

Dokumentace výsledku  
**Software MN\_SGM\_KRY pro  
tvorbu 3D modelu míry nejistoty  
strukturně geologického modelu  
(pro lokalitu Kaňk)  
Uživatelská příručka**

**Autoři:**

Staněk, F. – Jelínek, J. – Grygar, R. –  
Kryl, J. – Skřivánková, J.

**Označení výsledku ISTA:**

SS02030023-V41



**T A  
Č R**

Projekt č. „SS02030023 Horninové prostředí a suroviny“  
je spolufinancován se státní podporou Technologické  
agentury ČR v rámci Programu Prostředí pro život.

[www.tacr.cz](http://www.tacr.cz)

## Obsah

<b>1. ÚVOD .....</b>	<b>6</b>
<b>2. METODICKÝ POSTUP A ALGORITMY TVORBY A VIZUALIZACE 3D MODELU MÍRY NEJISTOTY STRUKTURNĚ GEOLOGICKÉHO MODELU .</b>	<b>8</b>
2.1 <i>Revize, verifikace a korekce vstupních dat.....</i>	<i>8</i>
2.1.1 Polygon zájmového území .....	9
2.1.2 DMR a povrch krystalinika .....	9
2.1.3 Vrtý.....	11
2.1.4 Geologické profily .....	12
2.1.5 Virtuální vrtý .....	14
2.1.6 Důlní díla .....	20
2.2 <i>Převedení strukturně geologického modelu do 3D gridu a jeho vizualizace.....</i>	<i>25</i>
2.3 <i>Výpočet nejistoty typů hornin v bodech 3D gridu strukturně geologického modelu .....</i>	<i>25</i>
2.4 <i>Výpočet obecné nejistoty v bodech 3D gridu strukturně geologického modelu .....</i>	<i>27</i>
2.5 <i>Sloučení hodnot různých druhů nejistot v bodech 3D gridu strukturně geologického modelu .....</i>	<i>28</i>
2.6 <i>Snížení nejistoty v okolí vrtů, geologických profilů a důlních děl .....</i>	<i>29</i>
2.6.1 Lokální snížení nejistoty v okolí vrtů .....	29
2.6.2 Lokální snížení nejistoty v okolí geologických profilů .....	30
2.6.3 Lokální snížení nejistoty v okolí důlních děl .....	30
2.7 <i>Popis hlavní programové aplikace Nejistota_Kank.....</i>	<i>31</i>
2.8 <i>Vizualizace 3D modelu míry nejistoty strukturně geologického modelu .....</i>	<i>36</i>
<b>3. Závěr .....</b>	<b>45</b>
<b>Poděkování .....</b>	<b>46</b>
<b>Literatura .....</b>	<b>46</b>

## Seznam tabulek

Tabulka 2-1: Soubor <i>Niffelske.bln</i> .....	9
Tabulka 2-2: Ukázka souboru <i>DMR.dat</i> .....	9
Tabulka 2-3: Ukázka souboru <i>TOP krystalinika.dat</i> .....	10
Tabulka 2-4: Ukázka souboru <i>vrty2_FS.xlsx</i> .....	11
Tabulka 2-5: Ukázka souboru <i>collars.xlsx</i> .....	12
Tabulka 2-6: Ukázka souboru <i>Profily.bln</i> .....	12
Tabulka 2-7: Ukázka souboru <i>profily_lomove_body FS.xlsm</i> .....	13
Tabulka 2-8: Ukázka souboru <i>Rezy.dat</i> .....	13
Tabulka 2-9: Ukázka souboru <i>virtualni-vrty.csv</i> .....	15
Tabulka 2-10: Ukázka tabulky <i>virtualni-vrty</i> .....	15
Tabulka 2-11: Ukázka tabulky <i>AllVrt10x10m</i> .....	16
Tabulka 2-12: Ukázka doplněné tabulky <i>AllVrt10x10m</i> .....	18
Tabulka 2-13: Typy hornin obsažené ve virtuálních vrtech.....	18
Tabulka 2-14: Ukázka údajů tabulky <i>Typy_hornin</i> .....	19
Tabulka 2-15: Počty jednotlivých typů hornin pro vybrané území lokality.....	19
Tabulka 2-16: Ukázka indexů řádků a sloupců jednotlivých souřadnic <i>X</i> pro vybrané území lokality.....	20
Tabulka 2-17: Ukázka souboru <i>I_patro 235m.bln</i> .....	22
Tabulka 2-18: Ukázka souboru <i>SachtaY.csv</i> .....	22
Tabulka 2-19: Ukázka souboru <i>Dulni dila FS.xlsm</i> .....	23
Tabulka 2-20: Ukázka souboru <i>Dulni_dila.dat</i> .....	24
Tabulka 2-21: Ukázka souboru <i>Polyg_obec.dat</i> .....	28
Tabulka 2-22: Ukázka obsahu souboru <i>Nejistota_3D.dat</i> .....	35

## Seznam obrázků

Obr. 2-1: Zobrazení povrchu (soubor <i>DMR_n.grd</i> vlevo) a povrchu krystalinika (soubor <i>TOP krystalinika_n.grd</i> vpravo) zájmového území. ....	10
Obr. 2-2: Dělicí horizonty vrstev.....	11
Obr. 2-3: Profily ze souboru <i>Profily.bln</i> zasahující do zájmového území a pozice průzkumných vrtů (černé symboly) zájmového území. ....	14
Obr. 2-4: Pozice virtuálních vrtů (modré symboly) a průzkumných vrtů (černé symboly) zájmového území.....	17
Obr. 2-5: Adresáře s uložením <i>shp</i> souborů s údaji o průběhu horizontálních a s uložením <i>csv</i> souborů s údaji o průběhu vertikálních důlních děl. ....	21
Obr. 2-6 Horizontální důlní díla zájmového území. Věrohodná: <i>3_patro-0m.bln</i> zeleně, <i>1_patro-207m.bln</i> červeně, <i>1_patro-228m.bln</i> fialově, <i>1_patro-235m.bln</i> modře. Méně věrohodné: <i>chodbaX-207m.bln</i> hnědě. Nevěrohodná: <i>starina-240m.bln</i> světle modře, <i>starina-250m.bln</i> černě. ....	21
Obr. 2-7 Zobrazení strukturně geologického modelu s pomocí <i>ScatterPlot</i> . ....	25
Obr. 2-8: Schéma externích vstupů a výstupů makra <i>Nejistota_Kank()</i> . ....	31
Obr. 2-9: Zadání parametrů a spuštění makra <i>Nejistota_Kank</i> . ....	34
Obr. 2-10: Výběr souboru vrtů <i>*.xlsx</i> použitých pro konstrukci geomodelu. ....	35
Obr. 2-11: Oznámení ukončení výpočtu. ....	35
Obr. 2-12: Vizualizace geomodelu a jeho nejistoty v prostředí <i>Voxler</i> (vstupní soubory <i>virtualni-vrtyF.xlsm</i> – list <i>Typy_hornin</i> a <i>Nejistota_3D.dat</i> ). ....	36
Obr. 2-13: Vlastnosti souboru <i>Nejistota_3D.dat</i> . ....	37
Obr. 2-14: Vlastnosti objektu <i>Gridder_NejCelk</i> . ....	38
Obr. 2-15: Vizualizace nejistoty typů hornin. ....	38
Obr. 2-16: Vizualizace nejistoty typů hornin v řezu +150 m od středu tělesa ve směru osy X s pomocí grafického výstupu <i>ClipPlane</i> . ....	39
Obr. 2-17: Vizualizace obecné nejistoty. ....	39
Obr. 2-18: Vizualizace sloučení nejistoty typů hornin a obecné nejistoty. ....	40
Obr. 2-19: Vizualizace % snížení nejistoty v okolí informačních bodů – vrtů (detail)..	40
Obr. 2-20: Vizualizace % snížení nejistoty v okolí informačních bodů – geologických profilů (úseky profilů na bázi modelu jsou zobrazeny bílou barvou).....	41
Obr. 2-21: Vizualizace % snížení nejistoty v okolí informačních bodů – důlních děl (lomové body os důlních děl jsou zobrazeny černými symboly). ....	41
Obr. 2-22: Vizualizace celkové nejistoty strukturně geologického modelu.....	42
Obr. 2-23: Vizualizace celkové nejistoty strukturně geologického modelu - řez -230 m od středu tělesa ve směru osy Y s pomocí grafického výstupu <i>ClipPlane</i> . ....	42
Obr. 2-24: Vizualizace celkové nejistoty strukturně geologického modelu s pomocí <i>FaceRender</i> .....	43
Obr. 2-25: Vizualizace celkové nejistoty strukturně geologického modelu s pomocí <i>VolRender</i> . ....	43

Obr. 2-26: Vizualizace celkové nejistoty strukturně geologického modelu s pomocí <i>VolRender</i> - řez -50 m od středu tělesa ve směru osy <i>X</i> s pomocí grafického výstupu <i>ClipPlane</i> .....	44
Obr. 2-27: Vizualizace řezu celkové nejistoty strukturně geologického modelu s pomocí <i>OrthoImage_XY 100 m n.m.</i> .....	44
Obr. 2-28: Vizualizace celkové nejistoty strukturně geologického modelu s pomocí <i>Isosurface</i> - obálka s mezní hodnotou nejistoty 0.3. ....	45
Obr. 2-29: Vizualizace celkové nejistoty strukturně geologického modelu s pomocí <i>Isosurface</i> , obálka s mezní hodnotou nejistoty 0.3 - řez +100m od středu tělesa ve směru osy <i>X</i> s pomocí grafického výstupu <i>ClipPlane</i> .....	45

## 1. ÚVOD

Software MN\_SGM\_KRY (software pro tvorbu Modelu míry Nejistoty Struktturně Geologického Modelu v revírech s hlubinnou těžbou v KRYstaliniku) byl vytvořen s pomocí nových algoritmů založených na nových technikách pro převedení strukturně geologického modelu do 3D gridu, jeho vizualizaci a vytvoření a vizualizaci 3D modelu míry nejistoty strukturně geologického modelu pro lokality typu Kaňk. Do budoucna bude sloužit na pracovišti ČGS jako součást know-how pro výkon státní geologické služby.

Software MN\_SGM\_KRY vznikl v rámci řešení projektu TA ČR SS02030023 - Horninové prostředí a nerostné suroviny, jehož hlavním cílem je výzkum, sledování a vyhodnocování stavu horninového prostředí, přírodních zdrojů, geologických rizik a geologických informací v celé ČR a poskytování nových poznatků nejen státní správě, ale také odborné i laické veřejnosti [10]. Jednou z částí projektu je dílčí cíl 3.2. - Terénní výzkumy, vyhodnocení a aktualizace dokumentace a vymezení existence potenciálních rizik plynoucích z poddolování území. Tento dílčí cíl je dále rozdělen do dvou aktivit (3.2.1. a 3.2.2.).

Aktivita 3.2.1. se zabývá vyhodnocením výzkumů přírodních a antropogenních vlivů a vymezením a dokumentací rizik plynoucích z historického dolování ve dvou vybraných oblastech. První z nich je oblast o rozsahu cca 5 km<sup>2</sup> zahrnující intravilán obce Kaňk a bývalý dobývací prostor RD Kutná Hora (katastry Kaňk a Sedlec u Kutné Hory, okres Kutná Hora, Středočeský kraj) situovaný v. od obce. V tomto území bylo v minulosti exploatováno několik rudních pásem (od západu k východu: staročeské, skalecké, nifelské, alžbětinské, turkaňské a rejzské pásmo) s těžbou stříbrných a měděných rud a nověji zinkových a olovnato – zinkových rud s akcesorickými obsahy Ag, Au, Sb, In, Sn a dalších prvků.

Jako druhé modelové území (přibližně o stejné rozloze) byl vybrán intravilán obce Mariánské Radčice s přilehlým okolím, které zahrnuje i severozápadně od obce položený areál bývalého dolu Kohinnor (katastry Mariánské Radčice, Lom u Mostu, Libkovice u Mostu, okres Most, Ústecký kraj), s hlubinnou těžbou hnědého uhlí.

Aktivita 3.2.2. se pak pro obě vybrané oblasti zabývá vytvořením dílčích samostatných 3D modelů (1. 3D geologický model (včetně tektoniky), 2. digitální model reliéfu 5. generace, 3. landscape model s detailizací vybraných objektů staveb a ochranných pásem, 4. 3D model s vizualizací důlních děl a podzemních prostor), které budou využity pro konstrukci komplexního 3D modelu vlivů poddolování na povrch včetně modelu nejistoty strukturně geologického modelu, tvorbu příslušné metodiky a navazující návrh opatření. Součástí výstupů této aktivity je výstup SS02030023-V41 typu R - Software pro převedení 3D geologického modelu do 3D gridu a jeho vizualizace a tvorbu a vizualizaci 3D modelu míry nejistoty strukturně geologického modelu. Popis výstupu SS02030023-V41 pro zpracování typu ložisek lokality Kaňk (software MN\_SGM\_KRY) je předmětem následujícího textu.

Software MN\_SGM\_KRY zahrnuje deset speciálních programových aplikací naprogramovaných v prostředí MS Excel v jazyce Visual Basic for Applications (VBA) a využívá přitom objekty programů Surfer [11] firmy Golden Software.

V rámci popisu software MN\_SGM\_KRY jsou vyloženy jednotlivé kroky převedení 3D geologického modelu do 3D gridu a jeho vizualizace a především tvorby a vizualizace 3D modelu míry nejistoty strukturně geologického modelu na příkladu první vybrané lokality Kaňk. V textu jsou také podrobně popsány jednotlivé moduly programů tvořící MN\_SGM\_KRY a také jejich ovládání. Pomocí software MN\_SGM\_KRY je zajištěna kontrola vstupních dat, kompatibilita použitých programů a vytváření výstupů – různých typů vizualizace ložiska a modelu nejistoty. Tyto metodické postupy spolu s nově vyvinutým programovým vybavením umožňují vytvářet variantní modely nejistoty ložisek tohoto a podobných typů při změně parametrů modelování.

## 2. METODICKÝ POSTUP A ALGORITMY TVORBY A VIZUALIZACE 3D MODELU MÍRY NEJISTOTY STRUKTURNĚ GEOLOGICKÉHO MODELU

V této kapitole jsou definovány jednotlivé kroky metodického postupu převedení 3D geologického modelu do 3D gridu a jeho vizualizace a především tvorby 3D modelu míry nejistoty strukturně geologického modelu a jeho vizualizace na příkladu vybraného území lokality Kaňk. Tyto kroky na sebe navazují a v nich použité algoritmy zpracování údajů a vytvořený software jsou popsány ve stejné číslovaných podkapitolách:

- 2.1 Revize, verifikace, korekce a vizualizace vstupních dat.
- 2.2 Převedení strukturně geologického modelu do 3D gridu a jeho vizualizace.
- 2.3 Výpočet nejistoty typů hornin v bodech 3D gridu strukturně geologického modelu.
- 2.4 Výpočet obecné nejistoty v bodech 3D gridu strukturně geologického modelu.
- 2.5 Sloučení hodnot různých druhů nejistot v bodech 3D gridu strukturně geologického modelu.
- 2.6 Snížení nejistoty v okolí vrtů, geologických profilů a důlních děl.
- 2.7 Popis hlavní programové aplikace *Nejistota\_Kank*.
- 2.8 Vizualizace 3D modelu míry nejistoty strukturně geologického modelu.

Jednotlivé kroky metodického postupu jsou realizovány tak, aby bylo možno při libovolné změně parametrů tyto kroky programově rychle přepočítat bez nutnosti zdoluhavých ručních postupů. Proto je také možné snadno provést modelování v několika variantách (například při změně vstupních parametrů) nebo pro další vybraná území lokality. Metodický postup je použitelný na všech ložiscích podobného typu.

### 2.1 Revize, verifikace a korekce vstupních dat

Strukturně geologický model byl vytvořen v rámci aktivity 3.2.2. (viz výše) v software *Move* [13]. Je podrobně popsán v technické zprávě (Jelínek et al.,



2024). Vstupní data pro převedení 3D geologického modelu do 3D gridu a jeho vizualizaci a především pro tvorbu 3D modelu míry nejistoty strukturně geologického modelu byla vyexportována z prostředí *Move*. Jedná se o tyto druhy vstupních dat, které jsou popsány ve stejně číslovaných podkapitolách:

- 2.1.1 Polygon zájmového území.
- 2.1.2 DMR a povrch krystalinika.
- 2.1.3 Vrty.
- 2.1.4 Geologické profily.
- 2.1.5 Virtuální vrty.
- 2.1.6 Důlní díla.

### 2.1.1 Polygon zájmového území

Z 3D geologického modelu byl vyexportován obvodový polygon vybraného zájmového území lokality Kaňk (soubor *Niffelske.shp*), který byl v prostředí *Surfer* převeden do textového formátu bln (soubor *Niffelske.bln* – viz tabulka 2-1).

**Tabulka 2-1: Soubor *Niffelske.bln*.**

```
5,1 "0"
-684000,-1062500,0
-683300,-1062500,0
-683300,-1064000,0
-684000,-1064000,0
-684000,-1062500,0
```

### 2.1.2 DMR a povrch krystalinika

Z 3D geologického modelu byly vyexportovány textové soubory se sítí souřadnic X, Y, Z povrchu (*DMR.dat* – viz tabulka 2-2) a povrchu krystalinika (*TOP krystalinika.dat* – viz tabulka 2-3) lokality Kaňk.

