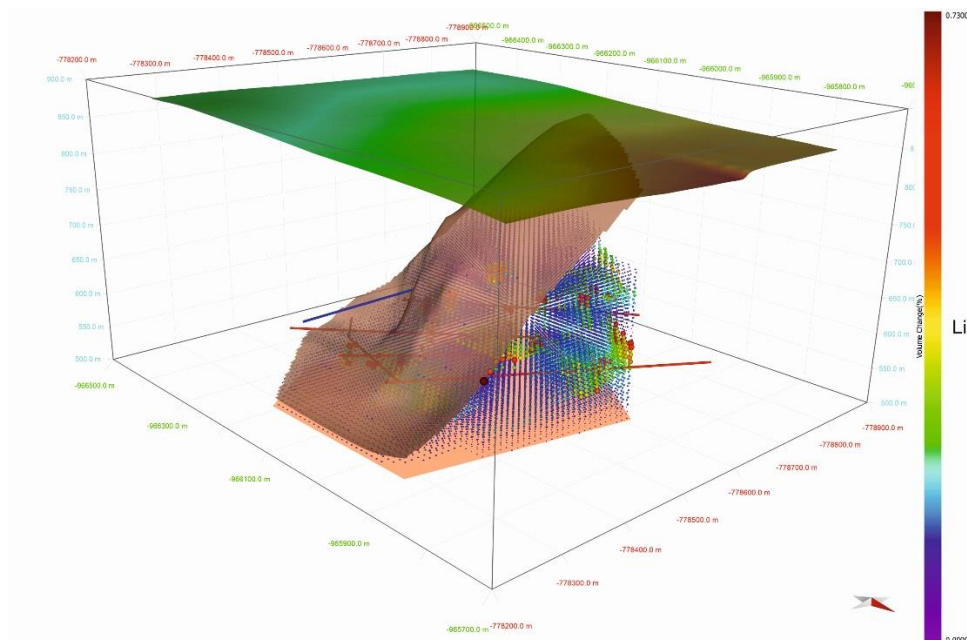


3D ložiskově geologický model Li-Sn-W ložiska Cínovec - východ

Technická zpráva



Jan Jelínek, František Staněk, Radomír Grygar, Jana Staňková

Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava
Česká geologická služba

Praha, srpen 2019

3D ložiskově geologický model Li-Sn-W ložiska Cínovec - 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

Horní indexy u jmen autorů odkazují na výčet institucí výše.

Obsah

1. Úvod	4
2. Geologický popis Li-Sn-W ložiska Cínovec - východ.....	5
3. Metodické postupy tvorby 3D modelu Li-Sn-W ložiska Cínovec - východ.....	7
3.1. Revize všech dostupných archivních materiálů.....	7
3.2. Verifikace a korekce vstupních dat	8
3.3. Výpočet a vizualizace prostorové lokalizace vstupních dat	9
3.4. Vytvoření horizontálních řezů po 10 m v hloubkovém rozsahu od 500 do 700 m n.m.	11
3.5. Modelování tělesa granitu a celkové litologie ložiska.....	12
3.6. Určení distribuce obsahů Li, Sn a W v jednotlivých řezech, transformace do normovaného normálního rozdělení	13
3.7. Geostatistická strukturální analýza (transformovaných) obsahů Li, Sn, W.....	15
3.8. Tvorba 2D gridů (transformovaných) obsahů Li, Sn a W v jednotlivých horizontálních řezech	16
3.9. Zpětné transformace gridů do původních distribucí obsahů Li, Sn, W v jednotlivých horizontálních řezech	16
3.10. Převod transformovaných gridů horizontálních řezů obsahů Li, Sn a W do grd formátu, jejich převedení do 3D gridů a vizualizace řezů ve 2D	18
3.11. Vizualizace obsahů Li, Sn, W ve 3D.....	19
4. Věrohodnost výsledného modelu	24
5. Technické parametry výsledku	25
6. Ekonomické parametry výsledku	26
7. Závěr	27
Literatura.....	28

Seznam obrázků

Obr. 1 Schematická geologická mapa pozice ložiska Cínovec [5].....	5
Obr. 2 Schematický genetický profil ložiskem Cínovec do hloubky 1600m ([6], upraveno).....	6
Obr. 3: Proporcionální zobrazení obsahu Li vzorků v prostředí Voxler.....	8
Obr. 4: Ukázka vizualizace dat převedených do prostředí SGeMS - údaje obsahu Li.....	9
Obr. 5: Ukázka statistického zpracování v prostředí SGeMS - histogramy četností parametrů Li, Sn a W (%) ukazující výraznou asymetrii v distribuci dat a základní statistické charakteristiky.....	9
Obr. 6: Ukázka vybraných dat vertikálního řezu chodbou CH10307V.....	10
Obr. 7: Ukázka vizualizace vertikálního řezu chodbou CH10307V v prostředí Surferu.....	10
Obr. 8: Proporcionální znázornění obsahů Li a stupně mineralizace ve vzorcích. 2D obraz pro horizontální řez na kótě 570 m (těleso granitu je podbarveno, omezeno hnědou linií a obvod ložiska - demarkace je ohraničen fialovým polygonem).....	11
Obr. 9: Ukázka vizualizace dat řezu 570 m převedených do prostředí SGeMS - údaje obsahu Li.....	12
Obr. 10: Proporcionální zobrazení stupně mineralizace v prostředí Voxler.....	13
Obr. 11: 3D pohled na těleso granitu a pozice důlních a průzkumných děl (vrtů) v rámci demarkace ložiska Cínovec Východ s proporcionálním zobrazením obsahu Li v prostředí Voxleru.....	14
Obr. 12: Distribuce obsahů Li v horizontálním řezu 570 m – histogramy četností (vlevo původní distribuce a vpravo transformovaná do normovaného normálního rozdělení).....	15
Obr. 13: Pozice vstupních údajů pro horizontální řezy 550 m (vlevo – 1968 analýz) a 570 m (vpravo – 707 analýz) ukazuje velmi rozdílnou hustotu vzorkování, stejně jako nepravidelnou síť vzorků.....	15
Obr. 14: Srovnání distribucí obsahů Li v horizontálním řezu 570 m – vlevo vstupních hodnot, vpravo hodnot v blocích 10x10 m (gridu) po zpětné transformaci.....	17
Obr. 15: Vizualizace horizontálního řezu 570 m (soubor 570_2D.srf) v prostředí Surferu.....	18
Obr. 16: Prostředí Voxleru se strukturou objektů určených pro 3D vizualizaci.....	19
Obr. 17: 3D vizualizace obsahu Li bloků ložiska pomocí ScatterPlot - řez ClipPlane ve směru osy X.....	20
Obr. 18: 3D vizualizace obsahu Li bloků ložiska pomocí FaceRender – nastavení parametrů pro vertikální řez.....	20
Obr. 19: 3D vizualizace obsahu Li bloků ložiska pomocí ObliqueImage – náhodně nastavená geometrie řezu.....	21
Obr. 20: 3D vizualizace obsahu Li bloků ložiska pomocí VolRender.....	21
Obr. 21: 3D vizualizace obsahu Li bloků ložiska pomocí Isosurface – obálka těles s obsahem 0.3 %.....	22
Obr. 22: 3D vizualizace obsahu Li bloků ložiska pomocí OrthoImage XY, OrthoImage XZ, OrthoImage YZ.....	22
Obr. 23: 3D vizualizace obsahu W ložiska pomocí rozdílné velikosti voxelů a barevné škály.....	23

Seznam elektronických příloh:

Příloha 1: 3D model lokality ve formátu 3D PDF, projekt v MOVE s MoveViewer pro prohlížení projektu a tři obrázky ve formátu JPG zobrazující 3D ložiskově geologický model ložiska Cínovec – východ v podobě koncentrací Li, W a Sn.

Abstrakt

Tato technická zpráva shrnuje dosud známé geologické poznatky využité pro tvorbu detailního 3D ložiskově geologického modelu Li-Sn-W ložiska Cínovec - 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, Li-Sn-W ložisko, kritické komodity EU, Cínovec - východ, Český masiv

Abstract

This technical report summarizes the geological knowledge used for construction of a detailed 3D geological model of Li-Sn-W deposit Cínovec - 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, Li-Sn-W deposit, EU critical commodities, Cínovec - East, Bohemian Massif

1. Úvod

3D ložiskově geologický model Li-Sn-W ložiska Cínovec - 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.

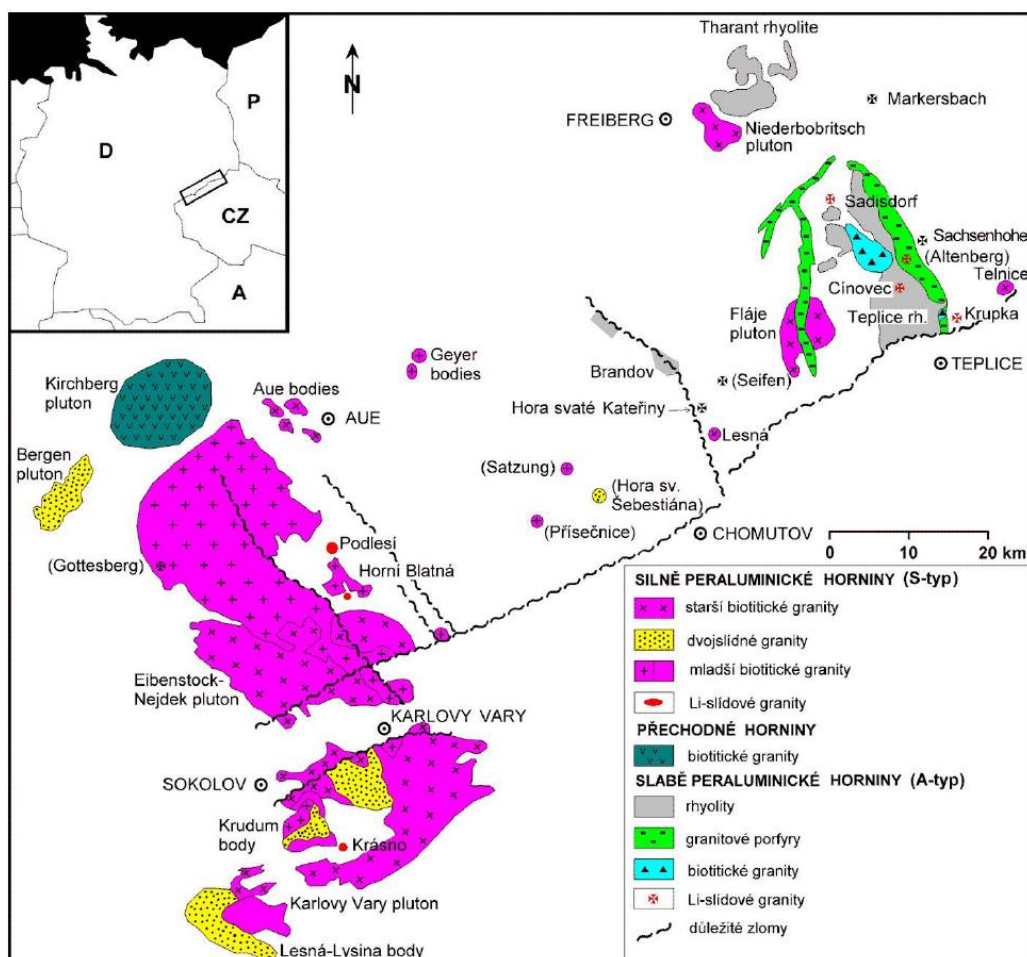
Prostorové modelování ložisek vychází z nutnosti, v rámci dostupných strukturně-geologických, geochemických a ložiskově-technologických parametrů, sestavit co nejvěrnější obraz dané ložiskové struktury a v jejím rámci následně vyhodnotit 3D distribuci konkrétního zrudnění v rámci výrazně heterogenního 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 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 Cínovec – východ, jsou všechny tyto softwary velmi drahé, a pro daná ložiska tedy potenciálně neekonomické.

2. Geologický popis Li-Sn-W ložiska Cínovec - východ

Cínowolframové a lithiové zrudnění v oblasti Cínovce je spjato s elevační formou mělce intruzivní lithnotopazové žuly typu Cínovec. Intruze prostupuje tělesem teplického rhyolitu v elipse protažené podél severojižní osy. Ložisková žulová klenba má délku cca 1500 m (z toho v ČR 1100 m) a šířku max. 400 m (ve střední části je zúžena na 180 m). Styk žulové klenby s rhyolitem je většinou zvýrazněn hrubozrnným pegmatitovým lemem (tzv. stockscheiderem), místy až 4 m mocným. Na obr. 1 je schematická geologická mapa pozice ložiska Cínovec.

