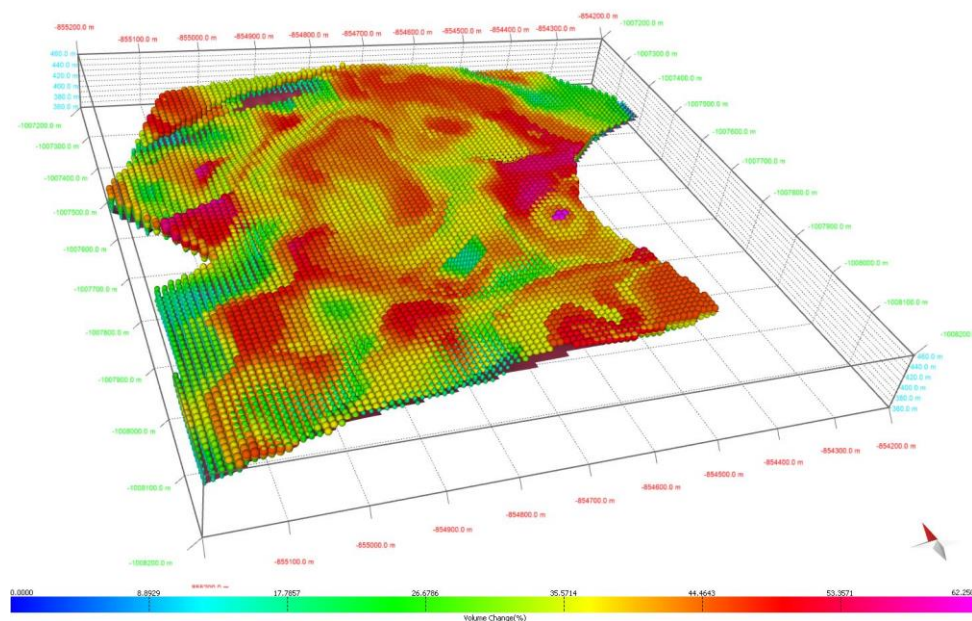


3D ložiskově geologický model ložiska kaolinu Jimlíkov - východ

Technická zpráva



Jan Jelínek, František Staněk, Radomír Grygar,
Jana Staňková, Marcela Jarošová

Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava
Česká geologická služba

Praha, srpen 2019

3D ložiskově geologický model ložiska kaolinu Jimlíkov - východ

Technická zpráva

Srpen 2019

ŘEŠITELÉ:

¹Česká geologická služba, Klárov 3, 118 21 Praha 1

²Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, 17. listopadu 15/2172,
708 33 Ostrava-Poruba

AUTOŘI:

**Jan Jelínek¹, František Staněk^{1,2}, Radomír Grygar², Jana Staňková²,
Marcela Jarošová²**

Horní indexy u jmen autorů odkazují na výčet institucí výše.

Obsah

1. Úvod	4
2. Geologický popis ložiska kaolinu Jimlíkov - východ.....	5
3. Metodické postupy tvorby 3D modelu ložiska kaolinu Jimlíkov - východ.....	8
3.1. Revize všech dostupných archivních materiálů.....	8
3.2. Verifikace a korekce vstupních dat	9
3.3. Výpočet a vizualizace prostorové lokalizace vstupních dat	9
3.4. Základní statistické zpracování obsahů výplavu, Al ₂ O ₃ , Fe ₂ O ₃ a TiO ₂	11
3.5. Modelování báze a stropu výskytu kaolinu a celkové litologie ložiska.....	11
3.6. Zobrazení vstupních dat ložiska kaolinu ve 3D v prostředí Voxler, vytvoření 3D gridů obsahů technologických parametrů a export 2D gridů v jednotlivých horizontech ve formátu Surfer (program Kaolin_A)..	12
3.7. Kategorizace bloků zásob na základě gridů technologických parametrů exportovaných programem Kaolin_A a zadaných parametrů kategorií zásob ve 2D, jejich převedení do 3D gridu a odhad zásob (program Kaolin_Viz).....	16
3.8. Vizualizace horizontálních řezů ve 2D v prostředí Surfer (program Kaolin_Viz)	16
3.9. Vizualizace sítě vertikálních řezů ve 2D v prostředí Surfer (program Kaolin_Viz).....	17
4. Věrohodnost výsledného modelu	20
5. Technické parametry výsledku	21
6. Ekonomické parametry výsledku	22
7. Závěr	23
Literatura.....	24

Seznam obrázků

Obr. 1: Geologický řez (A) ložiskem kaolinu Jimlíkov, řez A–A' na schematické geologické mapě (B) a topografická mapa s pozicí ložiska (C) (viz červený polygon). Vysvětlivky k litologii společné pro mapu i řez: a – granit, b – kaolin s výplavem pod 15%, c – kaolin s výplavem nad 15%, d – kaolinické písky a pískovce (starosedelské souvrství), e – uhlí, uhelné jíly a písky slojového pásma Josef (novosedelské souvrství), f – tufy, tufity, bentonity a jíly (novosedelské souvrství), g – kvartér. Podle [4].	5
Obr. 2: Proporcionální zobrazení obsahu výplavu vzorků v prostředí Voxler.	9
Obr. 3: Lokalizované údaje obsahu Al ₂ O ₃ v prostředí Voxler.	10
Obr. 4: Ukázka vizualizace dat převedených do prostředí SGeMS - údaje obsahu výplavu.	10
Obr. 5: Ukázka statistického zpracování v prostředí SGeMS - histogramy četností parametrů výplav a Al ₂ O ₃ (%) a jejich základní statistické charakteristiky.	11
Obr. 5: Ukázka statistického zpracování v prostředí SGeMS – lineární závislost výplavu na hloubce a základní statistické charakteristiky.	11
Obr. 6: Zobrazení báze a stropu výskytu kaolinu v MOVE.	12
Obr. 7: 3D vizualizace výplavu – obálka tělesa s minimálním obsahem 36 % a báze výskytu kaolinu.	13
Obr. 8: 3D vizualizace obsahu Al ₂ O ₃ – zobrazení 3D gridu pomocí ScatterPlot.	14
Obr. 9: 3D vizualizace obsahu Fe ₂ O ₃ – zobrazení 3D gridu pomocí FaceRender.	14
Obr. 10: 3D vizualizace obsahu TiO ₂ – zobrazení 3D gridu pomocí VolRender.	15
Obr. 11: 3D vizualizace součtu obsahů Fe ₂ O ₃ + TiO ₂ - zobrazení 3D gridu pomocí žezů XY, YZ, XZ (ObliqueImage).	15
Obr. 12: Vizualizace horizontálního řezu 420 m.n.m. (soubor 44_420m_2D.srf) v prostředí Surferu.	17
Obr. 13: Vizualizace vertikálního řezu XZ 1007800 (JT SK) (soubor VertXZ_1007800_2D.srf) v prostředí Surferu.	19
Obr. 14: Vizualizace vertikálního řezu YZ 854900 (JT SK) (soubor VertYZ_854900_2D.srf) v prostředí Surferu.	19

Seznam elektronických příloh:

Příloha 1: 3D model lokality ve formátu 3D PDF, projekt v MOVE s MoveViewer pro prohlížení projektu a čtyři obrázky ve formátu JPG zobrazující 3D ložiskově geologický model ložiska kaolinu Jimlíkov-východ pro koncentrace Al₂O₃, Fe₂O₃, TiO₂ a výplav.

Abstrakt

Tato technická zpráva shrnuje dosud známé geologické poznatky využité pro tvorbu detailního 3D ložiskově geologického modelu ložiska kaolinu Jimlíkov - východ. Ve zprávě je popsána obecná charakteristika území 3D ložiskově geologického modelu, regionálně geologický přehled, metodický postup tvorby modelu, věrohodnost výsledného modelu, technické a ekonomické parametry výsledku. Tato technická zpráva a 3D model vznikl v rámci řešení projektu TA ČR TE02000029 - Centrum kompetence efektivní a ekologické těžby nerostných surovin (CEEMIR), jehož hlavním cílem je revize zásob vybraných neenergetických surovin, které se řadí mezi kritické komodity EU.

Samotný model je vytvořen v SW Voxler, Surfer, SGeMS, MOVE a Excel a předán v nativním formátu MOVE a dále ve formátu 3D PDF.

Klíčová slova

3D model, ložisko kaolinu, kritické komodity EU, Jimlíkov - východ, Český masív

Abstract

This technical report summarizes the geological knowledge used for construction of a detailed 3D geological model of kaolin deposit Jimlíkov - East. The report describes the general characteristics of the 3D structural geological model, the regional geological survey, the methodology of creating the model, the veracity of the resulting model, the technic and economic parameters of the result are verbally evaluated. The technical report and 3D model were created within the project TE02000029 Competence Centre for Effective and Ecological Mining of Mineral Resources, granted by The Technology Agency of the Czech Republic. The main objective is a review of reserves of selected non-energy minerals belonging to EU critical commodities. The model is created in SW Voxler, Surfer, SGeMS, MOVE and Excel and is transmitted in native MOVE format and in 3D PDF format..

Keywords

3D model, kaolin deposit, EU critical commodities, Jimlíkov - East, Bohemian Massif

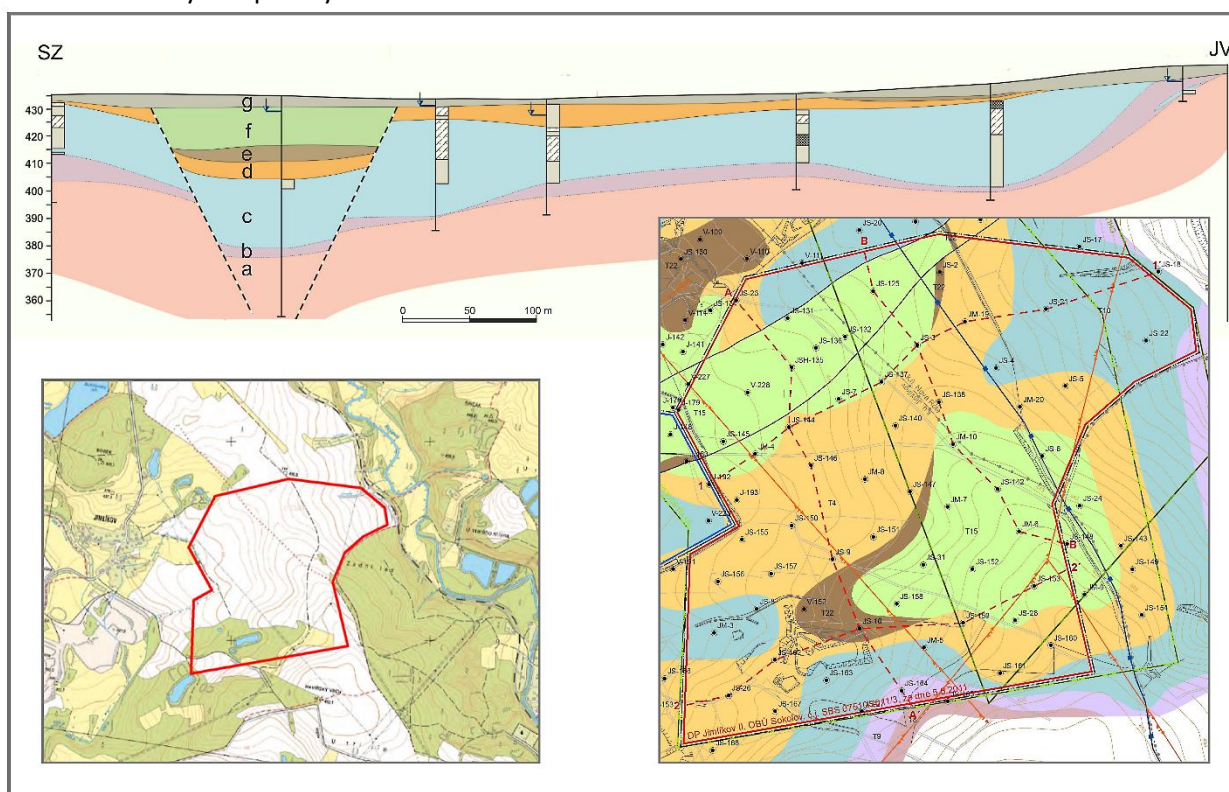
1. Úvod

3D ložiskově geologický model ložiska kaolinu Jimlíkov - východ vznikl v rámci řešení projektu TA ČR TE02000029 - Centrum kompetence efektivní a ekologické těžby nerostných surovin (CEEMIR), jehož hlavním cílem je revize zásob vybraných neenergetických surovin, které se řadí mezi kritické komodity EU. Jednou z částí projektu je Work Package WP4 - Prostorové modelování ložisek nerostných surovin, který se zabývá převedením vybraných ložisek do digitálních modelů s pomocí vhodných matematických postupů na základě studia a přehodnocení dat z archivních materiálů.

