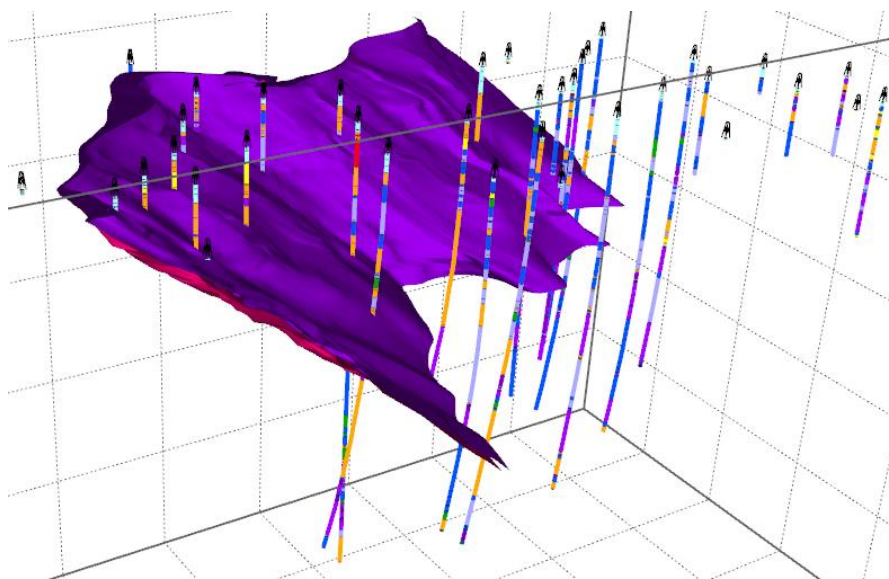


3D ložiskově geologický model ložiska grafitu Český Krumlov – Městský vrch

Technická zpráva



**Jan Jelínek, František Staněk, Radomír Grygar, Jan Franěk,
Jana Staňková**

**Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava
Česká geologická služba**

Praha, září 2019

3D ložiskově geologický model ložiska grafitu Český Krumlov – Městský vrch

Technická zpráva

Září 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, Jan Franěk¹, Jana Staňková²

Horní indexy u jmen autorů odkazují na výčet institucí výše.

Obsah

1. Úvod	4
2. Geologický popis ložiska grafitu Český Krumlov – Městský vrch.....	5
3. Metodické postupy tvorby 3D modelu ložiska grafitu Český Krumlov – Městský vrch.....	11
3.1. Revize všech dostupných archivních materiálů, verifikace a korekce vstupních dat	11
3.2. Výpočet a vizualizace prostorové lokalizace vstupních dat	13
3.3. Konstrukce 3D strukturního modelu	13
3.4. Výpočet topologie 3D gridu tělesa grafitu podle 3D strukturního modelu.....	15
3.5. Základní statistické zpracování obsahů grafitického uhlíku Cgraf, CO ₂ a síry.....	16
3.6. Zobrazení vstupních dat ložiska grafitu ve 3D v prostředí Voxler, stanovení elipsoidů anizotropie a výběru dat, vytvoření 3D gridů obsahů technologických parametrů a export 2D gridů v jednotlivých horizontech ve formátu Surfer	17
3.7. Odhad zásob na základě 2D gridů technologických parametrů a jejich převedení do 3D gridu	18
3.8. Vizualizace horizontálních řezů ve 2D v prostředí Surfer (program Grafit_Teleso).....	18
3.9. Vizualizace sítě vertikálních řezů ve 2D v prostředí Surfer (program Grafit_Teleso)	20
3.10. Vizualizace obsahů technologických parametrů ve 3D.....	23
4. Věrohodnost výsledného modelu	27
5. Technické parametry výsledku	28
6. Ekonomické parametry výsledku	29
7. Závěr	30
Literatura.....	31

Seznam obrázků

Obr. 1: Strukturní mapa širšího regionu s vyobrazením trendů planárních a lineárních duktilních struktur.	6
Obr. 2: Archivní povrchová geologická mapa z ložiska Městský Vrch s vyobrazením rozsahu 3D geologického modelu (modrý polygon). Grafitové polohy zvýrazněny fialově.	8
Obr. 3: Geologická mapa 1 : 50.000 českokrumlovské pestré skupiny v širším okolí ložiska Městský Vrch, s vyobrazením rozsahu 3D geologického modelu (modrý polygon). Grafitové polohy ložiska Městský Vrch zvýrazněny fialově.	9
Obr. 4: Póly ploch 329 archivních měření foliací (body) a 14 lineací (hvězdy) ze zájmového území ložiska Městský vrch, projekce na spodní polokouli.	9
Obr. 5: Póly ploch 54 archivních měření zlomů ze zájmového území ložiska Městský vrch, projekce na spodní polokouli.	9
Obr. 6: Zobrazení průzkumných děl se zobrazením grafitu (fialová barva) ve vrtech a zásekových vzorcích v prostředí MOVE.	12
Obr. 7: Lokalizované údaje obsahu Cgraf v prostředí Voxler (včetně zobrazení štolového patra a povrchu).	13
Obr. 8: 3D náhled na prostorově usazené naskenované archivní geologické řezy, průběhy vrtů, pozice důlních děl a průběh grafitové polohy na povrchu (fialový nepravidelný polygon).	14
Obr. 9: Finální čtvrtá verze modelu grafitové polohy zobrazené s profily vrtů.	15
Obr. 10: Zobrazení topologie tělesa grafitu v prostředí Voxler.	16
Obr. 11: Vizualizace obsahu Cgraf tělesa grafitu v prostředí SGeMS.	16
Obr. 12: Ukázka statistického zpracování v prostředí SGeMS - histogramy četností parametrů Cgraf, CO ₂ a S (%) a jejich základní statistické charakteristiky.	17
Obr. 13: Zobrazení vstupních dat tělesa grafitu v prostředí Voxler.	18
Obr. 14: Vizualizace horizontálního řezu 427 m.n.m., varianta 1 v prostředí Surferu.	19
Obr. 15: Vizualizace horizontálního řezu 427 m.n.m., varianta 2 v prostředí Surferu.	19
Obr. 16: Vizualizace vertikálního řezu XZ 1181500 (JTSK), varianta 1 v prostředí Surferu.	21
Obr. 17: Vizualizace vertikálního řezu XZ 1181500 (JTSK), varianta 2 v prostředí Surferu.	21
Obr. 18: Vizualizace vertikálního řezu YZ 770400 (JTSK), varianta 1 v prostředí Surferu.	22
Obr. 19: Vizualizace vertikálního řezu YZ 770400 (JTSK), varianta 2 v prostředí Surferu.	22
Obr. 20: Vizualizace Cgraf ze souboru Teleso_3D_grid_hodnoty.dat (ScatterPlot), varianta 1.	23
Obr. 21: Vizualizace CO ₂ ze souboru Teleso_3D_grid_hodnoty.dat (ScatterPlot), varianta 1.	23
Obr. 22: Vizualizace S ze souboru Teleso_3D_grid_hodnoty.dat (ScatterPlot), varianta 1.	24
Obr. 23: Vizualizace Cgraf ze souboru Teleso_3D_grid_hodnoty.dat (ScatterPlot), varianta 2.	24
Obr. 24: Vizualizace CO ₂ ze souboru Teleso_3D_grid_hodnoty.dat (ScatterPlot), varianta 2.	25
Obr. 25: Vizualizace S ze souboru Teleso_3D_grid_hodnoty.dat (ScatterPlot), varianta 2.	25
Obr. 26: Vizualizace koncentrace C v prostoru modelované polohy ložiska grafitu.	26

Seznam elektronických příloh:

Příloha 1: 3D model lokality ve formátu 3D PDF, projekt v MOVE s MoveViewer pro prohlížení projektu a obrázek ve formátu JPG zobrazující 3D ložiskově geologický model ložiska grafitu Městský vrch.

Abstrakt

Tato technická zpráva shrnuje dosud známé geologické poznatky využité pro tvorbu detailního 3D ložiskově geologického modelu ložiska grafitu Český Krumlov – Městský vrch. 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 grafitu, kritické komodity EU, Český Krumlov – Městský vrch, Český masiv

Abstract

This technical report summarizes the geological knowledge used for construction of a detailed 3D geological model of graphite deposit Český Krumlov – Městský vrch. 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, graphite deposit, EU critical commodities, Český Krumlov – Městský vrch, Bohemian Massif

1. Úvod

3D ložiskově geologický model ložiska grafitu Český Krumlov – Městský vrch 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 80., 70. 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 Český Krumlov – Městský vrch, jsou všechny tyto softwary velmi drahé, a pro daná ložiska tedy potenciálně neekonomické.

2. Geologický popis ložiska grafitu Český Krumlov – Městský vrch

Ložisko grafitu Městský vrch se nachází v jižní části Českého masívu, v metamorfovaných horninách českokrumlovské pestré skupiny jihočeského moldanubika (obr. 1). V rámci této jednotky náleží do hořického grafitonosného pásma, resp. do severního ohybu jeho dílčí krumlovské grafitonosné struktury. Území budují pararuly, krystalické a erlanové vápence, erlany, amfibolity. Mladší intruzíva jsou zastoupena leukokrátními žilnými granity, aplity a méně hojnými pegmatity.

V regionálním kontextu se ložisko nachází v tektonicky velmi složité doméně složené od podloží do nadloží z následující sekvence varisky metamorfovaných a deformovaných litotektonických jednotek:

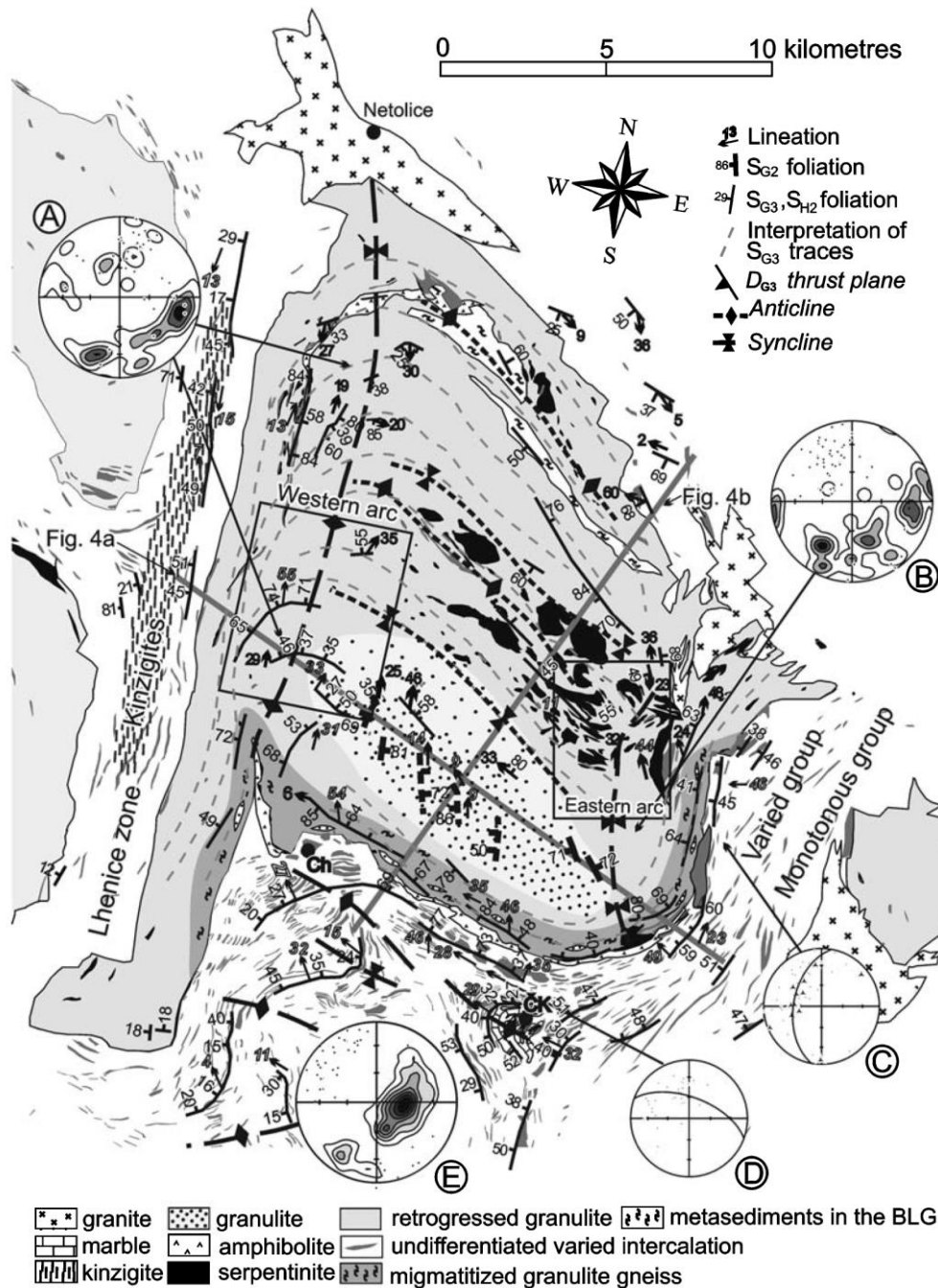
1. Kaplická jednotka, charakteristická monotónním vývojem Mu-Bt pararul s vložkami kvarcitů a vzácně amfibolitů.
2. Monotónní skupina složená z Bt pararul, často migmatitizovaných, s vložkami kvarcitů a amfibolitů.
3. Světlická eklogitová zóna, světlická ortorula a několik drobných těles ortoruly v okolí Rájova – představují exotické útržky pravděpodobně pocházející z jednotek v podloží moldanubických metasedimentů, které byly tektonicky vmístěny do monotónní skupiny při její hranici s nadložní pestrá skupinou českokrumlovskou. Eklogity vykazují maximální metamorfní P-T podmínky 20-25 kbar a 750 °C ([2], [9]). Ortoruly pak pocházejí z protolitu cca 2,1 Ga starého (souhrn např. [15]).
4. Českokrumlovská pestrá skupina je charakteristická velmi pestrým litologickým složením. V převládajících migmatitizovaných Bt a Bt-Sil pararulách je uloženo velké množství silně protažených čočkovitých těles amfibolitů, krystalických vápenců, erlanů, kvarcitů, ortorul a grafitických hornin. Vzhledem k litologické pestrosti se předpokládá spodnopaleozoické stáří protolitu, datace [7] indikují stáří kambro-ordovické, cca 500-550 Ma.
5. Granulitový masiv Blanského lesa, kde je zcela dominantní horninou Bt-Grt-Ky/Sill felzický granulit v různém stupni retrogrese, hydratace a parciálního tavení. Jeho protolitem byly velmi pravděpodobně kambro – ordovické granitoidy ([6]). Felzické granulity lokálně uzavírají budiny až drobná tělesa částečně serpentinizovaných peridotitů, plášťových eklogitů a intermediárních až mafických granulitů.