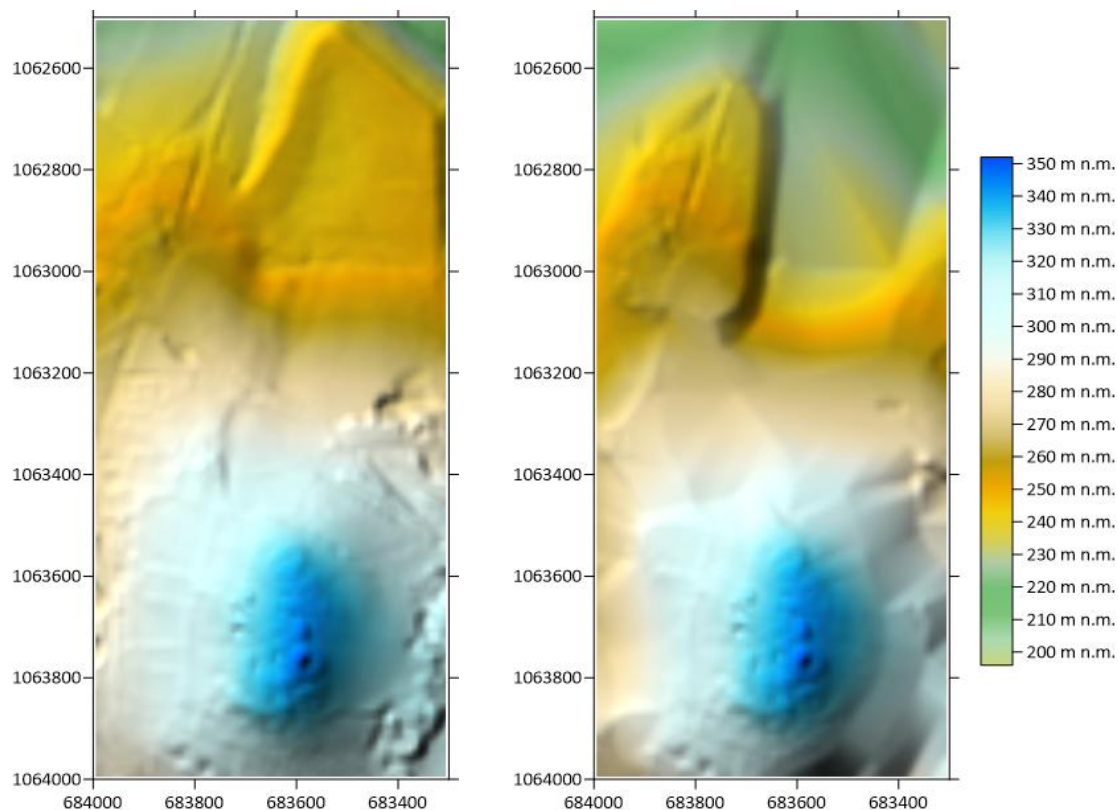
**Tabulka 2-2: Ukázka souboru *DMR.dat*.**

```
x y z Name
...
-684420.0000 -1063965.0000 323.3060 DMR
-684425.0000 -1063965.0000 323.9242 DMR
-684430.0000 -1063965.0000 324.5424 DMR
-684435.0000 -1063965.0000 325.2433 DMR
-684440.0000 -1063965.0000 325.9772 DMR
-684445.0000 -1063965.0000 326.7430 DMR
...
```

**Tabulka 2-3: Ukázka souboru *TOP krystalinika.dat*.**

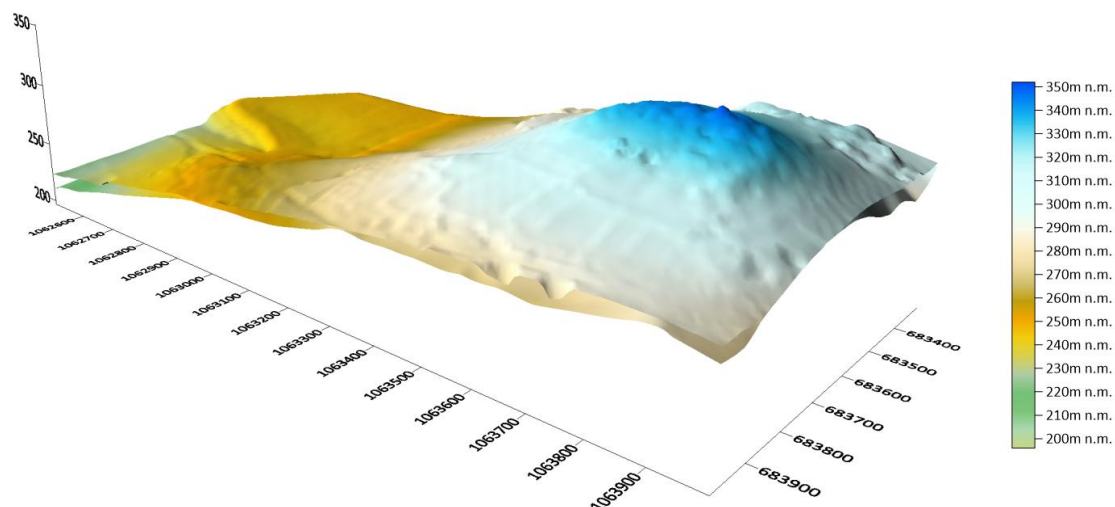
x	y	z	Name
...	...	...	...
-683348.2053	-1063055.8857	249.8124	4 - TOP krystalinika
-683337.8960	-1063056.3660	249.7561	4 - TOP krystalinika
-683339.5721	-1063061.0525	250.2330	4 - TOP krystalinika
-683350.2853	-1063060.4724	250.2444	4 - TOP krystalinika
-683360.7331	-1063059.1707	250.1962	4 - TOP krystalinika
-683371.1809	-1063057.8690	250.1481	4 - TOP krystalinika
-683373.9806	-1063062.4171	250.5119	4 - TOP krystalinika
-683363.1691	-1063063.7508	250.5664	4 - TOP krystalinika
...	...	...	...

Z těchto textových souborů byly ve vybraném území v prostředí *Surfer* vygenerovány v síti 10\*10 m (pro *X* od -683995 do -683305 a pro *Y* od -1063995 do -1062505, tedy ve stejné síti, jako byly vyexportovány virtuální vrty – viz 2.1.5 – a ve které bude vytvořen i výsledný 3D model míry nejistoty strukturně geologického modelu) gridy povrchu (soubor *DMR\_n.grd*) a povrchu krystalinika (*TOP krystalinika\_n.grd*). Výsledné gridy, které budou vstupovat do výpočtu 3D modelu míry nejistoty strukturně geologického modelu, jsou zobrazeny na obr. 2-1.



Obr. 2-1: Zobrazení povrchu (soubor *DMR\_n.grd* vlevo) a povrchu krystalinika (soubor *TOP krystalinika\_n.grd* vpravo) zájmového území.

Na obr. 2-2 jsou zobrazeny dělící horizonty povrchu a stropu krystalinika v prostoru.



Obr. 2-2: Dělicí horizonty vrstev.

### 2.1.3 Vrtý

Z 3D geologického modelu byl vyexportován soubor s pozicemi existujících vrtů v zájmovém území, které provrtaly top krystalinika, ve formátu *shp*. Tento soubor byl převeden do formátu *xlsx* a byl doplněn o sloupce „Věrohodnost“ a „HorDosahM“ (soubor *vrty2\_FS.xlsx*). U každého vrtu je tak možné nastavit tyto parametry různě. Na základě těchto údajů je pak v 3D modelu míry nejistoty strukturně geologického modelu snižována nejistota v okolí vrtů (viz část 2.6). V tabulce 2-4 je ukázka části souboru *vrty2\_FS.xlsx*.

Tabulka 2-4: Ukázka souboru *vrty2\_FS.xlsx*.

X	Y	Z	FID	Hloubka	Věrohodnost (%)	HorDosahM (m)
-683405.3	-1062991.1	248.13	0	14	80	50
-683984.2	-1063054	256.66	1	5.5	80	50
-683351.3	-1063418.9	292.16	2	7.2	80	50
-683936.2	-1063198.8	268.36	3	10.6	80	50
-683363.24	-1063489.73	301.36	4	25.6	80	50
-683896.2	-1062753.6	242.57	5	12	80	50
-683859.4	-1063100.5	264.37	6	8.5	80	50
-683936.2	-1063566	286.79	7	4.5	80	50
-683364.6	-1063434.8	295.97	8	13.5	80	50
-683344.1	-1063376.9	285.64	9	29.6	80	50
-684000	-1063579	279.87	10	58.9	80	50

...

Pro vizualizaci vrtů ve 3D prostředí programu *Voxler* (viz část 2.8) byly údaje o průzkumných vrtech převedeny do souboru *collars.xlsx* v požadované struktuře (tabulka 2-5).

**Tabulka 2-5: Ukázka souboru *collars.xlsx*.**

ID	Easting	Northing	Elevation	Azimuth	Dip	Depth
Vrt0	-683405.3	-1062991.1	248.13	0	-90	14
Vrt1	-683984.2	-1063054	256.66	0	-90	5.5
Vrt2	-683351.3	-1063418.9	292.16	0	-90	7.2
Vrt3	-683936.2	-1063198.8	268.36	0	-90	10.6
Vrt4	-683363.24	-1063489.73	301.36	0	-90	25.6

...

## 2.1.4 Geologické profily

Z 3D geologického modelu byl vyexportován soubor s pozicemi geologických profilů ve formátu *shp* (soubor *Profily.shp*). Tento soubor byl převeden v prostředí *Surfer* do textového formátu *bln* (soubor *Profily.blm* – ukázka viz tabulka 2-6). Byl vytvořen soubor *profily\_lomove\_body FS.xlsx* s makrem *Profily\_xlsm()*, které převádí profily do listu souboru *profily\_lomove\_body FS.xlsx* (ukázka viz tabulka 2-7). Každý bod profilů byl doplněn o sloupce „PO\_Z\_m\_n\_m“ (Z báze profilu), „Věrohodnost“ a „HorDosahM“. U každého profilu je tak možné nastavit tyto parametry různě. Na základě těchto údajů je pak v 3D modelu míry nejistoty strukturně geologického modelu snižována nejistota v okolí geologických profilů (viz část 2.6).

**Tabulka 2-6: Ukázka souboru *Profily.blm*.**

```

...
2,1 "R22"
-682904.55129490432,-1063433.845932737,0
-683123.82517095667,-1063344.2181493193,0
3,1 "T"
-683228.07121277985,-1063375.5051910579,0
-683352.75635798287,-1063679.6112680212,0
-683463.88158023369,-1063952.7941060513,0
4,1 "R"
-682835.49490679812,-1063000.126836136,0
-682940.33626230818,-1063641.5773377866,0
-682998.54471206304,-1063989.5051169731,0
-683000.52909103048,-1064002.734310098,0
...

```

Dalším makrem souboru *profily\_lomove\_body FS.xlsx* s názvem *Prevod\_rezu\_xlsx\_dat()* se vytvoří textový soubor *Rezy.dat*, který obsahuje souřadnice X a Y jednotlivých úseků profilů spolu s parametry výpočtu a vstupuje do výpočtu snižování nejistoty 3D modelu míry nejistoty strukturně geologického

modelu v okolí profilů (viz část 2.6). V tabulce 2-8 je ukázka části souboru *Rezy.dat*.

**Tabulka 2-7: Ukázka souboru *profily\_lomove\_body FS.xlsm*.**

name	PO_Z_m_n_m	Věrohodnost (%)	HorzDosahM (m)	Nazev_Meto	POINT_X	POINT_Y
"A"	0	50	50	"A"	-683595.3308	-1063571.972
"A"	0	50	50	"A"	-683424.9388	-1063637.06
"B"	0	50	50	"B"	-683601.1517	-1063605.045
"B"	0	50	50	"B"	-683436.3159	-1063668.016
...						
"R22"	0	50	50	"R22"	-683123.8252	-1063344.218
"T"	0	50	50	"T"	-683228.0712	-1063375.505
"T"	0	50	50	"T"	-683352.7564	-1063679.611
"T"	0	50	50	"T"	-683463.8816	-1063952.794
"R"	0	50	50	"R"	-682835.4949	-1063000.127
"R"	0	50	50	"R"	-682940.3363	-1063641.577
"R"	0	50	50	"R"	-682998.5447	-1063989.505
"R"	0	50	50	"R"	-683000.5291	-1064002.734
...						
"6"	90	50	50	"6"	-684297.7397	-1064472.437
"6"	90	50	50	"6"	-684017.2808	-1064467.145
"4"	200	50	50	"4"	-683900.8639	-1063985.603
"4"	200	50	50	"4"	-683384.9253	-1064318.978
"4"	200	50	50	"4"	-683033.0288	-1064398.353
"4"	200	50	50	"4"	-682772.6783	-1064356.02
"4"	200	50	50	"4"	-682732.9907	-1064430.103
"4"	200	50	50	"4"	-682412.8442	-1064308.395

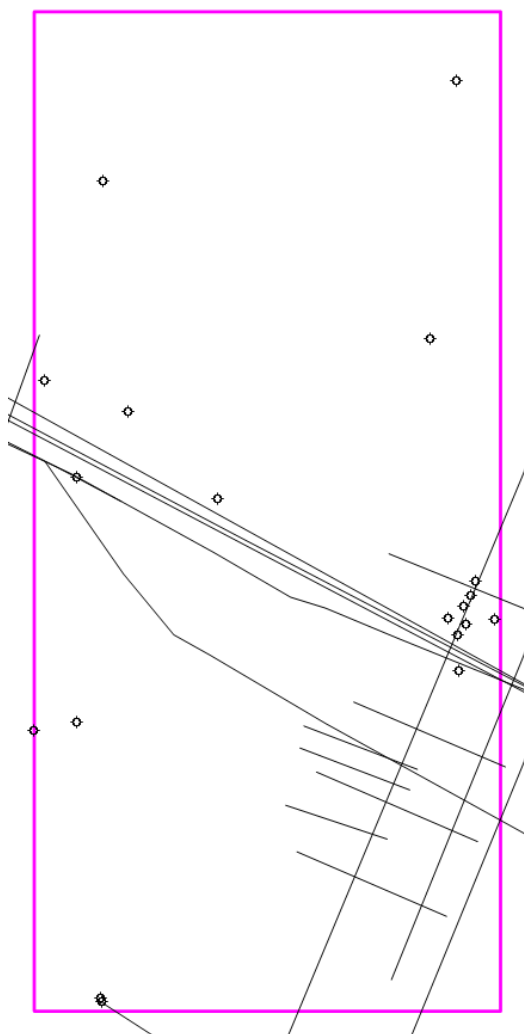
**Tabulka 2-8: Ukázka souboru *Rezy.dat*.**

```

-683595.330806062 -1063571.97217461 -683424.938798614 -1063637.05980479 0 50 50
-683601.151651044 -1063605.04515743 -683436.315904707 -1063668.0161167 0 50 50
-683622.582943902 -1063691.03491274 -683470.182639103 -1063741.83501434 0 50 50
-685511.396867387 -1062889.62053562 -684299.602777127 -1062976.40404252 0 50 50
-684299.602777127 -1062976.40404252 -682788.299754519 -1063771.74313321 0 50 50

```

Na obr. 2-3 jsou zobrazeny profily ze souboru *Profily.blm* zasahující do zájmového území.



Obr. 2-3: Profily ze souboru *Profily.bln* zasahující do zájmového území a pozice průzkumných vrtů (černé symboly) zájmového území.

### 2.1.5 Virtuální vrtý

Z 3D geologického modelu byl vyexportován soubor s údaji tzv. virtuálních vrtů ve formátu *csv* (soubor *virtualni-vrty.csv* – ukázka viz tabulka 2-9). Virtuální vrtý v síti 10\*10 m obsahují údaje s litologií zrudnění a tektonik:

- souřadnice *X*,
- souřadnice *Y*,
- souřadnice *Z* údaje,
- hloubku údaje,
- název údaje,
- barvu údaje v geologickém modelu,
- název virtuálního vrtu.



**Tabulka 2-9: Ukázka souboru *virtualni-vrty.csv*.**

```
Petroleum Experts,Move v1.1
Vertex Data,Vertex Data,Vertex Data,Vertex Data,,Container,Container,Well Display Attri-
butes
Real,Real,Real,Real,,Text,Color,Text
X(East),Y(North),Z,Measured Depth,,Name,Vertex_colour,Well Name
#FF0000,#00FF00,#0000FF,#3F2C1F,,#FFFFFF,#457F3F,#5FBFBC
metre,metre,metre,metre,,,,,
xy,xy,elevation,elevation,,dimensionless,dimensionless,
-683655.00,-1063925.00,281.026989,47.927711,,zlom na chodbě P101PA,#ff0000,ID525
-683645.00,-1063925.00,263.215230,66.709770,,zlom na chodbě P101PA,#ff0000,ID526
-683605.00,-1063915.00,188.305443,145.850357,,zlom na chodbě P101PA,#ff0000,ID600
-683625.00,-1063915.00,225.855175,107.778725,,zlom na chodbě P101PA,#ff0000,ID598
-683615.00,-1063915.00,206.950311,126.930489,,zlom na chodbě P101PA,#ff0000,ID599
-683665.00,-1063915.00,298.579414,31.488386,,zlom na chodbě P101PA,#ff0000,ID594
-683635.00,-1063915.00,244.684335,88.320465,,zlom na chodbě P101PA,#ff0000,ID597
-683675.00,-1063915.00,315.698179,13.519121,,zlom na chodbě P101PA,#ff0000,ID593
...
-683895.00,-1063375.00,239.082181,57.050819,,Žíla 139_a,#008000,ID4330
-683895.00,-1063375.00,236.716904,59.416096,,Žíla 139,#ff0000,ID4330
-683895.00,-1063375.00,235.109448,61.023552,,Žíla 139_b,#008000,ID4330
-683785.00,-1063375.00,162.134888,147.880112,,zlom Niffelské pásmo-3,#ff0000,ID4341
-683885.00,-1063375.00,208.373251,88.886749,,Žíla 139_a,#008000,ID4331
...
```

Soubor *virtualni-vrty.csv* byl převeden do tabulky *virtualni-vrty* souboru *virtualni-vrtyF.xlsm*. Ukázalo se, že v tabulce jsou duplicitní řádky. Proto bylo vytvořeno makro *Duplicitni\_radky()*, s pomocí kterého byly duplicitní řádky odhaleny (celkem 24) a duplicity odstraněny. V tabulce *virtualni-vrty* zůstalo celkem 4181 řádků s údaji. Byl doplněn sloupec *Z\_vrtu*, kde je dopočtena kóta virtuálního vrtu (součet *Z* údaje a hloubky údaje).