Prostorové modelování ložisek vychází z nutnosti, v rámci dostupných strukturně-geologických, geochemických a ložiskově-technologických parametrů, sestavit co nejvěrnější obraz dané ložiskové struktury a v jejím rámci následně vyhodnotit 3D distribuci konkrétního zrudnění v rámci výrazně heterogenního geologického prostředí. Zásadním problémem je přitom mj. absence jednotné, a moderním analytickým metodám odpovídající, vstupní databáze parametrů nezbytných pro výpočtové modely. Pro vybrané modelované ložisko, byla k dispozici data z 90., 80. let a v řadě případů ještě starších etap geologických průzkumných prací minulého století. Tato skutečnost je jedním z důvodů, proč není možno, bez dodatečného moderního ložiskového průzkumu, využít celosvětově využívaných softwarových řešení, nehledě na fakt že, pro analyzovaná malá ložiska, jakým je i ložisko Jimlíkov – východ, jsou všechny tyto softwary velmi drahé, a pro daná ložiska tedy potenciálně neekonomické.

2. Geologický popis ložiska kaolinu Jimlíkov - východ

Ložisko kaolinu Jimlíkov – východ se nachází v centrální, chodovsko-starorolské části terciérní sokolovské pánve v okolí obce Jimlíkov asi 5 km západně od Karlových Varů (obr. 1). Sokolovská pánev je součástí rozsáhlé podkrušnohorské příkopové propadliny. Od pánve chebské na západě je oddělena krystalickým hřbetem Chlumu sv. Máří, předěl vůči pánvím severočeským (resp. pánvi mostecké), na východě tvoří hranici vulkanity Doupovských hor.



Obr. 1: Geologický řez (A) ložiskem kaolinu Jimlíkov, řez A–A' na schematické geologické mapě (B) a topografická mapa s pozicí ložiska (C) (viz červený polygon). Vysvětlivky k litologii společné pro mapu i řez: a – granit, b – kaolin s výplavem pod 15%, c – kaolin s výplavem nad 15%, d – kaolinické písky a pískovce (starosedelské souvrství), e – uhlí, uhelné jíly a písky slojového pásma Josef (novosedelské souvrství), f – tufy, tufity, bentonity a jíly (novosedelské souvrství), g – kvartér. Podle [4].

Převážnou část podloží sokolovské pánve tvoří karlovarský masiv, který je součástí rozsáhlého krušnohorského plutonu, v němž jsou rozlišovány dva hlavní intruzivní komplexy - starší žuly horské a mladší žuly krušnohorské (rudohorské, autometamorfované). Obecně platí, že z mladších krušnohorských žul vznikly kvalitnější kaoliny (například ložiska Sedlec, Bohemia, Podlesí) než ze žul horských, které jsou mateční horninou méně kvalitních kaolinů, obvykle s vyšším obsahem titanu - titaničité kaoliny [10]. Bázi ložiska Jimlíkov – východ tvoří horizont zastoupený mladšími krušnohorskými žulami. V závěrečných zprávách [10 a 4] je za krystalické podloží označována slabě kaolinizovaná až čerstvá žula s obsahem jílové frakce pod cca 8 %.

Ložiska kaolinu vznikla kaolinizací zmíněných granitů v období křída až paleogén. Jde o pozůstatky původní zvětralínové kůry, které byly uchovány před denudací. Intenzita kaolinizace s hloubkou klesá. Toho bylo využito při rozdělení kaolinového profilu, který sestává ze tří primárních zón. Lze k nim přiřadit i zónu

sedimentární, což jsou ekonomicky využitelné kaolinitové jíly a kaolinické písky (sekundární kaolin) starosedelského souvrství [10]. Hlavním ukazatelem členění horizontů je obsah kaolinu. Za technologicky využitelnou se zpravidla považuje surovina s obsahem kaolinové frakce nad 15 %. Vzhledem k tomu se používá toto členění i v geologické dokumentaci:

- reziduální kaolin s výplavem nad 15 % - dokonale kaolinizovaná žula (označovaná v dokumentaci T10), živce a biotit zcela nebo částečně rozloženy - přibližně svrchní a střední zóna kaolinizace;
- reziduální kaolin s výplavem v rozsahu od cca 8 až do 15 % - nedokonale kaolinizovaná žula (označovaná v dokumentaci T9) – cca spodní zóna kaolinizace;
- slabě kaolinizovaná až čerstvá žula s obsahem jílové frakce pod cca 8 %.

Podle [10] má kaolin na ložisku charakteristické vlastnosti v chemickém složení, technologických vlastnostech i mineralogickém složení. Všechny tyto vlastnosti mají vztah k matečné hornině. Matečnou horninu reprezentují dvě základní facie horské žuly:

- biotitická až dvojslídňá žula, afyrická (stejněměrně zrnitá), středně až hrubě zrnitá, leukokratního charakteru;
- biotitická aplitická žula, jemnozrná, tvořící žilná tělesa v předchozím typu.

Ve vzorcích žul z podloží ložiska lze vypořádat sukcesí proměn:

- sericitizace plagioklasu + chloritizace biotitu;
- kaolinizace plagioklasu + baueritizace biotitu;
- zakalení K-živců + kaolinizace biotitu;
- limonitizace biotitu.

Surový kaolin obsahuje silně až zcela kaolinizované plagioklasy. Draselné živce jsou částečně zachovány a v původním omezení. Biotit je vybělen (baueritizován), částečně zachován. Jeho obsah u většiny vzorků přesahuje 10 %.

Základní surovinou na ložisku Jimlíkov jsou keramické kaoliny. Mezi keramické kaoliny patří kaolin pro výrobu porcelánu KJ, kaolin titaničitý KT a kaolin pro ostatní keramický průmysl KK. Podle vlastností kaolinového výplavu se surovina dále dělí do jakostních druhů.

Morfologie ložiska není příliš proměnlivá. Ložisko kaolinu má prakticky vodorovný nebo jen mírně zvlněný průběh. Pouze velká technologická variabilita suroviny v něm vymezuje značně proměnlivé mocnosti zásob. V jihovýchodní části ložiska granit takřka vystupuje k povrchu. Mocnost ložiska kaolinu se pohybuje v rozmezí 20-25 m a jen výjimečně více (až 46,4 m - vrt JS7).

Relativně jednoduchá je i generální geologická stavba ložiska, neboť původní žulový povrch nevykazuje velké rozdíly v nadmořských výškách. V severní části zájmového ložiska probíhá poruchová zóna cca jz.-sv. směru, která se projevuje tektonickým (příp. erozním) příkopem o šířce přibližně 100 m. Osa příkopu je zhruba ve směru vrtů JS125 - JSH135 – V228 – JS145. Severní okraj tvoří pravděpodobně dislokace s úklonem kolem 50° k jihovýchodu. Výška skoku se pohybuje v rozmezí 10 – 15 metrů. Jižní hranice je pravděpodobně ze západu tvořena také dislokací enclon charakteru, která se v blízkosti vrtu JS 7 vytrácí. Její úklon se předpokládá k severozápadu pod úklonem 50°. Tento tektonický příkop má průběh odpovídající podélné tektonice oherského nebo také krušnohorského směru. V pánvi de vyskytuje také příčná tektonika směru SZ-JV, zjevně mladší, ale ta se na modelovaném ložisku nevyskytuje. Tektonická aktivita zájmových struktur trvala patrně celý terciér. Některé pohyby mohly přetrvat až do kvartéru (Tvrdý et al. 2014). Proto je většina ložiskových horizontů modelována jako tektonicky porušená výše zmíněnými zlomy.

Tektonický příkop je vyplněn vulkanickým materiálem a produkty uhelné sedimentace. Tato výplň odráží geologický vývoj sokolovské pánve v terciéru. Výplň sokolovské pánve vznikla ve třech sedimentačních etapách [9]:

- Eocén-oligocén: nejstarší etapa sedimentace se uplatnila na mnohem širším území, než je hlavní pánevní výplň. Bazální starosedelské souvrství vzniklo v podmínkách rychle se zahlubující pánve, má charakter splachů, vyskytují se zde kaolinické písky a jíly (sekundární kaolin) až dobře vytřídněné pískové sedimenty. Místa jsou zastoupeny polohy křemitých pískovců až křemenců vzniklých silicifikací během kaolinizace podloží.
- Oligocén-miocén: uhlotvorná sedimentační etapa. Začíná sedimentací sloje Josef, která nasedá na starosedelské pískovce nebo přímo na kaolinické podloží. V závěru ukládání josefských vrstev nastupuje vulkanická činnost a začíná sedimentace vulkanogenních chodovských vrstev s tufitickými jíly, tufy a tufity (novosedelské souvrství). Následně dochází k sedimentaci uhlí, která směřem do nadloží sílí a dochází ke vzniku hlavního slojového pásma se slojemi Anežka a Antonín (sokolovské souvrství).
- Miocén-pliocén: jezerní sedimentace s převahou pelitů s vložkami pelokarbonátů (cyprisové souvrství).

V zájmové oblasti se setkáváme nad horizontem reziduálních kaolinů s polohami starosedelského souvrství, na kterém se místy zachovala uhelná sloj Josef. Na tuto polohu pak místy nasedají tufy a tufity novosedelského souvrství. Další popisované polohy zde nejsou dochovány. Na novosedelské souvrství nasedá přímo kvartér.

Kvartérní sedimenty jsou rozšířeny po celé sokolovské pánvi. Jsou představovány písčitymi a hlinitými svahovinami a splachy starších hornin, méně často sprašovými hlínami. V okolí vodotečí jsou rozšířeny organické uloženiny, štěrky a štěrkopísky. Mocnost přirozeného kvartéru se pohybuje nejčastěji od desetin po jednotky metrů. Nezanedbatelné je zastoupení antropogenních uloženin, zejména rozsáhlých výsypků z hnědouhelné těžby. V prostoru ložiska Jimlíkov mají kvartérní horniny mocnost kolem 2 m, lokálně až 8 m a výjimečně i přes 15 m. Zastoupeny jsou hlínami, jílovitými hlínami a jíly většinou hnědorudých barev. Technologicky byla ověřena vhodnost některých z nich jako cihlářské suroviny [9].