Tělesa všech těchto hornin jsou obvykle výrazně protažena paralelně s dominantní foliací.

Popsanou variskou sekvencí intruduje velké množství leukogranitů až aplitů, částečně deformovaných, které tvoří jak pravé tak ložní žíly o mocnostech od jednotek centimetrů do prvních desítek metrů.

Podrobné strukturní studie [3], [4] a [10] prokázaly v této oblasti sekvenci 5 duktilních deformačních fází, které se v různé míře projevily vrásněním různých měřítek, vznikem nové foliace a přetvořením jednotlivých horninových těles. Relikty dvou nejstarších fází (D1, D2) jsou zachované pouze v granulitech Blanského lesa, následující dvě fáze (D3, D4) pak postihují všechny výše popsané litotektonické celky. Poslední fáze (D5) se v zájmovém regionu projevuje jen velmi slabě.

Pro vývoj českokrumlovské pestré skupiny s grafitovými ložisky vč. Městského Vrchu měly tedy zásadní význam fáze D3 a D4, které obě proběhly v podmínkách střední orogenní kontinentální kůry (za tlaků odhadem 7 - 10 kbar, tedy v hloubkách cca 20-30 km a za podmínek parciálního tavení metasedimentů, tedy cca 700 – 750 °C). Dle geochronologických prací zaměřených zejména na tektonický vývoj sousedního granulitového masívu Blanského lesa k těmto fázím došlo v rozmezí cca 345-337 Ma (radiometrické datace viz např. [8], příp. souhrn v [4]).



Obr. 1: Strukturální mapa širšího regionu s vyobrazením trendů planárních a lineárních duktilních struktur. Stereografické projekce ukazují následující data: A - Konturový diagram foliace S_3 ze sz. části granulitového masívu Blanského lesa, $n = 51$, spolu s lineacemi vyneseny jako body, $n=35$; B - Foliace S_3 z východní části granulitu Blanského lesa, $n = 51$, s lineacemi, $n = 54$; C - Lineace (body) a striace (trojúhelníky) z východní hranice granulitu Blanského lesa, $n = 53$. Velký oblouk reprezentuje generalizovaný průběh foliace S_3 ; D - Lineace z jižní hranice granulitu Blanského lesa, $n = 33$. Velký oblouk reprezentuje generalizovaný průběh foliace S_3 ; E - Foliace S_3 z pestré skupiny jižně od granulitu Blanského lesa, $n = 114$, s odpovídajícími lineacemi, $n = 45$. Zjednodušená geologická mapa vychází z geologické mapy 1:50 000 České geologické služby. Zkrácené názvy měst: ČK - Český Krumlov, Ch - Chvalšiny.

Dle Fraňka et al. [4] došlo během fáze D3 k vmístění granulitového masívu do sekvence metasedimentů moldanubika a pravděpodobně také k definitivnímu umístění nadložní pestré a podložní monotónní skupiny. Intenzivní deformace vyústila ve velmi výraznou přestavbu hornin, nově vzniklá foliace obsahuje jen drobné zbytky starší stavby v podobě uzavřených až izoklinálních vrás různých měřítek. Závěr této fáze je pravděpodobně spojen s intruzemi leukogranitů generovaných v metasedimentech tepelným tokem z relativně teplejšího granulitu. V závěru této fáze také došlo ke zvrásnění granulitového tělesa Blanského lesa do podoby jedné asymetrické vrásky s vlnovou délkou cca 17 km a strmě k západu ukloněnými dvěma osními rovinami. Granulitový masív Blanského lesa byl během tohoto vrásnění reologicky kompetentnější čokovitě těleso s charakterem řídicí vrstvy, přičemž okolní částečně natavené a reologicky výrazně méně kompetentní metasedimentární jednotky se z velké části jen pasivně přizpůsobovaly amplifikaci této regionální vrásky (obr. 2). Do JZ zámku vrásky byla tímto procesem vtlačena pestrá skupina českokrumlovská v širším okolí ložiska Městský Vrch, která od hranice s podložní monotónní skupinou postupně amplifikovala do podoby několikakilometrové antiklinály. Hranice pestrá – monotónní skupina tedy představuje “detachment horizont” této dílčí antiklinály, ložisko Městský Vrch se nachází v severní části zámkové linie této antiklinály (obr. 3). Vzhledem k litologicky i reologicky velmi pestrému vývoji metasedimentů v širším okolí ložiska Městský Vrch zde nevznikla jednoduchá cylindrická antiklinála, ale geometricky složitější sub-cylindrický útvar s vývojem parazitických vrás menšího měřítka. Pravděpodobná přítomnost izoklinálních reliktních staveb v měřítku jednotek a stovek metrů a zároveň přítomnost četných budin podobných měřítek navíc v širším okolí ložiska zapříčinila vývoj nepravidelného a geometricky složitějšího průběhu jednotlivých horninových těles, pravděpodobně zčásti charakteru interferenčních vrásových vzorů (obr. 2, 3). Grafitické horniny v této fázi velmi pravděpodobně sloužily jako tektonické mazadlo při amplifikaci celé antiklinály, umožňovaly mezivrstevní prokluz mezi jednotlivými horninovými tělesy a pravděpodobně usnadňovaly vznik vrásových akomodačních struktur jako např. střížných zón lokalizovaných v deformaci nejvíce namáhaných zámcích dílčích vrás.

Následující fáze D4 v českokrumlovské pestré skupině způsobila částečné zploštění již vzniklé složité stavby. V oblasti ložiska však nevyústila ve výrazné přepracování proto, že se ložisko nalézalo v tlakovém stínu kompetentnějšího granulitového masívu a na rozdíl od vzdálenějších částí pestré skupiny tak bylo uchráněno penetrativního převrásnění.

Morfologie ložiska

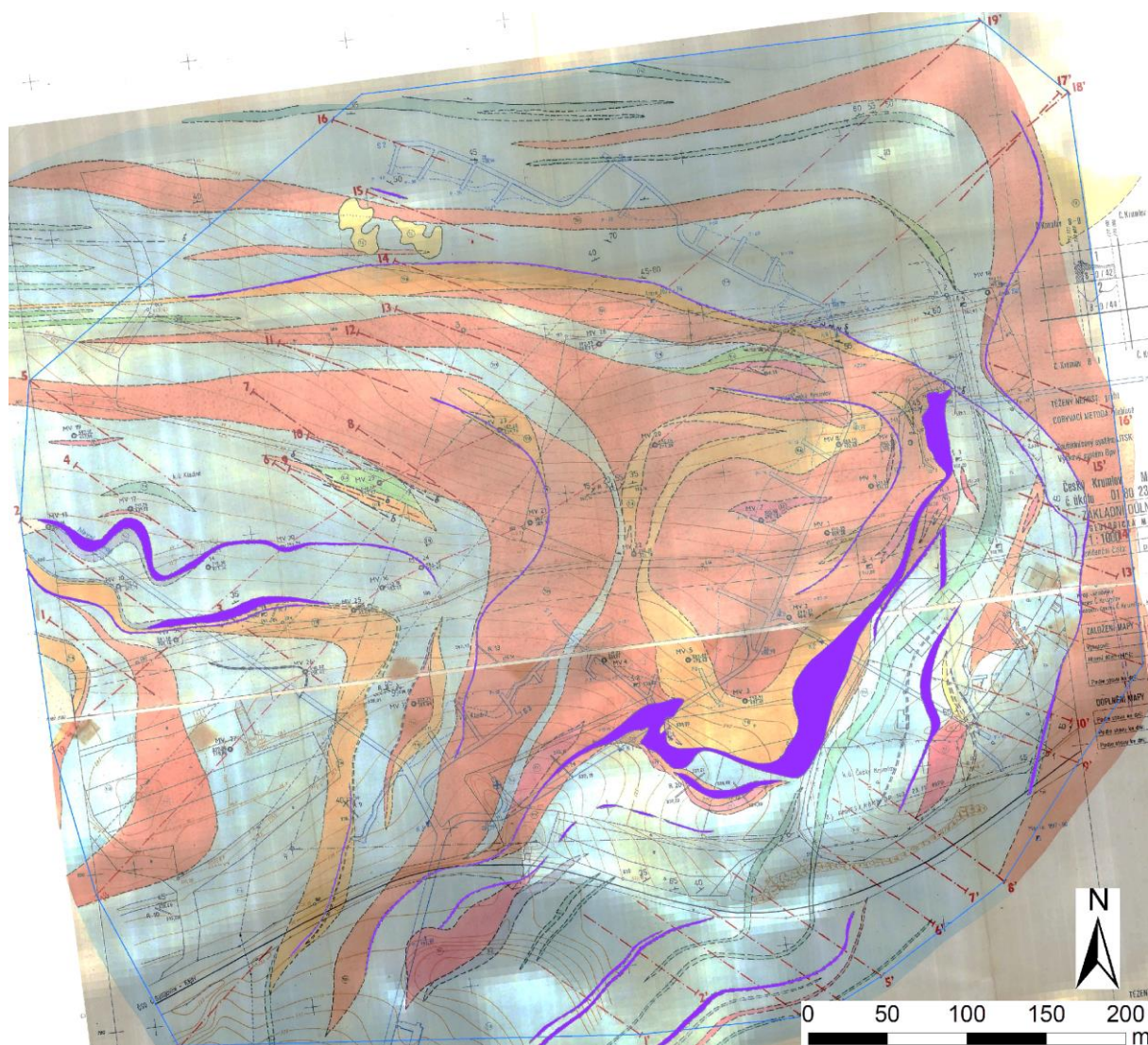
Ložisko grafitu, které bylo ověřeno do hloubek kolem 200 m od povrchu, je vymezeno v pěti grafitonosných pruzích, označených podle geografické pozice jako východní, severní, střední, západní a severozápadní (obr. 2). V rámci těchto pruhů je vymežováno tzv. hlavní grafitové lože a několik dílčích méně významných loží v nadloží a podloží. Grafitové polohy jsou vyvinuty nejčastěji při rozhraní vápencových a rulových poloh. Ložiskový obzor tvoří silně grafitické pararuly.

Hlavní poloha ložiska vytváří v detailu složitě provrásněnou synklinálu (obr. 2, 4) s vlnovou délkou cca 700 m, s vrásovou osou upadající pod středním úhlem k ZSZ a subvertikální osní rovinou směru ZSZ-VJV. Směry sklonu foliace jsou 20°–60° k SZ, Z i S, nejčastěji kolem 35°. Tlaková napětí se v grafitonosné sérii vyrovnávala většinou flexurami a ohyby jednotlivých poloh. V důsledku provrásnění dochází lokálně k prudkým změnám směrů horninových poloh, k izoklinálnímu provrásnění a ke vzniku lokálních brachysynklinálních a brychyantiklinálních struktur ([12], [13]).

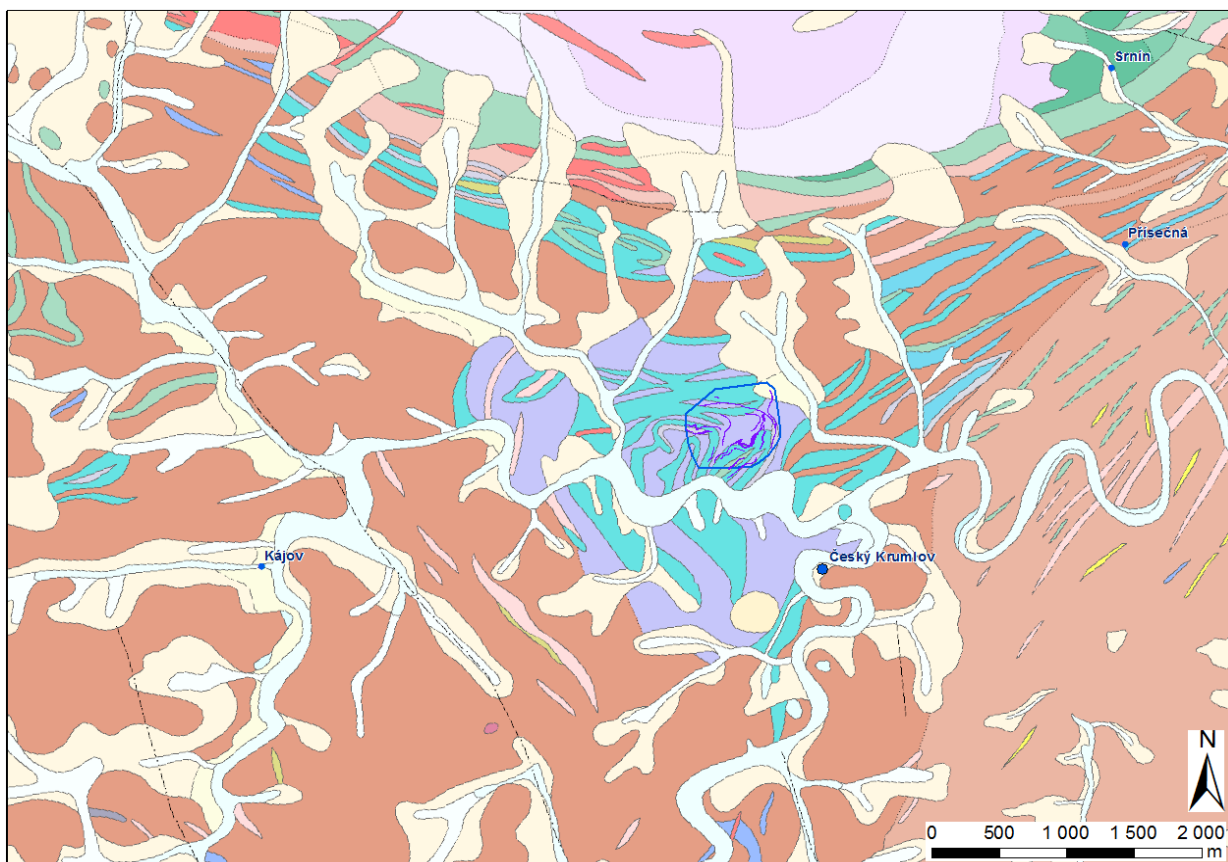
Mocnost loží je velmi proměnlivá. Maximální mocnosti byly zjištěny v hlavním loži východního pruhu až 20 m, v průměru 5,14 m. Jednotlivá lože mají charakter čokovitých a tektonicky deformovaných poloh, ev. drobných útržků grafitu. Typickým rysem jsou lokální prudké změny směrů horninových poloh, rychlé

vykliňování či naduřování mocností. Všechna uvedená lože probíhají paralelně s generální foliací okolních hornin a zároveň paralelně s hranicemi okolních horninových těles [14].