Endokontaktní cínowolframová mineralizace je představována dvěma základními typy:

- 1) systém plochých křemenných žil uložených souhlasně s průběhem vrchlíkové partie klenby, výjimečně i žil strmých - hlavní objekt historické těžby (bývalé ložisko Cínovec-starý závod);
- 2) zrudněné greisenové polohy a tělesa v podloží klasického žilného systému a v jeho hloubkovém pokračování (Cínovec-jih, Cínovec-východ), případně tzv. okoložilné greiseny žilného systému.



Obr. 1 Schematická geologická mapa pozice ložiska Cínovec [5].

Lithnotopazové albitické žuly jsou při kontaktech převážně drobnozrnné. Vertikálně přecházejí až do středně zrnitých albitických žul s nepravidelnými polohami syenitového charakteru a šlírovitými partiemi albitů. Lokálně přecházejí také do porfyrického mikrogranitu, který je blízký některým faciím žul typu

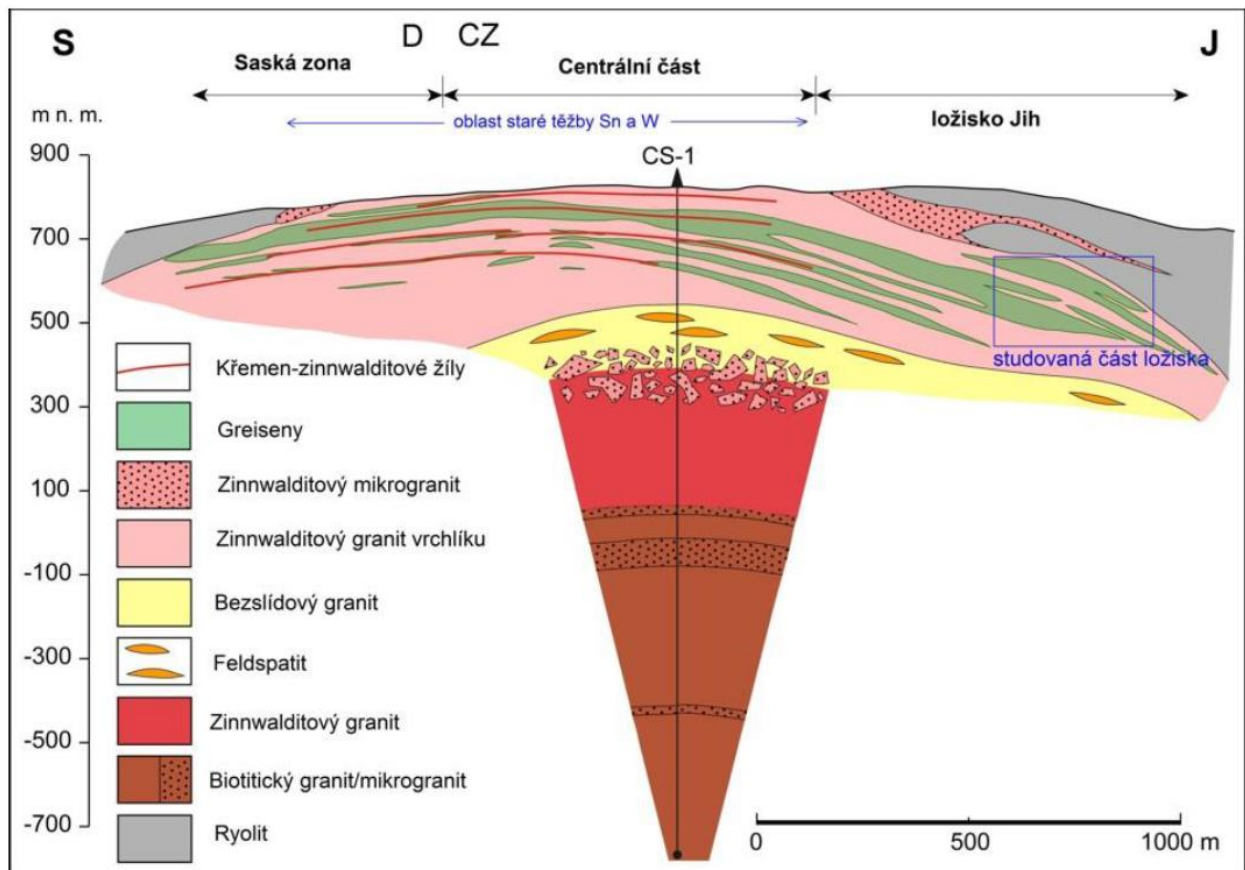
Preiselberg. Hlubší zónu granitů do hloubky 700-750 m tvoří biotitické mikrogranity a středně zrnité granity s biotitem (obr. 2).

Na ložisku Cínovec-východ se podobně jako na přilehlém ložisku Cínovec-jih překrývají látkově a částečně i geneticky odlišné typy Sn-W a Li mineralizace.

Granitové rudy jsou převažujícím typem suroviny. V podstatě jde o více či méně autometamorfované žuly různé zrnitosti se zvýšeným obsahem cinvalditu a nepravidelnou příměsí kasiteritu. Granitové rudy tvoří 88,2 % celkového objemu ložiska.

Greisenové rudy jsou jemně až středně zrnité, s převládajícími rudními složkami kasiteritem a cinvalditem. Wolframová složka (wolframit, scheelit) je výrazně potlačena. V rámci ložiska představují 11,7 % objemu.

Žilné rudy, kam byly schematicky zařazeny všechny ostatní petrografické typy zrudněných hornin (křemenné a feldspatitové žíly, pegmatity aj.). V ložiskovém modelu jsou zastoupeny pouze nepatrně.



Obr. 2 Schematický genetický profil ložiskem Cínovec do hloubky 1600m ([6], upraveno).

3. Metodické postupy tvorby 3D modelu Li-Sn-W ložiska Cínovec - 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) [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. Použité postupy tvorby 3D modelu jsou detailně popsány ve stejnojmenných podkapitolách:

- 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 Vytvoření horizontálních řezů po 10 m v hloubkovém rozsahu od 500 do 700 m n.m.
- 3.5 Modelování tělesa granitu a celkové litologie ložiska.
- 3.6 Určení distribuce obsahů Li, Sn a W v jednotlivých řezech, transformace do normovaného normálního rozdělení.
- 3.7 Geostatistická strukturální analýza (transformovaných) obsahů Li, Sn, W.
- 3.8 Tvorba 2D gridů (transformovaných) obsahů Li, Sn, W v horizontálních řezech.
- 3.9 Zpětná transformace gridů do původních distribucí obsahů Li, Sn, W v jednotlivých horizontálních řezech.
- 3.10 Převod transformovaných gridů horizontálních řezů obsahů Li, Sn a W do grd formátu, jejich převedení do 3D gridů a vizualizace řezů ve 2D.
- 3.11 Vizualizace obsahů Li, Sn, W ve 3D.

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 modelů variogramů apod.).

3.1. Revize všech dostupných archivních materiálů

Prostorová data ložiskových vzorků s analýzami Li-Sn-W byla členěna do tří tabulek v prostředí *MS Excel*:

- Geometrické parametry průzkumných děl (celkem 84) s údaji: Název díla, Druh díla, Souřadnice X,Y,Z ústí, Úklon, Azimut, Délka díla, Rok, Signatura.
- Litologické charakteristiky a alterace bočních hornin s údaji (celkem 451): Název díla, Metráž od, Metráž do, Typ, Litologie1, Litologie2, Litologie3, Alterace1, Alterace2, Alterace3.
- Vzorky s obsahy užitečných složek s údaji (celkem 6639): Název díla, Metráž od, Metráž do, Mocnost m, Obsah Sn %, Obsah W %, Obsah Li %.

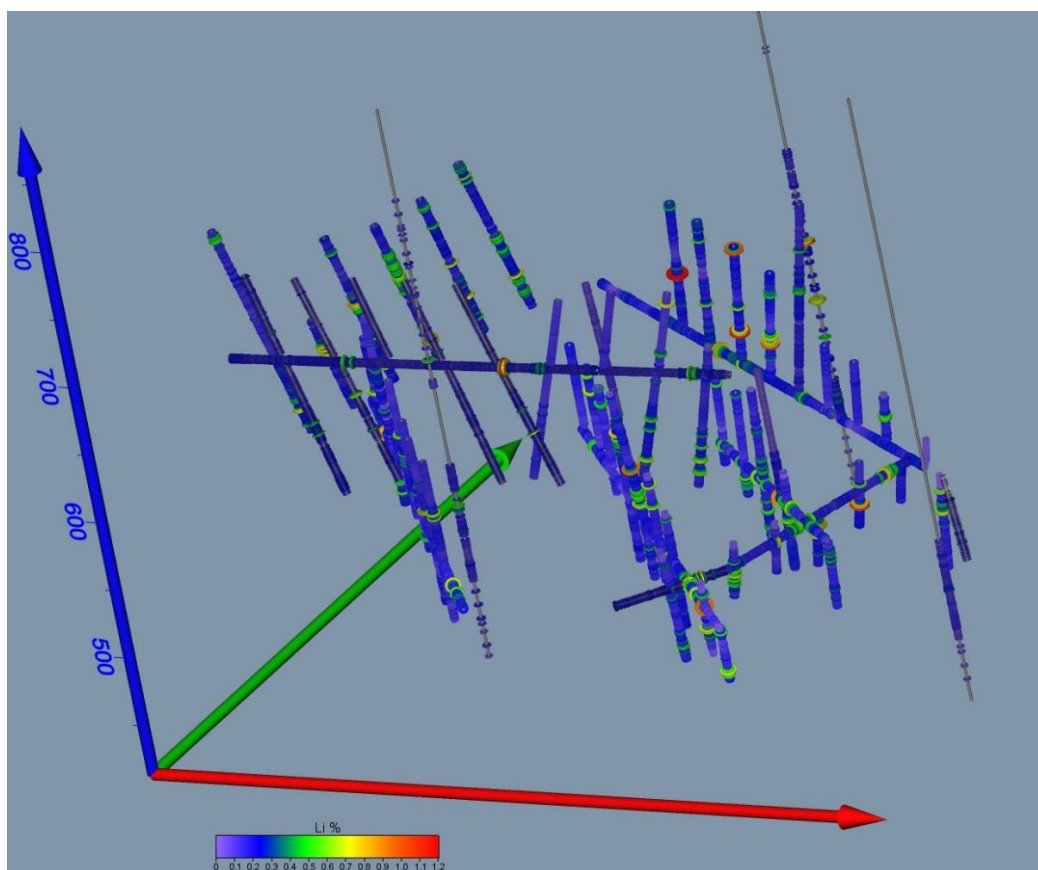
Z archivních materiálů (viz dále) byly doplněny také další údaje z průzkumných děl z blízkého okolí ložiska, které je třeba brát v úvahu při vytváření modelu (díla 20350, 20355, 20359, 20360, 20361, 20362, 20366, 20368, 20370, 10017 a 10018).

Zdrojem údajů a informací pro jejich kontrolu byly především dostupné archivní materiály o lokalitě Cínovec z archivu Geofondu ([1] až [4]). Z naskenovaných podkladových zpráv (cca 3 tisíce stran dokumentů) byly mj. vybrány prostorově příslušné horizontální a vertikální řezy pro ložisko Cínovec - východ.

3.2. Verifikace a korekce vstupních dat

Verifikace vstupních dat byla prováděna konfrontací s archivními materiály, s pomocí několika kontrolních maker [9] a také s pomocí vizualizace (ve 2D a ve 3D) a srovnáním s příslušnými archivními horizontálními a vertikálními řezy (viz 3.1). Přitom bylo zjištěno značné množství chyb, které byly způsobeny nejen překlepy souvisejícími s digitalizací archivních podkladů. Velký počet chyb byl zjištěn také v původní důlně-geologické dokumentaci. Chybné údaje byly v maximální možné míře opraveny.

Opravené doplněné údaje průzkumných děl (celkem 94) byly převedeny do tabulky *Collars*, opravené doplněné údaje vzorků s obsahy užitečných složek jednotlivých průzkumných děl (celkem 7676) byly převedeny do tabulky *Samples*. Údaje z tabulek *Collars* a *Samples* lze pro vizuální kontrolu vykreslit také v 3D v prostředí *Voxler* (obr. 3).