Ložisko cihlářských hlín je vázáno na výskyt relativně mocných kvartérních sedimentů v nadloží ložiska kaolinu. Kvartérní horniny zde dosahují místy mocnosti téměř 15,0 m. Ve svrchní části kvartérního souvrství převažují hlíny a jíly, místy s epiklastickou příměsí. Průměrná mocnost suroviny se pohybuje mezi 5,1-6,8 m.

3. Metodické postupy tvorby 3D modelu ložiska kaolinu Jimlíkov - východ

Ke konstrukci vlastního 3D modelu ložiska a jeho vizualizaci byly využity běžně dostupné programové prostředky: *MS Excel*, programy *Surfer* a *Voxler* firmy Golden Software, open-source program *SGeMS* (Stanford Geostatistical Modeling Software) [3] a *MOVE*. Pro tvorbu speciálních programových aplikací byly použity programovací jazyky: pro tvorbu maker v *MS Excelu* jazyk Visual Basic for Applications (*VBA*) a pro tvorbu samostatných programů jazyk Visual Basic.

Na základě požadavků a dohody se Sedleckým kaolinem a.s. je základním inovativním fenoménem zpracování ložiska (a z něj vyplývajících metodických postupů) vytvoření aktivního, dynamického komplexního modelu, do něhož bude možno operativně doplňovat informace na základě prováděného těžebního průzkumu. Metodické kroky tvorby a vizualizace 3D modelu ložiska na sebe navazují a jsou detailně popsány na webové stránce <https://www.hgf.vsb.cz/511/cs/Projekty/CEEMIR/Vystupy/> v rámci certifikované metodiky:

- 3.1 Revize všech dostupných archivních materiálů.
- 3.2 Verifikace a korekce vstupních dat.
- 3.3 Výpočet a vizualizace prostorové lokalizace vstupních dat.
- 3.4 Základní statistické zpracování obsahů výplavu, Al_2O_3 , Fe_2O_3 a TiO_2 .
- 3.5 Modelování báze a stropu výskytu kaolinu a celkové litologie ložiska.
- 3.6 Zobrazení vstupních dat ložiska kaolinu ve 3D v prostředí *Voxler*, vytvoření 3D gridů obsahů technologických parametrů a export 2D gridů v jednotlivých horizontech ve formátu *Surfer* (program *Kaolin_A*).
- 3.7 Kategorizace bloků zásob na základě gridů technologických parametrů exportovaných programem *Kaolin_A* a zadaných parametrů kategorií zásob ve 2D, jejich převedení do 3D gridu a odhad zásob (program *Kaolin_Viz*).
- 3.8 Vizualizace horizontálních řezů ve 2D v prostředí *Surfer* (program *Kaolin_Viz*).
- 3.9 Vizualizace sítě vertikálních řezů ve 2D v prostředí *Surfer* (program *Kaolin_Viz*).
- 3.10 Vizualizace kategorií bloků zásob ve 3D v prostředí *Voxler* (program *Kaolin_Viz*).
- 3.11 Případné doplnění vstupních údajů na základě prováděného těžebního průzkumu a přechod ke kroku 3.6.

Z hlediska 3D ložiskově geologického modelu jsou nejdůležitější kroky 1 až 9 a jsou popsány v následujících podkapitolách. Kroky 10 a 11 závisí na konkrétních podmínkách využitelnosti. V [2] je zpracována a popsána varianta podmínek využitelnosti podle jakostních tříd keramických kaolinů na Karlovarsku [4].

Jednotlivé kroky metodického postupu jsou realizovány tak, aby bylo možno při libovolné změně parametrů tyto kroky programově rychle přepočítat bez nutnosti zdoluhavých ručních postupů. Proto je také možné snadno provést modelování v několika variantách (například s použitím více variant parametrů gridování apod.).

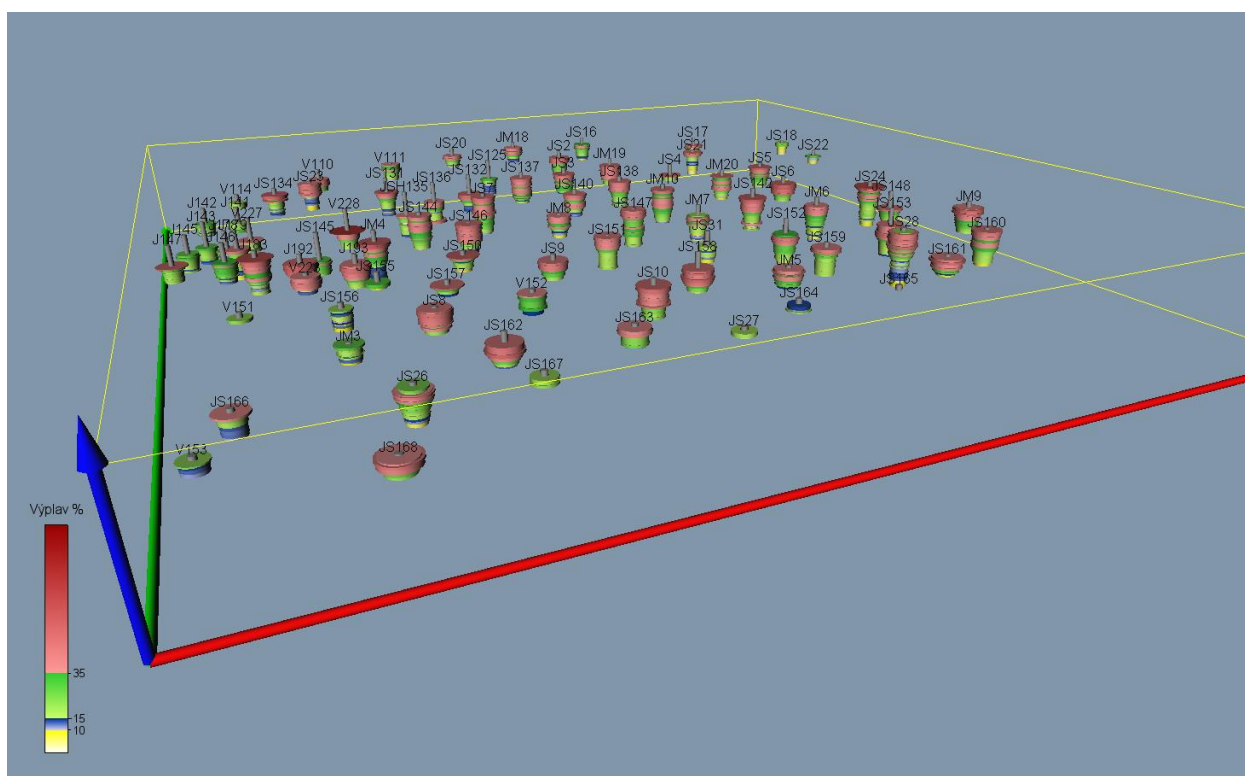
3.1. Revize všech dostupných archivních materiálů

Z archivních materiálů pro modelování byly vybrány údaje technologických parametrů, které jsou nezbytné pro kategorizaci zásob a jsou stanoveny ve vzorcích většiny vrtů: obsahy (v %) výplavu, Al_2O_3 , Fe_2O_3 , TiO_2 . Zdrojem údajů a informací pro kontrolu vstupních dat byly především dostupné archivní materiály o lokalitě [5-10] a Závěrečná zpráva geologického úkolu Jimlíkov-východ [4].

3.2. Verifikace a korekce vstupních dat

Verifikace vstupních dat byla prováděna konfrontací s archivními materiály, s pomocí několika kontrolních maker [2] a také s pomocí vizualizace (ve 2D a ve 3D) a srovnáním s příslušnými archivními horizontálními a vertikálními řezy. Přitom byly zjištěny chyby, které byly způsobeny nejen překlepy souvisejícími s digitalizací archivních podkladů. Chybné údaje byly v maximální možné míře opraveny a prokonzultovány se zástupci Sedleckého kaolinu a.s..

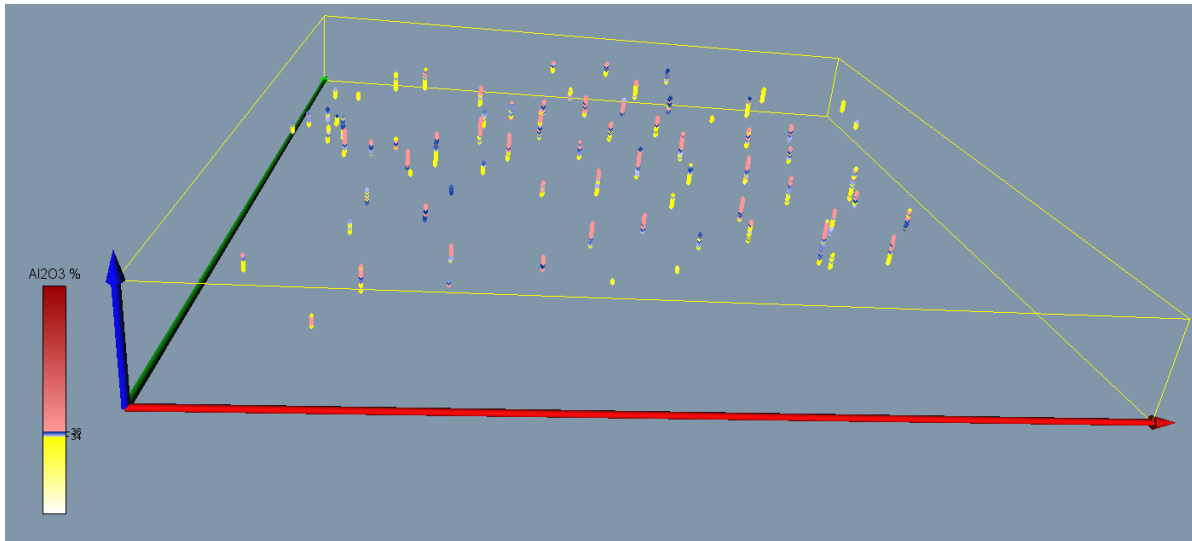
Opravené doplněné údaje průzkumných děl (celkem 85) byly převedeny do tabulky *Collars*, opravené doplněné údaje vzorků s obsahy užitečných složek jednotlivých průzkumných děl (celkem 1585) byly převedeny do tabulky *Samples*. Údaje z tabulek *Collars* a *Samples* lze pro vizuální kontrolu vykreslit také v 3D v prostředí *Voxler* (obr. 2).



Obr. 2: Proporcionální zobrazení obsahu výplavu vzorků v prostředí *Voxler*.

