

# Tvorba aplikace umožňující výpočet efektivní dávky z výstupních souborů softwaru Flow123D

## Bakalářská práce

Studijní program: B2646 – Informační technologie  
Studijní obor: 1802T007 – Informační technologie  
Autor práce: Vít Faragula  
Vedoucí práce: Ing. Josef Chudoba, Ph.D.



## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Vít Faragula**  
Osobní číslo: **M13000092**  
Studijní program: **B2646 Informační technologie**  
Studijní obor: **Informační technologie**  
Název tématu: **Tvorba aplikace umožňující výpočet efektivní dávky z výstupních souborů softwaru Flow123D**  
Zadávající katedra: **Ústav nových technologií a aplikované informatiky**

### Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Seznamte se s problematikou ukládání vyhořelého jaderného paliva v hlubinném úložišti.
2. Popište strukturu výstupních souborů ze SW Flow123D.
3. Matematicky popište problematiku výpočtu efektivní dávky (ingescí vody, inhalací vzduchu, ingescí masa nebo zeleniny) a naprogramujte úlohu.
4. Vytvořte grafické rozhraní SW včetně grafických výstupů.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Josef Chudoba, Ph.D.**  
Ústav nových technologií a aplikované informatiky

Konzultant bakalářské práce: **Ing. Jiří Landa, Ph.D.**  
Ústav nových technologií a aplikované informatiky

Datum zadání bakalářské práce: **20. září 2016**

Termín odevzdání bakalářské práce: **15. května 2017**

  
prof. Ing. Zdeněk Ptáček, Ph.D.  
děkan



  
prof. Dr. Ing. Jirí Maryška, CSc.  
vedoucí ústavu

V Liberci dne 20. října 2016



## Prohlášení

Byl(a) jsem seznámen(a) s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, zejména § 60– školní dílo.

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

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše. Bakalářskou práci jsem vypracoval(a) samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím bakalářské práce a konzultantem.

Současně čestně prohlašuji, že tištěná verze práce se shoduje s elektronickou verzí, vloženou do IS STAG.

Datum: 15.5.2017

Podpis: Vít Konečný



## **Poděkování**

Na tomto místě bych rád poděkoval především svému vedoucímu bakalářské práce Ing. Josefu Chudobovi, PhD. Za ochotu s jakou mi zodpovídal všechny mé dotazy a byl mi k dispozici vždy, když jsem potřeboval.

Dále bych také poděkoval konzultantovi bakalářské práce, že se se mnou podělil o své zkušenosti v oblasti ukládání hlubinného radioaktivního odpadu.



## Abstrakt

Tato bakalářská práce se zabývá tvorbou programu pro výpočet příkonu efektivní dávky z výstupních dat programu Flow123D. SW Flow123D je využíván pro výpočet proudění podzemní vody v puklinovém prostředí a transportu rozpuštěných látek.

Práce se zabývá problematikou bezpečnosti hlubinného úložiště radioaktivního odpadu. Program má z výstupních dat programu Flow123D vypočítat příkon efektivní dávky, kterou přijme jedinec ingesční cestou při konzumaci kontaminované vody. Je zde popsán postup od zpracování vstupních dat až po výslednou grafickou vizualizaci pomocí grafů. Práce zároveň řeší problém chybných uživatelských vstupů. Součástí práce je ověření výpočtu.

Výsledný program je vytvořen v programovacím jazyce Python za použití knihoven TkInter (uživatelské rozhraní aplikace) a matplotlib (vizualizace výsledků).

Klíčová slova:

Hlubinné úložiště, Flow123D, Python, příkon efektivní dávky, radioaktivní odpad



## **Abstrakt**

This thesis describes a creation of a software for calculating effective dose rate from output data acquired Flow123D programme. The Flow123D programme is being used for calculating the flow of ground water and transporting dissolved substances.

The thesis deals with an issue of safety of deep geological depositories for radioactive waste. The programme calculates the effective dose rate from output data generated by Flow123D. The effective dose rate in this thesis is considered as an amount of contaminated water, which is intaken by an individual. The procedure is described from processing input data to the final graphic visualizations and graphs. Issues of mistaken users inputs are also discussed in the thesis. Verification of the final results is included.

The final programme is created in the Python programming language while using the TkInter and matplotlib libraries.

Key words:

Deep geological repository, Flow123D, Python, effective dose rate, Radioactive waste



## Obsah

Prohlášení.....	3
Poděkování.....	4
Abstrakt .....	5
1 Úvod .....	9
2 Ukládání vyhořelého jaderného paliva v hlubinném úložišti .....	10
2.1 Druhy radioaktivního odpadu .....	10
2.2 Vznik radioaktivních odpadů .....	10
3 Cíl práce.....	14
3.1 Podrobný popis cíle práce .....	14
3.2 Návrh výpočtu příkonu efektivní dávky .....	14
4 Vstupní data .....	16
4.1 SW Flow123d .....	16
4.2 Element .....	17
4.3 Vstupní soubor .....	17
5 Popis programového řešení práce .....	19
5.1 Programovací jazyk Python .....	19
5.2 Použité knihovny k jazyku Python .....	19
5.3 Třída IzotopData .....	20
5.4 Načítání dat ze souboru.....	20
5.5 Logika programu.....	21
5.6 GUI a vstupy od uživatele .....	22
6 Manuál pro uživatele, jak používat program .....	27
6.1 Soubory k programu .....	27
6.2 Práce s programem.....	28
7 Důkaz výpočtu efektivní dávky .....	31
7.1 Zvolený postup .....	31
7.2 Důkaz správnosti výpočtu.....	31
8 Závěr.....	34
Seznam použité literatury .....	35



## Seznam ilustrací

Obrázek 1: Zkoumané lokality pro umístění hlubinného úložiště v ČR[1]	12
Obrázek 2: Model plánovaného hlubinného úložiště [1]	13
Obrázek 3: Blokový diagram průběhu výpočtu pomocí SW Flow123D a následujících	14
Obrázek 4: Výpočetní síť se zobrazením koncentrací vytvořená z výstupního souboru pomocí programu Gmsh	16
Obrázek 5: Výsledný výstup z programu, efektivní dávka v závislosti na čase	22
Obrázek 6: Zobrazení základních informací o zpracovávaném souboru	24
Obrázek 7: Ukázka funkce pro nevalidní vstup v poli hodnoty konverzních faktorů	25
Obrázek 8: Příklad obsahu logovacího souboru	26
Obrázek 9: Seznam elementů, které se mají vykreslit	27
Obrázek 10: Obsah souboru konverzniFaktory.txt ,název izotopu (mezera) hodnota konverzního faktoru	27
Obrázek 11: Ukázka programu	28
Obrázek 12: Takto program označí nevalidní vstup v poli určeném pro hodnoty konverzního faktoru izotopu	29
Obrázek 13: Výsledný graf pro izotop A_conc elementu 100	31
Obrázek 14: Výsledný graf pro izotop B_conc elementu 100	32
Obrázek 15: Výsledný graf součtového grafy pro izotopy A_conc a B_conc elementu 100	32

## Seznam veličin

značka	název	fyzikální rozměr	jednotky
$D_j$	příkon efektivní dávky radionuklidu	$L^2 \cdot T^{-3}$	$Sv \cdot y^{-1}$
$a_j$	objemová aktivita radionuklidu j	$T^{-1} \cdot L^{-3}$	$Bq \cdot m^{-3}$
$I$	ingesce - roční spotřeba jedince	$L^3 \cdot T^{-1}$	$m^3 \cdot y^{-1}$
$h_j$	konverzní faktor příjmu pro ingesci vody	$L^2 \cdot T^{-1}$	$Sv \cdot Bq^{-1}$





## Úvod

Předmětem této bakalářské práce, je vytvoření programu, který vypočítá příkon efektivní dávky  $D_j$  a jeho šíření do okolí v dané oblasti. Vstupním souborem do SW je soubor určující rozložení koncentrace látky na elementech výpočetní sítě z programu Flow123D. Součástí práce je také seznámení se s výstupním souborem Flow123D. Práce zároveň probere problematiku výpočtu příkonu efektivní dávky ingescí vody. Výstupem programu je grafické znázornění příkonu efektivní dávky na čase. Program má uživatelské rozhraní a ověřuje správnost uživatelsky zadávaných vstupů.

Technická univerzita v Liberci se podílí na zakázkách pro SURAO ve výběru vhodné lokality hlubinného úložiště radioaktivního odpadu. Výsledný program přispěje dílčí částí k analyzování uvažovaných lokalit. Předběžný termín výstavby hlubinného úložiště na našem území se uvažuje kolem roku 2050. Problematikou hlubinných úložišť se zabývá kapitola 2.