Tabulka *virtualni-vrty* s litologií zrudnění a tektonik byla z důvodu způsobu výpočtu nejistoty hranic horninových těles v bodech 3D gridu strukturně geologického modelu (ve směru souřadnice *X* zprava doleva a ve směru souřadnice *Y* shora dolů) a způsobu ukládání dat v budoucí tabulce *Typy\_hornin* (kvůli omezení počtu řádků tabulky *Excelu* – viz parametr „Zadej max. počet řádků v listu *Typy\_hornin*“ dále) utříděna podle 1. *X(East)* sestupně, 2. *Y(North)* sestupně, 3. *Measured Depth* vzestupně. Ukázka tabulky *virtualni-vrty* je zobrazena v tabulce 2-10.

**Tabulka 2-10: Ukázka tabulky *virtualni-vrty*.**

X(East)	Y(North)	Z	Measured Depth	Name	Vertex_colour	Well Name	Z_vrtu
-683445	-1062615	10.279659	235.949341	zlom na chodbě P101PA	#ff0000	ID9695	246.229
-683445	-1062625	8.321684	237.537216	zlom na chodbě P101PA	#ff0000	ID9625	245.8589
-683445	-1062635	6.304619	239.350281	zlom na chodbě P101PA	#ff0000	ID9555	245.6549
-683445	-1062645	4.239296	241.282104	zlom na chodbě P101PA	#ff0000	ID9485	245.5214
-683445	-1062655	2.138864	243.326736	zlom na chodbě P101PA	#ff0000	ID9415	245.4656
-683445	-1062665	0.009579	245.428421	zlom na chodbě P101PA	#ff0000	ID9345	245.438
-683445	-1062675	-2.144614	247.500214	zlom na chodbě P101PA	#ff0000	ID9275	245.3556
-683445	-1062685	-4.31684	249.59404	zlom na chodbě P101PA	#ff0000	ID9205	245.2772
-683445	-1062715	16.456651	228.759949	zlom Niffelské pásmo-13	#ff0000	ID8995	245.2166
...							
-683895	-1063375	229.082181	57.050819	Žíla 139_a	#008000	ID4330	286.133
-683895	-1063375	226.716904	59.416096	Žíla 139	#ff0000	ID4330	286.133
-683895	-1063375	225.109448	61.023552	Žíla 139_b	#008000	ID4330	286.133
...							

Makrem *Tvorba\_AllVrt10x10m()* byla v souboru *virtualni-vrtyF.xlsm* vytvořena tabulka *AllVrt10x10m*, ve které jsou unikátní virtuální vrty z tabulky *virtualni-vrty* ve struktuře:

- název virtuálního vrtu,
- souřadnice X,
- souřadnice Y,
- souřadnice Z ústí,
- maximální hloubka údaje ve virtuálním vrtu.

Celkem bylo v tabulce *AllVrt10x10m* vytvořeno 2668 řádků unikátních virtuálních vrtů. Ukázka tabulky *AllVrt10x10m* je zobrazena v tabulce 2-11.

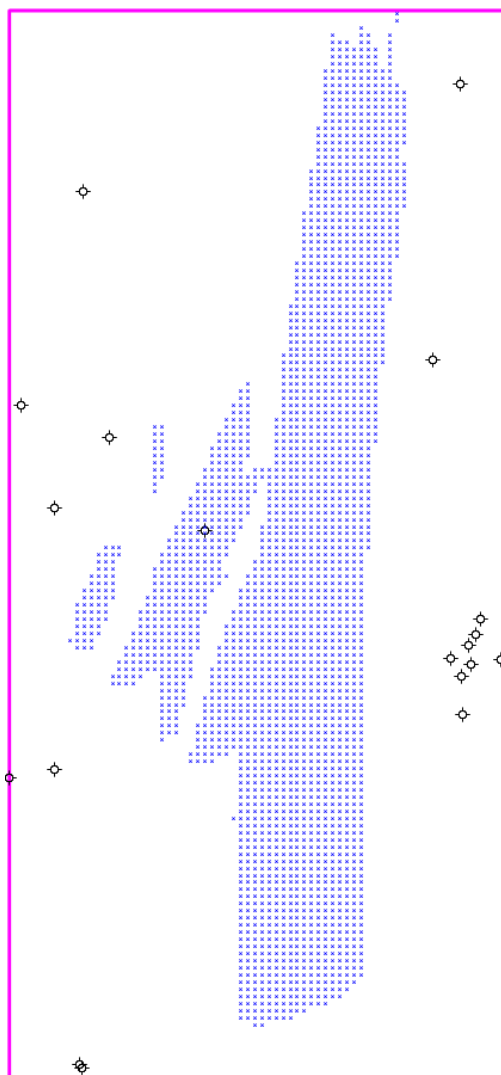
**Tabulka 2-11: Ukázka tabulky *AllVrt10x10m*.**

WellName	X_coord	Y_coord	Z	Well_depth
ID9695	-683445	-1062615	246.229	235.949341
ID9625	-683445	-1062625	245.859	237.537216
ID9555	-683445	-1062635	245.655	239.350281
ID9485	-683445	-1062645	245.521	241.282104
ID9415	-683445	-1062655	245.466	243.326736
ID9345	-683445	-1062665	245.438	245.428421
ID9275	-683445	-1062675	245.356	247.500214
ID9205	-683445	-1062685	245.277	249.59404
ID8995	-683445	-1062715	245.217	228.759949

...

Pozice virtuálních vrtů zájmového území ve 2D z tabulky *AllVrt10x10m* jsou zobrazeny na obr. 2-4 modře.





Obr. 2-4: Pozice virtuálních vrtů (modré symboly) a průzkumných vrtů (černé symboly) zájmového území.

Makrem s názvem *Dopln\_Z\_povrchu\_a\_Top\_krystal()* byly pro každý virtuální vrt z tabulky *AllVrt10x10m* doplněny podle souřadnic *X\_coord*, *Y\_coord* dva sloupce:

- *Z\_povrch* – Z kóty ústí podle gridu *DMR\_n.grd* (viz část 2.1.2),
- *Z\_Top\_krystal* – Z povrchu krystalinika podle gridu *Top krystalinika\_upr\_n.grd* (viz část 2.1.2).

Ukázka doplněné tabulky *AllVrt10x10m* je zobrazena v tabulce 2-12.

**Tabulka 2-12: Ukázka doplněné tabulky *AllVrt10x10m*.**

WellName	X_coord	Y_coord	Z	Well_depth	Z_povrch	Z_Top_krystal
ID9695	-683445	-1062615	246.229	235.949341	246.2515	216.1558052
ID9625	-683445	-1062625	245.859	237.537216	245.883	216.9561779
ID9555	-683445	-1062635	245.655	239.350281	245.6775	217.6808073
ID9485	-683445	-1062645	245.521	241.282104	245.5531	218.3790201
ID9415	-683445	-1062655	245.466	243.326736	245.49	219.0998045
ID9345	-683445	-1062665	245.438	245.428421	245.4509	219.7934427
ID9275	-683445	-1062675	245.356	247.500214	245.3772	220.451785
ID9205	-683445	-1062685	245.277	249.59404	245.2936	221.1059793
ID8995	-683445	-1062715	245.217	228.759949	245.2381	222.9497205

Rozdíly v údajích *Z* (převzatého z geologického modelu) a *Z\_povrch* (podle gridu *Top krystalinika\_upr\_n.grd*) se liší pouze minimálně – v jednotkách centimetrů.

V souboru *virtualni-vrtyF.xlsm* byla doplněna tabulka *Legenda* s parametry výpočtu modelu nejistoty a tabulka *Typy\_hornin* pro naplnění údajů s pomocí makra *Typy\_hornin()*.

V lokalitě Kaňk se vyskytuje celkem 5 typů hornin, podle nichž se bude počítat nejistota hranic typů hornin v bodech 3D gridu strukturně geologického modelu (viz 2.3) a které jsou uvedeny v tabulce 2-13.

**Tabulka 2-13: Typy hornin obsažené ve virtuálních vrtech.**

Typ horniny	Typ litologie
1	Kvartér
2	Krystalinikum
3	Zrudnění
4	Tektonické porušení
5	Lamprofyr

Makro *Typy\_hornin()* pro každý virtuální vrt z tabulky *AllVrt10x10m* zapisuje pro *Z* počínaje ústím vrtu se zadaným krokem (volitelný parametr výpočtu, který byl pro zájmové území zadán na 1 m) až po bázi modelu nejistoty (volitelný parametr výpočtu, který byl zadán na 0 m n.m.) souřadnice *X*, *Y*, *Z*, kód typu horniny (viz tabulka 2-13) a název vrtu. Typ horniny 1 (kvartér) se zapisuje od ústí vrtu po povrch krystalinika (údaj *Z\_Top\_krystal* v tabulce *AllVrt10x10m*), typ horniny 2 (krystalinikum) se zapisuje od povrchu krystalinika po bázi modelu. Poté se pro každý virtuální vrt z tabulky *virtualni-vrty* přepíše typ horniny 3 (zrudnění – v intervalu *Z* od ...*\_a* po ...*\_b* z údaje *name*) nebo typ horniny 5 (lamprofyr –

v Z „lamprofyr“ v údají *name*) nebo typ horniny 4 (tektonické porušení – pro ostatní řádky tabulky *virtualni-vrty*). V tabulce 2-14 je ukázka údajů tabulky *Typy\_hornin*. Celkem bylo vytvořeno 773293 řádků tabulky *Typy\_hornin*. Počty jednotlivých typů hornin pro vybrané území lokality jsou v tabulce 2-15.

**Tabulka 2-14: Ukázka údajů tabulky *Typy\_hornin*.**

X	Y	Z	Typ_horniny	Název vrtu
-683445	-1062615	246	1	ID9695
-683445	-1062615	245	1	ID9695
-683445	-1062615	244	1	ID9695
-683445	-1062615	243	1	ID9695
-683445	-1062615	242	1	ID9695
...				
-683445	-1062615	217	1	ID9695
-683445	-1062615	216	2	ID9695
-683445	-1062615	215	2	ID9695
-683445	-1062615	214	2	ID9695
...				
-683615	-1063345	11	2	ID4568
-683615	-1063345	10	3	ID4568
-683615	-1063345	9	3	ID4568
-683615	-1063345	8	4	ID4568
-683615	-1063345	7	3	ID4568
-683615	-1063345	6	2	ID4568

**Tabulka 2-15: Počty jednotlivých typů hornin pro vybrané území lokality.**

Typ horniny	Počet
1	20081
2	749012
3	129
4	4071
5	0
Celkem:	773293

Makrem *Sloupce\_poradi\_X()* se na základě tabulky *Typy\_hornin* vytvoří v listu *Legenda* indexy řádků a sloupců jednotlivých souřadnic X (zprava doleva, ukázka viz tabulka 2-16) pro urychlení vyhledávání v tabulce *Typy\_hornin* pro následný výpočet nejistoty hranic typů hornin v bodech 3D gridu strukturně geologického modelu (viz 2.3).

Makra *Typy\_hornin()* a *Sloupce\_poradi\_X()* pracují s parametrem „Zadej max. počet řádků v listu *Typy\_hornin*:“, který byl pro výpočet nastaven na hodnotu

1000001 (viz obr. 2-9). Je zaveden z důvodu omezení počtu řádků tabulky *Excelu* na 1048576. Po dosažení 1000001 řádků se proto zapisované hodnoty do listu *Typy\_hornin* posouvají do dalších sloupců.

**Tabulka 2-16: Ukázka indexů řádků a sloupců jednotlivých souřadnic X pro vybrané území lokality.**









Pořadí sl.	Řádek	X	Sloupec
1	2	-683445	1
2	3693	-683455	1
3	10306	-683465	1
4	19622	-683475	1
5	29946	-683485	1
...			
44	761871	-683875	1
45	765294	-683885	1
46	768443	-683895	1
47	771015	-683905	1
48	773010	-683915	1

## 2.1.6 Důlní díla

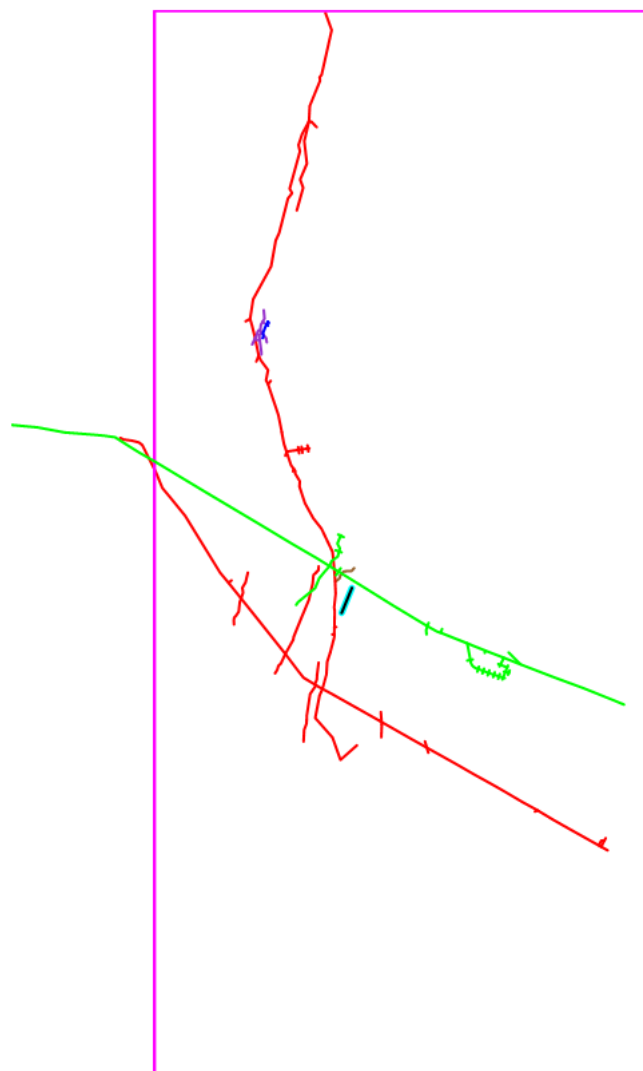
Z 3D geologického modelu byly vyexportovány soubory s údaji o souřadnicích horizontálních důlních děl ve formátu *shp*, které byly rozděleny podle věrohodnosti na věrohodná, méně věrohodná a nevěrohodná a podle věrohodnosti byly i umístěny do adresářů (obr. 2-5). Z 3D geologického modelu byly také vyexportovány soubory s údaji o souřadnicích vertikálních důlních děl ve formátu *csv*, které byly také rozděleny podle věrohodnosti na věrohodná, méně věrohodná a nevěrohodná a podle věrohodnosti umístěny do adresářů (obr. 2-5). V názvu adresáře jsou i dva volitelné parametry (% snížení nejistoty a dosah v metrech) pro zvyšování věrohodnosti v okolí důlního díla při výpočtu 3D modelu nejistoty strukturně geologického modelu (viz část 2.6).

### Horizontální důlní díla

*Shp* soubory jednotlivých horizontálních důlních děl byly v prostředí Surfer převedeny do textového formátu *bln*. Do prvního řádku každého *bln* souboru byly doplněny údaje: název díla, nadmořská výška díla, % snížení nejistoty a dosah v metrech. V tabulce 2-17 je ukázka souboru *1\_patro-235m.blm*. Na obr. 2-6 jsou horizontální díla zájmového území vyobrazena v prostředí Surfer.

- ▼  horizontálníDD
  -  Mene-verohodnaDD-40-15m
  -  NeverohodnaDD-10-10m
  -  VerohodnaDD-90-35m
- ▼  vertikálníDD
  -  Mene-verohodnaDD-40-15m
  -  NeverohodnaDD-10-10m
  -  VerohodnaDD-90-35m

Obr. 2-5: Adresáře s uložením *shp* souborů s údaji o průběhu horizontálních a s uložením *csv* souborů s údaji o průběhu vertikálních důlních děl.



Obr. 2-6 Horizontální důlní díla zájmového území. Věrohodná: *3\_patro-0m.bl*n zeleně, *1\_patro-207m.bl*n červeně, *1\_patro-228m.bl*n fialově, *1\_patro-235m.bl*n modře. Méně věrohodné: *chodbaX-207m.bl*n hnědě. Nevěrohodná: *starina-240m.bl*n světle modře, *starina-250m.bl*n černě.

