

Popis výsledku
**Komplexní 3D model vlivů
poddolování na povrch
s modelem nejistoty
(pro lokalitu Mariánské Radčice)**
Technická zpráva

Autoři:

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

Označení výsledku ISTA:

SS02030023-V39



Obsah

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

1. ÚVOD	7
2. ZÁKLADNÍ GEOLOGIE A REGIONÁLNĚ GEOLOGICKÁ POZICE LOKALITY MARIÁNSKÉ RADČICE	9
3. 3D STRUKTURNĚ-GEOLOGICKÝ MODEL	13
3.1. <i>Revize, verifikace a korekce vstupních archivních dat</i>	<i>13</i>
3.1.1 Grid povrchu před hlubinnou těžbou	17
3.1.2 Identifikace průběhu zlomu Victoria v horizontech 10, 9 a 3	17
3.2. <i>Výpočet a vizualizace prostorové lokalizace vstupních dat</i>	<i>19</i>
3.2.1 Vytvoření gridů horizontů 10, 9 a 3 vhodnou interpolační metodou	19
3.2.2 Typy hornin	20
3.3. <i>Konstrukce 3D strukturně geologického modelu</i>	<i>22</i>
3.4. <i>Vizualizace strukturně geologického modelu ve 3D</i>	<i>24</i>
4. 3D DIGITÁLNÍ MODEL RELIÉFU 5. GENERACE (DMR5) A JEHO POROVNÁNÍ S DEM K ROKU 1950	32
5. 3D LANDSCAPE MODEL	37
6. 3D MODEL DŮLNÍCH DĚL A PODZEMNÍCH PROSTOR	42
6.1 <i>Historie hlubinné těžby v katastru obce Mariánské Radčice</i>	<i>42</i>
6.2 <i>3D model s vizualizací důlních děl a podzemních prostor</i>	<i>44</i>
7. 3D MODEL MÍRY NEJISTOTY STRUKTURNĚ-GEOLOGICKÉHO MODELU	50
7.1. <i>Výpočet nejistoty hranic horninových těles a nejistoty průběhu zlomů</i>	<i>51</i>
7.1.1 Způsob stanovení nejistoty hranic horninových těles	51
7.1.2 Způsob stanovení nejistoty průběhu zlomů	52
7.1.3 Popis makra Geol_model_3D	53
7.2. <i>Výpočet obecné nejistoty, snížení nejistoty v okolí vrtů a sloučení hodnot různých druhů nejistot v bodech 3D gridu strukturně-geologického modelu</i>	<i>55</i>
7.2.1 Způsob dopočtu obecné nejistoty a snížení nejistoty v okolí vrtů	56
7.2.2 Způsob sloučení hodnot různých druhů nejistot	57
7.2.3 Popis makra Nejistota_Obec_Vrty	58
7.3. <i>Vizualizace 3D modelu míry nejistoty strukturně-geologického modelu</i>	<i>63</i>
8. TECHNICKÉ PARAMETRY VÝSLEDKU	74
9. EKONOMICKÉ PARAMETRY VÝSLEDKU	76
10. ZÁVĚR	77
Literatura	78

Seznam tabulek

Tabulka 3-1: Ukázka souboru <i>3.pbd</i>	13
Tabulka 3-2: Ukázka souboru <i>3.xlsx</i>	14
Tabulka 3-3: Ukázka souboru <i>Horizonty.xlsm</i>	14
Tabulka 3-4: Ukázka kontrol souboru <i>Horizonty.xlsm</i>	15
Tabulka 3-5: Ukázka tabulky vrtů.	16
Tabulka 3-6: Souřadnice obvodového polygonu vymezeného území v souboru <i>Obvod.bln</i>	17
Tabulka 3-7: Souřadnice zlomu Victoria v horizontu 3 v souboru <i>Fault_3.bln</i>	18
Tabulka 3-8: Typy hornin a kódy vrstev.	20
Tabulka 3-9: Údaje v souboru <i>Profily s uhlím.xlsm</i>	20
Tabulka 3-10: Údaje v souboru <i>1.xlsx</i>	21
Tabulka 3-11: Ukázka obsahu souboru <i>GM_3D_grid.dat</i>	24
Tabulka 7-1: Struktura souboru <i>Polyg_obec.dat</i>	58
Tabulka 7-2: Ukázka obsahu souboru <i>GM_3D_grid_22_2_22_all.dat</i>	63

Seznam obrázků

Obr. 1-1 Pozice polygonu (červený obdélník) pilotní lokality Mariánské Radčice v předpolí Dolu Bílina na podkladu digitálního modelu reliéfu DMR5 a topografické Základní mapy české republiky.....	8
Obr. 2-1 Mapa polohy mostecké pánve v oherském riftu. Upraveno podle [5]......	9
Obr. 2-2 Schematický geologický řez Mosteckou pánví [6].	10
Obr. 3-1: Průběhu zlomu Victoria pro 3. horizont (zeleně, jeho část uvnitř území červeně).	18
Obr. 3-2: Zadání parametrů interpolace pro horizont 3.....	19
Obr. 3-3: Dělicí horizonty vrstev.....	21
Obr. 3-4: Schéma vstupů a výstupů makra <i>Geol_model_3D</i>	22
Obr. 3-5: Detail situace zlomu Victoria na podkladu báze vrstvy 2 (těžené uhlí). Fialovou barvou je zobrazen polygon <i>Uzemi_zlomu_Victoria.bln</i> , modře je zobrazen polygon výskytu tektonického porušení pro vrstvu 2 (těžené uhlí) a zeleně je zobrazen polygon výskytu tektonického porušení pro vrstvu 3 (uhelná série).....	22
Obr. 3-6: Zadání vstupních parametrů a tlačítko ke spuštění makra.	23
Obr. 3-7: Vizualizace geomodelu v prostředí <i>Voxler</i> (vstupní soubor <i>GM_3D_grid.dat</i>).	25
Obr. 3-8: Nastavení vlastností interního 3D gridu typů hornin <i>Gridder GM</i>	25
Obr. 3-9: Vizualizace strukturně geologického modelu s pomocí grafického výstupu <i>ScatterPlot</i>	26
Obr. 3-10: Vizualizace zlomu Victoria s pomocí grafického výstupu <i>ScatterPlot</i>	27
Obr. 3-11: Vizualizace strukturně geologického modelu s pomocí grafického výstupu <i>FaceRender</i>	28
Obr. 3-12: Vizualizace řezu $X=500$ m strukturně geologického modelu s pomocí grafického výstupu <i>FaceRender</i>	28
Obr. 3-13: Vizualizace strukturně geologického modelu s pomocí grafického výstupu <i>VolRender</i>	29
Obr. 3-14: Vizualizace řezu $X=-700$ m od středu strukturně geologického modelu s pomocí grafického výstupu <i>ClipPlane</i> a <i>FaceRender</i>	29
Obr. 3-15: Vizualizace strukturně geologického modelu s pomocí řezů - grafických výstupů <i>OrthoImage_XY</i> , <i>OrthoImage_XZ</i> a <i>OrthoImage_YZ</i>	30
Obr. 3-16: Vizualizace strukturně geologického modelu s pomocí grafického výstupu <i>Isosurface</i>	31
Obr. 3-17: Vizualizace řezu $X=-500$ m od středu strukturně geologického modelu s pomocí grafického výstupu <i>ClipPlane</i> a <i>Isosurface</i>	31
Obr. 4-1 Digitální model terénu DMR 5G pro širší oblast mostecké pánve. Výškopisně kolorovaný stínový reliéf (shaded relief) se sítí vodotečí. Polygon pilotní lokality Mariánské Radčice v předpolí porubní fronty Doly Bílina je vyznačen červenou barvou. Čerchovaně je znázorněna státní hranice s Německem.	33
Obr. 4-2 Digitální model terénu z roku 1950 DEM1950 pro širší oblast mostecké pánve. Výškopisně kolorovaný stínový reliéf (shaded relief) se sítí vodotečí. Polygon pilotní	

lokality Mariánské Radčice v předpolí porubní fronty Doly Bílina je vyznačen červenou barvou. Čerchovaně je znázorněna státní hranice s Německem.....	34
Obr. 4-3 Porovnání 3D modelů terénu DMR 5G a DEM1950 pro širší oblast Mostecké pánve. Postupné přechody do žlutočervených odstínů znamenají záporné rozdíly, tedy poddolovaná a povrchově vytěžená území. Obdobně pak přechody modrofialových odstínů znamenají pozitivní rozdíly, tedy výsypky a haldy. Polygon pilotní lokality Mariánské Radčice v předpolí porubní fronty Doly Bílina je vyznačen červenou barvou. Čerchovaně je znázorněna státní hranice s Německem.....	35
Obr. 4-4 Detail porovnání 3D modelů terénu DMR 5G a DEM1950 pro pilotní polygon Mariánské Radčice. Legenda pozitivních a negativních rozdílů obou reliéfů je stejná jako na obr. 4-3.....	35
Obr. 5-1 Mapový list důlně-měřické dokumentace M 4113-2L. Příklad vstupní dokumentace pro tvorbu 3D modelu.....	38
Obr. 5-2 Celkový pohled na Landscape model Mariánské Radčice – pohled od východu.....	39
Obr. 5-3 Landscape model Mariánské Radčice – pohled od jihu.....	40
Obr. 5-4 Landscape model Mariánské Radčice – pohled z obce směrem na Braňany...	40
Obr. 5-5 Pohled na Landscape model Mariánské Radčice – východní okraj obce.....	41
Obr. 5-6 Prostředí software Infracore.....	41
Obr. 6-1 Schéma konstrukce geologického-báňského modelu [3].....	45
Obr. 6-2 Celkový pohled na 3D model dobývek a horizontálních důlních děl – pohled od jihovýchodu.....	46
Obr. 6-3 Detailní pohled na dílčí model hlubinné dobývky vytvořené prostřednictvím objektu SOLID.....	46
Obr. 6-4 Struktura objektu SOLID reprezentující vodorovné důlní dílo.....	47
Obr. 6-5 Prostředí aplikace <i>Grid File Utilities</i> s aplikací programového makra.....	47
Obr. 6-6 3D model dobývky ve formě 3D gridů.....	48
Obr. 6-7 Rozdílový model reliéfu terénu mezi lety 1950-2020 reprezentovaný formou hypsometrie. Srovnaj s obr. 4-3 a především s obr. 4-4.....	49
Obr. 7-1: Schéma vstupů a výstupů makra <i>Nejistota_Obec_Vrty</i>	56
Obr. 7-2: Struktura vstupního souboru vrtů <i>vrty_MR_nejistota.xlsx</i>	57
Obr. 7-3: Vizualizace polygonů s jinou obecnou nejistotou <i>Polyg_obec.dat</i> ve zkušebním příkladu.....	59
Obr. 7-4: Zadání parametrů a spuštění makra <i>Nejistota_Obec_Vrty</i>	60
Obr. 7-5: Výběr souboru vrtů <i>**.xlsx</i> použitých pro konstrukci geomodelu.....	61
Obr. 7-6: Výběr souboru 3D gridu hodnot typů hornin, tektoniky a míry nejistoty typů hornin a tektoniky <i>*.dat</i>	61
Obr. 7-7: Vizualizace geomodelu a jeho nejistoty geomodelu v prostředí Voxler (vstupní soubor <i>GM_3D_grid_11_2_22_all.dat</i>).....	65
Obr. 7-8: Vlastnosti souboru <i>GM_3D_grid_11_2_22_all.dat</i>	65
Obr. 7-9: Vizualizace nejistoty typů hornin.....	66
Obr. 7-10: Vizualizace nejistoty typů hornin v řezu -800 m od středu tělesa ve směru osy X s pomocí grafického výstupu <i>ClipPlane</i>	67
Obr. 7-11: Vizualizace nejistoty tektoniky.....	67

Obr. 7-12: Vizualizace obecné nejistoty.	68
Obr. 7-13: Vizualizace % snížení nejistoty v okolí informačních bodů – vrtů.	68
Obr. 7-14: Vizualizace celkové nejistoty strukturně geologického modelu.	69
Obr. 7-15: Vizualizace celkové nejistoty strukturně geologického modelu - řez -300 m od středu tělesa ve směru osy <i>X</i> s pomocí grafického výstupu <i>ClipPlane</i>	69
Obr. 7-16: Vizualizace celkové nejistoty strukturně geologického modelu s pomocí <i>FaceRender</i>	70
Obr. 7-17: Vizualizace celkové nejistoty strukturně geologického modelu s pomocí <i>VolRender</i>	71
Obr. 7-18: Vizualizace celkové nejistoty strukturně geologického modelu s pomocí <i>VolRender</i> - řez 700 m od středu tělesa ve směru osy <i>X</i> s pomocí grafického výstupu <i>ClipPlane</i>	71
Obr. 7-19: Vizualizace celkové nejistoty strukturně geologického modelu s pomocí <i>OrthoImage_XY</i> , <i>OrthoImage_XZ</i> a <i>OrthoImage_YZ</i>	72
Obr. 7-20: Vizualizace celkové nejistoty strukturně geologického modelu s pomocí <i>Isosurface</i> - obálka s mezní hodnotou nejistoty 0.35.	72
Obr. 7-21: Vizualizace celkové nejistoty strukturně geologického modelu s pomocí <i>Isosurface</i> , obálka s mezní hodnotou nejistoty 0.35 - řez středem tělesa ve směru osy <i>X</i> s pomocí grafického výstupu <i>ClipPlane</i>	73

1. ÚVOD

Při řešení reálného ovlivnění povrchu v důsledku poddolování je nezbytné pracovat s 3D komplexními modely, případně s více vizuálně přehlednými kombinacemi dílčích modelů, které spojují informace o geologické stavbě (3D strukturně-geologický model) s možnostmi vlivu těžby (3D model důlních děl atd.). Tyto prostorové informace jsou nutné pro moderní územní plánování.

Podstata projektu RENS [7] „Poddolovaná území“ spočívá ve vytvoření metodiky zpracování všech dostupných podkladů pro vytvoření komplexního 3D modelu, který je podstatným vstupem pro tvorbu tzv. CIM (City Information Modeling). CIM jako rozvíjející se obor, je zásadní pro rozvoj městských aglomerací. Jeho přidanou hodnotou je, že jde nad rámec většiny současných modelů a souborů BIM (Building Information Modeling), zahrnuje infrastrukturní stavby a vymezení ochranných pásem ve vazbě na povrchovou situaci staveb.

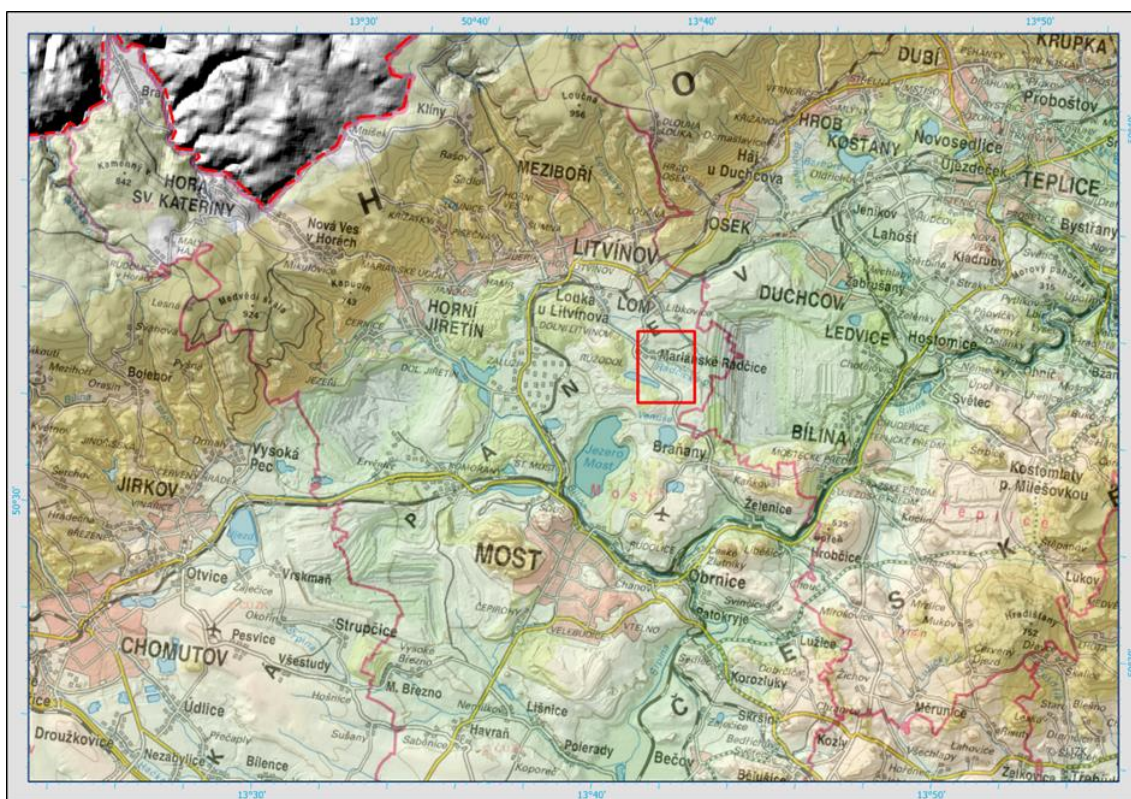
V roce 2022 byla, jako první plánovaný výsledek dílčího projektu RENS, dokončena „Sada dílčích 3D modelů nezbytných pro konstrukci finálního 3D modelu vlivů poddolování na povrch a 3D modelu nejistot“ pro první pilotní lokalitu Mariánské Radčice (lokalizace viz obr. 1.1). Tuto sadu tvoří následující dílčí samostatné 3D modely (odkazy na stažení těchto čtyřech 3D modelů ve formátu *3D pdf* pro prohlížení v programu Adobe Reader jsou v části 7. TECHNICKÉ PARAMETRY VÝSLEDKU):

1. 3D strukturně-geologický model,
2. 3D digitální model reliéfu 5. generace (DMR5) a jeho porovnání s DEM k roku 1950,
3. 3D Landscape model,
4. 3D model důlních děl a podzemních prostor.

Tyto 4 dílčí modely budou uplatněny jako výchozí vstupy pro další práce na finálním 3D komplexním modelu vlivů poddolování na povrch a 3D modelu míry nejistoty strukturně geologického modelu, který byl dokončen a odevzdán k termínu 12/2023. Na základě těchto modelů byla následně v další etapě řešení projektu RENS zpracována Certifikovaná metodika pro tvorbu komplexního 3D modelu vlivů poddolování na povrch, včetně 3D modelu nejistoty, který je

prezentován v této zprávě a bude relevantním vstupem pro City Information Modeling.

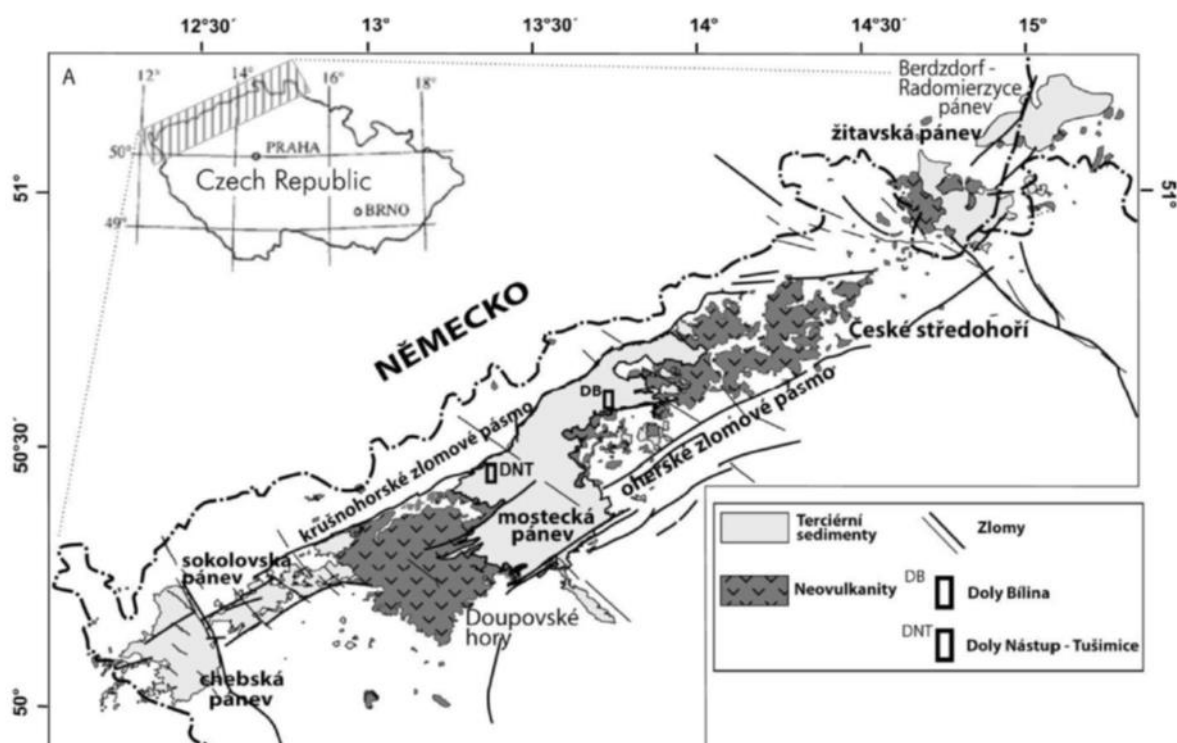
Prezentovaných 5 dílčích výstupů, včetně samostatného 3D modelu nejistoty jakožto výsledku originálního softwarového řešení, sice reprezentuje samostatné 3D modely, jakožto nezbytné postupné kroky komplexního metodického řešení projektu pro vytvoření finálního 3D modelu vlivu poddolování na povrch v historickém dobývacím prostoru lokality Mariánské Radčice, nicméně současně je každý dílčí model (včetně metodického popisu jeho tvorby) samostatnou entitou, dostatečně reprezentující geologickou, geomorfologickou (DMR, včetně antropogenních objektů, viz Landscape model) i báňskou situaci dané modelové lokality Mariánské Radčice.



Obr. 1-1 Pozice polygonu (červený obdélník) pilotní lokality Mariánské Radčice v předpolí Dolu Bílina na podkladu digitálního modelu reliéfu DMR5 a topografické Základní mapy české republiky.

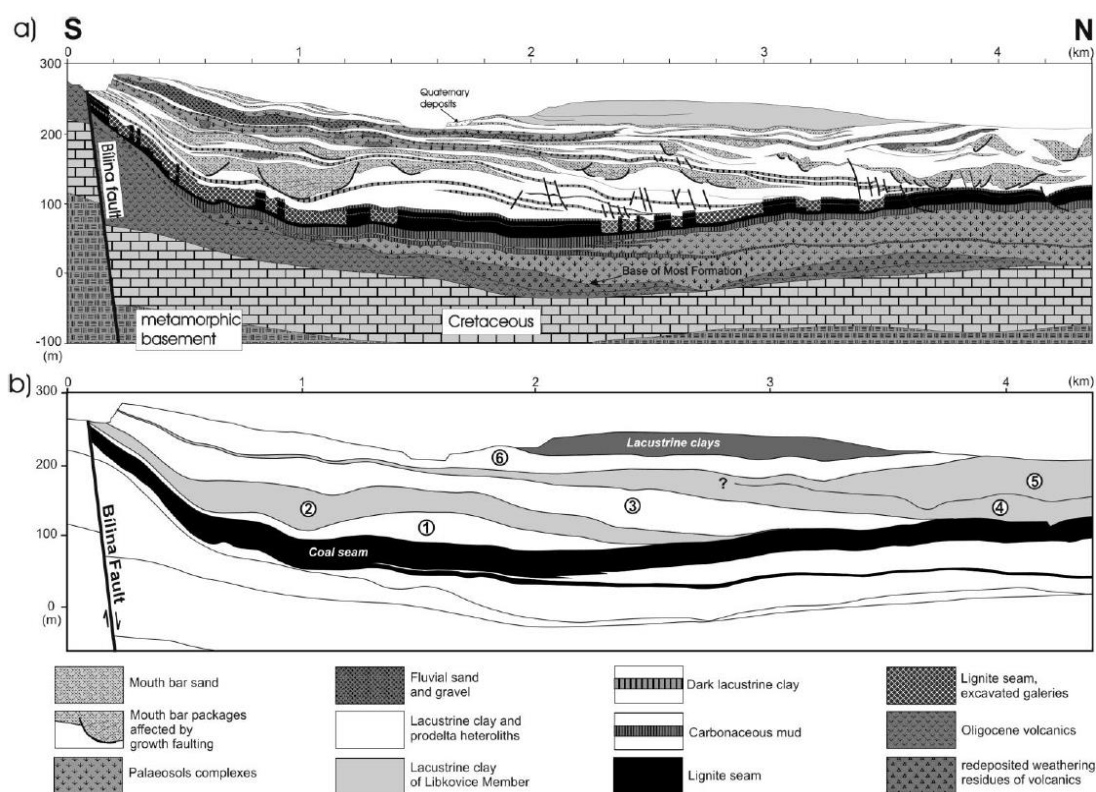
2. ZÁKLADNÍ GEOLOGIE A REGIONÁLNĚ GEOLOGICKÁ POZICE LOKALITY MARIÁNSKÉ RADČICE

Jak je zřejmé z obr. 1-1, lokalita Mariánské Radčice vystupuje v rámci Mostecké dílčí pánve, která je součástí Severočeských pánví [1,2,4,5]. Jde o systém, resp. soustavou několika samostatných, tektonicky založených depresí, v rámci výrazné regionální tektonické struktury oherského riftu, vzájemně oddělených příčnými, většinou sz.-jv. orientovanými hřbety krystalinika v podloží těchto pánví, případně tělesy terciérních vulkanitů. Jsou sledovatelné z okolí Markredwitz v Německu až do okolí Žitavy. Na našem státním území zahrnují chebskou, sokolovskou, mosteckou a žitavskou pánev (zasahuje na našem území u pouze u Hrádku nad Nisou). Nedílnou součástí pánví jsou vulkanity Doupovských hor a Českého středohoří (viz obr. 2-1), které místy zastupují pánevní sedimenty ve značných mocnostech.



Obr. 2-1 Mapa polohy mostecké pánve v oherském riftu. Upraveno podle [5].

Současný rozsah, zejména tzv. podkrušnohorských pánví, byl patrně původně větší. Rozsah mostecké pánve byl později modifikován mladšími tektonickými pohyby na podkrušnohorském a střezovském zlomu, podle nichž výplň pánve zaklesla, a v okrajových částech byly její sedimenty, podle těchto zlomů, značně de-



formovány, a proto se pod značnými úhly sklánějí směrem do centra pánve. (viz obr. 2-2).