3.3. Výpočet a vizualizace prostorové lokalizace vstupních dat

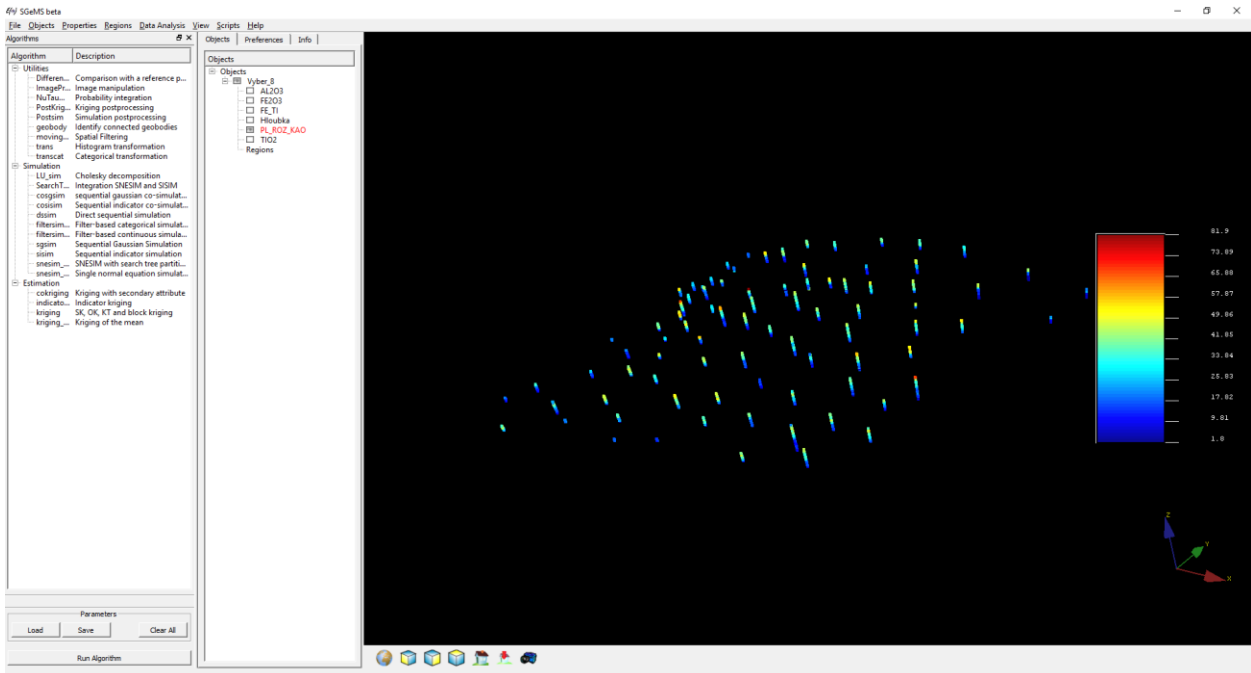
Opravené a doplněné vstupní údaje (geometrické parametry průzkumných děl a vzorky s obsahy technologických parametrů) se s pomocí speciálně vytvořeného makra *XYZ_data* [2] rozdělují po 10 cm úsecích (celkem 21209), prostorově se lokalizují ve středu každého úseku, ukládají se do listu *Analyzy* a zároveň se vytváří textový soubor pro vstup analýz do programu *Voxler*.



Obr. 3: Lokalizované údaje obsahu Al_2O_3 v prostředí Voxler.

Tabulka Analyzy je zdrojem údajů pro další zpracování: pro výběr dat pro tvorbu horizontálních a vertikálních řezů, pro statistické analýzy, vizualizaci ve 2D a 3D aj. Jako příklad jsou na obr. 3 zobrazeny lokalizované údaje obsahu Al_2O_3 v prostředí Voxler.

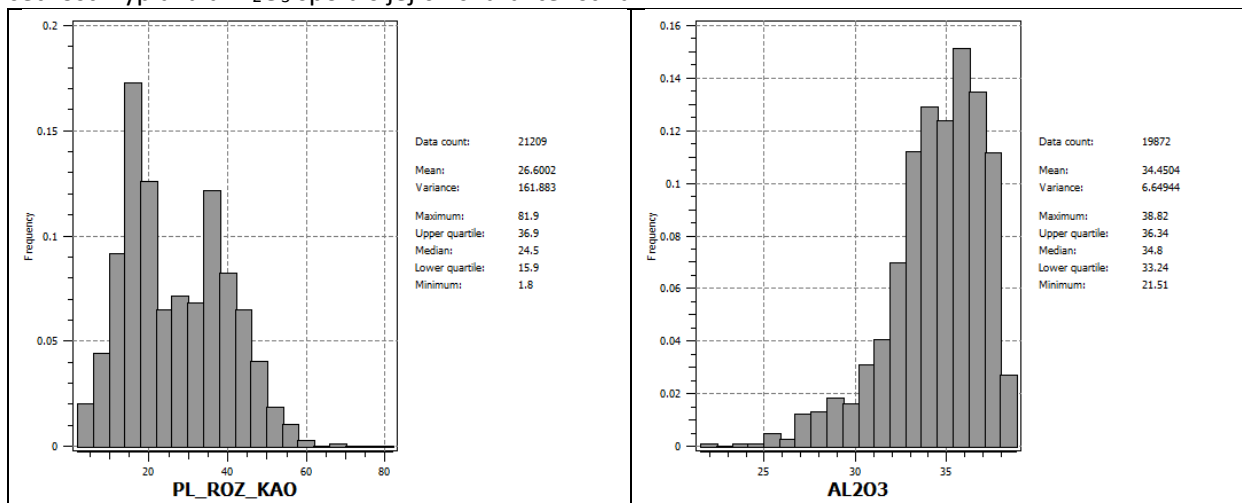
Makro GSLIB_vystup [2] provádí převod potřebných údajů do formátu GSLIB [1] z tabulky Analyzy pro zpracování v programu SGeMS. Po jeho načtení do prostředí SGeMS lze tyto údaje vizualizovat (obr. 4), provádět základní statistické rozborů (viz část 3.4) a případně provádět i jiná zpracování.



Obr. 4: Ukázka vizualizace dat převedených do prostředí SGeMS - údaje obsahu výplavu.

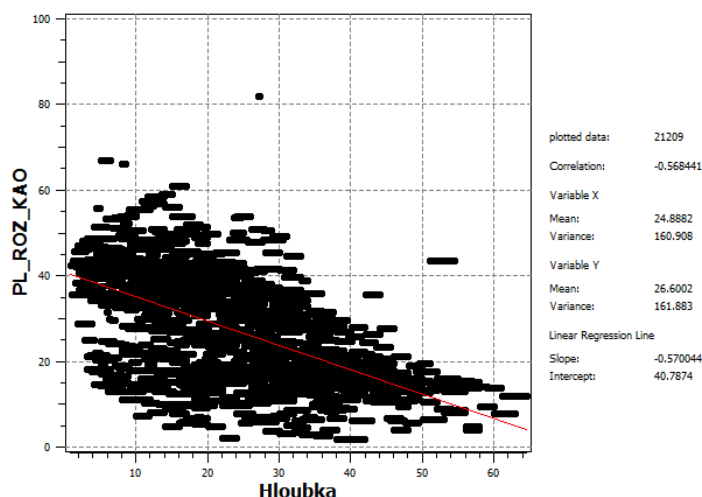
3.4. Základní statistické zpracování obsahů výplavu, Al_2O_3 , Fe_2O_3 a TiO_2

Základní statistické zpracování je prováděno v prostředí SGeMS (viz část 3.3). Na obr. 5 jsou histogramy četností výplavu a Al_2O_3 spolu s jejich charakteristikami.



Obr. 5: Ukázka statistického zpracování v prostředí SGeMS - histogramy četností parametrů výplavů a Al_2O_3 (%) a jejich základní statistické charakteristiky.

V další části je prováděna regrese analýza závislosti jednotlivých technologických parametrů na hloubce. Nejtěsnější lineární závislost na hloubce vykazuje výplav s koeficientem korelace -0.568441 (obr. 6). Další ukázky statistického zpracování jsou uvedeny v [2].

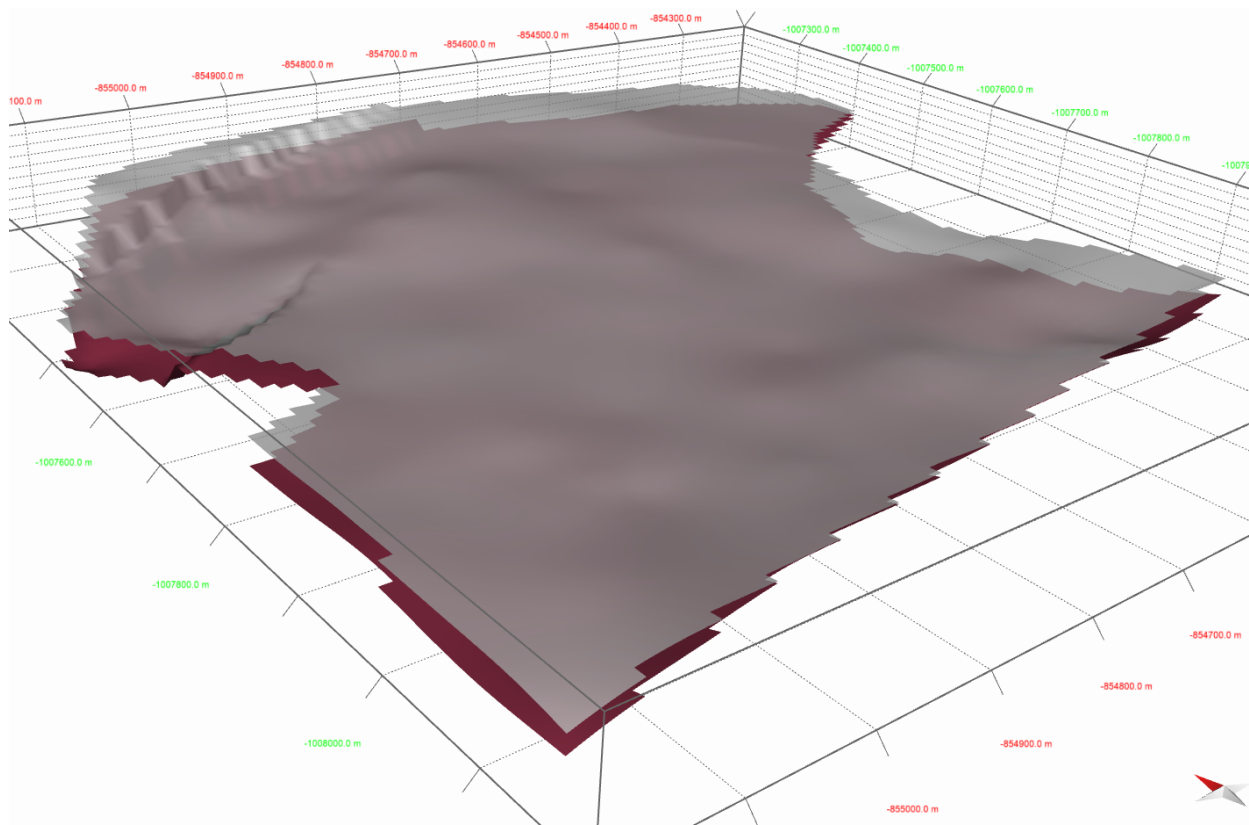


Obr. 5: Ukázka statistického zpracování v prostředí SGeMS – lineární závislost výplavu na hloubce a základní statistické charakteristiky.

3.5. Modelování báze a stropu výskytu kaolinu a celkové litologie ložiska

Tvorba modelu ložiska kaolinu Jimlíkov – východ vycházela z poznatků pracovního balíčku WP3, studia archivních zpráv [4-10] včetně odkryté geologické mapy s vrstevnicovým plánem v měřítku M 1 : 5 000 a dat poskytnutých firmou Sedlecký kaolin a.s.

Výsledkem zpracování těchto informací bylo vytvoření 2D gridů osmi geologických vrstev od krystalického podloží až po povrch (podrobně je tento proces popsán v [2]). Na jejich základě byly vytvořeny gridy báze a stropu výskytu kaolinu (obr. 6), kterými je omezen 3D model ložiska. V průběhu těžby je nezbytné pravidelně aktualizovat grid stropu výskytu kaolinu.