**Tabulka 2-17: Ukázka souboru 1\_patro 235m.bln.**

```
5,1,1_patro-235m_0,235,90,35
-683839.91503308702,-1062937.6156749576
-683843.16941459465,-1062944.1244379878
-683846.90004705626,-1062954.0463328212
-683846.42379610229,-1062958.5707168728
-683847.53504832822,-1062961.1900971159
2,1 1
-683841.80416186887,-1062941.3939325213
-683839.67690760631,-1062943.4894367158
2,1 2
-683840.31190888572,-1062938.409426555
-683838.4862802251,-1062939.6000539362
```

Následně byl vytvořen soubor *Dulni dila FS.xlsm*, do kterého se makrem *Dila\_n\_bln\_xlsm()* postupně převáděly souřadnice všech horizontálních důlních děl ve struktuře *Nazev* (název díla a pořadí polygonu), souřadnice *X*, *Y*, *Z*, *Snížení %*, *Dosah*. Celkem tak bylo v souboru *Dulni dila FS.xlsm* vytvořeno 322 bodů horizontálních důlních děl.

### Vertikální důlní díla

Jednotlivá vertikální důlní díla s údaji o souřadnicích byla vyexportována ze strukturně geologického modelu ve formátu *csv*. Ukázka souboru *SachtaY.csv* je v tabulce 2-18. Podle stupně věrohodnosti se vertikální důlní díla dělí na:

- Mene-verohodnaDD-40-15m:
  - Sachta-XY
  - SachtaY
- NeverohodnaDD-10-10m:
  - komin-Kxx
  - komin-starinaX
- VerohodnaDD-90-35m:
  - Jama\_Antonin\_Padua
  - Jama\_GF29-Zvetralinova schta
  - Jama\_Leopold
  - Jama-GF28-SkaleckaZentourovaSachta
  - komin-Antonin\_Padua
  - SachtaX

**Tabulka 2-18: Ukázka souboru SachtaY.csv.**

```
Petroleum Experts,Move v1.1
Vertex Data,Vertex Data,Vertex Data,Container,Container,Container,Container,Container,Container
Real,Real,Real,Boolean,Boolean,Text,Text,Text,Color
X(East),Y(North),Z,Display_text,$V,Type,Name,Horizon,Vertex_colour
#FF0000,#00FF00,#0000FF,#FFFFFF,#FFFFFF,#FFFFFF,#FFFFFF,#FFFFFF,#457F3F
metre,metre,metre,,,,,
xy,xy,elevation,dimensionless,dimensionless,dimensionless,dimensionless,dimensionless,dimensionless
-683706.880493,-1063300.651001,287.753052,1,1,Intersection,Point,,#ff7f7f
-683711.144104,-1063294.070374,255.418335,1,1,Intersection,Point,,#ff7f7f
-683717.433228,-1063284.197083,206.904907,1,1,Intersection,Point,,#ff7f7f
-683721.770691,-1063277.886230,175.250854,1,1,Intersection,Point,,#ff7f7f
```

Údaje všech vertikálních důlních děl byly uloženy ve stejné struktuře jako u horizontálních důlních děl (soubor *Dulni dila FS.xlsm*) do souboru *Vertikalni dila FS.xlsx* (celkem bylo vytvořeno 23 bodů vertikálních důlních děl) a následně přepokopírovány na konec souboru *Dulni dila FS.xlsm* se žlutým podbarvením. Byl přidán sloupec *Druh* s indikací „H“ pro horizontální důlní díla a s indikací „V“ pro vertikální důlní díla. Ukázka souboru *Dulni dila FS.xlsm* je v tabulce 2-19.

**Tabulka 2-19: Ukázka souboru *Dulni dila FS.xlsm*.**

Název	X	Y	Z	Snížení_%	Dosah	Druh
chodbaX-207m	-683744.41	-1063303.83	207	40	15	H
chodbaX-207m	-683738.81	-1063299.53	207	40	15	H
chodbaX-207m	-683737.69	-1063295.23	207	40	15	H
chodbaX-207m	-683733.01	-1063289.81	207	40	15	H
chodbaX-207m	-683726.47	-1063289.25	207	40	15	H
...						
1_patro-207m_33	-683615.97	-1063537.94	207	90	35	H
1_patro-207m_33	-683637.24	-1063526.04	207	90	35	H
1_patro-207m_33	-683682.81	-1063500.08	207	90	35	H
1_patro-228m_0	-683847.26	-1062937.87	228	90	35	H
1_patro-228m_0	-683845.63	-1062939.84	228	90	35	H
...						
3_patro-0m_22	-684165.26	-1063086.81	0	90	35	H
3_patro-0m_22	-684201.11	-1063083.5	0	90	35	H
Jama_Antonin_Padua	-683845.91	-1062955.01	228	90	35	V
Jama_Antonin_Padua	-683846.58	-1062954.72	258	90	35	V
Jama_GF29-Zvetralinova schta	-683778.06	-1062768.57	244	90	35	V
Jama_GF29-Zvetralinova schta	-683796.61	-1062771.55	209	90	35	V
Jama_Leopold	-683781.37	-1063115.55	268	90	35	V
Jama_Leopold	-683781.63	-1063115.4	208	90	35	V
Jama-GF28-SkaleckaZentourovaSachta	-683743.41	-1062548.06	230	90	35	V
Jama-GF28-SkaleckaZentourovaSachta	-683756.19	-1062550.43	208	90	35	V
komin-Antonin_Padua	-683840.33	-1062936.7	236	90	35	V
komin-Antonin_Padua	-683845.62	-1062932.91	229	90	35	V
komin-Antonin_Padua	-683865.44	-1062933.52	208	90	35	V
SachtaX	-683750.83	-1063384.74	301	90	35	V
SachtaX	-683748.93	-1063378.43	206	90	35	V
Sachta-XY	-683768.79	-1062661.94	235	40	15	V
Sachta-XY	-683771.62	-1062661.64	207	40	15	V
SachtaY	-683706.88	-1063300.65	288	40	15	V
SachtaY	-683711.14	-1063294.07	255	40	15	V
SachtaY	-683717.43	-1063284.2	207	40	15	V
SachtaY	-683721.77	-1063277.89	175	40	15	V
komin-Kxx	-683810.91	-1063400.37	207	10	10	V
komin-Kxx	-683805.42	-1063400.27	192	10	10	V
komin-starinaX	-683722.56	-1063319.43	252	10	10	V
komin-starinaX	-683723.86	-1063317.44	239	10	10	V

V souboru *Dulni dila FS.xlsm* bylo vytvořeno makro *Prevod\_DD\_xlsx\_dat()*, které z tohoto souboru vytvoří textový soubor *Dulni\_dila.dat* s údaji jednotlivých úseček důlních děl ve struktuře *X1 Y1 Z1 X2 Y2 Z2 Sniz\_Ver Dosah Druh Nazev*, který je vstupním souborem pro zpracování snížení nejistoty v okolí důlních děl 3D modelu nejistoty strukturně geologického modelu (viz část 2.6). V tabulce 2-20 je ukázka souboru *Dulni\_dila.dat*. Obsahuje celkem 266 úseků důlních děl.

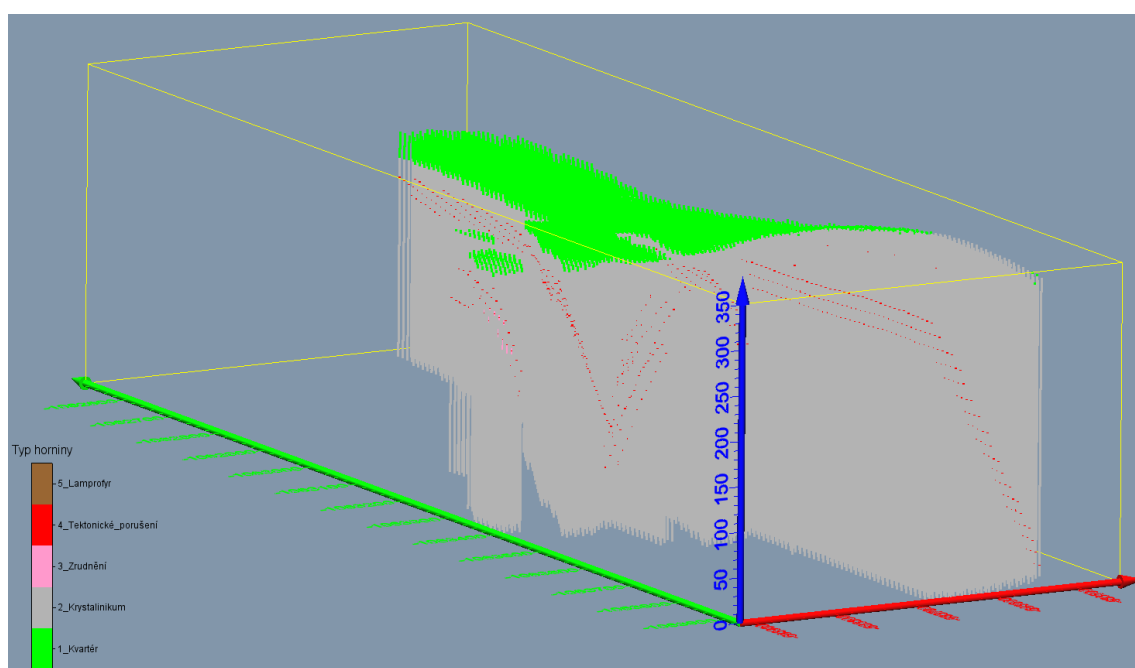
**Tabulka 2-20: Ukázka souboru *Dulni\_dila.dat*.**

```
-683744.41 -1063303.83 207 -683738.81 -1063299.53 207 40 15 "H" "chodbaX-207m"
-683738.81 -1063299.53 207 -683737.69 -1063295.23 207 40 15 "H" "chodbaX-207m"
-683737.69 -1063295.23 207 -683733.01 -1063289.81 207 40 15 "H" "chodbaX-207m"
-683733.01 -1063289.81 207 -683726.47 -1063289.25 207 40 15 "H" "chodbaX-207m"
-683726.47 -1063289.25 207 -683722.17 -1063289.43 207 40 15 "H" "chodbaX-207m"
-683722.17 -1063289.43 207 -683718.25 -1063285.13 207 40 15 "H" "chodbaX-207m"
-683735.96 -1063348.27 240 -683721.43 -1063312.96 240 10 10 "H" "starina-240m"
-683735.96 -1063348.27 250 -683721.43 -1063312.96 250 10 10 "H" "starina-250m"
-683820.31 -1063093.76 207 -683825.15 -1063069.6 207 90 35 "H" "1_patro-207m_0"
-683825.15 -1063069.6 207 -683839.84 -1063025.95 207 90 35 "H" "1_patro-207m_0"
...
-683706.88 -1063300.65 287.75 -683711.14 -1063294.07 255.42 40 15 "V" "SachtaY"
-683711.14 -1063294.07 255.42 -683717.43 -1063284.2 206.9 40 15 "V" "SachtaY"
-683717.43 -1063284.2 206.9 -683721.77 -1063277.89 175.25 40 15 "V" "SachtaY"
-683810.91 -1063400.37 207.23 -683805.42 -1063400.27 192.25 10 10 "V" "komin-Kxx"
-683722.56 -1063319.43 251.72 -683723.86 -1063317.44 239 10 10 "V" "komin-starinaX"
```



## 2.2 Převedení strukturně geologického modelu do 3D gridu a jeho vizualizace

V části 2.1.5 byl popsán výpočet jednotlivých typů hornin (viz tabulka 2-13) ve virtuálních vrtech s pomocí makra *Typy\_hornin()* v souboru *virtualni-vrtyF.xlsm* a uložení jednotlivých typů hornin do tabulky *Typy\_hornin* (viz tabulka 2-14). Takto převedený strukturně geologický model lze přímo z tabulky *Typy\_hornin* zobrazit ve 3D v prostředí *Voxler* [12] (obr. 2-7).



Obr. 2-7 Zobrazení strukturně geologického modelu s pomocí *ScatterPlot*.

## 2.3 Výpočet nejistoty typů hornin v bodech 3D gridu strukturně geologického modelu

Pro stanovení nejistoty hranic typů hornin (viz tabulka 2-13) byl zvolen výpočet prostorové entropie, jakožto ukazatele nejistoty. Entropie vyjadřuje jakousi míru neurčitosti (nejistoty). Klesá-li entropie, roste celková informace, a naopak. Entropie je střední hodnota míry informace k odstranění nejistoty, která je dána konečným počtem vzájemně vylučujících se jevů (tady jednotlivé druhy hornin). Tento princip publikoval na několika studiích ve 2D Brus (2014). Uvádí zde, že zaklada-

tel pojmu entropie C. E. Shannon definoval entropii následovně (Shannon a Weaver, 1949): pro systém s konečným počtem možných stavů  $S \in \{s_1, s_2, \dots, s_n\}$  a pravděpodobnosti jejich výskytu  $P(s_i)$  je informační entropie  $H(S)$  definována:

$$H(S) = - \sum_{i=1}^n P(s_i) \log_2 P(s_i)$$

*Poznámka:* Pokud je  $P(s_i) = 0$  tak je součin v sumě také roven 0. Logaritmus ve výše uvedeném vztahu může být o libovolném základu.

Entropie je maximální, když jsou pravděpodobnosti výskytu vylučujících se stavů stejné (rozdělení je rovnoměrné):  $H(S_{max}) = \log_2 n$ , tedy právě tehdy, když

$$P(s_i) = \frac{1}{n} \text{ pro } \forall i$$

Entropie je minimální, pokud jsou všechny pravděpodobnosti  $P(s_i)$  rovny nule, kromě jedné, jež nabývá hodnoty 1. Musí tedy platit:  $H(S_{min}) = 0$  právě tehdy, když platí  $\exists P(s_k) = 1$  a  $P(s_i) = 0$  pro  $\forall i \neq k$ .

V prostorovém kontextu lze entropii interpretovat s ohledem na modelovanou oblast (3D grid) jako množství chybějící informace, neboli nejistoty s přihlédnutím k diskrétním vlastnostem buňky, což pro případ 2D uvádí (Brus, 2014) a zmiňuje zde práci Wellmanna a Regenauer-Lieba (2012). V tomto pojetí je chybějící informací příslušnost ke konkrétnímu druhu horniny (pole  $ID$  u jednotlivých vrstev - typů hornin), protože vzhledem k chybám na geologických mapách a také vlivem samotného přenosu dalších informací (analogových řezů apod.) do digitální formy docházelo ke vzniku nejistoty (Staněk et al., 2025). Z tohoto pohledu lze uvažovat o příslušnosti dané buňky ke konkrétnímu druhu horniny 1, 2 až  $n$  (v naší lokalitě Kaňk je  $n = 5$ ).

V hlavním programu *Nejistota\_Kank* (viz část 2.7) je výpočet entropie v určitém bodě 3D gridu s využitím zadaného okolí bodu prováděn na základě následující rovnice:

$$H(S) = - \sum_{i=1}^n p_i \ln p_i,$$

kde:

pravděpodobnost

$$p_i = \frac{n_i}{N}$$

je podíl počtu bodů 3D gridu horniny  $i$  k celkovému počtu  $N$  bodů 3D gridu hornin v definovaném okolí (koule zadaného poloměru se středem v bodě 3D gridu, pro který stanovujeme entropii),

$n_i$  je počtu bodů 3D gridu horniny  $i$  v definovaném okolí,

$N$  je celkový počet bodů 3D gridu hornin v definovaném okolí,

$n$  je celkový počet druhů hornin (v zájmovém území lokality Kaňk je jich 5).

Výsledkem je modifikovaný tzv. Shannonův index (Jenness a kol., 2011 in Brus, 2014), který nabývá hodnot v rozmezí od 0 do  $\ln(n)$ , kde  $n$  je počet unikátních kategorií (druhů hornin). Míra nejistoty v rozsahu od 0 do 1 se pak získá podílem vypočtené entropie k  $\ln(n)$  (Staněk et al., 2025).

## 2.4 Výpočet obecné nejistoty v bodech 3D gridu strukturně geologického modelu

Tato tzv. „obecná nejistota“ číselně vyjadřuje fakt, že i povrchová geologie je ve větším detailu bez rozsáhlých technických prací do značné míry nejistá: rozdílná kvalita a podrobnost archivních geologických map – např. nepřesná lokalizace litologických hranic, interpretativní lokalizace zlomů, v extrémním případě také nepřesná identifikace petrograficky podobných typů hornin. Dále se v obecné nejistotě může promítnout např. povědomí geologa ohledně ne zcela kolmého průběhu vrtů, nepřesné lokalizaci horizontů ve vrtech apod. Tyto nuance se do výpočtu nejistoty zadávají formou polygonů na zemském povrchu, které ohraničují oblasti s různou mírou věrohodnosti výše uvedených archivních dat, zejména dostupných geologických map.

Obecná nejistota se lineárně zvyšuje směrem do hloubky na základě zadaných vstupních parametrů „Hodnota obecné nejistoty základní na povrchu“, „Hodnota obecné nejistoty základní v max. hloubce“ a „Maximální hloubka pro obecnou nejistotu“ (viz část 2.7 a obr. 2-9, v zájmovém území lokality Kaňk to byly hodnoty postupně 0.05, 0.6 a 352 m). Obecná nejistota je takto zadána globálně, ale může být modifikována v odlišných částech území s obecně lepším a horším pokrytím

především povrchovými daty s pomocí tzv. polygonů obecné nejistoty s jinými vstupními parametry. Tyto parametry reflektují subjektivní hodnocení autorského týmu. V zájmovém území lokality Kaňk nebyly polygony obecné nejistoty specifikovány.

