4 % draslíku, čímž se řadí na 6. místo ve výskytu prvků na zemi. Průměrný obsah v mořské vodě činí přibližně 380 mg/l. Ve vesmíru se předpokládá výskyt 1 atomu draslíku na přibližně 10 milionů atomů vodíku.

Kromě významného podílu draslíku v mořské soli jej nalézáme také téměř ve všech podzemních minerálních vodách.

Z minerálů, obsažených v zemské kůře je nejznámější sylvín, chemicky chlorid draselný, KCl. Významný je také dusičnan draselný KNO_3 , zvaný ledek draselný (Wikipedie, 2016a).

3.3.2 Biologický význam draslíku

Draslík patří k prvkům nezbytným pro lidský organismus. Podílí se na udržování rovnováhy minerálů v tělních tekutinách, ovlivňuje činnost svalů, podílí se na regulaci krevního tlaku i srdečního tepu a na funkci některých enzymů. Draslík je i přirozeným diuretikem, které zvyšuje odvod vody z organismu. Dlouhodobá nerovnováha mezi vysokým příjmem sodíku a nízkým přívodem draslíku je jedním z rizikových faktorů vzniku hypertenze. Vysoký obsah draslíku najdeme v kakau, sóje a sójových výrobcích, ve fazolích, čočce, rozinkách, hrachu či vlašských ořechích. Draslík je obsažen také v mléčných výrobcích, ovoci, zelenině, obilovinách, bramborách nebo kávě. Organismus se špatně vyrovnává jak s nedostatkem, tak s přebytkem draslíku (problémy jsou u diabetiků, onkologických pacientů, pacientů s chorobami srdce, ledvin a jater). Jeho denní doporučená dávka nebyla pro člověka přesně stanovena (Wikipedie, 2016a).

3.3.3 Izotopové složení a aktivita draslíku

Na zemi se vyskytují tři izotopy draslíku. Izotopy K-39 a K-41 jsou stabilní. Izotop K-40 je radioaktivní s poločasem přeměny 1,25 miliardy let. Patří k tzv. primordiálním radionuklidům, tedy k těm, jež jsou na Zemi od jejího vzniku. Z tohoto důvodu je izotopové složení draslíku stabilní, podíl K-40 sice v čase klesá, ale z hlediska délky lidského života je v podstatě konstantní. Současné izotopové složení draslíku je uvedeno v Tab. 1.

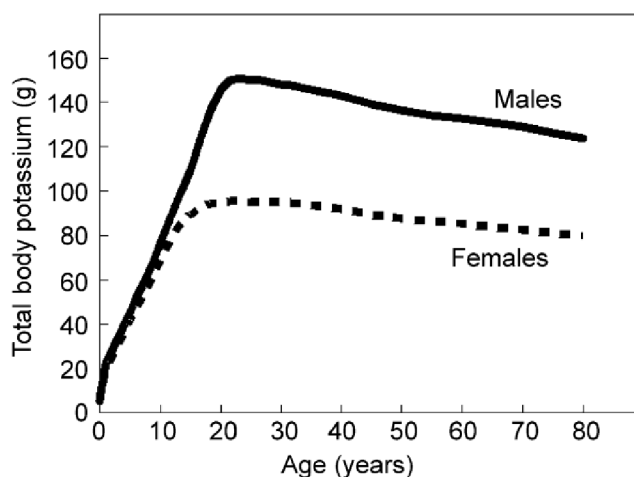
Přestože je draslík důležitý biogenní prvek, izotop K-40 přispívá k vnitřnímu ozáření (Landa, 2023). Hodnoty měrné a molární aktivity draslíku jsou v Tab. 2.

Tab. 1: Izotopové složení draslíku (Landa, 2023)

nuklid	Z	N	hmotnost	poločas přeměny	způsob přeměny	podíl přeměny	dceřiný nuklid	obsah
			u	a		%		molární %
³⁹ K	19	20	38,963706487	stabilní				93,2581
⁴⁰ K	19	21	39,96399817	1,248 · 10 ⁹	β ⁻	89,28	⁴⁰ Ca	0,0117
					EC	10,72		
					β ⁺	0,001	⁴⁰ Ar	
⁴¹ K	19	22	40,961825258	stabilní				6,7302

Tab. 2: měrné a molární aktivity draslíku a KCl (Landa, 2023)

izotop, prvek, sloučenina	molární hmotnost	aktivita	
		měrná	molární
	$\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$	$\text{Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$	$\text{Bq} \cdot \text{mol}^{-1}$
^{40}K	39,96399817	2,652E+08	1,060E+07
K	39,0983	1,268E+06	4,956E+04
KCl	74,5498	6,648E+05	4,956E+04



Obr. 5: Graf celkového tělesného draslíku u žen a mužů v průběhu věku (ICRP, 2002)

Z grafu na Obr. 5 je patrné, že množství draslíku v těle člověka závisí na pohlaví a věku.

Radionuklid K-40 je nejvíce významným zdrojem radioaktivního záření uvnitř těla lidí i živočichů. Člověk s váhou 70 kg má v sobě okolo 140 g draslíku z čehož 0,0164 g představuje K-40. Průměrná aktivita tohoto radionuklidu je přibližně 4300 Bq (Wikipedie, 2021b).

3.4 Způsoby monitorování radionuklidů v životním prostředí

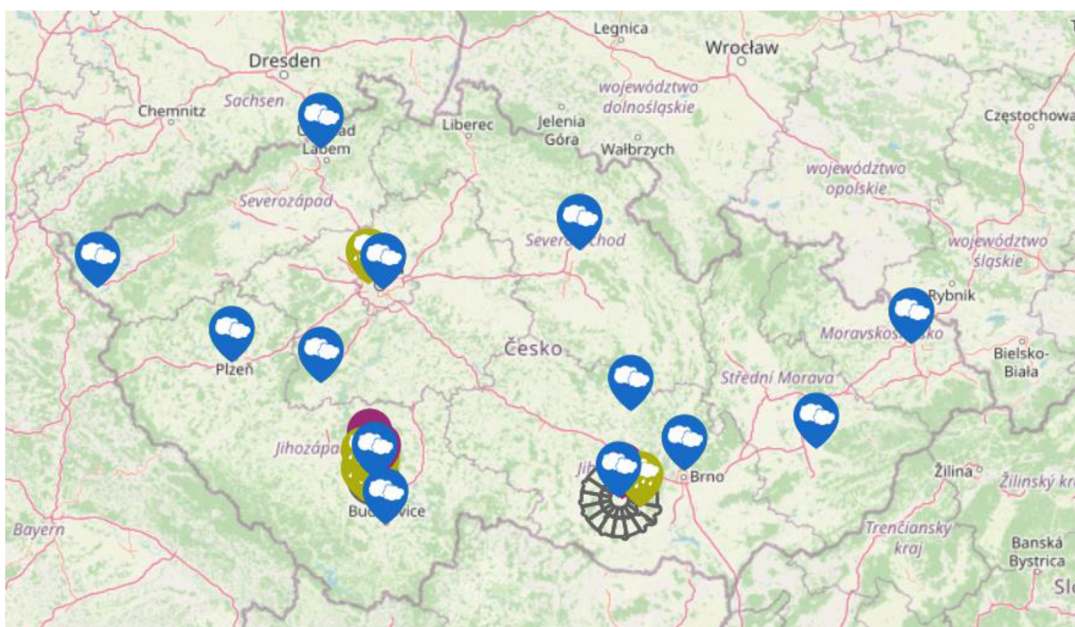
Monitorování radiační situace v ČR je zajišťováno radiační monitorovací sítí řízenou Státním úřadem pro jadernou bezpečnost. Předmětem monitorování jsou například vzorky životního prostředí nebo ovzduší (Státní ústav radiační ochrany, nedatováno a).

3.4.1 Monitorování ovzduší

Radionuklidy v ovzduší jsou monitorovány na měřicích místech kontaminace ovzduší (MMKO), „*Teritoriální síť se skládá z 10 MMKO provozovaných RC SÚJB, SÚRO a ČHMÚ*“ (Státní ústav radiační ochrany, nedatováno b).

„*Úkolem sítě je vzhledem k její velké citlivosti spolu se sítí včasného zjištění monitorovat i malé kvalitativní a kvantitativní změny obsahu umělých radionuklidů v atmosféře a sledovat dlouhodobé časové průběhy, na jejichž základě lze odhadnout radiační zátěž obyvatelstva z inhalace. Filtr s kontinuálně odebíraným aerosolem je měněn zpravidla v týdenních intervalech a následně měřen pomocí polovodičové spektrometrie gama. Ve spektrech je identifikovatelné dlouhodobě v nízkých aktivitách umělé ^{137}Cs a přírodní radionuklidy ^7Be , které je kosmogenního původu, a ^{210}Pb , které je produktem přeměny přírodního ^{222}Rn . Přírodní radionuklidy jsou hodnoceny hlavně z důvodu ověření správnosti měření jednotlivých laboratoří RMS*“ (Státní úřad radiační ochrany, nedatováno b). Přímou v areálu SÚRO Praha se nachází odběrové zařízení Snow white (Sněhurka) s průtokem vzdušiny $900\text{m}^3/\text{h}$, viz Obr. 7 (Státní ústav radiační ochrany, nedatováno b).

Na Obr. 6 je znázorněné rozmístění stanic pro odběr aerosolů a spadů v rámci ČR.



Obr. 6 Místa monitorování spadů a aerosolů v ČR (Státní úřad pro jadernou bezpečnost, nedatováno d)



Obr. 7 - Odběrové zařízení Sněhurka (Foto – autorka, 2023)

3.4.2 Monitorování potravin a životního prostředí

Stabilní cesium je běžně obsaženo jak v zemské kůře, tak v mořské vodě. Radioaktivní cesium je v půdě též přítomno po celém světě, převážně je tomu tak v důsledku spadu po testech jaderných zbraní, či jaderných haváriích (Peterson et al., 2007).

„Distribuce ^{137}Cs po havárii JE Černobyl nebyla na území ČR homogenní. Její nehomogenita byla způsobena koincencí lokálních srážek s průchodem kontaminovaného mraku (několik průchodů v různých směrech). Vyšší hodnoty byly nalezeny v oblasti bývalého Severomoravského kraje a Jihočeského kraje“ (Pilátová et al., 2011, s. 3).

Cs-137 je obsaženo například i ve dřevě, kam se dostává z půdy kořenovým systémem stromů. Lýkem se rozšíří až do středu kmene stromu. Množství Cs-137 ve stromech je závislé na druhu stromu, hloubce jeho kořenů a kontaminaci lesní půdy Cs-137 (Havránek a Havránková, 2005).

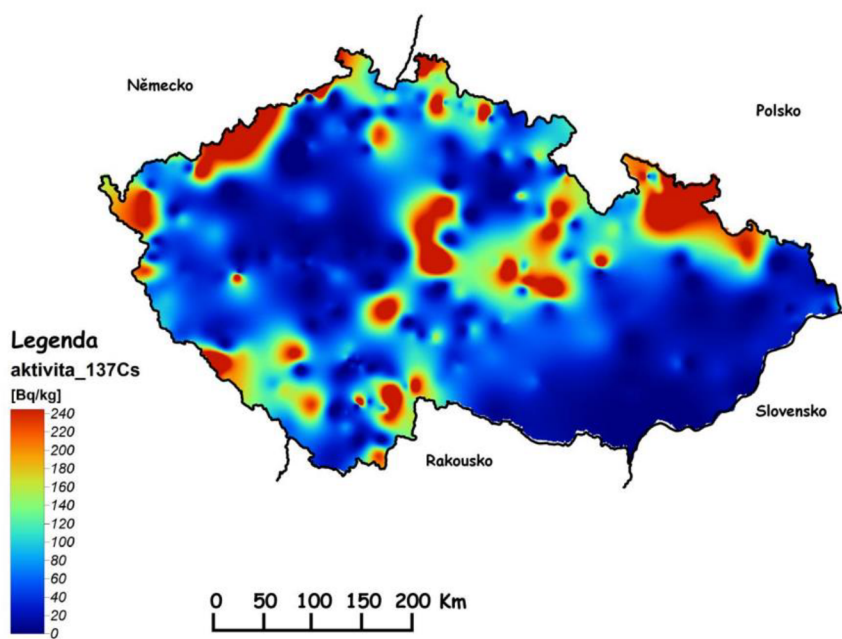
V rámci pravidelného monitorování životního prostředí jsou prostřednictvím monitorovacích sítí pro zevní a vnitřní ozáření, jež řídí SÚJB, odebírány vzorky půdy,

pitné i povrchové vody a jiné. Při posledním monitorování v roce 2022 byla stanovena průměrná aktivita půdy do hloubky 5 cm na 451 Bq/m² (Státní úřad pro jadernou bezpečnost, 2022e).

„Zatímco v hlavních komoditách spotřebního koše obyvatel ČR jsou v současnosti aktivity ¹³⁷Cs na úrovni setin až desetin Bq/kg, lesní produkty a především houby obsahují aktivity i o čtyři řády vyšší. Lesní ekosystém uchovává ¹³⁷Cs uvnitř cyklické výměny mezi svrchními vrstvami půdy (stelivo), bakteriemi, mikrofaunou, mikroflórou a vegetací po dlouhou dobu. Schopnost hub akumulovat ¹³⁷Cs je ovlivněna řadou faktorů. Mezi nejvýznamnější patří druh houby, druh půdy a její vlhkost, míra kontaminace a doba, která uplynula od kontaminace půdy a s ní související vertikální distribuce“ (Škrkal et al., 2012, s. 2).