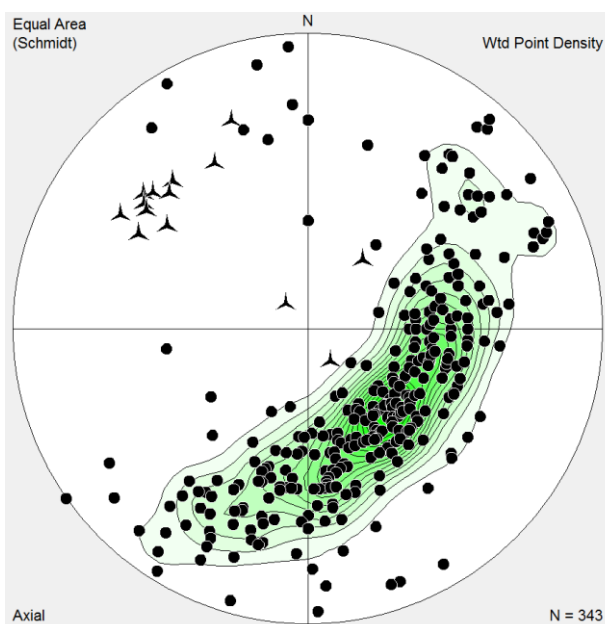
Disjunktivní tektonika je poněkud zastřena provrásněním a mylonitizací a její vliv je spíše lokální, s vytrácením skluzů v grafitové výplni. Hojně jsou drobné poruchy, ohlazové plochy směrů SV-JZ, SZ-JV a S-J (obr. 5), ostrá klínovitá omezení grafitu. Severovýchodní částí hlavního lože prochází významná mylonitizovaná zóna, na které dochází k propojení hlavního lože s dílčím ložem.



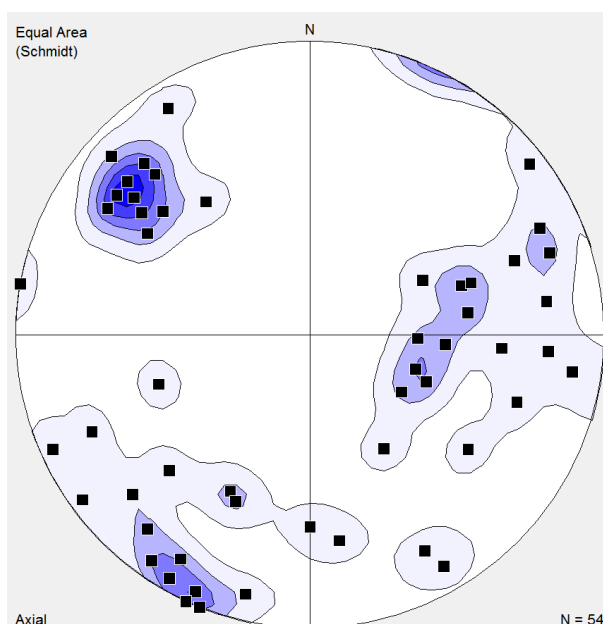
Obr. 2: Archivní povrchová geologická mapa z ložiska Městský Vrch s vyobrazením rozsahu 3D geologického modelu (modrý polygon). Grafitové polohy zvýrazněny fialově.



Obr. 3: Geologická mapa 1 : 50.000 českokrumlovské pestré skupiny v širším okolí ložiska Městský Vrch, s vyobrazením rozsahu 3D geologického modelu (modrý polygon). Grafitové polohy ložiska Městský Vrch zvýrazněny fialově.



Obr. 4: Póly ploch 329 archivních měření foliací (body) a 14 lineací (hvězdy) ze zájmového území ložiska Městský vrch, projekce na spodní polokouli.



Obr. 5: Póly ploch 54 archivních měření zlomů ze zájmového území ložiska Městský vrch, projekce na spodní polokouli.

Mineralogická a petrografická charakteristika

Ložiskovou výplní je grafitická pararula, obsahující zpravidla 8 až 30% grafitického uhlíku (Cgraf). Kromě grafitu surovina obsahuje vybělený biotit, muskovit, sericitizované a kaolinizované živce (plagioklasy andezinového složení převládají nad ortoklasem), křemen, dále fibrolitický sillimanit, cordierit apatit a dosti hojný pyrhotin a pyrit (ve formě kyzových impregnací). Z akcesorií se běžně vyskytuje turmalín, hematit, siderit, granát a zirkon. Velikost grafitových vloček se pohybuje mezi 0,00X-0,5 mm. Historické prameny udávají až 73% obsahy a šupinky až 1 mm velké ([12], [14]).

3. Metodické postupy tvorby 3D modelu ložiska grafitu Český Krumlov – Městský vrch

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) [11] 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.

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, verifikace a korekce vstupních dat.
- 3.2 Výpočet a vizualizace prostorové lokalizace vstupních dat.
- 3.3 Konstrukce 3D strukturního modelu.
- 3.4 Výpočet topologie 3D gridu tělesa grafitu podle 3D strukturního modelu (program *Grafit_Teleso*, modul *Výpočet topologie 3D gridu tělesa*).
- 3.5 Základní statistické zpracování obsahů grafitického uhlíku Cgraf, CO₂ a síry.
- 3.6 Zobrazení vstupních dat ložiska grafitu ve 3D v prostředí *Voxler*, stanovení elipsoidů anizotropie a výběru dat, vytvoření 3D gridů obsahů technologických parametrů a export 2D gridů v jednotlivých horizontech ve formátu *Surfer*.
- 3.7 Odhad zásob na základě 2D gridů technologických parametrů a jejich převedení do 3D gridu (program *Grafit_Teleso*, modul *Výpočet hodnot 3D gridů tělesa a odhad zásob* nebo modul *Výpočet hodnot 3D gridů těles A, B, C a odhad zásob*).
- 3.8 Vizualizace horizontálních řezů ve 2D v prostředí *Surfer* (program *Grafit_Teleso*, modul *Vykreslení horizontálních řezů zadaných vrstev*).
- 3.9 Vizualizace sítě vertikálních řezů ve 2D v prostředí *Surfer* (program *Grafit_Teleso*, modul *Vykreslení zadaných vertikálních řezů XZ a YZ*).
- 3.10 Vizualizace obsahů technologických parametrů ve 3D.

Tyto kroky jsou z hlediska 3D ložiskově geologického modelu popsány v následujících podkapitolách. Krok 3.7 závisí na konkrétních podmínkách využitelnosti.

Jednotlivé kroky metodického postupu jsou realizovány tak, aby bylo možno při libovolné změně parametrů tyto kroky programově rychle přepočítat bez nutnosti zdlouhavých 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, verifikace a korekce vstupních dat

Základním zdrojem archivních dat a geologických informací nezbytných pro tvorbu 3D strukturního modelu byly závěrečné zprávy FZ006071 [13] a FZ005542 [12]. Z těchto zpráv byly digitalizovány geologické mapy (povrchové a štolového patra) ze tří různých časových období. Dále geologické řezy (celkem 34) a grafická dokumentace k 20 kopaným rýhám a k 16 šachticím. Z těchto dokumentů byly kromě prostorové pozice jednotlivých horninových těles a tektonických rozhraní získány i prostorové informace ke strukturním datům a informace o analyzovaných vzorcích, odebraných ve štolovém patře a určených míst šachtic a rýh. Digitalizovaná strukturní data nesla informaci také o jejich prostorové pozici.

Ze zpráv byly získány informace o pozici odebraných vzorků a jejich technologických parametrech. Dále bylo z vrtné databáze ČGS získáno 36 středně hlubokých vrtů, které nesly informaci o litologických rozhraních a technologických parametrech odebraných vzorků. Deset vrtů bylo inklinometricky zaměřeno. Model povrchu reliéfu byl vytvořen v gridu 10 × 10 metrů na základě dat DMR 4G (digitální model reliéfu čtvrté generace).

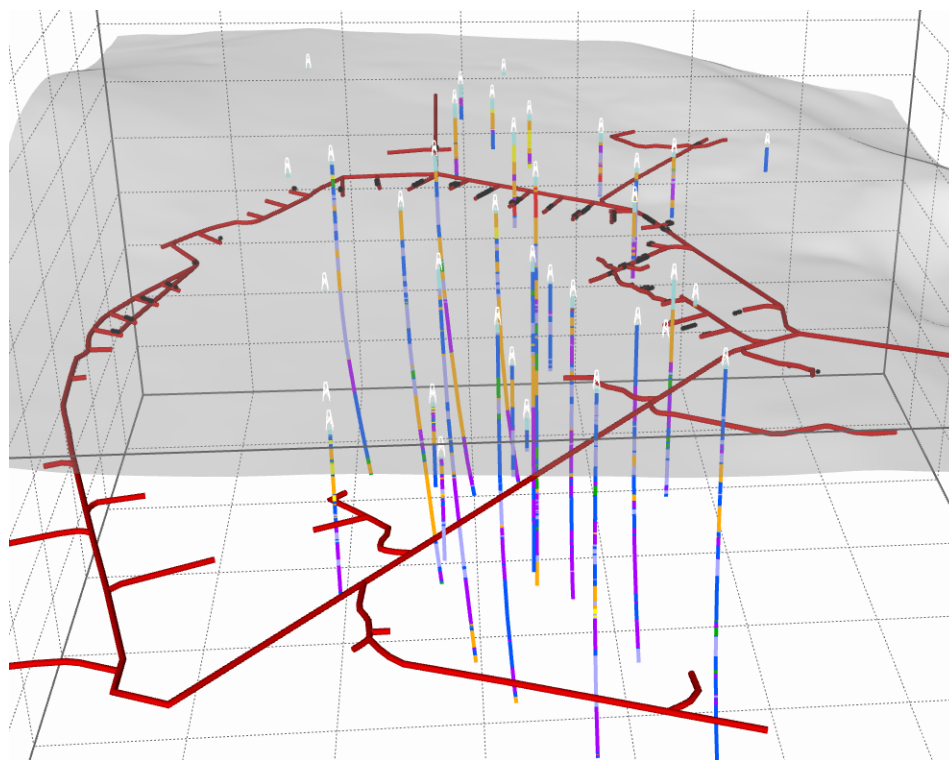
Prostorová data ložiskových vzorků byla členěna do pěti tabulek v prostředí *MS Excel*:

- tabulka *VRTY*, celkem 267 vzorků z 21 povrchových vrtů,
- tabulka *RÝHY*, celkem 8 vzorků z 5 rýh,
- tabulka *ZÁSEKOVÉ VZORKY*, celkem 282 vzorků ze záseků,
- tabulka *ŠACHTICE*, celkem 82 vzorků z šachtic,
- tabulka *INKLINOMETRIE*, údaje o inklinometrii 10 povrchových vrtů.

Ve všech vzorcích byly stanoveny obsahy grafitického uhlíku (Cgraf), CO₂ a síry v %, proto byly modelovány tyto technologické parametry.

Verifikace vstupních dat byla prováděna konfrontací s archivními materiály 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 opraveny.

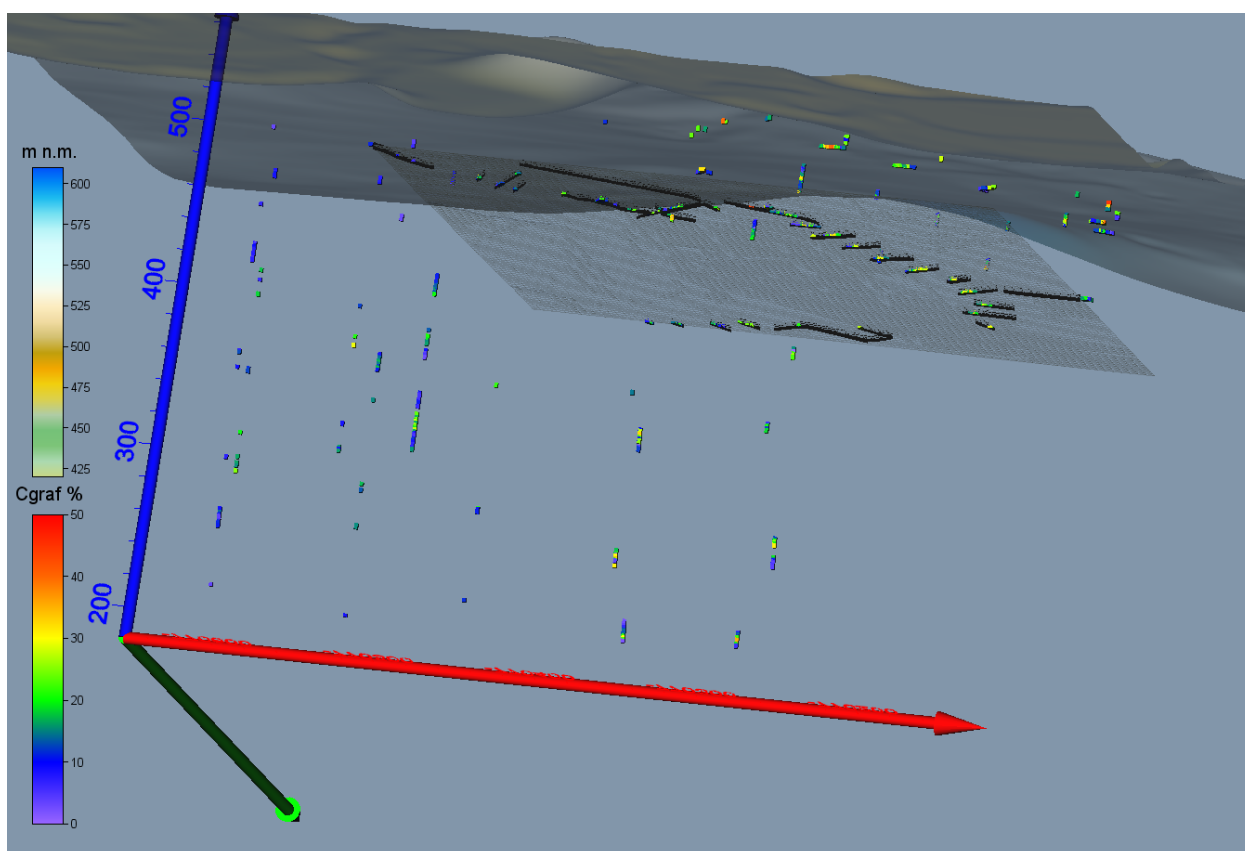
Vstupní údaje z tabulek *VRTY*, *RÝHY*, *ZÁSEKOVÉ VZORKY*, *ŠACHTICE* a *INKLINOMETRIE* byly převedeny s pomocí maker [5] do tabulek *Collars* (celkem 393 průzkumných děl), *Trajectories* a *Samples* (celkem 639 vzorků). Tyto údaje lze pro vizuální kontrolu vykreslit také v prostředí *Voxler* či *MOVE* (obr. 6) a jsou využívány i pro další zpracování.