Při zadání parametru „Existují polygony s jinou obecnou nejistotou - soubor Polyg\_obec.dat (Ano/Ne): Ano“ (viz část 2.7, obr. 2-9) lze zadat polygony s jinými hodnotami v textovém souboru *Polyg\_obec.dat*, ve kterém se v prvním řádku uvede počet polygonů s jinou obecnou nejistotou a pro každý z nich následují v prvním řádku vedle sebe parametry „Počet bodů polygonu“, „Obecná nejistota na povrchu“ a „Obecná nejistota v maximální hloubce“ a na dalších „Počet bodů polygonu“ řádků následují vedle sebe souřadnice X, Y polygonu. Ukázka souboru *Polyg\_obec.dat* je v tabulce 2-21.

**Tabulka 2-21: Ukázka souboru *Polyg\_obec.dat*.**

```
2 'Počet polygonů s jinou obecnou nejistotou, u každého je v 1. řádku Počet_bodů
Obecná_nejistota_povrch Obecná_nejistota_v_max_hloubce a následuje Počet_bodů souřadnic
X, Y
6 0.01 0.4
-683246.32401646, -1063265.0234195
-683441.40523973, -1063257.3731755
-683517.90768023, -1063456.2795208
-683219.54816229, -1063716.3878185
-683108.61962356, -1063479.2302529
-683246.32401646, -1063265.0234195
7 0.03 0.5
-683961.62183512, -1062905.4619492
-684103.15135004, -1063001.0899998
-684149.05281434, -1063245.8978094
-683923.37061487, -1063280.3239076
-683686.21304932, -1063280.3239076
-683728.2893916, -1063104.3682945
-683961.62183512, -1062905.4619492
```

## 2.5 Sloučení hodnot různých druhů nejistot v bodech 3D gridu strukturně geologického modelu

Hodnoty nejistoty typů hornin (viz 2.3) a obecné nejistoty (viz 2.4) jsou integrovány s pomocí fuzzy logiky. Fuzzy logika, pocházející ze Zadehovy teorie fuzzy množin (Zadeh 1965), přiřazuje prvkům v množině stupeň příslušnosti (reálné číslo od 0 do 1), což umožňuje rozsah pravdivostních hodnot od úplné nepravdy

(0) po absolutní pravdu (1). Ve fuzzy logice tento stupeň pravdivosti nepřímo odpovídá nejistotě a vytváří souvislou škálu pravdivostních hodnot (Cintula et al., 2023).

Při aplikaci fuzzy logiky na nejistotu v geologickém modelování se používá standardní Gödelova fuzzy konjunkce (t-norma), kde stupeň pravdivosti kombinovaných tvrzení odráží minimální stupeň pravdivosti jednotlivých vstupů (Bělohávek et al. 2017; Cintula et al. 2023). Při adaptaci na nejistotu je to pak maximum jednotlivých typů nejistoty v každém bodě 3D modelu (Staněk et al., 2025) a v našem případě se jedná o vyšší hodnotu mezi nejistotou typů hornin a obecnou nejistotou v každém bodě 3D modelu.

## 2.6 Snížení nejistoty v okolí vrtů, geologických profilů a důlních děl

Sloučená nejistota z části 2.5 se v bodech 3D modelu nejistoty následně snižuje v okolí vstupních údajů, tedy v okolí vrtů, geologických profilů a důlních děl. Přitom ale nemůže být výsledná nejistota snížena pod minimální celkovou nejistotu, která je vstupním parametrem hlavního programu *Nejistota\_Kank* (viz část 2.7 a obr. 2-9). Pro zpracování zájmového území lokality Kaňk byl tento parametr nastaven na hodnotu 0,05.

### 2.6.1 Lokální snížení nejistoty v okolí vrtů

Stanovuje lokální snížení nejistoty (zvýšení věrohodnosti) v bodech 3D modelu nejistoty v okolí průzkumných vrtů v % dle parametrů uvedených pro každý vrt ve vstupním souboru *vrty2\_FS.xlsx* (viz část 2.1.3 a tabulka 2-4) od ústí až po hloubku vrtu zadanou ve sloupci „Hloubka“. % snížení nejistoty klesá lineárně v zadaném poloměru ve sloupci „HorzDosahM“ od polohy vrtu, kde je snížení nejistoty o hodnotu zadanou pro každý vrt ve sloupci „Věrohodnost“ směrem k obvodu kružnice vlivu zadaného poloměru, kde je už snížení nejistoty nulové.

## 2.6.2 Lokální snížení nejistoty v okolí geologických profilů

Stanovuje lokální snížení nejistoty (zvýšení věrohodnosti) v bodech 3D modelu nejistoty v okolí geologických profilů v % dle parametrů uvedených pro každý úsek řezu v textovém souboru *Rezy.dat* (viz část 2.1.4 a tabulka 2-8). Soubor *Rezy.dat* vytváří makro *Prevod\_rezu\_xlsx\_dat()* ze souboru *profily\_lomove\_body FS.xlsm* (viz část 2.1.4 a tabulka 2-7). Jednotlivé úseky řezů obsahují souřadnice *X, Y* začátku úseku, souřadnice *X, Y* konce úseku a parametry báze řezu ze sloupce „PO\_Z\_m\_n\_m“, horizontální dosah ze sloupce „HorzDosahM“ a věrohodnost ze sloupce „Věrohodnost“. % snížení nejistoty klesá lineárně od povrchu až po bázi řezu v zadané vzdálenosti „HorzDosahM“ od polohy řezu, kde je snížení nejistoty o hodnotu zadanou v parametru „Věrohodnost“ směrem k zadané vzdálenosti vlivu, kde je už snížení nejistoty nulové.

Protože se řezy překrývají a kříží, byl zaveden omezující parametr maximálního snížení nejistoty řezů v hlavním programu *Nejistota\_Kank* (viz část 2.7 a obr. 2-9), který byl pro zpracování zájmového území lokality Kaňk nastaven na 85 %.

## 2.6.3 Lokální snížení nejistoty v okolí důlních děl

Stanovuje lokální snížení nejistoty (zvýšení věrohodnosti) v bodech 3D modelu nejistoty v okolí horizontálních a vertikálních důlních děl v % dle parametrů uvedených pro každý úsek důlního díla v textovém souboru *Dulni\_dila.dat* (viz část 2.1.6 a tabulka 2-20). Soubor *Dulni\_dila.dat* vytváří makro *Prevod\_DD\_xlsx\_dat()* ze souboru *Dulni\_dila FS.xlsm* (viz část 2.1.6 a tabulka 2-19). Jednotlivé úseky důlních děl obsahují souřadnice *X, Y, Z* začátku úseku, souřadnice *X, Y, Z* konce úseku, parametry snížení věrohodnosti ze sloupce „Snížení\_%“ a dosah ze sloupce „Dosah“, druh díla a název díla. % snížení nejistoty klesá lineárně v zadané vzdálenosti „Dosah“ od osy úseku díla, kde je snížení nejistoty o hodnotu zadanou v parametru „Snížení\_%“ v rovině kolmé k ose úseku díla až po zadanou vzdálenost vlivu, kde je už snížení nejistoty nulové.

Protože se důlní díla kříží, byl zaveden omezující parametr maximálního snížení nejistoty důlních děl v hlavním programu *Nejistota\_Kank* (viz část 2.7 a obr. 2-9), který byl pro zpracování zájmového území lokality Kaňk nastaven na 90 %.

## 2.7 Popis hlavní programové aplikace *Nejistota\_Kank*

Makro *MS Excelu Nejistota\_Kank()* realizuje v každém bodě 3D gridu strukturně geologického modelu výpočet nejistoty typů hornin (viz část 2.3), výpočet obecné nejistoty (viz část 2.4), sloučení nejistoty typů hornin a obecné nejistoty (viz část 2.5) a lokální snížení nejistoty (zvýšení věrohodnosti) v okolí průzkumných vrtů, geologických profilů a důlních děl podle zadaných vstupních parametrů. Makro je uloženo v souboru *virtualni-vrtyF.xlsm* a pro vstup využívá údaje z listů *AllVrt10x10m* (viz část 2.1.5, tabulka 2-12) a *Typy\_hornin* (viz část 2.1.5, tabulka 2-14). *Nejistota\_Kank()* se spouští z listu *Legenda* (viz část 2.1.5, obr. 2-9, tabulka 2-16), ve kterém se zadávají i vstupní parametry výpočtu. Schéma externích vstupů a výstupů makra, které je naprogramováno v jazyce *VBA (Visual Basic for Applications)*, je na obr. 2-8.



Obr. 2-8: Schéma externích vstupů a výstupů makra *Nejistota\_Kank()*.

### Vstupy:

- List *AllVrt10x10m* souboru *virtualni-vrtyF.xlsm* (viz část 2.1.5, tabulka 2-12).
- List *Typy\_hornin* souboru *virtualni-vrtyF.xlsm* (viz část 2.1.5, tabulka 2-14).
- List *Legenda* souboru *virtualni-vrtyF.xlsm* (viz část 2.1.5, obr. 2-9, tabulka 2-16).



- Soubor průzkumných vrtů \*.xlsx použitých pro konstrukci geomodelu s parametry snížení nejistoty v jejich okolí (viz část 2.1.3). Ve zkušebním příkladu to byl soubor *vrty2\_FS.xlsx* (viz tabulka 2-4).
- Textový soubor *Dulni\_dila.dat* s parametry snížení nejistoty v okolí důlních děl (viz část 2.1.6, tabulka 2-20).
- Textový soubor *Rezy.dat* s parametry snížení nejistoty v okolí geologických profilů (viz část 2.1.4, tabulka 2-8).
- Textový soubor *Polyg\_obec.dat* (pokud má parametr „Existují polygony s jinou obecnou nejistotou - soubor *Polyg\_obec.dat* (Ano/Ne):“ hodnotu „Ano“) – polygony s jinými parametry obecné nejistoty než jsou zadane s pomocí parametrů „Hodnota obecné nejistoty základní na povrchu (Nejistota\_obec\_povrch):“ a „Hodnota obecné nejistoty základní v max. hloubce (Nejistota\_obec\_dole)“ (viz část 2.4, tabulka 2-21).

#### Příprava:

- Vytvoření pracovního adresáře, kde se umístí soubor *virtualni-vrtyF.xlsm*. V tomto adresáři se makro *Nejistota\_Kank()* spustí tlačítkem (viz obr. 2-9) a do něj se také ukládá výstupní soubor (viz výstupy).
- Do stejného pracovního adresáře se umístí vstupní soubory \*.dat a pokud existuje, tak i *Polyg\_obec.dat* (viz výše Vstupy).

Zadání parametrů a spuštění makra: Po otevření souboru *virtualni-vrtyF.xlsm* se zadají vstupní parametry a tlačítkem s červeným textem „**Spust' makro Nejistota\_Kank()**“ (obr. 2-9) se spustí výpočet.

Postupně se vytváří výstupní textový soubor *Nejistota\_3D.dat* - soubor 3D gridu míry nejistoty podle zadaných parametrů (konkrétní hodnoty pro výpočet v zájmovém území jsou na obr. 2-9, první čtyři žlutě podbarvené parametry používají i makra *Typy\_hornin()* a *Sloupce\_poradi\_X()* – viz část 2.1.5):

- „Zadej max. počet řádků v listu *Typy\_hornin*:“, buňka D9. Je zaveden z důvodu omezení počtu řádků tabulky *Excelu* na 1048576 pro indexaci údajů v listu *Typy\_hornin*.
- „Zadej počet typů hornin:“ – viz obr. 2-9, buňka D10. Viz také část 2.1.5.
- „Zadej krok Z:“ - viz obr. 2-9, buňka D11. Viz také část 2.1.5.




- „Zadej bázi modelu (*m n.m.*):“ - viz obr. 2-9, buňka D12. Viz také část 2.1.5.
- „Zadej *R* vyhledávací koule:“ - viz obr. 2-9, buňka D14. Viz také část 2.3.
- „Hodnota obecné nejistoty základní na povrchu (*Nejistota\_obec\_povrch*):“ - viz obr. 2-9, buňka D15. Viz také část 2.4.
- „Hodnota obecné nejistoty základní v max. hloubce (*Nejistota\_obec\_dole*):“ - viz obr. 2-9, buňka D16. Viz také část 2.4.
- „Existují polygony s jinou obecnou nejistotou - soubor *Polyg\_obec.dat* (*Ano/Ne*):“ - viz obr. 2-9, buňka D17. Viz také část 2.4.
- „Maximální hloubka pro obecnou nejistotu (*hloubka\_pro\_nejistotu\_obec\_dole*):“ - viz obr. 2-9, buňka D18. Viz také část 2.4.
- „Zadej krok gridu *XY*:“ - viz obr. 2-9, buňka D19. Viz také část 2.1.5.
- „Zadej maximální snížení nejistoty řezů (%):“ - viz obr. 2-9, buňka D20. Viz také část 2.6.2.
- „Zadej minimální celkovou nejistotu:“ - viz obr. 2-9, buňka D21. Viz také část 2.6.
- „Zadej maximální snížení nejistoty důlních děl (%):“ - viz obr. 2-9, buňka D22. Viz také část 2.6.3.
- „Zadej číslo řádku vrtu v listu *AllVrt10x10m*, od kterého se má začít výpočet:“ - viz obr. 2-9, buňka D23. Umožňuje rozdělení výpočtu - postupné vytváření výstupního souboru jen pro vybrané vrty.
- „Zadej číslo řádku vrtu v listu *AllVrt10x10m*, u kterého se má ukončit výpočet:“ - viz obr. 2-9, buňka D24. Umožňuje rozdělení výpočtu - postupné vytváření výstupního souboru jen pro vybrané vrty.

Výpočet probíhá v pořadí virtuálních vrtů v listu *AllVrt10x10m*, pro každý z nich od povrchu po zadanou bázi modelu se zadaným krokem. Po spuštění makra je požadován výběr souboru vrtů *\*.xlsx* (obr. 2-10) použitých pro konstrukci geomodelu s parametry snížení nejistoty v jejich okolí.

Výstupní textový soubor *Nejistota\_3D.dat* obsahuje pro každý bod 3D modelu míry nejistoty strukturně geologického modelu řádek s těmito údaji:

- Název virtuálního vrtu,
- souřadnice X,

- souřadnice Y,
- souřadnice Z,
- nejistota způsobená typy hornin (viz část 2.3),
- obecná nejistota (viz část 2.4),
- sloučená nejistota (viz část 2.5),
- % snížení nejistoty v okolí průzkumných vrtů (viz část 2.6.1),
- % snížení nejistoty v okolí geologických profilů (viz část 2.6.2),
- % snížení nejistoty v okolí důlních děl (viz část 2.6.3),
- výsledná nejistota po snížení v okolí vstupních údajů (viz část 2.6).

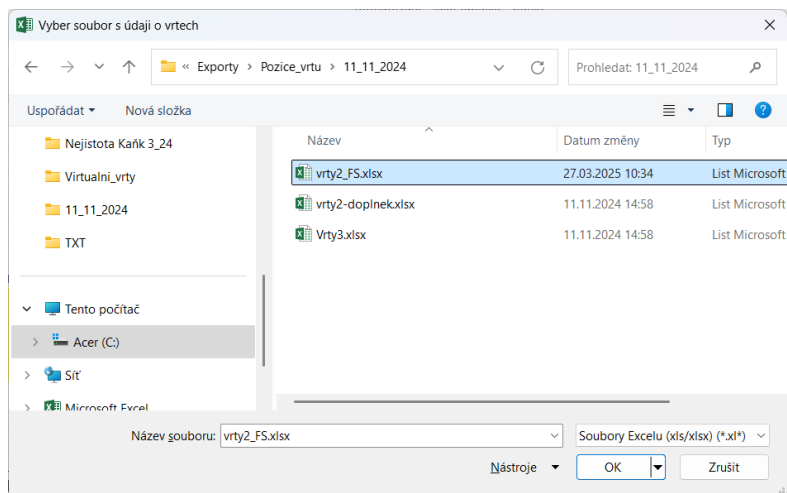
	A	B	C	D	E
1			<p style="color: red; text-align: center;"><b>Spust' makro Nejistota_Kank()</b></p>		
2					
3					
4					
5					
6					
7	<b>Parametry maker:</b>				
8	<b>Pro makra Typy_hornin(), Sloupce_poradi_X() a Nejistota_Kank():</b>				
9	Zadej max. počet řádků v listu Typy_hornin:				<b>1000001</b>
10	Zadej počet typů hornin:				<b>5</b>
11	Zadej krok Z:				<b>1 m</b>
12	Zadej bázi modelu (m n.m.):				<b>0</b>
13	<b>Pro makro Nejistota_Kank():</b>				
14	Zadej R vyhledávací koule:				<b>30 m</b>
15	Hodnota obecné nejistoty základní na povrchu (Nejistota_obec_povrch):				<b>0.05</b>
16	Hodnota obecné nejistoty základní v max. hloubce (Nejistota_obec_dole):				<b>0.6</b>
17	Existují polygony s jinou obecnou nejistotou - soubor Polyg_obec.dat (Ano/Ne):				<b>Ne</b>
18	Maximální hloubka pro obecnou nejistotu (hloubka_pro_nejistotu_obec_dole):				<b>352 m</b>
19	Zadej krok gridu XY:				<b>10 m</b>
20	Zadej maximální snížení nejistoty řezů (%):				<b>85 %</b>
21	Zadej minimální celkovou nejistotu:				<b>0.05</b>
22	Zadej maximální snížení nejistoty důlních děl (%)				<b>90 %</b>
23	Zadej číslo řádku vrtu v listu AllVrt10x10m, od kterého se má začít výpočet:				<b>2</b>
24	Zadej číslo řádku vrtu v listu AllVrt10x10m, u kterého se má ukončit výpočet:				<b>2670</b>
25					
26	© František Staněk, 2025				

Obr. 2-9: Zadání parametrů a spuštění makra *Nejistota\_Kank*.