Na Obr. 8 je znázorněna aktivita Cs-137 v houbách na území České republiky.

„Relativně vyšší obsah ¹³⁷Cs oproti ostatním poživatinám je stále pozorován v houbách, lesních plodech a mase divoké zvěře. Hodnoty hmotnostní aktivity ¹³⁷Cs v těchto produktech dosahují jednotek až stovek Bq/kg; výjimečně až tisíců Bq/kg (prase divoké). Pokles aktivity ¹³⁷Cs je v nich velmi pomalý; je dán charakterem ekosystému. Vzhledem k relativně vyšší aktivitě je, i přes jejich malou spotřebu, příspěvek k celkovému úvazku efektivní dávky z ingesce ¹³⁷Cs vyšší ve srovnání s ostatními druhy poživatin; avšak vzhledem k ozáření z přírodních zdrojů je zcela zanedbatelný (méně než 0,1%)“ (Státní ústav radiální ochrany, nedatováno c).



Obr. 8: Hmotnostní aktivity Cs-137 v houbách na území ČR v letech 2004-2012 (Škrkal et al., 2012)

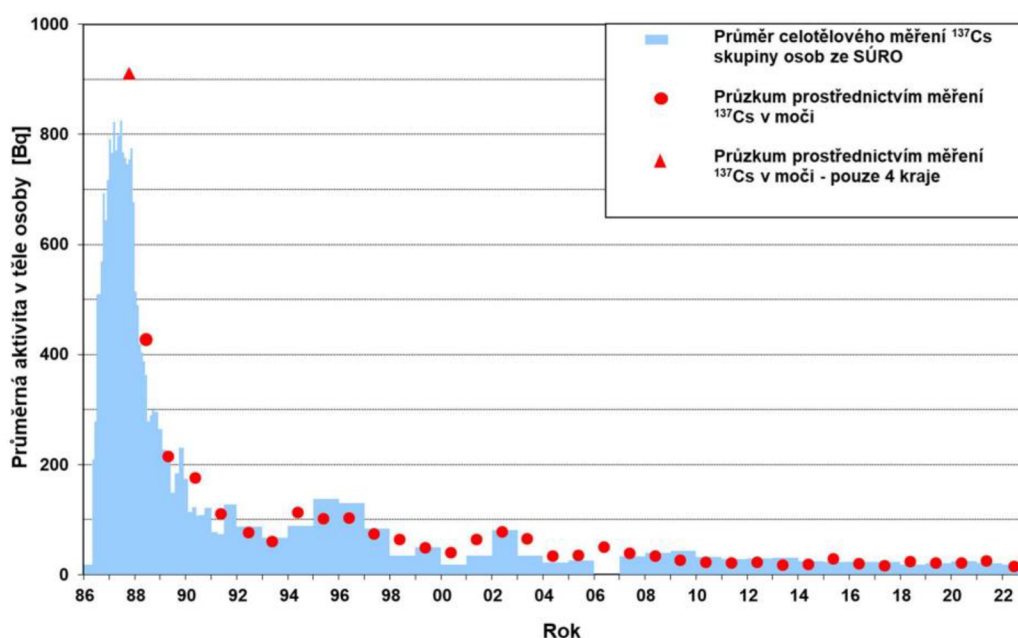
3.4.3 Monitorování obyvatelstva

Od roku 1986 (po výbuchu jaderné elektrárny v Černobylu) se v naší zemi plošně sleduje vnitřní kontaminace radionuklidy. Celotělové měření se provádí na celotělovém počítači u vybrané skupiny osob. Dále se měří aktivita Cs-137 v moči u jiné vybrané skupiny obyvatel (Státní úřad pro jadernou bezpečnost, nedatováno c).

Na Obr. 9 je znázorněn vývoj retence Cs-137 v letech 1986-2022 u obyvatel České republiky.

Poslední monitorování vnitřní kontaminace Cs-137 proběhlo v roce 2022 na celotělovém počítači v SÚRO Praha. Měření se zúčastnilo 30 dobrovolníků z řad obyvatel. Z důvodu malého obsahu Cs-137 u populace se toto měření provádí již pouze jednou do roka a je zapotřebí delšího času pro měření jedné osoby. Pro rok 2022 vychází průměrná aktivita Cs-137 v těle jedince na 18 Bq (Státní úřad pro jadernou bezpečnost, 2022e).

V roce 2022 také proběhlo monitorování aktivity Cs-137 vyloučeného moči za 24 hodin. Vzorčky byly nasbírány od 70 osob, které svými stravovacími zvyklostmi odpovídají průměrnému obyvatelstvu. Průměrná aktivita Cs-137 vyloučeného moči vychází pro rok 2022 na 0,093 Bq/den (Státní úřad pro jadernou bezpečnost, 2022e).



Obr. 9 – Vývoj retence Cs-137 v letech 1986-2022 u českého obyvatelstva – SÚRO Praha (Státní úřad pro jadernou bezpečnost, 2022f)

Od roku 2000 je též kromě obyvatelstva sledována skupina osob, které mají speciální stravovací zvyklosti, přesněji konzumaci masa divokého prasete. U těchto osob je obsah Cs-137 v těle asi o 2 řády vyšší, než u běžné populace (Malátová a Fojtík, 2019).

Celotělový počítač (CTP)

Celotělový počítač je přístroj, který slouží pro stanovení obsahu radionuklidu v tělech osob. Činí tak měřením aktivity ve stínící komoře za pomoci polovodičové spektrometrie záření gama a stanovením úvazku efektivní dávky získané výpočtem naměřených hodnot (Státní ústav radiační ochrany, 2022e).

Celotělový počítač v SÚRO, v.v.i. se skládá především ze spektrometrické trasy s polovodičovým detektorem (umístěný ve stínící kobce, viz Obr. 10), počítače, který má program pro analýzu spekter. Detektor je chlazen pomocí kapalného dusíku a při měření se nachází ve vodorovné poloze. Komora celotělového počítače (viz Obr. 11), která je nezbytná pro realizaci měření, je tvořena z 21 cm tlustých ocelových stěn. V komoře s vnitřními rozměry 2 x 2 x 2,5 m se nachází křeslo určené pro měřené osoby (Státní ústav radiační ochrany, 2022e).

Před měřením je osoba dotázána na osobní informace, výšku a váhu. Dále se osoba svlékne do spodního prádla, oblékne si čistý připravený plášť a obuje si poskytnuté přezuvky. V případě, že osoba přichází z pracovního prostředí (týká se radiačních pracovníků), tak se musí před měřením ještě osprchovat. Odloží si osobní předměty, jako jsou hodinky a šperky. Měřená osoba se usadí do křesla ve stínící komoře, která je kontrolována kamerou. Po uzavření dveří se spustí měření, za obvyklé situace trvá 20 minut (Státní ústav radiační ochrany, 2022e).



Obr. 10 – Detektor celotělového počítače v SÚRO, v.v.i v Praze (Foto – autorka, 2023)



Obr. 11 – Stínící komora CTP v SÚRO, v.v.i v Praze (Foto – autorka, 2023)

4 Praktická část

4.1 Výzkumné cíle a předpoklady

- 1) **Výzkumný cíl:** Monitorování vnitřní kontaminace Cs-137 u dobrovolníků z řad obyvatel.

Výzkumný předpoklad: Předpokládáme, že hodnota retence bude měřitelná.

- 2) **Výzkumný cíl:** Vzájemné porovnání hodnot retence Cs-137 stanovené u skupiny dobrovolníků.

Výzkumný předpoklad: Předpokládáme, že se výsledky retence budou u každého dobrovolníka lišit, vzhledem k jeho stravovacím návykům a místu bydliště.

- 3) **Výzkumný cíl:** Zhodnocení míry kontaminace Cs-137 u vybraných obyvatel.

Výzkumný předpoklad: Předpokládáme, že kontaminace Cs-137 nebude příliš vysoká, ale u jednotlivých respondentů se bude lišit dle sezónnosti některých potravin.

- 4) **Výzkumný cíl:** Zjistit, jaké mají specifické stravovací návyky vliv na vnitřní kontaminaci Cs-137.

Výzkumný předpoklad: Předpokládáme, že u dobrovolníků konzumujících určité potraviny bude hodnota retence vyšší.

4.2 Metody

V průběhu tvorby bakalářské práce bylo monitorování vnitřní kontaminace provedeno metodou měření na celotělovém počítači. U jednoho respondenta bylo přistoupeno ke stanovení aktivity Cs-137 i ve vzorku moči. Důvodem byla výrazně vyšší hodnota retence Cs-137 při měření na CTP oproti ostatním respondentům. Monitorovány byly i vzorky potravin, konkrétně masa z divokého prasete, hub čerstvých a hub sušených. Měření byla realizována v laboratořích SÚRO Praha. Protokol k realizaci výzkumu naleznete v příloze: Příloha B: Protokol k realizaci výzkumu.

Kvůli lepšímu zhodnocení výsledků a pro porovnání s ovlivňujícími faktory (způsob stravování, roční období, lokalita,...) byl dobrovolníky vyplněn také anonymní dotazník, jehož nevyplněnou verzi najdete v příloze: Příloha A: Nevyplněná verze dotazníku.

4.3 Stanovení retence Cs-137 na celotělovém počítáči

Přípravy na měření započaly již v květnu 2022 návštěvou a exkurzí Státního ústavu radiační ochrany (SÚRO), kde byla konzultována metoda a doba měření. Osloveno bylo 11 dobrovolníků z řad obyvatel, převážná většina z Libereckého kraje, 2 respondenti potom z kraje Hlavní město Praha. Monitorování probíhalo ve třech sezónách, na jaře, na podzim při konci houbařské sezóny a v zimě. Každý dobrovolník tedy absolvoval 3 měření. Kromě tří osob, byl všem mnou zajištěn převoz autem do Prahy, přímo na místo měření.

Respondenti jsou jak muži, tak ženy různých věkových kategorií (4 muži ve věku 22–59 let a 7 žen ve věku 22–72 let). Každý z respondentů má jiné stravovací zvyklosti. Zaměřili jsme se především na informaci, zda osoba konzumuje kančí maso, lesní houby, či lesní borůvky.

4.3.1 Průběh měření na CTP

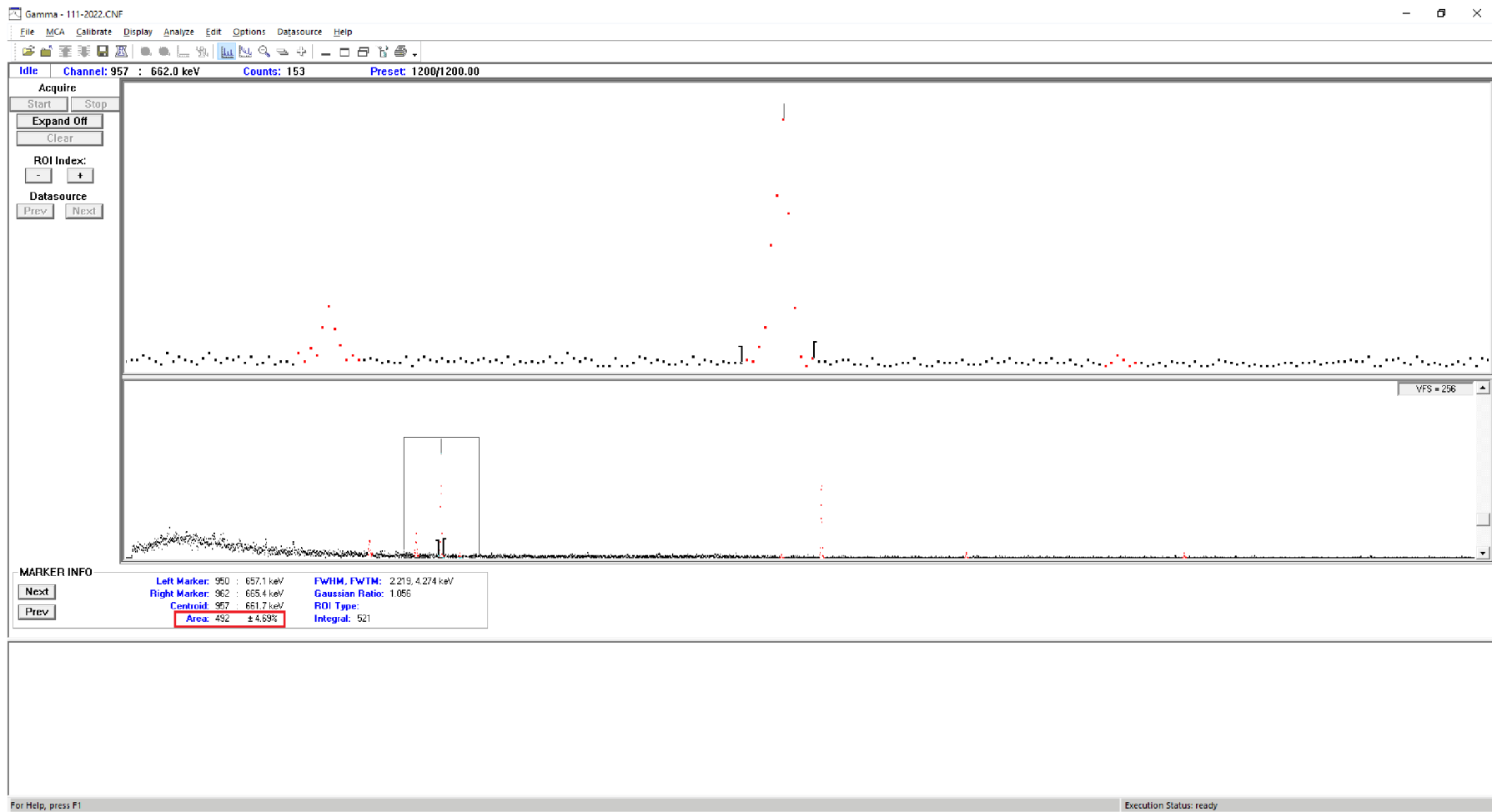
Měření probíhalo vždy jednotlivě. Dobrovolník se v šatně svlékl do spodního prádla a oblékl si čistý bílý plášť, též si obul připravené přezuvky, z důvodu zamezení zanesení vnější kontaminace měřící místnosti. Dále si respondent odložil mobilní telefon, hodinky a šperky. Před vstupem do stínící místnosti byl dotázán na osobní údaje, výšku a váhu. Dobrovolník se poté usadil na židli do stínící komory, kde v klidu setrval 20 minut, což byl stanovený čas pro měření jedné osoby. V průběhu měření je již možné kontrolovat spektra záření. Po uplynutí stanoveného času bylo měření hotové a dobrovolník mohl odejít.

