Metodika tvorby a vizualizace 3D modelu Li-Sn-W ložiska Cínovec – Východ

1. Obsah a závazná struktura certifikované metodiky

Obsah a závazná struktura certifikované metodiky je zpracována ve smyslu „Metodického postupu pro zpracování a uplatnění výsledků výzkumu a vývoje typu „Nmet – Certifikovaná metodika“ Zákona č. 130/2002 Sb., o podpoře výzkumu, experimentálního vývoje a inovací z veřejných prostředků.

1.1. Cíl metodiky

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 vybraná modelová ložiska kritických surovin, analyzovaná v rámci pracovního balíčku WP4, 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, pro splnění daných cílů 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 malá ložiska tedy potenciálně neekonomické.

Základem našeho navrhovaného postupu tedy bylo vytvořit, s dílčím využitím existujících, ekonomicky akceptovatelných a komerčně dostupných softwarových aplikací, takové komplexní 3D modely morfologie vybraných ložisek, včetně prostorové distribuce ložiskově - technologických parametrů, které by s využitím možností 3D počítačové grafiky a virtuální reality umožňovalo variabilní odhady zásob a případný následný projekt otvírky konkrétního ložiska.

2. Popis vlastní metodiky

2.1. Obecná část – popis ložiska

Jako vhodný ložiskový objekt splňující požadavky projektu CEEMIR pro vytvoření metodického postupu byl v oblasti Krušné hory vybrán Cínovec – Východ, hlavní suroviny Li-Sn-W. Ložisko je situováno východně od osady Cínovec, jv. od ložiska Cínovec-Jih a částečně se mimoúrovňově překrývá ve své s. části s ložiskem Cínovec-odkaliště.

Cínowolframové a lithiové zrudnění v oblasti Cínovce je spjato s elevační formou mělce intruzívní lithnotopazové žuly typu Cínovec. Intruze prostupuje tělesem teplického ryolitu 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 ryolitem je většinou zvýrazněn hrubozrnným pegmatitovým lemem (tzv. stockscheiderem), místy až 4 m mocným.

Endokontaktní cínowolframová mineralizace je představována dvěma základními typy:

systém plochých křemenných žil uložených souhlasně s průběhem vrchlíkové partie klenby, výjimečně i žil strmých - hlavní objekt historické těžby (bývalé ložisko Cínovec-starý závod);

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.

Lithnotopazové albitické žuly jsou při kontaktech převážně drobnozrnné. Vertikálně přecházejí až do středně zrnitých albitických žul s nepravidelnými polohami syenitového charakteru a šlírovitými partiemi albititů. 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.

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. Tvoří dominantní část ložiska. Greisenové rudy jsou jemně až středně zrnité, s převládajícími rudními složkami kasiteritem a cinvalditem. Wolframová složka (wolframit, scheelit) je výrazně potlačena. 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.

2.2. *Metodické postupy a algoritmy tvorby a vizualizace 3D modelu Li-Sn-W ložiska Cínovec – Východ*

V této kapitole jsou definovány jednotlivé kroky metodického postupu tvorby a vizualizace 3D modelu Li-Sn-W ložiska Cínovec – Východ. Tyto kroky na sebe navazují a v nich použité algoritmy zpracování údajů a vytvořený software jsou detailně popsány ve stejnojmenných podkapitolách.

Předkládaný metodický postup je vytvořen tak, aby se jeho jednotlivé kroky mohly automaticky (pomocí nově vyvinutého software) rychle přepočítat při změně nebo doplnění vstupních údajů a parametrů výpočtu, případně aby bylo možno lehce vytvořit více variant řešení pro různé vstupní parametry:

- 2.2.1 Revize všech dostupných archivních materiálů.
- 2.2.2 Verifikace a korekce vstupních dat.
- 2.2.3 Výpočet a vizualizace prostorové lokalizace vstupních dat.
- 2.2.4 Vytvoření horizontálních řezů po 10 m v hloubkovém rozsahu od 500 do 700 m n.m.
- 2.2.5 Modelování tělesa granitu a celkové litologie ložiska.
- 2.2.6 Určení distribuce obsahů Li, Sn a W v jednotlivých řezech, transformace do normovaného normálního rozdělení.
- 2.2.7 Geostatistická strukturální analýza (transformovaných) obsahů Li, Sn, W.
- 2.2.8 Tvorba 2D gridů (transformovaných) obsahů Li, Sn, W v horizontálních řezech.
- 2.2.9 Zpětná transformace gridů do původních distribucí obsahů Li, Sn, W v jednotlivých horizontálních řezech.
- 2.2.10 Převod transformovaných gridů horizontálních řezů obsahů Li, Sn a W do *grd* formátu, jejich převedení do 3D gridů a vizualizace řezů ve 2D.
- 2.2.11 Vizualizace obsahů Li, Sn, W ve 3D.

2.2.12 Vymezení bilančních a nebilančních oblastí v horizontálních řezech podle libovolně zadaných podmínek využitelnosti a odhady zásob.

2.2.13 Vizualizace bilančních a nebilančních oblastí (ve 2D a 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.).

V procesu modelování jsou využívány běžně dostupné programové prostředky: *MS Excel*, programy *Surfer* a *Voxler* firmy Golden Software [http://www.goldensoftware.com/] a open-source program *SGeMS* (Stanford Geostatistical Modeling Software) [http://sgems.sourceforge.net/], (Remy et al., 2009). 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*. Zdrojové texty programových aplikací (u hlavních programů spolu s popisem jejich ovládání) jsou publikovány v [7].

2.2.1. Revize všech dostupných archivních materiálů

Získána prostorová data ložiskových vzorků s analýzami Li-Sn-W, která 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 užitných 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, nezbytné pro vytvoření strukturního 3D modelu.

2.2.2. Verifikace a korekce vstupních dat

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 (viz 2.2.1). Přitom bylo zjištěno značné množství chyb, které byly způsobeny nejen překlepy souvisejícími s digitalizací archivních podkladů. Velký počet chyb bylo zjištěno také v původní důlně-geologické dokumentaci. Chybné údaje byly v maximální možné míře opraveny.

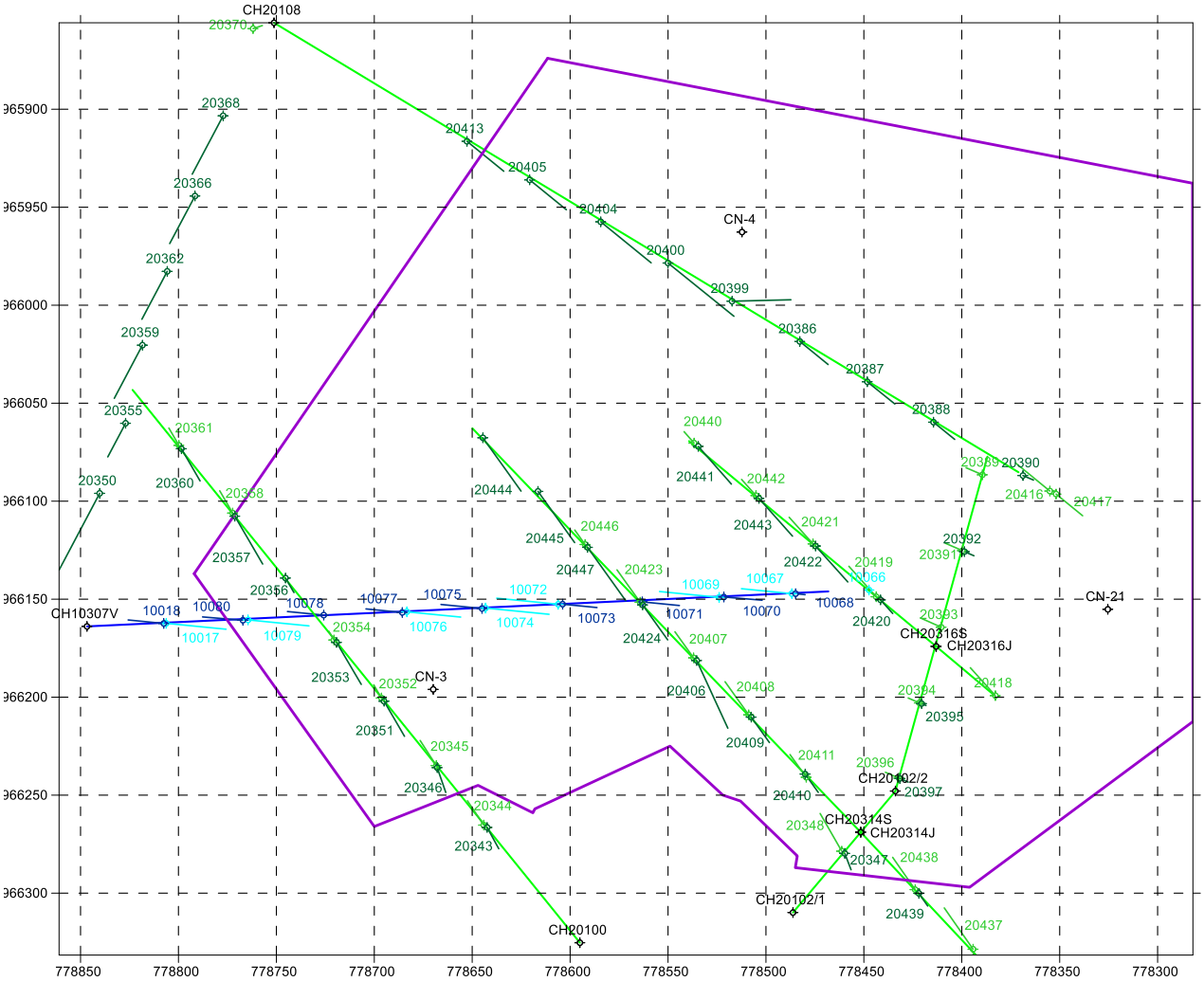
Opravené a doplněné údaje průzkumných děl (celkem 94) byly převedeny do tabulky *Collars* (tab. 1).

Pro vizuální kontrolu srovnáním s příslušnými archivními horizontálními díly bylo vytvořeno makro *BLN_vrty* [7], které z tabulky *Collars* vytváří *bln* soubory pro vykreslení průběhů vrtů a chodeb v rovině XY (*Chodby1.bln* – chodby 1. patra, *Chodby2.bln* – chodby 2. patra, *Nahoru1.bln* – vrty dovrchní z 1.

patra, *Dolu1.bln* – vrty úpadní z 1. patra, *Nahoru2.bln* – vrty dovrchní z 2. patra, *Dolu2.bln* – vrty úpadní z 2. patra) v prostředí *Surferu* (obr. 1).

Tabulka 1: Část údajů tabulky Collars

ID	Easting	Northing	Elevation	Azimuth	Dip	Depth
10066	-778447.38	-966145.32	647.36	0.00	-90.00	92.00
10067	-778486.79	-966147.18	642.86	275.60	-73.30	90.00
10068	-778484.84	-966147.21	647.16	95.60	75.38	19.30
10069	-778523.9	-966149.08	643.10	275.58	-70.13	90.00
10070	-778521.49	-966148.9	647.20	94.70	70.92	60.00
10071	-778563.17	-966151.38	646.56	95.59	71.47	60.00
10072	-778606.09	-966152.59	642.18	275.60	-69.47	90.00
10073	-778603.82	-966152.56	646.30	95.60	70.18	52.00
10074	-778643.21	-966154.53	641.82	95.59	-68.75	90.00
10075	-778644.98	-966154.75	645.83	275.59	69.55	60.30
10076	-778683.37	-966156.45	641.60	95.59	-71.92	89.00
10077	-778685.72	-966156.78	645.88	275.59	71.92	60.00
10078	-778725.81	-966158.13	646.01	275.59	71.90	60.00
10079	-778764.46	-966160.58	641.28	95.59	-69.67	90.00



Obr. 1: Opravené průběhy průzkumných děl v rovině XY (modře – chodba 1. patra, zeleně – chodby 2. patra, tmavě modře – vrty dovrchní z 1. patra, světle modře – vrty úpadní z 1. patra, tmavě zeleně – vrty dovrchní z 2. patra, světle zeleně – vrty úpadní z 2. patra) v prostředí Surfer.

Pro kontrolu návaznosti vzorků (odhalení překryvů apod.) bylo vytvořeno makro *Kontrola_navaznosti* [7]. Většina vzorků má mocnost 1 m, některé však byly delší (u povrchových vrtů byly úseky i

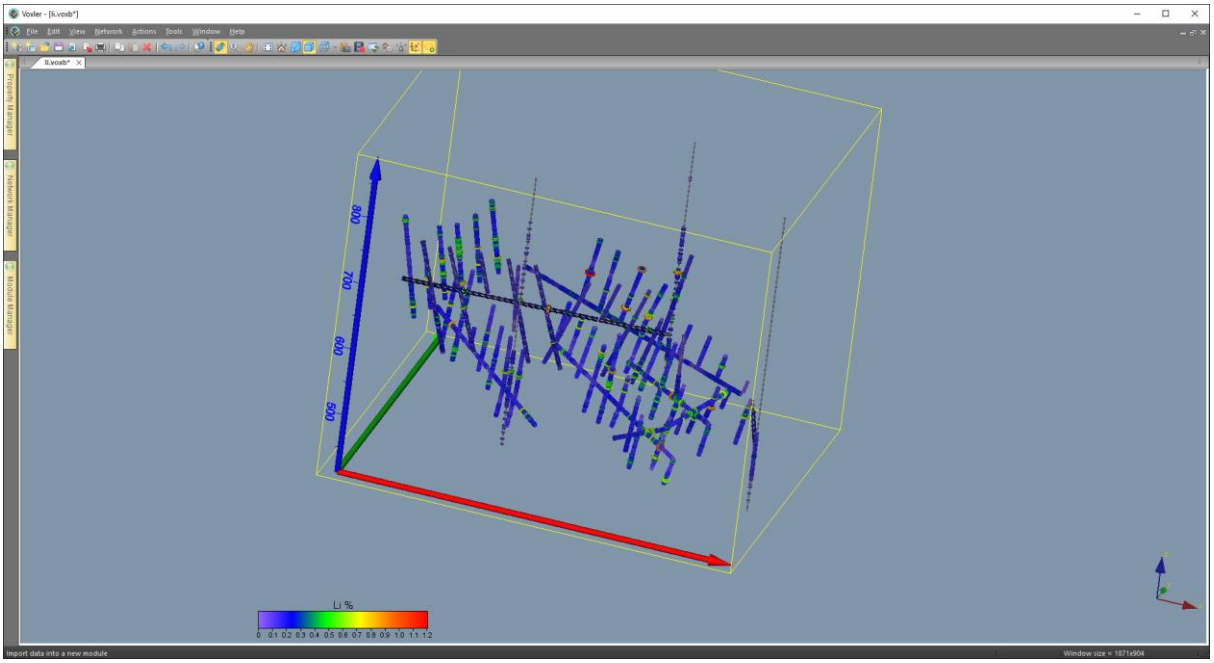
několikametrové). Pro rozdělení takových bylo vytvořeno makro *Rozdeleni_useku_nad_metrapul* [7]. Aby bylo další zpracování údajů korektní, musí mít totiž vzorky nositele stejné délky.

Opravené doplněné údaje (celkem 7676) vzorků s obsahy užitných složek jednotlivých průzkumných děl byly převedeny do tabulky *Samples* (tab. 2).

Tabulka 2: Ukázka část údajů tabulky Samples

ID	From	To	Sn	W	Li
10066	0.0	1.0	0.00	0.000	0.04
10066	1.0	2.0	0.02	0.000	0.04
10066	2.0	3.0	0.01	0.000	0.05
10066	3.0	4.0	0.00	0.000	0.04
10066	4.0	5.0	0.00	0.000	0.03
10066	5.0	6.0	0.03	0.000	0.03
10066	6.0	7.0	0.00	0.000	0.03
10066	7.0	8.0	0.04	0.000	0.03
10066	8.0	9.0	0.01	0.000	0.03
10066	9.0	10.0	0.02	0.000	0.03
10066	10.0	11.0	0.01	0.000	0.04
10066	11.0	12.0	0.00	0.000	0.05
10066	12.0	13.0	0.04	0.000	0.04
10066	13.0	14.0	0.01	0.000	0.03

Údaje z tabulek *Collars* a *Samples* lze pro vizuální kontrolu vykreslit také v 3D v prostředí *Voxler* (obr. 2).



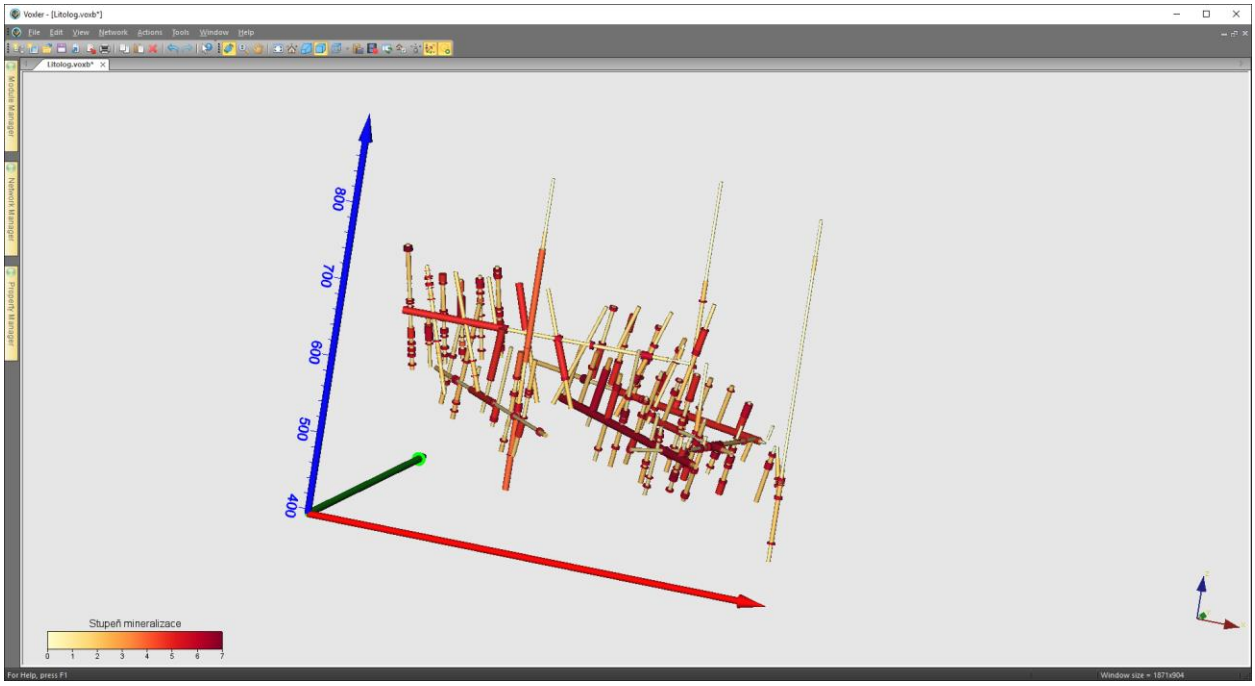
Obr. 2: Proporcionální zobrazení obsahu Li vzorků v prostředí Voxler.

Údaje o litologických charakteristikách a alteracích hornin slouží především pro modelování tvaru tělesa mineralizace (viz část 2.2.5). V tabulce existují úseky vrtů, které nemají litologický popis, ačkoliv analýzy vzorků byly provedeny (například díla 20348, 20445, CN-4, CH20314J, CH20316S). Opravené doplněné údaje úseků (celkem 704) byly převedeny do tabulky *Lithology* (tab. 3). Bylo vytvořeno makro *Dopn_kod_lit2* [7] pro určení stupně mineralizace v průzkumných dílech (položka *Kod*) v prostoru tak, aby bylo možno modelovat morfologii ložiskového tělesa. Stupeň mineralizace je vypočten na základě údajů *Litologie1, Litologie2, Litologie3, Alterace1, Alterace2, Alterace3*, přičemž váhy jednotlivých údajů lze libovolně měnit.

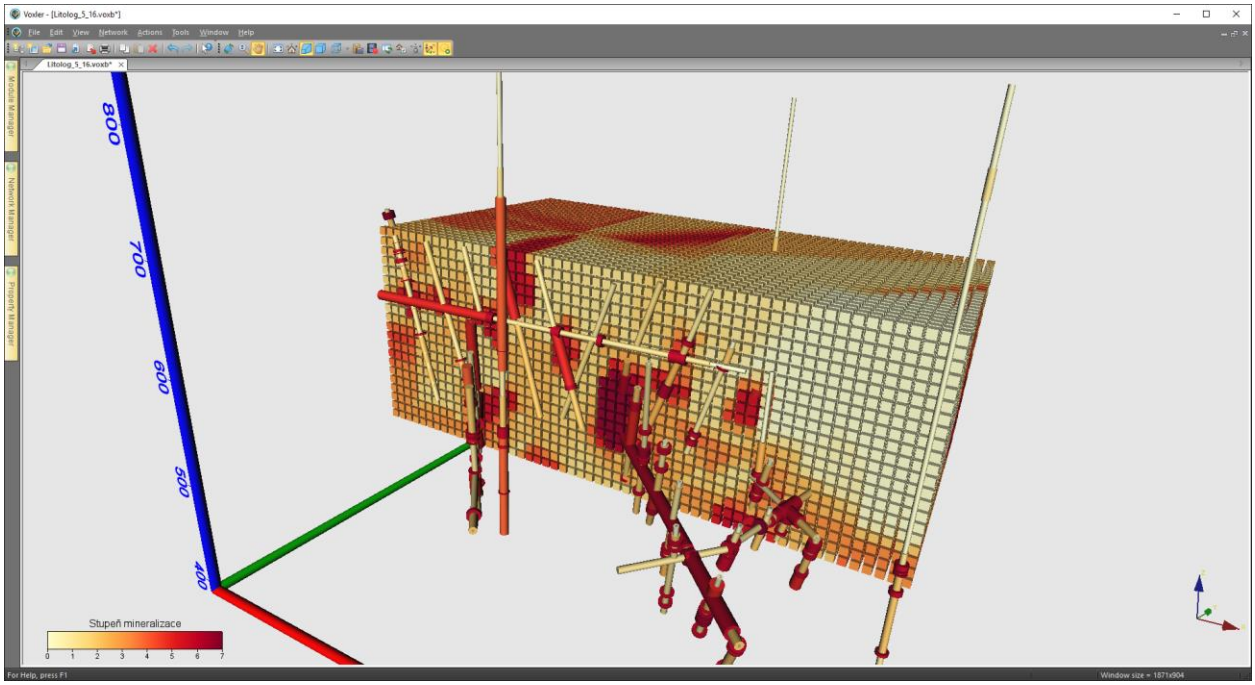
Tabulka 3: Část údajů tabulky Lithology

ID	From	To	Kod	Typ	Litologie1	Litologie2	Litologie3	Alterace1	Alterace2	Alterace3
20343	0.0	1.0	4.0	GRA	granit	greisen		alb		
20343	1.0	2.0	6.0	GRS	greisen					
20343	2.0	5.5	1.0	GRA	granit			alb		
20343	5.5	24.5	1.0	GRA	granit			alb		
20343	24.5	26.0	1.0	GRA	granit			alb		
20343	26.0	30.0	1.0	GRA	granit			alb		
20343	30.0	30.1	6.0	GRS	greisen					
20343	30.1	31.5	1.0	GRA	granit			alb		
20343	31.5	31.9	1.0	GRA	granit			alb		
20343	31.9	33.8	5.0	GRA	granit	greisen		grs	alb	
20343	33.8	35.5	6.0	GRS	greisen					
20343	35.5	37.3	1.0	GRA	granit			alb		
20343	37.3	39.8	6.0	GRS	greisen			tpz		
20343	39.8	80.0	2.0	GRA	granit			alb	grs	hem
20344	0.0	21.3	5.0	GRA	granit	greisen		grs	alb	
20344	21.3	22.5	1.0	GRA	granit			alb		

Další makro *XYZ_litologie* [7] vytvoří textový soubor, který podle průběhu vrtu se zvoleným krokem (např. 0.5 m) vytvoří záznamy *X, Y, Z, Kod*. S pomocí tohoto souboru lze v prostředí *Voxler* modelovat prostorovou distribuci stupně mineralizace (vytvořit prostorový grid parametru *Kod*) za účelem získání představy o tvaru ložiskového tělesa v závislosti na hodnotě parametru *Kod*. Na obr. 3 je zobrazen proporcionální stupeň mineralizace v průzkumných dílech v prostředí *Voxler*. Na obr. 4 je pak ve stejném prostředí ukázka vizualizace 3D gridu parametru *Kod*.



Obr. 3: Proporcionální zobrazení stupně mineralizace v prostředí Voxler.



Obr. 4: Vizualizace 3D gridu parametru Kod.

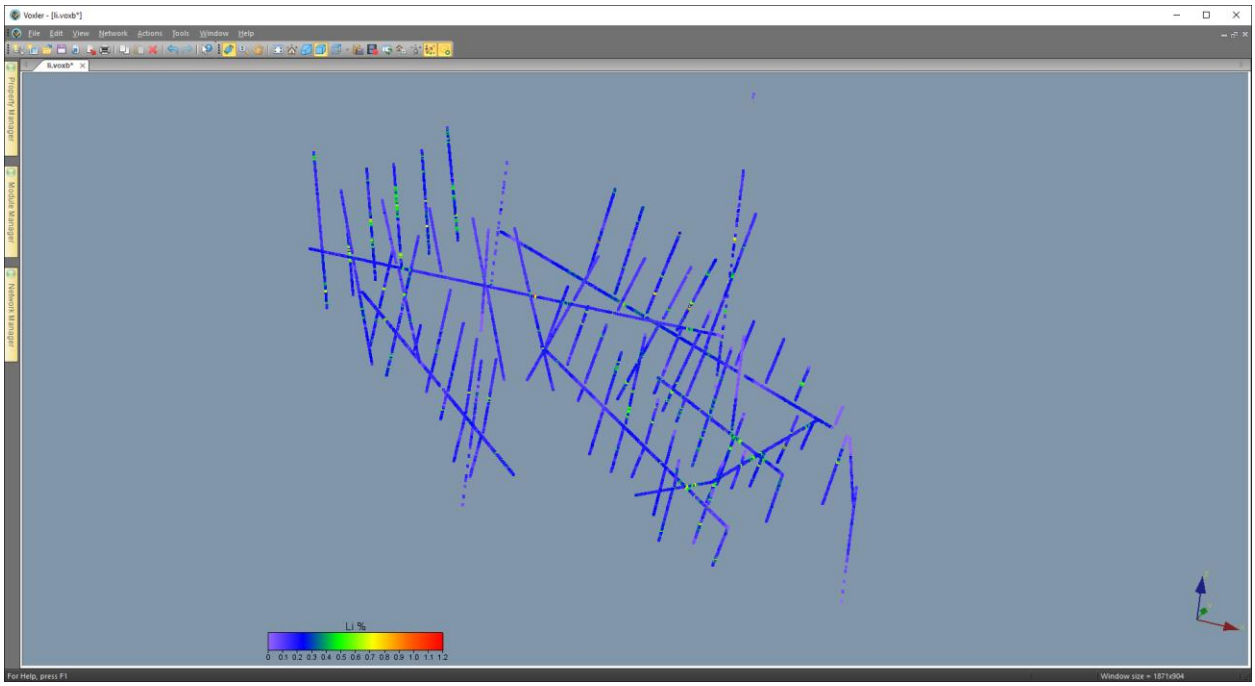
2.2.3. Výpočet a vizualizace prostorové lokalizace vstupních dat

Opravené a doplněné vstupní údaje (geometrické parametry průzkumných děl, litologické charakteristiky a alterace bočních hornin a vzorky s obsahy užitných složek) byly s pomocí speciálně vytvořeného makra *XYZ_data* [7] 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*. Makro *Litologie_do_analyz* [7] doplní do tabulky *Analyzy_s_lit* parametry *Kod* a údaje o litologii z tabulky *Lithology*. Ukázka údajů tabulky *Analyzy_s_lit* je v tabulce 4.

