

**Česká zemědělská univerzita v Praze**  
**Fakulta životního prostředí**



## **BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

**Simulace vlivu klimatické změny na transferový  
koeficient vybraných radionuklidů**

Ing. Samira Goldšmídová

Vedoucí práce: Ing. Zdeněk Keken, Ph.D.

© 2023 ČZU v Praze

# ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta životního prostředí

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Ing. Samira Goldšmídová

Územní technická a správní služba v životním prostředí

Název práce

Simulace vlivu klimatické změny na transferový koeficient vybraných radionuklidů.

Název anglicky

Simulation of the effect of climate change on the transfer coefficient of selected radionuclides.

---

Cíle práce

Ověření vlivu klimatické změny na transferový koeficient radionuklidů (Sr, Cs) u vybraných zemědělských plodin.

Metodika

V rámci studie budou využity mikrokosmy (skleníčky) na pracovišti SURO v Hradci Králové v následujícím schématu:

1. Skoro aridní/ silká srážka. Tj. zalévat, na hranici přežití rostlin a 1x za dva týdny silně zalít (simulace současného stavu počasí) – proteklá voda by mohla být vhodná na analýzu, půda bude uvolňovat hlavně kationty. Pak nechat úplně vyschnout a znovu prolít.
2. Mokrě až skoro bahnitě, ale neměla by zálivka protékat skrz.
3. Normálně zalévané – příznivá vlhkost půdy
4. Málo zalévané – simulace kontinuálního nedostatku vody

Vyhodnotit transferový koeficient ve vztahu k dostupnosti vody.

## Doporučený rozsah práce

40 stran

## Klíčová slova

Transfer radionuklidů, klimatická změna, stroncium, cesium

---

## Doporučené zdroje informací

1. Pecharová E., Drábek K., Komínková D., Finkous M., Finkous P., Kautská-Hoffmanová V., Stádníková D., Šestáková K., Doskočilová V., Rulík P., Borecký Z., Musil M., 2019: Design poloprovozního experimentu Technická zpráva k úkolu 1.3., VU MV VI20192022153 Optimalizace postupů pro realizaci rostlinné výroby na území zasaženém jadernou havárií. Dílčí zpráva. SÚRO, Praha. S. 20. „nepublikováno“. Dep.: SÚRO, Praha.
2. Pecharová E., Kašparová I., 2017: landscape management in the emergency hazard planning zone of the Temelín nuclear power plant: preventive improvement of landscape functions. International Multidisciplinary Scientific GeoConference: SGEM: Surveying Geology & mining Ecology Management 17. P. 11–17.
3. Rinaldi F., Komínková D., Berchová K., Daguinet J., Pecharová E., 2017: Stable cesium (<sup>133</sup>Cs) uptake by *Calla palustris* from different substrates. Ecotoxicology and environmental safety 139. P. 301–307.
4. Tesarová B., Pecharova E., Doksanská T., Skrkal J., 2018: pilot survey of soil contamination 30 years after Chernobyl. International Multidisciplinary Scientific GeoConference: SGEM: Surveying Geology & mining Ecology Management 18. P. 59–64.
5. Vacula J., Komínková D., Pecharová E., Doksanská T., Pechar L., 2020: Uptake of <sup>133</sup>Cs and <sup>134</sup>Cs by *Ceratophyllum demersum* L. under field and greenhouse conditons. Science of The Total Environment 720, 137292. P. 1–10.

---

## Předběžný termín obhajoby

2022/23 LS – FŽP

## Vedoucí práce

Ing. Zdeněk Keken, Ph.D.

## Garantující pracoviště

Katedra aplikované ekologie

---

Elektronicky schváleno dne 1. 3. 2023

**prof. Ing. Jan Vymazal, CSc.**

Vedoucí katedry

---

Elektronicky schváleno dne 2. 3. 2023

**prof. RNDr. Vladimír Bejček, CSc.**

Děkan

V Praze dne 04. 03. 2023

---

## **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma: Simulace vlivu klimatické změny na transferový koeficient vybraných radionuklidů, vypracovala samostatně a citovala jsem všechny informační zdroje, které jsem v práci použila, a které jsem rovněž uvedla na konci práce v seznamu použitých informačních zdrojů. Jsem si vědoma, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, především ustanovení § 35 odst. 3 tohoto zákona, tj. o užití tohoto díla.

Jsem si vědoma, že odevzdáním bakalářské práce souhlasím s jejím zveřejněním podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a to i bez ohledu na výsledek její obhajoby. Svým podpisem rovněž prohlašuji, že elektronická verze práce je totožná s verzi tištěnou a že s údaji uvedenými v práci bylo nakládáno v souvislosti s GDPR.

V Praze dne 13.3.2023

---

## **Poděkování**

Ráda bych touto cestou poděkovala panu Ing. Zdeňkovi Kekenovi, Ph.D., paní Ing. Heleně Pilátové a paní Mgr. Věře Záhorové, Ph.D., za odborné vedení, trpělivost a ochotu v průběhu zpracování mé bakalářské práce. Poděkování patří rovněž všem dalším pracovníkům Státního ústavu radiační ochrany v Praze a Hradci Králové, kteří se podíleli na experimentu, zpracování i vyhodnocení vzorků pro mou práci. Zároveň patří obrovské poděkování mé rodině a spolužákům, bez kterých bych tuto práci nemohla dokončit.

## Abstrakt

Radionuklidy jsou všude přítomné a jsou součástí koloběhu vzduch-půda-voda-rostliny v životním prostředí, tím se dostávají do potravního řetězce po celém světě a ohrožují zdraví lidí. Je proto důležité je sledovat, stanovit jejich množství a vyhodnotit transferový koeficient z půdy do rostlin. Přenos radionuklidů je ovlivněn řadou faktorů, jako je typ půdy, typ rostliny, zemědělské postupy nebo klimatické podmínky.

Tato bakalářská práce se zabývá simulovaným experimentem, kde je sledován vliv klimatických změn na přenos radionuklidů  $^{134}\text{Cs}$ ,  $^{85}\text{Sr}$  z půdy typu hnědozemě do zemědělských plodin. Vzorky půdy byly odebrány na pozemku parc. č. 4572, kat. území Helvíkovice. Simulace je provedena ve čtyřech experimentálních sklenících situovaných v areálu Státního ústavu radiační ochrany v Hradci Králové, ve kterých jsou klimatické změny nahrazeny dostupností různého množství vody, tj. málo zalévané (sucho), mokré až bahnité, normálně zalévané a tzv. aridní (silná srážka). Celkem bylo ve sklenících umístěno 96 experimentálních nádob, z nichž některé byly kontaminovány radionuklidy  $^{134}\text{Cs}$  a  $^{85}\text{Sr}$  a všechny osety plodinami ředkvička celoroční a řepa krmná červená. Na konci srpna 2022 byly plodiny sklizeny a předány k dalšímu zpracování do laboratoře, kde byly omyty vodou, rozkrájeny, zváženy a vysušeny. Následně byly vzorky sušiny měřeny v laboratoři.

Výsledky experimentu poukazují, že nejvyšší hodnoty aritmetického průměru transferového koeficientu  $^{85}\text{Sr}$  vykazuje ředkvička pěstovaná v normálním klimatu. Nejmenší hodnotu aritmetického průměru TK  $^{85}\text{Sr}$  má naopak bulva řepy, která byla pěstována ve střídavém klimatu. Hodnoty aritmetického průměru TK  $^{134}\text{Cs}$  byly nejvyšší u natě řepy v mokřém prostředí, nejnižší pak u ředkvičky ve střídavém prostředí.

**Klíčová slova:** transfer radionuklidů, klimatická změna, stroncium, cesium

## Abstract

Radionuclides are ubiquitous and part of the air-soil-water-plant cycle in the environment, entering the food chain worldwide and threatening human health. It is therefore important to monitor them, to determine their quantity and to evaluate the transfer coefficient from soil to plants. The transfer of radionuclides is influenced by a number of factors such as soil type, plant type, agricultural practices or climatic conditions.

This bachelor thesis deals with a simulated experiment where the effect of climate change on the transfer of radionuclides  $^{134}\text{Cs}$ ,  $^{85}\text{Sr}$  from brown soil type to agricultural crops is investigated. Soil samples were taken on the plot No. 4572, cat. area Helvíkovice. The simulation is carried out in four experimental greenhouses located in the premises of the State Institute of Radiation Protection in Hradec Králové, in which climatic changes are replaced by the availability of different amounts of water, i.e. poorly watered (drought), wet to muddy, normally watered and so called arid (heavy) rainfall. A total of 96 experimental containers were placed in the greenhouses and contaminated with  $^{134}\text{Cs}$  and  $^{85}\text{Sr}$  radionuclides and planted with the crops perennial radish and red fodder beet. At the end of August 2022, the crops were harvested and transferred to the laboratory for further processing, where they were washed with water, cut, weighed and dried. Subsequently, the dry matter samples were measured in the laboratory.

The experimental results indicate that radish grown in normal climate showed the highest values of the arithmetic mean of the  $^{85}\text{Sr}$  transfer coefficient. On the other hand, the lowest value of the arithmetic mean of TK  $^{85}\text{Sr}$  is found in beetroot tubers grown in alternate climate. The arithmetic average values of TK  $^{134}\text{Cs}$  were highest for beetroot tops in wet climate with, and lowest for radish in alternate climate.

**Keywords:** transfer of radionuclides, climate change, strontium, cesium

# Obsah

<b>1 Úvod</b> .....	<b>9</b>
<b>2 Cíl práce</b> .....	<b>10</b>
<b>3 Metodika</b> .....	<b>11</b>
3.1 Odběrová lokalita.....	11
3.2 Sběr vzorků orné půdy.....	13
3.3 Charakteristika půdy hnědozemě.....	13
3.4 Příprava a kontaminace experimentálních nádob .....	14
3.5 Experimentální skleníky.....	18
3.6 Výsev plodin .....	18
3.7 Zálivka.....	19
3.8 Sklizeň a příprava plodin k měření.....	20
3.9 Měření vzorků plodin, půdy.....	23
<b>4 Literární rešerše</b> .....	<b>25</b>
4.1 Analýza odborných článků.....	25
<b>5 Výsledky měření</b> .....	<b>35</b>
5.1 Aktivita v půdě .....	36
5.2 Aktivita v rostlinách.....	38
5.3 Plošná aktivita .....	40
5.4 Transferový koeficient.....	41
<b>6 Diskuse</b> .....	<b>44</b>
6.1 Aktivita v rostlinách.....	44
6.2 Transferový koeficient.....	46
<b>7 Závěr a přínos práce</b> .....	<b>49</b>
<b>8 Přehled literatury a použitých zdrojů</b> .....	<b>50</b>
8.1 Literatura .....	50
8.2 Elektronické zdroje .....	53
<b>9 Seznam obrázků, tabulek, grafů a zkratk</b> .....	<b>54</b>
9.1 Seznam obrázků.....	54
9.2 Zdroje obrázků.....	54
9.3 Seznam tabulek.....	54
9.4 Zdroje tabulek.....	55
9.5 Seznam grafů .....	56
9.6 Seznam použitých zkratk.....	56
<b>10 Přílohy</b> .....	<b>57</b>
<b>11 Odkazovaný seznam příloh</b> .....	<b>66</b>
11.1 Zdroje příloh .....	66



# 1 Úvod

Již před rokem 1986, kdy došlo k velké havárii jaderné elektrárny v Černobylu, při níž se uvolnilo velké množství radioaktivních látek do životního prostředí, probíhaly testy nukleárních zbraní přispívající ke zvýšení radioaktivity v půdě a rostlinách, proto se touto problematikou začali zabývat odborníci z celého světa. Jelikož dochází k neustálému koloběhu výměny látek mezi vzduchem, půdou, vodou a flórou, je zřejmé, že se škodlivé látky dostávají, ať už ve větším, či menším množství, do potravního řetězce a ovlivňují tak zdraví lidí, a to jak přímou konzumací, nebo zprostředkovaně přes masné produkty zvířat, které se živí rostlinami. Proto byla provedena velká řada výzkumů, zabývajících se právě obsahem radioaktivních látek v půdě a přenosem těchto látek z půdy do rostlin. Postupem času se studie začaly zaměřovat nejen na přenos radionuklidů do půdy a rostlin, ale také na faktory, které tento přenos ovlivňují, např. typ půdy nebo různé zemědělské postupy využívající minerálních a průmyslových hnojiv. Zároveň se ve studiích začaly objevovat teorie, zdali na přenos radionuklidů mají vliv klimatické podmínky, tj. suché, polosuché, vlhké a tropické nebo mírné podnebí. Nejprve se výzkumy zabývaly zejména mírným, subtropickým a lehce tropickým podnebím, ovšem vzhledem k narůstajícím a výrazným klimatickým změnám a postupnému zvyšování teplot, může být v budoucnu podnebí po celém světě tímto ovlivněno, proto se současné studie více zaměřují na suché, tropické a vlhké oblasti.

V souvislosti s výše uvedeným je tato bakalářská práce zaměřena právě na průzkum přenosu radioaktivních látek neboli radionuklidů, tj.  $^{134}\text{Cs}$ ,  $^{85}\text{Sr}$  a  $^{40}\text{K}$ , z půdy do rostlin za vlivu různých klimatických podmínek, přičemž klimatické podmínky jsou zde nahrazeny dostupností různého množství vody za využití experimentálních skleníků. Jako zkoumané rostliny byly vybrány ředkvička celoroční (*Raphanus sativus*) a řepa krmná červená odrůda Monro (*Beta vulgaris*).

## 2 Cíl práce

Cílem této bakalářské práce je ověřit vliv klimatických změn na přenos (transferový koeficient) radionuklidů cesia  $^{134}\text{Cs}$  a stroncia  $^{85}\text{Sr}$  z půdy typu hnědozemě do dvou vybraných zemědělských plodin, tj. ředkvička celoroční (*Raphanus sativus*) a řepa krmná červená odrůda Monro (*Beta vulgaris*). Pro experiment byly využity čtyři skleníky (mikrokosmy) umístěné na pracovišti Státního ústavu radiační ochrany v Hradci Králové, kde byly simulovány různé klimatické podmínky za použití dostupnosti různého množství vody. Ve sklenících se umístily experimentální nádoby, které byly zalévány čtyřmi typy zálivek. V prvním skleníku se rostliny zalévaly na hranici přežití, tzv. aridní (silná) srážka, kdy byl simulován současný stav počasí v České republice, tzn. suché prostředí s jednorázovým výrazným množstvím vody, která půdou jen proteče. V druhém skleníku bylo zaléváno tak, aby došlo k mokré až bahnitě půdě a zároveň by měla voda v půdě zůstat. Ve třetím skleníku došlo k normálnímu zalévání a tím vznikla příznivá vlhkost půdy. Čtvrtý skleník simuloval suché prostředí, tzn. omezené zalévání a nedostatek vody.

V závěru jsou porovnány výsledky této práce s výsledky předchozích podobných experimentů, které byly zpracovány za stejných podmínek, jen se liší typem půd, podmínkami při pěstování plodin v experimentech nádobách nebo druhy rostlin.

### 3 Metodika

Experiment v rámci této bakalářské práce je součástí hlavního projektu Ministerstva vnitra České republiky vedený pod číslem VI20192022153 s názvem „Optimalizace postupů pro realizaci rostlinné výroby na území zasaženém jadernou havárií“. Hlavní projekt byl zahájen v roce 2019, v roce 2021 byly započaty dílčí poloprovozní experimenty, které pokračovaly dále v roce 2022 a jsou důležitým podkladem pro tuto práci. Hlavním řešitelem projektu je SÚRO, spoluřešitelé jsou ČZU, ENKI, o.p.s. a Jihočeská univerzita. V následujícím popisu postupů přípravných prací, činností v průběhu experimentu až po závěrečné zpracování vzorků vypěstovaných rostlin, jsou použity poznatky a postupy kolektivu spoluautorů poloprovozních experimentů. Zároveň je podrobný popis postupů, tj. sběr vzorků půdy, výstavba skleníků, postup kontaminace půdy, sklizeň, příprava, zpracování a měření vzorků, obsažen v metodikách odborných bakalářských a diplomových pracích z minulých let (Makowski, 2020; Šváb, 2020; Voříšková, 2020; Doskočilová, 2021; Šorm, 2022). Z tohoto důvodu nejsou některé následujících části metodiky tolik podrobné. Práce se prioritně zaměřuje na popis postupů a činností týkajících se experimentu v roce 2022.

Důležitým krokem v rámci poloprovozních experimentů byl výběr lokality a půdního vzorku. Jelikož je hlavní projekt zaměřen na problematiku kontaminace rostlin zasažených jadernou havárií, na obsahu radionuklidů v půdě v souvislosti se složením a typem půdy (SÚRO, 2021), bylo v předchozích experimentech zvoleno území havarijní zóny jaderných elektráren Dukovany (EDU) a Temelín (ETE). Výběr oblastí k monitorování poloprovozních experimentů byl rovněž zvolen na místech, kde probíhal monitoring plošné kontaminace a zpracování výsledků na SÚRO v roce 1986. Jako významně zasažený definovaný celek se jevil Moravsko-slezský kraj, přičemž oblast ETE bylo možné považovat za průměrně zasaženou (1986), oblast EDU za podprůměrně zasaženou (Pecharová, 2021).

Pro účely této práce byla vybrána lokalita nikoliv v okolí jaderných elektráren, ale na území Pardubického kraje, v okolí obce Helvíkovice. Charakteristika lokality je uvedena v kapitole 3.1. Půda byla zvolena jako půdní typ hnědozemě, typická pro Českou republiku. Charakteristika půdy hnědozemě je uvedena v kapitole 3.3.

#### 3.1 Odběrová lokalita

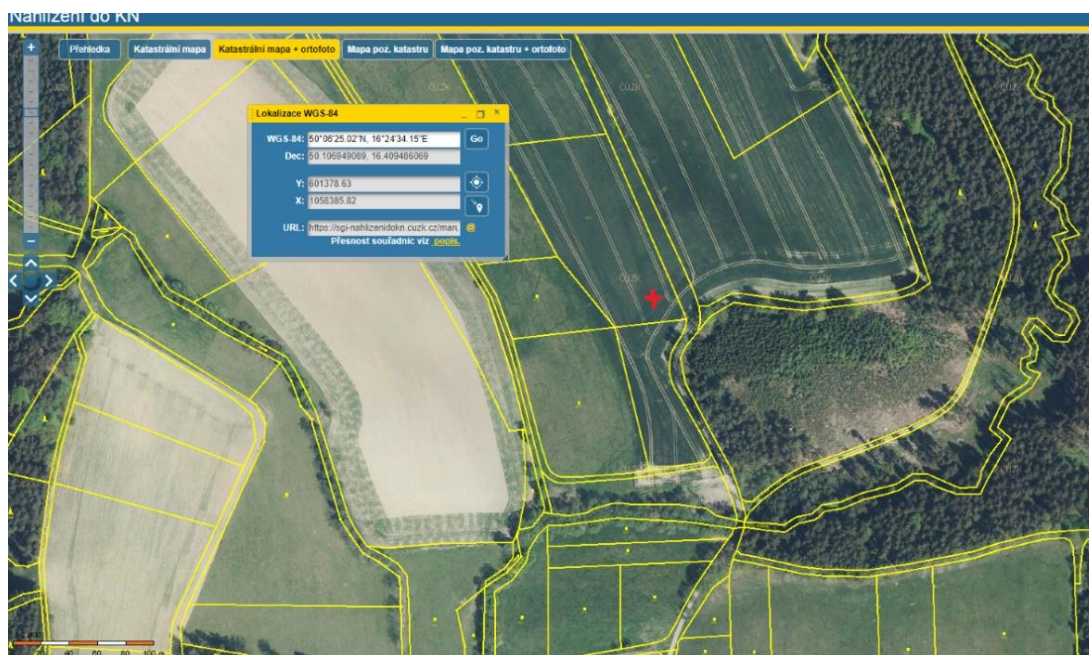
Přípravnou fází experimentu v roce 2022 byl výběr lokality pro odběr vzorků půdy typu hnědozemě. Půda byla odebrána z parcely č. 4572 u obce Helvíkovice, v

okrese Ústí nad Orlicí, v Pardubickém kraji, která byla zvolena z důvodu dobré dostupnosti pro odvoz vzorků na SÚRO v Hradci Králové. Uvedená lokalita, tj. pozemek parc. č. 4572, kat. území Helvíkovice, je v soukromém vlastnictví, proto bylo potřeba odběr vzorků předem projednat jak s majiteli, tak s hospodařícími subjekty, jelikož se jde o půdu ornou, zemědělsky obhospodařovanou (Pecharová et al., 2019). Poloha odběrové lokality je vyznačena na mapě ČR (Obrázek 1). Na Obrázku 2 je označeno přesné místo odběru na pozemku parc. č. 4572, kat. území Helvíkovice



(lokalizace podle souřadnic WGS-84: 50°06'25.02"N, 16°24'34.15"E).

Obrázek 1: Vyznačení odběrové lokality na mapě ČR (ArcGIS Pro, 2023)



Obrázek 2: Lokalizace odběrového místa (ČUZK, 2023)

### 3.2 Sběr vzorků orné půdy

Odběr vzorků půdy typu hnědozemě pro účely poloprovozního experimentu byl uskutečněn dne 5. 5. 2022. Tyto vzorky půdy byly jak v předchozích experimentech, tak v roce 2022 odebrány do plastových experimentálních nádob o objemu 15 l. Nádoby byly poté přepraveny na experimentální pracoviště SÚRO v Hradci Králové (Pecharová et al., 2019) a umístěny do experimentálních skleníků. K odběru vzorků z orné půdy byl použit rýč a lopatka. Rýčem byla odebrána půda do hloubky cca 25 cm a poté vložena do experimentálních nádob cca 8 cm pod horní okraj. Lopatka sloužila k rozdrčení půdy na menší části (Šorm, 2022).

### 3.3 Charakteristika půdy hnědozemě

Vybraným a zároveň odebraným půdním typem pro účely experimentu je podle Českého klasifikačního systému půda patřící do třídy luvizoly. Hnědozemě se nacházejí na rovinatém až mírně zvlněném terénu, kde se vyskytuje původní vegetace doubrav a habrových doubrav. Jsou to půdy poměrně úrodné, ovšem se slabě kyselou až kyselou půdní reakcí a mají tendenci se zhutňovat (Šantrůčková, 2018). Zároveň mají vyšší obsah jílu v iluviálním B horizontu, který je umístěn pod A horizontem, bohatým na humus. Hnědou barvu tohoto půdního typu určuje právě vymývání jílových částic do B horizontu (Kutílek, 2012). Horizont A je díky obsahu jílnatých částic těžší, jde tedy nejčastěji o půdy středně těžké, těžké a někdy i těžší půdy. Půdotvorný substrát je spraš, sprašová hlína nebo smíšená svahovina (Tomášek, 2014). Z agronomického hlediska se jedná o velmi kvalitní půdy a zastoupení v České republice je okolo 12,7% zemědělské půdy (Šarapatka, 2014), z tohoto důvodu jde tedy o obecně rozšířenou půdu v České republice, a proto byla pro tento experiment vybrána. Charakteristika půdy na zvoleném území pro odběr vzorků, tj. na pozemku parc. č. 4572, kat. území Helvíkovice, je uvedena v Tabulce 1, která je sestavena podle půdní mapy České republiky a doplněná údaji podle Bonitované půdně ekologické jednotky (BPEJ). Jelikož uvedený pozemek obsahuje dvě hodnoty BPEJ, jsou údaje v Tabulce 1 uvedeny z obou těchto jednotek.

<b>Typ půdy</b>	Hnědé půdy silně kyselé.
<b>Klimatické poměry</b>	Okrsek mírně teplý, vlhký, vrchovinný.
<b>Půdní zrnitost</b>	Půdy převážně hlinitopísčité, písčitohlinité i jílovitohlinité až jílovité.
<b>Výškopisné poměry</b>	400–600 m n. m.

<b>Půdotvorné substráty</b>	Zvětraliny hornin mladšího mezoika: pískovce, „opuky“, slínovce, horniny flyšového typu; zvětraliny metamorfovaných hornin.
<b>Vegetační poměry</b>	Dubohabrové háje; květnaté bučiny
<b>Hydropedologická charakteristika</b>	Nízká až střední rychlost infiltrace (půdy s málo propustnou vrstvou v půdním profilu a půdy středně hluboké až hluboké, středně až dobře odvodněné).
<b>Sklonitost a expozice</b>	Mírný sklon až úplná rovina nebo rovina se všesměrnou expozicí (celkový sklon 0–7 °).
<b>Skeletovitost</b>	Bezskeletovitá, s příměsí, slabě skeletovitá (obsah skeletu do 25%) až středně skeletovitá (obsah skeletu 25-50%).
<b>Hloubka půdy</b>	Půda hluboká, půda středně hluboká (hloubka od 30 cm).

Tabulka 1: Charakteristika půdy na poz. p. č. 4572, k.ú. Helvíkovice (Tomášek, 2014; BPEJ)

### 3.4 Příprava a kontaminace experimentálních nádob

K experimentu bylo potřeba připravit celkem 96 experimentálních nádob o objemu 15 l. Do každého skleníku (celkem 4 skleníky) bylo umístěno 24 nádob s rozdělením 12 nádob pro vysazení ředkvičky celoroční (*Raphanus sativus*) a 12 nádob pro vysazení řepy krmné červené odrůda Monro (*Beta vulgaris*). Označení nádob daným písmenem je shodné s označením skleníků A, B, C, a D. Číslování nádob pro ředkvičku je vždy v rozmezí 1 až 9 a 19 až 21, číslování u plodiny řepa je vždy v rozmezí 10 až 18 a 22 až 24. Všechny experimentální nádoby obsahují omou půdu typu hnědozemě (Tabulka 2).