Na Obr. 12 můžeme vidět respondenta připraveného k měření, usazeného před detektorem CTP ve stínící místnosti.

Na Obr. 13 je vyobrazené spektrum měření osoby 001 na CTP s výřezem na pík Cs-137 o energii 662 keV.



Obr. 12: Respondent připraven k měření (Foto – autorka, 2023)



Obr. 13: Spektrum z měření CTP osoby č. 001 – výřez na pik Cs-137 – 662 keV (Obr. – Mgr. Vendula Rovenská, 2023)

4.4 Analýza výzkumných dat

Tab. 3: Retence Cs-137 v Bq naměřená u dobrovolníků

ID osoby	1. měření - červen 2022			2. měření - říjen 2022			3. měření - únor 2023			průměr	
	datum	hodnota	nejistota	datum	hodnota	nejistota	datum	hodnota	nejistota	hodnota	nejistota
os. 001	31. 05. 2022	737	± 120	08. 10. 2022	774	± 120	03. 03. 2023	314	± 54	608	± 99
os. 002	31. 05. 2022	113	± 24	08. 10. 2022	90	± 21	27. 02. 2023	27	± 12	77	± 23
os. 003	31. 05. 2022	< 23		08. 10. 2022	< 24		27. 02. 2023	< 23		12	
os. 004	31. 05. 2022	< 26		08. 10. 2022	40	± 11	27. 02. 2023	22	± 13	25	± 11
os. 005	03. 06. 2022	< 22		15. 10. 2022	32	± 9	09. 03. 2023	< 30		19	± 5
os. 006	03. 06. 2022	< 22		15. 10. 2022	27	± 14	25. 02. 2023	< 25		17	± 9
os. 007	03. 06. 2022	< 21		15. 10. 2022	61	± 18	25. 02. 2023	< 30		29	± 9
os. 008	03. 06. 2022	< 27		08. 10. 2022	< 28		25. 02. 2023	< 23		13	
os. 009	06. 05. 2022	28	± 7	20. 10. 2022	< 28		09. 03. 2023	< 30		19	± 5
os. 010	06. 05. 2022	38	± 8	20. 10. 2022	36	± 16	26. 01. 2023	56	± 17	43	± 14
os. 011	05. 06. 2022	< 10		20. 10. 2022	29	± 15	09. 03. 2023	< 21		15	± 8
Průměr os. 001-011		90	± 19		103	± 35		46	± 18	80	± 27
Průměr os. 002-011		26	± 6		36	± 13		20	± 9	27	± 10
Průměr os. 003-011		16	± 4		29	± 11		19	± 8	21	± 8

Analýza Tab. 3:

V této tabulce jsou uvedeny výsledky 1. (červená), 2. (zelená) i 3. (modrá) měření aktivity Cs-137, včetně data jejich provedení. V levém sloupci je označení osoby, ke které se vztahuje celý řádek. V posledních třech řádcích jsou vypsané průměry všech osob z jednotlivých měření. Na úplném konci posledního řádku je žlutě vyznačený průměr všech osob ze všech měření, též jen osob 002-011 nebo 003-011 ze všech měření. Aktivita (retence) se vyjadřuje v jednotkách Bq. „±“ značí nejistotu = rozmezí, ve kterém se výsledná aktivita může s určitou pravděpodobností vyskytovat. „*Nejistota stanovení aktivity radionuklidů představuje kombinovanou standardní nejistotu. Je-li stanovená hodnota aktivity menší než NVA, uvede se jako výsledek stanovení hodnota NVA se znakem „ < “ před hodnotou NVA. NVA resp. NDA se vyjadřuje v jednotkách Bq na hladině spolehlivosti 95 %.*“ (Státní ústav radiační ochrany, 2022e).

Celkově nejvyšší hodnoty, a to ve všech třech měřeních, byly zaznamenány u osoby 001. Nejvyšší hodnota 774 Bq (± 120 Bq) byla získána při 2. měření. Dle níže uvedené Tab. 4 pochází respondent z myslivecké rodiny a pravidelně konzumuje kančí maso. Mezi 2. měřením (aktivita 774 Bq) a 3. měřením (aktivita 314 Bq) uběhlo 145 dní. Při použití exponenciální závislosti retence Cs-137 na čase (viz Kapitola Chování Cs-137 v organismu člověka), za předpokladu biologického poločasu 110 dní, by vycházela teoretická aktivita v těle respondenta 310 Bq. To je ve velmi dobré shodě s hodnotou retence, která byla zjištěna při posledním měření. Nicméně, tato teoretická hodnota předpokládá, že osoba neměla mezi měřeními, žádný další příjem Cs-137, například v kančím masu či houbách. U našeho respondenta tento výpočet vychází i přesto, že mezi těmito měřeními, jak uvedl v dotazníku, konzumoval kančí maso a lesní houby.

Tato shoda může být způsobena několika faktory:

1. Kančí maso a houby, které osoba konzumovala mezi 2. a 3. měřením mohly obsahovat méně Cs-137, než které konzumoval dříve.
2. Metabolismus respondenta nemusí odpovídat referenčnímu člověku, proto může mít respondent i jiný biologický poločas než je průměrná hodnota 110 dní. Jeho tělo může Cs-137 vylučovat rychleji.
3. Nepřesnosti ve výpovědi respondenta, zapomenutí.

Vyšší hodnoty aktivity u prvního a druhého měření byly zaznamenány též u osoby 002. Naopak nejmenší hodnoty byly naměřeny u osoby 003 a osoby 008, které měly při všech měřeních aktivitu menší než NVA. Tito respondenti dle Tab. 4 konzumují málo

nebo zcela vůbec potravin s vyšším obsahem Cs-137. Nízké aktivity byly naměřeny také u osoby 009 a 011.

U ostatních respondentů (osoby 004, 005, 006, 007) si můžeme povšimnout, že se jejich hodnoty aktivity během druhého měření zvýšily. V průběhu 1. a 3. měření byly hodnoty nízké. Zvláštní výjimkou je osoba 010, u které byla nejvyšší hodnota naměřena při posledním měření. V Tab. 4 tento respondent uvádí, že je pravidelným konzumentem ze zásob. To může být důvodem, proč se výsledky liší od ostatních osob.

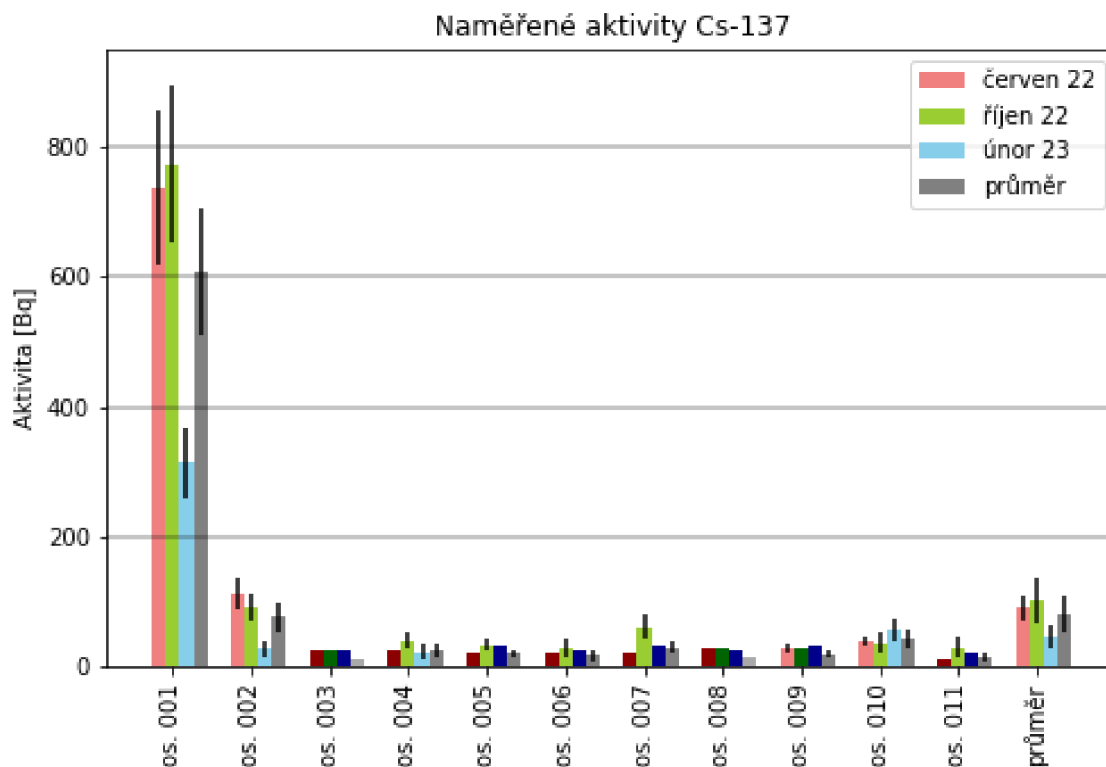
Průměrné hodnoty aktivity jsou počítány aritmetickým průměrem s tím, že v případě hodnot menších než NVA se do průměru počítá $\frac{1}{2}$ NVA.

Průměrná hodnota nejistoty aktivity Cs-137 v těle byla vypočítána z průměru relativních nejistot a průměrné hodnoty aktivity Cs-137. Hodnota aktivity Cs-137 u všech respondentů vychází 80 Bq. Pokud do průměru nezapočítáme osobu 001, popřípadě i osobu 002, výsledná hodnota se nám celkem výrazně sníží.

Kontaminace Cs-137 při monitorování u vybraných obyvatel in vivo byla prokázána, její míra je však velmi nízká. Možná zdravotní rizika jsou vzhledem k jiným zdrojům ionizujícího záření, se kterými se běžně setkáváme, zanedbatelné.

Osoby 009, 010 a 011 byly při prvním monitorování v červnu měřeny jinou dobu než ostatní osoby. Doba jejich měření trvala 2 hodiny, zatímco doba pro měření ostatních respondentů byla 20 minut, což bývá standardní doba pro měření na CTP. Delší čas měření vede k přesnějšimu stanovení aktivity a také se úměrně snižuje hodnota NVA.

K Tab. 3 jsou níže zobrazeny grafy na Obr. 14 a Obr. 15.



Obr. 14: Výsledky stanovení aktivity Cs-137 u zkoumaných osob

Graf na Obr. 14:

Vyobrazený graf je vytvořený na základě údajů z Tab. 3. Ukazuje naměřené aktivity Cs-137 všech měřených osob ze tří proběhlých měření.

