

# Metodika pro tvorbu komplexního 3D modelu vlivů poddolování na povrch – relevantního vstupu pro City Information Modeling

(pro lokalitu Mariánské Radčice)

## Autoři:

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

## Označení výsledku ISTA:

SS02030023-V40



Rock  
Environment  
Natural  
Resources

T A  
Č R

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

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

## Obsah

Metodika pro tvorbu komplexního 3D modelu vlivů poddolování na povrch – relevantního vstupu pro City Information Modeling .....	1
<b>1. ÚVOD .....</b>	<b>7</b>
<b>2. ZÁKLADNÍ GEOLOGIE A REGIONÁLNĚ GEOLOGICKÁ POZICE LOKALITY MARIÁNSKÉ RADČICE .....</b>	<b>10</b>
<b>3. 3D STRUKTURNĚ-GEOLOGICKÝ MODEL.....</b>	<b>14</b>
3.1 <i>Revize, verifikace a korekce vstupních archivních dat .....</i>	<i>14</i>
3.1.1 Grid povrchu před hlubinnou těžbou .....	18
3.1.2 Identifikace průběhu zlomu Victoria v horizontech 10, 9 a 3 .....	18
3.2 <i>Výpočet a vizualizace prostorové lokalizace vstupních dat .....</i>	<i>20</i>
3.2.1 Vytvoření gridů horizontů 10, 9 a 3 vhodnou interpolační metodou .....	20
3.2.2 Typy hornin .....	21
3.3 <i>Konstrukce 3D strukturně geologického modelu .....</i>	<i>23</i>
3.4 <i>Vizualizace strukturně geologického modelu ve 3D .....</i>	<i>25</i>
<b>4. DIGITÁLNÍ MODEL TERÉNU DMR5G A DEM1950.....</b>	<b>33</b>
<b>5. 3D LANDSCAPE MODEL S DETAILIZACÍ VYBRANÝCH OBJEKTŮ STAVEB A OCHRANNÝCH PÁSEM.....</b>	<b>37</b>
<b>6. MODELOVÁNÍ DŮLNÍCH DĚL A PODZEMNÍCH PROSTOR – BÁŇSKÝ MODEL A NAVAZUJÍCÍ MODEL PODDOLOVÁNÍ .....</b>	<b>42</b>
6.1 <i>Přístup k řešení metodiky .....</i>	<i>45</i>
6.2 <i>Pořízení a zpracování primárních dat .....</i>	<i>45</i>
6.3 <i>Modelování podzemních prostor .....</i>	<i>51</i>
6.4 <i>Výpočet poklesů vlivem poddolování.....</i>	<i>57</i>
6.4.1 Vytvoření rozdílového modelu reliéfu terénu .....	57
6.4.2 Zadání vstupních parametrů .....	59
6.4.3 Nastavení dalších parametrů výpočtu .....	62
6.4.4 Výstupy z programu SDPS.....	66
<b>7. TECHNICKÉ PARAMETRY VÝSLEDKU .....</b>	<b>69</b>
<b>8. EKONOMICKÉ PARAMETRY VÝSLEDKU .....</b>	<b>70</b>
<b>9. ZÁVĚR.....</b>	<b>71</b>
<b>Literatura .....</b>	<b>72</b>

## Seznam tabulek

Tabulka 3-1: Ukázka souboru <i>3.pbd</i> .....	14
Tabulka 3-2: Ukázka souboru <i>3.xlsx</i> . ....	15
Tabulka 3-3: Ukázka souboru <i>Horizonty.xlsm</i> . ....	15
Tabulka 3-4: Ukázka kontrol souboru <i>Horizonty.xlsm</i> .....	16
Tabulka 3-5: Ukázka tabulky vrtů.....	17
Tabulka 3-6: Souřadnice obvodového polygonu vymezeného území v souboru <i>Obvod.bln</i> . ....	18
Tabulka 3-7: Souřadnice zlomu Victoria v horizontu 3 v souboru <i>Fault_3.bln</i> . ....	19
Tabulka 3-8: Typy hornin a kódy vrstev. ....	21
Tabulka 3-9: Údaje v souboru <i>Profily s uhlím.xlsm</i> . ....	21
Tabulka 3-10: Údaje v souboru <i>1.xlsx</i> . ....	22
Tabulka 3-11: Ukázka obsahu souboru <i>GM_3D_grid.dat</i> . ....	25
Tabulka 6-1: Vstupní data do programu SDPS a jejich formáty.....	59
Tabulka 6-2: Hodnoty faktoru poklesu (Subsidence factor). ....	64

## 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.....	9
Obr. 2-1: Mapa polohy mostecké pánve v oherském riftu. Upraveno podle [6].....	10
Obr. 2-2: Schematický geologický řez Mosteckou pánví (podle [7]). .....	11
Obr. 2-3: Digitální model stropu hlavní sloje v rozsahu mostecké pánve (na podkladu DMRg s vyznačením pozice (červený obdélník) zájmového polygonu Mariánské Radčice. Sestaveno na základě dat poskytnutých Severočeskými doly a.s.....	13
Obr. 3-1: Průběhu zlomu Victoria pro 3. horizont (zeleně, jeho část uvnitř území červeně). .....	19
Obr. 3-2: Zadání parametrů interpolace pro horizont 3.....	20
Obr. 3-3: Dělicí horizonty vrstev.....	22
Obr. 3-4: Schéma vstupů a výstupů makra Geol_model_3D. ....	23
Obr. 3-5: Detail situace zlomu Victoria na podkladu báze vrstvy 2 (těžené uhlí). Fialovou barvou je zobrazen polygon <i>Uzemí_zlomu_Victoria.blh</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).....	23
Obr. 3-6: Zadání vstupních parametrů a tlačítko ke spuštění makra. ....	24
Obr. 3-7: Vizualizace geomodelu v prostředí <i>Voxler</i> (vstupní soubor <i>GM_3D_grid.dat</i> ). .....	26
Obr. 3-8: Nastavení vlastností interního 3D gridu typů hornin <i>Gridder GM</i> .....	26
Obr. 3-9: Vizualizace strukturně geologického modelu s pomocí grafického výstupu <i>ScatterPlot</i> . .....	27
Obr. 3-10: Vizualizace zlomu Victoria s pomocí grafického výstupu <i>ScatterPlot</i> . .....	28
Obr. 3-11: Vizualizace strukturně geologického modelu s pomocí grafického výstupu <i>FaceRender</i> .....	29
Obr. 3-12: Vizualizace řezu $X=500$ m strukturně geologického modelu s pomocí grafického výstupu <i>FaceRender</i> . ....	29
Obr. 3-13: Vizualizace strukturně geologického modelu s pomocí grafického výstupu <i>VolRender</i> . .....	30
Obr. 3-14: Vizualizace řezu $X=-700$ m od středu strukturně geologického modelu s pomocí grafického výstupu <i>ClipPlane</i> a <i>FaceRender</i> . .....	30
.....	31
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> . .....	31
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> . .....	32
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.....	34
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.....	35
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.....	36
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.....	36
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: Historické ortofoto modelového území, stav z roku 1953 (zdroj Cenia).....	46
Obr. 6-2: Použitý mapový list M 4113-2L důlně – měřické dokumentace.....	48
Obr. 6-3: Nastavení parametrů digitalizace v prostředí sw Carlson CADNET.....	49
Obr. 6-4: Interpretace vytvořených podkladů v software QGIS.....	50
Obr. 6-5: Nástroje pro editaci CAD 3D entit v prostředí software Carlson Civil.....	50
Obr. 6-6: Z příčných řezů vytvořený Solid model důlního díla (z materiálů Carlson Inc.).....	52
Obr. 6-7: Detailní pohled na Solid model vytěžené komory.....	53
Obr. 6-8: Detailní pohled na Solid model vytěžené komory vertikálními řezy.....	53
Obr. 6-9: Detailní pohled na Solid model vytěžené komory v řezu.....	54
Obr. 6-10: Detailní pohled na Solid model vytěžené komory rozdělený na horizontálními vrstvy.....	54
Obr. 6-11: Schéma konstrukce geologického-báňského modelu. (Severočeské doly a.s.).....	55
Obr. 6-12: Celkový pohled na 3D model dobývek.....	56
Obr. 6-13: Detailní pohled na dílčí model hlubinné dobývky vytvořené prostřednictvím objektu SOLID.....	56
Obr. 6-14: Rozdílový model reliéfu terénu mezi lety 1950 – 2020. Červený obdelník reprezentuje vymezení zájmového polygonu lokality Mariánské Radčice.....	58
Obr. 6-15: Struktura vstupních dat programu SDPS.....	60
Obr. 6-16: Dialog programu SDPS pro přímý import dat z AutoCAD.....	60

.....	60
.....	61
Obr. 6-17: Schematické znázornění pracovního postupu v programu SDPS.....	61
Obr. 6-18: Základní parametry poklesů vlivem poddolování.....	62
Obr. 6-19: Nastavení jednotlivých dobývek pro výpočet v programu SDPS.....	63
Obr. 6-20: Dialog pro alternativní možnost zadání parametrů výpočtu. ....	64
Obr. 6-21: Nastavení výstupů programu SDPS.....	65
Obr. 6-22: Ukázka textového souboru s výsledky výpočtu programu SDPS.....	66
Obr. 6-23: Situace hlubinných dobývek v blízkosti Mariánských Radčic s vypočtenou hranicí vlivů poddolování.....	67
Obr. 6-24: Použité metody hlubinné těžby v řešené lokalitě Mariánské Radčice.....	67
Obr. 6-25: Izolinie poklesů terénu v modelovém území. ....	68
Obr. 6-26: Izolinie horizontálních posunů v modelovém území. ....	68

## 1. ÚVOD

Život obyvatel žijících v území, které bylo v minulosti dotčené hlubinnou těžbou nerostných surovin, je vždy touto činností v menší nebo větší míře zasažen. Přestože byla tato činnost prováděna v mnoha případech již před delším časem, stále ještě ovlivňuje jejich životy. V mnoha případech není ani přesně známo, kde a v jaké době tato činnost v minulosti probíhala. Tato skutečnost je mnohdy podtržena i tím, že dokumentace v podobě důlních map je v řadě případů již nedohledatelná a často také ve velmi špatném stavu. Přitom je při řešení řady projektů z oblasti územního plánování, nebo například civilního inženýrství, znalost situace pod úrovní povrchu velmi žádoucí.

Je zřejmé, že hlubinnou těžbou dotčené horninové prostředí vykazuje výrazně odlišné vlastnosti od jeho původního stavu před započítím hornické činnosti. To se projeví například v režimu proudění spodních vod nebo například vytvořením podmínek pro vznik poklesových kotlin vlivem hlubinné těžby. Je tedy zřejmé, že minulá i současná hlubinná těžba je důležitým faktorem, který ovlivňuje celou řadu procesů v krajině s následným dopadem na územní plánování nebo projektování a realizaci pozemních staveb. Vytvoření příslušných 3D modelů, reprezentujících hlubinnou těžbu, s využitím nejnovějších přístupů k této problematice, je ideální platformou pro řešení mnoha důležitých úloh.

Pro vytvoření „Metodiky pro tvorbu komplexního 3D modelu vlivů poddolování na povrch“ bylo, jako jedna ze dvou pilotních území projektu RENS, zvolena modelová lokalita v těsné blízkosti obce Mariánské Radčice, nacházející se v předpolí dobývacího prostoru lomu Bílina (obr. 1-1). Hlubinná těžba hnědého uhlí zde byla prováděna na Dole Kohinoor II s dobývacím prostorem označeným jako Lom II, který se rozkládal v katastrálních územích Mariánské Radčice, Lom u Mostu, Libkovic u Mostu, Konobrže, Růžodol, Dolní Litvínov a Louka u Litvínova. Počátky hlubinné těžby hnědého uhlí je možné datovat na přelom 19 a 20 století. 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 velkého hlubinného dolu na území katastru obce Mariánské Radčice [3].

Při řešení reálného ovlivnění povrchu v důsledku poddolování je nezbytné pracovat s 3D komplexními modely, 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 [3] „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:

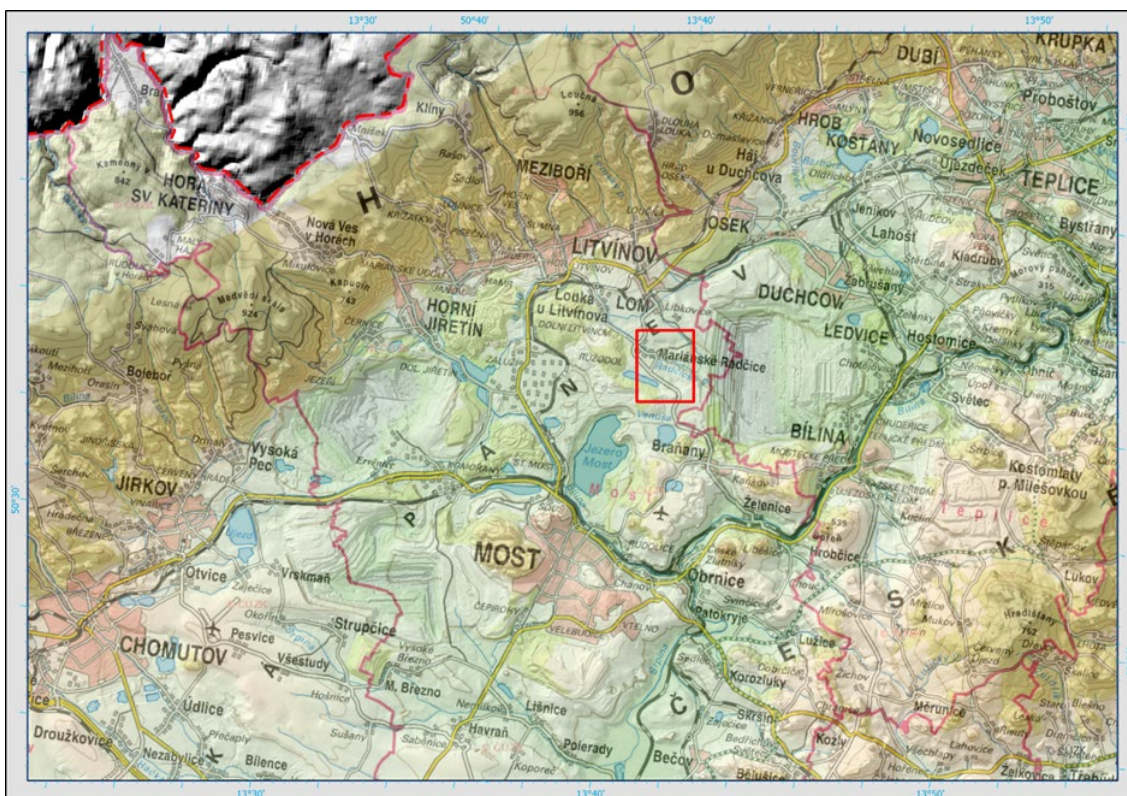
1. 3D strukturně-geologický model,
2. 3D digitální model reliéfu 5. generace (DMR5) a jeho porovnání s DEM k roku 1950,
3. 3D Landscape model s detailizací vybraných objektů staveb a ochranných pásem,
4. 3D model s vizualizací důlních děl a podzemních prostor.

Tyto 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. Na základě těchto modelů bude následně v další etapě řešení projektu RENS zpracována Certifikovaná metodika pro tvorbu komplexního 3D modelu vlivů poddolování na povrch, který bude relevantním vstupem pro City Information Modeling.

METODIKA PRO TVORBU KOMPLEXNÍHO 3D MODELU VLIVŮ PODDOLOVÁNÍ  
NA POVRCH – RELEVANTNÍHO VSTUPU PRO CITY INFORMATION DODELLING  
(PRO LOKALITU MARIÁNSKÉ RADČICE)

Prezentované 4 dílčí výstupy sice reprezentují 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

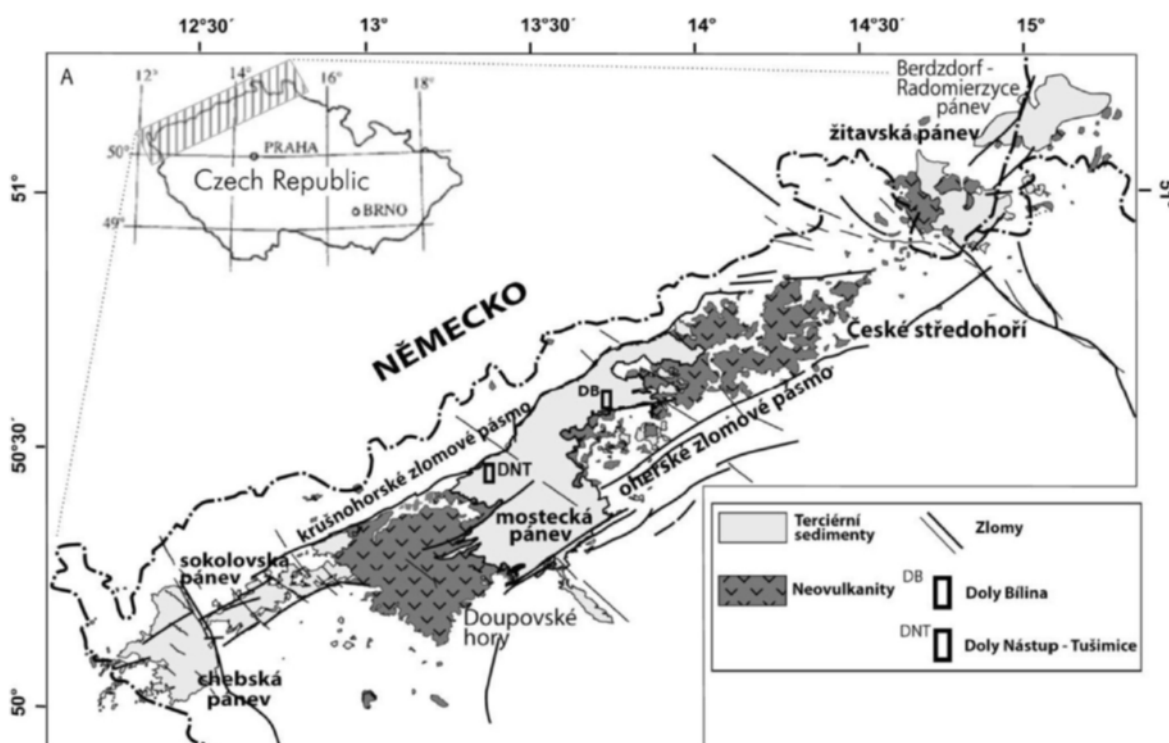


předpolí Dolu Bílina na podkladu digitálního modelu reliéfu DMR5 a topografické  
Základní mapy české republiky.



## 2. ZÁKLADNÍ GEOLOGIE A REGIONÁLNĚ GEOLOGICKÁ POZICE LOKALITY MARIÁNSKÉ RADČICE

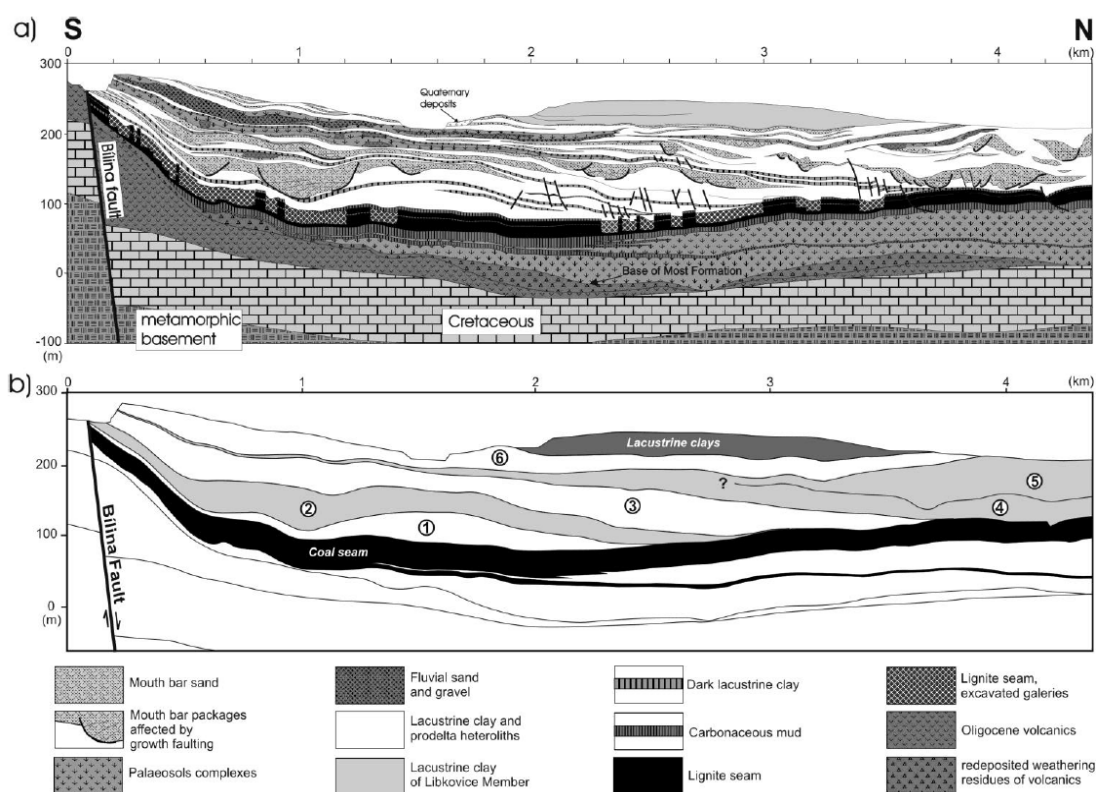
Jak je zřejmé z obr. 1-1, lokalita Mariánské Radčice vystupuje v rámci Mostecké dílčí pánve, která je součástí Severočeských pánví [3,4,5,6]. Jde o systém, resp. soustavou několika samostatných, tektonicky založených depresí, v rámci výrazné regionální tektonické struktury oherského riftu, vzájemně oddělených 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 [6].

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



Obr. 2-2: Schematický geologický řez Mosteckou pánví (podle [7]).

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 natolik, 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 řídicího tektonického režimu rozdělit do tří etap: předriftového, synriftového a poriftového stádia.