Obr. 6: Zobrazení báze a stropu výskytu kaolinu v MOVE.

3.6. Zobrazení vstupních dat ložiska kaolinu ve 3D v prostředí Voxler, vytvoření 3D gridů obsahů technologických parametrů a export 2D gridů v jednotlivých horizontech ve formátu Surfer (program Kaolin_A).

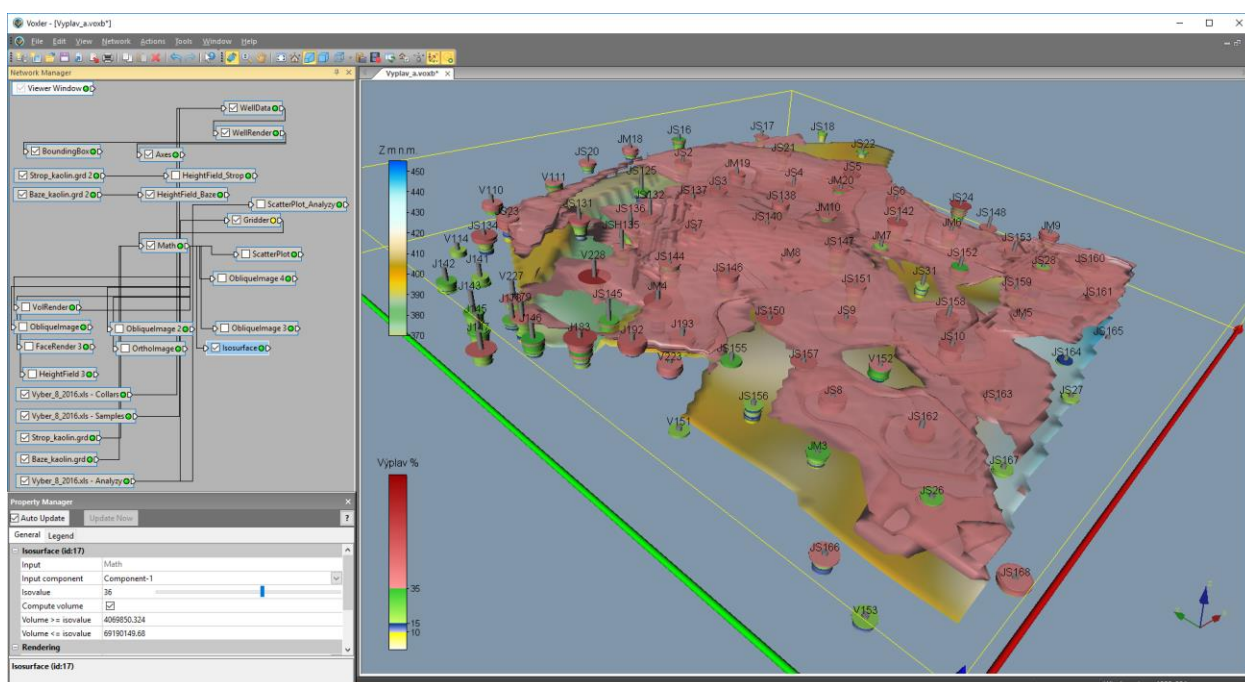
Aktualizovaná vstupní data (viz 3.2 až 3.5) se dále zpracovávají programem *Kaolin_A* [2]. Před jeho spuštěním se vytvoří pracovní adresář, kde se umístí spustitelný tvar programu (*Kaolin_A.exe*) a inicializační soubor (*Kaolin_A_init.dat* – [2]). Pro různé varianty modelování se může vytvořit více pracovních adresářů a také více inicializačních souborů. Program doplňuje aktualizované vstupní údaje do tzv. mustrů obsahů výplavu, Al_2O_3 , Fe_2O_3 , TiO_2 a $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{TiO}_2$ [2] (souborů ve formátu *voxb* *Voxleru*) a tím také provede aktualizované zobrazení jednotlivých technologických parametrů ve 3D prostředí *Voxler* do souborů *Vyplav_a.voxb*, *Al2O3_a.voxb*, *Fe2O3_a.voxb*, *TiO2_a.voxb* a *FeTi_a.voxb* – dále aktualizované soubory *voxb*.

U souborů *Vyplav_a.voxb*, *Al2O3_a.voxb*, *Fe2O3_a.voxb*, *TiO2_a.voxb* proběhne 3D gridování (ve zprávě s hustotou $10*10*1$ m) podle parametrů anizotropie, parametrů geometrie gridu a parametrů výběru

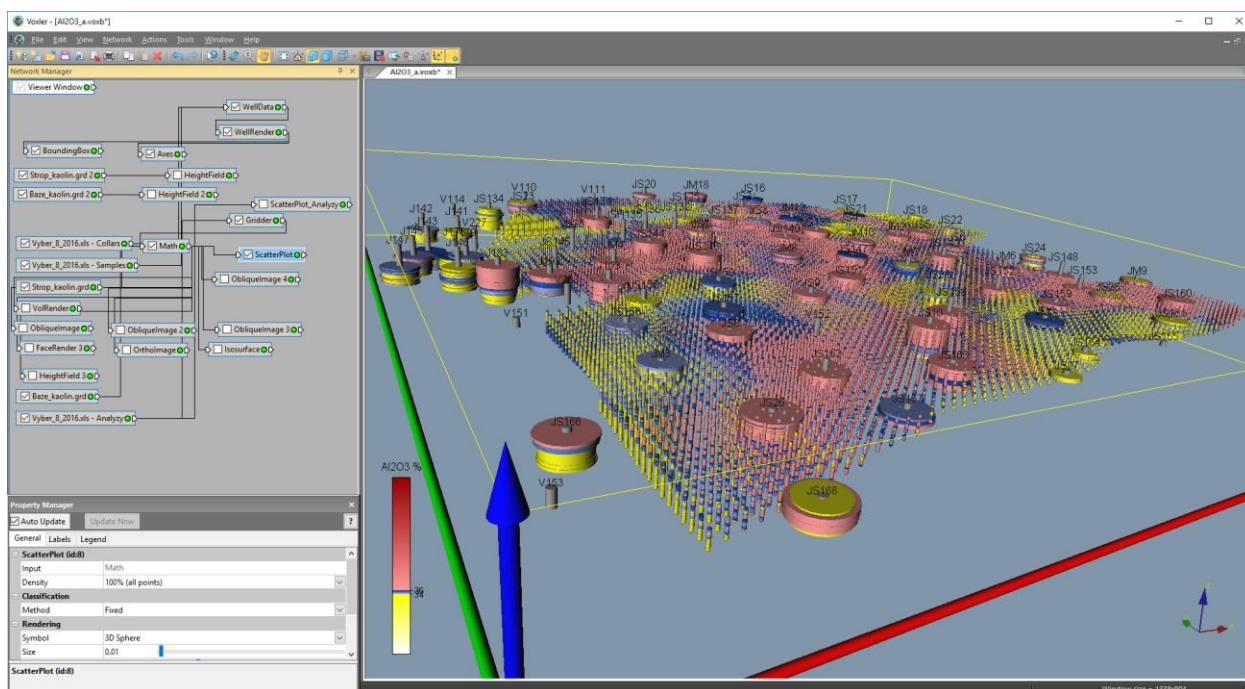
vzorků pro interpolaci zadaných v inicializačním souboru. Tyto parametry lze měnit a vytvářet tak varianty modelů ložiska.

Protože ve sledovaných technologických parametrech vzhledem ke způsobu vzniku suroviny nelze hledat obecné zákonitosti prostorové distribuce, byla pro interpolaci (i s ohledem na vlastnosti procesu kaolinizace a hustotu vzorkování) zvolena interpolační metoda inverzních vzdáleností s výraznou délkou os X a Y (ve zprávě 200 m) a minimální Z (ve zprávě 2 m) elipsoidu anizotropie a výběru vzorků.

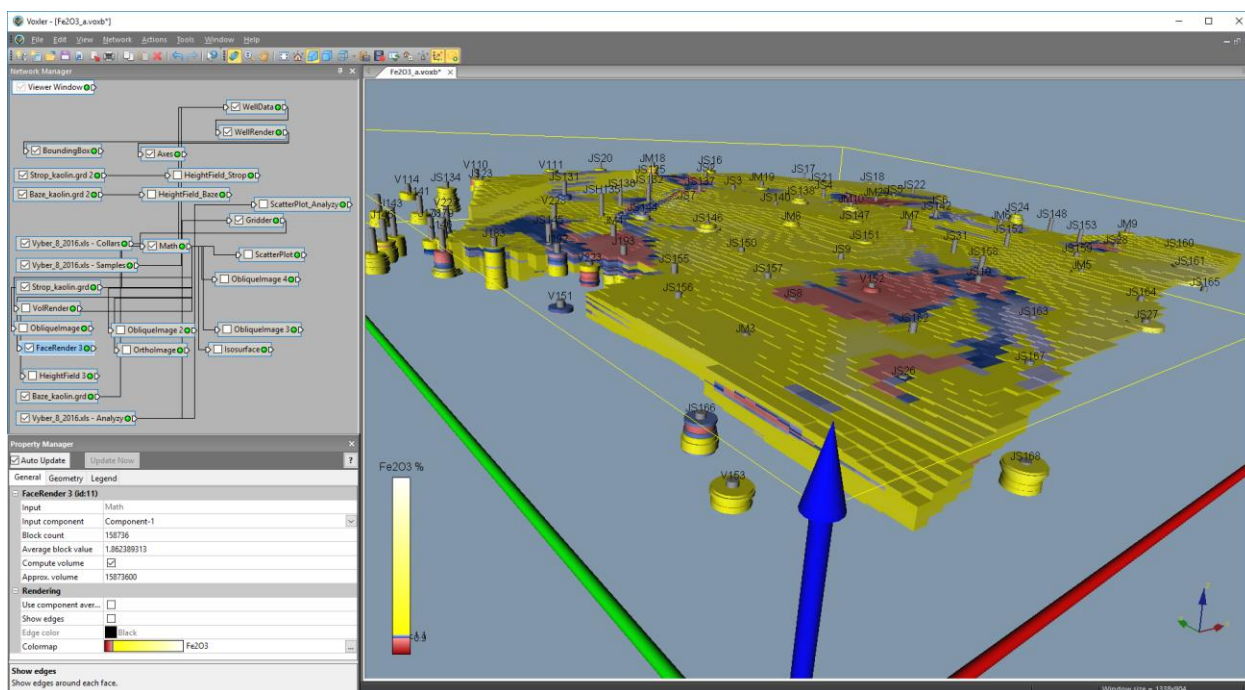
Na obr. 7 až 11 je několik ukávek 3D vizualizace sledovaných technologických parametrů – výstupů programu *Kaolin_A* v prostředí *Voxler*.