Výsledné hodnoty jsou rozlišené barvami:

Červená – 1. měření (přelom května a června)

Zelená – 2. měření (měsíc říjen, konec houbařské sezóny)

Modrá – 3. měření (probíhající od konce ledna až po začátek března)

Černý pruh – nejistota (rozmezí, ve kterém se může výsledná hodnota pohybovat)

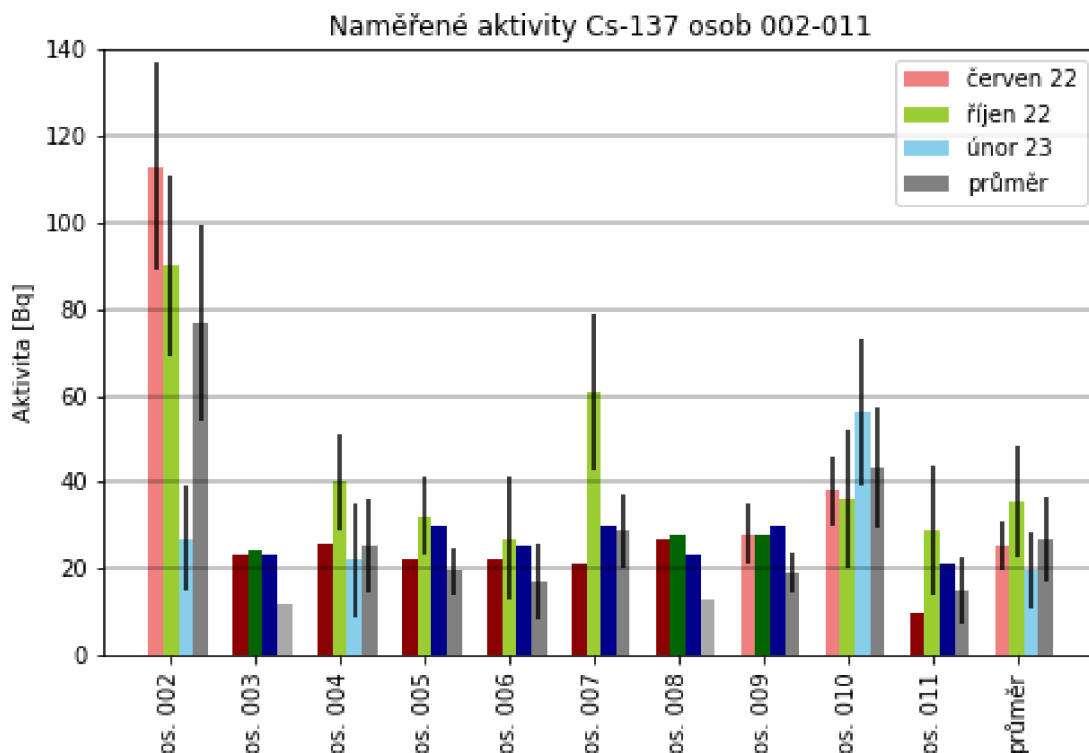
Dle odstínu barvy dále dělíme na:

Stanovená aktivita – světlé odstíny

NVA – Nejnižší významná aktivita – tmavé odstíny

Na konci vodorovné osy grafu je vyobrazený dle barev průměr aktivity Cs-137 všech osob z jednotlivých měření, šedá barva vyznačuje průměrnou hodnotu retence všech osob ze všech měření.

Dle grafu (viz Obr. 14) si můžeme všimnout, že průměrné hodnotě z našich respondentů odpovídá nejvíce osoba 002.



Obr. 15: Výsledky stanovení aktivity Cs-137 u zkoumaných osob 002-011

Graf na Obr. 15:

Vyobrazený graf je výřezem z grafu na Obr. 14, zaměřený na osoby 003-011. Zde můžeme detailněji vidět výsledné hodnoty Cs-137 osob, u kterých byla aktivita nižší, než u osob 001 a 002.

Výsledné hodnoty jsou rozlišené barvami:

Červená – 1. měření (přelom května a června)

Zelená – 2. měření (měsíc říjen, konec houbařské sezóny)

Modrá – 3. měření (probíhající od konce ledna, až po začátek března)

Černý pruh – nejistota (rozmezí, ve kterém se může výsledná hodnota pohybovat)

Dle odstínu barvy dále dělíme na:

Stanovená aktivita – světlé odstíny

NVA – Nejnižší významná aktivita – tmavé odstíny

Na konci vodorovné osy grafu je vyobrazený dle barev průměr aktivity Cs-137 všech osob z jednotlivých měření, šedá barva vyznačuje průměrnou hodnotu retence všech osob ze všech měření.

Tab. 4: Informace získané od respondentů

ID osoby	Pohlaví	Věk [roky]	Váha [kg]	Výška [cm]	Kraj	Okres	Zvyklosti	Úprava potravin (kančí maso, houby)	Konzumace významných potravin		
									Před 1. měřením	Před 2. měřením	Před 3. měřením
os. 001	muž	22	80	190	liberecký	Liberec	z myslivecké rodiny, pravidelný konzument kančího masa, občasná konzumace lesních hub	pečené, dušené smažené, vařené, uzené, grilované	kančí maso týden před	kančí maso týden před, houby měsíc před	kančí maso 3 dny před, houby 2 měsíce před
os. 002	žena	22	55	160	liberecký	Liberec	Relativně pravidelná konzumace kančího masa, nejí houby, sezónní konzumace borůvek	pečené, dušené smažené, vařené	kančí maso týden před	kančí maso týden před	kančí maso 3 dny před
os. 003	žena	22	45	169	liberecký	Liberec	nejí houby, nejí kančí maso, borůvky výjimečně	neupravuje	neměla	neměla	neměla
os. 004	žena	22	65	160	liberecký	Liberec	příležitostný konzument kančího masa (3x/rok), sezónní konzument hub a borůvek, občasná konzumace ze zásob	pečené, dušené smažené, vařené	neměla	houby 2 dny před	naposledy po 2. měření
os. 005	žena	72	82	153	liberecký	Liberec	cca 2x do roka konzument kančího masa (2x/rok), sezónní konzumentka hub a borůvek, občasná konzumace ze zásob	sušení, smažení, vaření, mražené	neměla	houby týden předem	houby a borůvky 14 dní před
os. 006	žena	49	93	162	liberecký	Liberec	příležitostný konzument kančího masa (3x/rok), sezónní konzument hub a borůvek, občasná konzumace ze zásob	pečené, dušené smažené, vařené	neměla	houby den před	naposledy po 2. měření
os. 007	žena	47	71	169	liberecký	Liberec	občasný konzument kančího masa (3-4x/rok), sezónní konzument hub a borůvek	pečené, dušené smažené, vařené	kančí maso týden před	houby den před	naposledy po 2. měření
os. 008	muž	22	67	173	liberecký	Liberec	nejí houby, občasný konzument kančího masa (5x/rok), borůvky výjimečně	pečené, dušené smažené, vařené	kančí maso týden před	neměl	neměl
os. 009	žena	42	68	170	kraj Hl. město Praha	Praha	cca 1x do roka konzumace kančího masa, sezónní konzument borůvek, houby v sezóně (1x/měsíc)	vaření, sušení, zavařování	houby měsíc před měřením	houby 2 dny před	naposledy při druhém měření
os. 010	muž	37	77	175	liberecký	Liberec	nejí žádné maso, sezónní konzument lesních hub a borůvek, pravidelně i ze zásob	sušení, následně vaření, pečení	houby a borůvky 2-4x v daný měsíc měření	houby několik dní před	houby a borůvky 2-4x v daný měsíc měření
os. 011	muž	59	80	180	kraj Hl. město Praha	Praha	kančí maso výjimečně, sezónní konzument hub (3x/sezónu), občasná konzumace borůvek	vaření, smažení	neměl	houby týden před	naposledy při druhém měření

Výše uvedená Tab. 4 byla zpracovaná dle dotazníkových otázek, pro lepší porovnání a přehled v souvislostech mezi výsledky monitorování a zvyklostmi jednotlivých respondentů. Dobrovolníci vyplnili základní informace o sobě, jako je pohlaví, věk, výška a váha, což hraje nepostradatelnou roli. Dále byli dotazováni na kraj a okres, ve kterém bydlí. Tato informace je důležitá z důvodu, že spád Cs-137 nebyl rovnoměrný, na některých místech byla kontaminace větší, na některých zase nižší. Dalším důležitým bodem jsou zvyklosti ve stravování daných respondentů. Především jde o konzumaci lesních hub, kančího masa nebo zvěřiny obecně a lesních borůvek. Nalezneme zde i údaje o tom, jakým způsobem respondenti dané potraviny upravují. Na závěr byl každý dobrovolník požádán o informaci, kdy naposledy před prvním, druhým, i třetím měřením konzumoval dané potraviny.

Analýza dotazníkové Tab. 4:

Osoba 001 je muž věku 22 let pocházející z libereckého kraje. Váha je 80kg a výška 190cm. Uvedl, že pochází z myslivecké rodiny a příjem kančího masa je u nich oproti ostatním respondentům velmi častý. Potraviny zpracovává pečením, dušením, smažením či vařením, též uzením nebo grilováním. Kančí maso konzumoval týden před prvním měřením i druhým měřením, kdy měl navíc měsíc předem ještě lesní houby. U třetího měření měl kančí maso 3 dny předem a lesní houby 2 měsíce předem.

Osoba 002 je žena ve věku 22 let z libereckého kraje. Váha činí 55 kg a výška 160 cm. Respondentka je sezónní konzumentkou borůvek a pravidelně přijímá kančí maso, houby nejí. Potraviny zpracovává pečením, dušením, smažením či vařením. Kančí maso konzumovala týden před prvním i druhým měřením. Před třetím jedla kančí maso 3 dny nazpět.

Osoba 003 je žena ve věku 22 let, též z libereckého kraje s váhou 45 kg a výškou 169 cm. Dobrovolnice nejí kančí maso, ani lesní houby, borůvky konzumuje občasně. Před žádným z měření nekonzumovala dané potraviny.

Osoba 004 je žena věku 22 let, pochází z libereckého kraje. Její váha je 65 kg a výška 160 cm. Respondentka příležitostně konzumuje kančí maso a v sezóně konzumuje houby i borůvky, občasně i ze zásob. Potraviny upravuje: dušením, pečením, smažením a vařením. Před prvním měřením žádné z těchto potravin neměla, houby konzumovala 2 dny před druhým měřením a před třetím měřením též nic neměla.

Osoba 005 je žena ve věku 72 let, bydlí v libereckém kraji. Váží 82 kg a měří 153 cm. Tato osoba uvedla, že konzumuje kančí maso cca 2x do roka, dále lesní houby

a borůvky, především v jejich sezóně a také občasně konzumuje tyto potraviny ze zásob. Úprava potravin je dušením, smažením, vařením a též zamražením. Před prvním měřením respondentka nekonsumovala žádnou z daných potravin, houby konzumovala poté týden před druhým měřením, 14 dní před třetím měřením měla houby i borůvky.

Osoba 006 je 49letá žena z libereckého kraje s váhou 93 kg a výškou 163 cm. Kančí maso jí přibližně 3x za rok, houby a borůvky konzumuje v jejich sezóně, občas i ze zásob. Potraviny upravuje: dušením, pečením, smažením a vařením. Před prvním měřením žádné z těchto potravin neměla, houby konzumovala 1 den před druhým měřením a před třetím měřením též nic neměla.

Osoba 007 je žena ve věku 47 let, pochází z libereckého kraje. Váží 71 kg a měří 169 cm. Občasně (cca 3x za rok) jí kančí maso, houby a borůvky konzumuje v jejich sezóně. Potraviny upravuje: dušením, pečením, smažením a vařením. Týden před prvním měřením měla respondentka kančí maso. Při druhém měření konzumovala naposledy 1 den předem lesní houby a v nedaleké době před třetím měřením nic neměla.

Osoba 008 je 22letý muž z libereckého kraje. Jeho váha činí 67 kg a výška 173 cm. Dobrovolník nejí houby, občasně konzumuje borůvky a kančí maso (cca 5x do roka). Potraviny upravuje: dušením, pečením, smažením a vařením. Týden před prvním měřením jedl respondent kančí maso, před druhým a třetím nic neměl.

Osoba 009 je žena ve věku 42 let, pochází z kraje Hl. města Prahy. Její váha je 68 kg a výška 170 cm. Kančí maso konzumuje cca 1x za rok, houby a borůvky v sezóně. Potraviny upravuje vařením, sušením a zavařováním. Měsíc před prvním měřením a 2 dny před druhým měřením respondentka konzumovala lesní houby, před třetím měřením nic neměla.

Osoba 010 je 37 letý muž z libereckého kraje s váhou 77 kg a výškou 175 cm. Respondent nejí maso, lesní houby i borůvky konzumuje pravidelně, v sezóně i ze zásob. Potraviny upravuje sušením, následně vařením nebo pečením. Houby a borůvky konzumuje 2-4x v měsíci. Před druhým měřením měl houby naposledy několik dní předem.

Osoba 011 je muž ve věku 59 let z kraje Hl. města Prahy. Jeho váha činí 80 kg a výška 180 cm. Respondent konzumuje kančí maso výjimečně, lesní houby cca 3x za sezónu a borůvky občasně. Úprava potravin je vařením či smažením. Žádnou ze zmíněných potravin v nedávném čase před prvním ani třetím měřením neměl. Týden před druhým měřením jedl respondent lesní houby.

Analýza výsledků z měření vzorků moči

U jednoho z respondentů byla vnitřní kontaminace Cs-137 monitorována i metodou odběru vzorku moče, viz Tab. 5. Vzorek byl poskytnut při prvním a posledním měření respondenta 001.

Dobrovolník si stanovil hodinu, od které chtěl začít shromažďovat vzorek, v tuto dobu se došel vymočit, aby začínal s prázdným močovým měchýřem. Od této chvíle, shromažďoval všechny vzorky po dobu 24 hodin. Tento postup je stanovený dle metodiky sběru moči (Státní ústav radiační ochrany, 2023f).

Tab. 5 Aktivita ve vzorku 24 h. moči u osoby 001

Datum sběru	Exkrece Cs-137 (Bq/den)	
	hodnota	nejistota
02. 06. 2022	1,9	± 0,1
03. 03. 2023	2,2	± 0,1

“±“ značí nejistotu = rozmezí, ve kterém se výsledná aktivita může pohybovat.