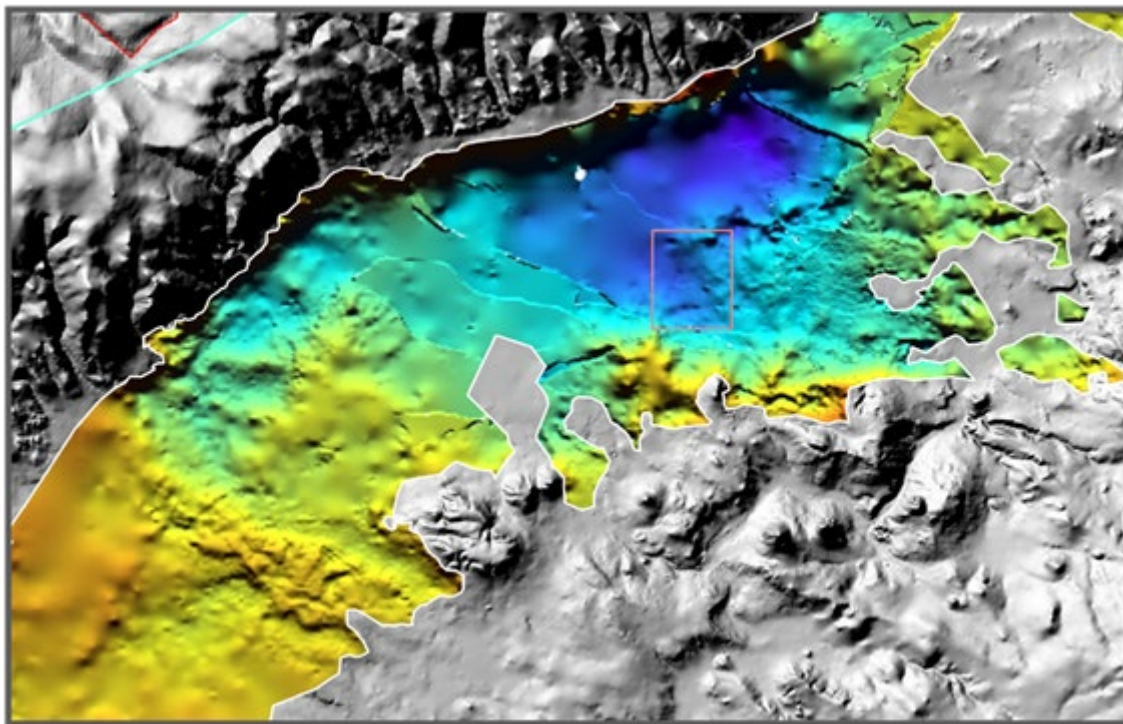
Během předriftového stádia vývoje se ukládaly v depresích stále poměrně nerovného reliéfu, bazální, převážně říční sedimenty, pestrobarevné písky, jíly a splachové sedimenty starosedelského souvrství eocénního stáří. Tyto sedimenty byly často před sedimentací mladších souvrství erodovány, ale na jejich 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 střezovského 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 sedimentací jezerní pánve [7]. Tvorba uhelných slojí



se proto v pozdějších fázích vývoje pánve soustředila jen na s. okraj mostecké pánve v okolí Lomu a Litvínova.



Obr. 2-3: Digitální model stropu hlavní sloje v rozsahu mostecké pánve (na podkladu DMRg s vyznačením pozice (červený obdélník) zájmového polygonu Mariánské Radčice. Sestaveno na základě dat poskytnutých Severočeskými doly a.s.

Samotná mostecká pánev (dříve též Severočeská hnědouhelná pánev, viz také obr. 2-3), v níž je situována i naše pilotní lokalita Mariánské Radčice, je třetihorní pánví, která byla založena v oligocénu [5,6]. 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 [7].

### 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* [11] a *Voxler* [12]. 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.xlsx*.**

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.xlsx* 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. Použití 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.blm*.**

```
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.blm* 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

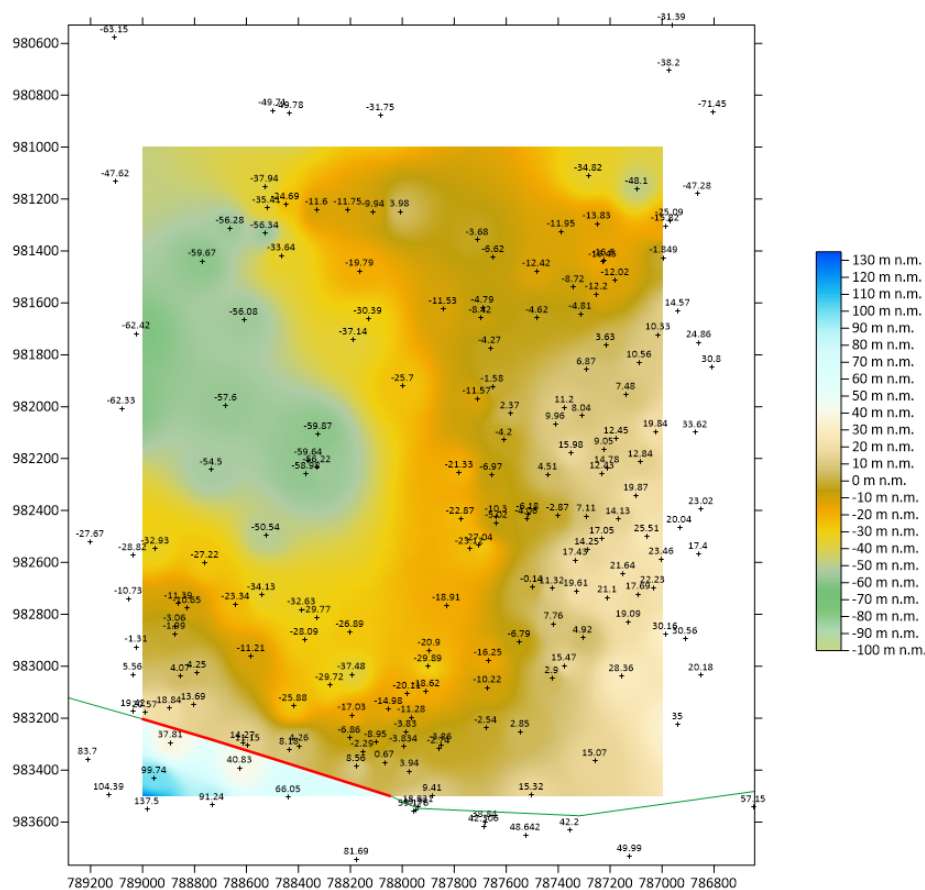
Hodnoty Z souřadnic horizontů 10, 9 a 3 (soubory *10.xlsx*, *9.xlsx* a *3.xlsx*) byly postupně vykresleny ve formě *Post map* v prostředí *Surfer*. Spolu se znalostmi o průběhu zlomu Victoria v této oblasti byly podkladem pro vytvoření vektoru průběhu zlomu Victoria v souborech *Fault\_10.blm*, *Fault\_9.blm* a *Fault\_3.blm* (viz tabulka 3-7) a jejich variantách *Fault\_10\_uvnitr.blm*, *Fault\_9\_uvnitr.blm* a *Fault\_3\_uvnitr.blm* uvnitř polygonu území vymezeném souborem *Obvod.blm*.



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

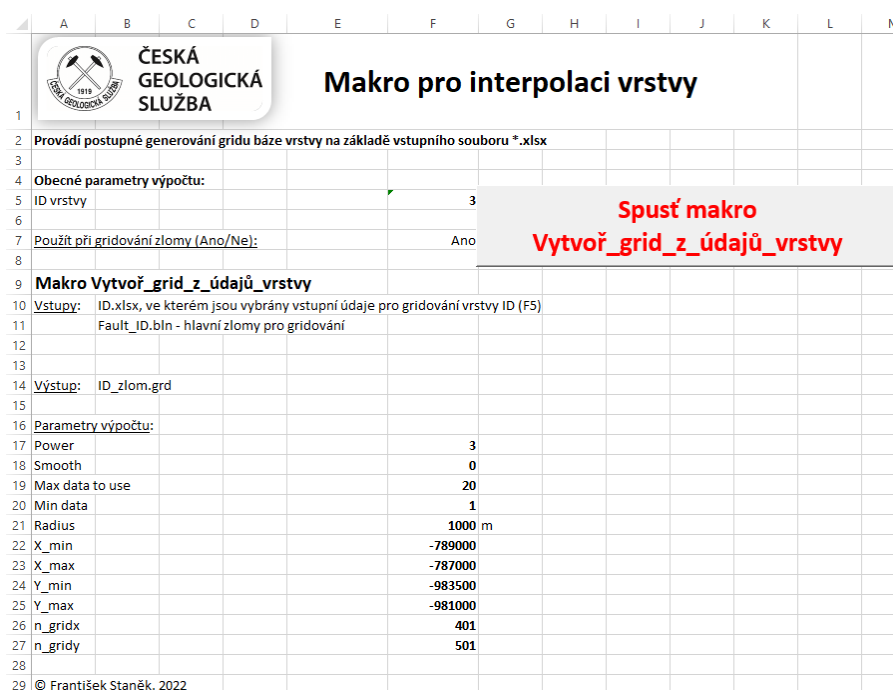


Obr. 3-1: Průběhu zlomu Victoria pro 3. horizont (zeleně, jeho část uvnitř území červeně).

## 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\_údatjů\_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 tu use*, *Min data*, *Radius*). Na základě výsledků testování byly jako nejvhodnější pro danou lokalitu vybrány parametry uvedené na obr. 3-2.



Row	Column	Value
2	Provádí postupné generování gridu báze vrstvy na základě vstupního souboru *.xlsx	
4	Obecné parametry výpočtu:	
5	ID_vrstvy	3
7	Použit při gridování zlomy (Ano/Ne):	Ano
9	Makro Vytvoř_grid_z_údatjů_vrstvy	
10	Vstup:	ID.xlsx, ve kterém jsou vybrány vstupní údaje pro gridování vrstvy ID (F5)
11		Fault_ID.blm - hlavní zlomy pro gridování
14	Výstup:	ID_zlom.grd
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
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	<b>Kvartér</b> – Vrstva mezi bází kvartéru (viz níže) a povrchem.
4	<b>Nadloží</b> - Vrstva mezi horizontem 3 a bází kvartéru.
3	<b>Uhelná série</b> - Vrstva mezi horizonty 9 a 3.
2	<b>Těžené uhlí</b> - Vrstva mezi horizonty 10 a 9.
1	<b>Podloží</b> - 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.xlsx*. Ukázka části těchto údajů je v tabulce 9.

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

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.

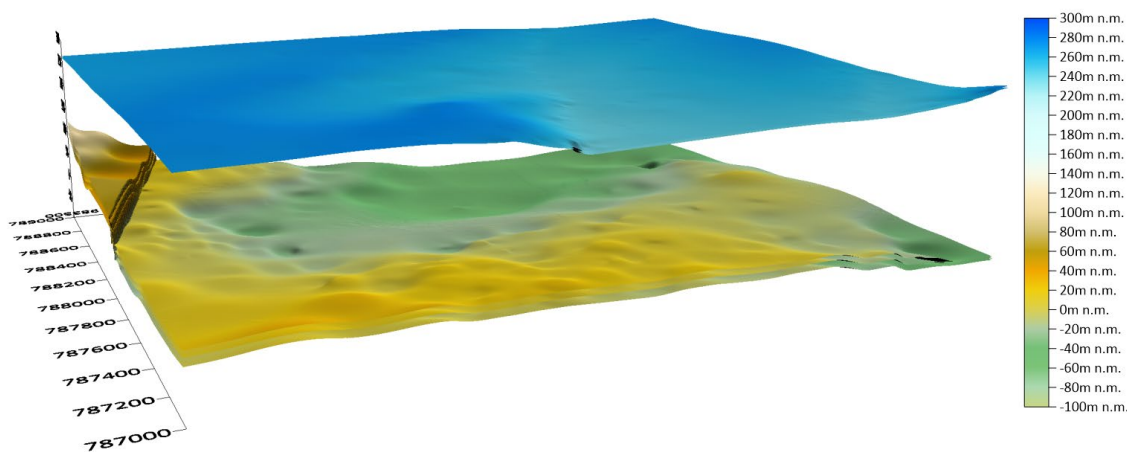
**Tabulka 3-10: Údaje v souboru 1.xlsx.**

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.

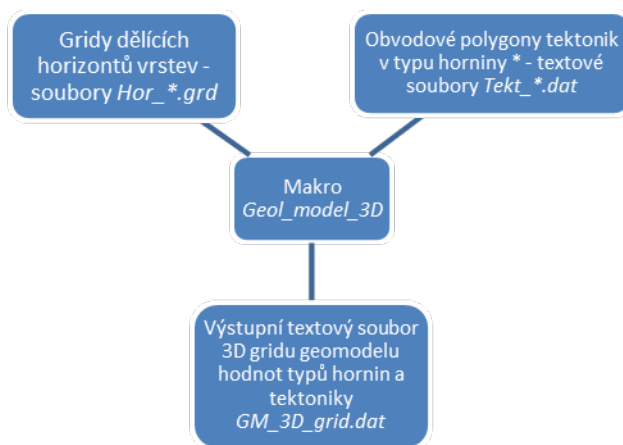


Obr. 3-3: Dělicí horizonty vrstev.

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 uhelných poloh, 2 - strop těženého uhlí, 1 - báze těženého uhlí).

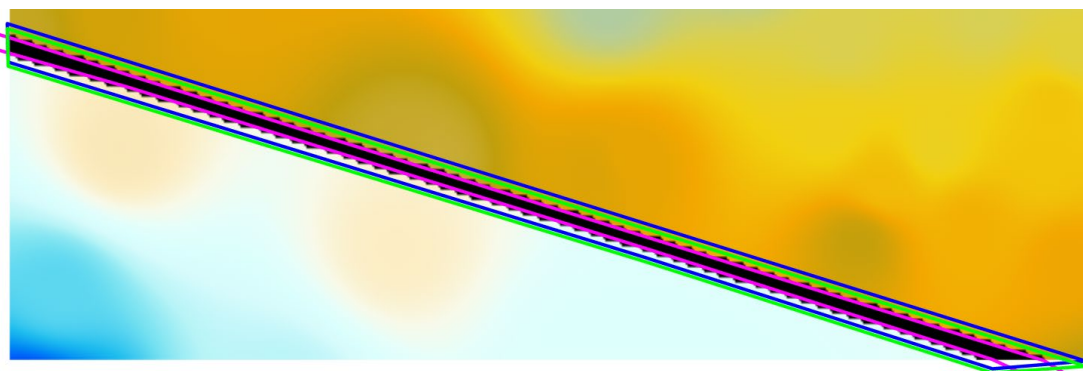
### 3.3 Konstrukce 3D strukturně geologického modelu

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
			<b>Geol_model_3D - vytvoření 3D gridu strukturně geologického modelu a míry nejistoty typů hornin a tektoniky</b>											
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	<b>Obecné parametry výpočtu:</b>													
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:\ěgs\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* [13]) 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.

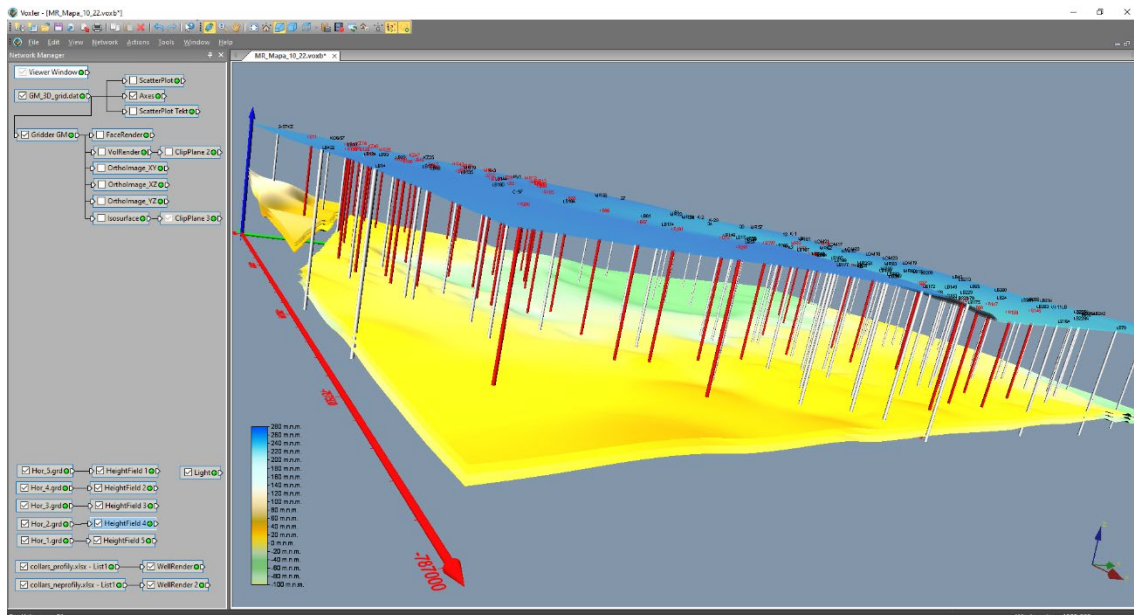
**Tabulka 3-11: Ukázka obsahu souboru *GM\_3D\_grid.dat*.**

```
...  
-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

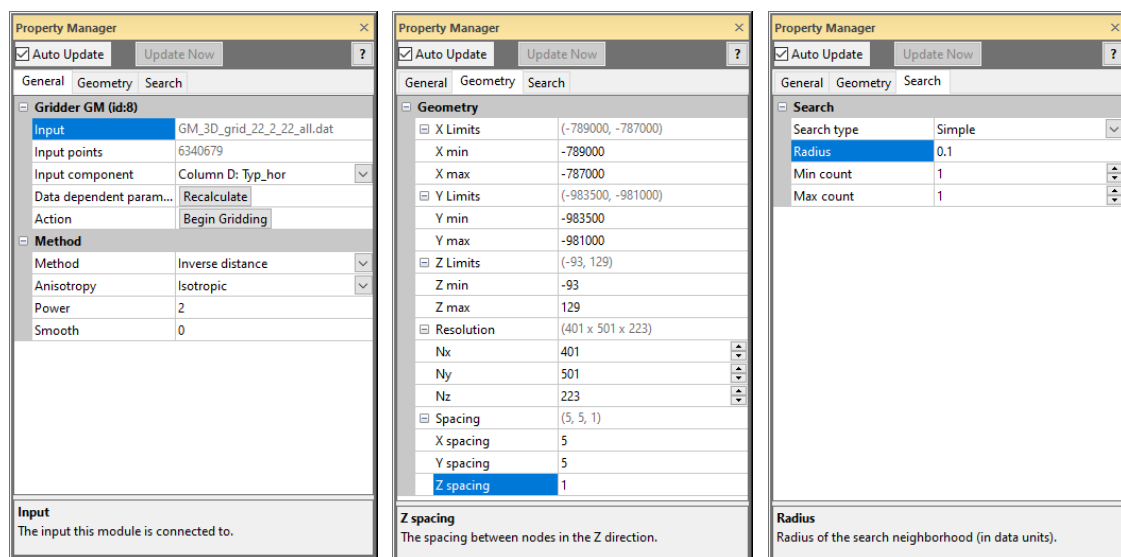
Hodnoty 3D gridu strukturně geologického modelu vypočtené makrem *Geol\_model\_3D* obsažené v souboru *GM\_3D\_grid.dat* lze různým způsobem vizualizovat v prostředí programu *Voxler* firmy Golden Software. Situace po načtení souboru *GM\_3D\_grid.dat* do prostředí *Voxleru* a po vytvoření objektů pro 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.

**METODIKA PRO TVORBU KOMPLEXNÍHO 3D MODELU VLIVŮ PODDOLOVÁNÍ  
NA POVRCH – RELEVANTNÍHO VSTUPU PRO CITY INFORMATION DODELLING  
(PRO LOKALITU MARIÁNSKÉ RADČICE)**



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*.



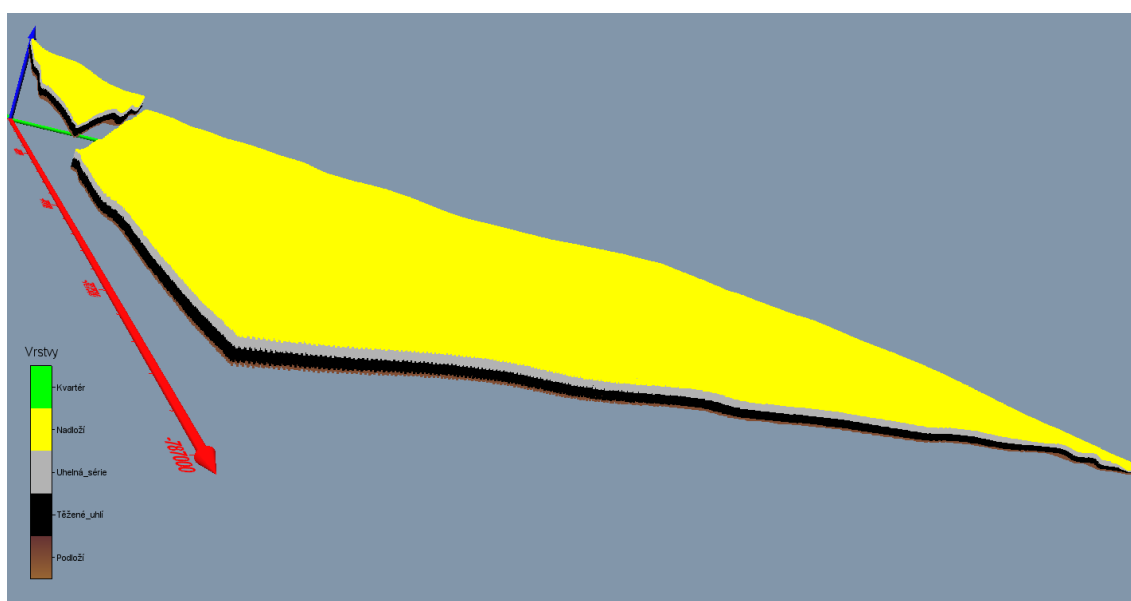
Obr. 3-8: Nastavení vlastností interního 3D gridu typů hornin *Gridder GM*.

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

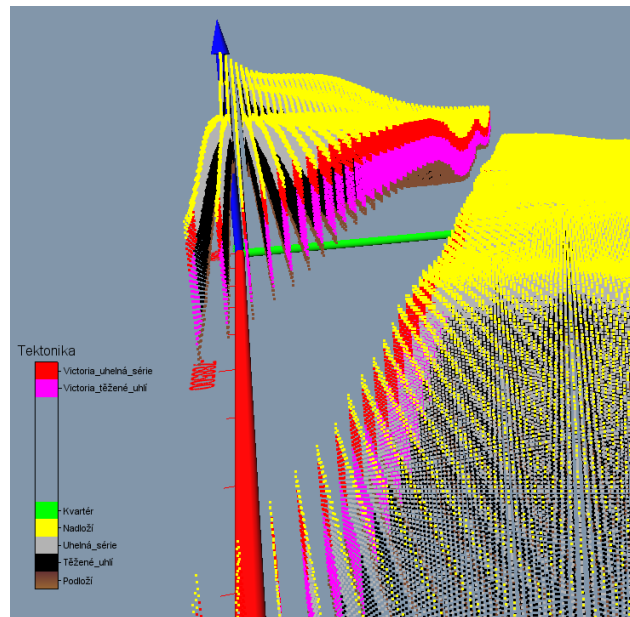
Horizonty (*Hor\_\*.grd* - gridy Z horizontů: 5 - povrch, 4 - báze kvartéru, 3 - strop uhelných poloh, 2 - strop těženého uhlí, 1 - báze těženého uhlí) jsou vykresleny s pomocí grafického výstupu *HeightField* (obr. 3-7).

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*.



