

Univerzita Palackého v Olomouci
Přírodovědecká fakulta
Katedra geoinformatiky

Tomáš DROTTNER

MODELOVÁNÍ PODLOŽÍ NA OSTRAVSKU
ZALOŽENÉ NA VOXLECH

Bakalářská práce

Vedoucí práce: RNDr. Jana Svobodová, Ph.D.

Olomouc 2013

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci bakalářského studia oboru Geoinformatika a geografie vypracoval samostatně pod vedením RNDr. Jany Svobodové, Ph.D.

Všechny použité materiály a zdroje jsou citovány s ohledem na vědeckou etiku, autorská práva a zákony na ochranu duševního vlastnictví.

Všechna poskytnutá i vytvořená digitální data nebudu bez souhlasu školy poskytovat.

V Olomouci 5. měsíc 2013

podpis_____

Děkuji vedoucí práce RNDr. Janě Svobodové, Ph.D. za podněty a připomínky při vypracování práce. Za poskytnutá data děkuji České geologické službě, RNDr. Renatě Kachlíkové.

Vložený originál **zadání** bakalářské/magisterské práce (s podpisy vedoucího katedry, vedoucího práce a razítkem katedry). Ve druhém výtisku práce je vevázána fotokopie zadání.

OBSAH

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK	7
ÚVOD	8
1 CÍLE PRÁCE.....	9
2 POUŽITÉ METODY A POSTUPY ZPRACOVÁNÍ	10
2.1 Použitá data	10
2.2 Použité programy	11
2.3 Použitý hardware.....	11
2.4 Postup zpracování	11
3 VYMEZENÍ ZÁJMOVÉHO ÚZEMÍ	12
3.1 Geomorfologie	12
3.2 Geologie	13
4 3D MODELOVÁNÍ.....	14
4.1 Historie 3D modelování	14
4.2 3D modely	15
4.3 Využití modelů.....	16
5 VOXEL	17
5.1 Historie.....	17
5.2 Využití.....	17
5.3 Vizualizace.....	18
5.4 Výhody a nevýhody voxelů	18
6 SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY	19
7 ZÁKLADNÍ ÚPRAVA VSTUPNÍCH DAT	20
8 ZPRACOVÁNÍ DAT VE VOXLER 3.....	21
8.1 Úvod do Voxler 3	21
8.2 Úprava dat	21
8.3 Import dat	22
8.4 Tvorba modelu	23
8.4.1 Funkce Gridder	24
8.4.2 Funkce IsoSurface	28
8.4.3 Funkce FaceRender	29

9	ZPRACOVÁNÍ DAT V ROCKWORKS 15	32
9.1	Úvod do RockWorks 15	32
9.2	Úprava dat	32
9.3	Import dat	34
9.4	Tvorba modelu	34
9.4.1	Borehole Data Manager	36
9.4.2	Lithology x Stratigraphy	36
9.4.3	Lithology/Model	36
10	VÝSLEDKY	41
10.1	Voxler 3	41
10.2	RockWorks 15	44
10.3	Porovnání modelů	48
11	DISKUZE	51
12	ZÁVĚR	52
	POUŽITÁ LITERATURA A INFORMAČNÍ ZDROJE	
	SUMMARY	
	PŘÍLOHY	

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

Zkratka	Význam
ASCII	American Standard Code for Information Interchange
Balt p.v.	Balt po vyrovnání
BIN	Binary Lattice
CAD	Computer Aided Design
CSG	Constructive Solid Geometry
CT	Computer Tomography
DAT	Disc Allocation Table
DVR	Direct Volume Rendering
ESRI	Environmental System Research Institute
GIS	geografický informační systém
GRD	Grid Format
HD	Hight-Definition
HTML	HyperText Markup Language
IDW	Inverse Distance Weighting
IMAX	Image Maximum
JTSK	Jednotná trigonometrická síť katastrální
KMZ	Keyhole Markup Zip
MB	Megabyte
MDB	Mircosoft DataBase
MOD	Modulo (RockWare Solid Files)
ORP	Obec s rozšířenou působností
R3dxml	RockPlot 3D
RAM	Random-access memory
RGB	Red Green Blue
SF	Surface Fitting
SHP	Shape File
TXT	Text
UTM	Universal Transverse Mercator
WGS 84	World Geodetic Systém 1984
XLS	Microsoft Excel File Format

ÚVOD

Lidé měli už od dávných dob potřebu vyrábět modely různých objektů, ať už z důvodu nutnosti nebo jako zálibu. S postupem času se metody modelování různě vyvíjely. První 3D modely vytvořené pomocí počítače pochází už z počátku 20. století hlavně díky rozmachu filmového průmyslu. Pro modelování 3D objektů či jevů v GIS (geografický informační systém) je nutná 3D informace, protože klasická 2D už byla nedostačující. Použití třetího rozměru v informačních technologiích se dosáhlo lepších výsledků a většího pochopení přírodních jevů. Aktuální téma objemové modelování (použití voxelů), je tedy následek této nutnosti pro lepší zobrazení informací. Díky tomuto přístupu lze dané vymodelované objekty lépe zkoumat a porozumět jejich vnitřní struktuře, která v klasickém 3D modelování chyběla. Možnost vyplnění modelů hmotou a více atributy se velmi rozšířila do mnoha oblastí. Velkou část zaujímá medicína, kde se takto vytvořené modely používají pro zobrazení magnetické rezonance, plánování operací aj. Dále je tento přístup velmi rozšířen v herním průmyslu, kde autoři her mohou vytvářet celé imaginární světy s funkčními fyzikálními zákony.

Tato práce se však zabývá možnostmi modelování v geologii, kde je objemové modelování také velmi rozšířeno. Právě v této oblasti je velmi výhodné použití daného přístupu, díky možnostem zobrazení litologie, stratigrafie aj. Pokud je potřeba zjistit jak vypadá určitý povrch (typ horniny, celé podloží atd.) je právě využití voxelů pravděpodobně tou nejlepší volbou. Možnosti tvorby 3D modelů ve zvolených programech Voxler 3 a RockWorks 15 včetně jejich srovnání je tedy hlavním smyslem této bakalářské práce.

1 CÍLE PRÁCE

Cílem bakalářské práce je modelování podloží na Ostravsku za použití voxelů. Teoretická část je studium získané literatury a různé možnosti modelování. Hlavním cílem bylo vytvoření 3D modelu s využitím 3D interpolace a voxelů v programech RockWorks 15 a Voxler 3. Dalším cílem bylo popsání možností obou programů, jejich výhody a nevýhody při práci s voxely. Posledním cílem bylo sepsání podrobného návodu tvorby konkrétních modelů a nastavení parametrů interpolace v obou programech. Podmínkou pro možnost využití voxelů je existence dat s více údaji ve směru osy Z.

2 POUŽITÉ METODY A POSTUPY ZPRACOVÁNÍ

Prvním důležitým krokem bylo vymezení zájmového území pro tvorbu modelu. Tento výběr byl proveden na základě konzultace a doporučení Ing. Lady Hýlové, Ph. D. Podmínkou pro území byly alespoň částečně pravidelně rozmístěny vrty a malý počet geologických zlomů. Data byla následně získána z databáze Geofond. Pro samotnou tvorbu modelů byla nutná úprava dat pro import do daných programů. Jako další krok bylo zjištění správného nastavení parametrů obou programů pro tvorbu modelů. Jednalo se hlavně o správnou volbu interpolačních metod a jejich hodnot. Byly použity metody IDW (Inverse Distance Weighting) a LITHOBLENDING. Při práci v programu Voxler 3, byla velmi užitečná odborná konzultace s technickou podporou firmy a to konkrétně s Andreem Duddleyem. Pro správné nastavení některých parametrů a jejich popisů byla také využita výuková videa obou společností a jednotlivé manuály k programům. Po následném vytvoření modelů, bylo zapotřebí obou programů a jejich možnosti porovnat mezi sebou a vytvořit daný postup práce.

2.1 Použitá data

Data byla získána od České geologické služby - Geofond a to konkrétně z databáze vrtné prozkoumanosti. Společně s daty byla získána licenční smlouva (Příloha 9), která umožňuje použití těchto dat pouze pro účely této bakalářské práce. Bylo důležité, aby data obsahovala více údajů na ose Z a měla přibližnou hloubku 1000 m (největší hloubka je 1800 m a nejméně hluboký vrt má pouze 950 m). Jedná se o 98 profilů vrtů, které mají měřítko 1 : 25 00, jsou v souřadnicovém systému JTSK (Jednotná trigonometrická síť katastrální) a ve výškovém systému Jadran-Lišov. Pouze 6 vrtů je ve výškovém systému Balt p.v. a to ty nejmladší z 80. let. Jejich stáří se pohybuje v rozmezí let 1950–1990 (nejvíce vrtů je z 50. až 60. let). Rozdíly mezi výškovými systémy jsou cca 40 cm, data do programů vstupují v metrových intervalech, a proto lze tento rozdíl zanedbat. Tyto vrty nejčastěji prováděla firma Uhelný průzkum Ostrava Hrabová a GPO závod Hrabová za účelem zjištění uhelných zásob. Získaná data byla ve dvou formátech. První *.mdb databáze MS Access, která obsahovala souřadnice vrtů, jejich maximální hloubku, geologický popis hornin, stratigrafické rozdělení a jejich interval hloubek. Tyto vybrané údaje o vrtech byly použity pro následnou tvorbu modelů. Jako druhý byl formát *.html soubor pro každý vrt, který obsahoval rok ukončení, účel objektu, realizaci, číslo posudku, hloubkové intervaly a velmi důležitou nadmořskou výšku. Data musela být upravena tak, aby mohla být naimportována do programů pro následnou tvorbu modelů. Pro následnou práci byla data upravena do dvou formátů. První vstupní soubor byl rozdělen podle Z souřadnice po 1 metrových intervalech, druhý měl možnost vstupu podle intervalů stratigrafických jednotek.

2.2 Použité programy

Jak už bylo zmíněno v podkapitole 2.1, data byla získána ve formátu *.mdb a k jejich prvnímu prohlížení byl použit MS Office Access. Pro úpravy byla data importována do programu MS Office Excel, kde byla převedena do požadovaného formátu a následně vyexportována do *.txt (Voxler 3) a *.xls (RockWorks 15). Samotná tvorba modelů probíhala v programech Voxler 3 a RockWorks 15.

Program Voxler 3 od společnosti Golden Software Inc, který byl získán pro tvorbu této bakalářské práce s jednou desktopovou licencí. Tato společnost byla založena již v roce 1983 v Golden, Colorado. Zabývá se modelováním v oblasti vědy, techniky, geologie, dolování a medicíny. Skládá se z dílčích šesti programů, které jsou mezi sebou propojeny, a každý z nich je určen pro jiné oblasti práce. Samotný Voxler 3 byl vydán v roce 2006 a je tedy nejmladším produktem této firmy. Hlavní důvod proč byl tento program vybrán, je jeho možnost importu dat s více údaji na ose Z, práce s voxely, tvorba 3D modelů, výpočet matematických statistik a následná grafická vizualizace výsledků.

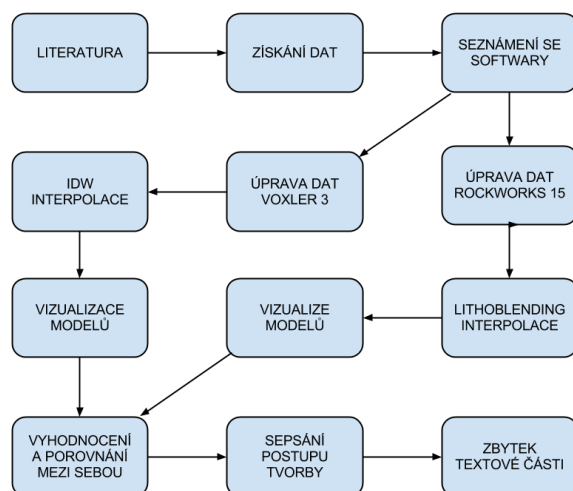
RockWorks 15 od společnosti RockWare Inc byl získán opět pro tvorbu této práce jako jedna desktopová RockWorks Single licence. Společnost byla založena stejně jako Golden Software, Inc roku 1983 v Golden, Colorado. Zabývá se stejnými disciplínami jako předchozí firma a navíc také ekologií, rozvojem krajiny, hydrologií a těžbou. Mezi další produkty patří jak GIS, tak CAD (Computer Aided Design) nástroje a různé extenze pro ArcGIS a AutoCAD. RockWorks 15 je hlavním produktem této firmy. Byl zvolen opět díky možnosti práce s voxely a daty s více údaji na ose Z.

2.3 Použitý hardware

Práce byla provedena na notebooku Lenovo IdeaPad Y550P s následujícími parametry: Windows 7 Ultimate 64bit, RAM 4 GB, procesor Intel Core i7 720QM, grafická karta NVIDIA GeForce GT240 1GB a harddisk 500GB 5400 otáček.

2.4 Postup zpracování

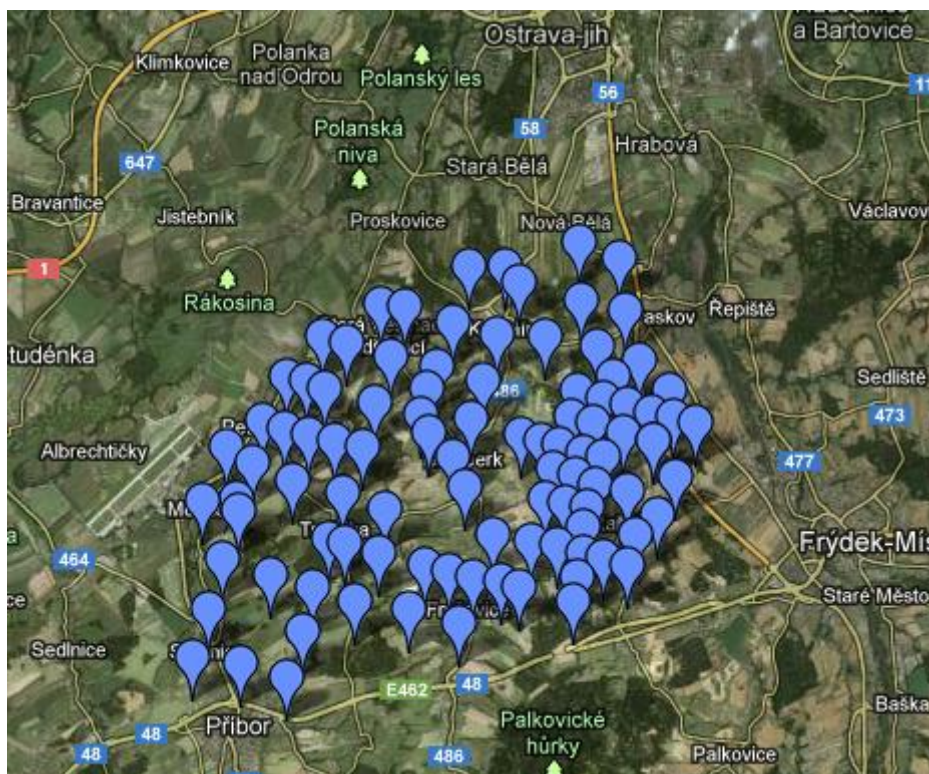
Na Obr. 2.1 lze vidět konkrétní postup bakalářské práce.



Obr. 2.1 Schéma postupu bakalářské práce.

3 VYMEZENÍ ZÁJMOVÉHO ÚZEMÍ

Oblast, na které byl vytvářen model, má přibližnou velikost 10x10 km a přibližnou rozlohu 100 km² s nepravidelným tvarem. Je to území zasahující částečně do několika ORP (obec s rozšířenou působností) a to konkrétně: západní část ležící v ORP Kopřivnice, východní část v ORP Frýdek Místek a severní část v ORP Ostrava. Toto území bylo vybráno na základě doporučení Ing. Lady Hýlové, Ph.D. z katedry geologie Univerzity Palackého v Olomouci, díky malému počtu zlomů, jednoduchosti terénu a velkému počtu svislých a hlubokých vrtů.



Obr. 3.1 Lokalizace vrtů (Google Maps).

3.1 Geomorfologie

Území se rozprostírá na 3 geomorfologických celcích.

Největší část zabírá Příborská pahorkatina, která se celkově skládá z osmi dalších okrsků. Zvolená oblast zasahuje pouze do tří a to: Libhošťská pahorkatina, Staříčská pahorkatina a Pálkovické podhůří. Tyto tři okrsky jsou součástí Podbeskydské pahorkatiny, která se nachází v jihozápadní části geomorfologické oblasti Západobeskydské podhůří (subprovincie Vnější Západní Karpaty).

Severozápadní a nejmenší část území zasahuje do oblasti Ostravské pánve a to konkrétně do Novobělské roviny a Ostravské nivy. Tyto celky jsou součástí Severních vněkarpatských sníženin, které spadají do geomorfologické provincie Západní Karpaty.

Severovýchodní část leží na území Bartošovické pahorkatiny v celku Moravská brána, oblasti Západní vněkarpatské sníženiny, subprovincie Vněkarpatské sníženiny.

Toto území je velmi málo členité, až se dá říct, že je spíše ploché. Nejnížší nadmořské výšky (230 m. n. m.) se nacházejí na severozápadě, vyšší nadmořské výšky lze nalézt směrem na jih území (od 290–350 m. n. m.) a nejvyšší bod je vrchol Kamenná (384,9 m. n. m.) nacházející se na východě [8].

3.2 Geologie

Celé území patří do flyšového pásma Západních Karpat. Subprovincie Vnější Západní Karpaty jsou tvořeny svrchnokřídovými až oligocenními mořskými uloženinami pískovců a jílovců, v menší míře i slepenců, často s výrazným, mnohonásobně se střídajícím zvrstvením, tedy uloženinami typického flyše.

Horniny se neusadily v tomto prostoru, nýbrž byly do současných pozic nasunuty od jihovýchodu formou příkrovů během fází alpinského vrásnění v neogénu. Příkrovy se přesouvaly i přes sebe. Spodní patro příkrovů se označuje jako vnější skupina příkrovů a svrchní patro jako magurská skupina příkrovů. Koncem neogénu byly příkrovy rozlámány podle zlomů a neotektonické kerné pohyby vytvořily i zde hlavní rysy georeliéfu. Ty jsou však významně doplňovány rozdílnou odolností hornin vůči erozně-denudačním pochodům [8].

Příborská pahorkatina

Podloží tvoří křídové a paleogenní flyšové horniny podslezské a slezské jednotky vnější skupiny příkrovů s četnými výchozy hornin vulkanické těšínitové asociace, útržky jurských vápenců a miocenními a kvarténními sedimenty. Četné jsou překryvy spraší a sprašových hlín. Převážně erozně-denudační reliéf má ráz úpatní pahorkatiny s širokými údolími a zbytky terciárního zarovnání povrchu na rozvodích. Četné jsou litologicky podmíněné suky z odolnějších hornin slezské jednotky, periglaciální tvary a úpady. Z úpatních zarovnaných povrchů se vyskytují pedimenty a kryopedimenty. V pleistocénu bylo území zasaženo severským sálským zaledněním, zachovány jsou glacienní sedimenty [8].

Ostravská pánev

Ostravská pánev se nachází v karpatské předhlubni mezi dvěma hlavními geologickými útvary našeho území: Českým masívem a Západními Karpaty. Podloží pánve tvoří brunovistulikum s pokryvem hlavně devonských a spodnokarbonských uloženin. Pro Ostravskou pánev je velmi důležitý geologický vývoj od paleozoika, konkrétně v karbonu, kdy zde docházelo k sedimentaci a vzniku černouhelných slojí [8].

4 3D MODELOVÁNÍ

3D grafika se vyvinula z původní 2D grafiky, která se dělí na vektorovou a rastrovou. Rastrová se skládá z pixelů, které pomocí matice bodů tvoří výsledný obraz. Vektorová grafika je oproti tomu tvořena základními geometrickými tvary, jako jsou body, přímky, křivky a mnohoúhelníky. Rozdíl mezi oběma způsoby je dost podstatný. Rastry jsou jednodušší na zpracování, protože jsou tvořeny již zmíněnými pixely v určité mřížce (grid). Jejich největší nevýhodou je nedostatečný detail a příliš velká náročnost na paměť počítače. Vektorová grafika je mnohem detailnější (při zoomování se vykresluje pořád stejně), je méně náročná na paměť PC, ale její objekty jsou mnohem složitější. Proto se pro počítačovou grafiku (animace, hry aj.) používá rastrová grafika.

Přidáním třetího rozměru, tedy Z souřadnice (obvykle výška nebo hloubka) lze vytvořit 3D vjem obrazu. Převod z 2D do 3D a naopak se nazývá renderování. Tento proces je velmi důležitý, aby výsledný obraz vypadal co nejvěrohodněji. Důležitá je také struktura, která reprezentuje obal daného objektu.

Existují čtyři typy modelování. První CSG – constructive solid geometry je přístup pro 3D modelování pomocí objektů. Má svůj původ v CAD. Základní konstrukce při modelování jsou krychle, válce, koule a jsou použity s různými parametry. Množinové operace používají základní tvary ke konstrukci 3D tělesa, např. sjednocení, rozdělení a rozdíl (union, intersect, difference). Dalším typem je tessellation representation (mozaiková reprezentace) – voxel. Voxel je objemový element („3D pixel“). Třetí metoda reprezentace 3D dat je pomocí čtyřstěnu. Čtyřstěn je nejjednodušší a skládá se ze čtyř trojúhelníků, které vytvoří uzavřený objekt v 3D prostoru souřadnic. Je dobře definován, protože tři body každého trojúhelníku leží vždy ve stejné rovině. Poslední metoda pro reprezentaci 3D objektů je hraniční reprezentace. 3D objekt je reprezentován pomocí nízko rozměrových hraničních prvků (vertex (0D), linie (1D), polygon (2D), polyhedron(3D)), které jsou organizovány v různých datových strukturách. Mohou to být jednoduché okrajové reprezentace jako rovné hrany nebo komplexní hraniční reprezentace, kde jsou zakřivené povrchy a hrany [14].

4.1 Historie 3D modelování

Jako první náznaky 3D zobrazení reality se dá považovat vynález stereoskopu (Obr. 4.1) v roce 1844 Davidem Brewsterem. Další významnou událostí je bezesporu 3D fotografie královny Viktorie z roku 1851. V roce 1855 byl vynalezen kinematoskop, což je stereoskopická kamera, který je schopná zachytit 3D pohybující se obrazy.