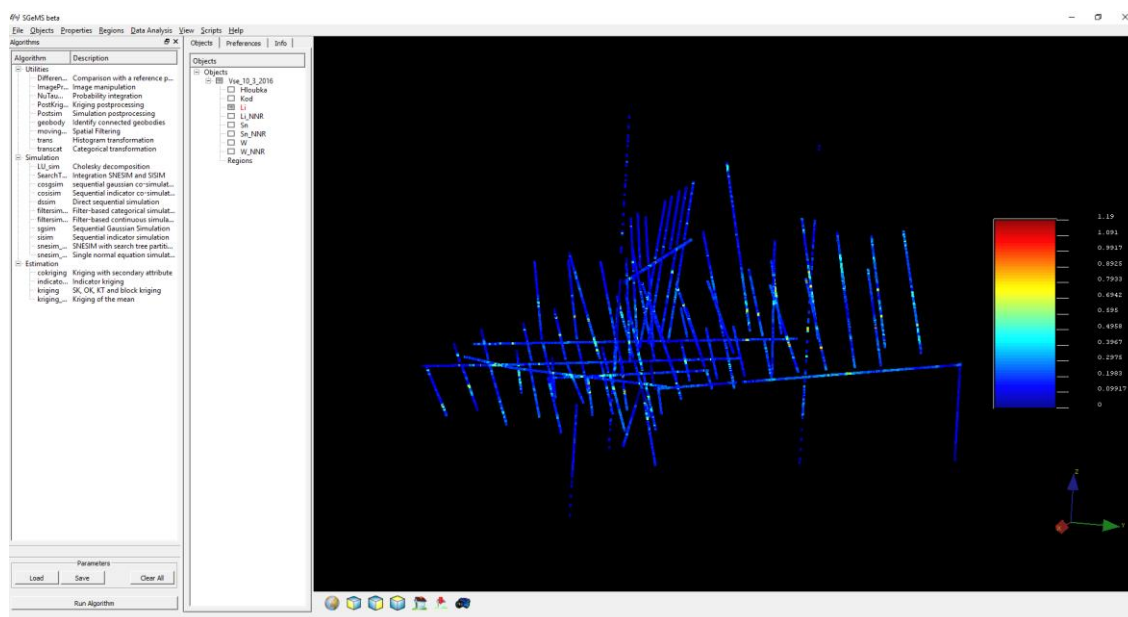


Obr. 3: Proporcionální zobrazení obsahu Li vzorků v prostředí *Voxler*.

Údaje o litologických charakteristikách a alteracích hornin slouží především pro modelování tvaru tělesa mineralizace (viz část 3.5). Opravené doplněné údaje úseků (celkem 704) byly převedeny do tabulky *Lithology*. Bylo vytvořeno makro *Dopn_kod_lit2* [9] pro určení stupně mineralizace v průzkumných dílech v prostoru tak, aby bylo možno modelovat morfologii ložiskového tělesa.

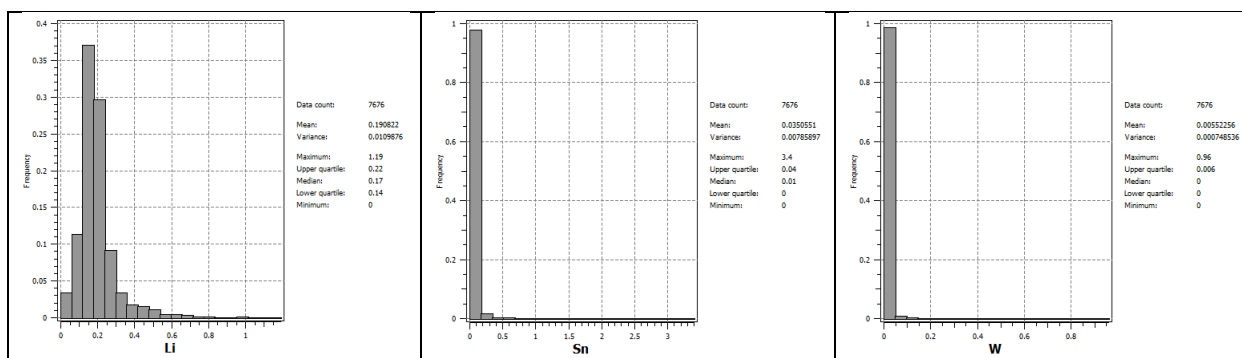
3.3. Výpočet a vizualizace prostorové lokalizace vstupních dat

Opravené a doplněné vstupní údaje (geometrické parametry průzkumných děl, litologické charakteristiky a alterace bočních hornin a vzorky s obsahy užitečných složek) byly s pomocí speciálně vytvořeného makra *XYZ_data* [9] prostorově lokalizovány ve středu každého vzorku. Makro tyto údaje uloží do tabulky *Analyzy_s_lit* a zároveň také do textového souboru pro vstup do programu *Voxler*. Další makro *Litologie_do_analyz* [9] doplní do tabulky *Analyzy_s_lit* údaje o litologii z tabulky *Lithology*. Tabulka *Analyzy_s_lit* je zdrojem údajů pro další zpracování: pro výběr dat pro tvorbu horizontálních a vertikálních řezů, pro statistické a geostatistické analýzy, vizualizaci ve 2D a 3D aj.



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

Další makro *GSLIB_vystup* [9] provádí převod potřebných údajů z tabulky *Analyzy_s_lit* do formátu GSLIB [9] pro zpracování v programu *SGeMS*. Po jeho načtení do prostředí *SGeMS* lze tyto údaje vizualizovat (obr. 4), provádět základní statistické rozbory (obr. 5), provést transformaci zešikmených dat do normovaného normálního rozdělení (viz část 3.6), provést zpětnou transformaci dat z normovaného normálního rozdělení do původní distribuce (viz část 3.9) a případně provádět i jiná geostatistická zpracování.

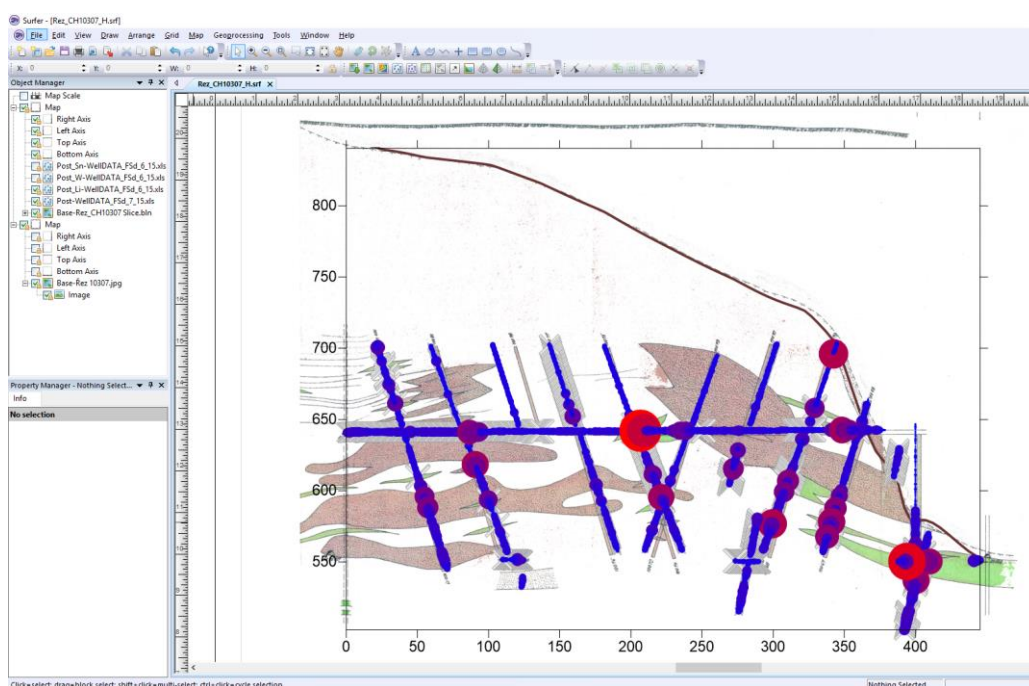


Obr. 5: Ukázka statistického zpracování v prostředí SGeMS - histogramy četností parametrů Li, Sn a W (%) ukazující výraznou asymetrii v distribuci dat a základní statistické charakteristiky.

X	Z	Sn	W	Li	Kod	Typ	ID	Hloubka	Y_vzdal	X_puv	Y_puv	X počátek řezu:	Y počátek řezu:	X konec řezu:	Y konec řezu:	Vzdálenost od řezu (m):
399.752	646.86	0	0	0.04	0	RYO	10066	0.5	2.83E-16	-778447	-966145	-778846.70	-966163.90	-778447.38	-966145.32	10.00
399.752	645.86	0.02	0	0.04	0	RYO	10066	1.5	2.83E-16	-778447	-966145					
399.752	644.86	0.01	0	0.05	0	RYO	10066	2.5	2.83E-16	-778447	-966145					
399.752	643.86	0	0	0.04	0	RYO	10066	3.5	2.83E-16	-778447	-966145					
399.752	642.86	0	0	0.03	0	RYO	10066	4.5	2.83E-16	-778447	-966145					
399.752	641.86	0.03	0	0.03	0	RYO	10066	5.5	2.83E-16	-778447	-966145					
399.752	640.86	0	0	0.03	0	RYO	10066	6.5	2.83E-16	-778447	-966145					
399.752	639.86	0.04	0	0.03	0	RYO	10066	7.5	2.83E-16	-778447	-966145					
399.752	638.86	0.01	0	0.03	0	RYO	10066	8.5	2.83E-16	-778447	-966145					
399.752	637.86	0.02	0	0.03	0	RYO	10066	9.5	2.83E-16	-778447	-966145					
399.752	636.86	0.01	0	0.04	0	RYO	10066	10.5	2.83E-16	-778447	-966145					
399.752	635.86	0	0	0.05	0	RYO	10066	11.5	2.83E-16	-778447	-966145					
399.752	634.86	0.04	0	0.04	0	RYO	10066	12.5	2.83E-16	-778447	-966145					
399.752	633.86	0.01	0	0.03	0	RYO	10066	13.5	2.83E-16	-778447	-966145					

Obr. 6: Ukázka vybraných dat vertikálního řezu chodbou CH10307V.

Pro srovnání vstupních údajů s archivními vertikálními řezy (i takto byly zjišťovány potenciální chybné údaje při verifikaci dat) a také pro modelování tělesa granitu (část 3.5) bylo nutné pro tyto řезы vybírat údaje z tabulky *Analyzy_s_lit*. Pro výběr dat do vertikálního řezu bylo vytvořeno makro *Rez* [9], kdy po zadání X a Y souřadnic počátku a konce řezu a maximální vzdálenosti od řezu pro výběr dat se vytvoří nový list *Excelu* obsahující vybraná data řezu. Na obr. 6 je část tabulky dat vertikálního řezu chodbou CH10307V s daty do vzdálenosti ± 10 m od řezu. Na obr. 7 je ukázka vizualizace vertikálního řezu chodbou CH10307V s proporčním zobrazením obsahu Li ve vzorcích (kružnice), proporčním zobrazením stupně mineralizace (šedé křížky), interpretované hranice granitu (hnědá křivka) ve srovnání s archivním řezem v prostředí *Surferu*.



Obr. 7: Ukázka vizualizace vertikálního řezu chodbou CH10307V v prostředí *Surferu*.

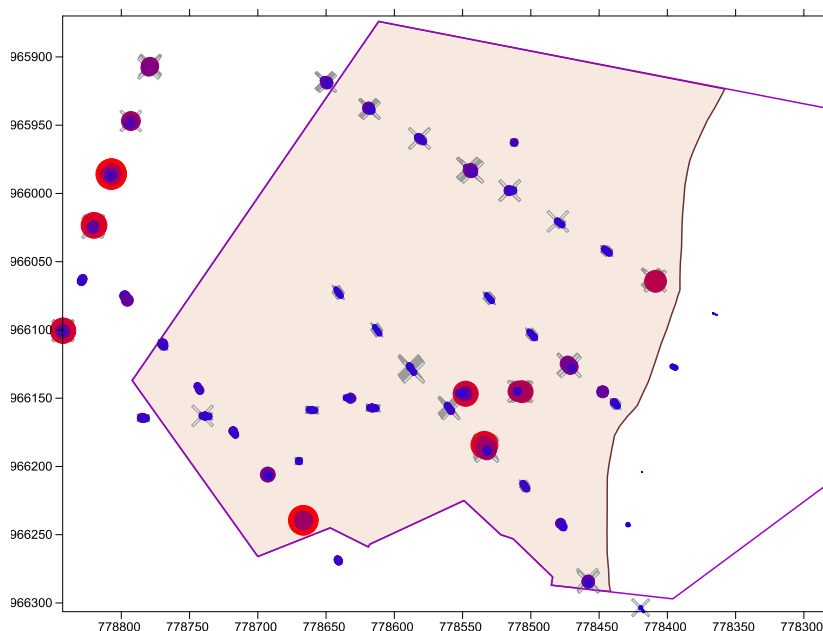
Podobně bylo pro výběr dat z tabulky *Analyzy_s_lit* do horizontálního řezu vytvořeno makro *Rez_Hor* [9], které po zadání výšky řezu a maximální vzdálenosti od řezu pro výběr dat vytvoří nový list *Excelu* obsahující vybraná data řezu.

