
TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
Fakulta mechatroniky, informatiky a mezioborových studií

Studijní program: B2646 — Informační technologie

Studijní obor: 1802R007 — Informační technologie

**Vytvoření softwaru zjišťující seznam elementů
s nenulovou koncentrací na zvolené výpočetní síti
transportní úlohy**

**Creation of a software finding a list of elements
with nonzero concentration at the chosen
computing mesh of a transport task**

Bakalářská práce

Autor: **Jan Matouš**

Vedoucí práce: Ing. Josef Chudoba, Ph.D.

V Liberci dne 7. 5. 2013

Vzhledem ke správnému číslování stránek nebude tato strana obsahem BP a bude nahrazena oficiálním zadáním.

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.

Datum

Podpis

Poděkování

Na tomto místě bych rád poděkoval vedoucímu mé bakalářské práce, kterým je Ing. Josef Chudoba, Ph.D. Za čas, jenž mi věnoval a za všechny poskytnuté rady a poznatky, které mi dopomohly k realizaci mé práce. Také bych rád poděkoval rodině za umožnění studia na vysoké škole a za jejich podporu při studiu.

Tato bakalářská práce vznikla díky projektu Vývoj modelovacích nástrojů predikce rozvoje THC procesů a jejich vlivu na migraci radionuklidů v geosféře (TA01021331).

Abstrakt

Cílem bakalářské práce je vytvoření softwaru pro zjištění seznamu elementů s nenulovou koncentrací na zvolené výpočetní síti. Síť představuje lokalitu, jež byla vybrána jako testovací pro případnou výstavbu hlubinného úložiště vyhořelého jaderného paliva. Pro zjištění seznamu elementů se využívá souborů, které jsou výstupem programu Flow123D. Software Flow123D je určený pro výpočet podzemního proudění v puklinovém prostředí a stanovení transportu kontaminace ve zvolené oblasti.

V rámci této práce je vytvořen software, jenž dokáže zobrazit informace o struktuře sítě, omezit výpočetní síť na zvolenou podoblast, nalézt sousednosti u všech elementů a vyhledat transportní cesty na výpočetní síti. Funkce vyhledávání transportních cest umožňuje také nalézt nejkratší cestu mezi elementy a preferenční cestu, jež obsahuje elementy s nenulovou koncentrací v simulačním čase.

Nalezené transportní cesty a elementy ve zvolené podoblasti software umožňuje uložit do výstupního souboru formátu msh, který lze otevřít a vizualizovat pomocí softwaru GMSH. Na softwaru byly otestovány dvě výpočetní transportní sítě, které představují lokality Melechov a Rožná–Olší v Kraji Vysočina.

Klíčová slova

Transportní cesta, hlubinné úložiště vyhořelého jaderného paliva, Rožná–Olší, Melechov, GMSH, Flow123D, C#

Abstract

The aim of this Bachelor's thesis is to create a software for determination of the list of elements with non-zero concentration at the chosen computing mesh. Mesh represents the location, which was chosen as a test for the possible construction of a deep geological repository for spent nuclear fuel. To determine the list of elements are used files that are the output of program Flow123D. Software Flow123D is intended for calculation of groundwater flow in fractured medium and determination of transport of contamination in the selected area.

As a part of this thesis is created a software that can display information about the mesh structure, delimit computing mesh for the selected sub-area, find neighbours of all the elements and look for transport paths in the computing mesh. The transport paths search function also allows to find the shortest path between elements and preferential path that contains elements with non-zero concentration at the simulation time.

Software enables to save the transport paths and elements in the selected sub-area in output format msh that can be opened and visualized using the software GMSH. Testing was performed for two computational transport meshes representing locations Melechov and Rožná–Olší in Vysočina region.

Keywords

Transport path, deep geological repository for spent nuclear fuel, Rožná–Olší, Melechov, GMSH, Flow123D, C#

Obsah

Prohlášení.....	3
Poděkování.....	4
Abstrakt.....	5
Abstract.....	6
1 Úvod.....	9
2 Hlubinné úložiště.....	10
3 Flow123D.....	15
3.1 Vstupní soubory.....	15
3.2 Výstupní soubory.....	15
3.2.1 Soubor s definicí sítě.....	15
3.2.2 Soubor s definicí toků.....	17
4 Základní prvky aplikace.....	19
4.1 Záložka soubor.....	20
4.2 Záložka nástroje.....	21
4.2.1 Vyhledávání elementu ve zvolené podoblasti.....	21
4.2.2 Nastavení stránkování tabulek.....	22
4.2.3 Element.....	23
4.3 Nápověda.....	24
5 Zobrazení struktury sítě.....	25
5.1 Seznam vrcholů.....	25
5.2 Seznam elementů.....	26
6 Vyhledávání elementů.....	27
7 Sousednost elementů.....	30
8 Transportní cesta.....	32
8.1 Nejkratší cesta mezi elementy.....	33
8.2 Preferenční transportní cesta mezi elementy.....	34
8.3 Transportní cesty z elementu.....	35
8.4 Transportní cesty do elementu.....	37
9 Výstupní data softwaru.....	38
9.1 Nalezené elementy ve vybrané podoblasti.....	38
9.2 Nalezené transportní cesty.....	38
Závěr.....	40
Seznam použité literatury.....	41
Obsah příloženého CD.....	42

Seznam obrázků

Obrázek 1: Koncept hlubinného úložiště.....	11
Obrázek 2: Rožná–Olší.....	13
Obrázek 3: Definice vrcholů v síti.....	16
Obrázek 4: Definice elementů v síti.....	16
Obrázek 5: Soubor s definicí toků.....	17
Obrázek 6: Základní ovládací prvky aplikace.....	19
Obrázek 7: Záložka Soubor.....	20
Obrázek 8: Záložka Nástroje.....	21
Obrázek 9: Funkce Vyhledávání elementu.....	22
Obrázek 10: Funkce Stránkování tabulek.....	22
Obrázek 11: Ovládací prvky stránkování.....	22
Obrázek 12: Funkce Objem elementu.....	24
Obrázek 13: Seznam panelů.....	25
Obrázek 14: Seznam vrcholů.....	25
Obrázek 15: Seznam elementů.....	26
Obrázek 16: Informace o elementech.....	26
Obrázek 17: Vyhledávání elementů.....	27
Obrázek 18: Informace o nalezených elementech.....	28
Obrázek 19: Nalezené elementy ve vybrané podoblasti.....	29
Obrázek 20: Sousednost 2D elementu.....	30
Obrázek 21: Sousednost elementů.....	31
Obrázek 22: Parametry vyhledávání transportní cesty.....	32
Obrázek 23: Transportní cesta bez ohledu na toky.....	34
Obrázek 24: Preferenční transportní cesta.....	35
Obrázek 25: Všechny transportní cesty ze startovacího elementu.....	36
Obrázek 26: Všechny transportní cesty do startovacího elementu.....	37

Seznam tabulek

Tabulka 1: Příprava hlubinného úložiště.....	12
Tabulka 2: Vstupní soubory do softwaru Flow123D.....	15

1 Úvod

Cílem bakalářské práce je vytvoření softwaru pro zjištění seznamu elementů s nenulovou koncentrací na zvolené výpočetní síti transportní úlohy. Software bude využitý jako jeden z nástrojů pro vyhodnocení bezpečnosti hlubinného úložiště vyhořelého jaderného paliva. Aplikace na základě výpočtů transportní úlohy ze softwaru Flow123D zobrazuje strukturu oblasti a dále na ní provádí další činnosti popsané v kapitole 4.

Pro zjištění seznamu elementů a transportních cest je využito výstupních souborů proudění a transportu ze softwaru Flow123D, které jsou popsány v kapitole 3.2. Jedná se především o textové soubory s příponou pos, které představují definici geometrie sítě a výsledky transportu kontaminantů v oblasti. Dále se jedná o soubory s příponou txt, jež popisují proudění ve výpočetní síti.

Vytvořená aplikace na výpočetní síti především umožňuje:

- Vyhledávání elementů ve zvolené podoblasti výpočetní sítě (kapitola 6).
- Vyhledávání sousednosti pro všechny elementy výpočetní sítě (kapitola 7).
- Vyhledávání nejkratších a transportních cest (kapitola 8).
- Uložení nalezených elementů ve vybrané podoblasti a nalezených transportních nebo nejkratších cest (kapitola 9)

Soubory se zvolenou podoblastí nebo nalezenými cestami je možné uložit jako soubor s příponou msh, který lze následně otevřít v softwaru GMSH. Tento software slouží například k vytváření výpočetních sítí komplexních úloh nebo pro vizualizaci a úpravy jejích výsledků.

V rámci této práce je popsáno ovládání vytvořeného softwaru a jeho funkcí z pohledu uživatele. V poznámkách pod čarou jsou uvedeny rozšiřující informace k řešenému problému

Aplikace byla otestována na dvou sítích, které popisují reálné oblasti Rožná–Olší a Melechov.

2 Hlubinné úložiště

Smyslem ukládání radioaktivních odpadů je ochrana člověka a životního prostředí. Proto je třeba radioaktivní odpady izolovat od životního prostředí na tak dlouhou dobu, dokud se v důsledku samovolných procesů radioaktivní látky nerozpadnou na látky jiné, stabilní. Právě k tomuto účelu je využíváno úložiště radioaktivních odpadů. V České republice jsou v současné době v provozu tři přípovrchová úložiště. Jsou to úložiště:

- Dukovany (největší) v areálu jaderné elektrárny Dukovany.
- Richard u Litoměřic.
- Bratrství, které se nachází u Jáchymova.