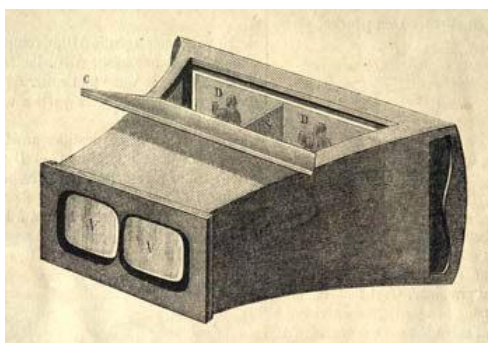
3D zobrazování se nejvíce rozšířilo v oblasti filmové produkce. První anaglyfický (stereoskopická technika sloužící pro vnímání prostorového vjemu) film vznikl už v roce 1915. V roce 1922 byl poprvé představen v kině film Síla lásky, který byl rovněž anaglyfický. Většinou se jednalo o americkou produkci, až v roce 1947 vytvořil Sovětský svaz svůj první snímek Robinson Crusoe.

V roce 1960 vznikla nová technologie tzv. „Space-Vision 3D“, která používala dva obrazy a přetiskla jeden přes druhý na jediný pás. Potřebovala pouze jeden projektor a speciální objektiv. Byla vynalezena kvůli složitosti použití dvou projektorů.

Další důležitý posun nastal v roce 1970, kdy Allan Silliphant a Chris Condon vynalezli stereovizi. Tato technologie skládala dva obrazy vedle sebe na jeden pás 35 mm filmu. Používala speciální anamorfózní objektiv, aby bylo možné použít filtry Polaroid. V tomto roce byl také vůbec poprvé využit počítač k vytvoření vizuální efektu. Byl to 2D rotující objekt, použitý ve filmu Kmen Andromeda. Dalším průlomem byla první počítačová animace trvající 11 minut, která byla vytvořena v roce 1974. Vůbec první použití 3D animace byl plán Hvězdy smrti ve filmu Hvězdné války z roku 1977.

V 90. letech byly vytvářeny filmy ve stejném způsobu jako Space Vision. V tomto období dbal IMAX (Kanadská filmová společnost, vynálezci IMAX formátu) na matematické korekce, které odstranily únavu očí, jak tomu bylo zvykem u předešlých filmů. Na výstavě Expo 86 byl poprvé představen první 3D film s použitím polarizovaných brýlí, vytvořený v Kanadě.

V novém tisíciletí se začala používat IMAX technologie s názvem „Reality Camera Systém“, která používá nejnovější HD (high-definition) kamery a byla vynalezena Vincem Pacem [7].



Obr. 4.1 Stereoskop [11].

4.2 3D modely

Co se týká přímo modelování ve 3D na počítači, tak určitě nejvýznamnější roli měla Univerzita v Utahu. Zde byl roku 1968, Davidem Evansem založen projekt pro rozvoj počítačové grafiky. Právě na této univerzitě vznikly základní algoritmy, techniky renderování, stínování (Gouraudovo) a metody zaoblení těles (Catmull-Clarkův algoritmus). Pracovalo zde velmi mnoho odborníků a mezi známé, kteří šli později vlastní cestou je např. Jim Clark (Silicon graphic), John Warnock (Adobe Systems) a Edwin Catmull (Pixar). Nejznámějším produktem z této univerzity byl určitě 3D model čajové konvice (Obr. 4.2) vytvořený Martinem Newellem v roce 1975, který se stal základním stavebním kamenem pro tehdejší modelování objektů. Newell si vybral čajovou konvici kvůli jejímu vhodnému tvaru (obsahuje sedlové body, konkávní prvek a vypadá realisticky i bez použití textury). Před začátkem modelování vytvořil matematická data (matice všech souřadnic XYZ) a zveřejnil je pro ostatní výzkumníky.

Přesto, že vykreslování čajové konvice už v roce 1975 nebylo téměř pro nikoho problém, používali ji grafici jako referenční objekt pro pokročilejší grafické techniky.

Mezi další z ikon počítačové 3D grafiky patří také šachovnicová podlaha a architektonické sloupy. Tento model sloužil jako dobrý ukazatel perspektivní deformace tzv. *foreshortening* (efekt při kterém se těleso pod určitým úhlem jeví jako zkreslené, slouží k vytvoření 3D vjemu obrazu).

Pro složitosti lidského těla se právě kostra stala samotným modelem, aby animátoři dokázali své schopnosti při vyvíjení 3D modelů. Často vytvářeli různé animace, kde kostra tančila, zpívala a dělala ostatní lidské činnosti. Tento model, pojmenovaný George byl vytvořen Wayne Carlsonovým systémem v Ohiu, zdravotnickým ilustrátorem Donem Stredneyem.

Dalším známým modelem je Standfordský zajíc (Obr. 4.2), který byl vytvořen v roce 1994 Gregem Turekem a Marcem Levoyem za použití technologie *range scan* (složen z 69 451 trojúhelníků). *Range scan* představuje mřížku vzdáleností bodů na fyzickém objektu (v daném případě zajíc) od skenovacího zařízení. Pomocí toho je vytvořen obraz z pixelů, kde každý z nich obsahuje místo barvy hodnotu vzdálenosti. Při použití černobílého zobrazení se tedy jako světlejší jeví bližší pixely a vzdálenější jsou naopak tmavší [4].



Obr. 4.2 Ukázky známých modelů [4].

4.3 Využití modelů

3D modely jsou v posledních letech velmi často používány. Slouží k vytváření lepších a přehlednějších náhledů různých objektů. Využívají se ve velmi mnoha odvětvích. Nejvíce však ve strojírenství, stavebnictví, počítačové grafice, geografie, geologie, památkářství či lékařství.

V geografii a geologii slouží modely často k lepší orientaci daného území nebo znázornění určitých přírodních jevů. Lze modelovat jakékoliv tvary terénu, či vytvářet různé simulace proudů vzduchu a vody. Díky těmto modelacím, lze dané jevy lépe pochopit a vysvětlit.

5 VOXEL

Voxel, z anglických slov volumetric element (objemový prvek) je analogií k pixelu (2D) reprezentující hodnotu v pravidelném gridu ve 3D prostoru. Je to objemový element, který stejně jako pixel neobsahuje svoji polohu společně se svými hodnotami. Místo toho, je jeho poloha určena na základě polohy ostatních voxelů. Je to tedy 3D objekt reprezentován jako 3D krychlové nebo sférické pole, kdy každý prvek obsahuje jeden (nebo více) datových hodnot (booleanovské nebo skutečné). Ve velmi zjednodušené formě lze říci, že voxel je obyčejným 3D objektem, nejčastěji krychle, která je vyplněna, proto název objemový prvek [4].



Obr. 5.1 Ukázka rozdílného rozlišení vytvořeného modelu z voxelů [2].

5.1 Historie

Jedním z prvních přístupů 3D vizualizace za použití voxelů, byl vyvinut v roce 1988 Robertem Drebinem (společnost Pixar). Jeho algoritmus využíval nezávislé 3D buňky s objemy. Základním předpokladem bylo, že objekt byl složen z jednotlivých voxelů, kde každý z nich měl stejné vlastnosti, jako je např. hustota.

Další přístup používá „ray-tracing“ (sledování paprsků). Základní myšlenkou tohoto přístupu je vypuštění paprsku z pozice obrazového bodu přes data, tak aby se získala požadovaná informace podél letu paprsku, která je následně zobrazena. Výsledné hodnoty mohou být průměrem vstupních dat v každé buňce – voxel a nebo údaje ze všech buněk protnutých paprskem. Tento přístup se používá v lékařství a seismologii. Hlavní podíl na této myšlence měl Marc Levoy z Univerzity v Severní Karolině v roce 1988 [4].

5.2 Využití

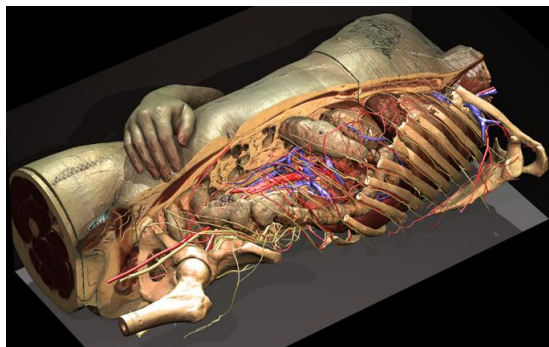
Největší využití voxelů je bezesporu v lékařství, počítačové grafice (převážně PC hry) a modelování v různých geovědách nebo v důlním průmyslu.

V rámci medicíny je hlavní použití při vizualizaci dat výsledků magnetické rezonance nebo CT (počítačová tomografie). Další možností využití je například umístění implantátů, měřících přístrojů, chirurgických nástrojů do modelu životní velikosti vytvořeného z voxelů a naplánování nejlepšího operačního postupu [15].

V letech 1986 až 1991 byl vytvořen projekt s názvem „Voxel Man“ (Obr. 5.2), který sloužil právě pro simulaci chirurgických zákroků. Projekt byl odstartován profesorem Karlem Heinz Hohnem na Univerzitě Medical Center Hamburg [16].

Využití voxelů v herní oblasti je známé už od roku 1992, kdy byla vytvořena první voxelová hra Comanche. Mezi další známé hry patří Duke-Nuken 3D, Outcast aj. Tyto první hry v 90. letech představovaly průkopovou grafiku. Tvůrci her si vybírali voxely právě kvůli jejich možnostem relativně jednoduché stavby obrovských ploch a funkčnosti

fyzikálních vlastností. V takto vytvořeném světě lze všechno rozbít na nejmenší části, je zde možnost prokopávání se povrchem, vytváření jeskyní, přesahů a v neposlední řadě také srážení objektů [5].



Obr. 5.2 Voxel Man [16].

5.3 Vizualizace

Uvádí se, že existují dvě vizualizační metody, první *Direct Volume Rendering* (DVR) a druhá *Surface-Fitting* (SF).

DVR algoritmus zahrnuje přístupy jako *Ray-casting*, *Integration methods*, *Splatting*, *V-Buffer*. DVR je charakteristické tím, že zobrazuje elementy na obrazovce bez použití jednoduchých geometrických tvarů jako výsledek meziprojektu. DVR je vhodné pro použití vytvoření zobrazení mraků, tekutin nebo plynů. Nevýhoda této metody je, že se při každém renderování musí celý dataset transformovat.

SF přístup někdy také *iso-surfacing* je nejčastěji povrch složený z primitivních geometrických tvarů o stejné hodnotě. Uživatel začne s vybráním prahové hodnoty, podle které se přizpůsobí geometrie povrchu. Buňky s jinou než uživatelsky zadanou hodnotou zůstanou nezobrazeny. SF metody jsou častěji rychlejší než DVD, protože SF přístup pouze extrahuje danou hodnotu povrchu. Změna této prahové hodnoty je časově náročnější protože vyžaduje, aby byly všechny buňky znovu prohledány [6].

5.4 Výhody a nevýhody voxelů

Mezi hlavní výhody patří jednoduchost datové struktury (rastr, octree), snadné množinové výpočty, lehké vypočítání objemu.

Voxely mají pravidelnou velikost základní jednotky. To může představovat nevýhodu, protože reálný povrch není pravidelný a pokud je nutné použití vyššího detailu, je celý model více náročný na datový prostor a čas. Vytvoření polygonového modelu je tedy rychlejší než modelu z voxelů. Dalším problémem je tzv. „streaming systém“. Tato komplikace se projevuje při skokové změně detailů u přiblížení a oddálení se od objektu [3].

6 SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY

Téma 3D modelování je v posledních letech velmi aktuální, je tedy jasné, že se touto tematikou zabývalo ve svých pracích velmi mnoho autorů. Toto téma je velmi rozsáhlé, proto je jeho využití zastoupeno v mnoha oborech.

Modelováním pomocí GIS se zabývali také na Katedře Geoinformatiky Univerzity Palackého v Olomouci. Konkrétní téma modelování s použitím voxelů bylo použito v diplomové práci *Modelování procesu sufoze* [10]. Zde byly použity 3D modely sufózních tvarů, vytvořené v programu Voxler 3. Geologické 3D objemové modelování jako takové je velmi často použito v různých projektech, kde je nutné použít tento typ modelování pro vhodné zobrazení podloží. Projekt, který může být příkladem, vznikl za spolupráce dvou švédských univerzit (Uppsala Univerzity, Luleå University of technology), švédské firmy (GeoVista AB) a britského výzkumu (Rock Deformation Research) s názvem *3D geological modelling in the Skellefte distrikt* [1]. Cílem tohoto projektu bylo vytvoření 3D geologického modelu dané oblasti (Skellefte, Švédsko) až do hloubky 10 km (bráno včetně nadmořské výšky). Klíčem práce byl sběr seizmických dat na dvou 25km dlouhých profilech (výsledný 3D model měl velikost 50x50x9 km a *Spacing* 1 km). Problematikou komplexního 3D modelování v oblasti geologie se zabýval Mark Jessell (Monash Univerzity, Austrálie), ve své práci *Three-dimensional geological modelling of potential-field data*, která popisuje veškeré možnosti vizualizace geologických dat [9].

7 ZÁKLADNÍ ÚPRAVA VSTUPNÍCH DAT

Jak už bylo v předchozích kapitolách zmíněno, data byla získána ve formátu *.mdb (Příloha 1) a *.html (Příloha 2). Pro vytvoření modelu byly použity atributy KLIC_GDO, METR_OD, METR_DO a STRATIFRAG z databáze profily.mdb. Další důležité atributy XYZ, představující souřadnice vrtů byly v databázi vrty.mdb. Hodnota Z představuje nadmořskou výšku ústí daného vrtu a od této hodnoty je počítána hloubka vrtu.

Tab. 7.1 Přehled stratigrafických jednotek a jejich ID

ID	Název stratigrafické jednotky
1	Neznámé
2	Křída
3	Paleogén
4	Neogén
5	Karbon
6	Kvartér

Rozvržení stratigrafických jednotek v jednotlivých vrtech bylo velmi odlišné, některé z nich obsahovaly pouze jednotky karbonu a kvartéru. U jiných vrtů se zase měnily intervaly jednotek velmi často a po velmi malých intervalech. Už z prvních úprav dat bylo zřejmé, že největší objem zaujímá karbon a nejméně kvartér.

Některé jednotky třídy neznámé, byly po odborné konzultaci s Ing. Ladou Hýlovou, Ph.D. převedeny na jiné vyhovující jednotky podle jejich polohy. Pokud byla například zjištěna jednotka křídý v rozmezí hloubky 160–120 metrů, další byla neznámé s intervalem 120–119 metrů, byla právě tato vrstva klasifikována jako jednotka křídý.

Úprava dat byla časově nejnáročnější, už jenom proto, že originální soubor obsahoval hloubky jednotek od 0 metrů. Takto ovšem data nemohla vstupovat do modelovacích programů, jelikož tato hloubka byla myšlena od dané nadmořské výšky vrtu, nikoli 0 metrů nadmořské výšky. Hloubky stratigrafických jednotek musely být tedy přepočítány. Souřadnice byly také převedeny do souřadnicového systému S-JTSK.

Důležité při tvorbě grafických výstupů by mělo být dodržování správné barevné legendy daných stratigrafických jednotek (Příloha 3). Vzhledem k malé barevné rozdílnosti mezi jednotkami paleogén, neogén a kvartér byla barevná legenda změněna tak, aby se dané jednotky mezi sebou lépe odlišovaly (tab. 7.2).

Tab. 7.2 Změny oproti mezinárodní barevné legendě stratigrafických jednotek (RGB, název)

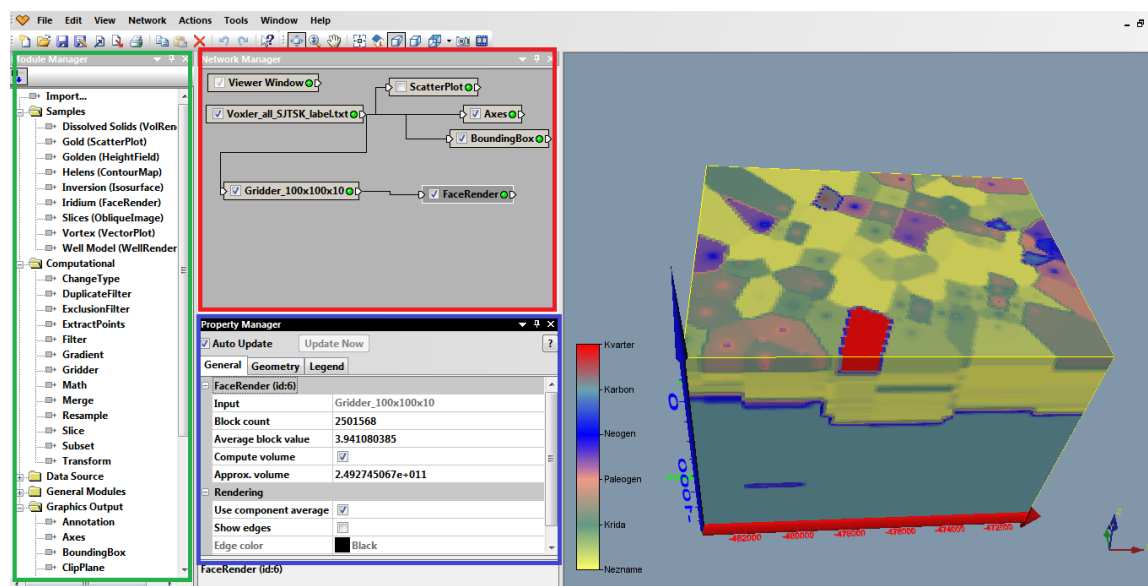
ID	Jednotka	Původní barva	Změněná barva
1	Neznámé	V legendě neuvedeno	255,255,102 (žlutá)
2	Křída	99,154,133 (zelená)	99,154,63 (zelená)
3	Paleogén	239,154,133 (lososová)	239,154,133 (lososová)
4	Neogén	239,214,184 (béžová)	0,0,255 (modrá)
5	Karbon	106,164,175 (šedá)	106,164,175 (šedá)
6	Kvartér	246,196,145 (oranžová)	255,0,0 (červená)

8 ZPRACOVÁNÍ DAT VE VOXLER 3

V této kapitole je popsán detailně celý postup práce. Úprava a import vstupních dat, nastavení všech potřebných parametrů a následná tvorba modelů.

8.1 Úvod do Voxler 3

Tento program má velmi přehledné rozhraní a dá se v něm snadno zorientovat. Jako ukázka, zde byl použit výsledek bakalářské práce, model *FaceRender* (Obr. 8.1). Zelený rámeček zobrazuje *Module Manager*, kde jsou přímé volby různých modulů a grafických výstupů. Nachází se zde také položka *Samples*, zobrazující příklady. V červeném rámečku *Network Manager*, lze vidět schéma vytvoření konkrétního modelu. Modrý rámeček představuje *Property Manager* a nastavují se zde parametry všech modulů. Jakoukoli funkci lze také najít v záhlaví programu pod tlačítkem *Network*. Tato nabídka má stejné rozložení jako *Module Manager*. Skládá se tedy z *Computational*, *Data Source*, *General Modules*, *Graphic Output*. Pro tuto práci byly použity pouze funkce z nabídky *Computational* a *Graphic Output*. V pravé části jsou potom zobrazeny grafické výstupy.



Obr. 8.1 Ukázka rozhraní Voxler 3.

8.2 Úprava dat

Přesto, že program Voxler 3 dokáže importovat velmi mnoho formátů souborů, byl zvolen formát *.txt, kvůli své jednoduchosti a rychlosti práce (např. soubory *.xls zobrazovaly pouze jeden vrt). Dále lze nahrát soubory typu *.mdb, *.dat, *.bin, *.xls nebo také ESRI ASCII GRID FORMAT *.grd či klasický *.shp a mnoho dalších.

Formát dat pro vstup do Voxler 3 byl zjištěn, díky vzorovým datům, které byly obsaženy přímo v programu jako pomocné soubory. Po odborné konzultaci s Andreewem Dudleyem z technické podpory firmy GoldenSoftware, Inc., byla data upravena do intervalu po jednom metru. Zvolení tohoto rozložení hodnot bylo nejlepším řešením jak

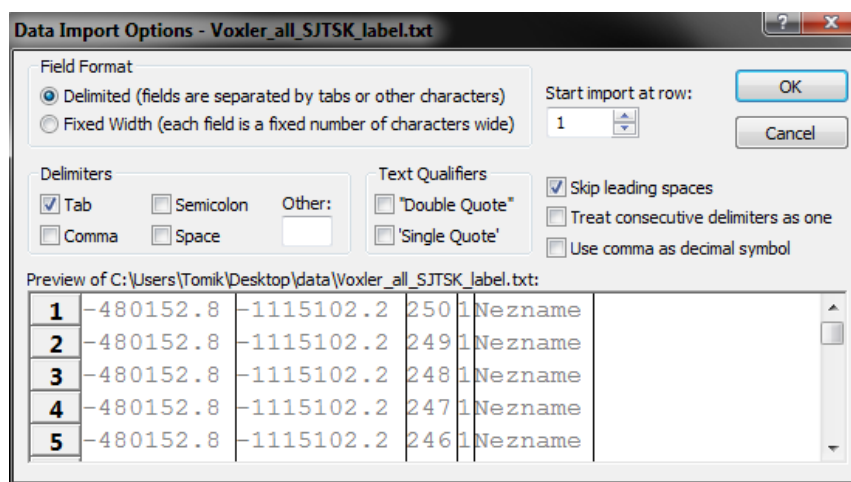
tyto odlišnosti ošetřit tak, aby i ta nejtenčí vrstva vstupovala do následné interpolace. Tato úprava byla také zvolena kvůli neschopnosti programu načíst intervalová data, protože pracuje pouze s bodovými daty. Vstupní soubor Voxler_all_SJTSK_label.txt do programu Voxler 3 obsahoval 119 650 řádků záznamů (Obr 8.2.). První dva sloupce zobrazují XY souřadnice vrtů. Třetí sloupec je nadmořská výška a poslední sloupce označují stratigrafické jednotky. Tyto jednotky a jejich ID jsou zobrazeny v tabulce 7.1.