3.4. Vytvoření horizontálních řezů po 10 m v hloubkovém rozsahu od 500 do 700 m n.m.

Vzhledem k prostorovému rozmístění a množství vstupních dat bylo dohodnuto, že modelování bude probíhat postupně ve 21 horizontálních řezech po 10 m od 500 do 700 m.n.m s hloubkovým přesahem výběru dat od řezu ± 7.5 m od nadmořské výšky řezu z důvodu zachování návaznosti horizontálních řezů v prostoru. Při odlišném prostorovém rozmístění a množství vstupních dat lze ale obecně tyto parametry volitelně upravit.

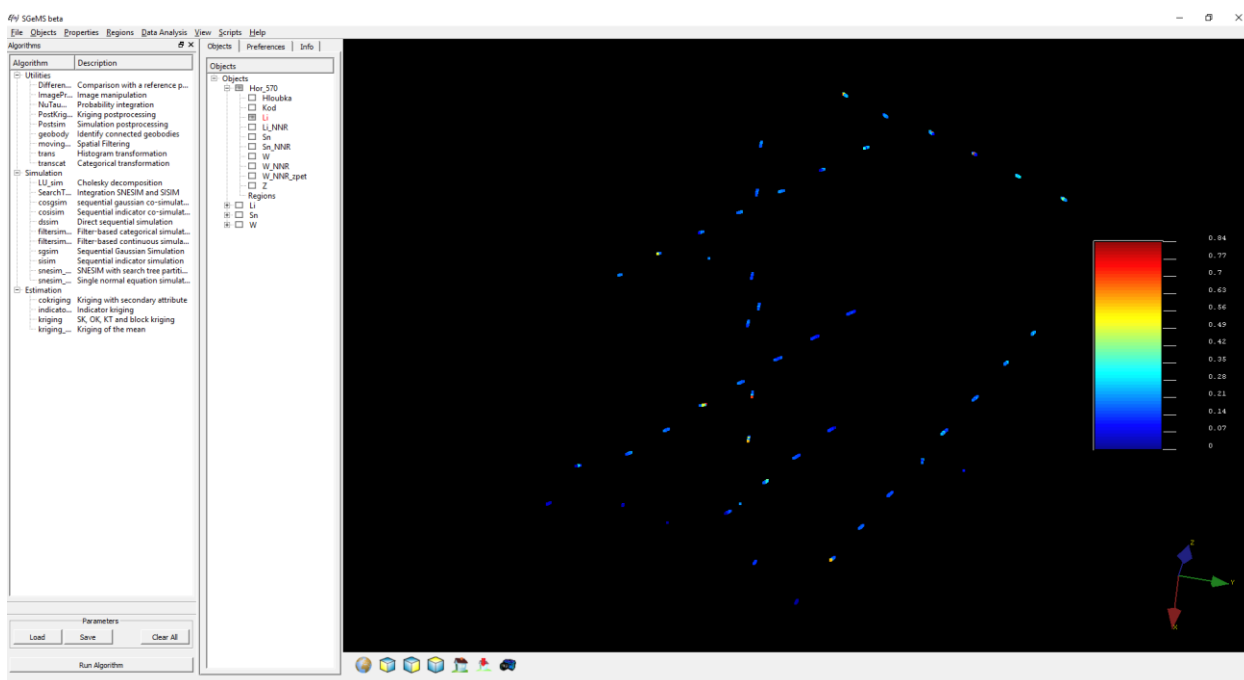
S pomocí dalšího makra *Rezy_hor_krok* [9] je možné provést najednou výběry dat z tabulky *Analyzy_s_lit* do samostatných listů *Excelu* od zadané počáteční nadmořské výšky (v našem případě 500 m) se zadaným krokem (v našem případě 10 m), počtem řezů (v našem případě 21) a zadaným hloubkovým přesahem od řezu (v našem případě 7.5 m).

Ve všech těchto 21 řezech jsou v prostředí Surferu proporcionálně znázorněny obsahy Li, Sn a W a kód stupně mineralizace ve vzorcích (především za účelem modelování tělesa granitu - viz dále v kapitole 3.5). Na obr. 8 jsou v řezu 570 m.n.m. proporcionálně zobrazeny obsah Li (kolečka) a kód stupně mineralizace (křížky) ve vzorcích.



Obr. 8: Proporcionalní znázornění obsahů Li a stupně mineralizace ve vzorcích. 2D obraz pro horizontální řez na kótě 570 m (těleso granitu je podbarveno, omezeno hnědou linií a obvod ložiska - demarkace je ohraničen fialovým polygonem).

Speciální makro *GSLIB_vystup_Hor* [9] provádí najednou převod potřebných údajů jednotlivých horizontálních řezů do formátu *GSLIB* [7] z příslušných listů *Excelu* od zadané počáteční nadmořské výšky (v našem případě 500 m) se zadaným krokem (v našem případě 10 m) a počtem řezů (v našem případě 21) pro zpracování těchto řezů v programu *SGeMS*. Po jejich načtení (v našem případě postupně všech 21 řezů) do prostředí *SGeMS* lze tyto údaje vizualizovat (obr. 9), provádět základní statistické rozborů, provádět transformace zešikmených dat do normovaného normálního rozdělení (viz část 3.6), provádět zpětné transformace dat z normovaného normálního rozdělení do původní distribuce (viz část 3.9) a případně provádět i jiná geostatistická zpracování.



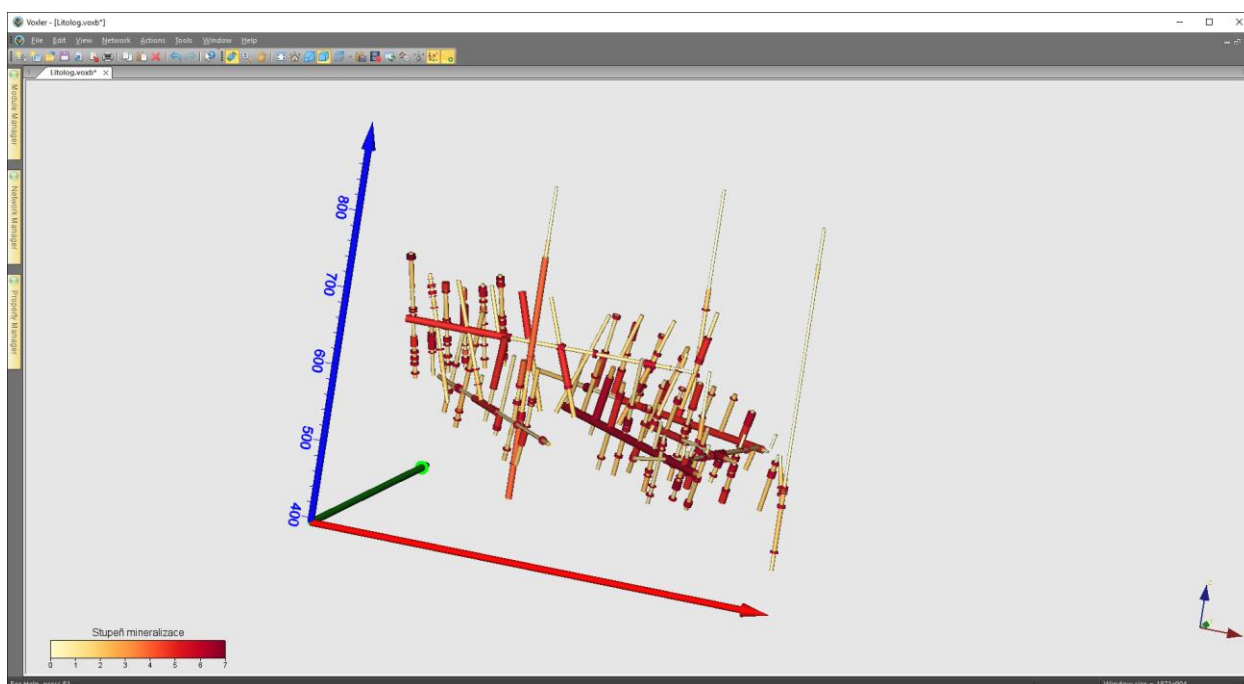
Obr. 9: Ukázka vizualizace dat řezu 570 m převedených do prostředí SGeMS - údaje obsahu Li.

3.5. Modelování tělesa granitu a celkové litologie ložiska

Modelování tělesa granitu vychází z poznatků pracovního balíčku WP3, studia archivních zpráv [1-4] a databáze poskytnuté Geofondem ČGS. Tvar celého cínoveckého masivu byl relativně dobře prozkoumán dřívějšími průzkumnými pracemi, především vrtným a částečně také důlním průzkumem [4]. Obecně lze morfologii tělesa popsat jako protáhlou zaoblenou kopuli ve směru S-J, což je v souladu s geologickým vývojem oblasti [4]. Proměnlivý je úklon okraje masivu s okolním teplickým křemenným porfyrem. Vlastní elevace je tvořena především středně zrnitou žulou a prostoupena řadou křemenných žil. Greiseny se v granitu vyskytují jednak jako nepravidelná tělesa a jednak jako lemy kolem křemenných žil. Na první typ je vázáno především Li zrudnění, na druhý typ také Sn a W zrudnění [2,3,4]. Z toho plyne, že litologické rozhraní mezi granitem a teplickým křemenným porfyrem je v zájmové oblasti limitní okrajovou hranicí. Proto bylo nezbytné modelovat toto těleso granitu (hranici dosahu zrudnění) co nejpřesněji.

Proces modelování granitového tělesa byl prováděn v krocích a opakovaně. Na počátku byl vytvořen pouze orientační model, který vycházel především z vrtných záznamů získaných z databáze Geofondu, geologických map chodeb obou důlních pater [2], strukturních map obou důlních pater [3] a geologických řezů [2, 3] vedených podél důlních chodeb jednotlivých pater. Hranice dosahu granitu byla z těchto řezů digitalizována. Podobně byla digitalizována hranice dosahu granitu I. i II. důlního patra. Pro vymodelování granitu na povrchu byla použita geologická povrchová mapa s vrstevnicovým plánem, který byl pro oblast granitu digitalizován [4]. Použitá data si ovšem navzájem v mnohých místech odporovala. Nejednalo se pouze o dosah svahu granitu pro jednotlivé horizontální úrovně, ale především vrtná databáze byla zatížena několikanásobnými chybami. Vzhledem k tomu bylo nezbytné data v databázi opravit pomocí studia původní archivní dokumentace. Z vrtných záznamů byly opraveny nejen průběhy vrtů, ale také jejich označení, pozice atd. Takto opravená databáze posloužila k vytvoření nového tělesa granitu.

V dalším kroku se přistoupilo k modelování vnitřních litologických rozhraní – greisenových těles. Byl vytvořen litologický model založený na předpokladu, že především Sn a W zrudnění je vázáno na tělesa greisenu. Klíčem k modelu bylo ocenění litologických záznamů jednotlivých vrtů v tabulce Lithology. Bylo vytvořeno další makro pro „oceňování“ těchto záznamů – stupeň mineralizace (obr. 10).