Obr. 2-2 Schematický geologický řez Mosteckou pánví [6].

Při posuzování paleogeografických poměrů oblasti dnešního oherského riftu je potřeba mít na zřeteli, že v terciéru neexistovala struktura asymetrické vyzdvižené hrástě Krušných hor tak, jak ji známe dnes. Velmi výrazná geomorfologická struktura krušnohorského zlomu, podél níž došlo ke kontrastní vertikální diferenciaci oherského riftu a Krušných hor se vyvíjela v zásadě postsedimentárně.

Severočeské pánve neboli také podkrušnohorské pánve, byly založeny během staršího terciéru v tektonicky oslabené zóně v blízkosti staré variské sutury mezi

tepelsko-barrandienskou oblastí a saxothuringikem, které spolu s permokarbonským a jejich křídovým pokryvem tvoří nejčastější podloží mostecké pánve. Variisky zformovaná kůra zde byla ztenčena extenzí v předpolí alpského orogenu natožlik, že se obnovila komunikace se svrchním pláštěm a podél tektonických linií vsv.-zjz. směru začala pronikat alkalická magmata, srovnatelná s vulkanickými asociacemi recentních riftů. Průniku magmat předcházela pokles křehké části kůry, která vyvrcholila během hlavní riftové fáze mezi cca 43 -16 Ma, tj. od eocénu do miocénu, a uložením až 700 m mocných říčních a jezerních klastik s uhelnými slojemi, prokládanými místy polohami efuzivních vulkanitů nebo vulkanoklastických hornin. Sedimentace pak ještě pokračovala v pliocénu, v chebské pánvi, oživením pohybů v tzv. chebsko-domažlickém příkopu, geneticky spojeným s linií mariánsko-lázeňského zlomu, který je mj. seismicky aktivní až do recentu.

Vývoj dílčích pánví je možno, podle charakteru stáří sedimentů, dominujícího prostředí sedimentace, přítomnosti vulkanismu a řídícího tektonického režimu rozdělit do tří etap: předriftového, synriftového a poriftového stádia.

Během předriftového stádia vývoje se ukládaly v depresích stále poměrně nerovného reliéfu, bazální, převážně říční sedimenty, pestrobarevné písky, jíly a splachové sedimenty starosedelského souvrství eocénního stáří. Tyto sedimenty byly často před sedimentací mladších souvrství erodovány, ale na jejich původně velké rozšíření ukazují nálezy jejich reliktních pod vulkanity i v širším okolí současných pánví.

Druhá synriftová fáze začala po delším přerušení sedimentace během oligocénu a trvala až do spodního miocénu. Během této hlavní riftové fáze vrcholila vulkanická aktivita uložením střežovského souvrství a jeho ekvivalentů v pánvích chebské, sokolovské a žitavské. Výlevy vulkanitů a ukládání pyroklastik doprovázela sedimentace říčních, bažinných a jezerních sedimentů (písků, jílu) s uhelnými slojemi, které místy dosahují mocnosti až desítek metrů (mosteckého souvrství v mostecké pánvi). Jezerní jílovce (cyprisové souvrství) v chebské a sokolovské pánvi dosahuje až 200 m mocnosti.

V mostecké pánvi je mocnost jezerních sedimentů a bažinných sedimentů ještě vyšší. Ve svrchní části v nadloží hlavní hnědouhelné sloje (mocnost 10-30 m, výjimečně až 50 m) dosahuje až 350 m. Do největší mostecké pánve ústily dva velké

toky, které odvodňovaly rozsáhlé území centrálních Čech. V místě jejich ústí vznikly velké písčité laloky bílinské a žatecké delty. Tyto delty zatlačovaly a přerušovaly uhelnou i jílovitou sedimentaci jezerní pánve [6]. Tvorba uhelných slojí se proto v pozdějších fázích vývoje pánve soustředila jen na s. okraj mostecké pánve v okolí Lomu a Litvínova.

Samotná mostecká pánev (dříve též Severočeská hnědouhelná pánev), v níž je situována i naše pilotní lokalita Mariánské Radčic, je třetihorní pánví, která byla založena v oligocénu [4,5]. Hlavní fáze vyplňování pánve a vlastní uhlotvorby spadá do období spodního miocénu (stáří 22-17 mln. let). Podloží pánevní výplně je proto složeno staršími jednotkami, především proterozoickými rulami a žulorulami, permokarbonskými vulkanity a sladkovodními sedimenty, křídovými mořskými sedimenty a oligocenními vulkanity případně sedimenty.

Zásoby hnědého uhlí jsou soustředěny v hlavní uhelné sloji, mocné kolem 30 m, která je souvislá na většině plochy Mostecké pánve s výjimkou neuhelné části tzv. žatecké delty [6].

3. 3D STRUKTURNĚ-GEOLOGICKÝ MODEL

Metodické kroky tvorby a vizualizace 3D modelu ložiska uhlí Mariánské Radčice na sebe navazují. Ke konstrukci vlastního 3D modelu ložiska a jeho vizualizaci byly využity komerční softwary *Surfer* [8] a *Voxler* [9]. Pro zpracování bylo taktéž nezbytné vyvinout vlastní software. Použité algoritmy zpracování údajů a vytvořený software jsou detailně popsány ve stejnojmenných podkapitolách:

- 3.1 Revize, verifikace a korekce vstupních dat.
- 3.2 Výpočet a vizualizace prostorové lokalizace vstupních dat.
- 3.3 Konstrukce 3D strukturně geologického modelu.
- 3.4 Vizualizace strukturně geologického modelu ve 3D.

3.1. Revize, verifikace a korekce vstupních archivních dat

Z geobáze SD Most byla převzata data s rozhraními geologického modelu sloje území v okolí Mariánských Radčic ve formátu DMT Atlas. Abychom z nich mohli převzít potřebné informace, byly součástí dat také textové soubory s údaji jednotlivých horizontů (3-24) modelu sloje v původním stavu před poklesy způsobenými hlubinnou těžbou ve struktuře:

- Název informačního bodu (vrtu),
- souřadnice X,
- souřadnice Y a
- souřadnice Z.

V tabulce 3-1 je ukázka souboru *3.pbd*.

Tabulka 3-1: Ukázka souboru *3.pbd*.

		...	
KZ46	788896.410	983161.950	18.840 p: 16
KZ47	788853.460	983037.550	4.070 p: 16
KZ48	789035.380	983173.720	19.420 p: 8
LB10	788593.700	983306.460	11.150 p: 16
LB11	788625.160	983391.800	40.830 p: 16
LB12	788194.410	983031.530	-37.480 p: 16
LB14	787502.500	983495.600	15.320 p: 16
		...	

Soubory 3.pbd až 24.pbd byly převedeny do formátu *xlsx* (3.xlsx až 24.xlsx). V tabulce 3-2 je ukázka souboru 3.xlsx.

Tabulka 3-2: Ukázka souboru 3.xlsx.

X	Y	Z	Název	X_krov	Y_krov
...					
-788896.41	-983161.95	18.84	KZ46	788896.410	983161.950
-788853.46	-983037.55	4.07	KZ47	788853.460	983037.550
-789035.38	-983173.72	19.42	KZ48	789035.380	983173.720
-788593.7	-983306.46	11.15	LB10	788593.700	983306.460
-788625.16	-983391.8	40.83	LB11	788625.160	983391.800
-788194.41	-983031.53	-37.48	LB12	788194.410	983031.530
-787502.5	-983495.6	15.32	LB14	787502.500	983495.600
...					

Soubory 3.xlsx až 24.xlsx byly sehrány do jednoho souboru *Horizonty.xlsm* (přidán sloupec *Horizont* – 3 až 24) a řádky byly seříděny podle 1. názvu a 2. horizont (3 až 24). Celkem je v něm 3804 řádků s údaji. V tabulce 3-3 je ukázka souboru *Horizonty.xlsm*.

Tabulka 3-3: Ukázka souboru *Horizonty.xlsm*.

X	Y	Z	Název	Horizont	Mocnost
...					
-787201.75	-980966.88	-51.32	LB238	18	
-787290.52	-981857.55	6.87	LB24	3	
-787290.52	-981857.55	2.87	LB24	4	4
-787290.52	-981857.55	1.87	LB24	5	1
-787290.52	-981857.55	0.87	LB24	6	1
-787290.52	-981857.55	-3.13	LB24	7	4
-787290.52	-981857.55	-4.13	LB24	8	1
-787290.52	-981857.55	-5.13	LB24	9	1
-787290.52	-981857.55	-16.13	LB24	10	11
-787290.52	-981857.55	-18.13	LB24	11	2
-787290.52	-981857.55	-20.13	LB24	12	2
-787290.52	-981857.55	-23.13	LB24	13	3
-787290.52	-981857.55	-23.13	LB24	14	0
-787290.52	-981857.55	-25.13	LB24	15	2
-787290.52	-981857.55	-28.63	LB24	16	3.5
-787290.52	-981857.55	-29.84	LB24	17	1.21
-787290.52	-981857.55	-37.96	LB24	18	8.12
-787290.52	-981857.55	-44.33	LB24	19	6.37
-787290.52	-981857.55	-46.13	LB24	20	1.8
-787290.52	-981857.55	-49.55	LB24	21	3.42
-787290.52	-981857.55	-51.21	LB24	22	1.66
-787290.52	-981857.55	-51.21	LB24	23	0
-787290.52	-981857.55	-51.21	LB24	24	0
-787282.83	-981110.82	-34.82	LB242	3	
-787282.83	-981110.82	-34.82	LB242	4	0
...					

V *Horizonty.xlsm* bylo vytvořeno makro *Kontrola_navaznosti*, které provádí:

- Dopočet mocnosti vrstev mezi následujícími horizonty.

- Kontrolu u stejného názvu – aby byly stejné souřadnice (pokud ne, tak zeleně podbarveno LB481 – viz ukázka v tabulce 3-4) a zároveň aby šla Z dolů (pokud ne, tak modře podbarvena záporná mocnost – viz ukázka v tabulce 3-4).

Tabulka 3-4: Ukázka kontrol souboru *Horizonty.xlsm*.

X	Y	Z	Název	Horizont	Mocnost
...					
-787355.6	-983706.68	11.098	LB481	19	
-787355.6	-983706.68	8.864	LB481	20	2.234
-787352.325	-983706.976	4.314	LB481	23	4.55
-787352.214	-983706.412	2.646	LB481	24	1.668
...					
-787282.83	-981110.82	-34.82	LB242	9	0
-787282.83	-981110.82	-34.65	LB242	10	-0.17
-787282.83	-981110.82	-34.65	LB242	11	0
...					

V *Horizonty.xlsm* bylo vytvořeno další makro *Vytvor_collars*, které vytvoří tabulku vrtů jako vstup pro vizualizaci vrtů ve *Voxleru* a další zpracování. Makro vytváří sloupce:

- *ID* – název vrtu,
- *Easting* – souřadnice *X*,
- *Northing* – souřadnice *Y*,
- *Azimuth*: 0,
- *Dip*: -90 (kolmý vrt směrem dolů),
- *Z_báze* – kóta nejnižšího horizontu vrtu,
- *Nejnižší horizont* – číslo nejnižšího horizontu vrtu.

Tabulka je makrem *Z_vrtu_z_grd_povrchu* s využitím objektů programu *Surfer* doplněna o kótu ústí vrtu (sloupec *Elevation*) na základě gridu povrchu z roku 1950 (viz níže soubor *1950_upr.grd*). Toto makro doplní také hloubku vrtu *Depth* jako rozdíl hodnot *Elevation* a *Z_báze*. Ukázka tabulky vrtů je zobrazena v tabulce 3-5. Žlutě jsou podbarveny vrty, ke kterým jsme získali kreslené profily (především pro kontrolu převzatých dat – viz dále). Oranžově jsou podbarveny vrty, ke kterým jsme nezískali kreslené profily (a nemohli jsme tak provést kontrolu převzatých dat). Vrty bez podbarvení jsou mimo vymezenou oblast zpracování.

Tabulka 3-5: Ukázka tabulky vrtů.

ID	Easting	Northing	Elevation	Azimuth	Dip	Depth	Z_báze	Nejnižší horizont
...								
K-1	-788809.00	-981100.00	271.05	0	-90	373.69	-102.64	24
K-2	-788714.50	-981836.00	262.35	0	-90	396.68	-134.33	24
K-2A	-788657.50	-981814.90	260.28	0	-90	398.87	-138.59	24
K-3	-788827.50	-982776.80	271.10	0	-90	351.66	-80.56	24
KO6/57	-788891.38	-983294.67	268.00	0	-90	248.20	19.80	24
KZ18	-788989.80	-983178.40	268.53	0	-90	305.00	-36.47	24
KZ21	-788437.77	-983504.59		0	-90		25.05	24
KZ24	-789036.39	-983033.06		0	-90		-60.44	24
KZ25	-788789.42	-983025.76	269.33	0	-90	321.01	-51.68	24
KZ41	-789129.47	-983495.65		0	-90		69.19	24
KZ46	-788896.41	-983161.95	268.99	0	-90	304.65	-35.66	24
KZ47	-788853.46	-983037.55	269.59	0	-90	277.10	-7.51	9
KZ48	-789035.38	-983173.72		0	-90		-41.73	24
LB10	-788593.70	-983306.46	267.48	0	-90	302.10	-34.62	24
LB103	-787900.23	-983001.39	271.75	0	-90	379.84	-108.09	24
LB106	-787994.29	-983310.14	274.04	0	-90	341.87	-67.83	24
LB11	-788625.16	-983391.80	266.99	0	-90	258.80	8.19	24
LB114	-788278.93	-983072.95	272.86	0	-90	368.77	-95.91	24
LB117	-788192.71	-983188.46	272.72	0	-90	355.90	-83.18	24
LB12	-788194.41	-983031.53	274.51	0	-90	375.63	-101.12	24
...								

Z informací od Severočeské dolů a.s. vyplynulo následující:

1. Údaje v *.pbd (3.pbd, 4.pbd, ..., 24.pbd) jsou v původním stavu před poklesy způsobenými hlubinnou těžbou.
2. Horizonty 3 (strop uhelných poloh) až 10 (báze střední lávky) byly postiženy hlubinnou těžbou.
3. Hlubináři těžili uhlí pouze mezi horizonty 9 a 10 (nad nimi se projevují poklesy).
4. Jediný zlom ve vybraném území vlevo dole je Victoria.
5. Žádný jiný významný zlom v tomto území není.
6. Jiné vrtné profily, než které nám předali SD Most (žlutě podbarvené v tabulce 5), nejsou k dispozici – při tvorbě modelu využívali databázi Mostecké uhelné společnosti (psané profily nejsou – oranžově podbarvené v tabulce 3-5).

Z toho pro tvorbu původního strukturně-geologického modelu před hlubinnou těžbou v zadaném území (viz *Obvod.bln* v tabulce 3-6) vyplynul další postup zpracování:

1. Použit grid povrchu původní (před těžbou) z roku 1950: 1950_MMM.grd.

2. Identifikovat a určit vektory průběhu zlomu Victoria pomocí *bln* souborů v horizontech 10, 9 a 3.
3. Vytvořit gridy horizontů 10, 9 a 3 vhodnou interpolační metodou, přitom respektovat zlom Victoria.
4. Rozlišovat vrstvy podloží (pod horizontem 10), těžené uhlí (mezi horizonty 10 a 9), uhelnou sérii (mezi horizonty 9 a 3), nadloží (mezi horizontem 3 a kvartérem) a kvartér (jeho grid mocnosti se získá z údajů z dostupných archivních profilů vrtů).

Tabulka 3-6: Souřadnice obvodového polygonu vymezeného území v souboru *Obvod.bln*.

```
5,1  
-789000,-983500  
-787000,-983500  
-787000,-981000  
-789000,-981000  
-789000,-983500
```

Vzhledem k potřebné detailnosti modelu na straně jedné a výpočetním kapacitním možnostem na straně druhé, bylo určeno rozlišení 5*5 m pro 2D gridy a 5*5*1 m pro 3D gridy.

3.1.1 Grid povrchu před hlubinnou těžbou

K dispozici byl soubor *1950_MMM.grd* povrchu, který pokrývá širší území a je v jiném rozlišení než 5*5 m. Proto byl upraven na potřebné parametry (v území *Obvod.bln* a rozlišení 5*5 m) a uložen pod názvem *1950_upr.grd*.

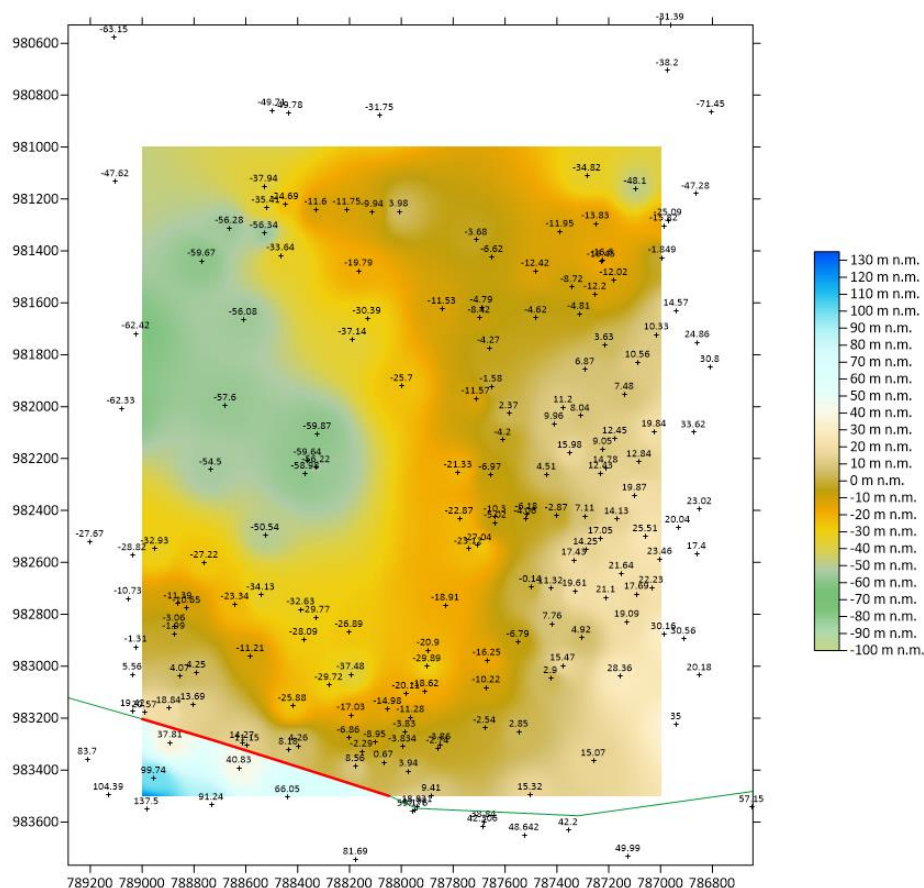
3.1.2 Identifikace průběhu zlomu Victoria v horizontech 10, 9 a 3

Hodnoty Z souřadnic horizontů 10, 9 a 3 (soubory *10.xlsx*, *9.xlsx* a *3.xlsx*) byly postupně vykresleny ve formě *Post map* v prostředí *Surfer*. Spolu se znalostmi o průběhu zlomu Victoria v této oblasti byly podkladem pro vytvoření vektoru průběhu zlomu Victoria v souborech *Fault_10.bln*, *Fault_9.bln* a *Fault_3.bln* (viz tabulka 3-7) a jejich variantách *Fault_10_uvnitr.bln*, *Fault_9_uvnitr.bln* a *Fault_3_uvnitr.bln* uvnitř polygonu území vymezeném souborem *Obvod.bln*. Detail situace zlomu Victoria na podkladu báze vrstvy 2 (těžené uhlí) je na obr. 3-5.

Pokud by se v modelovaném území vyskytlo více zlomů, zapíše se podobným způsobem jako 2., 3., ... v pořadí. Na obr. 3-1 je zobrazen průběh zlomu Victoria pro 3. horizont.

Tabulka 3-7: Souřadnice zlomu Victoria v horizontu 3 v souboru *Fault_3.blm*.

7,1
-789285.10, -983121.59
-788885.53, -983235.75
-788384.14, -983391.57
-788046.28, -983499.56
-787942.89, -983547.51
-787317.90, -983576.12
-786645.43, -983482.19



Obr. 3-1: Průběhu zlomu Victoria pro 3. horizont (zeleně, jeho část uvnitř území červeně).

3.2 Výpočet a vizualizace prostorové lokalizace vstupních dat

3.2.1 Vytvoření gridů horizontů 10, 9 a 3 vhodnou interpolační metodou

Pro interpolaci Z gridů horizontů metodou inverzních vzdáleností s respektováním zadaných zlomů bylo vytvořeno makro *Vytvoř_grid_z_údatů_vrstvy* (soubor *Interpolace_vrstvy.xlsm*) s využitím objektů programu *Surfer*. Zadání parametrů interpolace je v souboru *Interpolace_vrstvy.xlsm*, pro horizont 3 je nastavení parametrů výpočtu na obr. 3-2. Nejprve bylo ale provedeno testování vhodného nastavení parametrů interpolace (*Power*, *Smooth*, *Max data to use*, *Min data*, *Radius*). Na základě výsledků testování byly jako nejvhodnější pro danou lokalitu vybrány parametry uvedené na obr. 3-2.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1	 ČESKÁ GEOLOGICKÁ SLUŽBA												
	Makro pro interpolaci vrstvy												
2	Provádí postupné generování gridu báze vrstvy na základě vstupního souboru *.xlsx												
3													
4	Obecné parametry výpočtu:												
5	ID vrstvy					3							
6													
7	Použít při gridování zlomy (Ano/Ne):				Ano								
8													
9	Makro Vytvoř_grid_z_údatů_vrstvy												
10	Vstup:	ID.xlsx, ve kterém jsou vybrány vstupní údaje pro gridování vrstvy ID (F5)											
11		Fault_ID.blm - hlavní zlomy pro gridování											
12													
13													
14	Výstup:	ID_zlom.grd											
15													
16	Parametry výpočtu:												
17	Power					3							
18	Smooth					0							
19	Max data to use					20							
20	Min data					1							
21	Radius					1000 m							
22	X_min					-789000							
23	X_max					-787000							
24	Y_min					-983500							
25	Y_max					-981000							
26	n_gridx					401							
27	n_gridy					501							
28													
29	© František Staněk, 2022												

Obr. 3-2: Zadání parametrů interpolace pro horizont 3.

Na základě takto vzniklých gridů horizontů (*3_zlom.grd*, *9_zlom.grd* a *10_zlom.grd*) byly zjištěny chyby ve vstupních datech (například vyšší Z u horizontu 10 ve srovnání s horizontem 9 ve vrtu LB242 nebo neexistující horizont 10 ve vrtu MR5, i když horizonty 9 a 11 existují...). Všechny zjištěné chyby byly

opraveny a vytvoření gridů *3_zlom.grd*, *9_zlom.grd* a *10_zlom.grd* proběhlo znovu již s opravenými vstupními údaji. Zobrazení gridu horizontu 3 je na obr. 3-1.

3.2.2 Typy hornin

V modelech se budou rozlišovat typy hornin ve vrstvách uvedené v tabulce 3-8.

Tabulka 3-8: Typy hornin a kódy vrstev.

<i>Kód vrstvy</i>	<i>Typ horniny</i>
5	Kvartér – Vrstva mezi bází kvartéru (viz níže) a povrchem.
4	Nadloží - Vrstva mezi horizontem 3 a bází kvartéru.
3	Uhelná série - Vrstva mezi horizonty 9 a 3.
2	Těžené uhlí - Vrstva mezi horizonty 10 a 9.
1	Podloží - Vrstva pod horizontem 10.

Gridy povrchu a horizontů 3, 9 a 10 již byly vytvořeny (viz 3.2.1). Zbývá ještě vytvořit grid báze kvartéru. Vstupní data můžeme získat pouze z archivních profilů vrtů, které jsou dostupné. Z dostupných archivních profilů vrtů byly zapsány údaje *ID*, *From*, *To* a *Hornina* do souboru *Profily s uhlím.xlsm*. Ukázka části těchto údajů je v tabulce 9.

Tabulka 3-9: Údaje v souboru *Profily s uhlím.xlsm*.

ID	From	To	Hornina
LB2	0	1.25	qh
LB2	1.25	293.5	j
LB2	293.5	296.08	up
LB2	296.08	318	u
LB2	318	330	up
LB2	330	335	j
KZ18	0	4.2	qh
KZ18	4.2	256.7	j
KZ18	256.7	259	up
KZ18	259	280	u
KZ18	280	306	up
KZ18	306	308	j
KZ18	308	308.5	znelec
KZ46	0	3	qh
KZ46	3	264	j

...

Makrem *Mocnost_kvarter* byly vybrány pouze údaje o hloubce kvartéru jednotlivých vrtů (hornina „qh“) a makrem *Doplň_XY* byly doplněny souřadnice vrtů.

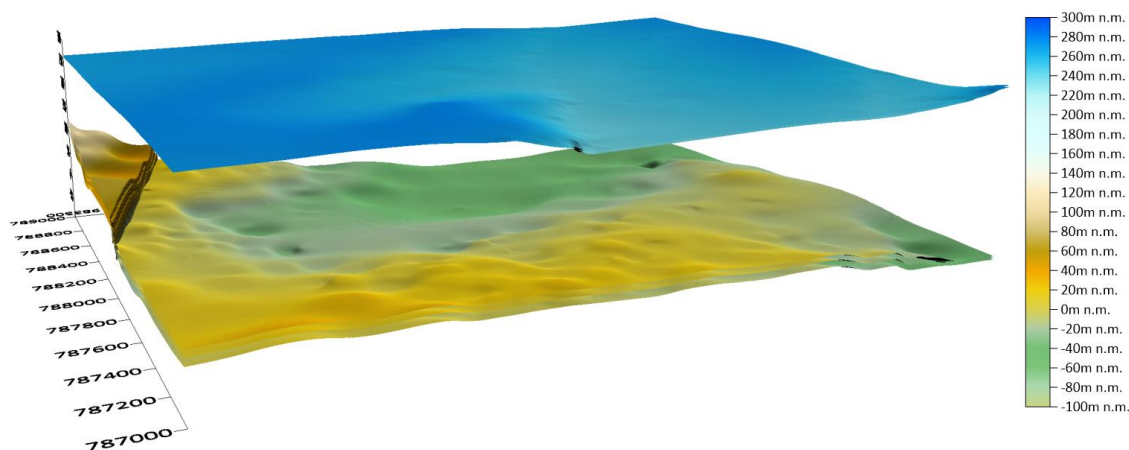
Výsledné údaje byly překopírovány do souboru *1.xlsx* (tabulka 3-10), který je vstupním souborem pro gridování mocnosti kvartéru.