Voxler_all_SJTSK_label – Poznámkový blok					
Soubor	Úpravy	Formát	Zobrazení	Nápověda	
-480152.8		-1115102.2	231	1	Nezname
-480152.8		-1115102.2	230	1	Nezname
-480152.8		-1115102.2	229	2	Krida
-480152.8		-1115102.2	228	2	Krida
-480152.8		-1115102.2	227	2	Krida
-480152.8		-1115102.2	226	2	Krida
-480152.8		-1115102.2	225	1	Nezname
-480152.8		-1115102.2	224	1	Nezname

Obr. 8.2 Ukázka vstupních dat do programu Voxler 3.

8.3 Import dat

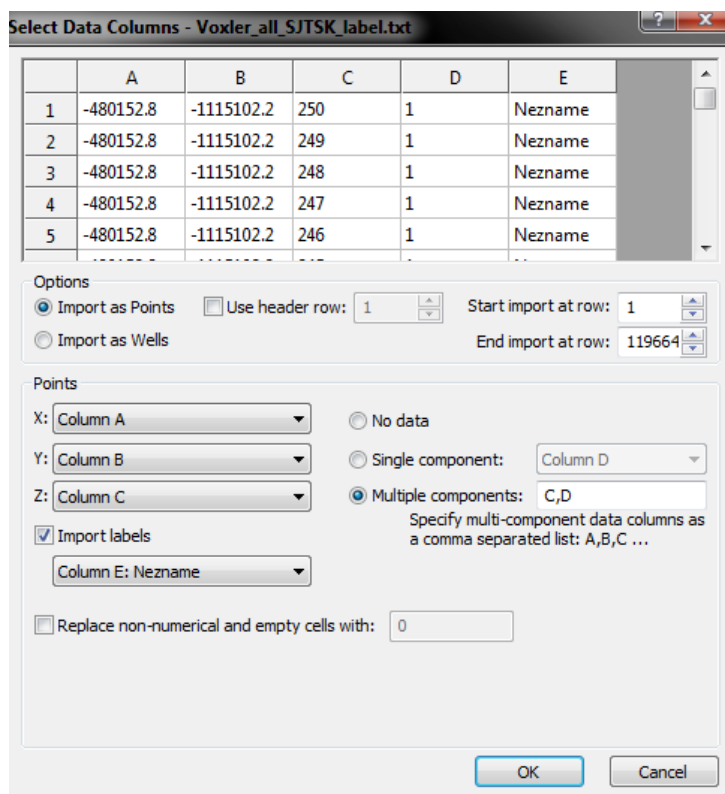
Import dat je možný třemi způsoby, první pomocí *File -> Import*, druhý pomocí lišty nástrojů a tlačítka *Import*, poslední možnost je vybrání importu z *Modul Manager*. Vybere se požadovaný soubor, v tomto případě Voxler_all_SJTSK_label.txt. Při importu bylo potřeba upřesnit parametry vstupu ve dvou dialogových oknech. První (Obr. 8.3) nabízí, jakým způsobem lze data importovat. Nastavuje se zde například rozdělení sloupců a počáteční řádek.



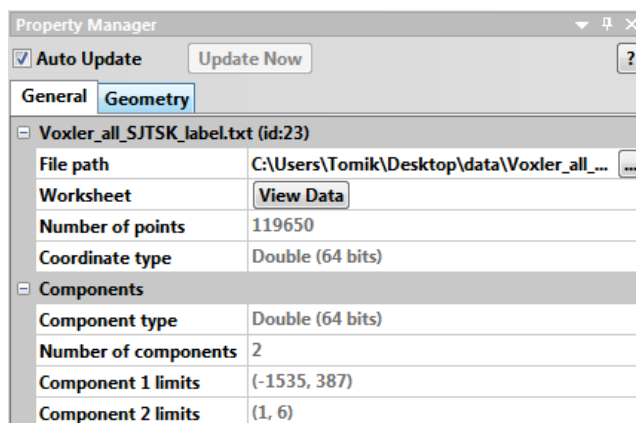
Obr. 8.3 První okno nabídky importu.

V dalším dialogovém okně (Obr. 8.4), bylo důležité nastavení souřadnic XYZ a komponentu (sloupec D). Jako komponent zde byl brán konkrétní ID stratigrafické jednotky znázorněné v tabulce 7.1. Lze vybrat i více komponentů, například Z souřadnice znázornění různých výšek. Také zde mohou být přidány popisky, pomocí *Import labels* a vybrání zdrojového sloupce. Tato funkce není doporučena, pokud data obsahují hodně údajů, samotný model je pak velmi nepřehledný. Po úspěšném nahrání dat, se data

znázorní pouze v okně *Network Manager* (Obr. 8.5), nikoliv jako grafický výstup. Jejich prohlédnutí je možné přes *Property manager* -> *View Data*.



Obr. 8.4 Druhé dialogové okno s výběrem souřadnic a komponentů.



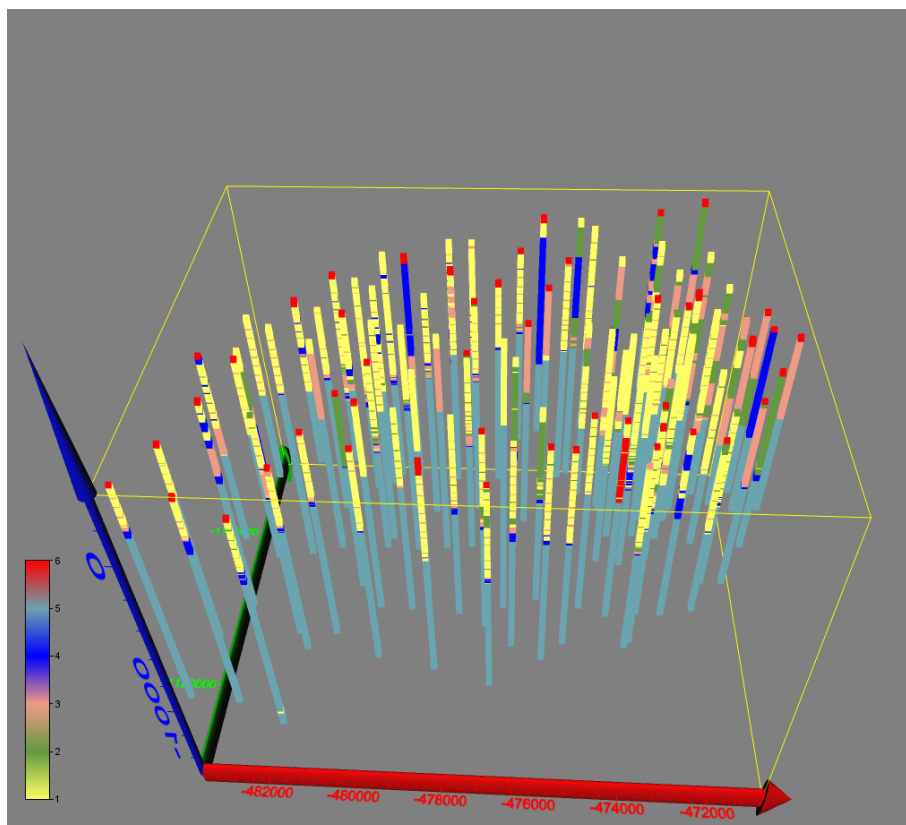
Obr. 8.5 Nainportovaná data a jejich vlastnosti.

8.4 Tvorba modelu

Ještě před začátkem samotné tvorby, je doporučeno (na základě vstupních dat) změnit vertikální měřítko okna prohlížeče. Tato možnost se nachází při zvolení *Viewer Window* v okně *Network manager* a následnou změnu *Vertical exaggeration* z původní hodnoty na vyšší. V tomto případě byla hodnota zvolena na 5. Tato změna se provádí, pokud mají vstupní data mnohem menší délku osy Z vůči osám XY. Upravení hodnoty má tedy za následek lepší vizualizaci modelů.

Pro přehlednější práci bylo vhodné také zvolení dvou grafických výstupů hned na začátku a to zobrazení os a hraniční linie. Obě funkce se nachází v nabídce *Graphics Outputs* pod názvy *Axes* a *BoundingBox*.

Vizuální zobrazení vrtů bylo vytvořeno pomocí funkce *ScatterPlot*, která se nachází v nabídce *Graphics Outputs*. Tato funkce zobrazuje data formou bodového grafu (Obr. 8.6).

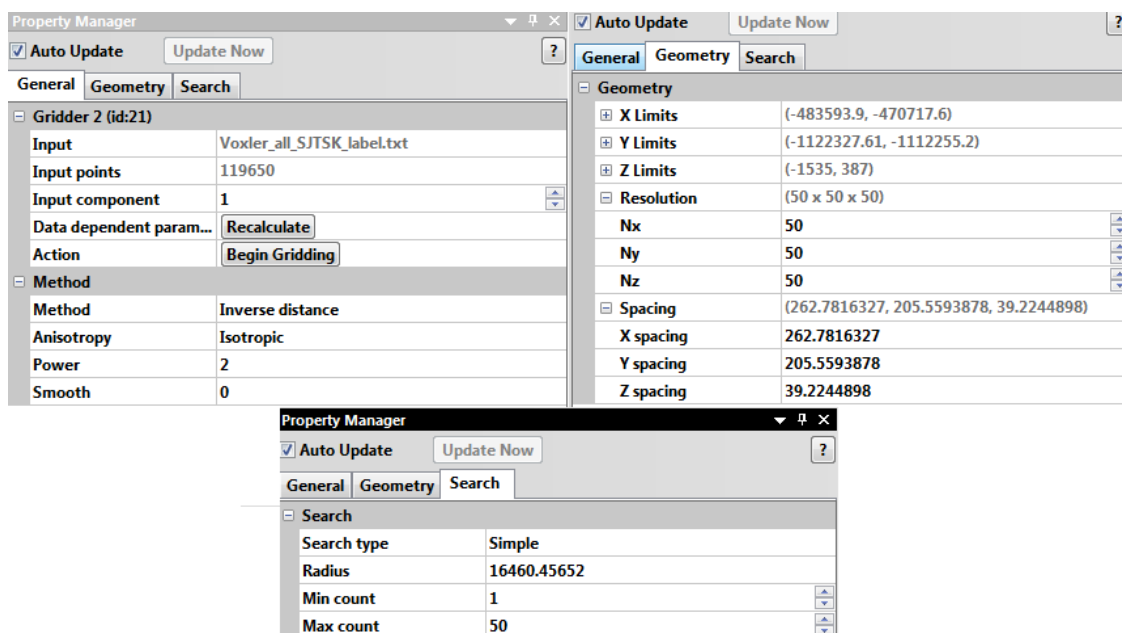


Obr. 8.6 Zobrazení vrtů pomocí funkce *ScatterPlot*.

8.4.1 Funkce *Gridder*

S takto načtenými daty zatím není možné provádět téměř žádné operace, kromě již zmíněného bodového grafu nebo výběrových filtrů na základě zvolených parametrů. Aby bylo možné vytvořit 3D model, bylo třeba tato data interpolovat. K tomu slouží funkce *Gridder* (Obr. 8.7), která se nachází v nabídce *Computational*. *Gridder* a jeho správné nastavení je velmi klíčové při tvorbě daného modelu, tak i jiných grafických výstupů. Nastavuje se zde:

- metoda interpolace (anizotropie, shlazení, power),
- geometrie (rozlišení, mezery mezi body, limity os),
- nastavení hledání bodů vstupujících do interpolace (metoda, velikost hledací elipsy, maximální a minimální počet bodů).

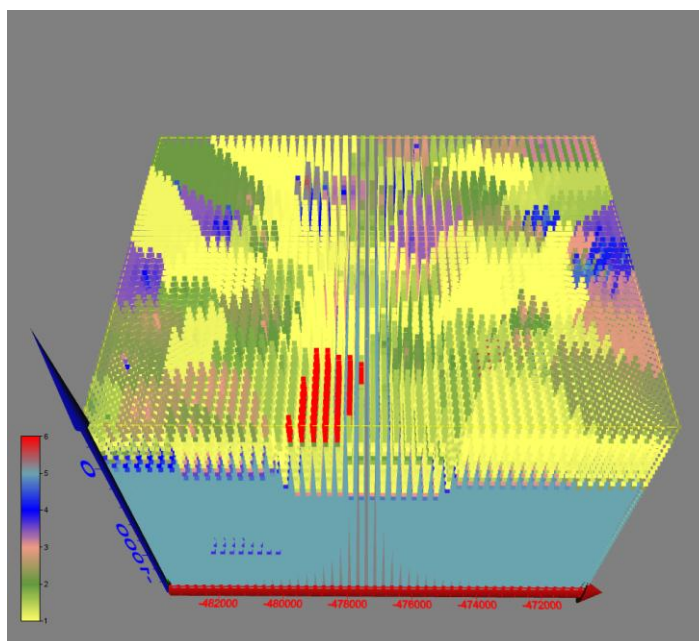


Obr. 8.7 Primární nastavení funkce Gridder.

Gridder převede rozptýlená bodová data do uniformované mřížky. Jako každá interpolační metoda, používá se pro výpočet hodnot, kde se nenacházejí žádná data. Tuto funkci je však možné využít i pro výpočet matematických statistik vstupních dat.

Při načtení dat s více komponenty, je primárně *Gridder* nastaven na interpolaci prvního komponentu. Na výběr vstupních komponentů nesmí být zapomenuto, jinak budou výsledné modely počítány z chybných dat. Tento výběr se provede v záložce *General* nastavení *Gridderu* pod nabídkou *Input Component* (Obr. 8.7).

Interpolace je spuštěna tlačítkem *Begin Gridding* v záložce *General* a pro zobrazení výsledků je třeba opět vybrat určitý grafický výstup. Pro rychlejší práci programu je vhodné použít opět funkci *ScatterPlot* (Obr. 8.8).



Obr. 8.8 Zobrazení ScatterPlot se základním nastavením funkce Gridder.

Záložka Gridder - General

V záložce *General* se nastavuje metoda interpolace, její isotropie (*anisotropy*), shlazení (*smooth*) a parametr pro výpočet váhy (*power*). Jsou zde na výběr tři metody tvorby modelu.

První z nich je *Data Metric*. Tato volba slouží k výpočtu různých matematických statistik ze vstupních dat, jako jsou například hustota, medián, střední kvadratická chyba, průměrná vzdálenost aj.

Další možností je *Local Polynomial*. Výběr této metody je vhodný pro datasety, které obsahují převážně shlazená data.

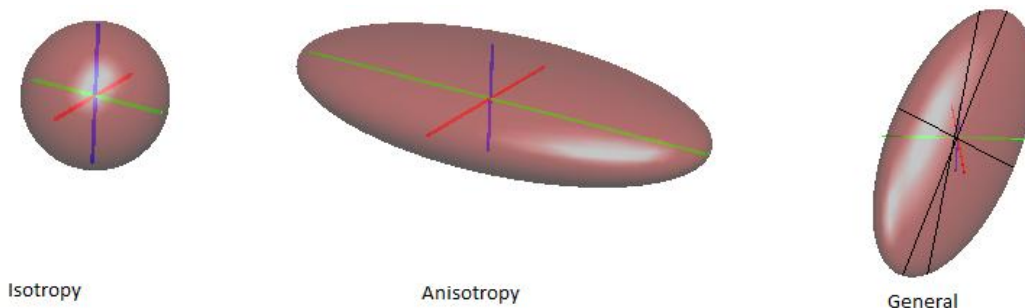
Poslední možností v nabídce metod interpolace je *Inverse Distance*. Vytváří shluky kolem nízkých a vysokých hodnot (bullseyes), které se dají redukovat zvýšením parametru shlazení. Tato metoda je podle GoldenSoftware, Inc. nejvhodnější a nejuniverzálnější. Při výběru IDW je vhodné nastavení parametru *anisotropy*, *power* a *smooth*. Nastavení anizotropie umožňuje určit, které body v jednom směru mají větší váhu než body v druhém směru. Bodům nacházejícím se blíže uzlu sítě, je obvykle dávana větší váha než bodům dále od uzlu, bez ohledu na směr. Pokud jsou si hodnoty bodů v jednom směru více podobné než hodnoty bodů v jiném směru, je vhodné, aby podobné body měly větší váhu. Nabídka *anistoropy* má další tři možnosti: *anistropy*, *isotropy*, *general*.

- Anisotropy – umožňuje nastavení specifického směru určení váhy elipsy
- Isotropy – dává všem směrům stejnou váhu
- General – každá osa může být manuálně změněna

Volba *anisotropy* se používá tehdy, když jsou na osách XYZ data v jiných jednotkách, a-nebo je možné určit nějakou směrovou závislost. Tato možnost dovoluje specifikovat délku elipsoidu v ortogonálním směru paralelním k osám. Bodům, které se nachází na nejdelší ose, bude přiřazena největší váha.

General nastavení umožňuje změny os elipsoidu, které nejsou ortogonální. Váhy jsou určeny stejně jako u *anisotropy*, nejdelší osa má tedy největší váhu.

Obě možnosti nastavení velikosti hledacích elips se zobrazí v záložce *General* při výběru anizotropie. Původní nastavená velikost představuje 3D úhlopříčku vytvořeného *Gridderu* [17].



Obr. 8.9 Schéma možností anizotropie [17].

Nastavení parametru *Power*, určuje váhu vzdálenějším nebo bližším bodům při interpolaci. Čím vyšší je hodnota *P*, tím menší váhu mají vzdálenější body a naopak. Parametr *Smooth* určuje velikost shazení dat. Nastavením jakékoliv nenulové hodnoty se omezují *bulls-eyes*, které vznikají interpolací metodou IDW.

Záložka Gridder – Geometry

V této nabídce jsou možné tři části nastavení:

- *Limits* - velikost interpolovaného gridu podle min. a max. velikosti daných os
- *Resolution* - nastavení rozlišení na každé z os (počet voxelů na ose)
- *Spacing* – nastavení kroků mezi jednotlivými voxely na všech 3 osách

Nabídka *Limits* by měla zůstat stejná, Voxler 3 automaticky nastaví její maxima a minima podle vstupních dat. Rozlišení je primárně nastaveno na 50,50,50 voxelů. Při změně rozlišení jsou přepočítány hodnoty *Spacing* a naopak. Po upravení *Spacing* do požadovaných mezer je Voxler 3 při interpolaci přepočítá tak, aby byly celočíselné hodnoty u parametru *Resolution* (nelze nastavit čísla s desetinnou čárkou). Toto základní nastavení zpracovává data velmi rychle a je schopné vypočítat 3D mřížku (gridd) během několika sekund. Rychlost interpolace (v programu označováno jako gridding) není závislá pouze na velikosti rozlišení, ale také na rozsahu vstupních dat (počet údajů na ose Z a velikost území). Změna parametrů *Spacing/Resolution* je velmi individuální a záleží na požadavcích uživatele a schopnostech hardwaru. Proces griddingu je velmi hardwarově náročný. Jednotky *Resolution* a *Spacing* se shodují s jednotkami vstupních dat. Voxler 3 tedy neumožňuje samotné nastavení velikosti voxelu, ale musí se dopočítat z hodnot *Resolution/Spacing* a délky os. Tato možnost by měla být dostupná až v další verzi programu. Lze nastavit různé hodnoty pro osy XYZ.

Záložka Gridder – Search

V této nabídce lze nastavit *Search Type*, *Radius*, *Min Count*, *Max Count*. Tyto parametry představují metodu hledání, velikost hledací elipsy a počet bodů použitý při hledání.

Search Type zahrnuje čtyři možnosti: *Simple*, *All data*, *General* a *Anisotropy*. Důležitým upozorněním je, že tyto metody neupravují váhu bodů jak je tomu v záložce *General* při výběru *General/Anisotropy*, ale nastavují pouze velikost hledací elipsy. Možnost *All data* provádí interpolaci se všemi vstupními daty a pro velký počet bodů není doporučena z důvodu časové a hardwarové náročnosti. Volba *Simple* umožňuje nastavit rádius hledací elipsy (hledá body ve stejné vzdálenosti na všech osách) a počet bodů, které vstupují do interpolace bodu. Metoda *General* a *Anisotropy* upravuje velikost elipsy pro každou osu zvlášť, v (ne)ortogonálním směru včetně počtu bodů.

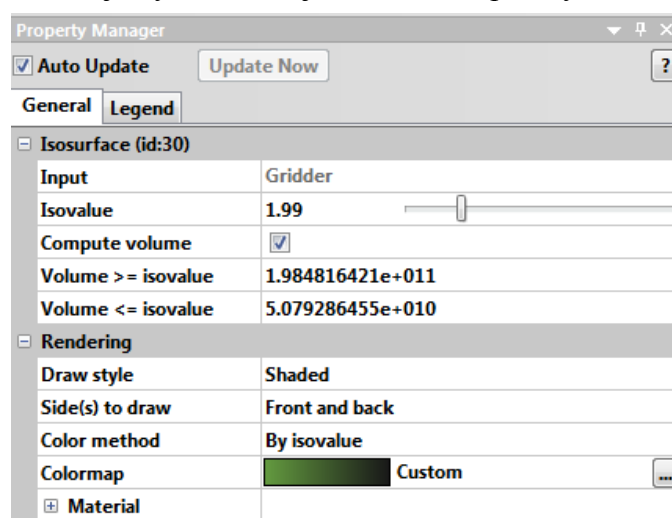
Použité nastavení funkce Gridder

Pro tvorbu modelu byla použita metoda *Inverse Distance*, která je nejvhodnější pro práci s konkrétními daty. Anizotropie byla zvolena na *Isotropic*, protože nelze jednoznačně prokázat směrovou závislost dat. Parametr *power* byl nastaven na hodnotu 5,

aby byly brány v potaz i menší plochy stratigrafických jednotek, které by se jinak interpolací vytratily. Parametr *Smooth* nebylo třeba nijak upravovat. *Bulls-eyes* a jiné deformace, které by tato volba shladila, se v datech nevyskytovaly. V geometrii modelu byl upraven *Spacing* na 100x100x1(10), rozlišení tedy bylo 130x102x1923(193). V záložce *Seach* zůstalo vše v primárním nastavení. Všechny nastavené parametry byly konzultovány s odborným pracovníkem GoldenSoftware, Inc.