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. Jako příklad jsou na obr. 5 zobrazeny lokalizované údaje obsahu Li v prostředí *Voxler*.

Tabulka 4: Část údajů tabulky Analyzy_s_lit

1	X	Y	Z	Sn	W	Li	Kod	Typ	ID	Hloubka	Litologie1	Litologie2	Litologie3	Alterace1	Alterace2	Alterace3
61	-778447.38	-966145.32	587.86	0	0	0.05	0	RYO	10066	59.5	ryolit					
62	-778447.38	-966145.32	586.86	0.01	0	0.11	2	PEG	10066	60.5	pegmatit					
63	-778447.38	-966145.32	585.86	0.05	0	0.2	2.5	GRA	10066	61.5	granit	cinvaldit	žilný křen	sil	alb	grs
64	-778447.38	-966145.32	584.86	0.09	0	0.19	2.5	GRA	10066	62.5	granit	cinvaldit	žilný křen	sil	alb	grs
65	-778447.38	-966145.32	583.86	0.12	0	0.21	2.5	GRA	10066	63.5	granit	cinvaldit	žilný křen	sil	alb	grs
66	-778447.38	-966145.32	582.86	0.06	0	0.17	2.5	GRA	10066	64.5	granit	cinvaldit	žilný křen	sil	alb	grs
67	-778447.38	-966145.32	581.86	0.06	0	0.14	2.5	GRA	10066	65.5	granit	cinvaldit	žilný křen	sil	alb	grs
68	-778447.38	-966145.32	580.86	0.08	0	0.15	2.5	GRA	10066	66.5	granit	cinvaldit	žilný křen	sil	alb	grs
69	-778447.38	-966145.32	579.86	0.28	0	0.22	2.5	GRA	10066	67.5	granit	cinvaldit	žilný křen	sil	alb	grs
70	-778447.38	-966145.32	578.86	0.26	0	0.24	2.5	GRA	10066	68.5	granit	cinvaldit	žilný křen	sil	alb	grs
71	-778447.38	-966145.32	577.86	0.35	0	0.2	2.5	GRA	10066	69.5	granit	cinvaldit	žilný křen	sil	alb	grs
72	-778447.38	-966145.32	576.86	0.2	0	0.22	2.5	GRA	10066	70.5	granit	cinvaldit	žilný křen	sil	alb	grs
73	-778447.38	-966145.32	575.86	0.1	0	0.2	2.5	GRA	10066	71.5	granit	cinvaldit	žilný křen	sil	alb	grs
74	-778447.38	-966145.32	574.86	0.14	0	0.2	2.5	GRA	10066	72.5	granit	cinvaldit	žilný křen	sil	alb	grs
75	-778447.38	-966145.32	573.86	0.1	0	0.19	2.5	GRA	10066	73.5	granit	cinvaldit	žilný křen	sil	alb	grs
76	-778447.38	-966145.32	572.86	0.07	0	0.17	2.5	GRA	10066	74.5	granit	cinvaldit	žilný křen	sil	alb	grs
77	-778447.38	-966145.32	571.86	0.08	0	0.18	2.5	GRA	10066	75.5	granit	cinvaldit	žilný křen	sil	alb	grs
78	-778447.38	-966145.32	570.86	0.06	0	0.2	2.5	GRA	10066	76.5	granit	cinvaldit	žilný křen	sil	alb	grs
79	-778447.38	-966145.32	569.86	0.08	0	0.21	2.5	GRA	10066	77.5	granit	cinvaldit	žilný křen	sil	alb	grs
80	-778447.38	-966145.32	568.86	0.09	0	0.21	2.5	GRA	10066	78.5	granit	cinvaldit	žilný křen	sil	alb	grs
81	-778447.38	-966145.32	567.86	0.11	0.012	0.19	2.5	GRA	10066	79.5	granit	cinvaldit	žilný křen	sil	alb	grs
82	-778447.38	-966145.32	566.86	0.13	0.012	0.2	2.5	GRA	10066	80.5	granit	cinvaldit	žilný křen	sil	alb	grs
83	-778447.38	-966145.32	565.86	0.19	0.028	0.2	2.5	GRA	10066	81.5	granit	cinvaldit	žilný křen	sil	alb	grs
84	-778447.38	-966145.32	564.86	0.08	0	0.24	2.5	GRA	10066	82.5	granit	cinvaldit	žilný křen	sil	alb	grs
85	-778447.38	-966145.32	563.86	0.02	0	0.26	2.5	GRA	10066	83.5	granit	cinvaldit	žilný křen	sil	alb	grs
86	-778447.38	-966145.32	562.86	0.01	0	0.33	2.5	GRA	10066	84.5	granit	cinvaldit	žilný křen	sil	alb	grs
87	-778447.38	-966145.32	561.86	0.02	0	0.23	2.5	GRA	10066	85.5	granit	cinvaldit	žilný křen	sil	alb	grs
88	-778447.38	-966145.32	560.86	0.01	0	0.18	2.5	GRA	10066	86.5	granit	cinvaldit	žilný křen	sil	alb	grs
89	-778447.38	-966145.32	559.86	0.01	0	0.25	2.5	GRA	10066	87.5	granit	cinvaldit	žilný křen	sil	alb	grs

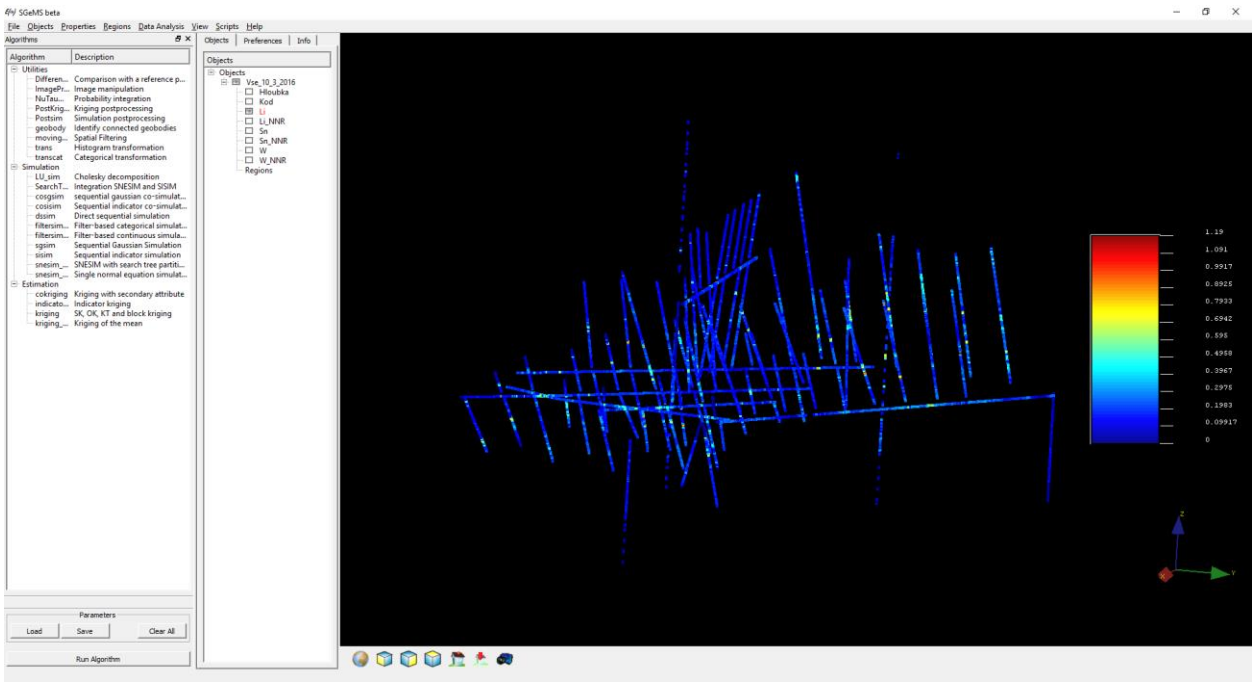


Obr. 5: Lokalizované údaje obsahu Li v prostředí Voxler.

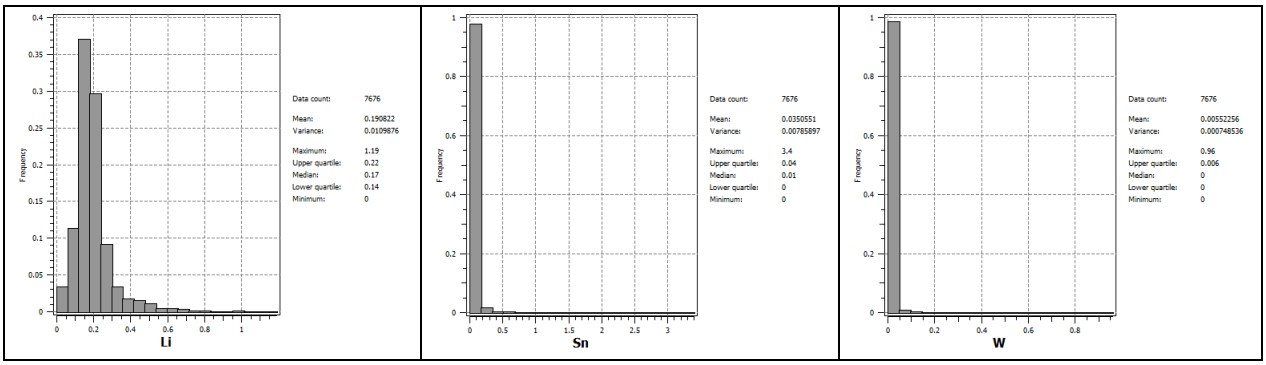
Makro *GSLIB_vystup* [7] provádí převod potřebných údajů do formátu *GSLIB* (Deutsch, C., V., Journel, A., G, 1998) z tabulky *Analyzy_s_lit* pro zpracování v programu *SGeMS*. V tabulce 5 je ukázka části takto vzniklého souboru. Po jeho načtení do prostředí *SGeMS* lze tyto údaje vizualizovat (obr. 6), provádět základní statistické rozbory (obr. 7), provést transformaci zešikmených dat do normovaného normálního rozdělení (viz část 2.2.6), provést zpětnou transformaci dat z normovaného normálního rozdělení do původní distribuce (viz část 2.2.9) a případně provádět i jiná geostatistická zpracování.

Tabulka 5: Ukázka části souboru ve formátu GSLIB pro vstup do prostředí SGeMS

```
Cinovec vychod
8
X
Y
Z
Sn
W
Li
Kod
Hloubka
-778447.38 -966145.32 646.86 0 0 0.04 0 0.5
-778447.38 -966145.32 645.86 0.02 0 0.04 0 1.5
-778447.38 -966145.32 644.86 0.01 0 0.05 0 2.5
-778447.38 -966145.32 643.86 0 0 0.04 0 3.5
-778447.38 -966145.32 642.86 0 0 0.03 0 4.5
-778447.38 -966145.32 641.86 0.03 0 0.03 0 5.5
-778447.38 -966145.32 640.86 0 0 0.03 0 6.5
-778447.38 -966145.32 639.86 0.04 0 0.03 0 7.5
-778447.38 -966145.32 638.86 0.01 0 0.03 0 8.5
-778447.38 -966145.32 637.86 0.02 0 0.03 0 9.5
-778447.38 -966145.32 636.86 0.01 0 0.04 0 10.5
-778447.38 -966145.32 635.86 0 0 0.05 0 11.5
-778447.38 -966145.32 634.86 0.04 0 0.04 0 12.5
-778447.38 -966145.32 633.86 0.01 0 0.03 0 13.5
```



Obr. 6: Ukázka vizualizace dat převedených do prostředí SGeMS - údaje obsahu Li.

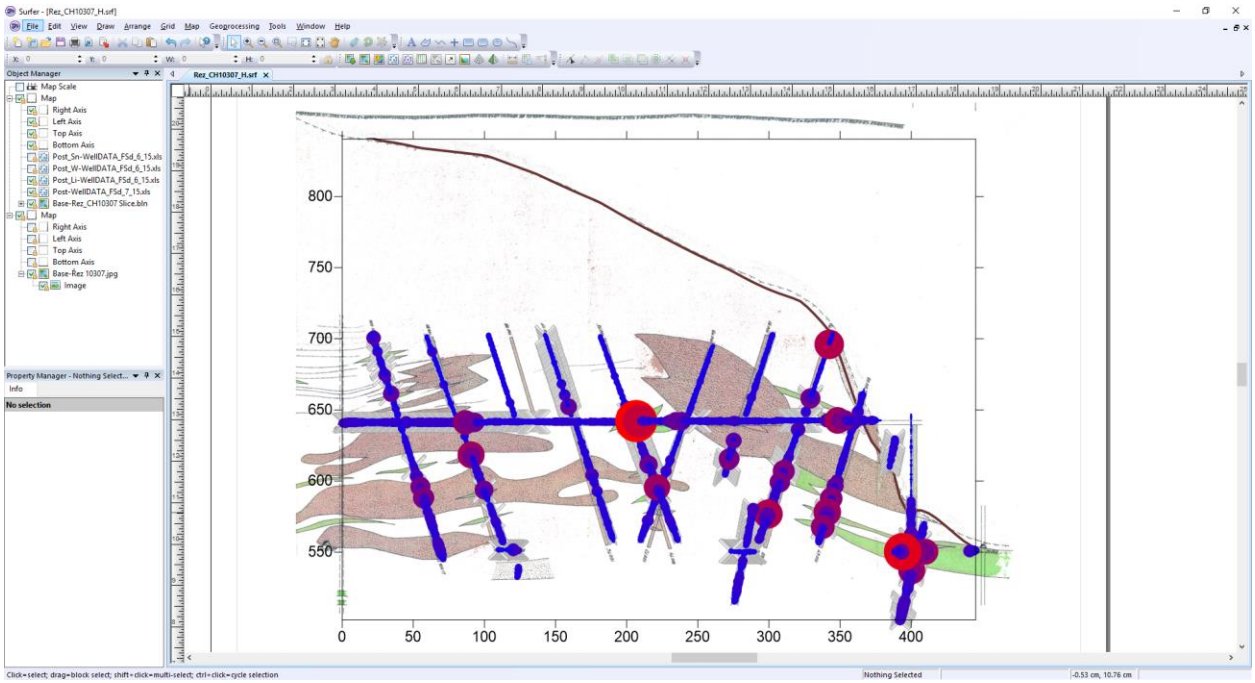


Obr. 7: Ukázka statistického zpracování v prostředí SGeMS - histogramy četností parametrů Li, Sn a W (%) ukazující výraznou asymetrii v distribuci dat a základní statistické charakteristiky.

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 2.2.5) bylo nutné vybírat údaje z tabulky *Analyzy_s_lit* pro tyto řezy. Pro výběr dat do vertikálního řezu bylo vytvořeno makro *Rez* [7]. 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. 8 je část tabulky dat vertikálního řezu chodbou CH10307V s daty do vzdálenosti ±10 m od řezu. Na obr. 9 je ukázka vizualizace vertikálního řezu chodbou CH10307V s proporcionálním zobrazením obsahu Li ve vzorcích (kružnice), proporcionálním zobrazením stupně mineralizace (šedé křížky), interpretované hranice granitu (hnědá křivka) ve srovnání s archivním řezem v prostředí *Surferu*.

X	Z	Sn	W	Li	Kod	Typ	ID	Hloubka	Y_vzdal	X_puv	Y_puv				
399.752	646.86	0	0	0.04	0	RYO	10066	0.5	2.83E-16	-778447	-966145		X počátek řezu:	-778846.70	Počátek chodby CH10307V
399.752	645.86	0.02	0	0.04	0	RYO	10066	1.5	2.83E-16	-778447	-966145		Y počátek řezu:	-966163.90	
399.752	644.86	0.01	0	0.05	0	RYO	10066	2.5	2.83E-16	-778447	-966145		X konec řezu:	-778447.38	Vrt 10066
399.752	643.86	0	0	0.04	0	RYO	10066	3.5	2.83E-16	-778447	-966145		Y konec řezu:	-966145.32	
399.752	642.86	0	0	0.03	0	RYO	10066	4.5	2.83E-16	-778447	-966145		Vzdálenost od řezu (m):	10.00	
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. 8: Ukázka vybraných dat vertikálního řezu chodbou CH10307V.

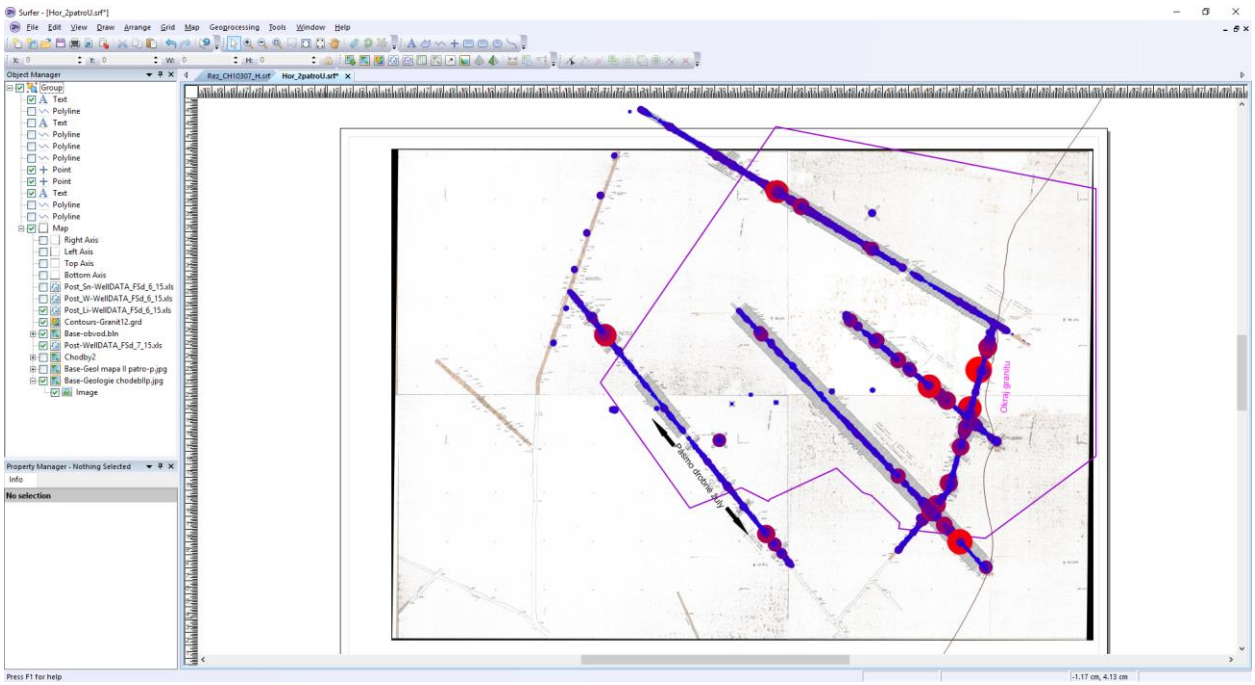


Obr. 9: Ukázka vizualizace vertikálního řezu chodbou CH10307V v prostředí Surferu jako doklad chybovosti původních grafických a digitálních podkladů a dat.

Podobně bylo pro výběr dat z tabulky *Analyzy_s_lit* do horizontálního řezu vytvořeno makro *Rez_Hor* [7]. Po zadání výšky řezu a maximální vzdálenosti od řezu pro výběr dat se vytvoří nový list *Excelu* obsahující vybraná data řezu. Na obr. 10 je část tabulky dat horizontálního řezu 2. patrem s daty do vzdálenosti ±10 m od řezu. Na obr. 11 je ukázka vizualizace horizontálního řezu 2. patrem s proporcionálním zobrazením obsahu Li ve vzorcích (kružnice), proporcionálním zobrazením stupně mineralizace (šedé křížky), interpretované hranice granitu (hnědá křivka) ve srovnání s archivním řezem v prostředí *Surferu*.

X	Y	Sn	W	Li	Kod	Typ	ID	Hloubka	Z_vzdal				Z řezu:	550	2. patro
-778447	-966145	0.01	0	0.25	2.5	GRA	10066	87.5	-9.86				Vzdálenost od řezu (m):	10	
-778447	-966145	0.01	0.014	0.33	6	GRS	10066	88.5	-8.86						
-778447	-966145	0.01	0.012	0.34	6	GRS	10066	89.5	-7.86						
-778447	-966145	0	0.024	0.35	6	GRS	10066	90.5	-6.86						
-778447	-966145	0.01	0	0.25	6	GRS	10066	91.5	-5.86						
-778512	-966145	0.06	0	0.19	1	GRA	10067	87.5	-9.05						
-778512	-966145	0.06	0	0.17	1	GRA	10067	88.5	-8.09						
-778512	-966145	0.06	0	0.16	1	GRA	10067	89.5	-7.13						
-778554	-966146	0.05	0	0.22	2.5	GRA	10069	88.5	-9.87						
-778554	-966146	0.05	0	0.21	2.5	GRA	10069	89.5	-8.93						
-778637	-966150	0.04	0	0.12	1.5	GRA	10072	88.5	-9.3						
-778637	-966150	0.03	0	0.14	1.5	GRA	10072	89.5	-8.36						
-778611	-966158	0	0	0.16	2	GRA	10074	88.5	-9.34						
-778611	-966158	0	0	0.14	2	GRA	10074	89.5	-8.41						

Obr. 10: Ukázka vybraných dat horizontálního řezu 2. patrem.



Obr. 11: Ukázka vizualizace horizontálního řezu 2. patrem v prostředí Surferu.

2.2.4. 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 rozhodnuto, 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 každého řezu z důvodu zachování návaznosti jednotlivých horizontálních řezů v prostoru. Při odlišném prostorovém rozmístění a množství vstupních dat lze ale obecně tyto parametry volitelně upravit.

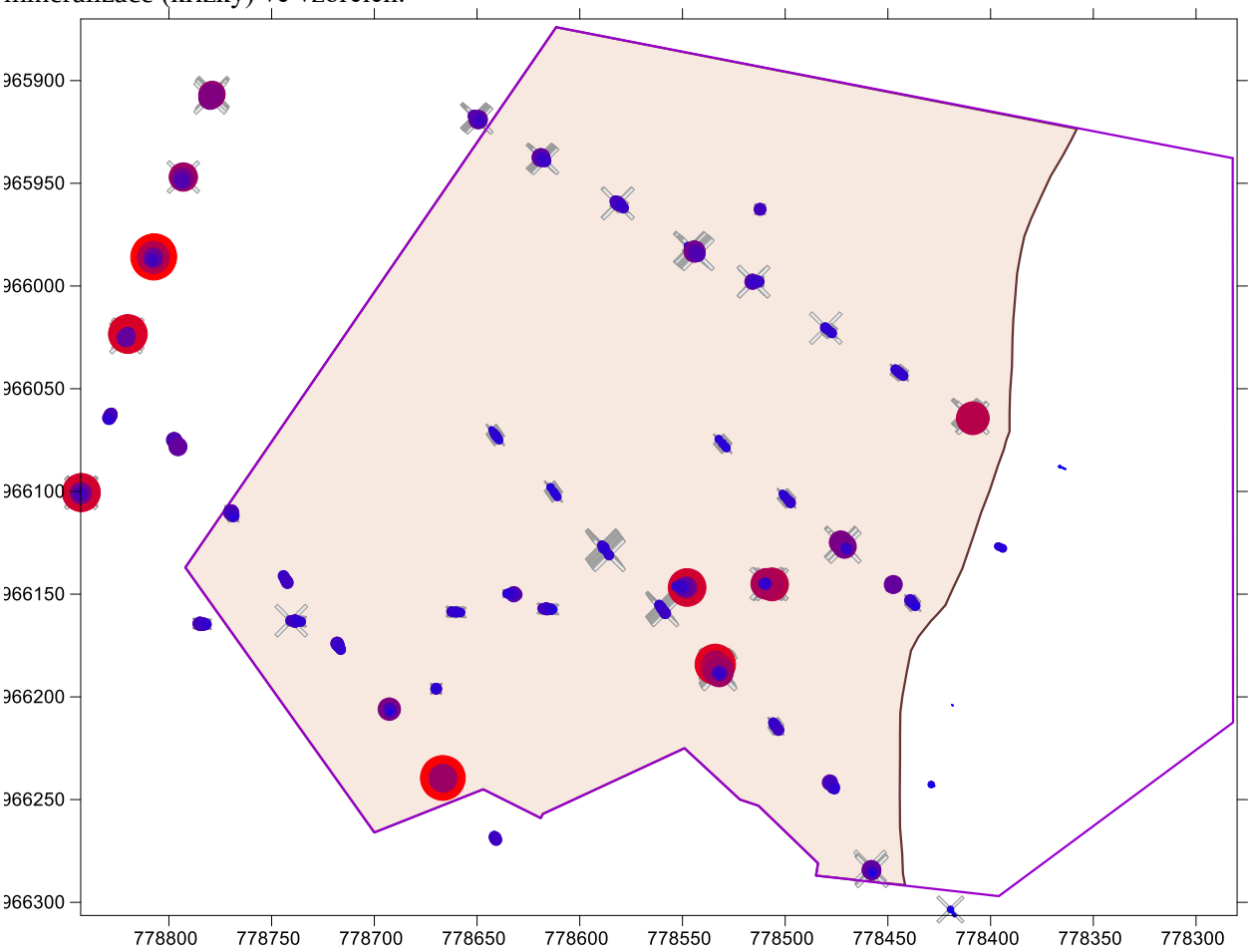
S pomocí makra *Rezy_hor_krok* [7] je možné provést najednou výběry dat z tabulky *Analyzy_s_lit* do samostatných listů *Excelu* od zadané počáteční nadmořské výšky (v našem případě 500 m) se zadaným krokem (v našem případě 10 m), počtem řezů (v našem případě 21) a zadaným hloubkovým přesahem od řezu (v našem případě 7.5 m). Na obr. 12 je část tabulky Hor_570 - horizontálního řezu v nadmořské výšce 570 m s daty do vzdálenosti ±7,5 m od řezu.