Obr. 6: Zobrazení průzkumných děl se zobrazením grafitu (fialová barva) ve vrtech a zásekových vzorcích v prostředí *MOVE*.

3.2. 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_Ink* [5] rozdělují po 10 cm úsecích (celkem 5941), prostorově se lokalizují (pokud má dílo inklinometrii, tak podle inklinometrie zadané v tabulce *Trajectories*, jinak podle azimutu a úklonu díla z tabulky *Collars*) ve středu každého úseku, ukládají se do listu *Analyzy_Ink* a zároveň se vytváří textový soubor pro vstup analýz do programu *Voxler*. Tabulka *Analyzy_Ink* 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. 7 zobrazeny lokalizované údaje obsahu Cgraf v prostředí *Voxler*.

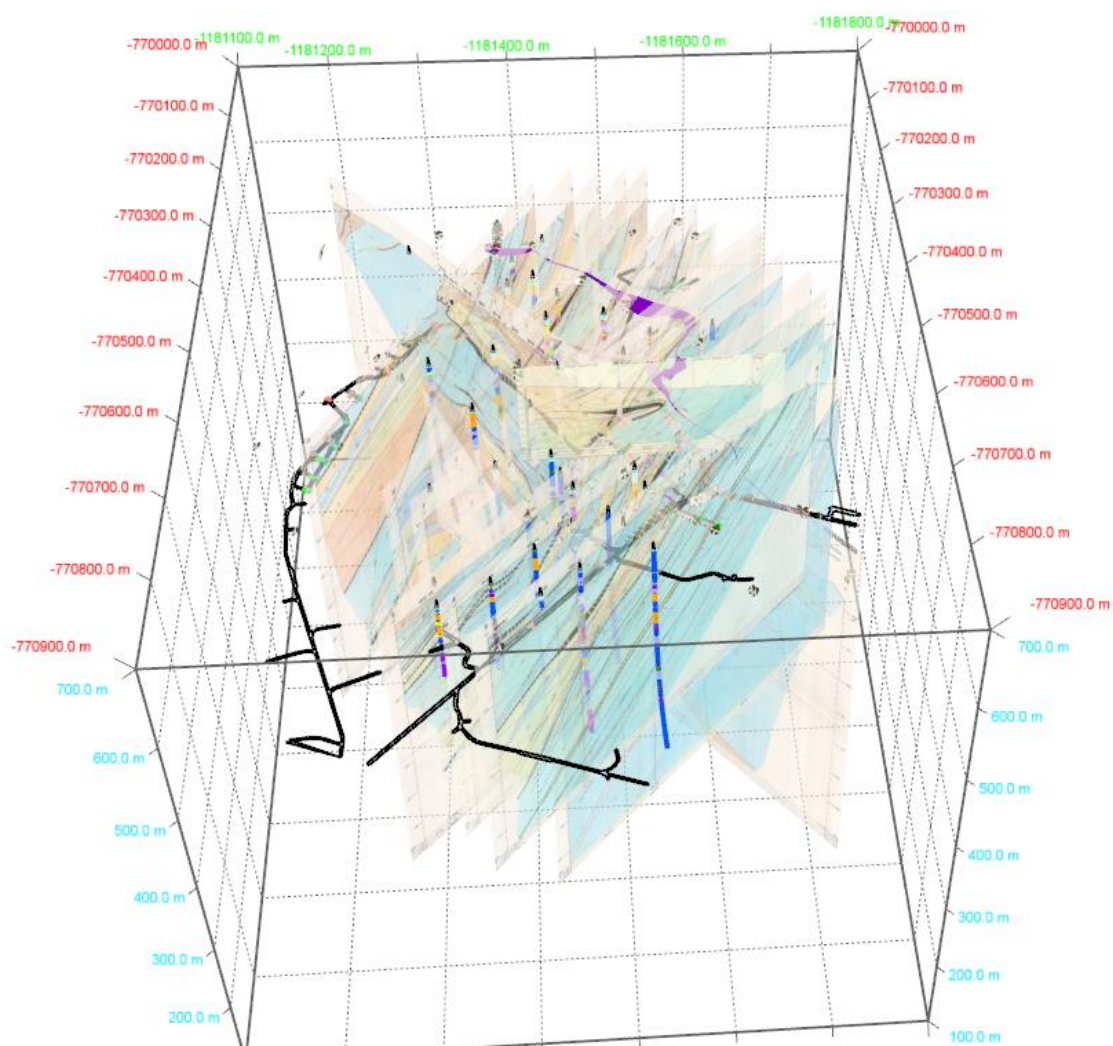


Obr. 7: Lokalizované údaje obsahu Cgraf v prostředí *Voxler* (včetně zobrazení štolového patra a povrchu).

3.3. Konstrukce 3D strukturního modelu

Všechny podklady uvedené v části 3.1 byly georeferencovány a prostorově usazeny (obr. 8). Vynesením zmíněných dat do plochy byl stanoven zájmový polygon. Pomocí prostorové vizualizace byly vybrány důlní díla zachycující zájmovou polohu grafitu. Pro tyto práce byl využit software *ArcGIS* a *MOVE*. Pro konstrukci 3D strukturního modelu byl použit výhradně program *MOVE*.

Vzájemně byly porovnány geologické mapy z různých časových období nesoucí odlišné informace o pozici zájmové grafitové polohy a důlních děl. Geologická data uvedená v geologických mapách štolového patra byla verifikována in situ. Verifikace pozice důlních děl proběhla na podkladě srovnání s poslední geodetickou zprávou z roku 1984 [13].



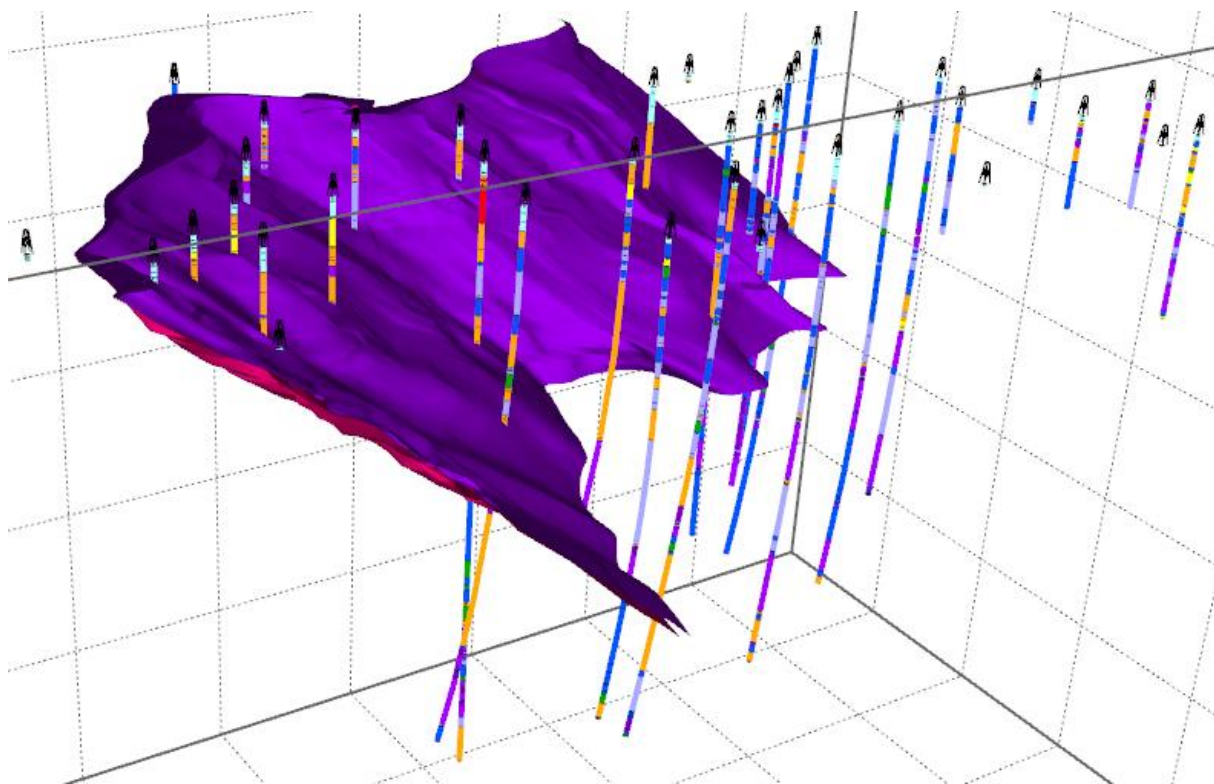
Obr. 8: 3D náhled na prostorově usazené naskenované archivní geologické řezy, průběhy vrtů, pozice důlních děl a průběh grafitové polohy na povrchu (fialový nepravidelný polygon).

Po verifikaci byly zdigitalizovány z geologických map měřítka M 1:5000 průběhy rozhraní zájmové grafitové polohy a významné střížné zóny, která tuto polohu porušuje. Zdigitalizované povrchové polygony byly přeneseny na povrch DMR, čímž došlo k jejich prostorovému usazení. Polygony štolového patra byly usazený na jeho výškovou úroveň, tedy do výšky 498 m n. m.

Profily vrtů i archivní geologické řezy obsahovaly velké množství malých geologických těles, které nebylo možno v modelu zobrazit. Proto bylo rozhodnuto, že tělesa s menší mocností než 2 metry se modelovat ani zobrazovat nebudou. Pro vrtnou dokumentaci byla vytvořena zjednodušená litologická kolonka obsahující pouze 8 litologických jednotek. Profily všech vrtů byly reklasifikovány podle nové litologické kolonky a současně validovány s archivními daty.

Strukturní model vznikl postupně od jednodušších variant po komplikovanější. Celkem byly vytvořeny čtyři zpřesňující se verze. Přesný postup tvorby modelu je podrobně popsán v [5]. Výsledný 3D strukturní model grafitové polohy (obr. 9) vymezuje prostor, v jakém se následně vytvářel model technologický. Bohužel distribuce technologických vzorků je velmi nerovnoměrná. Největší množství analyzovaných vzorků je ve štolovém patře. Několik málo vzorků pochází z přípovrchových rýh a šachtic. Tento set dat ze

štolového patra a z povrchu je doplněno vzorky z nerovnoměrně rozmístěných 15 vrtů, které prochází modelovanou částí grafitové polohy. Vzhledem k této špatné distribuci vstupních dat bylo rozhodnuto, že technologický model se bude zabývat pouze částí strukturního modelu v rozmezí od 490 do 510 m n. m., pro kterou existuje největší množství technologických dat.



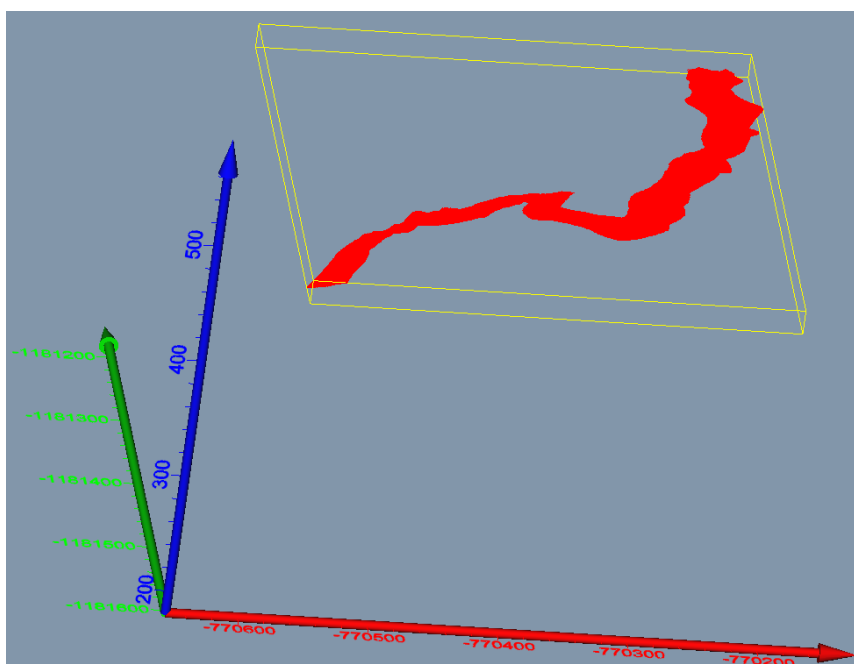
Obr. 9: Finální čtvrtá verze modelu grafitové polohy zobrazené s profily vrtů.

Tento dílčí úsek strukturního modelu byl rozřezán do sekcí (horizontálními řezy) po 50 cm. Vzniklo celkem 41 výškových úrovní. Každá úroveň obsahovala průnikové křivky svrchní a spodní plochy grafitové polohy. V každé úrovni byly linie spojeny tak, aby vytvořily polygon. Vzniklé polygony byly exportovány v podobě shp souborů. Software *Surfer*, který byl použit pro tvorbu technologického modelu, umí tento formát načíst a dále s ním pracovat.

3.4. Výpočet topologie 3D gridu tělesa grafitu podle 3D strukturního modelu

Celkem 41 obvodových polygonů tělesa grafitu vyexportovaných ze strukturního modelu ve výškových úrovních 490 až 510 m n.m. s krokem 0.5 m ve formátu shp (viz 3.3) bylo v prostředí *Surfer* převedeno do formátu bln. Protože pro tvorbu 3D gridů technologických parametrů musí vstupovat pouze hodnoty, které leží uvnitř tělesa grafitu, byly makrem *Vyber_Teleso* [5] z tabulky *Analyzy_Ink* vybrány pouze tyto hodnoty a zapsány do tabulky *Analyzy_Teleso*. Tabulka *Analyzy_Teleso* je zdrojem vstupních údajů pro vytváření 3D gridů technologických parametrů tělesa grafitu.