8.4.2 Funkce IsoSurface

Po dokončení interpolace a vytvoření pravidelného 3D gridu, lze generovat jednotlivé stratigrafické vrstvy. Funkce *IsoSurface* (Obr. 8.10), nacházející se v nabídce *Graphic Outputs*, dokáže vytvořit povrch, který zobrazuje určitou hodnotu (vrstvu) ve 3D prostoru. Separuje tak hodnoty, které jsou vyšší nebo menší než je daný povrch. Tato funkce umí také vypočítat jednotlivé objemy dat, které jsou nad nebo pod vytvořenou isolinií.

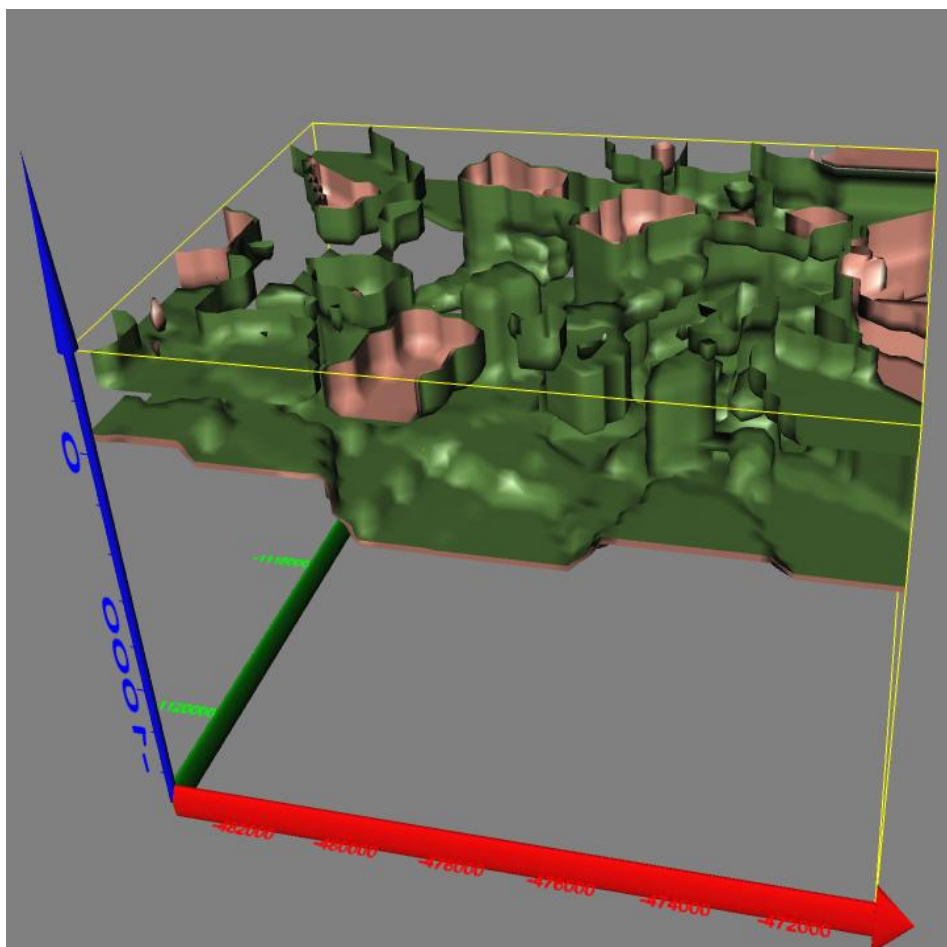


Obr. 8.10 Přehled nastavení funkce IsoSurface.

Hodnota *Isovalue* představuje prahovou hodnotu vytvořeného povrchu. Její rozsah je daný na základě zinterpolovaných hodnot vstupních komponentů z funkce *Gridder*. Dále je zde možné nastavit způsob kresby (*Shaded*, *Lines*, *Points*) a metody zbarvení.

- *Shaded* - renderuje vše jako stínovaný povrch
- *Lines* – renderuje vše jako spojovací hraniční linie
- *Points* – zobrazuje geometrii jako vertexy

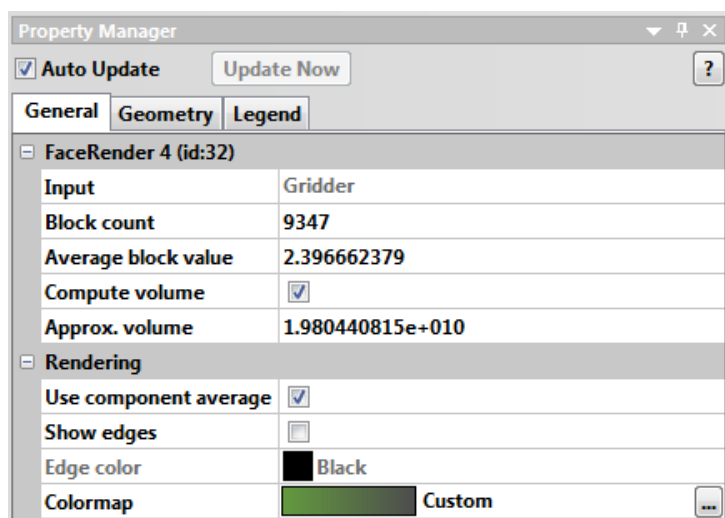
Pro vymodelování objemového tělesa bylo nutné vytvoření šesti *IsoSurface*. Každý z nich představuje jednotlivé rozdíly mezi stratigrafickými jednotkami. Pro výpočet objemu vrstvy křída (ID=2) bylo třeba vytvořit *IsoSurface* s hodnotou 1.99 a 2.99 (Obr. 8.11). Tyto hodnoty představují horní a spodní hranici vrstvy křída. Dále bylo třeba vyplnit tento prostor a k tomu slouží funkce *FaceRender*, popsaná v následující podkapitole.



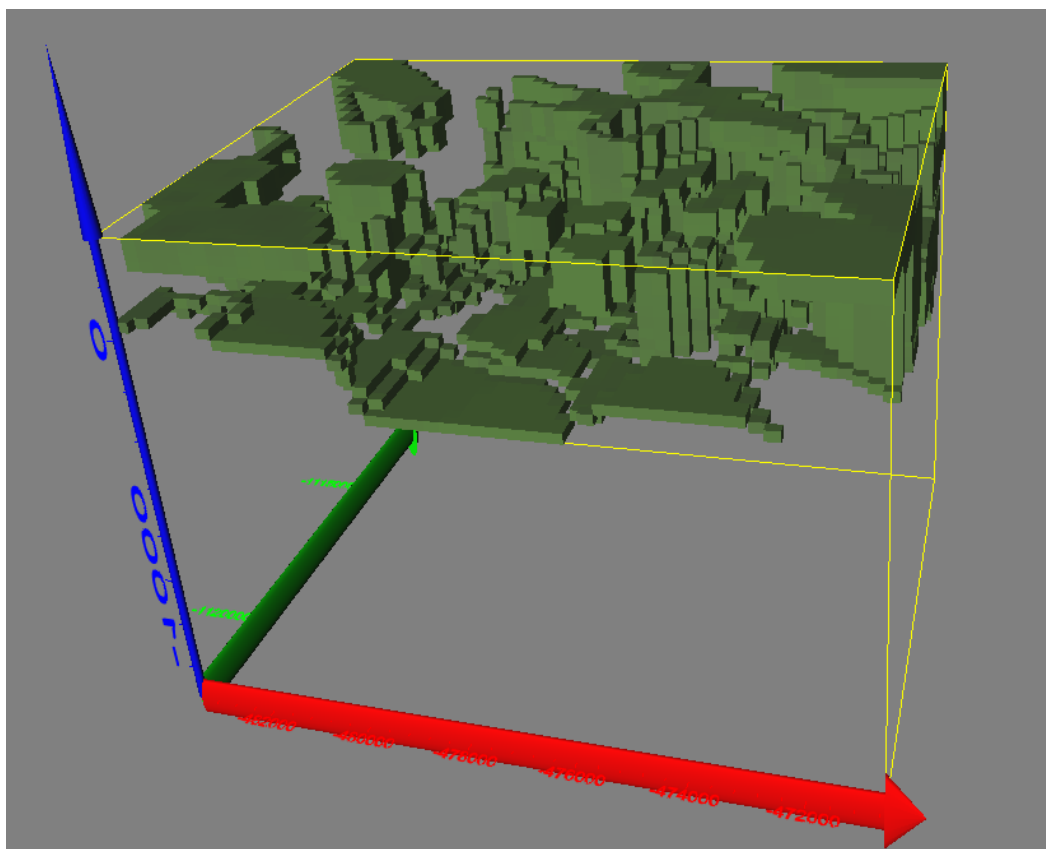
Obr. 8.11 IsoSurface, zelený 1.99, béžový 2.99.

8.4.3 Funkce FaceRender

Tato funkce, nacházející se v nabídce *Graphic Outputs*, byla finálním krokem při tvorbě 3D modelu podloží. Zobrazuje tak všechny komponenty v XYZ směru a reprezentuje je barevnou stupnicí.

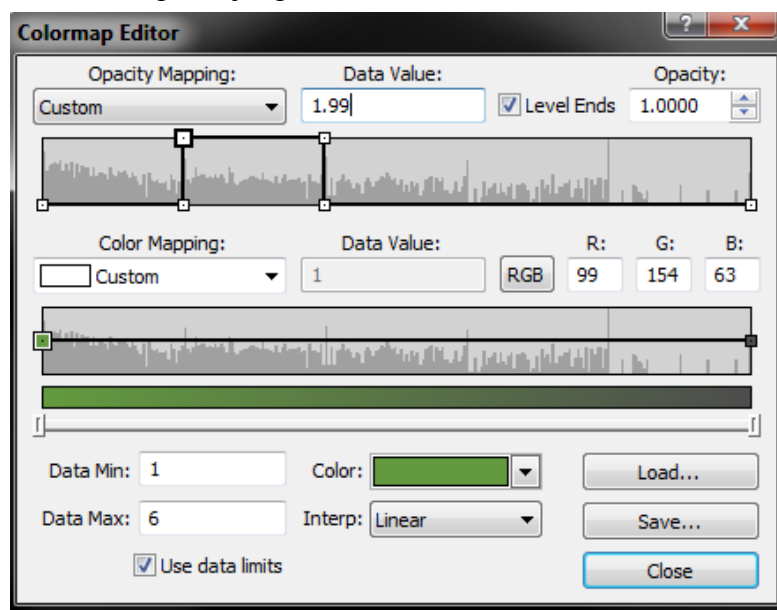


Obr. 8.12 Nastavení FaceRender.



Obr. 8.13 Model stratigrafické jednotky křída.

Pro výpočet jednotlivých objemů stratigrafických jednotek bylo nutné vytvoření šesti funkcí *FaceRender* a jejich správné nastavení. Rozdělení do jednotek bylo provedeno v nabídce *Colormap*, upravením histogramu hodnot (Obr. 8.14). Jednotlivé barevné legendy lze uložit na disk a později opět nahrát.



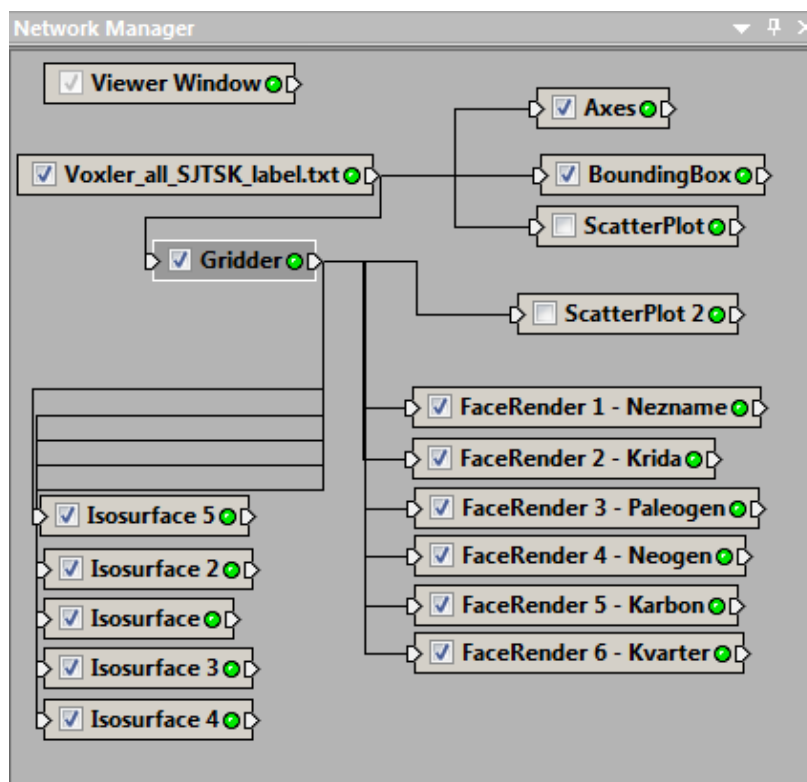
Obr. 8.14 Nastavení histogramu.

V *Colormap Editor* byly zvoleny hodnoty, které měly zůstat viditelné. Podle toho byla upravena křivka histogramu a zvolena barevná stupnice. V tab. 8.1 je znázorněna úprava histogramů pro všechny stratigrafické jednotky.

Tab. 8.1 Přehled nastavení histogramu

Stratigrafická jednotka	Hodnoty histogramu
Neznámé	1 – 1.99
Křída	1.99 – 2.99
Paleogén	2.99 – 3.99
Neogén	3.99 – 4.99
Karbon	4.99 -5.99
Kvartér	5.99 - 6

Po vytvoření šesti modelů *FaceRender* byl pomocí tlačítka *Compute volume* vypočítán objem povrchu. Voxler 3 umí také zobrazit počet voxelů, ze kterých je daný model vytvořen a jejich průměrnou hodnotu. Pro zvýraznění jednotlivých voxelů (pokud je rozlišení menší) je vhodné použít možnost *Show edges*. Důležité bylo také upravení geometrie v záložce *Geometry*, která se nemění automaticky po změně rozlišení *Gridderu*. Pokud je nastaveno větší rozlišení, *FaceRender* není zobrazen celý, a proto je nutná úprava jeho XYZ limitů. Celé schéma postupu tvorby lze vidět na Obr. 8.15.



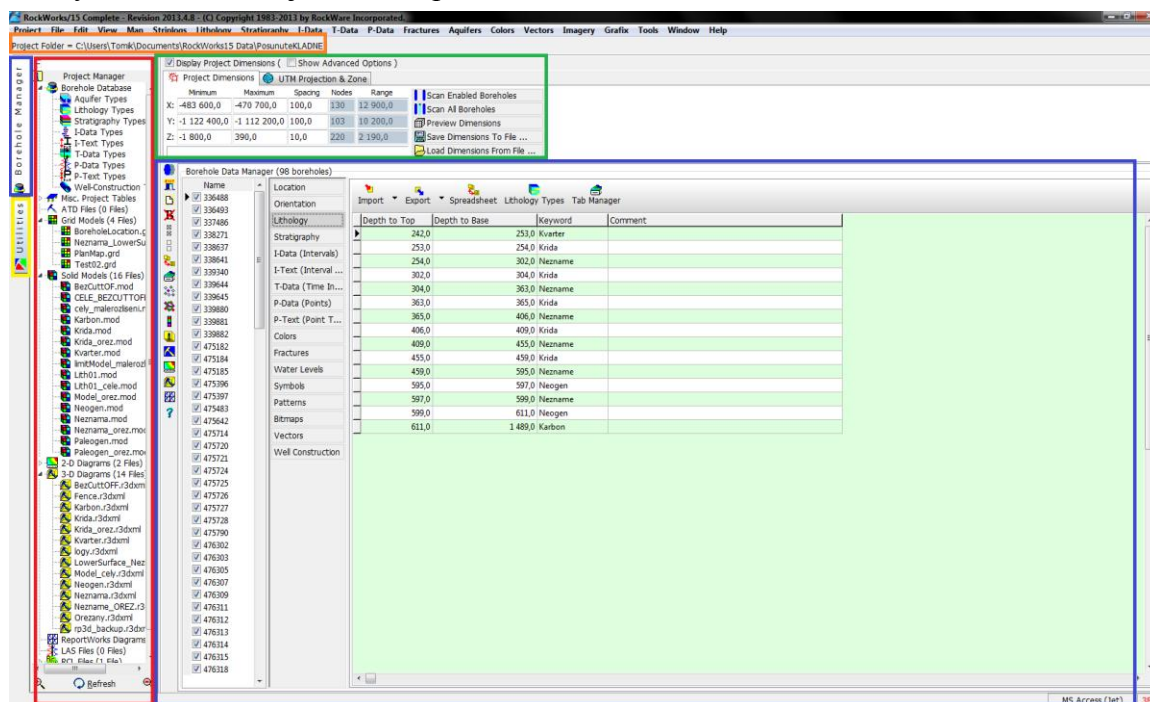
Obr. 8.15 Schéma tvorby modelu.

9 ZPRACOVÁNÍ DAT V ROCKWORKS 15

V této kapitole byl detailně rozebrán postup vytváření 3D modelu (import dat, interpolace, vizualizace) a různé možnosti grafických výstupů.

9.1 Úvod do RockWorks 15

Rozhraní programu působí už na první pohled daleko složitěji, než tomu bylo u předchozího softwaru Voxler 3. Hlavním důvodem je větší počet funkcí a možností. Sama společnost RockWare, Inc. uvádí, že je RockWorks 15 složen ze dvou podprogramů, které se přepínají mezi sebou pomocí výběru *Borehole Manager/Utilities* (žlutý a modrý rámeček vlevo, Obr. 9.1). Pokud je mezi nabídkami přepnuto, změní se i volby na nástrojové liště v záhlaví programu. Při nainstalování programu je zde také, jako v případě Voxler 3, zkušební databáze. Červený rámeček představuje *Project Manager*, zobrazující některé informace o datech a také výstupy, které byly vytvořeny. V zeleném rámečku se nastavují rozměry území, rozlišení a projekce. Modrý rámeček, představující *Borehole Manager*, zobrazuje aktuální pracovní databázi dat. Je zde přímá možnost určitých grafických výstupů (pozice vrtů, jednotlivé profily vrtů aj.). Samotné okno pro grafické výstupy se zobrazí až po konkrétním vytvoření určitých modulů. Oranžový rámeček ukazuje aktuální pracovní složku.



Obr. 9.1 Rozhraní RockWorks 15.

9.2 Úprava dat

Data byla upravována v programu MS Office Excel a importována jako *.xls. Je zde možné načítat i ASCII soubory. Pro vytvoření správného vstupního souboru byla použita vzorová databáze, která byla součástí instalace. První krok, který by měl být proveden je vytvoření nového adresáře (*Project – New*) a vybrání cílové složky na harddisku. Zde se ukládají jak samotná data, tak veškeré výstupy či exporty. Po založení nového projektu se automaticky vytvoří nová složka se zvoleným názvem. V této složce se vždy vytvoří další

složka System, ve které jsou uloženy primární nastavení nabídek a miniatury grafických výstupů (previews), které jsou zobrazeny v *Project Manager*. V projektové složce se také automaticky vytvoří MS Access databáze, která je po importu naplněna daty. RockWorks 15 umožňuje data načíst v intervalech a tedy není nutné rozepisovat hloubky jednotlivě, jak tomu bylo u předchozího programu. Samotná úprava byla tedy nejen časově méně náročná, ale také vstupní soubor obsahoval méně údajů.

Pro jednodušší editaci byla převedena databáze z MS Office Access do MS Office Excel. RockWorks 15 nedokáže pracovat zároveň s kladnými a zápornými hodnotami. Proto musely být nadmořské výšky vrtů přičteny ke každé hloubce. Tímto krokem se však prodloužila osa Z na 2 190 m (tedy o 268 m). Pokud by do programu vstupovaly kladné i záporné hodnoty, vrty by byly převráceny a následná interpolace by byla chybná. Úprava údajů probíhala v listech *Location*, *Interval*, *Lithology* v importovaném souboru *.xls.

V listu *Location* (Obr. 9.2) bylo třeba vyplnit ID vrtů, jejich XY souřadnice, nadmořskou výšku a maximální hloubku

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	Bore	R	T	S	L	L		Easting	Northing	Elevation	TD
2	336488							-476944,5	-1115031	242	1489
3	336493							-478036,2	-1114680	261	1213
4	337486							-473247,66	-1113722	281	1833
5	338271							-475943,28	-1112644	281	1668
6	338637							-473150	-1112255	268	1381
7	338641							-472239,83	-1112747	387	1490
8	339340							-479133,12	-1114248	269	1674
9	339644							-478172,39	-1113364	231	1831
10	339645							-479666,46	-1114041	246	1696
11	339880							-476466,78	-1113960	267	1451

Obr. 9.2 Ukázka upravených dat, list Location.

V dalším listu, *Interval* (Obr. 9.3, vlevo), bylo třeba upravit jednotlivé intervaly stratigrafických jednotek a přiřazení jejich ID. Poslední list, který vyžadoval vyplnění údajů, byl *Lithology* (Obr. 9.3, vpravo). Zde byly vyplněny hloubky jednotek a jejich názvy.

	A	B	C	D	E		A	B	C	D
1	Bore	Typ	Depth1	Depth2	Value	1	Bore	Depth1	Depth2	Lithology
2	336488		242	231	6	2	336488	242	231	Kvarter
3	336488		231	230	2	3	336488	231	230	Krida
4	336488		230	182	1	4	336488	230	182	Nezname
5	336488		182	180	2	5	336488	182	180	Krida
6	336488		180	121	1	6	336488	180	121	Nezname
7	336488		121	119	2	7	336488	121	119	Krida
8	336488		119	78	1	8	336488	119	78	Nezname
9	336488		78	75	2	9	336488	78	75	Krida
10	336488		75	29	1	10	336488	75	29	Nezname
11	336488		29	25	2	11	336488	29	25	Krida

Obr. 9.3 Ukázka upravených dat, vlevo list Interval, vpravo list Lithology.