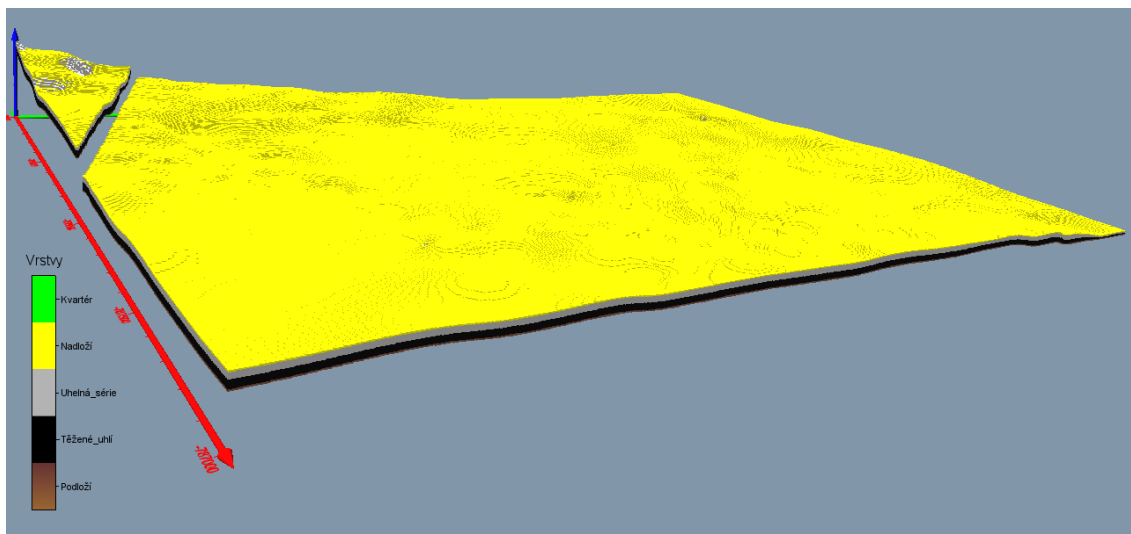


Obr. 3-10: Vizualizace zlomu Victoria s pomocí grafického výstupu *ScatterPlot*.

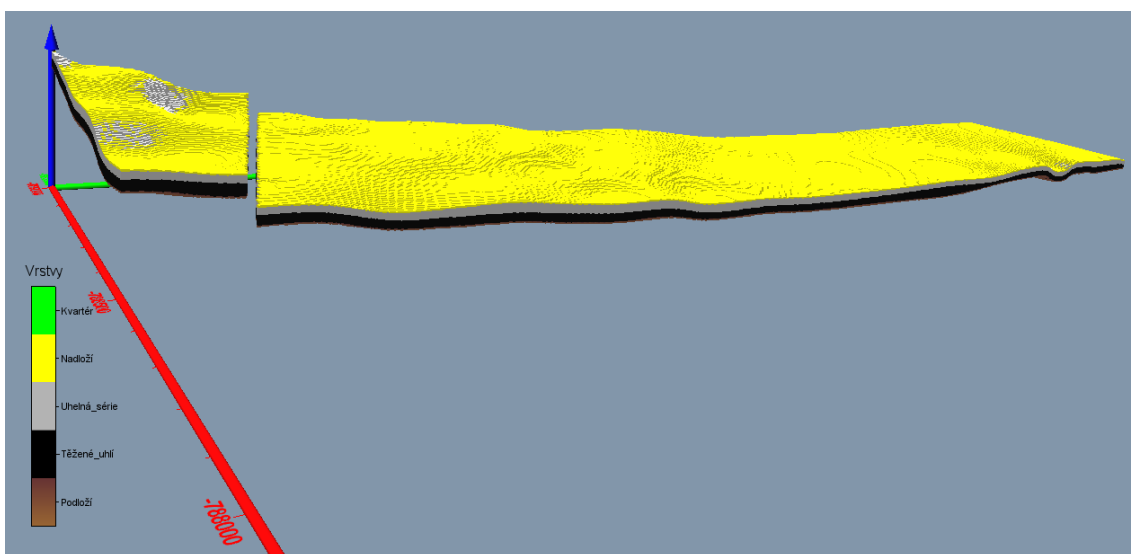
Na obr. 3-11 je vykreslen strukturně geologický model s pomocí grafického výstupu *FaceRender*. Tímto grafickým výstupem lze zobrazit i řezy tělesem (obr. 3-12).



METODIKA PRO TVORBU KOMPLEXNÍHO 3D MODELU VLIVŮ PODDOLOVÁNÍ  
NA POVRCH – RELEVANTNÍHO VSTUPU PRO CITY INFORMATION DODELLING  
(PRO LOKALITU MARIÁNSKÉ RADČICE)



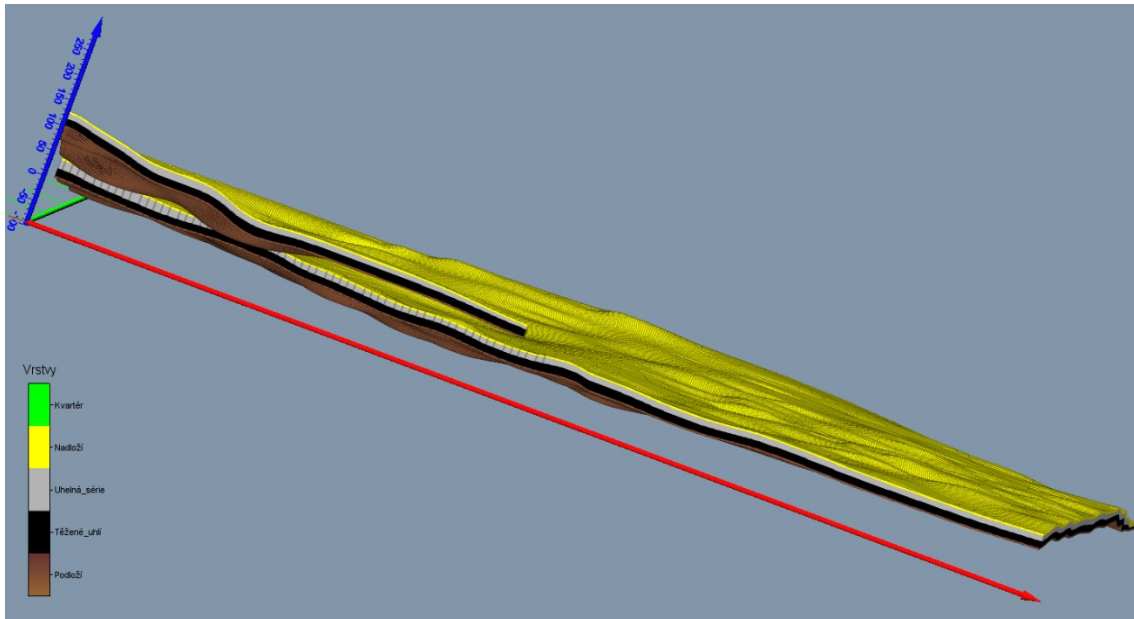
Obr. 3-11: Vizualizace strukturně geologického modelu s pomocí grafického výstupu *FaceRender*.



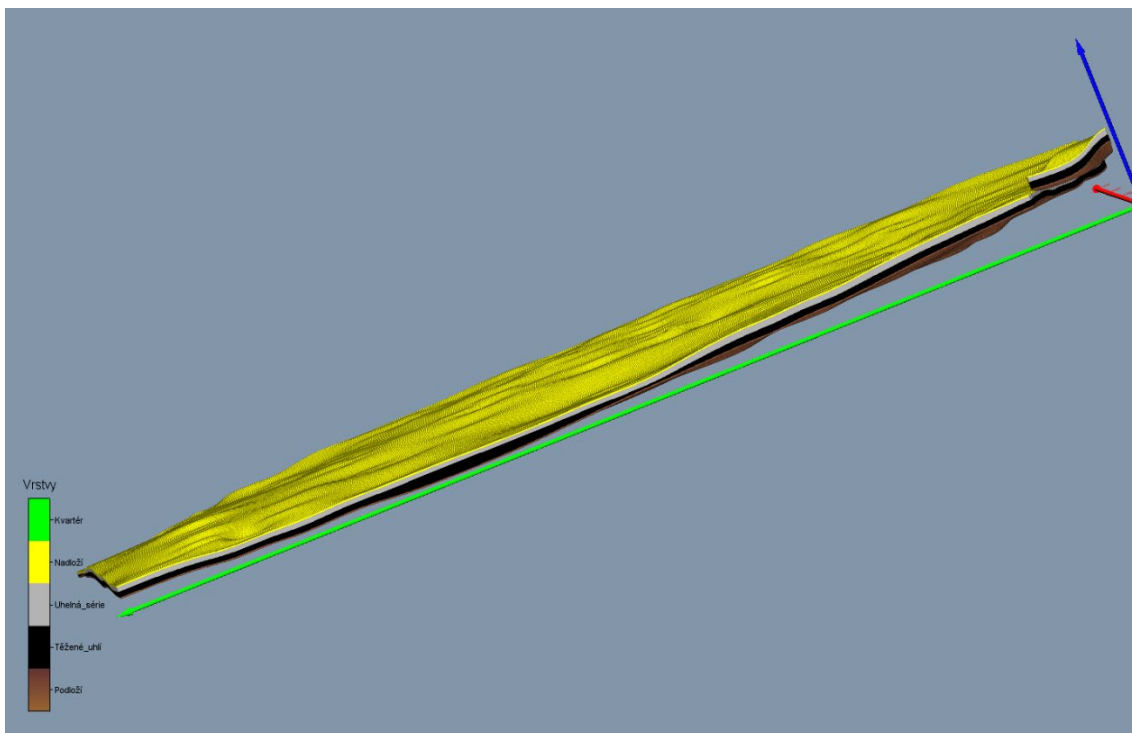
Obr. 3-12: Vizualizace řezu X=500 m strukturně geologického modelu s pomocí grafického výstupu *FaceRender*.

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).

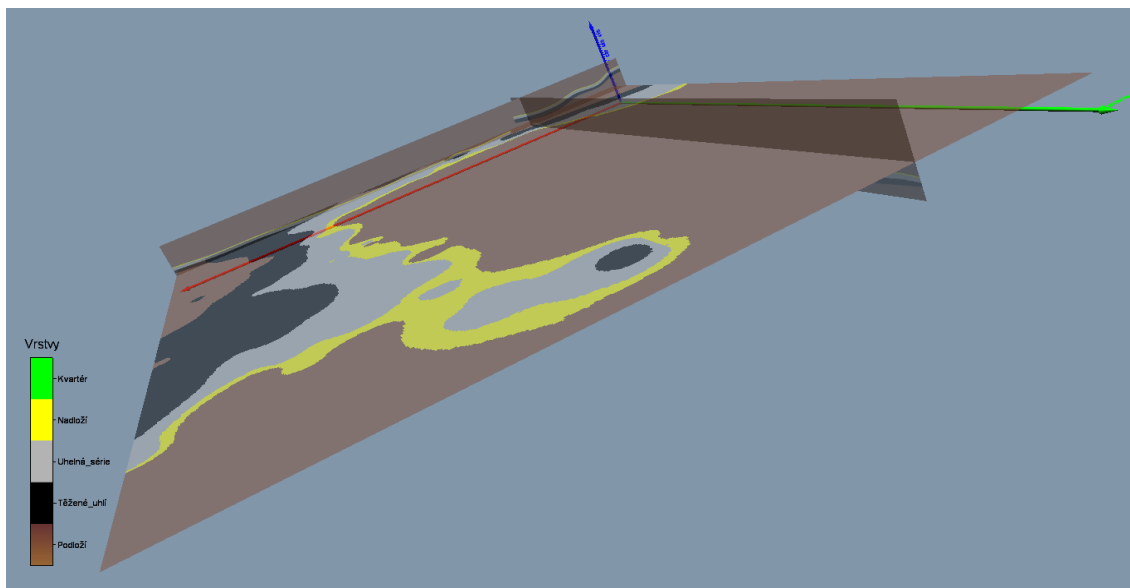
METODIKA PRO TVORBU KOMPLEXNÍHO 3D MODELU VLIVŮ PODDOLOVÁNÍ  
NA POVRCH – RELEVANTNÍHO VSTUPU PRO CITY INFORMATION DODELLING  
(PRO LOKALITU MARIÁNSKÉ RADČICE)



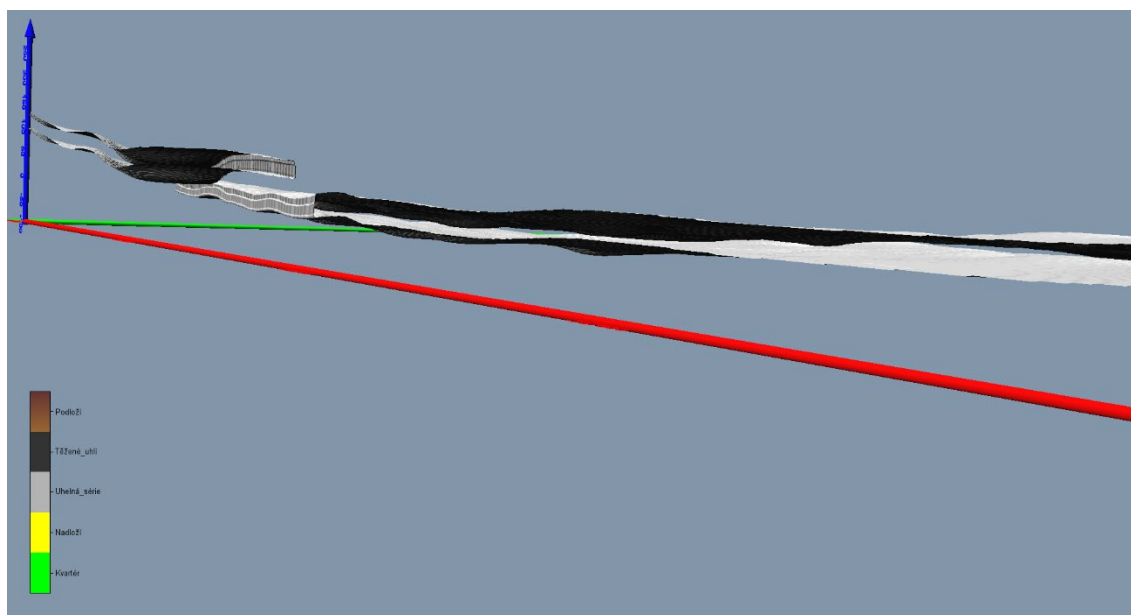
Obr. 3-13: Vizualizace strukturně geologického modelu s pomocí grafického výstupu *VolRender*.



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



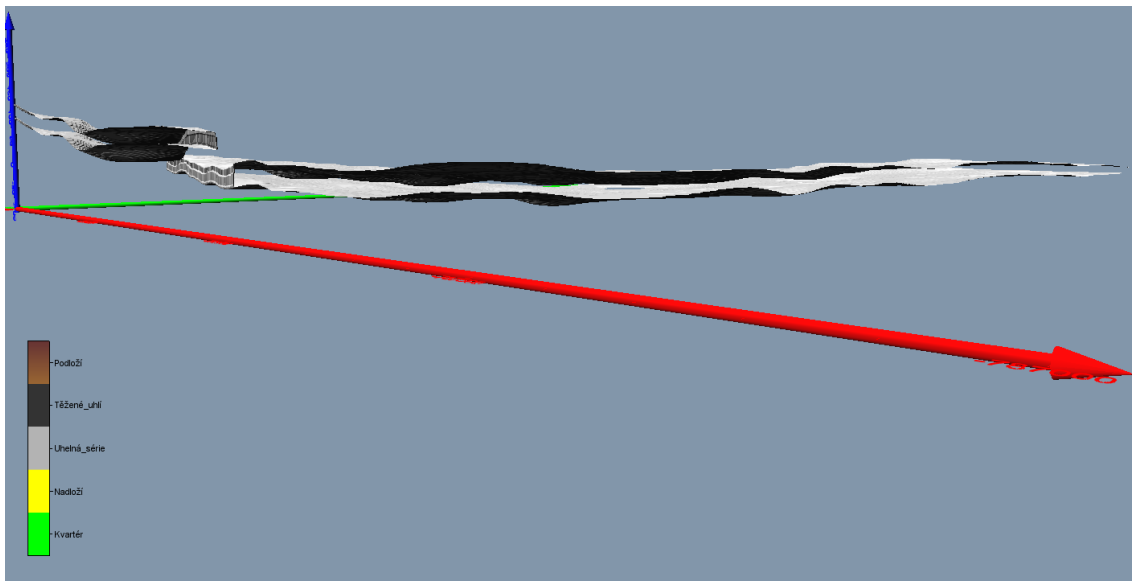
Obr. 3-15: Vizualizace strukturně geologického modelu s pomocí řezů - grafických výstupů *OrthoImage\_XY*, *OrthoImage\_XZ* a *OrthoImage\_YZ*.



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

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).

METODIKA PRO TVORBU KOMPLEXNÍHO 3D MODELU VLIVŮ PODDOLOVÁNÍ  
NA POVRCH – RELEVANTNÍHO VSTUPU PRO CITY INFORMATION DODELLING  
(PRO LOKALITU MARIÁNSKÉ RADČICE)



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

## 4. DIGITÁLNÍ MODEL TERÉNU DMR5G A DEM1950

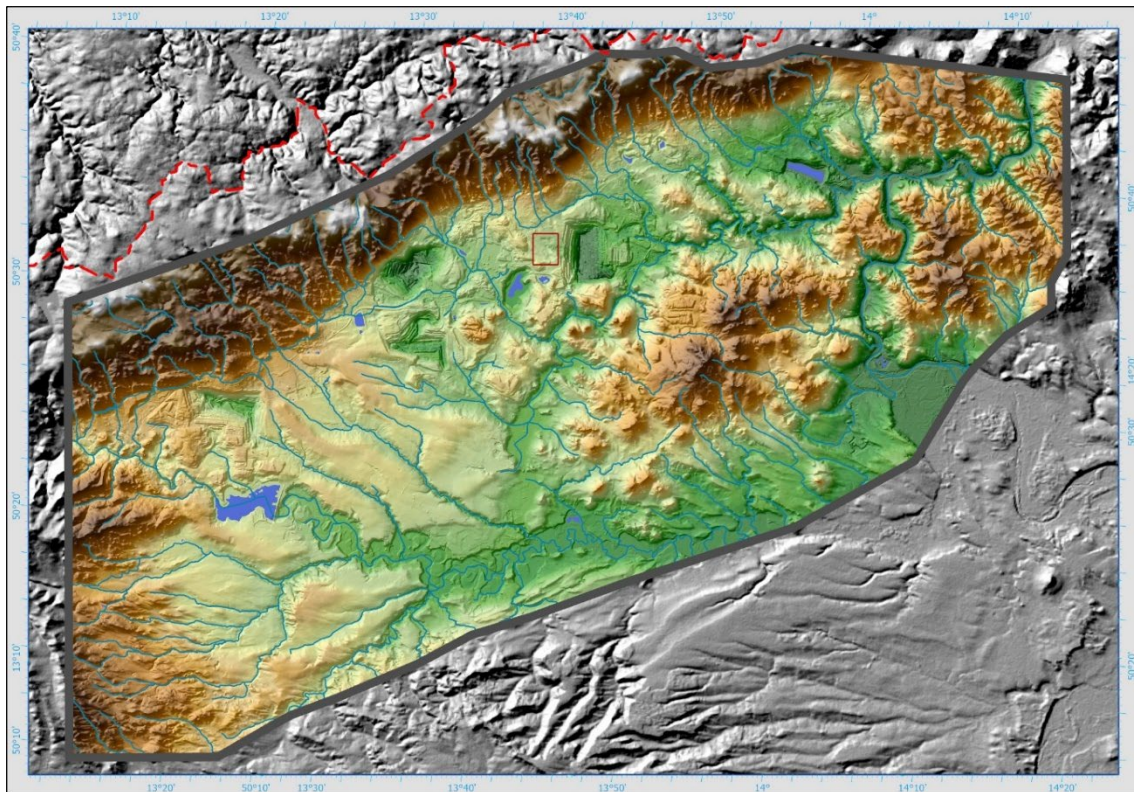
Jako jeden ze základních vstupních 3D modelů nezbytných pro tvorbu, jak Landscape 3D modelu, tak modelu poddolování a strukturně-geologického modelu, je digitální model reliéfu (DMR). Pro vytvoření základního digitálního modelu terénu aktuálního reliéfu zájmové lokality Mariánské Radčice i širší oblasti 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 vyrovnání (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 [14].

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)).

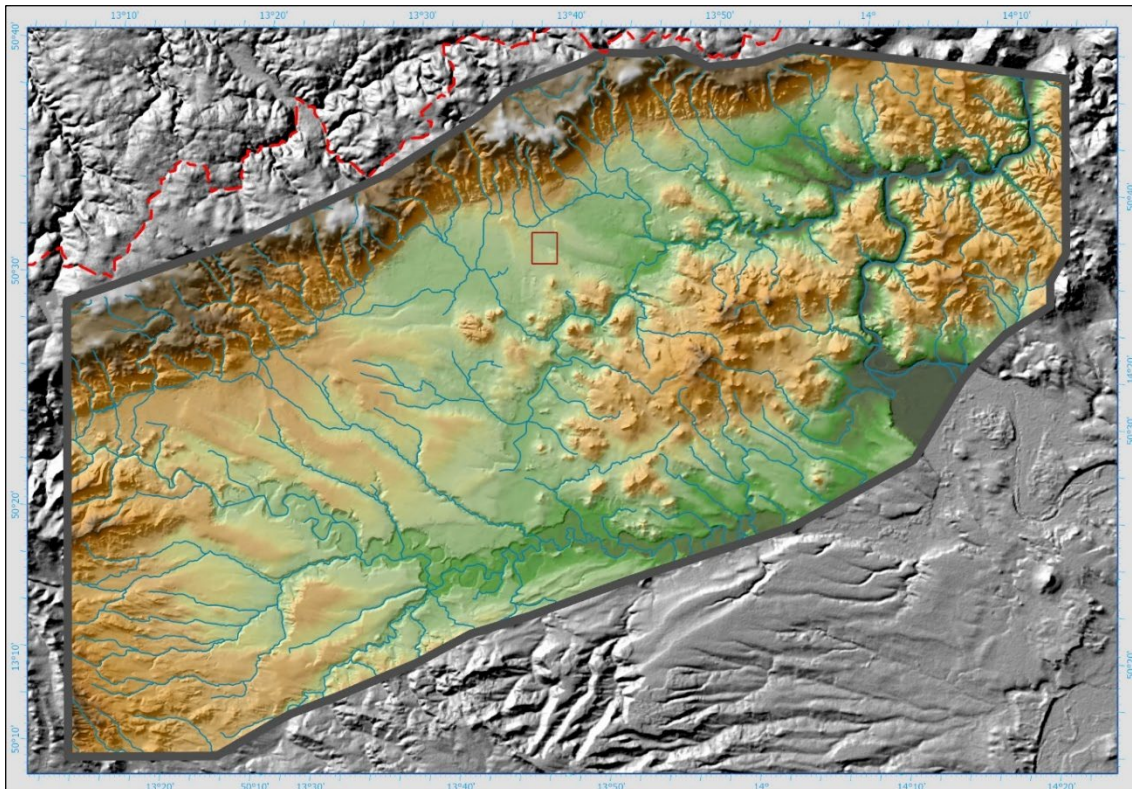
METODIKA PRO TVORBU KOMPLEXNÍHO 3D MODELU VLIVŮ PODDOLOVÁNÍ  
NA POVRCH – RELEVANTNÍHO VSTUPU PRO CITY INFORMATION DODELLING  
(PRO LOKALITU MARIÁNSKÉ RADČICE)



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.