Tabulka 3-10: Údaje v souboru *1.xlsx*.

X	Y	Z	Název
-787907.49	-983097.03	1.25	LB2
-788989.8	-983178.4	4.2	KZ18
-788896.41	-983161.95	3	KZ46
-788853.46	-983037.55	3.5	KZ47
-788625.16	-983391.8	0.4	LB11
-788194.41	-983031.53	3.15	LB12
-788067.03	-983370.18	0.3	LB18
-788376.25	-982898.6	2	LB29
-787895.32	-982939.99	0.4	LB56
...			

Grid mocnosti kvartéru (*Mocnost_Vrstva_1.grd*) byl vytvořen makrem *Vytvoř_grid_z_údatjů_vrstvy* (viz obr. 3-2) se zadáním parametru *ID vrstvy* 1 a *Použit při gridování zlomy* (*Ano/Ne*): *Ne*. Odečtením *Mocnost_Vrstva_1.grd* od *1950_upr.grd* vznikne grid báze kvartéru *Baze_kvarteru.grd*.

Na obr. 3-3 jsou zobrazeny všechny dělicí horizonty vrstev uvedených v tabulce 3-8. Odshora dolů povrch, báze kvartéru, horizont 3, horizont 9 a horizont 10.

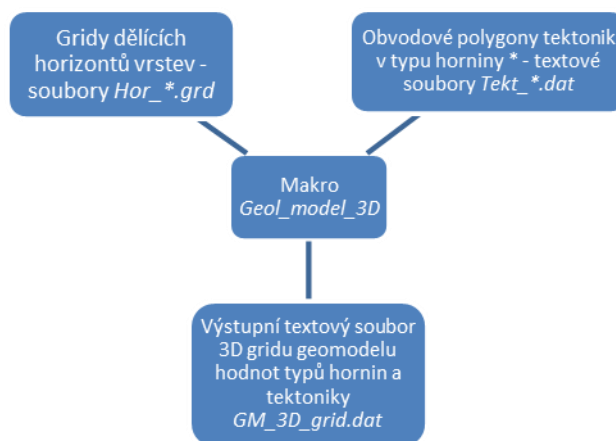


Obr. 3-3: Dělicí horizonty vrstev.

Pro další zpracování byly gridy dělicích horizontů vrstev uvedených v tabulce 8 přejmenovány na *Hor_*.grd*, kde * označuje pořadí horizontu (5 - povrch, 4 - báze kvartéru, 3 - strop uhlí, 2 - strop těžného uhlí, 1 - báze těžného uhlí).

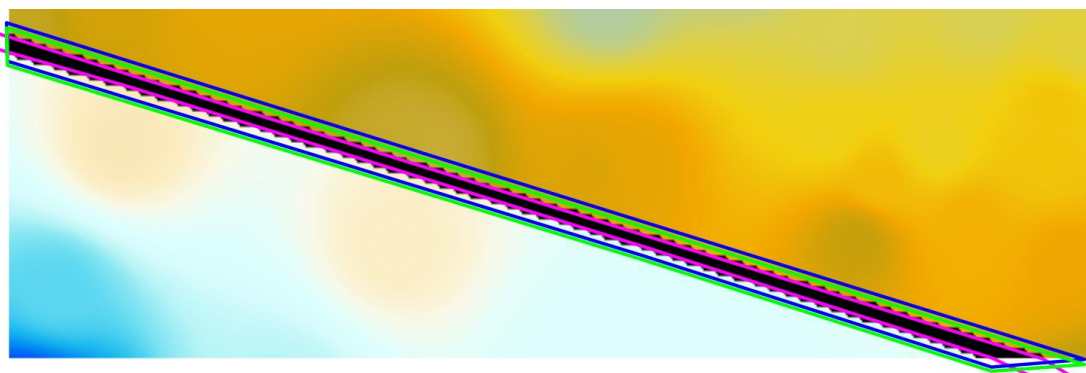
3.3 Konstrukce 3D strukturně geologického modelu

Makro *Geol_model_3D* realizuje tvorbu 3D gridu geologického modelu. Schéma vstupů a výstupů makra, které je naprogramováno v jazyce VBA, je na obr. 3-4. Tento program využívá objekty Surferu, proto je nezbytné, aby byl na provádějícím počítači nainstalován program Surfer firmy Golden Software.



Obr. 3-4: Schéma vstupů a výstupů makra *Geol_model_3D*.

Protože se linie zlomu v horizontech 3, 9 a 10 posunuje, což způsobuje nepřesnosti při vizualizaci, byly gridy *Hor_3.grd*, *Hor_2.grd* a *Hor_1.grd* dělicích horizontů vrstev v oblasti tektonického porušení zlomu Victoria vyblankovány (byla zde stanovena *NoData value* 1.70141e+038) uvnitř polygonu *Uzemi_zlomu_Victoria.bln* (obr. 3-5).



Obr. 3-5: Detail situace zlomu Victoria na podkladu báze vrstvy 2 (těžené uhlí). Fialovou barvou je zobrazen polygon *Uzemi_zlomu_Victoria.bln*, modře je zobrazen polygon výskytu tektonického porušení pro vrstvu 2 (těžené uhlí) a zeleně je zobrazen polygon výskytu tektonického porušení pro vrstvu 3 (uhelná série).

Strukturně geologický model ve formě 3D gridu se tvoří postupně makrem *Geol_model_3D* (obr. 3-6) ve všech bodech 2D gridů dělicích horizontů (mimo body s hodnotou *NoData value* 1.70141e+038) v síti 5*5 m podle zadaného kroku (1 m) a dalších zadaných parametrů od podloží směrem vzhůru. Přitom se do výstupního textového souboru *GM_3D_grid.dat* zapisuje:

- souřadnice X,
- souřadnice Y,
- souřadnice Z,
- kód typu hornin (5 - kvartér mezi horizonty 1 a 2, 4 - nadloží mezi horizonty 2 a 3, 3 - uhelná série mezi horizonty 3 a 4, 2 - těžené uhlí mezi horizonty 4 a 5, 1 - podloží pod horizontem 5)
- tektonika (hodnota +10 ke kódu typu horniny v polygonech výskytu tektonik ve vrstvách 3 a 2 – viz obr. 3-5), jinak kód typu hornin.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
	 ČESKÁ GEOLOGICKÁ SLUŽBA													
	Geol_model_3D - vytvoření 3D gridu strukturně geologického modelu a míry nejistoty typů hornin a tektoniky													
1														
2	Vstup:	Hor_*.grd - gridy Z horizontů: 5 - povrch, 4 - báze kvartéru,												
3		3 - strop uhelných poloh (Mach 3), 2 - strop těženého uhlí (Mach 9), 1 - báze těženého uhlí (Mach 10)												
4		Tekt_*.dat - obvodové polygony tektonik v typu horniny *: 5 - kvartér mezi horizonty 4 a 5, 4 - nadloží mezi horizonty 3 a 4,												
5		3 - uhelná série mezi horizonty 2 a 3, 2 - těžené uhlí mezi horizonty 1 a 2, 1 - podloží pod horizontem 1												
6		Pokud v typu horniny X není tektonika určena, pak Tekt_X.dat neexistuje.												
7														
8	Výstup:	GM_3D_grid.dat - soubor 3D gridu geomodelu hodnot typů hornin, tektoniky a míry nejistoty typů hornin a tektoniky												
9														
10	Obecné parametry výpočtu:													
11	Počet horizontů (typů základních hornin 1, 2, ...):	5												
12	Začátek názvu gridů Z horizontů (Hor_*.grd, kde * je pořadí horizontu):	Hor_												
13	Název složky s gridy Z horizontů a obvodovými polygony tektonik:	C:\čgs\Poddolovani\Mar_Radcice_model\Horiz_Tekt												
14	Krok Z 3D modelu (m):	1												
15	Mocnost podloží (pod posledním horizontem) a nadloží (nad horním horizontem modelu), které budou zahrnuto do modelu (m):	3												
16	Číslo horního horizontu zahrnutého do modelu:	3												
17	Začátek názvu obvodových polygonů tektonik v typu horniny * (Tekt_*.dat, kde * je typ základní horniny):	Tekt_												
18	Poloměr vyhledávací kružnice (m) zóny pro stanovení nejistoty hornin na dané úrovni XY:	11												
19	Vzdálenost ve směru Z (m) zóny pro stanovení nejistoty hornin na dané úrovni XY:	2												
20	Počet typů hornin pro stanovení nejistoty hornin:	5												
21		Spuštěno: 22.02.2022, 16:44:33												
22		Ukončeno: 22.02.2022, 17:48:58												
23	© František Staněk, 2022													

Obr. 3-6: Zadání vstupních parametrů a tlačítko ke spuštění makra.

Ukázka části výstupního souboru *GM_3D_grid.dat* je v tabulce 3-11. Tento soubor lze přímo načíst do prostředí programu *Voxler* (případně *Move* [10]) pro provedení různých způsobů vizualizace strukturně geologického modelu a nejistot způsobenou typy hornin nebo tektonikou ve 3D.

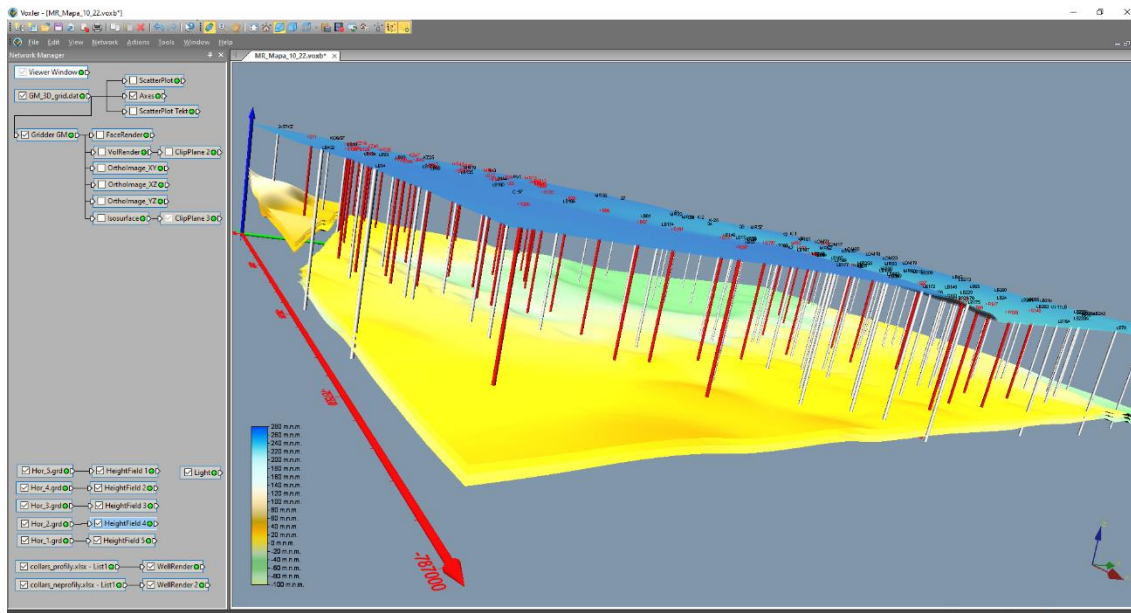
Jestliže se bude vytvářet více variant modelu s různými parametry, je nutno soubor *GM_3D_grid.dat* přejmenovat (například do názvu souboru doplnit hodnoty parametrů *a/nebo datum*), neboť při dalším spuštění by se původní soubor *GM_3D_grid.dat* přepsal.

Tabulka 3-11: Ukázka obsahu souboru *GM_3D_grid.dat*.

```
...
-788075 -983500 57 4 4
-788070 -983500 30 1 1
-788070 -983500 31 1 1
-788070 -983500 32 1 1
-788070 -983500 33 2 12
-788070 -983500 34 2 12
-788070 -983500 35 2 12
-788070 -983500 36 2 12
-788070 -983500 37 2 12
-788070 -983500 38 2 12
-788070 -983500 39 2 12
-788070 -983500 40 2 12
-788070 -983500 41 2 12
-788070 -983500 42 2 12
-788070 -983500 43 2 12
-788070 -983500 44 2 12
-788070 -983500 45 2 12
-788070 -983500 46 2 12
-788070 -983500 47 2 12
-788070 -983500 48 3 13
-788070 -983500 49 3 13
-788070 -983500 50 3 13
-788070 -983500 51 3 13
-788070 -983500 52 3 13
-788070 -983500 53 3 13
-788070 -983500 54 4 4
-788070 -983500 55 4 4
-788070 -983500 56 4 4
-788065 -983500 30 1 1
...
```

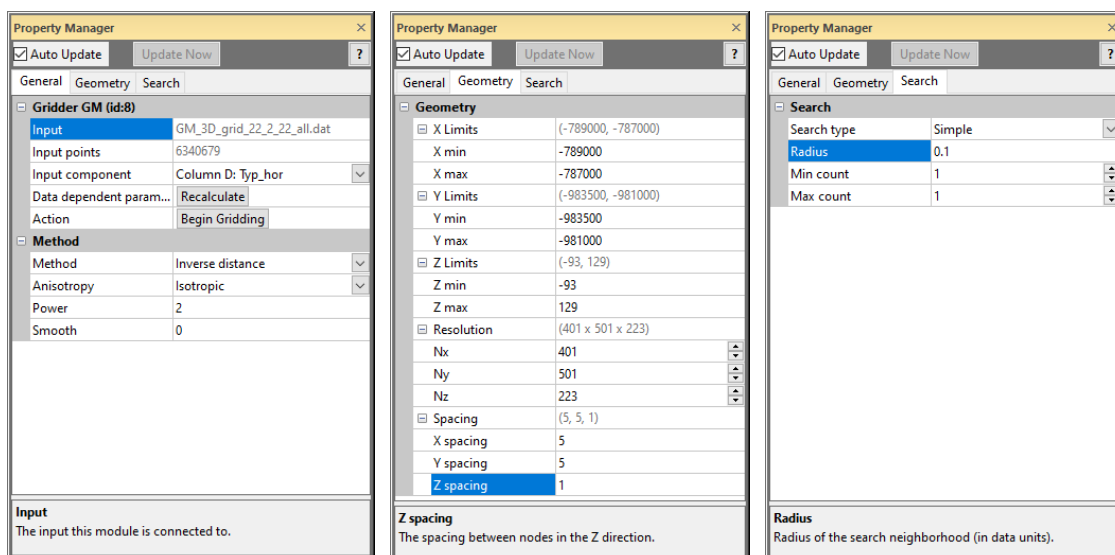
3.4 Vizualizace strukturně geologického modelu ve 3D

Hodnoty 3D gridu strukturně geologického modelu vypočtené makrem *Geol_model_3D* obsažené v souboru *GM_3D_grid.dat* lze různým způsobem vizualizovat v prostředí programu *Voxler* firmy Golden Software. Situace po načtení souboru *GM_3D_grid.dat* do prostředí *Voxleru* a po vytvoření objektů pro vizualizaci je na obr. 3-7. Vlevo je seznam všech vytvořených objektů, výběrem kterých se zvolí typ zobrazení a druh zobrazované veličiny. Dále jsou uvedeny příklady některých možných způsobů zobrazení geomodelu.



Obr. 3-7: Vizualizace geomodelu v prostředí Voxler (vstupní soubor *GM_3D_grid.dat*).

Vizualizace s pomocí grafického výstupu *ScatterPlot* se dají provádět přímo ze vstupního souboru (*GM_3D_grid.dat*). Vizualizace s pomocí grafických výstupů *FaceRender*, *VolRender*, *OrthoImage* a *Isosurface* vyžadují nejprve vytvoření interního 3D gridu Voxleru s pomocí modulu *Gridder* (objekt *Gridder GM* na obr. 3-7). Na obr. 3-8 je nastavení vlastností interního 3D gridu typů hornin *Gridder GM*.



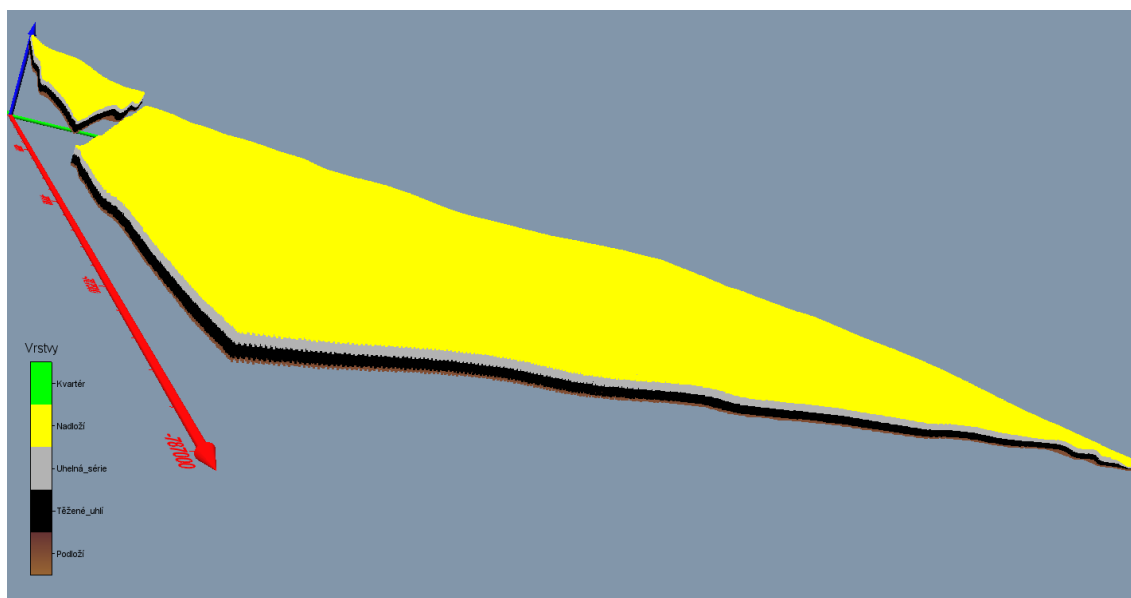
Obr. 3-8: Nastavení vlastností interního 3D gridu typů hornin *Gridder GM*.

Vrty použité pro konstrukci strukturně geologického modelu byly pro vizualizaci rozděleny do dvou souborů:

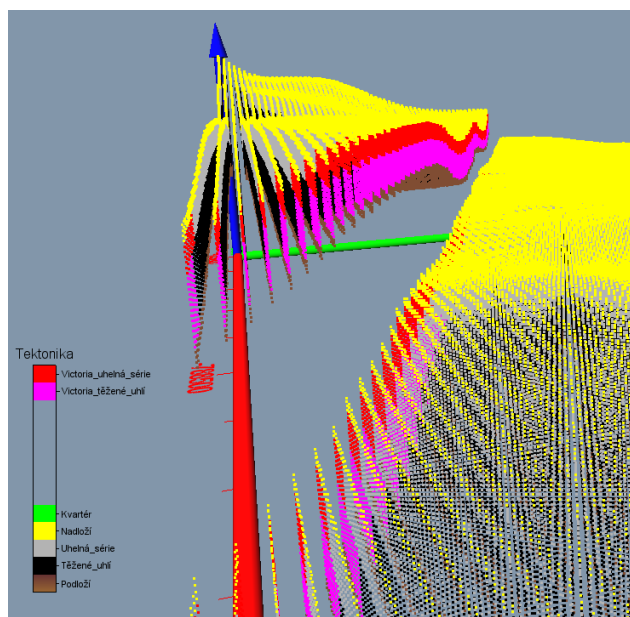
- *collars_profily.xlsx*, vrty s větší věrohodností, ke kterým jsme měli k dispozici kreslené profily a které jsou vykreslovány červeně (obr. 3-7),
- *collars_neprofilu.xlsx*, vrty s menší věrohodností, ke kterým jsme neměli k dispozici kreslené profily a které jsou vykreslovány bílou barvou (obr. 3-7).

Horizonty (*Hor_*.grd* - gridy Z horizontů: 5 - povrch, 4 - báze kvartéru, 3 - strop uhelných poloh, 2 - strop těženého uhlí, 1 - báze těženého uhlí) jsou vykresleny s pomocí grafického výstupu *HeightField* (obr. 3-7).

Na obr. 3-9 je vykreslen strukturně geologický model s pomocí grafického výstupu *ScatterPlot*. Na obr. 3-10 je vizualizace zlomu Victoria s pomocí grafického výstupu *ScatterPlot*.

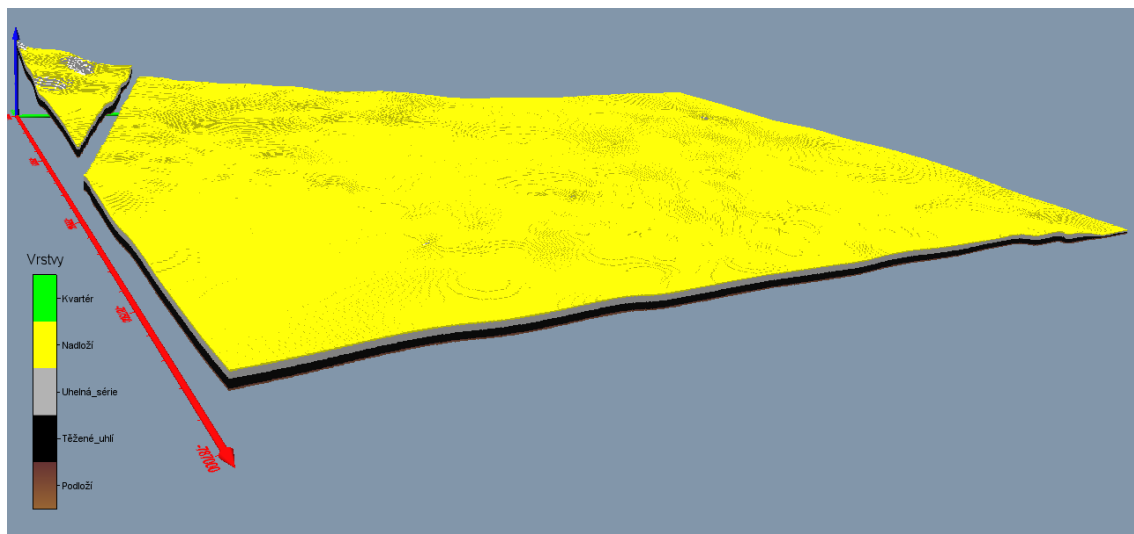


Obr. 3-9: Vizualizace strukturně geologického modelu s pomocí grafického výstupu *ScatterPlot*.

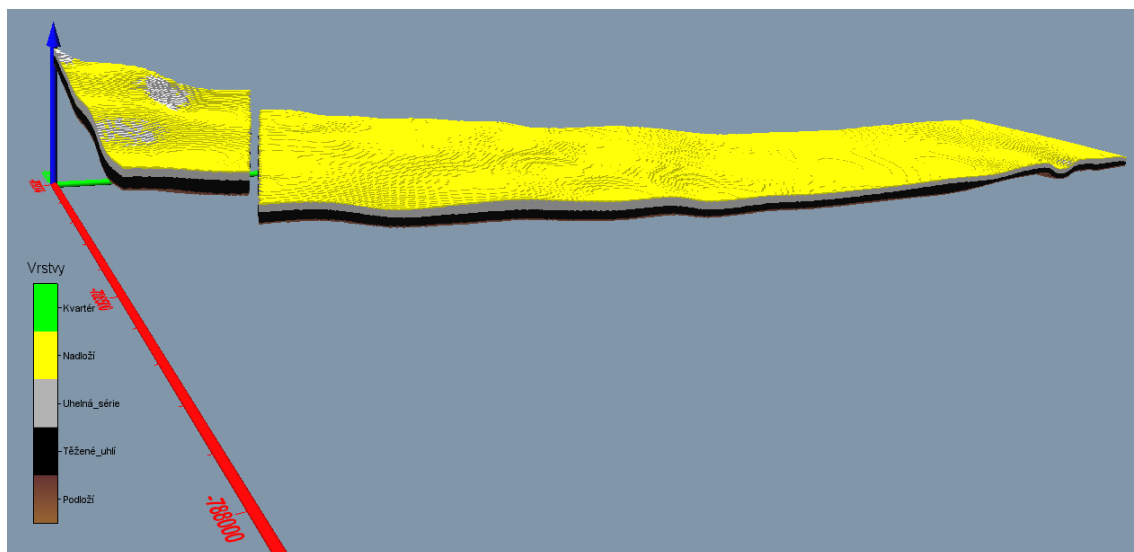


Obr. 3-10: Vizualizace zlomu Victoria s pomocí grafického výstupu *ScatterPlot*.

Na obr. 3-11 je vykreslen strukturně geologický model s pomocí grafického výstupu *FaceRender*. Tímto grafickým výstupem lze zobrazit i řezy tělesem (obr. 3-12).

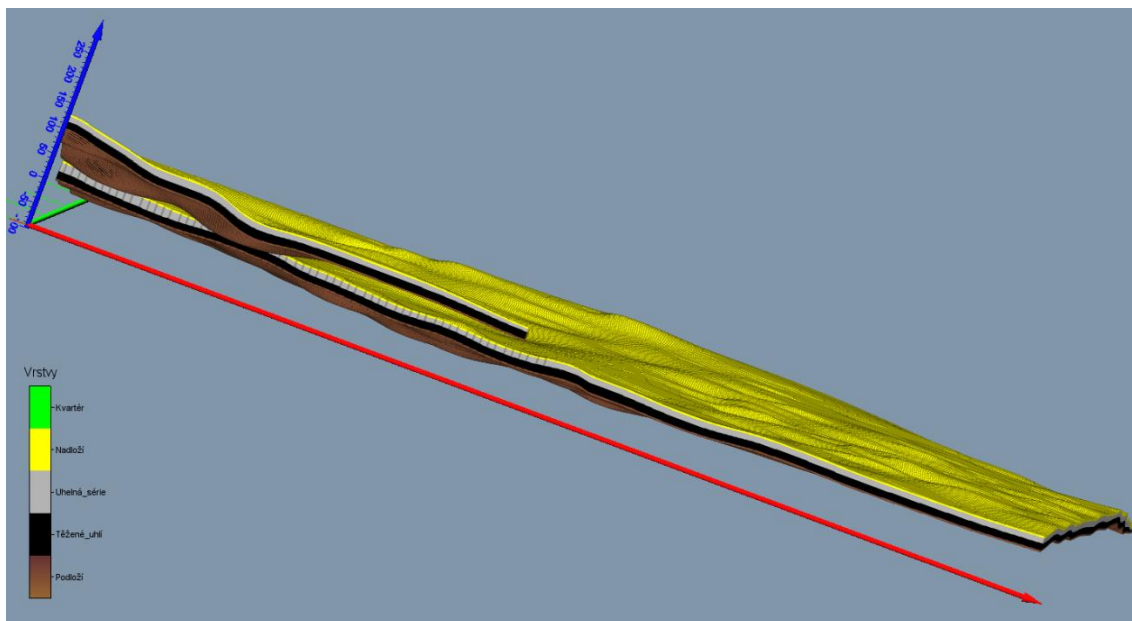


Obr. 3-11: Vizualizace strukturně geologického modelu s pomocí grafického výstupu *FaceRender*.