## 2 Ukládání vyhořelého jaderného paliva v hlubinném úložišti

### 2.1 Druhy radioaktivního odpadu

Radioaktivní odpad můžeme rozdělit podle aktivity na dva druhy. *Nízko- a středněaktivní odpady* a *vysokoaktivní odpady*. Liší se zejména dobou, po kterou je nutno je izolovat od biosféry. Toho je dosaženo v úložištích, kde se nachází soustava na sobě nezávislých a vzájemně se doplňujících bariér bránící uvolnění nebezpečných látek do okolí. Radioaktivní odpady je třeba udržet v izolaci, dokud jejich aktivita neklesne v důsledku samovolného rozpadu na úroveň vylučující ohrožení jakékoliv složky biosféry.

U nízko- a středněaktivních odpadů je doba, po kterou je nutná izolace radioaktivních odpadů až pět set let[1]. Tyto odpady je možné ukládat v povrchových nebo přípovrchových úložištích, jakými jsou i úložiště Dukovany, Richard a Bratrství. Před uložením je nutné odpady zpracovat a upravit do formy vhodné k uložení. Jedná se zejména o institucionální odpady z oblastí lidské činnosti.

Vysokoaktivní odpady je však třeba izolovat od životního prostředí po dobu nesrovnatelně delší, než umožňuje izolace v povrchových úložištích, řádově desetitisíce let. Vyhořelé jaderné palivo je v současné době bezpečně skladováno v tzv. meziskladech v areálech jaderných elektráren. Vzhledem k tomu, že vyhořelé palivo obsahuje izotopy schopné uvolnit ještě značné množství energie, může se v budoucnu stát cennou surovinou[1].

### 2.2 Vznik radioaktivních odpadů

V České republice vzniká radioaktivní odpad v jaderné energetice, v průmyslové výrobě, zdravotnictví a výzkumu. Množství radioaktivního odpadu a vyhořelého jaderného paliva je v porovnání s jinými odpady pocházející z lidské činnosti poměrně malý – pouze setiny procent z hmotnosti všech nebezpečných odpadů.[1] Česká republika vyprodukuje 450 tun nízko- a středněaktivních odpadů za kalendářní rok. Do tohoto množství spadají nejen odpady z provozu jaderných elektráren, ale také tzv. institucionální odpady z dalších oblastí lidské činnosti. České jaderné elektrárny Temelín a Dukovany vyprodukují ročně necelých 100 tun vyhořelého jaderného paliva, které se řadí do vysokoaktivních odpadů – ročně je to v přepočtu na jednoho obyvatele necelých 10 gramů.



Správa úložišť radioaktivních odpadů dosud eviduje více než 140 původců radioaktivních odpadů v České republice. Ne všichni původci jsou oprávněni zpracovávat své odpady do formy vhodné k likvidaci a předat je SÚRAO ke konečné likvidaci. Zde jsou vypsány nejvýznamnější původci vysokoaktivních odpadů u nás:

ČEZ, a.s. – roční produkce odpadů okolo 2000 obalových souborů

ÚJV Řež, a.s. – roční produkce v řádu stovek obalových souborů

UJP Praha, a.s. – roční produkce v řádu desítek obalových souborů

VÚHŽ, a.s. – roční produkce v řádu desítek obalových souborů

ZAM-servis, s.r.o. – roční produkce v řádu jednotek obalových souborů

VF, a.s. – roční produkce v řádu jednotek obalových souborů

## **2.3 Přípravy pro budování úložiště**

### **2.3.1 Situace u nás**

V současné době Česká republika nemá k dispozici na svém území žádné úložiště, kde by mohla trvale skladovat vysokoaktivní odpady. Jako stát, který vyrábí elektrickou energii v jaderných elektrárnách, je povinen zneškodnit všechny odpady a zbytky, které s tím souvisí. Každý rok vznikne u nás 80 až 100 tun vysokoaktivního odpadu. O vyhořelém jaderném palivu a vysokoaktivních odpadech se až do 80. let 20. století soudilo, že jejich trvalé odstraňování zatím není zapotřebí.[1] Hlavní důvody tohoto úsudku bylo například to, že materiálů není velké množství, tyto materiály lze skladovat v mokřích i suchých skladech a v neposlední řadě i nedostatek finančních prostředků, potřebných k vybudování ochranného systému. Vyhořelé jaderné palivo lze za určitých podmínek přepracovat a znovu použít v nových typech reaktorů[1].

### **2.3.2 Hledání způsobu zneškodňování látek**

Návrhů, jak bezpečně likvidovat vysokoaktivní odpad, bylo v minulosti předneseno mnoho. Ukládání do moře či na mořské dno u nás ze zřejmých důvodů postrádá smysl, navíc tato varianta naráží na zákaz využívání moří a oceánu k ukládání radioaktivního odpadu. Ukládání materiálů do permafrostu do hloubky 5-8 km pod zemský povrch je velmi nejisté z důvodu možného posunu zemských desek, navíc toto řešení je velmi nákladné. [1]

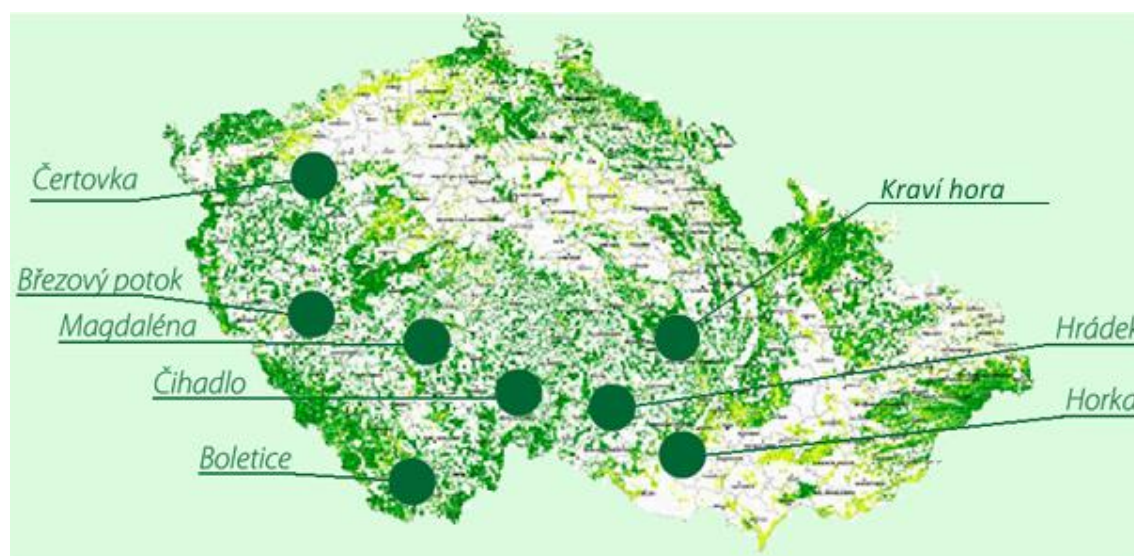


Nejvhodnějším způsobem je uložení vyhořelého jaderného paliva a vysokoaktivního odpadu do horninových hlubinných úložišť. Toto řešení vyhovuje po stránce bezpečnosti, ekonomické a technické proveditelnosti. Rozbory prokazují, že horninové formace jsou schopny zachovat celistvost po dobu statisíců až milionů let[1]. Většina států již shromažďuje finanční prostředky na dlouhodobé financování výstavby a na provoz úložiště.

### 2.3.3 Lokalita pro hlubinné úložiště v ČR

Vyhledávání vhodné lokality pro vybudování hlubinného úložiště započalo ihned po uvedení do provozu jednoho z prvních bloků Jaderné elektrárny Dukovany, tj. v roce 1985. Zvolení vhodné lokality je pro výstavbu hlubinného úložiště klíčový. Je třeba, aby lokalita splňovala nejen požadavky na vlastnosti horniny, ale také třeba přijatelnost lokality veřejností, technická možnost vybudování povrchového areálu úložiště a v neposlední řadě také dopravní dostupnost.

V současné době Správa úložišť radioaktivních odpadů přezkoumává vytipovaných sedm lokalit pro umístění hlubinného úložiště, zároveň také ověřuje další alternativy.