X	Y	Sn	W	Li	Kod	Typ	ID	Hloubka	Z_vzdal			Počet:		707
-778447	-966145	0.2	0	0.22	2.5	GRA	10066	70.5	-6.86					
-778447	-966145	0.1	0	0.2	2.5	GRA	10066	71.5	-5.86					
-778447	-966145	0.14	0	0.2	2.5	GRA	10066	72.5	-4.86					
-778447	-966145	0.1	0	0.19	2.5	GRA	10066	73.5	-3.86					
-778447	-966145	0.07	0	0.17	2.5	GRA	10066	74.5	-2.86					
-778447	-966145	0.08	0	0.18	2.5	GRA	10066	75.5	-1.86					
-778447	-966145	0.06	0	0.2	2.5	GRA	10066	76.5	-0.86					
-778447	-966145	0.08	0	0.21	2.5	GRA	10066	77.5	0.14					
-778447	-966145	0.09	0	0.21	2.5	GRA	10066	78.5	1.14					
-778447	-966145	0.11	0.012	0.19	2.5	GRA	10066	79.5	2.14					
-778447	-966145	0.13	0.012	0.2	2.5	GRA	10066	80.5	3.14					
-778447	-966145	0.19	0.028	0.2	2.5	GRA	10066	81.5	4.14					
-778447	-966145	0.08	0	0.24	2.5	GRA	10066	82.5	5.14					
-778447	-966145	0.02	0	0.26	2.5	GRA	10066	83.5	6.14					

Obr. 12: Ukázka vybraných dat horizontálního řezu v nadmořské výšce 570 m s daty do vzdálenosti ±7,5 m od řezu.

Ve všech zvolených 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

2.2.5). Na obr. 13 jsou v řezu 570 m.n.m. proporcionálně zobrazeny obsah Li (kolečka) a kód stupně mineralizace (křížky) ve vzorcích.

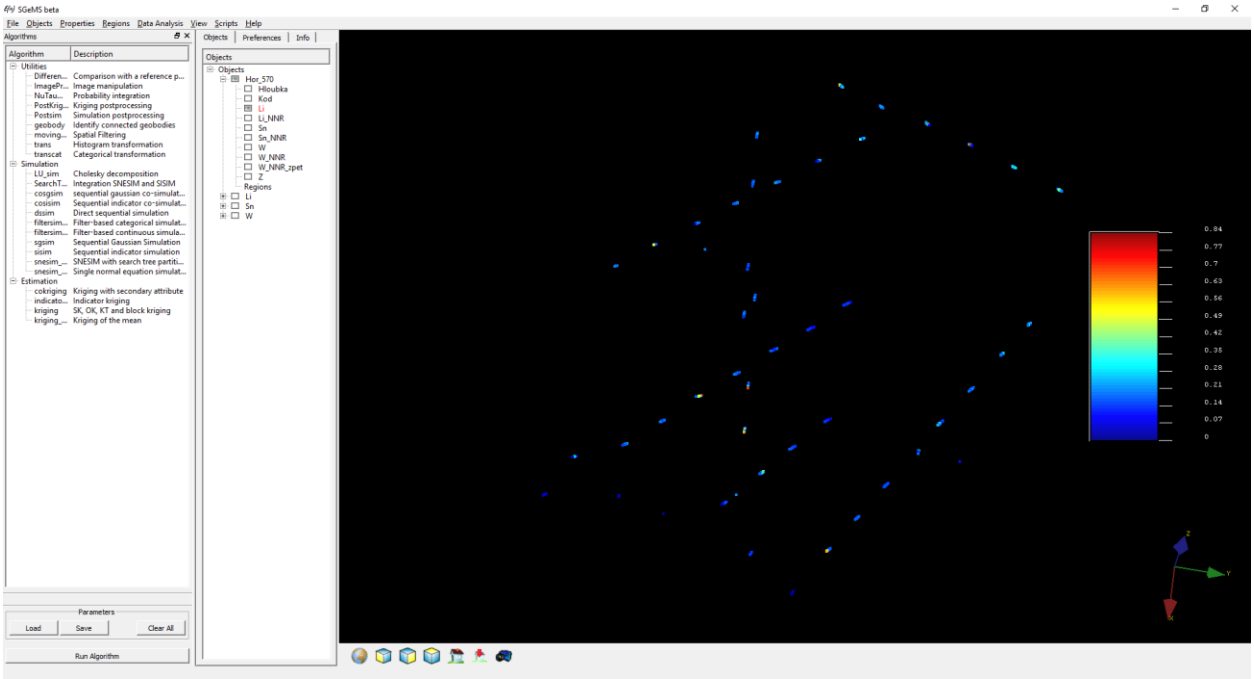


Obr. 13: Proporcionální znázornění obsahů Li a stupně mineralizace ve vzorcích. 2D obraz pro horizontální řez na kótě 570 m (těleso granitu je podbarveno, na východě omezeno hnědou linií a obvod ložiska - demarkace je ohraničen fialovým polygonem).

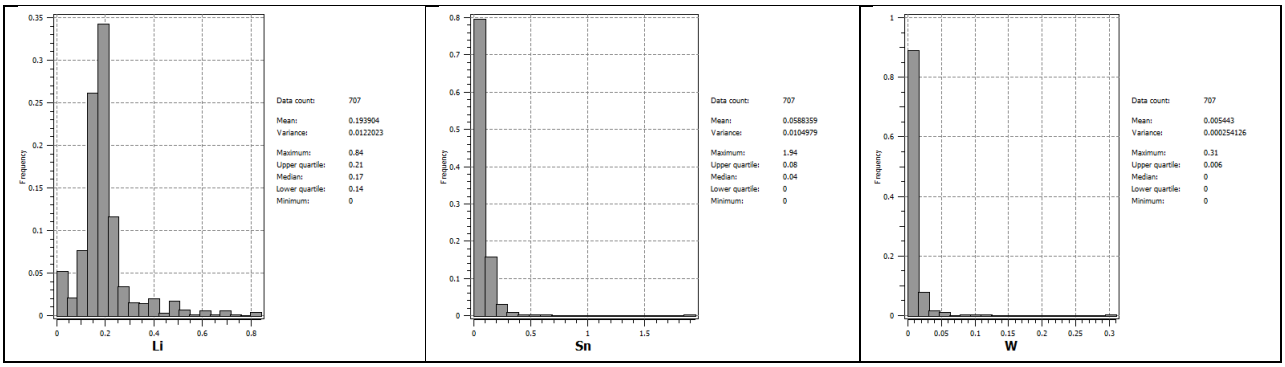
Makro *GSLIB_vystup_Hor* [7] provádí najednou převod potřebných údajů jednotlivých horizontálních řezů do formátu *GSLIB* (Deutsch, C., V., Journel, A., G, 1998) z příslušných listů *Excelu* (*Hor_500*, *Hor_510*, …, *Hor_700*) od zadané počáteční nadmořské výšky (v našem případě 500 m) se zadaným krokem (v našem případě 10 m) a počtem řezů (v našem případě 21) pro zpracování těchto řezů v programu *SGeMS*. V tabulce 6 je ukázka části takto vytvořeného souboru pro řez 570 m. Po jejich načtení (postupně všech 21 řezů) do prostředí *SGeMS* lze tyto údaje vizualizovat (obr. 14), provádět základní statistické rozbory (obr. 15), provádět transformace zešikmených dat do normovaného normálního rozdělení (viz část 2.2.6), provádět zpětné transformace dat z normovaného normálního rozdělení do původní distribuce (viz část 2.2.9) a případně provádět i jiná geostatistické zpracování.

Tabulka 6: Ukázka části souboru Hor_570_GSLIB.dat ve formátu GSLIB pro vstup do prostředí SGeMS

```
Hor_570
8
X
Y
Z
Sn
W
Li
Kod
Hloubka
-778447.38 -966145.32 -6.86000000000001 0.200000002980232 0 0.219999998807907 2.5 70.5
-778447.38 -966145.32 -5.86000000000001 0.100000001490116 0 0.200000002980232 2.5 71.5
-778447.38 -966145.32 -4.86000000000001 0.140000000596046 0 0.200000002980232 2.5 72.5
-778447.38 -966145.32 -3.86000000000001 0.100000001490116 0 0.189999997615814 2.5 73.5
-778447.38 -966145.32 -2.86000000000001 7.00000002980232E-02 0 0.170000001788139 2.5 74.5
-778447.38 -966145.32 -1.86000000000001 7.99999982118607E-02 0 0.180000007152557 2.5 75.5
```



Obr. 14: Ukázka vizualizace dat řezu 570 m převedených do prostředí SGeMS - údaje obsahu Li.

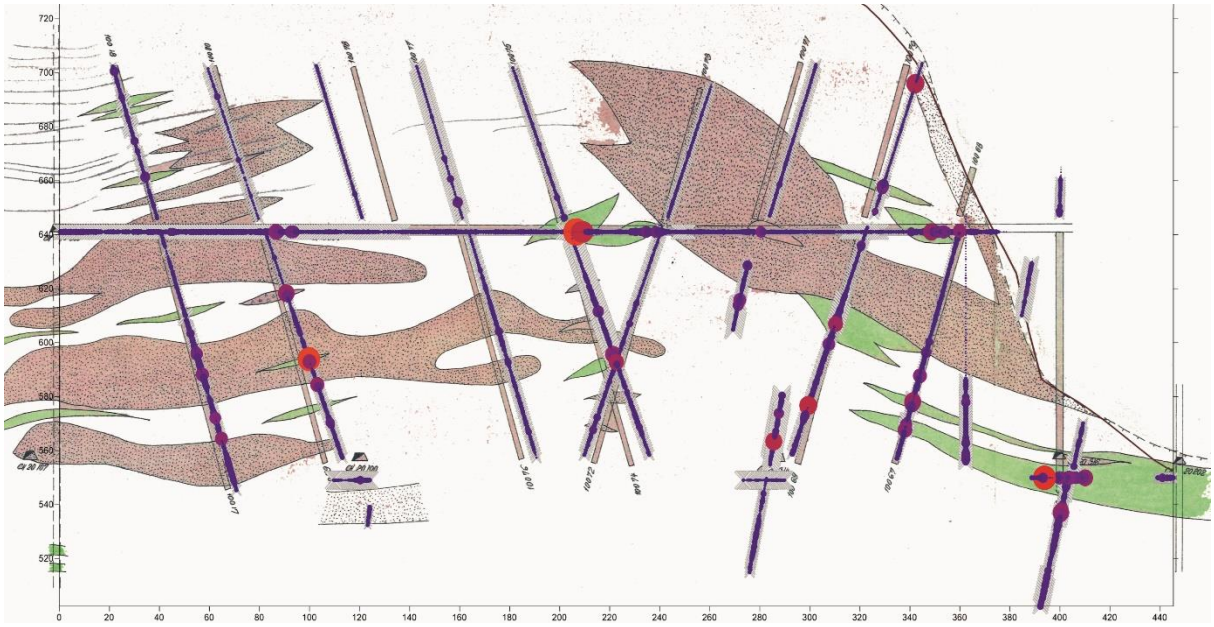


Obr. 15: Ukázka statistického zpracování v prostředí SGeMS - histogramy četností parametrů Li, Sn a W (%) řezu 570 m opět ukazující výraznou asymetrii v distribuci dat a základní statistické charakteristiky.

2.2.5. Modelování tělesa granitu a celkové litologie ložiska Cínovec Východ

Modelování tělesa rudonosného granitu vychází ze 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. Bohužel řezy z druhého patra nezachycovaly průběh granitu až na povrch. Pro vymodelování granitu na povrchu byla použita geologická povrchová mapa s vrstevnicovým plánem, který byl pro oblast granitu digitalizován [4]. Na základě těchto dat byl vymodelován první předběžný model granitového tělesa.



Obr. 16: Ukázka chyby pozice a úklonu některých vrtů v databázi a v řezech. Řez chodbou 10307 získaný z archivních dat [2], nad kterým je zobrazen průběh vrtů z databáze.

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. Na obr. 16 je na podkladovém řezu chodbou 10307 prvního patra [2] zobrazena vlastní chodba a průběhy dovrchních a úpadních vrtů v daném řezu. Průběhy vrtů jsou zobrazeny systémem

překrývajících se křížků, nad kterými je velikostí tečky a její barvou vyjádřena hodnota obsahu Li. Řada vrtů je v řezu vykreslena jinde a pod jiným úhlem než na původním rukopisném geologickém řezu. Současně je skutečností, že některé vrty z databáze vykazující vyšší obsahy Li se nacházejí v teplickém křemenném porfyru. Bylo proto nezbytné data v databázi časově náročně opravit pomocí studia původní archivní dokumentace, spolu s upřesněním průběhy vrtů, jejich označení, pozice atd. Teprve takto opravená databáze posloužila k vytvoření tělesa granitu.

Následovalo modelování vnitřních litologických rozhraní – hranic 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 makro *Dopn_kod_lit2* [7] pro „oceňování“ těchto záznamů – stupeň mineralizace, nebo také kód závislosti na litologii (viz část 2.2), kde byly hodnoty nastaveny podle tabulky 7.

Tabulka 7: Ocenění litologických záznamů pro litologický model.

	Litologie 1	Litologie 2	Litologie 3	Alterace1	Alterace2	Alterace3
granit	1	1	0.5			
greisen	6	3	1.5	1	1	1
deluvium	0					
mylonit	0	0	0			
pegmatit	2	0.25	0.25			
porfyr	1	0	0			
křemen	0	1	1			
ryolit	0	0	0			
syenit	1	0	0			
cinvaldit		0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
fluorit		0.5	0.5			

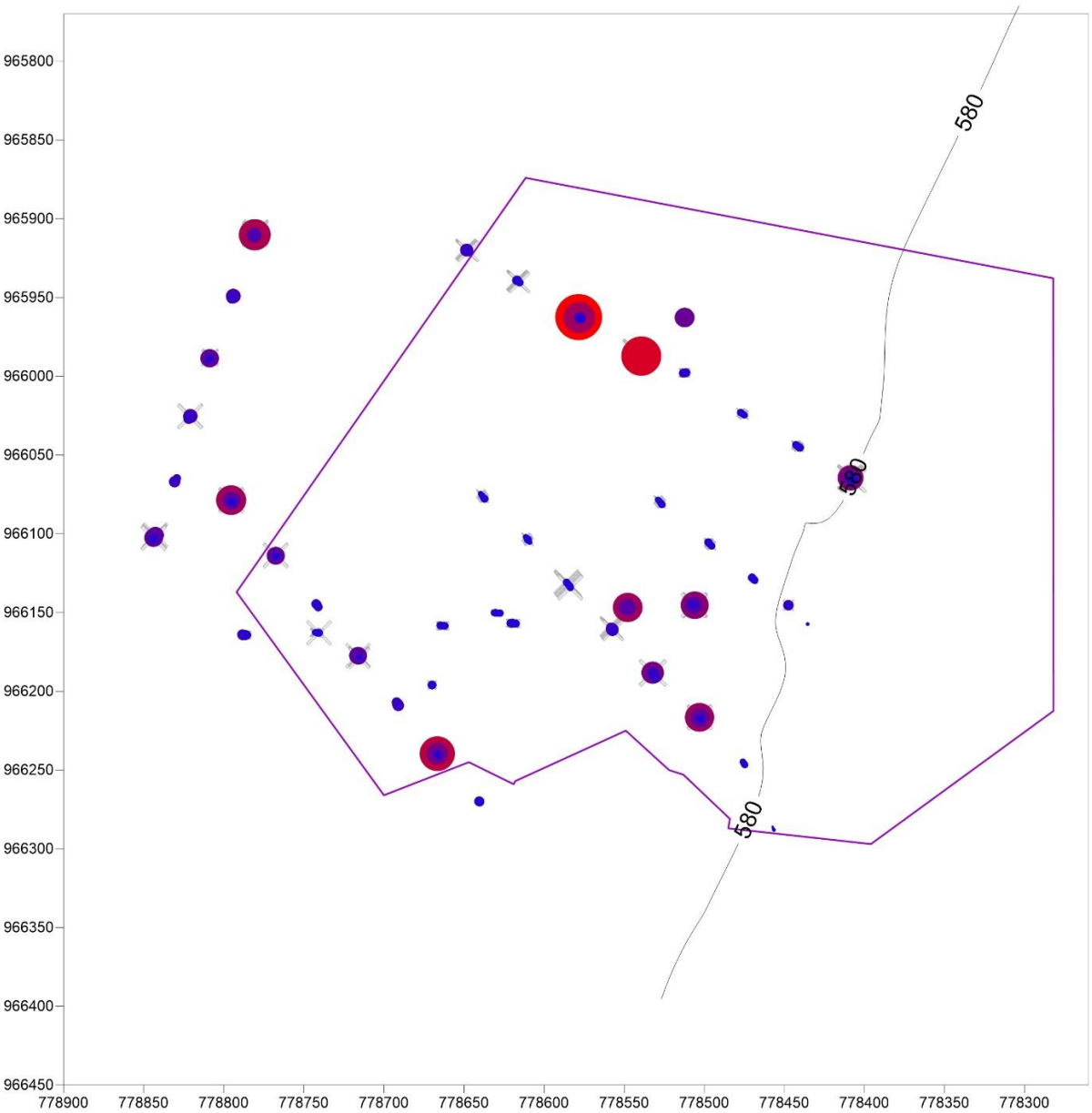
Při „oceňování“ se logicky vycházelo z předpokladu, že sloupec *Litologie1* je významnější než sloupec *Litologie2* a ten je významnější než sloupec *Litologie3*. Pokud se tedy ve sloupci tabulky *Litologie1* vyskytl záznam *greisen*, byl oceněn stanovenou hodnotou 6. Ve sloupci *Litologie2* již jen hodnotou 3 a ve sloupci *Litologie3* pak hodnotou 1.5. V případě např. granitu se nepředpokládá Sn a W zrudnění, pouze Li zrudnění, a proto byl granit ohodnocen hodnotou 1. Tedy jednotlivým litologickým typům byly přiřazeny různé hodnoty podle pravděpodobnosti výskytu daného zrudnění. V případě alterací byl důraz kladem především na greisenitizaci a částečně také na cinvalditizaci. Ostatní alterace nebyly brány v úvahu. Přiřazené hodnoty jednotlivým litologickým záznamům se nakonec pro jednotlivé řádky (vzorky) sečetly a graficky se vyjádřily pomocí symbolu kříže. Platí přitom zásada, že čím větší křížek, tím větší pravděpodobnost výskytu Li, Sn a W zrudnění. Protože se takto ocenily všechny rozpočtené vzorky po 1 metru, křížky se ve vrtech nebo chodbách navzájem překrývají (obr. 16, 17).

Následně bylo provedeno zobrazení kovnatosti jednotlivých zrudnění do jednotlivých vertikálních i horizontálních řezů. Krok horizontálních řezů byl pro tyto účely zvolen 5 metrů od výškové úrovně 500 do 700 m n.m. Pro zachování datové kontinuity mezi řezy, byly hodnoty průměrovány z nejbližších horizontálních řezů (viz část 2.2.4). Z výsledného zobrazení jednotlivých řezů vyplynulo, že vytvořený litologický model greisenových poloh neodpovídá zcela zjištěnému zrudnění (obr. 16 a 17). Navíc se zrudnění nacházelo i za hranicí granitu (obr. 17).

Snaha vymodelovat vnitřní kvazi homogenní bloky, na kterou je především vázáno zrudnění, ukázala na další nedostatky původních dat. Litologický popis nebyl pravidelně prováděn v krocích stejných jako v případě vzorkování Li, Sn a W. Některé chodby v úseku dlouhém i 85 m byly popsány pouze jedním vzorkem. Můžeme také polemizovat nad přesnosti určení litologie jednotlivých vzorů. Nesmíme zapomínat, že v granitovém tělese se vyskytují dva typy zrudnění. Řídkou sítí litologického vzorkování a nerozlišováním mezi těmito dvěma typy nelze vymodelovat zvlášť jeden a druhý typ. Navíc vymodelovat žilný typ greisenů je krajně obtížné, ne-li nemožné. Lze tedy konstatovat, že litologický model je možné použít pouze v oblastech s dostatečně podrobným, rovnoměrným a kvalitním litologickým popisem.

Výsledkem litologického modelu bylo také odhalení chyb v modelu granitu (obr. 17) – zrudnění dosahovalo za hranici granitu. Hranici svahu granitového tělesa bylo nezbytné opravit na základě

zobrazeného zrudnění pro jednotlivé horizontální řezy. Hranice dosahu granitu byla nově vykreslena a následně digitalizována pro jednotlivé výškové úrovně s krokem 5 metrů. Digitalizované body opravené hranice dosahu granitu pro jednotlivé výškové úrovně byly použity jako doplňkové body, k již dříve získaným. Ty bylo potřeba korigovat. Především v místech svahu tělesa granitu byla mnohá litologická rozhraní zatížena jistou mírou subjektivity v interpretaci jednotlivých geologů.

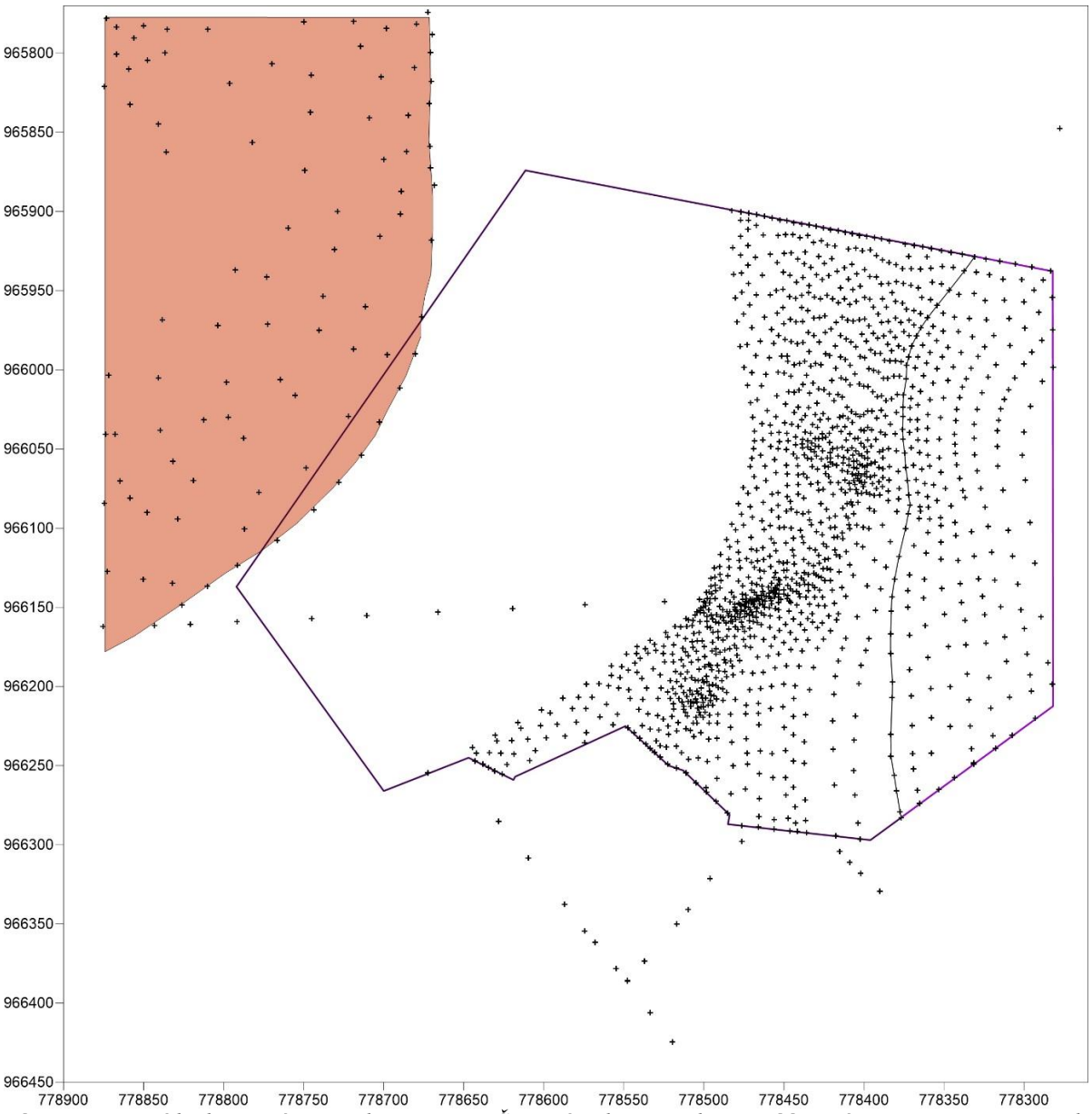


Obr. 17: Demonstrace chyby litologického modelu s Li zrudněním a pozicí hranice granitu pro výškovou úroveň 580 m.n.m.

Výsledný model granitu vznikl spojením tří různých gridů. Zvolený postup vytvořit model ze tří gridů byl nezbytný vzhledem k rozdílné hustotě vstupních dat (obr. 18). 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 různé interpolační metody a různě je nastavit pro výpočet. Vymodelovat

těleso granitu z takto nerovnoměrných dat, jednou interpolační metodou, se stejným nastavením parametrů, by vedlo ke značným chybám.