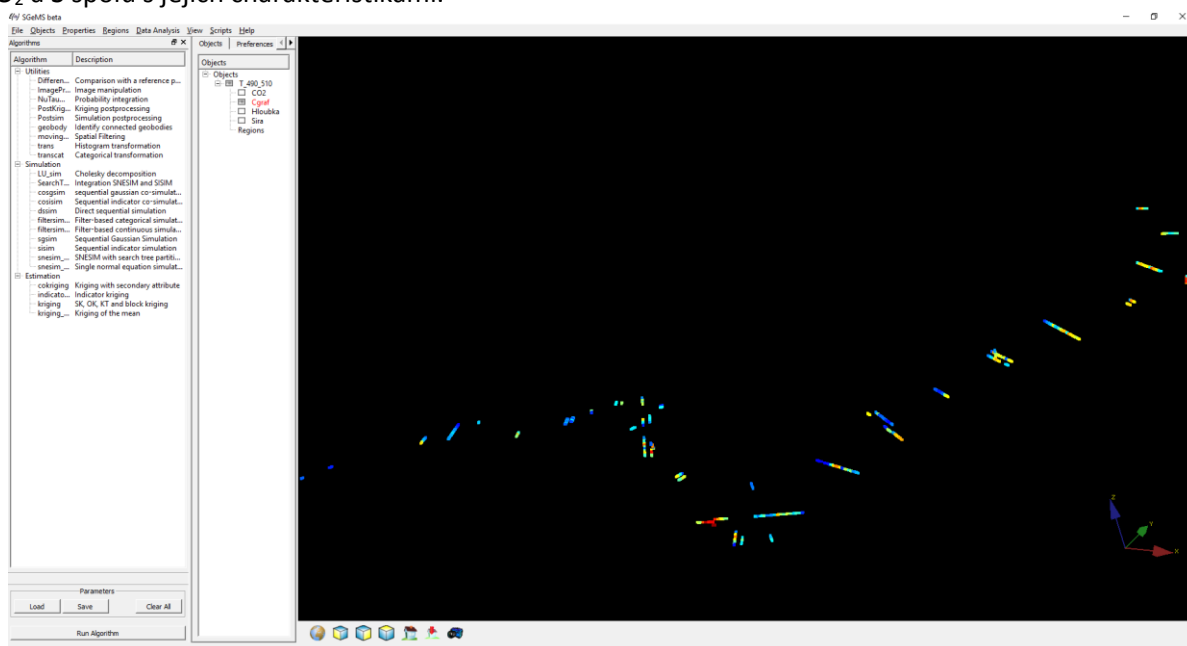
Program *Grafit_Teleso* [5], modul *Výpočet topologie 3D gridu tělesa*, vytváří 3D grid topologie tělesa se zadanou hustotou (0.5 * 0.5 * 0.5 m) ve formě textového souboru. K tomu jsou využívány právě obvodové polygony tělesa grafitu vyexportované ze strukturního modelu ve výškových úrovních 490 až 510 m n.m. s krokem 0.5 m ve formátu bln. Na obr. 10 je takto vytvořené těleso grafitu zobrazeno v prostředí *Voxler*.



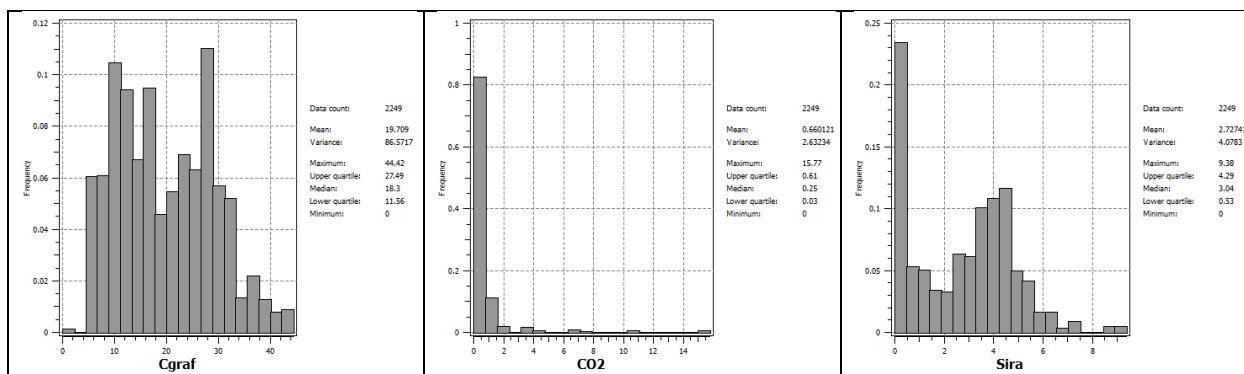
Obr. 10: Zobrazení topologie tělesa grafitu v prostředí Voxler.

3.5. Základní statistické zpracování obsahů grafitického uhlíku Cgraf, CO₂ a síry

Základní statistické zpracování je prováděno v prostředí SGeMS [11]. Makro *GSLIB_vystup* [5] provádí převod potřebných údajů do formátu GSLIB [1] z tabulky *Analyzy_Teleso* pro zpracování v programu SGeMS. Po načtení do prostředí SGeMS lze tyto údaje vizualizovat (obr. 11), provádět základní statistické rozborů a případně provádět i jiná geostatistická zpracování. Na obr. 12 jsou histogramy četností Cgraf, CO₂ a S spolu s jejich charakteristikami.



Obr. 11: Vizualizace obsahu Cgraf tělesa grafitu v prostředí SGeMS.



Obr. 12: Ukázka statistického zpracování v prostředí SGEMS - histogramy četností parametrů Cgraf, CO₂ a S (%) a jejich základní statistické charakteristiky.

V další části je prováděna regresní analýza závislosti jednotlivých technologických parametrů na Z (m n.m.). Nejtěsnější lineární závislost na Z vykazuje Cgraf s koeficientem korelace 0.171361, která je ale přitom slabá. Ostatní parametry (CO₂ a S) vykazují téměř nulovou lineární závislost na Z. Slabou lineární závislost (korelační koeficient -0.208256) vykazuje také Cgraf s CO₂ a CO₂ s S s koeficientem korelace -0.171797. Cgraf s S vykazuje téměř nulovou lineární závislost.

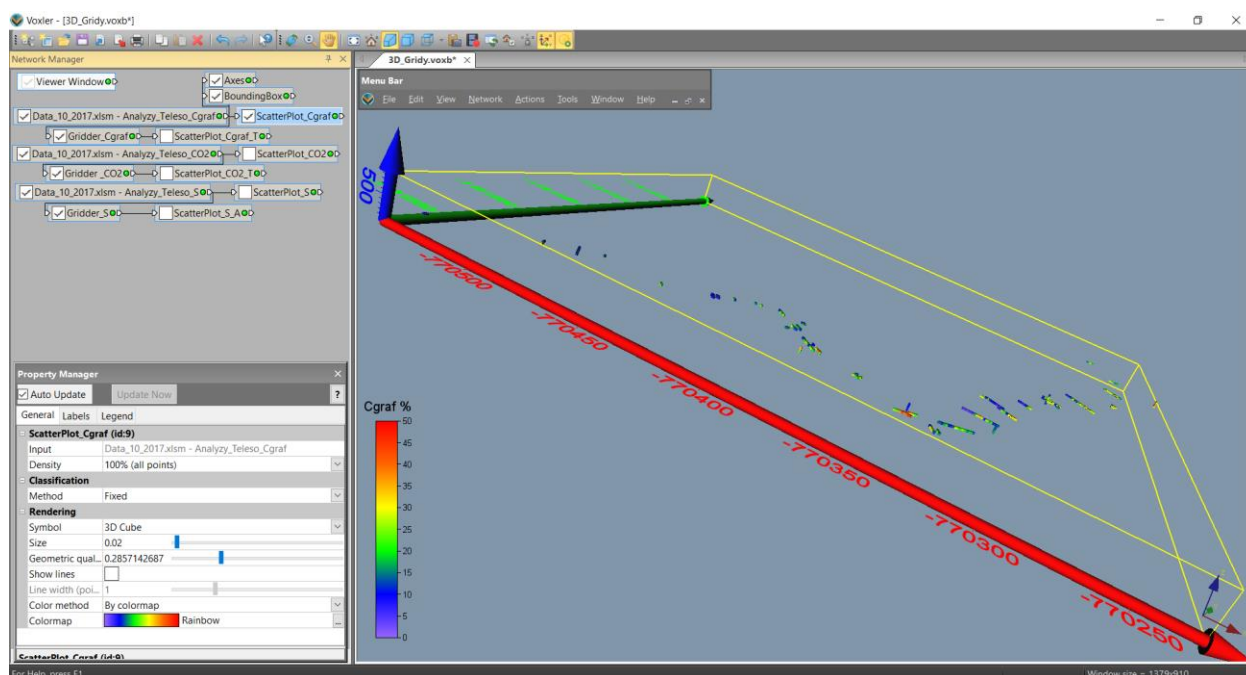
3.6. Zobrazení vstupních dat ložiska grafitu ve 3D v prostředí Voxler, stanovení elipsoidů anizotropie a výběru dat, vytvoření 3D gridů obsahů technologických parametrů a export 2D gridů v jednotlivých horizontech ve formátu Surfer

Další postup závisí na tom, zda se bude technologický model vytvářet pro celé těleso grafitu s jednotným elipsoidem anizotropie a výběru dat nebo se těleso rozdělí na několik částí s různými elipsoidy anizotropie a výběru dat pro každou část zvlášť. Přitom lze také různě nastavit parametry gridování tělesa grafitu. Tyto parametry lze nastavovat variantně a získávat tak různá variantní řešení. V této zprávě jsme zvolili dvě varianty zpracování:

- 1) Technologické parametry jsou gridovány jednotně v celém tělese metodou inverzních vzdáleností s elipsoidem anizotropie a výběru dat s jednotným směrem po tělese grafitu.
- 2) Technologické parametry jsou gridovány ve třech částech zvlášť (tělesa A, B a C) metodou inverzních vzdáleností se třemi různými elipsoidy anizotropie a výběru dat ve třech směrech po tělese grafitu.

V [5] jsou podrobně popsány obě tyto varianty včetně nastavení parametrů interpolace. Vstupní data (viz 3.1, 3.2 a 3.4) lze zobrazit v prostředí Voxler. Buď všechna (obr. 6 a 7), nebo jen vstupní data uvnitř tělesa grafitu (obr. 13).

3D gridování obou variant je realizováno v prostředí Voxler. Výsledné 3D gridy všech technologických parametrů jsou následně exportovány ve formě 2D gridů ve formátu grd (Surfer) jednotlivých horizontálních vrstev.



Obr. 13: Zobrazení vstupních dat tělesa grafitu v prostředí Voxler.

3.7. Odhad zásob na základě 2D gridů technologických parametrů a jejich převedení do 3D gridu

2D gridy ve formátu grd (*Surfer*) jednotlivých horizontálních vrstev všech technologických parametrů (viz 3.6) jsou následně zpracovány programem *Grafit_Teleso* [5]. Modul *Výpočet hodnot 3D gridů tělesa a odhad zásob* je určen pro variantu 1 a modul *Výpočet hodnot 3D gridů těles A, B, C a odhad zásob* je určen pro variantu 2. Přitom se přesně omezí původní 2D gridy Cgraf, CO₂ a S exportované z *Voxleru* obvodovými polygony jednotlivých vrstev (viz 3.4) a je vytvořen jednotný 3D grid všech technologických parametrů (Cgraf, CO₂ a S) ve formě textového souboru, který je vstupním souborem pro další zpracování (například pro import 3D gridů všech technologických parametrů do prostředí *MOVE* – viz elektronická příloha). Současně se vytváří také výstupní sestava odhadu zásob [5].

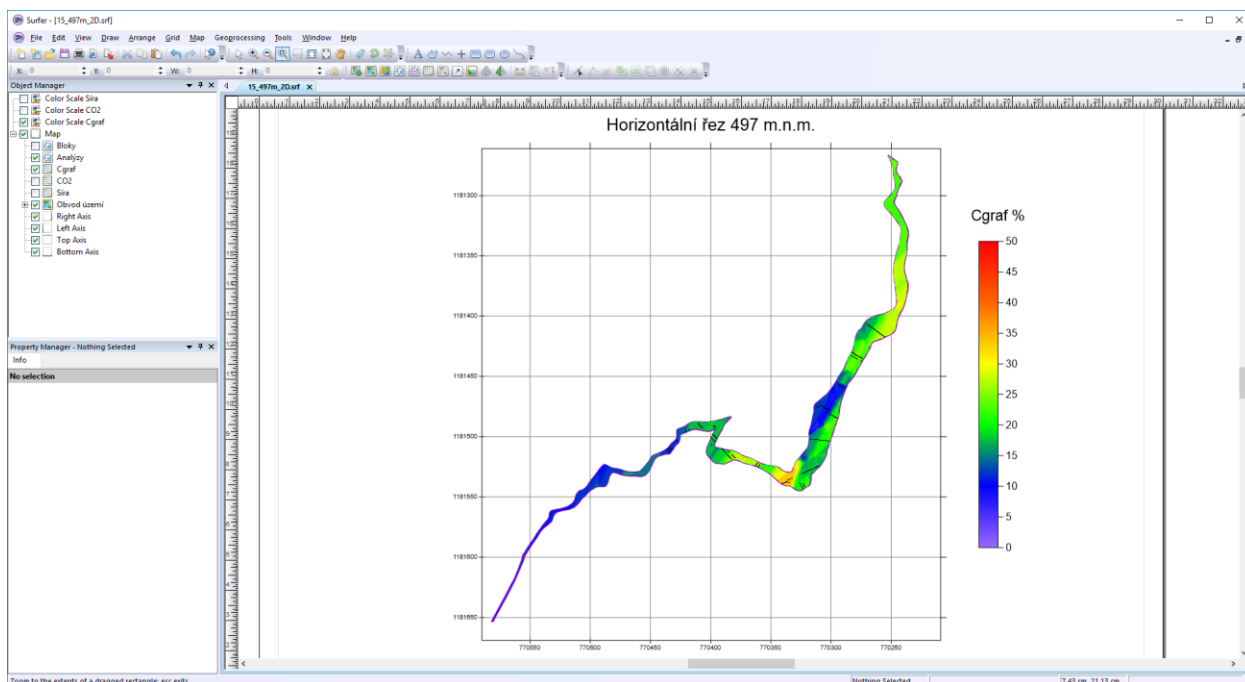
3.8. Vizualizace horizontálních řezů ve 2D v prostředí *Surfer* (program *Grafit_Teleso*)

4. modul programu *Grafit_Teleso* realizuje vizualizaci horizontálních řezů ve 2D v prostředí *Surfer*. Činnost tohoto modulu je podrobně popsána v [5].