Tab. 5 ukazuje hodnoty měření moči u respondenta 001. K datu 2. 6. 2022 vyšla hodnota 1,9 Bq/den s nejistotou ± 0,1 Bq/den. Při měření druhého vzorku moče dne 3. 3. 2022 byla výsledná hodnota 2,2 Bq/den s nejistotou ± 0,1 Bq/den.

V porovnání s průměrnou aktivitou moči vyloučené za 24 hodin, která byla naměřena v radiační monitorovací síti v roce 2022, je aktivita v moči osoby 001 výrazně vyšší. Průměrná hodnota aktivity dle SÚRO, zmíněná v kapitole „Monitorování obyvatelstva“ činí 0,093 Bq/den u obyvatel s průměrnými stravovacími zvyklostmi. Hodnota aktivity osoby 001 je v porovnání s uvedeným průměrem více než 19x větší při prvním měření a dokonce více než 23x větší při měření druhém. Tento rozdíl aktivit respondenta s průměrnou aktivitou u obyvatelstva je způsoben především specifickými stravovacími návyky, které osoba 001 má. Mezi ně patří především konzumace kančího masa a lesních hub.

4.4.1 Porovnání stravovacích návyků s množstvím Cs-137 v těle

Dle mnoha předchozích studií a i námi získaných dat můžeme říci, že určité stravovací návyky mohou ovlivnit množství Cs-137 v lidském těle. Jedná se zejména

o konzumaci kančího masa, lesních hub, dále lesních borůvek či jiné zvěřiny obecně.

Pro porovnání byli vybráni tito respondenti:

Osoba 001 - pravidelně konzumuje kančí maso, občasně i lesní houby
naměřené hodnoty: 737 Bq (± 120 Bq), 774 Bq (± 120 Bq), 314 Bq (± 54 Bq)

Osoba 003 - není konzumentkou žádné z vybraných potravin
Naměřené hodnoty: < 23 Bq, < 24 Bq, < 23 Bq (“<“ značí NVA = nejnižší významná aktivita)

Osoba 007 - občasný konzument kančího masa, sezónní konzument lesních hub a borůvek
Naměřené hodnoty: < 21 Bq, 61 Bq (± 18 Bq), < 31 Bq (“<“ značí NVA = nejnižší významná aktivita)

Osoba 009 - nekonzumuje žádné maso, lesní houby i borůvky jí po celý rok (v sezóně i ze zásob)
Naměřené hodnoty: 38 Bq (± 8 Bq), 36 Bq (± 16 Bq), 56 Bq (± 17 Bq)

Při porovnání si můžeme povšimnout, že naměřené hodnoty jsou nejvyšší u respondenta 001, který pravidelně konzumuje kančí maso a občas lesní houby. U osoby 007, která konzumuje lesní houby v sezóně, bylo naměřeno cesium především v tomto období. Respondent 009 má příjem daných potravin celoročně. To se také ukázalo na naměřených hodnotách. Poslední porovnávanou osobou je respondent 003, který oproti předešlým osobám žádnou z uvedených potravin nekonzumuje. Hodnoty aktivity tohoto respondenta tomuto faktu odpovídají a jsou velice nízké.

4.4.2 Vliv sezónního stravování na množství Cs-137 v těle

Vliv sezónního stravování se prokázal u většiny respondentů, kteří se tímto způsobem stravují. Jedná se o osoby 004, 005, 006, 007 a 011. Jejich hodnoty, které můžeme vidět například v grafu na Obr. 15 jsou nejvyšší právě v měsíci říjnu, kdy končí sezóna lesních hub. Při prvním a třetím měření, kdy se respondenti těmito potravinami nestravovali nebo jen velmi zřídka, byly hodnoty aktivity velmi nízké. Při sezónním konzumování se nám tedy hodnota aktivity zvýší jen v určitém období (sezóně), ale potom se opět sníží.

Respondenti, kteří naopak nekonzumují vybrané potraviny pouze sezóně, jako je například osoba 002, která má pravidelný příjem kančího masa a osoba 009 pravidelně konzumující houby, mohou mít vyšší aktivity Cs-137 i v jiných ročních obdobích.

4.5 Monitorování obsahu Cs-137 v potravinách

Jako součást výzkumu bylo navíc provedeno také měření vzorků potravin. Konkrétně vzorky hub sušených i nativních (v neupraveném stavu), dále také kančí svalovina. Jedná se o potraviny, u nichž je prokázán zvýšený výskyt Cs-137.

Vzorky hub pocházející z libereckého kraje, přesněji okolí obce Janův Důl a bývalého vojenského prostoru u Hradčan jsem nasbírala já osobně. Ty, jež pocházely z Janova Dolu, byly monitorovány jak v nativním, tak sušeném stavu. Dále byly poskytnuty vzorky hub v sušeném stavu i od respondentky z okolí Hejnic a v nativním stavu od respondentky z okolí Berouna ve Středočeském kraji. Všechny zkoumané houby byly hříbovité.

O vzorek kančí svaloviny byli požádáni myslivci z obce Janův Důl. Jednalo se o kance, který se mohl pohybovat v celém podještědském okolí.

Vzorky potravin byly měřeny v laboratoři spektrometrie gama v SÚRO Praha. Vzorky se měří v měřicích nádobách o objemu 200 ml, tzv. „masťovkách“, viz Obr. 16 na polovodičových detektorech, které jsou umístěné v olověném stínění kvůli redukci přírodního pozadí. Hodnoty aktivit měřených vzorků byly stanoveny k datu odběru vzorku.



Obr. 16: Vzorek hub (Foto - Mgr. Vendula Rovenská, 2023)

4.6 Analýza výzkumných dat

Tab. 6: Hmotnostní aktivita Cs-137 v Bq/kg ve vzorcích

Datum odběru	Materiál	stav	Lokalita odběru	Hmotnost vzorku	Cs-137		K-40	
				m (kg)	A (Bq/kg)	Nejistota (Bq/kg)	A (Bq/kg)	Nejistota (Bq/kg)
11. 10. 2022	kančí maso	svalovina	Janův Důl, Osečná, Český Dub, Světlá pod Ještědem	0,204	80	±4	77	±9
15. 9. 2022	houby	nativní	Běštín okr. Beroun (Brdy)	0,164	15	±1	114	±9
17. 10. 2022	houby	nativní	Janův Důl	0,145	86	±4	115	±12
17. 10. 2022	houby	sušina	Janův Důl	0,051	580	±30	1162	±91
21. 10. 2022	houby	sušina	Janův Důl	0,051	327	±14	1128	±51
21. 10. 2022	houby	sušina	Hradčany býv. Vojenský prostor, Český Dub	0,057	354	±15	903	±41
21. 10. 2022	houby	sušina	Hejnice	0,011	460	±20	748	±35

Barevné značení: červená – kančí maso, zelená – houby nativní, žlutá – houby sušené. Nativní = v neupraveném stavu, A = aktivita.

V Tab. 6 jsou uvedené všechny vzorky a jejich hmotnostní aktivity Cs-137 a K-40. Vzorek kančí svaloviny byl poskytnut pouze jeden. Jeho hmotnost činí 0,204 kg a výsledná aktivita vychází 80 Bq/kg ±4 Bq/kg. Dále zde máme dva vzorky hub v nativním a čtyři vzorky hub v sušeném stavu. Uvedené hmotnosti jsou hmotnosti vzorků v měřicí nádobě, na kterou je vztahována stanovená aktivita. Je zřejmé, že vzorky sušených hub mají mnohem nižší hmotnost než vzorky nativní při stejném objemu vzorku (200 ml). Z toho také plyne jejich výrazně vyšší hmotnostní aktivita, která je způsobena koncentrací materiálu vzorku sušením. Koncentrační faktor při sušení hub je přibližně 10x. Ze sušených hub měly nejvyšší aktivitu vzorky z Janova Dolu odebrané 17. 10. 2022. Jejich aktivita byla 580 Bq/kg ±30 Bq/kg. Houby z okolí Hejnic měly aktivitu o více než 100 Bq nižší. Houby z okolí Janova Dolu odebrané 21. 10. 2022 a okolí Hradčan, nepřesáhly svou aktivitou 360 Bq.

4.7 Monitorování obsahu K-40

K-40 byl monitorován zároveň s Cs-137 u každého z respondentů. Tento přirozeně se vyskytující radionuklid se dá využít k ověření správnosti měření, a to díky jeho předvídatelným hodnotám. Hodnoty draslíku vycházející z našeho měření jsou v porovnání s hodnotami Cs-137 výrazně vyšší. Hladinu draslíku organismus udržuje. Naměřené hodnoty u jednotlivých respondentů jsou stálé a v mezích nejistoty měření. Odvíjí se od aktuální hladiny draslíku v lidském organismu.

4.8 Analýza výzkumných dat

V Tab. 7 máme znázorněny výsledky 1. (červená), 2. (zelená) i 3. (modrá) měření aktivity K-40, včetně data jejich provedení. V levém sloupečku jsou popsány osoby, ke kterým se vztahuje celý řádek. Na jeho konci je průměr aktivity K-40 jedné osoby ze všech tří měření. V posledním řádku jsou vypsány průměry všech osob z jednotlivých měření a na jeho úplném konci je žlutě vyznačený průměr všech osob ze všech měření. “±” značí nejistotu = rozmezí, ve kterém se výsledná aktivita může pohybovat. K této tabulce je vypracovaný graf na Obr. 17.

Aktivita draslíku u měřených respondentů se pohybuje v hodnotách od 2690 Bq (osoba 005) do 6260 Bq (osoba 001). Průměrná hodnota (žlutě označená v Tab. 7) u všech osob monitorovaných při mém výzkumu činí 4250 Bq. Můžeme tedy říci, že jejich průměrná aktivita odpovídá velmi dobře očekávané průměrné aktivitě K-40 v těle dospělého člověka. Nezávisí na tom, v jaké sezóně bylo měření provedeno.

Pokud se dobře podíváme na výsledky retence K-40 u jednotlivých osob a porovnáme je s jejich vlastnostmi, jako je pohlaví, váha a věk (uvedených v Tab. 4), tak si můžeme všimnout jistých souvislostí. Téměř při všech měřeních, měli vyšší aktivitu draslíku muži, oproti ženám. U osoby 005, která je ze všech respondentů nejstarší, byly naměřeny nejnižší hodnoty.

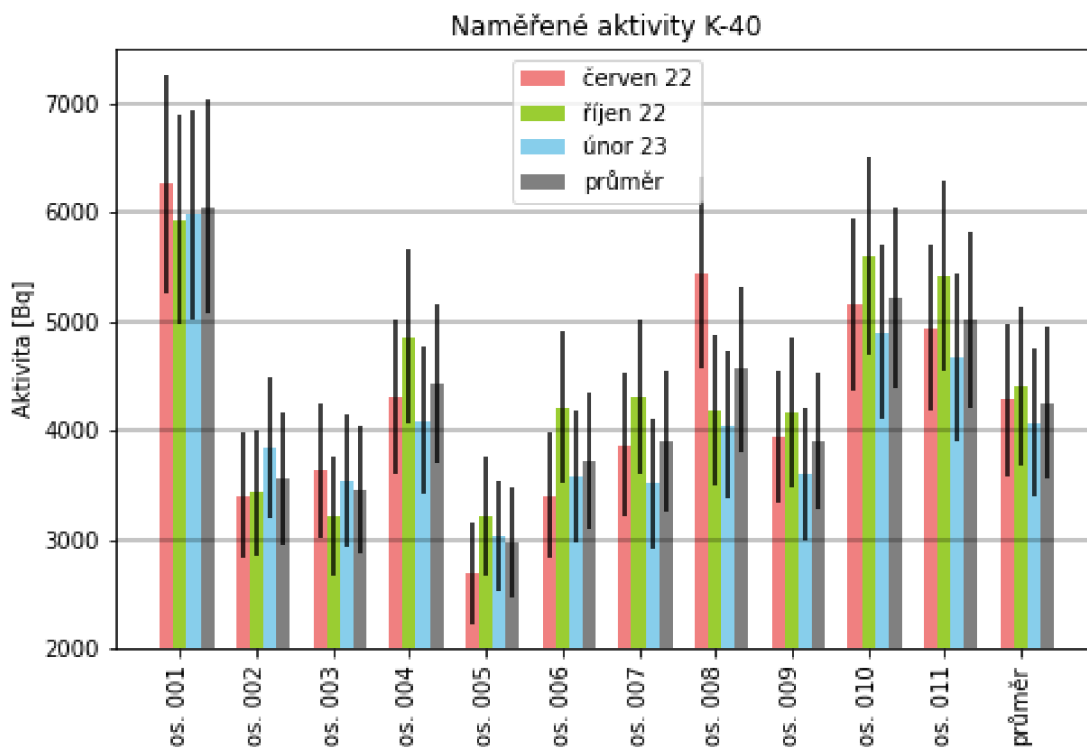
Tab. 7: Retence K-40 V Bq u zkoumaných osob