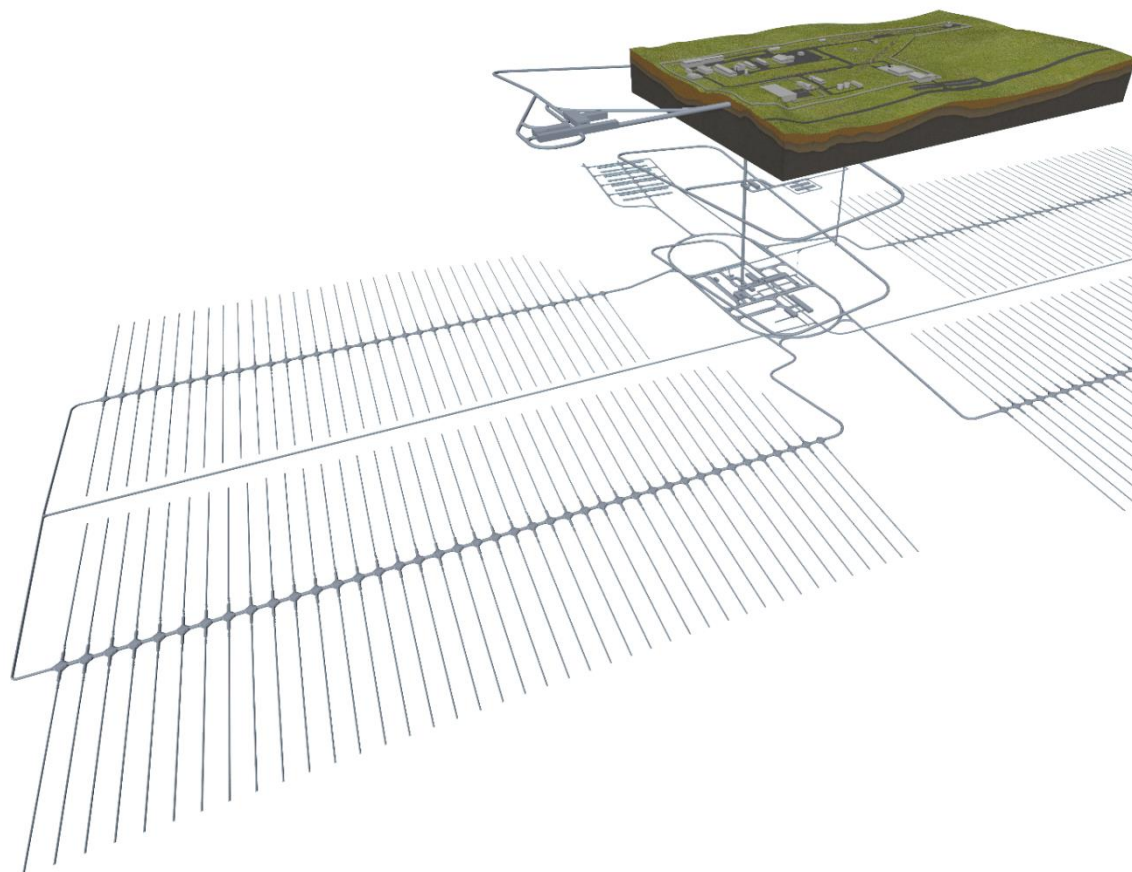
Obrázek 1: Zkoumané lokality pro umístění hlubinného úložiště v ČR[1]

## 2.4 Český koncept úložiště

Hlubinné úložiště je určeno k bezpečnému uložení vyhořelého jaderného paliva a vysokoaktivních odpadů, které není možno uložit do přípovrchových úložišť. Český koncept vychází ze skandinávského konceptu multibarierového ukládání KBS-3 s horizontální orientací úložných míst. Vyhořelé jaderné palivo a vysokoaktivní odpad



bude uložen v tzv. superkontejneru v hloubce minimálně 500 metrů pod povrchem ve stabilní struktuře krystalické horniny a bude utěsněn vhodnými materiály. [6]



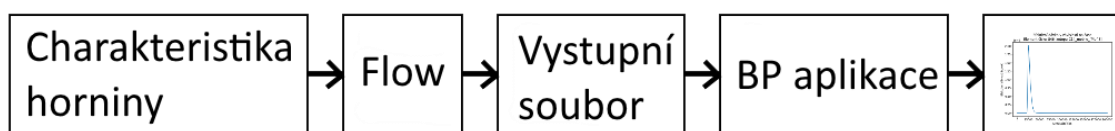
Obrázek 2: Model plánovaného hlubinného úložiště [1]



### 3 Cíl práce

#### 3.1 Podrobný popis cíle práce

Účelem této práce je navrhnout a následně také vytvořit program, který vypočítá příkon efektivní dávky z rozložení koncentrací v oblasti. Vstupním souborem do SW je výpočetní síť oblasti reprezentovaná výstupním souborem z programu Flow123D.



Obrázek 3: Blokový diagram průběhu výpočtu pomocí SW Flow123D a následujících

Je třeba zaznamenat šíření efektivní dávky v čase, proto je nejvhodnějším výstupem graf. Výsledný program by měl být schopný ze vstupního souboru načíst koncentrace izotopů, vypočítat příkon efektivní dávky z ingesce vody ke každému elementu a následně pro každý element vytvořit příslušný graf. Program by dále měl umožnit vytvořit výstupní grafy pouze pro elementy zadané uživatelem.

#### 3.2 Návrh výpočtu příkonu efektivní dávky

Při výpočtu výsledného příkonu efektivní dávky je třeba se řídit tzv. biosférickým modelem. [2] Tento model popisuje základní cesty prostupu kontaminace od zdroje do okolního ekosystému a následnou expozici jedinců kritické skupiny obyvatelstva a složek životního prostředí. Způsob kontaminace zde můžeme rozdělit do třech základních skupin v závislosti na cestě příjmu kontaminace:

- Inhalační cesta
- Ingesční cesta
- Cesta zevního ozáření

Tato práce se zabývá pouze příjmem kontaminované vody ingesční cestou. Výsledkem totiž bude grafem zobrazený příkon efektivní dávky  $D_j$  v závislosti na čase. Výsledek má zejména zobrazit poměr času a míru kontaminace, pro které poslouží jen uvažování ingesční cesty příjmu kontaminované látky. Výpočet efektivní dávky pro určitý izotop  $j$  je uvažován takto (1):

$$D_j \left[ \frac{Sv}{rok} \right] = a_j \left[ \frac{Bq}{m^3} \right] * h_j \left[ \frac{Sv}{Bq} \right] * l \left[ \frac{m^3}{rok} \right] \quad (1)$$



- $a_j$  je hodnota koncentrace, kterou vyčte program ze vstupního souboru pro jednotlivé simulační časy
- $h_j$  je hodnota konverzního faktoru je daný pro každý izotop uveden ve vyhlášce Státního úřadu pro jadernou bezpečnost 307/2002 Sb., jedná se o tabulkové hodnoty uvedené v příloze 1.
- $l$  – roční spotřeba látky jedincem pro výpočty v této práci uvažují hodnotu  $1 \left[ \frac{m^3}{rok} \right]$

Výpočet tedy v této práci reprezentuje množství kontaminace dospělého jedince při přijmutí  $1 \text{ m}^3$  vody ingesční cestou za jeden rok. Což odpovídá vypití přibližně 3 l vody denně.

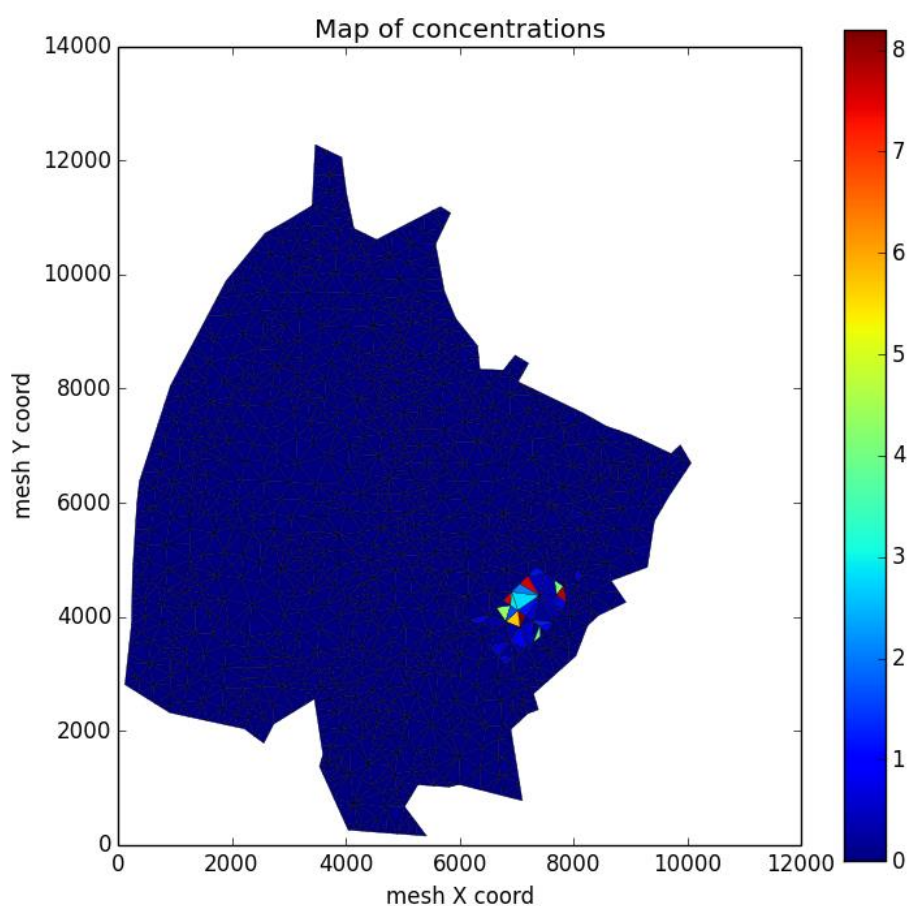




## 4 Vstupní data

### 4.1 SW Flow123d

Program Flow123d vznikl jako projekt inženýrů a modelářů z Ústavu nových technologií a aplikované informatiky (NTI). Program slouží k simulaci proudění podzemní vody a transportu rozpuštěných látek v závislosti na simulačním čase v heterogenním porézním a puklinovém prostředí. SW je určen především pro simulaci podzemních procesů, například v žulovém masivu (HÚ v ČR je plánováno v granitech). Program dokáže jednoznačně popsat procesy v kombinacích 3D, 2D nebo 1D prostředí.[4]