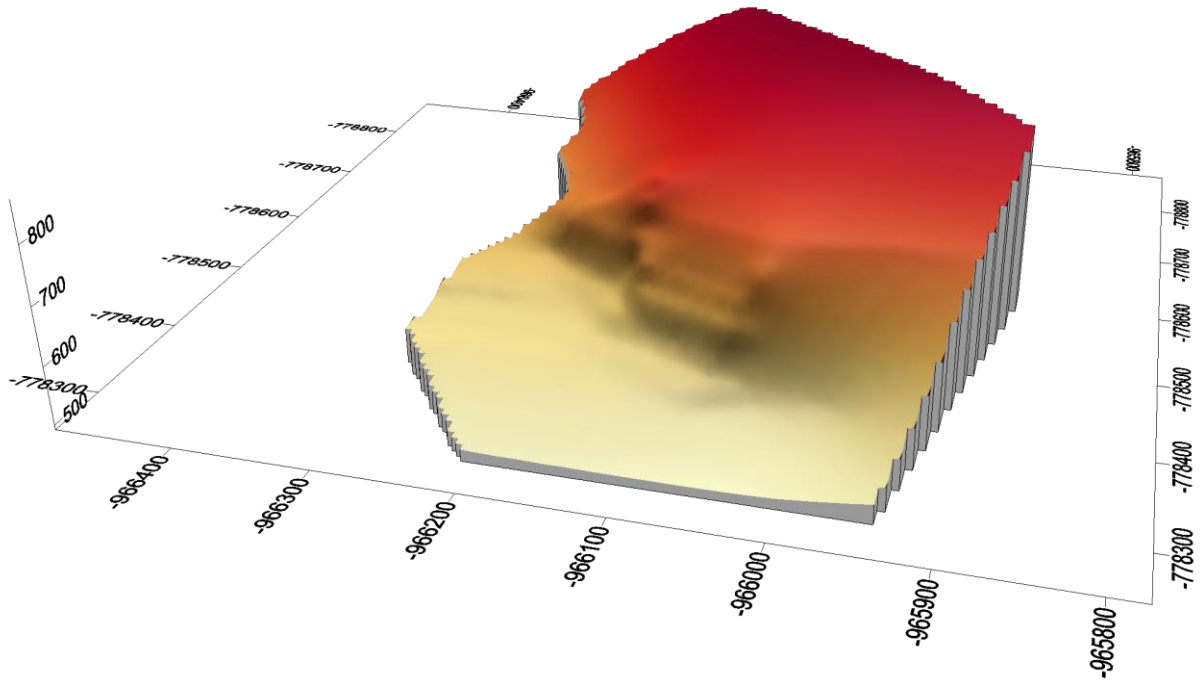
Z dřívějších modelů granitu byla za nejvhodnější interpolační metodu pro oblast povrchu granitu vybrána interpolační metoda minimální křivosti. Pro oblast vyšších sklonů hranice granitu byla vybrána jako nejvhodnější interpolační metoda kriging s lineárním modelem kombinovaným s exponenciálním. Střední část tělesa se modelovala ze všech dat pomocí interpolační metody kriging s lineárním modelem. Velikost buňky gridu pro tuto oblast byla vzhledem k řídké síti dat nastavena na 100 m. U předešlých částí modelu byla velikost buňky gridu jednotně nastavena na 20 m.



Obr. 18: Vstupní body pro výpočet tělesa granitu. Červený polygon zachycuje oblast výstupu granitu na povrch.

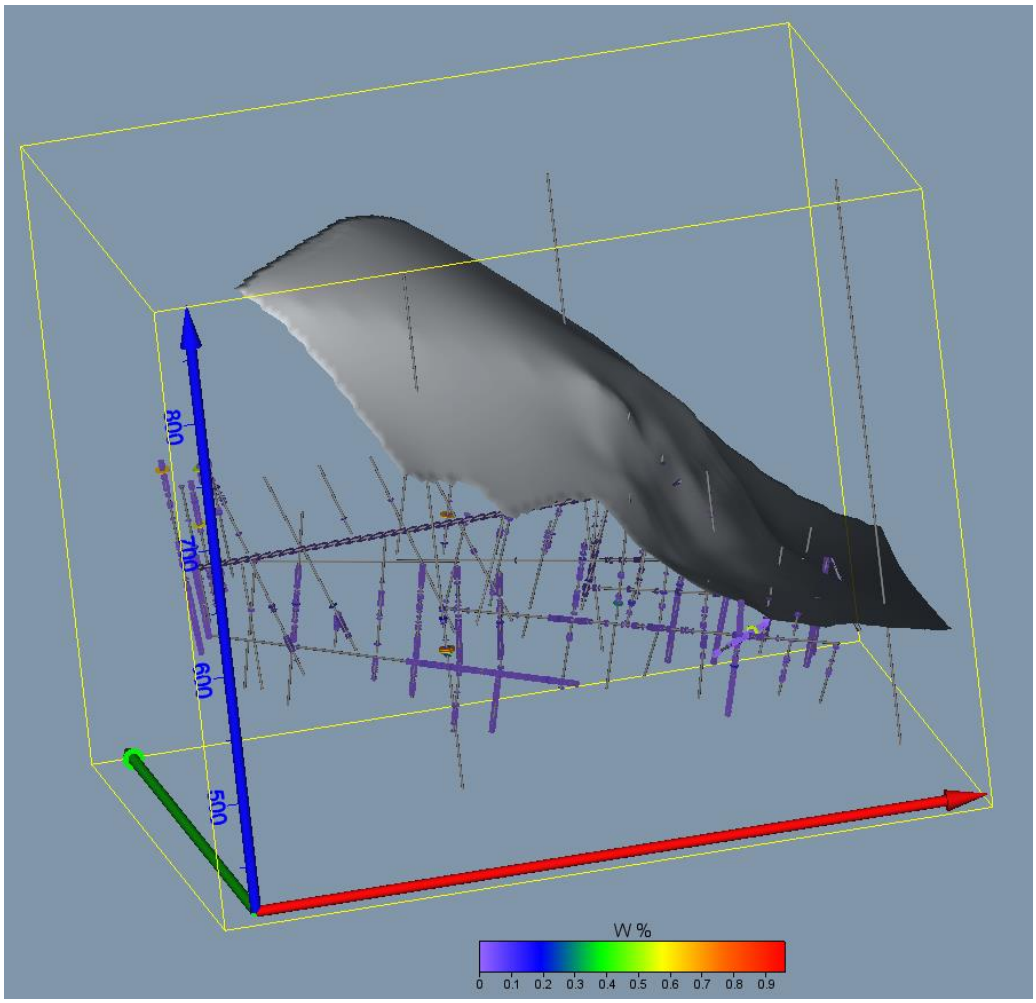
Vytvořené gridy bylo nutné ořezat s pomocí tzv. blankovacího polygonu tak, aby byla ponechána pouze objektivně modelovaná část tělesa. Pro blankovací polygon povrchové části granitu byla použita geologická povrchová mapa [4]. Z ní byla digitalizována hranice granitu, která společně s hranicí

zájmového území vytvořila blankovací polygon. Pro oblast svahu granitu byla za limitní blankovací linii použita hranice dosahu granitu horizontálního řezu výškové úrovně 700 m. Společně s hranicemi zájmového území byl vytvořen druhý blankovací polygon. Třetí blankovací polygon nebylo třeba vytvářet, protože hledaný prostor se nachází mezi oběma vytvořenými polygony.



Obr. 19: Prostorový 3D náhled na model tělesa granitu.

Oříznuté dílčí gridy byly následně spojeny. Použité programové vybavení *Surfer* ovšem umožňuje spojovat pouze gridy se stejnou velikostí gridu. Proto bylo nezbytné prostřední grid převzorkovat na 20ti metrový grid. Výsledný model tělesa granitu je tedy spojkou tří různě modelovaných gridů. Nový model tělesa granitu (obr. 18) byl následně v horizontálním směru oříznut zájmovým polygonem a ve vertikálním směru hodnotou 700 a 500 m. Důvodem vertikálního oříznutí (viz výše) je nízký počet věrohodných dat z úrovní pod 500 m a nad 700 m. Na obr. 20 je 3D pohled na těleso granitu a pozice důlních a průzkumných děl (vrtů) v rámci demarkace ložiska.

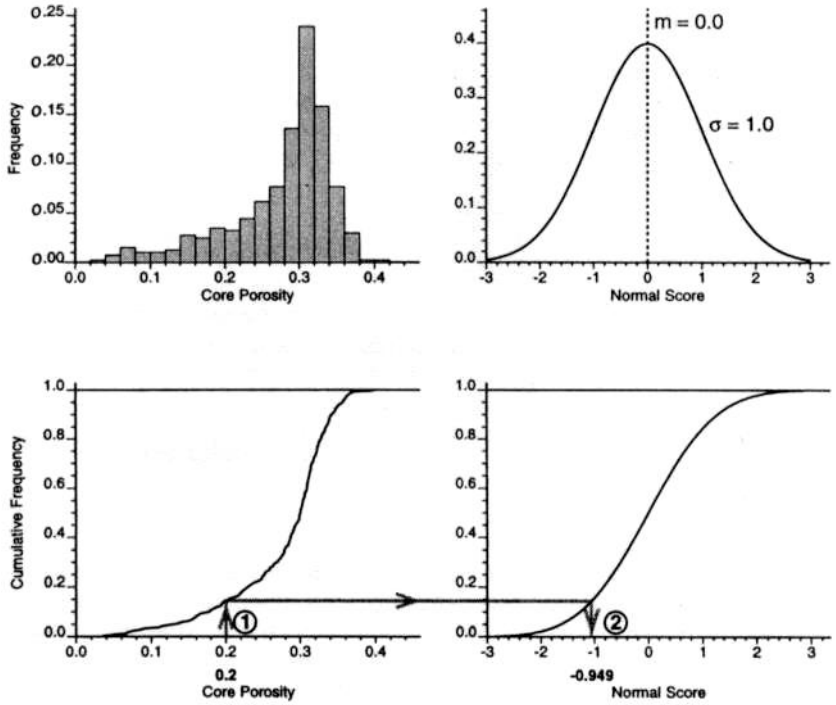


Obr. 20: 3D pohled na těleso granitu a pozice důlních a průzkumných děl (vrtů) v rámci demarkace ložiska Cínovec - Východ s proporcionálním zobrazením obsahu W v prostředí Voxler.

2.2.6. 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, řídících se normálním Gaussovým rozdělením [9].

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). Obr. 21 ilustruje tento proces. Tuto transformaci realizuje například program *NSCORE* v geostatistickém toolboxu *GSLIB* [5] nebo utilita *Trans* programu *SGeMS* [8].



Obr. 21: Postup transformace hodnot do normální distribuce. Pro transformaci jsou použity kumulativní četnosti (vlevo dole) histogramu (vlevo nahoře). Příklad transformace hodnoty 0,2: 1. zjištění kumulativní četnosti pro hodnotu 0,2, 2. odečtení odpovídající hodnoty distribuční funkce normovaného normálního rozdělení (vpravo dole) a odpovídající hodnoty (-0,949) [5]

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 2.2.8) a hodnoty gridu jsou pak programově zpětně transformovány opět utilitou *Trans* do původní distribuce (viz 2.2.9).

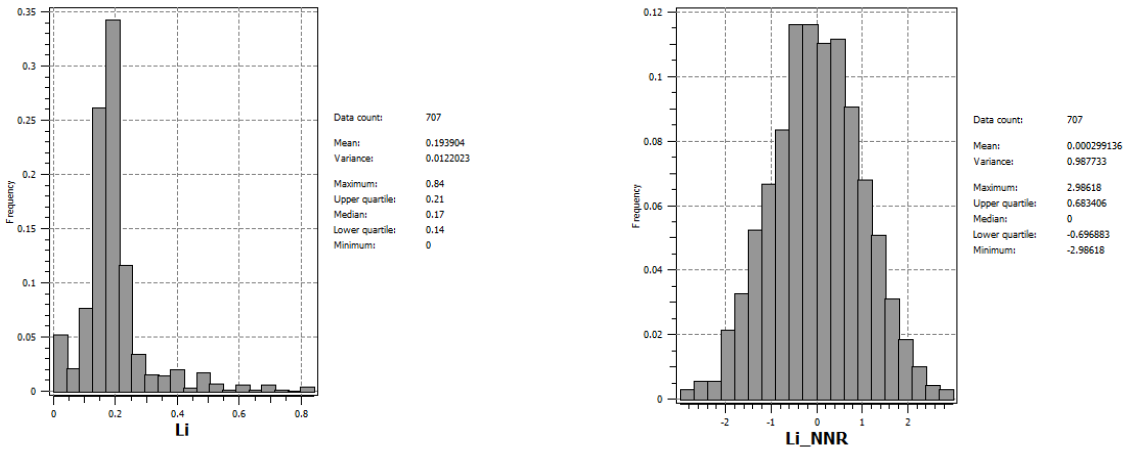
Na obr. 21 je zobrazena distribuce hodnot obsahů Li spolu se základními statistickými charakteristikami – vlevo původní distribuce a vpravo transformovaná do NNR. V podrobné zprávě [7] je zobrazen soubor *Trans_Hor_570_Li.par* s parametry transformace utility *Trans* pro hodnoty Li řezu 570 m. Tyto parametry vycházejí z distribuce Li (viz obr. 22). Takové soubory byly vytvořeny pro hodnoty Li, Sn, W všech řezů. Na obr. 23 je vizualizace hodnot Li převedených utilitou *Trans* do NNR v horizontálním řezu 570 m v prostředí *SGeMS*.

Hodnoty objektu *SGeMS Hor_XXX* (kde *XXX* je Z souřadnice řezu), mj. hodnoty Li, Sn, W spolu s hodnotami Li, Sn, W transformovanými do NNR všech horizontálních řezů jsou exportovány z prostředí *SGeMS* do textových souborů *Hor_XXX_NNR.out* ve formátu GSLIB. Pro export je nutno v *SGeMS* spustit příkaz *SaveGeostatGrid*. Ukázka pro řez 560 m (*C:/Cínovec východ/* je složka, do které je soubor uložen):

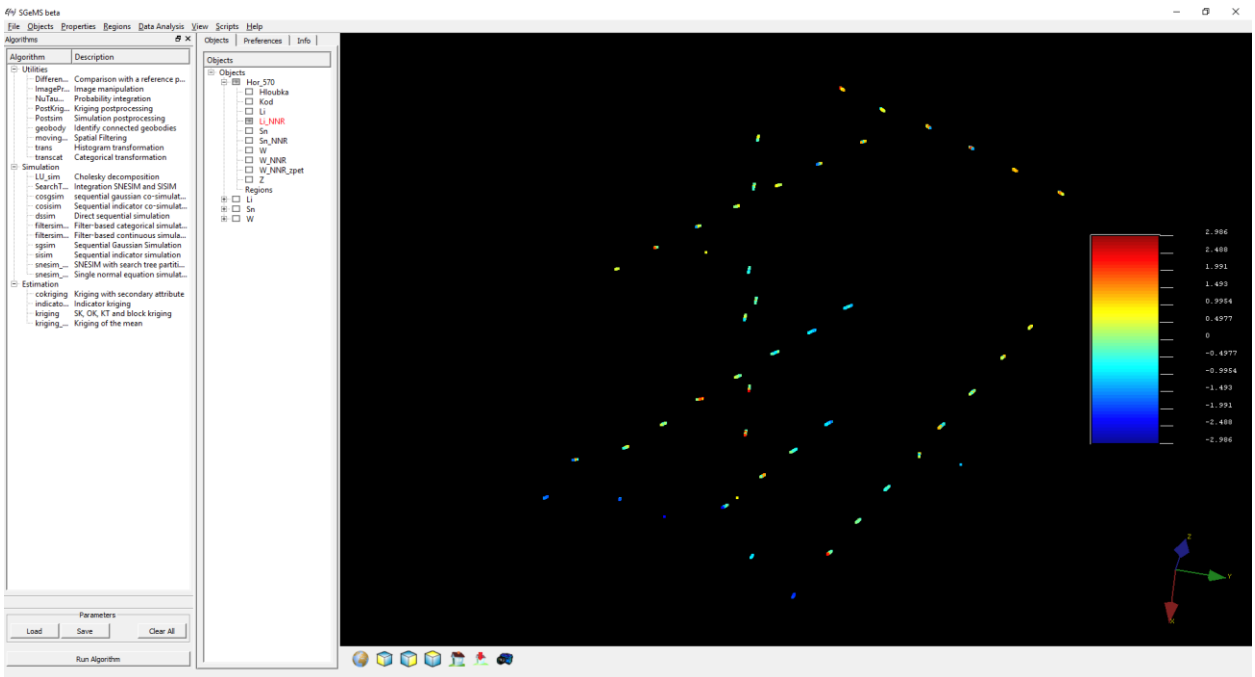
SaveGeostatGrid Hor_560::C:/Cínovec východ/ Hor_560_NNR.out::gslib

Jako ukázka je v tabulce 8 zobrazena část souboru *Hor_560_NNR.out*. Textové soubory *Hor_XXX_NNR.out* jsou následně převedeny do prostředí *Excelu* – vznikají tak odpovídající soubory *Hor_XXX_NNR.xls*, které slouží jako vstup pro geostatistickou strukturální analýzu (transformovaných) obsahů Li, Sn, W v jednotlivých horizontálních řezech (viz část 2.2.7) a tvorbu 2D gridů

(transformovaných) obsahů Li, Sn a W v jednotlivých horizontálních řezech (viz část 2.2.8). Jako ukázka je v tabulce 9 zobrazena část souboru *Hor_560_NNR.xls*, která odpovídá obsahu tabulky 8.



Obr. 22: Distribuce obsahů Li v horizontálním řezu 570 m – histogramy četností (vlevo původní distribuce a vpravo transformovaná do normovaného normálního rozdělení).



Obr. 23: Vizualizace hodnot Li převedených utilitou Trans do NNR v horizontálním řezu 570 m v prostředí SGeMS.

Tabulka 8: Ukázka části souboru Hor_560_NNR.out ve formátu GSLIB - výstup z prostředí SGeMS

```
Hor_560
12
X
Y
Z
Hloubka
Kod
Li
Li_NNR
Sn
Sn_NNR
W
```

```
W_NNR
Z
-778447.38  -966145.32  0  80.5  2.5  0.20000000298  0.487980157137  0.129999995232  1.54103505611
0.0120000001043 1.40709745884 -6.86000013351
-778447.38  -966145.32  0  81.5  2.5  0.20000000298  0.543964147568  0.189999997616  1.9763045311
0.0280000008643 1.9763045311 -5.86000013351
-778447.38 -966145.32 0 82.5 2.5 0.239999994636 0.972449302673 0.0799999982119 1.08778119087 0 -
0.300350576639 -4.86000013351
-778447.38  -966145.32  0  83.5  2.5  0.259999990463  1.33018100262  0.019999999553  0.096267297864  0
0.245570108294 -3.8599998951
-778447.38 -966145.32 0 84.5 2.5 0.330000013113 1.71025872231 0.00999999977648 -0.066011801362 0
0.268947720528 -2.8599998951
-778447.38 -966145.32 0 85.5 2.5 0.230000004172 0.879837453365 0.019999999553 0.00942356232554 0
-0.852412879467 -1.86000001431
-778447.38 -966145.32 0 86.5 2.5 0.180000007153 0.0471345111728 0.00999999977648 -0.0471345111728
0 -0.352034986019 -0.860000014305
-778447.38  -966145.32  0  87.5  2.5  0.25  1.18102192879  0.00999999977648  -0.0622346736491  0
0.332052499056 0.140000000596
-778447.38  -966145.32  0  88.5  6  0.330000013113  1.69420909882  0.00999999977648  -0.130411818624
0.0140000004321 1.47076976299 1.13999998569
-778447.38  -966145.32  0  89.5  6  0.340000003576  1.74374818802  0.00999999977648  -0.0886962413788
0.0120000001043 1.41731452942 2.1400001049
-778447.38  -966145.32  0  90.5  6  0.34999999404  1.76125359535  0  -2.00360131264  0.0240000002086
1.87968969345 3.1400001049
-778447.38  -966145.32  0  91.5  6  0.25  1.22772860527  0.00999999977648  -0.0924811065197  0  -
0.990756452084 4.13999986649
-778509.53  -966144.95  0  79.5  1  0.209999993443  0.615316271782  0.10000000149  1.31213772297  0  -
1.64850974083 -6.71000003815
-778509.81  -966144.92  0  80.5  1  0.209999993443  0.629039347172  0.0900000035763  1.19630146027  0  -
1.04128265381 -5.76000022888
-778510.1  -966144.89  0  81.5  1  0.170000001788  -0.153257146478  0.129999995232  1.54103505611  0  -
1.06092977524 -4.80000019073
```

Tabulka 9: Ukázka části souboru Hor_560_NNR.xls

X	Y	Z???	Hloubka	Kod	Li	LiNNR	Sn	SnNNR	W	WNNR	Z
-778447.38	-966145.32	0	80.5	2.5	0.2	0.48798	0.13	1.541035	0.012	1.407097	-6.86
-778447.38	-966145.32	0	81.5	2.5	0.2	0.543964	0.19	1.976305	0.028	1.976305	-5.86
-778447.38	-966145.32	0	82.5	2.5	0.24	0.972449	0.08	1.087781	0	-0.30035	-4.86
-778447.38	-966145.32	0	83.5	2.5	0.26	1.330181	0.02	0.096267	0	0.24557	-3.86
-778447.38	-966145.32	0	84.5	2.5	0.33	1.710259	0.01	-0.06601	0	0.268948	-2.86
-778447.38	-966145.32	0	85.5	2.5	0.23	0.879837	0.02	0.009424	0	-0.85241	-1.86
-778447.38	-966145.32	0	86.5	2.5	0.18	0.047135	0.01	-0.04713	0	-0.35203	-0.86
-778447.38	-966145.32	0	87.5	2.5	0.25	1.181022	0.01	-0.06223	0	0.332052	0.14
-778447.38	-966145.32	0	88.5	6	0.33	1.694209	0.01	-0.13041	0.014	1.47077	1.14
-778447.38	-966145.32	0	89.5	6	0.34	1.743748	0.01	-0.0887	0.012	1.417315	2.14
-778447.38	-966145.32	0	90.5	6	0.35	1.761254	0	-2.0036	0.024	1.87969	3.14
-778447.38	-966145.32	0	91.5	6	0.25	1.227729	0.01	-0.09248	0	-0.99076	4.14
-778509.53	-966144.95	0	79.5	1	0.21	0.615316	0.1	1.312138	0	-1.64851	-6.71
-778509.81	-966144.92	0	80.5	1	0.21	0.629039	0.09	1.196301	0	-1.04128	-5.76
-778510.1	-966144.89	0	81.5	1	0.17	-0.15326	0.13	1.541035	0	-1.06093	-4.8

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

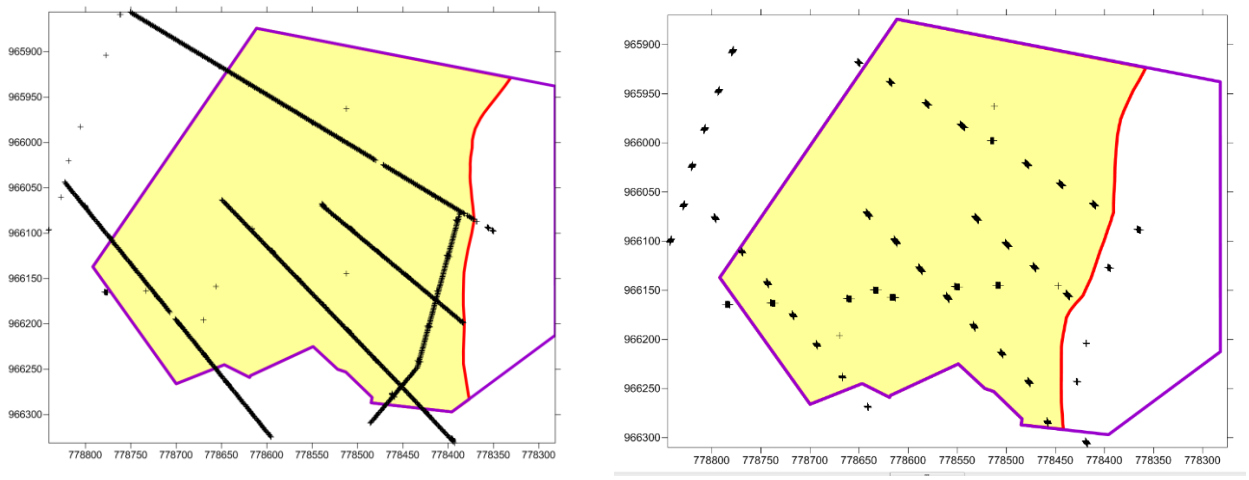
Úkoly analýzy struktury pole pro potřeby modelování komplexně řeší geostatistická strukturální analýza analýzou variogramů, které v sobě obsahují všechny potřebné strukturální informace. Cílem geostatistické strukturální analýzy je pomocí studia variogramů popsat kontinuitu, homogenitu, stacionaritu a anizotropii pole. K tomu je potřeba určit experimentální variogramy, vybrat odpovídající teoretické modely a provést jejich analýzu [6].

Izotropii nebo anizotropii pole lze zjistit vyhodnocením parametrů směrových variogramů vypočtených v různých směrech objektem. Jestliže lze dosahy takových variogramů proložit elipsu, jde o geometrickou

anizotropii pole, kterou lze eliminovat afinní transformací souřadnic. Pole je izotropní, jsou-li dosahy směrových variogramů přibližně stejné.

Dosah variogramu vyjadřuje kontinuitu pole, nehomogenita pole se projevuje oscilací prahu, nestacionarita pole se projeví parabolickou deformací variogramu v oblasti prahu.