V těchto přípovrchových úložištích jsou uloženy nízce aktivní a středně aktivní radioaktivní odpady, které vznikají při provozu jaderných elektráren Dukovany a Temelín. [1]

Nejvhodnějším místem pro uložení vyhořelého jaderného paliva a vysoce aktivních odpadů jsou hlubinné geologické formace v hlubinném nebo geologickém úložišti. Hlubinné úložiště jaderného odpadu je uměle vyhloubený nebo pečlivě upravený podzemní prostor, který se nachází v hlubokých geologických vrstvách. Existuje mnoho důvodů pro jeho vybudování na území České republiky například: [2]

- Radioaktivní odpady je nezákonně vyvážet za hranice republiky.
- Vyhořelé palivo a vysoce aktivní odpady budou vznikat ještě desítky let.
- Existují radioaktivní odpady, které z různých důvodů (aktivita, forma) nesplní podmínky k umístění do přípovrchových úložišť.

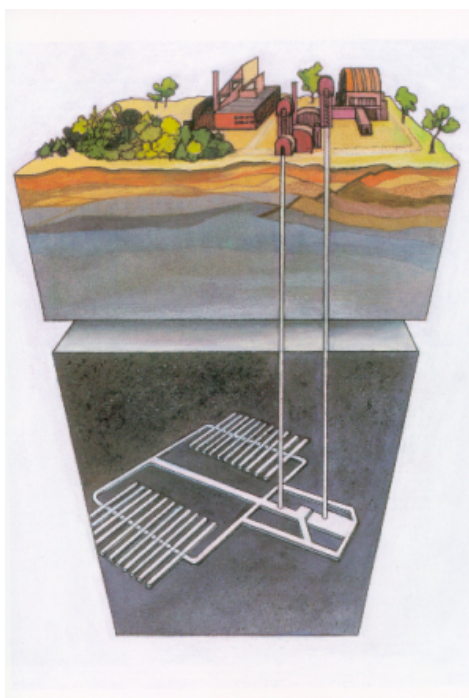
Přednost před úpravou starších důlních děl je dána vybudování nového úložiště v oblasti, kde nehrozí vulkanická činnost, zemětřesení, zaplavení mořem nebo zaledněním. [3]

Hlubinné úložiště pro vysoce aktivní odpady a vyhořelé jaderné palivo se bude skládat ze tří částí:

- Nadzemní, kde se bude nacházet povrchový areál.
- Přístupové šachty a tunely.

- Podzemní prostory pro ukládání a manipulaci s kontejnery s vyhořelým palivem.

Koncept hlubinného úložiště je znázorněn na obrázku 1. [4] V podzemní části budou vybudovány ukládací komory v hloubce kolem 500 m. Tato hloubka se bude odvíjet podle druhu hornin v oblasti. S ohledem na geologické podmínky ČR bude hlubinné úložiště s nejvyšší pravděpodobností vybudováno v žulovém masivu v seismicky stabilní oblasti. Odpad bude umístěn ve speciálních kontejnerech s dlouhodobou životností.



Obrázek 1: Koncept hlubinného úložiště

[4]

Podzemní prostory budou s povrchovým areálem propojeny svislými přístupovými šachtami a tunelem ve tvaru šroubovice. Tyto prostory však nebudou mít žádný vliv na akce, které se budou odehrávat na povrchu. Nadzemní areál úložiště bude zajišťovat nezbytné technické zázemí. Bude zahrnovat provozy a zařízení zabezpečující dodávky elektřiny, větrání úložiště, správní budovy, sklady a také informační středisko. Pro zajištění dlouhodobé bezpečnosti hlubinného úložiště je klíčová role ukládacího kontejneru. Musí vyhovět řadě požadavků, např. dlouhodobá těsnost, odolnost vůči chemickému prostředí v úložišti či okolnímu tlaku. [4]

Dlouhodobá strategie České republiky v oblasti zneškodňování vysoce aktivních

odpadů je formulována v dokumentu nazvaném Koncepce nakládání s radioaktivními odpady a vyhořelým jaderným palivem. [5] Časový harmonogram koncepce je znázorněn v tabulce 1. Koncepce doporučuje jako nejvhodnější variantu pro ukládání vysoce aktivních odpadů a vyhořelého jaderného paliva hlubinné úložiště, ale zároveň doporučuje sledovat i nové technologie, které by mohly vést k dalšímu využití těchto prvků. Časový harmonogram přípravy hlubinného úložiště: [6]

Tabulka 1: Příprava hlubinného úložiště

Cíl prací	Termín dokončení prací
Výběr dvou vhodných lokalit pro úložiště	2015
Výběr finální lokality	2025
Výstavba podzemní laboratoře v lokalitě	2030
Zahájení provozu hlubinného úložiště	2065

Vyhledávací fáze geologického průzkumu vhodných lokalit je plánována na období 2010–2015. Tato fáze zahrnuje jejich podrobné mapování. V současnosti existuje několik vytipovaných lokalit, které se zkoumají:

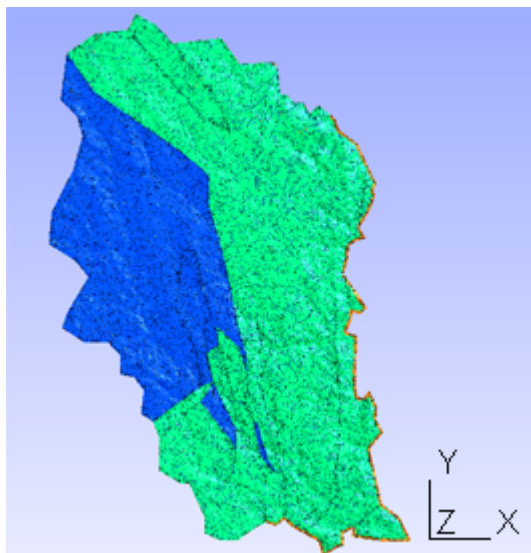
- Březový potok v Plzeňském kraji.
- Čihadlo v Jihočeském kraji.
- Horka v Kraji Vysočina.
- Čertovka v Plzeňském kraji.
- Melechov v Kraji Vysočina.
- Magdaléna v Jihočeském kraji.
- Hrádek (Rožná) v Kraji Vysočina

Ve fázi výběru dvou vhodných lokalit pro úložiště (2015–2025) bude charakter a vhodnost vybrané lokality potvrzena na základě podrobných vrtných prací a dalších výzkumů hornin. Záložní lokalita bude zkoumána pouze v případě, že hlavní lokalita nebude splňovat původní předpoklady.

Transportní sítě, na kterých byly prováděny výpočty v rámci této bakalářské práce, představují lokality:

- Rožná–Olší v Kraji Vysočina.
- Melechov v Kraji Vysočina.

Na těchto sítích byly také testovány funkce softwaru (kapitola 4). Veškeré obrázky, které jsou uvedeny v této práci, demonstrují výsledky výpočtů na těchto vytypovaných oblastech.



Obrázek 2: Rožná–Olší

Na obrázku 2 je znázorněna transportní síť, jež představuje lokalitu Rožná–Olší. Různé barvy představují odlišné typy hornin. Tato transportní síť obsahuje 494 589 elementů¹ a 103 641 vrcholů. Všechny elementy v této síti jsou 3D. Nejvyšší a nejnižší souřadnice na osách v této výpočetní síti jsou:

- Osa x – nejnižší souřadnice je -631 209 m a nejvyšší -610 935 m.
- Osa y – nejnižší souřadnice je -1 142 110 m a nejvyšší -1 111 690 m.
- Osa z – nejnižší souřadnice je -600 m a nejvyšší 798 m.

Transportní síť, jež představuje lokalitu Melechov je menší a obsahuje 37068 elementů (2 798 2D elementů a 34 270 3D elementů a 7 174 vrcholů. Nejvyšší a nejnižší souřadnice na osách v této výpočetní síti jsou:

- Osa x – nejnižší souřadnice je 124 m a nejvyšší 10 063 m.
- Osa y – nejnižší souřadnice je 154 m a nejvyšší 12 280 m.
- Osa z – nejnižší souřadnice je -600 m a nejvyšší 707 m.

V letech 2025–2035 by se měl výběr posunout do finální fáze. Dále bude vystavěna podzemní laboratoř. Vlastnosti a vhodnost horninového prostředí budou zkoumány

¹ 3D element představuje čtyřstěn a 2D element trojúhelník.

přímo na lokalitě v horninovém komplexu. Pokud i tato fáze věrohodně prokáže bezpečnost vybrané lokality, bude vypracována zpráva pro povolení výstavby hlubinného úložiště. Toto úložiště by mělo zahájit provoz v roce 2065. [6]

3 Flow123D

Software Flow123D, který je využíván v rámci této bakalářské práce, je vhodný pro výpočet podzemního proudění v puklinovém prostředí a stanovení transportu kontaminace ve zvolené oblasti. V lokalitě Rožná–Olší se předpokládá, že by mohlo být umístěno hlubinné úložiště vyhořelého jaderného odpadu. Právě pro tyto úlohy je využíván software Flow123D, kdy je vypočten tok podzemní vody v oblasti a transport radionuklidů z úložiště. Program je schopen popsat proudění podzemní vody a transportní procesy ve 3D, 2D a 1D prostředí. [7]

3.1 Vstupní soubory

Parametry transportní sítě jsou definovány v několika souborech. Jaké informace tyto soubory uchovávají, je přibliženo v tabulce 2.

Tabulka 2: Vstupní soubory do softwaru Flow123D

Přípona vstupního souboru	Informace
mtr	Vlastností hornin a puklin
bcd	Okrajové podmínky proudění
msh	Struktura sítě
ngb	Definice hran
bct	Okrajové podmínky transportu
ict	Počáteční podmínky transportu
ini	Soubor s parametry spuštění

Soubor s příponou msh má stejnou strukturu jako první dvě části výstupního souboru formátu pos. Ostatní soubory nebyly v rámci této práce využity.

3.2 Výstupní soubory

Výstupními daty rozumíme soubor s definicí sítě, který má příponu pos a textový soubor obsahující informace o tocích přes stěny či hrany jednotlivých elementů, jenž má příponu txt.