9.3 Import dat

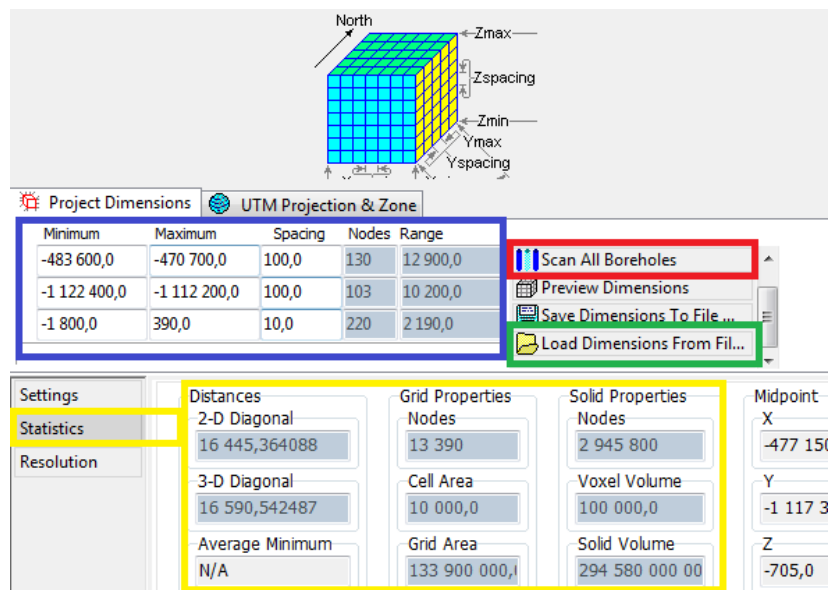
Upravená data je možno importovat v nabídce *File – Import*, zvolením vhodného formátu (v této práci *.xls) a výběrem požadovaného souboru. V prvním dialogovém okně je možný výběr údajů (sloupců), které mohou vstupovat do programu (bylo ponecháno základní nastavení, tedy výběr všech sloupců). Dále lze nastavit velikost (*Project dimensions*) a pásmo daného území (*UTM Projection & Zone*).

Project dimension

Lze nastavit buď manuálně, zadáním max. a min. hodnot XYZ a velikost kroků (*Spacing*) mezi voxely (Obr. 9.4, modrý rámeček), nebo načtením přímo ze souboru (Obr. 9.4, zelený rámeček). Poslední možnost je nabízena pomocí funkce *Scan All Boreholes* (Obr. 9.4, červený rámeček), která sama zjistí maxima a minima. I přesto, že vstupní data jsou kladná, program automaticky vyhodnotí zápornou minimální hodnotu osy Z. V záložce *Statistic* (Obr. 9.4, žlutý rámeček) lze zjistit statistické údaje (celkový objem, počet voxelů, tato charakteristika je počítána pro celé území podle nastavených XYZ hodnot).

UTM Projection & Zone

Ve volbě pásem projekce se nachází volba UTM (Univerzální transversální Mercatorův systém souřadnic) pásem a projekční systém. Celý krok nastavení velikosti území, rozlišení a UTM pásem lze vynechat a parametry území upravit později. Není zde na výběr souřadnicový systém S-JTSK (pouze WGS-84, Krassovsky, International aj.).

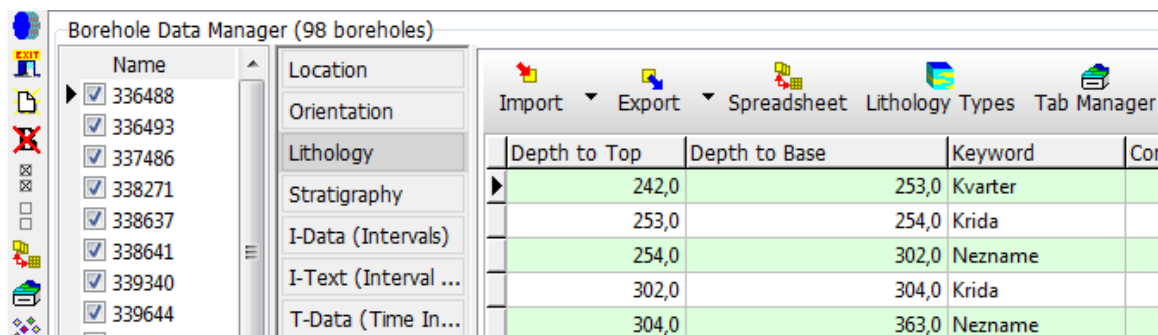


Obr. 9.4 Nastavení projekce území.

9.4 Tvorba modelu

Ještě před začátkem tvorby výstupů bylo třeba propojit názvy stratigrafických jednotek a jejich ID. Po dokončení importu byly sice k jednotlivým hloubkám přiřazeny názvy jednotek (Obr. 9.5), ale bylo třeba nastavit *Lithology Types* (Obr. 9.6), podle kterých byly vytvořeny jednotlivé vrstvy. Možnost úpravy vrstev se nachází ve stejné nabídce *Lithology* a je společná pro všechny vrty. Spojení názvu jednotky s ID se provede na základě *G-Value* (představuje ID). Ve sloupečku *Density* je možné nastavit

průhlednost dané vrstvy. Barevná legenda jednotek byla opět upravena podle tab. 7.1. Takto vytvořenou legendu lze uložit samostatně do ASCII souboru a následně ji znovu importovat do nových projektů. Pro kontrolu správného importu dat byla použita funkce *Multi-Log 3D* (Obr. 9.7), která se nachází v nabídce *Striplogs*. Funkce zobrazí jednotlivé vrty ve 3D (polohu v prostoru a rozložení stratigrafických jednotek).

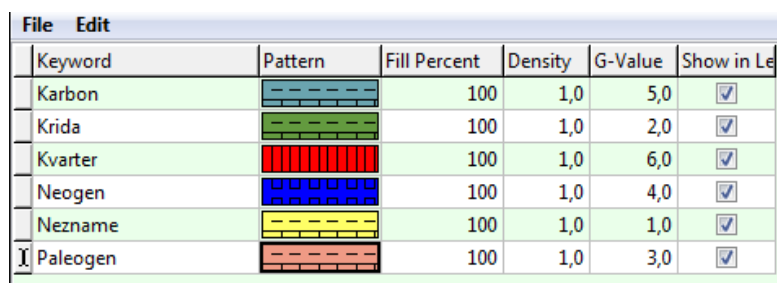


Borehole Data Manager (98 boreholes)

Name	Location	Orientation	Lithology	Stratigraphy	I-Data (Intervals)	I-Text (Interval ...)	T-Data (Time In...)
336488							
336493							
337486							
338271							
338637							
338641							
339340							
339644							

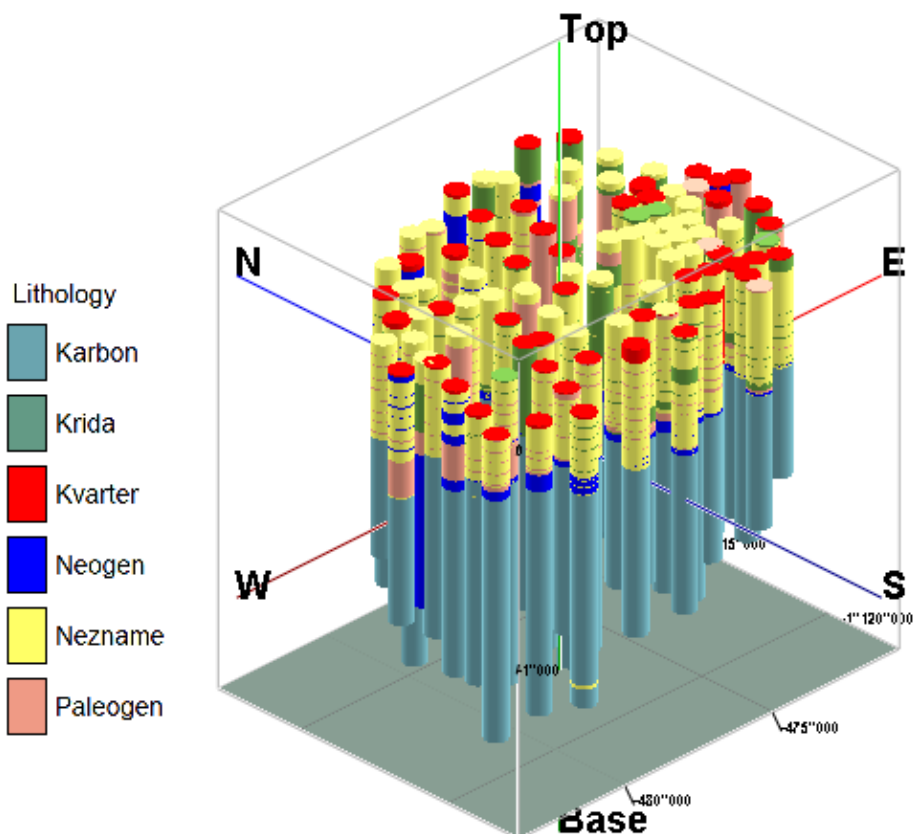
Depth to Top	Depth to Base	Keyword	Cor
242,0	253,0	Kvarter	
253,0	254,0	Krida	
254,0	302,0	Nezname	
302,0	304,0	Krida	
304,0	363,0	Nezname	

Obr. 9.5 Ukázka záložky Lithology.



Keyword	Pattern	Fill Percent	Density	G-Value	Show in Legend
Karbon	[Pattern]	100	1,0	5,0	☒
Krida	[Pattern]	100	1,0	2,0	☒
Kvarter	[Pattern]	100	1,0	6,0	☒
Neogen	[Pattern]	100	1,0	4,0	☒
Nezname	[Pattern]	100	1,0	1,0	☒
Paleogen	[Pattern]	100	1,0	3,0	☒

Obr. 9.6 Lithology Types.



Obr. 9.7 Zobrazení vrtů pomocí funkce Multi-Log 3D.

9.4.1 Borehole Data Manager

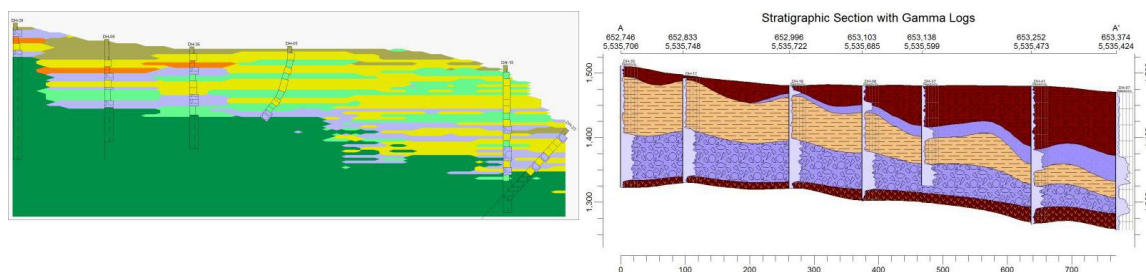
V této nabídce lze vrty zobrazit jednotlivě ve 2D/3D nebo je všechny zobrazit na mapě. Pro zobrazení vybraného vrtu slouží *Single Log (2D/3D)*. Pro tvorbu mapy existují dvě možnosti. První je *Borehole Location* (Příloha 4), kde je možnost znázornění vrstevnic území. Je zde na výběr úprava jejich základního/zvýrazněného intervalu a interpolační metoda (*IDW, Closest Point, Krigging, Trend Polynomial* aj.). Takto vytvořený povrch (grid) lze později využít např. pro filtraci v dalších funkcích programu (tato možnost však nebyla při konkrétní tvorbě 3D modelů využita). Další metoda zobrazení vrtů je pomocí *GoogleEarth*, kdy se pozice vrtů vyexportují do *.kmz. Správná pozice exportovaných vrtů lze zajistit přidáním souřadnic v systému WGS-84 do vstupního souboru (xls soubor, list *Interval*, atributy *Longitude/Latitude*). Při exportování je nutné zvolit výběr souřadnic z *Longitude/Latitude*. Další možnost exportu do *GoogleEarth* je popsána v kapitole Diskuze.

9.4.2 Lithology x Stratigraphy

Metoda *Stratigraphy* interpoluje data do formací, které jsou striktně uspořádány do vrstev, které se mezi sebou nikdy neopakují.

Volba *Lithology* se používá pro data, která nemusí být nutně uspořádána do vrstev ve specifickém pořadí, ale tyto vrstvy se mezi sebou mohou prolínat [13].

Při výběru mezi metodami tedy záleží na vstupních datech. V konkrétním případě byla použita volba *Lithology*.

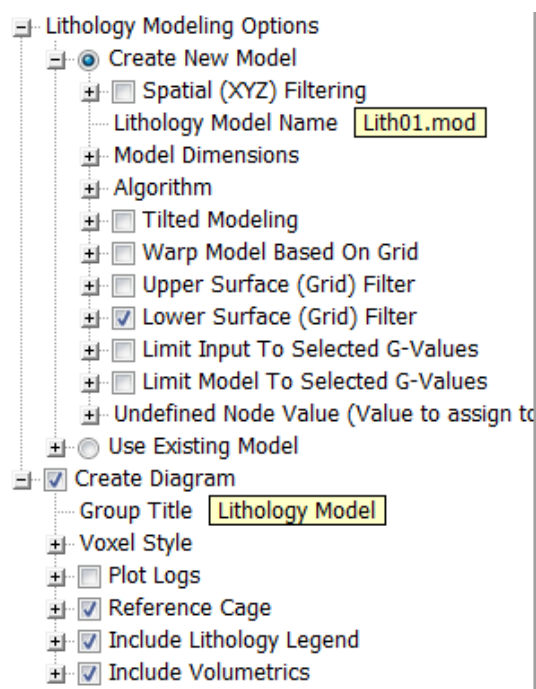


Obr. 9.8 Rozdíl mezi Lithology (vlevo) a Stratigraphy (vpravo) [12].

9.4.3 Lithology/Model

Po dokončení importu, spojení správného ID s jednotkami a úpravou barevné legendy, bylo možné dále pokračovat ve tvorbě modelu. Pro vytvoření objemového tělesa slouží funkce *Model* v nabídce *Lithology*, nacházející se v nástrojové liště.

Po zvolení funkce *Lithology – Model* se zobrazí zcela nové okno programu, ve kterém je nutné vybrat několik parametrů (Obr. 9.9). Součástí nového okna jsou i velmi detailní instrukce pro tvorbu modelu. Je zde jak popis voleb a jejich parametrů, postup krok za krokem, tak i názorné grafické ukázky. Tento návod je nabízen pro každou funkci, která se nachází v programu RockWorks 15. V novém dialogovém okně je kromě záložky *Instruction* také možnost *3D Striplog Designer*, kde lze zvolit co vše se má po vytvoření modelu zobrazit (titulek, osy, legenda aj.).



Obr. 9.9 Přehled parametrů modelu.

Spatial (XYZ) Filtering

Zde je možné nastavení prostorového filtru na základě upravení min. a max. hodnot všech os.

Lithology Model Name

Pojmenování výstupu a uložení do adresáře.

Model Dimensions

Nachází se zde dvě možnosti změny velikostí modelu a jeho rozlišení. První možnost *Hardwire Project Dimensions*, je automaticky nastavena podle hodnot, které byly zadány již při importu dat (kapitola 9.3 Import dat). Dále lze parametry území manuálně nastavit. Použití této volby je vhodné pro tvorbu více modelů a jejich následného porovnávání. Druhá záložka, *Variable (Data-Specific) Dimensions*, slouží pro testování různých velikostí a rozlišení území, bez toho aby se muselo resetovat celé nastavení *Project Dimensions*.

Při volbě rozlišení velmi záleží na velikosti modelovaného území a rozsahu vstupních dat. Program má své limity v maximálním počtu nodů (voxelů) na osách (2 500). Tohoto počtu je však téměř nemožné dosáhnout z důvodu časové a hardwarové náročnosti. Už při použití *Spacing* 100,100,10 je interpolace velmi zdlouhavá. Při zvolení většího rozlišení a spuštění interpolace se objeví chybová hláška „*Out of Memory*“, která celý proces zastaví.

Podle RockWare, Inc by mělo být rozlišení na ose XY nastaveno na ½ průměrné minimální vzdálenosti mezi vrty a na ose Z by nemělo být větší než nejmenší interval jednotek, z důvodů jejich zobrazení. Toto doporučení však v případě bakalářské práce nebylo možné dodržet, kvůli zmíněné náročnosti 3D interpolace.

Algorithm

V této nabídce se nachází volba interpolační metody, na výběr je *Lithoblending* a *Closest Point*. Obě metody přiřazují hodnotu bodu podle nejbližšího voxelu.

Lithoblending – horizontální určení hodnot voxelu na základě nejbližších vrtů a jejich *G-Value*, kružnice se postupně zvětšuje, dokud nenarazí na další vrt, vytváří se tzv. litozóny kolem každého vrtu, vytváření bloků. Lze zde nastavit funkci *Randomize Blending*, která minimalizuje bloky a model pak vypadá jako nakreslený rukou. Jak už z názvu vyplývá, je to náhodný proces, proto se vytvořené modely od sebe liší (i když vznikají ze stejných dat). Tato funkce slouží pouze pro reálnější grafické znázornění modelu. Další možností nastavení této interpolace je *Interpolate Outliners*. Pokud je aktivována, všechny voxely mají přiřazenou hodnotu, pokud je vypnutá, všechny voxely ležící za hranicí *cutoff distance* (hranice vrtů), budou neviditelné [13]. Tato možnost tedy ořeže vytvořený model podle okrajových vrtů.

Closest Point – nejzákladnější metoda objemového modelování. Hodnota uzlu voxelu je nastavena na stejnou hodnotu nejbližšího známého bodu, bez ohledu na vzdálenost od místa nebo hodnoty dalšího voxelu. Používá se, pokud se interpolují „pre-gridded“ (předinterpolovaná) XYZ data v ASCII souboru. Model může být vytvořen bez re-interpolace hodnot *G-Value*, stačí pouze nastavit rozlišení a velikost území [13].

V programu jsou dostupné i další interpolační metody, jako např. *Inverse Distance Weighting*, *Directional Weighting*, *Kriging* aj., které jsou pro toto modelování litologie (stratigrafie) nepřístupné.

Tilted Modeling

Tato možnost slouží k modelování v určitém, uživatelsky zvoleném, směru. Směr lze udat ve stupních (0°-360°) v políčku *Dip Direction* nebo jako úhel (0° horizontální, -90° vertikální) v *Dip Amount*. Funkci lze uplatnit, pokud je nutné použít interpolační metodu *Horizontal Lithoblending* a vrty nejsou ve správném směru a je tedy nutné jejich vyrovnaní [13]. Při konkrétní interpolaci, nebylo nutné tuto možnost použít.

Warp Model Based On Grid

Plní stejnou funkci jako předchozí *Tilted Modeling*, data se posunují ve vertikálním směru na základě referenčního gridu, nikoli po uživatelsky zadané hodnotě [13].

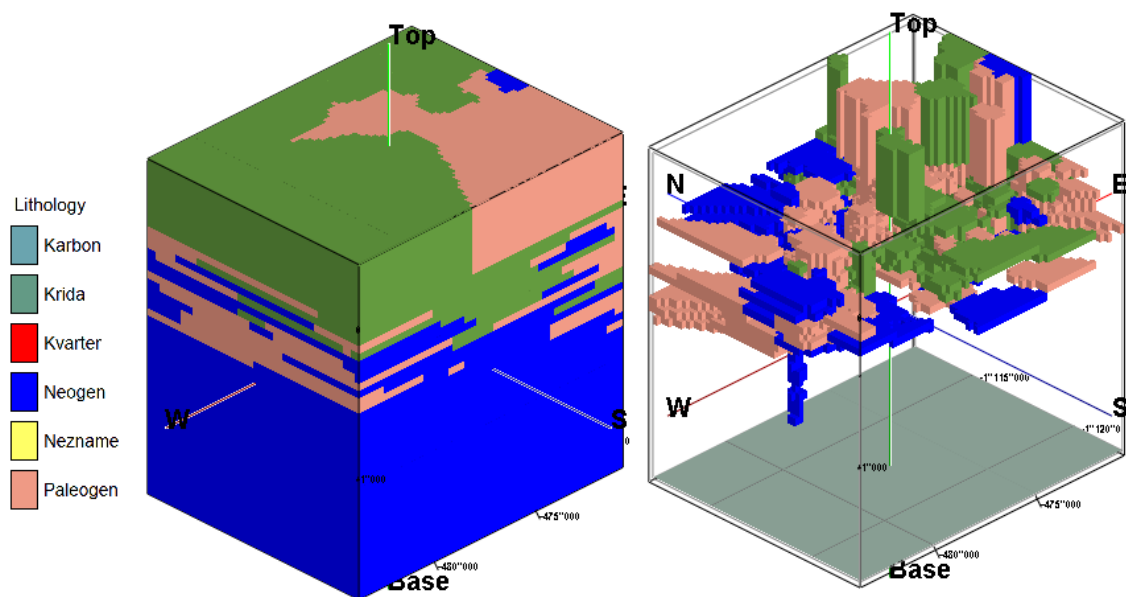
Lower/Upper Surface (Grid) Filter

Použitím této filtrace se omezí model dolním/horním povrchem (povrch terénu, stratigrafická jednotka). Aktivací se zajistí, že všechny hodnoty nacházející se nad/pod filtračním gridem budou ignorovány. Filtrovací grid lze načíst ze souboru *.grd nebo lze filtrovat automaticky, na základě maximální hloubky/výšky vrtů. Tato možnost byla při interpolaci využita z důvodu reálnějšího zobrazení modelu.

Limit Input to Selected G-Values / Limit Model to Selected G-Values

Zde lze filtrovat na základě *G-Value* (ID stratigrafických jednotek). Pokud je zvolen *Limit Input* (Obr. 9.10, vlevo), výsledný model zobrazí všechny interpolované voxely. Při výběru *Limit Model* (Obr. 9.10, vpravo) se vizualizují pouze voxely s danými hodnotami *G-Value*. Vstupuje zde také menší množství voxelů než při zadání *G-Value* u *Limit Input*.

Tato možnost filtrace opět záleží na uživateli a jeho požadavcích. V konkrétním případě byla využita funkce *Limit Model to Selected G-Values* (její nastavení je uvedeno později).



Obr. 9.10 Srovnání Limit Input (vlevo) a Limit Model (vpravo), G Value filtr 2 – 4.

Undefined Node Value

Poslední položka v nastavení interpolace upravuje hodnotu nedefinovaným/filtrovaným voxelům. Může být uvedena jako null hodnota, nebo uživatelsky zadána.