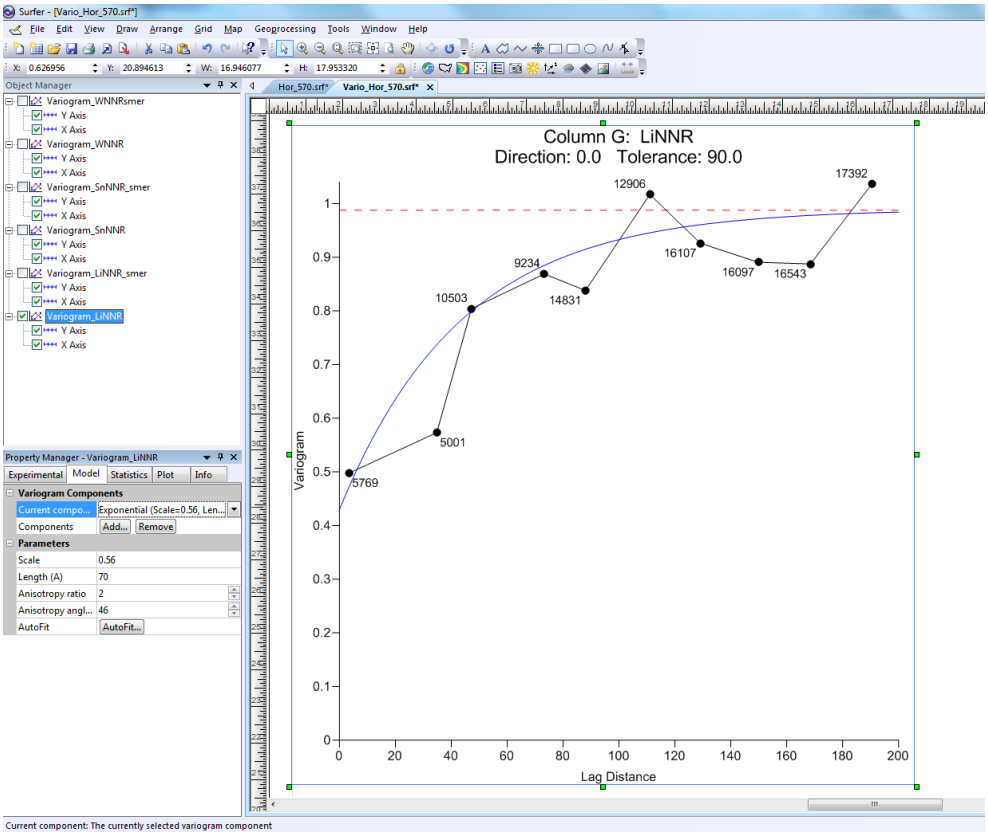
Za tímto účelem je nutné provést zpracování variogramů – tzv. variografie (transformovaných) obsahů Li, Sn, W v jednotlivých řezech. Zásadní je přitom určení anizotropie pro jednotlivé prvky. Na výsledky strukturální analýzy má velký vliv rozmístění průzkumných bodů, přičemž je nejvhodnější pravidelná síť. Na obr. 24 jsou zobrazeny pozice vstupních údajů pro horizontální řezy 550 m (vlevo – 1968 analýz) a 570 m (vpravo – 707 analýz). Obr. 24 ukazuje velmi rozdílnou hustotu vzorkování, stejně jako nepravidelnou síť vzorků, která zkresluje zvláště v případě vzorkovaní chodeb v horizontálním řezu 550 m (2. patro) výsledky variografie.



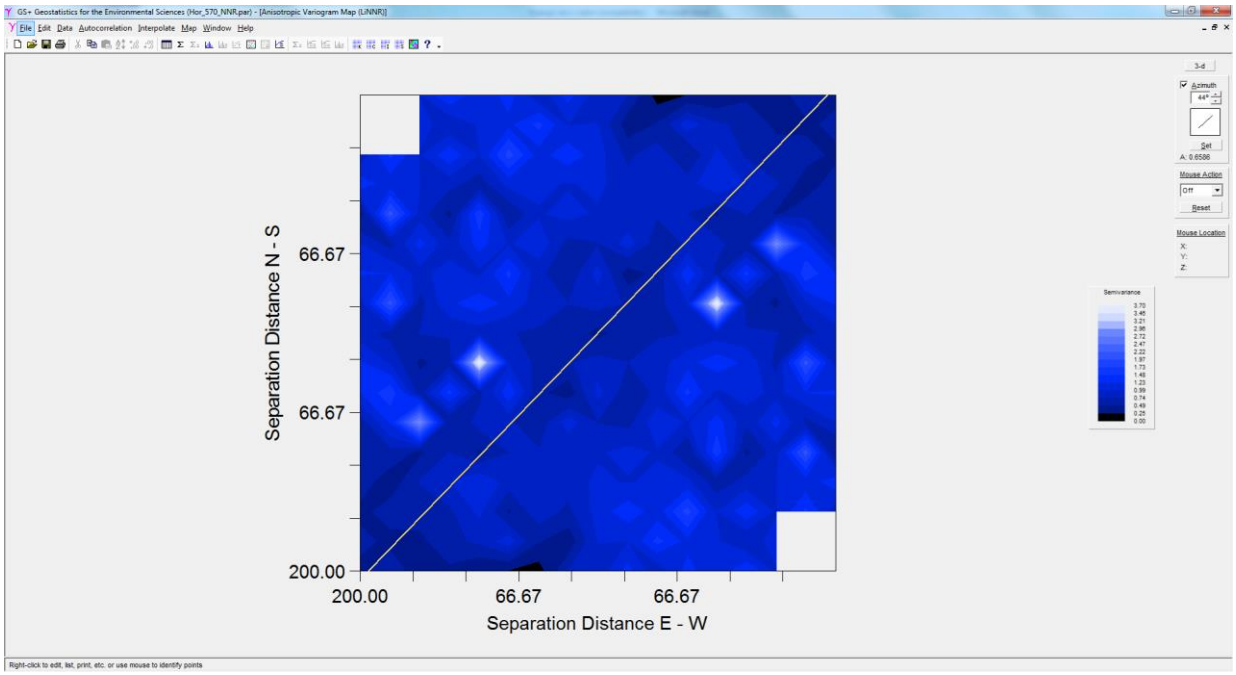
Obr. 24: Pozice vstupních údajů pro horizontální řezy 550 m (vlevo – 1968 analýz) a 570 m (vpravo – 707 analýz) ukazuje velmi rozdílnou hustotu vzorkování, stejně jako nepravidelnou síť vzorků.

Na obr. 25 je ukázka geostatistické strukturální analýzy v prostředí *Surfer* pro horizontální řez 570 m - experimentální variogram (černá kolečka) obsahů Li v NNR a teoretický model (modrá křivka), který dále slouží pro interpolaci geostatistickými metodami (transformovaných) obsahů Li, Sn, W v jednotlivých řezech (viz kap. 2.2.8).

Pro určení směru maximální kontinuity se často používá tzv. *Anisotropic Semivariance Surface* (*2D Variogram Map* [7]. Na obr. 26 je zobrazena 2D mapa variogramu obsahů Li v NNR – horizontální řez 570 m. Z ní je zřejmé, že hlavní osa anizotropie (směr maximální kontinuity) je 46° (azimut 44°).

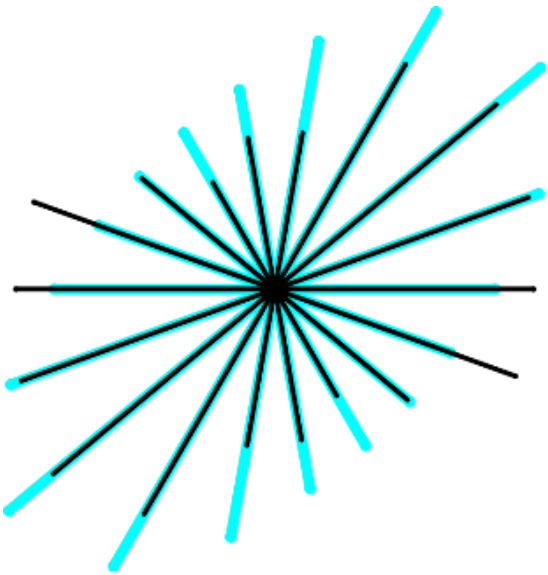


Obr. 25: Experimentální variogram (černé kolečka) obsahů Li v NNR a teoretický model (modrá křivka) pro horizontální řez 570 m.



Obr. 26: 2D mapa variogramu obsahů Li v NNR – horizontální řez 570 m.

Pro tvorbu elipsy anizotropie jednotlivých řezů byl použit postup popsaný v práci [7] Na obr. 26 je zobrazena elipsa anizotropie obsahů Li v NNR v horizontálním řezu 570 m – černě na základě směrových experimentálních variogramů a modře teoretického variogramu (hlavní osa anizotropie ve směru 46 st. a poměr os anizotropie 2).



Obr. 27: Elipsa anizotropie obsahů Li v NNR v horizontálním řezu 570 m – černě na základě směrových experimentálních variogramů a modře teoretického variogramu (hlavní osa anizotropie ve směru 46 st. a poměr os anizotropie 2)

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 (viz obr. 24) liší. Tady jsou dvě možné cesty řešení:

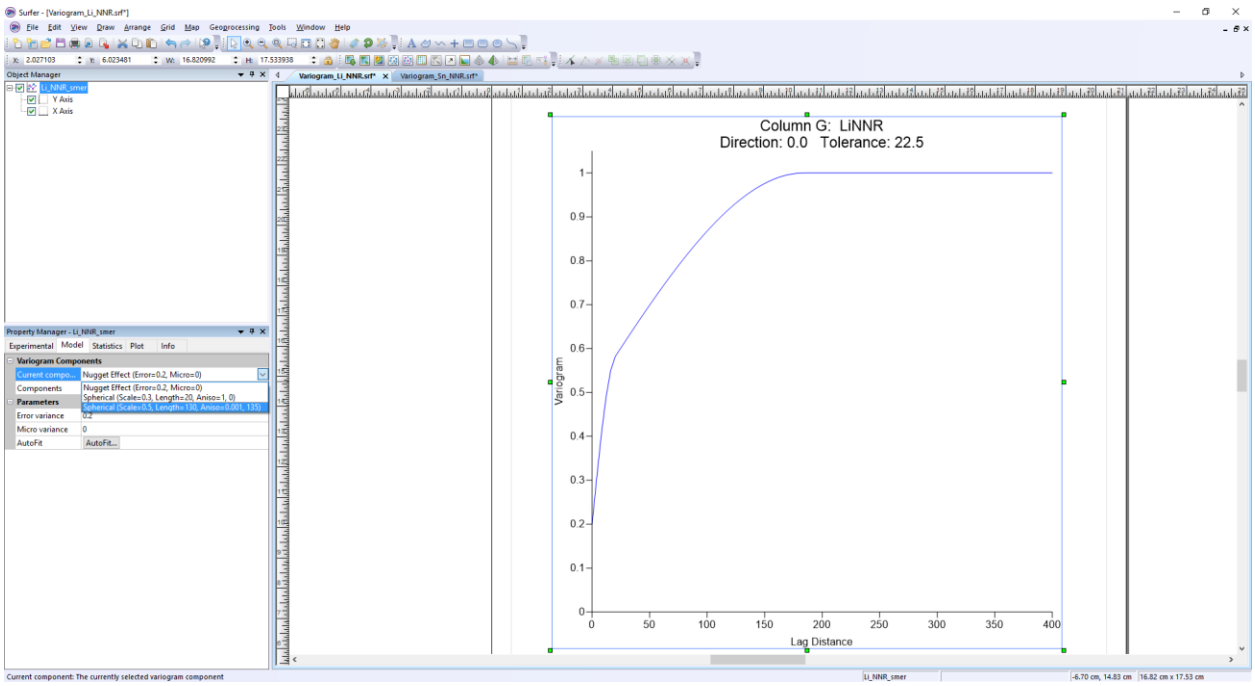
1. Respektovat výsledky strukturální analýzy v jednotlivých řezech a aplikovat pro interpolaci obsahů Li, Sn, W (transformovaných do NNR) v každém řezu jiné teoretické modely variogramů, tak jak byly vyhodnoceny zvlášť v každém horizontálním řezu.
2. Uplatnit jednotné teoretické modely variogramů pro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

Obě cesty jsou řešitelné nově vyvinutým software (program *GridNNR* – viz dále). Po kunzultaci s WP3 jsme pro demonstraci metodiky zvolili 2. způsob řešení. Za tímto účelem byla zpracována studie [9], ze které vyplývají tyto závěry pro teoretické modely variogramů do NNR transformovaných obsahů Li, Sn, W:

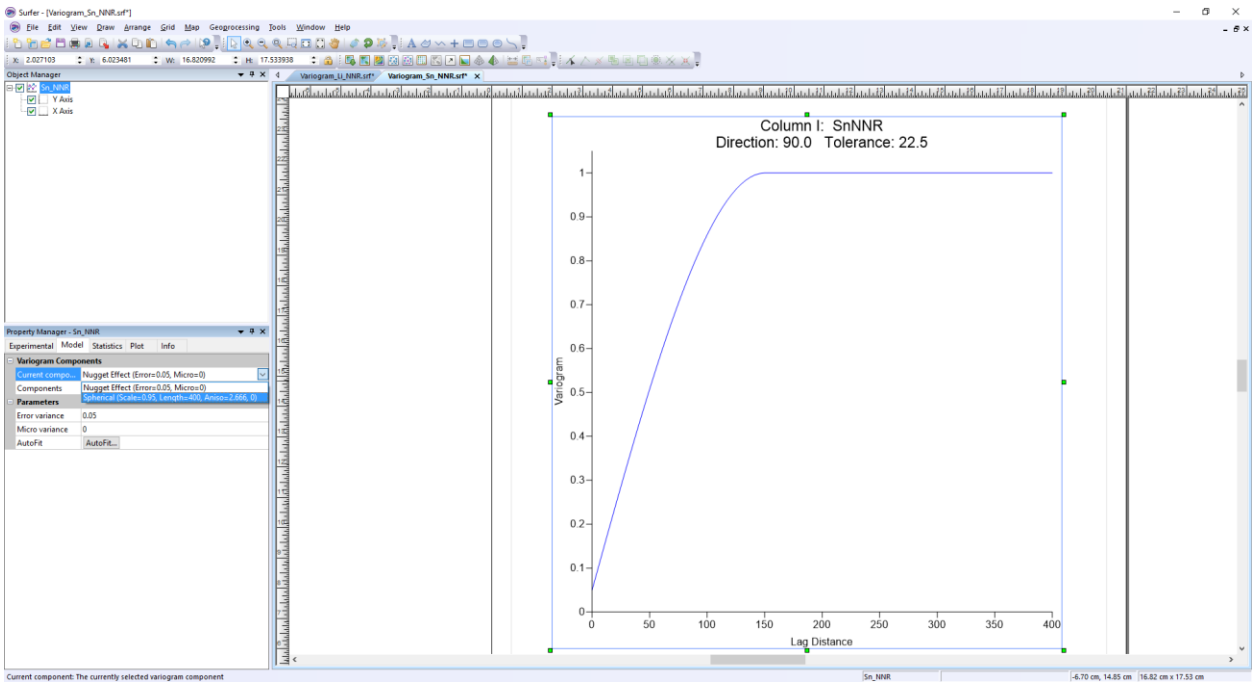
V případě použití modelů regionalizace jednotlivých sledovaných proměnných obsahů zrudnění na ložisku Cínovec – východ v procesu krigování a zobrazení prostorové distribuce těchto ložiskových atributů v prostředí *Surfer* je možné doporučit následující:

1. V případě modelování prostorové distribuce obsahu Li je v prostředí *Surfer* možné použít komplexní model regionalizace, složený ze tří struktur variability (obr. 28):
    a. Hodnota zbytkového rozptylu (nugget effect) má mít hodnotu okolo jedné pětiny celkového rozptylu vstupných údajů. Protože jsou vstupní údaje získané transformací původních údajů, má být hodnota zbytkového rozptylu rovná 0.2.
    b. Druhou strukturu variability reprezentuje izotropní sférická struktura s dosahem vlivu okolo 20 m a prahem cca 0.3.

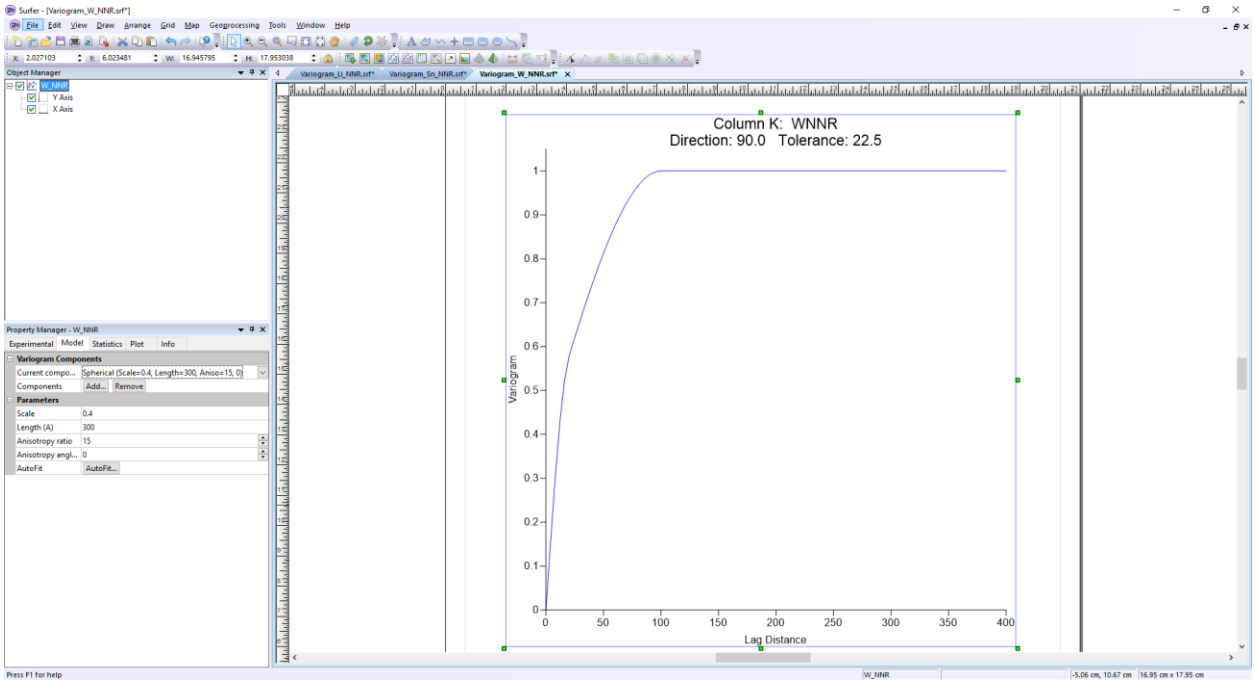
   c. Třetí strukturu variability reprezentuje anizotropní sférická struktura s dosahem vlivu 130 m ve směru SZ-JV a prahem 0.5. V směru SV-JZ je vhodné použít extrémně velkou hodnotu dosahu vlivu, resp. extrémní anizotropní poměr, což imituje zonální anizotropii.
2. V případě modelování prostorové distribuce obsahu Sn je v prostředí *Surfer* možné použít model regionalizace, složený ze dvou struktur variability (obr. 29):
   a. Nastavení zbytkového rozptylu s hodnotou 0.05.
   b. Použití jedné sférické struktury s prahem 0.95 a dosahem vlivu ve směru S-J 150 m s anizotropním poměrem tak, aby byl dosah vlivu ve směru kolmém přibližně 400 m.
3. V případě modelování prostorové distribuce obsahu W je v prostředí *Surfer* možné použít model regionalizace, složený ze dvou sférických struktur variability bez hodnoty zbytkového rozptylu. Parametre jednotlivých sférických struktur variability je možné použít přímo v prostředí *Surfer*, takto (obr. 30): První struktura má dosah vlivu 20 m v směru S-J a 300 m ve směru V-Z, což eliminuje vliv první sférické struktury v tomto směru. Důvodem je výrazná kontinuita variability ve směru V-Z v porovnaní se směrem kolmým. Druhá sférická struktura má ve směru S-J dosah vlivu 100 m a ve směru V-Z dosah totožný s dosahem první struktury variability. Tímto způsobem je definovaná globální geometrická anizotropie pro velké vzdálenosti. Práh první sférické struktury je 0.4 a druhé 0.6.



Obr. 28: Směrový variogram obsahu Li složený ze tří struktur variability ve směru V-Z v prostředí Surferu.



Obr. 29: Směrový variogram obsahu Sn složený ze dvou struktur variability ve směru S-J v prostředí Surferu.



Obr. 30: Směrový variogram obsahu W složený ze dvou struktur variability ve směru S-J v prostředí Surferu.

2.2.8. 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 [8] využívající strukturální vlastnosti ložiska prostřednictvím teoretických modelů variogramu (viz 2.2.7). Výhodou je také stanovení krigovacích chyb [8], které v podstatě ukazují věrohodnost stanovení hodnot jednotlivých bloků 10x10 m

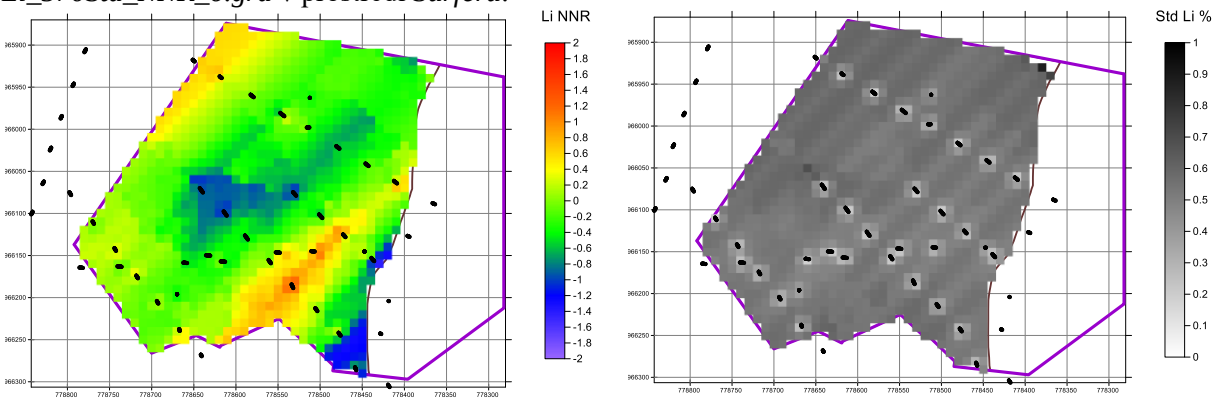
v řezech. Tuto činnost provádí pro zadané horizontální řezy ve *Visual Basicu* naprogramovaný program *GridNNR* [7].

Výsledky blokového krigingu závisí nejen na zvoleném typu modelů variogramu, ale také na nastavení parametrů interpolace [7], předdefinované hodnoty těchto parametrů jsou obsaženy v inicializačním textovém souboru *GridNNR_init.dat* [7]. 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 (*Li_XXX_NNR_o.grd, Sn_XXX_NNR_o.grd, W_XXX_NNR_o.grd* – pro jednotlivé horizonty *XXX*).
- 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 (*Li_XXX_NNR_o.out, Sn_XXX_NNR_o.out, W_XXX_NNR_o.out* – pro jednotlivé horizonty *XXX*).
- *Grd* soubory krigovacích chyb (gridy ve formátu *Surfer*) obsahů Li, Sn a W v NNR distribuci jednotlivých vrstev horizontů v oblasti granitového tělesa (*Li_XXXStd_NNR_o.out, Sn_XXXStd_NNR_o.out, W_XXXStd_NNR_o.out* – pro jednotlivé horizonty *XXX*).
- *Log* textové soubory pro načtení *Out* souborů do prostředí *SGeMS* (tlačítkem *Execute Commands File* v okně *Commands Panel*) a zpětnou transformaci do původní distribuce (*XXX.log* – pro jednotlivé horizonty *XXX*) – viz [7].

Na obr. 31 je ukázka výsledků gridování – zobrazení souboru *Li_570_NNR_o.grd* a *Li_570Std_NNR_o.grd* v prostředí *Surferu*.



Obr. 31: Výsledek interpolace v horizontálním řezu 570 m – vlevo blokový kriging pro obsahy Li v NNR a vpravo věrohodnost tohoto stanovení – krigovací chyby.

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

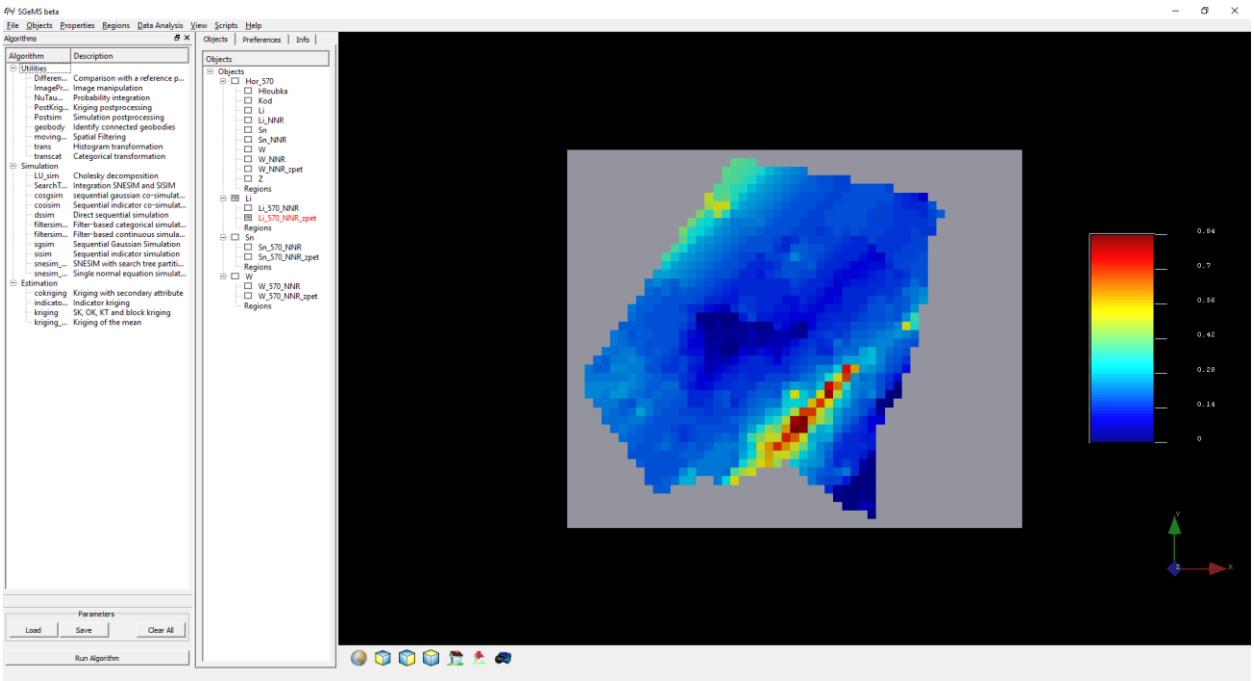
Jak bylo popsáno v podkapitole 2.2.6, je nutno hodnoty gridů v jednotlivých horizontálních řezech programově zpětně transformovat do původní distribuce. K tomu je opět využívána utilita *Trans* programu *SGeMS* [8].