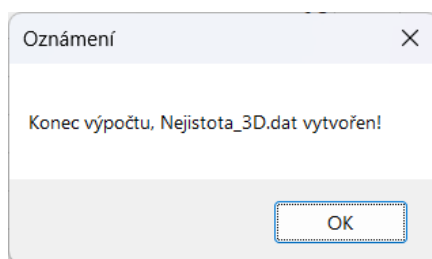
Ukončení výpočtu je indikováno oznámením (obr. 2-11). Ukázka části výstupního souboru *Nejistota\_3D.dat* je v tabulce 2-22. Tento soubor lze přímo načíst do prostředí programu *Voxler* (případně *Move*) pro provedení různých způsobů vizualizace ve 3D (viz část 2.8).

Jestliže se bude vytvářet více variant modelu s různými parametry, je nutno soubor *Nejistota\_3D.dat* přejmenovat (například do názvu souboru doplnit hodnoty

parametrů a/nebo datum), neboť při dalším spuštění by se původní soubor *Nejistota\_3D.dat* přepsal.



Obr. 2-10: Výběr souboru vrtů \*.x/sx použitých pro konstrukci geomodelu.



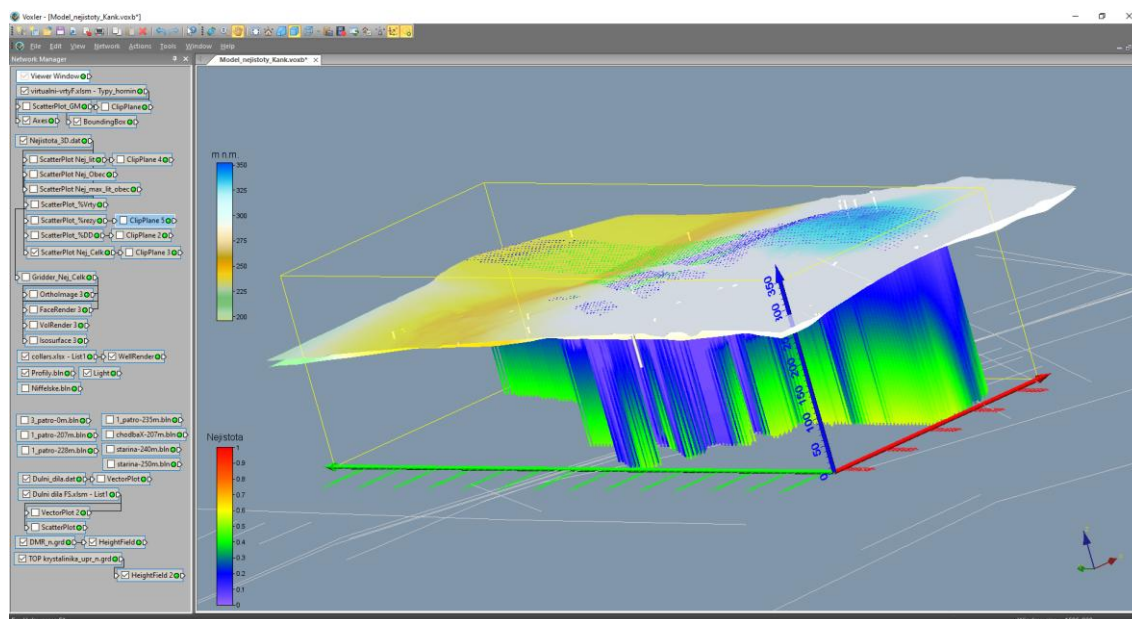
Obr. 2-11: Oznámení ukončení výpočtu.

#### Tabulka 2-22: Ukázka obsahu souboru *Nejistota\_3D.dat*.

Nazev	X	Y	Z	Nej_lit	Nej_obec	Nej_lit_obec_max	Sniz_vrt_proc	Sniz_rez_proc
Sniz_dul_dila_proc				Upr_Nej_lit_obec_max				
ID9695	-683445	-1062615	246	0.02	0.05	0.05	0	0
ID9695	-683445	-1062615	245	0.04	0.05	0.05	0	0
ID9695	-683445	-1062615	244	0.06	0.05	0.06	0	0
ID9695	-683445	-1062615	243	0.09	0.06	0.09	0	0
ID9695	-683445	-1062615	242	0.12	0.06	0.12	0	0
ID9695	-683445	-1062615	241	0.14	0.06	0.14	0	0
ID9695	-683445	-1062615	240	0.17	0.06	0.17	0	0
...								
ID9695	-683445	-1062615	4	0.07	0.43	0.43	0	0
ID9695	-683445	-1062615	3	0.06	0.43	0.43	0	0
ID9695	-683445	-1062615	2	0.05	0.43	0.43	0	0
ID9695	-683445	-1062615	1	0.05	0.43	0.43	0	0
ID9695	-683445	-1062615	0	0.06	0.43	0.43	0	0
...								
ID2128	-683515	-1063695	337	0	0.05	0.05	0	58.42
ID2128	-683515	-1063695	336	0	0.05	0.05	0	58.42
ID2128	-683515	-1063695	335	0	0.05	0.05	0	58.42
ID2128	-683515	-1063695	334	0	0.06	0.06	0	58.42
ID2128	-683515	-1063695	333	0	0.06	0.06	0	58.42
...								

## 2.8 Vizualizace 3D modelu míry nejistoty strukturně geologického modelu

Hodnoty 3D gridu strukturně geologického modelu a 3D modelu míry nejistoty strukturně geologického modelu, vypočtené makrem *Nejistota\_Kank()* a obsažené v souboru *Nejistota\_3D.dat*, lze různým způsobem vizualizovat v prostředí programu *Voxler* firmy Golden Software. Situace po načtení souboru *Nejistota\_3D.dat* do prostředí *Voxleru* a po vytvoření objektů pro vizualizaci je na obr. 2-12. Vlevo je seznam všech vytvořených objektů, výběrem kterých se zvolí typ zobrazení a druh zobrazované veličiny. Vlastnosti souboru *Nejistota\_3D.dat* jsou na obr. 2-13. Dále jsou uvedeny příklady některých možných způsobů zobrazení 3D modelu míry nejistoty strukturně geologického modelu (vizualizace 3D strukturně geologického modelu už byla popsána v části 2.2).

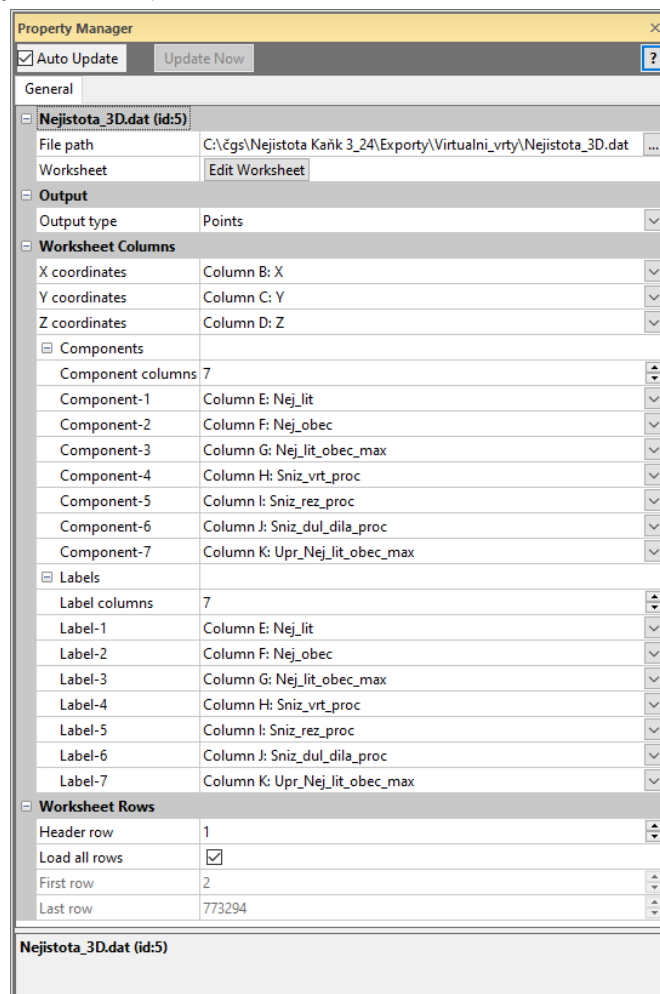


Obr. 2-12: Vizualizace geomodelu a jeho nejistoty v prostředí *Voxler* (vstupní soubory *virtualni-vrtyF.xlsm* – list *Typy\_hornin* a *Nejistota\_3D.dat*).

Přímo ze vstupního souboru (*Nejistota\_3D.dat*) se dají provádět vizualizace s pomocí grafického výstupu *ScatterPlot* (obr. 2-12):

- nejistoty typů hornin (*ScatterPlot\_Nej\_lit*),
- nejistoty obecné (*ScatterPlot\_Nej\_Obec*),
- maximum nejistoty typů hornin a nejistoty obecné (*ScatterPlot\_Nej\_max\_lit\_obec*),
- % snížení nejistoty v okolí vrtů (*ScatterPlot\_%Vrty*),

- % snížení nejistoty v okolí profilů (*ScatterPlot\_%rezy*),
- % snížení nejistoty v okolí důlních děl (*ScatterPlot\_%DD*),
- nejistoty celkové (*ScatterPlot\_Celk*).

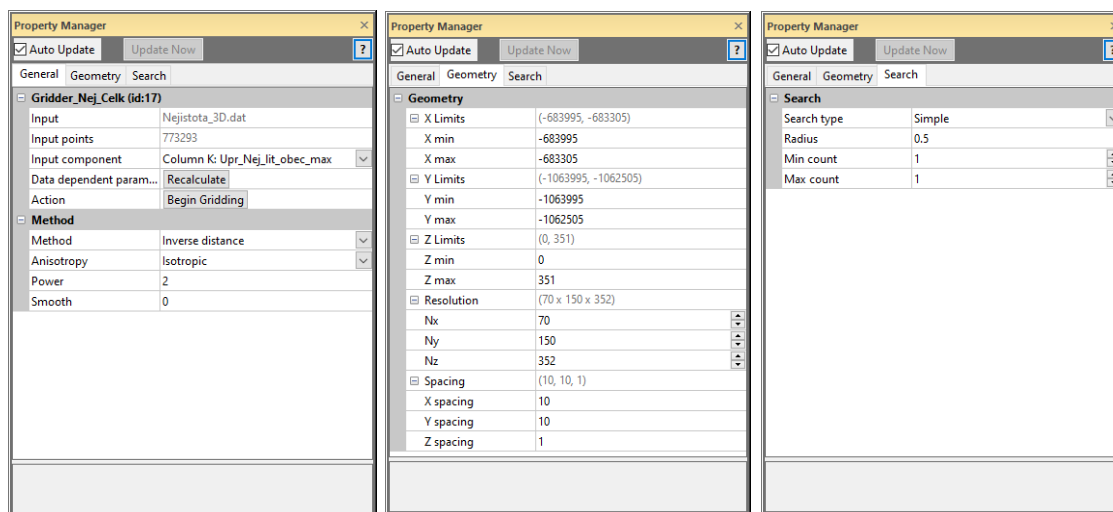


Obr. 2-13: Vlastnosti souboru *Nejistota\_3D.dat*.

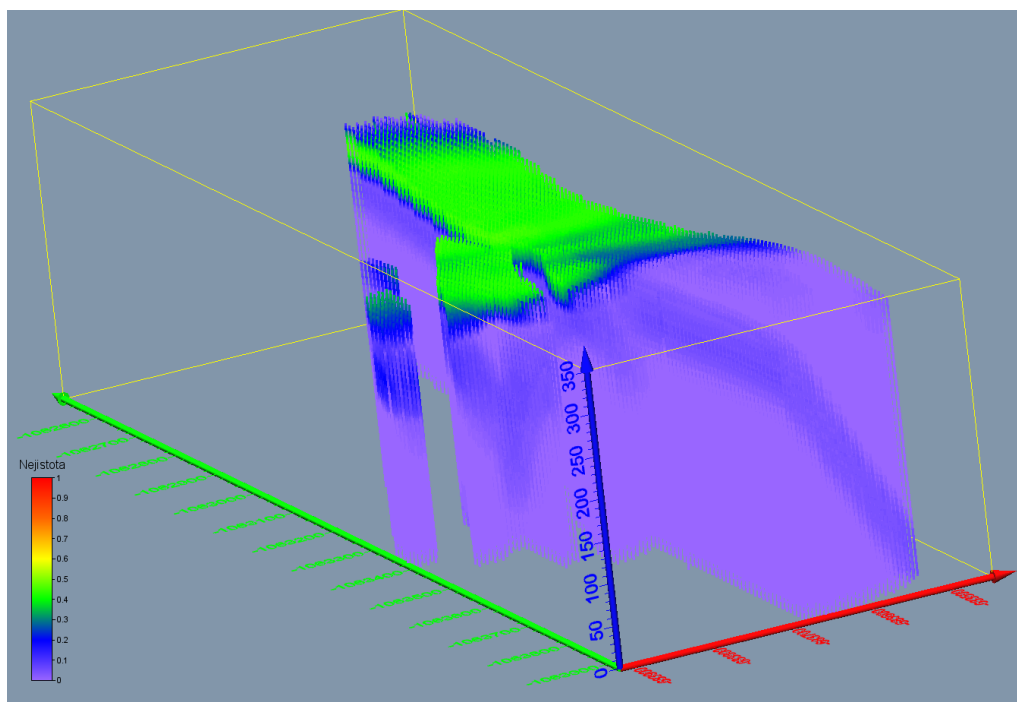
Vizualizace s pomocí grafických výstupů *FaceRender*, *VolRender*, *OrthoImage* a *Isosurface* vyžadují nejprve vytvoření interního 3D gridu *Voxleru* s pomocí *Gridder* (objekt *Gridder\_NejCelk* pro celkovou nejistotu - viz obr. 2-12). Nastavení vlastností tohoto interního 3D gridu je na obr. 2-14.

Vizualizace různých typů nejistoty s pomocí grafického výstupu *ScatterPlot* přímo ze vstupního souboru (*Nejistota\_3D.dat*):

- Na obr. 2-15 je zobrazení nejistoty typů hornin (viz 2.3) a na obr. 2-16 řez +150 m od středu tělesa ve směru osy *X* s pomocí grafického výstupu *ClipPlane*.
- Na obr. 2-17 je zobrazení obecné nejistoty (viz 2.4).



Obr. 2-14: Vlastnosti objektu *Gridder\_NejCelk*.

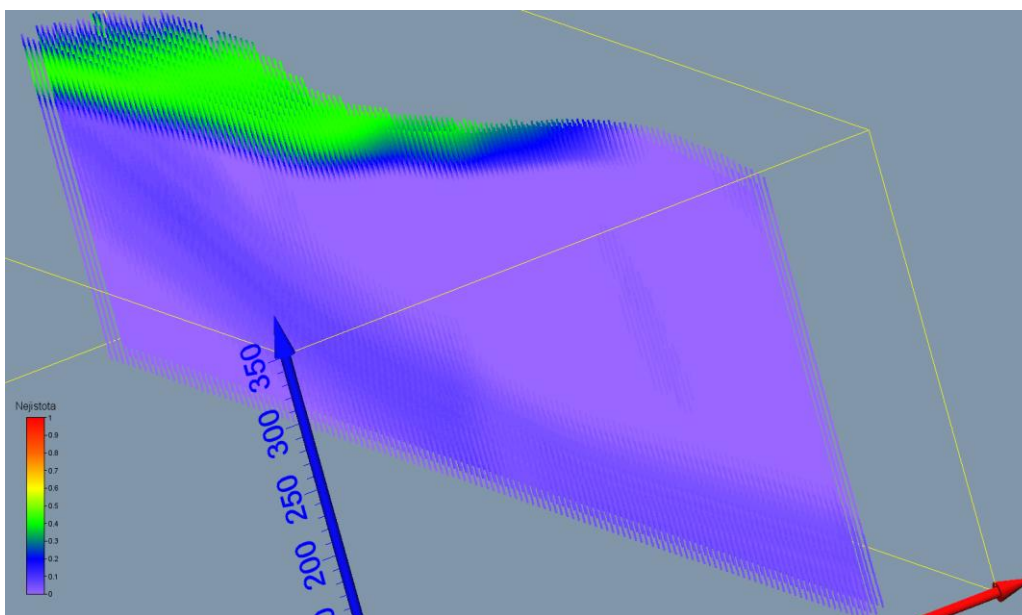


Obr. 2-15: Vizualizace nejistoty typů hornin.