Obrázek 4: Výpočetní síť se zobrazením koncentrací vytvořená z výstupního souboru pomocí programu Gmsh

Výstupem z tohoto programu je koncentrace rozpuštěné látky na elementech výpočetní sítě složené ze 3D čtyřstěnnů, 2D trojúhelníků a 1D úseček. 3D elementy představují horninu, 2D síť puklin a u 1D jejich vzájemný průnik. Koncentrace látky je





uložena do textového souboru, ve kterém jsou výsledky v různých časových iteracích. Tento výstup je potom vstupem do programu, jenž řeší tato práce.

## 4.2 Element

Výsledný příkon efektivní dávky  $D_j$  je vztahován na tzv. element. V této práci znamená slovo element výřez ze zadané oblasti. Z matematického hlediska je vhodné rozdělit si oblast na menší díly, a pro ně počítat výsledný příkon efektivní dávky. Elementy a jejich velikost byly vytvořeny programem GMSH. Takto upravené data byla použita jako vstupní data do programu Flow123D.

## 4.3 Vstupní soubor

Vstupem do programu je textový soubor *soubor.msh*, což je výsledek podzemního transportu látek, jedním z výstupů programu FLOW123d. Zde jsou uloženy:

- souřadnice jednotlivých nodů,
- skupiny nodů tvořící jeden element
- koncentrace daného izotopu v každém jednom elementu v závislosti na čase.

Každá z těchto částí souboru (seznam nodů, seznam elementů, koncentrace v závislosti na čase) je v textovém souboru zahájena počáteční a ukončena koncovou hlavičkou, což zjednodušuje práci s tímto souborem. Pro účely této bakalářské práce, pracuji pouze s tou částí souboru, která reprezentuje koncentraci. Jeden segment koncentrací může vypadat následovně:

```
$ElementData - počáteční označení segmentu souboru popisující koncentrace
1
"A_conc" - název izotopu
1
0.24 -hodnota časové iterace
3
12 - n-tá časová iterace (první časová iterace je 0)
1
1312 -celkový počet elementů
21 7.88 -číslo elementu (mezera) hodnota koncentrace izotopu  $a_j \left[ \frac{Bq}{m^3} \right]$ 
22 12.87
23 14.07
$EndElementData-koncové označení segmentu souboru popisující koncentrace
$ElementData - hlavička pro další označení segmentu souboru s koncentracemi
1
```



<i>"B_conc"</i>	-název izotopu
<i>I</i>	
<i>0.24</i>	-hodnota časové iterace (stejný čas), odlišný izotop
...	

Tento segment už se poté opakuje, až do poslední časové iterace posledního izotopu. V hlavičce se mění název izotopu pro různé simulační časy, jimiž transport postupuje.



## 5 Popis programového řešení práce

### 5.1 Programovací jazyk Python

Python je objektově orientovaný, interpretovaný programovací jazyk, někdy označovaný jako skriptovací. Často může být srovnáván s programovacím jazykem Perl nebo Lisp. Python nabízí nástroje vhodné k tvorbě opravdu širokého spektra softwaru. Od jednoduchých skriptů až po komplexní a rozsáhlé aplikace, včetně grafického rozhraní (GUI), které lze ručně vytvářet pomocí knihovny TkInter. Jazyk Python vyniká svojí multiplatformností. Může být používán nejen pod nejrozšířenějšími operačními systémy jako jsou MS Windows, Mac OS X, Linux, ale i na zařízeních Amiga, kapesních počítačích nebo tzv. chytrých telefonech[3].

V roce 1990 jej navrhl Guilbeto van Rossum a nyní je udržován a dále vyvíjen společností Python Software Foundation, která jej vydává pod svobodnou open source licenci, je ho tak možno zdarma používat a šířit a to i pro komerční účely. Charakteristickou vlastností jazyka Python je jeho jednoduchá syntaxe a stručnost kódu oproti ostatním programovacím jazykům. Další význačnou vlastností je potřeba dodržovat odsazování řádků kódu jednotlivých těl cyklů, funkcí atd. Díky těmto skutečnostem je proto kód napsaný v tomto jazyce kratší a přehlednější. [3]

### 5.2 Použití knihovny k jazyku Python

#### 5.2.1 Matplotlib

K výsledné vizualizaci získaných dat program použije externí knihovnu Matplotlib[5]. Je to Python knihovna určená k vytváření dvourozměrných grafů. Knihovna je primárně napsána v čistém Pythonu, využívá ve velkém NumPy a další rozšíření pro co nejlepší interpretaci i rozsáhlých polí. Matplotlib je navržen tak, aby byl schopen vytvořit jednoduché grafy hned po zadání několika málo příkazů, dále nabízí nejrozumnější funkcionalitu a typy grafů. Využívá se zejména v oblasti techniky a přírodních věd. Mezi jeho největší výhody patří:

- open-source, zdarma
- široký výběr uložení výstupu do různých formátů (.jpg, .png, .pdf atd.)
- flexibilita, rychlost



## 5.2.2 TkInter

TkInter je knihovna pro jazyk Python umožňující vytvářet grafické uživatelské rozhraní (GUI). Na vývoji TkInteru pracují vývojáři samotného Pythonu. Díky tomu, že je zahrnut ve standardní knihovně Pythonu je dostupný téměř na jakékoli platformě (Linux, Mac, Windows). Obdobnými možnostmi by bylo zvolit externí knihovny pythonu PyQt nebo WxPython. Pro jednoduché GUI řešeného programu postačí TkInter.

## 5.3 Třída IzotopData

K ukládání všech hodnot získaných ze vstupního souboru program využívá třídu IzotopData. Tato třída obsahuje tyto základní proměnné:

- **nazevIzotopu** - název izotopu, tak je prezentován v hlavičce,
- **slovníkHodnot** - do této proměnné se ukládají koncentrace pro každý element v závislosti na čase, klíčem slovníku je číslo elementu a hodnota je List koncentrací postupně v čase,
- **hranice** - určená minimální hranice, pod kterou „zahazují“ koncentrace (příliš malá čísla nemají pro tento výpočet význam), pro každý izotop se určí jiná hranice v závislosti na nejvyšší hodnotě koncentrace ve slovníkHodnot,
- **konverzniFaktor** - hodnota konverzního faktoru, zadává ji uživatel v GUI  $\left[\frac{Sv}{Bq}\right]$ , hodnoty konverzního faktoru se pohybují kolem  $1e-9$ , v příloze 1 je seznam nejčastějších izotopů z vyhlášky Státního úřadu pro jadernou bezpečnost 307/2002 Sb.

## 5.4 Načítání dat ze souboru

Při načítání souboru si nejdříve načteme celý soubor do datového typu list (dále jako List), pomocí metody **.readlines()**. Zde je uložený celý obsah souboru, co řádek to jedna pozice v listu (konec řádku je rozpoznán pomocí speciálního znaku „\n“).

Program následně určí počet elementů a to tak, že vyhledá první pozici hlavičky „\$ElementData/n“ v Listu a přičte příslušný počet řádků (viz. hlavička segmentu). Takto se dostane k celkovému počtu elementů v souboru.

Dále pak program zjistí celkový počet izotopů, pro který je tento vstupní soubor vytvořen. Nalezne první pozici hlavičky, ke které přičte příslušný počet řádků, aby se dostal na název izotopu. Poté pokračuje v Listu k další hlavičce, to ale už pomocí (první pozice názvu izotopu) + (celkového počtu elementů) + (velikosti hlavičky). Proces



program opakuje, dokud najde první neunikátní název izotopu, což je ten první co našel. Touto metodou nalezne všechny názvy izotopů a zjistí jejich počet.

Je třeba také určit celkový počet časových iterací v souboru a jejich hodnoty. K tomu již program potřebuje znát počet izotopů, aby věděl, kolik hlaviček je třeba vynechat, protože budou mít stejnou hodnotu časové iterace. Takto projde všechny hlavičky prvního izotopu a ukládá si všechny hodnoty časových iterací, které později využívám při vytváření výsledných grafů.