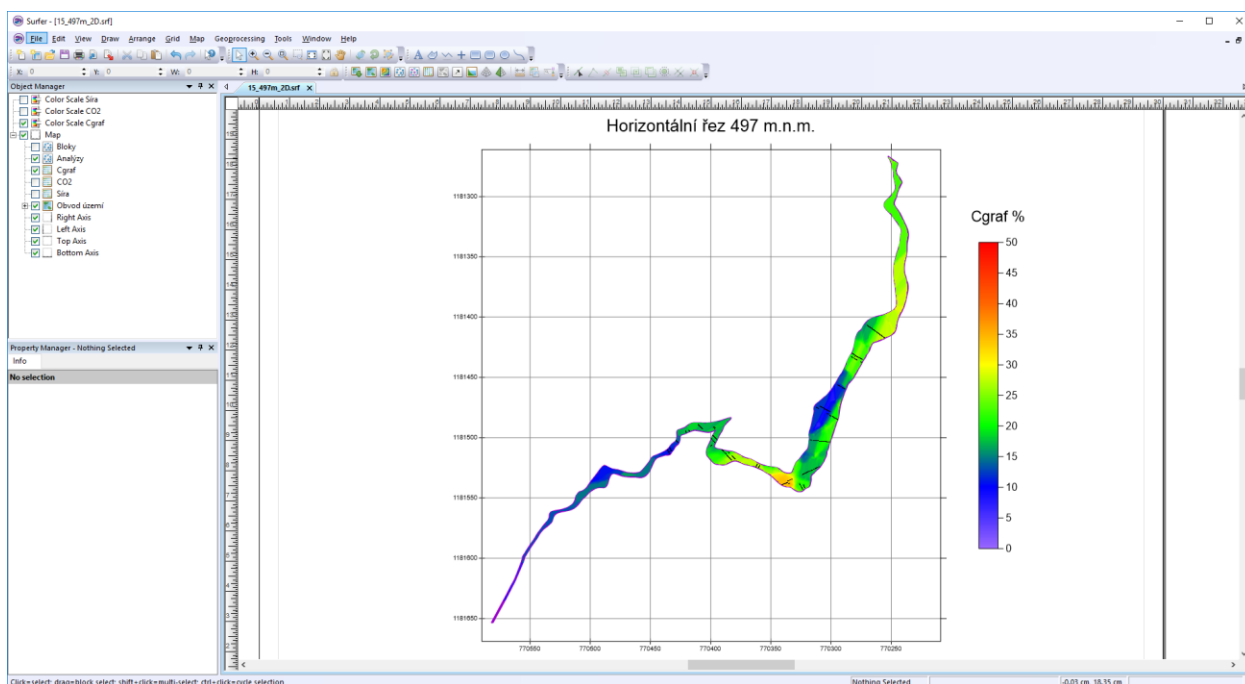
Na obr. 14 je vizualizace jednoho z 41 takto v prostředí *Surferu* vygenerovaných horizontálních řezů varianty 1. Na obr. 15 je vizualizace odpovídajícího horizontálního řezu varianty 2 pro stejnou vrstvu. Zapínáním, případně vypínáním objektů v levém okně lze zobrazit:

- Hodnoty údajů o jednotlivých blocích zásob (Cislo_bloku Cgraf CO2 Sira) v řezu (objekt Bloky).
- Hodnoty vstupních dat (ID Cgraf CO2 Sira) z listu *Analyzy_Teleso* (viz 3.4), které jsou v horizontální vzdálenosti ± 0.25 m od řezu (objekt Analýzy).
- Obsahy Cgraf bloků řezu (objekt Cgraf).
- Obsahy CO₂ bloků řezu (objekt CO2).
- Obsahy S bloků řezu (objekt Sira).

- Color Scale Cgraf bloků řezu (objekt Color Scale Cgraf).
- Color Scale obsahu CO₂ bloků řezu (objekt Color Scale CO2).
- Color Scale obsahu S bloků řezu (objekt Color Scale Síra).
- Obvod tělesa grafitu v řezu (objekt Obvod území).
- Jednotlivé osy souřadného systému (Objekty Right Axis, Left Axis, Top Axis, Bottom Axis).



Obr. 14: Vizualizace horizontálního řezu 427 m.n.m., varianta 1 v prostředí Surferu.



Obr. 15: Vizualizace horizontálního řezu 427 m.n.m., varianta 2 v prostředí Surferu.

Po případné změně měřítka objektu Map, nebo po dalších formálních doplněních, lze takový řez přímo tisknout na vhodné výstupní zařízení.

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

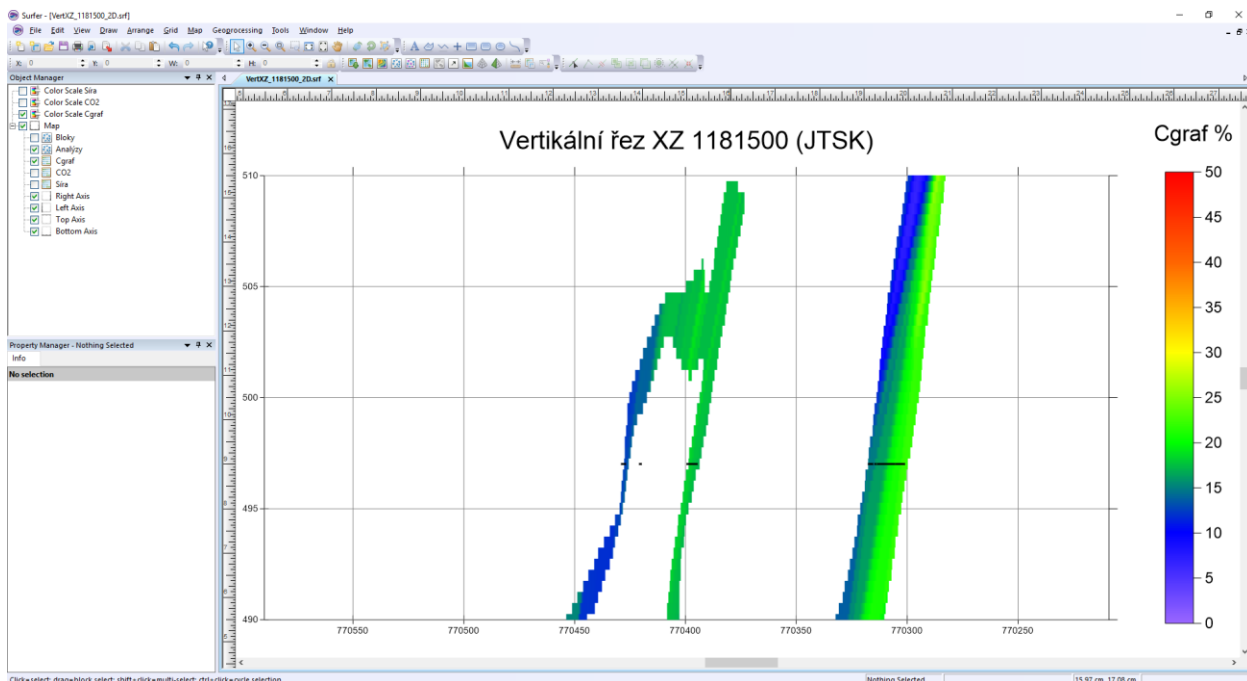
5. modul programu *Grafit_Teleso* realizuje vizualizaci sítě vertikálních řezů ve 2D v prostředí *Surfer*. Před jeho spuštěním je možné zadat hodnoty geometrie sítě vertikálních řezů, které se mají zpracovat.

Po spuštění 5. modulu se v první fázi vytvoří data a gridy sledovaných technologických parametrů v zadaných vertikálních řezech a ve druhé fázi se tato data a gridy vykreslí v prostředí *Surfer*. Činnost modulu 5 programu *Grafit_Teleso* je podrobně popsána [5].

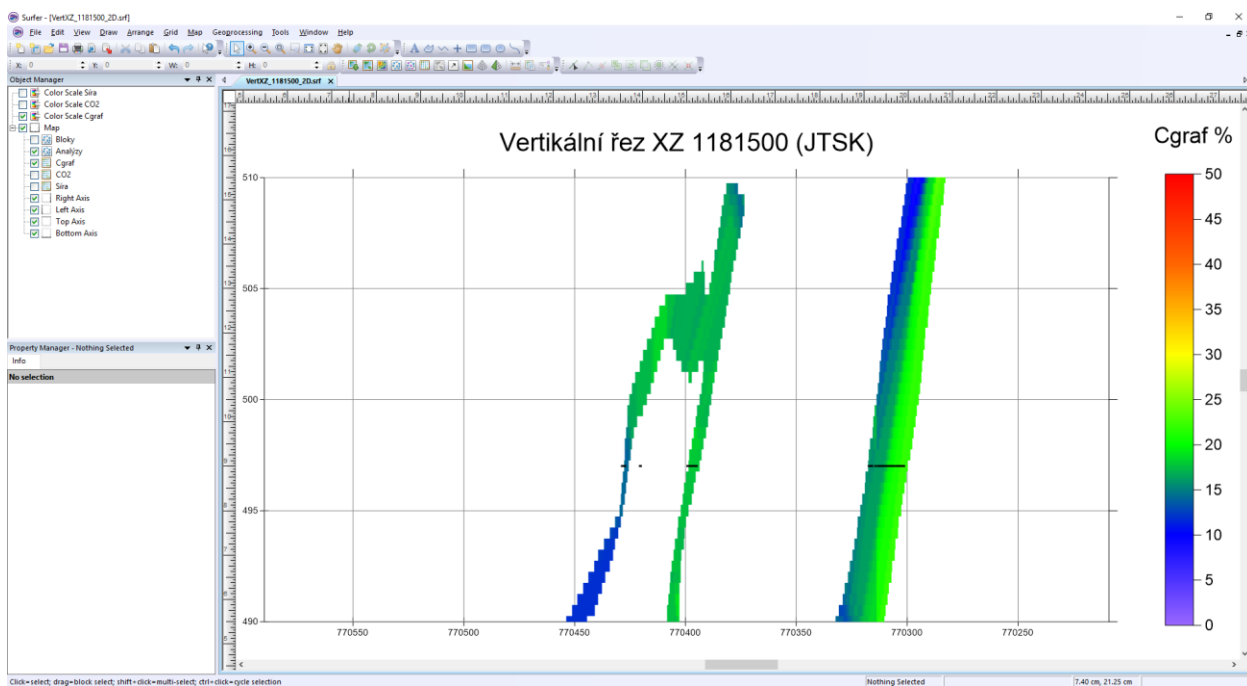
Na obr. 16 je vizualizace jednoho z 37 takto vygenerovaných vertikálních řezů XZ varianty 1 (při zadání 10 m vzdálenosti mezi řezy) v prostředí *Surferu*. Na obr. 17 je vizualizace odpovídajícího vertikálního řezu XZ varianty 2. Na obr. 18 je vizualizace jednoho z 36 takto vygenerovaných vertikálních řezů YZ varianty 1 (při zadání 10 m vzdálenosti mezi řezy) v prostředí *Surferu*. Na obr. 19 je vizualizace odpovídajícího vertikálního řezu XZ varianty 2. Zapínáním, případně vypínáním objektů v levém okně lze zobrazit:

- Hodnoty údajů o jednotlivých blocích zásob (Cislo_bloku Cgraf CO2 Sira) v řezu (objekt Bloky).
- Hodnoty vstupních dat (ID_vzdal Cgraf CO2 Sira) z listu *Analyzy_Teleso* (viz 3.4), které jsou do zadané vzdálenosti od řezu (objekt Analýzy). Vzdálenost vzdal od řezu analýz 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).
- Obsahy Cgraf bloků řezu (objekt Cgraf).
- Obsahy CO₂ bloků řezu (objekt CO2).
- Obsahy S bloků řezu (objekt Síra).
- Color Scale Cgraf bloků řezu (objekt Color Scale Cgraf).
- Color Scale obsahu CO₂ bloků řezu (objekt Color Scale CO2).
- Color Scale obsahu S bloků řezu (objekt Color Scale Síra).
- Obvod tělesa grafitu v řezu (objekt Obvod území).
- Jednotlivé osy souřadného systému (Objekty Right Axis, Left Axis, Top Axis, Bottom Axis).

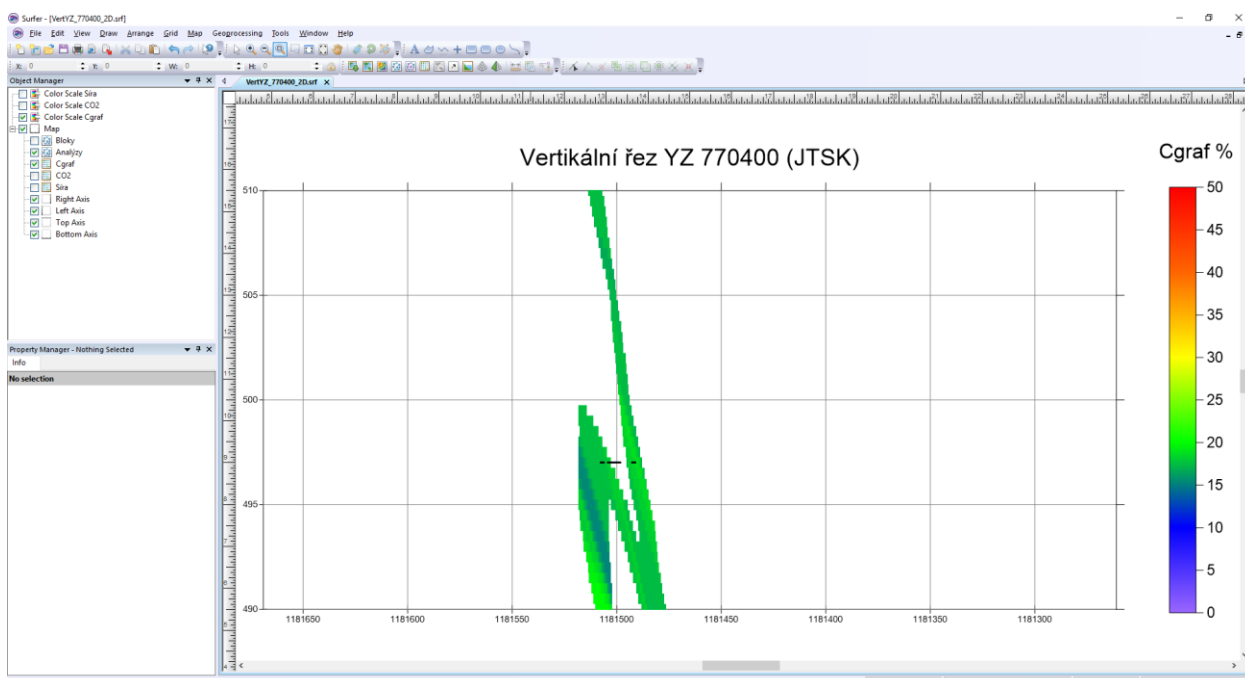
Po nastavení měřítka objektu Map, případně po dalších formálních doplněních, lze takový řez přímo tisknout na vhodné výstupní zařízení.