3.2.1 Soubor s definicí sítě

Soubor s definicí sítě uchovává informace o uspořádání elementů v dané síti

a koncentraci radionuklidů na elementech výpočetní sítě v simulačním čase. Formát tohoto souboru je využíván jako formát vstupního souboru pro vytvořenou aplikaci v rámci této bakalářské práce. Soubor má vždy stejnou strukturu a je rozdělen do tří základních částí. První sekce je znázorněna na obrázku 3.

```

$MeshFormat
2 0 8
$EndMeshFormat
1 — $Nodes
2 — 7174
3 — 1 124.000000 2811.000000 383.000000
   2 333.000000 5983.000000 387.000000
   2 923.000000 8051.000000 439.000000

```

Obrázek 3: Definice vrcholů v síti

- 1) **Vrcholy** – Položka informuje o tom, že se jedná o část souboru, jenž popisuje vrcholy elementů.
- 2) **Počet vrcholů** – Číslo informuje o celkovém počtu vrcholů, které se vyskytují v síti.
- 3) **Index** – Toto číslo označuje index vrcholu.
- 4) **Souřadnice** – Hodnoty představují souřadnice vrcholu na osách x , y , z .

Každý řádek pod hodnotou s celkovým počtem vrcholů uchovává informace pomocí indexu vrcholu a jeho souřadnic na osách. Sekce je ukončena řádkem \$EndNodes.

Druhá sekce souboru je znázorněna na obrázku 4.

```

7173 4361.000000 4139.000000 -348.000000
$EndNodes
1 — $Elements
2 — 37068
3 — 0 2 3 2212 2212 0 2129 277 150
4 — 1 2 3 2212 2212 0 278 2129 277

```

Obrázek 4: Definice elementů v síti

- 1) **Elementy** – Položka informuje o tom, že se jedná o část souboru, jenž popisuje elementy.
- 2) **Počet elementů** – Číslo informuje o počtu elementů, jenž se vyskytují v síti.
- 3) **Index** – Toto číslo označuje index elementu.

- 4) **Typ elementu** – Hodnota udává, jaký rozměr má element (1D, 2D, 3D).
- 5) **Vrcholy** – Hodnoty představují indexy vrcholů, které daný element obsahuje.
- 6) **Typ Horniny** – Těmito čísly je určen typ horniny.

Pod hodnotou s celkovým počtem elementů v síti jsou uchovávány informace o jednotlivých elementech. V této práci jsou využívány všechny sloupce mimo třetího a šestého. Pokud je daný element 2D, poslední tři sloupce informují o tom, jakými vrcholy je element tvořen. Pokud je však 3D, jsou pro tuto informaci využity poslední čtyři sloupce. Tato sekce je ukončena řádkem \$EndElements. Informace ve třetí části souboru slouží k uchování koncentrace látek na daném elementu v určitý čas. V rámci vytvořené aplikace však tato část není využita.

3.2.2 Soubor s definicí toků

Další výstupní soubor udává informace o tocích přes stěny či hrany jednotlivých elementů. Tyto informace jsou využívány při vyhledávání transportních cest. Struktura souboru je zobrazena na obrázku 5.

```

$FlowField
T=inf
37068
0 149 -387 275 -59 3 149 149 151 -9456 8022 -6142
1 152 -273 366 -35 3 152 149 154 -808 9456 -8277
2 150 -309 83 -6 3 149 149 151 1010 4969 -7275
.
.
.
37068 702 -0.004 0.002 -0.0003 4 709 707 767 625 -231 -73 182 122
37069 976 -0.001 -0.0002 -0.003 4 997 993 995 921 -45 64 46 -65
$EndFlowField

```

Obrázek 5: Soubor s definicí toků

V rámci této práce je využíván první sloupec a poslední čtyři (případně 3, pokud je element 2D). Pro zvýšení přehlednosti byla většina hodnot na obrázku 5 zaokrouhlena na celé číslo. Hodnoty v těchto sloupcích demonstrují:

- 1) **Index** – Číslo označuje index elementu.
- 2) **Toky** – U 3D elementu představuje každá hodnota objem látky, který proudí přes určitou stěnu (u 2D elementu přes hranu).

U 3D elementu je přiřazen jeden tok k jedné stěně. Index toku v souboru odpovídá indexu vrcholu, který nenáleží stěně, přes kterou proudí daný objem látky. Kladné hodnoty představují odtok a záporné přítok. Element s indexem 37 069, jenž je znázorněn na obrázku 5, obsahuje vrcholy číslo 3 430, 3 423, 7 173, 360 a hodnoty toků -45, 64, 46 a -65 m³/rok. Tok 64 m³/rok, který má index 1, náleží indexu vrcholu číslo 3 423.² Tok 64 m³/rok tedy proudí přes stěnu tvořenou vrcholy 3 430, 7 173 a 360. Objem látky, která proudí z elementu, musí být stejný jako absolutní hodnota objemu látky, která proudí do elementu (součet toků musí být 0).

U 2D elementu je přiřazen tok k jedné hraně. Index toku v souboru odpovídá hraně elementu, jež je tvořena vrcholem se stejným indexem jako index toku a vrcholem s následujícím indexem. Pokud má hodnota toku index 2 (třetí v pořadí), tak odpovídá hraně tvořené vrcholy s indexy 2 a 0. Element číslo 2, jenž je znázorněn na obrázku 5, obsahuje vrcholy číslo 2 140, 277, 150 a toky 1 010, 4 969 a -7 275 m³/rok. Tok 4 969 m³/rok, který má index 1, náleží hraně obsahující vrcholy číslo 277 a 150. Hodnota toku je kladná a odpovídá objemu látky, který proudí do sousedních elementů přes tuto hranu. Záporná hodnota toku představuje objem látky, který proudí se sousedních elementů přes odpovídající hranu. Součet všech toků demonstruje objem látky, jenž proudí skrze 2D element.

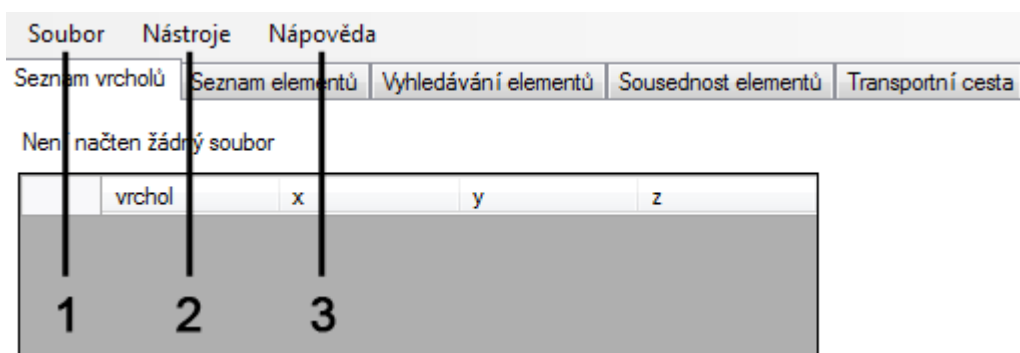
2 První položka má index 0.

4 Základní prvky aplikace

Vytvořená aplikace je napsána pomocí jazyku C# za použití WinForms a řeší úlohy na vstupní transportní síti. Seznam těchto úloh a dalších funkcí aplikace s odkazy na kapitoly:

- Zobrazení seznamu vrcholů s jejich souřadnicemi (kapitola 5.1).
- Zobrazení seznamu elementů s jejich vrcholy (kapitola 5.2).
- Vyhledávání elementů, které se vyskytují v požadované podoblasti vstupní výpočetní sítě (kapitola 6).³
- Vyhledávání sousednosti pro všechny elementy výpočetní sítě (kapitola 7).
- Vyhledávání nejkratších a transportních cest (kapitola 8).
- Nastavení stránkování tabulek v jednotlivých panelech.
- Vyhledávání elementu v seznamu nalezených elementů ve vybrané podoblasti transportní sítě.
- Zjištění objemu vybraného elementu.
- Zjištění sousednosti vybraného elementu.
- Uložení nalezených elementů ve vybrané podoblasti a nalezených transportních nebo nejkratších cest (kapitola 9).

Po spuštění souboru **Transportní cesty.exe** se otevře okno softwaru, jehož základní ovládací prvky jsou vyobrazeny na obrázku 6.



Obrázek 6: Základní ovládací prvky aplikace

³ Podoblast je omezená vstupní síť na základě uživatelem zvolených parametrů funkce Vyhledávání elementů. Vybraná podoblast je znázorněna na obrázku 19.

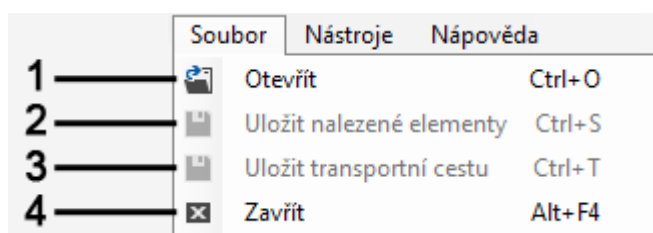
Tento formulář má v záhlaví 3 záložky:

- 1) **Soubor** – Pomocí této záložky lze otevřít soubor se vstupními daty, uložit nalezené elementy ve vybrané podoblasti, uložit nalezené transportní cesty nebo ukončit běh programu.
- 2) **Nástroje** – Tato záložka obsahuje nastavení stránkování tabulek, možnost vyhledávání nalezeného elementu v tabulce, zobrazit objem či sousedy zvoleného elementu.
- 3) **Nápověda** – Tato záložka obsahuje informace o vytvořeném softwaru a kontaktní informace.

Toto je základní nastavení po spuštění aplikace, které se nemění, dokud není načten soubor s definicí sítě.