## 5.5 Logika programu

Program pokračuje vytvořením si listu objektů *IzotopData*, které pojmenuje podle třetího řádku v hlavičce, a pro každý nalezne maximální hodnotu koncentrace. Tuto hodnotu pak následně upraví na *hranici*, pod kterou vyhledané koncentrace následně nezapisuji do slovníku. Důvodem je odstranění nevýznamných, téměř nulových hodnot, pro které je bezvýznamné generovat grafický výstup. Hranice není společná pro všechny izotopy, pro každý je vypočítána jednotlivě. Hranice je stanovena dle potřeby na hodnotu:

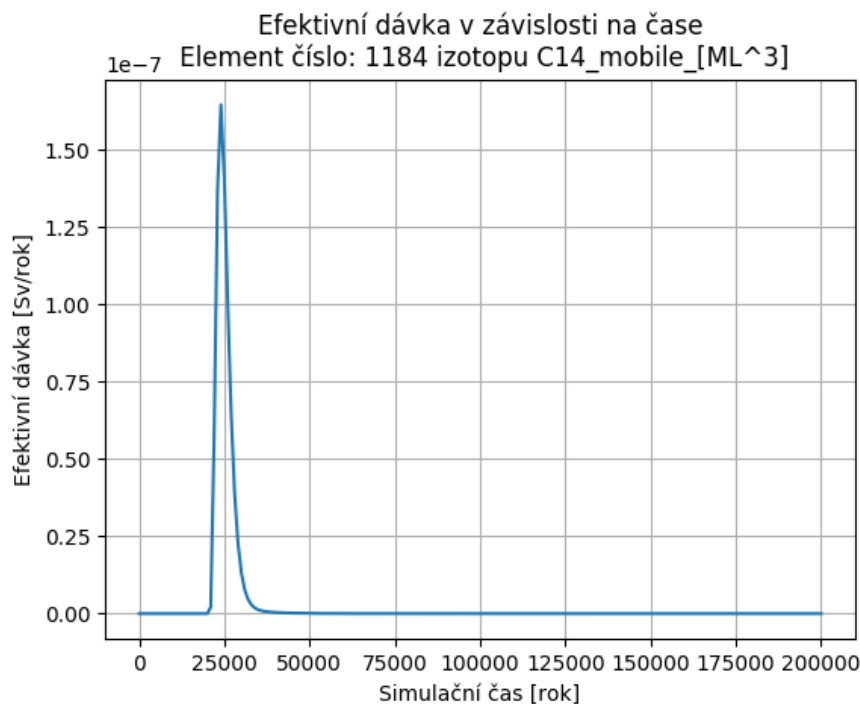
$$\text{hranice} = \frac{\text{maximální hodnota koncentrace jednoho izotopu}}{10^9}$$

Nyní, když program zná všechny hodnoty z hlaviček, může tedy již zapisovat jednotlivé koncentrace do *slovníku hodnot koncentrací*. Klíčem tohoto slovníku jsou čísla elementů a hodnotou je zde list koncentrací postupně s časem. Nejdříve načte celý list všech koncentrací v závislosti na čase pro jeden element, potom ověří, zda je alespoň jedna hodnota větší než hranice zápisu. Poté list buď zařadí do slovníku, nebo jej vyhodí a přejde na další element.

Před výsledným vykreslením do grafu je třeba ještě vypočítat výslednou efektivní dávku, aby byl výpočet validní. O toto se postará metoda uvnitř třídy *IzotopData*, která vytvoří nový slovník a naplní ho daty již podrobenými výpočtem. Takto upravená data se již můžeme následně vykreslovat do grafů.

K výslednému vykreslování grafů program používá knihovnu *matplotlib*. Svislá osa v tomto grafu reprezentuje hodnoty příkonu efektivní dávky daného izotopu v  $\left[\frac{Sv}{rok}\right]$ . Vodorovná osa zde znázorňuje příslušnou časovou iteraci.





Obrázek 5: Výsledný výstup z programu, efektivní dávka v závislosti na čase

## 5.6 GUI a vstupy od uživatele

Výsledné uživatelské rozhraní je naprogramováno pomocí knihovny TkInter. Program je navržen tak, aby mohl zpracovávat pouze validní soubory, které uživatel musí zadat do pole cesty k souboru. Uživatel může cestu k souboru zadat buď přímo vložení cesty k cílovému souboru do EntryBoxu nebo kliknutím na tlačítko 'Procházet', kde se mu poté otevře příslušné okno pro pohodlné vyhledání vstupního souboru. Pro započnutí načítání souboru uživatel klikne na tlačítko 'Spustit'. Program otevře soubor zadaný cestou v příslušném okně, vyhodnotí validnost cesty a poté ho začne zpracovávat.

### 5.7.1 Ověření zadání cesty ve správném formátu

Uživatel může cestu zadávat dvěma způsoby. Buďto přímo vybere soubor pomocí prohlížeče nebo může cestu k souboru zadat ručně. Kromě toho, že cesta může být validní, mohou nastat ještě tyto nevalidní možnosti:

- cesta může být prázdná – obsahuje prázdný string (""),
- cesta může být nevalidní - soubor s takto zadanou cestou neexistuje,
- cesta k tomuto souboru existuje, ale tento soubor není podporován tímto programem (nejedná se o výstup z programu Flow123d)



První varianta může nastat, když uživatel po spuštění programu nezadá cestu k souboru a klikne na tlačítko spustit, v tomto případě je vyzván k opětovnému zadání korektní cesty do entryboxu. Výzva se zobrazí přímo v příslušném entryboxu.

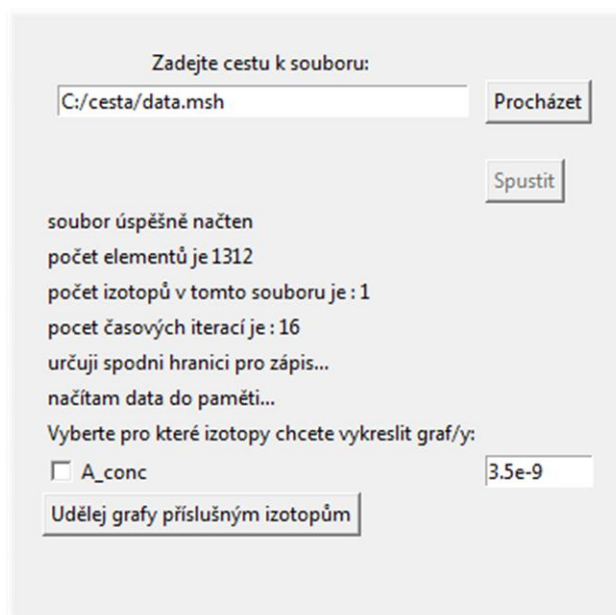
K druhé variantě se uživatel může dopracovat pomocí špatně zadané cesty. K tomuto vstupu se uživatel dostane, pokud bude cestu zadávat ručně do entryboxu, nebo se se souborem po vybrání v prohlížeči a před stisknutím tlačítka *'Spustit'* bude manipulovat. Takto zadanou cestu program musí vyhodnotit jako chybnou. Program tedy musí odchytit *FileNotFoundException* a uživatele vyzvat k opětovnému zadání validní cesty. Program výzvu zobrazí v náležitém entryboxu.

Uživatel může jako vstup vložit cestu k souboru, který program nedokáže zpracovat. Program by měl umět rozpoznat validní soubor. Program tento soubor musí načíst a ověřit zda soubor obsahuje příslušnou hlavičku (viz kapitola 3.2 Vstupní soubor). Pokud soubor tuto hlavičku neobsahuje, vyhodnotí jej program jako soubor nevalidní a zobrazí zprávu *'tento soubor není podporován'* v entryboxu.

Program tedy ověří tyto tři možnosti chybného zadání cesty od uživatele, a když nenastane ani jedna varianta chybného zadání, program po aktivaci tlačítkem *'Spustit'* začne zpracovávat soubor:

- tlačítko *'Spustit'* se zneaktivní
- načte se soubor do paměti
- zjistí se počet elementů
- zjistí se počet izotopů, pro který je daný vstupní soubor vytvořen
- zjistí se počet časových iterací
- u každého izotopu určí spodní hranici zápisu do slovníku
- načte data do slovníky s přihlédnutím na spodní hranici





Obrázek 6: Zobrazení základních informací o zpracovávaném souboru

Program vypíše základní informace výpočetní sítě oblasti a následně vyzve uživatele, aby vybral, pro které izotopy mají být vykresleny grafy. Dále zde pak uživatel vybere, jestli chce vykreslit jen grafy pro elementy v souboru *'elementy.txt'*, nebo pro všechny elementy.