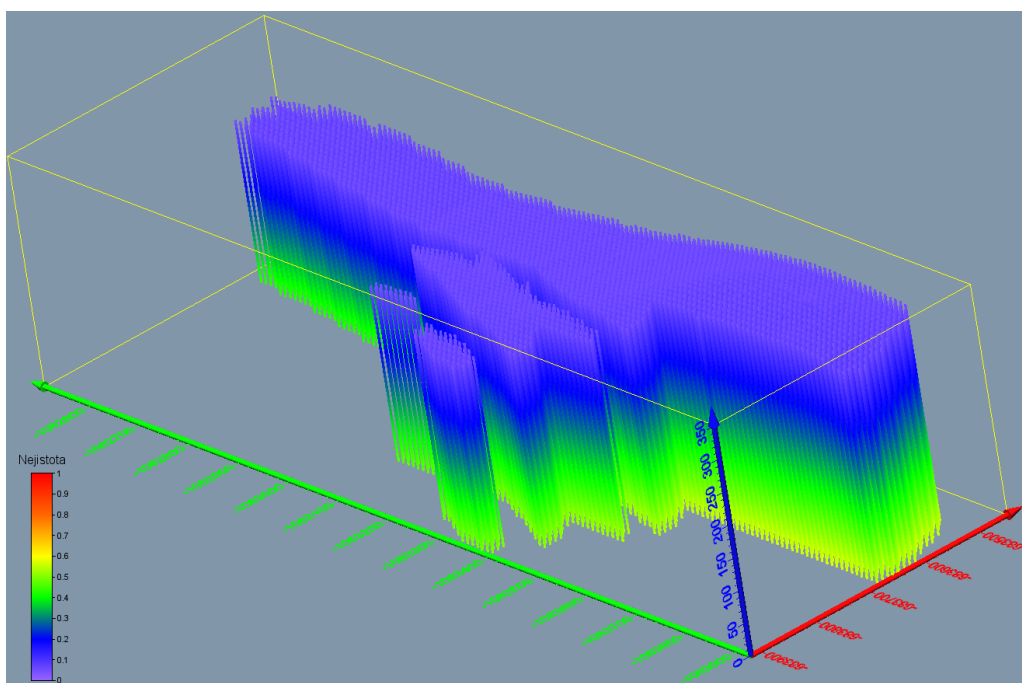
- Na obr. 2-18 je zobrazení sloučení nejistoty typů hornin a obecné nejistoty (viz 2.5).
- Na obr. 2-19 je zobrazení % snížení nejistoty v okolí informačních bodů – vrtů (viz 2.6.1).
- Na obr. 2-20 je zobrazení % snížení nejistoty v okolí informačních bodů – profilů (viz 2.6.2).



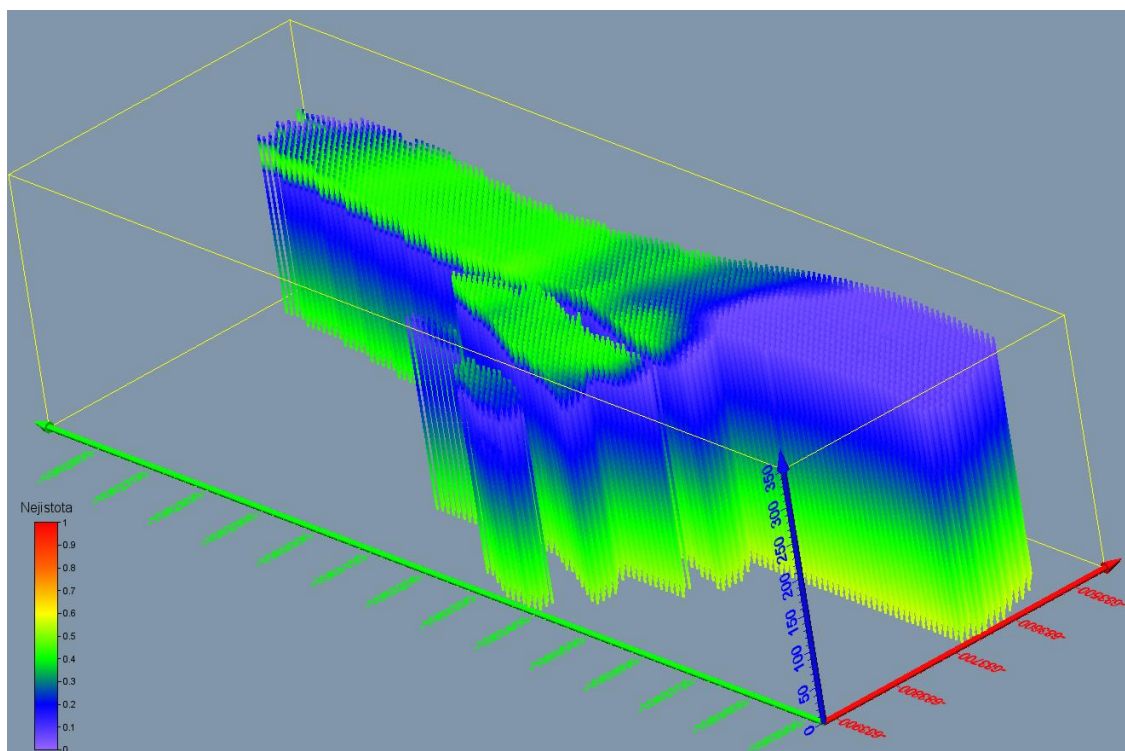
- Na obr. 2-21 je zobrazení % snížení nejistoty v okolí informačních bodů – důlních děl (viz 2.6.3).
- Na obr. 2-22 je zobrazení celkové nejistoty (viz 2.5 a 2.6) a na obr. 2-23 zobrazení celkové nejistoty - řez -230 m od středu tělesa ve směru osy *Y* s pomocí grafického výstupu *ClipPlane*.



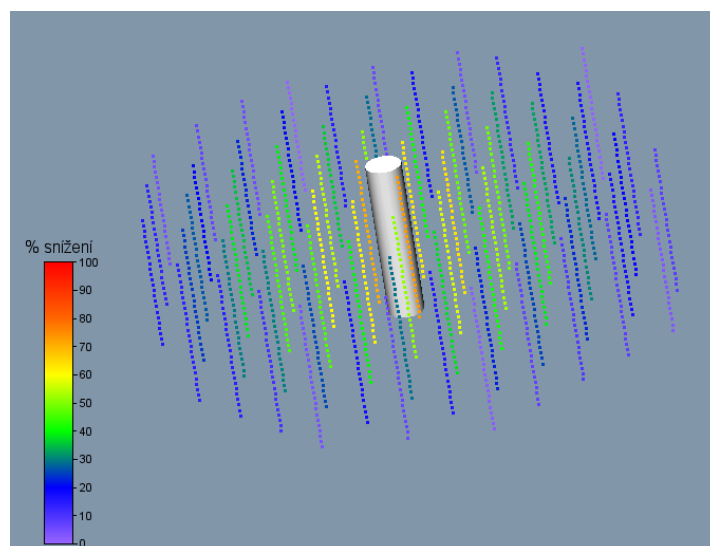
Obr. 2-16: Vizualizace nejistoty typů hornin v řezu +150 m od středu tělesa ve směru osy *X* s pomocí grafického výstupu *ClipPlane*.



Obr. 2-17: Vizualizace obecné nejistoty.

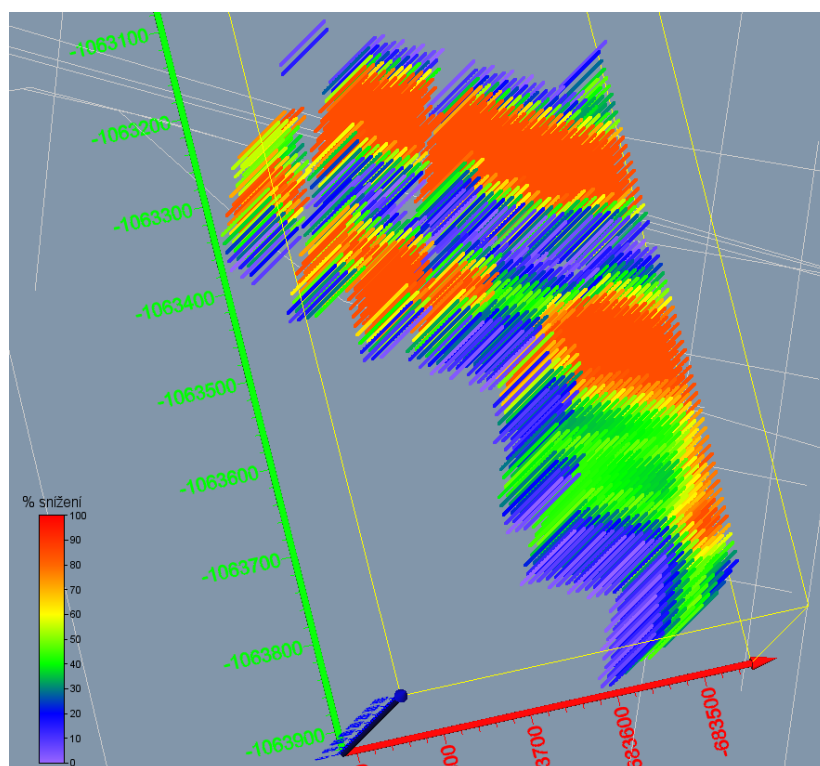


Obr. 2-18: Vizualizace sloučení nejistoty typů hornin a obecné nejistoty.

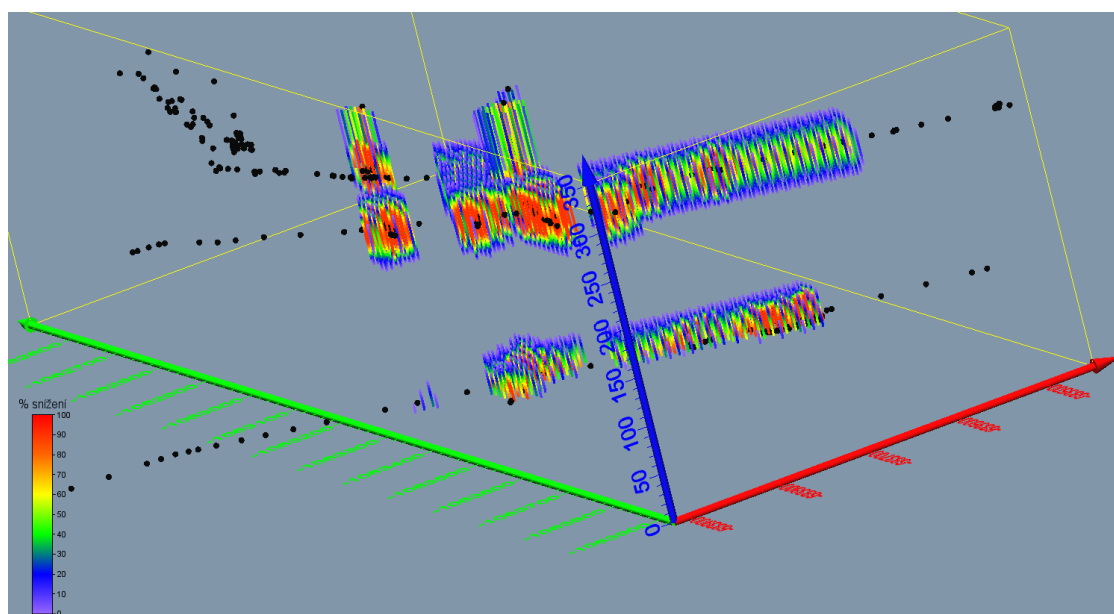


Obr. 2-19: Vizualizace % snížení nejistoty v okolí informačních bodů – vrtů (detail).

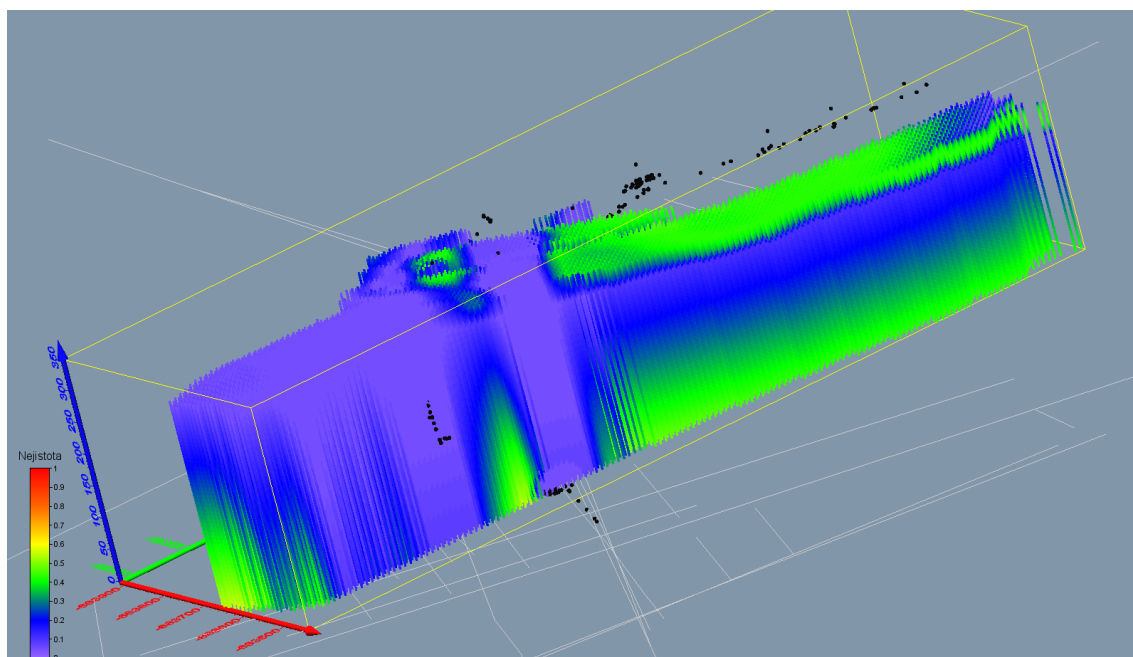




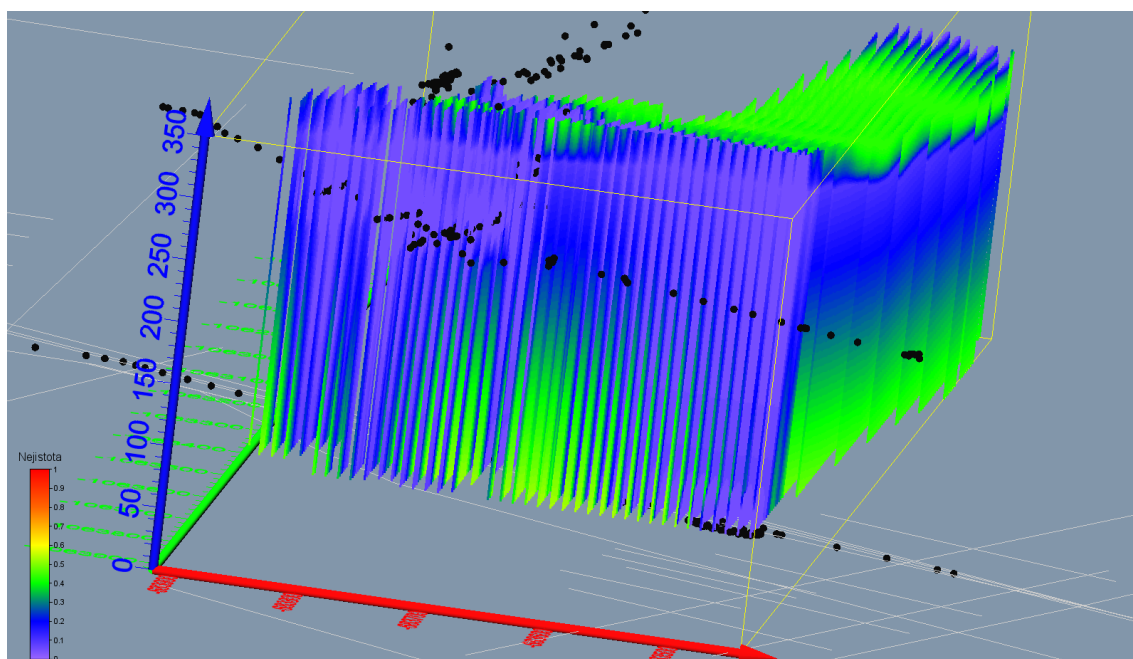
Obr. 2-20: Vizualizace % snížení nejistoty v okolí informačních bodů – geologických profilů (úseky profilů na bázi modelu jsou zobrazeny bílou barvou).



Obr. 2-21: Vizualizace % snížení nejistoty v okolí informačních bodů – důlních děl (lomové body os důlních děl jsou zobrazeny černými symboly).