Označení skleníku	A	B	C	D
Klima skleníku	mokré	normální	suché	střídavé
Počet nádob – ředkvička	12	12	12	12
Počet nádob – řepa	12	12	12	12
Označení nádob – ředkvička	A1 – A9 A19 – A21	B1 – B9 B19 – B21	C1 – C9 C19 – C21	D1 – D9 D19 – D21
Označení nádob – řepa	A10 – A18 A22 – A24	B10 – B18 B22 – B24	C10 – C18 C22 – C24	D10 – D18 D22 – D24

Tabulka 2: Schéma označení experimentálních skleníků a nádob

Dalším krokem bylo půdu v 96 experimentálních nádobách kontaminovat radionuklidy cesiem  $^{134}\text{Cs}$  a stronciem  $^{85}\text{Sr}$ . Kontaminace půdy kontaminačním vodním roztokem proběhla v SÚRO v Hradci Králové dne 10. 5. 2022. Umělé radionuklidy stroncium  $^{85}\text{Sr}$  a cesium  $^{134}\text{Cs}$  byly přidány do 72 nádob (A1-A18, B1-B18, C1-C18, D1-D18), přičemž 6 nádob v každém skleníku zůstalo bez radioaktivity (A19-A24, B19-B24, C19-C24, D19-D24) (Příloha 3).

## Příprava roztoku s RN

Kontaminační vodný roztok s  $^{134}\text{Cs}$  a  $^{85}\text{Sr}$  (1. barel) byl předpřipraven na radiochemickém oddělení SÚRO Praha. Pro přípravu byl použit etalon ČMI s  $^{134}\text{Cs}$  č. 080721-1665018 s celkovou aktivitou 539,9 kBq (k 10. 11. 2021) a etalon  $^{85}\text{Sr}$  č. 210422-1850010 s aktivitou 526,1 kBq (k 20. 5. 2022). Použití radionuklidů do barelu je uvedeno v Tabulce 3. K roztokům nebyl přidáván nosič ani upravováno pH. K ředění roztoku etalonů byla použita neupravená pitná voda v množství cca 10 l. Po příjezdu na místo kontaminace (SÚRO Hradec Králové) byl barel s roztokem doplněn na hmotnost uvedenou v Tabulce 3 a roztok byl protřepán. V barelu byl připraven kontaminační roztok o aktivitě  $^{85}\text{Sr}$  15,3 kBq/L a  $^{134}\text{Cs}$  34,1 kBq/L (Tabulka 3).

	Jednotka	Skleníky	Veličina
<b>Barel</b>		1	
<b>Hmotnost barelu</b>	kg	1,115	
<b>Barel + roztok</b>	kg	14,51	
<b>Hmotnost roztoku</b>	kg	13,395	
$^{85}\text{Sr}$	kBq	205,4	
$^{134}\text{Cs}$	kBq	457,1	
$^{85}\text{Sr}$	<b>kBq/L</b>	<b>15,337</b>	10.5.2022
$^{134}\text{Cs}$	<b>kBq/L</b>	<b>34,128</b>	10.5.2022

Tabulka 3: Hmotnosti barelu a kontaminačního roztoku a aktivity kontaminačního roztoku (SÚRO, 2023)

## Příprava ke kontaminaci

Hnědozemě v experimentálních nádobách byla obrácena tak, aby se nahoru dostala půda umístěná na dně. Horní vrstva byla poté nakypřena, aby byly rozbity ztvrdlé hrudy. Nádoby byly na dně provrtány a po kontaminaci bylo pod každou nádobu umístěno víčko. Byla orientačně stanovena hmotnost několika nádob i s půdou (Tabulka 4).

Č. nádoby	Hmotnost (kg)
1	17,67
2	18,04
3	17,98
4	17,8
5	16,46
6	16,69
<b>Aritmetický průměr</b>	<b>17,44</b>
Směrodatná odchylka	0,7

Tabulka 4: Hmotnost vybraných experimentálních nádob s půdou (SÚRO, 2023)

## Postup kontaminace nádob

Postup kontaminace byl v porovnání s předcházejícími poloprovozními experimenty modifikován. Kontaminaci prováděly dvě osoby. První osoba nalávala kontaminační roztok do větší kádinky a z této kádinky pak vždy cca 180 ml doplňovala do konviček položených na váze. Byly použity 2 konvičky o stejné hmotnosti. Druhá osoba zalávala půdu v nádobě roztokem připraveným v konvičce. Po zalití bylo vždy

otřeno kropítko konvičky ze spodu pro omezení případného odkapu. První osoba hlásila zapisující osobě údaj o celkové hmotnosti konvičky s roztokem ( $M^{R+K}$ ). Na počátku experimentu bylo změřeno několik vybraných konviček se zachyceným zbytkem roztoku a byla vypočtena průměrná hmotnost ( $M^Z$ ) (Tabulka 5).

Číslo konvičky	Hmotnost (konvička + zbytek) (g)
1	78,6
2	79,3
3	79,9
4	78,6
5	79,2
6	79,6
<b>Aritmetický průměr (<math>M^Z</math>)</b>	<b>79,2</b>
Směrodatná odchylka	0,5

Tabulka 5: Hmotnost vybraných konviček se zbytkem roztoku (SÚRO, 2023)

Skutečná hmotnost použitého kontaminačního roztoku se rovnala  $M^{\check{C}} = M^R - M^Z$ . Číselný údaj na váze fluktoval díky působení větru v intervalu do 0,5 g při každém vážení, takže celková nejistota čisté hmotnosti ( $M^{\check{C}}$ ) mohla dosáhnout max. 1 g. Obě osoby spolupracovaly na odnášení a podávání nádob. Stůl byl pokryt igelitem. Konvičky byly mezi vážením a zaléváním položeny a přenášeny na táčech. Před započítáním a po ukončení kontaminace nádob skleníků bylo z každého barelu odebráno 200 ml roztoku pro změření aktivity obou radionuklidů. Měřením, tj. znalostí aktivity kontaminačního roztoku, byla stanovena aktivita 10.5.2022  $^{85}\text{Sr}$  15,0 kBq/kg a  $^{134}\text{Cs}$  31,7 kBq/kg. Nádoby byly bezprostředně po rozmístění do skleníků po kontaminaci zalévány čistou vodou – cca 260 ml (Příloha 1).

### Vysvětlení pojmů:

**Radionuklidy** jsou z chemického a biologického hlediska často nazývány jako radioaktivní izotopy nebo také radioizotopy (Pöschl, 2006). Radionuklidy jsou nestabilní izotopy, které podléhají radioaktivnímu rozpadu (Arafin, 2021). Radionuklidy se mohou vyskytovat v přírodě přirozeně nebo jsou vyráběny uměle, proto je dělíme na přírodní a umělé radionuklidy. Jak uvádí Arafin (2021), uměle vyrobených radionuklidů je převážná většina a přírodních radionuklidů je mnohem méně. Přírodní radionuklidy, využívající se ve vědách, technologiích, průmyslu nebo zdravotnictví, nedostačují, proto se uměle vyrábějí. Nejčastěji se vyrábí v jaderných reaktorech, urychlovačích nebo generátorech (Pöschl, 2006). Tato práce sleduje zejména umělé (antropogenní radionuklidy)  $^{134}\text{Cs}$  a  $^{85}\text{Sr}$  s poločasem rozpadu 2,06 let a 64,85 dní (Tabulka 6). Z důvodu kratšího poločasu rozpadu u  $^{134}\text{Cs}$  a  $^{85}\text{Sr}$  je snazší nakládání s odpadem ze zbytkových materiálů z experimentu. Nedochozí tak ke hromadění velkého množství půdy s radioaktivním materiálem, který by obsahoval radioizotopy s dlouhým poločasem rozpadu (Aba, 2021).



Radionuklid	Poločas rozpadu	Původ radionuklidu
<sup>134</sup> Cs	2,06 let	hlavní výskyt jaderné reaktory
<sup>137</sup> Cs	30 let	jaderné reaktory a jaderné zbraně
<sup>85</sup> Sr	64,85 dne	umělý radionuklid
<sup>89</sup> Sr	52 dní	jaderné reaktory a jaderné zbraně
<sup>90</sup> Sr	28 let	jaderné reaktory a jaderné zbraně
<sup>40</sup> K	1,3 x 10 <sup>9</sup> let	přírodní

Tabulka 6: Poločasy rozpadu radionuklidů (Yadav, Singh, 2021)

**Cesium** (Cs) je chemický prvek skupiny I.a v periodické tabulce, patří do skupiny alkalických kovů a jde o první prvek, který byl v roce 1860 objeven spektroskopicky. Přirozeně se vyskytující cesium se skládá výhradně z neradioaktivního izotopu <sup>133</sup>Cs. Existuje rovněž velké množství radioaktivních izotopů od <sup>123</sup>Cs do <sup>144</sup>Cs. <sup>137</sup>Cs je uplatňované v lékařské i průmyslové radiologii kvůli jeho dlouhému poločasu rozpadu. Je hlavní složkou jaderného spadu. Ovšem v některých případech, tj. např. bezprostředně po havárii jaderné elektrárny, jsou nejdůležitější součástí jaderného spadu zejména radionuklidy s krátkým poločasem rozpadu. Tento odpadní produkt, který je pozůstatkem z výroby plutonia a jiných obohacených jaderných paliv, však představuje velké nebezpečí pro životní prostředí. O odstranění a vyčištění radioaktivního cesia z kontaminované půdy v místech výroby jaderných zbraní se stále usiluje (URL4).

**Stroncium** (Sr) je chemický prvek, jeden z alkalických kovů skupiny II.a periodické tabulky. Výskyt stroncia v přírodě představuje zdravotní riziko. Přirozeně se vyskytující stroncium je směsí čtyř stabilních izotopů, tj. <sup>88</sup>Sr (82,6%), <sup>86</sup>Sr (9,9%), <sup>87</sup>Sr (7,0%) a <sup>84</sup>Sr (0,56%). Asi 16 umělých radioaktivních izotopů bylo vyrobeno jadernými reakcemi, z nichž nejdelší poločas rozpadu má izotop <sup>90</sup>Sr, vytvořený jadernými výbuchy a považovaný za nejnebezpečnější. Vzhledem k jeho chemické podobnosti s vápníkem se vstřebává zejména v kostech a zubech, kde pokračuje ve vylučování elektronů, které poškozují kostní dřeň a tvorbu krevních buněk. Za kontrolovaných podmínek se však může, zejména <sup>89</sup>Sr, použít k léčbě některých povrchových rakovin nebo rakoviny kostí (URL5).

**Draslík** (K) je chemický prvek skupiny I.b periodické tabulky. Jde o velmi reaktivní alkalický kov, objevený v roce 1807 (Encyklopedický institut Československé AV ©1982). Přírodní draslík se skládá převážně z izotopu <sup>39</sup>K (93,26%). dále pak z izotopů <sup>41</sup>K (6,73%) a <sup>40</sup>K (0,012%), přičemž <sup>40</sup>K je nestabilní (radioaktivní) přirozeně se vyskytující izotop draslíku. Má velmi dlouhý poločas rozpadu, proto tento izotop patří k primordiálním nuklidům, protože jeho poločas rozpadu je srovnatelný se stářím Země, a je nejběžnější radioizotop v lidském těle (URL6).

### 3.5 Experimentální skleníky



Obrázek 3: Experimentální skleníky (Goldšmídová, 2023)

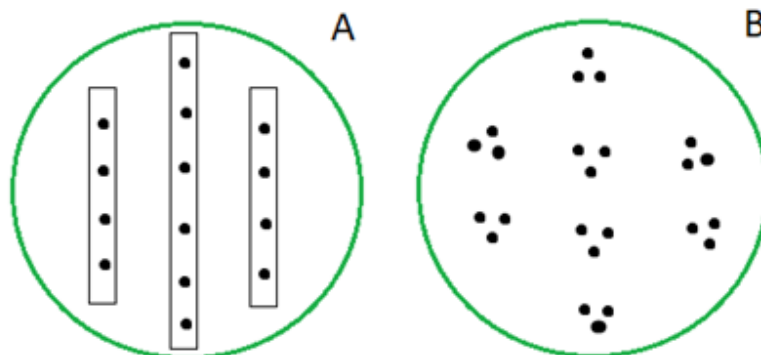
Na pracovišti SÚRO v Hradci Králové byly v roce 2021 postaveny čtyři mikrokosmy (experimentální skleníky) o rozměrech 2,52 x 1,90 m (Obrázek 3). Skleníky jsou označeny písmeny A, B, C a D. V každém skleníku bylo v rámci experimentu simulováno rozdílné klima, jak je uvedeno následovně:

- Skleník A – mokré klima, představující mokré a vlhké podnebí,
- Skleník B – normální klima, tzn. příznivá vlhkost,
- Skleník C – suché klima, které simuluje suché podnebí s nedostatkem vody,
- Skleník D – střídavé klima, tzn. znázorňující typické počasí vyskytující se v současné době v České republice, kdy převládá nějaký čas suché podnebí a poté dojde prudké srážce, kdy se voda v půdě neudrží a většinou odteče.

### 3.6 Výsev plodin

Jak již bylo zmíněno v kapitole 3.4, vyseto bylo celkem 48 experimentálních nádob ředkvičkou celoroční (*Raphanus sativus*) a 48 nádob řepou krmnou červenou, odrůda Monro (*Beta vulgaris*). Nádoby byly umístěny po 24 nádobách ve čtyřech sklenících. Každý experimentální skleník obsahoval vždy 12 nádob s ředkvičkou a 12 nádob s řepou (Tabulka 2). Obrázek 4 znázorňuje, jakým způsobem byla ředkvička a řepa do nádoby vysety. Ukázka výsevu ředkvičky je označena písmenem A, kde byly

použity pásy se semínky a vysety ve třech řadách s počtem semínek 4-6-4. Řepa je označena písmenem B a byla vyseta rovněž ve třech řadách s rozmístěním 2-4-2 po třech semenech (Obrázek 4). Výsev proběhl dne 17. 5. 2022.



Obrázek 4: Výsev ředkvičky (A) a řepy (B) v experimentálních nádobách

### 3.7 Zálivka

Zálivka se v jednotlivých sklenicích lišila v souvislosti s různými simulovanými klimatickými podmínkami. V Tabulce 7 jsou uvedeny souhrnné údaje zalévání rostlin ve sklenicích. Nevyšší množství zálivky bylo ve skleníku A s mokrým klimatem a nejnižší ve skleníku C se suchým klimatem, výraznější rozdíly byly ve frekvenci zalévání. Podrobnější popis zálivky je uveden následovně:

1. Ve skleníku A (mokré klima) probíhala zálivka v pravidelném intervalu 1 až 4 dny, nebyla nikdy vynechána. Od května do srpna se zalévalo zpravidla v množství 260-520 ml dešťové vody s výkyvy ke konci července a srpnu, kdy zálivka byla 780-1040 ml, což bylo zapříčiněno velmi horkými dny v tomto období. Důležité zde bylo, aby voda vytvořila mokré až skoro bahnité podmínky a zálivka neměla protékat skrz.
2. Skleník B (normální klima) měl být zaléván tak, aby v půdách byla udržována normální vlhkost půdy. Zde bylo udržováno pravidelné zalévání od 260 do 520 ml s jedním výkyvem se zálivkou 1040 ml (opět v období horka). Interval byl pravidelný, 1 až 4 dny.
3. Ve skleníku C (suché klima) bylo první cca měsíc zaléváno pravidelně každý 3. až 4. den v množství 260-520 ml, poté byla zálivka výrazně snížena. Poté byl v druhé polovině června dlouhý sedmidenní interval, kdy bylo potřeba nechat půdu vyschnout. Další zalévání opět probíhalo pravidelně v intervalu 1 až 4 dny, ale s nižším množstvím 130-260 ml.
4. Skleník D (aridní/střídavé klima) měl simulovat současný stav počasí v České republice, tzn. zalévat na hranici přežití rostlin nejlépe jednou za dva týdny. Na

začátku bylo zaléváno pravidelně, aby mohly rostliny vyrůst, tzn. každý 3. až 4. den v množství 260-520 ml. Následně se již intervaly zvýšily a zalévalo se každý 7. až 8. den, a to prudkou zálivkou 1040 ml. Půda vždy úplně vyschla a poté byla prolita. Voda v nádobách s půdou nezůstala, vždy protekla a sloužila tak k dalším analýzám, kdy půda v tomto případě uvolňovala zejména kationty.

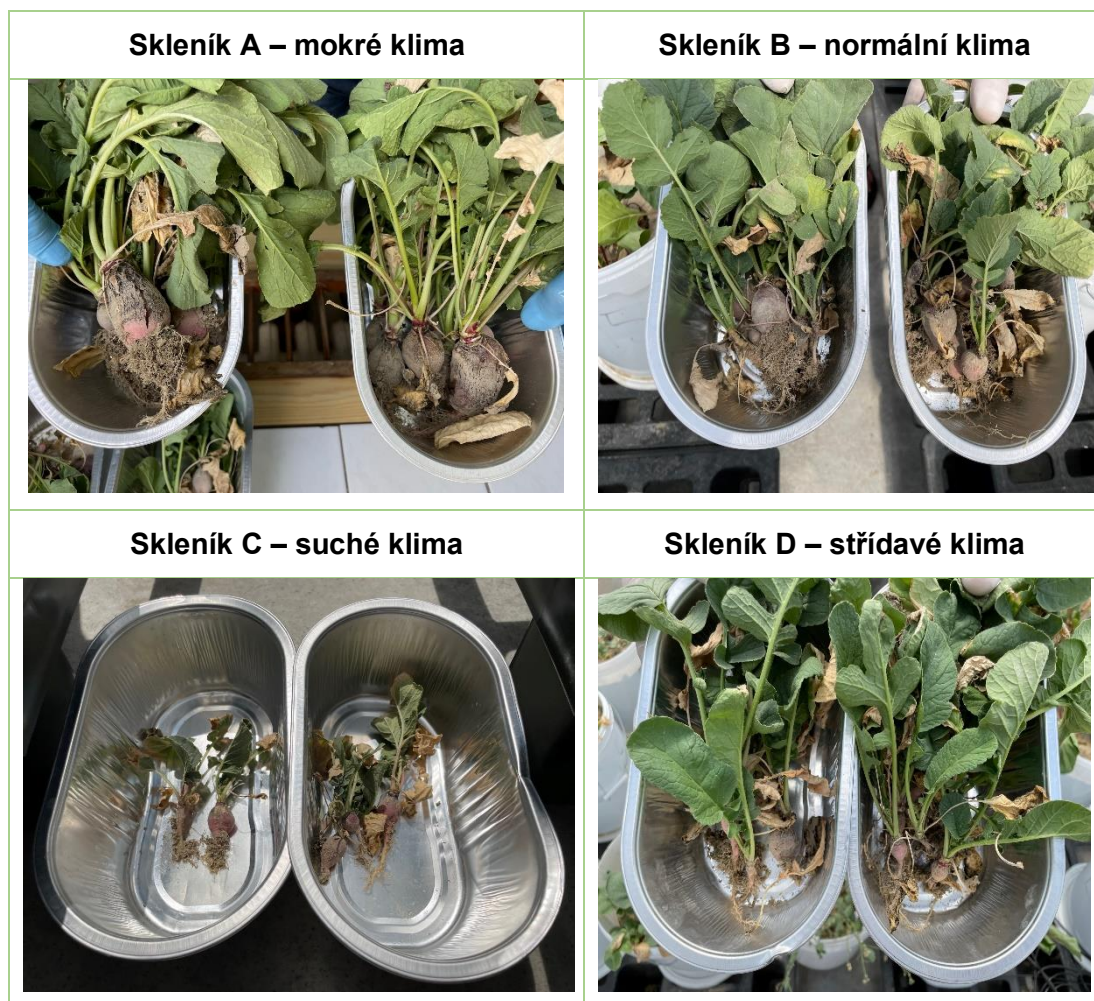
Skleník	Klima	První zálivka	Frekvence zálivky (dny)	Množství zálivky celkem (ml)	Vyjádření (%)	Ukončení zálivky	
						ředkvička	řepa
A	mokrý	17.5.	1 až 4	21 658	135 %	2.8.	23.8.
B	normální	17.5.	1 až 4	15 990	100 %	2.8.	23.8.
C	suchý	17.5.	1 až 7	8 970	56 %	2.8.	23.8.
D	střídavý	17.5.	2 až 11	12 060	75 %	2.8.	23.8.

Tabulka 7: Zálivka ve sklenících (rok 2022)

Zálivka byla prováděna odměrkou, kdy objem zálivky byl vždy podrobně zaznamenán (Příloha 2). Ve sklenících bylo současně důležité sledovat půdní vlhkost pomocí sledovacího zařízení – vlhkoměru. Byla stažena data z čidel ze všech skleníků a údaje se zdály být nevěrohodné, proto s nimi není možné dále pracovat. Data byla ovlivněna rozdílným zastrčením čidla do půdy.

### 3.8 Sklizeň a příprava plodin k měření

Sklizeň ředkvičky a řepy byla stanovena na dva různé dny. Ředkvička se sklízela dne 2. 8. 2022 a řepa dne 25. 8. 2022. Práce byly zahájeny tím, že nejprve bylo potřeba ze všech nádob vybrat nežádoucí rostliny (plevel). Následně byly z půdy z jednotlivých nádob vybrány všechny části experimentální plodiny, tj. nadzemní zelená část (nať) i podzemní jedlá část (bulva), a poté vloženy do aluminiových misek, které byly označeny vždy písmenem skleníku a číslem přidělené experimentální nádoby (Tabulka 2). Sklizené ředkvičky z jednotlivých skleníků se svým vzrůstem výrazně lišily, jak je znázorněno na Obrázku 5. Největší velikost měly ředkvičky ze skleníku se simulací mokrého a vlhkého klimatu (skleník A), tzn. s pravidelnou a častou zálivkou. Ředkvičky vypěstované ve skleníku B s normálním klimatem (příznivá vlhkost půdy) byly velikostně menší, ale jejich zelená nadzemní část byla vzrostlá a srovnatelná se zelenou částí u ředkviček ze skleníku D (střídavé klima, tj. sucho s občasným prudkým prolitím vody). Nejhorší stav ředkviček byl ze skleníku C (suché klima).



Obrázek 5: Sklizené ředkvičky ze skleníků se simulací rozdílného klimatu (Goldšmídová, 2023)

Misky se sklizenými plodinami byly poté přeneseny do přípravný (laboratoře) v budově SÚRO. Zde byly důkladně omyty vodou, aby na podzemní části (bulva) i zelené části rostlin (nať) nezůstala žádná půda, jelikož by mohla ovlivnit měření radionuklidů v plodinách. Poté byly omyté ředkvičky důkladně vysušeny papírovým ubrouskem a následovalo oddělení natě od bulvy, přičemž bulva byla rozkrájena na kousky o velikosti cca 0,5-1 cm. Zelená část rostliny i rozkrájená bulva byly opět vloženy zpět do hliníkových misek. Následovalo vážení rozkrájených vzorků spolu s natí a vložení vzorků do sušicího přístroje, aby se odstranila přebytečná voda. Sušení probíhalo v sušárně Memmert UF110 při 50°C až do stálé hmotnosti. Po vysušení byly vzorky předány do výzkumné laboratoře k měření radionuklidů.

Sklizeň řepy byla uskutečněna dne 25. 8. 2022. Postup sklizně řepy byl shodný s postupem u ředkvičky. Na Obrázku 6 jsou znázorněny plodiny v jednotlivých sklenících, kde jsou opět patrné rozdíly ve velikosti a vzrůstu rostlin. Řepa vypěstovaná ve skleníku A s mokřím klimatem má mnohem větší zelenou nadzemní

část. Naproti tomu řepa ze skleníku C se suchým klimatem je v nejhorším stavu, bulvy byly malé a vyschlé, zelená nadzemní část je minimální.



Obrázek 6: Řepa ve sklenících A, B, C, D před sklizní (Goldšmídová, 2023)

Obrázky znázorňují vizuální stav plodin, ovšem v laboratoři byl rovněž posouzen i celkový zdravotní stav pro každou vypěstovanou rostlinu na základě hodnotící škály od 1 do 10 bodů (1 = nejhorší, 10 = nejlepší). Zdravotní stav byl posuzován celkovým vzrůstem rostliny, u ředkviček byl posuzován zdravotní stav celé

rostliny, u řepy byla hodnocena každá část plodiny zvlášť (nať, bulva). Údaje byly zaznamenány do hodnotící tabulky, která je součástí souhrnné tabulky (Příloha 3). Ze všech 96 zhodnocených plodin byla poté sestavena Tabulka 8 s výpočtem aritmetického průměru zdravotního stavu, kde je patrný rozdíl mezi zdravotním stavem u plodin ze skleníku s mokřým klimatem (A) a ze skleníku se suchým klimatem (C). Rozdíl je i mezi ředkvičkou a řepou vypěstovaných ve skleníku B, kde na stav plodin měly normální podmínky, tj. příznivá vlhkost půdy, rozdílný vliv. Ředkvička byla v poměrně horším stavu.

Po dobu růstu rostlin nebylo použito žádné chemické ošetření ani hnojení. Na začátku růstu zhruba první 3 týdny hned po vyrašení byly průběžně vytrhávány vzešlé rostliny řepky, jelikož půda obsahovala poměrně velké množství semen řepky. Následující období růstu již k žádnému pletí ani okopávání nedocházelo. Skleníky byly větrány běžným způsobem (okénko s automatickým otvíráním). Nebylo využito žádné topení ani svícení.