4.1 Záložka soubor

Po kliknutí na záložku Soubor je k dispozici nabídka, která je zobrazena na obrázku 7. Prvky v této záložce umožňují uložit nalezené výsledky do výstupních souborů, které jsou popsány v kapitole 9. Na obrázku 7 je znázorněno, že jsou také k jednotlivým funkcím přiřazeny klávesové zkratky.⁴



Obrázek 7: Záložka Soubor

V této záložce jsou k dispozici 4 operace:

- 1) **Otevřít** – Tato volba umožňuje vybrat soubor s definicí sítě, který je popsán na obrázcích 3 a 4.
- 2) **Uložit nalezené elementy** – Možnost, jež umožňuje uložit seznam nalezených elementů ve vybrané podoblasti do textového souboru formátu txt.

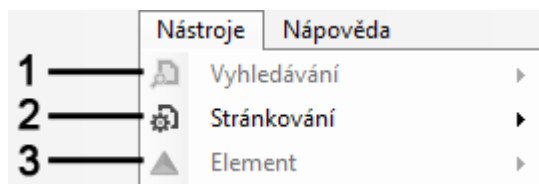
⁴ Po stisku klávesové zkratky je provedena požadovaná operace.

- 3) **Uložit transportní cestu** – Tato položka umožňuje uložit nalezené transportní cesty do souboru formátu msh⁵ a také uložit seznam elementů s vrcholy a souřadnicemi, které se v cestách vyskytují do textového formátu txt.
- 4) **Zavřít** – Kliknutím na položku lze ukončit aplikaci.

Pokud je vybrán soubor s definicí sítě, jsou tato data uložena a zpřístupněny některé další funkce softwaru.

4.2 Záložka nástroje

Po kliknutí na záložku Nástroje je k dispozici nabídka, která je zobrazena na obrázku 8. V této nabídce jsou k dispozici 3 záložky (1, 2, 3).



Obrázek 8: Záložka Nástroje

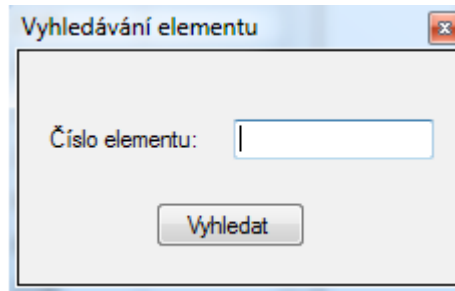
Záložka Vyhledávání je zpřístupněna po nalezení elementů ve zvolené podoblasti. Pomocí této funkce lze zjistit, zda se hledaný element vyskytuje ve zvolené podoblasti a případně ho označit v tabulce. Záložka Element je dostupná ihned po načtení vstupního souboru. Jednotlivé záložky jsou popsány v následujících kapitolách.

4.2.1 Vyhledávání elementu ve zvolené podoblasti

Tato volba umožňuje, po nalezení elementů ve vybrané oblasti, vyhledat element v tabulce nalezených elementů.⁶ Po kliknutí na tento prvek je zobrazeno okno, které je znázorněno na obrázku 9. Pro nalezení elementu je nutné znát jeho číslo.

⁵ Soubor formátu msh lze otevřít a vizualizovat pomocí softwaru GMSH.

⁶ Pomocí této funkce lze zjistit, jestli se požadovaný element nachází ve vybrané podoblasti. Pokud je transportní síť omezena funkcí Vyhledávání elementů a hledaný element se nachází v této podoblasti, tak je zobrazena příslušná strana a řádek tabulky s nalezenými elementy.

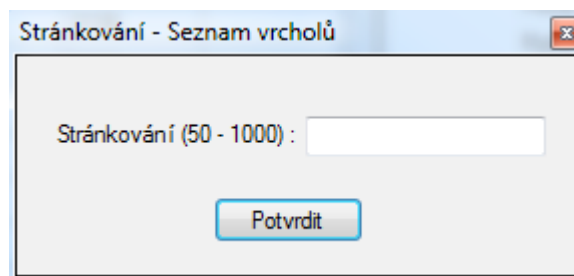


Obrázek 9: Funkce Vyhledávání elementu

Pokud se element nachází v seznamu nalezených elementů, je ihned označen v tabulce. V opačném případě je zobrazeno dialogové okno, které informuje o nenalezení elementu.

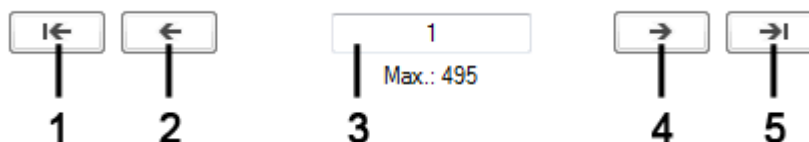
4.2.2 Nastavení stránkování tabulek

Tato funkce umožňuje zvolit počet zobrazených prvků, na jedné straně, v tabulce.⁷ Po kliknutí na tento prvek je zobrazen formulář, který je znázorněn na obrázku 10.



Obrázek 10: Funkce Stránkování tabulek

Počet prvků na jedné straně tabulky se musí nacházet v rozmezí 50–1 000 prvků. Po kliknutí na tlačítko Potvrdit se ihned změní počet prvků na jedné straně a maximální počet stran. Listovat je možné pomocí ovládacích prvků, které jsou znázorněny na obrázku 11.



Obrázek 11: Ovládací prvky stránkování

⁷ Ve výchozím nastavení je zobrazeno 1 000 prvků na jedné straně.

Pod každou tabulkou, u které je dostupné stránkování je 5 ovládacích prvků :

- 1) **První strana** – Po kliknutí na tento ovládací prvek se zobrazí první strana tabulky (například informace o elementech 1–1 000).
- 2) **Předchozí strana** – Po kliknutí na toto tlačítko se zobrazí předchozí strana tabulky (pokud není zobrazena první strana tabulky).
- 3) **Číslo strany** – Do tohoto textového pole lze napsat číslo strany, kterou chce uživatel zobrazit. Toto číslo musí být celé, větší než nula a menší než maximální počet stran. Maximální počet stran je zobrazen pod textovým polem. Pokud je vloženo číslo, které není v tomto rozsahu nebo jsou data ve špatném formátu, je uživateli zobrazeno dialogové okno s varováním.⁸
- 4) **Další strana** – Po kliknutí na tento prvek se zobrazí následující strana tabulky (pokud není zobrazena poslední strana).
- 5) **Poslední strana** – Po kliknutí na toto tlačítko se zobrazí poslední strana tabulky (například 494 001–494 589).

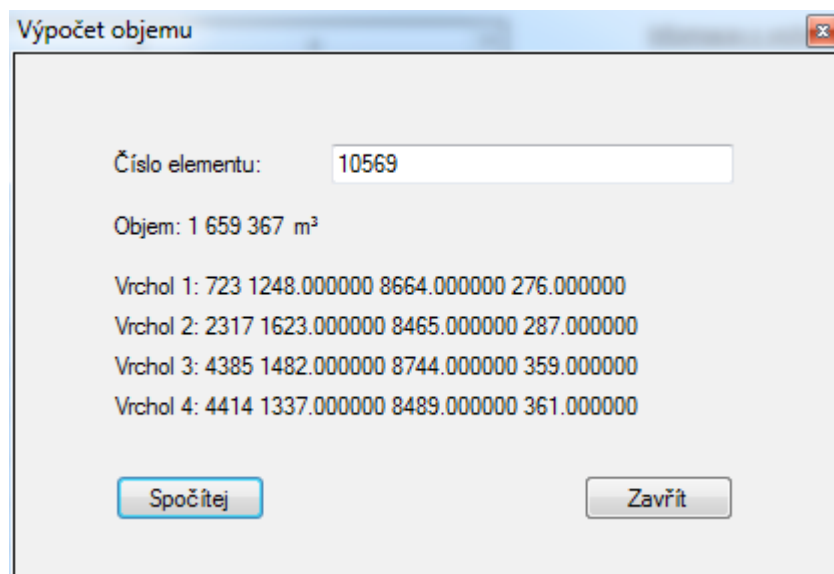
Tato funkce je umožněna tabulkám se seznamem vrcholů, elementů, nalezených elementů a sousedností elementů.

4.2.3 Element

Touto volbou lze zjistit objem nebo sousední elementy vybraného elementu.⁹ Po kliknutí na tento prvek se zobrazí formulář, který je znázorněn na obrázku 12.

⁸ Po zadání požadované strany je proveden výpočet, který element bude na zvolené straně zobrazen jako první a poté je vypsán nastavený počet prvků.

⁹ Objem 3D elementu je vypočten pomocí determinantu, jenž je vynásoben jednou šestinou. Obsah 2D elementu je spočten pomocí vektorového součinu, který je vynásoben jednou polovinou.



Obrázek 12: Funkce Objem elementu

Po zadání čísla elementu, který se nachází v síti, je zobrazen jeho objem v objemových jednotkách. Jestliže je zadán element 2D, je zobrazen obsah elementu v obsahových jednotkách. V případě, že se element nenachází ve výpočetní síti je uživateli zobrazeno okno s upozorněním, že se ve struktuře transportní sítě nevyskytuje hledaný element. Pokud nejsou vyplněna data v požadovaném formátu (celé číslo, jež představuje element transportní sítě), výpočet objemu není proveden a je zobrazeno okno s upozorněním na nesprávná vstupní data.

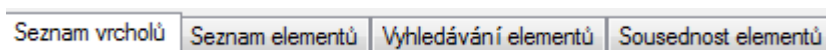
4.3 Nápověda

Záložka Nápověda obsahuje položku O aplikaci. Po kliknutí na tuto položku je zobrazen formulář, který obsahuje základní informace o tomto softwaru a kontaktní údaje. Tyto údaje jsou ve formě e-mailové adresy.¹⁰

¹⁰ Po kliknutí na e-mailovou adresu je spuštěn e-mailový klient na počítači uživatele (pokud je nainstalován).

5 Zobrazení struktury sítě

Po zpracování vstupního souboru jsou data zobrazována v jednotlivých panelech. Seznam panelů je zobrazen na obrázku 13.