Jak bylo uvedeno v části 2.8, 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 [7]. Postupně se tak v prostředí *SGeMS* pro jednotlivé horizontální

řezy spouští tlačítkem *Execute Commands File* v okně *Commands Panel* odpovídající *Log* textové soubory, které pro daný řez *XXX* provedou:

- vytvoření objektu *Li* obsahujícího dva objekty – *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. 32 je ukázka výsledku zpětné transformace – zobrazení objektu *Li_570_NNR_o.grd* v prostředí *SGeMS*. V tabulce 10 je ukázka části výstupního souboru *Li_570_zpet.out*. Hodnota „-9966699“ představuje v prostředí *SGeMS* nestanovenou hodnotu.

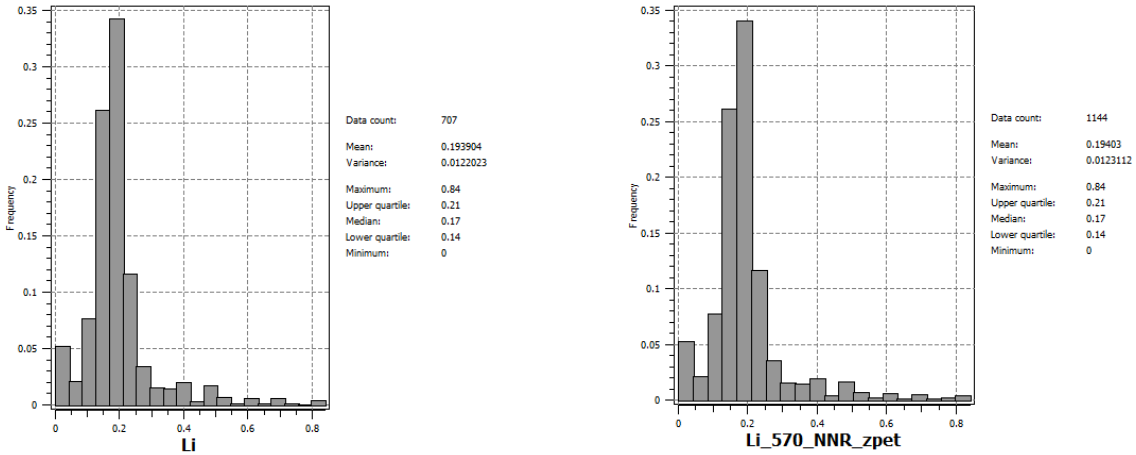


Obr. 32: Zobrazení objektu Li_570_NNR_o.grd v prostředí SGeMS - obsahů Li bloků 10x10 m v horizontálním řezu 570 m v původní distribuci po zpětné transformaci z NNR

Tabulka 10: Ukázka části souboru Li_570_zpet.out ve formátu GSLIB - výstup z prostředí SGeMS

```
Li (53x44x1)
2
Li_570_NNR
Li_570_NNR_zpet
-9966699 -9966699
…
-1.09690368176 0.019999999553
-9966699 -9966699
…
-1.17318367958 0.018017468974
-1.0843744278 0.019999999553
-0.73996758461 0.070000000298
-0.852708756924 0.0399999991059
```

Na obr. 33 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 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. 33: Srovnání distribucí obsahů Li v horizontálním řezu 570 m – vlevo vstupních hodnot, vpravo hodnot v blocích 10x10 m (gridu) po zpětné transformaci.

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

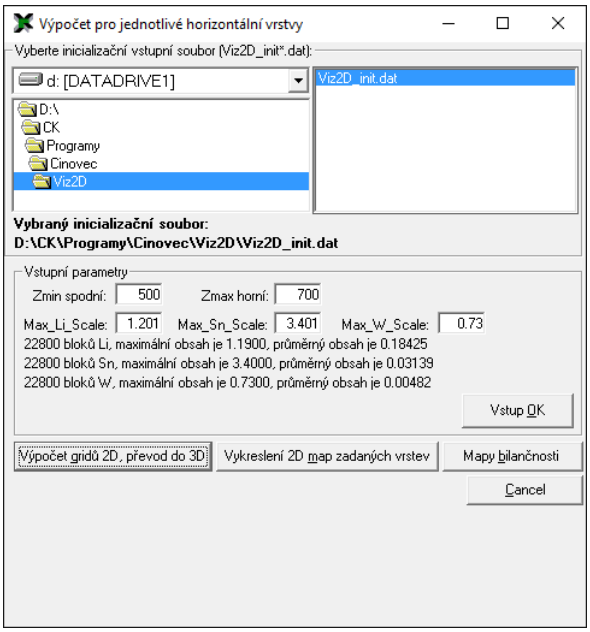
Po vytvoření všech gridů 10x10 m obsahů Li, Sn, W v jednotlivých horizontálních řezech (po 10 m od 500 do 700 m.n.m - viz výše) se provede transformace 2D gridů (*Li_XXX_zpet.out*, *Sn_XXX_zpet.out* a *W_XXX_zpet.out* pro *XXX* = 500, 510, …, 700) z formátu GSLIB do formátu grd a zároveň se provede jejich 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*“, jehož podrobný popis je uveden v podrobné zprávě [7].

V tabulce 11 je ukázka části výstupního souboru *Li_3D.dat*.

Tabulka 11: Ukázka části souboru Li_3D.dat

```
-778450 -966290 500 0.14
-778440 -966290 500 0.13
-778430 -966290 500 0.138
-778420 -966290 500 0.15
-778410 -966290 500 0.15
-778400 -966290 500 0.17
-778390 -966290 500 0.2
-778480 -966280 500 0.2
-778470 -966280 500 0.189
-778460 -966280 500 0.16
-778450 -966280 500 0.14
-778440 -966280 500 0.13
```

Po ukončení výpočtu této části programu *Viz2D* [7] se v okně programu zobrazí informace o počtu všech bloků 10x10x10 m a o jejich maximálních a průměrných hodnotách Li, Sn, W (obr. 34).

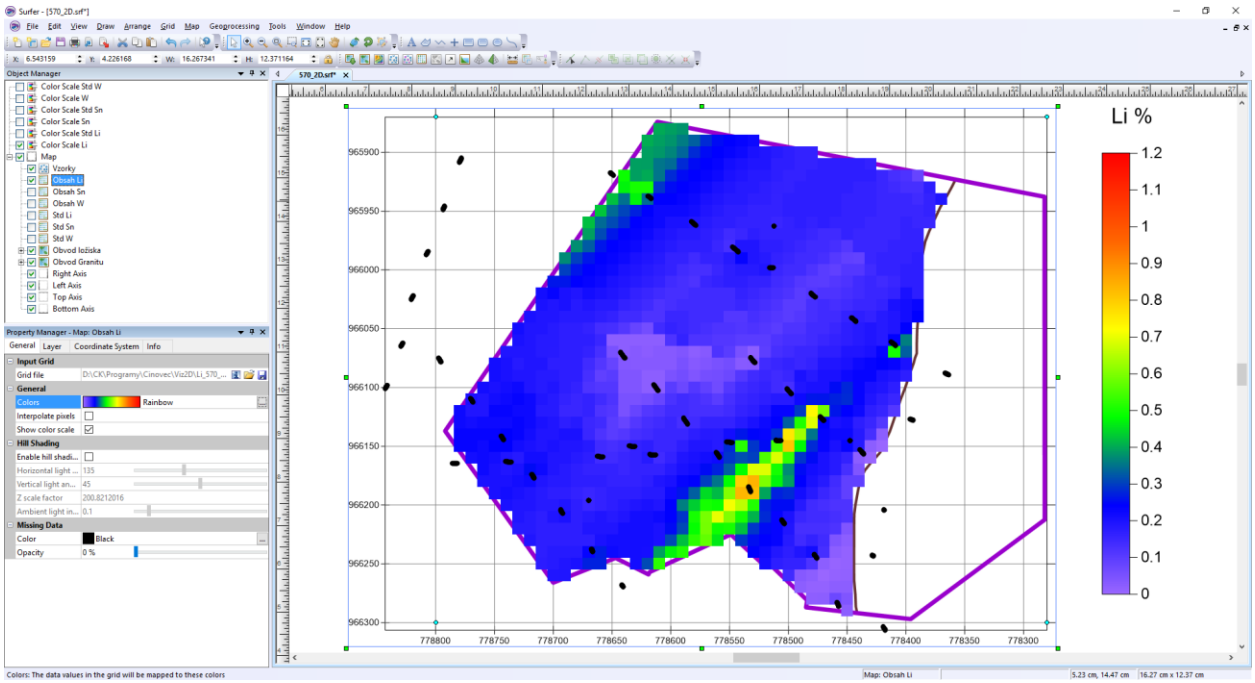


Obr. 34: Informace programu Viz2D o počtu všech bloků 10x10x10 m a o jejich maximálních a průměrných hodnotách Li, Sn, W.

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*). Tato činnost programu Viz2D je popsána v podrobné zprávě [7]. Na obr. 35 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.



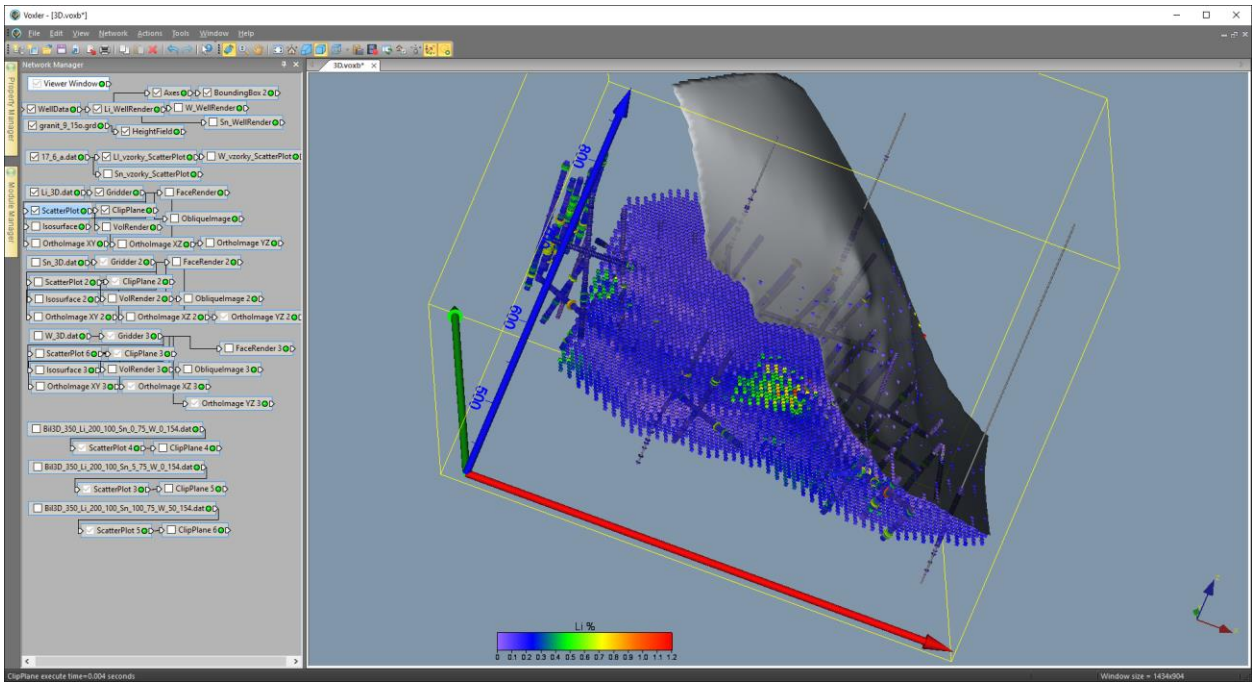
Obr. 35: Vizualizace horizontálního řezu 570 m (soubor 570_2D.srf) v prostředí Surferu.

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

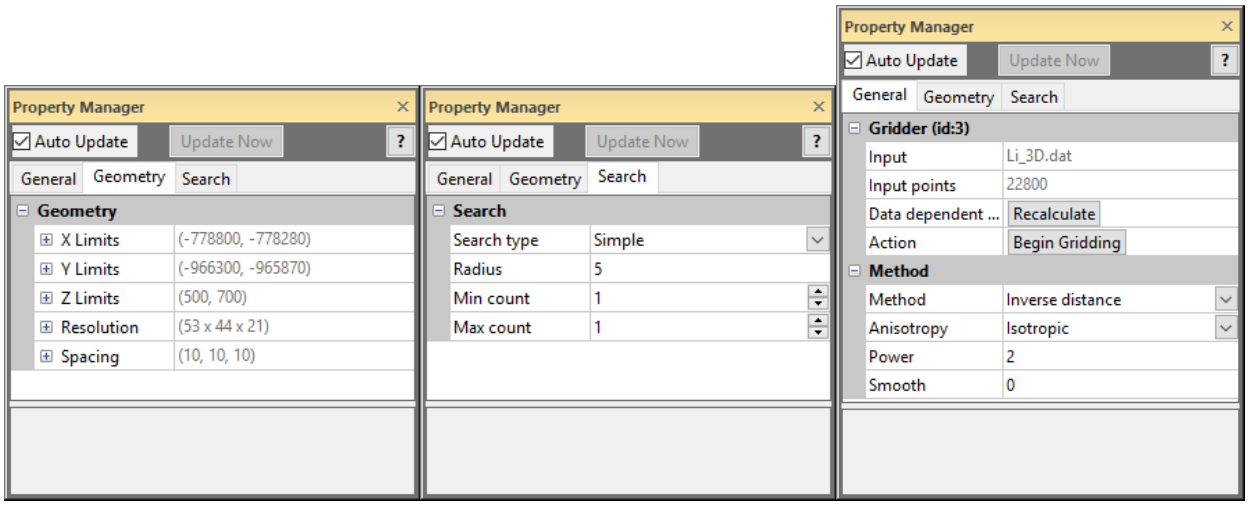
Po importu 3D gridů obsahů Li, Sn, W (viz 2.2.10, textových souborů *Li_3D.dat*, *Sn_3D.dat*, a *W_3D.dat*) do prostředí programu *Voxler* je možné ložisko vizualizovat ve 3D různým způsobem, v různých projekcích, směrech, rotaci apod. Prostředí *Voxleru* je zobrazeno na obr. 36. V okně *Network Manager* 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 (záložka *Geometry*, obr. 37) a nastavení vyhledávání (záložka Search, obr. 37) se grid vytvoří (záložka *General*, obr. 38). Poté lze už pro zobrazování 3D gridů obsahů Li, Sn nebo W použít:

- *ScatterPlot* s možností řezů – *ClipPlane* (obr. 38),
- *FaceRender* (obr. 39),
- *ObliqueImage* (obr. 40),
- *VolRender* (obr. 41),
- *Isosurface* (obr. 42),
- *OrthoImage XY*, *OrthoImage XZ*, *OrthoImageYZ* (obr. 43).

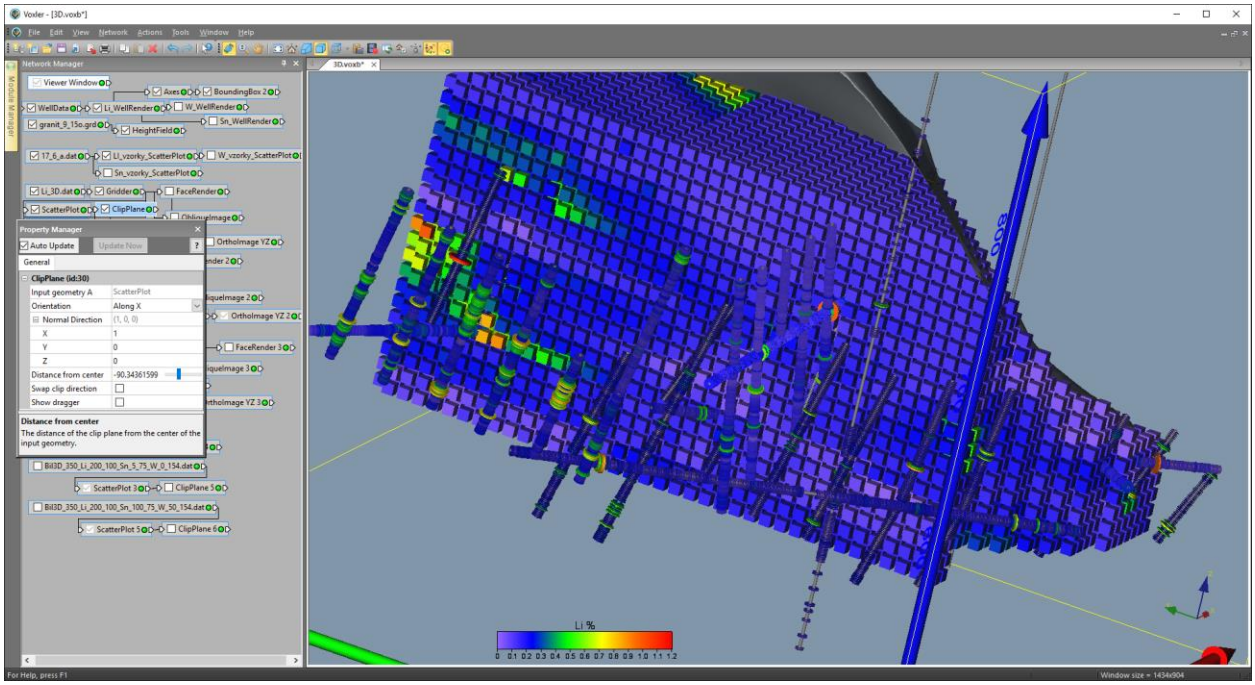
Tyto objekty je možné zapínáním/vypínáním zobrazovat v libovolné kombinaci, případně je možné vytvořit objekty další (například sérii řezů ložiskem pomocí několika objektů *OrthoImage*.



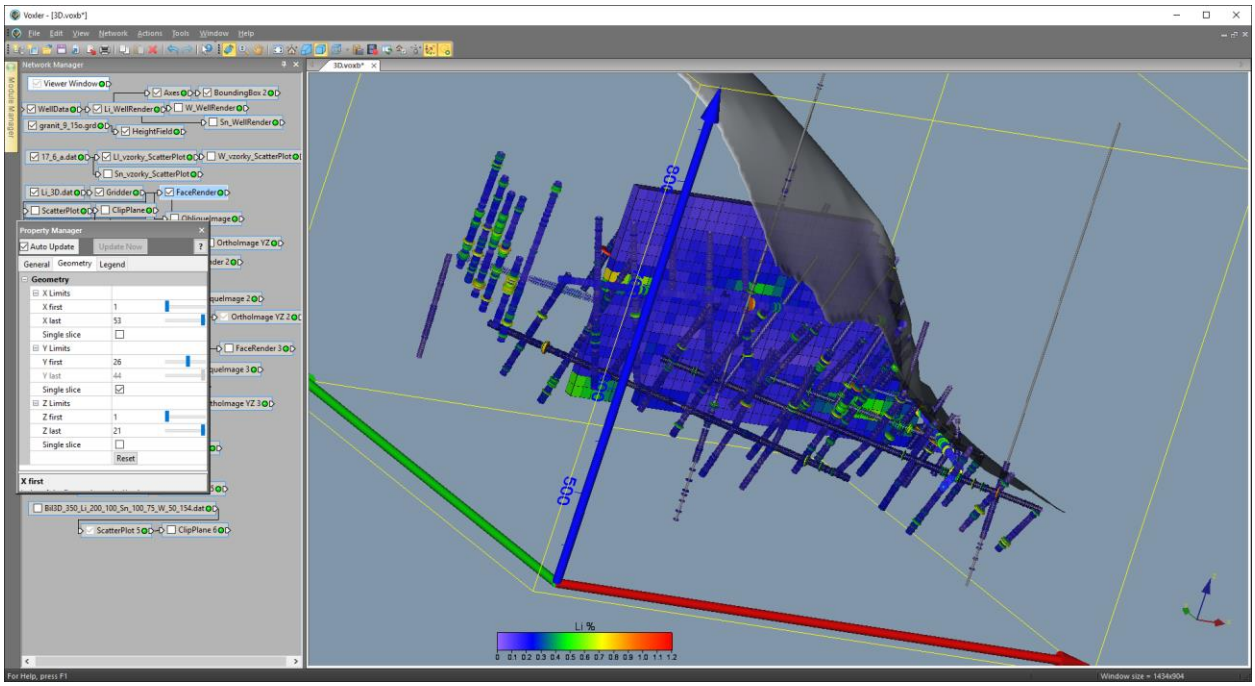
Obr. 36: Prostředí Voxleru se strukturou objektů určených pro 3D vizualizaci.



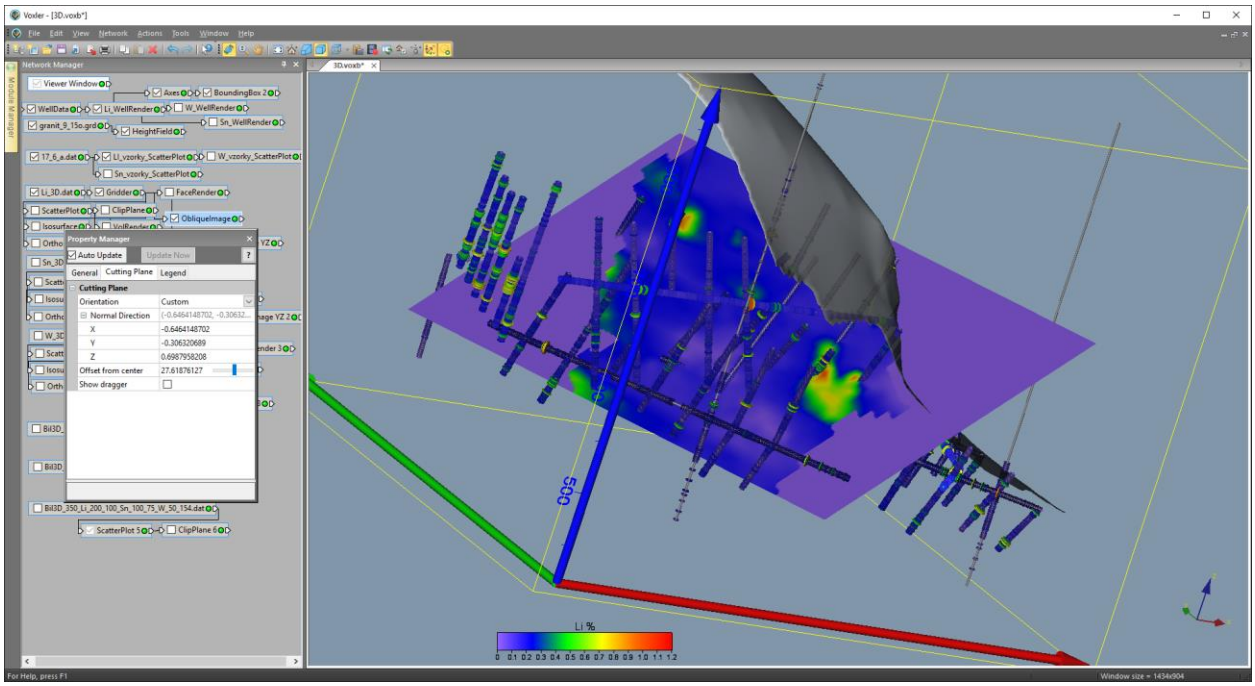
Obr. 37: Nastavení parametrů objektu Gridder.



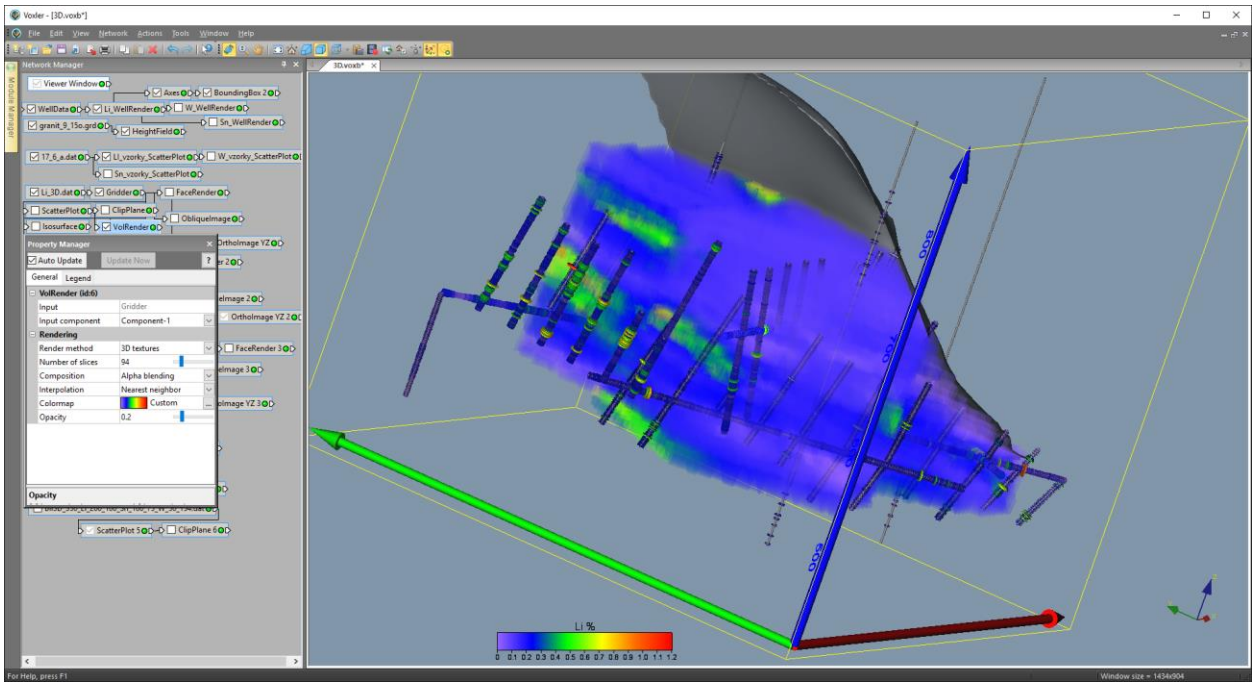
Obr. 38: 3D vizualizace obsahu Li bloků ložiska pomocí ScatterPlot - řez ClipPlane ve směru osy X.