Plodina	Zdravotní stav			
	Skleník A mokré klima	Skleník B normální klima	Skleník C suché klima	Skleník D střídavé klima
ředkvička	8,00	5,00	2,17	8,00
řepa (bulva)	8,75	7,25	2,27	6,67
řepa (nať, list)	8,75	7,25	2,27	6,67

Tabulka 8: Aritmetický průměr zdravotního stavu ředkviček a řepy

### 3.9 Měření vzorků plodin, půdy

Jak bylo uvedeno v předchozí kapitole, po vysušení byly vzorky sušiny rostlin předány do výzkumné laboratoře, kde byly k měření použity Petriho misky a válcovité nádoby, tzv. „masťovky“. Jedná se o nádoby k měření aktivity ve vysušených rostlinách. Vkládají se na měřicí přístroj spektrometr – polovodičový detektor záření gama ze superčistého germania, kde byla změřena aktivita radionuklidů v rostlinách (Šorm, 2021). Měření bylo prováděno konkrétně na HPGe detektorech, v geometriích a obvykle cca 1 den (86 400 s). Pokud bylo potřeba, měřilo se déle. Vyhodnocení se pak provádělo v programu Genie 2000. Poté byly provedeny korekce na sumace, a to pomocí výpočtů v Excelu. Následovala samoabsorpce a rozměr vzorku (geometrie), a to pomocí programu EFFTRAN.

Aktivita v půdě byla vypočtena z hmotnosti vzorku, a to na základě nalitého kontaminačního roztoku do půdy (Příloha 1, Příloha 3). V celém experimentu se pracovalo s plošnou aktivitou, tzn. že se aktivita nalitá na povrch půdy vydělila plochou povrchu půdy vypočítanou na základě znalosti průměru nádoby v místě povrchu půdy (níže uveden vzorec pro výpočet).

## Vysvětlení pojmů:

**Aktivita** je veličina, která charakterizuje rychlost radioaktivní přeměny. Je definována jako množství přeměn za jednotku času nebo také jako úbytek ještě nepřeměněných jader za jednotku času (Pöschl, 2006). Jednotkou aktivity je Becquerel (Bq).

K výpočtu transferového koeficientu bylo potřeba zjistit rovněž **plošnou aktivitu** v půdě pro vybrané radionuklidy ( $^{85}\text{Sr}$  a  $^{134}\text{Cs}$ ). Plošná aktivita byla stanovena následujícím vzorcem:

$$\text{Plošná aktivita radionuklidu k datu sklizně} \quad [\text{Bq/m}^2] = \frac{\text{Aktivita radionuklidu v půdě k datu sklizně} \quad * 1000 \quad [\text{kBq}]}{\text{Plocha povrchu půdy} \quad 0,0531 \quad [\text{m}^2]}$$

Hodnota plochy povrchu půdy  $0,0531 \text{ m}^2$  odpovídá průměru experimentální nádoby  $260 \text{ mm}$  (Šorm, 2021). Plošná aktivita se udává v jednotkách Becquerel na metr čtvereční ( $\text{Bq/m}^2$ ).

**Transferový koeficient** (TK) nebo transferový faktor (TF) je důležitý parametr, který zahrnuje vliv fyzikálně-chemických vlastností půdy, podmínek prostředí, typů radionuklidů i samotné rostliny (Alsaffar et al., 2016). Transferový faktor se vypočítává jako poměr aktivit radionuklidů v rostlině a v půdě (Aba, 2021) a je důležitým vstupním parametrem v modelech pro hodnocení dávek (Rout, 2021). Charakterizuje přenos radionuklidů z půdy na rostliny a jeho obsah se v této práci vyjadřuje na základě hmotnostní aktivity v sušině rostliny. Vzorec pro výpočet transferového koeficientu je následující:

$$\text{Transferový koeficient} \quad [\text{Bq/kg}] / [\text{Bq/m}^2] = \frac{\text{Aktivita radionuklidu v sušině rostliny} \quad [\text{Bq/kg}]}{\text{Plošná aktivita radionuklidu k datu sklizně} \quad [\text{Bq/m}^2]}$$

Jednotka transferového koeficientu je dána jednotkami poměrových veličin, tj. Becquerel na kilogram a Becquerel na metr čtvereční ( $\text{Bq/kg} / \text{Bq/m}^2$ ).

Výše uvedené veličiny, tj. aktivita (v půdě, v rostlinách), plošná aktivita a transferový koeficient, jsou v rámci této práce změřeny, vypočteny a zhodnoceny ve výsledcích viz kapitola 5 a diskuzi v kapitole 6.



## 4 Literární rešerše

Tato bakalářská práce se zaměřuje na průzkum a následné ověření, zdali můžou klimatické změny (různé klimatické podmínky, ovlivněné do budoucna postupným globálním oteplováním) ovlivnit přenos vybraných radionuklidů, tj.  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{85}\text{Sr}$  a  $^{40}\text{K}$ , do zemědělských plodin, konkrétně do ředkvičky a řepy. Simulace klimatických změn je pro účely této práce nahrazena různým množstvím vody tak, aby byly vytvořeny podmínky podobné mírnému, suchému nebo tropickému prostředí. Jakým způsobem byl výzkum proveden, je uvedeno v předchozí kapitole 3, kde jsou rovněž vysvětleny základní pojmy jako radionuklidy, transferový koeficient (v odborné literatuře nazýván též jako transferový faktor), stroncium, cesium a draslík. Tato kapitola je zaměřena na představení nejnovějších výsledků a poznatků celosvětových průzkumů, zpracovaných za roky 2021 a 2022, zabývajících se transferem radionuklidů mezi půdou a rostlinou v rozdílných klimatických podmínkách, tzn. zejména v suchém a tropickém podnebí, dále pak faktory ovlivňujícími přenos radionuklidů z půdy do rostlin nebo vlivem klimatických změn na transfer radionuklidů do životního prostředí. Rovněž je představena studie vlivu minerálních hnojiv na přenos radionuklidů z půdy do ředkvičky. Rešeršní formou jsou zde analyzovány odborné články, představeny a porovnány jejich rozdílné, případně podobné výstupy.

Hodnoty transferových koeficientů jsou uváděny jako tzv. bezrozměrné transferové faktory. Ačkoliv z odborných článků nelze vždy jednoznačně určit, většinou jsou transferové faktory vypočítávány z aktivit vztažených na sušinu.

### 4.1 Analýza odborných článků

#### Transfer radionuklidů v různých klimatických podmínkách

Výzkumů zabývajících se přenosem radionuklidů do různých druhů rostlin v různých klimatických podmínkách je mnoho. Klimatickými podmínkami se zde rozumí suché, tropické nebo mírné podnebí, což souvisí s případnou vlhkostí půdy a dostupností vody. Výzkumy prováděné v předchozích letech byly zaměřeny na příjem radionuklidů kořeny plodin v podnebí mírného, subtropického nebo v omezené míře tropického pásma, což vyplývá ze studie Technical Reports Series č. 472<sup>1</sup> (TRS) z roku 2010, vydané Mezinárodní agenturou pro atomovou energii (IAEA, 2010). Ovšem v současné době výrazné změny klimatu a globální oteplování vedou po celém světě ke změnám v ekosystémech a např. jižní Evropa se tak může stát

<sup>1</sup> Příručka hodnot parametrů pro predikci radionuklidového přenosu v suchozemském a sladkovodním prostředí

oblastmi suchými až pouštěmi (Semioshkina, Voigt, 2021). To vede k tomu, že je potřeba výzkumy zaměřit zejména na suché podnebí, které je charakteristické teplými a suchými podmínkami, ale rovněž i na tropické podnebí s teplými a vlhkými podmínkami. Údaje vyplývající ze studie TRS byly porovnány se současnými výsledky měření a následně zrevidovány. Důvodem je skutečnost, že pohyb radionuklidů i stabilních izotopů se v životním prostředí neustále mění (Doering et al., 2021). Některé radionuklidy, nazývané také jako radioizotopy, se vyskytují v životním prostředí přirozeně, zatímco většina jich je antropogenních, tj. jak vyrobených člověkem k využití pro lékařské, komerční nebo vojenské účely, tak vzniklých na základě jaderných reakcí, kde např. při jaderných haváriích došlo k výraznému úniku radionuklidů do životního prostředí a jejich rozptylu až do vzdálenosti několika tisíc kilometrů (Yadav, Singh, 2021). Obecně však dochází v některých částech světa k postupnému snižování zásob některých radionuklidů (např.  $^{137}\text{Cs}$  a  $^{90}\text{Sr}$ ) v životním prostředí (Doering et al., 2021), a to zejména z důvodu jejich rozpadu.

Jeden z výzkumů zaměřených na **tropické podnebí** byl proveden v 21 tropických zemích na čtyřech kontinentech. Tropické podnebí se vyznačuje vysokými teplotami (měsíční minimum je vyšší než 18 °C) a prakticky nepřítomnosti teplotních období. Srážky jsou četné a mohou být buď celoroční, nebo sezónní. Podmínky prostředí jsou vlhké. Rostlinný a živočišný svět je hojný a vysoce biologicky rozmanitý (IAEA, 2021a). Bylo zkoumáno celkem 36 prvků a 100 druhů rostlin typických pro tropické podnebí, tak i rostlin, které jsou sklizeny v subtropickém i mírném pásmu. Z výsledků vyplývá, že hodnoty přenosu rostlina-půda jsou v tropickém prostředí vyšší než v mírném nebo subtropickém pásmu. Důvodů je hned několik. Jedním důvodem je typické teplé a vlhké podnebí včetně vydatných mořských a trvalých srážek, které vedou k bujné a bohaté vegetaci. Ovšem růst vegetace závisí i na typu a obsahu živin ve vlhké půdě, jejichž koloběh je ovlivněn přítomností půdních mikroorganismů. Dalším důvodem vedoucím k vyšším hodnotám přenosu je využití zemědělské půdy v tropickém prostředí, kde se uplatňují jak jednoduché zemědělské postupy sloužící pro zajištění základní obživy, tak rozlehlé průmyslové zemědělství využívající těžké stroje a chemikálie. Takové hospodaření může ovlivnit přenos radionuklidů např. změnami v obsahu živin v půdě, změnami půdních horizontů, pH půdy, úpravami organické hmoty, typem plodin apod. (Doering et al., 2021).

Rout et al. (2021) uskutečnil výzkum na **Indickém subkontinentu**, kde převládají tropické podmínky. V tomto průzkumu bylo zkoumáno 21 různých prvků na 12 různých typech rostlinných skupin, tj. obiloviny, byliny, dřeviny, trávy, byliny, listová zelenina, luštěniny, kukuřice, nelistová zelenina, ostatní plodiny - podzemnice olejná,

okopaniny a hlízy). Transfer radionuklidů z půdy na rostliny, též nazýván jako transferový faktor (TF), je definován poměrem koncentrace aktivity radionuklidu v celé rostlině nebo rostlinné části ( $\text{Bq kg}^{-1}$  sušiny) a aktivity v půdě ( $\text{Bq kg}^{-1}$  sušiny). Ze zkoumaných 24 prvků je důležité zmínit, že transferový faktor pro různé části a skupiny rostlin u různých typů půd má prvek Sr zpravidla průměrné hodnoty (0,1-1). Naproti tomu prvek Cs má hodnoty nižší (0,01-1), kromě zkoumaných ořechů pěstovaných v hlinitých půdách, jejichž transfer faktory nabývají vyšších hodnot. Chování radionuklidů  $^{85}\text{Sr}$  a  $^{134}\text{Cs}$  je významně ovlivněno půdními vlastnostmi, jako je pH půdy nebo obsah organických látek. I v tomto průzkumu jsou zmíněny faktory ovlivňující transferový faktor radionuklidů z půdy na rostliny. Celosvětově vygenerované údaje představují poměrně různé hodnoty transferového faktoru radionuklidů pro stejné rostliny a je zřejmé, že se tyto hodnoty mění v souvislosti s geologickými a zeměpisnými lokalitami. Mezi ekologické faktory, které ovlivňují přenos radionuklidů, patří půdní vlastnosti, fyzikálně-chemické chování radionuklidů, fyzikálně-logická reakce rostlin na teploty, intenzitu světla, pravidelnost dešťů apod. Opět je zde zmíněn značný vliv zemědělských postupů na transferový faktor, který se liší v závislosti na klimatickém pásmu a jeho klimatických podmínkách. V tropických oblastech se organické látky, které se dostanou na půdní povrch, rychle rozkládají, tudíž se organické látky v půdě zadržují jen minimálně. Zároveň se v tropickém pásmu vyskytují převážně jíly, které mění své vlastnosti právě v závislosti na vodě. Dochází zde k vysoké rychlosti minerálního zvětrávání a k vysoké biologické dostupnosti kontaminantů oproti půdám v mírném pásmu. Proto je zřejmé, že přenos radionuklidů z půdy na rostliny bude v tomto tropickém prostředí vyšší (Rout et al., 2021).

Arafin et al. (2021) se zaměřuje na **přenos radionuklidů z půdy do rýže**, což je základní plodina pěstovaná v tropických oblastech a konzumovaná ve velkém množství po celém světě. Je zde zkoumán zejména přenos z půdy na zrno, stonky a výhonky rýže. Bylo vybráno 18 prvků, z nichž 8 prvků patří stabilním izotopům, a to za předpokladu, že radioizotopy a jejich stabilní protějšky se vzhledem ke své chemické srovnatelnosti budou chovat podobně. Opět si zde uvedeme výsledek pouze pro radionuklidy  $^{134}\text{Cs}$  a  $^{85}\text{Sr}$ , kde hodnota faktoru přenosu celé rostliny (zrno, stonky i výhonky) je u  $^{134}\text{Cs}$  33, u  $^{85}\text{Sr}$  2. Hodnota  $^{134}\text{Cs}$  15 je stejná jak u zrna, tak stonků a výhonků. Hodnota  $^{85}\text{Sr}$  4 a je uvedena pouze u zrna, další údaje nejsou k dispozici. Pro srovnání nejvyšší hodnotu u celé rostliny mělo olovo Pb 69, u zrna arsen As 40 (Pulhani et al., 2021).

Pro další studii zaměřenou na faktory přenosu přírodních a antropogenních radionuklidů, z půdy do některých rostlin byla vybrána lokalita **v bangladéšském**

**Chittagongu**, opět tropickém prostředí. V této studii jsou zkoumánymi radionuklidy uran  $^{238}\text{U}$ , thorium  $^{232}\text{Th}$  a draslík  $^{40}\text{K}$ , u kterých dochází k jejich rozpadu a tím dochází k radioaktivitě půd. Jakmile se objeví v životním prostředí, jsou poté přijímány rostlinami a živočichy a dostávají se tak postupně do potravního řetězce a zapříčiňují vnitřní dlouhodobé ozáření lidského těla. Proto se tato studie zaměřuje na uvedené radionuklidy, aby bylo posouzeno případné zdravotní riziko spojené s důležitými potravinami. Pro výzkum bylo použito 15 vzorků půdy a 15 vzorků rostlin - zeleniny, které byly odebrány ze tří lokalit v Chittagongu. Průměrný faktor přenosu z půdy do rostlin byl na tomto území změřen pro  $^{238}\text{U}$  0,461, pro  $^{232}\text{Th}$  0,400 a pro  $^{40}\text{K}$  3,10. Z výsledků vyplývá, že se transferový faktor na různých místech liší. Nejvyšší hodnota je u radionuklidu  $^{40}\text{K}$  (pokud je více než 1), což je dáno jak používáním hnojiv v zemědělství, tak používáním dřevěného popela, který způsobuje měkkost půdy a rostliny tak rychleji rostou. Ačkoliv aktivita radionuklidu  $^{40}\text{K}$  mírně překračuje světový průměr, ještě nemusí docházet k obavám. Pokud by ale došlo k překročení hodnot faktoru přenosu u  $^{238}\text{U}$  a  $^{232}\text{Th}$ , zde by se již jednalo o alarmující stav a musela by být provedena bezpečnostní opatření týkající se záření (Arafin et al., 2021).

Přenos radionuklidů **v suchých klimatických podmínkách** je zkoumán především z důvodu zvyšujícího se počtu systémů zaměřených na výrobu jaderné energie a zároveň z důvodu výrazných klimatických změn, které mohou vést k budoucímu rozšíření oblastí se suchými podmínkami. Klima suchých oblastí je obvykle horké, s velmi nízkými a proměnlivými srážkami a vysokým výparem. Převládají zde období s dlouhodobým nedostatkem vody. To ovlivňuje nejen místní zemědělství, ale rovněž druhové složení rostlin a živočichů nebo nedostatek vegetace (IAEA, 2021a). Nedostatek srážek má rovněž vliv na eroze půdy i dočasné povodně, jelikož půda po velmi suchém období není schopná veškerou vodu absorbovat. Rovněž chemické vlastnosti půdy mají vliv na dostupnost živin i radionuklidů a jejich přenos do rostlin. Suché půdy mají převážně písčitou strukturu, jsou zasolené, postrádají humus a vlhkost (Semioshkina, Voigt, 2021).

Pro obecné posouzení přenosu radionuklidů v suchém prostředí pojednává odborný článek zabývající se průzkumem v 8 zemích **Lybie, Sýrie, Egypt, Izrael, Jordánsko, Irák, Kazachstán a Saúdská Arábie**, kde byly provedeny odběry vzorků půdy. Při výzkumu bylo použito celkem 11 prvků/radionuklidů, z toho radioizotopy  $^{137}\text{Cs}$  a  $^{90}\text{Sr}$  byly zkoumány jak na otevřeném poli v Sýrii, tak v hrnkových pokusech s odebranou půdou ze zemědělských farem v Egyptě, a zároveň bylo použito 8 skupin rostlin se zvláštním zaměřením na typické rostliny pro suché oblasti – datlové palmy (olivový olej). Půdy, které v území vyskytují, jsou převážně jílovité (65%), hlinité (10%)

a písčité (13%). Z výsledků výzkumu vyplývá, že nejvíce radionuklidů se nachází na území Sýrie, a to zejména v obilovinách, nelistové zelenině nebo ovoci. Dále pak je velké množství rovněž na území Iráku s vysokými hodnotami nuklidů v trávě a nelistové zelenině. V Saudské Arábii jsou výrazně vysoké hodnoty právě u datlových palm. Ostatní hodnoty radionuklidů a jejich množství v rostlinách v ostatních zemích jsou poměrně nízké (Semioshkina, Voigt, 2021).

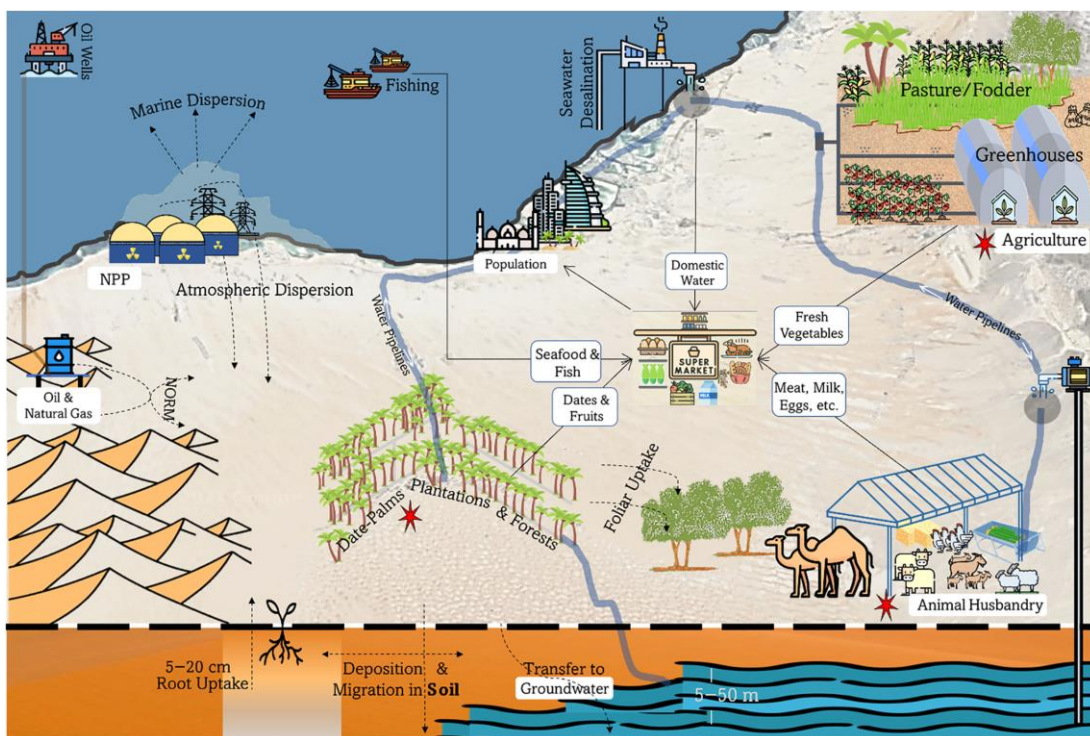
Uvedené výsledky je možné porovnat s výzkumem, který byl proveden v **Sýrii** v letech 1994-1996 a byl zaměřen na chování radionuklidů  $^{137}\text{Cs}$  a  $^{90}\text{Sr}$  v typických syrských půdách a jejich přenosu do některých běžných plodin rostoucích na území Sýrie. Výzkum byl zpracován z důvodu výrazné rozdílnosti v přenosu  $^{137}\text{Cs}$  ovlivněné výraznými rozdíly druhů plodin, půdy a povětrnostních podmínek. Při výzkumu bylo zjištěno, že nejvyšší koncentrace  $^{137}\text{Cs}$  byla v hloubce cca 25 cm. Z hlediska vlastností půd na území převažuje jílovitá půda s malým množstvím organických látek (1%). Transferový koeficient (TF) byl měřen každý rok v letech 1994-1996 u několika různých druhů rostlin (např. cizrna, fazole, rajčata, zelí, pšenice, ječmen atd.). Výsledky ve všech letech u všech druhů rostlin byly srovnatelné, hodnoty TF se u  $^{137}\text{Cs}$  pohybovaly v rozmezí 0,001 – 0,062 a u  $^{90}\text{Sr}$  v rozmezí 0,039 – 4,4. Lze říci, že hodnoty TF jsou pro  $^{90}\text{Sr}$  mnohem vyšší než u  $^{137}\text{Cs}$  a vždy byly vyšší u zelených částí rostlin. Pokud tedy porovnáme výsledky nových průzkumů s výsledky z let 1994-1996, jsou hodnoty TF na syrském území stále poměrně vysoké (IAEA, 2021b).

Nejnovější studie, která je opět situována **na území Sýrie**, popisuje toto území jako **polosuché**, ačkoliv jiné studie jej označují jako suché. V polosuchém podnebí se vyskytuje širší škála původní vegetace včetně trav a travám podobných rostlin, bylin a polokeřů, keřů a stromů. Roční úhm srážek se pohybuje od 300 do 800 mm v létě a od 200 do 500 mm v zimě. Zemědělská produkce podporovaná deštěm je možná, včetně omezené živočišné výroby (IAEA, 2021a). Studie se zabývala vyhodnocením transferového faktoru u  $^{137}\text{Cs}$  a  $^{90}\text{Sr}$  u dvou typů půd, tj. aridisol a inceptisol, přičemž aridisoly jsou pouštní a suché půdy s nízkým obsahem organických látek a s řídkou vegetací odolnou proti suchu nebo soli (URL1), bez zavlažování je orná půda na aridsolech omezená a jedná se spíše o hlinitipísčitou půdu s obsahem písku nižším než 65% (Al-Oudat et al., 2021). Inceptisoly jsou půdy poněkud nového původu, mají nejslabší vzhled horizontů nebo vrstev produkovaných půdotvornými faktory. Obsahují jílové minerály, oxidy kovů nebo humus (URL2), jedná se o jílovitohlinitou půdu, která je, jako orná půda, vhodná na kontrolu odvodnění nebo eroze (Al-Oudat et al., 2021). Při výzkumu bylo využito bylo 18 druhů rostlin, rozdělených do 6 skupin, tj. obiloviny, listová a nelistová zelenina, hlízy, luštěniny a píce. Z výsledků studie vyplývá, že transferový faktor u obou

radionuklidů byl u všech rostlin vyšší u půdy aridisolu než u inceptisolu, a to 1,03 – 4,86 krát, což lze přičíst právě vysokému obsahu jílu v inceptisolu. Hodnota přenosu u  $^{90}\text{Sr}$  byla u všech skupin rostlin u obou typů půd 1 až 2x vyšší než hodnoty  $^{137}\text{Cs}$ . Ve vegetační části rostlin se transferový faktor pohyboval v rozmezí 0,12 – 5,2 pro  $^{90}\text{Sr}$  a 0,035 – 0,26 pro  $^{137}\text{Cs}$ . Ze všech šesti prozkoumaných skupin rostlin byly naměřeny nejnižší hodnoty přenosu na obiloviny u obou radionuklidů, a to jsou stejné hodnoty jako hodnoty ze světových měření, tzn., že zrna obilovin mají průměrné hodnoty transfer faktorů v inceptisolu 0,001 pro  $^{137}\text{Cs}$  a 0,017 pro  $^{90}\text{Sr}$ . Ovšem je zde i výjimka u jedné z hlavních listových zelenin na území Sýrie, tj. u židovského slézu, který má nejvyšší hodnoty transferového faktoru, a to 0,11 u  $^{137}\text{Cs}$  a 2,44 u  $^{90}\text{Sr}$ . I zde má hnojení půd vliv na přenos radionuklidu  $^{137}\text{Cs}$  do rostlin. Hnojení u fáze zrn obilovin je bezvýznamné, jelikož transfer byl výrazně nižší a pohyboval se v rozmezí 25-29%. Výraznější vliv hnojení na přenos  $^{137}\text{Cs}$  byl ve vegetačních fázích zejména u špenátu a u rostliny AlfaAlfa pro oba typy půd. Závěrem je důležité zmínit, že uvedená studie prokázala výrazný vliv půdních vlastností na transferový faktor u  $^{137}\text{Cs}$  a  $^{90}\text{Sr}$ . V aridisolu byly naměřeny 1 až 4,9 krát vyšší hodnoty než u inceptisolu. Příčinou je nižší pH, obsah jílu, kationtová výměnná kapacita, výměnné K a Ca a vyšší obsah organické hmoty v aridisolu (Al-Oudat et al., 2021).