ID osoby	1. měření – červen 2022			2. měření – říjen 2022			3. měření – únor 2023			průměr	
	datum	hodnota	nejistota	datum	hodnota	nejistota	datum	hodnota	nejistota	hodnota	nejistota
os. 001	31. 05. 2022	6 260	± 1 000	08. 10. 2022	5 930	± 960	03. 03. 2023	5 980	± 960	6 060	± 970
os. 002	31. 05. 2022	3 400	± 580	08. 10. 2022	3 430	± 580	27. 02. 2023	3 840	± 640	3 560	± 600
os. 003	31. 05. 2022	3 630	± 610	08. 10. 2022	3 210	± 550	27. 02. 2023	3 540	± 600	3 460	± 590
os. 004	31. 05. 2022	4 310	± 710	08. 10. 2022	4 860	± 800	27. 02. 2023	4 090	± 680	4 420	± 730
os. 005	03. 06. 2022	2 690	± 470	15. 10. 2022	3 210	± 550	09. 03. 2023	3 030	± 510	2 980	± 510
os. 006	03. 06. 2022	3 400	± 580	15. 10. 2022	4 210	± 700	25. 02. 2023	3 580	± 600	3 730	± 630
os. 007	03. 06. 2022	3 870	± 650	15. 10. 2022	4 310	± 710	25. 02. 2023	3 510	± 590	3 900	± 650
os. 008	03. 06. 2022	5 450	± 880	08. 10. 2022	4 180	± 690	25. 02. 2023	4 050	± 680	4 560	± 750
os. 009	06. 05. 2022	3 940	± 610	20. 10. 2022	4 170	± 690	09. 03. 2023	3 600	± 600	3 900	± 630
os. 010	06. 05. 2022	5 160	± 790	20. 10. 2022	5 600	± 910	26. 01. 2023	4 900	± 800	5 220	± 830
os. 011	05. 06. 2022	4 940	± 760	20. 10. 2022	5 420	± 880	09. 03. 2023	4 680	± 770	5 010	± 800
Průměr os. 001- 011		4 280	± 700		4 410	± 730		4 070	± 680	4 250	± 700

V Tab. 8 jsou znázorněny výsledky 1. (červená), 2. (zelená) i 3. (modrá) měření aktivity K-40 v Bq/kg. V levém sloupečku jsou popsány osoby, ke kterým se vztahuje celý řádek. Na jeho konci je průměr aktivity K-40 jedné osoby ze všech tří měření. V posledním řádku jsou vypsané průměry všech osob z jednotlivých měření a na jeho úplném konci je žlutě vyznačený průměr všech osob ze všech měření. “±“ značí nejistotu = rozmezí, ve kterém se výsledná aktivita může pohybovat. K této tabulce je vypracovaný graf na Obr. 18.

Tab. 8: Dopočítané měrné aktivity v Bq/kg K-40 v tělech zkoumaných osob

ID osoby	1. měření		2. měření		3. měření		průměr	
	červen 2022	nejistota	říjen 2022	nejistota	únor 2023	nejistota	průměr	nejistota
os. 001	78	± 13	74	± 12	75	± 12	76	± 12
os. 002	62	± 11	62	± 11	70	± 12	65	± 11
os. 003	81	± 14	71	± 12	79	± 13	77	± 13
os. 004	66	± 11	75	± 12	63	± 11	68	± 11
os. 005	33	± 6	39	± 7	37	± 6	36	± 6
os. 006	37	± 6	45	± 8	39	± 7	40	± 7
os. 007	55	± 9	61	± 10	49	± 8	55	± 9
os. 008	81	± 13	62	± 10	60	± 10	68	± 11
os. 009	58	± 9	61	± 10	53	± 9	57	± 9
os. 010	67	± 10	73	± 12	64	± 10	68	± 11
os. 011	62	± 10	68	± 11	59	± 10	63	± 10
Průměr os. 001-011	62	± 10	63	± 10	59	± 10	61	± 10



Obr. 17: Výsledky stanovení aktivity K-40 u zkoumaných osob

Graf na Obr. 17:

Na tomto grafu jsou znázorněné aktivity K-40 u jednotlivých respondentů. Graf je vypracovaný na základě výše uvedené Tab. 7.

Výsledné hodnoty jsou rozlišené barvami:

Červená – 1. měření (přelom května a června)

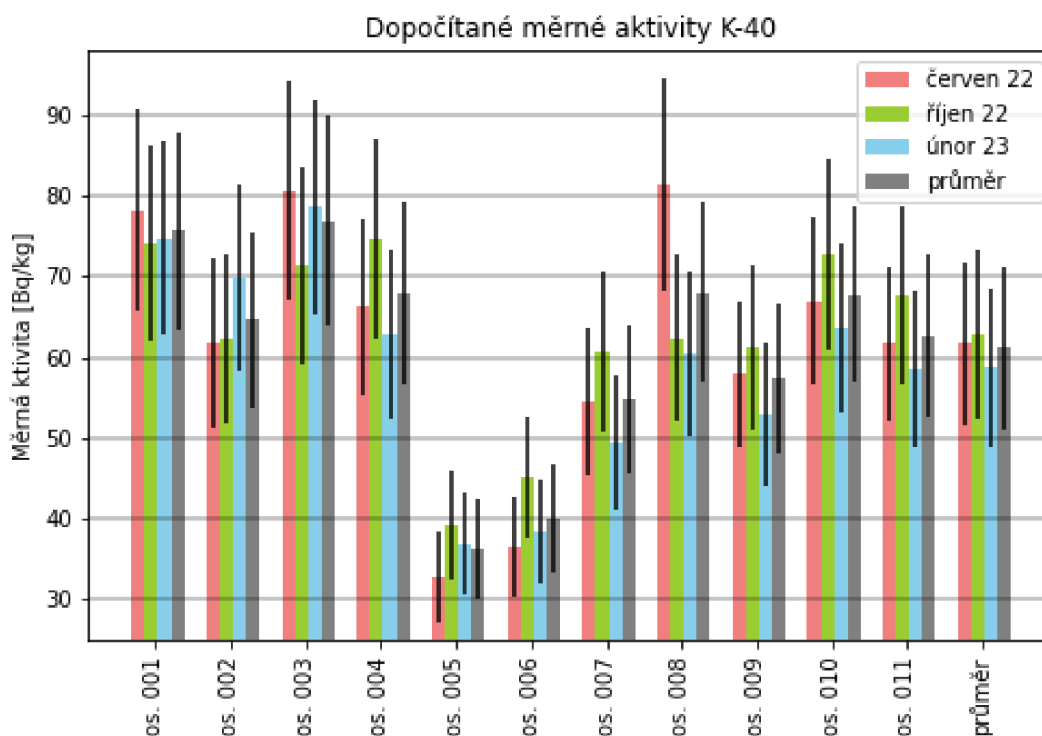
Zelená – 2. měření (měsíc říjen, konec houbařské sezóny)

Modrá – 3. měření (probíhající od konce ledna, až po začátek března)

Černý pruh – nejistota (rozmezí, ve kterém se může výsledná hodnota pohybovat)

Šedá – průměrná hodnota aktivity K-40 respondenta ze všech tří měření

Na konci vodorovné osy grafu je vyobrazený dle barev průměr aktivity K-40 všech osob z jednotlivých měření, šedá barva vyznačuje průměrnou hodnotu retence všech osob ze všech měření.



Obr. 18: Naměřené měrné aktivity K-40 u zkoumaných osob vypočítané na kilogram

Graf na Obr. 18:

Na tomto grafu jsou znázorněné aktivity K-40 u jednotlivých respondentů vypočítané na kilogramy. Graf je vypracovaný na základě výše uvedené Tab. 8

Výsledné hodnoty jsou rozlišené barvami:

Červená – 1. měření (přelom května a června)

Zelená – 2. měření (měsíc říjen, konec houbařské sezóny)

Modrá – 3. měření (probíhající od konce ledna, až po začátek března)

Černý pruh – nejistota (rozmezí, ve kterém se může výsledná hodnota pohybovat)

Šedá – průměrná hodnota aktivity K-40 respondenta ze všech tří měření

Na konci vodorovné osy grafu je vyobrazený dle barev průměr aktivity K-40 všech osob z jednotlivých měření, šedá barva vyznačuje průměrnou hodnotu retence všech osob ze všech měření.

4.9 Vyhodnocení cílů a výzkumných předpokladů

V této kapitole nalezneme zhodnocení cílů a výzkumných předpokladů.

- 1) **Výzkumný cíl:** Monitorování vnitřní kontaminace Cs-137 u dobrovolníků z řad obyvatel.
 - Výzkumného cíle bylo plně dosaženo. Monitorování vnitřní kontaminace Cs-137 proběhla bez jakýchkoliv problémů.

- 1) **Výzkumný předpoklad:** Předpokládáme, že hodnota retence bude měřitelná.
 - Hodnota retence byla měřitelná alespoň jednou u většiny respondentů.

- 2) **Výzkumný cíl:** Vzájemné porovnání hodnot retence Cs-137 stanovené u skupiny dobrovolníků.
 - Rozdíly ve výsledcích jednotlivých respondentů mezi sebou byly porovnány.
- 2) **Výzkumný předpoklad:** Předpokládáme, že se výsledky retence budou u každého dobrovolníka lišit, vzhledem k jeho stravovacím návykům a místu bydliště.
 - Tento výzkumný předpoklad se již v průběhu monitorování Cs-137 pro praktickou část potvrdil. Výsledky retence se lišily nejvíce v závislosti na stravovacích návycích jednotlivých respondentů.

- 3) **Výzkumný cíl:** Zhodnocení míry kontaminace Cs-137 u vybraných obyvatel.
 - Míra vnitřní kontaminace Cs-137 byla zhodnocena.
- 3) **Výzkumný předpoklad:** Předpokládáme, že kontaminace Cs-137 nebude příliš vysoká, ale u jednotlivých respondentů se bude lišit dle sezónnosti některých potravin.

Předpoklad byl potvrzen v celém svém znění. Osobám, které v sezóně konzumují především lesní houby, byla zaznamenána v tomto období (při druhém měření) vyšší hodnota retence Cs-137.

- 4) **Výzkumný cíl:** Zjistit, jaké mají specifické stravovací návyky vliv na vnitřní kontaminaci Cs-137.

Specifické stravovací návyky, především konzumace kančího masa a lesních hub, mají u člověka vliv na míru kontaminace Cs-137.
- 4) **Výzkumný předpoklad:** Předpokládáme, že u dobrovolníků konzumujících určité potraviny bude hodnota retence vyšší.

Hodnota retence je skutečně vyšší u osob, které pravidelně konzumují především kančí maso a lesní houby.

5 Diskuze

Bakalářská práce se zabývá monitorováním přetrvávající kontaminace, zejména radionuklidem Cs-137 v důsledku havárie jaderné elektrárny Černobyl. Toto téma je stále aktuální, neboť stopy Cs-137 se stále objevují, jak v životním prostředí, tak u živočichů a lidí. Výzkum práce byl realizovaný prostřednictvím monitorování dobrovolníků, vzorků lidské moči a vybraných potravin. Tato část výzkumu se uskutečnila v SÚRO Praha. Bylo osloveno 11 dobrovolníků, kteří se zúčastnili tří sérií měření, rozdělených do různých období: na jaře, při konci houbařské sezony na podzim a v zimě. Naměřeno bylo tedy 33 různých hodnot. Též byl pro respondenty vytvořen dotazník o zvyklostech v jejich stravování. Při celotělovém měření byla u dobrovolníků stanovena také aktivita přírodního radionuklidu K-40. Pro bakalářskou práci byly stanoveny 4 cíle a ke každému z nich také předpoklady.

Prvním cílem bylo úspěšné provedení monitorování vnitřní kontaminace Cs-137 u dobrovolníků z řad obyvatel. Předpokládali jsme, že hodnota Cs-137 bude měřitelná, nebyli jsme si však jisti, zda tomu tak bude u všech respondentů. U 9 z 11 respondentů překročila hodnota alespoň při jednom měření práh nejnižší významné aktivity a dobrovolníkům byla vyhodnocena retence Cs-137 na hladině významnosti 95%. Dvě osoby (003 a 008) nepřekročily hodnotu NVA v žádném z měření a retence Cs-137 v jejich těle tedy byla ze všech dobrovolníků nejnižší.

Druhým cílem bylo vzájemné porovnání hodnot retence Cs-137 stanovené u skupiny dobrovolníků. K tomuto cíli jsme předpokládali, že se budou hodnoty retence u každého respondenta lišit, vzhledem ke stravovacím návykům. Tento cíl byl zkoumán kvalitativní metodou. Naměřené hodnoty aktivity jednotlivých respondentů se opravdu lišily. Při porovnání naměřených hodnot s tabulkou vytvořenou dle dotazníku se ukázaly jisté souvislosti mezi mírou retence Cs-137 u respondentů a specifickými stravovacími návyky. Jde především o konzumaci určitých druhů potravin (kančího masa, lesních hub a lesní plodů), zda jsou přijímány pravidelně, sezónně či vůbec. Nejvyšší hodnoty byly naměřeny u respondenta 001, který dle dotazníku (viz Tab. 4) uvedl, že pravidelně konzumuje kančí maso a občasně lesní houby. Jeho hodnota retence se výrazně lišila od ostatních dobrovolníků. Zvýšené hodnoty retence Cs-137 měl oproti ostatním osobám i respondent 002, který též pravidelně konzumuje kančí maso. U dobrovolníků, kteří zejména v sezóně, ale i ze zásob konzumovali houby, byla též zaznamenána zvýšená hodnota aktivity Cs-137. Součástí výzkumu byly také osoby 003 a 008, jež tyto specifické

stravovací návyky nemají. U těchto osob byla hodnota retence Cs-137 nejnižší.