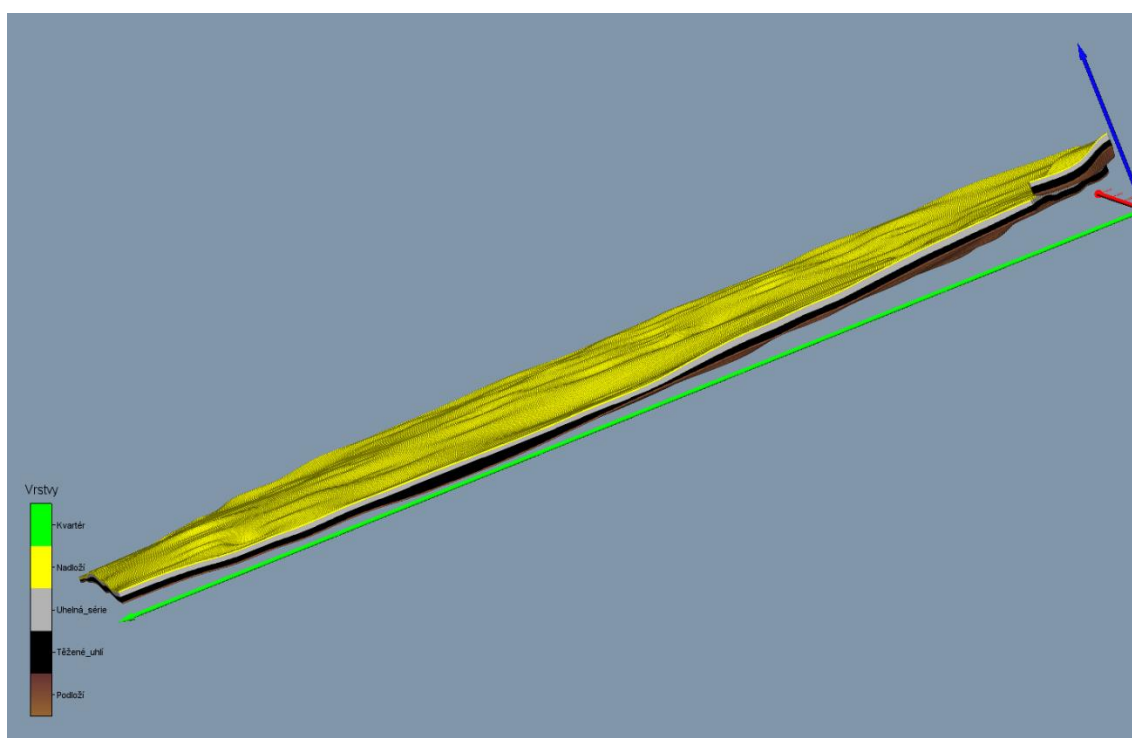


Obr. 3-12: Vizualizace řezu $X=500$ m strukturně geologického modelu s pomocí grafického výstupu *FaceRender*.

Na obr. 3-13 je vykreslen strukturně geologický model s pomocí grafického výstupu *VolRender*. S pomocí grafického výstupu *ClipPlane* (ten lze aplikovat na většinu grafických objektů) lze zobrazit řezy tělesem (obr. 3-14).

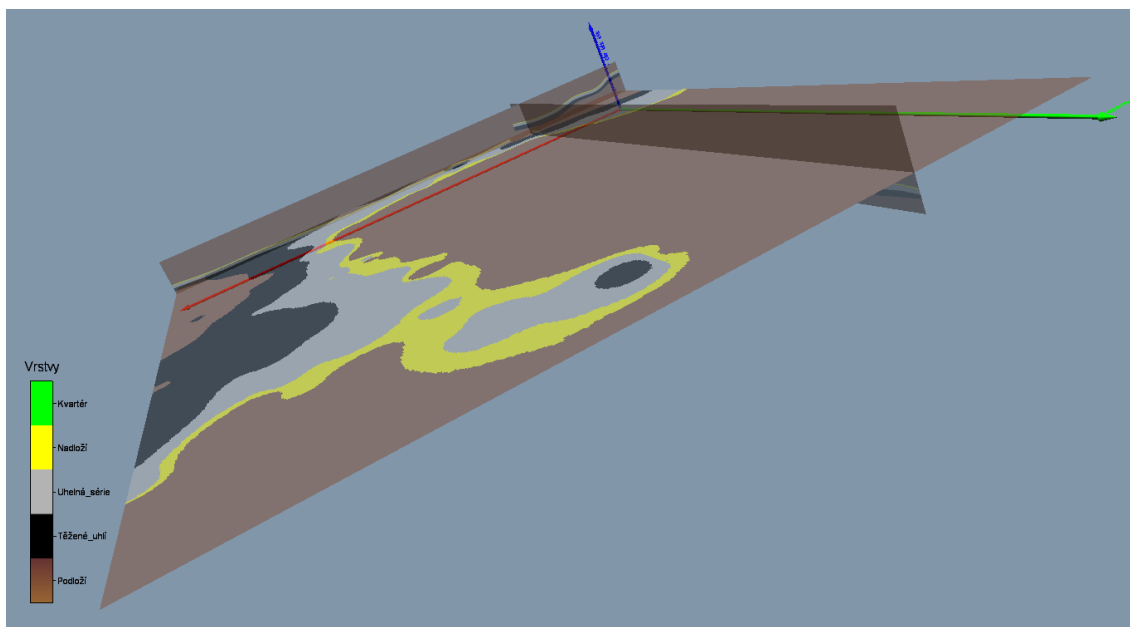


Obr. 3-13: Vizualizace strukturně geologického modelu s pomocí grafického výstupu *VolRender*.



Obr. 3-14: Vizualizace řezu $X=-700$ m od středu strukturně geologického modelu s pomocí grafického výstupu *ClipPlane* a *FaceRender*.

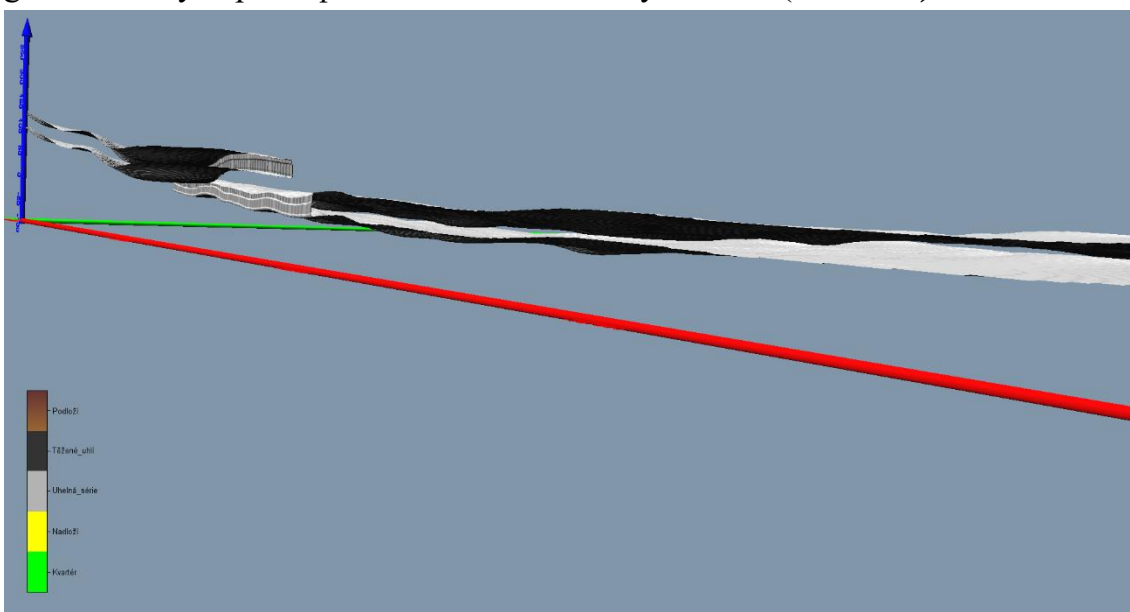
Na obr. 3-15 je vykreslen strukturně geologický model s pomocí řezů - grafic-



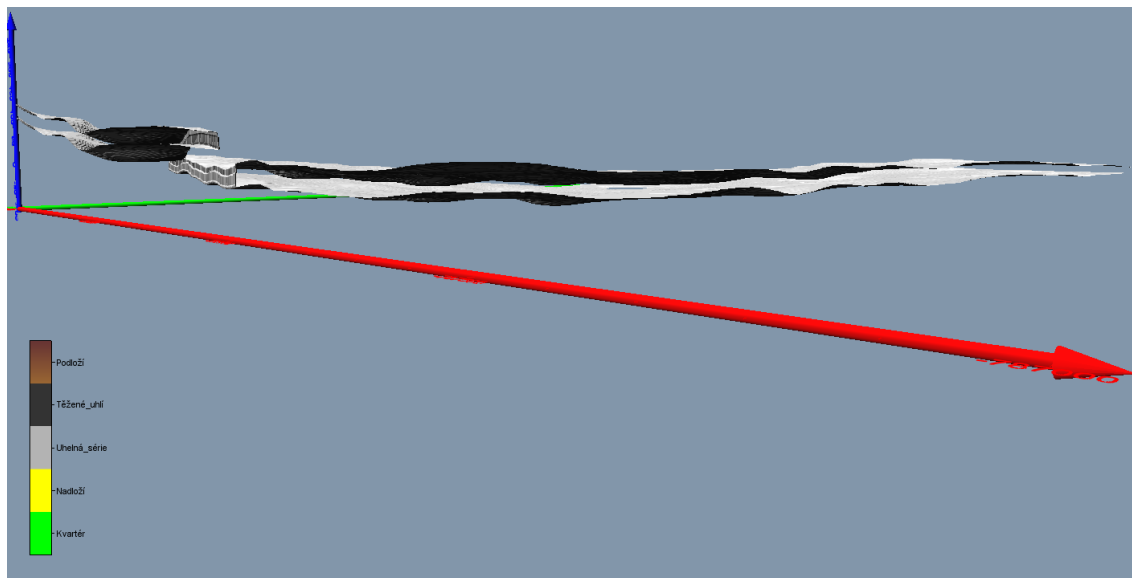
kých výstupů *OrthoImage_XY*, *OrthoImage_XZ* a *OrthoImage_YZ*.

Obr. 3-15: Vizualizace strukturně geologického modelu s pomocí řezů - grafických výstupů *OrthoImage_XY*, *OrthoImage_XZ* a *OrthoImage_YZ*.

Na obr. 3-16 je vykreslen strukturně geologický model s pomocí grafického výstupu *Isosurface* - obálky s mezní hodnotou 2.5 (uvnitř této obálky je tedy uhelná série, těžené uhlí a kousek podloží). Mezní hodnotu lze libovolně měnit. S pomocí grafického výstupu *ClipPlane* lze zobrazit řezy tělesem (obr. 3-17).



Obr. 3-16: Vizualizace strukturně geologického modelu s pomocí grafického výstupu *Isosurface*.



Obr. 3-17: Vizualizace řezu $X=-500$ m od středu strukturně geologického modelu s pomocí grafického výstupu *ClipPlane* a *Isosurface*.

3D strukturně-geologický model – Mariánské Radčice je ke stažení dostupný ve formátu *3D pdf* na adrese¹:

https://rens.geology.cz/sites/default/files/2023-02/3D_strukturne-geologicky-model_Marianske_Radcice.pdf

¹ Soubor ve formátu *3D pdf* nelze otevřít přímo v okně prohlížeče kliknutím na odkaz.

Doporučený postup: Nejprve si soubor stáhněte a potom ho otevřete v programu *Adobe Reader* a označte dokument jako důvěryhodný.

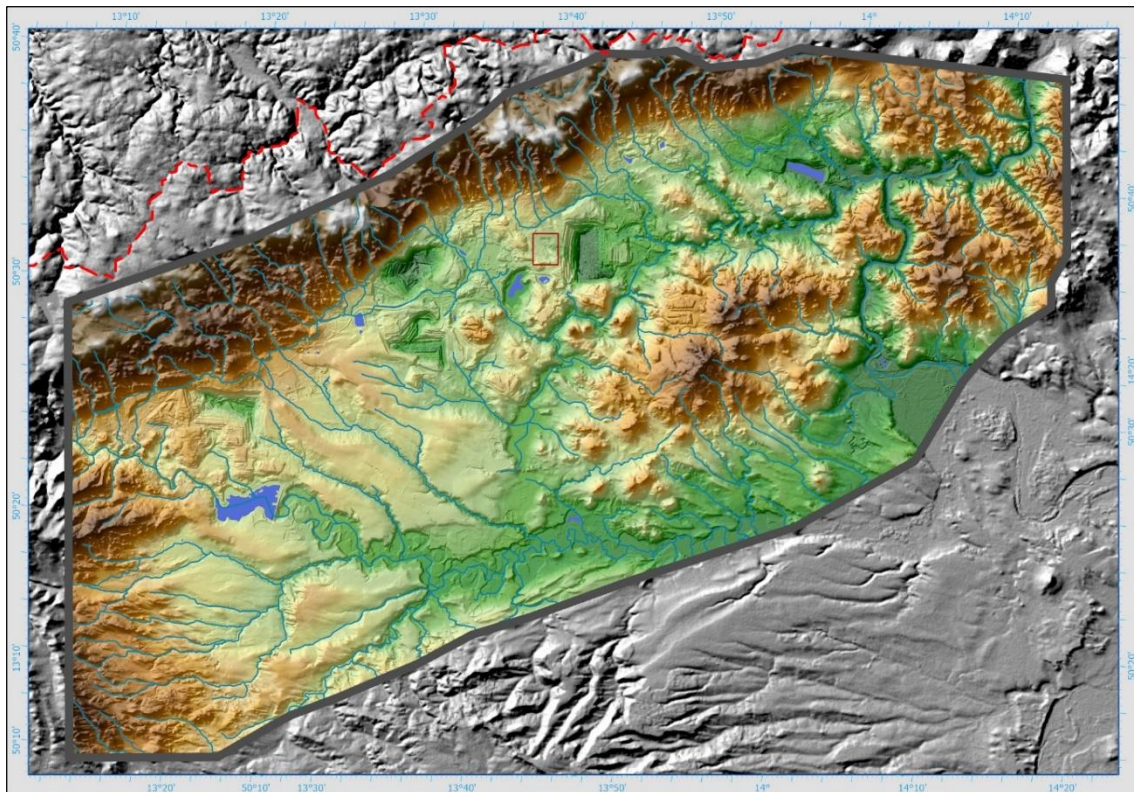
4. 3D DIGITÁLNÍ MODEL RELIÉFU 5. GENERACE (DMR5) A JEHO POROVNÁNÍ S DEM K ROKU 1950

Jako jeden ze základních vstupních 3D modelů nezbytných pro tvorbu, jak Landscape 3D modelu, tak modelu poddolování a strukturně-geologického modelu, je digitální model reliéfu (DMR). Pro vytvoření základního digitálního modelu terénu aktuálního reliéfu zájmové lokality Mariánské Radčice i širší oblasti mostecké pánve byl využit digitálního model reliéfu České republiky 5. generace (DMR 5G), který představuje zobrazení přirozeného, nebo lidskou činností modifikovaného, zemského povrchu v digitálním tvaru, ve formě výšek diskrétních bodů v nepravidelné trojúhelníkové síti (TIN) bodů o souřadnicích X, Y, Z, kde Z reprezentuje nadmořskou výšku ve výškovém referenčním systému Balt po vyrovnaní (Bpv) s úplnou střední chybou výšky 0,18 m v odkrytém terénu a 0,3 m v zalesněném terénu. Model vznikl z dat pořízených metodou leteckého laserového skenování výškopisu území České republiky v letech 2009 až 2013 [11].

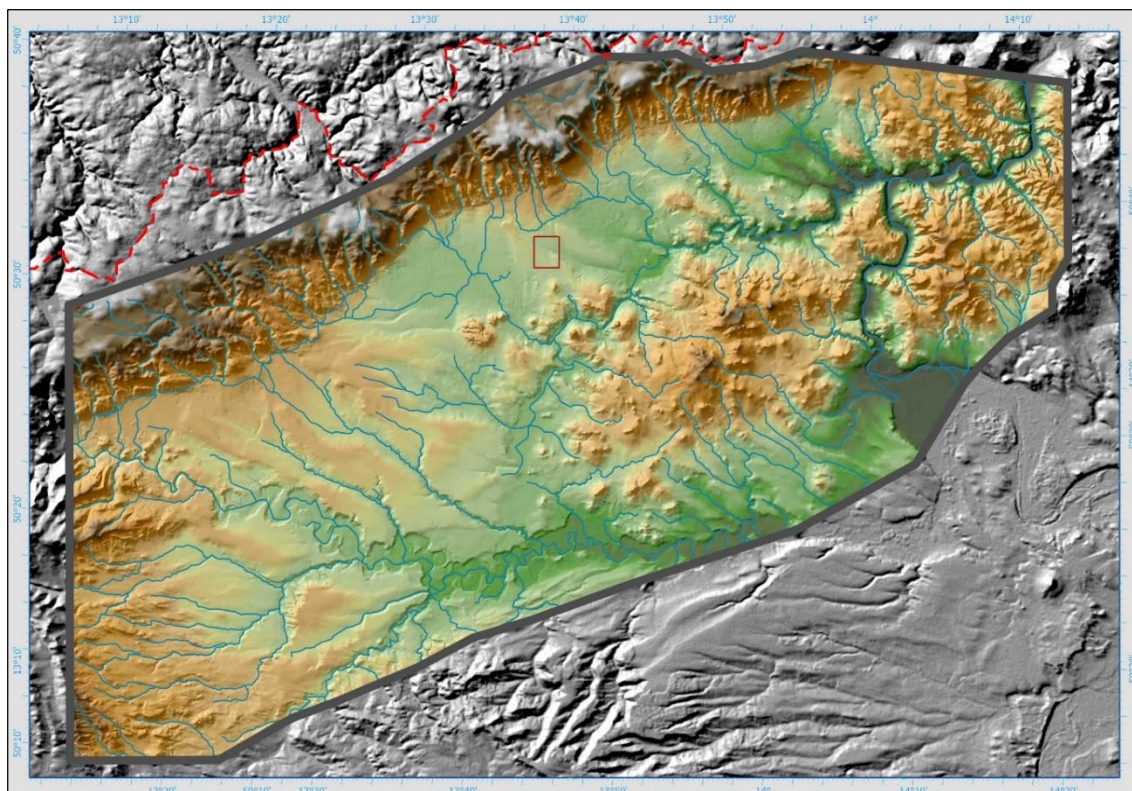
Česká geologická služba je legitimním uživatelem tohoto modelu. Na obr. 4-1 je zobrazen digitální model terénu vytvořený v prostředí *ArcGIS Pro ESRI* na základě databáze DMR5G pro širší oblast Mostecké pánve.

Pro srovnání se situací terénu před zásadním rozmachem těžebních aktivit v zájmovém území pak byla využita databáze polohopisných a výškopisných dat z roku 1950, poskytnuta nám na základě dohody, podepsané se Severočeskými doly a.s. Most. Jejím zpracováním v prostředí *ArcGIS Pro ESRI* byl vytvořen digitální model „původního“ terénu před intenzivním hlubinným dobýváním (digital elevation model) DEM1950 (obr. 4-2).

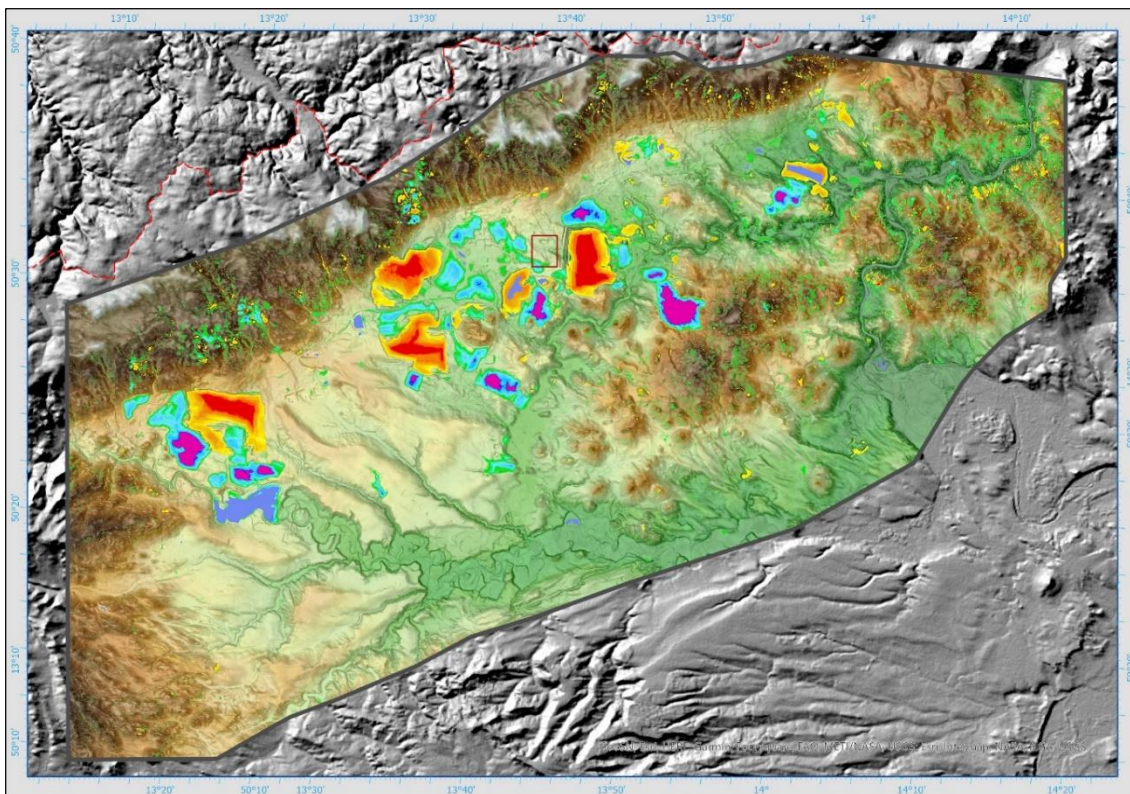
Následně bylo, pro stejné území Mostecké pánve, provedeno porovnání obou předchozích 3D modelů terénu s využitím analytických schopností programu *ArcGIS Pro ESRI* (obr. 4-3 a detail oblasti Mariánských Radčic na obr. 4-4)).



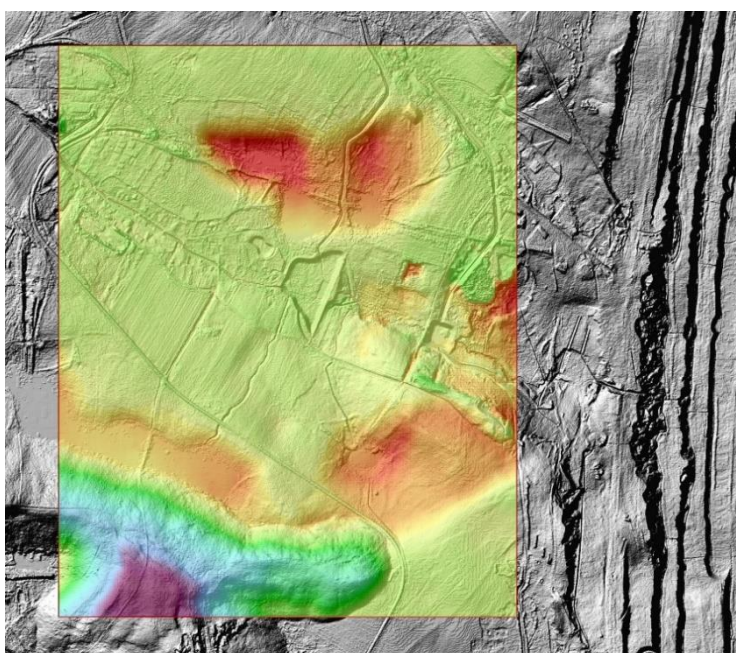
Obr. 4-1 Digitální model terénu DMR 5G pro širší oblast mostecké pánve. Výškopisně kolorovaný stínový reliéf (shaded relief) se sítí vodotečí. Polygon pilotní lokality Mariánské Radčice v předpolí porubní fronty Doly Bílina je vyznačen červenou barvou. Čerchovaně je znázorněna státní hranice s Německem.



Obr. 4-2 Digitální model terénu z roku 1950 DEM1950 pro širší oblast mostecké pánve. Výškopisně kolorovaný stínový reliéf (shaded relief) se sítí vodotečí. Polygon pilotní lokality Mariánské Radčice v předpolí porubní fronty Doly Bílina je vyznačen červenou barvou. Čerchovaně je znázorněna státní hranice s Německem.



Obr. 4-3 Porovnání 3D modelů terénu DMR 5G a DEM1950 pro širší oblast Mostecké pánve. Postupné přechody do žlutočervených odstínů znamenají záporné rozdíly, tedy poddolovaná a povrchově vytěžená území. Obdobně pak přechody modrofialových odstínů znamenají pozitivní rozdíly, tedy výsypky a haldy. Polygon pilotní lokality Mariánské Radčice v předpolí porubní fronty Doly Bílina je vyznačen červenou barvou. Čerchovaně je znázorněna státní hranice s Německem.



Obr. 4-4 Detail porovnání 3D modelů terénu DMR 5G a DEM1950 pro pilotní polygon Mariánské Radčice. Legenda pozitivních a negativních rozdílů obou reliéfů je stejná jako na obr. 4-3.

3D digitální model reliéfu 5. generace (DMR5) a jeho porovnání s DEM k roku 1950 – Mariánské Radčice je ke stažení dostupný ve formátu *3D pdf* na adrese¹:
https://rens.geology.cz/sites/default/files/2023-02/DMR5G-a-DEM1950-Marian-ske_Radcice.pdf

¹ Soubor ve formátu *3D pdf* nelze otevřít přímo v okně prohlížeče kliknutím na odkaz.

Doporučený postup: Nejprve si soubor stáhněte a potom ho otevřete v programu *Adobe Reader* a označte dokument jako důvěryhodný.