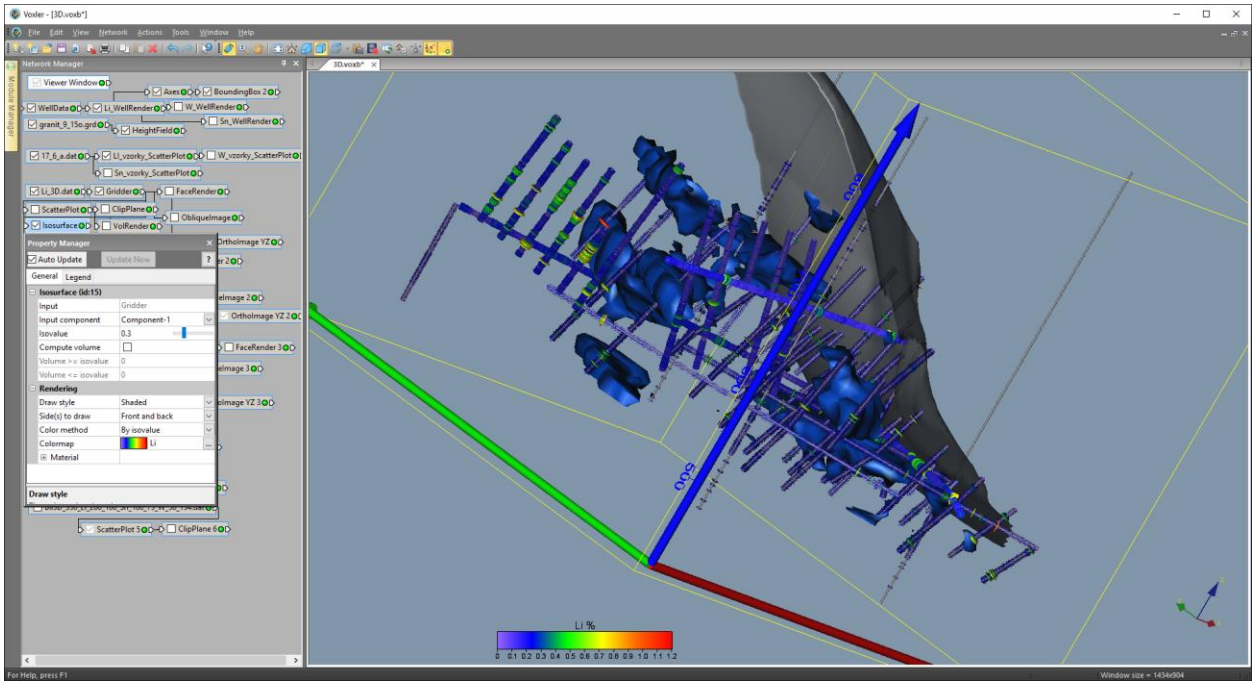
Obr. 39: 3D vizualizace obsahu Li bloků ložiska pomocí FaceRender – nastavení parametrů pro vertikální řez.



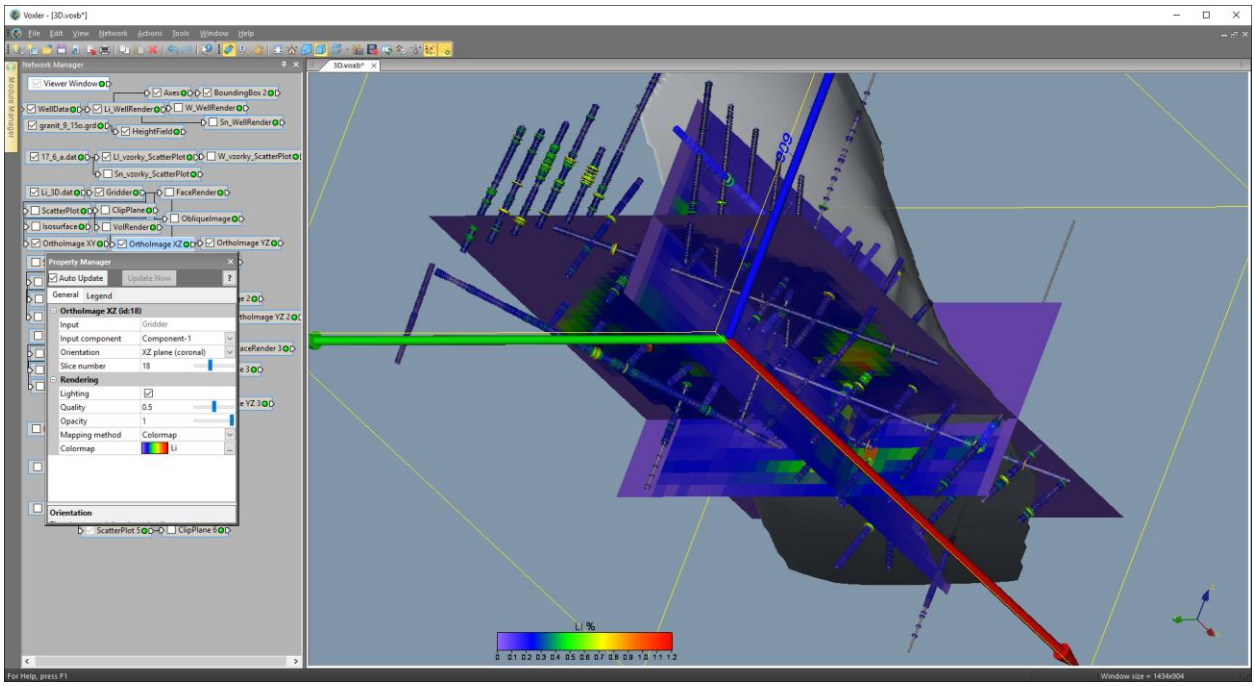
Obr. 40: 3D vizualizace obsahu Li bloků ložiska pomocí ObliqueImage *– náhodně nastavená geometrie řezu.*



Obr. 41: 3D vizualizace obsahu Li bloků ložiska pomocí VolRender.



Obr. 42: 3D vizualizace obsahu Li bloků ložiska pomocí Isosurface – obálka těles s obsahem 0.3 %.



Obr. 43: 3D vizualizace obsahu Li bloků ložiska pomocí OrthoImage XY, OrthoImage XZ, OrthoImageYZ.

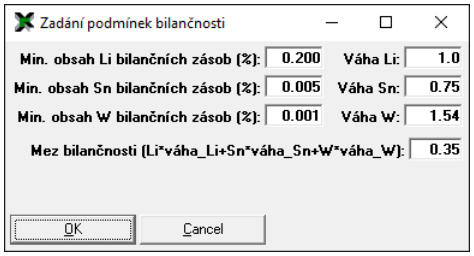
Podobně je možné vizualizovat i obsahy Sn a W 10x10x10 m bloků ložiska.

2.2.12. Vymezení bilančních a nebilančních oblastí v horizontálních řezech podle libovolně zadaných podmínek využitelnosti a odhady zásob.

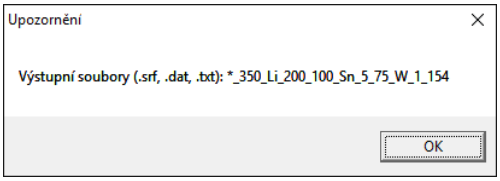
Program *Viz2D* - tlačítko *„Mapy bilančnosti“* [7] provádí podle zadaných parametrů podmínek využitelnosti vymezení bilančních (kód bilančnosti 2) a nebilančních (kód bilančnosti 1) bloků v jednotlivých horizontálních řezech, jejich převod do 3D gridu ve formě textových souborů tak, aby mohly být načteny do 3D prostředí *Voxleru* a generuje zásobovou sestavu s průměrnými hodnotami bloků v jednotlivých řezech a celkem. Zároveň provádí vizualizaci bilančních a nebilančních bloků všech horizontálních řezů v prostředí *Surfer* (viz část 2.2.13).

Po stisknutí tlačítka „Mapy bilančnosti“ se zobrazí okno pro zadání parametrů bilančnosti (obr. 44). Bilanční bloky (kód bilančnosti 2) jsou ty, které mají hodnotu *Li*váha_Li+Sn*váha_Sn+W*váha_W > Mez bilančnosti* a průměrné obsahy bloku musí být větší než minimální (obr. 45). Nebilanční bloky (kód bilančnosti 1) jsou ty, které mají hodnotu *Li*váha_Li+Sn*váha_Sn+W*váha_W <= Mez bilančnosti* a průměrné obsahy bloku musí být také větší než minimální.

Protože je možné postupně zadávat více variant parametrů bilančnosti, jsou parametry bilančnosti součástí názvů výstupních souborů, což se zobrazí v oznamovacím okně. Například pro parametry zadané na obr. 44 je oznámení o názvu výstupních souborů na obr. 45.



Obr. 44: Viz2D - zadání parametrů bilančnosti.



Obr. 45: Viz2D - oznámení o názvu výstupních souborů.

Soubor obsahující 3D grid pro zobrazení ve *Voxleru* má tak název *Bil3D_350_Li_200_100_Sn_5_75_W_1_154.dat* - obsahuje údaje X, Y, Z středu bloku 10*10*10 m, kód bilančnosti (1 nebilanční nebo 2 bilanční), hodnotu bilančnosti bloku (*Li*váha_Li+Sn*váha_Sn+W*váha_W*), průměrné obsahy Li, Sn a W bloku) ve 3D (tabulka 12). Zásobová sestava pro tuto variantu je pak soubor *Zas_350_Li_200_100_Sn_5_75_W_1_154.txt* (tabulka 13) a *Srf* soubory vizualizací bilančních a nebilančních bloků všech horizontálních řezů ve 2D se nazývají *Bil_XXX_350_Li_200_100_Sn_5_75_W_1_154_2D.srf* pro jednotlivé vrstvy *XXX*.

Zásobové sestavy pro další dvě varianty podmínek využitelnosti jsou v tabulkách 14 a 15.

Tabulka 12: Ukázka části souboru Bil3D_350_Li_200_100_Sn_5_75_W_1_154.dat

```
-778320 -966230 500 1 0.215 0.2 0.01 0.005
-778310 -966230 500 1 0.263 0.24 0.01 0.01
-778420 -966220 500 1 0.212 0.2 0.01 0.003
-778320 -966220 500 1 0.243 0.22 0.01 0.01
-778420 -966210 500 1 0.212 0.2 0.01 0.003
-778430 -966200 500 1 0.242 0.23 0.01 0.003
-778420 -966200 500 1 0.223 0.2 0.01 0.01
-778410 -966200 500 1 0.223 0.2 0.01 0.01
-778460 -966190 500 1 0.305 0.282 0.01 0.01
-778450 -966190 500 1 0.303 0.28 0.01 0.01
```

Tabulka 13: Zásobová sestava – soubor Zas_350_Li_200_100_Sn_5_75_W_1_154.txt

Vrstva	Pocet_Bil	Pocet_NeB	Prum_Li_Bil	Prum_Sn_Bil	Prum_W_Bil	Prum_Li_NeB	Prum_Sn_NeB	Prum_W_NeB
500	0	217	-	-	-	0.229	0.012	0.01
510	6	179	0.355	0.014	0.01	0.239	0.013	0.01
520	31	32	0.426	0.01	0.01	0.27	0.01	0.007
530	47	26	0.46	0.01	0.028	0.234	0.01	0.011
540	49	71	0.397	0.1	0.024	0.247	0.022	0.01
550	18	54	0.245	0.178	0.019	0.22	0.053	0.015
560	11	55	0.242	0.131	0.038	0.223	0.056	0.013
570	45	51	0.326	0.173	0.027	0.221	0.056	0.01
580	43	38	0.428	0.13	0.019	0.211	0.075	0.015
590	31	41	0.364	0.183	0.028	0.213	0.071	0.012
600	47	27	0.446	0.327	0.021	0.214	0.083	0.007
610	42	24	0.381	0.116	0.017	0.225	0.076	0.009
620	2	24	0.21	0.01	0.101	0.221	0.031	0.006
630	0	32	-	-	-	0.208	0.021	0.005
640	41	93	0.374	0.169	0.01	0.224	0.037	0.009
650	35	44	0.329	0.127	0.042	0.224	0.074	0.014
660	6	6	0.385	0.023	0.225	0.247	0.015	0.005
670	6	0	0.519	0.01	0.143	-	-	-
680	9	0	0.401	0.03	0.013	-	-	-
690	0	1	-	-	-	0.21	0.01	0.004
Celkem	469	1015	0.386	0.131	0.027	0.229	0.033	0.01

Tabulka 14: Zásobová sestava – soubor Zas_350_Li_200_100_Sn_5_75_W_0_154.txt

Vrstva	Pocet_Bil	Pocet_NeB	Prum_Li_Bil	Prum_Sn_Bil	Prum_W_Bil	Prum_Li_NeB	Prum_Sn_NeB	Prum_W_NeB
500	0	246	-	-	-	0.228	0.012	0.009
510	6	222	0.355	0.014	0.01	0.238	0.012	0.008
520	31	285	0.426	0.01	0.01	0.222	0.033	0.001
530	57	307	0.449	0.022	0.023	0.235	0.024	0.001
540	54	241	0.386	0.104	0.022	0.229	0.037	0.003
550	25	170	0.243	0.195	0.014	0.223	0.039	0.005
560	16	133	0.287	0.125	0.026	0.221	0.047	0.005
570	82	122	0.389	0.164	0.015	0.223	0.059	0.004
580	76	116	0.486	0.098	0.011	0.212	0.061	0.005
590	75	160	0.411	0.225	0.012	0.222	0.067	0.003
600	104	164	0.441	0.274	0.01	0.22	0.072	0.001
610	116	249	0.413	0.131	0.006	0.23	0.064	0.001
620	91	221	0.452	0.1	0.002	0.229	0.049	0.001
630	72	220	0.422	0.103	0	0.228	0.043	0.001
640	66	214	0.415	0.118	0.006	0.229	0.031	0.004
650	78	208	0.412	0.079	0.019	0.237	0.048	0.003
660	6	35	0.385	0.023	0.225	0.233	0.015	0.001
670	9	0	0.526	0.023	0.095	-	-	-
680	9	32	0.401	0.03	0.013	0.225	0.033	0
690	0	10	-	-	-	0.204	0.01	0
700	12	16	0.602	0.01	0	0.281	0.01	0
Celkem	985	3371	0.421	0.129	0.013	0.228	0.04	0.003

Tabulka 15: Zásobová sestava – soubor Zas_350_Li_200_100_Sn_0_75_W_0_154.txt

Vrstva	Pocet_Bil	Pocet_NeB	Prum_Li_Bil	Prum_Sn_Bil	Prum_W_Bil	Prum_Li_NeB	Prum_Sn_NeB	Prum_W_NeB
500	35	544	0.454	0	0	0.242	0.005	0.006
510	53	497	0.477	0.002	0.001	0.242	0.006	0.004
520	93	463	0.44	0.003	0.009	0.233	0.02	0.003
530	111	464	0.45	0.011	0.023	0.239	0.016	0.003
540	135	345	0.466	0.042	0.025	0.237	0.026	0.004
550	104	430	0.43	0.047	0.012	0.245	0.016	0.004
560	59	357	0.432	0.034	0.007	0.235	0.018	0.002
570	128	258	0.419	0.105	0.011	0.233	0.028	0.004
580	119	294	0.479	0.063	0.014	0.23	0.024	0.006
590	116	349	0.472	0.145	0.008	0.235	0.031	0.002
600	143	318	0.463	0.199	0.007	0.235	0.037	0.001
610	123	263	0.413	0.123	0.006	0.231	0.061	0.001
620	93	249	0.45	0.098	0.004	0.227	0.043	0.001
630	72	226	0.422	0.103	0	0.228	0.042	0.001
640	66	256	0.415	0.118	0.006	0.228	0.026	0.004
650	78	208	0.412	0.079	0.019	0.237	0.048	0.003
660	46	147	0.459	0.003	0.065	0.257	0.004	0.001
670	22	105	0.468	0.009	0.087	0.252	0	0
680	11	51	0.399	0.025	0.012	0.251	0.021	0
690	8	33	0.602	0	0	0.219	0.003	0
700	12	24	0.602	0.01	0	0.258	0.007	0
Celkem	1627	5881	0.447	0.078	0.013	0.237	0.023	0.003

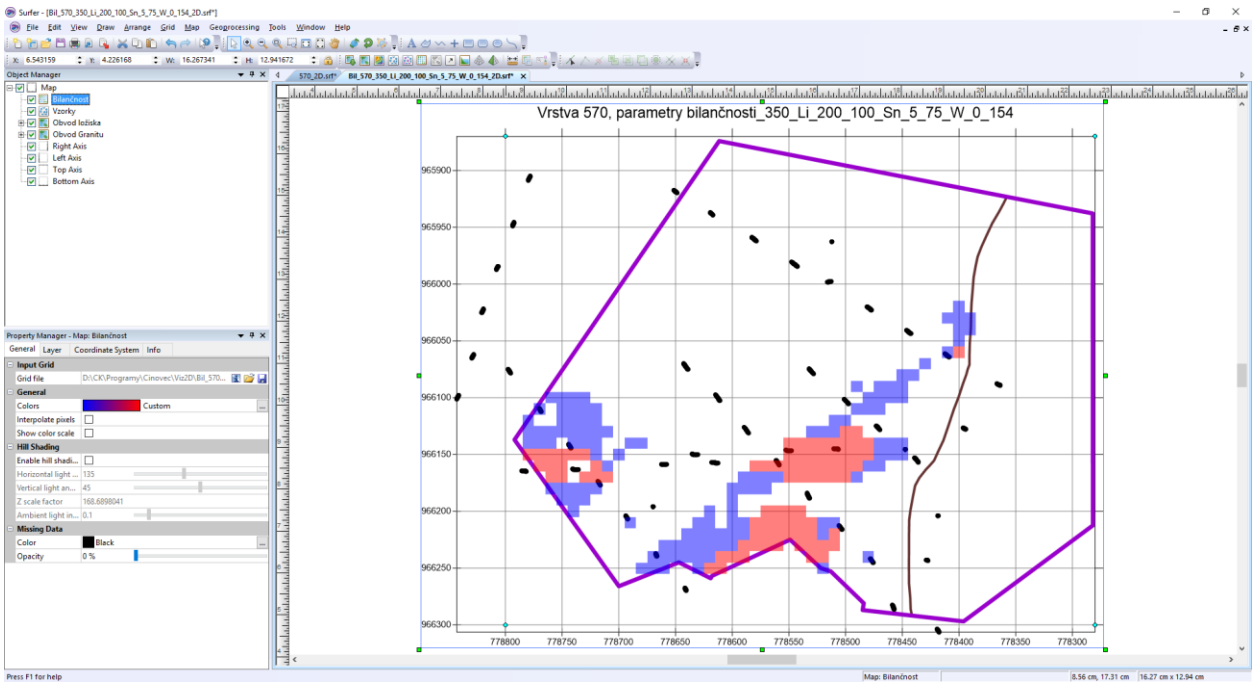
2.2.13. Vizualizace bilančních a nebilančních oblastí (ve 2D a ve 3D).

Jak bylo uvedeno už v části 2.2.13, provádí program *Viz2D* - tlačítko *„Mapy bilančnosti“* [7] také vizualizaci bilančních a nebilančních bloků všech horizontálních řezů v prostředí *Surfer* (postupně generuje soubory *Bil_XXX_*_2D.srf* pro jednotlivé vrstvy *XXX* s parametry bilančnosti *).

Na obr. 46 je vizualizace jednoho z 21 takto vzniklých horizontálních řezů v prostředí *Surferu* pro variantu podmínek využitelnosti s parametry „*350_Li_200_100_Sn_5_75_W_0_154*“. Bilanční bloky jsou červené, nebilanční modré. Zapínáním, případně vypínáním objektů v levém okně lze zobrazit:

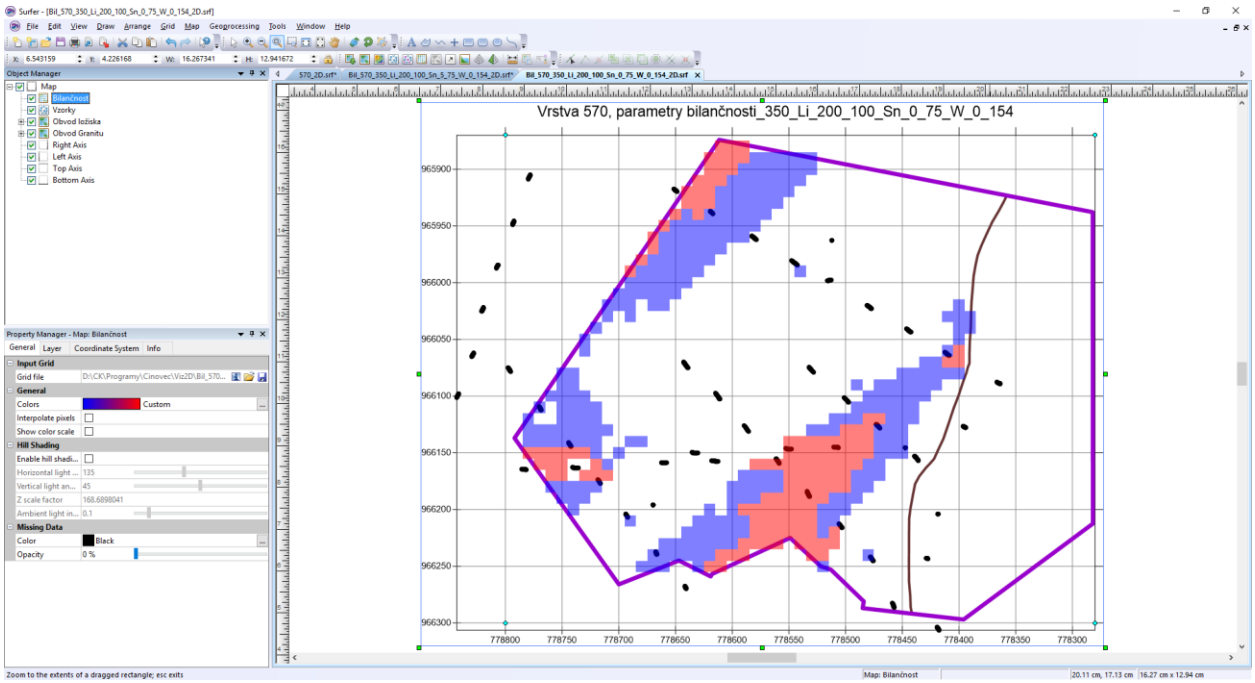
- Typ bilančnosti bloků řezu (objekt *Bilančnost*)
- Pozici vzorků v řezu (objekt *Vzorky*)
- Obvod ložiska – damarkaci (objekt *Obvod ložiska*)
- Obvod tělesa granitu (objekt *Obvod granitu*)
- Jednotlivé osy souřadného systému (Objekty *Right Axis*, *Left Axis*, *Top Axis*, *Bottom Axis*)

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

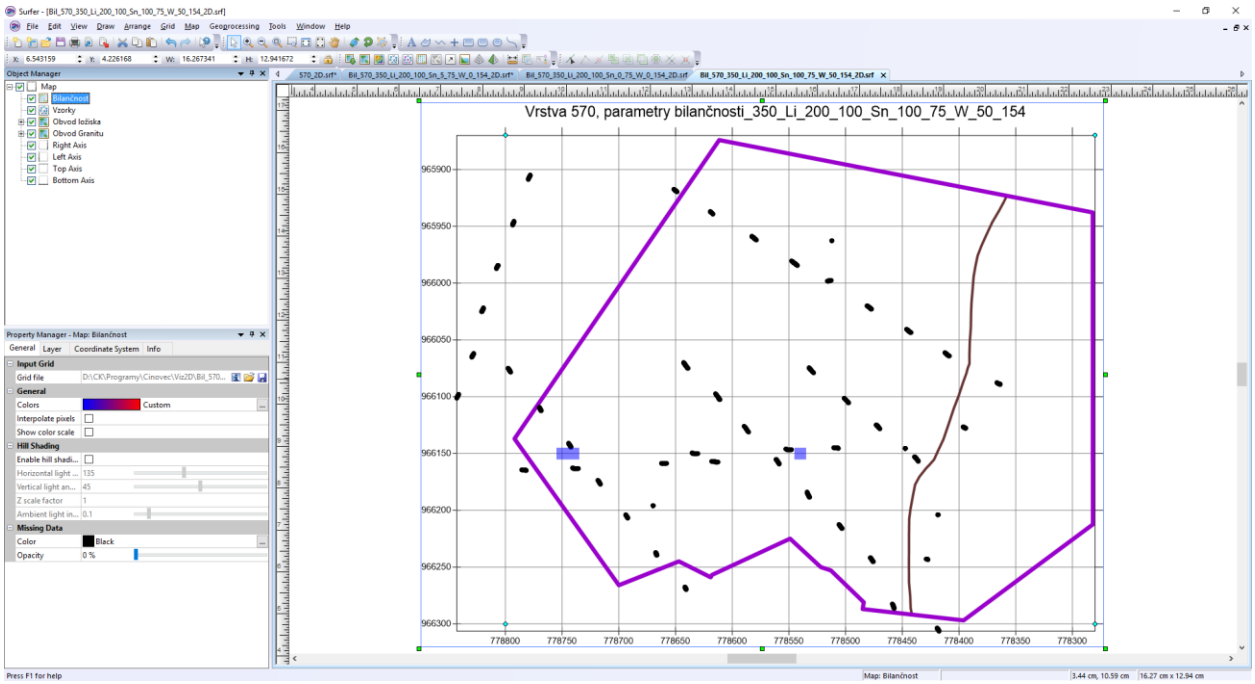


Obr. 46: Vizualizace bilančních a nebilančních bloků horizontálního řezu 570 m pro variantu podmínek využitelnosti 350_Li_200_100_Sn_5_75_W_0_154 (soubor Bil_570_350_Li_200_100_Sn_5_75_W_0_154_2D.srf) v prostředí Surferu.

Na obr. 47 je vizualizace jednoho z 21 takto vzniklých horizontálních řezů v prostředí *Surferu* pro druhou variantu podmínek využitelnosti s parametry „*350_Li_200_100_Sn_5_75_W_0_154*“ a na obr. 48 je vizualizace jednoho z 21 takto vzniklých horizontálních řezů v prostředí *Surferu* pro třetí variantu podmínek využitelnosti s parametry „*350_Li_200_100_Sn_5_75_W_0_154*“.