Výsledky měření na území **Spojených arabských emirátů (SAE)** jsou srovnatelné s průzkumy v aridních oblastech provedených např. autory (Al-Oudat et al., 2021). Studie (Raj et al., 2022) uvádí, že je toto území zasažené výrazným nárůstem jaderné technologie, což vede k vyššímu působení dlouhodobého vypouštění radionuklidů do životního prostředí. Proto je v SAE důležité zaměřit se na průzkum radionuklidů, scénáře ozáření, odhady dávek a jejich následků a následně vypracovat plán pro zvládnutí mimořádné radiální situace. Hlavním zdrojem radionuklidů jsou přirozeně vyskytující se radioaktivní materiály (NORM) nacházející se buď v ekosystémech nebo pocházející z průmyslové výroby a z fosilních paliv. Radionuklidy  $^{40}\text{K}$  a antropogenní radionuklidy  $^{137}\text{Cs}$  a  $^{90}\text{Sr}$  podléhají pomalému biofyzikálnímu přenosu ze svého zdroje do potravního řetězce a tím narušují jak životní prostředí, tak biotu i člověka. Ve studii je rovněž uvedeno, že složky životního prostředí jako atmosféra, podzemní voda, mořská voda nebo půda, radionuklidy přenášejí a vzájemně se ovlivňují (Obrázek 7). Typické pro území SAE jsou rozsáhlé písečné duny, vzácná zeleň, lokální zemědělství a nedostatečně studované druhy, jako jsou datlové palmy a velbloudi. Černé čárkované šipky znázorňují průběh rozptylu, ukládání a přenosu radionuklidů do půdy, vody, atmosféry nebo rostlin. Z půdy, vody a ovzduší se radionuklidy dostávají do zemědělských podniků a přecházejí složitějšími a vzájemně závislými přenosy na zemědělské plodiny a zvířata (na

obrázku místa označená červenými hvězdami). Černé plné šipky znázorňují konečné fáze přenosu radionuklidů do spotřebního zboží obyvatelstva, včetně ovoce, mořských plodů, zeleniny, masa, mléka, vody apod.



Obrázek 7: Schéma šíření radionuklidů v suché oblasti (Raj et al., 2022, Ikonografie: Flaticon.com)

Z výsledků studie vyplývá, že celkové hodnoty radioaktivity SAE jsou obecně nižší než celosvětové průměry. Aktivity v půdách se pohybují v intervalech 4,4 – 1664 pro  $^{40}\text{K}$ , 0,085 – 23,2 pro  $^{137}\text{Cs}$  a 2,8 – 235 pro  $^{90}\text{Sr}$  (vše v jednotkách  $\text{Bq}/\text{kg}^{-1}$ ). Když tyto údaje porovnáme s údaji naměřenými v Sýrii a Jordánsku, zde se  $^{137}\text{Cs}$  pohybuje v rozmezí 7,5 – 8011  $\text{Bq}/\text{kg}^{-1}$  a  $^{90}\text{Sr}$  v rozmezí 2,8 – 235  $\text{Bq}/\text{kg}^{-1}$  (Syrská studie uvádí hodnotu stejnou jako je u SAE). Tyto výrazné výkyvy jsou naměřeny ve vyšších nadmořských výškách (pobřežní horské oblasti Sýrie) s mechovou pokrývkou, proto zde nemusí být takové suché prostředí v porovnání se SAE. Pokud se nyní zaměříme na přenos radionuklidů, obecně lze konstatovat, že hodnoty přenosu radionuklidů  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$  a  $^{40}\text{K}$  jsou v suchých oblastech nižší než v oblastech mírného pásma. Nebudeme zde představovat, jaké příjmy mají rostliny z NORM, ale spíše ve stručnosti zhodnotíme přenos umělých radionuklidů na příkladech některých rostlin, např. u volečky byly naměřeny hodnoty přenosu 0,01 – 0,02 pro  $^{137}\text{Cs}$  a 1,01 – 1,96 pro  $^{90}\text{Sr}$ . Nelistová zelenina má hodnoty od 0,07 pro  $^{137}\text{Cs}$  až po 7 pro  $^{40}\text{K}$ . Je to dáno výrazným rozdílem mezi rajčaty a okurkami, které jsou v SAE nejpěstovanější. Okurka má u  $^{90}\text{Sr}$  vyšší hodnoty než rajče až čtyřikrát a zároveň nižší hodnoty u  $^{40}\text{K}$  a  $^{137}\text{Cs}$  až o polovinu. Obecně z výsledků vyplývá, že nejvyšší hodnoty celkem u rostlin jsou u  $^{40}\text{K}$ , následně  $^{137}\text{Cs}$  a  $^{90}\text{Sr}$ . Vstřebávání  $^{40}\text{K}$  je spojené s vysokým

používáním minerálních hnojiv (Raj et al., 2022). Zároveň, jak již bylo několikrát zmíněno, transferový faktor závisí na místním klimatu, typu nuklidů, vlastnostech a typech půdy, typu rostlin, vegetačním období, místní biologické rozmanitosti, zemědělských a pasteveckých postupech a na místních stravovacích návycích (Padiyath et al., 2021a).

Další průzkum přenosu radionuklidů z půdy na některé druhy listové a nelistové zeleniny a kořenové plodiny typické pro pěstování byl proveden **na území Kuvajtu**. Jedná se o další oblast specifickou svým suchým podnebím. Byly zde odebrány písčité půdy ze dvou různých lokalit, které se kontaminovaly třemi radionuklidy s relativně krátkou dobou života, tj.  $^{85}\text{Sr}$ ,  $^{134}\text{Cs}$  a  $^{133}\text{Ba}$ . Nejvyšší transferové faktory radionuklidů  $^{85}\text{Sr}$  a  $^{133}\text{Ba}$  byly změřeny u listové zeleniny, poté u kořenové a nejméně u nelistové (plodové). Pokud se porovná transfer radionuklidu  $^{134}\text{Cs}$  s výsledky jiných průzkumů, které jsou uváděny v různých půdních typech mírného a tropického pásma, je přenos u tohoto radionuklidu u všech skupin rostlin nízký (0,01 – 0,54), a to i v porovnání se stronciem a baryem. Vysoké hodnoty vykazoval přenos radionuklidu  $^{85}\text{Sr}$  (5,4 – 39,9) a zároveň nízké hodnoty radionuklidu  $^{134}\text{Cs}$  (0,09 – 0,54) do listové zeleniny. Tyto vysoké hodnoty jsou ovlivněny schopností rostlin zadržovat velké množství vody, což je dáno rozsáhlými závlahami při pěstování. Nízké hodnoty jsou dány tím, že na Kuvajtském území jsou rozšířené jílovité půdy, které cesium výrazně absorbují. Průměrné údaje o transferovém koeficientu z území Kuvajtu v suchém prostředí jsou mnohem vyšší než údaje uváděné MAAE pro mírné a tropické prostředí. Rozsahy  $^{134}\text{Cs}$  jsou podobné (Aba et al., 2021).

Výzkumy v posledních letech byly zaměřené především na přenos radionuklidů z půdy do rostlin v tropických a suchých oblastech. Tyto nashromážděné údaje bylo potřeba zpracovat do ucelené formy a v rámci programu MAAE Modelování a údaje pro hodnocení radiologických dopadů II (MODARIA II) vznikl v roce 2021 dokument zabývající se právě přenosem radionuklidů z půdy do rostlin v netemperátním prostředí, tj. v tropickém a suchém. Ovšem takové průzkumy jsou obecně velmi náročné a často dostupné údaje jsou neúplné, nedostatečně popsány, s chybami, je proveden malý počet vzorků, nejsou dostatečně uvedeny charakteristiky půd i rostlin a jsou v malé míře popsány zemědělské postupy v dané lokalitě. Obecně lze říci, že nelze z dostupných údajů ještě najisto vyvodit, zdali je nižší nebo vyšší přenos radionuklidů z půdy do rostliny v suchém nebo tropickém prostředí. Je tedy potřeba se zaměřit na zvýšení počtu takových výzkumů, které se budou více zabývat podmínkami daného prostředí, údaji o vegetaci, půdních vlastnostech, zemědělských postupech apod. (Semioshkina, Voigt, 2021).



Jelikož se tato bakalářská práce týká experimentu přenosu radionuklidů z půdy do rostlin v závislosti na klimatických podmínkách, které jsou simulovány pomocí dostupnosti různého množství vody, je důležité zmínit studii, která se zabývá vlivem vlhkosti půdy na příjem cesia rostlinami. Jinak řečeno, jedná se o výzkum simulace příjmu cesia kořeny rostlin z půdy při změně obsahu půdní vlhkosti, neboli o simulované šíření cesia  $\text{Cs}^+$  a draslíku  $\text{K}^+$  z půdy do rhizosféry při změně obsahu vody (Nikitin 2021). Rhizosféra je definována jako půdní vrstva, která obsahuje kořenový systém rostlin, nebo jako nejbližší prostor kolem aktuálního kořene s odlišnou mikrobiotou (Encyklopedický institut Československé AV ©1982). Výsledky studie poukazují na skutečnost, že koncentrace  $\text{Cs}^+$  a  $\text{K}^+$  v rhizosféře klesá s poklesem vlhkosti půdy. Naopak pokud je zvýšený příjem  $\text{Cs}^+$  kořenovým systémem rostlin při změně půdní vlhkosti, je to dáno obsahem výměnného draslíku a strukturou půdy. Bylo zjištěno, že při nedostatku výměnného draslíku se transferový faktor z půdy na rostlinu snižuje se snížením obsahu vody v půdě. Tento pokles je rychlejší, pokud obsah vody klesne pod tzv. polní kapacitu. Vliv půdní vlhkosti na přenos cesia do rostlin již byl zkoumán a potvrzen dřívějšími průzkumy, které potvrdily, že snížením vlhkosti půdy se zároveň snížil i přenos radioizotopů Cs a Sr do rostlin (Nikitin, 2021).

Další zajímavá studie byla zpracována po 10 letech po havárii jaderné elektrárny Fukušima, při které se v roce 2011 uvolnily radionuklidy jako radioaktivní jód ( $^{131}\text{I}$ ) a cesium ( $^{134}\text{Cs}$  a  $^{137}\text{Cs}$ ). Tím došlo ke kontaminaci jak rostlinných, tak živočišných produktů. Radionuklid  $^{137}\text{Cs}$ , který má poločas rozpadu až 30 let, přetrvává v životním prostředí v okolí elektrárny dodnes ( $^{131}\text{I}$  má poločas rozpadu 8 dní a  $^{134}\text{Cs}$  2 roky). Studie se tedy zaměřuje na průzkum obsahu radionuklidů v rostlinných a živočišných produktech po 10 letech po havárii. Zároveň je zde pozorováno chování radionuklidů ve zpracovaných nebo vařených produktech. Z výsledků vyplývá, že ve všech sledovaných produktech byly v roce 2011 překročeny standardní limity kontaminace. V dalších letech se již množství radionuklidů snížilo. V současné době je ještě stále zjištěna kontaminace v houbách, volně rostoucích jedlých rostlinách a výrazněji u sladkovodních ryb. Z hlediska zpracování kontaminovaných produktů bylo zjištěno, že pokud se odstraní nejedlé části, množství radioaktivního cesia se snižuje. Obecně lze rovněž poznamenat, že v případě vaření produktů (případně pouhé namočení) za pomoci vody se koncentrace radioaktivního cesia snižuje. Jediná výjimka je rostlina japonská máslovka, u které se vařením koncentrace radioaktivního cesia zvyšuje. Ovšem naopak pokud dochází ke zpracování potravin formou sušení, koncentrace cesia se zvyšuje (Machinohe et al., 2021).

V souvislosti s havárií ve Fukušimě je nevyhnutelné zmínit i studii zabývající se přenosem  $^{137}\text{Cs}$  z radioaktivně kontaminované půdy do zemědělských plodin (jejich podzemní části) v Tulské oblasti (tzv. Plavské radioaktivní ohnisko) po havárii jaderné elektrárny v Černobylu (Komissarova et al., 2021b). Tulská oblast byla těžce poškozena a ovlivněna radioaktivním spadem po černobylské katastrofě, desítky tisíc hektarů půdy byly kontaminovány a staly se pro zemědělství nepoužitelnými (URL3). Studie byla provedena po 30ti letech po havárii. Studie se zaměřila na přenos u brambor, mrkve a řepy, které byly pěstovány v centrální oblasti kontaminace a na cibuli z okrajové kontaminované oblasti. Po havárii byly hodnoty plošné aktivity  $^{137}\text{Cs}$  185-555 kBq/m<sup>2</sup>, dnes je to 80-170 kBq/m<sup>2</sup>. Současné hodnoty jsou stále 2-4 krát vyšší než je přípustná hodnota obsahu radionuklidu v půdě. Po černobylské havárii byla na uvedeném území provedena hluboká sanační orba půdy do 30 cm, při níž došlo k odstranění až 70%  $^{137}\text{Cs}$  z prvních 10cm půdy, kde se nachází kořenová zóna obilovin, a dalších 20 cm ornice, kde bylo odstraněno cca 35-40%  $^{137}\text{Cs}$ . Ovšem k úplnému odstranění  $^{137}\text{Cs}$  nedošlo. Brambory, cibule a zelenina se pěstují do hloubky orby 30 cm, proto u nich k příjmu  $^{137}\text{Cs}$  stále dochází, jak je patrné z hodnot aktivit, které se pohybují od 170 do 390-420 Bq/kg. Nejnižší hodnoty vykazuje cibule, vyšší pak brambory, mrkev a řepa. Transferové faktory  $^{137}\text{Cs}$  z půdy do celé rostliny jsou 0,32 pro brambory, 0,31 pro mrkev, 0,26 pro řepu a 0,18 pro cibuli. Nižší hodnoty přenosu radionuklidu do celých rostlin je zřejmě dán jílovitohlinitou půdou s pH 6,5-7,2 a humusem kolem 6-7%, což zapříčiňuje výraznou fixaci  $^{137}\text{Cs}$ . Proto také podzemní části rostlin určené ke spotřebě mají hodnoty TF: bramborové hlízy 0,012, mrkev 0,011, řepa 0,011 a cibule 0,003. Jsou tedy výrazně nižší než hodnoty u celých rostlin (Komissarova et al., 2021b).

## 5 Výsledky měření

V této kapitole jsou představeny výsledky experimentu, tj. hodnoty aktivit (množství radionuklidů v půdě a rostlinách) a hodnoty transferového koeficientu vybraných radionuklidů ( $^{85}\text{Sr}$ ,  $^{134}\text{Cs}$ ,  $^{40}\text{K}$ ) z půdy do rostlin v závislosti na různých klimatických podmínkách. Byla vybrána půda typu hnědozemě, odebraná na orné půdě v blízkosti obce Helvíkovice. Vzorky půdy se převezly na SÚRO v Hradci Králové, kde byly uloženy do 96 experimentálních nádob. Nádoby byly rozděleny do 4 experimentálních skleníků, kde se simulovaly 4 klimatické podmínky, tj. mokré, normální, suché a střídavé klima, s použitím dostupnosti různé zálivky, která probíhala od 17. 5. do 23. 8. 2022. Množství vody ve skleníku se simulací mokrého klimatu bylo nejvyšší (21,66 l), následuje skleník s normálním klimatem a příznivou vlhkostí půdy (15,99 l), skleník se střídavým klimatem s aridní/silnou zálivkou (12,06 l) a nejméně bylo zaléváno ve skleníku se suchým klimatem, kde byl simulován nedostatek vody (8,97 l). Do experimentálních nádob byly vysazeny dva druhy plodin, a to ředkvička celoroční (*Raphanus sativus*) a řepa krmná červená odrůda *Monro* (*Beta vulgaris*). Plodiny se sklízely v srpnu 2022, poté se zpracovaly (posuzování zdravotního stavu, omývání, krájení, vážení, sušení) a následně se vzorky sušiny předaly do laboratoře k samotnému měření. Výsledky zdravotního stavu jsou popsány v kapitole 3.8 (Tabulka 5, Příloha 2), ze kterých vyplývá, že podstatně lepší zdravotní stav plodin byl ve skleníku s mokřím klimatem než se suchým klimatem. Zároveň pěstované plodiny ve skleníku s normálním klimatem měl rozdílný vliv na růst ředkvičky a řepy. Ředkvička v tomto případě byla v horším stavu.

Vzorky se prvně vážily bezprostředně po sklizni, kdy jejich hmotnost byla v průměru 69,51 g (vypočteno aritmetickým průměrem), přičemž ředkvička i řepa vypěstované v mokřím prostředí měla hmotnost v intervalu 81,20 – 222,58 g, v normálním prostředí 37,99 – 100,57 g, ve střídavém prostředí 16,20 – 90,46 g a v suchém prostředí 3,02 – 24,81 g. Druhé vážení se uskutečnilo po vysušení vzorků. Aritmetický průměr hmotnosti sušiny byla 12,85 g. Hmotnost vysušené ředkvičky a řepy v mokřím, normálním, střídavém a suchém klimatu byla naměřena v následujících intervalech: 14,30 – 44,7 g, 8,35 – 17,26 g, 4,30 – 15,40 g, 0,85 – 5,01 g (Příloha 2).

Výsledky experimentu vedou jak ke stanovení aktivity radionuklidů v půdě a rostlinách za různých klimatických podmínek, tak k vyhodnocení, jaký vliv mají různé klimatické podmínky, respektive množství zálivky, na přenos radionuklidů z půdy do rostlin.

## 5.1 Aktivita v půdě

Aktivita v půdě byla měřena dvakrát, a to k datu po kontaminaci půdy, tj. k 10. 5. 2022, a k datu sklizně, tj. u půdy, na které byly pěstovány ředkvičky k 2. 8. 2022 a u půdy, na které byly pěstovány řepy k 25. 8. 2022. Aktivita v půdě byla změřena na základě hmotnosti kontaminačního roztoku nalitého do půdy (Příloha 1, Příloha 3). V experimentu jsem pracovala zejména s plošnou aktivitou, tzn., že jsem aktivitu nalitou na povrch půdy vydělila plochou povrchu půdy vypočítanou na základě znalosti průměru nádoby v místě povrchu půdy. Je důležité zmínit, že bylo kontaminováno pouze 72 nádob, A1-A9, B1-B9, C1-C9 a D1-D9 (půdy pro pěstování ředkvičky) a A10-A18, B10-B18, C10-C18, D10-D18 (půdy pro pěstování řepy). Ostatní nádoby s půdami a označením A19-A21, B19-B21, C19-C21, D19-D21 (pro ředkvičku) a A22-A24, B22-B24, C15, C22-C24, D22-D24 (pro řepu) kontaminovány nebyly, z tohoto důvodu jsou následující výpočty uvedeny pouze z hodnot kontaminovaných nádob (Příloha 3).

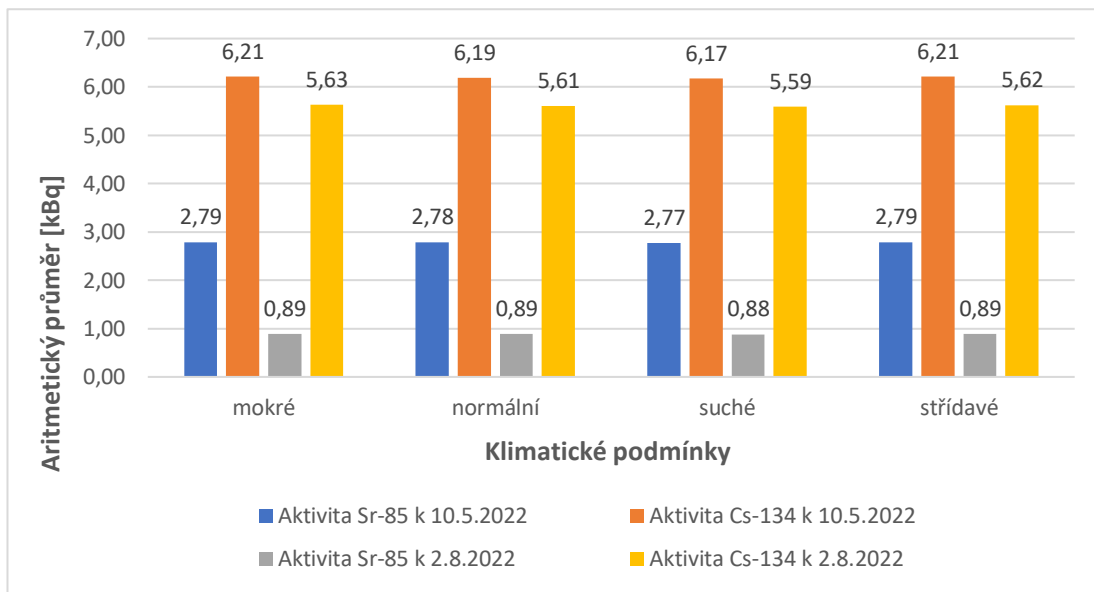
Plodina	Klimatické podmínky	AKTIVITA V PŮDĚ PO KONTAMINACI (10.5.2022)					
		Aktivita <sup>85</sup> Sr [kBq]			Aktivita <sup>134</sup> Cs [kBq]		
		Aritmetický průměr	Maximální naměřená hodnota	Minimální naměřená hodnota	Aritmetický průměr	Maximální naměřená hodnota	Minimální naměřená hodnota
nádoby s půdou pro ředkvičku	mokré	2,79	2,84	2,77	6,21	6,32	6,16
	normální	2,78	2,79	2,77	6,19	6,20	6,16
	suché	2,77	2,79	2,77	6,17	6,20	6,15
	střídavé	2,79	2,80	2,77	6,21	6,24	6,16
nádoby s půdou pro řepu	mokré	2,78	2,79	2,77	6,18	6,21	6,16
	normální	2,79	2,80	2,77	6,20	6,23	6,17
	suché	2,78	2,82	2,77	6,20	6,27	6,17
	střídavé	2,79	2,81	2,77	6,20	6,26	6,17
Plodina	Klimatické podmínky	AKTIVITA V PŮDĚ K DATU SKLIZNĚ (2.8.2022, 25.8.2022)					
		Aktivita <sup>85</sup> Sr [kBq]			Aktivita <sup>134</sup> Cs [kBq]		
		Aritmetický průměr	Maximální naměřená hodnota	Minimální naměřená hodnota	Aritmetický průměr	Maximální naměřená hodnota	Minimální naměřená hodnota
nádoby s půdou pro ředkvičku	mokré	0,89	0,91	0,88	5,63	5,73	5,58
	normální	0,89	0,89	0,88	5,61	5,62	5,58
	suché	0,88	0,89	0,88	5,59	5,62	5,58
	střídavé	0,89	0,89	0,88	5,62	5,65	5,59
nádoby s půdou pro řepu	mokré	0,89	0,89	0,88	5,60	5,63	5,58
	normální	0,89	0,89	0,88	5,62	5,65	5,59
	suché	0,89	0,90	0,88	5,62	5,69	5,59
	střídavé	0,89	0,90	0,88	5,62	5,67	5,59

Tabulka 9: Hodnoty aktivit <sup>85</sup>Sr a <sup>134</sup>Cs v půdě vztažené k datu kontaminace a k datu sklizně u plodin (aritmetický průměr)

Aktivita <sup>85</sup>Sr v půdě se po její kontaminaci pohybuje u půdy, na které byly pěstovány ředkvičky, ve všech klimatických podmínkách v rozmezí 2,77-2,84 kBq, u půdy, na které byly pěstovány řepy (hodnota pro bulvu i nať je stejná), je to 2,77-2,82 kBq. Aktivita <sup>134</sup>Cs u půdy, na které byly pěstovány ředkvičky, je v rozsahu 6,15-6,32 kBq, u půdy, na které byly pěstovány řepy, 6,16-6,27 kBq. Hodnoty aktivity <sup>85</sup>Sr v půdě k datu sklizně jsou mnohem nižší, tj. 0,88-0,91 kBq u půd, na kterých byly pěstovány

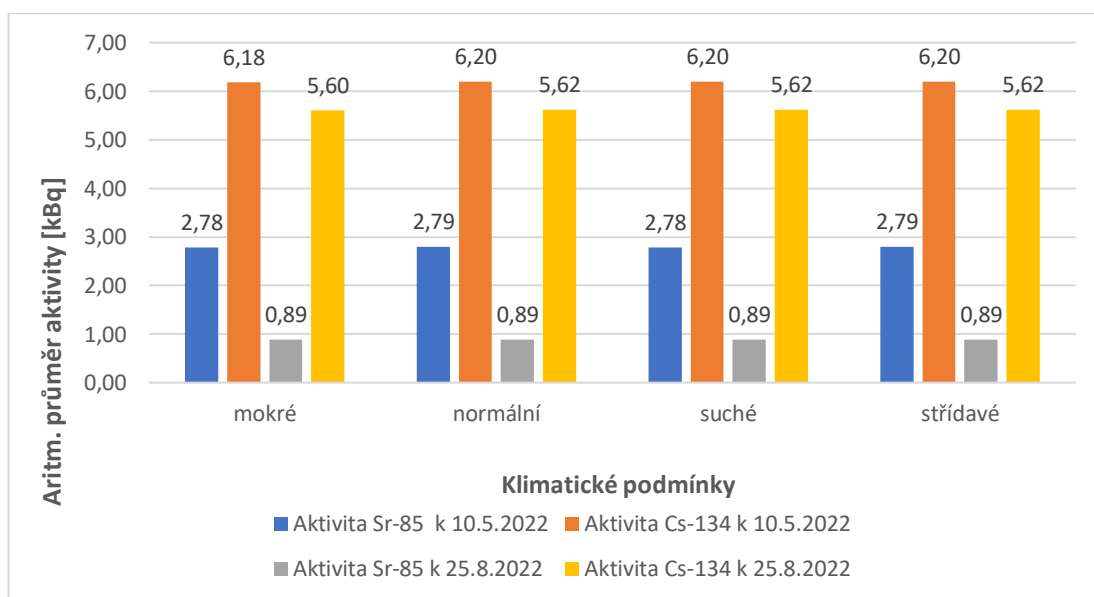
ředkvičky i řepy. Aktivita  $^{134}\text{Cs}$  po sklizni je 5,58-5,73 kBq u půdy, na které byly pěstovány ředkvičky, a 5,58-5,69 kBq u půdy, kde byly pěstovány řepy (Tabulka 9).