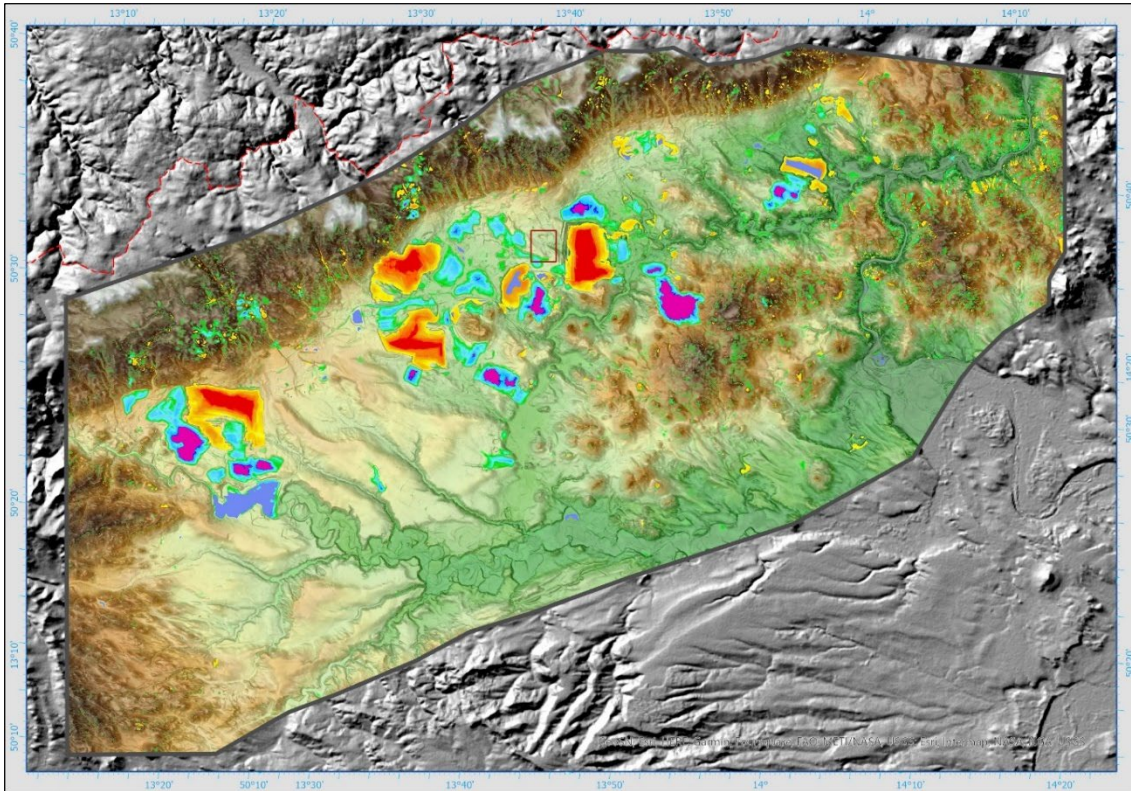
METODIKA PRO TVORBU KOMPLEXNÍHO 3D MODELU VLIVŮ PODDOLOVÁNÍ  
NA POVRCH – RELEVANTNÍHO VSTUPU PRO CITY INFORMATION DODELLING  
(PRO LOKALITU MARIÁNSKÉ RADČICE)



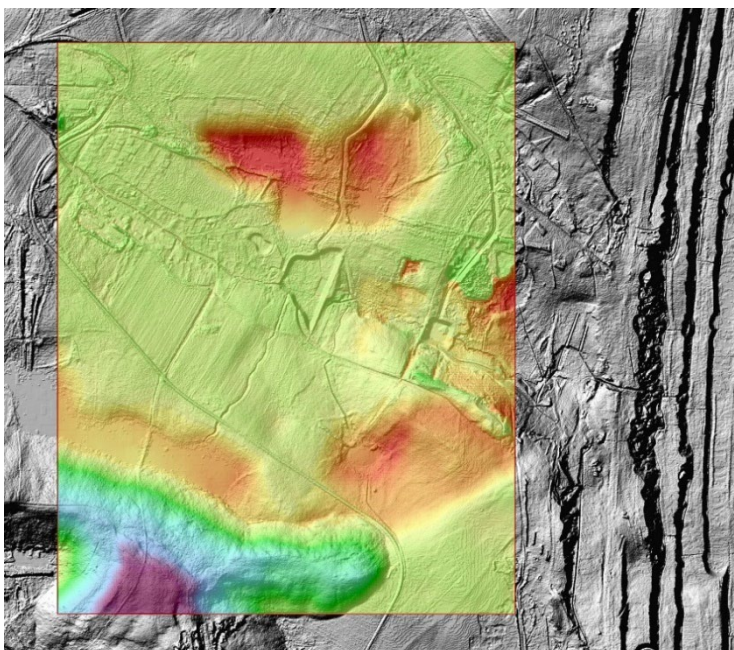
Obr. 4-2: Digitální model terénu z roku 1950 DEM1950 pro širší oblast mostecké pánve. Výškopisně kolorovaný stínový reliéf (shaded relief) se sítí vodotečí. Polygon pilotní lokality Mariánské Radčice v předpolí porubní fronty Doly Bílina je vyznačen červenou barvou. Čerchovaně je znázorněna státní hranice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



METODIKA PRO TVORBU KOMPLEXNÍHO 3D MODELU VLIVŮ PODDOLOVÁNÍ  
NA POVRCH – RELEVANTNÍHO VSTUPU PRO CITY INFORMATION DODELLING  
(PRO LOKALITU MARIÁNSKÉ RADČICE)



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.



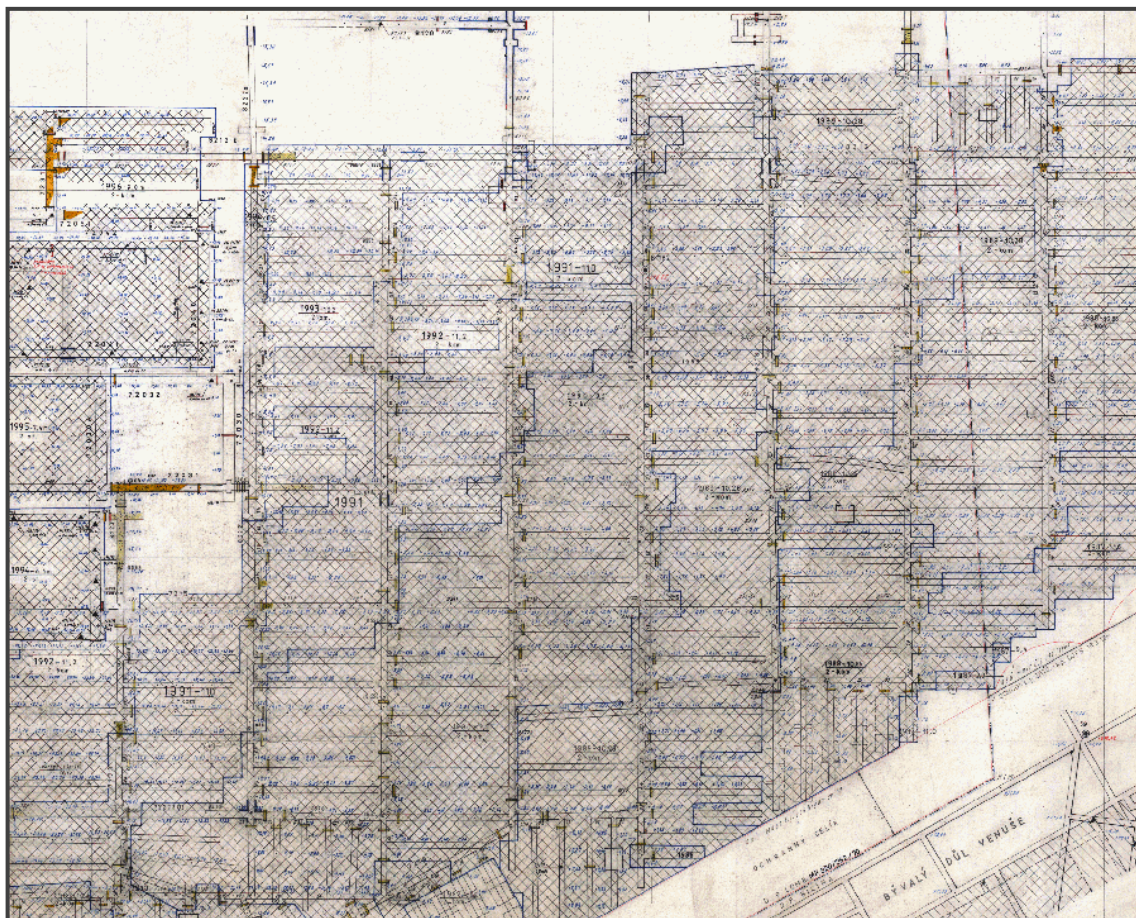
## 5. 3D LANDSCAPE MODEL S DETAILIZACÍ VYBRANÝCH OBJEKTŮ STAVEB A OCHRANNÝCH PÁSEM

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 popsanych 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. 6-1 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 popsanych v kapitolách 5 a 6 byl použit software *Autodesk Civil3D*, *Autodesk Raster Design*, *Carlson Underground Mining*, *Carlson Geology* a *Autodesk Infracore*.



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.

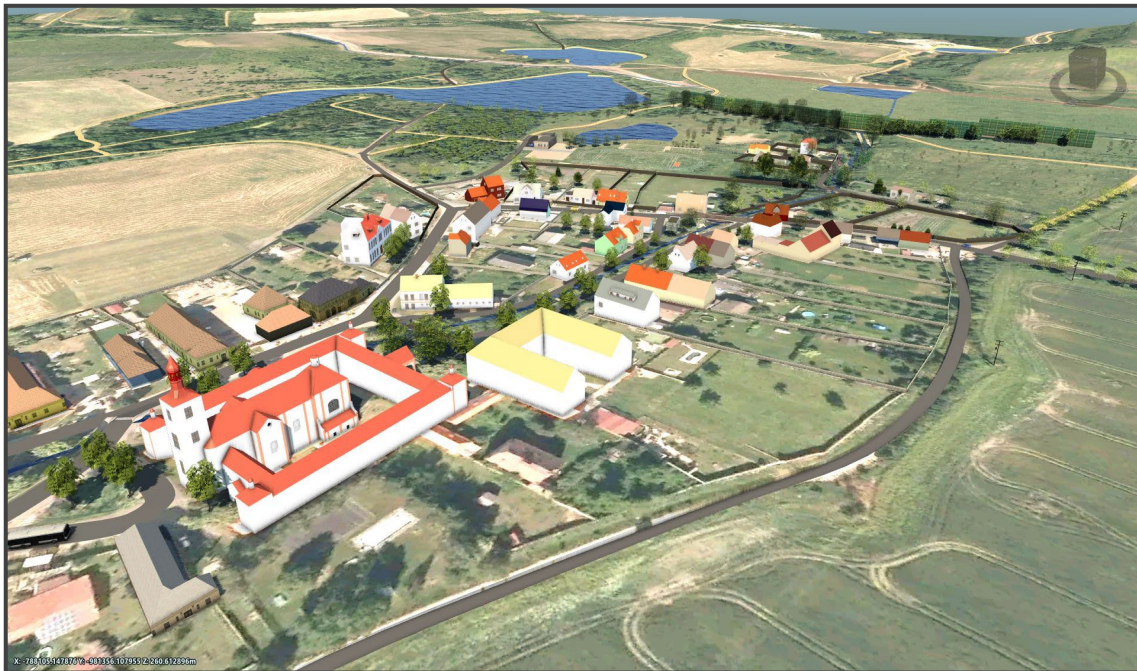


Koncepce takto zpracovaného modelu předpokládá následnou interpretaci modelu predikované poklesové kotliny ve 3D scéně a jeho aplikaci v rámci BIM (Building Information Model) infrastruktury v krajině.



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

METODIKA PRO TVORBU KOMPLEXNÍHO 3D MODELU VLIVŮ PODDOLOVÁNÍ  
NA POVRCH – RELEVANTNÍHO VSTUPU PRO CITY INFORMATION DODELLING  
(PRO LOKALITU MARIÁNSKÉ RADČICE)



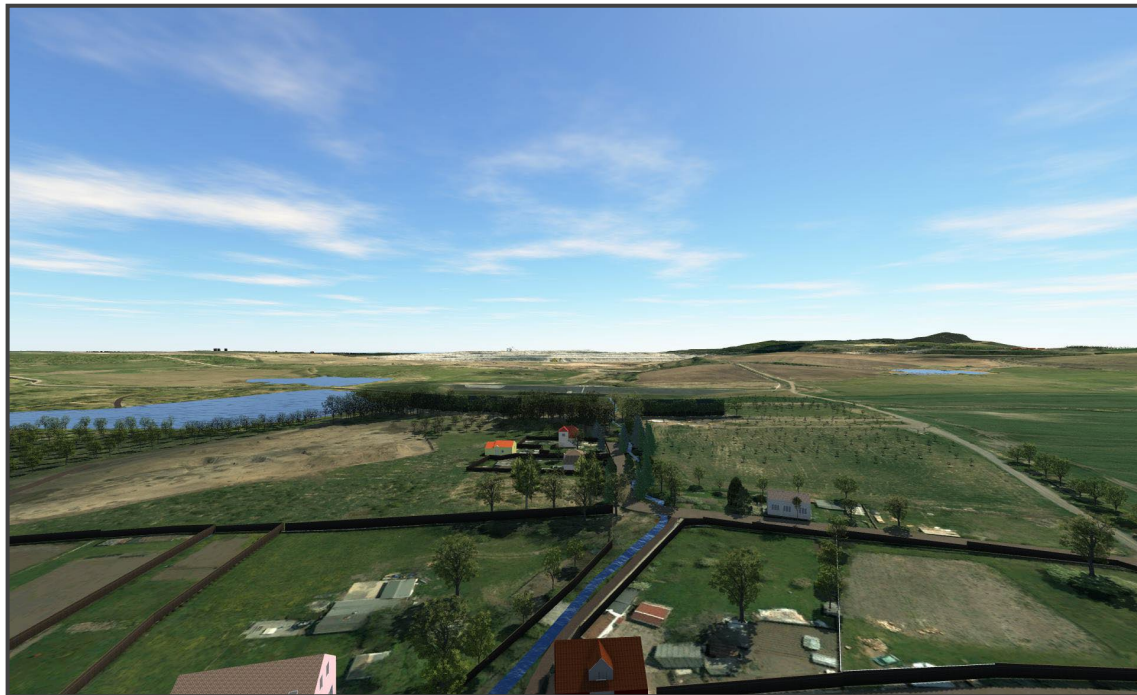
Obr. 5-3: Landscape model Mariánské Radčice – pohled od jihu.



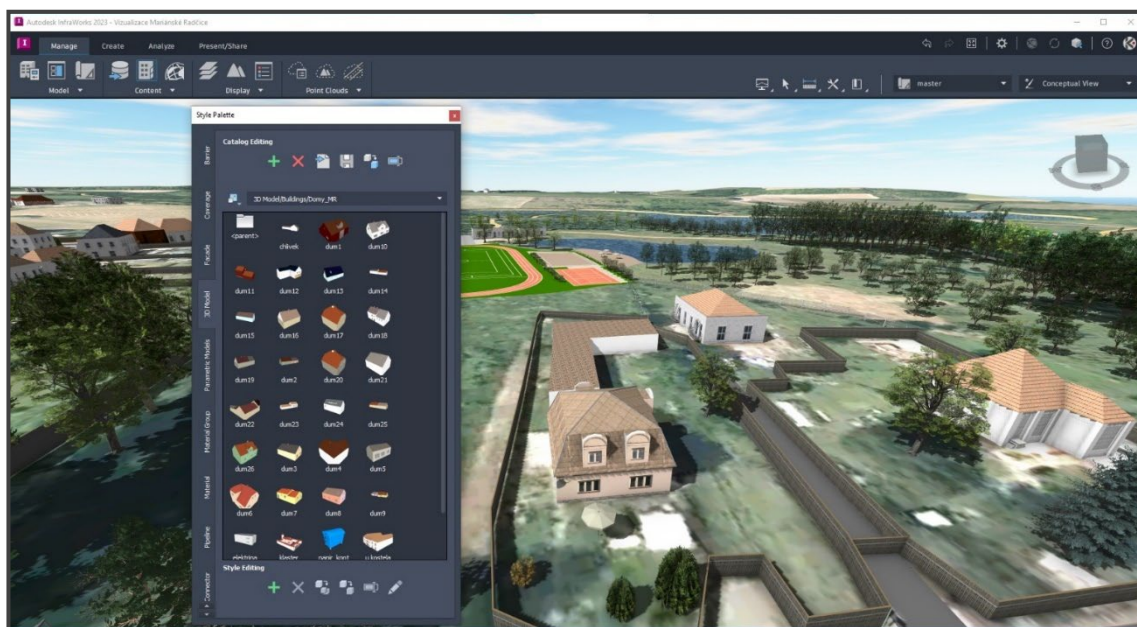
Obr. 5-4: Landscape model Mariánské Radčice – pohled z obce směrem na Braňany.



METODIKA PRO TVORBU KOMPLEXNÍHO 3D MODELU VLIVŮ PODDOLOVÁNÍ  
NA POVRCH – RELEVANTNÍHO VSTUPU PRO CITY INFORMATION DODELLING  
(PRO LOKALITU MARIÁNSKÉ RADČICE)



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



Obr. 5-6: Prostředí software Infracore.

## 6. MODELOVÁNÍ DŮLNÍCH DĚL A PODZEMNÍCH PROSTOR – BÁŇSKÝ MODEL A NAVAZUJÍCÍ MODEL PODDOLOVÁNÍ

Uzavřený Důl Kohinoor II, jehož historické těžební aktivity a jejich dopad na povrch jsou předmětem řešení, 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, Libkovic u Mostu, Konobřez, 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 zakládacím 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.

Vytvořený prostorový model podzemních důlních děl vytváří základní platformu pro řešení řady úloh v oblastech, které byly zasaženy hlubinnou těžbou nerostných surovin nebo při budování podzemních staveb. Některé specializované programové aplikace nabízejí využití zpracovaného 3D modelu pro výpočet poklesových kotlin na území ovlivněném hornickou činností. Vytvořené prostorové modely těžbou zasažených území vytváří ideální modelové podklady pro jejich výpočet, s dopadem na vývoj antropogenního reliéfu.

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 geologicko-báňského modelu získané od Severočeských Dolů a.s. a následně vytvořený 3D strukturně geologický model (viz 3. kapitola). Jednotlivé vstupní dílčí

modely reprezentující geologické horizonty byly převzaty a zpracovány dále v programovém systému ATLAS DMT.

## 6.1 Přístup k řešení metodiky

Předložená metodika vychází z požadavku na přípravu 3D modelu povrchové situace (landscape modelu), 3D báňského modelu hlubinné situace a následného výpočtu vlivů poddolování na povrch. Proto je rozdělena na tyto základní části:

- Pořízení a zpracování primárních dat.
- Vytvoření Landscape modelu (viz 5. kap.).
- Vytvoření báňského 3D modelu.
- Výpočet vlivů hlubinné těžby na povrch.

## 6.2 Pořízení a zpracování primárních dat

Základní podmínkou úspěšného zpracování báňského 3D modelu, v mnoha případech již historické hlubinné těžby nerostných surovin obecně, je získání relevantních podkladů a jejich následné digitální zpracování. Hlavním úskalím při jejich získávání je skutečnost, že v průběhu času často došlo k jejich ztrátě nebo degradaci jejich analogové podoby. V mnoha případech je nutné na získání dokumentace historické hlubinné těžby vynaložit nemalé úsilí při komunikaci s paměťníky a návštěvách archivů.

Pro zpracování dílčích modelů zájmového území byly použity tyto podklady:

- digitální modely reliéfu terénu, stavy z let 1951 a 2020,
- letecká ortofotomapa, stavy z let 2020 a 1953,
- zobrazení dat WMS (Web Map Service), které jsou přístupná na portálech české geologické služby, [www.geology.cz](http://www.geology.cz), CUZK a CENIA,
- naskenované mapové podklady důlně – měřické dokumentace, reprezentující hlubinnou situace v řešeném území. Na obr. 6-2 je zobrazena důlní mapa M 4113-2L, která byla součástí souboru naskenovaných podkladů,
- strukturně-geologický model uhelné sloje v modelovém území.

Digitální model reliéfu terénu z roku 1951 byl vytvořen na základě digitalizace podkladů prvního vydání mapových děl SMO 5. Stav terénního reliéfu z roku 2020 byl vytvořen na základě digitálního modelu reliéfu České republiky 5 generace (DMR 5g), laserového skenování 5G. V této souvislosti je nutné zmínit informaci o tom, že na základě novely zákona č. 200/1994 Sb., o zeměměřičství a o změně a doplnění některých zákonů souvisejících s jeho zavedením, zveřejňuje Zeměměřický úřad od 1. 7. 2023 údaje ZABAGED®, ortofota České republiky, státního mapového díla nebo DMR 5G bezplatně jako otevřená data, které je možné získat na adrese <https://atom.cuzk.cz>.

Kvalitním pramenem informací pro modelování historických stavů krajiny jsou letecké snímky, které začala od roku 1937 v pravidelných intervalech s přestávkou během 2. světové války pořizovat Československá armáda. Tyto zpočátku černobílé fotogrammetrické snímky lze použít pro zpětné vytvoření reliéfu zájmové krajiny. Přinášejí řadu informací o stavu krajiny v minulosti, kdy obvykle došlo k výrazným změnám. Obr. 6-1 dokumentuje stav řešené lokality u Mariánských Radčic z roku 1953 na vytvořené ortofoto mapě.



Obr. 6-1: Historické ortofoto modelového území, stav z roku 1953 (zdroj Cenia).

Pro posouzení vlivů hlubinné těžby uhlí na dotčené území bylo nutné do projektu zahrnout všechny nadzemní a podzemní objekty. Proto byly nasazeny postupy a softwarové technologie na práci geografickými daty, rastrovou podobou mapových podkladů, vektorovými daty s absencí výškových údajů nebo např. se starými leteckými i pozemními měřickými snímky.