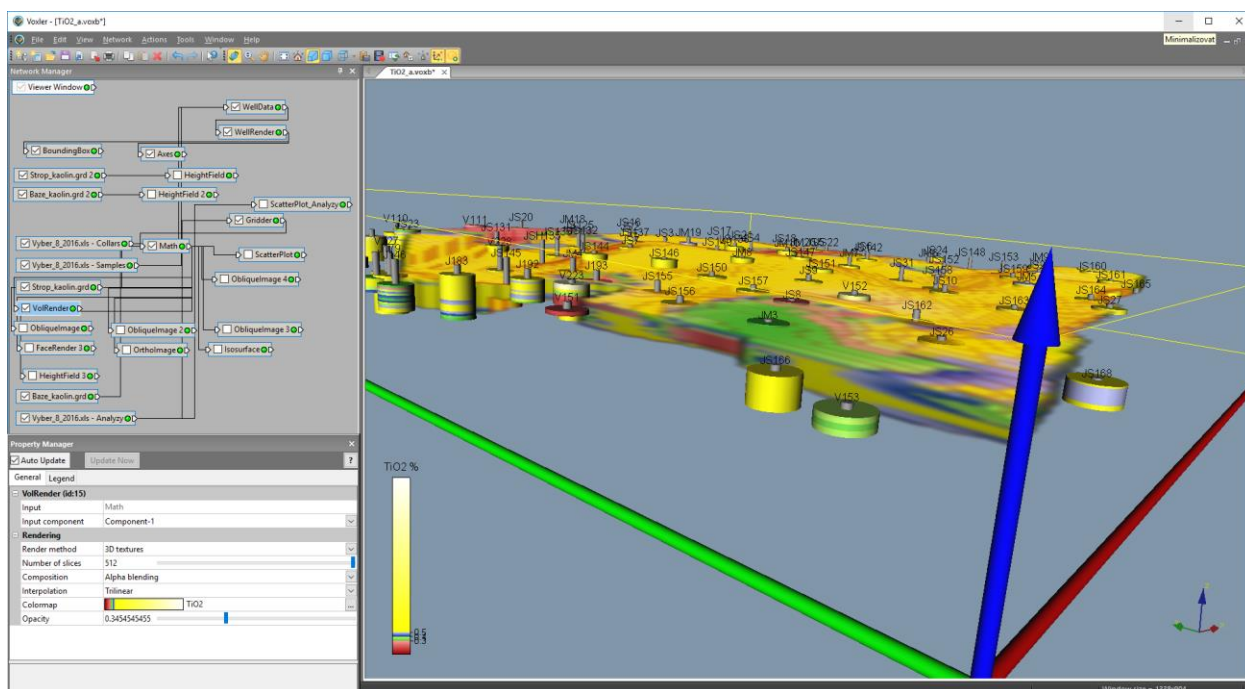
Obr. 7: 3D vizualizace výplavu – obálka tělesa s minimálním obsahem 36 % a báze výskytu kaolinu.



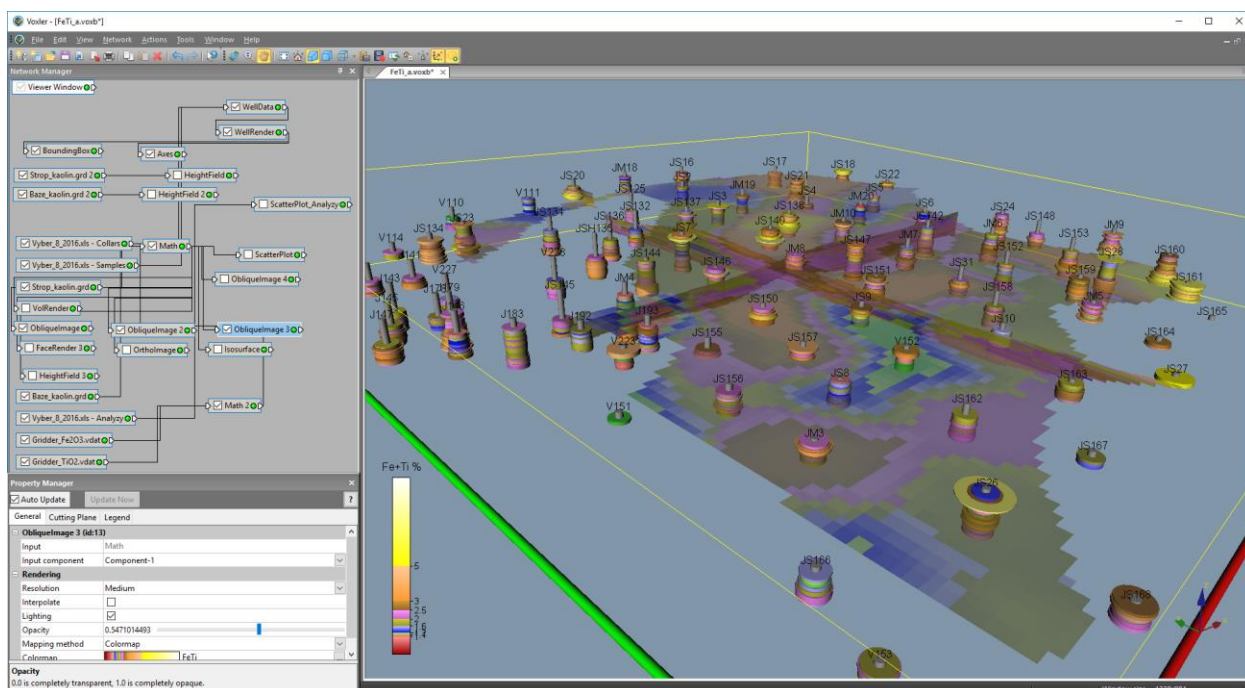
Obr. 8: 3D vizualizace obsahu Al_2O_3 – zobrazení 3D gridu pomocí ScatterPlot.



Obr. 9: 3D vizualizace obsahu Fe_2O_3 – zobrazení 3D gridu pomocí FaceRender.



Obr. 10: 3D vizualizace obsahu TiO_2 – zobrazení 3D gridu pomocí VolRender.



Obr. 11: 3D vizualizace součtu obsahů $Fe_2O_3 + TiO_2$ - zobrazení 3D gridu pomocí žezů XY, YZ, XZ (ObliqueImage).

*3.7. Kategorizace bloků zásob na základě gridů technologických parametrů exportovaných programem *Kaolin_A* a zadaných parametrů kategorií zásob ve 2D, jejich převedení do 3D gridu a odhad zásob (program *Kaolin_Viz*)*

Program *Kaolin_A* vytvořil jako výstupy mj. 2D gridy ve formátu *grd* (*Surfer*) jednotlivých horizontálních vrstev všech technologických parametrů [2], které jsou následně zpracovány programem *Kaolin_Viz* (popis programu je v [2]). Před jeho spuštěním se vytvoří pracovní adresář, kde se umístí spustitelný tvar programu (*Kaolin_Viz.exe*) a inicializační soubor [2]. Pro různé varianty modelování se může vytvořit více pracovních adresářů a také více inicializačních souborů.

Programu *Kaolin_Viz* obsahuje čtyři moduly:

1. Kategorizace bloků zásob na základě gridů výplavu, Al_2O_3 , Fe_2O_3 , TiO_2 a $Fe_2O_3+TiO_2$ exportovaných programem *Kaolin_A* a zadaných parametrů kategorií zásob ve 2D a jejich převedení do 3D gridu (tlačítko „Kategorizace bloků - výpočet gridů 2D, převod do 3D“). Činnost modulu 1 je podrobně popsána v [2].
2. Vizualizace horizontálních řezů ve 2D v prostředí *Surfer* (tlačítko „Vykreslení horizontálních řezů zadaných vrstev“) – část 3.8.
3. Vizualizace sítě vertikálních řezů ve 2D v prostředí *Surfer* (tlačítko „Vykreslení zadaných vertikálních řezů XZ a YZ“) – část 3.9.
4. Vizualizace kategorií bloků zásob ve 3D v prostředí *Voxler* (tlačítko „Vykreslení kategorií bloků ve 3D“). Činnost modulu 4 je podrobně popsána v [2].

*3.8. Vizualizace horizontálních řezů ve 2D v prostředí *Surfer* (program *Kaolin_Viz*)*

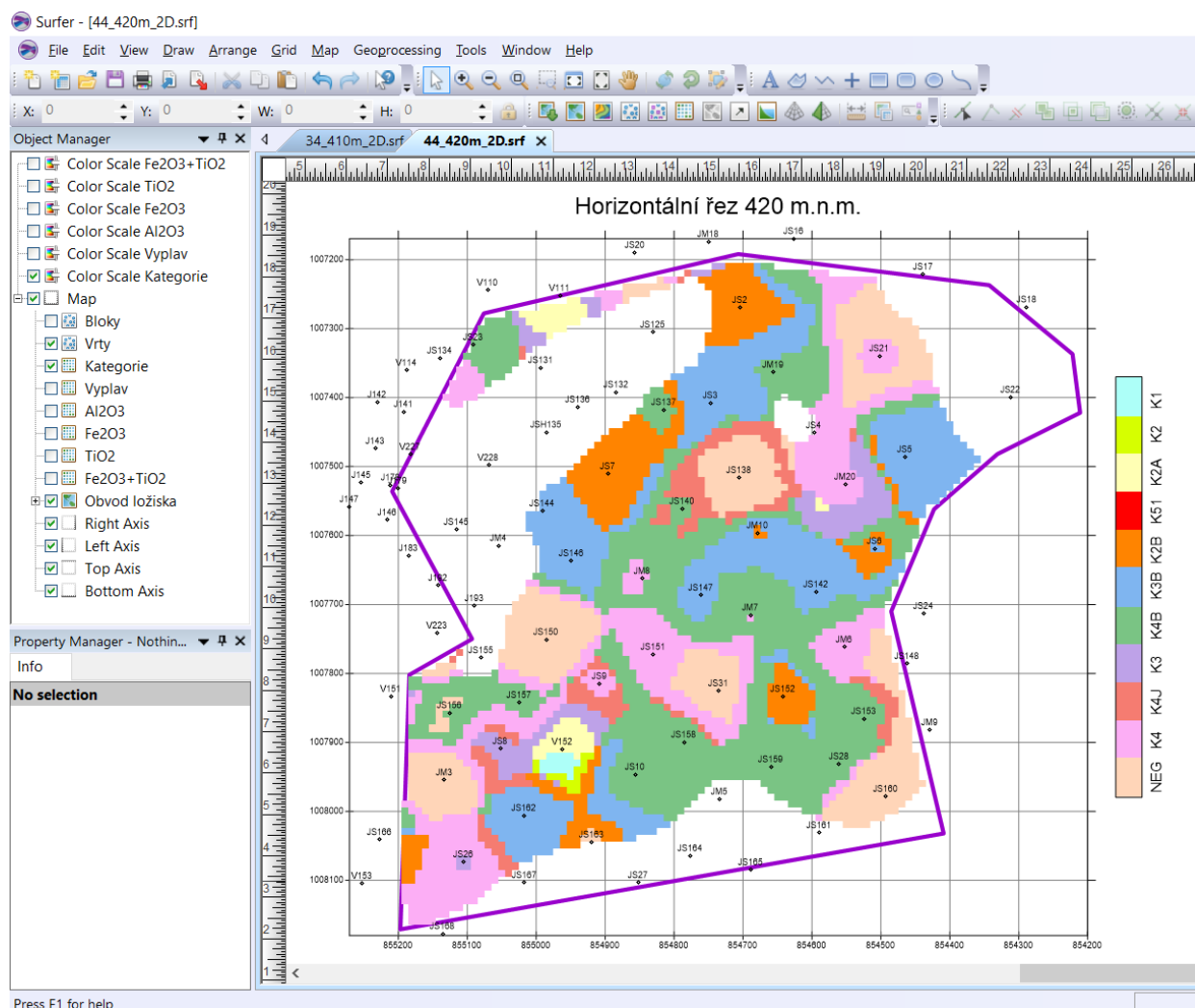
Po spuštění 2. modulu programu *Kaolin_Viz* se provádí postupná tvorba a zobrazení srf souborů horizontálních řezů ve 2D v prostředí *Surfer* (postupně generuje soubory *XXX_ZZZm_2D.srf* pro jednotlivé vrstvy *XXX* s nadmořskou výškou *ZZZ*) pro zadané vrstvy a v měřítku zadaném v inicializačním souboru. Činnost modulu 2 programu *Kaolin_Viz* je podrobně popsána v [2].