Porovnání hodnot aktivit  $^{85}\text{Sr}$  a  $^{134}\text{Cs}$  v půdě znázorňují následující grafy, přičemž Graf 1 se týká hodnot půdy v experimentálních nádobách určených pro půdy, na kterých byly pěstovány ředkvičky a Graf 2 pro půdy, na kterých byly pěstovány řepy. V grafech jsou uvedeny aritmetické průměry aktivit  $^{85}\text{Sr}$  a  $^{134}\text{Cs}$  k datu po kontaminaci a k datu sklizně ve všech klimatických podmínkách (mokrě, normální, suché a střídavě).



Graf 1: Aktivita  $^{85}\text{Sr}$  a  $^{134}\text{Cs}$  v půdě (sušina) v experimentálních nádobách pro vysazení ředkvičky v různých klimatických podmínkách (aritmetický průměr)

Hodnoty aktivit v půdě u řepy byly shodné pro bulvu i pro nať. Z tohoto důvodu je zobrazen souhrnný graf celé řepy (Graf 2).



Graf 2: Aktivita  $^{85}\text{Sr}$  a  $^{134}\text{Cs}$  v půdě (sušina) v experimentálních nádobách pro vysazení řepy v různých klimatických podmínkách (aritmetický průměr)

## 5.2 Aktivita v rostlinách

Aktivita  $^{85}\text{Sr}$  a  $^{134}\text{Cs}$  v rostlinách, tj. v ředkvičce a řepě, byla měřena z vysušených vzorků (sušiny). U ředkvičky celoroční byly hodnoty získány z celé plodiny a u řepy z bulvy i natě. Hodnoty v jednotlivých vzorcích se liší, jak uvádí Tabulka 10, kde je uveden aritmetický průměr, minimální a maximální hodnoty.

U vzorků **ředkvičky** v mokřém prostředí se hodnoty aktivity  $^{85}\text{Sr}$  pohybují v rozmezí 375-1093 Bq/kg, v normálním klimatu 837-1395 Bq/kg, v suchém klimatu tu 241-804 Bq/kg a ve střídavém klimatu 438-941 Bq/kg. Hodnoty aktivity  $^{134}\text{Cs}$  u ředkvičky jsou podstatně nižší, a to v intervalu od 11-128 Bq/kg u všech klimatických podmínek (mokré klima 29-73 Bq/kg, normální klima 26-85 Bq/kg, suché klima 11-128 Bq/kg a střídavé klima 15-46 Bq/kg). Naproti tomu aktivita  $^{40}\text{K}$  je vyšší ve všech klimatických podmínkách.

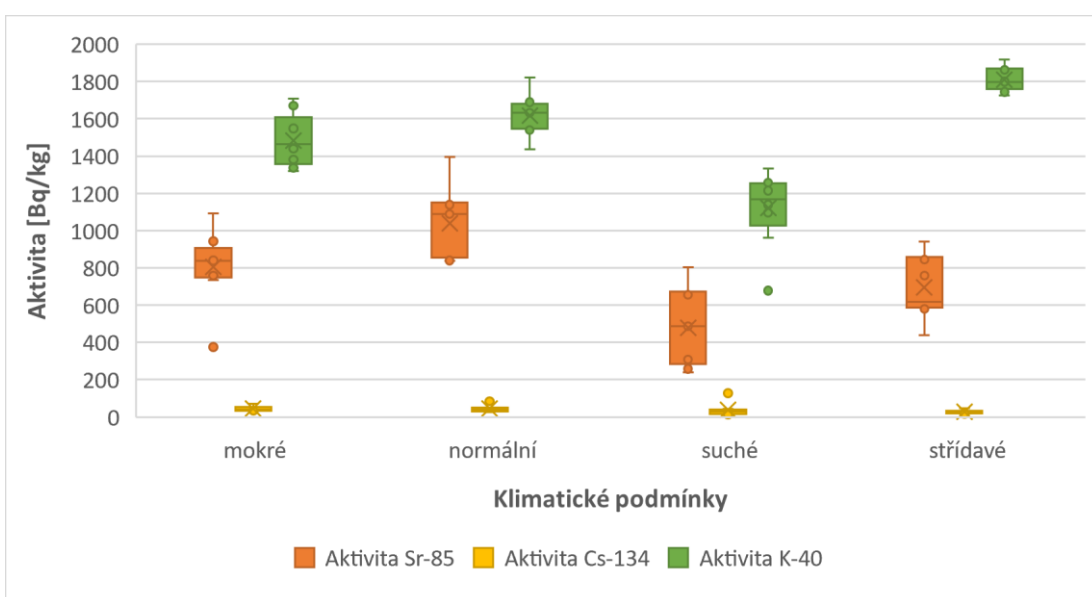
Hodnoty aktivity u **řepy** (bulva i natě) jsou v porovnání s ředkvičkou nižší. U radionuklidu  $^{85}\text{Sr}$  se pohybují se v rozsahu 71-416 Bq/kg souhrnně ve všech klimatických podmínkách, přičemž nejnižší hodnoty vykazuje bulva řepy u střídavého klimatu (71-137 Bq/kg), nejvyšší hodnoty jsou u natě řepy v mokřích podmínkách (267-416 Bq/kg). Hodnoty aktivity pro  $^{134}\text{Cs}$  jsou mnohem nižší než pro  $^{85}\text{Sr}$ . Minimální a maximální hodnoty  $^{134}\text{Cs}$  se pohybují v intervalu 9-115 Bq/kg, nižší hodnoty jsou u bulvy (9-92 Bq/kg), vyšší pak u natě (23-115 Bq/kg). U aktivity  $^{40}\text{K}$  v celé rostlině řepy (bulva i natě) je aritmetický průměr v rozmezí 328-2064 Bq/kg pro všechny typy klimatických podmínek. U bulvy jsou opět nižší hodnoty (328-589 Bq/kg), u natě vyšší (1739-2064 Bq/kg). Podrobné výsledky měření aktivity v rostlinách jsou uvedeny v Příloze 3.

Plo- dina	Klima- tické pod- mínky	AKTIVITA V ROSTLINÁCH (SUŠINA)								
		Aktivita $^{85}\text{Sr}$ [Bq/kg]			Aktivita $^{134}\text{Cs}$ [Bq/kg]			Aktivita $^{40}\text{K}$ [Bq/kg]		
		Aritme- tický průměr	Maxi- mální hod- nota	Mini- mální hodnota	Aritme- tický průměr	Maxi- mální hod- nota	Mini- mální hod- nota	Aritme- tický průměr	Maxi- mální hod- nota	Mini- mální hod- nota
řed- kvička	mokré	805	1093	375	44	73	29	1481	1708	1319
	normální	1038	1395	837	44	85	26	1618	1823	1436
	suché	477	804	241	38	128	11	1122	1335	677
	střídavé	695	941	438	27	46	15	1811	1920	1726
řepa (bulva)	mokré	166	245	94	36	75	13	519	605	405
	normální	203	261	128	32	44	14	449	510	354
	suché	251	341	168	51	92	9	589	1018	322
	střídavé	97	137	71	41	79	13	328	503	220
řepa (natě)	mokré	359	416	267	69	97	37	1971	2383	1708
	normální	284	353	165	69	97	51	2047	2265	1806

	suché	158	198	113	49	115	23	1739	2428	1403
	střídavé	156	195	118	57	101	31	2064	2506	1427

Tabulka 10: Hodnoty aktivit  $^{85}\text{Sr}$ ,  $^{134}\text{Cs}$  a  $^{40}\text{K}$  v rostlinách (sušina)

Aritmetický průměr aktivity  $^{85}\text{Sr}$  v ředkvičce je nejnižší v podmínkách suchého klimatu (477 Bq/kg), následuje střídavé klima (695 Bq/kg), mokré klima (805 Bq/kg) a nakonec normální klima (1038 Bq/kg). Aritmetický průměr aktivity  $^{134}\text{Cs}$  je nízký v intervalu 27-69 Bq/kg, přičemž nejnižší je aktivita u střídavého klimatu u ředkvičky. Nejvyšší aritmetický průměr z uvedených radionuklidů vykazuje  $^{40}\text{K}$ , a to zejména u střídavého klimatu u řepy natě (2064 Bq/kg), nejnižší je ve střídavém klimatu u řepy bulvy (328 Bq/kg) (Tabulka 10, Graf 3).



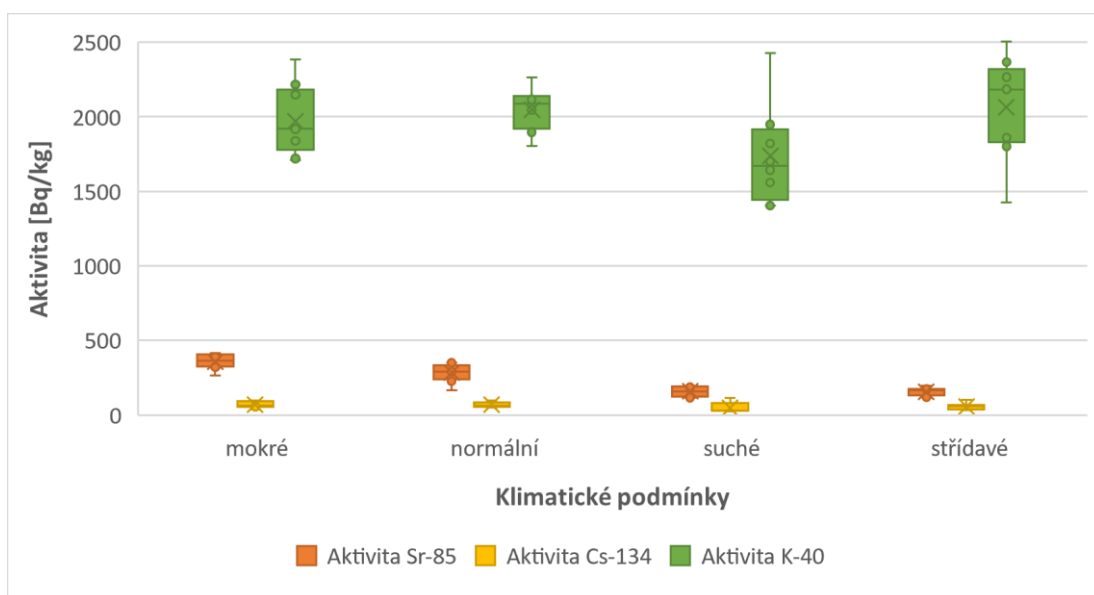
Graf 3: Hodnoty aktivit  $^{85}\text{Sr}$ ,  $^{134}\text{Cs}$  a  $^{40}\text{K}$  v sušině ke dni sklizně v rostlině – ředkvička

Vysvětlivky ke krabicovým grafům:

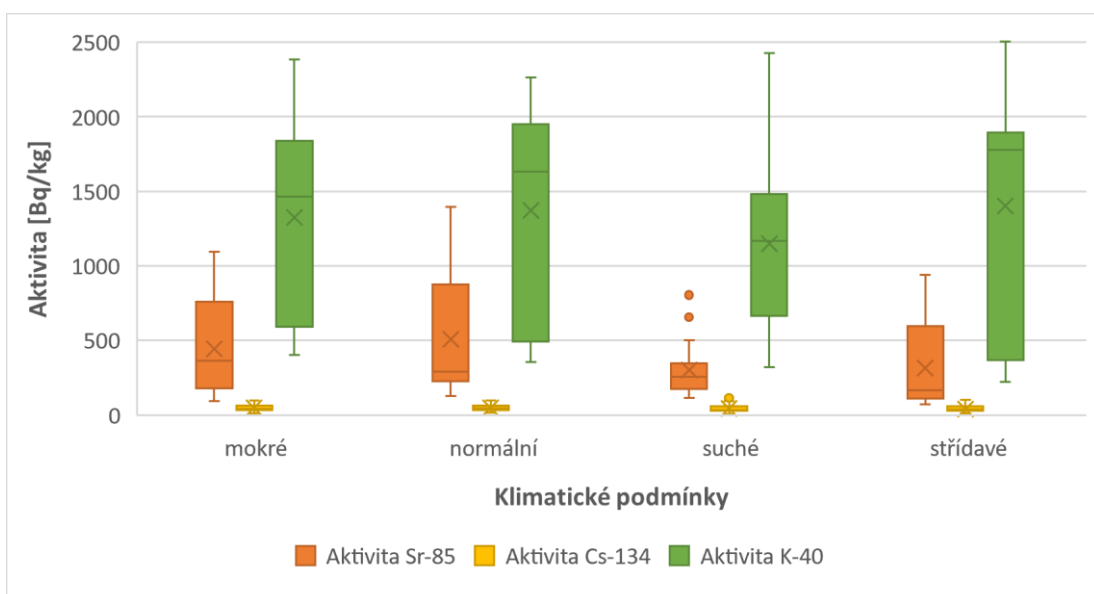
- Body ° = odlehlá pozorování, odlehlá data
- Křížek x = aritmetický průměr
- Horní část boxu = horní kvartil
- Dolní část boxu = dolní kvartil
- Kolmá úsečka mimo box horní = nejvyšší hodnota (maximum)
- Kolmá úsečka mimo box spodní = nejnižší hodnota (minimum)
- Kolmá úsečka v boxu = medián

V Grafu 4 jsou znázorněny hodnoty aktivit  $^{85}\text{Sr}$ ,  $^{134}\text{Cs}$  a  $^{40}\text{K}$  v bulvě řepy, v Grafu 5 v zelené části řepy (nať). Z obou grafů je patrné, že průměrné aktivity všech sledovaných radionuklidů jsou vyšší u natě řepy než u bulvy. Aritmetický průměr aktivity radionuklidu  $^{85}\text{Sr}$  se pohybuje u bulvy v intervalu 97-251 Bq/kg, u natě 156-359 Bq/kg ve všech klimatických podmínkách. Nejvyšší hodnota aritmetického

průměru aktivit u natě je v mokrém klimatu (359 Bq/kg), naopak nejnižší ve střídavém klimatu (156 Bq/kg). Bulva vykazuje nejvyšší hodnotu aritmetického průměru aktivit (251 Bq/kg) v suchém klimatu a nejnižší u střídavého klimatu (97 Bq/kg).



Graf 4: Hodnoty aktivit  $^{85}\text{Sr}$ ,  $^{134}\text{Cs}$  a  $^{40}\text{K}$  v sušině ke dni sklizně v rostlině – řepa (bulva)



Graf 5: Hodnoty aktivit  $^{85}\text{Sr}$ ,  $^{134}\text{Cs}$  a  $^{40}\text{K}$  v sušině ke dni sklizně v rostlině – řepa (nat)

### 5.3 Plošná aktivita

Vypočtené hodnoty aktivit v půdě k datu sklizně, tj. k 2. 8. 2022, u půdy, na které byly pěstovány ředkvičky a k 25. 8. 2022 u půdy, na které byly pěstovány řepy, slouží pro stanovení tzv. plošné aktivity, která je potřebná pro výpočet transferového koeficientu. Druhou veličinou k výpočtu plošné aktivity je plocha povrchu půdy experimentální nádoby ( $0,0531 \text{ m}^2$ ). Plošná aktivita je tedy podíl aktivity radionuklidu



v půdě (aktivita nalitá na povrch půdy) k datu sklizně a plochy povrchu půdy vypočítané na základě znalosti průměru nádoby v místě povrchu půdy. V Tabulce 11 jsou vypočteny aritmetické průměry plošné aktivity  $^{85}\text{Sr}$  a  $^{134}\text{Cs}$  v rozdílných klimatických podmínkách (sklenících) naměřených u půd pro pěstování ředkvičky a řepy. Hodnoty z experimentálních nádob č. 19-24 ve všech sklenících nebyly kontaminovány, jak je patrné ze souhrnné tabulky výsledků měření (Příloha 3). Z výsledků vyplývá, že vyšší průměrnou plošnou aktivitu  $^{85}\text{Sr}$  má půda, na které byla pěstována ředkvička (rozmezí hodnot u všech druhů klimatu je 16,6-16,7 kBq/m<sup>2</sup>). Hodnoty plošné aktivity  $^{134}\text{Cs}$  u půd, na kterých byla pěstována ředkvička i řepa, jsou mnohonásobně vyšší než hodnoty plošné aktivity  $^{85}\text{Sr}$  a pohybují se v intervalu 105-106 kBq/m<sup>2</sup>.

Klimatické podmínky	Číslo exp. nádoby	Plošná aktivita $^{85}\text{Sr}$ v půdě k datu sklizně (aritmetický průměr) [kBq/m <sup>2</sup> ]		Plošná aktivita $^{134}\text{Cs}$ v půdě k datu sklizně (aritmetický průměr) [kBq/m <sup>2</sup> ]	
		Exp. nádoba s půdou pro ředkvičku	Exp. nádoba s půdou pro řepu	Exp. Nádoba s půdou pro ředkvičku	Exp. Nádoba s půdou pro řepu
mokrý	A1-A18	16,6	16,6	106	105
	A19-A24	nekontaminované nádoby			
normální	B1-B18	16,6	16,7	105	105
	B19-B24	nekontaminované nádoby			
suchý	C1-C18	16,6	16,7	105	105
	C19-C24	nekontaminované nádoby			
střídavý	D1-D18	16,7	16,7	105	105
	D19-D24	nekontaminované nádoby			

Tabulka 11: Plošná aktivita  $^{85}\text{Sr}$  a  $^{134}\text{Cs}$  v půdě v experimentálních nádobách pro ředkvičku a řepu, různé klima (aritmetický průměr)

## 5.4 Transferový koeficient

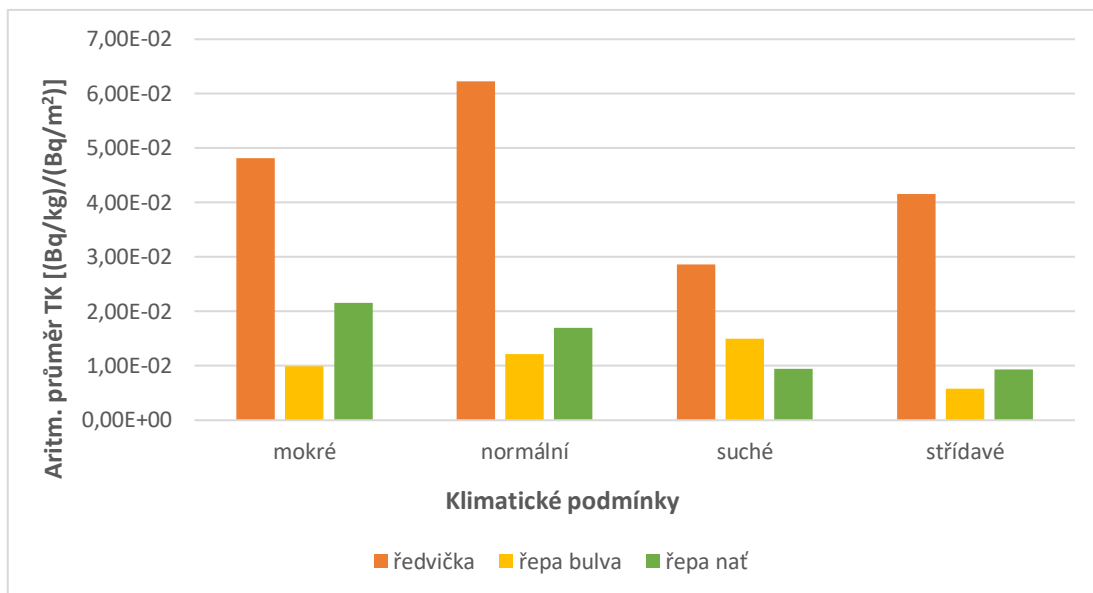
Hlavním cílem této práce bylo stanovení a vyhodnocení transferového koeficientu (TK) půda-rostlina u radionuklidů  $^{85}\text{Sr}$  a  $^{134}\text{Cs}$  u vypěstovaných zemědělských plodin (ředkvička, řepa) ve vztahu k dostupnosti vody v různých klimatických podmínkách (mokrý, suchý, normální a střídavý). Cílem je tedy ověřit, zdali má různé klima vliv na transfer radionuklidů z půdy do rostlin. K experimentu byly využity skleníky (mikrokosmy) umístěné na pracovišti SÚRO v Hradci Králové, kde byly simulovány čtyři klimatické podmínky s různým množstvím závlivy, a to střídavé klima (aridní/silná srážka), mokrý klima s vysokým podílem závlivy, normální klima s příznivou vlhkostí půdy a suché klima s minimálním množstvím závlivy. Transferový koeficient byl vypočten jako podíl aktivit radionuklidů  $^{85}\text{Sr}$  a  $^{134}\text{Cs}$  na hmotnost sušiny v rostlinách [Bq/kg] k datu sklizně a plošné aktivity půdy, která byla přepočtena na plochu experimentální nádoby k datu sklizně [Bq/m<sup>2</sup>]. Byly vykázané hodnoty pouze u vzorků A1-A9, B1-B9, C1-C9, D1-D9 u ředkvičky a A10-A18, B10-B18, C10-C18, D10-D18 u řepy, s ostatními vzorky (A19-A24, B19-B24, C19-C24,

D19-D24) se nepracovalo. Řepa v nádobě s označením C15 nevyrostla. Ze zkoumaných rostlin vykazuje nejvyšší aritmetický průměrný TK radionuklidu  $^{85}\text{Sr}$  ředkvička v normálním klimatu s hodnotou  $6,23\text{E-}02$  (Bq/kg)/(Bq/m<sup>2</sup>), naopak nejmenší hodnota aritmetického průměru TK je pro bulvu řepy ve střídavém klimatu s hodnotou  $5,82\text{E-}03$  (Bq/kg)/(Bq/m<sup>2</sup>). Aritmetický průměr TK radionuklidu  $^{134}\text{Cs}$  je nejvyšší u natě řepy v mokřém prostředí s hodnotou  $6,50\text{E-}04$  (Bq/kg)/(Bq/m<sup>2</sup>), nejnižší pak u ředkvičky ve střídavém prostředí  $2,50\text{E-}04$  (Bq/kg)/(Bq/m<sup>2</sup>) (Tabulka 12, Graf 6, Graf 7).

Plodina	Klimatické podmínky	Transferový koeficient $^{85}\text{Sr}$ v sušině [(Bq/kg)/(Bq/m <sup>2</sup> )]			Transferový koeficient $^{134}\text{Cs}$ v sušině [(Bq/kg)/(Bq/m <sup>2</sup> )]		
		Aritmetický průměr TK	Nejnižší TK	Nejvyšší TK	Aritmetický průměr TK	Nejnižší TK	Nejvyšší TK
ředkvička	mokré	4,81E-02	2,20E-02	6,43E-02	4,18E-04	2,76E-04	6,86E-04
	normální	6,23E-02	5,01E-02	8,36E-02	4,12E-04	2,46E-04	8,07E-04
	suché	2,87E-02	1,45E-02	4,83E-02	3,65E-04	1,04E-04	1,22E-03
	střídavé	4,15E-02	2,63E-02	5,63E-02	2,50E-04	1,44E-04	4,31E-04
řepa (bulva)	mokré	9,97E-03	5,63E-03	1,46E-02	3,38E-04	1,27E-04	7,11E-04
	normální	1,22E-02	7,66E-03	1,56E-02	3,03E-04	1,35E-04	4,19E-04
	suché	1,50E-02	1,00E-02	2,02E-02	4,83E-04	8,37E-05	8,75E-04
	střídavé	5,82E-03	4,24E-03	8,21E-03	3,85E-04	1,21E-04	7,42E-04
řepa (nat')	mokré	2,15E-02	1,59E-02	2,49E-02	6,50E-04	3,45E-04	9,20E-04
	normální	1,70E-02	9,80E-03	2,12E-02	6,50E-04	4,82E-04	9,23E-04
	suché	9,44E-03	6,81E-03	1,17E-02	4,60E-04	2,20E-04	1,08E-03
	střídavé	9,33E-03	7,02E-03	1,17E-02	5,39E-04	2,95E-04	9,51E-04

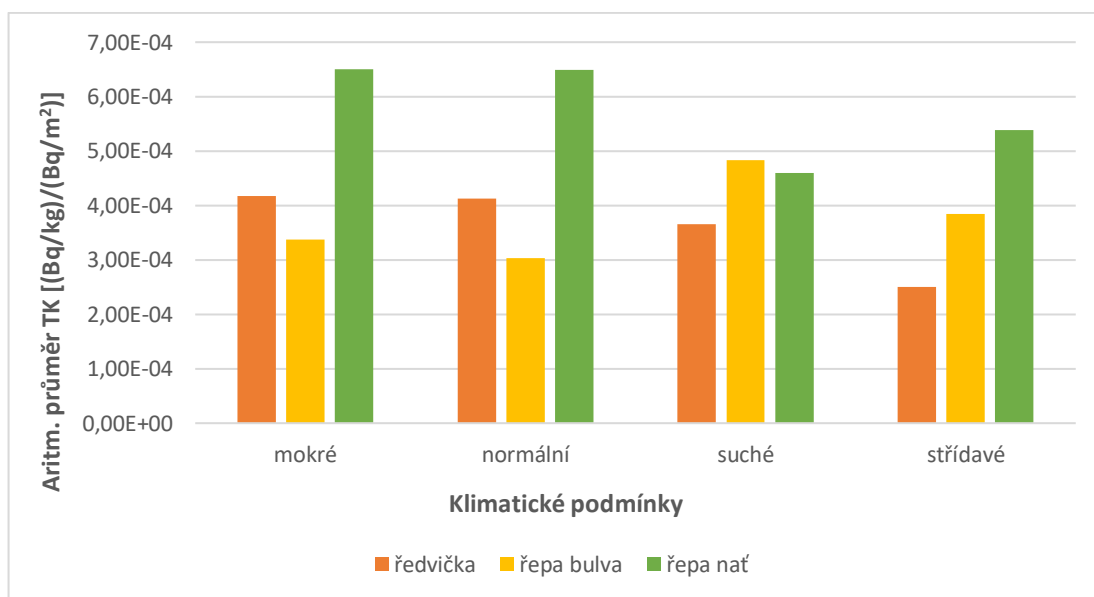
Tabulka 12: Hodnoty TK  $^{85}\text{Sr}$  a  $^{134}\text{Cs}$  v zemědělských plodinách (sušina) v různých klimatických podmínkách (aritmetický průměr); pozn.: nejvyšší aritmetické průměry vyznačeny červeně, nejnižší modře

Hodnoty transferového koeficientu v sušině se pro  $^{85}\text{Sr}$  pohybují v intervalu  $4,24\text{E-}03$  –  $8,36\text{E-}02$  (Bq/kg)/(Bq/m<sup>2</sup>) a pro  $^{134}\text{Cs}$  v intervalu  $8,37\text{E-}05$  –  $1,22\text{E-}03$  (Bq/kg)/(Bq/m<sup>2</sup>), kde nejnižší hodnotu  $4,24\text{E-}03$  pro  $^{85}\text{Sr}$  měl vzorek D11 bulvy řepy ve střídavém klimatu a nevyšší hodnotu  $8,36\text{E-}02$  vzorek s označením B4 u ředkvičky v normálním klimatu. Pro  $^{134}\text{Cs}$  byla nejnižší hodnota naměřena u vzorku C13 (bulva řepy) v suchém klimatu, nejvyšší u vzorku C8 (ředkvička) rovněž v suchém prostředí.