Na základě výše uvedených parametrů je vytvořen 3D model, který je uložen na disku počítače ve vybrané složce, má příponu *.mod. Lze jej později opět načíst nebo s ním následně pracovat a vytvářet další grafické výstupy. Pro samotné zobrazení modelu však slouží další volba *Create Diagram* (obr. 9.9). Model lze tedy vytvořit i bez grafického náhledu.

Create Diagram

V této nabídce se nastavují pouze grafické možnosti modelu. Je zde volba zobrazení voxelu (*Voxel Style*), která má dvě možnosti. První je *Full Voxel* a druhá *Midpoint*, která výrazně zkracuje dobu vizualizace velkých modelů. Výběr zobrazení je možný i po celém vytvoření modelu, nebo jeho znovu načtení ze souboru *.mod. Dále se zde nachází možnost zobrazení legendy a její nastavení, ohraničení a nejdůležitější výpočet objemu jednotlivých stratigrafických jednotek (*Include Volumetrics*).

Vedle záložky *Instructions* (nacházející se v dialogovém okně vytváření modelu), která nabízí velmi přehledné popisy funkcí tak krokový postup tvorby, se nachází *3D Striplog Designer*. Slouží k vytvoření jednotlivých logů vrtů a nachází se také v nástrojové liště, kde má mnohem více možností. Po dokončení interpolace se objeví poslední záložka, *Lithology Model*. Toto okno vizualizuje vytvořený model, objemy daných stratigrafických jednotek (pokud tato možnost byla aktivována uživatelem).

S modelem lze rotovat, vypínat jeho automatické vykreslování (opět značně hardwarově náročné), měnit jeho osvětlení, zoomovat nebo je možná ruční digitalizace. Velmi užitečná je také možnost *Stretch*, díky které lze lépe vidět rozložení stratigrafických jednotek na ose Z. Kromě funkce *Stretch* je zde i manuální nastavení *Vertical Exaggeration*. Celé zobrazení modelu lze nezávisle otevřít v novém okně *RockPlot3D*. Oba typy zobrazení lze uložit jako soubor *RockPlot3D* (*.r3dxml), nebo exportovat jako grafiku. Tímto způsobem (nastavení parametrů, Instruction, prohlížeč okno) fungují všechny funkce v programu RockWorks 15.

Použité nastavení Lithology/Model

Pro tvorbu celého modelu podloží, byla použita interpolační metoda *Lithoblending* s nastavením *Randomize Blending* i *Interpolate Outliners*. Pro zobrazení voxelů byla zvolena možnost *Full Voxel*. Rozlišení bylo z důvodu následného porovnání mezi Voxler 3 a RockWorks 15, nastaveno na stejné hodnoty *Spacing* 100x100x10. UTM zóna 33 a UTM projekce International. Pro samostatné zobrazení jednotlivých stratigrafických jednotek, byla použita funkce *Limit Model To Selected G-Values* (G-Values byly zvoleny vždy na min./max. stratigrafické jednotky, konkrétně např. pro jednotku křída byla min. hodnota 2, max. také 2). Pro reálnější zobrazení modelu byla zvolena funkce *Lower (Upper) Surface Grid*.

Další grafické výstupy modelu (Lithology)

Kromě možnosti *Model*, se nachází v nabídce *Lithology* mnoho dalších užitečných grafických výstupů. Lze je vytvořit na základě předchozího modelu, jeho opětovným načtením ze souboru nebo vytvořením nového. Na výběr je *Profile*, *Section*, *Fence Diagram*, *Plan Map*, *Superface (Top)*, *Subface (Base)* a *Isopatch (2D, 3D)*. Z výpočetních je možný *Consolidate* a *Volumetric*.

Profile (Příloha 5), *Section a Fence Diagram* (Příloha 6) jsou velmi podobné funkce. První z nich vytvoří 2D profil mezi dvěma body kdekoli v interpolovaném modelu. *Section* vytvoří také 2D profil, ale z více bodů (ty nemusí ležet přímo v jedné linii). *Fence Diagram* umožní rozřezat model podle zvolených linií, tak aby šly vidět stratigrafické jednotky uvnitř. Linie lze ručně editovat nebo vybrat z přednastavených vzorů.

Funkce *Plan Map* (Příloha 7) vytvoří 2D mapu požadované výšky/hloubky (podle nastavené hodnoty *Spacing* na ose Z) v horizontálním směru.

Subface (Příloha 8) a *Superface* jsou opět podobné moduly. Vytváří 2D/3D povrch, který se nachází pod/nad danou stratigrafickou jednotkou.

Isopatch zobrazí buď ve 2D nebo 3D, jednotlivé stratigrafické jednotky. Ve 2D je zobrazení pouze v horizontálním směru (vytvoření jednoho gridu), ve 3D se jedná o model vybrané jednotky (vytvoření dvou hraničních gridů Top/Base).

Výpočetní funkce *Volumetrics* vypočítá z vytvořeného modelu objemy jednotek pro jednotlivé intervaly hloubky. *Consolidate* slouží k úpravě vstupních dat (např. z jiných programů) to jednotlivých intervalů.

10 VÝSLEDKY

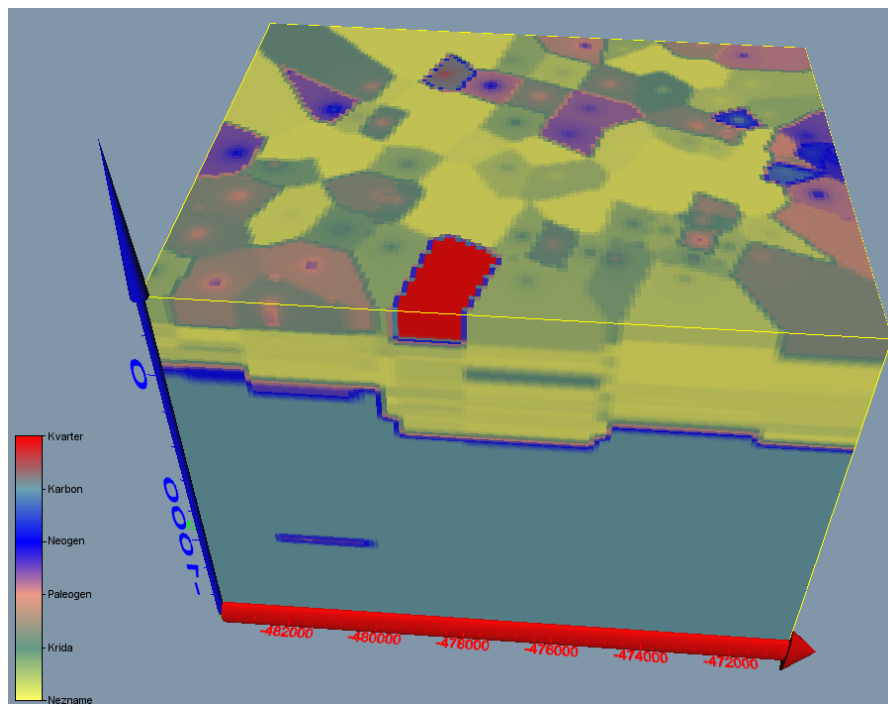
Hlavními výsledky bakalářské práce jsou modely podloží vytvořené v programech Voxler 3 a RockWorks 15. Kromě grafických výstupů, jsou součástí výsledků také statistické údaje o modelech (jejich celkové objemy, kolik zabírají jednotlivé stratigrafické jednotky aj.). Za další výsledek lze také považovat předchozí kapitoly zabývající se postupem tvorby modelů.

10.1 Voxler 3

Do modelování vstupovalo 119 650 bodů (98 vrtů), které byly interpolovány podle uvedeného nastavení programu (kapitola 8.4.1 Nastavení funkce *Gridder*). Velikost území byla spočítána na základě okrajových vrtů. Všechny parametry velikosti a objemů byly stejných jednotkách, tedy metrech (m³). Velikost interpolovaného území lze vidět v tabulce 10.1. Celý model podloží lze vidět na obrázku 10.1 a modely jednotlivých stratigrafických jednotek na obrázku 10.2. Všechny vytvořené modely mohou být uloženy v jednom projektu programu (velikost na disku se odvíjí od nastavení rozlišení *Gridder*). Srovnání modelů nízkého a vysokého rozlišení je znázorněno v tabulkách 10.2 až 10.4.

Tab. 10.1 Rozsah interpolované území.

Osa	Min	Max
X	-483593.3	-470717.6
Y	-1122327.61	-1112255.2
Z	-1535	387



Obr. 10.1 Celkový model podloží (FaceRender).

Tab. 10.2 Srovnání statistik modelů Spacing 100x100x10(1)

	Spacing 100x100x10	Spacing 100x100x1
Počet voxelů	2 501 568	25 041 738
Průměrná hodnota voxelu	3.941080385	3.94053555
Celkový objem	249 274 506 700 m ³	249 274 506 700 m ³
Doba modelace	4,5 minuty	50 minut
Velikost na disku	24 MB	202 MB

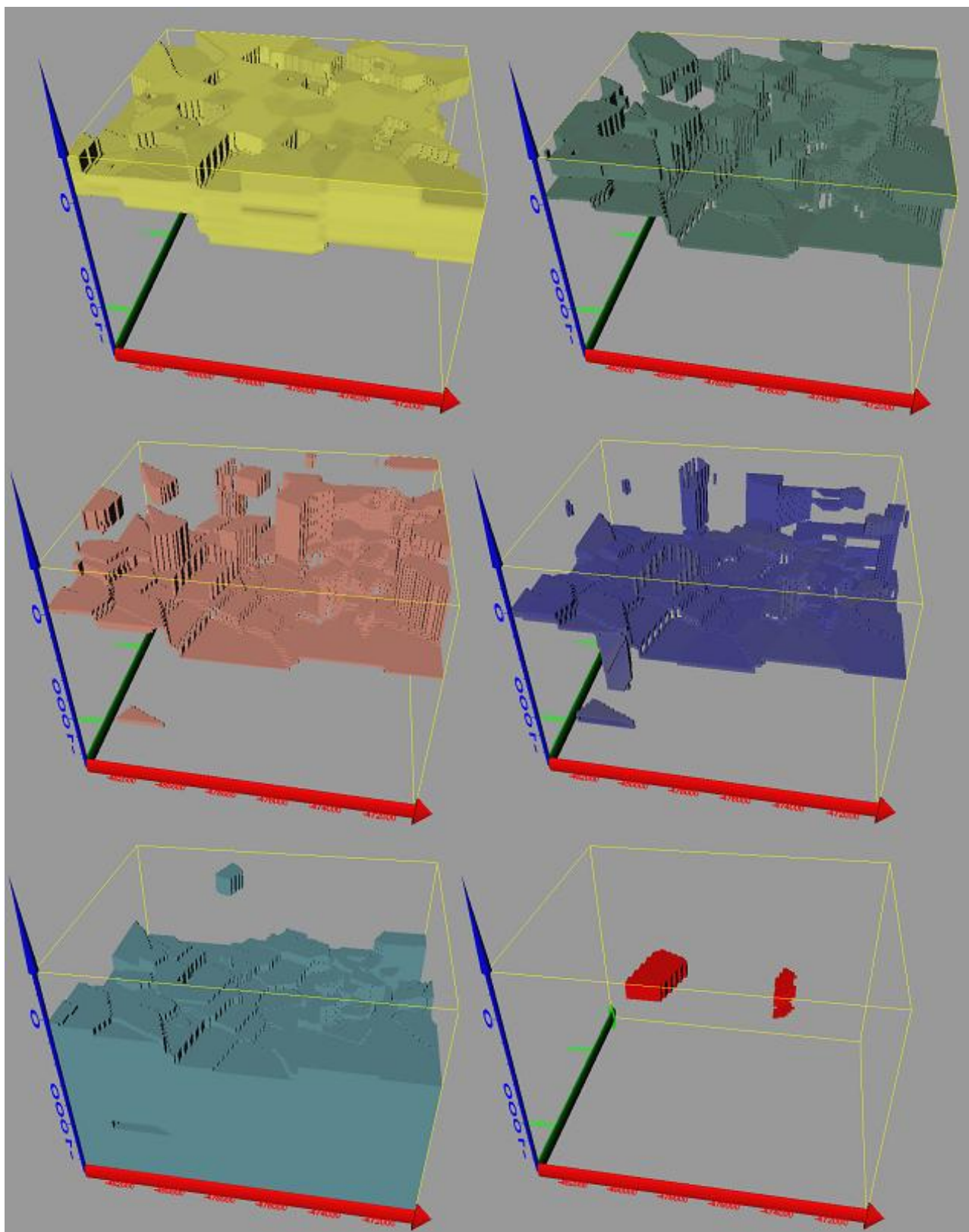
Tab. 10.3 Statistiky jednotlivých stratigrafických jednotek (Gridder 100x100x10)

Stratigrafická jednotka	Počet voxelů	Průměrná hodnota voxelů	Objem [m³]
Neznámé	506 412	1.226452272	50 462 590 450
Křída	176 762	2.341392281	17 613 856 730
Paleogén	125 256	3.237382864	12 481 422 700
Neogén	83 435	4.382680448	8 314 072 800
Karbon	1 606 668	5.000747312	160 100 134 400
Kvartér	3 035	5.999997567	302 429 567

Tab. 10.4 Statistiky jednotlivých stratigrafických jednotek (Gridder Spacing 100x100x1)

Stratigrafická jednotka	Počet voxelů	Průměrná hodnota voxelů	Objem [m³]
Neznámé	5 063 386	1.222816211	50 402 773 450
Křída	1 741 905	2.325665951	17 339 551 650
Paleogén	1 276 527	3.22330223	12 707 010 920
Neogén	789 361	4.338583299	7 857 584 560
Karbon	16 137 020	5.000588983	160 633 726 800
Kvartér	33 539	5.99999978	333 859 322

Jak lze pozorovat v tabulkách 10.3 a 10.4 rozdíly v objemu mezi menším a vyšším rozlišením nejsou nijak velké. Vrstvy Neznámé, Křída a Neogén se při použití vyššího rozlišení (Spacing 100x100x1) zmenšily oproti nižšímu rozlišení (Spacing 100x100x10), ostatní vrstvy se zvětšily. Největší rozdíl je u vrstvy Karbon, kde je model s větším rozlišení větší o cca **500 mil m³**. Nejmenší rozdíl je u vrstvy Kvartér, kde je tedy model s vyšším rozlišením opět větší o cca **30 mil m³**. Pro výpočet jednotlivých objemů byla tedy použita jedna funkce Gridder a 6x funkce FaceRender (upravené histogramy podle stratigrafických jednotek).



Obr. 10.2 Modely stratigrafických jednotek (neznámé, křída, paleogén, neogén, karbon, kvartér).

10.2 RockWorks 15

Do této interpolace vstupovalo pouze 1 572 údajů (opět 98 vrtů). Jednotky jsou, stejně jako u programu Voxler 3, v metrech (m³). Byly vytvořeny tři modely celého podloží a šest modelů jednotlivých stratigrafických jednotek. První byl vytvořen model bez výšek (Obr. 10.4), druhý byl model s výškou (Obr. 10.3 vlevo) a poslední byl ořezaný model s výškou (Obr. 10.3 vpravo). Modely stratigrafických jednotek byly vytvořeny z ořezaného modelu s výškou (Obr. 10.5). Interpolace probíhala podle metod a nastavených parametrů zmíněných v předchozí kapitole. Rozsah území je jiný, než tomu bylo u předchozího programu a to i přes to, že jsou hraniční vrty a jejich pozice stejné. Největší změny jsou na ose Z, kvůli nutnosti přepočítání vstupních hodnot (model s výškou). Změny na osách XY byly programem vytvořeny automaticky po importu dat. Rozdíly jsou tedy následující: osa X je větší o cca 25 m, osa Y o cca 125 m a osa Z až o více než 250 m (Tab. 10.5). Tyto změny ve velikosti modelovacího území také zvětšily celkový objem modelu, který je nyní o **50 mld m³** větší (Tab. 10.6). Velikost modelu bez výšek je rozdílná pouze na ose Z (oproti území ve Voxler 3 je menší o 122 m a u modelu s výškou je menší o 390 m).

Při tvorbě ořezaného modelu včetně výšek byly využity funkce *Upper/Lower Surface Grid* (Obr. 10.3) z důvodu jeho ořezání podle největších výšek (největších hloubek) vrtů a lepší (reálnější) vizualizaci. Jednotlivé objemy se také velmi liší od předchozího Voxler 3, kvůli nemožnosti použití stejných interpolačních metod.

Model se velmi změnil po úpravě nadmořských výšek. Při použití nejvyšší hodnoty Z jako 0 metrů (Obr. 10.4), byly hloubkové intervaly stratigrafických jednotek více shodné s jejich intervaly ve vstupních datech. Největší rozdíly u modelu s nadmořskou výškou, lze pozorovat u vrstvy Kvartér, která má nejmenší zastoupení ve vrtech (vyskytuje se pouze u 59 vrtů). Samotná tloušťka ploch se pohybuje nejčastěji od jednoho do 10 metrů, kromě výjimky vrtu číslo 476 329, kdy dosahuje šířka vrstvy 149 metrů. Po interpolaci se Kvartér zobrazuje ve hloubkách, kde by se podle vstupních dat neměl vyskytovat. Kompletní rozdíly objemů stratigrafických jednotek u vytvořených modelů lze vidět v tab. 10.7.

Tab. 10.5 Rozsah území modelu s nadmořskou výškou (bez výšky)

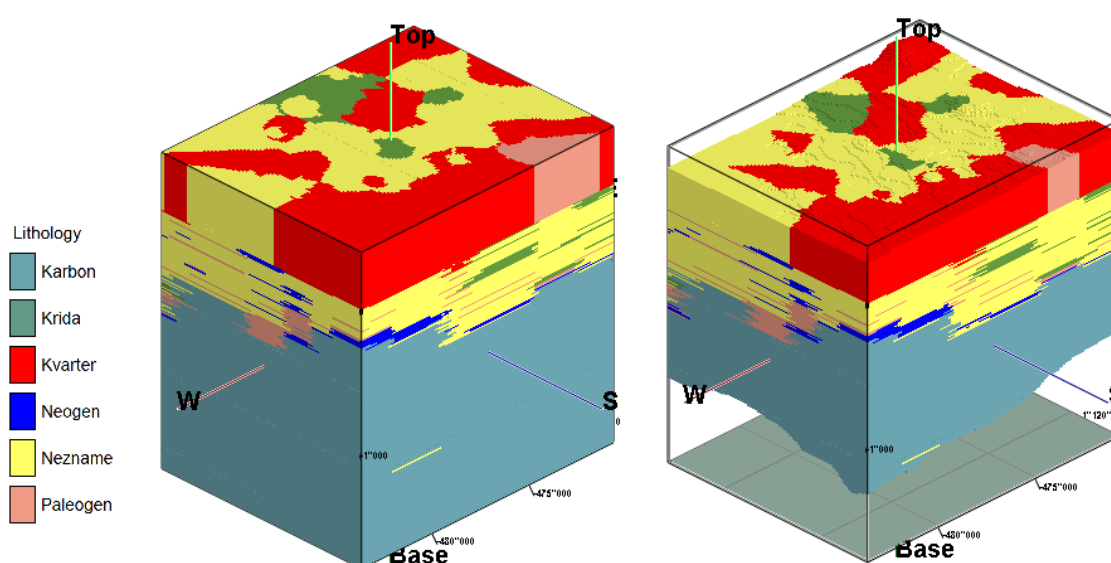
Osa	Min	Max
X	- 483 600,0	-470 700,0
Y	-1 122 400,0	-1 112 200,0
Z	-1 800,0 (-1 800)	390,0 (0)

Tab. 10.6 Statistiky vytvořených modelů (Spacing 100x100x10)

Model	Počet voxelů	Objem m ³	Doba modelace	Velikost na disku
Neořezaný model včetně výšek	2 945 800	294 580 000 000	20 minut	70 MB
Ořezaný model	Neznámé	201 600 200 000	20 minut	70 MB
Model bez výšek	2 423 590	252 359 000 000	20 minut	70 MB

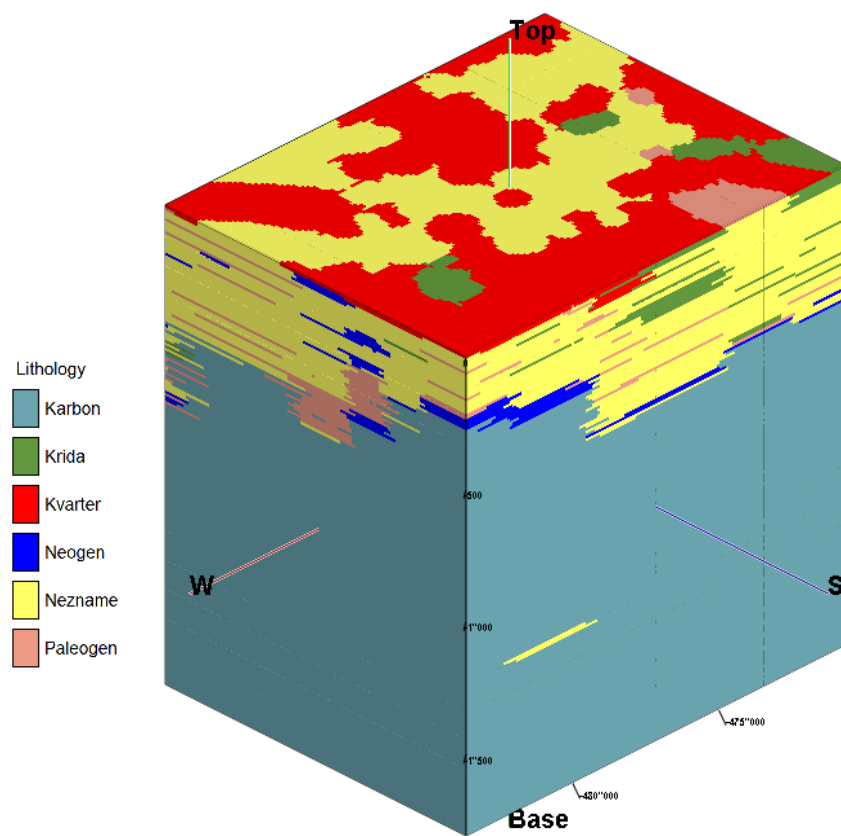
Tab. 10.7 Objemy jednotlivých stratigrafických jednotek