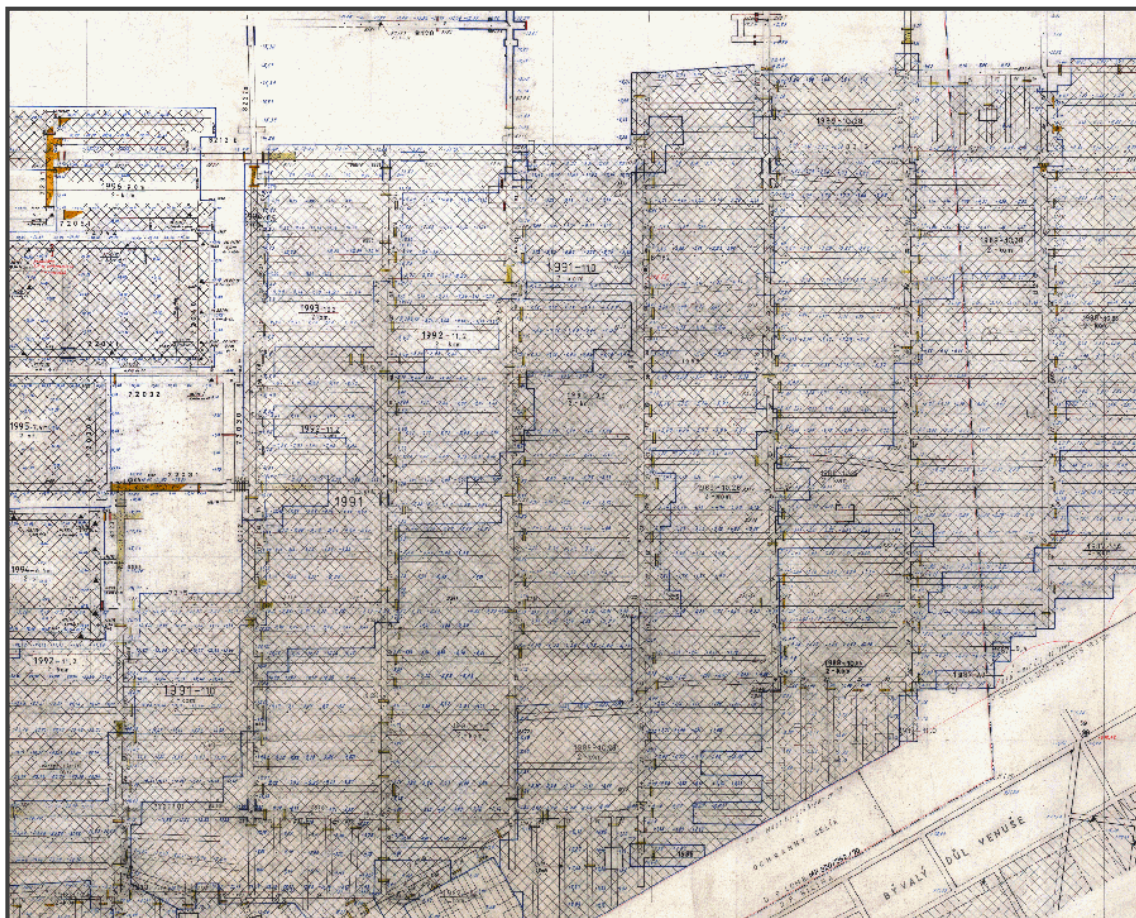
5. 3D LANDSCAPE MODEL

Základní podmínkou úspěšného zpracování báňského 3D modelu, v mnoha případech již historické hlubinné těžby nerostných surovin, je získání relevantních báňských podkladů a jejich následné počítačové zpracování - digitalizace. Hlavním úskalím při jejich získávání je skutečnost, že v průběhu času dochází často k jejich ztrátám nebo degradaci jejich analogové podoby. Ve většině případů je nutné na získání dokumentace historické hlubinné těžby vynaložit nemalé úsilí.

Pro zpracování dílčích modelů popsaných v kapitolách 5 a 6 zájmového území byly použity tyto podklady:

- Letecká ortofotomapa.
- Digitální modely terénu stav 1950 (DEM1950) a 2020 (DMR 5G).
- Skeny mapových podkladů důlně-měřické dokumentace hlubinných dobývek a důlních děl. Na obr. 5-1 je zobrazen výsek důlní mapy M 4113-2L, která byla součástí rozsáhlého souboru naskenovaných podkladů.
- Strukturně-geologický model uhelné sloje.

Pro zpracování primárních dat za účelem vytvoření dílčích modelů popsaných v kapitolách 5 a 6 byl použit software *Autodesk Civil3D*, *Autodesk Raster Design*, *Carlson Underground Mining*, *Carlson Geology* a *Autodesk Infraworks*.



Obr. 5-1 Mapový list důlně-měřické dokumentace M 4113-2L. Příklad vstupní dokumentace pro tvorbu 3D modelu.

Po zpracování digitálního modelu terénu (DMT) byla provedena revize a analýza lokality, současně s vytvořením dokumentace nadzemních objektů, jako jsou budovy, liniové stavby, vodní plochy a vegetační kryt terénu.

Základní operací pro vytvoření 3D modelu řešené lokality Mariánské Radčice byla 3D vektorová interpretace modelovaných objektů. Jedním z nezbytných podkladů byla letecká ortofotomapa a katastrální mapa v měřítku 1:1000.

Zpracování jednotlivých dílčích modelů bylo realizováno v programových systémech *AutoCAD* a *3D Studio MAX*. Tyto dílčí modely byly zapracovány do celkové 3D Landscape scény vytvořené v softwarovém prostředí *Autodesk Infra-works*. V tomto softwaru byly vytvořeny stavební a další objekty infrastruktury a vegetace, včetně liniových staveb, jak je patrné z obr. 5-2, 5-3, 5-4 a 5-5. Ukázka práce v prostředí software *Autodesk Infra-works* je na obr. 5-6.

Koncepce takto zpracovaného modelu předpokládá následnou interpretaci modelu predikované poklesové kotliny ve 3D scéně a jeho aplikaci v rámci BIM (Building Information Model) infrastruktury v krajině.



Obr. 5-2 Celkový pohled na Landscape model Mariánské Radčice – pohled od východu.

3D Landscape model – Mariánské Radčice je ke stažení dostupný ve formátu 3D pdf na adrese¹:

https://rens.geology.cz/sites/default/files/2023-02/3DLandscape-Marianske_Radcice.pdf

¹ Soubor ve formátu 3D pdf nelze otevřít přímo v okně prohlížeče kliknutím na odkaz.

Doporučený postup: Nejprve si soubor stáhněte a potom ho otevřete v programu *Adobe Reader* a označte dokument jako důvěryhodný.



Obr. 5-3 Landscape model Mariánské Radčice – pohled od jihu.

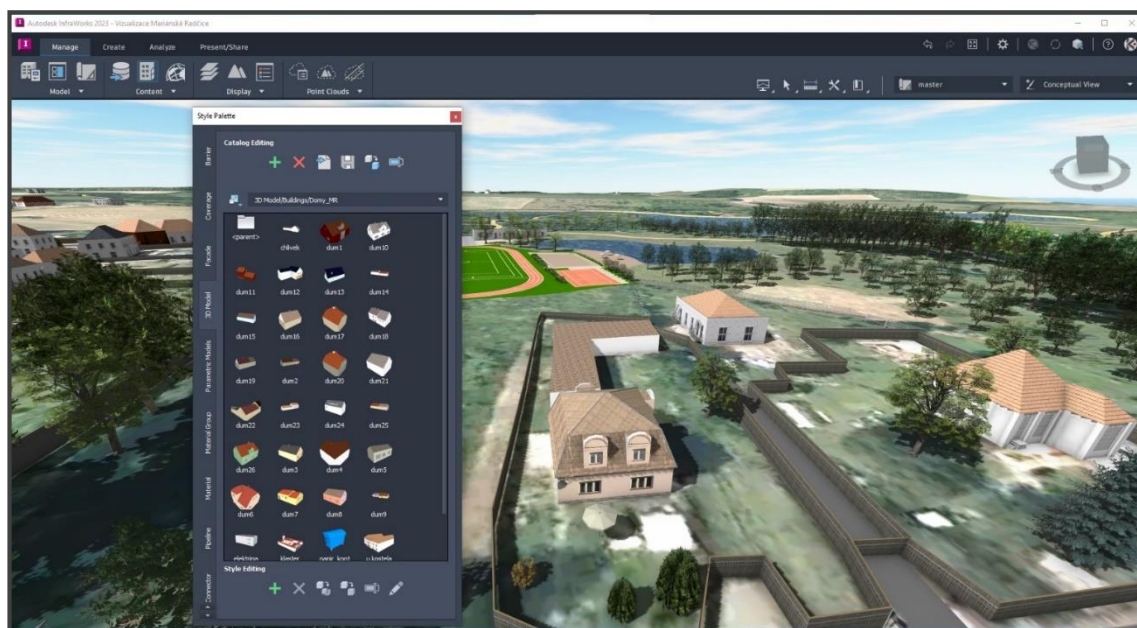


Obr. 5-4 Landscape model Mariánské Radčice – pohled z obce směrem na Braňany.

KOMPLEXNÍ 3D MODEL VLIVŮ PODDOLOVÁNÍ NA POVRCH S MODELEM
NEJISTOTY (PRO LOKALITU MARIÁNSKÉ RADČICE)



Obr. 5-5 Pohled na Landscape model Mariánské Radčice – východní okraj obce.



Obr. 5-6 Prostředí software Infraworks.

6. 3D MODEL DŮLNÍCH DĚL A PODZEMNÍCH PROSTOR

6.1 Historie hlubinné těžby v katastru obce Mariánské Radčice

Uzavřený Důl Kohinoor II se nachází v Ústeckém kraji, severně od města Mostu v centrální části mostecké hnědouhelné pánve u obce Mariánské Radčice. Těžební činnost spočívala v hlubinné exploataci hnědouhelného ložiska, kterou důl provozoval v dobývacím prostoru Lom II, který se rozkládá v katastrálních územích: Mariánské Radčice, Lom u Mostu, Libkovice u Mostu, Konobříž, Růžodol, Dolní Litvínov a Louka u Litvínova.

Sloučením akciových společností Gewerkschaft Brucher Kohlenwerke, jež vlastnila doly Kohinoor I (tehdy Johann Schächte), Mořic a Gutmann a Dresdner Kreditanstalt, v jejímž majetku byly doly Pluto v Louce a Pavel v Horním Litvínově, vznikly podmínky pro založení dalšího velkého dolu na území katastru obce Mariánské Radčice.

Na pozemkové parcele č. 542/2 byla ještě pod závodní správou dolu Pluto v letech 1896-1897 hloubena větrná jáma pro dolové pole dolu Pluto, původně pojmenovaná Neuanlage Maria Radschitz, po uvedení do provozu byla pak přejmenována na "Kaisergrube".

V letech 1899-1900 byla na téže parcele č. 542/2 hloubena těžní jáma o širokém profilu, která později sloužila jako fárová jáma Dolu Kohinoor. Provoz nového dolu byl započat dne 4. listopadu 1901 a byl pojmenován Kaisergrube podle původního pojmenování jámy.

V dalších letech 1902-1905 byla postavena nová kotelna, šachetní budova, elektrárna a třídírna uhlí. V roce 1907 byla vyhloubena větrná jáma v Libkovicích, která byla na povrchu v roce 1912 opatřena základacím zařízením na plavenou základku (písek) a zároveň spojena s pískovým lomem v Braňanech vlečkou o délce 6,43 km pro dopravu písku.

V letech 1913-1915 byla v dolovém poli vyhloubena větrná jáma Mariánské Radčice a v roce 1923 doplněna základkovým zařízením.

Po první světové válce došlo k přejmenování dolů. Název Kaisergrube byl změněn a důl dostal název Jan II. V roce 1931 byl znovu přejmenován, a to na Kohinor II.

Majetek Německorakouské důlní společnosti přešel po první světové válce na akciovou společnost Lomské uhelné závody a.s., jejíž majetek byl po okupaci revíru konfiskován a v rámci nucené arizace prodán 27. června 1940 společnosti SUBAG (Sudetoněmecká důlní akciová společnost).

V květnu 1945 byly na veškerý důlní majetek SUBAGu jmenovány národní správy a vznikly Hnědouhelné doly v severozápadních Čechách. Výměrem Ministerstva paliv ze dne 15.8.1945 byl název organizace změněn na Severočeské hnědouhelné doly v Mostě.

Na základě dekretu prezidenta republiky z října 1945 byly veškeré důlní podniky v severočeském revíru znárodněny a včleněny do národního podniku Severočeské hnědouhelné doly Most – SHD, který byl zřízen ke dni 1. ledna 1946. Po znárodnění byl důl Kohinor II samostatným závodem národního podniku Severočeské hnědouhelné doly. Na základě nové organizace se stal dnem 1. ledna 1952 samostatným národním podnikem v rámci trustu hlubinných dolů obvodního ředitelství v Duchcově. Po zrušení trustů byl Důl Kohinor závodem národního podniku Doly Vítězného února.

Na základě schválení investičního úkolu na rekonstrukci závodu Kohinor II dne 1. července 1957 na S-SHD a později na MP v Praze, bylo s touto rekonstrukcí započato v roce 1960. Rekonstrukce spočívala ve vybudování celé řady nových zařízení, vyhloubení skipové jámy s oběhy vlaků v náraží, otevření IX. Pole (1. úsek), vyhloubení větrné jámy Oldřich náhradou za jámu Poseidon (ta byla v roce 1967 zasypána a zarubána), úpravě větrné jámy Venuše jako výdušné, postavení nových povrchových objektů a rekonstrukci a modernizaci objektů stávajících.

V 70-tých letech byla zahájena otvírka nového rozsáhlého revíru Východní pole, se zahájením těžby v roce 1976. V 80-tých letech byla zahájena otvírka revíru Severovýchodní pole, připravovaného pro novou technologii dobývání mocné uhelné sloje - stěnování. Tato metoda v závěru životnosti dolu postupně nahradila do té doby hlavní těžební metodu – komorování na zával v lávkách. V roce 1983 byl

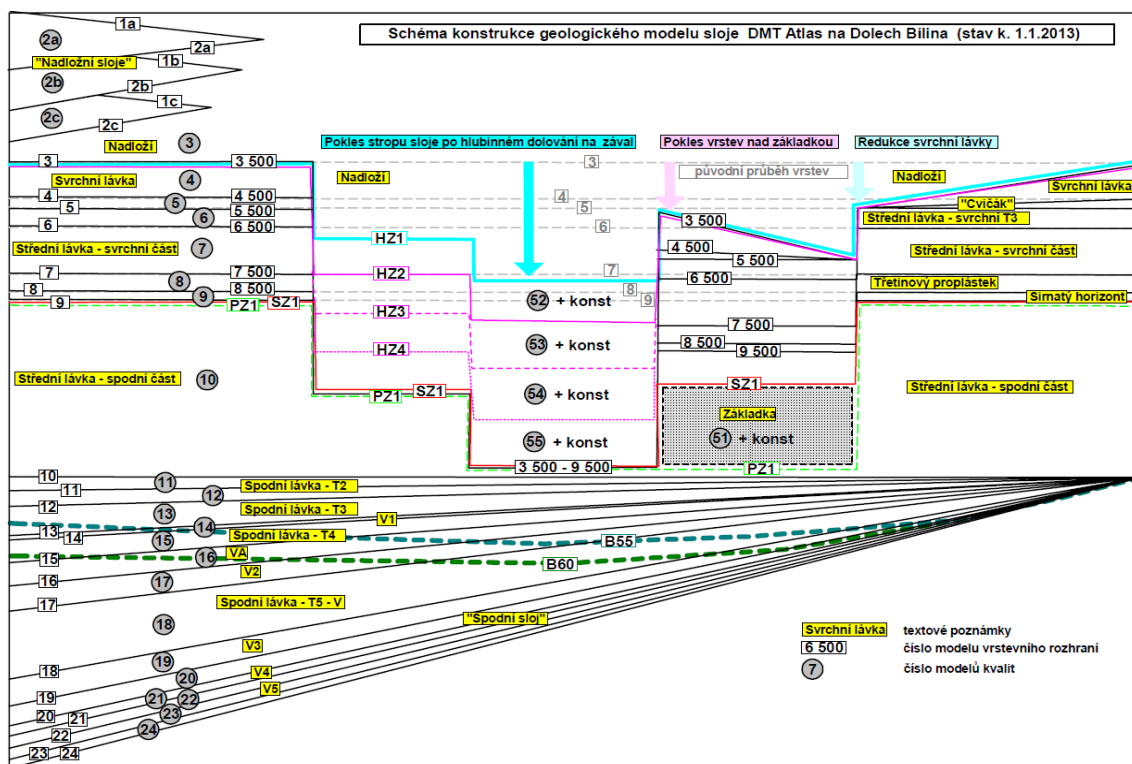
proražen spojovací překop Kohinoor – Pluto, účelem bylo převedení těžby z dolu Pluto na důl Kohinoor a vytěžení uhelných zásob vázaných do té doby ochranným pilířem areálu Pluto. Těžba byla převedena v dubnu 1983.

Ze stejného důvodu došlo ke spojení dolů Kohinoor a Gottwald (později důl Alexander) ražbou 2560 m dlouhého spojovacího překopu. Těžba byla z dolu Alexander na důl Kohinoor převedena v roce 1994. Od 1.1.1991 došlo ke změně názvu z bývalého DVÚZ k.p. na Doly Hlubina s. p., po založení Mostecké uhelné společnosti a.s. v roce 1993 se stal podnik Doly Hlubina s.p. divizí MUS a.s., od roku 1994 byl začleněn do MUS a.s. . V lednu 1996 se započalo s likvidací hlubinných pracovišť Dolu Alexander v Hrdlovce, která byla ukončena v roce 1997.

V rámci útlumu uhelného hornictví bylo rozhodnuto o ukončení těžby na dole Kohinoor. Pro realizaci útlumového programu byla dne 1.2.2000 ustanovena samostatná akciová společnost Důl Kohinoor a.s. jako dceřiná společnost MUS, a.s. K 1.7.2001 byl v souvislosti s uzavřením Smlouvy o prodeji části podniku mezi MUS, a.s. a Důl Kohinoor a.s. převeden do společnosti Důl Kohinoor a.s. majetek lokality Ležáky – úsek asanace, od 1.7. 2002 byl do společnosti Důl Kohinoor a.s. včleněn důl Centrum. Řádná těžba na Dole Kohinoor byla ukončena k 31.8.2002, celkem bylo vytěženo 52 319 850 tun uhlí.

6.2 3D model s vizualizací důlních děl a podzemních prostor

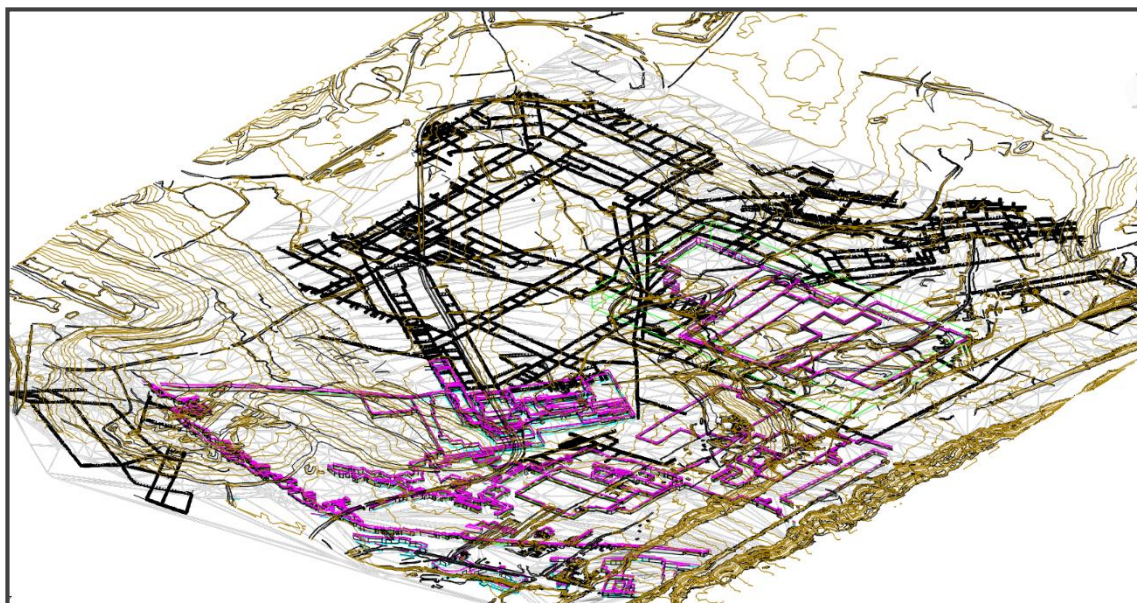
Výchozími podklady pro vytvoření 3D báňského modelu s vizualizací důlních děl a podzemních prostor byly naskenované a následnou transformací do závazného referenčního (souřadného) systému S-JTSK již výše uvedené mapy důlně-měřické dokumentace. Dalším podkladem byla data reprezentující konstrukci geologického modelu získané od Severočeských Dolů a.s. (obr. 6-1) a 3D strukturně-geologický model (viz kapitola 3). Jednotlivé dílčí modely reprezentující geologické horizonty byly zpracovány v programovém systému *ATLAS DMT*.



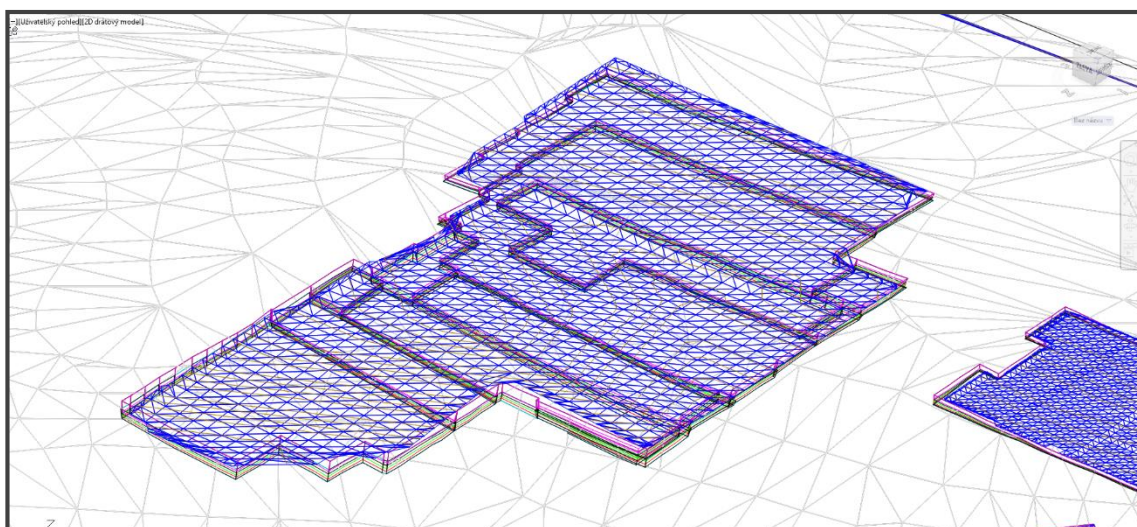
Obr. 6-1 Schéma konstrukce geologického-báňského modelu [3].

Základním požadavkem na vytvoření 3D modelu důlních děl je předpokládáná metodická návaznost na výpočet vlivů poddolování na povrch. Důležitým předpokladem je vytvoření topologicky čistých vektorových objektů, v tomto případě 3D Polylines a Carlson SOLID. Dalším předpokladem je jejich budoucí napojení na BIM model krajiny a infrastruktury.

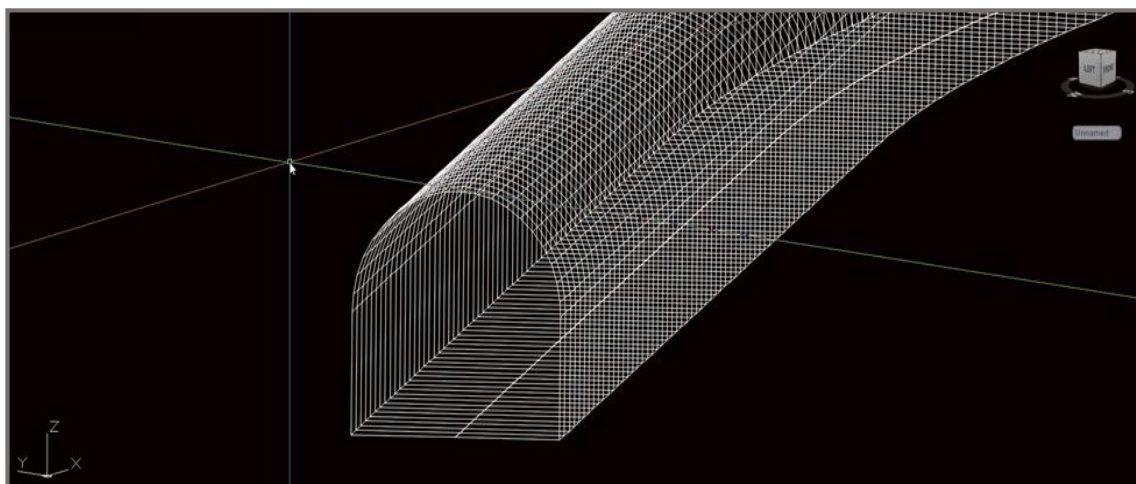
Horizontální důlní díla byla vytvořena na základě informací z vektorizovaných důlních map (obr. 6-2) a strukturně-geologického modelu. Základním stavebním prvkem byl zvolen objekt SOLID vytvořený společností Carlson Software Inc., který vykazuje vlastnosti objemového tělesa a byl vyvinut právě pro modelování podzemních prostorů (obr. 6-3). Struktura SOLID objektu reprezentující vodorovné důlní dílo je znázorněna na obr. 6-4.



Obr. 6-2 Celkový pohled na 3D model dobývek a horizontálních důlních děl – pohled od jihovýchodu.