Obrázek 13: Seznam panelů

Každý panel popisuje určitou část sítě nebo operace s elementy. Na panelech Seznam vrcholů (kapitola 5.1) a seznam elementů (kapitola 5.2) jsou zobrazeny informace o struktuře sítě. Na dalších panelech jsou prováděny operace na výpočetní síti.

5.1 Seznam vrcholů

Po načtení vstupních dat s definicí sítě je pod záhlavím formuláře, v prvním panelu (Seznam vrcholů), zobrazena cesta ke vstupnímu souboru. Dále je také zobrazena tabulka se seznamem vrcholů a statistický přehled o vrcholech v síti.¹¹ Tyto informace jsou znázorněny na obrázku 14.

Načten soubor: F:\rozna_olsi_t.pos

	vrchol	x	y	z
▶	1	-619475	-1140390	436
	2	-620662	-1141190	486
	3	-621578	-1141190	486
	4	-622466	-1140800	509
	5	-622460	-1139900	515
	6	-623321	-1137990	536
	7	-623817	-1137990	533
	8	-625004	-1137290	567

Informace o vrcholech:
Počet vrcholů: 103641
Nejvyšší souřadnice x: -610935
Nejvyšší souřadnice y: -1111690
Nejvyšší souřadnice z: 798
Nejnižší souřadnice x: -631209
Nejnižší souřadnice y: -1142110
Nejnižší souřadnice z: -600

Obrázek 14: Seznam vrcholů

V tabulce jsou uchovávána data o jednotlivých vrcholech. V prvním sloupci se nachází index vrcholu a v dalších třech sloupcích jsou data o jeho pozici. V pravé části na obrázku 14 je znázorněn statistický přehled, který zobrazuje nejmenší a největší

¹¹ Po načtení vstupního souboru jsou vyhledány nejvyšší a nejnižší souřadnice na všech osách.

hodnoty souřadnic na všech osách a celkový počet nalezených vrcholů. Jednotlivé souřadnice jsou udávány v délkových jednotkách. V této tabulce je dostupné stránkování, které lze nastavit v záložce Nástroje–Stránkování–Seznam vrcholů.

5.2 Seznam elementů

Po přepnutí na panel Seznam elementů je uživateli zobrazena tabulka se seznamem elementů a statistický přehled o elementech. Tyto informace jsou znázorněny na obrázku 15 a 16.

	element	vrchol 1	vrchol 2	vrchol 3	vrchol 4
	1	5560	45667	5555	45363
	2	5861	5928	5949	45385
	3	5464	45307	45308	45382
	4	5897	1872	45744	45676
▶	5	45661	45592	5491	5481

Obrázek 15: Seznam elementů

V tabulce jsou uchována data o jednotlivých elementech. V prvním sloupci se nachází index elementu a v dalších sloupcích jsou jeho vrcholy. V pravé části na obrázku 16 je znázorněn statistický přehled, který pojednává o celkovém počtu elementů, o počtu 2D a 3D elementů a o souřadnicích vybraného vrcholu v tabulce.¹²

Informace o elementech:

Počet elementů: 494589

Počet 2D: 0

Počet 3D: 494589

Souřadnice vrcholu: [-618763 ; -1132610 ; 467]

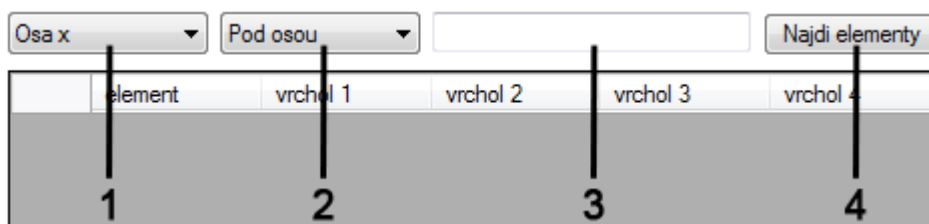
Obrázek 16: Informace o elementech

Po kliknutí na kterýkoli vrchol elementu jsou v přehledu zobrazeny jeho souřadnice. V této tabulce je také dostupné stránkování, které lze nastavit v záložce Nástroje–Stránkování–Seznam elementů.

¹² Při načítání vstupního souboru formátu pos, jenž je přiblížen v kapitole 3.2, jsou zaznamenávány informace o počtu 2D a 3D elementů (druhý sloupec). Po načtení souboru jsou tyto data zobrazeny.

6 Vyhledávání elementů

Po přepnutí na panel Vyhledávání elementů je uživateli zobrazena prázdná tabulka pro nalezené elementy, ovládací prvky pro možnosti vyhledávání, tlačítko pro vynulování výsledků a statistický přehled o nalezených elementech. Tyto informace jsou znázorněny na obrázku 17 a 18.



Obrázek 17: Vyhledávání elementů

- 1) **Osa** – Tento ovládací prvek umožňuje uživateli volbu osy, kterou chce použít pro podmínky vyhledávání.
- 2) **Směr vyhledávání** – V této složce lze vybrat ze tří směrů vyhledávání:
 - Pod osou – Všechny elementy pod zadanou hodnotou na vybrané ose.
 - Na ose – Všechny elementy na zadané hodnotě na vybrané ose.¹³
 - Nad osou – Všechny elementy nad zadanou hodnotou na vybrané ose.
- 3) **Vstupní hodnota** – Do tohoto vstupního pole lze vložit požadovanou hodnotu, která je stěžejní pro podmínky vyhledávání.
- 4) **Vyhledávání** – Tlačítko Najdi elementy zahájí proces vyhledávání elementů podle zvolených podmínek.

¹³ Pokud je cílem vyhledávání bod (vyhledávání na ose pro všechny osy), pak po postupném omezování počtu nalezených elementů (1 vyhledávání na ose = 1 omezení) je nalezena skupina elementů, ve kterých by se mohl požadovaný bod nacházet. Každý element z této skupiny je doplněn o tento bod a rozdělen na 4 menší elementy (kombinace třech jeho vrcholů a hledaný bod). Pro každý z těchto menších elementů je vypočten objem pomocí determinantu. Pokud je součet objemů menších elementů stejný s objemem zpracovávaného elementu, pak hledaný bod náleží zpracovávanému elementu.

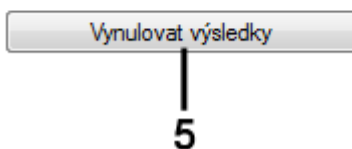
Informace o nalezených elementech:

Počet nalezených elementů: 297984

Počet nalezených 3D elementů: 297984

Počet nalezených 2D elementů: 0

Souřadnice vrcholu: Vyberte Vrchol



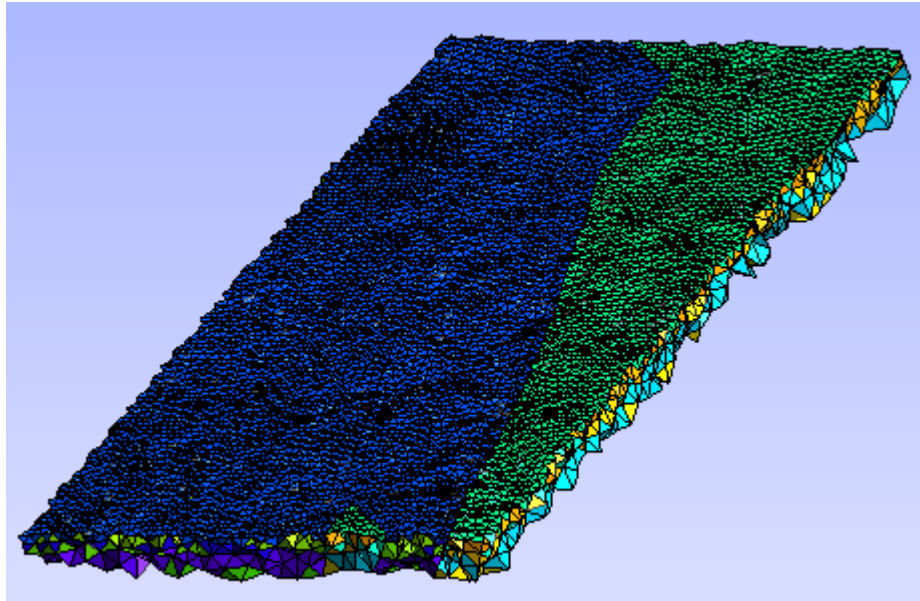
Obrázek 18: Informace o nalezených elementech

- 5) **Vynulování výsledků** – Po kliknutí na tlačítko Vynulovat výsledky se všechny výsledky vyhledávání obnoví do původního stavu.

Pokud jsou za zvolených podmínek nalezeny elementy, jsou ihned zobrazeny v tabulce. V této tabulce jsou uchovávána data o jednotlivých nalezených elementech. Stejně jako v tabulce se seznamem elementů, tak i v tabulce se seznamem nalezených elementů se v prvním sloupci nachází index nalezeného elementu a v dalších sloupcích jsou jeho vrcholy.

Na obrázku 18 je znázorněn statistický přehled, který pojednává o celkovém počtu nalezených elementů a o počtu 2D a 3D nalezených elementů. Po kliknutí na kterýkoli vrchol v tabulce jsou v přehledu zobrazeny jeho souřadnice. V této tabulce je dostupné stránkování, které lze nastavit v záložce Nástroje–Stránkování–Nalezené elementy. V této tabulce je také dostupná funkce Vyhledávání elementů, kterou lze spustit v záložce Nástroje–Vyhledávání–Element. Uživateli je umožněno uložení nalezených elementů (zvolenou podoblast) do souboru formátu msh. Výstupní data jsou popsána v kapitole 9. Tuto volbu lze nalézt v záložce Soubor–Uložit nalezené elementy.

Při vyhledávání elementů v uživatelem zvolené podoblasti je možné kombinovat omezení na všech osách. Postupným kombinováním omezení na osách lze dosáhnout útvaru, který je znázorněný na obrázku 19.