Na obr. 12 je vizualizace jednoho z takto vygenerovaných horizontálních řezů v prostředí *Surferu*. Zapínáním, případně vypínáním objektů v levém okně lze zobrazit:

- Kategorie bloků zásob kaolinu řezu (objekt Kategorie)
- Obsahy Výplavu bloků řezu (objekt Vyplav)
- Obsahy Al_2O_3 bloků řezu (objekt Al_2O_3)
- Obsahy Fe_2O_3 bloků řezu (objekt Fe_2O_3)
- Obsahy TiO_2 bloků řezu (objekt TiO_2)
- Obsahy $Fe_2O_3+TiO_2$ bloků řezu (objekt $Fe_2O_3+TiO_2$)
- Color Scale kategorií bloků zásob kaolinu řezu (objekt Color Scale Kategorie)
- Color Scale Výplavu bloků řezu (objekt Color Scale Vyplav)
- Color Scale obsahu Al_2O_3 bloků řezu (objekt Color Scale Al_2O_3)
- Color Scale obsahu Fe_2O_3 bloků řezu (objekt Color Scale Fe_2O_3)
- Color Scale obsahu TiO_2 bloků řezu (objekt Color Scale TiO_2)
- Color Scale obsahu $Fe_2O_3+TiO_2$ bloků řezu (objekt Color Scale $Fe_2O_3+TiO_2$)
- Pozice a názvy vrtů v řezu (objekt Vrty)
- Hodnoty údajů o jednotlivých blocích zásob v řezu (objekt Bloky)

- Obvod ložiska – damarkaci (objekt Obvod ložiska)
- Jednotlivé osy souřadného systému (Objekty Right Axis, Left Axis, Top Axis, Bottom Axis)

Po nastavení měřítka objektu Map, případně po dalších formálních doplněních, lze takový řez přímo tisknout na vhodné výstupní zařízení.



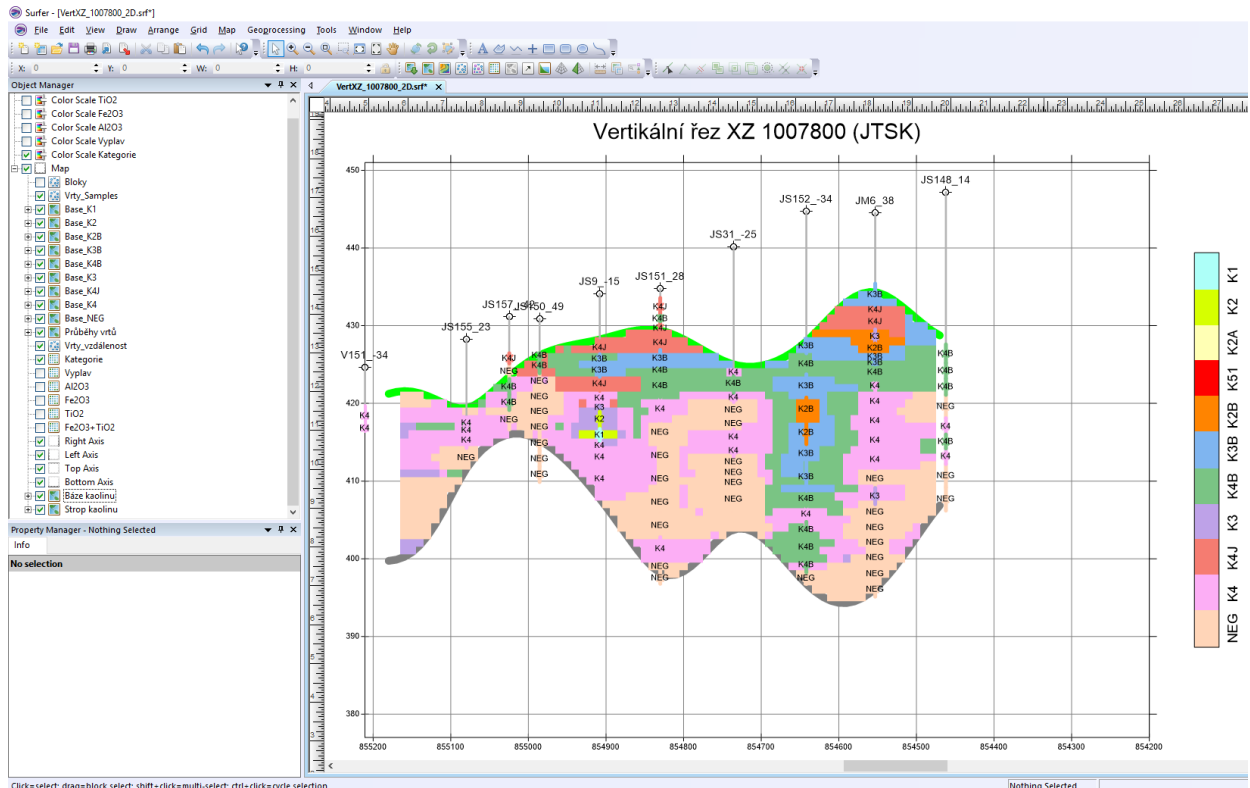
Obr. 12: Vizualizace horizontálního řezu 420 m.n.m. (soubor 44_420m_2D.srf) v prostředí Surferu.

3.9. Vizualizace sítě vertikálních řezů ve 2D v prostředí Surfer (program Kaolin_Viz)

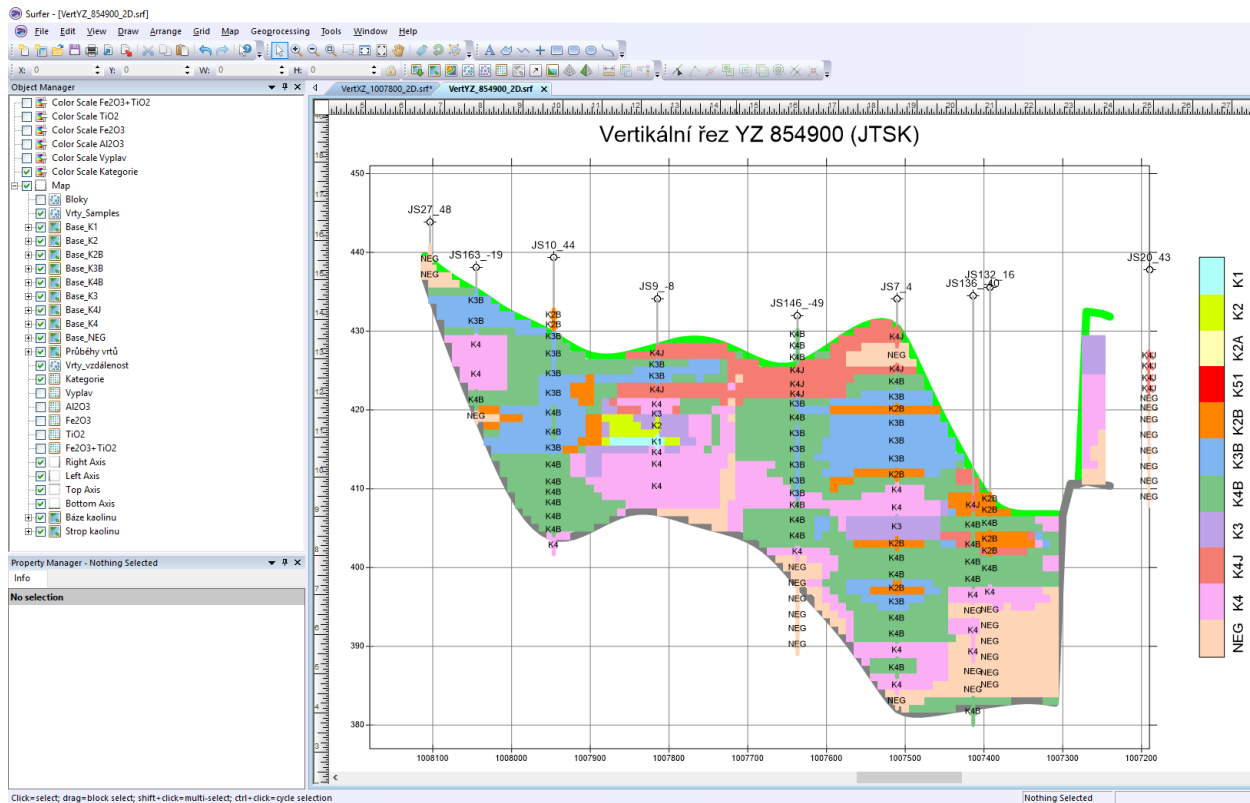
3. modul programu *Kaolin_Viz* realizuje vizualizaci sítě vertikálních řezů ve 2D v prostředí Surfer podle zadaných hodnot geometrie sítě vertikálních řezů. V první fázi se vytvoří data a gridy čísel kategorií a sledovaných technologických parametrů v zadaných vertikálních řezech a ve druhé fázi se tato data a gridy vykreslí v prostředí *Surfer* (podrobněji v [2]) - postupně se tvoří a zobrazují srf soubory vertikálních řezů ve 2D v prostředí *Surfer* (nejprve se postupně generují soubory VertXZ_YYY_2D.srf - YYY je souřadnice Y řezu v kartézské souřadné soustavě a následně se postupně generují soubory VertYZ_XXX_2D.srf - XXX je souřadnice X řezu v kartézské souřadné soustavě) podle zadání a v měřítku zadaném v inicializačním souboru. Činnost modulu 3 programu *Kaolin_Viz* je podrobně popsána v [2].