Primární data byla vytvořena s použitím těchto softwarových nástrojů:

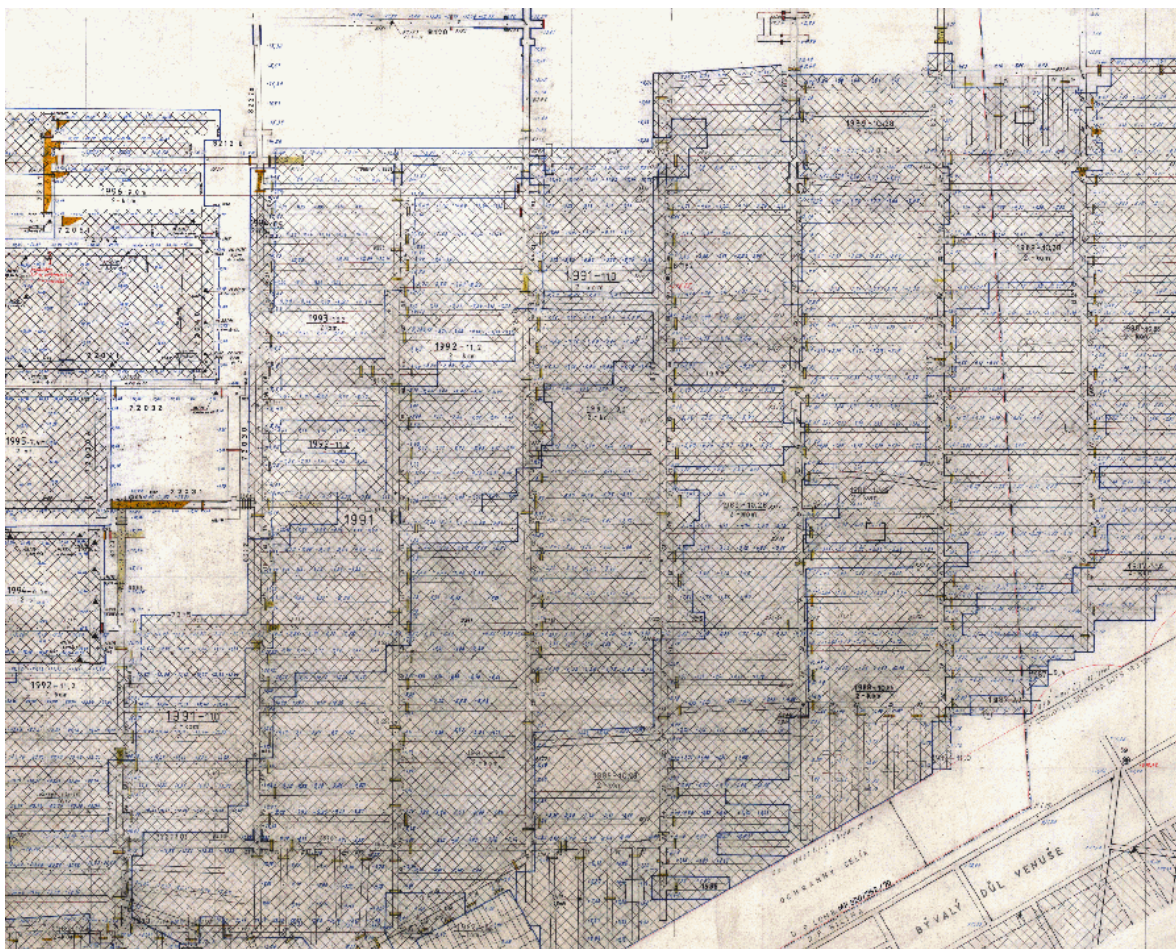
- **Carlson Civil** pro zpracování a editace digitálních modelů reliéfu,
- **Carlson Underground Mining 2023** pro modelování podzemních prostorů hlubinné těžby,
- **Carlson Design 2023** pro transformaci naskenovaných podkladů do závazného referenčního systému S-JTSK a jejich následnou vektorizací.

Digitální model reliéfu reprezentující stav z roku 1951 byl vytvořen na základě digitalizace vrstevnic z odpovídajícího naskenovaného mapového listu SMO 5. Vrstevnice ve formě 2D křivky s odpovídajícím parametrem výšky byly použity jako primární podklad pro vytvoření digitálního modelu reliéfu ve formě nepravidelné trojúhelníkové sítě (TIN) v prostředí software Carlson Civil 2023. Pro zpracování stavu pro rok 2020 bylo výchozím podkladem dílo DMR 5g. Pro kontrolu vytvořeného reliéfu terénu byla použita letecká ortofotomapa.

Vytvoření 3D modelu podzemních prostorů vytvořených hlubinnou těžbou vyžadovalo zpracování odpovídajících vstupních dat s informacemi o jejich prostorovém uspořádání a způsobech těžby. V tomto případě byl zvolen postup v podobě digitalizace odpovídajících mapových listů důlně – měřické dokumentace (DMD). Přitom je zásadním atributem kvalitní přípravy primárních dat správné čtení v tomto typu mapové dokumentace s ohledem na její specifika, jak je patrné z obr. 6-2.

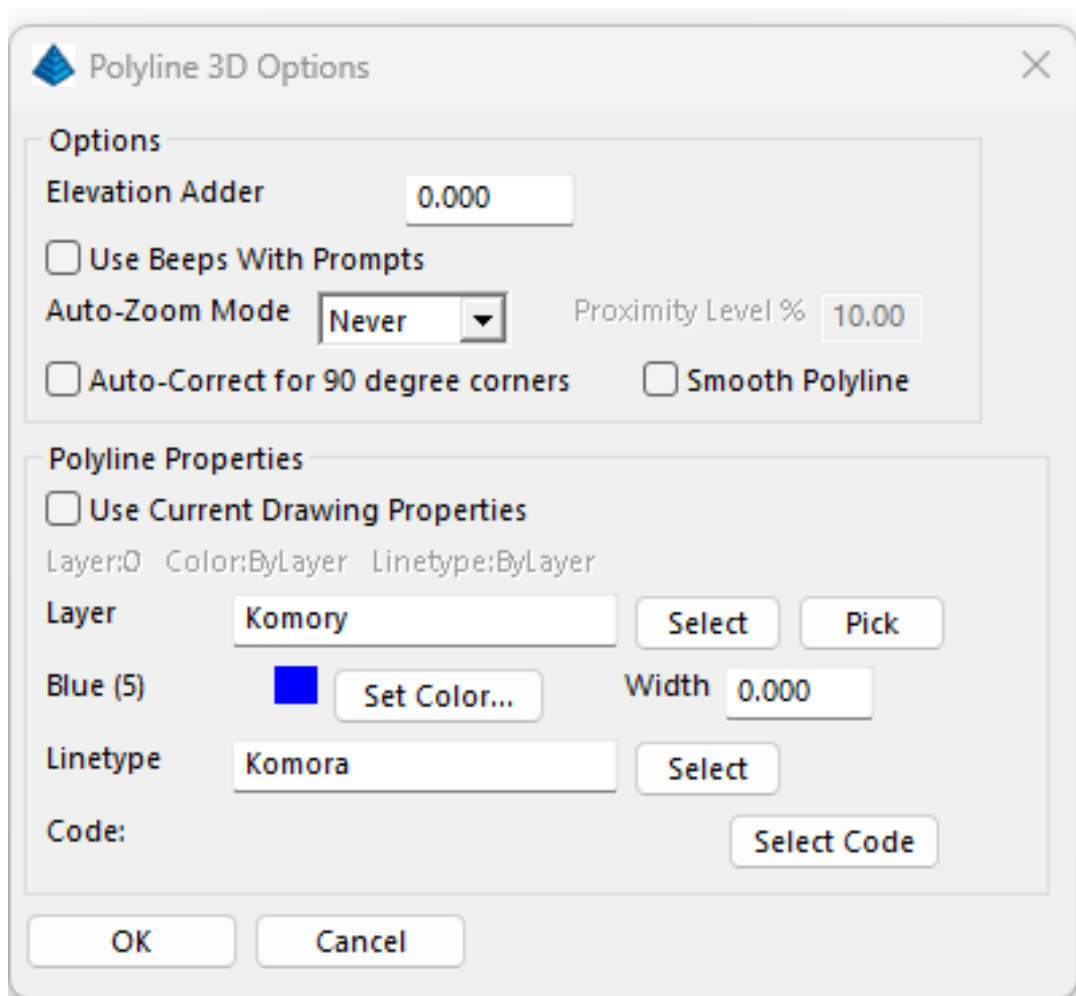


METODIKA PRO TVORBU KOMPLEXNÍHO 3D MODELU VLIVŮ PODDOLOVÁNÍ  
NA POVRCH – RELEVANTNÍHO VSTUPU PRO CITY INFORMATION DODELLING  
(PRO LOKALITU MARIÁNSKÉ RADČICE)



Obr. 6-2: Použitý mapový list M 4113-2L důlně – měřické dokumentace.

Základní CAD entitou použitou pro digitalizaci potřebných objektů byla 3D křivka (3D Polyline). Po předchozích praktických zkušenostech s vektorizací mapových podkladů v jejich rastrovém formátu byl zvolen software Carlson CAD-NET, který dosahoval velmi dobrých výsledků právě u takových digitálních podkladů, které byly vytvořeny skenováním starších mapových listů. Tyto podklady vykazovaly místa zažloutlé pozadí i zhoršenou kvalitu kresby. Nastavení vlastností digitalizovaných objektů respektuje principy používané v CAD systémech (obr. 6-3).

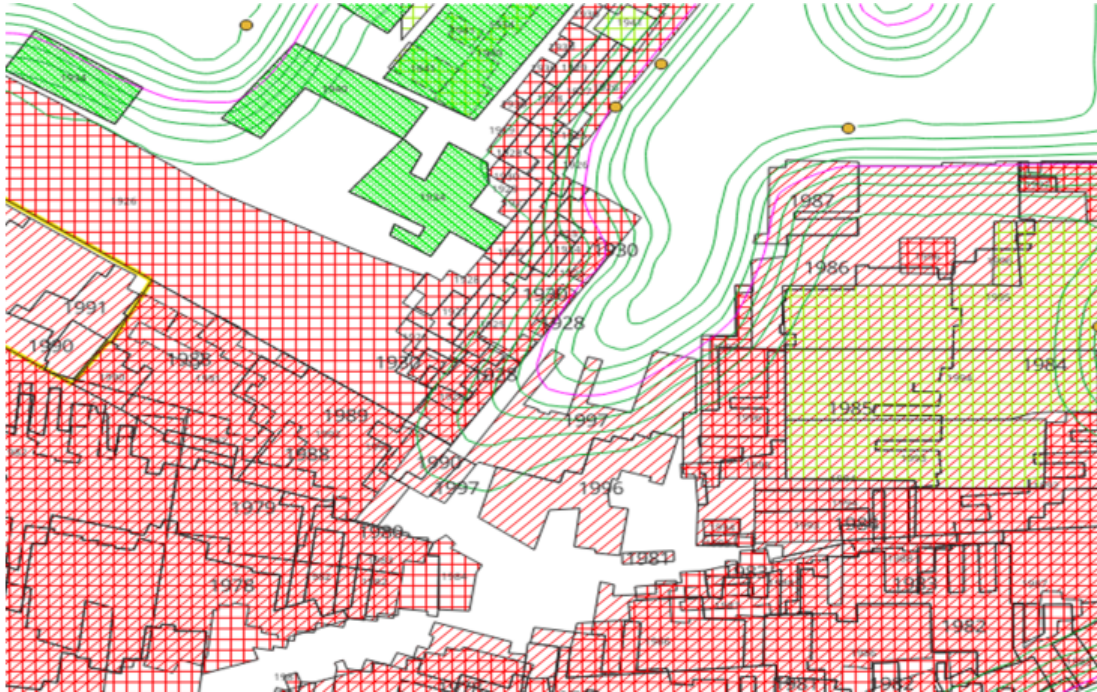


Obr. 6-3: Nastavení parametrů digitalizace v prostředí sw Carlson CADNET.

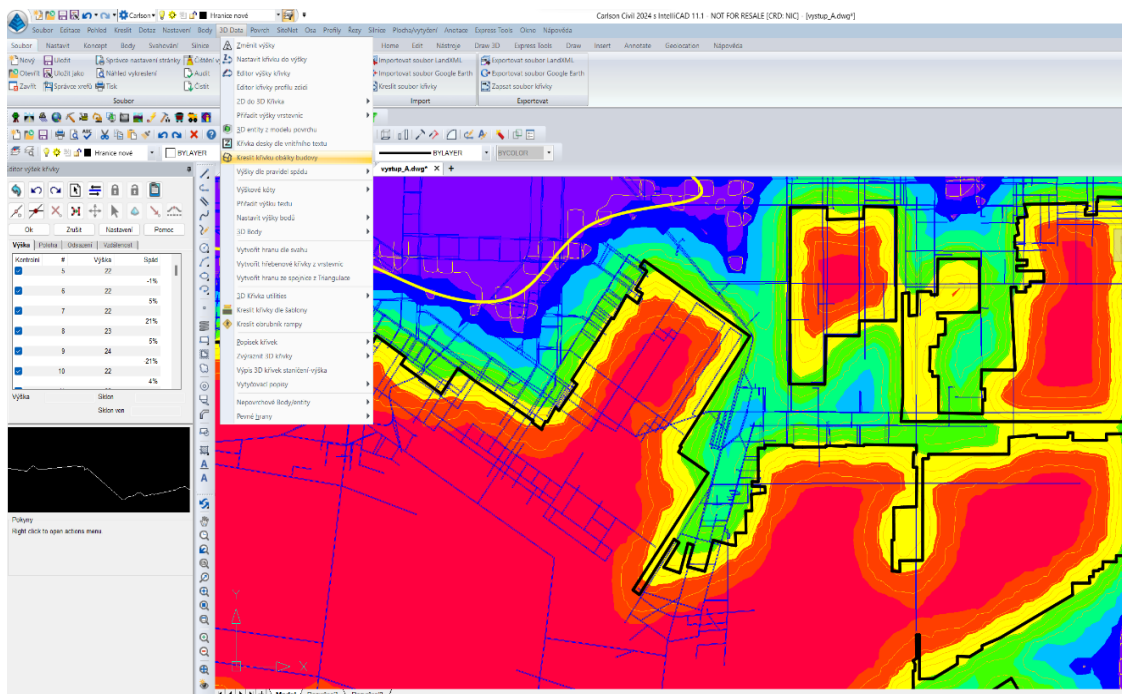
Vytvořené 3D entity báňského modelu byly ukládány společně s dalšími informacemi o těžbě do prostředí software QGIS (obr. 6-4, 6-5).



**METODIKA PRO TVORBU KOMPLEXNÍHO 3D MODELU VLIVŮ PODDOLOVÁNÍ  
NA POVRCH – RELEVANTNÍHO VSTUPU PRO CITY INFORMATION DODELLING  
(PRO LOKALITU MARIÁNSKÉ RADČICE)**



Obr. 6-4: Interpretace vytvořených podkladů v software QGIS.



Obr. 6-5: Nástroje pro editaci CAD 3D entit v prostředí software Carlson Civil.



## 6.3 Modelování podzemních prostor

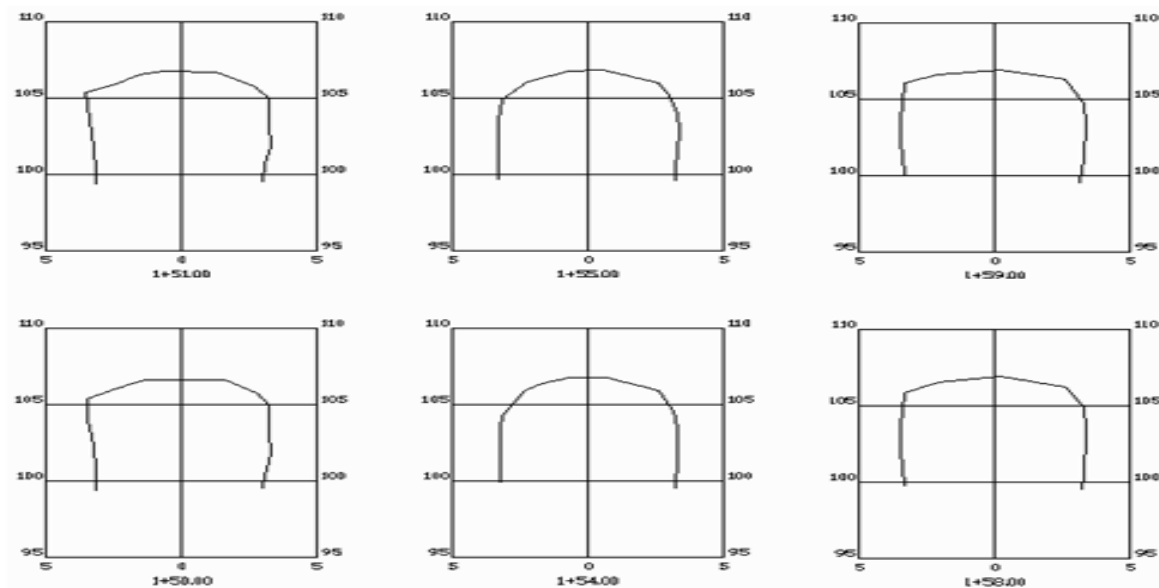
Základním požadavkem na vytvoření 3D modelu důlních děl je předpokládaná metodická návaznost na výpočet vlivů poddolování na povrch. Důležitým předpokladem je vytvoření topologicky čistých vektorových objektů, v tomto případě 3D Polylines a Carlson SOLID. Dalším předpokladem je jejich budoucí napojení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

Horizontální důlní díla v modelovém území byla vytvořena na základě informací z vektorizovaných důlních map a strukturně-geologického modelu. Jako základním stavební prvek pro vytvoření 3D modelu byl zvolen objekt SOLID vytvořený společností Carlson Software Inc., který vykazuje vlastnosti objemového tělesa a byl vyvinut právě pro modelování podzemních prostorů. Struktura SOLID objektu reprezentující vodorovné důlní dílo je znázorněna na obr. 6-6.

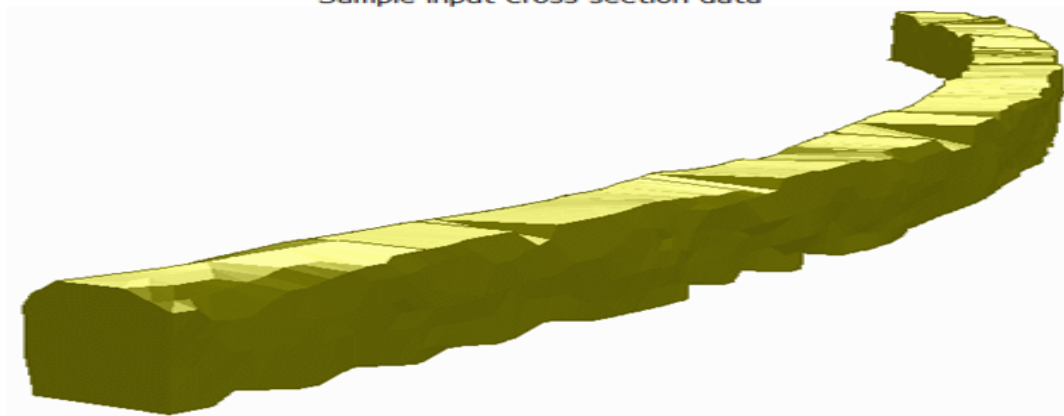
Použitý program Carlson Underground Mining disponuje funkcemi pro vytváření podzemních důlních děl na základě těchto vstupních informací:

- Směrového a výškového řešení důlního díla, které může být reprezentováno například jámou, překopem, chodbou nebo štolou. Směrové řešení, které je v terminologii projektování liniových staveb nazýváno trasou, je doplněno o výškové řešení představováno niveletou. Průřez důlního díla je stanoven prostřednictvím vytvořených vzorových příčných řezů, jak je patrné z obr. 6-6. Po aplikaci těchto vzorových příčných řezů na směrové a výškové řešení na cílové úseky mezi staničeními, vznikne prostorový útvar reprezentující prostorový model řešeného důlního díla (objekt SOLID). Program Carlson Underground Mining využívá CAD entitu 3D Křivka pro automatické vytvoření směrového a výškového řešení důlního díla.
- Obvodové 3D křivky reprezentující prostorové kontury dobývek, TIN nebo GRID struktury reprezentující jejich počvu a strop a následné vytvoření SOLID modelů.

METODIKA PRO TVORBU KOMPLEXNÍHO 3D MODELU VLIVŮ PODDOLOVÁNÍ  
NA POVRCH – RELEVANTNÍHO VSTUPU PRO CITY INFORMATION DODELLING  
(PRO LOKALITU MARIÁNSKÉ RADČICE)

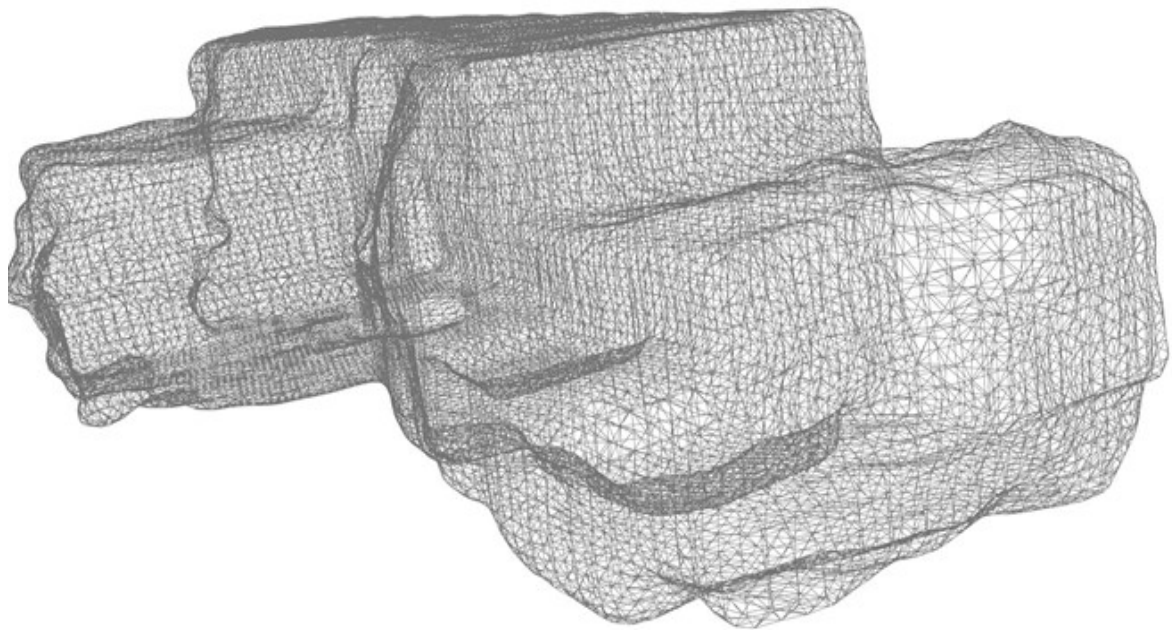


Sample input cross section data

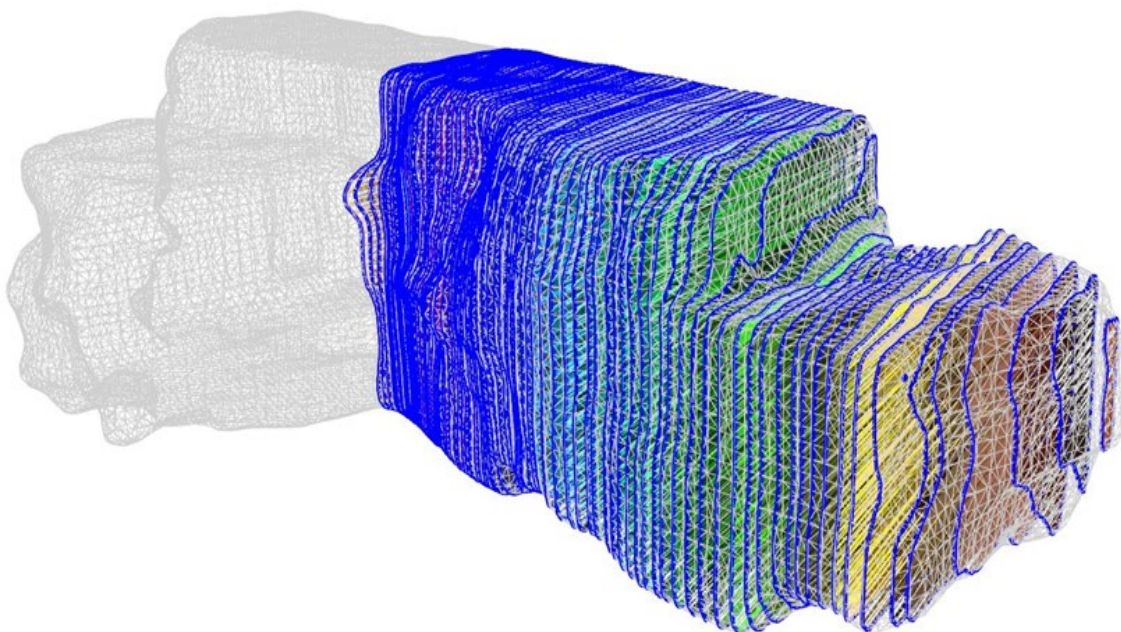


Obr. 6-6: Z příčných řezů vytvořený Solid model důlního díla (z materiálů Carlson Inc.).