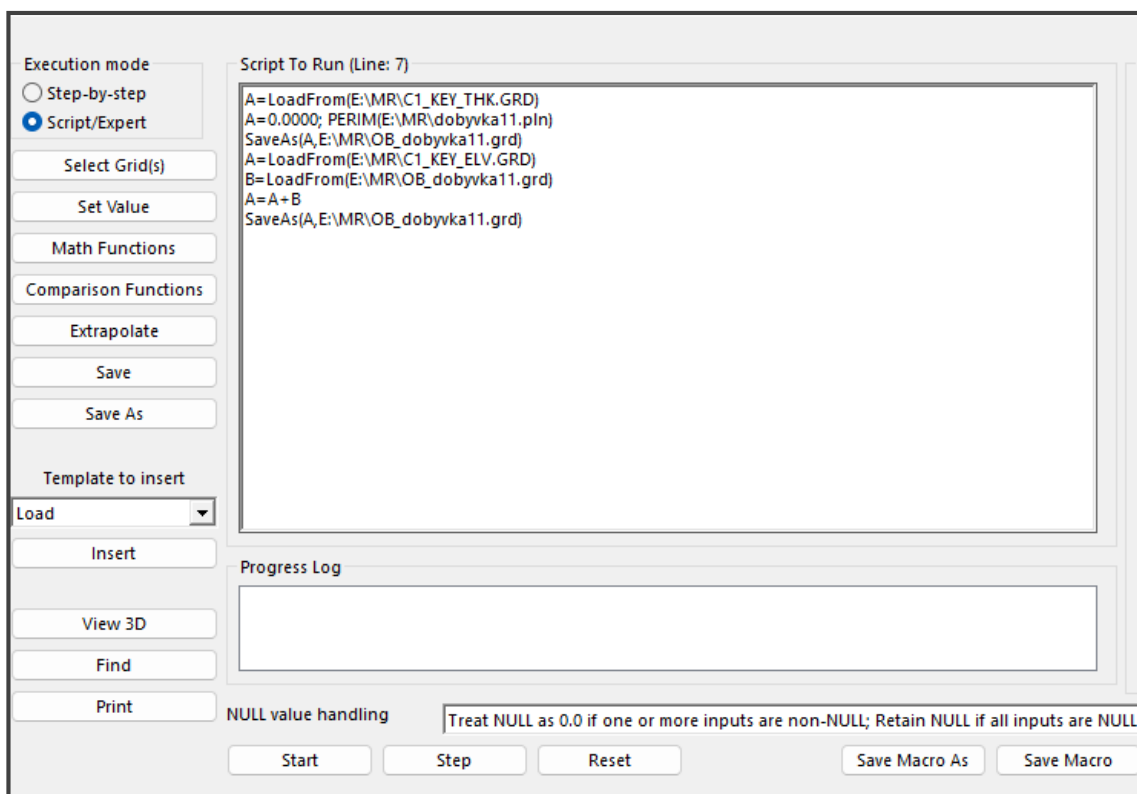


Obr. 6-3 Detailní pohled na dílčí model hlubinné dobývky vytvořené prostřednictvím objektu SOLID.

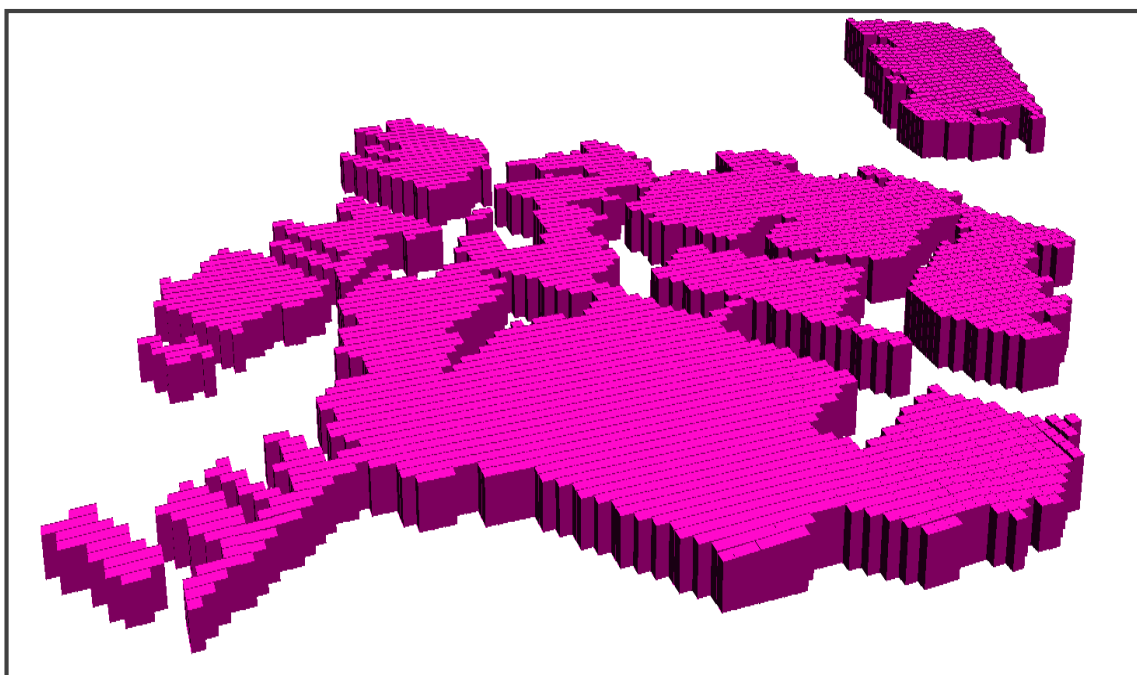


Obr. 6-4 Struktura objektu SOLID reprezentující vodorovné důlní dílo.

Podobným způsobem byly vytvořeny i objekty dobývek, tedy ze stejných podkladů, kombinací objektů SOLID a gridových modelů (obr. 6-6) s využitím aplikace *Grid File Utilities* (obr. 6-5).



Obr. 6-5 Prostředí aplikace *Grid File Utilities* s aplikací programového makra.



Obr. 6-6 3D model dobývky ve formě 3D gridů.

Porovnáním digitálních modelů terénů z roku 1950 a 2020 byl v programu *Autodesk Civil3D* vytvořen rozdílový model. Na obr. 6-7 je interpretován ve formě hypsometrie popisující rozdíly výšek. Na první pohled je zde patrný výrazný pokles ohraničený konturou dobývky. Tento jev se zde analogicky projevuje v dalších plochách postižených hlubinnou těžbou uhlí.



Obr. 6-7 Rozdílový model reliéfu terénu mezi lety 1950-2020 reprezentovaný formou
hypsometrie. Srovnej s obr. 4-3 a především s obr. 4-4.

3D model důlních děl a podzemních prostor – Mariánské Radčice je ke stažení
dostupný ve formátu *3D pdf* na adrese¹:

[https://rens.geology.cz/sites/default/files/2023-02/3D_model_dulnich_del_a_podzem-
nich_prostor-Marianske_RadciceV1.pdf](https://rens.geology.cz/sites/default/files/2023-02/3D_model_dulnich_del_a_podzemnich_prostor-Marianske_RadciceV1.pdf)

¹ Soubor ve formátu *3D pdf* nelze otevřít přímo v okně prohlížeče kliknutím na odkaz.

Doporučený postup: Nejprve si soubor stáhněte a potom ho otevřete v programu *Adobe Reader* a označte dokument jako důvěryhodný.

7. 3D MODEL MÍRY NEJISTOTY STRUKTURNĚ- GEOLOGICKÉHO MODELU

Metodické kroky tvorby a vizualizace 3D modelu míry nejistoty strukturně-geologického modelu ložiska uhlí Mariánské Radčice (viz kapitola 3) na sebe navazují. Ke konstrukci vlastního 3D modelu míry nejistoty strukturně-geologického modelu ložiska a jeho vizualizaci byly využity komerční softwary *Surfer* [8] a *Voxler* [9]. Pro zpracování bylo taktéž nezbytné vyvinout vlastní software. Použité algoritmy zpracování údajů a vytvořený software jsou detailně popsány ve stejnojmenných podkapitolách:

- 7.1 Výpočet nejistoty hranic horninových těles a nejistoty průběhu zlomů.
- 7.2 Výpočet obecné nejistoty, snížení nejistoty v okolí vrtů a sloučení hodnot různých druhů nejistot v bodech 3D gridu strukturně-geologického modelu.
- 7.3 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). Metodický postup je použitelný na všech ložiscích podobného typu.

Makro MS Excelu *Geol_model_3D* realizuje tvorbu 3D gridu strukturně-geologického modelu (viz kapitola 3) a také tvorbu 3D gridu míry nejistoty typů hornin a typů tektoniky. Makro MS Excelu *Nejistota_Obec_Vrty* realizuje v 3D gridu strukturně geologického modelu a nejistoty typů hornin a typů tektoniky dopočet „obecné nejistoty“ (zvyšující se hodnota minimální nejistoty směrem do hloubky), lokální snížení nejistoty (zvýšení věrohodnosti) v okolí průzkumných vrtů podle заданých vstupních parametrů a sloučení hodnot různých druhů nejistot.

7.1. Výpočet nejistoty hranic horninových těles a nejistoty průběhu zlomů

7.1.1 Způsob stanovení nejistoty hranic horninových těles

Pro stanovení nejistoty hranic horninových těles 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 zakladatel 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.

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. Z tohoto pohledu lze uvažovat o příslušnosti dané

buňky ke konkrétnímu druhu horniny 1, 2 až n (v naší lokalitě Mariánských Radčic je $n = 5$).

V programu *Geol_model_3D* 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 (válec zadané výšky 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 (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 $\ln(n)$.

Algoritmus lze modifikovat – například zvyšovat nejistotu směrem do hloubky zvětšováním definovaného okolí (poloměru a výšky válce).

7.1.2 Způsob stanovení nejistoty průběhu zlomů

Algoritmus stanovení nejistoty průběhu zlomů je odlišný. Vystihuje fakt, že přesně zadaná pozice poruchy v daném dělicím horizontu vrstev je nejistá. Tato nejistota a také zóna porušení může být pro každou poruchu a pro každou vrstvu jiná. Proto pro každou vrstvu se zadanou tektonikou (v našem případě 3 a 2) je ve vstupním textovém souboru *Tekt_*.dat* pro každou tektoniku (v našem případě

pouze jedna - zlom Victoria) stanoven obvodový polygon výskytu tektonického porušení a hodnota míry nejistoty této poruchy v rozmezí od 0 do 1.

Na obr. 3-5 je detail situace zlomu Victoria na podkladu báze vrstvy 2 (těžené uhlí). Fialovou barvou je zobrazen polygon *Uzemi_zlomu_Victoria.bln* (viz 3.1.2), nastavení hodnot *NoData value* uvnitř tohoto polygonu v gridu *Hor_1.grd* se projevuje černě vykreslenou oblastí. Modře je zobrazen polygon výskytu tektonického porušení pro vrstvu 2 (těžené uhlí) a zeleně je zobrazen polygon výskytu tektonického porušení pro vrstvu 3 (uhelná série). Posun zeleného polygonu vzhledem k modrému je způsoben posunem linií zlomu Victoria v horizontech 10, 9 a 3.

Pro každý bod 3D gridu modelu se pak do výstupního souboru *GM_3D_grid.dat* v oblasti výskytu poruchy zapisuje kód tektoniky (hodnota +10 ke kódu typu horniny) a příslušná hodnota míry nejistoty způsobená tektonikou.

7.1.3 Popis makra *Geol_model_3D*

Vstupy:

- *Hor_*.grd* - gridy Z dělicích horizontů vrstev: 5 - povrch, 4 - báze kvartéru, 3 - strop uhelných poloh (horizont 3), 2 - strop těženého uhlí (horizont 9), 1 - báze těženého uhlí (horizont 10), viz 3.1.
- *Tekt_*.dat* – textové soubory s obvodovými polygony a nejistotami tektonik v typu horniny (vrstvě) *: 5 - kvartér mezi dělicími horizonty vrstev 4 a 5, 4 - nadloží mezi dělicími horizonty vrstev 3 a 4, 3 - uhelná série mezi dělicími horizonty vrstev 2 a 3, 2 - těžené uhlí mezi dělicími horizonty vrstev 1 a 2, 1 - podloží pod dělicím horizontem vrstev 1, viz 3.1.2. Pokud v typu horniny *X* není tektonika určena, pak *Tekt_X.dat* neexistuje.

Příprava:

- Vytvoření pracovního adresáře, kde se umístí *Geol_model_3D.xlsm*. V tomto adresáři se makro *Geol_model_3D* spustí tlačítkem (viz obr. 3-6) a do něj se také ukládá výstupní soubor (viz výstupy).
- Uložení 2D gridů Z dělicích horizontů vrstev (*Hor_*.grd*) do adresáře uvedeném v buňce M13 (viz obr. 3-6).

- Uložení textových souborů *Tekt_*.dat* s obvodovými polygony a nejistotami tektonik ve vrstvě * do adresáře uvedeném v buňce M13 (viz obr. 3-6).

Postupně se vytváří výstupní textový soubor *GM_3D_grid.dat* - soubor 3D gridu geomodelu hodnot typů hornin, tektoniky a míry nejistoty typů hornin a tektoniky na základě 2D gridů *Hor_*.grd* Z dělicích horizontů vrstev a textových souborů *Tekt_*.dat* s obvodovými polygony a nejistotami tektonik v typu horniny (vrstvě) * ve všech bodech 2D gridů dělicích horizontů vrstev (mimo body s hodnotou *No-Data value* 1.70141e+038) ve stejné síti (ve zkušebním příkladu 5*5 m) podle zadaných parametrů:

- „Krok Z 3D modelu“ - viz obr. 3-6, buňka H14,
- „Počet horizontů (typů základních hornin 1, 2, ...)“ – viz obr. 3-6, buňka H11,
- „Mocnost podloží (pod posledním horizontem) a nadloží (nad horním horizontem modelu), které budou zahrnuto do modelu (m)“ – viz obr. 3-6, buňka M15,
- „Číslo horního horizontu zahrnutého do modelu“ – viz obr. 3-6, buňka H16,
- „Poloměr vyhledávací kružnice (m) zóny pro stanovení nejistoty hornin na dané úrovni XY“ – viz obr. 3-6, buňka H18,
- „Vzdálenost ve směru Z (m) zóny pro stanovení nejistoty hornin na dané úrovni XY“ – viz obr. 3-6, buňka H19,
- „Počet typů hornin pro stanovení nejistoty hornin“ – viz obr. 3-6, buňka H20,

od podloží (od Z spodního dělicího horizontu vrstev minus M15) s krokem H14 směrem vzhůru až po Z dělicího horizontu vrstev H16 plus M15. Parametry H18 a H19 definují okolí pro určení entropie a odpovídající nejistotu typů hornin (poloměr a výšku vyhledávacího válce) a parametr H20 určuje počet typů hornin n – viz 7.1.1.

Výstupní textový soubor *GM_3D_grid.dat* obsahuje následující údaje:

- souřadnice X,

- souřadnice Y,
- souřadnice Z,
- typ hornin (1 - podloží pod horizontem 1, 2 - těžené uhlí mezi dělicími horizonty vrstev 1 a 2, 3 - uhelná série mezi dělicími horizonty vrstev 2 a 3, 4 - nadloží mezi dělicími horizonty vrstev 3 a 4, 5 - kvartér mezi dělicími horizonty vrstev 4 a 5)
- nejistota způsobená typy hornin (viz 3.1.1),
- tektonika (hodnota +10 k typu horniny v polygonech výskytu tektonik ve vrstvách 2 a 3 – viz 3.3.1), jinak typ hornin,
- nejistota způsobená tektonikou (viz 7.1.2).

Ukázka části výstupního souboru *GM_3D_grid.dat* je v tabulce 3-11. Tento soubor lze přímo načíst do prostředí programu *Voxler* (případně *Move*) pro provedení různých způsobů vizualizace strukturně geologického modelu a nejistot způsobenou typy hornin nebo tektonikou ve 3D.

Jestliže se bude vytvářet více variant modelu s různými parametry, je nutno soubor *GM_3D_grid.dat* přejmenovat (například do názvu souboru doplnit hodnoty parametrů *a/nebo datum*), neboť při dalším spuštění by se původní soubor *GM_3D_grid.dat* přepsal.

7.2. Výpočet obecné nejistoty, snížení nejistoty v okolí vrtů a sloučení hodnot různých druhů nejistot v bodech 3D gridu strukturně-geologického modelu

Výše popsany výpočet nejistoty typů hornin a zlomů je pouze úvodním krokem ke stanovení celkové nejistoty v jednotlivých buňkách 3D geologického modelu. Makro *MS Excelu Nejistota_Obec_Vrty* realizuje v 3D gridu strukturně geologického modelu a nejistoty typů hornin a typů tektoniky (viz část 7.1) dopočet „obecné nejistoty“ (zvyšující se hodnota minimální nejistoty směrem do hloubky), lokální snížení nejistoty (zvýšení věrohodnosti) v okolí průzkumných vrtů podle zadaných vstupních parametrů a sloučení hodnot různých druhů nejistot. Schéma vstupů a výstupů makra, které je naprogramováno v jazyce *VBA (Visual Basic for Applications)*, je na obr. 7-1.



Obr. 7-1: Schéma vstupů a výstupů makra *Nejistota_Obec_Vrty*.

7.2.1 Způsob dopočtu obecné nejistoty a snížení nejistoty v okolí vrtů

Tzv. „obecná nejistota“ číselně vyjadřuje fakt, že i povrchová geologie je ve větším detailu bez rozsáhlých technických prací do značné míry nejistá: nepřesná lokalizace litologických hranic (hranic vrstev), interpretativní lokalizace zlomů, neúplně kolmý průběh vrtů, nepřesná lokalizace horizontů ve vrtech apod. Smyslem polygonů obecné nejistoty, pokud se je uživatel rozhodne využít (viz 7.2.3), pak je v této obecné nejistotě expertním odhadem odlišit části území s obecně lepším a horším pokrytím daty. Hodnota obecné nejistoty stoupá lineárně směrem do hloubky od povrchu podle zadaných vstupních parametrů.

Lokální snížení nejistoty (zvýšení věrohodnosti) v okolí průzkumných vrtů probíhá podle vstupních parametrů zadaných pro každý vrt zvlášť ve vstupním souboru (obr. 7-2). Procento snížení nejistoty klesá lineárně v zadaném poloměru od polohy vrtu směrem k obvodu zadané kružnice vlivu, kde je už snížení nejistoty nulové.

1	ID	Easting	Northing	Elevation	Azimuth	Dip	Depth	Poloměr snížení nejistoty vrtu	% snížení nejistoty ve vrtu	Nejnižší vrstva
44	LM13	-788529.22	-981151.51	268.09	0	-90	345.16	56.00	35.00	1
45	MR10	-788875.85	-982844.99	271.14	0	-90	341.09	56.00	35.00	1
46	MR11	-787608.15	-982129.00	246.77	0	-90	313.97	56.00	35.00	1
47	MR12	-788950.47	-982547.84	273.07	0	-90	366.00	56.00	35.00	1
48	MR13	-788759.04	-982601.28	272.78	0	-90	375.33	56.00	35.00	1
49	MR26	-788803.45	-983147.69	268.69	0	-90	308.20	56.00	35.00	1
50	MR41	-788876.87	-982876.25	270.95	0	-90	336.58	56.00	35.00	1
51	MR42	-788860.92	-982759.44	271.33	0	-90	328.05	56.00	35.00	1
52	MR5	-787997.89	-981920.47	251.02	0	-90	315.81	56.00	35.00	1
53	MR50	-788541.13	-982725.18	272.62	0	-90	351.00	56.00	35.00	1
54	MR51	-788386.83	-982781.98	273.25	0	-90	381.98	56.00	35.00	1
55	MR6	-788187.70	-981741.60	255.83	0	-90	303.97	56.00	35.00	3
56	8	-788528.69	-981332.32	265.69	0	-90	362.68	41.00	25.00	1
57	12	-788662.33	-981313.26	266.02	0	-90	362.79	41.00	25.00	1
58	27	-788734.38	-982243.36	273.13	0	-90	338.22	41.00	25.00	3
59	30	-788609.50	-981665.23	261.16	0	-90	328.29	41.00	25.00	3
60	31	-788678.86	-981995.73	263.53	0	-90	329.81	41.00	25.00	3
61	34	-788322.89	-982106.09	258.22	0	-90	330.42	41.00	25.00	3
62	2-57KZ	-788954.18	-983432.32	266.26	0	-90	193.22	41.00	25.00	1
63	C-97	-787545.49	-983253.40	274.86	0	-90	314.74	41.00	25.00	1
64	I-78	-787222.11	-982164.09	244.02	0	-90	294.62	41.00	25.00	1
65	K-1	-788809.00	-981100.00	271.05	0	-90	373.69	41.00	25.00	1
66	K-2	-788714.50	-981836.00	262.35	0	-90	396.68	41.00	25.00	1
67	K-2A	-788657.50	-981814.90	260.28	0	-90	398.87	41.00	25.00	1
68	K-3	-788827.50	-982776.80	271.10	0	-90	351.66	41.00	25.00	1
69	KO6/57	-788891.38	-983294.67	268.00	0	-90	248.20	41.00	25.00	1
70	KZ25	-788789.42	-983025.76	269.33	0	-90	321.01	41.00	25.00	1

Obr. 7-2: Struktura vstupního souboru vrtů *vrtý_MR_nejistota.xlsx*.

7.2.2 Způsob sloučení hodnot různých druhů nejistot

Sloučení hodnot různých druhů nejistot v bodech 3D gridu je možné provést prostým součtem s omezením hodnotou 1 (maximální nejistota), ale správnější je spíše použití sloučení hodnot různých druhů nejistot na principech fuzzy logiky.

Fuzzy logika je rozšířením logiky dvouhodnotové na vícehodnotovou. Tzn., že se pravdivostní hodnota může spojitě měnit od 0 (nepravda) až po 1 (pravda). Tento stupeň pravdivosti se ve fuzzy logice nazývá *plauzabilita*, neboli věrohodnost (opak nejistoty).

Pro operaci konjunkce tvrzení $t_1, t_2, \dots, t_n$ platí, že věrohodnost (V) konjunkce tvrzení se rovná minimu věrohodností jednotlivých tvrzení (Vondrák, 2009):

$$V(\wedge(t_1, t_2, \dots, t_n)) = \min(V(t_1), V(t_2), \dots, V(t_n))$$

V našem případě v každém bodě 3D gridu oblasti zájmu potřebujeme sloučit různé druhy nejistoty, což provedeme tak, že v tomto bodě vybereme maximum všech prostorově odpovídajících druhů hodnot nejistoty (typů hornin, tektoniky a obecné nejistoty).

7.2.3 Popis makra Nejistota_Obec_Vrty

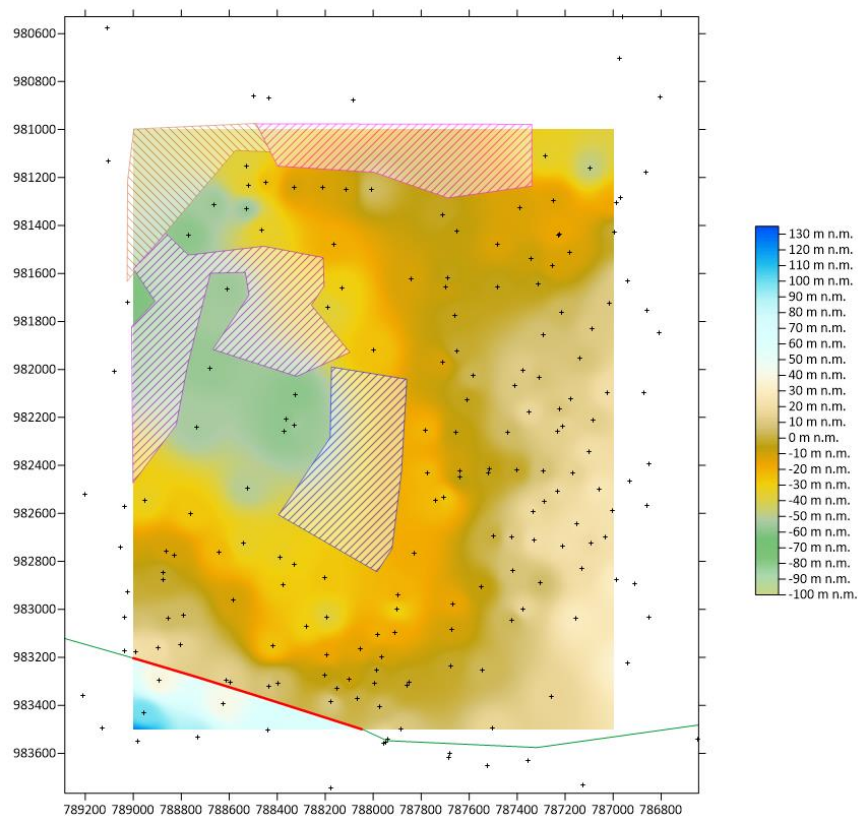
Vstupy:

- *.dat - soubor 3D gridu geomodelu hodnot typů hornin, tektoniky a míry nejistoty typů hornin a tektoniky (výstup z makra *Geol_model_3D* – viz 3.3).
- Soubor vrtů **.xlsx použitých pro konstrukci geomodelu. Ve zkušebním příkladu to byl soubor *vrty_MR_nejistota.xlsx*, jehož struktura je zobrazena na obr. 7-2.
- Grid Z povrchu (viz 3.3), ve zkušebním příkladu *Hor_5.grd*.
- 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)“. Struktura tohoto souboru s testovacími údaji zkušebního příkladu je v tab. 7-1 a vizualizace polygonů s jinou obecnou nejistotou *Polyg_obec.dat* ve zkušebním příkladu je na obr. 7-3.

Tabulka 7-1: Struktura souboru *Polyg_obec.dat*.

```
4 '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
8 0.01 0.4
-788173.64909925, -981989.86173198
-787859.94922125, -982040.73198246
-787882.55822147, -982427.91111117
-787922.12397184, -982747.26323922
-787984.29872244, -982843.35149014
-788394.08685136, -982605.95698787
-788179.3013493, -982283.77873479
-788173.64909925, -981989.86173198
7 0.01 0.35
-788489.14386937, -980976.12552935
-788398.07636365, -981152.32135565
-787996.19150142, -981178.05782466
-787689.33360168, -981284.96315747
-787338.92167747, -981235.46994783
-787338.92167747, -980978.10525773
-788489.14386937, -980976.12552935
8 0.05 0.4
-788427.77228943, -981092.92950409
-788574.27218995, -981086.99031893
-788867.27199098, -981431.46305798
-789025.65026181, -981633.39535329
```

```
-789023.67053343, -981211.71320721
-788997.93406442, -980997.90254159
-788489.14386937, -980974.14580096
-788427.77228943, -981092.92950409
19 0.05 0.35
-788865.03145135, -981431.92518871
-788770.24033513, -981523.20552285
-788456.02533877, -981486.34231098
-788208.51520197, -981533.73786909
-788205.00441989, -981651.34906885
-788257.66615112, -981732.09705674
-788097.92556638, -981928.70085335
-788319.10483756, -982028.75814269
-788668.42765475, -981916.41311606
-788517.46402521, -981689.96767176
-788533.26254458, -981595.17655553
-788678.96000099, -981598.68733762
-788773.75111721, -981983.11797562
-788821.14667532, -982230.62811242
-789001.44117048, -982472.8720761
-789007.21812568, -981819.8666088
-788908.91622738, -981716.29853737
-788998.44117048, -981581.1334272
-788865.03145135, -981431.92518871
```



Obr. 7-3: Vizualizace polygonů s jinou obecnou nejistotou *Polyg_obec.dat* ve zkušebním příkladu.