Třetím cílem bylo zhodnocení míry kontaminace Cs-137 u vybraných obyvatel. K tomuto cíli se předpokládalo, že kontaminace Cs-137 nebude příliš vysoká, u jednotlivých respondentů se však bude lišit dle sezónnosti některých potravin, především lesních hub. K této části výzkumu se pojilo monitorování Cs-137 a dotazník zaměřený na stravovací návyky. Průměrná aktivita respondentů z tohoto výzkumu vychází na 80 Bq. V porovnání s průměrnou hodnotou obyvatel měřených institucí SÚRO Praha, jež činila v roce 2022 18 Bq (Státní úřad pro jadernou bezpečnost, 2022e) je hodnota získaná z tohoto měření více než 4x vyšší. Průměr hodnot u měření dobrovolníků je ovlivněn nejvíce osobou 001 a 002 (u této osoby již ne v takové míře), kteří pravidelně konzumují kančí maso. Pokud porovnáme výslednou průměrnou aktivitu osob 003-011 (21 Bq), které tuto potravinu pravidelně nekonzumují, s aktivitou obyvatelstva (s průměrnými stravovacími návyky) uvedenou ve zprávě SÚJB pro rok 2022 (18 Bq), tak zjistíme, že si hodnoty odpovídají. Při porovnávání musíme brát ovšem ohled na to, že stanovený čas měření našich respondentů byl pouze 20 minut, ale délka měření dobrovolníků při každoročním monitorování Cs-137 pro účely SÚJB činí 2 hodiny. Delší čas umožňuje přesnější stanovení aktivity a úměrně tomu se také snižuje hodnota NVA. U lidí, kteří se stravují sezónně, zejména lesními houbami se prokázaly rozdíly v jejich kontaminaci Cs-137 v průběhu tří provedených měření. Jednalo se o osoby 004, 005, 006, 007 a 011. Jejich hodnoty byly zvýšené při druhém měření, kdy končila sezóna sběru lesních hub. Po dobu, kdy se respondenti těmito potravinami nestravovali, byly hodnoty aktivity velmi nízké. Při konzumaci lesních hub tedy došlo u našich respondentů k navýšení aktivity Cs-137 pouze v době jejich sezóny. Výjimkou je osoba 009, která lesní houby konzumuje v průběhu celého roku. V celkovém dojmu je však míra kontaminace našich respondentů nízká a nepředstavuje riziko, které je potřeba regulovat.

Čtvrtým cílem bylo zjistit, jaký mají vliv specifické stravovací návyky na vnitřní kontaminaci Cs-137. Naším předpokladem bylo, že u respondentů konzumujících určité potraviny bude hodnota retence vyšší. Tento cíl je úzce spjatý s výzkumným cílem č. 2. V potravinách jako je zvěřina, lesní houby či lesní plody, jak uvádí také Státní úřad pro jadernou bezpečnost (2022e), jsou hodnoty hmotnostních aktivit v porovnání s jinými potravinami poměrně vysoké. Konzumací těchto potravin můžeme zvýšit hodnoty aktivity Cs-137 i v našem těle. Po příjmu hub se u našich respondentů prokazatelně zvýšila aktivita Cs-137. Za stravovací návyk, který měl v tomto výzkumu nejvyšší vliv

na hodnotu retence Cs-137 však považují konzumaci kančího masa. Tento stravovací návyk může být i podle Čadové (2015) jeden z hlavních zdrojů vnitřní kontaminace. Osobám, které tento stravovací návyk mají, byly v našem výzkumu naměřené dokonce vyšší hodnoty retence Cs-137 než u těch, kteří více konzumují houby. Zde může být ale také rozdíl v tom, že se respondenti 001 a 002 stravují kančím masem pravidelně, kdežto konzumenti hub je požívají pouze v sezóně. Míra kontaminace těmito potravinami je dále ovlivněna pravidelností či sezónností jejich konzumace, jako jsme si již zmínili u třetího cíle, a také množstvím, kolik toho daný člověk přijme. Čím je konzumace daných potravin pravidelnější a ve větším množství, tím pravděpodobněji bude mít konzument vyšší hodnotu retence Cs-137.

Během výzkumu byly monitorovány po prvním a druhém měření i dva vzorky moči od respondenta 001 nasbírané za 24 hodin. Důvodem provedení i tohoto způsobu monitorování vnitřní kontaminace byly výrazně vyšší hodnoty Cs-137 zjištěné již při prvním měření na CTP oproti ostatním respondentům. Hodnota aktivity Cs-137 ve vzorku moči byla vyšší u osoby 001, a to 19x při prvním měření a 23x při druhém měření vyšší než je průměrná hodnota aktivity ve vzorku moči za 24 hodin stanovená institucí SÚRO v roce 2022 (Státní úřad pro jadernou bezpečnost, 2022e).

U každého ze vzorků potravin byla aktivita Cs-137 naměřena. Hmotnostní aktivity potravin, jako jsou lesní houby, lesní plody a zvěřina se mohou vyšplhat až na stovky, ojediněle i tisíce Bq/kg, jak potvrzuje i Státní úřad radiální ochrany (nedatováno c). V našem výzkumu bylo dosaženo hodnot v řádech stovek Bq u sušených hub. Je zřejmé, že mají mnohem nižší hmotnost než vzorky nativní při stejném objemu vzorku. Z toho také plyne jejich výrazně vyšší hmotnostní aktivita, která je způsobena koncentrací materiálu vzorku sušením. Stejně jako uvádí v závěru svého výzkumu lesních hub a dalších složek životního prostředí Havránek a Havránková (2005), i u mnou monitorovaných vzorků hub a kančího masa jsou naměřené aktivity Cs-137 vcelku nízké.

Pro lepší porovnání stravovacích návyků a dalších údajů s naměřenými aktivitami Cs-137 a K-40 byl dobrovolníky vyplněn také anonymní dotazník. Na jeho základě je ve výzkumné části zpracovaná Tab. 4 obsahující důležité informace jako je věk, výška, váha a samotné stravovací návyky. Nechybí ani údaje o tom, kdy naposledy před měřeními respondenti konzumovali vybrané potraviny. Vybraní respondenti mají různorodé stravovací návyky. Dvě z jedenácti osob uvedly, že konzumují kančí maso pravidelně, sedm osob pouze občasně nebo výjimečně a dva dobrovolníci nepřijímají kančí maso vůbec. Osm respondentů konzumuje lesní houby, převážně pouze v jejich

sezóně, jedna osoba má jejich příjem i ze zásob po celý rok. Potraviny všichni respondenti před konzumací tepelně upravují. Při tomto procesu dochází k redukci aktivity Cs-137. Respondenti uvádí také konzumaci borůvek, převážně občasnou či výjimečnou. U této potraviny se však v našich měřeních neprokázal žádný viditelný vliv na aktivitu Cs-137 v těle člověka.

Bakalářská práce se též zabývala i výskytem radioaktivního draslíku K-40. Ten je přirozenou součástí našeho organismu a díky jeho předvídatelným hodnotám jej lze využít jako kontrolu správnosti celotělového měření. Draslík je v této práci významný i z důvodu, že se Cs-137 chová v těle člověka stejně jako právě radionuklid K-40, jak uvádí i Čadová (2015). Hodnoty draslíku u každého respondenta kolísají v rámci nejistoty měření. Průměrná hodnota aktivit K-40 u dobrovolníků ze všech měření odpovídá průměrné hodnotě draslíku, která by v těle měla být. Téměř všichni muži měli hodnotu K-40 vždy vyšší.

6 Závěr

Tato bakalářská práce se zabývá monitorováním přetrvávající kontaminace v důsledku havárie jaderné elektrárny Černobyl a zkoumá především vnitřní kontaminaci radionuklidu Cs-137, který při této události unikal. Cílem této práce bylo monitorování a zhodnocení retence Cs-137 u dobrovolníků z řad obyvatel, vzájemné porovnání hodnot a zjištění možných vlivů které retenci Cs-137 ovlivňují.

V teoretické části jsme zkráceně hovořili o samotné elektrárně a události, která zde nastala, úniku radioaktivních částic i účinků záření na organismus. Dále zde nalezneme informace o samotném cesiu a draslíku. Byly zde popsány některé způsoby, kterými Státní ústav radiační ochrany v Praze monitoruje radiační situaci v ČR, a také výskyt Cs-137.

V praktické části byla zkoumána především vnitřní kontaminace radioaktivním Cs-137 na celotělovém počítací u 11 dobrovolníků z řad obyvatel. U tohoto monitorování byla stanovena i hodnota aktivity K-40, který se dá použít k ověření správnosti měření díky jeho předvídatelným hodnotám. Měření proběhla ve třech obdobích, a to na jaře, na podzim při konci houbařské sezóny a v zimě. Celkově bylo tedy naměřeno 33 hodnot. U jedné osoby bylo přistoupeno i k měření vzorků moče nasbírané za 24 hodin. Proběhlo také měření několika vzorků potravin, u kterých je prokázáno, že mají vliv na vnitřní kontaminaci Cs-137 obyvatel.

Výzkum této práce nám dokazuje přetrvávající kontaminaci Cs-137 na našem území. Aktivita Cs-137 při monitorování vnitřní kontaminace u obyvatel byla prokázána, její hodnoty byly zhodnoceny a porovnány mezi jednotlivými respondenty. Na základě porovnání byly nalezeny souvislosti mezi stravovacími návyky respondentů a jejich hodnotou retence Cs-137. Ukázalo se, že specifické stravovací návyky a sezónní stravování mají vliv na obsah Cs-137 v našem těle. Výskyt tohoto radionuklidu byl též prokázán i u vzorků vybraných potravin.

Seznam použité literatury

ČADOVÁ, Michaela. 2015. Obsah Cs-137 v houbách. České Budějovice. Bakalářská práce. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Zdravotně sociální fakulta, Katedra radiologie, toxikologie a ochrany obyvatelstva. Dostupné z:

https://theses.cz/id/gkxofp/BP_-_Michaela__adov_OO_-_CBRNE_2015.pdf.

DE CORT, M. et al. 1998. Atlas of caesium deposition on Europe after the Chernobyl accident. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities. ISBN 92-828-3140-X.

DRÁBOVÁ, Dana et al. 2001. Patnáct let od havárie Černobylu. [online]. Praha: SÚJB, Zveřejnil Státní úřad pro jadernou bezpečnost. [cit. 2023-04-22]. Dostupné z:

https://www.sujb.cz/fileadmin/sujb/docs/dokumenty/15let_od_havarie_Cernobylu.pdf.

HÁLA, Jiří, 2013. Radioaktivní izotopy. [Tišnov]: Sursum. ISBN 978-80-7323-248-1.

HAVRÁNEK, Jiří a Renata HAVRÁNKOVÁ. 2005. Kinetika cesia-137 v lesním ekosystému. Kontakt. 7(3-4), 360-362. ISSN 1212-4117. Dostupné z:

<https://kont.zsf.jcu.cz/pdfs/knt/2005/03/31.pdf>.

ICRP, 2002. Basic Anatomical and Physiological Data for Use in Radiological Protection Reference Values. 89. vyd. [Londýn]: ICRP Publication. 32 (3-4).

ISSN 0146-6453. Dostupné také z:

https://journals.sagepub.com/doi/pdf/10.1177/ANIB_32_3-4.

INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, 2006. Dědictví Černobylu: Zdravotní, ekologické a sociálně-ekonomické dopady a Doporučení vládám Běloruska, Ruské federace a Ukrajiny. Praha: ČSVTS. ISBN 80-020-1806-0. Dostupné také z:

https://www.sujb.cz/fileadmin/sujb/docs/cernobyl/Cernobyl_CZ.pdf.

LANDA, Jiří. 2023. Přírodní ionizující záření (IZ) v životním prostředí [přednáška].

Liberec: Technická univerzita v Liberci, Fakulta zdravotnických studií, 16. 3. 2023.

LEATHERBARROW, Andrew. 2020. Černobyl 01:23:40: neuvěřitelný příběh nejhorší jaderné katastrofy. Brno: CPress. ISBN 978-80-264-3032-2.

L'INSTITUT DE RADIOPROTECTION ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE. 2016. In: Savoir et comprendre: Impacts de l'accident en Europe [online]. Paříž: IRSN [cit. 2023-04-22]. Dostupné z: <https://www.irsn.fr/savoir-comprendre/crise/impacts-l'accident-europe?fbclid=IwAR36XKFGFDwl6sVMDewjJJqZh5MgDczT6d11tGyGLEqmT2zDncy6SkBWVQE>.

MALÁTOVÁ, Irena a Pavel FOJTÍK. 2019. Activity of ¹³⁷Cs in human body of inhabitants of the Czech Republic. Radiation protection dosimetry. 186(2-3), 196-201. DOI 10.1093/rpd/ncz257.

PETERSON, John et al. 2007. Radiological and Chemical Fact Sheets to Support Health Risk Analyses for Contaminated Areas. REMM - Radiation Emergency Medical Management [online]. Lemont: Argonne National Laboratory, [cit. 2023-04-22]. Dostupné z: https://remm.hhs.gov/ANL_ContaminantFactSheets_All_070418.pdf?fbclid=IwAR0ezteI_XJGriWcfUpY6eIjoY3pt91z8AA1ARdW2dhHZ9ejtyK0KyvawcY.