### 5.7.2 Ověření zadání konverzních faktorů

Hodnoty konverzních faktorů program bere ze slovníku, který je dostupný ze souboru *'konverzniFaktory.txt'*, který je přiložen k programu a uživatel jej může volně editovat. V příloze 1 jsou uvedeny nejčastější prvky a jejich hodnoty pro ingesční příjem. Pokud program nalezne daný izotop v tomto souboru, určí tak podle něj hodnotu konverzního faktoru. Když daný izotop v souboru nenajde, hodnotu konverzního faktoru nastaví na *'1e-9'*. Přednastavená hodnota se dá ještě následně měnit, podobně jako tomu je výše u entryboxu s cestou k souboru. Před vykreslením výsledných grafů je nutné ověřit, zda je případný vstup od uživatele nebo ze slovníku validní. Zde mohou nastat tyto pro program neočekávané skutečnosti:

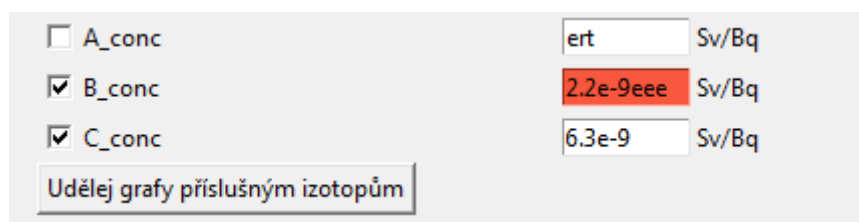
- hodnota může být menší nebo rovna 0
- hodnota obsahuje nepovolené znaky pro převod do typu float
- hodnota není vyplněna

V prvním případě program ověří, zda je hodnota v entryboxu větší než nula. Pokud není, vyhodnotí program vstup jako nevalidní a po stisknutí tlačítka *'Udělej grafy'*





*příslušným izotopům* označí červeně příslušné pole. Červeně označené je pole, které bylo uvažováno pro výpočet a zároveň jeho hodnota není validní. Nezaškrtnuté pole s nevalidním vstupem nebude po stisknutí tlačítka zbarveno.



<input type="checkbox"/> A_conc	ert	Sv/Bq
<input checked="" type="checkbox"/> B_conc	2.2e-9eee	Sv/Bq
<input checked="" type="checkbox"/> C_conc	6.3e-9	Sv/Bq

Udělej grafy příslušným izotopům

Obrázek 7: Ukázka funkce pro nevalidní vstup v poli hodnoty konverzních faktorů

Dále je třeba hodnotu podrobit testu, zda-li je možné, ji převést na datový typ float, zde je při převodu na datový typ program odchyťává výjimku *ValueError*. Když ji odchyťí, opět po stisknutí tlačítka nastaví příslušnému entryboxu červenou barvu jako pozadí. K odchytnutí třetí možnosti, že hodnota není vyplněna, se vztahuje také výjimka *ValueError*.

Pokud program nenajde žádný nevalidní výstup, po stisknutí tlačítka *Udělej grafy příslušným izotopům* vytvoří grafy.

## 5.8 Logování programu

Za běhu programu se vytváří logovací soubor, ve kterém lze najít informace o zpracování daného souboru. Soubory s logy jsou ukládány do adresáře *logs*. Název logovacího souboru odpovídá momentálnímu datu při vytvoření logovacího souboru. Název je ve formátu: den-měsíc-rok-hodina(0-23)-minuta-vteřina. Do logovacího souboru program ukládá následující informace:

- cestu ke zpracovávanému souboru
- počet elementů, který soubor obsahuje
- počet izotopů v souboru
- počet časových iterací
- jednotlivé časové iterace
- hranice pro určení nulových grafů pro všechny izotopy
- pro každý izotop, seznam elementů, které program považuje za nulové
- uživatelem přiřazené hodnoty konverzního faktoru
- zda byly vykresleny jen elementy ze souboru *elementy.txt* nebo všechny
- elementy pro které byl vytvořen graf k danému izotopu



- elementy pro které byl vytvořen součtový graf
- informace o správném zpracování souboru

Zde je uveden příklad logovacího souboru:

zpracovávaný soubor je: C:/cestaKSouboru/3izo.msh

počet elementů v tomto souboru je: 1312

počet izotopů v tomto souboru je: 3

počet časových iterací v tomto souboru je: 41

jednotlivé časové iterace: [0.0, 0.02, 0.04, 0.06, 0.08, 0.1, 0.12, 0.14, 0.16, 0.18, 0.2, 0.22, 0.24, 0.26, 0.28, 0.3, 0.32, 0.34, 0.36, 0.38, 0.4, 0.42, 0.44, 0.46, 0.48, 0.5, 0.52, 0.54, 0.56, 0.58, 0.6, 0.62, 0.64, 0.66, 0.68, 0.7, 0.72, 0.74, 0.76, 0.78, 0.8]

pro izotopy byly nastaveny následující hranice:

A\_conc nastavena hranice: 1.19e-07

B\_conc nastavena hranice: 1.49e-07

C\_conc nastavena hranice: 1.00e-07

byly vybrány tyto izotopy s příslušnými konverzními faktory:

izotopu: B\_conc byl přidělen konverzní faktor: 2.2e-9 Sv/Bq

izotopu: C\_conc byl přidělen konverzní faktor: 7.7e-10 Sv/Bq

bylo vybráno vykreslení pro všechny elementy

vykreslen graf elementu 21 pro izotop B\_conc

vykreslen graf elementu 22 pro izotop B\_conc

vykreslen graf elementu 23 pro izotop B\_conc

*Obrázek 8: Příklad obsahu logovacího souboru*



## 6 Manuál pro uživatele, jak používat program

### 6.1 Soubory k programu

K programu jsou přidány některé textové soubory, které program používá. Uživatel by měl být s těmito soubory seznámen, aby program dokázal efektivně obsluhovat. Program zároveň tyto soubory musí mít k dispozici, aby mohl bezchybně pracovat. Jedná se o tyto soubory:

- elementy.txt
- konverzniFaktory.txt

Soubor elementy.txt by měl obsahovat právě ty čísla elementu, pro které chceme vykreslit výsledné grafy. Uživatel si může vybrat, zda chce vykreslit všechny grafy, nebo právě jen grafy, jejichž číslo elementu je uvedeno v tomto souboru. Formát souboru je následující

```
845
846
848
849
850
851
```

Obrázek 9: Seznam elementů, které se mají vykreslit

Soubor konverzniFaktory.txt obsahuje hodnoty některých vybraných konverzních faktorů. Tyto hodnoty jsou ze Státního úřadu pro jadernou bezpečnost 307/2002 Sb. Hodnoty v souboru lze libovolně editovat, případně ho lze i doplnit. Soubor dodržuje formát název izotopu mezera hodnota konverzního faktoru.

```
H-3 1.8e-11
Be-7 2.8e-11
Be-10 1.1e-9
C-11 2.4e-11
C-14 5.8e-10
F-18 4.9e-11
Na-22 3.2e-9
Na-24 4.3e-10
Mg-28 2.2e-9
Al-26 3.5e-9
Si-31 1.6e-10
Si-32 5.6e-10
P-32 2.4e-9
P-33 2.4e-10
S-35 1.3e-10
```

Obrázek 10: Obsah souboru konverzniFaktory.txt ,název izotopu (mezera) hodnota konverzního faktoru



## 6.2 Práce s programem

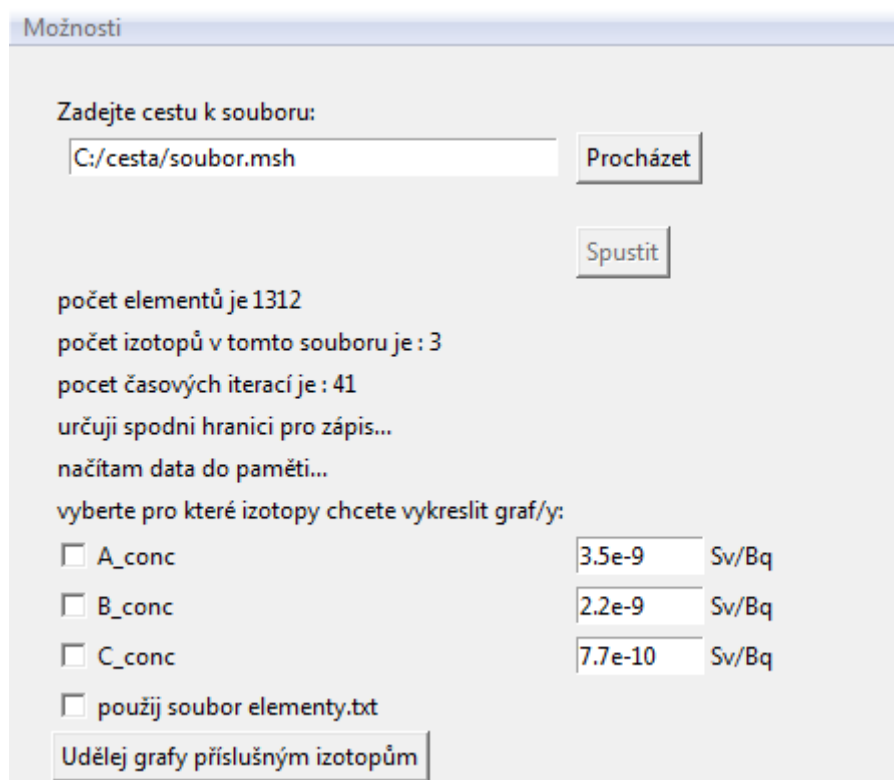
Program byl primárně vytvořen, aby fungoval v desktopové verzi na operačním systému Windows. Program bezproblémově funguje na posledních verzích operačního systému Windows tj.:

Windows 7,

Windows 8,

Windows 10,

Po spuštění programu uživatel uvidí prázdné okno, kam má zadat cestu k souboru, který chce zpracovávat. Cestu může zadat buď přímo, například zkopírovat cestu k souboru nebo si otevřít prohlížeč pomocí tlačítka procházet. V prohlížeči může uživatel pohodlně vyhledat soubor, který chce nechat zpracovávat. V případě zadání špatné cesty nebo nevalidního souboru bude uživatel informován v příslušném okně. Po stisknutí tlačítka *Spustit* program začne zpracovávat soubor. Tlačítko se zamrazí, aby se zamezilo opětovnému spuštění zpracovávání souboru.