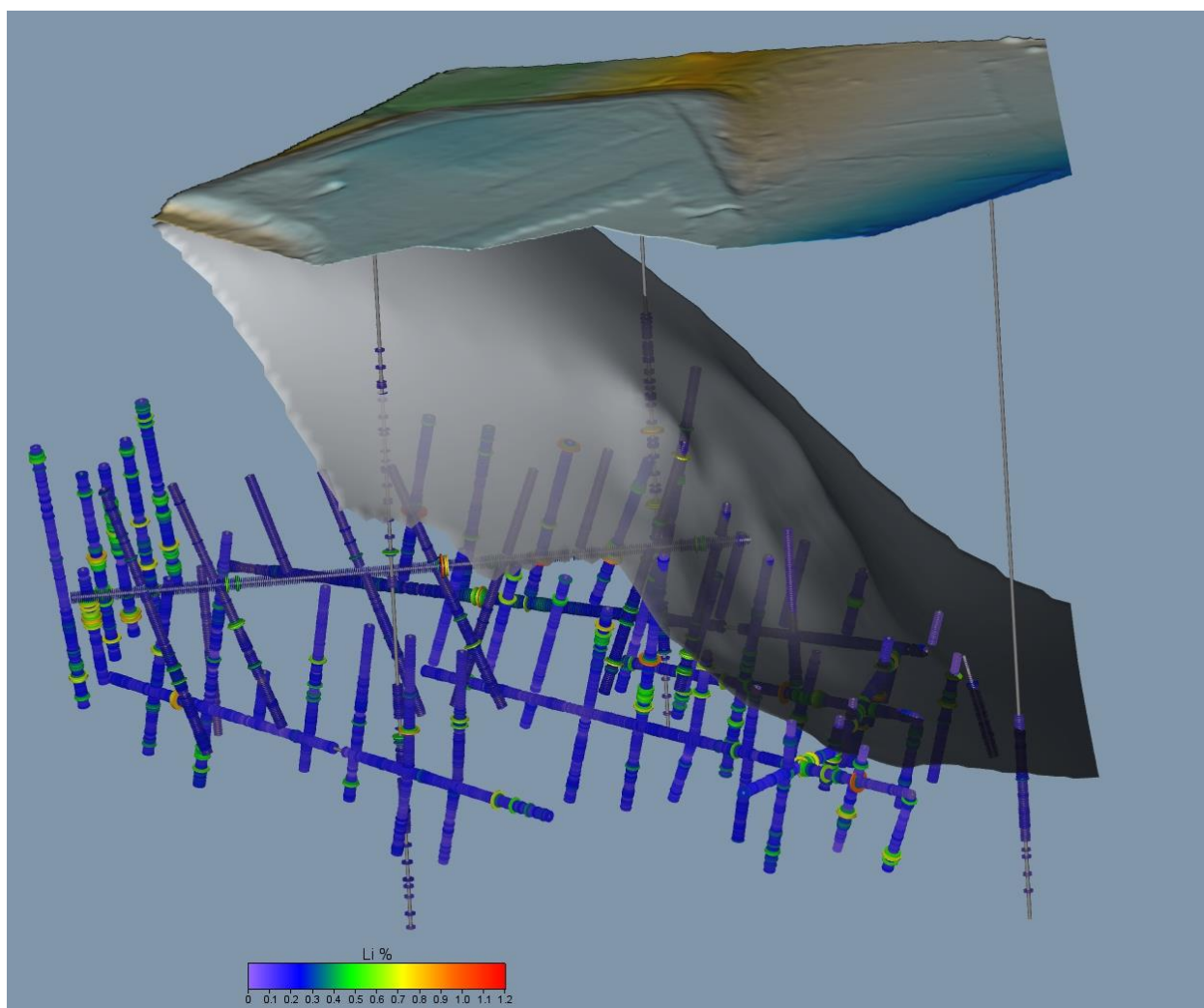
Obr. 10: Proporcionální zobrazení stupně mineralizace v prostředí Voxler.

Výsledný model granitu (obr. 11) vznikl spojením tří různých gridů. Zvolený postup vytvořit model ze tří gridů byl nezbytný vzhledem k rozdílné hustotě vstupních dat. Pro oblast výstupu granitu na povrch (červený polygon) byla hustota vstupních bodů jiná než pro oblast svahu granitu (východní část zájmového území) a zcela jiná pro prostor mezi těmito oblastmi, kde data prakticky chyběla. Vzhledem k tomu bylo nezbytné vybrat pro jednotlivé dílčí části různé interpolační metody a různě je nastavit pro výpočet. Vzniklé dílčí části byly následně spojeny v jeden grid. Výsledný model tělesa granitu je tedy spojkou tří různě modelovaných gridů. Nový model tělesa granitu (obr. 11) byl následně v horizontálním směru oříznut zájmovým polygonem a ve vertikálním směru hodnotou 700 a 500 m.

Proces modelování granitového tělesa je podrobně popsán v [9].

3.6. Určení distribuce obsahů Li, Sn a W v jednotlivých řezech, transformace do normovaného normálního rozdělení

Jednou ze základních úloh statistického rozboru i volby dalších metod zpracování je studium charakteru statistické distribuce. Jen na základě správného popisu distribuce lze odhadnout statistické charakteristiky a realizovat další zpracování. Je známým faktem, že empirické distribuce většiny veličin popisujících geologická tělesa nevyhovují běžně uvažovanému normálnímu rozdělení, ale že mají distribuci asymetrickou (převážně kladně). Přitom je ale normální distribuce základní podmínkou použití mnoha dalších matematických postupů. Bez správného přístupu k „zešikmeným“ datům není možné dělat například geostatistické analýzy a odhady, neboť nejlepší lineární odhad je ten, který je získaný z experimentálních hodnot, řídicích se normálním Gaussovým rozdělením [13].

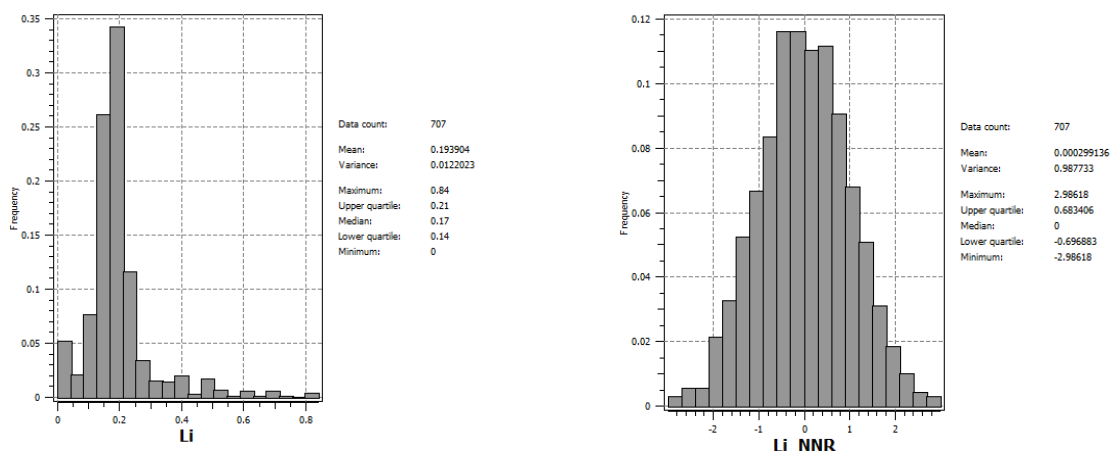


Obr. 11: 3D pohled na těleso granitu a pozice důlních a průzkumných děl (vrtů) v rámci demarkace ložiska Cínovec Východ s proporčním zobrazením obsahu Li v prostředí Voxleru.

V případě, že vstupní soubor dat nevyhovuje normální distribuci, lze provést tzv. kvantilovou (grafickou) transformaci vstupního souboru tak, že výsledný soubor má normované normální rozdělení (se střední hodnotou nula a směrodatnou odchylkou 1, dále NNR) [14]. Tuto transformaci realizuje například program *NSCORE* v geostatistickém toolboxu *GSLIB* [7] nebo utilita *Trans* programu *SGeMS* [11].

Vizualizace distribucí obsahů Li, Sn, W a určení základních statistických charakteristik v jednotlivých řezech ukazují značné kladné zešikmení. Proto je nezbytná transformace do NNR, která je prováděna v prostředí *SGeMS* utilitou *Trans*. Následně se provede interpolace transformovaných dat v pravidelné síti bodů (gridu) vybranou interpolační metodou (viz 3.8) a hodnoty gridu jsou pak programově zpětně transformovány opět utilitou *Trans* do původní distribuce (viz 3.9).

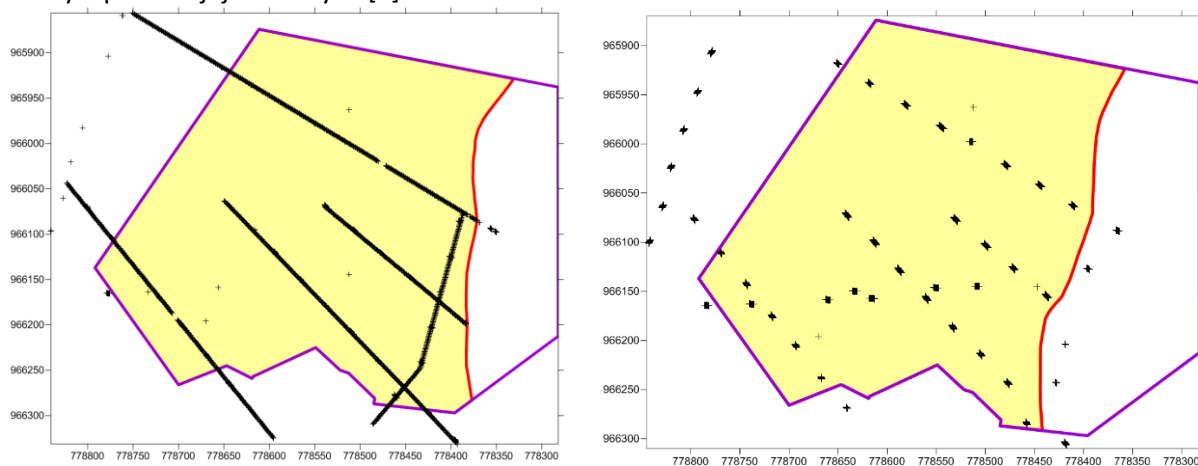
Na obr. 12 je zobrazena distribuce hodnot obsahů Li spolu se základními statistickými charakteristikami – vlevo původní distribuce a vpravo transformovaná do NNR.



Obr. 12: Distribuce obsahů Li v horizontálním řezu 570 m – histogramy četností (vlevo původní distribuce a vpravo transformovaná do normovaného normálního rozdělení).

3.7. Geostatistická strukturální analýza (transformovaných) obsahů Li, Sn, W

Úkoly analýzy struktury pole pro potřeby modelování komplexně řeší geostatistická strukturální analýza analýzou variogramů, které v sobě obsahují všechny potřebné strukturální informace. Cílem geostatistické strukturální analýzy je pomocí studia variogramů popsat kontinuitu, homogenitu, stacionaritu a anizotropii pole. K tomu je potřeba určit experimentální variogramy, vybrat odpovídající teoretické modely a provést jejich analýzu [8].



Obr. 13: Pozice vstupních údajů pro horizontální řezy 550 m (vlevo – 1968 analýz) a 570 m (vpravo – 707 analýz) ukazuje velmi rozdílnou hustotu vzorkování, stejně jako nepravidelnou síť vzorků.

Za tímto účelem je nutné provést zpracování variogramů – tzv. variografie (transformovaných) obsahů Li, Sn, W v jednotlivých řezech. Zásadní je přitom určení anizotropie pro jednotlivé prvky [10]. Na výsledky strukturální analýzy má velký vliv rozmístění průzkumných bodů, přičemž je nejvhodnější pravidelná síť. Na obr. 13 jsou zobrazeny pozice vstupních údajů pro horizontální řezy 550 m (vlevo – 1968 analýz) a 570 m (vpravo – 707 analýz). Obrázek ukazuje velmi rozdílnou hustotu vzorkování, stejně jako nepravidelnou síť vzorků, která zkrsluje zvláště v případě vzorkování chodeb v horizontálním řezu 550 m (2. patro) výsledky variografie.

Ukázalo se však, že výsledky geostatistické strukturální analýzy do NNR transformovaných obsahů Li, Sn, W v jednotlivých horizontálních řezech (a také odpovídající teoretické variogramy) se v důsledku nedostatečného množství údajů a také nevhodného rozmístění liší. Tady jsou dvě možné cesty řešení:

1. Respektovat výsledky strukturální analýzy v jednotlivých řezech a aplikovat pro interpolaci obsahů Li, Sn, W (transformovaných do NNR) v každém řezu jiné teoretické modely variogramů, tak jak byly vyhodnoceny zvláště v každém horizontálním řezu.
2. Uplatnit jednotné teoretické modely variogramů pro všech 21 horizontálních řezů ložiska.

Obě cesty jsou řešitelné námi vyvinutým software (program *GridNNR* – viz dále). Při tvorbě 3D ložiskově geologického modelu jsme zvolili 2. způsob řešení. Za tímto účelem byla zpracována studie [12], ze které vyplývají závěry pro teoretické modely variogramů do NNR transformovaných obsahů Li, Sn, W [9].

3.8. Tvorba 2D gridů (transformovaných) obsahů Li, Sn a W v jednotlivých horizontálních řezech

Následuje tvorba 2D gridů 10x10 m (transformovaných) obsahů Li, Sn a W v jednotlivých horizontálních řezech v oblasti granitu. Pro interpolaci se využívá blokový kriging [11] využívající strukturální vlastnosti ložiska prostřednictvím teoretických modelů variogramu (viz 3.7). Výhodou je také stanovení krigovacích chyb [11], které v podstatě ukazují věrohodnost stanovení hodnot jednotlivých bloků 10x10 m v řezech. Tuto činnost provádí pro zadané horizontální řezy ve Visual Basicu naprogramovaný program *GridNNR*.

Výsledky blokového krigingu závisí nejen na zvoleném typu modelů variogramu, ale také na nastavení parametrů interpolace, předdefinované hodnoty těchto parametrů jsou obsaženy v inicializačním textovém souboru. Změnami nastavení parametrů interpolace lze tak provádět variantní výpočty.