Na obr. 13 je vizualizace jednoho z takto vygenerovaných vertikálních řezů XZ v prostředí *Surferu*. Na obr. 14 je vizualizace jednoho takto vygenerovaných vertikálních řezů YZ v prostředí *Surferu*. Zapínáním, případně vypínáním objektů v levém okně lze zobrazit:

- Kategorie bloků zásob kaolinu řezu (objekt Kategorie)
- Obsahy Výplavu bloků řezu (objekt Vyplav)
- Obsahy Al_2O_3 bloků řezu (objekt Al_2O_3)
- Obsahy Fe_2O_3 bloků řezu (objekt Fe_2O_3)
- Obsahy TiO_2 bloků řezu (objekt TiO_2)
- Obsahy $\text{Fe}_2\text{O}_3+\text{TiO}_2$ bloků řezu (objekt $\text{Fe}_2\text{O}_3+\text{TiO}_2$)
- Color Scale Kategorií bloků zásob kaolinu řezu (objekt Color Scale Kategorie)
- Color Scale Výplavu bloků řezu (objekt Color Scale Vyplav)
- Color Scale obsahu Al_2O_3 bloků řezu (objekt Color Scale Al_2O_3)
- Color Scale obsahu Fe_2O_3 bloků řezu (objekt Color Scale Fe_2O_3)
- Color Scale obsahu TiO_2 bloků řezu (objekt Color Scale TiO_2)
- Color Scale obsahu $\text{Fe}_2\text{O}_3+ \text{TiO}_2$ bloků řezu (objekt Color Scale $\text{Fe}_2\text{O}_3+\text{TiO}_2$)
- Pozice, názvy a vzdálenost od řezu vrtů vybraných do řezu (u XZ je kladná pro vrty nad řezem a záporná pro vrty pod řezem, u YZ je kladná pro vrty vpravo od řezu a záporná pro vrty vlevo od řezu) (objekt Vrtý_vzdálenost)
- Hodnoty údajů o jednotlivých blocích zásob (objekt Bloky)
- Hodnoty údajů o jednotlivých vzorcích ve vrtu (objekt Vrtý_Samples)
- Průběhy vrtů vybraných do řezu (objekt Průběhy vrtů)
- Úseky vrtů se vzorky kategorie K1 vrtů vybraných do řezu (objekt Base_K1)
- Úseky vrtů se vzorky kategorie K2 vrtů vybraných do řezu (objekt Base_K2)
- Úseky vrtů se vzorky kategorie K2A vrtů vybraných do řezu (objekt Base_K2A)
- Úseky vrtů se vzorky kategorie K51 vrtů vybraných do řezu (objekt Base_K51)
- Úseky vrtů se vzorky kategorie K2B vrtů vybraných do řezu (objekt Base_K2B)
- Úseky vrtů se vzorky kategorie K3B vrtů vybraných do řezu (objekt Base_K3B)
- Úseky vrtů se vzorky kategorie K4B vrtů vybraných do řezu (objekt Base_K4B)
- Úseky vrtů se vzorky kategorie K3 vrtů vybraných do řezu (objekt Base_K3)
- Úseky vrtů se vzorky kategorie K4J vrtů vybraných do řezu (objekt Base_K4J)
- Úseky vrtů se vzorky kategorie K4 vrtů vybraných do řezu (objekt Base_K4)
- Úseky vrtů se vzorky kategorie NEG vrtů vybraných do řezu (objekt Base_NEG)
- Průběh báze výskytu kaolinu v řezu (objekt Báze kaolinu)
- Průběh stropu výskytu kaolinu v řezu (objekt Strop kaolinu)
- Jednotlivé osy souřadného systému (Objekty Right Axis, Left Axis, Top Axis, Bottom Axis)



Obr. 13: Vizualizace vertikálního řezu XZ 1007800 (JTSK) (soubor VertXZ_1007800_2D.srf) v prostředí Surferu.



Obr. 14: Vizualizace vertikálního řezu YZ 854900 (JTSK) (soubor VertYZ_854900_2D.srf) v prostředí Surferu.

4. Věrohodnost výsledného modelu

Vzhledem k celkově heterogennímu pokrytí území 3D modelem vstupními daty variabilní kvality, je nutno na výsledný model nahlížet jako na kvalifikovaný odhad průběhu a tvaru přítomných geologických těles. Omezujícím faktorem v procesu modelování je malá hustota a nerovnoměrnost průzkumných děl. Proto logicky věrohodnost výsledků modelování klesá se zvyšující se vzdáleností od prostorového umístění analýz.

Přesnější prostorový průběh modelovaných těles, jejich hloubkový dosah a tvar by bylo nutno před započítáním podrobnějších projektovaných prací a/nebo podrobnějších studií ověřit pomocí technických prací. Pro spolehlivý odhad hodnot 3D modelu geologického tělesa by mělo být těleso pravidelně a přitom hustě ovzorkováno.

5. Technické parametry výsledku

Výsledek představuje detailní 3D ložiskově geologický model ložiska kaolinu Jimlíkov - východ o rozměrech 1020 x 1010 x 76 m. Model je doprovázen vysvětlujícím textem ve formě technické zprávy v českém jazyce. Vytvořený výstup vznikl v rámci řešení projektu TA ČR TE02000029 - Centrum kompetence efektivní a ekologické těžby nerostných surovin (CEEMIR), jehož hlavním cílem je revize zásob vybraných surovin. Pomocí tohoto modelu a vyvinuté metodiky [2] je možné vytvářet variantní modely ložiska tohoto a podobných typů. Doplněním nových údajů lze provést rychlé aktualizace modelu a provést přepočty zásob. 3D model je dostupný zde: <https://www.hgf.vsb.cz/511/cs/Projekty/CEEMIR/Vystupy/>.

6. Ekonomické parametry výsledku

Model slouží jako základ pro následný výpočet zásob kaolinu. Na základě vytvořeného 3D modelu ložiska lze rozhodnout o dalším postupu prací, který zefektivní těžební činnost. Přesný ekonomický přínos lze těžko vyčíslit, protože je závislý na aktuální ceně zpracovávané komodity. Ekonomický přínos výsledku spočívá také v možnosti provést konstrukci modelu a následný výpočet zásob i bez možnosti pořízení nových dat. Ekonomické srovnání lze provést pouze vůči jiným dnes komerčně používaným postupům výpočtu zásob. Tyto postupy využívají drahý software, který vyžaduje výkonný hardware a mnoho nových vstupních údajů. Pořízení nových dat podstatně navyšuje náklady na desítky až stovky miliónů korun. Bez dodání těchto dat v dostatečném množství tyto softwary nejsou schopny výpočet zásob provést.

7. Závěr

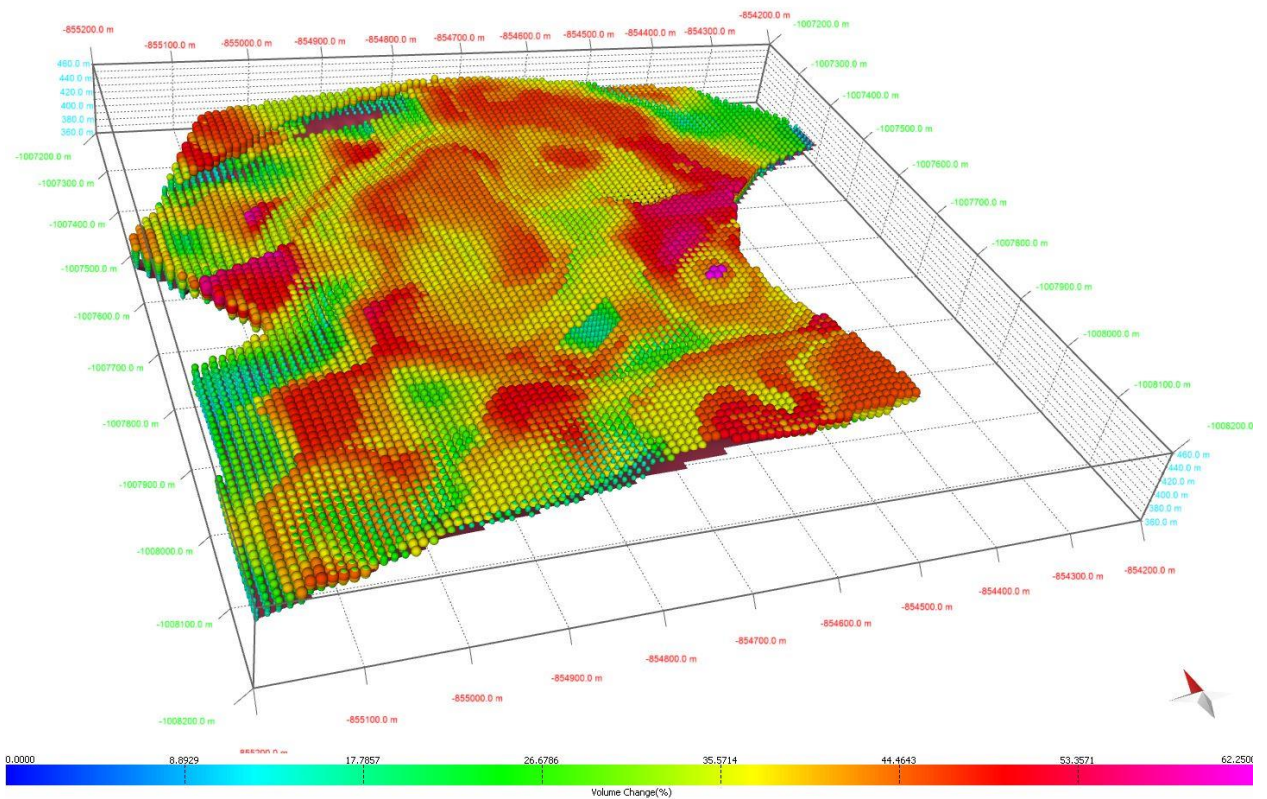
3D ložiskově geologický model ložiska kaolinu Jimlíkov - východ je unikátní v tom, že specifikuje jednotlivé kroky tvorby modelu od pořízení potřebných vstupních údajů z archivní dokumentace, přes uplatnění moderních algoritmů tvorby variantních 3D modelů ložiska až po vizualizaci modelu. Pomocí speciálně vytvořeného programového vybavení je zajištěna kontrola vstupních dat, kompatibilita použitých programů (*MS Excel, Surfer, Voxler, SGeMS, MOVE*) a je také realizováno automatické generování výstupů – různých typů vizualizace ložiska ve 2D a ve 3D.

Použitá metodika spolu s nově vyvinutým programovým vybavením umožňuje vytvářet variantní modely ložiska tohoto a obdobných typů, umožňuje také rychlé aktualizace těchto modelů při doplnění nebo změně vstupních dat (případně i parametrů modelování - například použití více variant parametrů gridování). Uplatnění popsaných metodických postupů [2] vede ke komplexnímu zhodnocení ložiska včetně variantních odhadů zásob podle zadaných podmínek využitelnosti.

Podrobný popis algoritmů používaných od přípravy dat až po vlastní variantní výpočet zásob je dostupný na webové stránce <https://www.hgf.vsb.cz/511/cs/Projekty/CEEMIR/Vystupy/> v rámci certifikované metodiky.

Literatura

- [1] Deutsch, C., V., Journel, A., G.: GSLIB – Geostatistical Software Library and User's Guide. Second Edition. New York, Oxford University Press, Oxford, 1998, 369 s.
- [2] Grygar, R., Staněk, F., Jelínek, J., Jarošová, M.: ZPRÁVA O SPLNĚNÍ MILNÍKU WP4/3, část 1. MS, CEEMIR VŠB-TU Ostrava, 2017, 117 s.
- [3] REMY, N., BOUCHER, A., WU, J.: Applied geostatistics with SGeMS: a user's guide. New York: Cambridge University Press, 2009, xix, 264 p.
- [4] Tvrđý J., Bartošová J., Burdová A. (2014): Závěrečná zpráva geologického úkolu Jimlískov-východ (přehodnocení ložiska keramického kaolinu a cihlářské suroviny Jimlískov-sever v dobývacím prostoru Jimlískov II) – č. ú. GET 13/157
- [5] Závěrečná zpráva Božičany (JADRNIČEK et al., 1960). Archiv Geofondu.
- [6] Závěrečná zpráva Jimlískov, (KŘELINA et al., 1969). Archiv Geofondu.
- [7] Závěrečná zpráva Božičansko sever, (SKOPOVÝ et al., 1976). Archiv Geofondu.
- [8] Závěrečná zpráva Jimlískov II, (HRZINA et al., 1985). Archiv Geofondu.
- [9] Závěrečná zpráva Jimlískov-sever, (TVRDÝ et al., 1986). Archiv Geofondu.
- [10] Závěrečná zpráva Jimlískov-sever II, (NEUMANN et al., 1992). Archiv Geofondu.



x