Obrázek 11: Ukázka programu

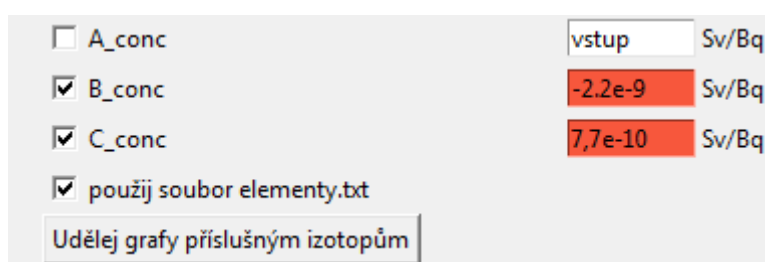
Program začne vypisovat základní údaje o souboru, viz kapitola 4.5.1. Poté program zobrazí dostupné izotopy ze souboru, pro které je možné vykreslit grafy.



K příslušným izotopům program zobrazí i hodnoty konverzních faktorů, které program čerpá ze souboru *konverzniFaktory.txt*. Tyto hodnoty může uživatel volně měnit dle libosti. Obsah v poličku pro konverzní faktory by měl být číselná zadaný ve formátu:

(celé číslo)+(tečka)+(desetinné čísla)+(e)-(n),

například '3.5e-9'. Zadané číslo by také mělo být větší než nula. Když program nenalezne dotyčný izotop ve slovníku, přiřadí se mu defaultní hodnota konverzního faktoru 1e-9. To je řádově přibližná hodnota správného konverzního faktoru. V tomto bodě program počítá s tím, že pokud bude chtít uživatel tento pro program neznámý izotop vykreslit, hodnotu upraví. Díky přednastavení na tuto hodnotu, to program uživateli ulehčí.



<input type="checkbox"/> A_conc	vstup	Sv/Bq
<input checked="" type="checkbox"/> B_conc	-2.2e-9	Sv/Bq
<input checked="" type="checkbox"/> C_conc	7,7e-10	Sv/Bq
<input checked="" type="checkbox"/> použij soubor elementy.txt		
Udělej grafy příslušným izotopům		

Obrázek 12: Takto program označí nevalidní vstup v poli určeném pro hodnoty konverzního faktoru izotopu

Při zadání uživatelem pro program nevalidního vstupu, program po stisknutí tlačítka vybarví buňky s nevalidním obsahem červeně. Vybarví je pouze v případě, že je daný izotop vybrán pro vykreslení do výsledného grafu. Program nevybarví špatně zadané vstupy, které nemusí být později v programu využity.

Pokud jsou vybrány některé izotopy a hodnoty konverzního faktoru jsou validní, program po stisknutí tlačítka 'Udělej grafy příslušným izotopům' začne generovat grafy. Program vytvoří v adresáři *výstup* složky s názvy vybraných izotopů. Do těchto složek program poté začne ukládat výstupní grafy pro všechny elementy, nebo pro elementy, které jsou v souboru *elementy.txt*. Záleží, zda uživatel označil pole, použij soubor *elementy.txt*. Program nevykreslí grafy pro elementy, pro které nemá příslušné hodnoty ze souboru. Buď se v daném souboru nenachází příslušné hodnoty pro daný element, nebo byl element považován za element s nulovou koncentrací efektivní dávky. Program dále vytvoří textové soubory s hodnotami výsledné efektivní dávky daného izotopu. Tyto textové soubory se ukládají do adresáře *slovníky*.



Program vytvoří grafy se součtem všech vybraných izotopů. Tyto grafy program uloží do adresáře s názvem všech vybraných izotopů oddělenými mezerami. Po vytvoření grafů program ještě vytvoří součtový slovník.

Program je koncipován tak, aby umožnil další výpočet bez nutnosti ho opětovně spustit. Program lze jednoduše restartovat do počátečního stavu kliknutím v menu *'Možnosti'* na položku *'Restart'*. Vypnutí programu pak uživatel provede buď stisknutím tlačítka *'X'* nebo příkazem *'Ukončit'* taktéž v menu *'Možnosti'*.



## 7 Důkaz výpočtu efektivní dávky

### 7.1 Zvolený postup

Pro dokázání správnosti výpočtu použijeme soubor 3izo.msh, je to jeden z výstupních souborů z programu Flow123D. Tento soubor nesimuluje žádný určitý podzemní transport látek. Tento soubor byl vytvořen vedoucím práce jako cvičný soubor, který byl použit při tvorbě a testování výsledného programu. Účelem této kapitoly je dokázat, že výpočet, který program provádí je korektní. Ověření se zejména zaměří na korektnost finálních vykreslení grafů.

### 7.2 Důkaz správnosti výpočtu

K našemu důkazu si budeme muset zvolit některý nenulový element. Volíme element 100. Soubor obsahuje 3 různé izotopy s názvy: A\_conc, B\_conc, C\_conc. V programu bude volit jen první dva zmíněné izotopy. Elementu 100 náleží tyto výsledné grafy:

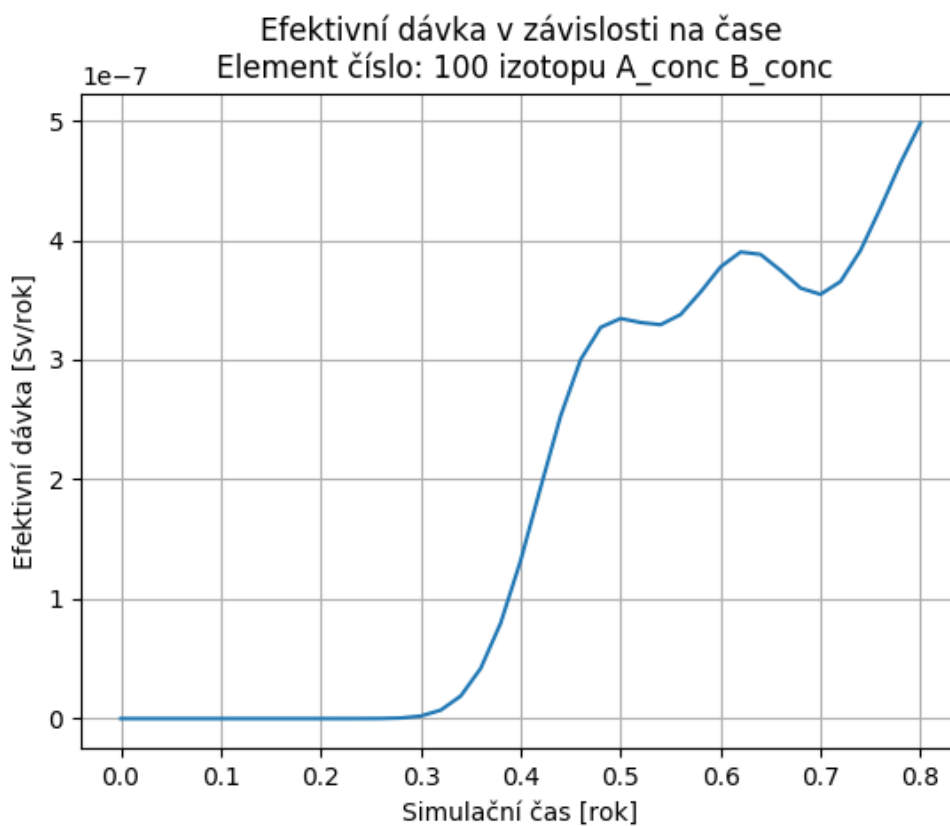


Obrázek 13: Výsledný graf pro izotop A\_conc elementu 100





Obrázek 14: Výsledný graf pro izotop B\_conc elementu 100



Obrázek 15: Výsledný graf součtového grafy pro izotopy A\_conc a B\_conc elementu 100





Aby bylo možné dokázat výpočet, nejprve je nutné získat vstupní data koncentrací pro jednotlivé iterace. Ve vstupním souboru je celkově zahrnuto 41 časových iterací. Pro důkaz postačí, když vybereme jen některé. Časové iterace pro důkaz byly vybrány s ohledem na zřetelném odečtu z výsledných grafů. Následující tabulka zobrazuje vstupní hodnoty koncentrací:

Časové Iterace	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8
Koncentrace A_conc	29,9375	73,8207	62,0459	56,57742	86,812
Koncentrace B_conc	12,4763	34,6002	72,9415	71,206	88,2524

*Tabulka koncentrací ve vybraných časových iteracích, hodnoty jsou v jednotkách  $\frac{Bq}{m^3}$*

Program nám pro hodnoty konverzních faktorů nabízí hodnoty, které odpovídají hodnotám pro izotopy hliníku (Al-26) a hořčíku (Mg-28) z tabulky Státního úřadu pro jadernou bezpečnost 307/2002 Sb.