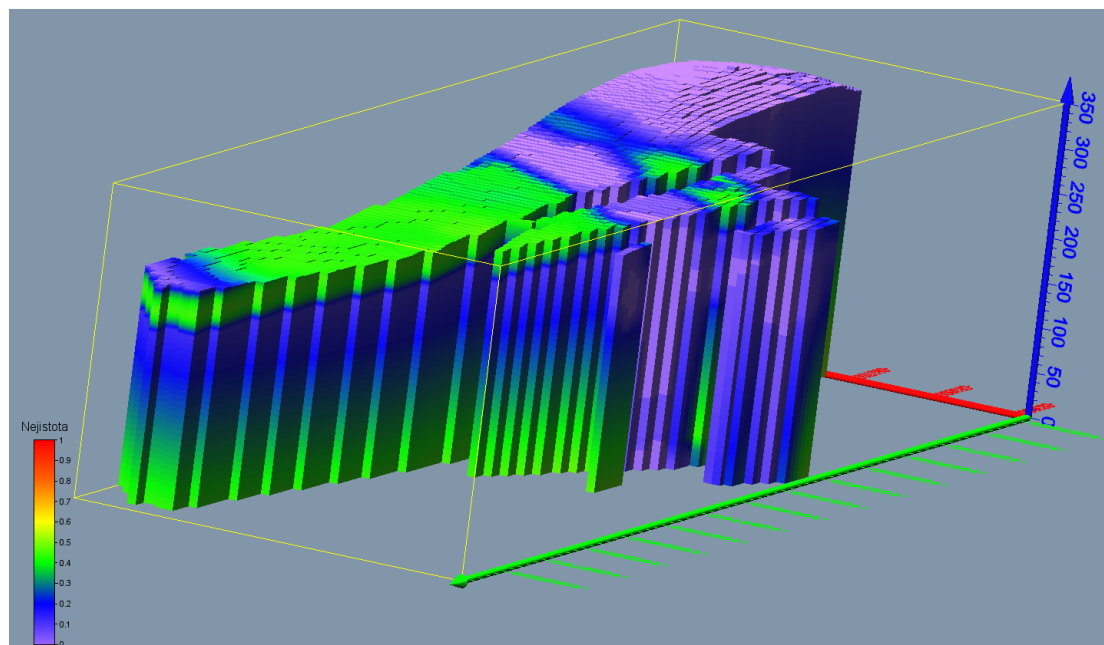
Obr. 2-22: Vizualizace celkové nejistoty strukturně geologického modelu.



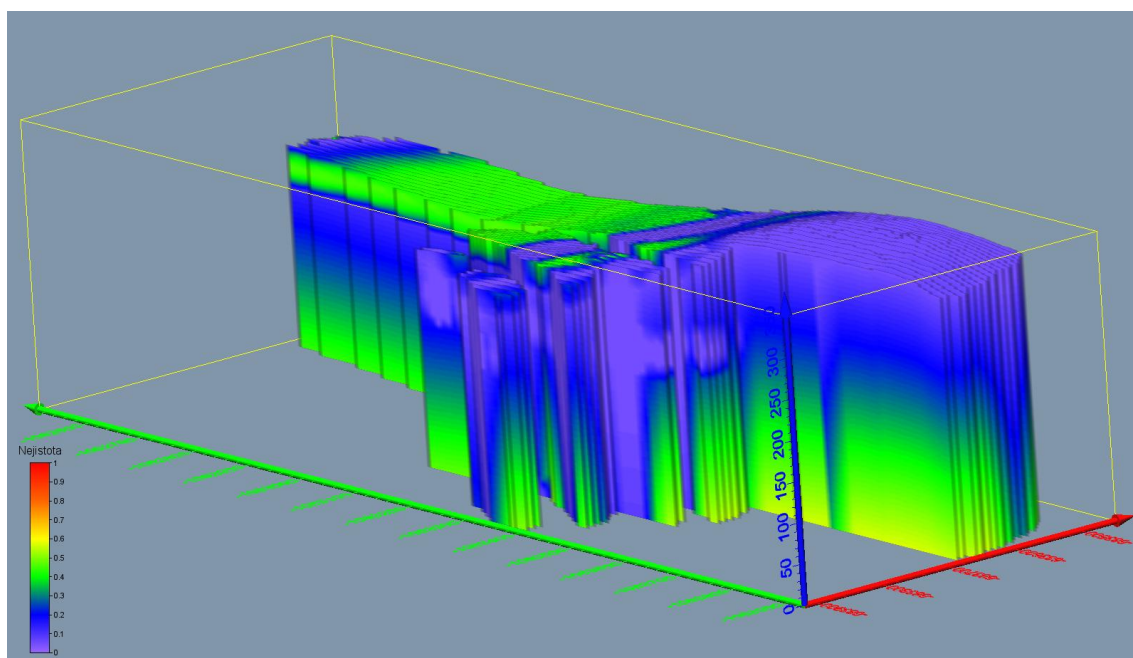
Obr. 2-23: Vizualizace celkové nejistoty strukturně geologického modelu - řez -230 m od středu tělesa ve směru osy Y s pomocí grafického výstupu *ClipPlane*.

Dále jsou zobrazeny ukázky vizualizace celkové nejistoty s pomocí *FaceRender* (obr. 2-24), *VolRender* (obr. 2-25) a řezu -50 m od středu tělesa ve směru osy X s pomocí grafického výstupu *ClipPlane* (obr. 2-26), řezu *OrthoImage\_XY* 100 m n.m. (obr. 2-27), *Isosurface* (obr. 2-28) - obálky s mezní hodnotou nejistoty 0.3 a

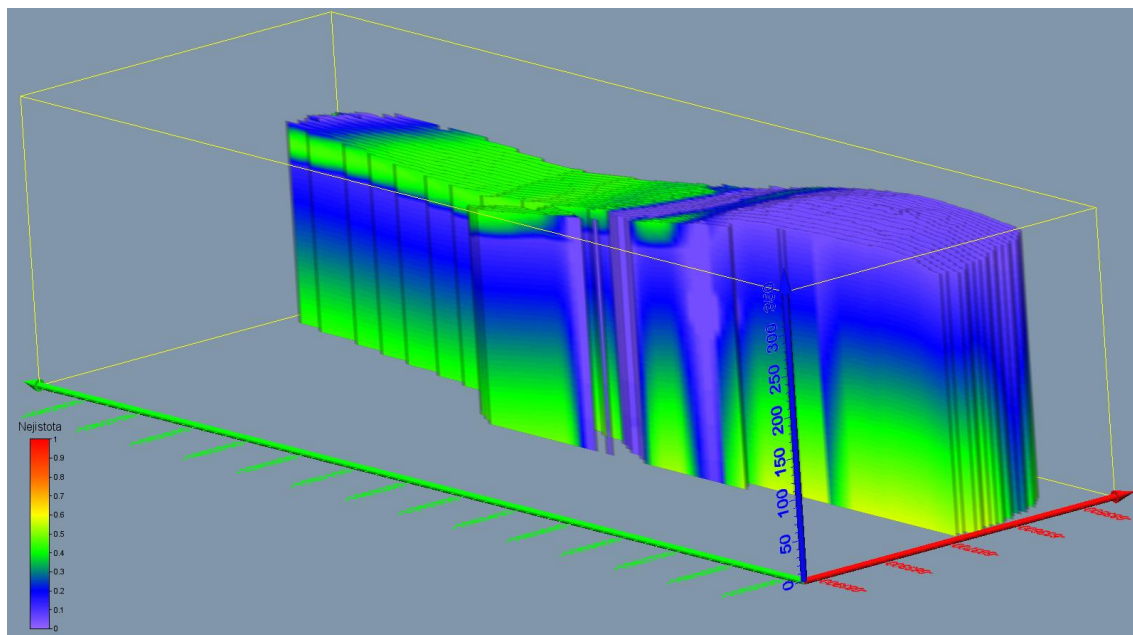
řez této obálky středem tělesa ve směru osy  $X$  s pomocí grafického výstupu *ClipPlane* (obr. 3-21).



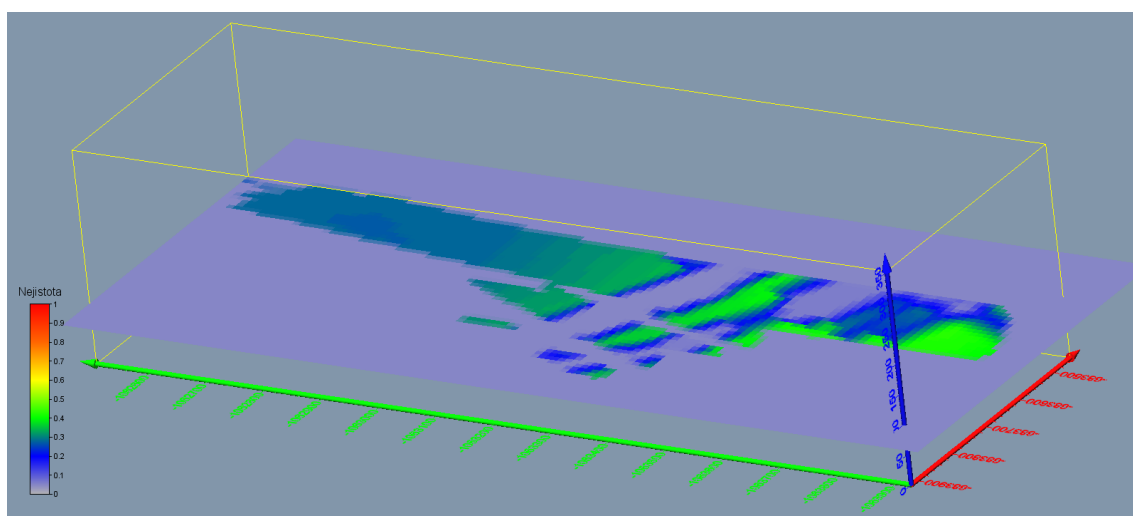
Obr. 2-24: Vizualizace celkové nejistoty strukturně geologického modelu s pomocí *FaceRender*.



Obr. 2-25: Vizualizace celkové nejistoty strukturně geologického modelu s pomocí *VolRender*.

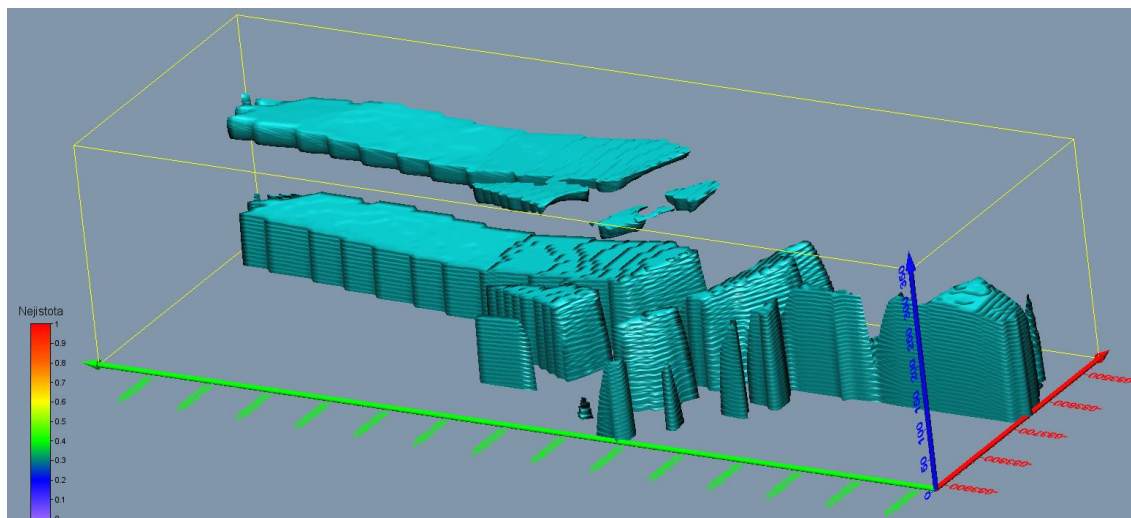


Obr. 2-26: Vizualizace celkové nejistoty strukturně geologického modelu s pomocí VolRender - řez -50 m od středu tělesa ve směru osy X s pomocí grafického výstupu ClipPlane.

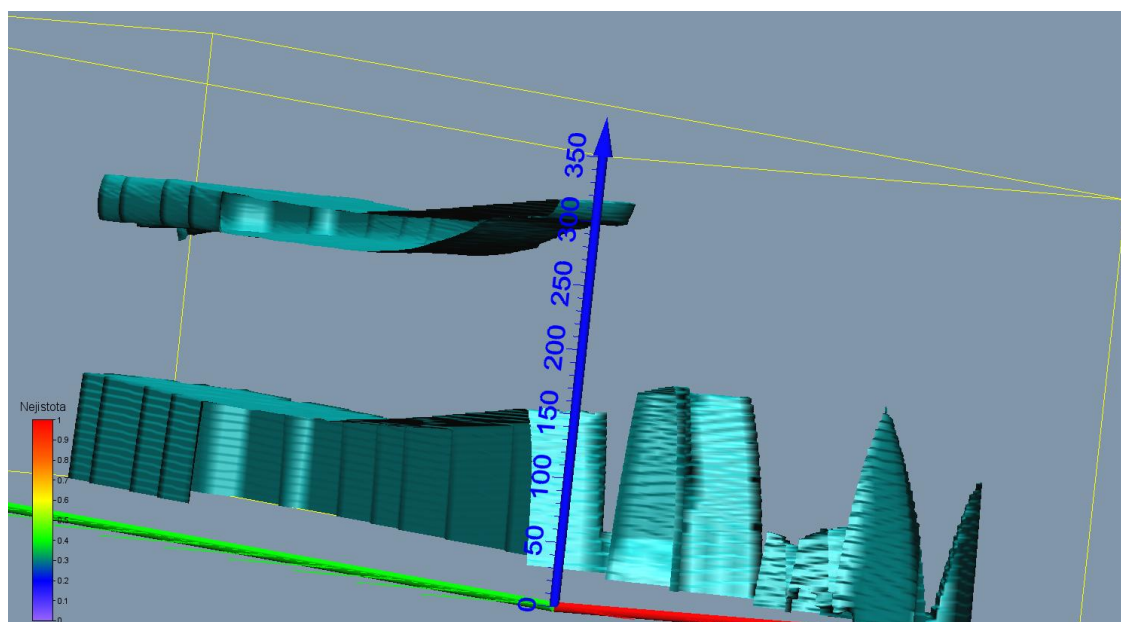


Obr. 2-27: Vizualizace řezu celkové nejistoty strukturně geologického modelu s pomocí OrthoImage\_XY 100 m n.m..





Obr. 2-28: Vizualizace celkové nejistoty strukturně geologického modelu s pomocí *Isosurface* - obálka s mezní hodnotou nejistoty 0.3.



Obr. 2-29: Vizualizace celkové nejistoty strukturně geologického modelu s pomocí *Isosurface*, obálka s mezní hodnotou nejistoty 0.3 - řez +100m od středu tělesa ve směru osy X s pomocí grafického výstupu *ClipPlane*.

### 3. Závěr

Software MN\_SGM\_KRY byl vytvořen s pomocí nových algoritmů založených na nových technikách pro tvorbu a vizualizaci 3D modelu míry nejistoty strukturně

geologického modelu. Umožňuje provádět variantní výpočty 3D modelu míry nejistoty strukturně geologického modelu při změně vstupních parametrů modelování. Lze jej aplikovat na všechna ložiska typu Kaňk a ložisek podobných typů. Na pracovištích ČGS bude sloužit jako součást know-how pro výkon státní geologické služby.

## Poděkování

Software byl připraven za podpory projektu TA ČR SS02030023 - Horninové prostředí a nerostné suroviny.

## Literatura

- [1] Bělohlávek R., Dauben J.W., Klir G.J. (2017) Fuzzy Logic and Mathematics: A Historical Perspective. Oxford University Press, New York.  
<https://doi:10.1093/oso/9780190200015.001.0001>
- [2] Brus, J. Vizualizace nejistoty v environmentálních studiích. UP v Olomouci, 2014, 175 s.
- [3] Cintula P., Fermüller Ch.G., Noguera C. (2023) Fuzzy Logic. In: The Stanford Encyclopedia of Philosophy (Summer 2023 Edition), Edward N. Zalta & Uri Nodelman (eds.). <https://plato.stanford.edu/archives/sum2023/entries/logic-fuzzy/>
- [4] Jelínek, J., Kryl, J., Staněk, F., Grygar, R., Šanderová, J., Brejcha, M. Sada dílčích 3D modelů nezbytných pro konstrukci finálního 3D modelu vlivů poddolování na povrch a 3D modelu nejistot (pro lokalitu Kaňk) (SS02030023-V38), 2024.  
Internet: <https://rens.geology.cz/cs/vystupy-projektu>, [Apr. 26, 2025].
- [5] Jenness, J., Brost, B., Bejer, P. Land Facet Corridor Designer: Extension for ArcGIS. Jenness Enterprises, 2011.
- [6] Shannon, C. E., Weaver, W. The mathematical theory of communication. Urbana: University of Illinois Press, 1949.

- [7] Staněk, F., Franěk, J., Jelínek, J., Žáček, V. Estimating relative uncertainty of geological 3D models with low density of input data in geologically complex regions. *Earth Sci Inform* 18, 259 (2025). <https://doi.org/10.1007/s12145-025-01778-0>
- [8] Wellmann, J. F., Regenauer-Lieb, K. Uncertainties have a meaning: Information entropy as a quality measure for 3-D geological models. *Tectonophysics*, 2012, 526, 207-216.
- [9] Zadeh L.A. (1965) Fuzzy Sets. *Information and Control* 8(3):338–353. [https://doi.org/10.1016/S0019-9958\(65\)90241-X](https://doi.org/10.1016/S0019-9958(65)90241-X).
- [10] “Horninové prostředí a nerostné suroviny” Internet: <https://rens.geology.cz/cs>, [Apr. 14, 2025].
- [11] “Surfer Explore the depths of your data.” Internet: <http://www.goldensoftware.com/products/surfer/features>, [Apr. 14, 2025].
- [12] “Voxler Power forward into 3D visualization.” Internet: <http://www.goldensoftware.com/products/voxler/features>, [Apr. 14, 2025].
- [13] “PETROLEUM ENGINEERING AND STRUCTURAL GEOLOGY SOFTWARE.” Internet: <https://www.petex.com/products/move-suite/move/>, [Apr. 14, 2025].