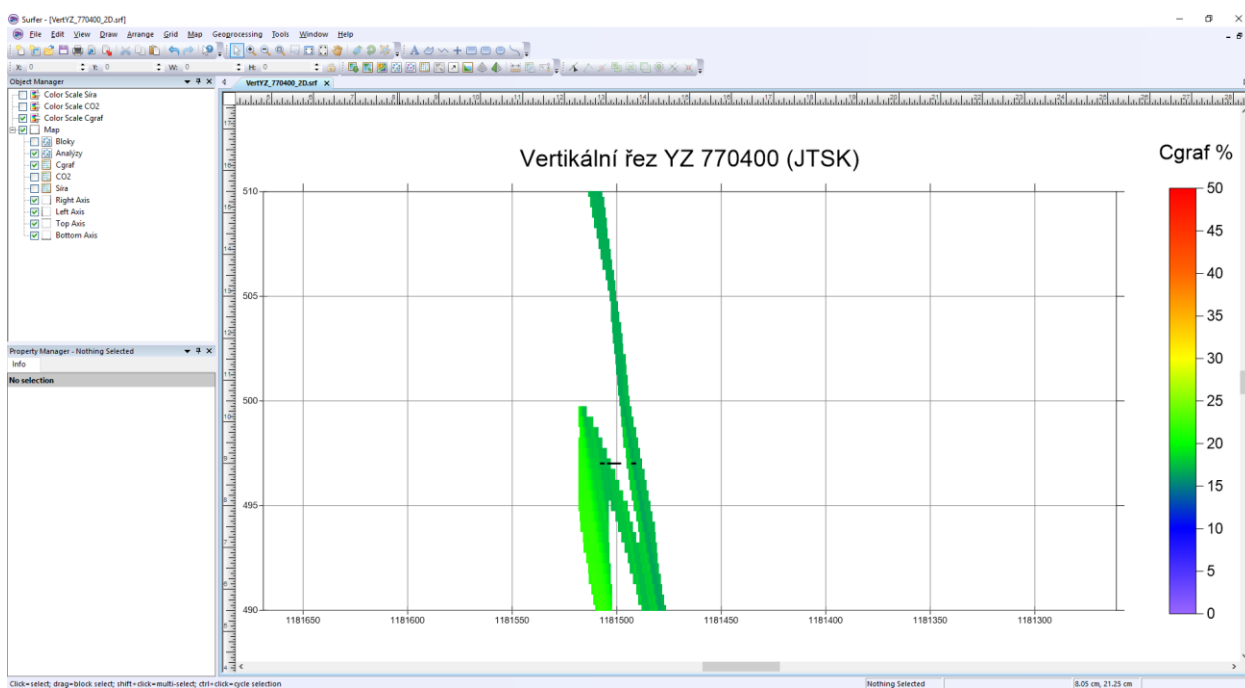
Obr. 16: Vizualizace vertikálního řezu XZ 1181500 (JTSK), varianta 1 v prostředí Surferu.



Obr. 17: Vizualizace vertikálního řezu XZ 1181500 (JTSK), varianta 2 v prostředí Surferu.



Obr. 18: Vizualizace vertikálního řezu YZ 770400 (JTSK), varianta 1 v prostředí Surferu.

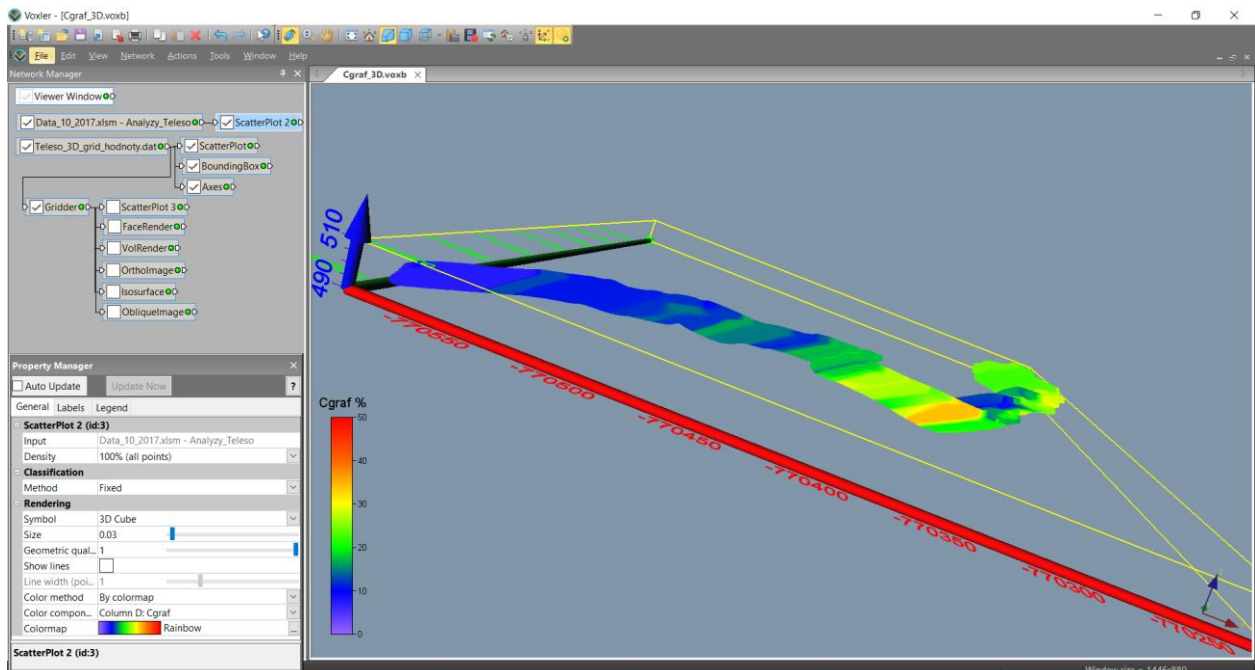


Obr. 19: Vizualizace vertikálního řezu YZ 770400 (JTSK), varianta 2 v prostředí Surferu.

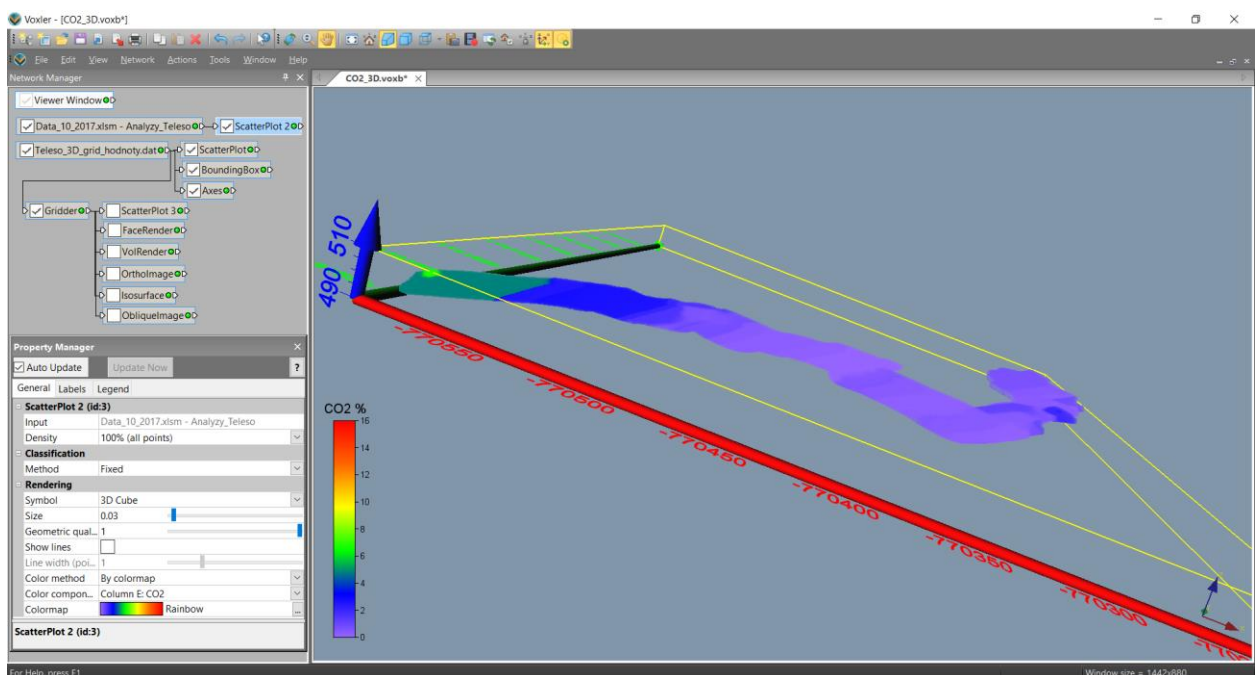
3.10. Vizualizace obsahů technologických parametrů ve 3D

Vizualizace v prostředí programu Voxler

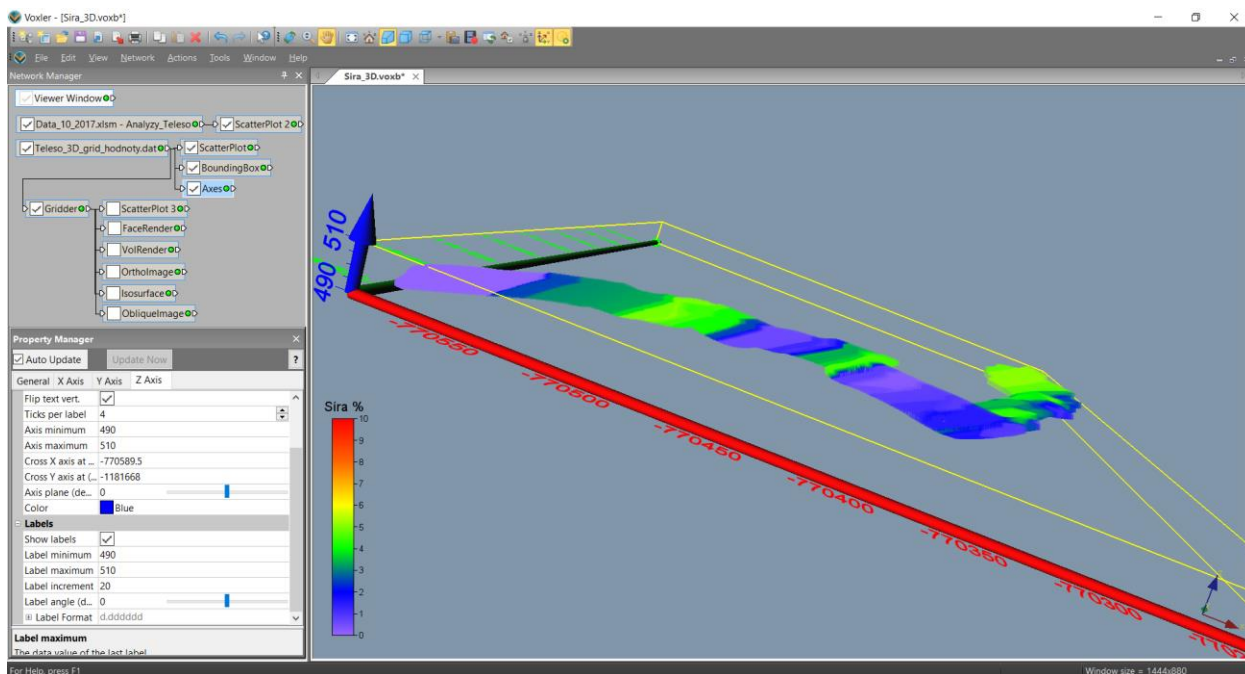
Po importu 3D gridu hodnot technologických parametrů tělesa grafitu (viz 3.7) do prostředí *Voxler* lze provést 3D vizualizaci obsahů jednotlivých parametrů přímo s pomocí modulu ScatterPlot (pro variantu 1 obr. 20, 21 a 22 a pro variantu 2 obr. 23, 24 a 25).



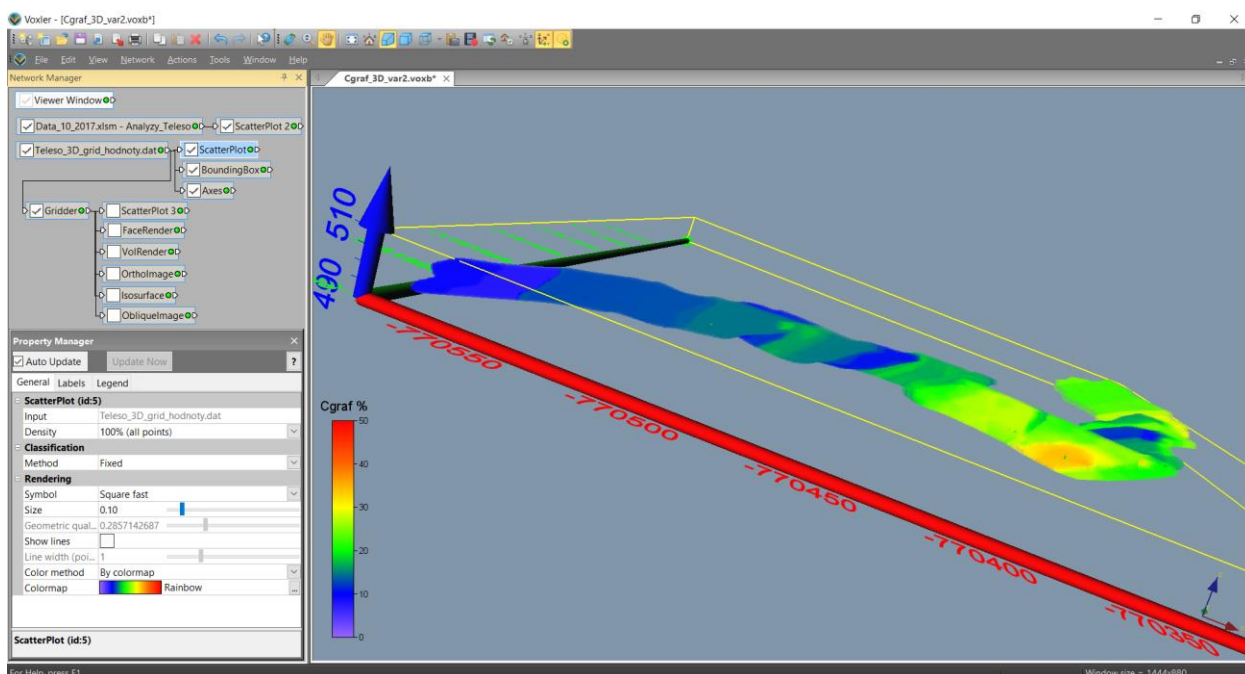
Obr. 20: Vizualizace Cgraf ze souboru *Teleso_3D_grid_hodnoty.dat* (ScatterPlot), varianta 1.