Stratigrafická jednotka	Objem celého modelu [m³]	Objem ořezaného modelu [m³]	Objem modelu bez výšek [m³]
Neznámé	62 559 300 000	56 668 600 000	40 383 900 000
Křída	14 572 000 000	12 413 300 000	10 452 000 000
Paleogén	15 916 800 000	15 233 300 000	14 214 800 000
Neogén	6 517 200 000	6 695 200 000	6 619 800 000
Karbon	169 609 300 000	92 637 300 000	169 239 700 000
Kvartér	25 405 400 000	17 952 500 000	1 1448 800 000

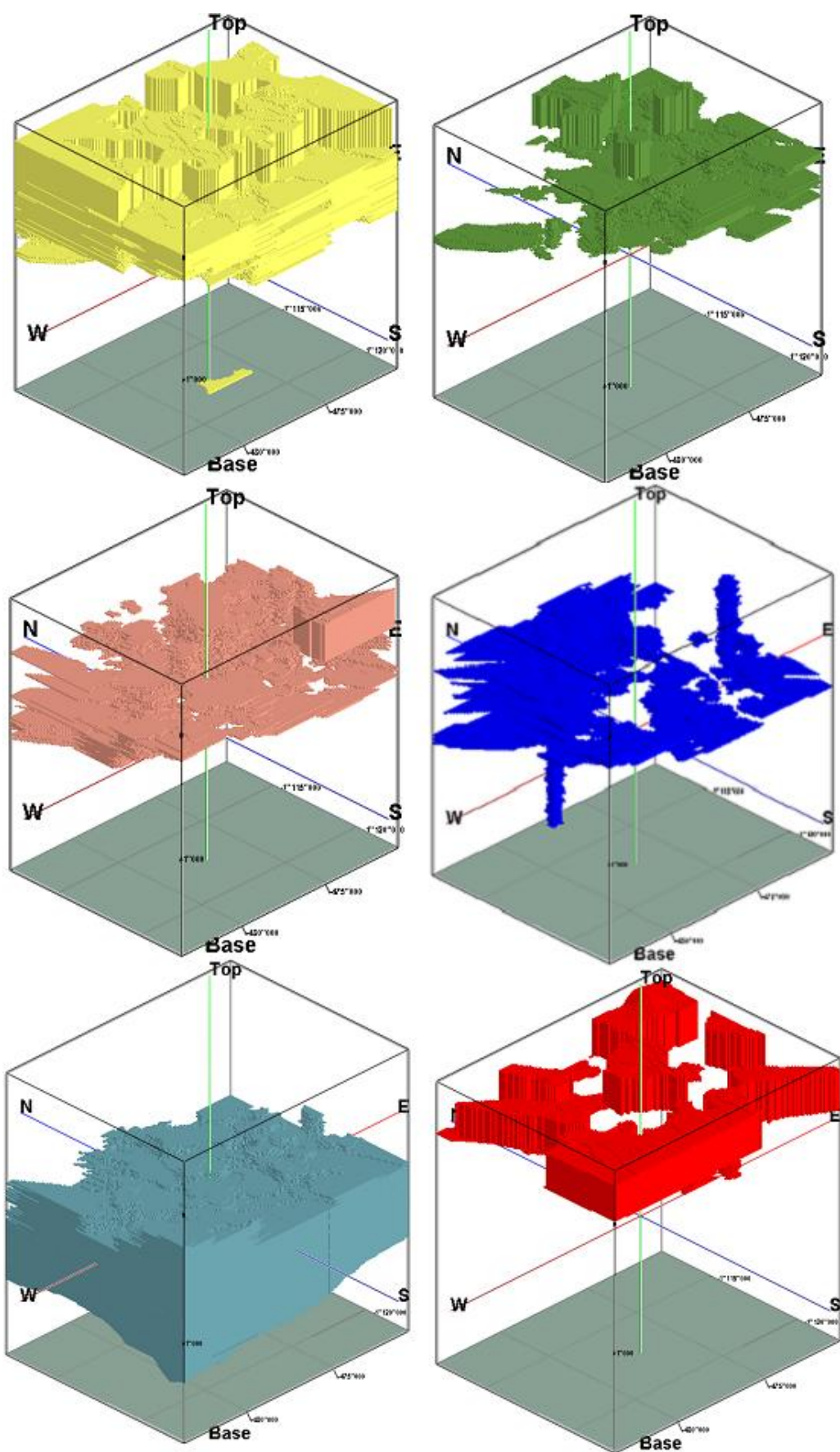


Obr. 10.3 Celý model podloží (vlevo), ořezaný pomocí Upper/Lower Surface Grid(vpravo).

Při porovnání vytvořených modelů (připočítána nadmořská výška, Obr. 10.3) s funkcí *Multi-Log 3D* (Obr. 9.7), která zobrazí rozložení jednotlivých vrstev, lze vidět největší rozdíly v poloze Kvartéru. Jak už bylo výše zmíněno, tato vrstva zaujímá nejmenší plochu, přesto po přepočtu dat a interpolaci je její objem dokonce větší než u jiných stratigrafických jednotek. Pravděpodobně reálnější výsledek zobrazuje interpolace modelu bez přepočítané nadmořské výšky (Tab. 10.7, Obr. 10.4).



Obr. 10.4 Ukázka interpolovaného modelu bez nadmořských výšek.



Obr. 10.5 Modely stratigrafických jednotek (Neznámé, Křída, Paleogén, Neogén, Karbon, Kvartér).

10.3 Porovnání modelů

I když oba programy umožňují 3D interpolaci, výsledné modely se mezi sebou obtížně porovnávají z důvodu použití rozdílných interpolačních metod, jiné velikosti území a rozdílných vstupních dat. Voxler 3 je mnohem jednodušší a méně obsáhlejší. Mnoho užitečných funkcí (např. měření vzdáleností, práce s intervaly) by mělo být dostupných až v dalších verzích. Nejdelší dobu zabrala samotná úprava dat, která byla v případě RockWorks 15 mnohem jednodušší. Voxler 3 je typický program pro práci s voxely, proto všechna data musí být importována jako jednotlivé body (vrty, gridy reliéfu). Samotná tvorba modelu však byla rychlejší než u RockWorks 15. Interpolace nebyla tak časově náročná a modely zabíraly méně místa na disku počítače. Co se týče nastavení parametrů interpolace, i zde má Voxler 3 více možností (výběr metod, volba anizotropie aj.). RockWorks15 tyto možnosti postrádá. RockWorks 15 je také schopen 3D interpolace, ale je to jen jedna z mnoha jeho částí. Dají se zde vytvářet mapy, profily, grafy, histogramy atd. Proto je také tvorba hardwarově i časově mnohem náročnější. Modely se ukládají okamžitě po vytvoření na disk a jejich grafická interpretace může být uložena dodatečně do souboru *r3dxml (RockPlot3D). Velká výhoda programu Voxler 3 je ukládání všech vytvořených grafických výstupů okamžitě v rámci jednoho projektu. Velikost projektu závisí na nastaveném rozlišení funkce Gridder. Programu stačí pouze jedna funkce Gridder, která vytvoří interpolovanou 3D mřížku a na ní lze napojit více grafických výstupů (projekt má pořád stejnou velikost na disku).

V následující tabulce jsou uvedeny procentuální zastoupení stratigrafických jednotek při použití stejného nastavení Spacing (100x100x10). V případě RockWorks 15 se jedná o neořezaný model, tedy bez použití funkce Lower/Upper Surface Grid (Obr. 10.3 vlevo).

Tab. 10.6 Procentuální rozdíl objemů stratigrafických jednotek Voxler 3 a RockWorks 15

Stratigrafická jednotka	Voxler 3 [%]	RockWorks 15 [%]
Neznámé	20,24	21,24
Křída	7,07	4,95
Paleogén	0,5	5,4
Neogén	3,34	2,21
Karbon	64,23	57,58
Kvartér	0,12	8,62

I když má program RockWorks 15 více funkcí, pro tuto konkrétní bakalářskou práci (velikost území, použitá data) práce v programu Voxler 3 probíhala snadněji. Voxler 3 byl stabilnější (RockWorks 15 často vypisoval chybové hlášky) a práce v něm byla také jednodušší a rychlejší. Není zde sice možnost ořezání modelů podle výšek/hloubek aj., ale přesto pro účely této práce bylo využití 3D interpolace dostačující (viz Tab. 10.7).

Tab. 10.7 Tabulka porovnání programů

	VOXLER 3	ROCKWORKS 15
Import dat	Kladné i záporné hodnoty, rozdělené na body (bez intervalů), časově náročnější	Možnost intervalů, pouze kladné jednotky nebo záporné hodnoty (zvětšení osy Z)
Prostředí programu	Jednodušší a přehlednější	Kvůli mnoha funkcím se může zdát trochu nepřehledný Bez okna graf. výstupů (vždy až po vytvoření modelů)
3D interpolace	Větší možnosti nastavení	Pouze jedna použitelná metoda
Možnost grafických výstupů	3D model, isosurface, profily Chybí tvorba map, program pouze pro 3D (max profily) Možnost kombinace několika výstupů najednou	Více možností celkově (v nabídce Lithology jsou však téměř stejné možnosti) Tvorba map Vždy pouze jeden výstup
Souřadnicový systém	Bez souřadnicového systému, data musí být ve stejných jednotkách	Lze nastavit UTM projekce a pásmo (WGS 84, Krassovsky, International aj.) Není zde JTSK
Rychlost práce	Rychlejší interpolace i práce s již vytvořenými modely	Dlouhá interpolace i práce s modely (rotování, strech aj.)
Využitelnost	Pro konkrétní bakalářskou práci všechny funkce dostačující, jinak menší možnosti než RW	Mnohem více možností modelování, tvorby map, analýz aj.
Náročnost na PC	Modely zabírají méně místa na disku, stačí pouze jeden Gridder a k němu může být připojeno mnoho grafických výstupů – pořád stejná velikost (uloženo v rámci jednoho projektu) včetně grafického zobrazení	Modely zabírají hodně místa na disku, při vytvoření jakéhokoliv dalšího modelu je okamžitě uložen na disk (bez grafiky, tu lze uložit dodatečně) Využívá hodně paměti RAM
Stabilita	Program nebyl ani jednou ukončen z důvodu chyby (pouze při zvolení velkého rozlišení)	Program se velmi často restartoval, vypisoval chybové hlásky
Limity interpolace	Program nemá žádné limity interpolace, jediné omezení je možnost paměti RAM	Každá osa má svůj limit 2 500 voxelů, kterého je téměř nemožné dosáhnout, program už při trochu vyšším rozlišení nepracuje

	VOXLER 3	ROCKWORKS 15
Technická podpora	Okamžitá spolupráce pracovníků firmy na stránkách jejich fóra či online chat	Výborná spolupráce, okamžité rady od pracovníků firmy
Výuka	Časté webináře, YouTube ukázková videa, vzorová data součástí instalace, dobrý help v programu (manuál je placený)	Webináře, YouTube kanál s ukázkovými videi, vzorová součástí instalace, velmi dobrý manuál (zdarma stažitelný v PDF) i Help v programu

11 DISKUZE

Ukázalo se, že prvním z problémů v této práci bylo zajištění zdrojových dat. Původně zamýšlené soukromé společnosti odmítly jakékoliv data poskytnout a výběr byl tedy omezen na databázi České geologické služby (tehdejší Geofond). Dále bylo nutné při výběru zájmové oblasti získat data z území, kde se nevyskytují geologické zlomy. Po výběru požadovaných vrtů zde bylo další omezení, a to jejich celkový počet, který lze z Geofondy bezplatně získat. Pro interpolaci by byla vhodnější větší hustota vrtů a menší území. Jelikož se tato práce zabývala interpolací ve 3D prostoru, byl finální počet dat dostačující.

Největší problém při zpracování této práce byla úprava vstupních dat. Úprava hloubkových intervalů do formy po jednotlivých metrech do programu Voxler 3 byla časově nejnáročnější. Byla zde ovšem výhoda, že Voxler 3 dokáže bez problémů pracovat se zápornými i kladnými hodnotami. Ovšem zarážející je chybějící možnost tohoto importu do programu RockWorks 15. Přitom se jedná o geologicky významný produkt, který se zabývá mnoha možnostmi modelování. Pokud se modelují vrty, je zřejmé, že vrchní hodnoty jsou v kladných hodnotách a spodní v záporných. Přepočítání hloubek do kladných hodnot, výrazně pozměnilo následnou interpolaci a objemy stratigrafických jednotek. RockWorks 15 sice automaticky převede hodnoty do záporu, ovšem celé území má potom jiné maxima a minima. Se vstupními daty u aplikace RockWorks 15 je spojena i komplikace týkající se výběru souřadnicového systému. Program totiž nepodporuje S-JTSK. Při převedení souřadnic do systému WGS-84, kvůli následnému importu výsledků do GoogleEarth, nebylo možné data správně importovat. Musely být vloženy souřadnice S-JTSK (vstupní xls soubor, list Location, sloupce Easting/Northing) i WGS-84 (sloupce Longitude/Latitude) a přes to byl export úspěšný jen u zobrazení pozice vrtů (možnost výběru zdrojových souřadnic). Při transformaci souřadnic přes možnost Export-> GoogleEarth, byly výsledky zobrazeny na špatném místě (konkrétně střed Afriky).

Další z problémů byl výběr interpolačních metod, který omezil následné srovnání vytvořených modelů. RockWorks 15 nabízí větší možnosti 2D interpolace (IDW, kriging aj.), ale v oblasti 3D modelace má jen jednu použitelnou metodu Lithoblending. Druhá metoda (Closest Point) se dá použít pouze tehdy, pokud jsou data před-interpolována.

Jako další nesrovnalost lze považovat také výběr Stratigraphy/Lithology. Do modelování vstupovaly vrstvy stratigrafických jednotek, přesto byl model vytvořen nabídkou Lithology/Model. Tato volba je z důvodů nemožnosti překrytí vrstev u nabídky Stratigraphy.

Poslední nevýhodou je celková náročnost 3D interpolace. Původní plán, použití rozlišení dat na ose Z po jednom metru, byl později zrušen a bylo použito rozlišení 10 metrů. Oba programy jsou velmi náročné na paměť RAM a velmi často se stalo, že jejich procesy musely být ukončeny, nebo byla vypsána chybová hláška „Out of memory“. Už při spuštění RockWorks 15, byla zatíženost RAM okolo 40%.

12 ZÁVĚR

Cílem bakalářské práce bylo modelování podloží na Ostravsku za použití voxelů a následná vizualizace 3D modelů. Dílčím cílem práce bylo vytvoření postupu tvorby jednotlivých modelů a shrnutí možností interpolace programů Voxler 3 a RockWorks 15.

V první, teoretické části se bakalářská práce zabývá základní geologickou/geomorfologickou charakteristikou území a jeho vymezení, historií modelování a voxelů spolu s jejich využitím v různých oblastech.

V praktické části se práce věnuje získáním a úpravě dat pro následnou 3D interpolaci a tvorbu modelu podloží zvoleného území, které bylo vybráno na základě doporučení odbornými pracovníky Katedry geologie Univerzity Palackého. U získaných dat byly nejdůležitější atributy poloh vrtů a hloubkové intervaly stratigrafických jednotek. Po jejich úpravě do požadovaných formátů byla provedena interpolace (metoda IDW v programu Voxler 3 a Lithoblending v RockWorks 15). Bylo tedy vytvořeno několik modelů podloží v obou aplikacích. Součástí modelů byl výpočet objemů jednotlivých vrstev. V programu Voxler 3 bylo vytvořeno šest modelů jednotlivých stratigrafických jednotek a dva celkové modely podloží (nízké a vysoké rozlišení). Všechny vytvořené modely (kromě vysokého rozlišení) jsou uloženy v jednom Voxler 3 projektu. V programu RockWorks 15 bylo vytvořeno také šest modelů jednotlivých stratigrafických jednotek, tři modely celého podloží (neořezaný model, ořezaný model podle nadmořských výšek, model bez výšek). Jako další grafické výstupy byly vytvořeny tři profily (Profile, FenceDiagram, PlanMap), jeden 3D graf všech vrtů a jeden povrch jednotky Neznámé.

Hlavním výsledkem jsou tedy samotné modely, jejich charakteristiky a vzájemné porovnání. Objemy modelů z obou programů jsou velmi odlišné. Model vytvořený v programu Voxler 3 má celkový objem cca 249 mld m³, kdežto model vytvořený v aplikaci RockWorks 15 zaujímá cca 294 mld m³. Tento rozdíl vznikl z důvodů rozdílné úpravy vstupních dat (zvětšení celkového území) a použití odlišných interpolačních metod.

Posledním výstupem této práce byly webové stránky, kde je tato práce prezentována.

POUŽITÁ LITERATURA A INFORMAČNÍ ZDROJE

[1] 3D geological modelling in the Skellefte district - A pilot study. Uppsala, 2006. Dostupné z: http://www.geofys.uu.se/at/Reports/Final_report.pdf. Projekt. Uppsala University.

3D Pixel / Voxel. 3D Pixel / Voxel [online]. 2010 [cit. 2013-05-17]. Dostupné z: <http://www.bilderzucht.de/blog/3d-pixel-voxel/>

[2] ABI-CHAHLA, Fedy. The Advantages Of Sparse Voxel Octrees. The Advantages Of Sparse Voxel Octrees [online]. 2009 [cit. 2013-05-12]. Dostupné z: <http://www.tomshardware.com/reviews/voxel-ray-casting,2423.html>

[3] CARLSON, Wayne. A Critical History of Computer Graphics and Animation. A Critical History of Computer Graphics and Animation [online]. 2003 [cit. 2013-05-17]. Dostupné z: <http://design.osu.edu/carlson/history/lessons.html>

[4] DJARCAS. A brief history of Voxel games. A brief history of Voxel games [online]. 2012 [cit. 2013-05-17]. Dostupné z: rojectorgames.net/blog/?p=168

[5] Elvins, T. T. (1992): A Survey of Algorithms for Volume Visualization. Computer Graphics, vol. 26, n. 3, 1992, s. 194-201.

[6] ENCISO, Wayden. The History of 3D Technology. The History of 3D Technology [online]. 2010 [cit. 2013-05-12]. Dostupné z: <http://ezinearticles.com/?The-History-of-3D-Technology&id=3711641>

[7] HRUBAN, Ing. Robert. Moravské Karpaty. Moravské Karpaty [online]. 2007 [cit. 2013-05-17]. Dostupné z: http://moravske-karpaty.cz/priroda_soubory/geomorfologie/geomorfologie_cleneni.htm

[8] JESSELL, Mark. Three-dimensional geological modelling of potential-field data. Three-dimensional geological modelling of potential-field data. 2001, roč. 2001, č. 27. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0098300400001424>

[9] KUBEČEK, Jan. Modelování procesu sufoze. Olomouc, 2010. Diplomová práce. Univerzita Palackého.

[10] Red and violet: the impact of Brewster stereoscopy. Red and violet: the impact of Brewster stereoscopy [online]. 2009 [cit. 2013-05-17]. Dostupné z: <http://thomasnevin.com/2009/02/21/red-and-violet-the-impact-of-brewster-stereoscopy/>

[11] RockWare- GIS (ArcView) software and earth science software. RockWare- GIS (ArcView) software and earth science software [online]. 2004 [cit. 2013-05-17]. Dostupné z: <http://www.rockware.com/>

[12] RockWare Inc. (2008): RockWorks 15 [on-line], Dostupný na WWW: <http://www.rockware.com/assets/products/165/downloads/documentation/41/rw15_manual.pdf>.

[13] Stoter, J., Zlatanova, S. (2003): 3D GIS, where are we standing? [on-line], Dostupný na WWW: <http://www.gdmc.nl/publications/2003/3D_GIS.pdf>.

[14] Voxel [online]. 2012 [cit. 2013-05-12]. Dostupné z: <http://voxel.com/>

[15] Voxel-Man. VOXEL-MAN Virtual Surgery Simulators and more [online]. 2005 [cit. 2013-05-12]. Dostupné z: <http://www.voxel-man.com/>

[16] Voxler 3 Help

SEZNAM ILUSTRACÍ

- Obr. 2.1 Schéma postupu práce.
- Obr. 3.1 Lokalizace vrtů (Google Maps).
- Obr. 4.1 Stereoskop [11].
- Obr. 4.2 Ukázky známých modelů [4].
- Obr. 5.1 Ukázka rozdílného rozlišení vytvořeného modelu z voxelů [2].
- Obr. 5.2 Voxel Man [16].
- Obr. 8.1 Ukázka rozhraní Voxler 3.
- Obr. 8.2 Ukázka vstupních dat do programu Voxler 3.
- Obr. 8.3 První okno nabídky importu.
- Obr. 8.4 Druhé dialogové okno s výběrem souřadnic a komponentů.
- Obr. 8.5 Naimportovaná data a jejich vlastnosti.
- Obr. 8.6 Zobrazení vrtů pomocí funkce ScatterPlot.
- Obr. 8.7 Primární nastavení funkce Gridder.
- Obr. 8.8 Zobrazení ScatterPlot se základním nastavením funkce Gridder.
- Obr. 8.9 Schéma volby anizotropie [17].
- Obr. 8.10 Přehled nastavení funkce IsoSurface.
- Obr. 8.11 IsoSurface, zelený 1.99, béžový 2.99.
- Obr. 8.12 Nastavení FaceRender.
- Obr. 8.13 Model stratigrafické jednotky křída.
- Obr. 8.14 Nastavení histogramu.
- Obr. 8.15 Schéma tvorby modelu.
- Obr. 9.1 Rozhraní RockWorks 15.
- Obr. 9.2 Ukázka upravených dat, list Location.
- Obr. 9.3 Ukázka upravených dat, vlevo list Interval, vpravo list Lithology.
- Obr. 9.4 Nastavení projekce území.
- Obr. 9.5 Ukázka záložky Lithology.
- Obr. 9.6 Lithology Types.
- Obr. 9.7 Zobrazení vrtů pomocí funkce Multi-Log 3D.
- Obr. 9.8 Rozdíl mezi Lithology (vlevo) a Stratigraphy (vpravo) [12].
- Obr. 9.9 Přehled parametrů modelu.
- Obr. 9.10 Srovnání Limit Input (vlevo) a Limit Model (vpravo), G Value filtr 2 – 4.
- Obr. 10.1 Celkový model podloží (FaceRender).
- Obr. 10.2 Modely stratigrafických jednotek (neznámá, křída, paleogén, neogén, karbon, kvartér).
- Obr. 10.3 Celý model podloží (vlevo), ořezaný pomocí Upper/Lower Surface Grid(vpravo).
- Obr. 10.4 Ukázka interpolovaného modelu bez nadmořských výšek.