PILÁTOVÁ, Helena et al., 2011. Mapy obsahu ¹³⁷Cs v humusu lesního ekosystému České republiky v roce 2005. Praha: SÚRO [cit. 2023-4-22]. Dostupné z: <https://www.suro.cz/files/2021-03/Zprava%20SURO%2026%20-%202011-%20Mapy%20obsahu%20Cs137%20v%20humusu%20v%202005.pdf>.

PLOKHY, Serhii. 2019. Černobyl: historie jaderné katastrofy. Brno: Jota. ISBN 978-80-7565 462-5.

STÁTNÍ ÚŘAD PRO JADERNOU BEZPEČNOST b. Stručný přehled biologických účinků záření. [online]. Praha: SÚJB [cit. 2023-03-23]. Dostupné z: <https://www.sujb.cz/radiacni-ochrana/oznameni-a-informace/strucny-prehled-biologickych-ucinku-zareni/>.

STÁTNÍ ÚŘAD PRO JADERNOU BEZPEČNOST. 2016g. Vyhláška č. 360 ze dne 17. října 2016 o monitorování radiační situace. In: Sbíрка zákonů české republiky. Částka 143, s. 5642-5689. ISSN 1211-1244. Dostupné také z: <https://www.sujb.cz/legislativa/atomove-pravo>.

STÁTNÍ ÚŘAD PRO JADERNOU BEZPEČNOST. 2022e. Zpráva o výsledcích činnosti. Praha: SÚJB [cit. 2023-4-23]. Dostupné z: https://www.sujb.cz/fileadmin/sujb/docs/zpravy/vyrocní_zpravy/ceske/2022/cast_II.pdf.

STÁTNÍ ÚŘAD PRO JADERNOU BEZPEČNOST. 2022f. Zpráva o výsledcích činnosti. Praha: SÚJB [cit. 2023-4-23]. Dostupné z: https://www.sujb.cz/fileadmin/sujb/docs/zpravy/vyrocní_zpravy/ceske/2022/cast-II-priloha-2.pdf.

STÁTNÍ ÚŘAD PRO JADERNOU BEZPEČNOST. a. Černobyl. [online]. Praha: SÚJB [cit. 2023-03-22]. Dostupné z: <https://www.sujb.cz/cernobyl>.

STÁTNÍ ÚŘAD PRO JADERNOU BEZPEČNOST. c. Monitorování radiační situace. [online]. Praha: SÚJB [cit. 2023-4-22]. Dostupné z: <https://www.sujb.cz/monitorovani-radiacni-situace#c1642>.

STÁTNÍ ÚŘAD PRO JADERNOU BEZPEČNOST. d. MonRas. [online]. Praha: SÚJB [cit. 2023-4-22]. Dostupné z: <https://www.sujb.cz/aplikace/monras/#1010000>.

STÁTNÍ ÚSTAV RADIAČNÍ OCHRANY b. Monitorování radionuklidů v ovzduší. [online]. Praha: SÚRO [cit. 2023-3-30]. Dostupné z: <https://www.suro.cz/cz/rms/ovzdusi>.

STÁTNÍ ÚSTAV RADIAČNÍ OCHRANY. 2022e. *Měření aktivity radionuklidů v lidském těle in vivo metodou spektrometrie záření gama a stanovení úvazku efektivní dávky výpočtem z naměřených hodnot. Standardní zkušební postup SZP CTP 1*. Praha: SÚRO. Dostupné z: interní dokument.

STÁTNÍ ÚSTAV RADIAČNÍ OCHRANY. 2023f. *Metodika sběru moči*. Praha: SÚRO. Dostupné z: Interní dokument.

STÁTNÍ ÚSTAV RADIAČNÍ OCHRANY. a. Odborná činnost ústavu. [online]. Praha: SÚRO [cit. 2023-4-22]. Dostupné z: <https://www.suro.cz/cz/suro/odborna-cinnost-ustavu>.

STÁTNÍ ÚSTAV RADIAČNÍ OCHRANY. c. Radionuklidy v pitné vodě a poživatinách. [online]. Praha: SÚRO [cit. 2023-4-23]. Dostupné z: <https://www.suro.cz/cz/rms/pitne-vody-a-pozivatin>.

ŠÍN, Robin et al. 2017. *Medicína katastrof*. První vydání. Praha: Galén. ISBN 978-80-7492-295-4.

ŠKRKAL, Jan et al. 2012. *Mapa kontaminace hřibotvarých hub lesního ekosystému České republiky 137Cs v letech 2004 – 201*. Praha: SÚRO. Zveřejnil Státní úřad radiační ochrany. Dostupné z: <https://www.suro.cz/files/2021-03/Mapa-kontaminace-hribotvarech-hub-CR-Zprava-SURO-2012-24.pdf>.

VOKÁL, Antonín et al. 2012. *Aktualizace referenčního projektu hlubinného úložiště radioaktivních odpadů v hypotetické lokalitě*. [online]. [Řež]: ÚJV Řež a.s., [cit. 2023-04-27]. Dostupné z: http://www.jodn.cz/files/2016/Aktualizace_projektu_HUJO.pdf.

WIKIPEDIE. 2016a. Draslík. Wikipedie [online]. [cit. 2023-4-22]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Drasl%C3%ADk>.

WIKIPEDIE. 2021b. Draslík-40. Wikipedie [online]. [cit. 2023-4-22]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Drasl%C3%ADk-40>.

WIKIPEDIE. 2022c. Cesium. Wikipedie [online]. [cit. 2023-4-26]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Cesium>.

WIKISKRIPTA. 2015a. Zákon radioaktivního rozpadu. MEFANET. WikiSkripta [online]. [cit. 2023-04-22]. Dostupné z:
https://www.wikiskripta.eu/w/Z%C3%A1kon_radioaktivn%C3%ADho_rozpadu.

WIKISKRIPTA. 2022b. Radioaktivita (2. LF UK). MEFANET. WikiSkripta [online]. [cit. 2023-04-24]. Dostupné z:
[https://www.wikiskripta.eu/w/Radioaktivita_\(2._LF_UK\)#Z.C3.A1kony_radioaktivn.C3.ADch_p.C5.99em.C4.9Bn](https://www.wikiskripta.eu/w/Radioaktivita_(2._LF_UK)#Z.C3.A1kony_radioaktivn.C3.ADch_p.C5.99em.C4.9Bn).

Seznam obrázků

Obr. 1: Černobylský radioaktivní mrak 29. 4. 1986 (L'institut de radioprotection et de sûreté nucléaire, 2016).....	14
Obr. 2: Černobylský radioaktivní mrak - 1. vlna 30. 4. 1986 (L'institut de radioprotection et de sûreté nucléaire, 2016).....	15
Obr. 3: Černobylský radioaktivní mrak - 2. vlna 7. 5. 1986 (L'institut de radioprotection et de sûreté nucléaire, 2016)	15
Obr. 4: Způsoby ozáření (International Atomic Energy Agency, 2006)	17
Obr. 5: Graf celkového tělesného draslíku u žen a mužů v průběhu věku (ICRP, 2002)22	
Obr. 6 Místa monitorování spadu a aerosolů v ČR (Státní úřad pro jadernou bezpečnost, nedatováno d).....	23
Obr. 7 - Odběrové zařízení Sněhurka (Foto – autorka, 2023)	24
Obr. 8: Hmotnostní aktivity Cs-137 v houbách na území ČR v letech 2004-2012 (Škrkal et al., 2012)	25
Obr. 9 – Vývoj retence Cs-137 v letech 1986-2022 u českého obyvatelstva – SÚRO Praha (Státní úřad pro jadernou bezpečnost, 2022f).....	26
Obr. 10 – Detektor celotělového počítače v SÚRO, v.v.i v Praze (Foto – autorka, 2023)	27
Obr. 11 – Stínící komora CTP v SÚRO, v.v.i v Praze (Foto – autorka, 2023).....	28
Obr. 12: Respondent připraven k měření (Foto – autorka, 2023).....	31
Obr. 13: Spektrum z měření CTP osoby č. 001 – výřez na pík Cs-137 – 662 keV (Obr. – Mgr. Vendula Rovenská, 2023).....	32
Obr. 14: Výsledky stanovení aktivity Cs-137 u zkoumaných osob.....	36
Obr. 15: Výsledky stanovení aktivity Cs-137 u zkoumaných osob 002-011	37
Obr. 16: Vzorek hub (Foto - Mgr. Vendula Rovenská, 2023).....	43
Obr. 17: Výsledky stanovení aktivity K-40 u zkoumaných osob	48
Obr. 18: Naměřené měrné aktivity K-40 u zkoumaných osob vypočítané na kilogram	49
Obr. 19: Protokol k realizaci výzkumu	64

Seznam tabulek

Tab. 1: Izotopové složení draslíku (Landa, 2023)	21
Tab. 2: měrné a molární aktivity draslíku a KCL (Landa, 2023)	22
Tab. 3: Retence Cs-137 v Bq naměřená u dobrovolníků	33
Tab. 4: Informace získané od respondentů	38
Tab. 5 Aktivita ve vzorku 24 h. moči u osoby 001	41
Tab. 6: Hmotnostní aktivita Cs-137 v Bq/kg ve vzorcích	44
Tab. 7: Retence K-40 V Bq u zkoumaných osob	46
Tab. 8: Dupočítané měrné aktivity v Bq/kg K-40 v tělech zkoumaných osob	47

Seznam příloh

Příloha A: Nevyplněná verze dotazníku

Dotazník – monitorování Cs¹³⁷ v lidském těle

Pohlaví:

Věk:

Výška:

Váha:

Ve kterém kraji bydlíte?

Ve kterém okrese bydlíte?

1) Jste samozásobitelé? (Pěstujete vlastní zeleninu, ovoce, brambory, chováte např: slepice, ...)

2) Konzumujete potraviny od samozásobitelů?

3) Konzumujete zvěřinu?

4) Konzumujete kančí maso? Jak často?

5) Konzumujete lesní plody? (zejména borůvky) Jak často?

6) Konzumujete lesní houby? Jak často?

7) Jakým způsobem houby/ kančí maso zpracováváte?

Kančí maso...

Lesní houby...

8) Kolik kančího masa/lesních hub sníte na porci? (např. v gramech, odhadem)

Kančí maso...

Lesní houby...

9) Konzumujete lesní houby/ kance pravidelně nebo příležitostně?

Kančí maso...

Lesní houby...

10) Kdy naposledy před 1. a 2. měřením jste měl/a kančí maso nebo houby?

Kančí maso...

Lesní houby...

Příloha B: Protokol k realizaci výzkumu

FAKULTA ZDRAVOTNICKÝCH STUDIÍ TUL



PROTOKOL K REALIZACI VÝZKUMU

Jméno a příjmení studenta:	Zuzana Valášková
Osobní číslo studenta:	D20000032
Univerzitní e-mail studenta:	zuzana.valaskova@tul.cz
Studijní program:	Radiologická asistence
Ročník:	3
Prohlášení studenta	
<p>Prohlašuji, že v kvalifikační práci ani v publikacích souvisejících s kvalifikační prací nebudu uvádět osobní údaje o respondentech nebo institucích, kde byl výzkum realizován, pokud k tomu není získán souhlas v tomto protokolu. Dále prohlašuji, že budu dodržovat povinnou mlčenlivost o skutečnostech, o kterých jsem se dozvěděl při realizaci výzkumu v rámci osobní ochrany zúčastněných osob.</p>	
Podpis studenta:	
Kvalifikační práce	
Téma kvalifikační práce:	Monitorování důsledků přetrvávající kontaminace způsobené havárií jaderné elektrárny Černobyl na vybrané skupině obyvatel.
Kvalifikační práce:	<input checked="" type="checkbox"/> bakalářská <input type="checkbox"/> diplomová
Jméno vedoucího kvalifikační práce:	Ing. Jiří Landa, Ph.D.
Metoda a technika výzkumu:	Kvalitativní, kvantitativní
Soubor respondentů:	11
Název pracoviště pro realizaci výzkumu:	Státní ústav radiační ochrany v. v. i.
Datum zahájení výzkumu:	31. 5. 2022
Datum ukončení výzkumu:	9. 3. 2023
Finanční zatížení pracoviště při realizaci výzkumu:	<input type="checkbox"/> ANO <input checked="" type="checkbox"/> NE
Souhlas vedoucího kvalifikační práce:	<input checked="" type="checkbox"/> souhlasím <input type="checkbox"/> nesouhlasím
Podpis vedoucího kvalifikační práce:	
Spolupracující instituce	
Souhlas odpovědného pracovníka instituce s realizací výzkumu:	<input checked="" type="checkbox"/> souhlasím <input type="checkbox"/> nesouhlasím
Souhlas s případným zveřejněním názvu instituce v kvalifikační práci a publikacích:	<input checked="" type="checkbox"/> souhlasím <input type="checkbox"/> nesouhlasím
Podpis odpovědného pracovníka a razítko instituce:	

Technická univerzita v Liberci | Fakulta zdravotnických studií
 Studentská 1402/2, 461 17, Liberec 1 | www.fzs.tul.cz

Obr. 19: Protokol k realizaci výzkumu