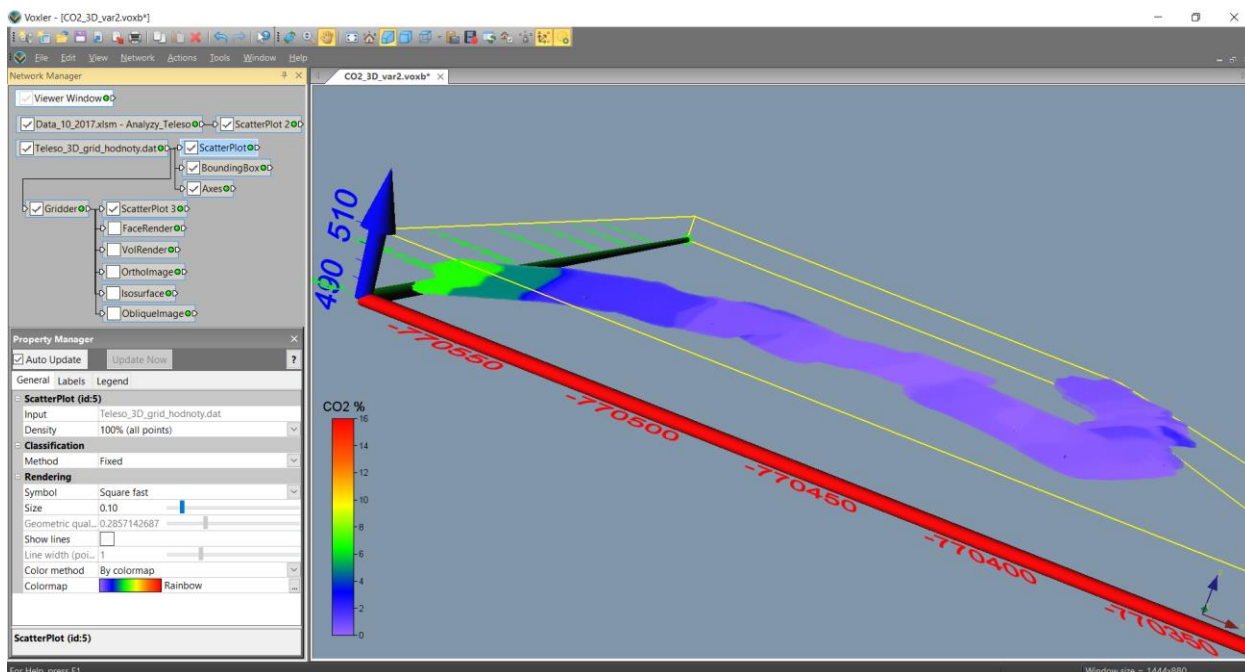
Obr. 21: Vizualizace CO₂ ze souboru *Teleso_3D_grid_hodnoty.dat* (ScatterPlot), varianta 1.



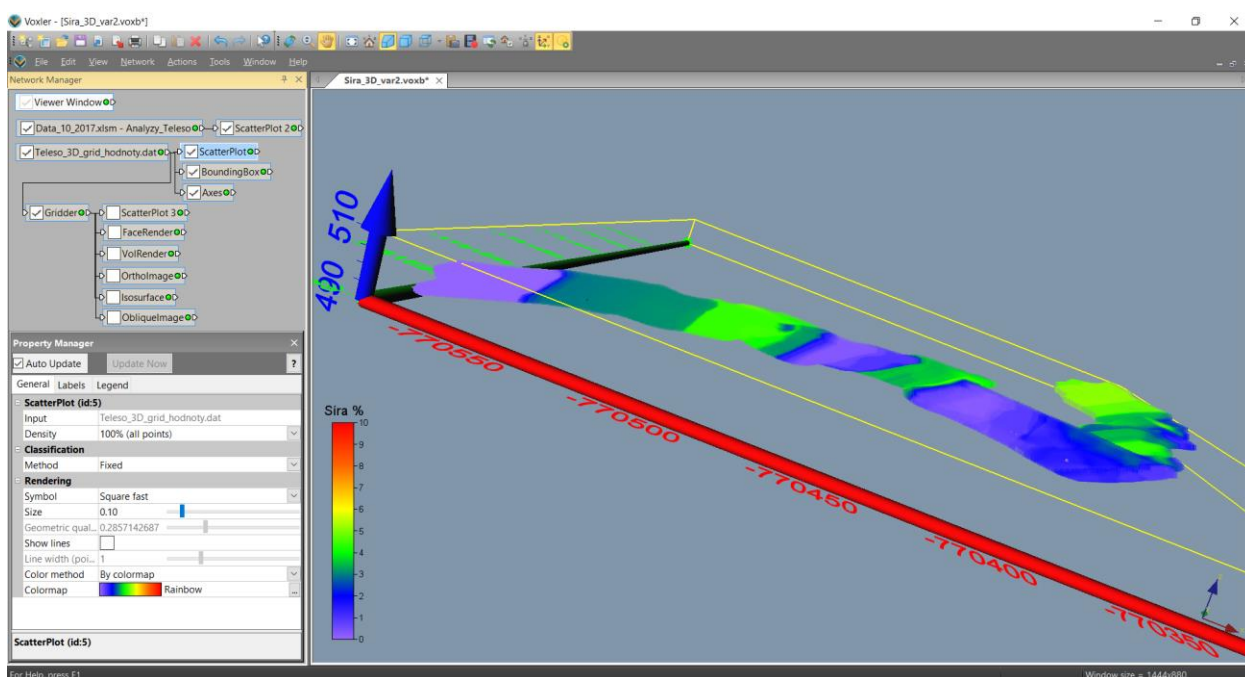
Obr. 22: Vizualizace S ze souboru Teleso_3D_grid_hodnoty.dat (ScatterPlot), varianta 1.



Obr. 23: Vizualizace Cgraf ze souboru Teleso_3D_grid_hodnoty.dat (ScatterPlot), varianta 2.



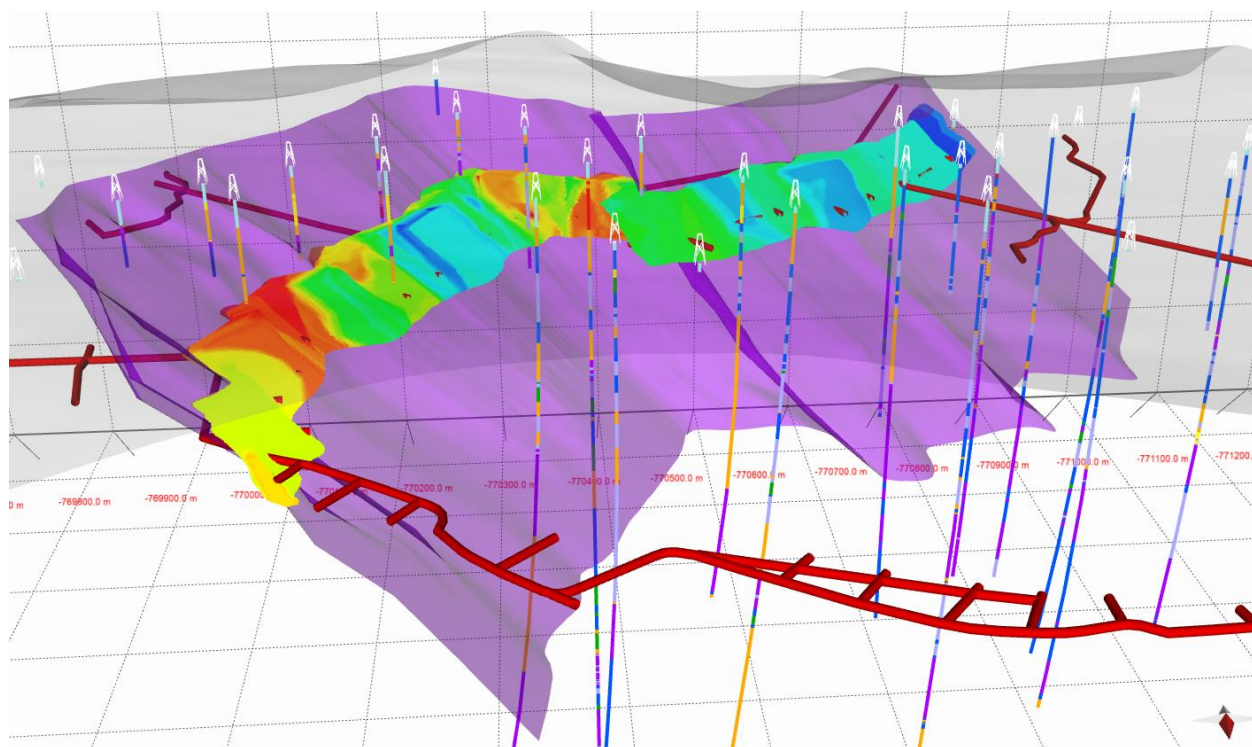
Obr. 24: Vizualizace CO₂ ze souboru Teleso_3D_grid_hodnoty.dat (ScatterPlot), varianta 2.



Obr. 25: Vizualizace S ze souboru Teleso_3D_grid_hodnoty.dat (ScatterPlot), varianta 2.

Vizualizace v prostředí programu MOVE

Vzhledem k tomu, že strukturálně geologický model ložiska grafitu vznikl přímo v prostředí MOVE bylo nezbytné importovat pouze 3D grid hodnot technologických parametrů tělesa grafitu. Vlastní import 3D gridu obsahů C je možný pomocí ASCII dat. Vlastní zobrazení obsahu daného prvku je možné pomocí nastavení velikosti voxelu každé prostorové buňky gridu, nebo pomocí barevné škály, anebo kombinací (obr. 26).



Obr. 26: Vizualizace koncentrace C v prostoru modelované polohy ložiska grafitu.

4. Věrohodnost výsledného modelu

Vzhledem k celkově heterogennímu pokrytí území 3D modelem archivními 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 přítom hustě ovzorkováno.

5. Technické parametry výsledku

Výsledek představuje detailní 3D ložiskově geologický model ložiska grafitu Městský Vrch o rozměrech 382 x 409 x 21 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 je možné vytvářet variantní modely ložiska tohoto a podobných typů. Doplněním nových údajů lze provést rychlé aktualizace modelu a provést přepočítání 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 grafitu. 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 software nejsou schopny výpočet zásob provést.

7. Závěr

3D ložiskově geologický model ložiska grafitu Městský Vrch 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 modelů. 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 [5] 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. (1998): GSLIB – Geostatistical Software Library and User's Guide. Second Edition. New York, Oxford University Press, Oxford, 369 s.
- [2] Faryad, S.W., Perraki, M. & Vrána, S. (2006). P-T evolution and reaction textures in retrogressed eclogites from Svetlík, the Moldanubian Zone (Czech Republic). *Mineralogy and Petrology*, 88, 297–319.
- [3] Franěk, J. - Schulmann, K. - Lexa, O. (2006): Kinematic and rheological model of exhumation of high pressure granulites in the Variscan orogenic root: example of the Blanský les granulite, Bohemian Massif, Czech Republic. – *Mineralogy and Petrology* 86, 3-4, 253-276. ISSN 0930-0708. DOI 10.1007/s00710-005-0114-4
- [4] Franěk, J. - Schulmann, K. - Lexa, O. - Tomek, Č. - Edel, J. (2011): Model of syn-convergent extrusion of orogenic lower crust in the core of the Variscan belt: implications for exhumation of high-pressure rocks in large hot orogens. – *Journal of Metamorphic Geology* 29, January, 53-78. ISSN 0263-4929. DOI 10.1111/j.1525-1314.2010.00903.x
- [5] Grygar, R., Staněk, F., Jelínek, J., Franěk, J., Jarošová, M. (2017): ZPRÁVA O SPLNĚNÍ MILNÍKU WP4/3, část 2. MS, CEEMIR VŠB-TU Ostrava, 104 s
- [6] Janoušek, V., Finger, F., Roberts, M., Frýda, J., Pin, C. & Dolejš, D. (2004). Deciphering the petrogenesis of deeply buried granites: whole-rock geochemical constraints on the origin of largely undepleted felsic granulites from the Moldanubian Zone of the Bohemian Massif. *Transactions of the Royal Society of Edinburgh-Earth Sciences*, 95, 141–159.
- [7] Košler J., Konopásek J., Sláma J., Vrána S. (2014): U–Pb zircon provenance of Moldanubian metasediments in the Bohemian Massif – *Journal of the Geological Society*, 171, 83–95.
- [8] Kröner, A., O'Brien, P.J., Nemchin, A.A. & Pidgeon, R.T. (2000). Zircon ages for high pressure granulites from South Bohemia, Czech Republic, and their connection to Carboniferous high temperature processes. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 138, 127–142.
- [9] O'Brien, P.J. & Vrána, S. (1995). Eclogites with a short-lived granulite facies overprint in the Moldanubian Zone, Czech Republic: petrology, geochemistry and diffusion modelling of garnet zoning. *Geologische Rundschau*, 84, 473–488.
- [10] Petri, B. – Štípská, P. – Skrzypek, E. – Schulmann, K. – Corsini, M. – Franěk, J. (2014): Thermal and mechanical behaviour of the orogenic middle crust during the syn- to late-orogenic evolution of the Variscan root zone, Bohemian Massif. – *Journal of Metamorphic Geology* 32, 6, 599-626. ISSN 0263-4929. DOI 10.1111/jmg.12081
- [11] Remy, N., Boucher, A., Wu, J. (2009): Applied geostatistics with SGeMS: a user's guide. New York: Cambridge University Press, 264 p.
- [12] Tichý, L. et al. (1976): Závěrečná zpráva úkolu Mokrý – Městský vrch - č.ú. 512 031811.- MS Geofond Praha (FZ005542).
- [13] Tichý, L. et al. (1984): Závěrečná zpráva úkolu Český Krumlov - Městský vrch - hloubka - č.ú. 01 80 2302 a Český Krumlov – štola č.ú. 01 80 1136. MS Geofond Praha (FZ006071).
- [14] Tichý, L. et al. (1988): Závěrečná zpráva úkolu Mokrý a okolí - 01 78 2325.- MS Geofond Praha (P 61904).

- [15] Trubač, J. – Janoušek, V. – Vrána, S. – Wiegand, B. (2012): Nature, tectonic setting and likely origin of the Palaeoproterozoic (~2.1 Ga) Světlík orthogneisses (southern Bohemia). In Németh Z: Mineralia Slovaca, svazek 44. s. 110. – Štátny geologický ústav Dionýza Štúra. Bratislava