Příprava:

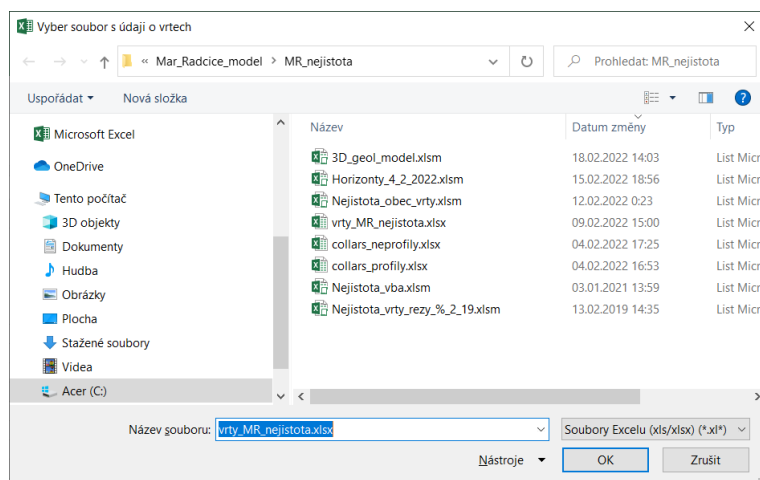
- Do pracovního adresáře se umístí soubor *MS Excelu Nejistota_obec_vrty.xlsm*, jehož součástí je makro *Nejistota_obec_vrty*.
- Do stejného pracovního adresáře se umístí vstupní soubory **.dat*, ***.*xlsx* a pokud existuje, tak i *Polyg_obec.dat* (viz výše Vstupy).
- Uložení 2D gridu Z povrchu (*Hor_5.grd*) do adresáře uvedeném v buňce M14 (viz obr. 7-4).

Zadání parametrů a spuštění makra: Po otevření souboru *Nejistota_obec_vrty.xlsm* se zadají vstupní parametry a tlačítkem s červeným textem „**Spust' makro Nejistota_Obec_Vrty**“ (obr. 7-4) se spustí výpočet.

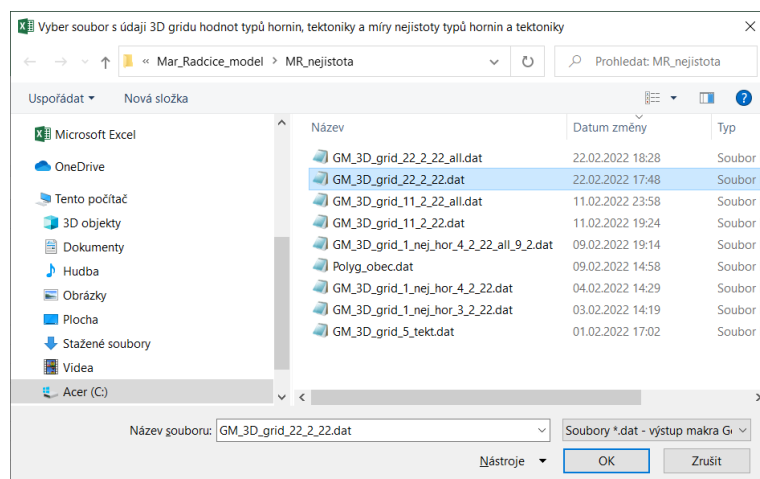
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O													
1			ČESKÁ GEOLOGICKÁ SLUŽBA		Makro Nejistota_Obec_Vrty																							
2	Provádí dopočet nejistoty geomodelu o nejistotu obecnou a snížení nejistoty v oblasti informačních bodů																											
3																												
4	Vstupy:		Textový soubor typu *.dat - výstup z makra Geol_model_3D																									
5			(3D geomodel a nejistota na základě typů hornin a typů tektoniky)																									
6			**.xlsx - soubor vrtů použitých pro konstrukci geomodelu																									
7			Hor_1.grd - grid Z povrchu																									
8			Polyg_obec.dat - polygony s jinou obecnou nejistotou pokud existují (viz řádky 15 a 17)																									
9																												
10	Výstup:		*.all.dat, ve kterém jsou dopočteny nejistoty geomodelu ve struktuře:																									
11			X Y Z Typ_horniny Nej_horniny(NH) Typ_tektoniky Nej_tektonika(NT) Nej_obec(NO) max(NH,NT,NO) Sniženi_vrty_%(NV_%) max(NH,NT,NO)-max(NH,NT,NV)*NV_%"0.01																									
12																												
13	Parametry výpočtu:																											
14	Grid Z povrchu:		C:\vgs\Poddolovani\Mar_Radvice_model\Horiz_Tekt\Hor_5.grd																									
15	Hodnota obecné nejistoty základní na povrchu (Nejistota_obec_povrch):		0.05																									
16	Hodnota obecné nejistoty základní v max. hloubce (Nejistota_obec_dole):		0.35																									
17	Existují polygony s jinou obecnou nejistotou - soubor Polyg_obec.dat (Ano/Ne):		Ano																									
18	Maximální hloubka pro obecnou nejistotu (hloubka_pro_nejistotu_obec_dole):		400 m																									
19																												
20																												
21																												
22	© František Staněk, 2023																											

Obr. 7-4: Zadání parametrů a spuštění makra *Nejistota_Obec_Vrty*.

Po spuštění makra je požadován výběr souboru vrtů **.xlsx* použitých pro konstrukci geomodelu (obr. 7-5) a po jeho potvrzení je požadován výběr souboru 3D gridu geomodelu hodnot typů hornin, tektoniky a míry nejistoty typů hornin a tektoniky **.dat* (obr. 7-6).



Obr. 7-5: Výběr souboru vrtů *.xls/xlsx použitých pro konstrukci geomodelu.



Obr. 7-6: Výběr souboru 3D gridu hodnot typů hornin, tektoniky a míry nejistoty typů hornin a tektoniky *.dat.

Při výpočtu se pro každý bod 3D gridu o souřadnicích X, Y, Z (řádku vstupního souboru 3D gridu hodnot typů hornin, tektoniky a míry nejistoty typů hornin a tektoniky *.dat - viz tabulka 3-11) stanovuje hodnota nejistoty obecné (stoupá lineárně směrem do hloubky od povrchu) na základě parametrů „Hodnota obecné nejistoty na povrchu (Nejistota_obec_povrch)“, „Hodnota obecné nejistoty v max. hloubce (Nejistota_obec_dole)“ a „Maximální hloubka pro obecnou nejistotu (hloubka_pro_nejistotu_obec_dole)“ – viz obr. 7-4. V případě, že má parametr „Existují polygony s jinou obecnou nejistotou - soubor Polyg_obec.dat (Ano/Ne)“ hodnotu „Ano“, přebírají se hodnoty obecné nejistoty na povrchu a v max. hloubce

pro body gridu uvnitř zadaných polygonů ze souboru *Polyg_obec.dat* (viz tab. 7-1).

Při výpočtu se pro každý bod 3D gridu o souřadnicích X, Y, Z (řádku vstupního souboru 3D gridu hodnot typů hornin, tektoniky a míry nejistoty typů hornin a tektoniky *.dat - viz tabulka 3-11) stanovuje také snížení již výše vypočtené hodnoty nejistoty (zvýšení věrohodnosti) v okolí průzkumných vrtů použitých ke konstrukci geomodelu (viz obr. 7-2 a 7-5), pokud vrt prochází v okolí bodu 3D gridu stanovované nejistoty - % snížení nejistoty klesá lineárně v zadaném poloměru (hodnota vrtu ve sloupci „*Poloměr snížení nejistoty vrtu*“, viz obr. 7-2) od polohy vrtu, kde je snížení nejistoty o hodnotu zadanou pro každý vrt ve sloupci „*% snížení nejistoty ve vrtu*“ (viz obr. 7-2), směrem k obvodu zadané kružnice vlivu, kde je snížení nejistoty nulové. Vrt přitom musí dosáhnout vrstvu (viz sloupec „*Nejnižší vrstva*“ ve vstupním souboru **.xlsx, viz obr. 7-2), ve které se nachází daný bod 3D gridu (například pokud vrt končí ve vrstvě 3, nebude vybírán pro snižování nejistoty ve vrstvě 2). Výpočet hodnoty % snížení nejistoty v okolí vrtu tak ovlivňují vstupní hodnoty zadané pro každý vrt ve vstupním souboru **.xlsx – viz obr. 7-2. Tato hodnota se pak také запиše do výstupního textového souboru.

Výstupní textový soubor *_all.dat obsahuje údaje, které jsou překopírovány ze vstupního souboru *.dat:

- souřadnice X,
- souřadnice Y,
- souřadnice Z,
- typ hornin (1 - podloží pod horizontem 1, 2 - těžené uhlí mezi dělicími horizonty vrstev 1 a 2, 3 - uhelná série mezi dělicími horizonty vrstev 2 a 3, 4 - nadloží mezi dělicími horizonty vrstev 3 a 4, 5 - kvartér mezi dělicími horizonty vrstev 4 a 5)
- nejistota způsobená typy hornin (viz 7.1.1),
- tektonika (hodnota +10 k typu horniny v polygonech výskytu tektonik ve vrstvách 2 a 3 – viz 3.3), jinak typ hornin,
- nejistota způsobená tektonikou (viz 7.1.2).

Nově se přidávají tyto údaje:

- obecná nejistota (viz výše),
- % snížení hodnoty nejistoty v okolí průzkumných vrtů (viz výše),
- maximum všech nejistot (viz 7.2.2) snížené o součet % nejistot v okolí průzkumných vrtů, tedy výslednou nejistotu stanovenou principy fuzzy logiky.

Ukázka části výstupního souboru *GM_3D_grid_22_2_22_all.dat* je v tabulce 7-2. Tento soubor lze přímo načíst do prostředí programu *Voxler* (případně *Move*) pro provedení různých způsobů vizualizace strukturně geologického modelu a všech typů nejistot ve 3D (viz 3.4 a 7.3).

Tabulka 7-2: Ukázka obsahu souboru *GM_3D_grid_22_2_22_all.dat*.

```
X Y Z Typ_hor Nej_hor Typ_tekt Nej_tekt Nej_obec Sniz_vrt_proc Nej_max
-789000 -983500 99 1 0.41 1 0 0.18 0 0.41
-789000 -983500 100 1 0.43 1 0 0.17 0 0.43
-789000 -983500 101 1 0.41 1 0 0.17 0 0.41
-789000 -983500 102 2 0.36 2 0 0.17 0 0.36
-789000 -983500 103 2 0.28 2 0 0.17 0 0.28
-789000 -983500 104 2 0.15 2 0 0.17 0 0.17
...
-788315 -983110 -59 1 0.3 1 0 0.3 2.68 0.29
-788315 -983110 -58 1 0.4 1 0 0.3 2.68 0.39
-788315 -983110 -57 2 0.43 2 0 0.3 2.68 0.42
-788315 -983110 -56 2 0.36 2 0 0.3 2.68 0.35
-788315 -983110 -55 2 0.23 2 0 0.3 2.68 0.29
-788315 -983110 -54 2 0.12 2 0 0.29 2.68 0.29
...
-787930 -982980 -60 1 0 1 0 0.3 14 0.26
-787930 -982980 -59 1 0.17 1 0 0.3 14 0.26
-787930 -982980 -58 1 0.32 1 0 0.3 14 0.28
-787930 -982980 -57 1 0.42 1 0 0.3 14 0.36
-787930 -982980 -56 2 0.41 2 0 0.3 14 0.35
...
```

7.3 Vizualizace 3D modelu míry nejistoty strukturně-geologického modelu

Hodnoty 3D gridu strukturně geologického modelu a 3D modelu míry nejistoty strukturně-geologického modelu, vypočtené makrem *Geol_model_3D* a doplněné makrem *Nejistota_Obec_Vrty*, obsažené v souboru *GM_3D_grid_*_all.dat*, lze různým způsobem vizualizovat v prostředí programu *Voxler* firmy Golden Software. Situace po načtení souboru *GM_3D_grid_22_2_22_all.dat* do prostředí

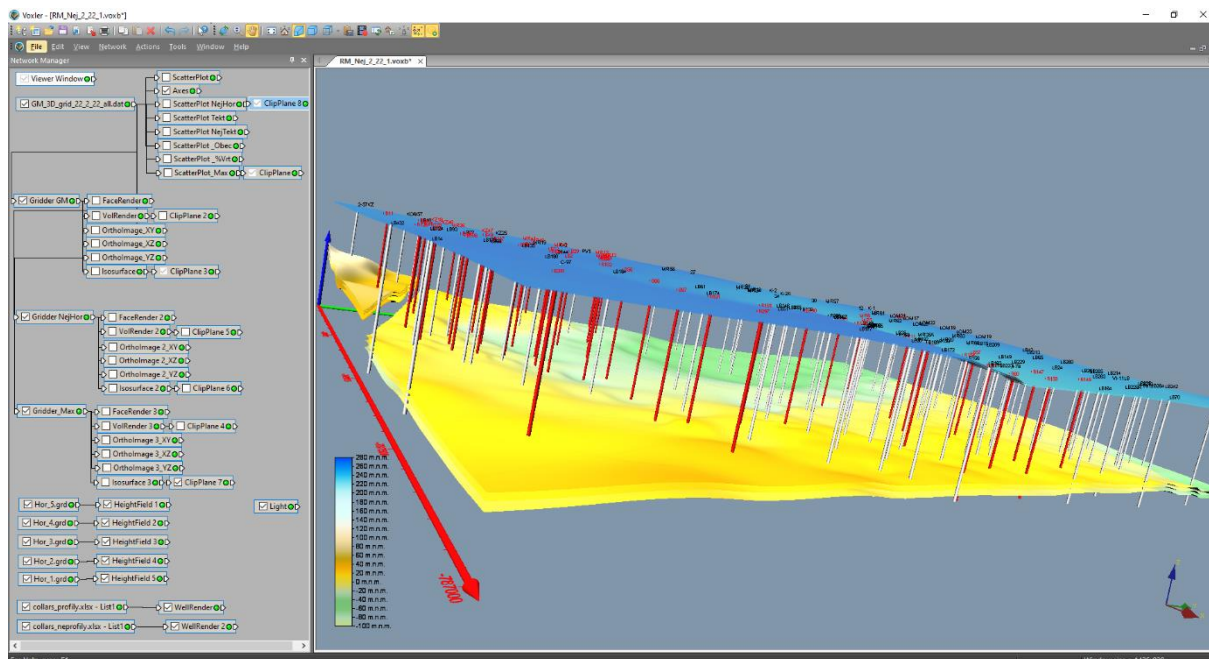
Voxleru a po vytvoření objektů pro vizualizaci je na obr. 7-7. Vlevo je seznam všech vytvořených objektů, výběrem kterých se zvolí typ zobrazení a druh zobrazované veličiny. Vlastnosti souboru *GM_3D_grid_22_2_22_all.dat* jsou na obr. 7-8. Dále jsou uvedeny příklady některých možných způsobů zobrazení 3D modelu míry nejistoty strukturně-geologického modelu (vizualizace 3D strukturně geologického modelu už byly popsány v části 3.4).

Přímo ze vstupního souboru (*GM_3D_grid_22_2_22_all.dat*) se dají provádět vizualizace s pomocí grafického výstupu *ScatterPlot* (obr. 7-7):

- nejistoty hranic horninových těles (*ScatterPlot NejHor*),
- nejistoty průběhů zlomů (*ScatterPlot NejTekt*),
- nejistoty obecné (*ScatterPlot_Obec*),
- % snížení nejistoty v okolí vrtů (*ScatterPlot_%Vrt*),
- nejistoty celkové (*ScatterPlot_Max*).

Vizualizace s pomocí grafických výstupů *FaceRender*, *VolRender*, *OrthoImage* a *Isosurface* vyžadují nejprve vytvoření interních 3D gridů Voxleru s pomocí *Gridder* (objekt *Gridder GM* pro geologický model, objekt *Gridder NejHor* pro nejistoty hranic horninových těles a objekt *Gridder_Max* pro celkovou nejistotu - viz obr. 7-7). Nastavení vlastností těchto tří interních 3D gridů je stejné, pro interní grid typů hornin *Gridder GM* už bylo nastavení vlastností vyobrazeno v části 3.4 na obr. 3-8.

KOMPLEXNÍ 3D MODEL VLIVŮ PODDOLOVÁNÍ NA POVRCH S MODELEM NEJISTOTY (PRO LOKALITU MARIÁNSKÉ RADČICE)



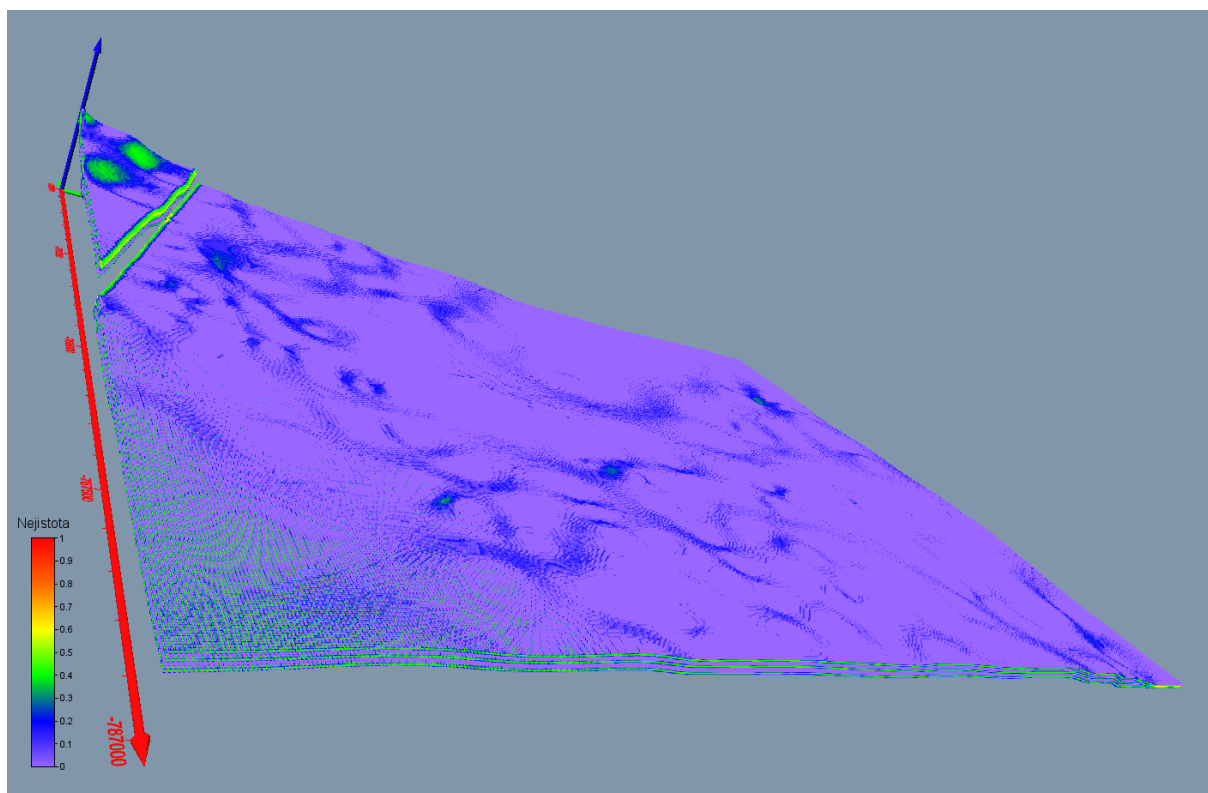
Obr. 7-7: Vizualizace geomodelu a jeho nejistoty geomodelu v prostředí Voxler (vstupní soubor *GM_3D_grid_11_2_22_all.dat*).

Property Manager	
☒ Auto Update	Update Now
General	
GM_3D_grid_22_2_22_all.dat (id:2)	
File path	D:\Prac\cgs\Mar_Radcice_model\MR_nejistota\GM_3D_grid_22_2_22_all.dat
Worksheet	Edit Worksheet
Output	
Output type	Points
Worksheet Columns	
X coordinates	Column A: X
Y coordinates	Column B: Y
Z coordinates	Column C: Z
Components	
Component columns	7
Component-1	Column D: Typ_hor
Component-2	Column E: Nej_hor
Component-3	Column F: Typ_tekt
Component-4	Column G: Nej_tekt
Component-5	Column H: Nej_obec
Component-6	Column I: Sniz_vrt_proc
Component-7	Column J: Nej_max
Labels	
Worksheet Rows	
Header row	1
Load all rows	☒
First row	2
Last row	6340680
Header row	
If set, the row with column header names.	

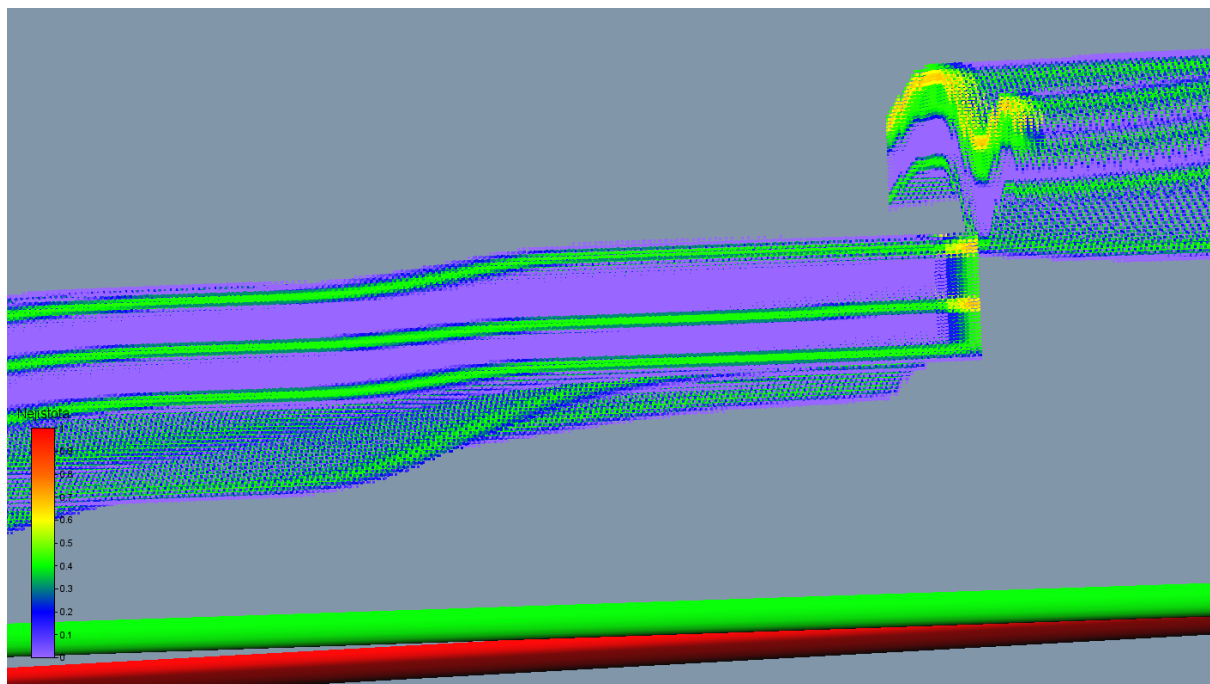
Obr. 7-8: Vlastnosti souboru *GM_3D_grid_11_2_22_all.dat*.

Vizualizace různých typů nejistoty s pomocí grafického výstupu *ScatterPlot* přímo ze vstupního souboru (*GM_3D_grid_11_2_22_all.dat*):

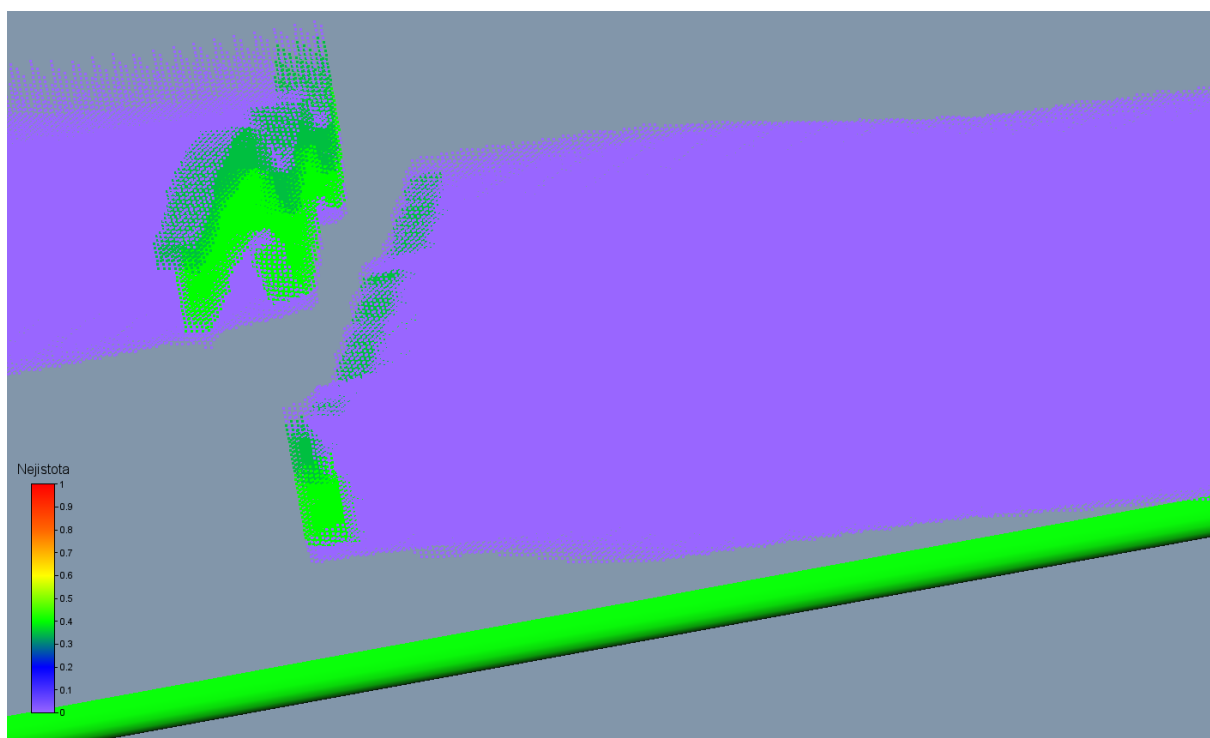
- Na obr. 7-9 je zobrazení nejistoty typů hornin (viz 7.1.1 a 7.1.3) a na obr. 7-10 řez -800 m od středu tělesa ve směru osy *X* s pomocí grafického výstupu *ClipPlane*.
- Na obr. 7-11 je zobrazení nejistoty tektoniky (viz 7.1.2 a 7.1.3).
- Na obr. 7-12 je zobrazení obecné nejistoty (viz 7.2.1).
- Na obr. 7-13 je zobrazení % snížení nejistoty v okolí informačních bodů – vrtů (viz 7.2.1 a 7.2.3).
- Na obr. 7-14 je zobrazení celkové nejistoty (viz 7.2.2 a 7.2.3) a na obr. 7-15 zobrazení celkové nejistoty - řez -300 m od středu tělesa ve směru osy *X* s pomocí grafického výstupu *ClipPlane*.