Graf 6: Aritmetický průměr transferového koeficientu (TK)  $^{85}\text{Sr}$  v sušině u zemědělských plodin v různých klimatech

Nejvyšší hodnoty aritmetického průměru TK  $^{85}\text{Sr}$  jsou naměřeny u ředkvičky ve všech klimatických podmínkách, nejvyšší jsou v normálním klimatu. Nižší hodnoty aritmetického průměru TK  $^{85}\text{Sr}$  jsou pro všechny klimatické podmínky u řepy, ale nejnižší jsou ve střídavém klimatu (Graf 6).



Graf 7: Aritmetický průměr transferového koeficientu (TK)  $^{134}\text{Cs}$  v sušině u zemědělských plodin v různých klimatech

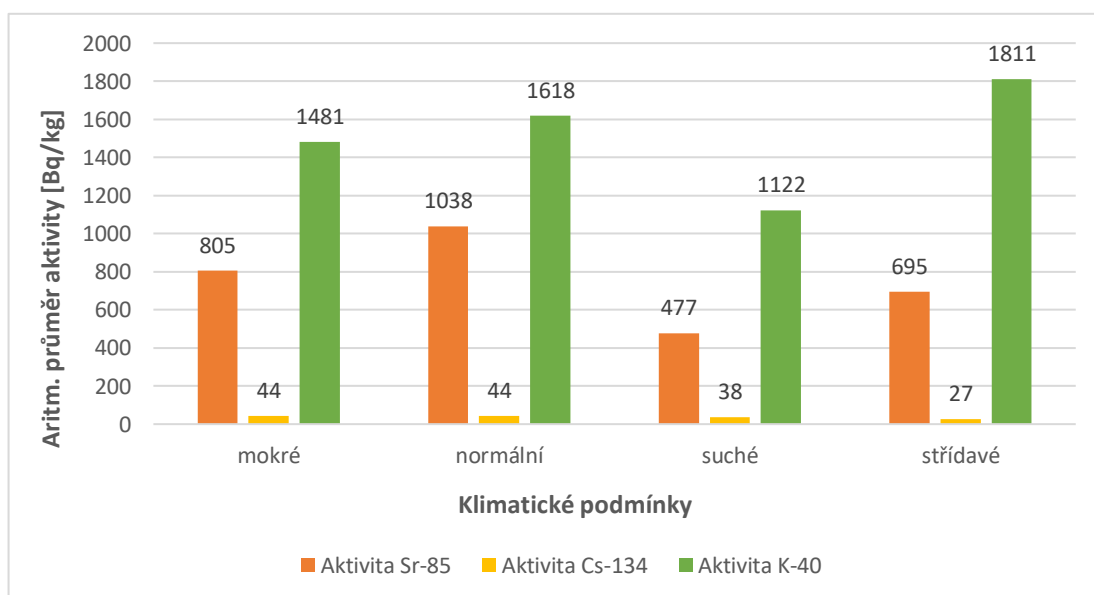
Aritmetické průměry TK  $^{134}\text{Cs}$  ukazují zpravidla vyšší hodnoty u natě řepy v mokrém, normálním i střídavém klimatu. Nižší hodnoty jsou pak u ředkvičky ve střídavém prostředí nebo u bulvy řepy v normálním prostředí (Graf 7).

## 6 Diskuse

Diskuze je zaměřena na porovnávání výsledků podobných experimentů zabývajících se měřením aktivit radionuklidů v rostlinách a transferových koeficientů půda-rostlina, ačkoliv se můžou lišit různým typem půd nebo jinými podmínkami pěstování. Jsou čerpány výsledky a údaje z odborných prací z minulých let a zároveň ze světových studií, které jsou uvedeny v rešeršní části této práce.

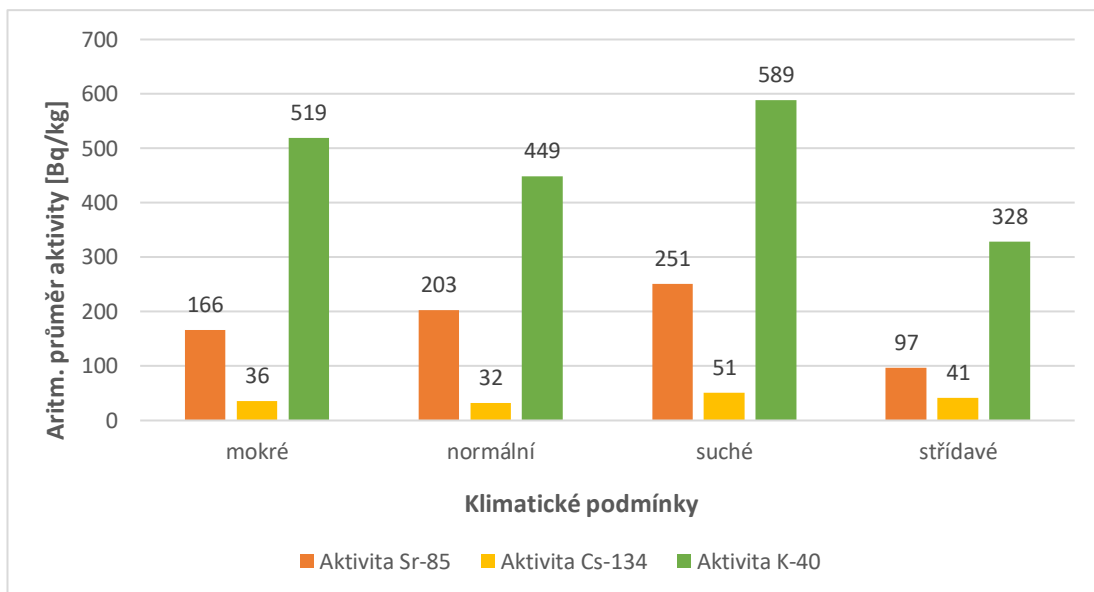
### 6.1 Aktivita v rostlinách

Aktivita  $^{85}\text{Sr}$  a  $^{134}\text{Cs}$  se v experimentu této práce u ředkvičky i u řepy v různých klimatických podmínkách liší. Aritmetický průměr aktivity radionuklidu  $^{85}\text{Sr}$  u ředkvičky je nejvyšší v normálním klimatu, naopak nejnižší v suchém klimatu. Aritmetický průměr aktivity  $^{134}\text{Cs}$  je u ředkvičky nejvyšší a zároveň stejný u mokrého a normálního klimatu a nejnižší u střídavého klimatu. Ovšem aktivita  $^{40}\text{K}$  u ředkvičky je v porovnání s  $^{85}\text{Sr}$  a  $^{134}\text{Cs}$  nejvyšší (Graf 8).

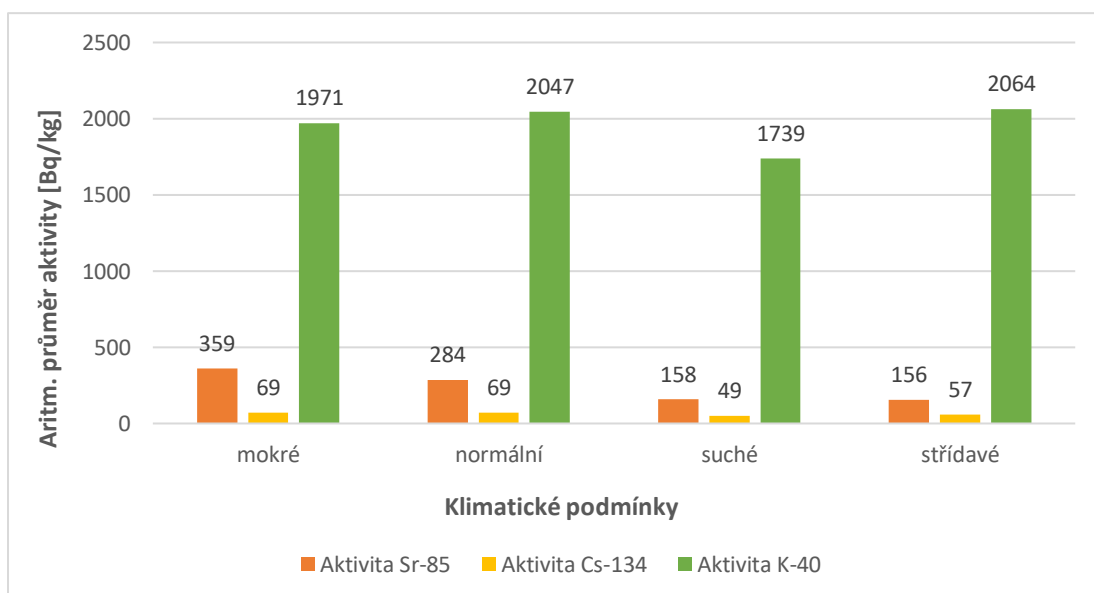


Graf 8: Aritmetický průměr aktivit radionuklidů  $^{85}\text{Sr}$ ,  $^{134}\text{Cs}$  a  $^{40}\text{K}$  u ředkvičky v různých klimatických podmínkách

Aritmetický průměr aktivit u natě a bulvy řepy je rozdílný. Aritmetický průměr aktivit  $^{85}\text{Sr}$  je nejvyšší v nati řepy v mokrému klimatu, naopak nejnižší je v bulvě řepy ve střídavém klimatu. Nicméně aritmetické průměry aktivit  $^{85}\text{Sr}$  jsou vyšší než aritmetické průměry aktivit  $^{134}\text{Cs}$  ve všech klimatických podmínkách, přičemž aritmetický průměr aktivit  $^{134}\text{Cs}$  je nejvyšší a shodný v mokrému a normálním klimatu v nati řepy a nejnižší v normálním klimatu v bulvě řepy. Aritmetické průměry aktivit  $^{40}\text{K}$  jsou opět mnohem vyšší v porovnání s  $^{85}\text{Sr}$  a  $^{134}\text{Cs}$  s tím, že v nati řepy jsou vyšší než v bulvě řepy (Graf 9 a 10).



Graf 9: Aritmetický průměr aktivit radionuklidů  $^{85}\text{Sr}$ ,  $^{134}\text{Cs}$  a  $^{40}\text{K}$  u bulvy řepy v různých klimatických podmínkách



Graf 10: Aritmetický průměr aktivit radionuklidů  $^{85}\text{Sr}$ ,  $^{134}\text{Cs}$  a  $^{40}\text{K}$  u natě řepy v různých klimatických podmínkách

Dále porovnáme výsledky poloprovozního experimentu z roku 2021, který byl uskutečněn rovněž ve sklenících a byla sledována a měřena aktivita  $^{134}\text{Cs}$  rovněž v řepě za použití různých typů závlivky. Výsledky experimentu uvádí, že příjem  $^{134}\text{Cs}$  do řepy je mnohonásobně vyšší u natě než u bulvy. Zároveň, že nejvyšší hodnoty průměrné aktivity  $^{134}\text{Cs}$  bylo dosaženo u bulvy při minimálním množství závlivky (Šorm, 2021). V této práci je tomu naopak, nejvyšší průměrná aktivita  $^{134}\text{Cs}$  je u natě řepy v mokřém a normálním klimatu, tj. při zvýšeném množství závlivky.

V případě  $^{85}\text{Sr}$  bylo v experimentu z roku 2021 dosaženo výrazně vyšších hodnot v nati než v bulvě, kdy nejvyšší průměrná aktivita byla v nati při normálním

stupni závlivky, ale rovněž při minimálním stupni závlivky (Šorm, 2021). Pokud se výsledky experimentu z roku 2021 porovnají s výsledky této práce, hodnoty aktivity  $^{85}\text{Sr}$  jsou rovněž vyšší v nati než v bulvě. Nejvyšší hodnoty byly pak nikoliv při normálním nebo minimálním stupni závlivky, ale v nejvyšším stupni závlivky, tj. v mokřém klimatu.

## 6.2 Transferový koeficient

Z výsledků měření transferového koeficientu radionuklidu  $^{85}\text{Sr}$  vztaženého na sušinu vyplývá, že **nejvyšší průměrné hodnoty** (aritmetický průměr) **vykazuje ředkvička v normálním klimatu**, kde byla vytvořena příznivá vlhkost půdy. **Nejnižší průměrné hodnoty** (aritmetický průměr) **TK byly naměřeny u bulvy řepy ve střídavém klimatu**, což je prostředí nejvíce podobné současnému stavu počasí v České republice (sucho s výraznými prudkými dešťovými srážkami, kdy je půda zatížena jednorázovým množstvím vody, která půdou jen proteče). Celkově hodnoty TK  $^{85}\text{Sr}$  u ředkvičky jsou ve všech klimatických podmínkách vždy vyšší než u řepy.

Transferový koeficient radionuklidu  $^{85}\text{Sr}$  je vyšší než TK u  $^{134}\text{Cs}$ . V případě porovnání bulvy a natě, hodnoty aritmetického průměru TK  $^{134}\text{Cs}$  jsou vyšší u natě v mokřém (vlhké, bahnité prostředí, výrazněji zaléváno), normálním a střídavém klimatu. V suchém klimatu, tj. při omezeném zalévání a minimálním příjmu vody, je aritmetický průměr TK do nati řepy nepatrně nižší. **Nejvyšší hodnota** aritmetického průměru **TK je do natě řepy v mokřém klimatu, nejnižší pak u ředkvičky ve střídavém klimatu.**

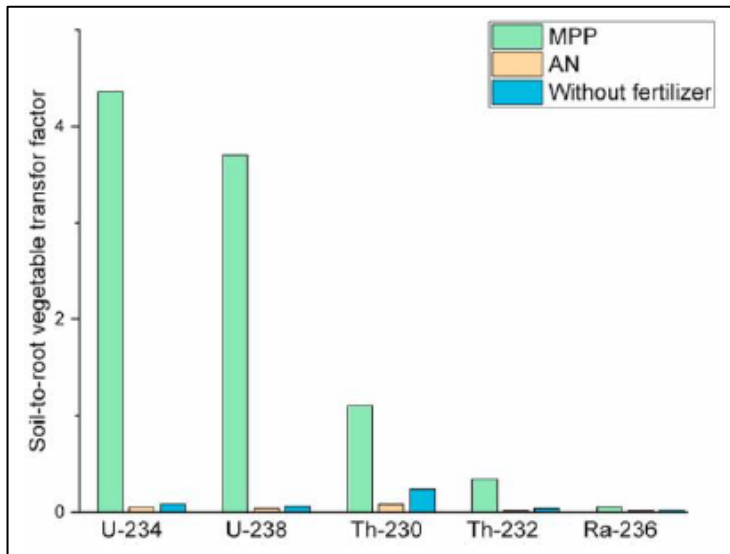
Pokud porovnáme s poloprovozním experimentem, kde byly pěstovány ve skleníku ředkvičky i červená řepa, pouze na jiném typu půdy, tj. na černozemi, která byla odebrána ze zóny havarijního plánování EDU, můžeme vyvodit závěry, že nejnižší průměrná hodnota TK vztažená na sušinu byla pro  $^{85}\text{Sr}$  naměřena v nati ředkvičky a pro  $^{134}\text{Cs}$  v bulvě ředkvičky. Závlivka téměř vždy ovlivňovala množství sušiny. **S vyšší vlhkostí došlo ke snížení TK  $^{134}\text{Cs}$  do nati i bulvy ředkvičky a řepy. Závlivka měla rovněž vliv i na přestup  $^{85}\text{Sr}$ , došlo ke zvýšení přenosu do nati ředkvičky** (Záhorová et al., 2022). Výsledky tohoto experimentu jsou oproti výsledkům experimentu bakalářské práce opačné, a to zejména v případě TK  $^{134}\text{Cs}$ , kdy v našem případě s vyšší vlhkostí (mokré klima) došlo ke zvýšení TK do natě řepy, naopak u experimentu Záhorová et al. (2022) se s vyšší vlhkostí snížil TK do nati bulvy ředkvičky a řepy.

Jak uvádí Doering et al. (2021), hodnoty TK bývají v tropickém prostředí, tj. ve vlhkém a mokřém, vyšší než v mírném nebo subtropickém. Důvodem může být právě teplé a vlhké podnebí s vydatnými srážkami, které podporují vydatnou vegetaci. Vliv

půdní vlhkosti na přenos cesia do rostlin již bylo zkoumáno a potvrzeno dřívějšími průzkumy, které prokázaly, že snížení vlhkosti půdy sníží přenos radioizotopů Cs a Sr do rostlin (Nikitin, 2021). Vliv na vyšší hodnoty TK může být i využití zemědělské půdy v těchto klimatických podmínkách. Rozdílnost ve výsledcích TK  $^{134}\text{Cs}$  může být ovlivněna půdními vlastnostmi, jako je pH půdy, obsah organických látek a jinými půdními vlastnostmi (Rout et al., 2021). Z tohoto důvodu rozdílnost ve výsledcích může být ovlivněna právě tím, že experiment Záhorová et al. (2022) byl prováděn na typu půdy černozemě, zatímco experiment této bakalářské práce na půdě hnědozemě.

Ze světových průzkumů vyplývá, že jsou nižší hodnoty TK radionuklidů půda-rostlina v suchých oblastech než v mírném pásmu (Raj et al., 2021). Což je opět zapříčiněno, jak již bylo výše zmíněno, právě místním klimatem, typem radionuklidů, vlastnostmi a typem půdy, typem rostlin, vegetačním obdobím, místní biologickou rozmanitostí, zemědělskými a pasteveckými postupy a místními stravovacími návyky (Padiyath et al., 2021a). Výsledky TK v této práci však tvrdí, že suché klima má vždy vliv na snížení TK, nepotvrzují. Hodnota aritmetického průměru TK  $^{85}\text{Sr}$  v sušině byla nejnižší v suchém klimatu u ředkvičky a v případě TK  $^{134}\text{Cs}$  u ředkvičky ve střídavém klimatu (Tabulka 12).

Jelikož se tato bakalářská práce zabývá přenosem radionuklidů do řepy a ředkviček za různých klimatických podmínek, respektive v závislosti na dostupnosti vody, nezabývala se již jinými otázkami, jako např. zdali může být přenos radionuklidů z půdy do rostlin ovlivněn používáním minerálních hnojiv. Tímto se zabývala studie (Nursapina et al., 2022), která se zaměřila na vliv minerálních hnojiv na transferový faktor z půdy do jedlé části ředkviček. Výzkum byl proveden v pokusných květináčích za použití dvou hnojiv – fosforečnanu draselného a dusičnanu amonného. Vzorky půdy byly odebrány na území jižní části Kazachstánu. Rozdíl oproti experimentu této bakalářské práce je, že v této studii byly stanoveny aktivity přírodních radionuklidů v ředkvičce  $^{234}\text{U}$ ,  $^{238}\text{U}$ ,  $^{230}\text{Th}$ ,  $^{232}\text{Th}$  a  $^{226}\text{Ra}$  s hodnotami kolem  $174\pm 17$ ,  $134\pm 15$ ,  $62\pm 4$ ,  $15\pm 2$  a  $2,8\pm 0,6$  Bq/kg. Nejvyšší aktivity přírodních radionuklidů byly naměřeny u jedlé části ředkvičky, které rostly na půdě hnojené dusičnanem amonným. Obrázek 8 ukazuje transferový faktor radionuklidů z půdy do kořenů ředkvičky. Je zřejmé, že největší vliv na přenos má minerální hnojivo fosforečnan draselný, a to u  $^{234}\text{U}$ ,  $^{238}\text{U}$  a  $^{230}\text{Th}$ . Hodnoty pro přenos u půdy hnojené dusičnanem amonným a půdy nehnojené jsou nižší než 1. Zároveň z výsledků vyplývá, že hodnoty TF pro uvedené radionuklidy byly vyšší než průměrné hodnoty pro uran, thorium a radium, které byly u kořenových plodin doposud zaznamenány (IAEA, 2010; Nursapina et al., 2022).



*Poznámka k Obrázku 8:*  
MPP: fosforečnan draselný  
AN: dusičnan amonný  
Without fertilizer: bez hnojiva  
(Bezrozměrný TF vypočtený z aktivit vztažených na sušinu)

Obrázek 8: Transferový faktor přírodních radionuklidů z půdy hnojené minerálními hnojivy na kořeny ředkvičky (Nursapina et al., 2022)



## 7 Závěr a přínos práce

Ověření vlivu klimatických změn na transferový koeficient je hlavním cílem této práce. Výsledky práce vedou k závěrům, zdali má skutečně vliv rozdílné množství zálivky (různé klimatické podmínky) na přenos radionuklidů  $^{85}\text{Sr}$  a  $^{134}\text{Cs}$  z půdy hnědozemě do zemědělských plodin, zejména do ředkvičky a řepy. Bylo zjištěno, že nejvyšší hodnoty aritmetického průměru transferového koeficientu u radionuklidu  $^{85}\text{Sr}$  jsou vykázané v normálních klimatických podmínkách, a to zejména u ředkvičky. Jedná se o takové podmínky, kde je normální a příznivá vlhkost půdy. Naopak nejnižší hodnoty aritmetického průměru přenosu radionuklidu  $^{85}\text{Sr}$  byly naměřeny ve střídavých klimatických podmínkách u bulvy řepy. Tyto klimatické podmínky jsou v současné době velmi podobné situaci v České republice, kdy jsou výrazné dlouhé a suché dny s náhlými a prudkými přivalovými dešťovými srážkami, kdy voda buď steče po povrchu půdy, nebo půdou jen proteče a nezachytí se. Lze konstatovat, že české klimatické podmínky jsou v podstatě pro přenos radionuklidu  $^{85}\text{Sr}$  ideální, jelikož experiment nízké hodnoty potvrdil, ovšem zde hraje roli i celá řada jiných faktorů, které transfer ovlivňují, např. typ půdy a jejich vlastnosti, způsob hospodaření s půdou, používání hnojiv atd. V případě transferového koeficientu  $^{134}\text{Cs}$  experiment prokázal, že nejvyšší hodnoty aritmetického průměru byly naměřeny v mokřích klimatických podmínkách u natě řepy. Tyto podmínky byly simulovány vyšším přísunem vody, kdy vzniklo vlhké a bahnité prostředí. Naopak nejnižší hodnoty aritmetického průměru TK ve střídavých klimatických podmínkách u ředkvičky.

Výzkumy v posledních letech zaměřují především na přenos radionuklidů v tropických a suchých oblastech, jelikož stále nelze s jistotou tvrdit, zdali je nižší nebo vyšší přenos radionuklidů z půdy do rostliny v suchém nebo tropickém prostředí. Poslední studie poukazují na skutečnost, že v suchém prostředí jsou obecně hodnoty transferového koeficientu nižší, v podmínkách této bakalářské práce byly naměřeny nejnižší hodnoty aritmetického průměru transferového koeficientu v suchém prostředí u natě řepy v případě  $^{134}\text{Cs}$  a u ředkvičky v případě  $^{85}\text{Sr}$ . Je tedy nesmírně důležité dále vyvíjet zájem o průzkumy zabývající se přenosy radionuklidů z půdy do rostlin se zaměřením na podmínky daného prostředí, na půdní vlastnosti, zemědělské postupy, vegetaci a další faktory, které transferový koeficient ovlivňují.