Výstupy programu *GridNNR*:

- Grd soubory (gridy ve formátu *Surfer*) obsahů Li, Sn a W v NNR distribuci jednotlivých horizontů v oblasti granitového tělesa.
- Ekvivalentní Out textové soubory ve formátu *GSLIB* (pro převod do prostředí *SGeMS*) obsahů Li, Sn a W v NNR distribuci jednotlivých horizontů v oblasti granitového tělesa.
- Grd soubory krigovacích chyb (gridy ve formátu *Surfer*) obsahů Li, Sn a W v NNR distribuci jednotlivých vrstev horizontů v oblasti granitového tělesa.
- Log textové soubory pro načtení Out souborů do prostředí *SGeMS* a zpětnou transformaci do původní distribuce.

Proces tvorby 2D gridů obsahů Li, Sn a W v jednotlivých horizontálních řezech je podrobně popsán v [9].

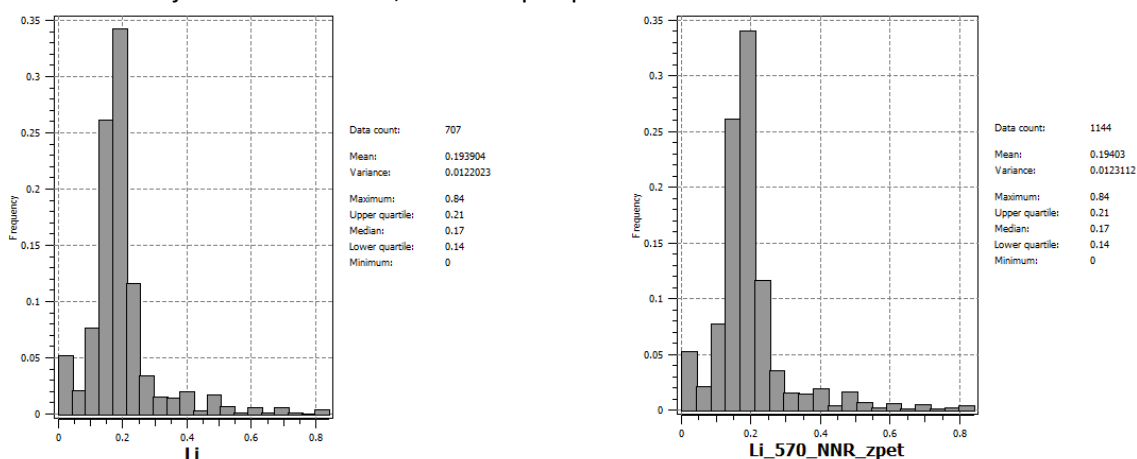
3.9. Zpětné transformace gridů do původních distribucí obsahů Li, Sn, W v jednotlivých horizontálních řezech

Jak bylo popsáno v podkapitole 3.6, je nutno hodnoty gridů v jednotlivých horizontálních řezech programově zpětně transformovat do původní distribuce. K tomu je opět využívána utilita *Trans* programu *SGeMS* [11].

Jak bylo uvedeno v části 3.8, program *GridNNR* generuje pro každý horizontální řez Out textové soubory s hodnotami v NNR a Log textové soubory pro načtení Out souborů do prostředí *SGeMS* a zpětnou transformaci do původní distribuce. Postupně se tak v prostředí *SGeMS* pro jednotlivé horizontální řezy spouští odpovídající Log textové soubory, které pro daný řez XXX provedou:

- vytvoření objektu Li obsahujícího dva podobjekty – Li_XXX_NNR (grid Li řezu XXX v NNR) a Li_XXX_NNR_zpet (grid v původní distribuci Li řezu XXX),
- vytvoření objektu Sn obsahujícího dva objekty – Sn_XXX_NNR (grid Sn řezu XXX v NNR) a Sn_XXX_NNR_zpet (grid v původní distribuci Sn řezu XXX),
- vytvoření objektu W obsahujícího dva objekty – W_XXX_NNR (grid W řezu XXX v NNR) a W_XXX_NNR_zpet (grid v původní distribuci W řezu XXX),
- vytvoření textových souborů ve formátu *GSLIB* - Li_XXX_zpet.out, Sn_XXX_zpet.out a W_XXX_zpet.out pro následný převod těchto gridů do grd formátu *Surferu* (jsou to ekvivalenty objektů Li, Sn a W).

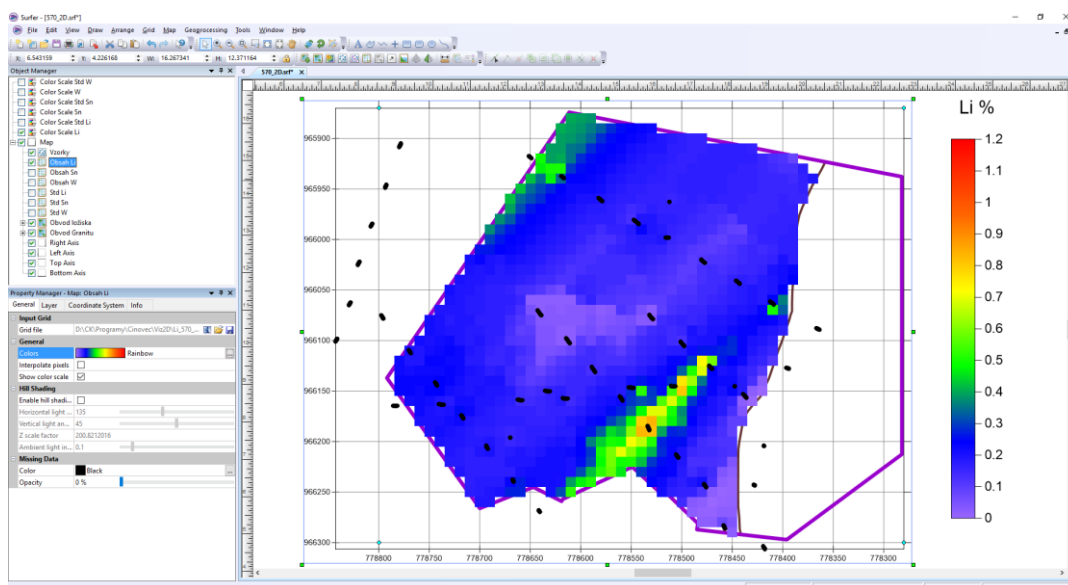
Na obr. 14 je pak srovnání distribucí obsahů Li v horizontálním řezu 570 m – vlevo 707 vstupních hodnot, vpravo hodnot v 1144 blocích 10*10 m (gridu), které by měly být a také jsou velmi podobné. Tím je zaručena stejná distribuce původních hodnot Li, Sn a W a hodnot gridů Li, Sn a W pro všechny řezy. Nemůže tak dojít k nadhodnocení, nebo naopak podhodnocení zásob na ložisku.



Obr. 14: Srovnání distribucí obsahů Li v horizontálním řezu 570 m – vlevo vstupních hodnot, vpravo hodnot v blocích 10x10 m (gridu) po zpětné transformaci.

3.10. Převod transformovaných gridů horizontálních řezů obsahů Li, Sn a W do grd formátu, jejich převedení do 3D gridů a vizualizace řezů ve 2D

Po vytvoření všech gridů 10x10 m obsahů Li, Sn, W v jednotlivých horizontálních řezech (po 10 m od 500 do 700 m.n.m - viz výše) se provede transformace 2D gridů (Li_XXX_zpet.out, Sn_XXX_zpet.out a W_XXX_zpet.out pro XXX = 500, 510, ..., 700) z formátu *GSLIB* do formátu *grd* a zároveň se provede jejich převod do 3D gridů 10x10x10 m ve formě textových souborů Li_3D.dat, Sn_3D.dat, a W_3D.dat tak, aby mohly být načteny do 3D prostředí Voxleru. Tuto činnost provádí pro zadané horizontální řezy ve Visual Basicu naprogramovaný program *Viz2D* - tlačítko „Výpočet gridů 2D, převod do 3D“.



Obr. 15: Vizualizace horizontálního řezu 570 m (soubor 570_2D.srf) v prostředí Surferu.

Program *Viz2D* - tlačítko „Vykreslení 2D map zadaných vrstev“ provádí vizualizaci všech řezů v prostředí *Surfer* (postupně generuje soubory 500_2D.srf, 510_2D.srf, ..., 700_2D.srf). Na obr. 15 je vizualizace jednoho z 21 takto vzniklých horizontálních řezů v prostředí *Surferu*. Zapínáním, případně vypínáním objektů v levém okně lze zobrazit:

- Obsahy Li bloků řezu (objekt Obsah Li)
- Obsahy Sn bloků řezu (objekt Obsah Sn)
- Obsahy W bloků řezu (objekt Obsah W)
- Color Scale Li bloků řezu (objekt Color Scale Li)
- Color Scale Sn bloků řezu (objekt Color Scale Sn)
- Color Scale W bloků řezu (objekt Color Scale W)
- Krigovací chyby (věrohodnost stanovení) Li bloků řezu (objekt Std Li)
- Krigovací chyby (věrohodnost stanovení) Sn bloků řezu (objekt Std Sn)
- Krigovací chyby (věrohodnost stanovení) W bloků řezu (objekt Std W)
- Color Scale Li bloků řezu (objekt Color Scale Std Li)
- Color Scale Sn bloků řezu (objekt Color Scale Std Sn)
- Color Scale W bloků řezu (objekt Color Scale Std W)
- Pozici vzorků v řezu (objekt Vzorky)
- Obvod ložiska – damarkaci (objekt Obvod ložiska)
- Obvod tělesa granitu (objekt Obvod granitu)
- 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.

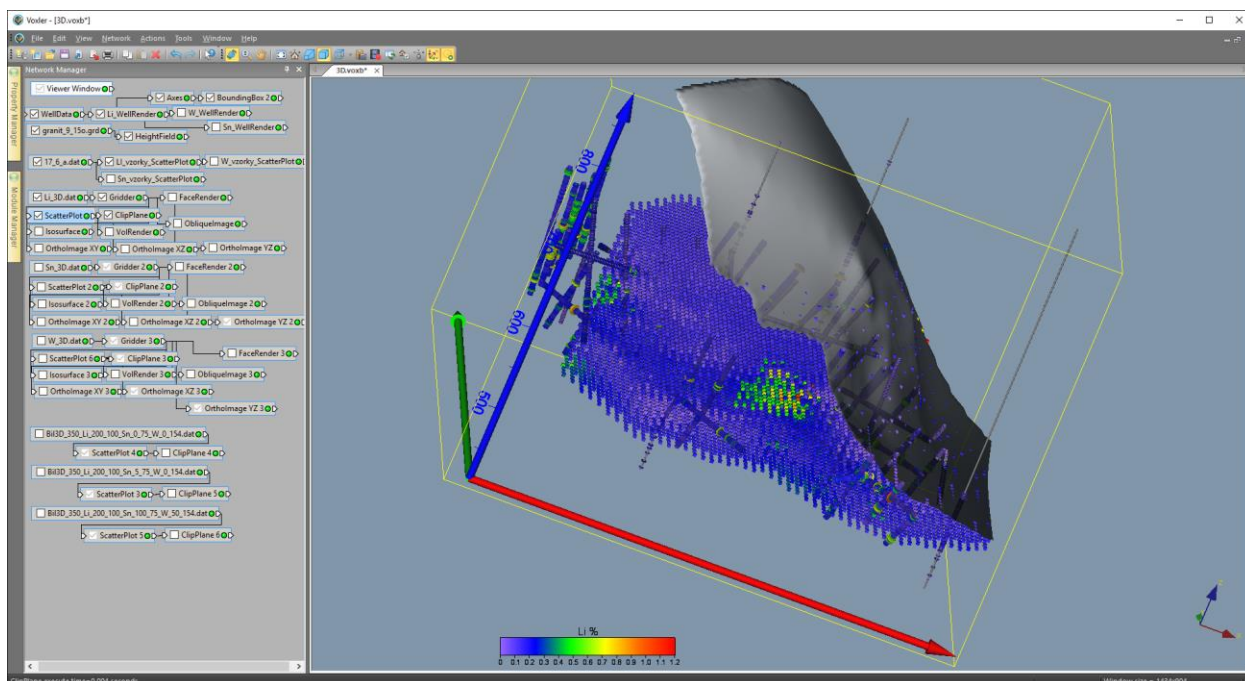
3.11. Vizualizace obsahů Li, Sn, W ve 3D