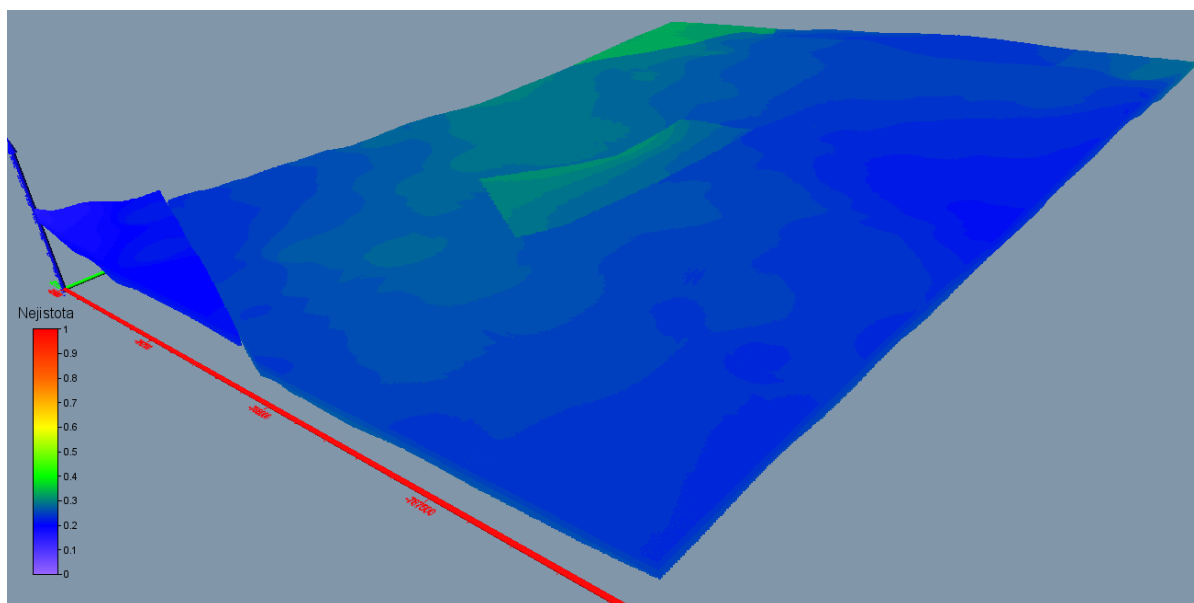
Obr. 7-9: Vizualizace nejistoty typů hornin.



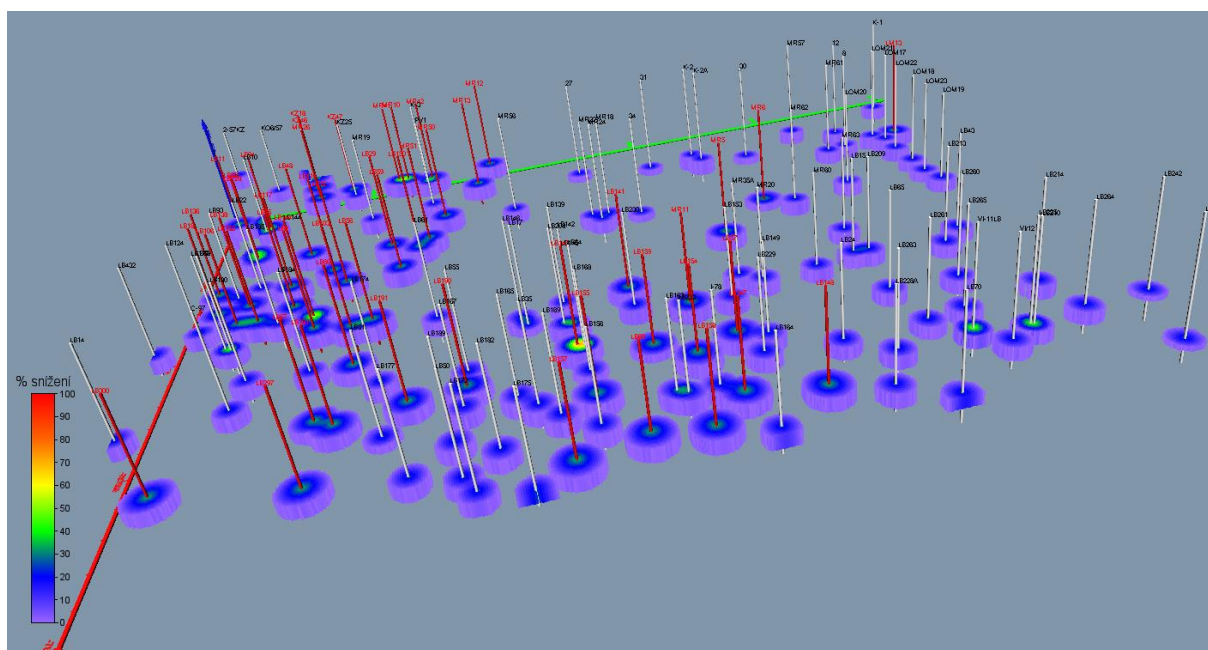
Obr. 7-10: Vizualizace nejistoty typů hornin v řezu -800 m od středu tělesa ve směru osy *X* s pomocí grafického výstupu *ClipPlane*.



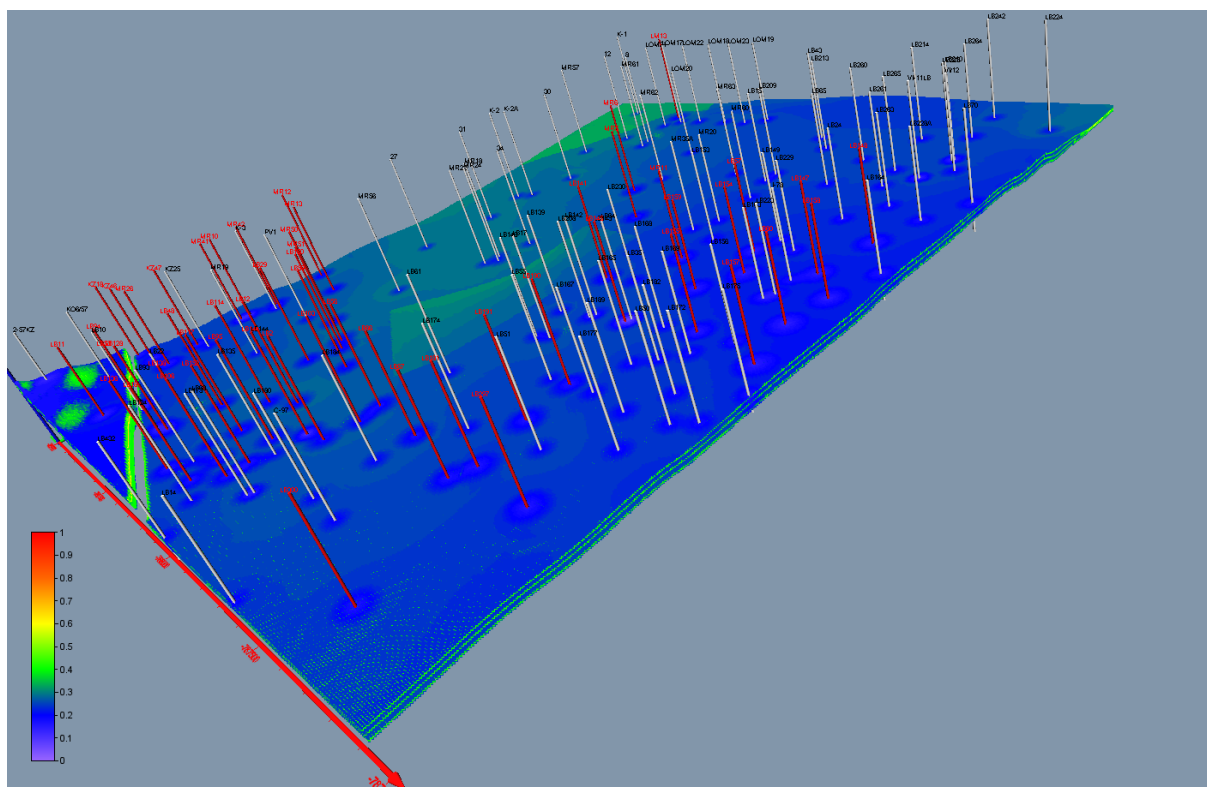
Obr. 7-11: Vizualizace nejistoty tektoniky.



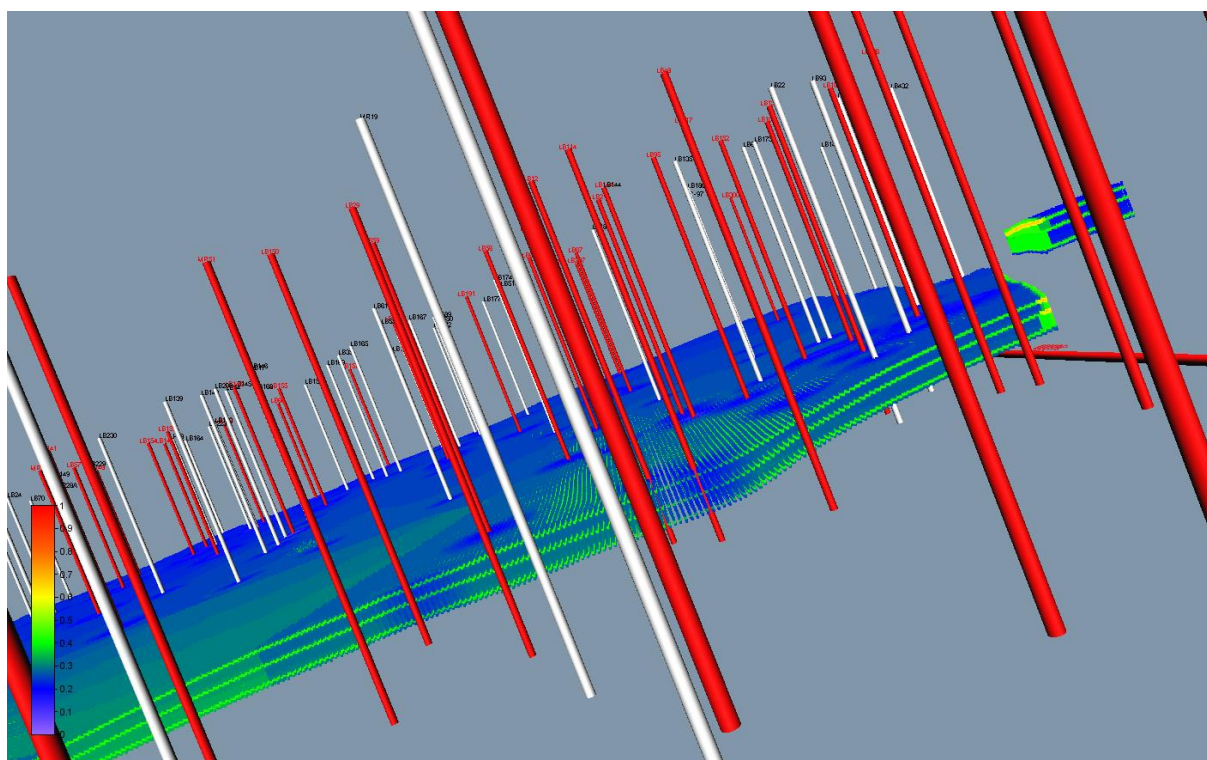
Obr. 7-12: Vizualizace obecné nejistoty.



Obr. 7-13: Vizualizace % snížení nejistoty v okolí informačních bodů – vrtů.

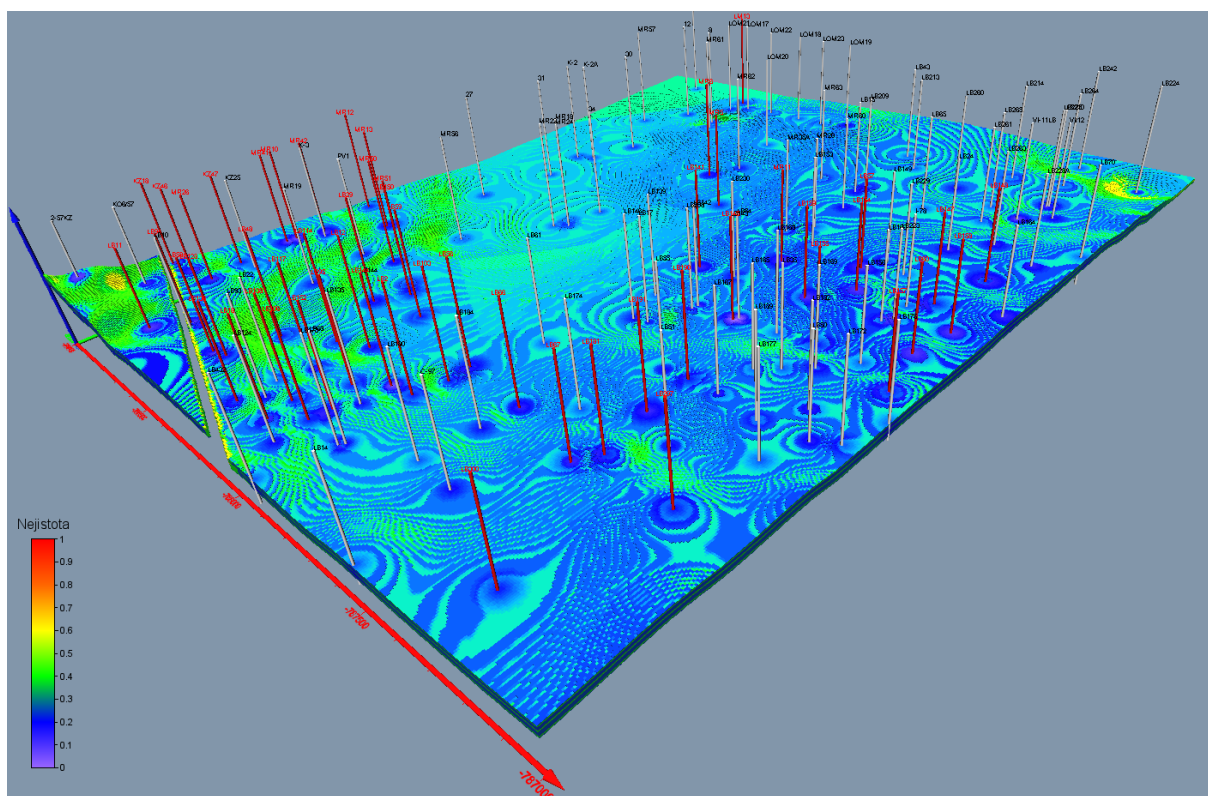


Obr. 7-14: Vizualizace celkové nejistoty strukturně geologického modelu.

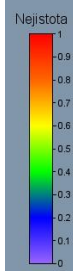


Obr. 7-15: Vizualizace celkové nejistoty strukturně geologického modelu - řez -300 m od středu tělesa ve směru osy X s pomocí grafického výstupu *ClipPlane*.

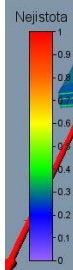
Dále jsou zobrazeny ukázky vizualizace celkové nejistoty s pomocí *FaceRender* (obr. 7-16), *VolRender* (obr. 7-17) a řezu 700 m od středu tělesa ve směru osy *X* s pomocí grafického výstupu *ClipPlane* (obr. 7-18), *OrthoImage_XY*, *OrthoImage_XZ* a *OrthoImage_YZ* (obr. 7-19), *Isosurface* (obr. 7-20) - obálky s mezní hodnotou nejistoty 0.35 a řez této obálky středem tělesa ve směru osy *X* s pomocí grafického výstupu *ClipPlane* (obr. 7-21).



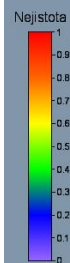
Obr. 7-16: Vizualizace celkové nejistoty strukturně geologického modelu s pomocí *FaceRender*.



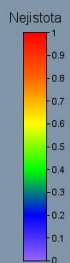
VolRender.



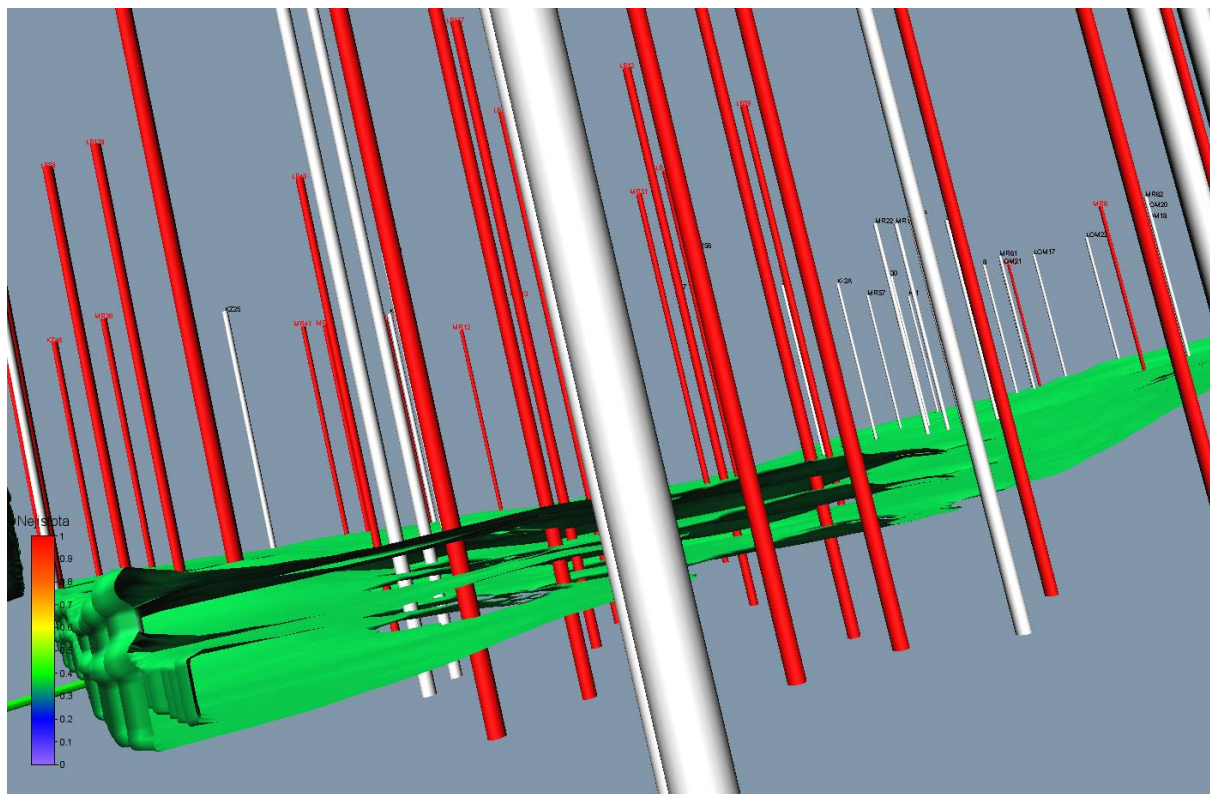
ClipPlane.



OrthoImage_XY, *OrthoImage_XZ* a *OrthoImage_YZ*.



Isosurface - obálka s mezní hodnotou nejistoty 0.35.



Obr. 7-21: Vizualizace celkové nejistoty strukturně geologického modelu s pomocí *Isosurface*, obálka s mezní hodnotou nejistoty 0.35 - řez středem tělesa ve směru osy *X* s pomocí grafického výstupu *ClipPlane*.

8. TECHNICKÉ PARAMETRY VÝSLEDKU

Výsledek představuje sadu čtyř dílčích 3D modelů nezbytných pro konstrukci finálního 3D modelu vlivů poddolování na povrch doplněných o 3D modelu nejistoty lokality Mariánské Radčice, který z těchto dílčích 3D modelů (především z 3D strukturně-geologického modelu) vychází (viz 7. kapitola). Modely jsou doprovázeny vysvětlujícím textem ve formě technické zprávy v českém jazyce. Vytvořený výstup 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 [7]. Kombinací těchto dílčích modelů je možné vytvořit komplexní 3D modely lokality Mariánské Radčice, které se, v závislosti na konkrétním účelu stanou podstatným vstupem pro tvorbu tzv. CIM (City Information Modeling). CIM jako rozvíjející se obor, je zásadní pro plánování a rozvoj městských aglomerací. Jeho přidanou hodnotou je, že jde nad rámec většiny současných modelů a souborů BIM (Building Information Modeling), zahrnuje infrastrukturní stavby a vymezení ochranných pásem ve vazbě na povrchovou situaci staveb. Všechny čtyři 3D modely jsou dostupné ke stažení ve formátu 3D pdf zde¹:

- **3D strukturně-geologický model – Mariánské Radčice**
https://rens.geology.cz/sites/default/files/2023-02/3D_strukturne-geologicky-model_Marianske_Radcice.pdf
- **3D digitální model reliéfu 5. generace (DMR5) a jeho porovnání s DEM k roku 1950 – Mariánské Radčice**
https://rens.geology.cz/sites/default/files/2023-02/DMR5G-a-DEM1950-Marianske_Radcice.pdf
- **3D Landscape model – Mariánské Radčice**
https://rens.geology.cz/sites/default/files/2023-02/3DLandscape-Marianske_Radcice.pdf

¹ Soubor ve formátu 3D pdf nelze otevřít přímo v okně prohlížeče kliknutím na odkaz.

Doporučený postup: Nejprve si soubor stáhněte a potom ho otevřete v programu *Adobe Reader* a označte dokument jako důvěryhodný.

- **3D model důlních děl a podzemních prostor – Mariánské Radčice**
https://rens.geology.cz/sites/default/files/2023-02/3D_model_dulnich_del_a_podzemnich_prostor-Marianske_RadciceV1.pdf
- **Software pro tvorbu 3D modelu nejistoty strukturně geologického modelu – Mariánské Radčice**
<https://rens.geology.cz/cs/vystupy-projektu>

9. EKONOMICKÉ PARAMETRY VÝSLEDKU

Dílčí modely, spolu různými požadovanými výstupními 3D variantami Softwaru pro tvorbu 3D modelu míry nejistoty strukturně-geologického modelu, proslouží jako základ pro tvorbu libovolných 3D zobrazení, včetně variabilního řešení komplexního modelu lokality Mariánské Radčice, který je podstatným vstupem pro tvorbu tzv. CIM (City Information Modeling) v daném katastrálním území.

Přesný ekonomický přínos je obtížné vyčíslit, mj. proto, že jde o modelový příklad řešení především z hlediska technického, aniž by byly specifikovány další okrajové podmínky řešení v rámci celého území intra- a extravilanu samotných Mariánských Radčic. Ekonomický přínos výsledku spočívá nicméně v možnosti provedení kategorizace (zónace) poddolovaného území na jednotlivé úseky podle dopadů hlubinné těžby na povrch.

10. ZÁVĚR

Komplexní modelové řešení vycházející z možnosti kombinace sady dílčích 3D modelů, včetně 3D modelu nejistoty strukturně-geologického modelu pro lokalitu Mariánské Radčice, ovlivněnou rozsáhlou hlubinnou těžbou, jsou unikátní v tom, že specifikují jednotlivé nezbytné a postupné kroky tvorby finálního komplexního variantního 3D pohledu na poddolování lokality, a to od pořízení potřebných vstupních údajů z archivní dokumentace, přes uplatnění moderních algoritmů tvorby 3D modelů ložiska, báňského modelu až po vizualizaci původního a současného terénu.

V případě zásadního strukturně-geologického 3D modelu, ověřeného originálním softwarovým řešením, tj. 3D modelem nejistoty, je zde podrobně popsáno a obrazově prezentováno speciálně vytvořeného programového vybavení od zajištění kontroly vstupních dat, kompatibility použitých programů (MS Excel, Surfer, Voxler, MOVE) atd.

Literatura

- [1] Mach, K. (1993). Korelace vrstev hlavní uhelné sloje mezi lomy Bílina, Koupisty a VČSA., Zpravodaj SHD 4/93, 31–40.
- [2] Mach, K. (2002). Anomální stavba hlavní hnědouhelné sloje v prostoru mio-cenní bílinské delty a její geneze. Doktorská práce Přf UK v Praze.
- [3] Mach, K. (2017). Výpočet zásob hnědého uhlí na ložisku Bílina- Lom Bílina (3 075 700) stav k 31.12.2017. Archiv OMG SD a.s., Bílina.
- [4] Malkovský, M. a kol. (1985). Geologie severočeské hnědouhelné pánve a jejího okolí. – Oblastní regionální geologie ČSR, Ústřední ústav geologický, Praha.
- [5] Pešek, J. (2010). Terciární pánve a ložiska hnědého uhlí České republiky. Česká geologická služba, Praha, 415 str.
- [6] Rajchl, M., Uličný, D. (2005). Depositional record of an avulsive fluvial system controlled by peat compaction (Neogene, Most Basin, Czech Republic). Sedimentology, 52(3), 601-625.
- [7] “Horninové prostředí a nerostné suroviny” Internet: <https://rens.geology.cz/cs>, [Dec. 23, 2022].
- [8] “Surfer Explore the depths of your data.” Internet: <http://www.goldensoftware.com/products/surfer/features>, [Dec. 23, 2022].
- [9] “Voxler Power forward into 3D visualization.” Internet: <http://www.goldensoftware.com/products/voxler/features>, [Dec. 23, 2022].
- [10] “MOVE Suite.” Internet: <https://www.petex.com/products/move-suite/>, [Dec. 23, 2022].
- [11] “Zeměměřický úřad.” Internet: <https://zememerickyurad.maps.arcgis.com>, [Dec. 23, 2022].