Obrázek 19: Nalezené elementy ve vybrané podoblasti

Na obrázku 19 jsou znázorněny elementy ve vybrané podoblasti výpočetní sítě, která představuje lokalitu Rožná–Olší. Tyto elementy byly nalezeny na základě vyhledávání, jenž je určeno těmito parametry (omezení na osách):

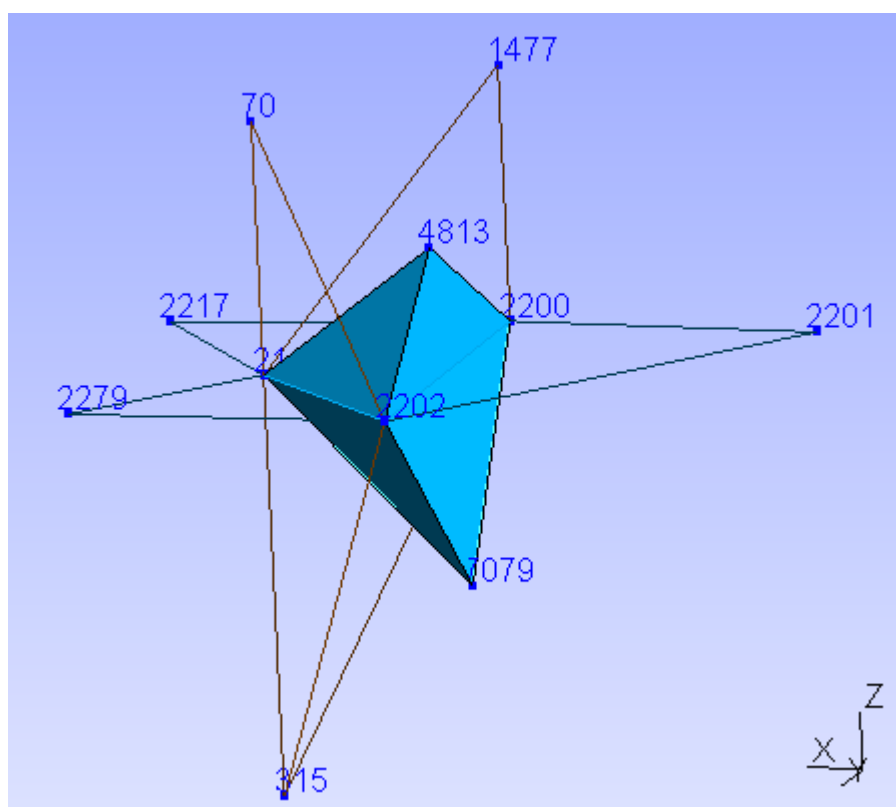
- Osa x – pod -620 000 m a nad -625 000 m.¹⁴
- Osa y – pod -1 130 000 m a nad -1 120 000 m.
- Osa z – nad 0 m.

14 Jednotlivé hodnoty představují nadmořskou výšku.

7 Sousednost elementů

Po přepnutí na panel Sousednost elementů je uživateli zobrazena tabulka, tlačítko k nalezení sousedů, ovládací prvky pro listování v tabulce a popisky pro zobrazení vrcholů elementů a jejich souřadnic. Tabulka je po nalezení sousedů všech elementů dynamicky zformátována a zobrazuje všechny sousedy ke všem elementům.¹⁵

Pro nalezení sousednosti slouží tlačítko Najdi sousedy. Po kliknutí na tento prvek se spustí proces vyhledávání sousedních elementů. U každého 2D elementu je nutné zjistit, které 2D elementy s ním sousedí přes hranu, a které 3D elementy s ním sousedí přes stěnu. Sousednost 2D elementu je znázorněna na obrázku 20.



Obrázek 20: Sousednost 2D elementu

Na obrázku 20 je znázorněna sousednost 2D elementu číslo 193 (9 sousedů) transportní sítě pro lokalitu Melechov.¹⁶ Dále jsou znázorněny čísla vrcholů jednotlivých

¹⁵ Po dokončení vyhledávání sousednosti je zjištěn maximální počet sousedů (v rámci všech elementů) a počet sloupců tabulky je zvětšen na základě tohoto maxima.

¹⁶ Transportní síť, jež demonstruje lokalitu Melechov obsahuje celkem 37 068 elementů (2 798 2D elementů a 34 270 3D elementů) a 7 174 vrcholů.

elementů. Element číslo 193 je umístěn mezi dvěma zbarvenými 3D elementy. Také lze vidět, že se mohou křížit pukliny (2D elementy). U sousedních 2D elementů jsou zobrazeny pouze hrany.

U každého 3D elementu je nutné nalézt takové elementy, které s ním sousedí pouze přes stěnu.¹⁷ Celý proces je znázorněn v ukazateli průběhu, který informuje o stavu vyhledávání v procentech a který se postupně vyplňuje zelenou barvou v závislosti na procentech. Po nalezení sousednosti u všech elementů je uživateli zobrazeno dialogové okno, které informuje o úspěšném dokončení vyhledávání a znemožní se kliknutí na tlačítko pro vyhledávání sousednosti.

Dále je vyplněna tabulka, která informuje o sousedech všech elementů. Po označení libovolného elementu v tabulce (sousedního či indexovaného, ke kterému jsou zobrazení sousedé) jsou v pravé části zobrazeny podrobnosti o vybraném prvku. Tyto detaily informují o čísle vybraného elementu, jeho vrcholech a také o souřadnicích těchto vrcholů (po umístění ukazatele myši nad zvolený vrchol je zobrazen popis informující o souřadnicích vrcholu). Zobrazení sousedností v tabulce a detailní informace k vybranému elementu jsou znázorněny na obrázku 21.

	element	soused 1	soused 2	soused 3	soused 4
▶	1	440	783	3015	3926
	2	50	166	914	
	3	1033	2846	3590	3728
	4	511	1732	4357	4358
	5	1002	4634	4658	4660
	6	1202	3565	4185	4258
	7	11	24	91	4136

Najdi sousedy

Vrcholy elementu: 1

Vrchol 1: 5560

Vrchol 2: 45667

Vrchol 3: 5555

Vrchol 4: 45363

Obrázek 21: Sousednost elementů

Po nalezení sousednosti je umožněno vyhledávání transportní cesty. V této tabulce je dostupné stránkování, které lze nastavit v záložce Nástroje–Stránkování–Sousednost elementů.

¹⁷ U každého 2D elementu je nutné zjistit, které 2D elementy s ním sdílí 2 vrcholy (sousednost přes hranu), a které 3D elementy s ním sdílí 3 vrcholy (sousednost přes stěnu). U 3D elementu je potřeba zjistit, které všechny elementy s ním sdílí 3 vrcholy (sousednost přes stěnu).

8 Transportní cesta

Vyhledávání transportních cest je podmíněno úspěšným nalezením sousednosti všech elementů. Pokud tato podmínka není splněna, je uživateli zobrazeno dialogové okno s upozorněním a software je přepnut na panel Sousednost elementů (kapitola 7). Po přepnutí na panel Transportní cesta je uživateli umožněn výběr ze čtyř typů vyhledávání:

- Vyhledávání nejkratší cesty mezi elementy bez ohledu na toky přes stěny a hrany elementů na výpočetní síti (kapitola 8.1).
- Vyhledávání preferenční transportní cesty na výpočetní síti (kapitola 8.2).
- Nalezení všech transportních cest ze startovního elementu (kapitola 8.3).
- Nalezení všech transportních cest do startovního elementu (kapitola 8.4).

Pro vyhledávání transportních cest nebo nejkratší cesty je k dispozici 5 ovládacích prvků. Tyto prvky jsou zobrazeny na obrázku 22.



Obrázek 22: Parametry vyhledávání transportní cesty

Pro výběr typu vyhledávání je využitý kombinovaný seznam. Seznam všech ovládacích prvků pro určení parametrů vyhledávání:

- 1) **Typ vyhledávání cesty** – V tomto seznamu je možné zvolit typ vyhledávání.
- 2) **Načíst soubor s toky** – Tlačítko umožňuje načíst soubor obsahující informace o tocích přes stěny či hrany jednotlivých elementů (kapitola 3.2).¹⁸

¹⁸ Záporné hodnoty představují proudění přes stěnu (případně hranu) směrem do elementu a kladné hodnoty opačný směr proudění.

- 3) **Vyhledat** – Tímto tlačítkem lze zahájit proces vyhledávání podle zvolených parametrů.
- 4) **Startovací element** – Textové pole umožňuje zvolit startovací element cesty.
- 5) **Cílový element** – Textové pole umožňuje zvolit cílový element cesty.

Soubor obsahující přetoky přes elementy nemusí být načten, pokud je zvoleno vyhledávání nejkratší cesty mezi dvěma elementu bez ohledu na toky.¹⁹ V opačném případě je nutné tento soubor načíst. Celý proces načítání a ukládání toků k jednotlivým elementům je znázorněn v ukazateli průběhu, který informuje o stavu vyhledávání v procentech a který se postupně vyplňuje zelenou barvou v závislosti na procentech.

Po úspěšném načtení souboru s toky je uživateli zobrazeno dialogové okno, které potvrzuje úspěšné dokončení této operace. Pokud však tento soubor nemá požadovanou strukturu, je uživateli zobrazeno chybové hlášení o nesprávném formátu souboru a není zpřístupněno vyhledávání transportních cest s ohledem na toky.

Startovací a cílový element musí být elementy načtené transportní sítě. Pokud je zvolen třetí či čtvrtý typ vyhledávání (všechny cesty), je uživateli znemožněno zadání cílového elementu. Při vyhledávání je vytvářen strom elementů. Tento strom je zároveň prohledáván do šířky.²⁰ V případě, že je nalezena cesta, jenž splňuje vyhledávací podmínky, je možné zobrazit výsledný seznam elementů do tabulky. Tato tabulka je umístěna pod ovládacími prvky znázorněnými na obrázku 22. Tento výsledný seznam lze zobrazit kliknutím na tlačítko Zobrazit seznam elementů, které je zpřístupněno po úspěšném nalezení transportní cesty.