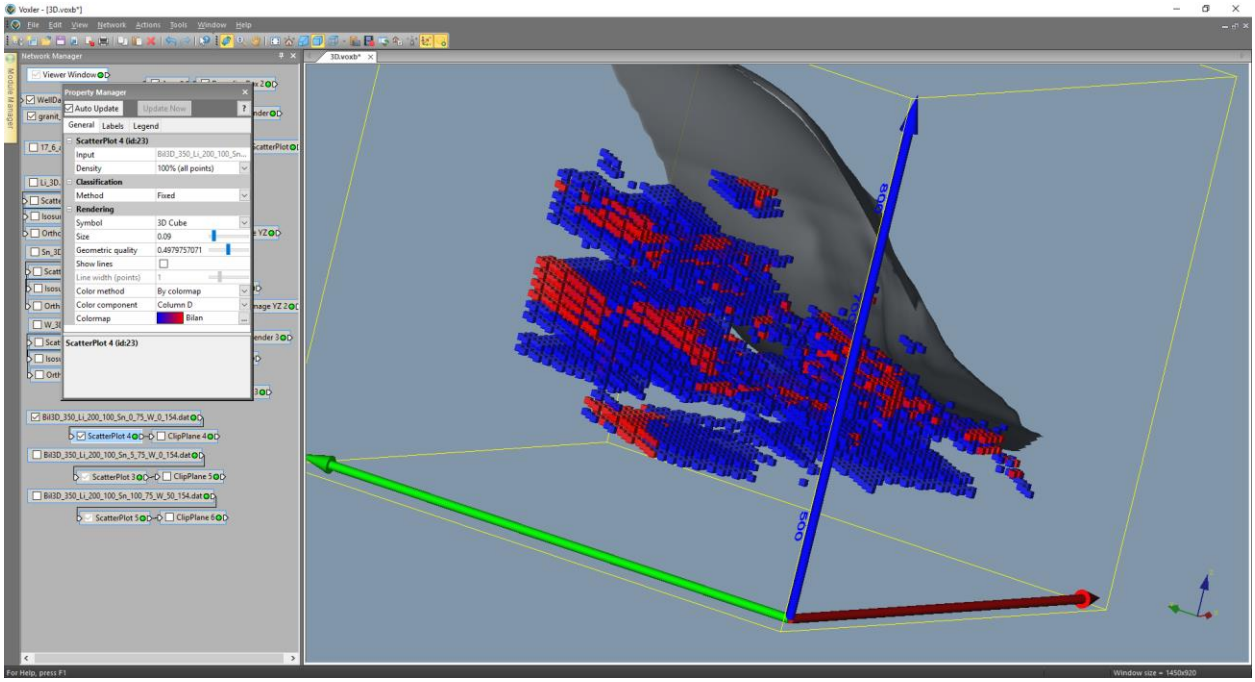


Obr. 47: Vizualizace bilančních a nebilančních bloků horizontálního řezu 570 m pro variantu podmínek využitelnosti 350_Li_200_100_Sn_0_75_W_0_154 (soubor Bil_570_350_Li_200_100_Sn_0_75_W_0_154_2D.srf) v prostředí Surferu.

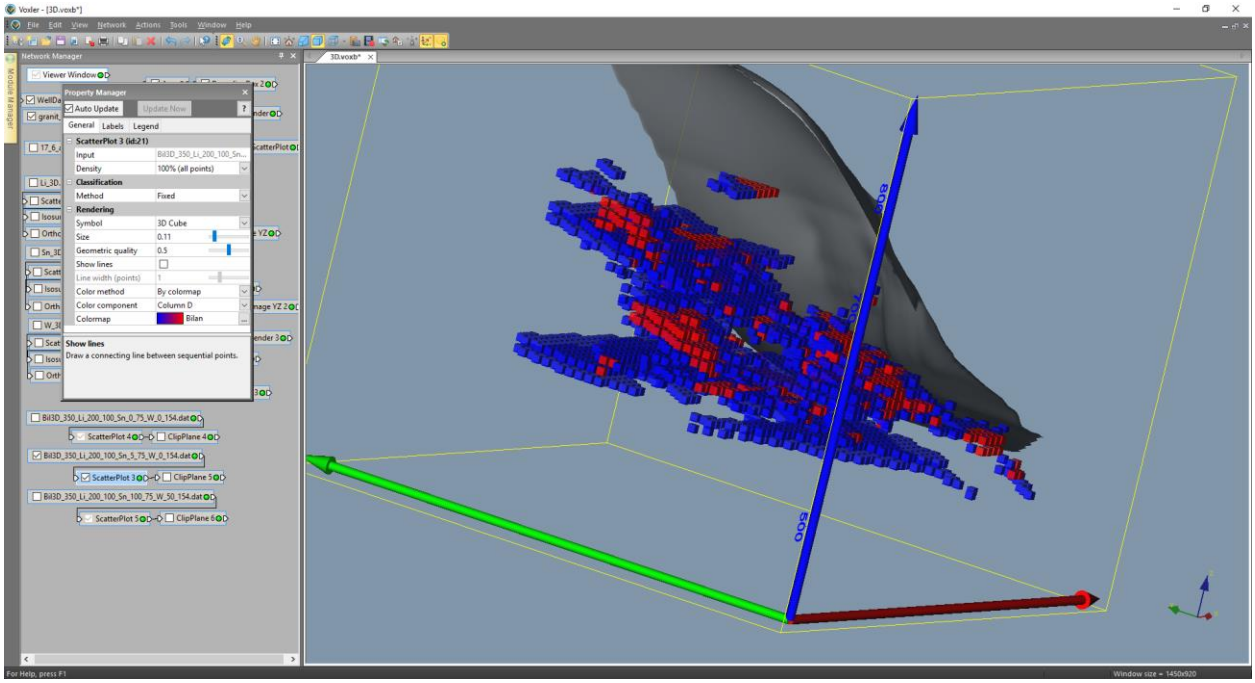


Obr. 48: Vizualizace bilančních a nebilančních bloků horizontálního řezu 570 m pro variantu podmínek využitelnosti 350_Li_200_100_Sn_100_75_W_50_154 (soubor Bil_570_350_Li_200_100_Sn_100_75_W_50_154_2D.srf) v prostředí Surferu.

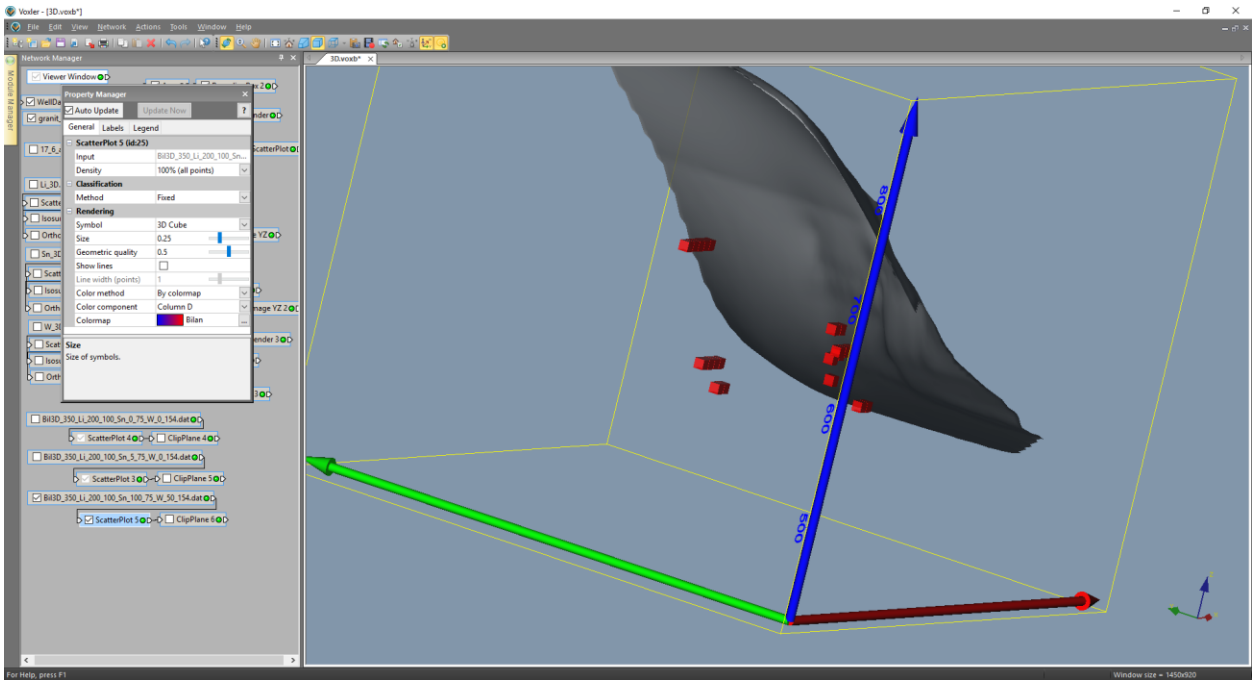
Po importu 3D gridů bilančnosti (viz 2.2.12, tabulka 12) do prostředí programu *Voxler* je možné bilančnost bloků vizualizovat ve 3D opět různým způsobem, v různých projekcích, směrech, rotaci apod. Na obr. 49 je zobrazení pomocí *ScatterPlot* s možností řezů – *ClipPlane* pro variantu podmínek využitelnosti *350_Li_200_100_Sn_0_75_W_0_154*, na obr. 50 pro variantu podmínek využitelnosti *350_Li_200_100_Sn_5_75_W_0_154* a na obr. 51 pro variantu podmínek využitelnosti *350_Li_200_100_Sn_100_75_W_50_154*.



Obr. 49: 3D vizualizace bilančních a nebilančních bloků pro variantu podmínek využitelnosti 350_Li_200_100_Sn_0_75_W_0_154 pomocí ScatterPlot.



Obr. 50: 3D vizualizace bilančních a nebilančních bloků pro variantu podmínek využitelnosti 350_Li_200_100_Sn_5_75_W_0_154 pomocí ScatterPlot.



Obr. 51: 3D vizualizace bilančních a nebilančních bloků pro variantu podmínek využitelnosti 350_Li_200_100_Sn_100_75_W_50_154 pomocí ScatterPlot.

3. Závěr

Předkládaná metodika modelování ložiska Cínovec východ je unikátní v tom, že specifikuje jednotlivé kroky metodického postupu od pořízení potřebných vstupních údajů z archivní dokumentace, přes uplatnění moderních algoritmů tvorby variantních 3D modelů ložiska až po vizualizaci bilančních a nebilančních zásob.

Pomocí speciálně vytvořeného programového vybavení je zajištěna kontrola vstupních dat, kompabilita použitých programů (*MS Excel*, *Surfer*, *Voxler*, *SGeMS*) a je také realizováno automatické generování výstupů – různých typů vizualizace ložiska ve 2D a ve 3D.

Tato 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 vede ke komplexnímu zhodnocení ložiska včetně variantních odhadů zásob podle zadaných podmínek využitelnosti.

4. Srovnání „novosti postupů“

Nová metodika tvorby a vizualizace 3D modelu ložisek geneticky obdobných s vzorovým modelovým ložiskem Li-Sn-W Cínovec přináší nový komplexní přístup k vyhodnocení potenciálních zásob u ložisek tohoto a obdobných genetických typů, kde v období intenzivního dřívějších ložiskových průzkumů, případně těžby, nebyla dnes zájmová komodita (v našem případě lithium) předmětem zájmu. Tyto průzkumné práce jsou několik desetiletí staré (zde 60. až 80. léta minulého století), jsou, z dnešního pohledu, nedostatečného rozsahu a navíc ne vždy informace geochemického průzkumu splňují požadavky kladené a na aktuálně používané analytické metody.

Současně navržená, a výše popsaná metodika, řeší ekonomický aspekt nasazených softwarových postupů. Ve srovnání s dnes již běžně ve světě užívanými komplexními softwarovými řešeními, jejichž investiční náklady se pohybují v řádech vyšších 100 tisíců, většinou až prvních milionů korun, dosahují náklady na nákup komerčního, zde navrženého a použitého softwaru, prvních desítek tisíc korun. Tyto náklady jsou tedy adekvátní malému rozsahu potenciálních ložisek kritických surovin, které jsou předmětem řešení v rámci projektu CEEMIR TAČR.

Tato 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).

5. Popis uplatnění Certifikované metodiky

Potenciální uplatnění navržené metodiky vyplývá v zásadě z toho, co bylo řečeno v 1. odstavci předchozí kapitoly. Je tedy určena pro ty eventuální ekonomické subjekty, které potřebují, i přes absenci optimálního a současným analytickým metodám odpovídajícího průzkumu, vyhodnotit potenciál již opuštěných, dříve např. i pro jinou komoditu těžených ložiskových objektů. Na základě takto připraveného 3D modelu ložiska, včetně distribuce zrudnění, rozhodnout o dalším postupu a to s minimalizovanými investiceni do softwarového vybavení.

6. Ekonomické aspekty

Jak již bylo uvedeno výše, celkové náklady na zavedení předloženého metodického postupu nepřesáhnou 100 tisíc korun. Pro realizaci je nezbytné zakoupit software od firmy Golden software *Surfer* a *Voxler*. Aktuální ceny těchto dvou software jsou 850 $ za *Surfer* verze 15 a 480 $ za *Voxler* verze 4.

Ekonomický přínos nelze přesně vyčíslit, protože je závislý na množství a aktuální ceně zpracovávané komodity. Srovnání lze provest pouze vůči jiným dnes komerčně používaným postupům výpočtu zásob. Mnoho společností využívá software, které požadují výkonný hardware a mnoho vstupních údajů. Ceny těchto softwarů přesahují první miliony korun. Mnohem vyšší náklady v desítek až sotvkách miliónů korun jsou u těchto komerčních postupů vynakládány na pořízení nových dat. Bez dostatečného množství některých dat nejsou tyto softwary schopny výpočet zásob provést.

Další ekonomický přínos předkládané metodiky spočívá v možnosti provést výpočet zásob i bez možnosti pořízení nových dat. V některých případech získaní nových dat není z různých důvodů možné.

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] 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.

[6] Goovaerts, P.: Geostatistics for natural resources evaluation. Oxford University Press, 1997.

[7] Grygar, R., Staněk, F., Jelínek, J., Jarošová, M.: Zpráva o splnění milníku WP4/2. MS CEEMIR, VŠB-TU Ostrava., 2016, 92 s.

[8] Isaaks, E., H., Srivastava, R., M.: Applied Geostatistics. New York, Oxford, Oxford university press, 1989, 561 s.

[9] REMY, N., BOUCHER, A., WU, J.: Applied geostatistics with SGeMS: a user's guide. New York: Cambridge University Press, 2009, xix, 264 p.

[10] 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.

[11] Vizi, L., Timčák, G., M.: Význam štúdia lognormálného rozdelenia v geológii a baníctve. In Sb. věd. prací VŠB-TU Ostrava, řada hornicko-geologická, Ostrava, 1, 2002, s. 29-39.

[12] Wellmer, F., W.: Statistical Evaluations in Exploration for Mineral Deposits. Berlin, Springer, 1998, 379 s.

Seznam obrázků

Obr. 1: Opravené průběhy průzkumných děl v rovině XY (modře – chodba 1. patra, zeleně – chodby 2. patra, tmavě modře – vrty dovrchní z 1. patra, světle modře – vrty úpadní z 1. patra, tmavě zeleně – vrty dovrchní z 2. patra, světle zeleně – vrty úpadní z 2. patra) v prostředí Surfer. 4
Obr. 2: Proporcionální zobrazení obsahu Li vzorků v prostředí Voxler. 5
Obr. 3: Proporcionální zobrazení stupně mineralizace v prostředí Voxler. 6
Obr. 4: Vizualizace 3D gridu parametru Kod. 7
Obr. 5: Lokalizované údaje obsahu Li v prostředí Voxler. 8
Obr. 6: Ukázka vizualizace dat převedených do prostředí SGeMS - údaje obsahu Li. 9
Obr. 7: Ukázka statistického zpracování v prostředí SGeMS - histogramy četností parametrů Li, Sn a W (%) ukazující výraznou asymetrii v distribuci dat a základní statistické charakteristiky. 10
Obr. 8: Ukázka vybraných dat vertikálního řezu chodbou CH10307V. 10
Obr. 9: Ukázka vizualizace vertikálního řezu chodbou CH10307V v prostředí Surferu jako doklad chybovosti původních grafických a digitálních podkladů a dat. 11
Obr. 10: Ukázka vybraných dat horizontálního řezu 2. patrem. 11
Obr. 11: Ukázka vizualizace horizontálního řezu 2. patrem v prostředí Surferu. 12
Obr. 12: Ukázka vybraných dat horizontálního řezu v nadmořské výšce 570 m s daty do vzdálenosti ±7,5 m od řezu. 12
Obr. 13: Proporcionální znázornění obsahů Li a stupně mineralizace ve vzorcích. 2D obraz pro horizontální řez na kótě 570 m (těleso granitu je podbarveno, na východě omezeno hnědou linií a obvod ložiska - demarkace je ohraničen fialovým polygonem). 13
Obr. 14: Ukázka vizualizace dat řezu 570 m převedených do prostředí SGeMS - údaje obsahu Li. 14
Obr. 15: Ukázka statistického zpracování v prostředí SGeMS - histogramy četností parametrů Li, Sn a W (%) řezu 570 m opět ukazující výraznou asymetrii v distribuci dat a základní statistické charakteristiky. 14
Obr. 16: Ukázka chyby pozice a úklonu některých vrtů v databázi a v řezech. Řez chodbou 10307 získaný z archivních dat [2], nad kterým je zobrazen průběh vrtů z databáze. 15
Obr. 17: Demonstrace chyby litologického modelu s Li zrudněním a pozicí hranice granitu pro výškovou úroveň 580 m.n.m. 17
Obr. 18: Vstupní body pro výpočet tělesa granitu. Červený polygon zachycuje oblast výstupu granitu na povrch. 18
Obr. 19: Prostorový 3D náhled na model tělesa granitu. 19
Obr. 20: 3D pohled na těleso granitu a pozice důlních a průzkumných děl (vrtů) v rámci demarkace ložiska Cínovec - Východ s proporcionálním zobrazením obsahu W v prostředí Voxler. 20
Obr. 21: Postup transformace hodnot do normální distribuce. Pro transformaci jsou použity kumulativní četnosti (vlevo dole) histogramu (vlevo nahoře). Příklad transformace hodnoty 0,2: 1. zjištění kumulativní četnosti pro hodnotu 0,2, 2. odečtení odpovídající hodnoty distribuční funkce normovaného normálního rozdělení (vpravo dole) a odpovídající hodnoty (-0,949) [5] 21
Obr. 22: Distribuce obsahů Li v horizontálním řezu 570 m – histogramy četností (vlevo původní distribuce a vpravo transformovaná do normovaného normálního rozdělení). 22
Obr. 23: Vizualizace hodnot Li převedených utilitou Trans do NNR v horizontálním řezu 570 m v prostředí SGeMS. 22
Obr. 24: 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. 24
Obr. 25: Experimentální variogram (černé kolečka) obsahů Li v NNR a teoretický model (modrá křivka) pro horizontální řez 570 m. 25
Obr. 26: 2D mapa variogramu obsahů Li v NNR – horizontální řez 570 m. 25

Obr. 27: Elipsa anizotropie obsahů Li v NNR v horizontálním řezu 570 m – černě na základě směrových experimentálních variogramů a modře teoretického variogramu (hlavní osa anizotropie ve směru 46 st. a poměr os anizotropie 2)..... 26
Obr. 28: Směrový variogram obsahu Li složený ze tří struktur variability ve směru V-Z v prostředí Surferu. 27
Obr. 29: Směrový variogram obsahu Sn složený ze dvou struktur variability ve směru S-J v prostředí Surferu. 28
Obr. 30: Směrový variogram obsahu W složený ze dvou struktur variability ve směru S-J v prostředí Surferu. 28
Obr. 31: Výsledek interpolace v horizontálním řezu 570 m – vlevo blokový kriging pro obsahy Li v NNR a vpravo věrohodnost tohoto stanovení – krigovací chyby. 29
Obr. 32: Zobrazení objektu Li_570_NNR_o.grd v prostředí SGeMS - obsahů Li bloků 10x10 m v horizontálním řezu 570 m v původní distribuci po zpětné transformaci z NNR..... 30
Obr. 33: Srovnání distribucí obsahů Li v horizontálním řezu 570 m – vlevo vstupních hodnot, vpravo hodnot v blocích 10x10 m (gridu) po zpětné transformaci..... 31
Obr. 34: Informace programu Viz2D o počtu všech bloků 10x10x10 m a o jejich maximálních a průměrných hodnotách Li, Sn, W..... 32
Obr. 35: Vizualizace horizontálního řezu 570 m (soubor 570_2D.srf) v prostředí Surferu. 33
Obr. 36: Prostředí Voxleru se strukturou objektů určených pro 3D vizualizaci. 34
Obr. 37: Nastavení parametrů objektu Gridder. 34
Obr. 38: 3D vizualizace obsahu Li bloků ložiska pomocí ScatterPlot - řez ClipPlane ve směru osy X. ... 35
Obr. 39: 3D vizualizace obsahu Li bloků ložiska pomocí FaceRender – nastavení parametrů pro vertikální řez. 35
Obr. 40: 3D vizualizace obsahu Li bloků ložiska pomocí ObliqueImage – náhodně nastavená geometrie řezu. 36
Obr. 41: 3D vizualizace obsahu Li bloků ložiska pomocí VolRender. 36
Obr. 42: 3D vizualizace obsahu Li bloků ložiska pomocí Isosurface – obálka těles s obsahem 0.3 %. 37
Obr. 43: 3D vizualizace obsahu Li bloků ložiska pomocí OrthoImage XY, OrthoImage XZ, OrthoImageYZ. 37
Obr. 44: Viz2D - zadání parametrů bilančnosti..... 38
Obr. 45: Viz2D - oznámení o názvu výstupních souborů. 38
Obr. 46: Vizualizace bilančních a nebilančních bloků horizontálního řezu 570 m pro variantu podmínek využitelnosti 350_Li_200_100_Sn_5_75_W_0_154 (soubor Bil_570_350_Li_200_100_Sn_5_75_W_0_154_2D.srf) v prostředí Surferu. 40
Obr. 47: Vizualizace bilančních a nebilančních bloků horizontálního řezu 570 m pro variantu podmínek využitelnosti 350_Li_200_100_Sn_0_75_W_0_154 (soubor Bil_570_350_Li_200_100_Sn_0_75_W_0_154_2D.srf) v prostředí Surferu. 41
Obr. 48: Vizualizace bilančních a nebilančních bloků horizontálního řezu 570 m pro variantu podmínek využitelnosti 350_Li_200_100_Sn_100_75_W_50_154 (soubor Bil_570_350_Li_200_100_Sn_100_75_W_50_154_2D.srf) v prostředí Surferu. 41
Obr. 49: 3D vizualizace bilančních a nebilančních bloků pro variantu podmínek využitelnosti 350_Li_200_100_Sn_0_75_W_0_154 pomocí ScatterPlot. 42
Obr. 50: 3D vizualizace bilančních a nebilančních bloků pro variantu podmínek využitelnosti 350_Li_200_100_Sn_5_75_W_0_154 pomocí ScatterPlot. 42
Obr. 51: 3D vizualizace bilančních a nebilančních bloků pro variantu podmínek využitelnosti 350_Li_200_100_Sn_100_75_W_50_154 pomocí ScatterPlot. 43

Seznam tabulek

Tabulka 1: Část údajů tabulky Collars 4
Tabulka 2: Ukázka část údajů tabulky Samples 5
Tabulka 3: Část údajů tabulky Lithology 6
Tabulka 4: Část údajů tabulky Analyzy_s_lit 8
Tabulka 5: Ukázka části souboru ve formátu GSLIB pro vstup do prostředí SGeMS 9
Tabulka 6: Ukázka části souboru Hor_570_GSLIB.dat ve formátu GSLIB pro vstup do prostředí SGeMS 14
Tabulka 7: Ocenění litologických záznamů pro litologický model. 16
Tabulka 8: Ukázka části souboru Hor_560_NNR.out ve formátu GSLIB - výstup z prostředí SGeMS ... 22
Tabulka 9: Ukázka části souboru Hor_560_NNR.xls 23
Tabulka 10: Ukázka části souboru Li_570_zpet.out ve formátu GSLIB - výstup z prostředí SGeMS 30
Tabulka 11: Ukázka části souboru Li_3D.dat 31
Tabulka 12: Ukázka části souboru Bil3D_350_Li_200_100_Sn_5_75_W_1_154.dat 38
Tabulka 13: Zásobová sestava – soubor Zas_350_Li_200_100_Sn_5_75_W_1_154.txt 39
Tabulka 14: Zásobová sestava – soubor Zas_350_Li_200_100_Sn_5_75_W_0_154.txt 39
Tabulka 15: Zásobová sestava – soubor Zas_350_Li_200_100_Sn_0_75_W_0_154.txt 39

Obsah

1. Obsah a závazná struktura certifikované metodiky 1
1.1. Cíl metodiky 1
2. Popis vlastní metodiky 1
2.1. Obecná část – popis ložiska 1
2.2. Metodické postupy a algoritmy tvorby a vizualizace 3D modelu Li-Sn-W ložiska Cínovec – Východ 2
2.2.1. Revize všech dostupných archivních materiálů 3
2.2.2. Verifikace a korekce vstupních dat 3
2.2.3. Výpočet a vizualizace prostorové lokalizace vstupních dat 7
2.2.4. Vytvoření horizontálních řezů po 10 m v hloubkovém rozsahu od 500 do 700 m.n.m. 12
2.2.5. Modelování tělesa granitu a celkové litologie ložiska Cínovec Východ 15
2.2.6. Určení distribuce obsahů Li, Sn a W v jednotlivých řezech, transformace do normovaného normálního rozdělení 20
2.2.7. Geostatistická strukturální analýza (transformovaných) obsahů Li, Sn, W 23
2.2.8. Tvorba 2D gridů (transformovaných) obsahů Li, Sn a W v jednotlivých horizontálních řezech 28
2.2.9. Zpětné transformace gridů do původních distribucí obsahů Li, Sn, W v jednotlivých horizontálních řezech 29
2.2.10. Převod transformovaných gridů horizontálních řezů obsahů Li, Sn a W do grd formátu, jejich převedení do 3D gridů a vizualizace řezů ve 2D 31
2.2.11. Vizualizace obsahů Li, Sn, W ve 3D 33
2.2.12. Vymezení bilančních a nebilančních oblastí v horizontálních řezech podle libovolně zadaných podmínek využitelnosti a odhady zásob. 38
2.2.13. Vizualizace bilančních a nebilančních oblastí (ve 2D a ve 3D) 40
3. Závěr 43
4. Srovnání „novosti postupů“ 44
5. Popis uplatnění Certifikované metodiky 44
6. Ekonomické aspekty 44
Literatura 45
Seznam obrázků 46
Seznam tabulek 48