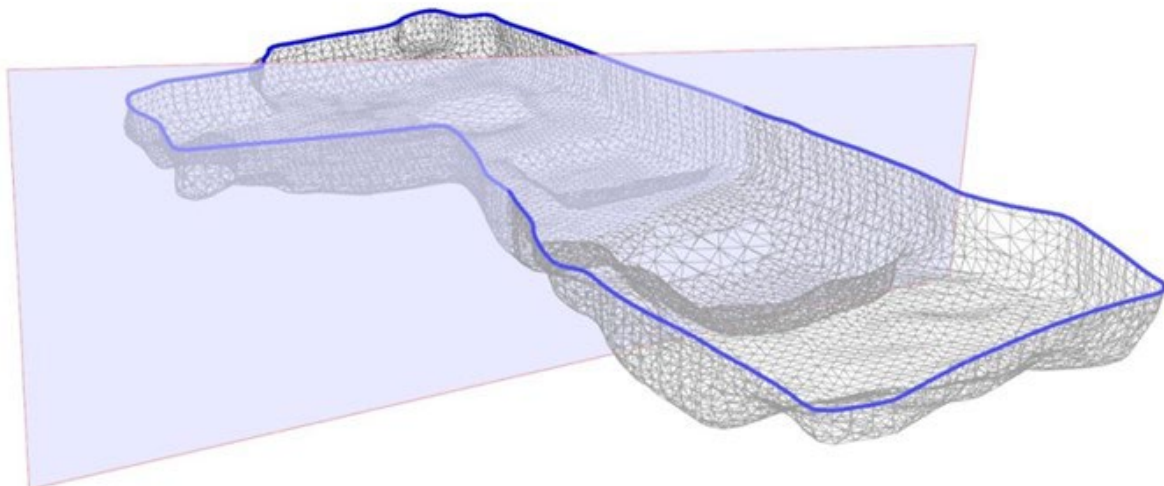
Na obr. 6-7, 6-8, 6-9 a 6-10 jsou zobrazeny různé možnosti práce s popisovými SOLID objekty.



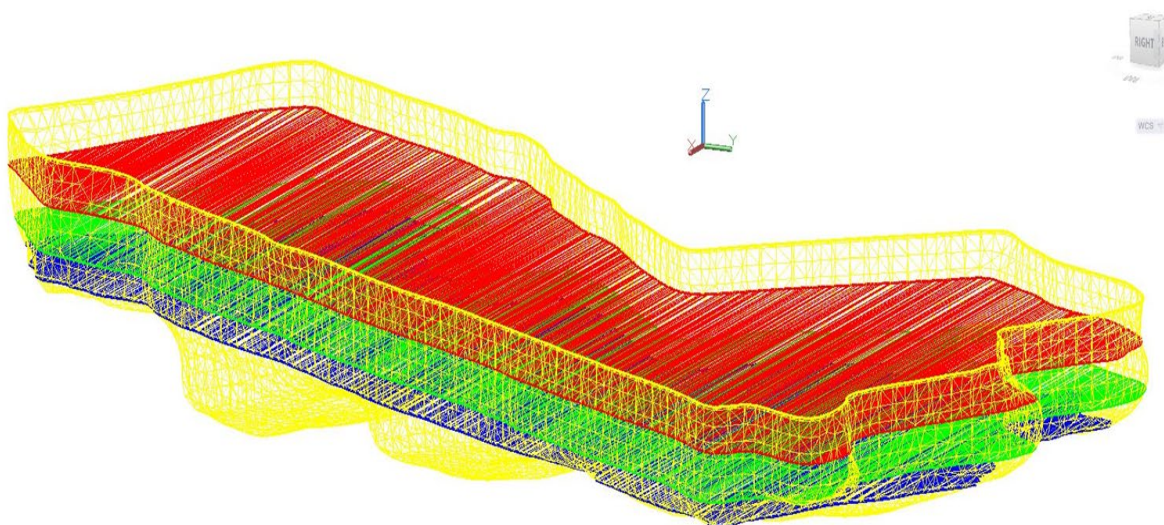
Obr. 6-7: Detailní pohled na Solid model vytěžené komory.



Obr. 6-8: Detailní pohled na Solid model vytěžené komory vertikálními řezy.



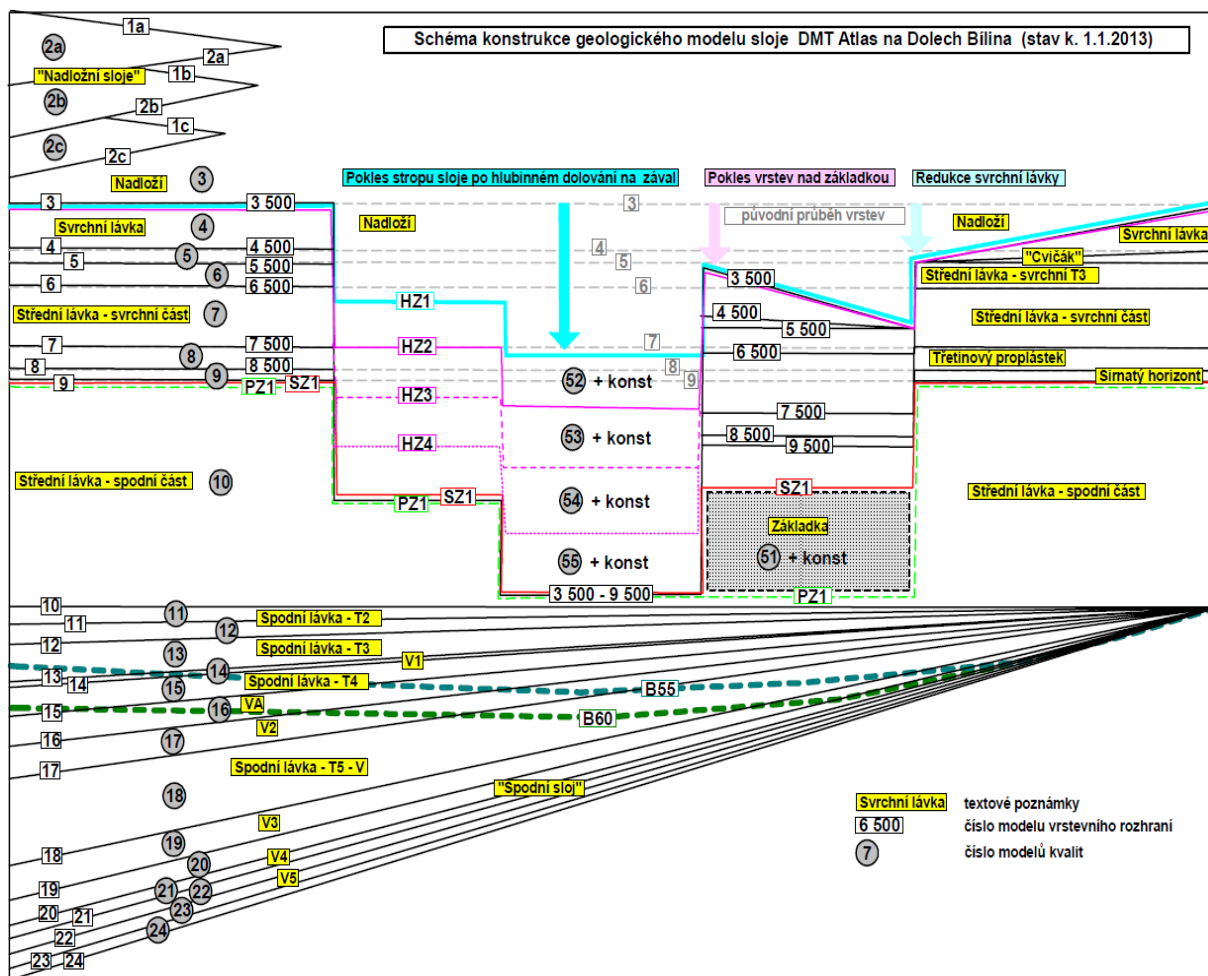
Obr. 6-9: Detailní pohled na Solid model vytěžené komory v řezu.



Obr. 6-10: Detailní pohled na Solid model vytěžené komory rozdělený  
na horizontálními vrstvy.



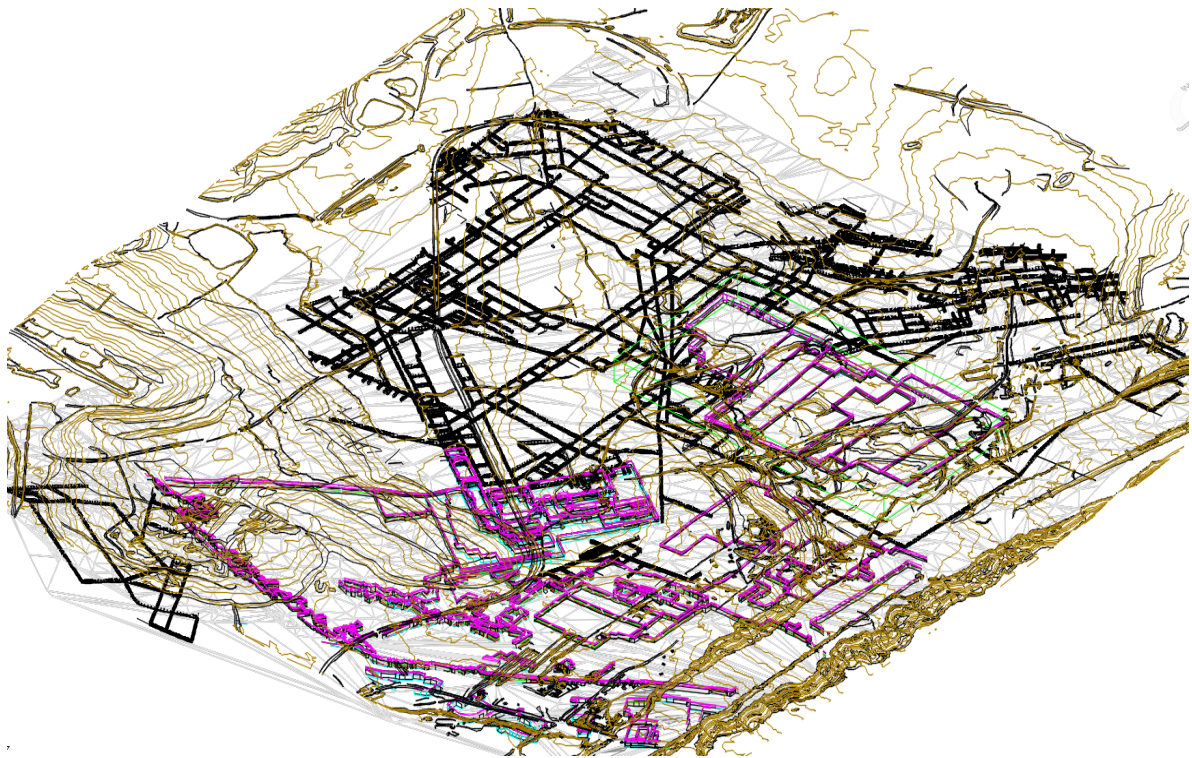
METODIKA PRO TVORBU KOMPLEXNÍHO 3D MODELU VLIVŮ PODDOLOVÁNÍ  
NA POVRCH – RELEVANTNÍHO VSTUPU PRO CITY INFORMATION DODELLING  
(PRO LOKALITU MARIÁNSKÉ RADČICE)



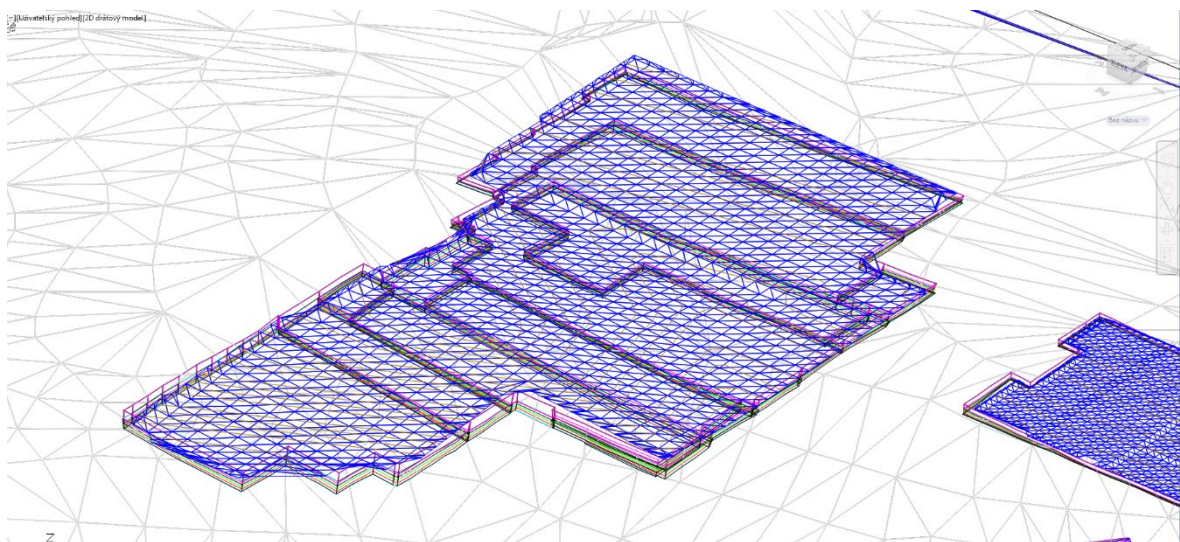
Obr. 6-11: Schéma konstrukce geologického-báňského modelu. (Severočeské doly a.s.).

3D model dobývek byl vytvořen na základě jejich půdorysné geometrie a využití geologicko-báňského modelu pro jejich prostorové uložení (obr. 6-11, 6-12 a 6-13). V tomto případě byly opět použity již zmíněné funkce programu Carlson Civil a Underground Mining.

METODIKA PRO TVORBU KOMPLEXNÍHO 3D MODELU VLIVŮ PODDOLOVÁNÍ  
NA POVRCH – RELEVANTNÍHO VSTUPU PRO CITY INFORMATION DODELLING  
(PRO LOKALITU MARIÁNSKÉ RADČICE)



Obr. 6-12: Celkový pohled na 3D model dobývek.



Obr. 6-13: Detailní pohled na dílčí model hlubinné dobývky vytvořené prostřednictvím objektu SOLID.



## 6.4 Výpočet poklesů vlivem poddolování

Výpočet poklesů vlivem poddolování byl proveden s využitím programu SDPS (Surface Deformation Prediction System), který byl vytvořen na státní univerzitě ve Virginii, USA (Department of Mining and Minerals Engineering, Virginia Polytechnic Institute and State University (Virginia Tech), Blacksburg) [1].

Funkce používaná v SDPS je známa pod názvem „Knotheova predikční metoda“ (Knothe, 1957). V jiných odkazech je také citována jako metoda Budryk-Knothe (Budryk a Knothe, 1953) [8].

Základní myšlenkou, která provázela vývoj tohoto programu, bylo využití vlastností prvků vytvořeného prostorového modelu hlubinné situace a digitálního modelu reliéfu (terénu) pro výpočet. Program SDPS importem datového souboru nebo přímým vstupem do CAD systému načte potřebné parametry geometrie hlubinné situace a reliéfu terénu pro výpočet. Problematikou počítačového výpočtu vlivů poddolování se podrobně zabývá [9].

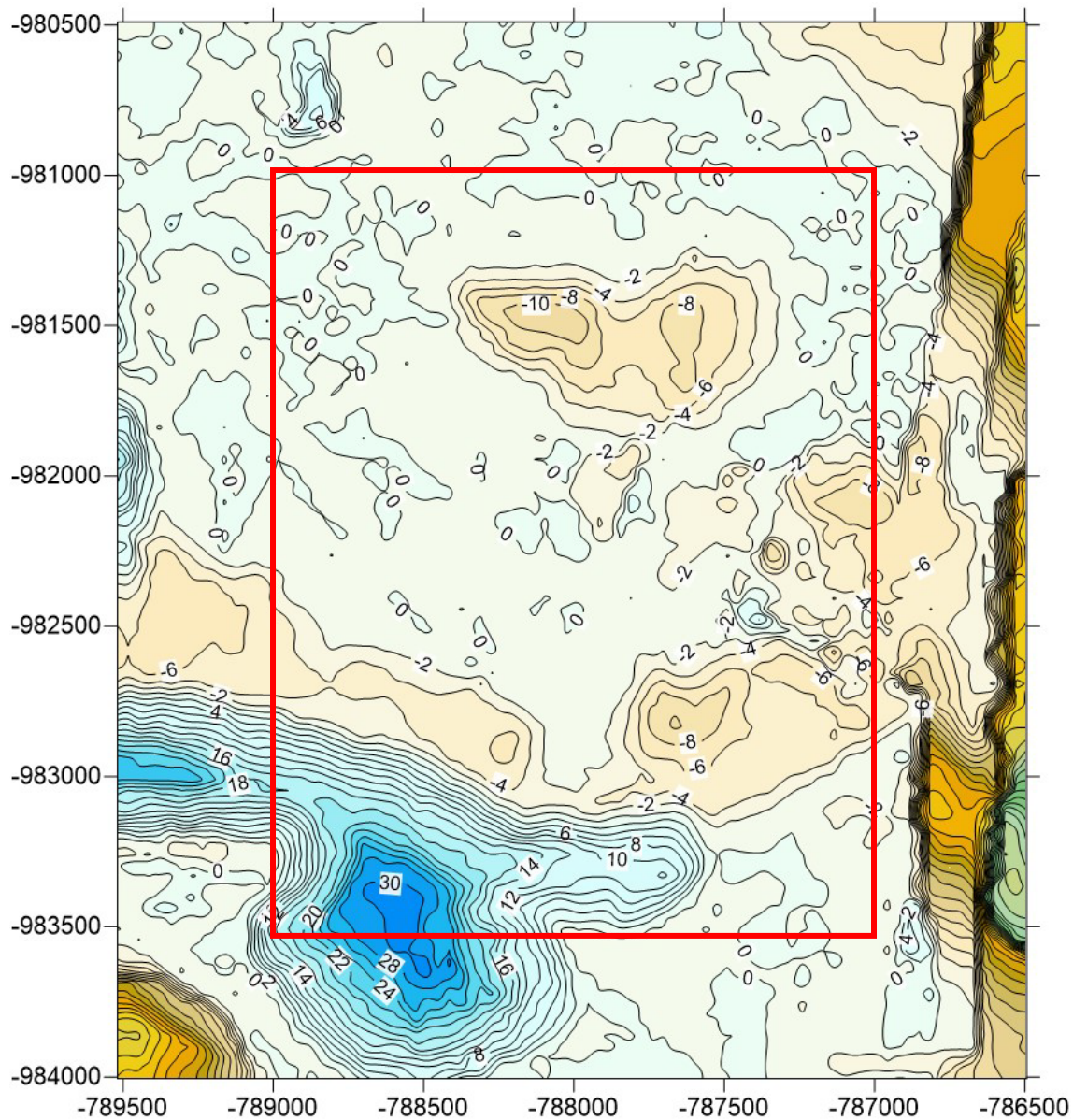
### 6.4.1 Vytvoření rozdílového modelu reliéfu terénu

Pro zjištění změn, které proběhly na reliéfu terénu mezi lety 1950 a 2020 bylo využito funkce pro vytvoření rozdílového modelu. V tomto případě byla vytvořena nepravidelná trojúhelníková síť (TIN) rozdílového modelu, která vznikla porovnáním dvou modelů (obr. 6-14). Výškou ve vrcholu každého trojúhelníka výsledné TIN je rozdíl obou výšek. Na obr. 6-15 je znázorněn tento rozdílový model reliéfu terénu 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.

Z hodnot rozdílového modelu vyplynulo, že v místech lokalizace hlubinné těžby se hodnoty poklesů terénu pohybují na svých maximech okolo 9 metrů.

Po prostudování mapových podkladů a starých leteckých snímků popisujících změnu reliéfu terénu v období 1950-2020 bylo zřejmé, že na některých místech došlo k přesunu hmot v podobě násypů i výkopů (viz také obr. 4-3 a 4-4). Přesto

na většině území při porovnání vypočtených hodnot poklesů a rozdílového modelu  
patrná vysoká shoda.



Obr. 6-14: Rozdílový model reliéfu terénu mezi lety 1950 – 2020. Červený obdelník reprezentuje vymezení zájmového polygonu lokality Mariánské Radčice.

## 6.4.2 Zadání vstupních parametrů

Zadání parametrů výpočtu proběhlo přímým načtením dat z vytvořeného báňského modelu a digitálního modelu reliéfu terénu s následným doplněním dalších informací.