8.1 Nejkratší cesta mezi elementy

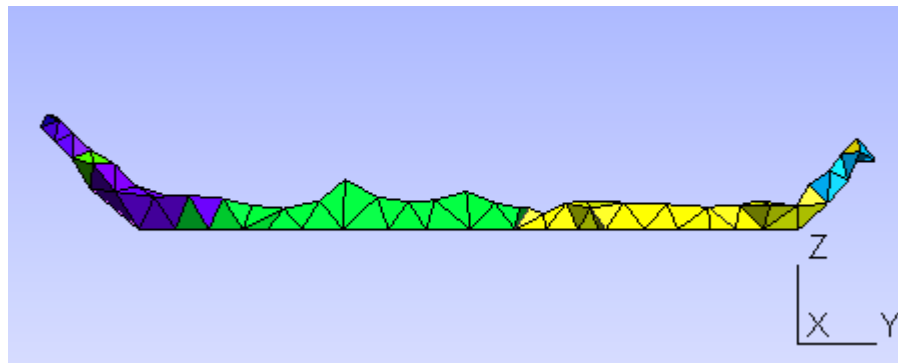
Prvním typem vyhledávání je hledání nejkratší cesty bez ohledu na toky přes elementy. V rámci této volby tedy není potřeba načíst soubor obsahující informace o tocích přes elementy. V průběhu tohoto vyhledávání je uvažováno, že látka z elementu

¹⁹ Zjišťuje se pouze nejkratší cesta mezi dvěma elementy prohledáváním do šířky.

²⁰ Způsob vytváření stromu při vyhledávání preferenční transportní cesty představuje prohledávání stromu do šířky. V každém kroku je vždy odebrán element ze začátku fronty. Elementu je přiřazen rodič a do fronty jsou vloženy jeho sousední elementy, do kterých se látka může šířit. Rodič je změněn, jestliže jsou zpracovány všechny potomci aktuálního rodiče.

může vytékat jakoukoli jeho stěnou a proudit tedy do jakéhokoli sousedního elementu. Jestliže je při vytváření stromu dosaženo cílového elementu, je nutné dokončit vyhledávání pro aktuální úroveň stromu z důvodu možných existencí více než jedné nejkratší cesty. V případě, že je počet nalezených nejkratších cest větší než jedna, je uživateli umožněn výběr zobrazení cesty ze seznamu nalezených cest.²¹

Na obrázku 23 je zobrazena transportní cesta bez ohledu na toky. Tato cesta byla nalezena v rámci transportní sítě, která znázorňuje jednu z vhodných lokalit pro umístění hlubinného úložiště vyhořelého jaderného odpadu. Jedná se o lokalitu Rožná–Olší, jež je zobrazena na obrázku 2.



Obrázek 23: Transportní cesta bez ohledu na toky

Jako startovací element byl zvolen element číslo 300 000 a jako cílový element číslo 89 218. Jednotlivé barvy představují typ horniny v rámci transportní sítě.

8.2 Preferenční transportní cesta mezi elementy

Druhým typem vyhledávání je hledání preferenční transportní cesty s ohledem na toky přes elementy. Proudění v transportní síti je znázorněno jako objem látky, který proudí přes stěny (respektive hrany) jednotlivých elementů. U této volby vyhledávání je tedy potřeba načíst soubor obsahující informace o tocích přes elementy. Během načítání tohoto souboru jsou ukládány hodnoty proudění k příslušným elementům. V průběhu hledání preferenční transportní cesty je nutné u každého elementu určit, přes které stěny, či hrany může látka z elementu vytékat nebo do něj vtékat.

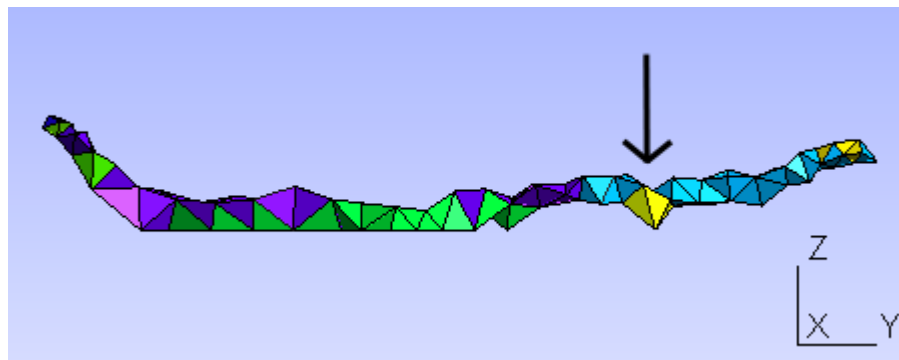
U 2D elementů se látka šíří skrze element, pokud leží mezi 3D elementy, a také přes

²¹ V případě, že existuje více nejkratších cest, je uživateli zobrazen kombinovaný seznam. V tomto seznamu je uživateli umožněn výběr, kterou nejkratší cestu chce zobrazit do tabulky.

jednotlivé hrany do sousedních 2D elementů. Celková bilance představuje proudění skrze 2D element.²² U 3D elementů látka proudí přes jejich stěny. Celková bilance na každém 3D elementu musí být nulová. V rámci vyhledávání preferenční cesty je nutné u každého elementu zamezit proudění látky do elementů, ze kterých látka přitéká.²³

Vytváření stromu je ukončeno, pokud je fronta prázdná nebo je nalezen cílový element. Jestliže je dosaženo cílového elementu, je nutné dokončit vyhledávání pro aktuální úroveň stromu z důvodu možných existencí více než jedné preferenční transportní cesty.

Na obrázku 24 je zobrazena transportní cesta s ohledem na toky.²⁴ Tato cesta byla opět nalezena v rámci transportní sítě Rožná–Olší, jež je zobrazena na obrázku 2.



Obrázek 24: Preferenční transportní cesta

Jako startovací element byl opět zvolen element číslo 300 000 a jako cílový element číslo 89 218. Oproti vyhledávání cesty bez ohledu na toky přes stěny je zde velká pravděpodobnost neexistence cesty. Tato pravděpodobnost je dána tím, že je možné, aby uživatel zvolil cílový element, který se nenachází ve směru proudění. V tomto případě nebude nalezena preferenční transportní cesta.

8.3 Transportní cesty z elementu

Třetím typem vyhledávání je hledání všech cest ze startovacího elementu s ohledem na toky přes elementy. V rámci této volby je znovu nutné načíst soubor obsahující

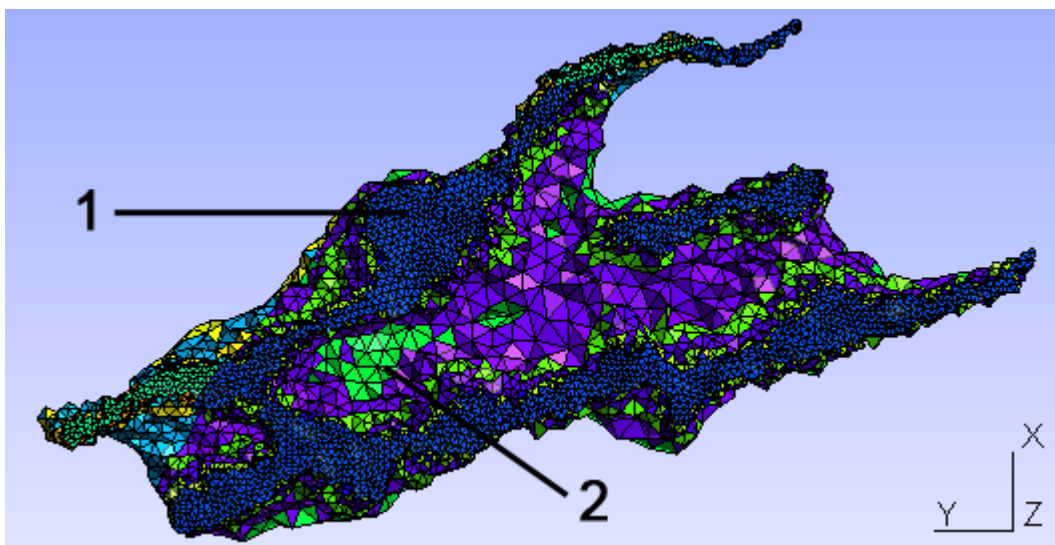
²² Celková bilance je součet všech toků přes element.

²³ Proudění z těchto elementů znázorňují záporné hodnoty toků na stěnách elementu.

²⁴ Šipka upozorňuje na jeden z rozdílů mezi nalezenou nejkratší a preferenční transportní cestou.

informace a tocích přes elementy. Proto je u tohoto typu opět potřeba u každého elementu zamezit proudění látky do elementů, ze kterých látka přitéká. Tento postup je zde aplikován stejným způsobem jako u předchozího typu vyhledávání.

Prohledávání stromu do šířky a vytváření stromu končí, pokud je fronta prázdná. Na obrázku 25 jsou zobrazeny všechny transportní cesty s ohledem na toky. Tyto cesty byly opět nalezeny v rámci transportní sítě Rožná–Olší, jež je zobrazena na obrázku 2.