Obr. 10.5 Modely stratigrafických jednotek (Neznámá, Křída, Paleogén, Neogén, Karbon, Kvartér).

SUMMARY

The main goal of this thesis was to make 3D models of bedrock in Ostrava region based on voxels. Programs used for 3D interpolation were Voxler 3 and RockWorks 15. Part of this work is also making of specific procedure for the creation of the models and their comparison. The conditions of completing this thesis was to acquire data with Z axis parameters

Interpolation was performed on data obtained from 98 wells that contained depth intervals of stratigraphic (lithology) units (these units were selected: Unknown, Chalk, Paleogene, Neogene, Carbon, Quaternary). The size of area is approximately 12x10x2 km. As the work proceeded there were required different input data formats. Data had to be adjusted into two formats. The First, for Voxler 3, the data points were divided into one meter interval. The second, RockWorks 15 entering data were in classic system depth intervals. This difference in sizes was one reason of the difference of models, because RockWorks 15 had extended Z-axis by 200 metres. Another reason was because of the diversity of used interpolation methods. In Voxler 3 there was used IDW and in RockWorks 15 there was used Lithoblending. Then were created models of stratigraphic units and also complete foundation.

The total volume of the model created in Voxler 3 was 249 bilion m³ and RockWorks 15' model occupied 294 bilion m³. Differences between the amounts of individual stratigraphic units were the greatest at Quaternary layers, which should have been the smallest. Layer volume created by using IDW interpolation method was only 30 milion m³, while Lithoblending layer was 25 bilion m³. From these existing models, it is impossible to determine which one is better and more accurate due to above mentioned differences in the size of area and use of interpolation methods.

PŘÍLOHY

SEZNAM PŘÍLOH

Vázané přílohy:

- Příloha 1 Ukázka získaných dat (.mdb)
- Příloha 2 Ukázka získaných dat (.html)
- Příloha 3 Mezinárodní stratigrafická tabulka
- Příloha 4 Ukázka grafického výstupu BoreholeLocation
- Příloha 5 Ukázka grafického výstupu Lithology/Profile
- Příloha 6 Ukázka grafického výstupu Lithology/FenceDiagram
- Příloha 7 Ukázka grafického výstupu Lithology/PlanMap
- Příloha 8 Ukázka grafického výstupu Lithology/Subface

Volné přílohy:

- Příloha 9 Licenční smlouva dat
- Příloha 10 DVD

Příloha 1 Ukázka získaných dat (mdb)

profily						
	KLIC_GDO	METR_OD	METR_DO	STRATIGRAF	GEOL_POPI	DOPLNENI
	336488	0	11	Kvartér	hlína skvrnitá,	přítomnost : pí
	336488	11	12	Křída - křída svrchní	jíl šedý	
	336488	12	60	Stáří neznámé	ztráta jádra	
	336488	60	62	Křída - křída svrchní	pískovec hrubý	přítomnost : kv
	336488	62	67	Stáří neznámé	ztráta jádra	
	336488	67	121,5	Stáří neznámé	ztráta jádra	
	336488	121,5	122,5	Křída - křída svrchní	jílovec vápnitý	přítomnost : ka
	336488	122,5	122,8	Křída - křída svrchní	jílovec tmavě š	
	336488	122,8	126,5	Stáří neznámé	ztráta jádra	
	336488	126,5	164	Stáří neznámé	ztráta jádra	
	336488	164	164,5	Křída - křída svrchní	jíl	
	336488	164,5	166	Křída - křída svrchní	jílovec pevný,	
	336488	166	166,9	Křída - křída svrchní	drť; příměs: jílc	přítomnost : kř
	336488	166,9	167	Křída - křída svrchní	pískovec střed	
	336488	167	168	Stáří neznámé	ztráta jádra	
	336488	168	213	Stáří neznámé	ztráta jádra	
	336488	213	217	Křída - křída svrchní	jíl slabě vápnit	přítomnost : pí

Příloha 2 Ukázka získaných dat (.html)

Česká geologická služba
databáze geologicky dokumentovaných objektů

gd3v

STRATIGRAFICKÝ VYMEZENÝ VÝPIS GEOLOGICKÉ DOKUMENTACE ARCHIVNÍHO VRTU NP-114 [Ostrava]

Klíč báze GDO	:	338637	Číslo posudku :	FZ002209	Mapy 1:25.000	15-434	M-34-73-D-c
Souřadnice - X	:	1112255.20	Y :	473150.00			
				[zaměřeno]			
Nadmořská výška	:	268.12	[Jadran-Lišov]		Rok ukončení	:	1957
Hloubka / délka	:	1113.50	[vrt svislý]		Datum výpisu	:	24.8.2012
Účel objektu	:	ložiskový na uhlí					
Realizace	:	Uhelný průzkum Ostrava-Hrabová					
Komentář	:						

	stratigrafie
hloubkový interval	základní popis polohy
[m]	rozšíření popisu polohy
	komentář k poloze

	Kvartér
0.00 - 0.20	: hlína humózní
0.20 - 3.00	: jíl slabě slídnatý, plastický, hnědočervený
3.00 - 4.30	: jíl jemně písčité, slabě slídnatý, plastický, žlutošedý
4.30 - 5.10	: písek žlutozelený
	přítomnost : štěrky
5.10 - 6.70	: štěrky pískovcový, zvodnělý
	Křída

MEZINÁRODNÍ STRATIGRAFICKÁ TABULKA

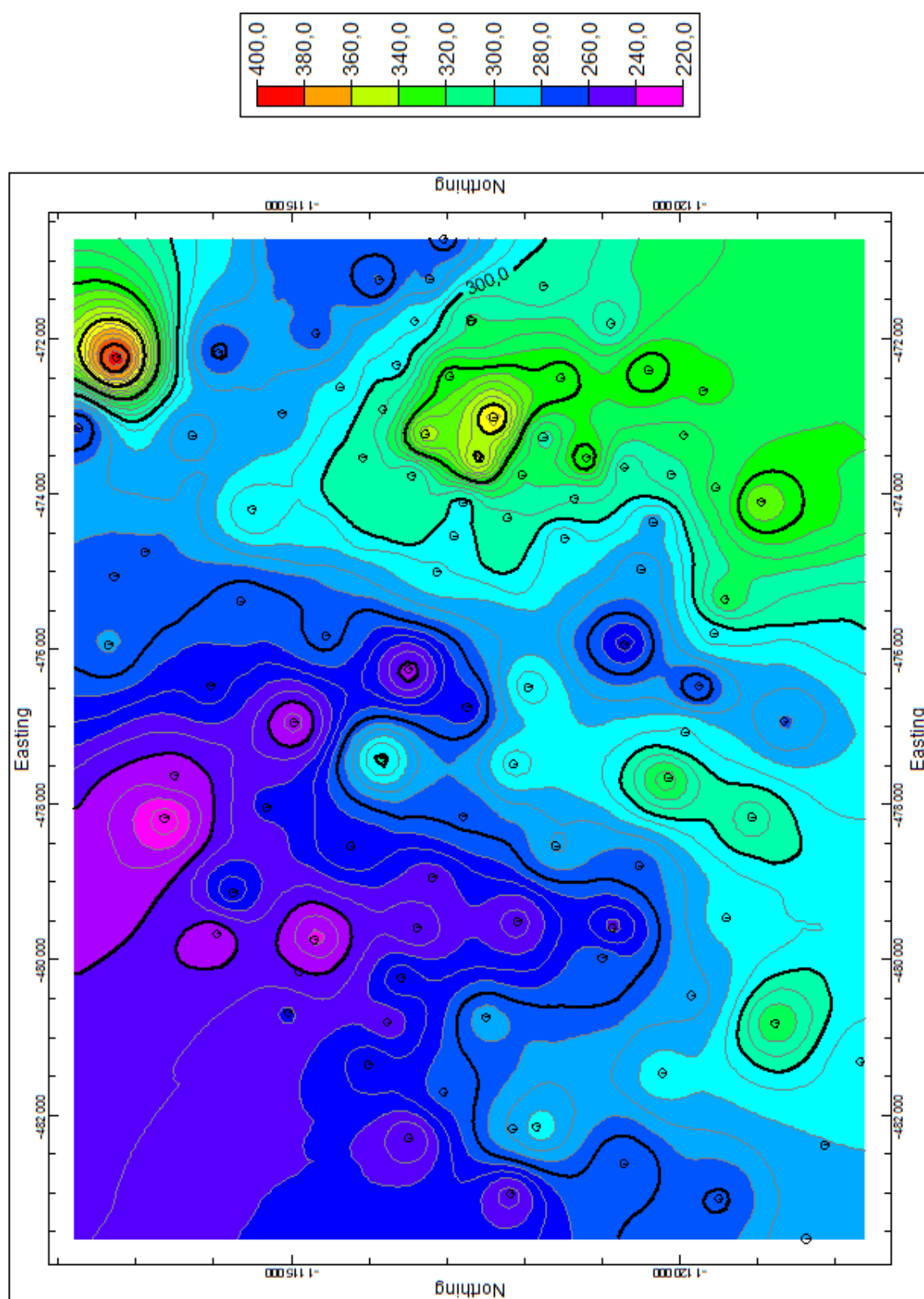
Příloha 3 Mezinárodní stratigrafická tabulka

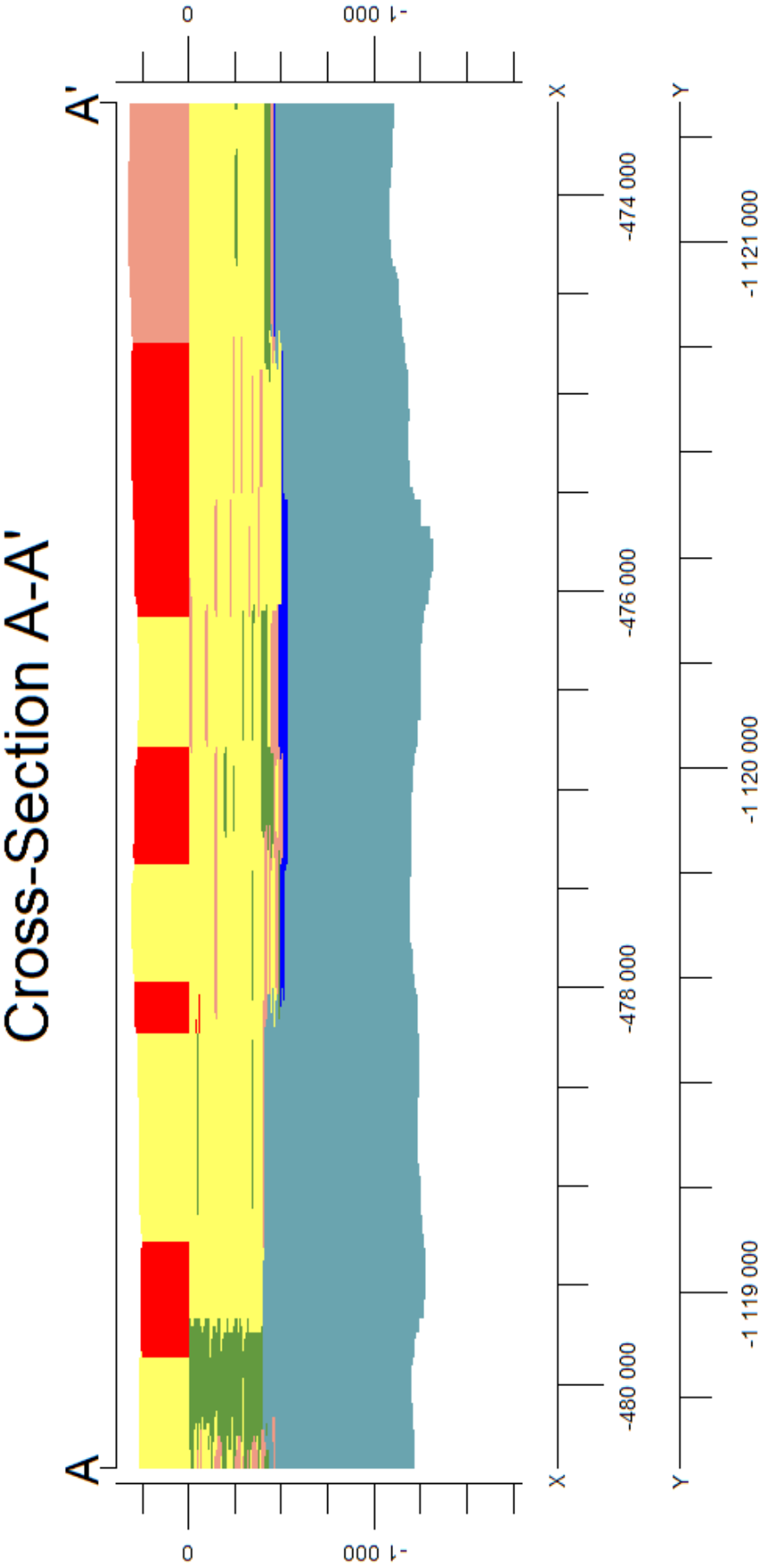
[illegible]

FANEROZOIKUM											
PALEOZOIKUM											
PZ											
EONOTÉM	ERATHÉM	ÚTVAR	ODĚLENÍ	STUPEN	VEK PODLE G.S. ODIN	VEK PODLE S/C	STUPEN OZNAČENÍ	ODĚLENÍ OZNAČENÍ	ÚTVAR OZNAČENÍ		
PH	PERM*	LOPING	CHANGHSING	WUCHIAPING	250	3	251.1	3.6			
				CAPITAN						P ₄	
		GUADALUP	WORD						P ₃		
			ROAD						P ₂		
		CISURAL	KUNGUR						P ₁		
			ARTINSK						P ₁		
			STEKMAR						P ₁		
			ASSEL						P ₁		
		PZ	KARBON*	PENNSYLVAN	GZHEL	295	5	298			
					KAZIMOV						C ₁
MOSEV	BASKIR								C ₂		
	SERPUKOV								C ₂		
MISSISSIP	VISÉ			325	5	327			C ₁		
	TOURNAI			345	5	354	4		C ₁		
SVRCHNÍ	FAMEN			370	5				D ₁		
	FRASN			375	5				D ₂		
STŘEDNÍ	GIVET			390	5				D ₁		
	EIFEI			390	5				D ₁		
SPODNÍ	EMMS	400	5				D ₁				
	PRAG	410	5				D ₁				
SILUR*	PŘÍDOLÍ	LOCHKOV	410	5				S ₁			
		LUDFORD	415	5				S ₁			
	LUDLOW	GORST	425	5				S ₁			
		HOMER	430	5				S ₁			
	WENLOCK	SHINWOOD	430	5				S ₁			
		TALYCH	435	5				S ₁			
	LLANDOVERY	AEON	435	5				S ₁			
		RHUDD	440	5				S ₁			
	SVRCHNÍ		445	5				O ₁			
		DARWILL	465	5				O ₁			
STŘEDNÍ		465	5				O ₁				
	TREMATOC	500	5				E ₁				
SPODNÍ		500	5				E ₁				
		520	5				E ₁				
STŘEDNÍ		520	5				E ₁				
		540	5				E ₁				
KAMBRÍUM		545	5				E ₁				
							E ₁				

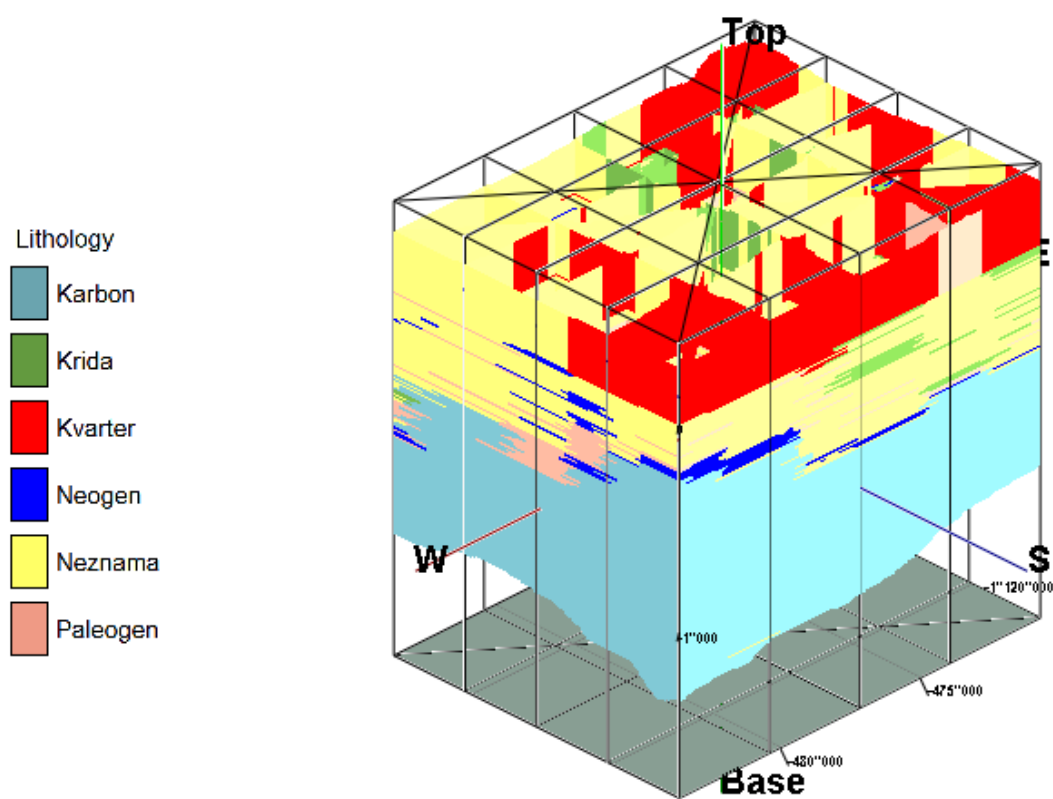
[illegible]

Příloha 4 Ukázka grafického výstupu BoreholeLocation

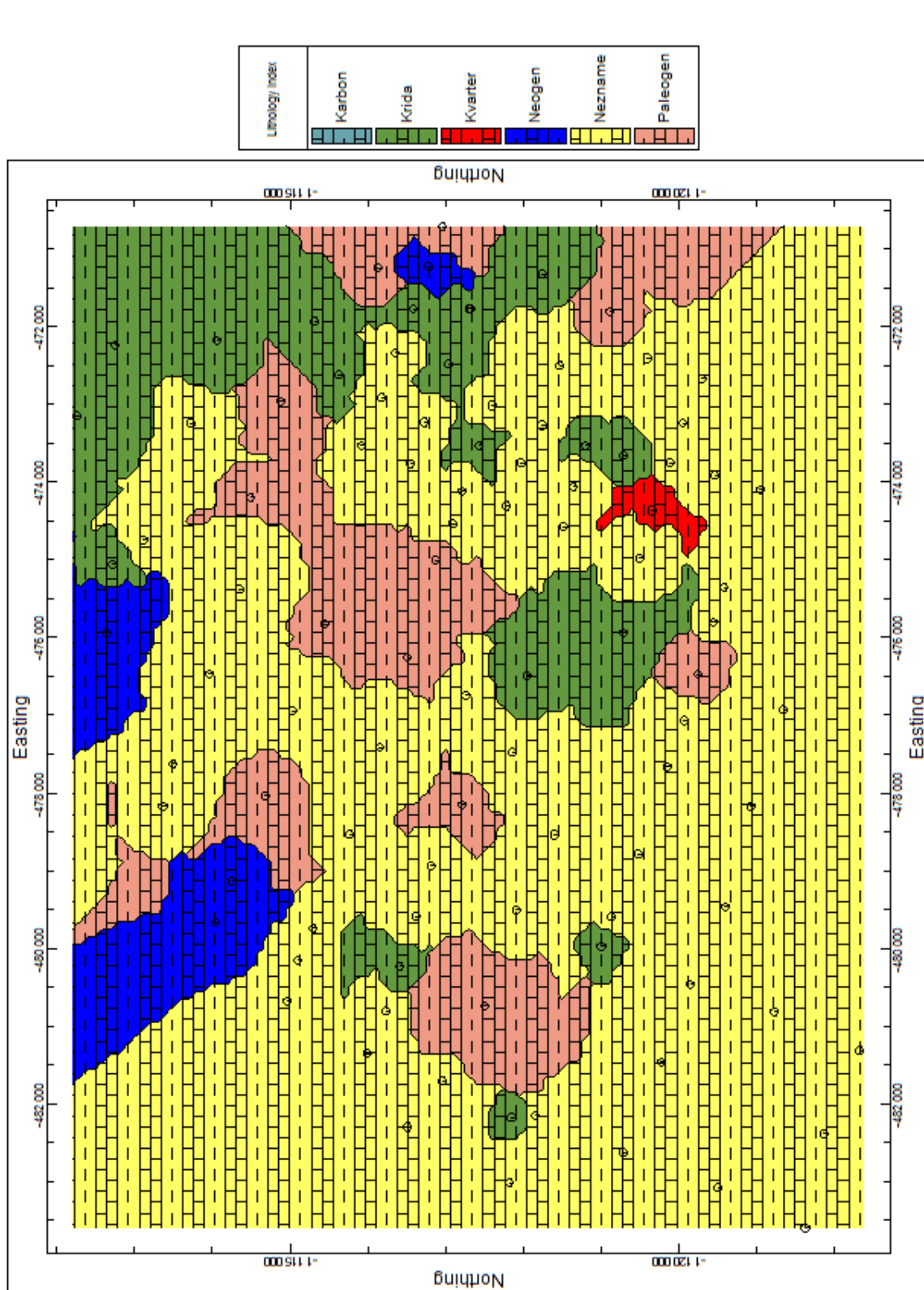




Příloha 6 Ukázka grafického výstupu Lithology/FenceDiagram



Příloha 7 Ukázka grafického výstupu Lithology/PlanMap



Příloha 8 Ukázka grafického výstupu Lithology/Subface