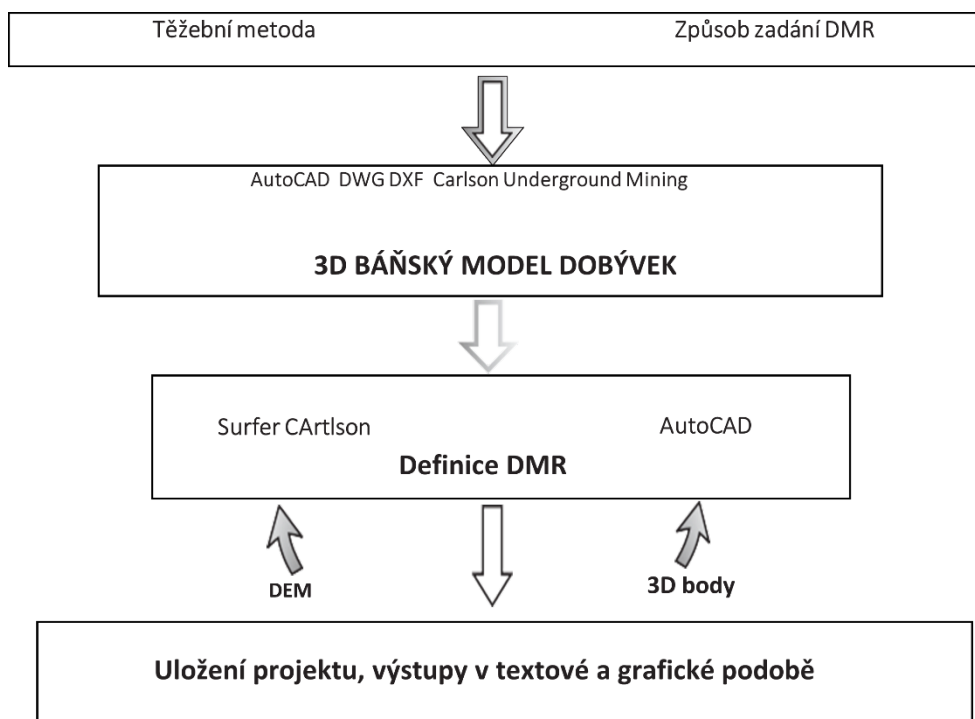
V tomto případě byly variantně provedeny přímé vstupy z programů AutoCAD a Surfer, datových importů ve formátech DWG i DXF i načtení dat reliéfu terénu z textového souboru ve formátu ASCII. V tabulce 6-1 je uveden přehled vstupních datových formátů, které je možné použít programem SDPS.

**Tabulka 6-1: Vstupní data do programu SDPS a jejich formáty.**

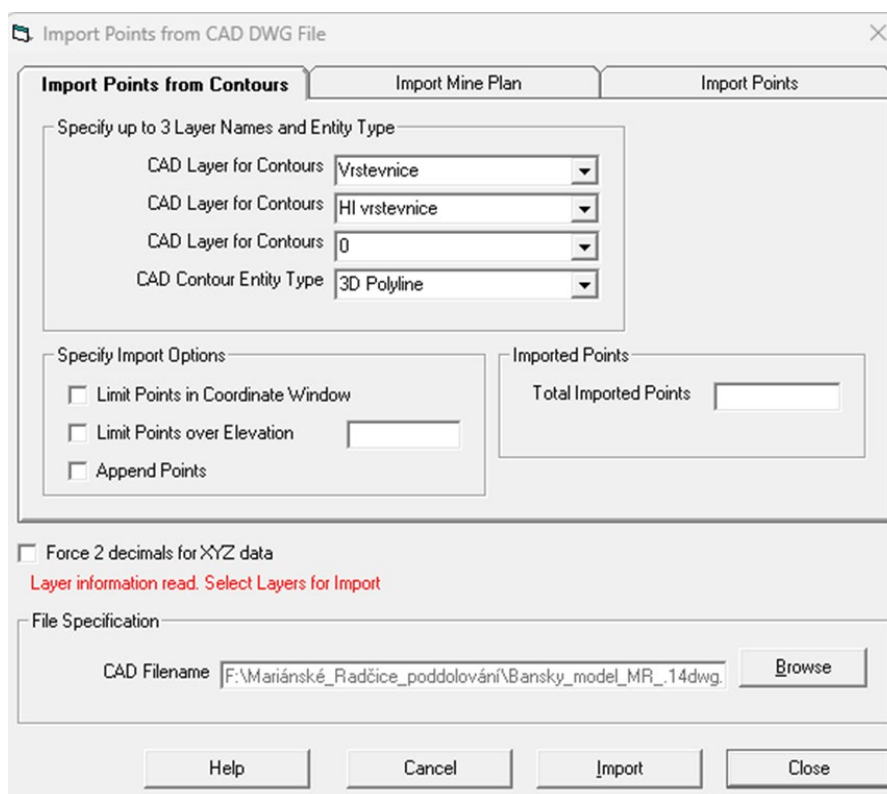
FORMÁTY DAT	Využití	Popis
DWG, DXF	Prostorové vymezení vytěžených podzemních prostorů	Výstupy z běžně používaných CAD systémů ve formě 2D a 3D entit. Obvykle jsou to 2D a 3D křivky.
Surfer GRID	digitální modelu reliéfu, geologický model	Soubor gridu v ASCII formátu, export ze sw. Surfer
Carlson GRID	digitální modelu reliéfu, geologický model	Soubor gridu v ASCII formátu, export ze sw. Carlson
XYZ	Interpretace digitálního modelu reliéfu povrchu	Textový soubor souřadnic v ASCII formátu (DAT,CSV, TXT)

Popis pracovního postupu s programem SDPS je patrný z obr. 6-15, 6-16 a 6-17.

METODIKA PRO TVORBU KOMPLEXNÍHO 3D MODELU VLIVŮ PODDOLOVÁNÍ  
NA POVRCH – RELEVANTNÍHO VSTUPU PRO CITY INFORMATION DODELLING  
(PRO LOKALITU MARIÁNSKÉ RADČICE)

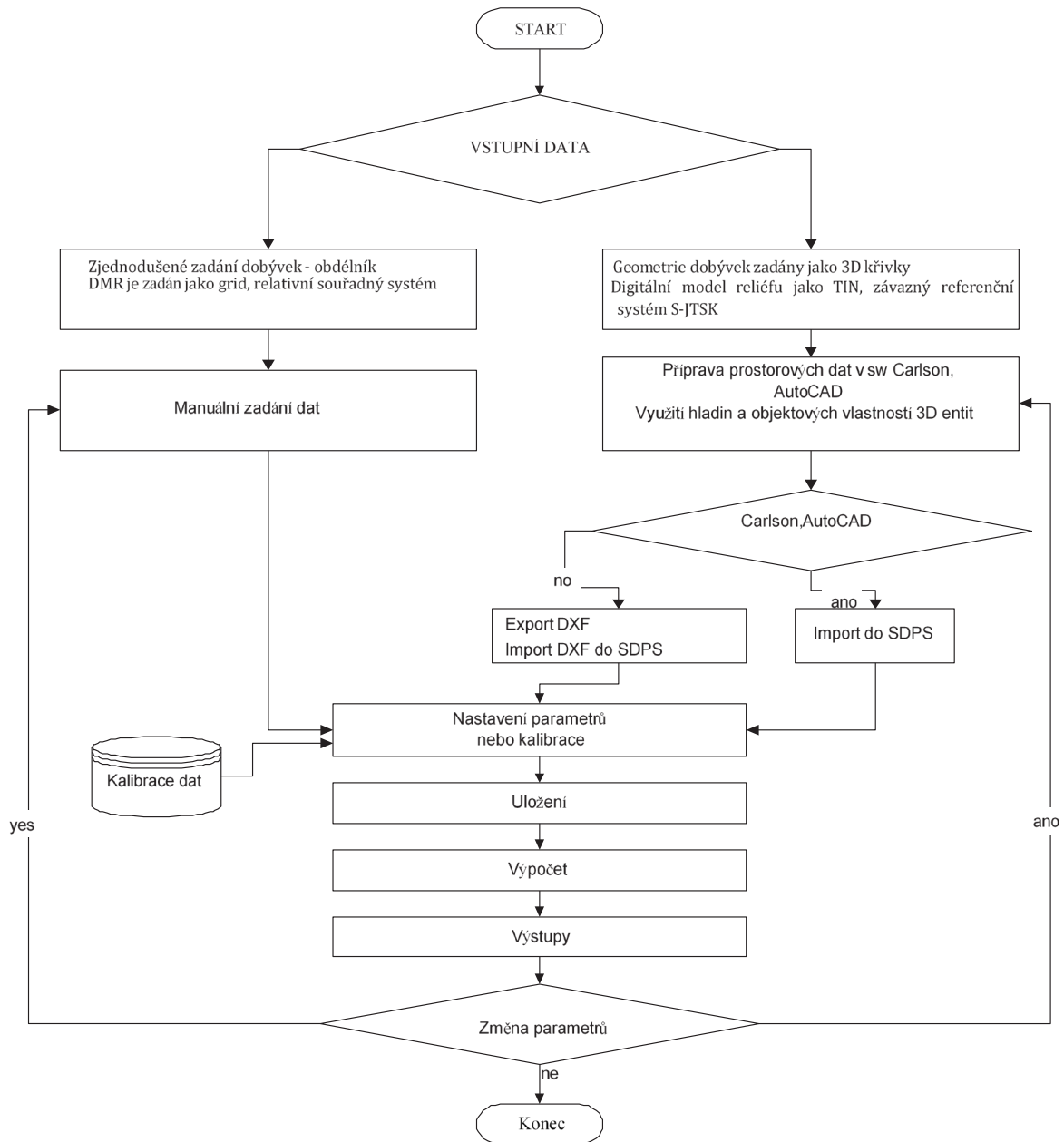


Obr. 6-15: Struktura vstupních dat programu SDPS.



Obr. 6-16: Dialog programu SDPS pro přímý import dat z AutoCAD.

METODIKA PRO TVORBU KOMPLEXNÍHO 3D MODELU VLIVŮ PODDOLOVÁNÍ  
NA POVRCH – RELEVANTNÍHO VSTUPU PRO CITY INFORMATION DODELLING  
(PRO LOKALITU MARIÁNSKÉ RADČICE)



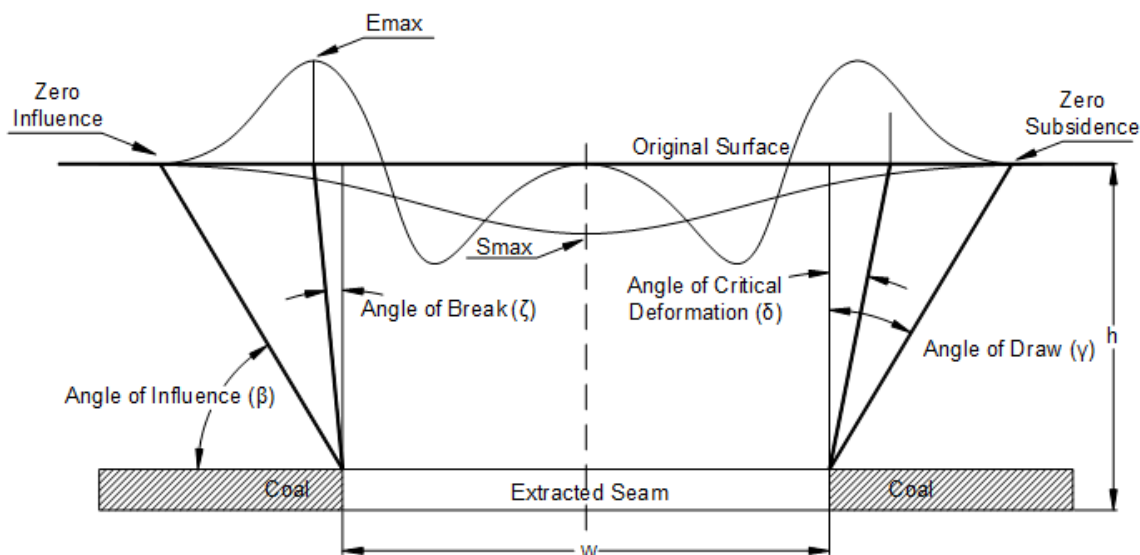
Obr. 6-17: Schematické znázornění pracovního postupu v programu SDPS.



### 6.4.3 Nastavení dalších parametrů výpočtu

Z obr. 6-18 jsou patrné tyto základní parametry:

- hranice vytěžení  $W$  (Extracted Seam),
- $h$  – hloubka uložení počvy,
- hranice nulového vlivu – od tohoto inflexního bodu již nedochází k deformacím,
- maximální pokles –  $S_{max}$ ,
- mezní úhel vlivu – Angle of Influence.



Obr. 6-18: Základní parametry poklesů vlivem poddolování.

Při výpočtu byly individuálně nastaveny parametry jednotlivých těžených ploch (Parcels) v modelové oblasti, které byly očíslovány od 1 do 9 (obr. 6-19). Následně byly zadány pro každou z nich následující parametry:

- průměrná mocnost dobývky (komory) výpočtem,
- volby metody dobývání komorování, stěnování,
- automatický výpočet Subsidence Factor (faktor poklesu).

Při konfiguraci výpočtu bylo zadáno procentuální zastoupení pevných hornin v nadloží v hodnotě 15 %. Tabulka 6-2 dokumentuje, jak je hodnota faktoru

poklesu (Subsidence Factor) ovlivněna poměrem W/h a procentuálním výskytem pevných hornin v nadloží.

The screenshot shows the 'Polygonal Mine Plan' software window with the 'Parcel Management' tab selected. The interface is organized into several sections:

- Parcel Management:** Includes a 'Parcel No' field set to 1, navigation arrows, and '1/9' indicating the current parcel. Buttons for 'New Parcel' and 'Del Parcel' are present.
- Parcel Type:** Radio buttons for 'Panel' (selected) and 'Pillar'.
- Parcel Status:** Radio buttons for 'Active' (selected) and 'Not Active'.
- Total Points:** A text box containing the value 2502.
- Average Parcel Parameters:** A grid of input fields for:
  - Vertex Elevation (m): -38.48832
  - Extraction Thickness (m): 24
  - Critical / Supercritical Subsidence Factor (%): 61.07032
  - Influence Angle for Parcel: 2.31
  - Long-Term Pillar Failure Risk Factor for Parcel: 1
  - Remnant Pillar Height (100 = no reduction) (%): 100Buttons for 'Update Parcel with Avg' are provided for each parameter.
- Tanb Calibration:** Radio buttons for 'Influence 1' (selected) and 'Influence 2'.
- Calculated Subsidence Factor:** Checkboxes for 'Auto Subs. Factor' and 'R&P Panel' (both checked). A text box shows the value 63.3. A button 'Update Parcel with Calculated Subs Factor' is available.
- Table Parcels:** A button to generate a table of parcels.
- Change Parcel Orientation:** A button with 'ccw' (counter-clockwise) next to it.

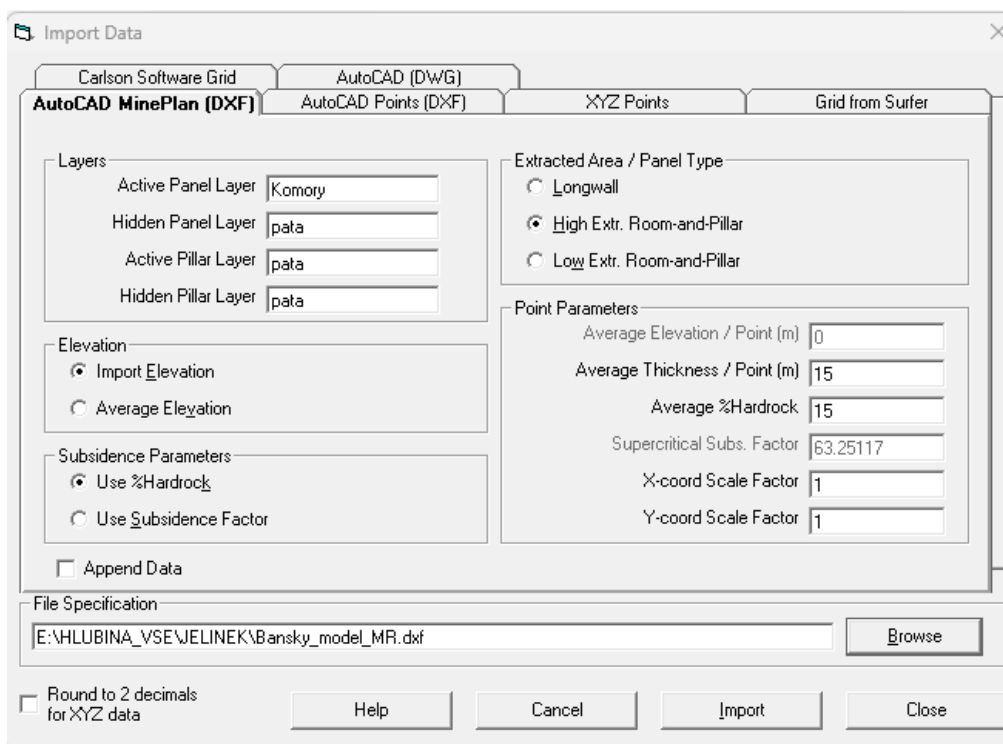
At the bottom of the window, there is a row of standard buttons: 'Copy Image', 'View All', 'View', 'Table', 'Help', 'Cancel', and 'OK'.

Obr. 6-19: Nastavení jednotlivých dobývek pro výpočet v programu SDPS.

**Tabulka 6-2: Hodnoty faktoru poklesu (Subsidence factor).**

W/h	Percent Hardrock in the Overburden							
	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%
0.6	0.52	0.48	0.42	0.35	0.28	0.22	0.17	0.13
0.7	0.57	0.53	0.46	0.38	0.30	0.24	0.19	0.15
0.8	0.60	0.55	0.48	0.40	0.32	0.25	0.19	0.15
0.9	0.61	0.56	0.49	0.41	0.32	0.25	0.20	0.16
1.0	0.62	0.57	0.49	0.41	0.33	0.26	0.20	0.16
1.1	0.62	0.57	0.50	0.41	0.33	0.26	0.20	0.16
1.2	0.63	0.58	0.50	0.42	0.33	0.26	0.20	0.16
1.3	0.63	0.58	0.51	0.42	0.34	0.26	0.20	0.16
1.4	0.64	0.58	0.51	0.42	0.34	0.26	0.21	0.16
1.5	0.64	0.59	0.51	0.42	0.34	0.26	0.21	0.16
1.6	0.64	0.59	0.51	0.42	0.34	0.26	0.21	0.16
1.7	0.64	0.59	0.51	0.43	0.34	0.27	0.21	0.16
1.8	0.64	0.59	0.51	0.43	0.34	0.27	0.21	0.17
1.9	0.64	0.59	0.51	0.43	0.34	0.27	0.21	0.17
2.0	0.64	0.59	0.52	0.43	0.34	0.27	0.21	0.17

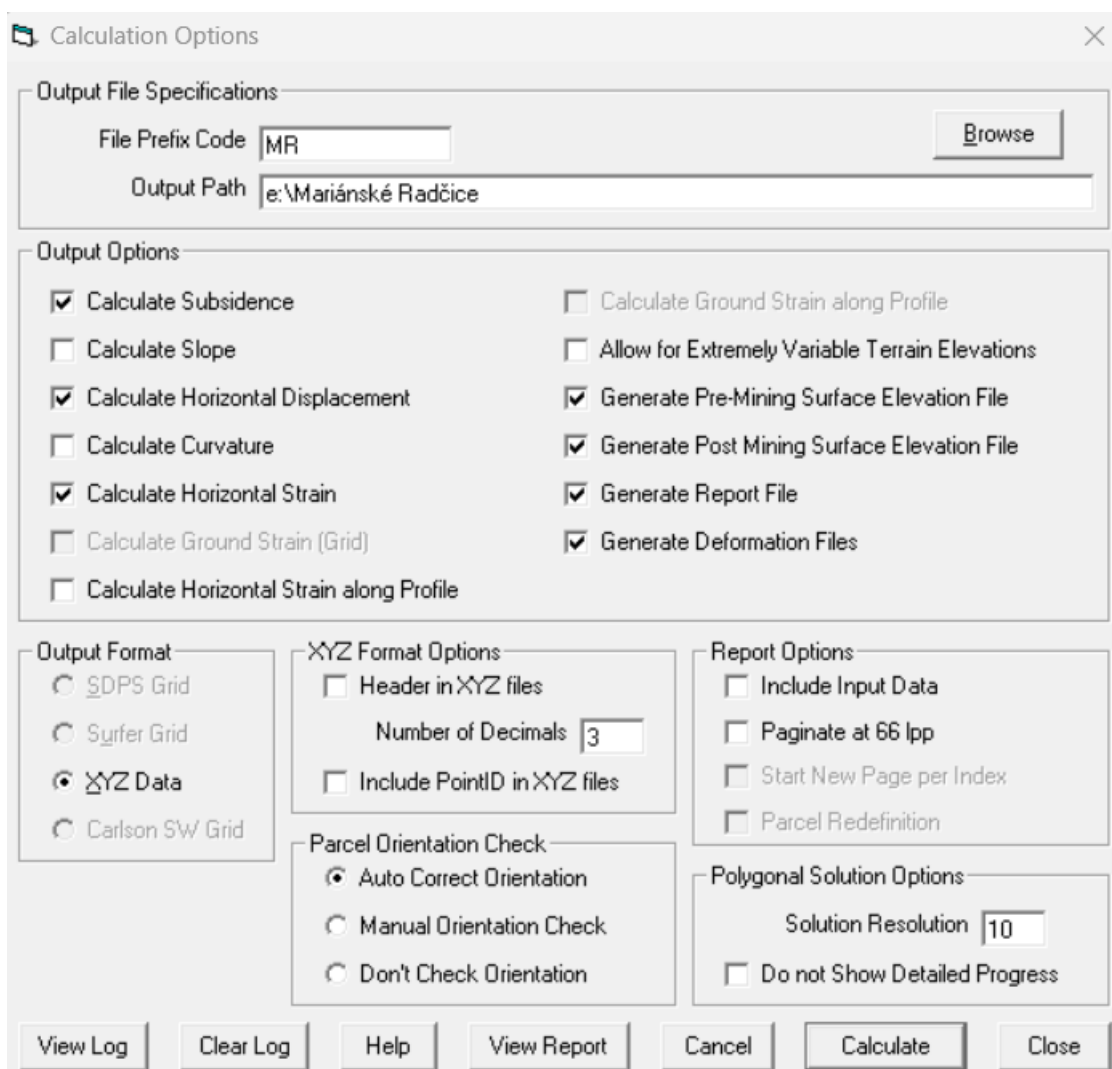
Dialog, který je na obr. 6-20, ukazuje možnosti zadání dat importem z dalšího software.



Obr. 6-20: Dialog pro alternativní možnost zadání parametrů výpočtu.

Pro zadání výstupů (obr. 6-21) z výpočtu jsou k dispozici tyto možnosti:

- poklesy,
- naklonění svahu,
- horizontální posuny,
- zakřivení svahu,
- výstupy do textového souboru,
- výstupy do souborů gridu (GRD).



Obr. 6-21: Nastavení výstupů programu SDPS.