Obrázek 25: Všechny transportní cesty ze startovacího elementu

Čísla na obrázku 25 znázorňují elementy, které se nacházejí v odlišné hloubce oblasti:

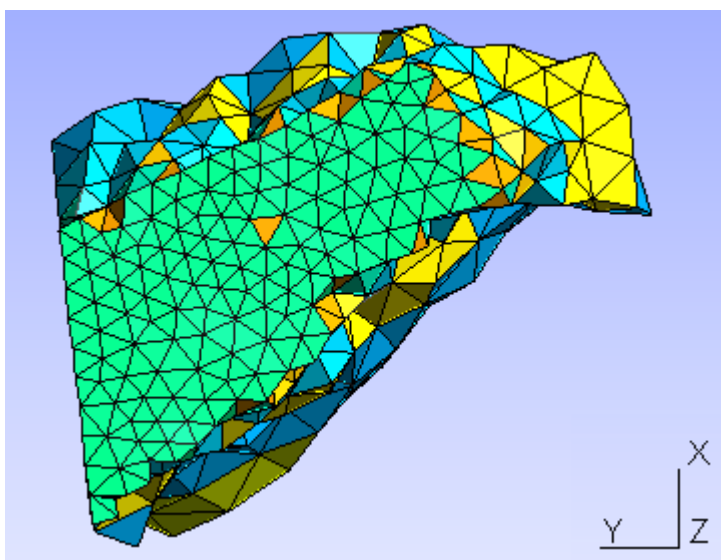
- 1) Elementy na povrchu oblasti.
- 2) Elementy uvnitř oblasti.

Jako startovací element byl zvolen element číslo 300 000. Obrázek 25 znázorňuje proudění v transportní síti z elementu 300 000. Dále představuje elementy s nenulovou koncentrací v simulačním čase, pokud je kladná koncentrace radionuklidů na startovacím elementu. Začátek oblasti na levé části obrázku 25 zobrazuje startovací element 300 000, jenž je zobrazen také v pravé části obrázku 26. V pravé části obrázku 25 jsou vyobrazeny okrajové elementy transportní sítě, kterými proudí látka směrem do oblasti.

8.4 Transportní cesty do elementu

Posledním typem vyhledávání je hledání všech cest do startovacího elementu s ohledem na toky přes elementy. U této volby je znovu nezbytné načíst soubor obsahující informace a točích přes elementy. Oproti předchozím typům vyhledávání s ohledem na toky je u tohoto typu potřeba u každého elementu zamezit šíření látky do sousedních elementů, do kterých směřuje proudění.²⁵

Prohledávání stromu do šířky a vytváření stromu končí, pokud je fronta prázdná. Na obrázku 26 jsou zobrazeny všechny transportní cesty s ohledem na toky, ze kterých směřuje proudění do startovacího elementu. Tyto cesty byly opět nalezeny v rámci transportní sítě Rožná–Olší, jež je zobrazena na obrázku 2.



Obrázek 26: Všechny transportní cesty do startovacího elementu

Jako startovací element byl zvolen element číslo 300 000. Obrázek 26 znázorňuje proudění v transportní síti do elementu 300 000. Dále představuje elementy s nenulovou koncentrací, pokud je koncentrace radionuklidů na startovacím elementu v určitém čase nenulová. Konec oblasti na pravé části obrázku 26 zobrazuje startovací element 300 000, jenž je zobrazen také v levé části obrázku 25.

²⁵ Na rozdíl od ostatních typů vyhledávání s ohledem na toky je zde potřeba zamezit proudění do sousedních elementů přes stěny, na kterých jsou kladné hodnoty toků.

9 Výstupní data softwaru

Uživateli je umožněna volba uložit vybranou podoblast a nalezené transportní cesty. Obě tyto možnosti ukládají data do souboru formátu msh. Tento soubor má stejnou strukturu jako první dvě části vstupního souboru formátu pos.²⁶ Struktura tohoto souboru je popsána v kapitole 3.2.1. Tyto výstupní soubory lze otevřít v programu GMSH.

9.1 Nalezené elementy ve vybrané podoblasti

Pokud je nalezena požadovaná podoblast transportní sítě, je uživateli zpřístupněna funkce Uložit nalezené elementy. Tuto funkci lze nalézt v záložce Soubor–Uložit nalezené elementy. Do výstupního souboru jsou uloženy informace o celkovém počtu vrcholů, jejich indexech a souřadnicích. Dále také o celkovém počtu nalezených elementů, jejich číslech, typu elementu, typu horniny a vrcholech, které obsahují. Zvolenou podoblast je možné načíst také v softwaru Transportní cesty, který byl vytvořen v rámci této bakalářské práce.

9.2 Nalezené transportní cesty

Jestliže je nalezena požadovaná nejkratší cesta, nebo preferenční cesta, nebo všechny cesty (do elementu nebo z elementu) v transportní síti, potom je uživateli zpřístupněna funkce Uložit transportní cestu. Tuto funkci lze nalézt v záložce Soubor–Uložit transportní cestu. Do výstupního souboru jsou uloženy všechny elementy ze všech nalezených nejkratších cest (při hledání nejkratší cesty nebo preferenční cesty) a všechny elementy, které se vyskytují v seznamu po vyhledávání všech cest do/ze startovacího elementu s ohledem na toky přes elementy. Dále jsou také uloženy informace o:

- Celkovém počtu vrcholů, jejich indexech a souřadnicích.
- Celkovém počtu nalezených elementů a jejich číslech.
- Typu elementu (2D nebo 3D), číselné označení typu horniny a vrcholech, které daný element obsahuje.

²⁶ Soubor s příponou msh neobsahuje třetí část souboru s příponou pos (informace o koncentraci radionuklidů v určitém čase na určitém elementu).

Při ukládání je zobrazeno dialogové okno, ve kterém je umožněna volba uložení seznamu elementů, které se vyskytují v nalezených cestách, do textového souboru formátu txt. V tomto souboru je ke každému elementu uloženo číslo elementu, typ elementu, typ horniny a vrcholy, které element obsahuje s jejich souřadnicemi.

Závěr

Cílem práce bylo vytvoření softwaru pro zjištění seznamu elementů s nenulovou koncentrací na zvolené výpočetní síti transportní úlohy. Vytvořený software dokáže:

- Zobrazit seznam vrcholů s jejich souřadnicemi.
- Zobrazit seznam elementů s jejich vrcholy.
- Omezit vstupní transportní síť na zvolenou podoblast, dle požadavků uživatele.
- Zjistit sousednosti u všech elementů v síti.
- Vyhledat nejkratší cestu mezi dvěma elementy.
- Vyhledat preferenční transportní cestu mezi dvěma elementy.
- Vyhledat všechny transportní cesty ze/do zvoleného elementu.

Nalezené transportní cesty a elementy ve zvolené podoblasti dokáže software uložit do výstupního souboru formátu msh, jenž lze otevřít a vizualizovat pomocí softwaru GMSH. Soubor s elementy, které se vyskytují ve zvolené podoblasti, lze také znovu otevřít ve vytvořeném softwaru. Seznam elementů, které se vyskytují v nalezených cestách, lze také uložit do výstupního textového souboru formátu txt. V tomto souboru jsou uloženy indexy jednotlivých elementů, informace o tom, zda jsou 3D, či 2D a čísla jejich vrcholů se souřadnicemi na osách.

Na softwaru byly otestovány dvě výpočetní transportní sítě, z nichž jedna má 494 000 elementů. Oblasti představují lokality, které byly vybrány jako testovací pro případnou výstavbu hlubinného úložiště vyhořelého jaderného paliva (Melechov a Rožná–Olší).

Aplikace by mohla být rozšířena o omezení oblastí výpočetní sítě na základě zvoleného typu hornin. Dále také o určení průniku dvou odlišně rozlehlých sítí popisujících stejnou oblast, kde by například jedna ze sítí mohla představovat povrchové elementy a druhá síť by mohla obsahovat všechny transportní cesty ze zvoleného elementu.

Seznam použité literatury

- [1] Současná přípovrchová úložiště. Správa úložišť radioaktivních odpadů [online]. 1997 [cit. 2012-05-08]. Dostupné z: <http://www.surao.cz/cze/Uloziste-radioaktivnich-odpadu/Soucasna-pripovrchova-uloziste>.
- [2] Budoucí hlubinné úložiště. Správa úložišť radioaktivních odpadů [online]. 1997 [cit. 2012-05-08]. Dostupné z: <http://www.surao.cz/cze/Uloziste-radioaktivnich-odpadu/Budouci-hlubinne-uloziste>.
- [3] Proč hlubinné úložiště v ČR. Správa úložišť radioaktivních odpadů [online]. 1997 [cit. 2012-05-10]. Dostupné z: <http://www.surao.cz/cze/Uloziste-radioaktivnich-odpadu/Budouci-hlubinne-uloziste/Proc-hlubinne-uloziste-v-CR>.
- [4] Co je hlubinné úložiště. *Správa úložišť radioaktivních odpadů* [online]. 1997 [cit. 2012-05-10]. Dostupné z: <http://www.surao.cz/cze/Uloziste-radioaktivnich-odpadu/Budouci-hlubinne-uloziste/Co-je-hlubinne-uloziste>.
- [5] Česká republika. Koncepce nakládání s radioaktivními odpady a vyhořelým jaderným palivem v ČR. In: 487/2002. Praha, 2002. Dostupné z: <http://surao.cz/cze/content/download/524/2862/file/koncepcefinal.pdf>
- [6] Ukládání radioaktivního odpadu. *Správa úložišť radioaktivních odpadů* [online]. 1997 [cit. 2012-05-10]. Dostupné z: <http://www.surao.cz/cze/Uloziste-radioaktivnich-odpadu/Radioaktivni-odpad/Ukladani-radioaktivniho-odpadu>.
- [7] *Flow123D: Documentation of file formats and brief user manual*. Liberec, 2011. Dostupné z: http://dev.nti.tul.cz/~brezina/flow_doc/Flow123D_manual.pdf.
- [8] *Gmsh*. 2013. Dostupné z: <http://geuz.org/gmsh/doc/texinfo/gmsh.html>
- [9] TROELSEN, Andrew. *C# a .NET 2.0 profesionlně*. Brno: Zoner software, s. r. o., 2006. ISBN 80-86815-42-0.

Obsah příloženého CD

Na příloženém disku se nachází:

- Instalační balíček vytvořené aplikace.
- Bakalářská práce v elektronické podobě.