## 8 Přehled literatury a použitých zdrojů

### 8.1 Literatura

- Aba A., Ismaeel A., Al-Boloushi O., 2021: Estimation of radiostrontium, radiocesium and radiobarium transfer from arid soil to plant: A case study from Kuwait. *Nuclear Engineering and Technology* 53. P. 960-966.
- Alsaffar M. S., SuhaimiJaafar M., Ahmad Kabir N., Nisar A., 2016: Impact of fertilizers on the uptake of  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$ , and  $^{40}\text{K}$  by pot-grown rice plants. *Pollution* 2(1). P. 1-10.
- Al-Oudat M., Al Attar L., Othman I., 2021: Transfer factor of  $^{137}\text{Cs}$  and  $^{90}\text{Sr}$  to various crops in semi-arid environment. *Journal of Environmental Radioactivity* 228, 106525. P. 1–9.
- Arafin S. A., Bhuiyan M. S., Ferdous J., Hoque M. A., Rahman A. K., El-Taher A., 2021: Natural radiation absorbed dose rate and radiation transfer factor from soil to vegetable in some selected areas of Chittagong, Bangladesh. *Journal of Southwest Jiaotong University* Vol 56, No 4 (2021). P. 1–14.
- Doering Ch., Twining J., Rout S., Iurian A., Howard B., 2021: A revised IAEA data compilation for estimating the soil to plant transfer of radionuclides in tropical environments. *Journal of Environmental Radioactivity* 232, 106570. P. 1–10.
- Doskočilová V., 2021: Pohyb cesia a stroncia půdním profilem typu kambizemě (havarijní zóna EDU) – poloprovozní experiment. Česká zemědělská univerzita, Fakulta životního prostředí, Praha. S. 95. (diplomová práce). „nepublikováno“. Dep. SIC ČZU v Praze.
- Encyklopedický institut Československé AV, 1982: Ilustrovaný encyklopedický slovník. ACADEMIA, nakladatelství Československé akademie věd, Praha, S. 976.
- International Atomic Energy Agency (IAEA), 2021a: Soil-Plant Transfer of Radionuclides in Non-temperate Environments. MAAE-TECDOC-1979, International Atomic Energy Agency, Vídeň, P. 98.
- International Atomic Energy Agency (IAEA), 2021b: Soil-Plant Transfer of Radionuclides in Non-temperate Environments. IAEA-TECDOC-1979 Supplementary Files. UPPLEMENTARY FILES, International Atomic Energy Agency, Vídeň, P. 144.
- International Atomic Energy Agency (IAEA), 2010: Technical Report Series No. 472. Handbook of Parameter Values for the Prediction of Radionuclide Transfer in

- Terrestrial and Freshwater Environments. International Atomic Energy Agency, Vídeň, P. 208.
- Komissarova O., Paramonova T., Kuzmenkova N., Turykin L., 2021b: Transfer from radioactively contaminated soil and accumulation of  $^{137}\text{Cs}$  in agricultural crops with edible belowground part. Book of Abstracts 2021. P. 274.
- Kutílek M., 2012: Půda planety země. Nakladatelství Dokořán, s.r.o., Praha, S. 199.
- Machinohe M., Hamamatsu S., Kawamoto S., 2021: A review of the radioactive cesium behavior in Japanese agricultural, livestock, fishery products and their foods in the decade following the Fukushima nuclear accident. Food Science and Technology Research 27 (1). P. 1–23.
- Makowski V., 2020: Sledování množství  $^{137}\text{Cs}$  v půdě a vegetaci a plošné měření dávkového příkonu na vybraných lokalitách – Loučeň. Česká zemědělská univerzita, Fakulta životního prostředí, Praha. S. 61. (bakalářská práce). „nepublikováno“. Dep. SIC ČZU v Praze.
- Nikitin A. N., 2021: Impact of soil moisture on cesium uptake by plants: Model assessment. Journal of Environmental Radioactivity 240, 106754. P. 1–9.
- Nursapina N. A., Shynybek B. A., Matveyeva I. V., Nazarkulova S. N., Strok M., Benedik L., Ponomarenko O. I., 2022: Effect of mineral fertilisers application on the transfer of natural radionuclides from soil to radish (*Raphanus sativus L.*). Journal of Environmental Radioactivity 247, 106863. P. 1–7.
- Padiyath N., Raj P., Francis D., 2021a: Soil-to-plant transfer factors in arid regions using stable isotopes of caesium and strontium in local vegetables. Book of Abstracts 2021. P. 269.
- Pecharová E., Drábek K., Kašparová I., Rulík P., Pilátová H., Škrkal J., 2021: Screenig zatížení půd vybraných oblastí ČR, Příloha 7 - Technická zpráva k úkolu 3.7. za rok 2021. SÚRO, Hradec Králové. S. 33. „nepublikováno“. Dep.: SÚRO, Hradec Králové.
- Pecharová E., Drábek K., Komínková D., Finkous M., Finkous P., Kautská-Hoffmanová V., Stádníková D., Šestáková K., Doskočilová V., Rulík P., Borecký Z., Musil M., 2019: Design poloprovozního experimentu Technická zpráva k úkolu 1.3., VU MV VI20192022153 Optimalizace postupů pro realizaci rostlinné výroby na území zasaženém jadernou havárií. Dílčí zpráva. SÚRO, Praha. S. 20. „nepublikováno“. Dep.: SÚRO, Praha.
- Pecharová E., Kašparová I., 2017: landscape management in the emergency hazard planning zone of the Temelín nuclear power plant: preventive improvement of landscape functions. International Multidisciplinary Scientific GeoConference: SGEM: Surveying Geology & mining Ecology Management 17. P. 11–17.

- Petránek J., Břízová E., Cháb J., Loun J., Zelenka P., 2016: Encyklopedie geologie. Česká geologická služba, Praha, S. 352.
- Pöschl M., 2006: Základy radioekologie (skripta). Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, Brno, S. 116.
- Pulhani V., Rout S., Yadav S., 2021: Transfer of radionuclides from soil to selected tropical plants of Indian Subcontinent: A review. *Journal of Environmental Radioactivity* 234, 106631. P. 1–6.
- Raj P., Padiyath N., Semioshkina N., Addad Y., Foulon F., Francis D., Voigt G., 2022: Conceptualization of arid region radioecology strategies for agricultural ecosystems of the United Arab Emirates (UAE). *Journal of Environmental Radioactivity* 832, 154965. P. 1–12.
- Rinaldi F., Komínková D., Berchová K., Daguinet J., Pecharová E., 2017: Stable cesium ( $^{133}\text{Cs}$ ) uptake by *Calla palustris* from different substrates. *Ecotoxicology and environmental safety* 139. P. 301–307.
- Rout S., Yadav S., Pulhani V., 2021: Transfer of radionuclides from soil to selected tropical plants of Indian Subcontinent: A review. *Journal of Environmental Radioactivity* 235-236, 106652. P. 1–12.
- Rulík P., Škrkal J., Pilátová H., Záhorová V., 2021: Analýza vzorků a stanovení transferového koeficientu, Příloha 1 – Technická zpráva úkolu 3.1 za rok 2021. SÚRO, Hradec Králové. S. 43. „nepublikováno“. Dep.: SÚRO, Hradec Králové.
- Semioshkina N., Voigt G., 2021: Soil – Plant transfer of radionuclides in arid environments. *Journal of Environmental Radioactivity* 237, 106692. P. 1–7.
- Státní ústav radiální ochrany, v.v.i., 2021: Optimalizace postupů pro realizaci rostlinné výroby na území zasaženém jadernou havárií, Technická zpráva za rok 2021. SÚRO, ČZU, ENKI, o.p.s., Jihočeská univerzita, Hradec Králové. S. 8. „nepublikováno“. Dep.: SÚRO, Hradec Králové.
- Šantrůčková H., Kaštovská E., Bárta J., Miko L., Tajonský K., 2018: Ekologie půdy. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, České Budějovice, S. 260.
- Šarapatka B., 2014: Pedologie a ochrana půdy. Univerzita Palackého v Olomouci, Olomouc, S. 232.
- Šorm J., 2022: Pohyb  $\text{Cs}^{134}$  půdním profilem a stanovení transferového koeficientu půda – rostliny pro  $\text{Cs}^{134}$  v experimentálních podmínkách. Česká zemědělská univerzita, Fakulta životního prostředí, Praha. S. 53. (bakalářská práce). „nepublikováno“. Dep. SIC ČZU v Praze.
- Šváb M., 2020: Sledování množství  $^{137}\text{Cs}$  v půdě a vegetaci a plošné měření dávkového příkonu na vybraných lokalitách – Modlany. Česká zemědělská

- univerzita, Fakulta životního prostředí, Praha. S. 53. (bakalářská práce). „nepublikováno“. Dep. SIC ČZU v Praze.
- Tesarová B., Pecharova E., Doksanská T., Skrkal J., 2018: pilot survey of soil contamination 30 years after Chernobyl. International Multidisciplinary Scientific GeoConference: SGEM: Surveying Geology & mining Ecology Management 18. P. 59–64.
- Tomášek M., 2014: Půdy České republiky. Česká geologická služba, Praha, S. 112.
- Vacula J., Komínková D., Pecharová E., Doksanská T., Pechar L., 2020: Uptake of  $^{133}\text{Cs}$  and  $^{134}\text{Cs}$  by *Ceratophyllum demersum* L. under field and greenhouse conditons. Science of The Total Environment 720, 137292. P. 1–10.
- Voříšková M., 2020: Sledování množství  $^{137}\text{Cs}$  v půdě a vegetaci a plošné měření dávkového příkonu na vybraných lokalitách – Stvolínky (k. ú. 758655). Česká zemědělská univerzita, Fakulta životního prostředí, Praha. S. 75. (bakalářská práce). „nepublikováno“. Dep. SIC ČZU v Praze.
- Yadav P., Singh B., 2021: 13 - Radioecology: dissecting complexities of radionuclide transfer under climate change. Global Climate Change 2021. P. 297–320.
- Záhorová V., Škrkal J., Komínková D., Pecharová E., Cömez F. Ö., Vacula J., Pilátová H., Rulík P., 2022: Přestup radionuklidů Cs a Sr do zemědělských plodin pěstovaných ve skleníku. Kniha abstraktov, XLIII. Dni radiačnej ochrany 2022. S. 84.

## 8.2 Elektronické zdroje

- URL1: Encyclopædia Britannica, Inc., ©2023: Aridisol (online) [cit.2023.01.22], dostupné z <<https://www.britannica.com/science/Aridisol>>.
- URL2: Encyclopædia Britannica, Inc., ©2023: Inceptisol (online) [cit.2023.01.22], dostupné z <<https://www.britannica.com/science/Inceptisol>>.
- URL3: RussiaTrek.org, © 2007–2023: Tula oblast, Russia (Tulskaya) (online) [cit.2023.01.24], dostupné z <<https://russiatrek.org/tula-oblast>>.
- URL4: Encyclopædia Britannica, Inc., ©2023: Cesium (online) [cit.2023.02.14], dostupné z <<https://www.britannica.com/science/cesium>>.
- URL5: Encyclopædia Britannica, Inc., ©2023: Stroncium (online) [cit.2023.02.14], dostupné z <<https://www.britannica.com/science/strontium>>.
- URL6: Connor N., 14.12.2019: Radiation Dosimetry, Copyright 2023: What is Potassium-40 – Characteristics – Half-life – Definition (online) [cit.2023.02.14], <<https://www.radiation-dosimetry.org/what-is-potassium-40-characteristics-half-life-definition/>>.

## 9 Seznam obrázků, tabulek, grafů a zkratk

### 9.1 Seznam obrázků

Obrázek 1: Vyznačení odběrové lokality na mapě ČR (ArcGIS Pro, 2023) .....	12
Obrázek 2: Lokalizace odběrového místa (ČUZK, 2023) .....	12
Obrázek 3: Experimentální skleníky (Goldšmídová, 2023).....	18
Obrázek 4: Výsev ředkvičky (A) a řepy (B) v experimentálních nádobách.....	19
Obrázek 5: Sklizené ředkvičky ze skleníků se simulací rozdílného klimatu (Goldšmídová, 2023) .....	21
Obrázek 6: Řepa ve sklenících A, B, C, D před sklizní (Goldšmídová, 2023).....	22
Obrázek 7: Schéma šíření radionuklidů v suché oblasti (Raj et al., 2022, Ikonografie: Flaticon.com) .....	31
Obrázek 8: Transferový faktor přírodních radionuklidů z půdy hnojené minerálními hnojivy na kořeny ředkvičky (Nursapina et al., 2022) .....	48

### 9.2 Zdroje obrázků

Obrázek 1: Vyznačení odběrové lokality na mapě ČR (Program ArcGIS Pro)	
Obrázek 2: Lokalizace odběrového místa (ČUZK)	
Obrázek 3: Experimentální skleníky (Archiv: Goldšmídová, 2023)	
Obrázek 4: Výsev ředkvičky (A) a řepy (B) v experimentálních nádobách (Archiv: Goldšmídová, 2023)	
Obrázek 5: Sklizené ředkvičky ze skleníků se simulací rozdílného klimatu (Archiv: Goldšmídová, 2023)	
Obrázek 7: Řepa ve sklenících A, B, C, D před sklizní (Archiv: Goldšmídová, 2023)	
Obrázek 8: Schéma šíření radionuklidů v suché oblasti (Raj et al., 2022)	
Obrázek 9: Transferový faktor přírodních radionuklidů z půdy hnojené minerálními hnojivy na kořeny ředkvičky (Nursapina, et al. 2022)	

### 9.3 Seznam tabulek

Tabulka 1: Charakteristika půdy na poz. p. č. 4572, k.ú. Helvíkovice .....	14
Tabulka 2: Schéma označení experimentálních skleníků a nádob .....	14
Tabulka 3: Hmotnosti barelu a kontaminačního roztoku a aktivity kontaminačního roztoku.....	15
Tabulka 4: Hmotnost vybraných experimentálních nádob s půdou.....	15
Tabulka 5: Hmotnost vybraných konvíček se zbytkem roztoku.....	16

Tabulka 6: Poločasy rozpadu radionuklidů .....	17
Tabulka 7: Zálivka ve sklenících .....	20
Tabulka 8: Aritmetický průměr zdravotního stavu ředkviček a řepy .....	23
Tabulka 9: Hodnoty aktivit $^{85}\text{Sr}$ a $^{134}\text{Cs}$ v půdě vztažené k datu kontaminace a k datu sklizně u plodin (aritmetický průměr).....	36
Tabulka 10: Hodnoty aktivit $^{85}\text{Sr}$ , $^{134}\text{Cs}$ a $^{40}\text{K}$ v rostlinách (sušina).....	39
Tabulka 11: Plošná aktivita $^{85}\text{Sr}$ a $^{134}\text{Cs}$ v půdě v experimentálních nádobách pro ředkvičku a řepu, různé klima (aritmetický průměr) .....	41
Tabulka 12: Hodnoty TK $^{85}\text{Sr}$ a $^{134}\text{Cs}$ v zemědělských plodinách (sušina) v různých klimatických podmínkách (aritmetický průměr).....	42

## 9.4 Zdroje tabulek

Tabulka 1:	Charakteristika půdy na poz. p. č. 4572, k.ú. Helvíkovice (Tomášek, 2014)
Tabulka 2:	Schéma označení experimentálních skleníků a nádob (Goldšmídová, 2023)
Tabulka 3:	Aktivity kontaminačního roztoku (SÚRO, Společná databáze řešitelů projektu)
Tabulka 4:	Hmotnost vybraných experimentálních nádob s půdou (SÚRO, Společná databáze řešitelů projektu)
Tabulka 5:	Hmotnost vybraných konviček se zbytkem roztoku (SÚRO, Společná databáze řešitelů projektu)
Tabulka 6:	Poločasy rozpadu radionuklidů (Yadav, Singh, 2021)
Tabulka 7:	Zálivka ve sklenících (rok 2022), (Goldšmídová, 2023)
Tabulka 8:	Aritmetický průměr zdravotního stavu ředkviček a řepy (Goldšmídová, 2023)
Tabulka 9:	Hodnoty aktivit $^{85}\text{Sr}$ a $^{134}\text{Cs}$ v půdě vztažené k datu kontaminace a k datu sklizně u plodin (aritmetický průměr), (Goldšmídová, 2023)
Tabulka 10:	Hodnoty aktivit $^{85}\text{Sr}$ , $^{134}\text{Cs}$ a $^{40}\text{K}$ v rostlinách (sušina), (Goldšmídová, 2023)
Tabulka 11:	Plošná aktivita $^{85}\text{Sr}$ a $^{134}\text{Cs}$ v půdě v experimentálních nádobách pro ředkvičku a řepu, různé klima (aritmetický průměr), (Goldšmídová, 2023)
Tabulka 12:	Hodnoty TK $^{85}\text{Sr}$ a $^{134}\text{Cs}$ v zemědělských plodinách (sušina) v různých klimatických podmínkách (aritmetický průměr), (Goldšmídová, 2023)

## 9.5 Seznam grafů

Graf 1: Aktivita $^{85}\text{Sr}$ a $^{134}\text{Cs}$ v půdě (sušina) v experimentálních nádobách pro vysazení ředkvičky v různých klimatických podmínkách (aritmetický průměr) .....	37
Graf 2: Aktivita $^{85}\text{Sr}$ a $^{134}\text{Cs}$ v půdě (sušina) v experimentálních nádobách pro vysazení řepy v různých klimatických podmínkách (aritmetický průměr).....	37
Graf 3: Hodnoty aktivit $^{85}\text{Sr}$ , $^{134}\text{Cs}$ a $^{40}\text{K}$ v sušině ke dni sklizně v rostlině – ředkvička .....	39
Graf 4: Hodnoty aktivit $^{85}\text{Sr}$ , $^{134}\text{Cs}$ a $^{40}\text{K}$ v sušině ke dni sklizně v rostlině – řepa (bulva) .....	40
Graf 5: Hodnoty aktivit $^{85}\text{Sr}$ , $^{134}\text{Cs}$ a $^{40}\text{K}$ v sušině ke dni sklizně v rostlině – řepa (nať).....	40
Graf 6: Aritmetický průměr transferového koeficientu (TK) $^{85}\text{Sr}$ v sušině u zemědělských plodin v různých klimatech.....	43
Graf 7: Aritmetický průměr transferového koeficientu (TK) $^{134}\text{Cs}$ v sušině u zemědělských plodin v různých klimatech.....	43
Graf 8: Aritmetický průměr aktivit radionuklidů $^{85}\text{Sr}$ , $^{134}\text{Cs}$ a $^{40}\text{K}$ u ředkvičky v různých klimatických podmínkách .....	44
Graf 9: Aritmetický průměr aktivit radionuklidů $^{85}\text{Sr}$ , $^{134}\text{Cs}$ a $^{40}\text{K}$ u bulvy řepy v různých klimatických podmínkách.....	45
Graf 10: Aritmetický průměr aktivit radionuklidů $^{85}\text{Sr}$ , $^{134}\text{Cs}$ a $^{40}\text{K}$ u natě řepy v různých klimatických podmínkách.....	45

## 9.6 Seznam použitých zkratk

ČZU	Česká zemědělská univerzita
SÚRO	Státní ústav radiální ochrany, v.v.i.
ZHP	Zóna havarijního plánování
Cs	Cesium
Sr	Stroncium
K	Draslík
TK	Transferový koeficient
TRS	Technical Reports Series č. 472
MAAE	Mezinárodní agentura pro atomovou energii
SAE	Spojené arabské emiráty
NORM	Naturally occurring radioactive materials (Přirozeně vyskytující se radioaktivní materiály)



EDU	Jaderná elektrárna Dukovany
ETE	Jaderná elektrárna Temelín
$M^{R+K}$	Hmotnost roztoku s konvičkou
$M^{\check{C}}$	Čistá hmotnost roztoku
$M^Z$	Aritmetický průměr hmotnosti (konvička + roztok)
$A_{Cs}$	Aktivita $^{134}\text{Cs}$ přídatku k datu kontaminace (10. 5. 22)
$A_{Sr}$	Aktivita $^{85}\text{Sr}$ přídatku k datu kontaminace (10. 5. 22)

## 10 Přílohy

### Příloha 1: Kontaminace experimentálních nádob

Vzorek	$M^{R+K}$ g	$M^{\check{C}}$ g	$A_{Cs}$ (k 10. 5. 22) kBq	$A_{Sr}$ (k 10. 5. 22) kBq
A1	264,4	185	6,32	2,840
A2	260,2	181	6,18	2,776
A3	260	181	6,17	2,773
A4	259,9	181	6,17	2,771
A5	264	185	6,31	2,834
A6	260,3	181	6,18	2,778
A7	259,7	181	6,16	2,768
A8	261,8	183	6,23	2,801
A9	260,8	182	6,20	2,785
A10	260,7	182	6,19	2,784
A11	260,8	182	6,20	2,785
A12	259,6	180	6,16	2,767
A13	259,7	181	6,16	2,768
A14	261,2	182	6,21	2,791
A15	259,6	180	6,16	2,767
A16	260,9	182	6,20	2,787
A17	260,7	182	6,19	2,784
A18	260	181	6,17	2,773
A19	-	-	-	-
A20	-	-	-	-
A21	-	-	-	-
A22	-	-	-	-
A23	-	-	-	-
A24	-	-	-	-
B1	260,8	182	6,20	2,785
B2	260,6	181	6,19	2,782
B3	260,2	181	6,18	2,776
B4	260,5	181	6,19	2,781
B5	260,4	181	6,18	2,779
B6	259,7	181	6,16	2,768
B7	260,3	181	6,18	2,778
B8	261	182	6,20	2,788
B9	260,7	182	6,19	2,784
B10	261,4	182	6,22	2,794
B11	261,8	183	6,23	2,801
B12	261,2	182	6,21	2,791
B13	260,5	181	6,19	2,781
B14	260,5	181	6,19	2,781
B15	260	181	6,17	2,773
B16	261	182	6,20	2,788
B17	260,3	181	6,18	2,778
B18	260,5	181	6,19	2,781
B19	-	-	-	-
B20	-	-	-	-
B21	-	-	-	-
B22	-	-	-	-
B23	-	-	-	-
B24	-	-	-	-

C1	259,5	180	6,15	2,765
C2	260,1	181	6,17	2,774
C3	259,7	181	6,16	2,768
C4	260,1	181	6,17	2,774
C5	260	181	6,17	2,773
C6	259,8	181	6,16	2,770
C7	260,7	182	6,19	2,784
C8	259,5	180	6,15	2,765
C9	260,8	182	6,20	2,785
C10	263	184	6,27	2,819
C11	260,7	182	6,19	2,784
C12	260,2	181	6,18	2,776
C13	260,5	181	6,19	2,781
C14	260,9	182	6,20	2,787
C15	260,3	181	6,18	2,778
C16	261,3	182	6,21	2,793
C17	259,9	181	6,17	2,771
C18	260,1	181	6,17	2,774
C19	-	-	-	-
C20	-	-	-	-
C21	-	-	-	-
C22	-	-	-	-
C23	-	-	-	-
C24	-	-	-	-
D1	261,4	182	6,22	2,794
D2	260,5	181	6,19	2,781
D3	260,8	182	6,20	2,785
D4	261,7	183	6,23	2,799
D5	261,6	182	6,22	2,797
D6	261,2	182	6,21	2,791
D7	261,9	183	6,24	2,802
D8	260,3	181	6,18	2,778
D9	259,8	181	6,16	2,770
D10	261,5	182	6,22	2,796
D11	260,7	182	6,19	2,784
D12	261,1	182	6,21	2,790
D13	260	181	6,17	2,773
D14	260,6	181	6,19	2,782
D15	260,7	182	6,19	2,784
D16	260,7	182	6,19	2,784
D17	261	182	6,20	2,788
D18	262,6	183	6,26	2,813
D19	-	-	-	-
D20	-	-	-	-
D21	-	-	-	-
D22	-	-	-	-
D23	-	-	-	-
D24	-	-	-	-

**Příloha 2: Podrobný rozpis záливок ve sklenicích**

skleník/datum	17.5.	20.5.	24.5.	27.5.	31.5.	3.6.	7.6.	10.6.	14.6.	17.6.	21.6.	22.6.	23.6.	24.6.	28.6.	29.6.	1.7.	4.7.	7.7.	8.7.	11.7.	
A – mokro	520	520	260	520	260	520	520	520	260	520	520	260	520	520	520	520	520	520	520	520	520	520
B – normál	520	520	260	520	260	520	520	520	260	520	260	260	260	260	520	0	520	520	260	520	260	260
C – sucho	520	520	260	520	260	520	520	260	260	0	260	130	0	260	260	130	260	260	0	260	260	260
D – aridní/střídavé	520	520	260	520	260	520	520	260	260	0	1040	0	0	0	0	1040	0	0	1040	0	0	0
skleník/datum	13.7.	15.7.	18.7.	19.7.	20.7.	21.7.	22.7.	26.7.	27.7.	29.7.	1.8.	2.8.	4.8.	8.8.	9.8.	11.8.	12.8.	16.8.	19.8.	23.8.	celkem [ml]	Vyjádření v %
A – mokro	520	520	520	520	520	520	780	520	520	780	260	78	780	1040	520	520	780	780	780	520	9880	123 %
B – normál	260	520	260	260	260	260	520	260	260	520	260	520	520	1040	260	260	520	390	260	520	8060	100 %
C – sucho	0	260	260	0	130	260	260	130	130	260	130	260	130	260	0	130	260	130	130	130	5720	71 %
D – aridní/střídavé	0	1040	0	0	0	0	1040	0	0	1040	0	260	100	260	0	0	1040	0	0	520	6760	84 %

**Příloha 3: Souhrnné výstupy z měření**

id	Typ půdy	Aktivita v půdě <sup>85</sup> Sr [kBq] k 10.5.2022	Aktivita v půdě <sup>134</sup> Cs [kBq] k 10.5.2022	Aktivita v půdě <sup>85</sup> Sr [kBq] k datu sklizně	Aktivita v půdě <sup>134</sup> Cs [kBq] k datu sklizně	Plodina	Vzorek	Zálivka	Zdravotní stav	Nativ [g]	Sušina [g]	Aktivita v rostlině <sup>85</sup> Sr [Bq/kg]	KSN <sup>85</sup> Sr [Bq/kg]	Aktivita v rostlině <sup>134</sup> Cs [Bq/kg]	KSN <sup>134</sup> Cs [Bq/kg]	Aktivita v rostlině <sup>40</sup> K [Bq/kg]	KSN <sup>40</sup> K [Bq/kg]	Plošná aktivita <sup>85</sup> Sr [kBq/m <sup>2</sup> ] k datu sklizně	Plošná aktivita <sup>134</sup> Cs [kBq/m <sup>2</sup> ] k datu sklizně	TK <sup>85</sup> Sr [(Bq/kg)/(Bq/m <sup>2</sup> )] sušina	TK <sup>134</sup> Cs [(Bq/kg)/(Bq/m <sup>2</sup> )] sušina
1	hnědozem	2,84	6,32	0,91	5,73	ředkvička	A1	mokro	8	148,60	23,59	375	33	39	2	1382	111	17,0	107	2,20E-02	3,60E-04
2	hnědozem	2,78	6,18	0,88	5,60	ředkvička	A2	mokro	8	112,70	18,11	867	93	29	3	1548	151	16,6	105	5,20E-02	2,76E-04
3	hnědozem	2,77	6,17	0,88	5,59	ředkvička	A3	mokro	8	126,10	21,25	943	98	42	3	1463	139	16,6	105	5,67E-02	3,96E-04
4	hnědozem	2,77	6,17	0,88	5,59	ředkvička	A4	mokro	8	139,30	21,33	736	70	65	4	1670	145	16,6	105	4,42E-02	6,19E-04
5	hnědozem	2,83	6,31	0,90	5,72	ředkvička	A5	mokro	8	159,80	25,20	1093	62	33	2	1708	96	17,0	107	6,43E-02	3,04E-04
6	hnědozem	2,78	6,18	0,89	5,60	ředkvička	A6	mokro	8	146,10	22,96	768	67	33	2	1440	116	16,6	105	4,61E-02	3,14E-04
7	hnědozem	2,77	6,16	0,88	5,58	ředkvička	A7	mokro	8	167,00	33,20	839	131	44	10	1319	399	16,6	105	5,05E-02	4,22E-04
8	hnědozem	2,80	6,23	0,89	5,65	ředkvička	A8	mokro	8	81,20	14,61	758	89	41	4	1336	145	16,8	106	4,51E-02	3,86E-04