Vizualizace v prostředí programu Voxler

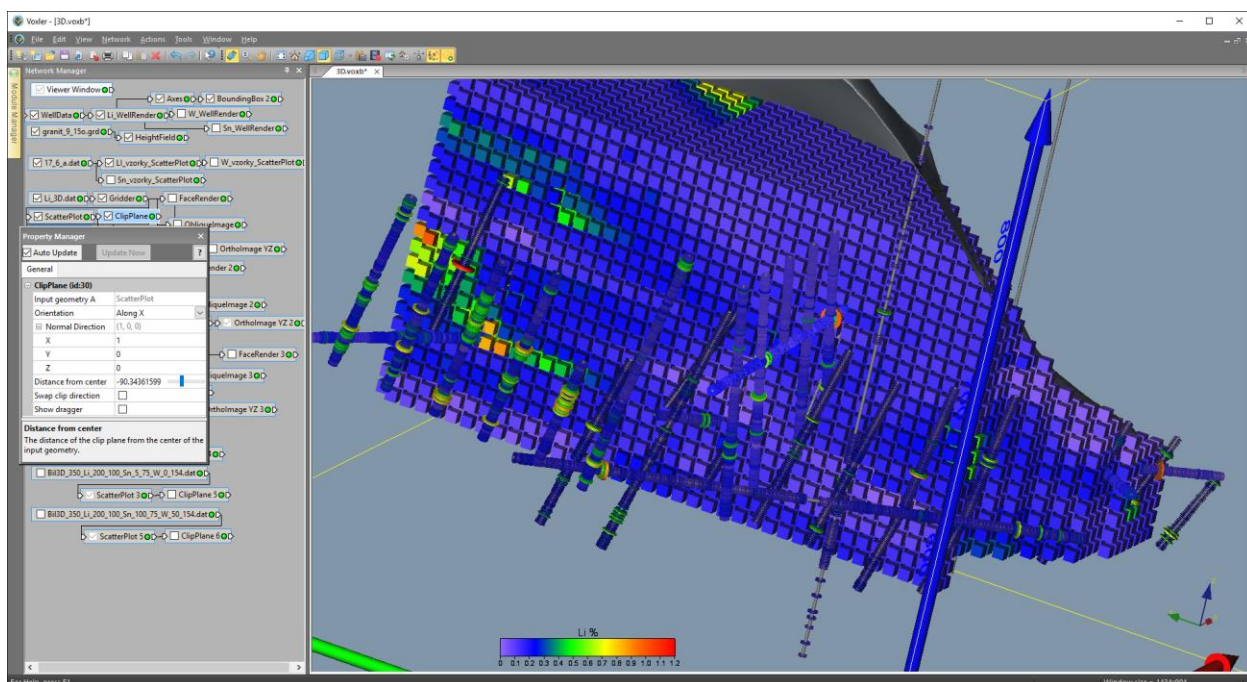
Po importu 3D gridů obsahů Li, Sn, W (viz 3.10, textových souborů Li_3D.dat, Sn_3D.dat, a W_3D.dat) do prostředí programu *Voxler* je možné ložisko vizualizovat ve 3D různým způsobem, v různých projekcích, směrech, rotaci apod. Prostor *Voxleru* je zobrazeno na obr. 16. V okně Network Manager je schéma objektů použitých pro tuto vizualizaci. Datové soubory Li_3D.dat, Sn_3D.dat, a W_3D.dat je nejprve nutno převést do 3D gridu *Voxleru* pomocí objektu *Gridder*. Po zadání geometrie gridu a nastavení vyhledávání se grid vytvoří. Poté lze pro zobrazování 3D gridů obsahů Li, Sn nebo W použít:

- ScatterPlot s možností řezů – ClipPlane (obr. 17),
- FaceRender (obr. 18),
- ObliqueImage (obr. 19),
- VolRender (obr. 20),
- Isosurface (obr. 21),
- OrthoImage XY, OrthoImage XZ, OrthoImage YZ (obr. 22).

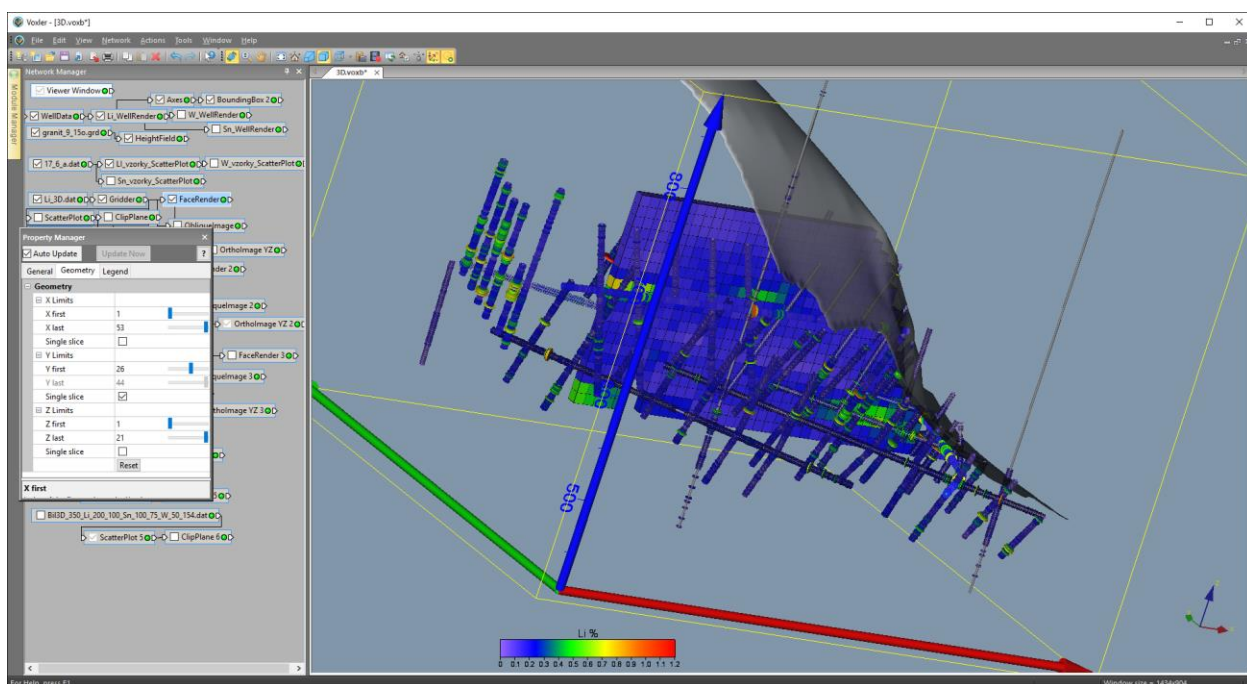
Tyto objekty je možné zapínáním/vypínáním zobrazovat v libovolné kombinaci, případně je možné vytvořit objekty další (například sérii řezů ložiskem pomocí několika objektů OrthoImage). Podobně je možné vizualizovat i obsahy Sn a W 10x10x10 m bloků ložiska.



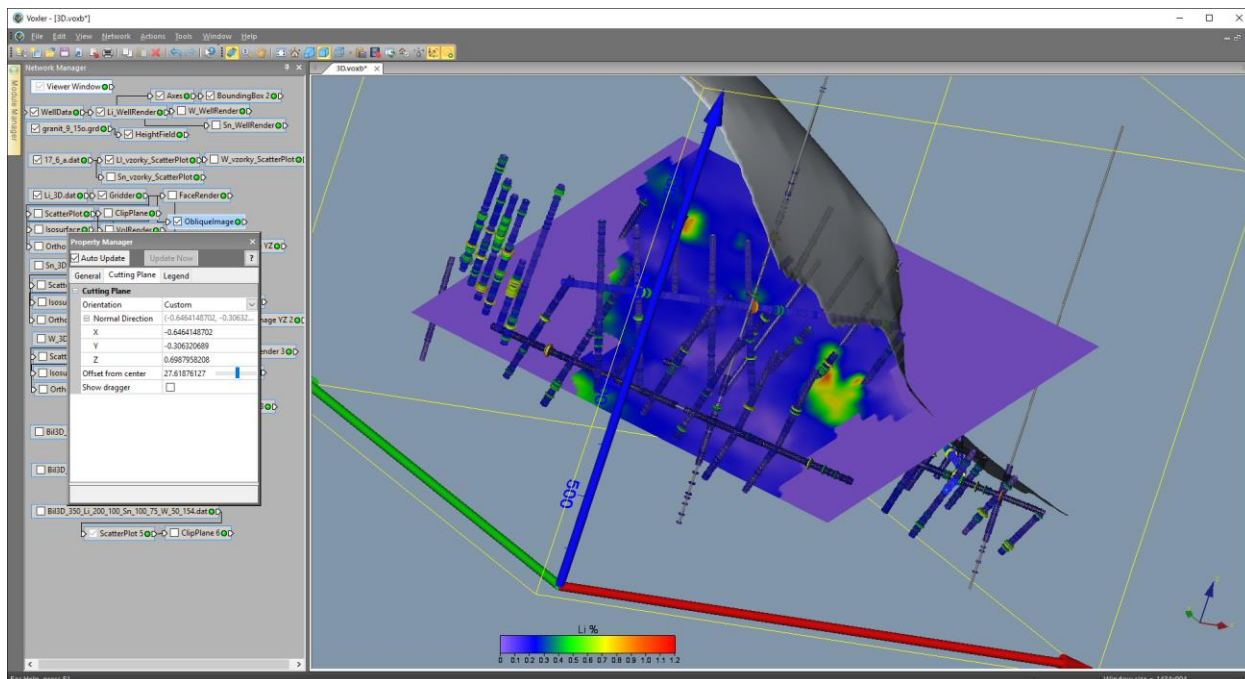
Obr. 16: Prostor *Voxleru* se strukturou objektů určených pro 3D vizualizaci.



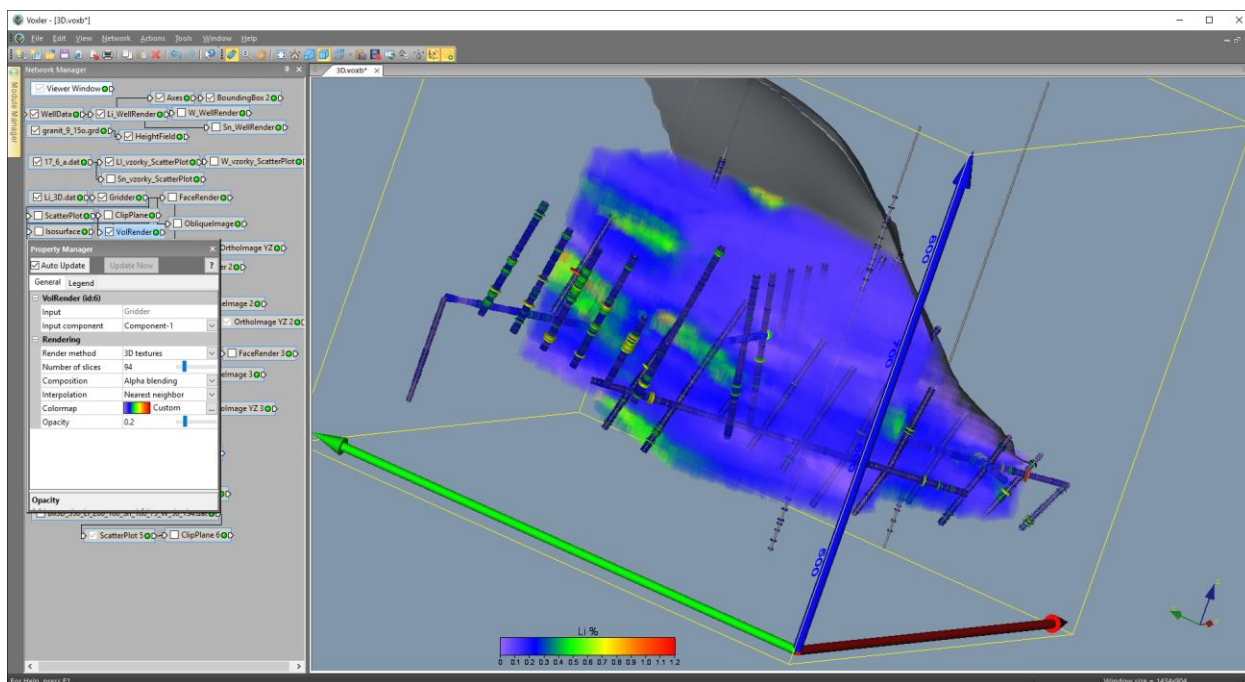
Obr. 17: 3D vizualizace obsahu Li bloků ložiska pomocí ScatterPlot – řez ClipPlane ve směru osy X.