Konverzní faktor A_conc	3,50E-09
Konverzní faktor B_conc	2,20E-09

*Hodnoty konverzních faktorů pro testovací soubor, hodnoty jsou v jednotkách  $\frac{Sv}{Bq}$*

Dle výpočtu viz kapitola 2.2 se potom výsledná hodnota efektivní dávky, která se vynáší do finálového grafu rovná (2)

$$D_j \left[ \frac{Sv}{rok} \right] = a_j \left[ \frac{Bq}{m^3} \right] * h_j \left[ \frac{Sv}{Bq} \right] * l \left[ \frac{m^3}{rok} \right] \quad (2)$$

Výsledek je součin hodnoty koncentrace a konverzního faktoru, jelikož množství odpovídá hodnotě 1  $\left[ \frac{m^3}{rok} \right]$ .

Časové Iterace	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8
Výsledek A_conc	1,05E-07	2,58E-07	2,17E-07	1,98E-07	3,04E-07
Výsledek B_conc	2,74E-08	7,61E-08	1,60E-07	1,57E-07	1,94E-07
Součtový graf	1,32E-07	3,34E-07	3,78E-07	3,55E-07	4,98E-07

*Výsledné hodnoty efektivní dávky, hodnoty jsou v jednotkách  $\frac{Sv}{rok}$*

Výsledné hodnoty v tabulce je nyní možné porovnat s hodnotami vypočtené softwarem: grafy a textovými soubory. Tyto hodnoty odpovídají výpočtu.



## 8 Závěr

Bakalářská práce se zabývá tvorbou programu na výpočet efektivní dávky ingescí vody. Nejprve v kapitole 2 je čtenář seznámen s problematikou hlubinných úložišť. V současnosti je ve výběru 8 kandidátních lokalit a v následujících letech dojde k jejich omezení. Přibližně v roce 2050 by měla začít výstavba hlubinného úložiště.

Výsledná aplikace byla naprogramována pomocí programovacího jazyka Python. Pro vytvoření grafického uživatelského rozhraní byla využita interní knihovna TkInter. K vykreslení výsledných grafů byla použita knihovna matplotlib.

Kapitola 3.2 popisuje matematický výpočet efektivní dávky při ingesci kontaminované vody jedincem za jeden kalendářní rok. Tato práce zároveň seznámí čtenáře s výstupním souborem z programu Flow123D. Popíše, jak získává hodnoty koncentrací pro jednotlivé elementy ze vstupních souborů. Dále tyto data podrobí matematickému výpočtu a výsledek je zanesen do grafů viz kapitola 5.5. Program obsahuje taktéž logování, kterému se věnuje kapitola 5.8. Součástí správného fungování programu je také ověření validity vstupních dat od uživatele. Dále práce obsahuje obecný návod k obsluze programu a také ověření výsledného výpočtu.

Výsledek bakalářské práce přispěje Technické Univerzitě v Liberci v zakázkách, které se zabývají volbou ideální lokality pro budoucí hlubinné úložiště v České Republice. Program by se dal v budoucnu rozšířit o další možnosti výpočtu. Například o výpočet příkonu efektivní dávky inhalační cestou, vnějším ozářením nebo ingescí masa.



## Seznam použité literatury

- [1] Správa úložišť radioaktivních odpadů [online]. 9.5.2017 dostupný z URL: [www.surao.cz](http://www.surao.cz)
- [2] VOKÁL, A., PÍŠKOVÁ, I. A KOLEKTIV. Aktualizace referenčního projektu hlubinného úložiště radioaktivních odpadů v hypotetické lokalitě, SURAO, 2012.
- [3] Python documentation. The Python Language Reference [online]. The Python Software Foundation , © 2001-2017 [26.4.2017] dostupný z URL: <https://docs.python.org/3/reference/introduction.html>
- [4] BŘEZINA, Jan. FLOW123d: User Guide and Input Reference, version 2.1.0. [online] 9.5.2017 dostupný z URL:[http://flow.nti.tul.cz/packages/2.1.0\\_release/flow123d\\_2.1.0\\_doc.pdf](http://flow.nti.tul.cz/packages/2.1.0_release/flow123d_2.1.0_doc.pdf)
- [5] TOSI S. Matplotlib for Python Developers. Packt Publishing, 2009, ISBN:1847197906.
- [6] Swedish Nuclear Fuel and Waste Management Company [online]. , 9.5.2017 dostupný z URL: <http://www.skb.com/>



## Příloha 1

radionuklid	poločas rozpadu (rok)	konverzní faktor (ingesce) Sv.Bq <sup>-1</sup>	konverzní faktor (inhalace) Sv.Bq <sup>-1</sup>	konverzní faktor (exhalace) Sv.Bq <sup>-1</sup>
C-14	5.70E+03	5.8E-10	5.8E-09	7.20E-23
Cl-36	3.01E+05	9.3E-10	7.3E-09	1.28E-20
Ca-41	1.02E+05	1.9E-10	1.8E-10	0
Ni-59	2.88E+01	6.3E-11	4.4E-10	0
Ni-63	9.87E+01	1.5E-10	1.3E-09	0
Se-79	3.56E+05	2.9E-09	6.8E-09	9.96E-23
Sr-90	2.88E+01	2.8E-08	1.6E-07	3.77E-21
Mo-93	4.00E+03	3.1E-09	2.3E-09	3.16E-21
Zr-93	1.53E+06	1.1E-09	2.5E-08	0
Nb-94	2.00E+04	1.7E-09	4.9E-08	5.18E-17
Tc-99	2.14E+05	6.4E-10	1.3E-08	6.72E-22
Pd-107	6.50E+06	3.7E-11	5.9E-10	0
Ag-108m	4.38E+02	2.3E-09	3.7E-08	5.16E-17
Sn-126	2.32E+05	4.7E-09	2.8E-08	7.89E-19
I-129	1.61E+07	1.1E-07	3.6E-08	6.93E-20
Cs-135	2.30E+06	2.0E-09	8.6E-09	2.05E-22
Cs-137	3.01E+01	1.3E-08	3.9E-08	4.02E-21
Sm-151	9.00E+01	9.8E-11	4.0E-09	5.27E-24
Ho-166m	1.20E+03	2.0E-09	1.2E-07	5.51E-17
Ra-226	1.60E+03	2.8E-07	9.5E-06	1.70E-19
Th-229	7.34E+03	4.9E-07	2.4E-04	1.72E-18
Th-230	7.54E+04	2.1E-07	1.0E-04	6.47E-21
Pa-231	1.60E+03	7.1E-07	1.4E-04	1.02E-18
Th-232	1.41E+10	2.3E-07	1.1E-04	2.79E-21
U-233	1.59E+05	5.1E-08	9.6E-06	7.48E-21
U-234	2.46E+05	4.9E-08	9.4E-06	2.15E-21
U-235	7.04E+08	4.7E-08	8.5E-06	3.86E-18
U-236	2.34E+07	4.7E-08	8.7E-06	1.15E-21
Np-237	2.14E+06	1.1E-07	5.0E-05	4.17E-19
Pu-238	8.77E+01	2.3E-07	1.1E-04	8.10E-22
U-238	4.47E+09	4.5E-08	8.0E-06	5.52E-22
Pu-239	2.41E+04	2.5E-07	1.2E-04	1.58E-21
Pu-240	6.56E+03	2.5E-07	1.2E-04	7.85E-22
Am-241	4.33E+02	2.0E-07	9.6E-05	2.34E-19
Am-242m	1.41E+02	1.9E-07	9.2E-05	9.04E-21
Pu-242	3.73E+05	2.4E-07	1.1E-04	6.85E-22
Am-243	7.37E+03	2.0E-07	9.6E-05	7.60E-19
Cm-244	1.81E+01	1.2E-07	5.7E-05	6.74E-22
Cm-245	8.48E+03	2.1E-07	9.9E-05	1.82E-18

*Hodnoty konverzních faktorů pro nejčastější radionuklidy*