9	hnědozem	2,79	6,20	0,89	5,62	ředkvička	A9	mokro	8	176,60	27,45	868	64	73	4	1465	99	16,7	105	5,19E-02	6,86E-04
10	hnědozem	2,78	6,19	0,89	5,61	řepa bulva	A10	mokro	9	222,58	44,77	165	9	22	1	593	36	16,7	105	9,87E-03	2,04E-04
11	hnědozem	2,79	6,20	0,89	5,62	řepa bulva	A11	mokro	8	117,54	24,29	245	20	75	4	592	53	16,7	105	1,46E-02	7,11E-04
12	hnědozem	2,77	6,16	0,88	5,58	řepa bulva	A12	mokro	9	142,66	29,30	163	15	36	2	533	46	16,6	105	9,84E-03	3,45E-04
13	hnědozem	2,77	6,16	0,88	5,58	řepa bulva	A13	mokro	9	166,43	33,51	150	13	20	1	605	50	16,6	105	9,04E-03	1,92E-04
14	hnědozem	2,79	6,21	0,89	5,63	řepa bulva	A14	mokro	8	131,80	28,45	131	11	13	1	478	38	16,7	106	7,85E-03	1,27E-04
15	hnědozem	2,77	6,16	0,88	5,58	řepa bulva	A15	mokro	9	114,21	25,07	200	18	72	5	405	36	16,6	105	1,21E-02	6,90E-04
16	hnědozem	2,79	6,20	0,89	5,62	řepa bulva	A16	mokro	9	157,30	34,23	94	8	21	1	512	40	16,7	105	5,63E-03	1,98E-04
17	hnědozem	2,78	6,19	0,89	5,61	řepa bulva	A17	mokro	9	163,44	34,53	180	16	38	2	499	44	16,7	105	1,08E-02	3,64E-04
18	hnědozem	2,77	6,17	0,88	5,59	řepa bulva	A18	mokro	9	148,97	32,08	167	15	22	1	456	39	16,6	105	1,01E-02	2,10E-04
10	hnědozem	2,78	6,19	0,89	5,61	řepa list	A10	mokro	9	125,49	21,64	390	33	94	5	2216	164	16,7	105	2,33E-02	8,90E-04
11	hnědozem	2,79	6,20	0,89	5,62	řepa list	A11	mokro	8	133,90	25,35	416	30	92	5	1839	121	16,7	105	2,49E-02	8,67E-04
12	hnědozem	2,77	6,16	0,88	5,58	řepa list	A12	mokro	9	128,25	24,26	332	30	61	4	1949	155	16,6	105	2,00E-02	5,83E-04
13	hnědozem	2,77	6,16	0,88	5,58	řepa list	A13	mokro	9	123,45	21,25	330	27	59	3	1919	138	16,6	105	1,99E-02	5,59E-04
14	hnědozem	2,79	6,21	0,89	5,63	řepa list	A14	mokro	8	121,48	23,23	267	21	37	2	1721	119	16,7	106	1,59E-02	3,45E-04
15	hnědozem	2,77	6,16	0,88	5,58	řepa list	A15	mokro	9	163,57	30,26	400	21	97	4	1854	91	16,6	105	2,41E-02	9,20E-04
16	hnědozem	2,79	6,20	0,89	5,62	řepa list	A16	mokro	9	138,19	26,10	364	20	65	3	2383	121	16,7	105	2,18E-02	6,15E-04
17	hnědozem	2,78	6,19	0,89	5,61	řepa list	A17	mokro	9	140,61	25,45	412	26	56	3	2149	125	16,7	105	2,47E-02	5,34E-04
18	hnědozem	2,77	6,17	0,88	5,59	řepa list	A18	mokro	9	167,35	30,14	320	21	57	3	1708	100	16,6	105	1,92E-02	5,37E-04
19	hnědozem	-	-	-	-	ředkvička	A19	mokro	8	173,10	26,45	-	-	-	-	-	-	0	0		
20	hnědozem	-	-	-	-	ředkvička	A20	mokro	8	151,00	24,40	-	-	-	-	-	-	0	0		
21	hnědozem	-	-	-	-	ředkvička	A21	mokro	8	160,70	24,51	-	-	-	-	-	-	0	0		
22	hnědozem	-	-	-	-	řepa bulva	A22	mokro	8	129,26	25,76	-	-	-	-	-	-	0	0		
23	hnědozem	-	-	-	-	řepa bulva	A23	mokro	9	112,96	25,57	-	-	-	-	-	-	0	0		

24	hnědozem	-	-	-	-	řepa bulva	A24	mokro	9	150,55	33,20	-	-	-	-	-	-	0	0		
22	hnědozem	-	-	-	-	řepa list	A22	mokro	8	129,24	24,26	-	-	-	-	-	-	0	0		
23	hnědozem	-	-	-	-	řepa list	A23	mokro	9	140,91	26,48	-	-	-	-	-	-	0	0		
24	hnědozem	-	-	-	-	řepa list	A24	mokro	9	144,62	28,09	-	-	-	-	-	-	0	0		
25	hnědozem	2,79	6,20	0,89	5,62	ředkvička	B1	normál	5	72,90	11,69	840	95	31	3	1645	175	16,7	105	5,03E-02	2,91E-04
26	hnědozem	2,78	6,19	0,89	5,61	ředkvička	B2	normál	5	56,50	8,35	837	114	26	3	1556	201	16,6	105	5,01E-02	2,46E-04
27	hnědozem	2,78	6,18	0,88	5,60	ředkvička	B3	normál	5	78,30	13,98	1165	128	52	4	1436	148	16,6	105	6,99E-02	4,92E-04
28	hnědozem	2,78	6,19	0,89	5,61	ředkvička	B4	normál	5	61,70	10,62	1395	185	85	8	1632	200	16,6	105	8,36E-02	8,07E-04
29	hnědozem	2,78	6,18	0,89	5,60	ředkvička	B5	normál	5	63,30	10,54	1090	140	41	4	1690	201	16,6	105	6,53E-02	3,86E-04
30	hnědozem	2,77	6,16	0,88	5,58	ředkvička	B6	normál	5	74,40	12,04	1140	156	29	3	1573	197	16,6	105	6,86E-02	2,73E-04
31	hnědozem	2,78	6,18	0,89	5,60	ředkvička	B7	normál	5	75,70	12,09	877	103	38	3	1823	197	16,6	105	5,26E-02	3,58E-04
32	hnědozem	2,79	6,20	0,89	5,62	ředkvička	B8	normál	5	79,10	11,81	873	109	45	4	1540	178	16,7	105	5,22E-02	4,23E-04
33	hnědozem	2,78	6,19	0,89	5,61	ředkvička	B9	normál	5	61,80	10,64	1130	132	46	4	1672	181	16,7	105	6,76E-02	4,34E-04
34	hnědozem	2,79	6,22	0,89	5,64	řepa bulva	B10	normál	7	64,70	14,26	227	28	41	4	393	59	16,7	106	1,36E-02	3,86E-04
35	hnědozem	2,80	6,23	0,89	5,65	řepa bulva	B11	normál	7	45,44	10,10	129	21	33	4	504	77	16,8	106	7,66E-03	3,14E-04
36	hnědozem	2,79	6,21	0,89	5,63	řepa bulva	B12	normál	7	48,37	10,80	261	40	44	5	436	76	16,7	106	1,56E-02	4,19E-04
37	hnědozem	2,78	6,19	0,89	5,61	řepa bulva	B13	normál	7	56,76	12,22	128	19	14	2	494	68	16,6	105	7,70E-03	1,35E-04
38	hnědozem	2,78	6,19	0,89	5,61	řepa bulva	B14	normál	7	46,49	10,23	257	40	40	4	475	71	16,6	105	1,54E-02	3,79E-04
39	hnědozem	2,77	6,17	0,88	5,59	řepa bulva	B15	normál	7	52,96	11,35	210	34	26	3	470	79	16,6	105	1,26E-02	2,51E-04
40	hnědozem	2,79	6,20	0,89	5,62	řepa bulva	B16	normál	7	52,80	11,67	211	33	34	4	407	68	16,7	105	1,26E-02	3,17E-04
41	hnědozem	2,78	6,18	0,89	5,60	řepa bulva	B17	normál	7	48,30	11,14	225	38	29	3	354	57	16,6	105	1,35E-02	2,77E-04
42	hnědozem	2,78	6,19	0,89	5,61	řepa bulva	B18	normál	8	45,01	10,41	182	30	27	3	510	77	16,6	105	1,09E-02	2,52E-04
34	hnědozem	2,79	6,22	0,89	5,64	řepa list	B10	normál	7	91,52	15,86	292	32	78	6	2093	200	16,7	106	1,74E-02	7,30E-04
35	hnědozem	2,80	6,23	0,89	5,65	řepa list	B11	normál	7	79,28	15,00	165	18	54	4	1806	176	16,8	106	9,80E-03	5,09E-04

36	hnědozem	2,79	6,21	0,89	5,63	řepa list	B12	normál	7	80,60	15,17	254	31	68	6	1948	213	16,7	106	1,51E-02	6,40E-04
37	hnědozem	2,78	6,19	0,89	5,61	řepa list	B13	normál	7	84,44	14,49	226	24	51	4	2163	201	16,6	105	1,36E-02	4,82E-04
38	hnědozem	2,78	6,19	0,89	5,61	řepa list	B14	normál	7	93,13	15,47	351	37	63	5	2046	190	16,6	105	2,11E-02	5,93E-04
39	hnědozem	2,77	6,17	0,88	5,59	řepa list	B15	normál	7	90,49	14,13	353	43	97	8	2265	247	16,6	105	2,12E-02	9,23E-04
40	hnědozem	2,79	6,20	0,89	5,62	řepa list	B16	normál	7	80,94	13,39	319	37	62	5	2088	216	16,7	105	1,91E-02	5,87E-04
41	hnědozem	2,78	6,18	0,89	5,60	řepa list	B17	normál	7	99,10	16,13	321	32	94	6	2116	184	16,6	105	1,92E-02	8,92E-04
42	hnědozem	2,78	6,19	0,89	5,61	řepa list	B18	normál	8	94,80	16,80	277	28	52	4	1896	168	16,6	105	1,66E-02	4,92E-04
43	hnědozem	-	-	-	-	ředkvička	B19	normál	5	68,70	11,89	-	-	-	-	-	-	0	0		
44	hnědozem	-	-	-	-	ředkvička	B20	normál	5	62,10	10,17	-	-	-	-	-	-	0	0		
45	hnědozem	-	-	-	-	ředkvička	B21	normál	5	62,40	11,99	-	-	-	-	-	-	0	0		
46	hnědozem	-	-	-	-	řepa bulva	B22	normál	7	37,99	8,54	-	-	-	-	-	-	0	0		
47	hnědozem	-	-	-	-	řepa bulva	B23	normál	8	45,20	10,45	-	-	-	-	-	-	0	0		
48	hnědozem	-	-	-	-	řepa bulva	B24	normál	8	46,75	10,58	-	-	-	-	-	-	0	0		
46	hnědozem	-	-	-	-	řepa list	B22	normál	7	86,54	13,42	-	-	-	-	-	-	0	0		
47	hnědozem	-	-	-	-	řepa list	B23	normál	8	100,57	17,26	-	-	-	-	-	-	0	0		
48	hnědozem	-	-	-	-	řepa list	B24	normál	8	95,48	15,40	-	-	-	-	-	-	0	0		
49	hnědozem	2,77	6,15	0,88	5,58	ředkvička	C1	sucho	1	3,56	0,85	656	23	32	27	677	247	16,5	105	3,95E-02	3,06E-04
50	hnědozem	2,77	6,17	0,88	5,60	ředkvička	C2	sucho	1	3,34	1,07	487	21	43	36	1214	256	16,6	105	2,92E-02	4,08E-04
51	hnědozem	2,77	6,16	0,88	5,58	ředkvička	C3	sucho	1	5,61	1,25	503	18	21	2	961	80	16,6	105	3,02E-02	1,98E-04
52	hnědozem	2,77	6,17	0,88	5,60	ředkvička	C4	sucho	2	8,57	2,24	804	29	39	2	1248	114	16,6	105	4,83E-02	3,69E-04
53	hnědozem	2,77	6,17	0,88	5,59	ředkvička	C5	sucho	3	15,36	3,57	241	8	30	1	1257	78	16,6	105	1,45E-02	2,85E-04
54	hnědozem	2,77	6,16	0,88	5,59	ředkvička	C6	sucho	3	14,84	3,90	309	11	28	1	1335	85	16,6	105	1,86E-02	2,70E-04
55	hnědozem	2,78	6,19	0,89	5,61	ředkvička	C7	sucho	3	12,70	3,24	349	13	11	1	1139	76	16,7	105	2,09E-02	1,04E-04
56	hnědozem	2,77	6,15	0,88	5,58	ředkvička	C8	sucho	1	4,73	1,43	687	27	128	5	1096	159	16,5	105	4,14E-02	1,22E-03

57	hnědozem	2,79	6,20	0,89	5,62	ředkvička	C9	sucho	3	15,46	4,01	258	10	13	1	1168	78	16,7	105	1,54E-02	1,24E-04
58	hnědozem	2,82	6,27	0,90	5,69	řepa bulva	C10	sucho	3	5,96	1,59	341	14	53	4	558	111	16,9	107	2,02E-02	4,97E-04
59	hnědozem	2,78	6,19	0,89	5,61	řepa bulva	C11	sucho	2	6,36	1,47	168	7	45	2	597	90	16,7	105	1,00E-02	4,22E-04
60	hnědozem	2,78	6,18	0,88	5,60	řepa bulva	C12	sucho	2	3,02	0,88	201	11	28	4	336	204	16,6	105	1,21E-02	2,62E-04
61	hnědozem	2,78	6,19	0,89	5,61	řepa bulva	C13	sucho	1	5,72	1,44	187	9	9	2	652	125	16,6	105	1,12E-02	8,37E-05
62	hnědozem	2,79	6,20	0,89	5,62	řepa bulva	C14	sucho	2	3,77	1,01	283	14	72	4	701	110	16,7	105	1,69E-02	6,81E-04
63	hnědozem	2,78	6,18	0,89	5,60	řepa bulva	C15	sucho	-	nevyrostla							0	0			
64	hnědozem	2,79	6,21	0,89	5,63	řepa bulva	C16	sucho	2	4,80	1,27	268	13	68	4	322	168	16,7	106	1,60E-02	6,37E-04
65	hnědozem	2,77	6,17	0,88	5,59	řepa bulva	C17	sucho	2	4,67	1,25	306	14	92	5	527	75	16,6	105	1,84E-02	8,75E-04
66	hnědozem	2,77	6,17	0,88	5,60	řepa bulva	C18	sucho	2	6,00	1,49	255	12	43	3	1018	165	16,6	105	1,53E-02	4,06E-04
58	hnědozem	2,82	6,27	0,90	5,69	řepa list	C10	sucho	3	20,26	4,31	198	36	38	5	1822	308	16,9	107	1,17E-02	3,56E-04
59	hnědozem	2,78	6,19	0,89	5,61	řepa list	C11	sucho	2	13,18	3,38	161	30	115	14	1403	233	16,7	105	9,66E-03	1,08E-03
60	hnědozem	2,78	6,18	0,88	5,60	řepa list	C12	sucho	2	16,18	3,68	117	23	31	5	1701	303	16,6	105	7,03E-03	2,91E-04
61	hnědozem	2,78	6,19	0,89	5,61	řepa list	C13	sucho	1	12,31	2,29	191	38	30	5	2428	420	16,6	105	1,15E-02	2,86E-04
62	hnědozem	2,79	6,20	0,89	5,62	řepa list	C14	sucho	2	13,05	3,01	185	35	23	4	1405	242	16,7	105	1,11E-02	2,20E-04
63	hnědozem	2,78	6,18	0,89	5,60	řepa list	C15	sucho	-	nevyrostla							0	0			
64	hnědozem	2,79	6,21	0,89	5,63	řepa list	C16	sucho	2	15,10	3,47	150	30	92	13	1643	292	16,7	106	8,94E-03	8,66E-04
65	hnědozem	2,77	6,17	0,88	5,59	řepa list	C17	sucho	2	18,94	3,99	147	28	30	4	1949	321	16,6	105	8,85E-03	2,89E-04
66	hnědozem	2,77	6,17	0,88	5,60	řepa list	C18	sucho	2	18,58	4,46	113	21	30	5	1560	270	16,6	105	6,81E-03	2,86E-04
67	hnědozem	-	-	-	-	ředkvička	C19	sucho	3	12,00	2,66	-	-	-	-	-	-	0	0		
68	hnědozem	-	-	-	-	ředkvička	C20	sucho	2	7,75	1,97	-	-	-	-	-	-	0	0		
69	hnědozem	-	-	-	-	ředkvička	C21	sucho	3	10,70	2,52	-	-	-	-	-	-	0	0		
70	hnědozem	-	-	-	-	řepa bulva	C22	sucho	3	6,21	1,46	-	-	-	-	-	-	0	0		
71	hnědozem	-	-	-	-	řepa bulva	C23	sucho	3	6,21	1,62	-	-	-	-	-	-	0	0		

72	hnědozem	-	-	-	-	řepa bulva	C24	sucho	3	7,53	1,80	-	-	-	-	-	-	0	0		
70	hnědozem	-	-	-	-	řepa list	C22	sucho	3	20,82	4,76	-	-	-	-	-	-	0	0		
71	hnědozem	-	-	-	-	řepa list	C23	sucho	3	24,81	5,01	-	-	-	-	-	-	0	0		
72	hnědozem	-	-	-	-	řepa list	C24	sucho	3	17,65	4,22	-	-	-	-	-	-	0	0		
73	hnědozem	2,79	6,22	0,89	5,64	ředkvička	D1	střídavá	8	31,00	4,94	760	137	46	6	1799	296	16,7	106	4,53E-02	4,31E-04
74	hnědozem	2,78	6,19	0,89	5,61	ředkvička	D2	střídavá	8	49,50	7,51	597	91	37	4	1772	242	16,6	105	3,57E-02	3,49E-04
75	hnědozem	2,79	6,20	0,89	5,62	ředkvička	D3	střídavá	8	40,20	6,28	941	144	15	2	1726	236	16,7	105	5,63E-02	1,44E-04
76	hnědozem	2,80	6,23	0,89	5,64	ředkvička	D4	střídavá	8	59,10	7,78	845	121	27	3	1920	244	16,7	106	5,03E-02	2,52E-04
77	hnědozem	2,80	6,22	0,89	5,64	ředkvička	D5	střídavá	8	72,40	9,89	874	116	28	3	1780	218	16,7	106	5,21E-02	2,61E-04
78	hnědozem	2,79	6,21	0,89	5,63	ředkvička	D6	střídavá	8	49,40	6,22	608	95	16	3	1877	274	16,7	106	3,63E-02	1,50E-04
79	hnědozem	2,80	6,24	0,89	5,65	ředkvička	D7	střídavá	8	59,00	7,56	617	96	27	3	1745	252	16,8	106	3,67E-02	2,50E-04
80	hnědozem	2,78	6,18	0,89	5,60	ředkvička	D8	střídavá	8	32,60	6,03	580	103	22	3	1862	298	16,6	105	3,48E-02	2,05E-04
81	hnědozem	2,77	6,16	0,88	5,59	ředkvička	D9	střídavá	8	52,70	7,98	438	75	22	3	1816	285	16,6	105	2,63E-02	2,11E-04
82	hnědozem	2,80	6,22	0,89	5,64	řepa bulva	D10	střídavá	6	29,45	6,41	96	4	13	1	249	18	16,7	106	5,73E-03	1,21E-04
83	hnědozem	2,78	6,19	0,89	5,61	řepa bulva	D11	střídavá	6	20,89	4,30	71	3	16	1	304	27	16,7	105	4,24E-03	1,54E-04
84	hnědozem	2,79	6,21	0,89	5,63	řepa bulva	D12	střídavá	7	35,79	8,31	91	4	41	2	281	28	16,7	105	5,46E-03	3,87E-04
85	hnědozem	2,77	6,17	0,88	5,59	řepa bulva	D13	střídavá	7	32,57	7,16	89	3	58	2	220	21	16,6	105	5,34E-03	5,53E-04
86	hnědozem	2,78	6,19	0,89	5,61	řepa bulva	D14	střídavá	7	36,58	7,75	137	5	29	1	299	23	16,6	105	8,21E-03	2,70E-04
87	hnědozem	2,78	6,19	0,89	5,61	řepa bulva	D15	střídavá	6	34,24	7,10	88	3	38	1	374	32	16,7	105	5,27E-03	3,55E-04
88	hnědozem	2,78	6,19	0,89	5,61	řepa bulva	D16	střídavá	8	47,52	9,68	79	3	52	2	503	44	16,7	105	4,72E-03	4,90E-04
89	hnědozem	2,79	6,20	0,89	5,62	řepa bulva	D17	střídavá	7	49,49	9,91	117	5	79	2	352	28	16,7	105	6,97E-03	7,42E-04
90	hnědozem	2,81	6,26	0,90	5,67	řepa bulva	D18	střídavá	7	34,99	8,07	109	5	42	2	367	47	16,8	106	6,47E-03	3,93E-04
82	hnědozem	2,80	6,22	0,89	5,64	řepa list	D10	střídavá	6	87,62	15,40	145	15	60	4	1860	165	16,7	106	8,61E-03	5,69E-04
83	hnědozem	2,78	6,19	0,89	5,61	řepa list	D11	střídavá	6	67,78	10,60	174	21	101	8	2368	247	16,7	105	1,04E-02	9,51E-04



84	hnědozem	2,79	6,21	0,89	5,63	řepa list	D12	střídavá	7	78,36	14,61	169	20	71	6	2184	221	16,7	105	1,01E-02	6,69E-04
85	hnědozem	2,77	6,17	0,88	5,59	řepa list	D13	střídavá	7	90,46	15,35	164	18	60	5	2265	220	16,6	105	9,88E-03	5,69E-04
86	hnědozem	2,78	6,19	0,89	5,61	řepa list	D14	střídavá	7	87,43	14,15	195	24	66	6	1894	202	16,6	105	1,17E-02	6,28E-04
87	hnědozem	2,78	6,19	0,89	5,61	řepa list	D15	střídavá	6	66,99	10,98	180	25	42	4	2506	309	16,7	105	1,08E-02	3,95E-04
88	hnědozem	2,78	6,19	0,89	5,61	řepa list	D16	střídavá	8	62,02	11,55	118	15	46	4	2274	251	16,7	105	7,08E-03	4,39E-04
89	hnědozem	2,79	6,20	0,89	5,62	řepa list	D17	střídavá	7	87,24	14,24	118	14	31	3	1427	148	16,7	105	7,02E-03	2,95E-04
90	hnědozem	2,81	6,26	0,90	5,67	řepa list	D18	střídavá	7	71,00	9,64	142	21	36	4	1802	232	16,8	106	8,44E-03	3,35E-04
91	hnědozem	-	-	-	-	ředkvička	D19	střídavá	8	16,20	5,26	-	-	-	-	-	-	0	0		
92	hnědozem	-	-	-	-	ředkvička	D20	střídavá	8	33,60	5,90	-	-	-	-	-	-	0	0		
93	hnědozem	-	-	-	-	ředkvička	D21	střídavá	8	54,20	9,12	-	-	-	-	-	-	0	0		
94	hnědozem	-	-	-	-	řepa bulva	D22	střídavá	6	25,69	6,06	-	-	-	-	-	-	0	0		
95	hnědozem	-	-	-	-	řepa bulva	D23	střídavá	7	45,32	10,07	-	-	-	-	-	-	0	0		
96	hnědozem	-	-	-	-	řepa bulva	D24	střídavá	6	29,18	5,68	-	-	-	-	-	-	0	0		
94	hnědozem	-	-	-	-	řepa list	D22	střídavá	6	56,06	10,40	-	-	-	-	-	-	0	0		
95	hnědozem	-	-	-	-	řepa list	D23	střídavá	7	74,50	13,02	-	-	-	-	-	-	0	0		
96	hnědozem	-	-	-	-	řepa list	D24	střídavá	6	62,75	12,90	-	-	-	-	-	-	0	0		

## 11 Odkazovaný seznam příloh

Příloha 1: Kontaminace experimentálních nádob .....	57
Příloha 2: Podrobný rozpis zálivek ve sklenících.....	59
Příloha 3: Souhrnné výstupy z měření .....	59

### 11.1 Zdroje příloh

Příloha 1:	Kontaminace experimentálních nádob (SÚRO, Společná databáze řešitelů projektu)
Příloha 2:	Podrobný rozpis zálivek ve sklenících (SÚRO, Společná databáze řešitelů projektu)
Příloha 3:	Souhrnné výstupy z měření (SÚRO, Společná databáze řešitelů projektu)