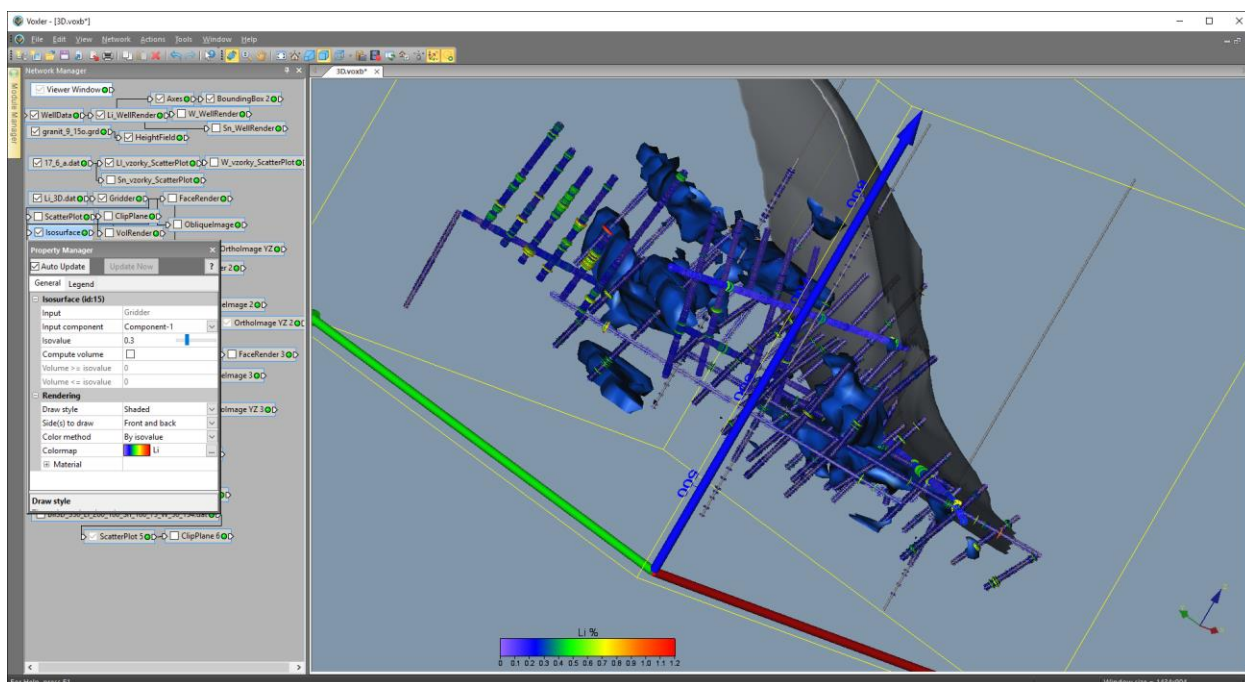
Obr. 18: 3D vizualizace obsahu Li bloků ložiska pomocí FaceRender – nastavení parametrů pro vertikální řez.



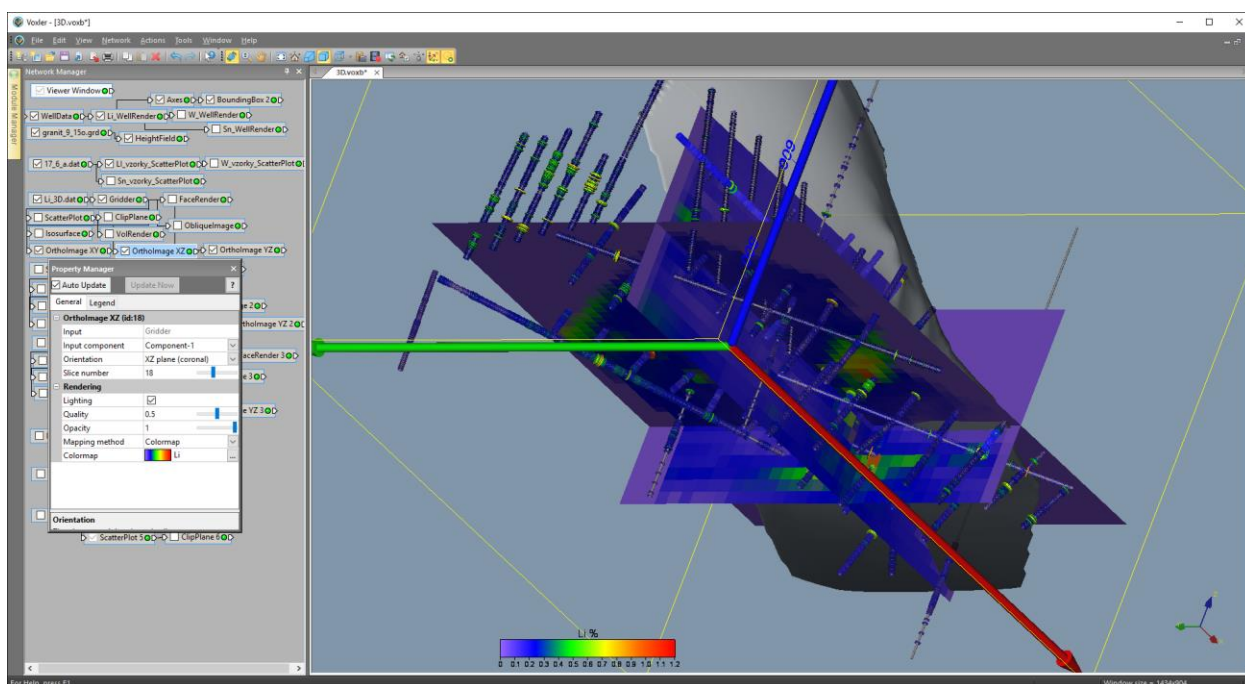
Obr. 19: 3D vizualizace obsahu Li bloků ložiska pomocí ObliqueImage – náhodně nastavená geometrie řezu.



Obr. 20: 3D vizualizace obsahu Li bloků ložiska pomocí VolRender.



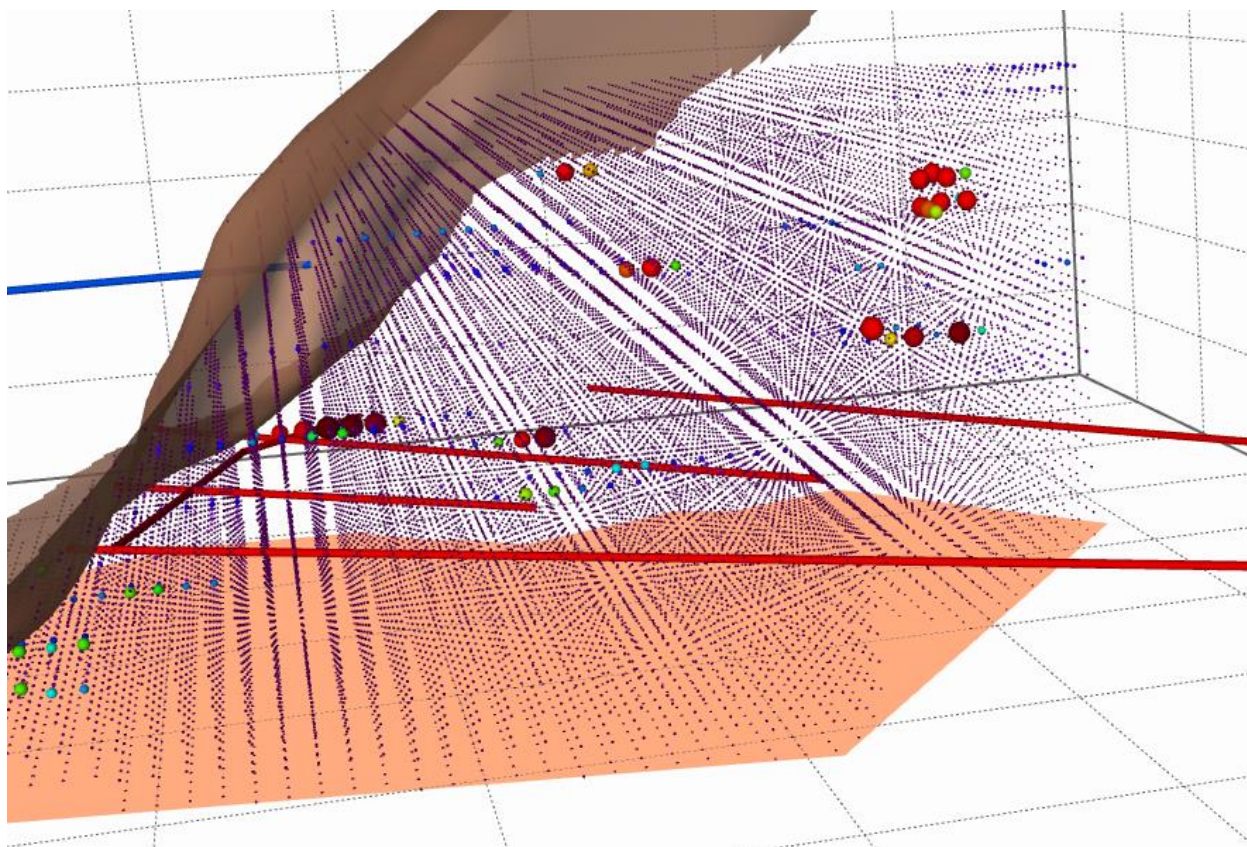
Obr. 21: 3D vizualizace obsahu Li bloků ložiska pomocí Isosurface – obálka těles s obsahem 0.3 %.



Obr. 22: 3D vizualizace obsahu Li bloků ložiska pomocí OrthoImage XY, OrthoImage XZ, OrthoImage YZ.

Vizualizace v prostředí programu MOVE

Podobně jako v prostředí Voxleru je nejprve naimportovat vytvořené gridy. Pro tento model se načítal grid povrchu současného terénu a samozřejmě povrch granitového tělesa. Import výstupů gridů ze Surferu do prostředí MOVE probíhá hladce pomocí formátu GIS Data Raster. Vlastní import 3D gridů obsahů Li, Sn, W (viz 3.10, textových souborů Li_3D.dat, Sn_3D.dat, a W_3D.dat) 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. 23).



Obr. 23: 3D vizualizace obsahu W ložiska pomocí rozdílné velikosti voxelů a barevné škály.

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 Li-Sn-W ložiska Cínovec - východ o rozměrech 530 x 440 x 210 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 (citace) 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 Li, Sn a W. 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 Li-Sn-W ložiska Cínovec - 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 modelů variogramů). Uplatnění popsaných metodických postupů [9] 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] Závěrečná zpráva – Cínovec 513 0115 005
- [2] Závěrečná zpráva – Cínovec JIH 511 1080 408
- [3] Závěrečná zpráva – Cínovec JIH 1. patro 31 80 0003
- [4] Závěrečná likvidační zpráva – Cínovec JIH
- [5] Breiter, K.: Geologie lithia a historický exkurs do jeho poznání a těžby. MS Geologický ústav AV ČR, v. v. i. – Dostupné na: http://www.avcr.cz/opencms/export/sites/avcr.cz/.content/galerie-souboru/1_Breiter.pdf, 9.9.2019.
- [6] Breiter, K., Ďurišová, J., Hrstka, T., Korbelová, Z., Hložková, M., Vašinová Galiová, M., Kanický, V., Rambousek, P., Knésl, I., Dobeš, P. a Dosbaba, M. Assessment of magmatic vs. metasomatic processes in rare-metal granites: A case study of the Cínovec/Zinnwald Sn – W – Li deposit, Central Europe. *Lithos*, Elsevier, 2017, roč. 292, November, s. 198-217. ISSN 0024-4937. doi:10.1016/j.lithos.2017.08.015.
- [7] 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.
- [8] Goovaerts, P.: *Geostatistics for natural resources evaluation*. Oxford University Press, 1997.
- [9] Grygar, R., Staněk, F., Jelínek, J., Jarošová, M.: *Zpráva o splnění milníku WP4/2*. MS CEEMIR, VŠB-TU Ostrava., 2016, 92 s.
- [10] Isaaks, E., H., Srivastava, R., M.: *Applied Geostatistics*. New York, Oxford, Oxford university press, 1989, 561 s.
- [11] REMY, N., BOUCHER, A., WU, J.: *Applied geostatistics with SGeMS: a user's guide*. New York: Cambridge University Press, 2009, xix, 264 p.
- [12] Vizi, L.: Posúdenie celkovej anizotropie variability obsahov Li, Sn a W na ložisku Cínovec – východ v prostredí ISATIS. Technická univerzita v Košicích, Fakulta BERG, 2015, 12 s.
- [13] Vizi, L., Timčák, G., M.: Význam štúdia lognormálneho rozdelenia v geológii a baníctve. In *Sb. věd. prací VŠB-TU Ostrava, řada hornicko-geologická*, Ostrava, 1, 2002, s. 29-39.
- [14] Wellmer, F., W.: *Statistical Evaluations in Exploration for Mineral Deposits*. Berlin, Springer, 1998, 379 s.