## 6.4.4 Výstupy z programu SDPS

Na obr. 6-22 je ukázka textového souboru s výsledky výpočtu programu SDPS s hodnotami souřadnic X a Y (z důvodu kompatibility s CAD systémem jsou ve 3. kvadrantu), poklesů terénu (Vsu) a jeho horizontálních posunů (Vx a Vy). Maximální vypočtená hodnota poklesu terénu v modelovém území dosáhla 8.2 metru.

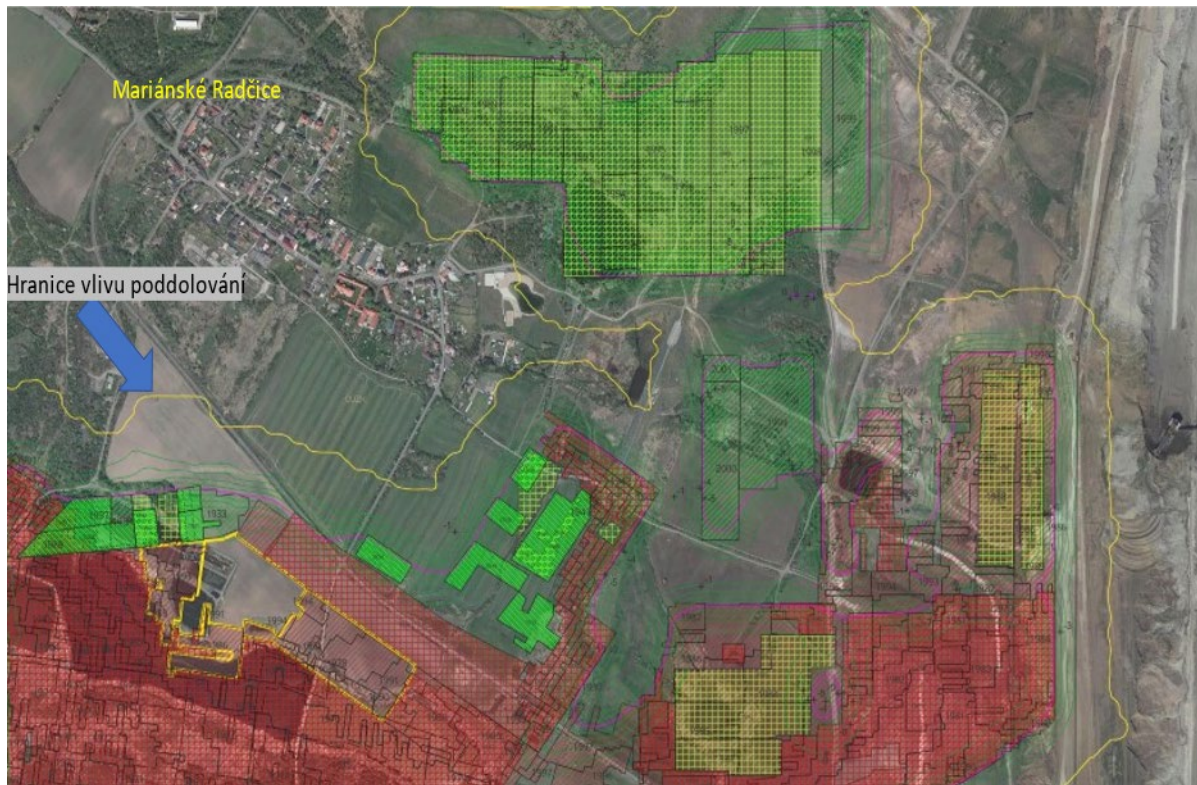
X	Y	Vsu	X	Y	Vx	X	Y	Vy
-788833.125	-983396.063	-0.440	-789157.938	-983069.500	0.151	-789305.938	-982449.750	-0.139
-788832.813	-983394.500	-0.472	-789174.500	-983064.688	0.181	-789305.688	-982449.750	-0.139
-788830.375	-983387.438	-0.653	-789185.125	-983060.813	0.189	-789270.438	-982470.438	-0.062
-788829.938	-983385.250	-0.712	-789125.625	-983067.313	0.068	-789232.438	-982464.375	-0.099
-788828.313	-983384.125	-0.771	-789134.625	-983075.688	0.124	-789238.875	-982466.375	-0.085
-788825.750	-983383.375	-0.841	-789137.313	-983079.438	0.153	-789274.938	-982362.500	-1.028
-788825.813	-983383.000	-0.850	-789142.188	-983079.438	0.163	-789263.813	-982385.313	-0.772
-788830.500	-983377.000	-0.921	-789149.313	-983078.875	0.178	-789324.563	-982384.938	-0.623
-788833.813	-983369.563	-1.061	-789161.063	-983075.750	0.197	-789319.938	-982416.500	-0.318
-788833.750	-983369.250	-1.072	-789194.125	-983064.625	0.252	-789312.250	-982417.938	-0.309
-788847.750	-983368.500	-0.754	-789201.188	-983062.875	0.265	-789289.875	-982431.688	-0.228
-788840.375	-983361.250	-1.126	-789201.813	-983062.875	0.268	-789262.750	-982444.938	-0.181
-788825.375	-983351.750	-1.998	-789206.500	-983084.125	0.541	-789237.125	-982456.000	-0.138
-788822.375	-983345.938	-2.387	-789205.688	-983083.625	0.529	-789229.313	-982460.000	-0.118
-788821.438	-983339.000	-2.751	-789202.250	-983080.063	0.460	-789228.688	-982460.688	-0.114
-788831.375	-983295.938	-3.655	-789202.125	-983079.375	0.449	-789324.938	-982475.000	-0.101
-788834.625	-983343.500	-1.934	-789202.063	-983075.750	0.405	-789405.875	-982251.938	-0.624
-788835.813	-983346.063	-1.789	-789202.000	-983074.750	0.394	-789406.125	-982259.500	-0.663
-788846.938	-983354.000	-1.138	-789201.063	-983071.625	0.353	-789405.625	-982258.813	-0.667
-788858.938	-983369.438	-0.521	-789166.063	-983081.813	0.262	-789405.438	-982258.938	-0.671
-788862.750	-983374.938	-0.385	-789150.875	-983086.250	0.235	-789379.313	-982252.000	-1.112
-788869.125	-983385.875	-0.206	-789136.250	-983088.125	0.207	-789426.188	-982292.188	-0.485
-788854.438	-983347.625	-1.078	-789134.188	-983088.500	0.204	-789424.125	-982289.938	-0.511
-788883.188	-983391.625	-0.093	-789134.000	-983087.500	0.195	-789425.875	-982291.125	-0.489
-788888.438	-983399.000	-0.054	-789132.063	-983084.438	0.172	-789413.438	-982252.375	-0.522
-788893.125	-983405.688	-0.031	-789127.000	-983078.750	0.127	-789417.250	-982294.000	-0.610
-788856.125	-983309.875	-1.977	-789222.438	-983072.938	0.474	-789413.938	-982291.375	-0.653
-788858.438	-983325.375	-1.501	-789222.188	-983072.813	0.473	-789413.750	-982291.375	-0.656
-788870.250	-983353.625	-0.574	-789219.563	-983073.063	0.467	-789412.875	-982296.688	-0.674

Obr. 6-22: Ukázka textového souboru s výsledky výpočtu programu SDPS.

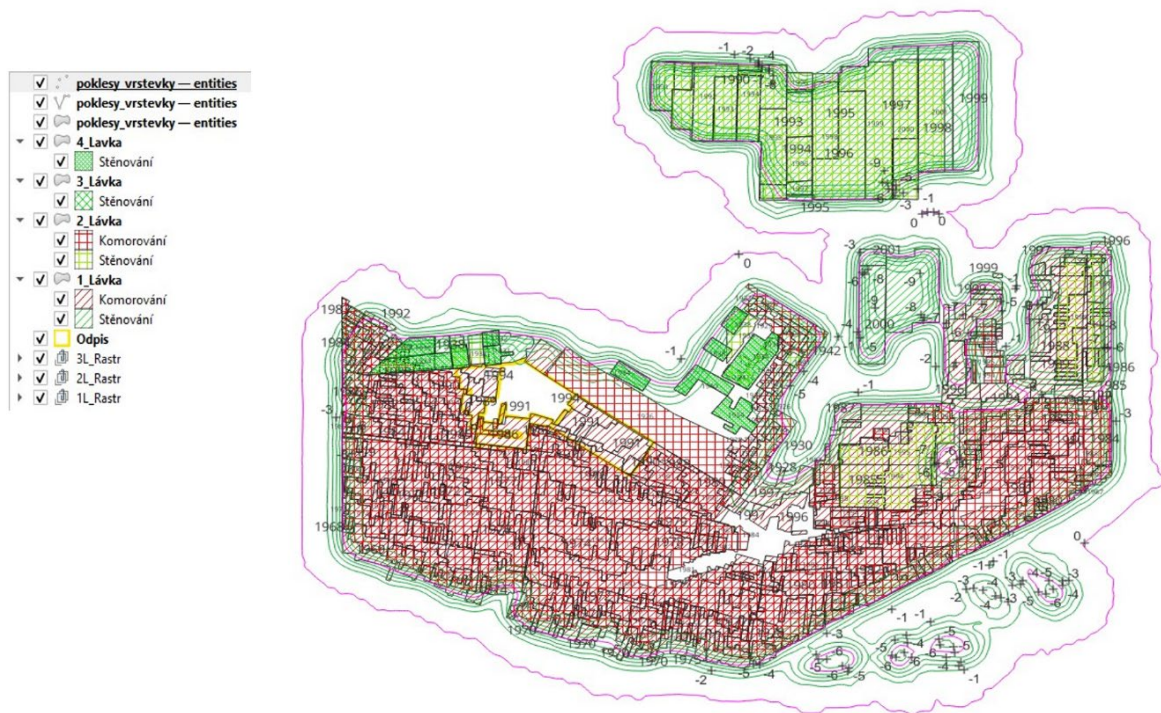
Další možností je export vypočtených hodnot do datového souboru gridu (GRD) použitelného v software Surfer. Je zřejmé, že takto vytvořená data jsou předurčena pro interpretaci v návazných programech. Na obr. 6-23 až 6-26 jsou znázorněny různé formy výstupů z programu SDPS.



METODIKA PRO TVORBU KOMPLEXNÍHO 3D MODELU VLIVŮ PODDOLOVÁNÍ  
 NA POVRCH – RELEVANTNÍHO VSTUPU PRO CITY INFORMATION DODELLING  
 (PRO LOKALITU MARIÁNSKÉ RADČICE)

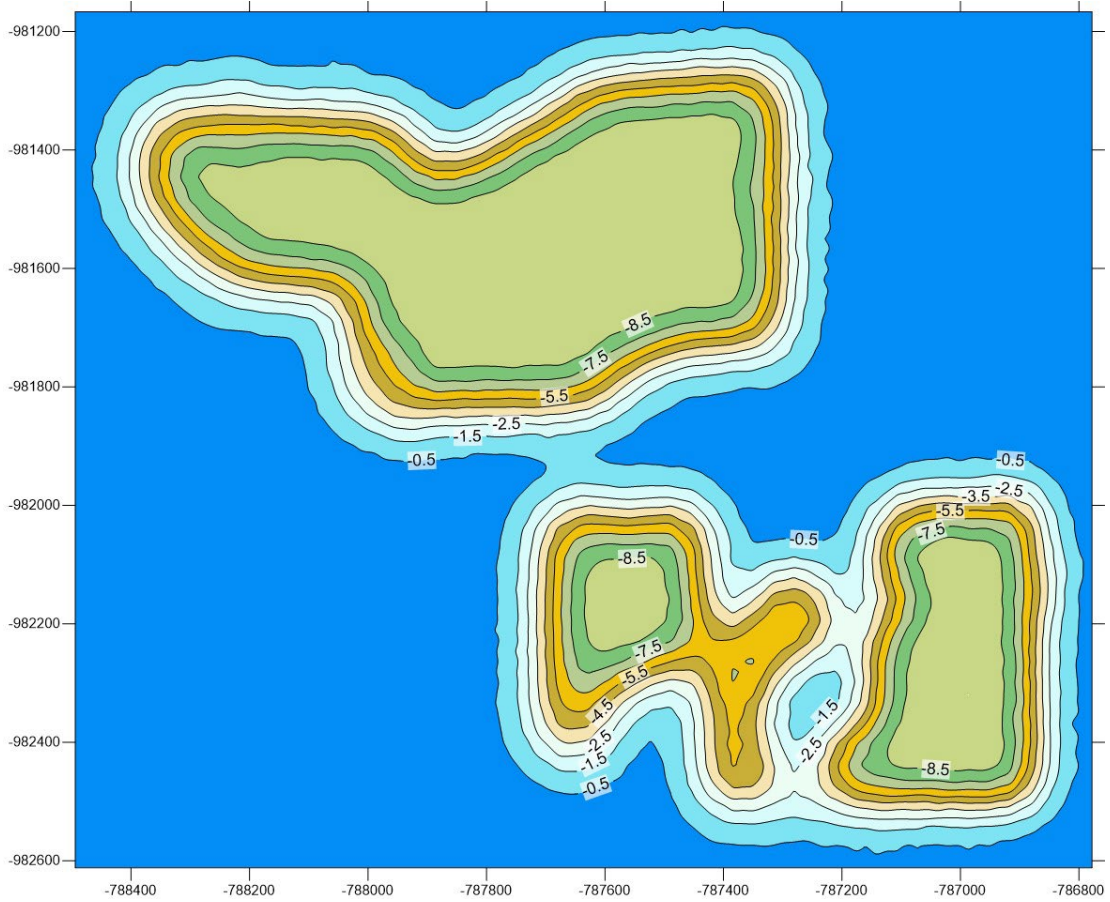


Obr. 6-23: Situace hlubinných dobývek v blízkosti Mariánských Radčic s vypočtenou hranicí vlivů poddolování

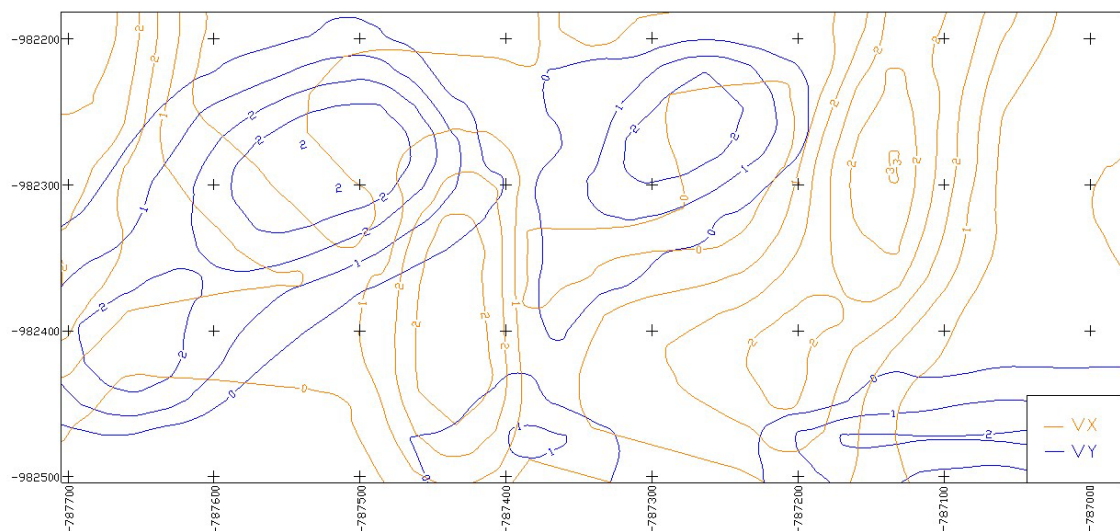


Obr. 6-24: Použité metody hlubinné těžby v řešené lokalitě Mariánské Radčice

METODIKA PRO TVORBU KOMPLEXNÍHO 3D MODELU VLIVŮ PODDOLOVÁNÍ  
NA POVRCH – RELEVANTNÍHO VSTUPU PRO CITY INFORMATION DODELLING  
(PRO LOKALITU MARIÁNSKÉ RADČICE)



Obr. 6-25: Izolinie poklesů terénu v modelovém území.



Obr. 6-26: Izolinie horizontálních posunů v modelovém území.



## 7. TECHNICKÉ PARAMETRY VÝSLEDKU

Výsledek představuje systematický přístup k řešení vlivů poddolování na základě rozsáhlých souborů geologických, báňských, geomorfologických atd. dat, metodou postupných kroků při tvorbě sady dílčích 3D modelů nezbytných pro konstrukci finálního 3D modelu vlivů poddolování na povrch a 3D modelu nejistot lokality Mariánské Radčice. Základní čtyři modely reprezentují již publikovaný výstup projektu ([https://rens.geology.cz/sites/default/files/2023-02/RENS\\_Nmap\\_SS02030023-V38\\_MarRad.pdf](https://rens.geology.cz/sites/default/files/2023-02/RENS_Nmap_SS02030023-V38_MarRad.pdf)). 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 [3]. Následně na základě těchto 3D modelů bylo možné vytvořit komplexní 3D model lokality Mariánské Radčice, včetně výpočtu vlivů poddolování (poklesových kotlí atd.), jakožto podstatného vstupu 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.

## 8. EKONOMICKÉ PARAMETRY VÝSLEDKU

Předložená komplexní metodika jako základ pro tvorbu modelového pilotního komplexního 3D modelu lokality Mariánské Radčice, jakožto podstatného vstupu pro případnou tvorbu tzv. CIM (City Information Modeling) v daném katastrálním území. Přesný ekonomický přínos je odtížně vyčíslit, mj. proto, že jde o modelový příklad řešení především z hlediska technického, aniž by byly specifikovány další okrajové podmínky v rámci celého území intravilánu a extravilánu samotných Mariánských Radčic.

Ekonomický přínos výsledku spočívá nicméně v možnosti provedení kategorizace (zonace) poddolovaného území na jednotlivé úseky podle dopadů hlubinné těžby na povrch, které právě nyní, na základě předložených dílčích a komplexního finálního 3D modelu poddolování reprezentují modelový příklad řešení problému. Na tomto základě bude možno specifikovat doporučení pro další územně-plánovací aktivity v tomto a obdobných územích v podobě předložené certifikované metodiky, jakožto zásadního výstupu projektu.

Z pohledu ekonomiky řešení zadané problematiky 3D modelování řady dílčích 3D modelů je potřeba zdůraznit relativně nízké finanční nároky na nákup a licenční poplatky softwarů, které byly použity. Např. roční licenční poplatky pro hlavní software v němž byl vyvíjen 3D strukturně geologický model představují aktuálně 599 \$ a sdílená (plovoucí) licence 1 199 \$.

Poněkud vyšší jsou finanční nároky na provoz softwarových licencí, programů použitých pro výpočet 3D modelů vlivů poddolování.

Například roční licence softwaru AUTODESK Civil 3D a navázaných modulů představuje 82 750 Kč.

Obdobně software CARLSON Underground Mining permanentní licence má cenu 85 000 Kč a roční udržovací poplatek pak 8 500 Kč.

Zcela stejně nákladově je to také se softwarem CARLSON Geology a softwarem. Permanentní licence softwaru Surface Deformation Prediction System (SDPS) pak obnáší částku 30 000 Kč (bez DPH).

## 9. ZÁVĚR

Předložená certifikovaná metodika na základě vzorového pilotního komplexního řešení lokality Mariánské Radčice, reprezentuje vzorový příklad postupných kroků pro tvorbu tzv. CIM (City Information Modeling) v zadaném katastrálním území.

Na základě postupné tvorby sady dílčích 3D modelů pro lokalitu Mariánské Radčice, ovlivněnou rozsáhlou historickou hlubinnou těžbou, jsou unikátním způsobem specifikovány jednotlivé nezbytné, postupné kroky tvorbě finálního komplexního 3D modelu poddolování lokality (3D model poklesových kotlin, viz např. obr. 6-24, 6-25), a to od pořízení potřebných vstupních údajů z archivní dokumentace, jejich digitalizace, přes uplatnění moderních algoritmů tvorby 3D modelů ložiska, báňského modelu až po vizualizaci původního a současného terénu na základě digitálních modelů reliéfu, včetně tzv. Landscape modelu.

V případě zcela zásadního strukturně-geologického 3D modelu je zde podrobně popsáno, a na vyobrazeních prezentováno, speciálně vytvořené programové vybavení od zajištění kontroly vstupních dat, kompatibility použitých programů (MS Excel, Surfer, Voxler, MOVE) atd. Paralelně s tímto výstupem je v rámci projektu vyvíjen a ve finální podobě bude předložen k termínu 1.1.2023 rovněž „Software pro tvorbu 3D modelu míry nejistoty strukturně-geologického modelu“ (<https://rens.geology.cz>).

Použitá metodika, spolu s navrženým, a částečně nově vyvinutým programovým vybavením, spočívající především v programátorské provázanosti řady dílčích softwarových produktů, umožňuje vytvářet výstupní dílčí 3D modely, a ve finále navazující 3D model (3D báňský model s navazujícím modelem poddolování, viz obr. 6-24, 6-25, 6-26).



## Literatura

- [1] Agioutantis, Z., Karmis, M. (2021). SDPS Quick Reference Guide and Examples. Lexington, Kentucky.
- [2] Luxa, J. (1997). Doly Bílina: z historie hornictví k současnosti dolování na Bílinsku. Teplice: NIS, 223 s.
- [3] Mach, K. (1993). Korelace vrstev hlavní uhelné sloje mezi lomy Bílina, Kopyisty a VČSA., Zpravodaj SHD 4/93, 31–40.
- [4] Mach K. (2002). Anomální stavba hlavní hnědouhelné sloje v prostoru mio-cenní bílinské delty a její geneze. Doktorská práce PřF UK v Praze.
- [5] Malkovský M. a kol. (1985). Geologie severočeské hnědouhelné pánve a jejího okolí. – Oblastní regionální geologie ČSR, Ústřední ústav geologický, Praha.
- [6] Pešek, J. (2010). Terciární pánve a ložiska hnědého uhlí České republiky. Česká geologická služba, Praha, 415 str.
- [7] 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.
- [8] Schenk, J. (2004). Knotheho rozdělení plně účinné plochy. Ostrava: Vysoká škola báňská.
- [9] Schenk, J. (2004). Metodika výpočtu vlivů poddolování na počítači: Program SUBSCH. Ostrava: VŠB - Technická univerzita.
- [10] “Horninové prostředí a nerostné suroviny” Internet: <https://rens.geology.cz/cs>, [Feb. 3, 2023].
- [11] “Surfer Explore the depths of your data.” Internet: <http://www.goldensoftware.com/products/surfer/features>, [Feb. 3, 2023].
- [12] “Voxler Power forward into 3D visualization.” Internet: <http://www.goldensoftware.com/products/voxler/features>, [Feb. 3, 2023].
- [13] “MOVE Suite.” Internet: <https://www.petex.com/products/move-suite/>, [Feb. 8, 2023].

- [14] “Zeměměřický úřad.” Internet: <https://zememerickyurad.maps.arcgis.com>,  
[Feb. 8, 2023].