



## DYNAMICKÝ MODEL LOŽISKA KAOLINU

*František STANĚK, Marcela JAROŠOVÁ, Jana STAŇKOVÁ  
VŠB-Technická univerzita Ostrava*

### 1 ÚVOD

Článek popisuje část řešení projektu TA ČR TE02000029 - Centrum kompetence efektivní a ekologické těžby nerostných surovin (CEEMIR), jehož hlavním cílem je revize zásob vybraných neenergetických surovin, které se řadí mezi kritické komodity EU [9]. Jednou z částí projektu je Work Package WP4 - Prostorové modelování ložisek nerostných surovin, který se zabývá převedením vybraných ložisek do digitálních modelů s pomocí vhodných matematických postupů na základě studia a přehodnocení dat z archivních materiálů. Jedním z vybraných ložisek je ložisko kaolinu Jimlíkov – východ, nacházející se v okolí obce Jimlíkov asi 5 km západně od Karlových Varů.

Ložisko kaolinu Jimlíkov – východ vzniklo kaolinizací žul karlovarského masivu v období křída až paleogén. Jde o pozůstatky původní zvětralinové kůry, které byly uchovány před denudací. Karlovarský masiv, jež je součástí rozsáhlého krušnohorského plutonu, tvoří krystalické podloží ložiska.

V článku jsou popsány jednotlivé kroky tvorby a vizualizace 3D modelu tohoto ložiska od revize všech dostupných archivních materiálů a verifikace a korekce vstupních dat až po vizualizaci kategorií bloků zásob. Pomocí speciálně vytvořeného software je zajištěna kontrola vstupních dat, kompatibilita použitých programů a generování výstupů – odhadů zásob v textové formě a různých typů vizualizace ložiska ve 2D a ve 3D. Tyto metodické postupy spolu s nově vyvinutým programovým vybavením umožňují vytvářet variantní modely ložisek kaolinu tohoto a podobných typů, umožňují i rychlé aktualizace modelů při doplnění nebo změně vstupních dat (případně i parametrů modelování). To vede k vytvoření aktivního, dynamického komplexního modelu ložiska kaolinu, do něhož bude možno operativně doplňovat informace na základě prováděného těžebního průzkumu včetně variantních odhadů zásob podle zadaných podmínek využitelnosti.

V procesu modelování jsou využívány běžně dostupné programové prostředky: MS Excel, programy Surfer [10] a Voxler [11] firmy Golden Software a open-source program SGeMS [5]. Pro tvorbu speciálních programových aplikací byly použity programovací jazyky: pro tvorbu maker v prostředí MS Office jazyk Visual Basic for Applications (VBA) a pro tvorbu samostatných programů jazyk Visual Basic.

## 2 METODICKÝ POSTUP A ALGORITMY TVORBY A VIZUALIZACE 3D MODELU LOŽISKA KAOLINU

V této kapitole jsou definovány jednotlivé kroky metodického postupu tvorby a vizualizace 3D modelu ložiska kaolinu na příkladu ložiska Jimlíkov - východ. Tyto kroky na sebe navazují a v nich použité algoritmy zpracování údajů a vytvořený software jsou popsány ve stejně číslovaných podkapitolách:

- 2.1 Revize všech dostupných archivních materiálů.
- 2.2 Verifikace a korekce vstupních dat.
- 2.3 Výpočet a vizualizace prostorové lokalizace vstupních dat.
- 2.4 Statistické zpracování technologických parametrů.
- 2.5 Modelování báze a stropu výskytu kaolinu a celkové litologie ložiska.
- 2.6 Zobrazení vstupních dat ložiska kaolinu ve 3D v prostředí Voxler, vytvoření 3D gridů obsahů technologických parametrů a export 2D gridů v jednotlivých horizontech ve formátu Surfer (program *Kaolin\_A*).
- 2.7 Kategorizace bloků zásob ve 2D gridech jednotlivých horizontů na základě gridů technologických parametrů exportovaných programem *Kaolin\_A* a zadaných parametrů kategorií zásob, převedení 2D gridů kategorií bloků zásob do 3D gridu a odhad zásob ložiska (program *Kaolin\_Viz*).
- 2.8 Vizualizace horizontálních řezů ve 2D v prostředí Surfer (program *Kaolin\_Viz*).
- 2.9 Vizualizace sítě vertikálních řezů ve 2D v prostředí Surfer (program *Kaolin\_Viz*).
- 2.10 Vizualizace kategorií bloků zásob ve 3D v prostředí Voxler (program *Kaolin\_Viz*).
- 2.11 Případné doplnění vstupních údajů na základě prováděného těžebního průzkumu a přechod ke kroku 2.6.

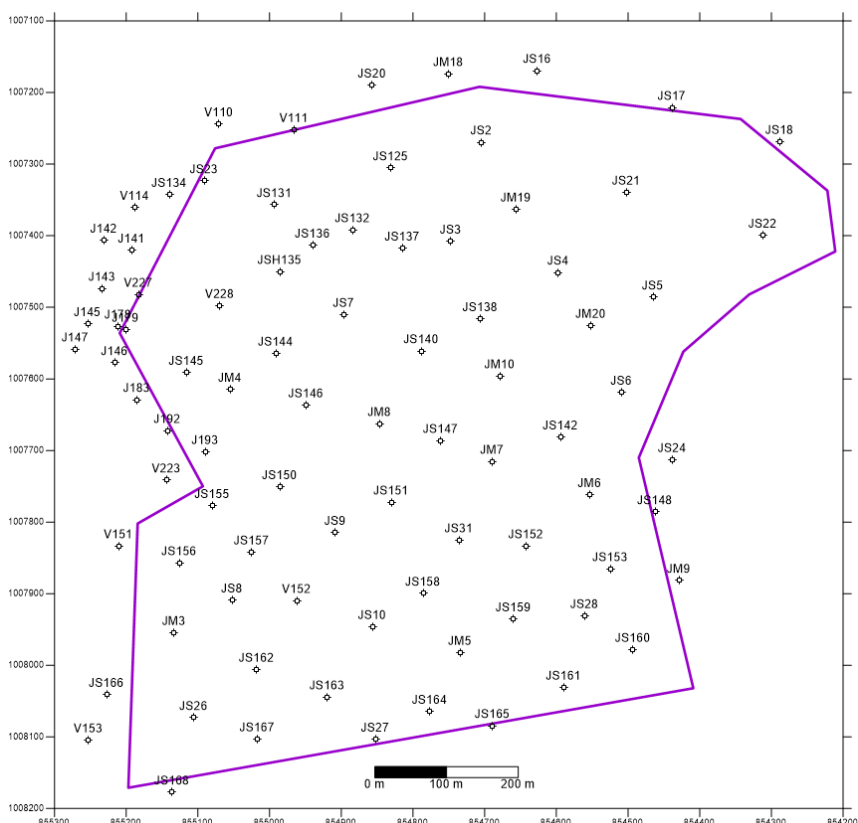
Jednotlivé kroky metodického postupu jsou realizovány tak, aby bylo možno při libovolné změně parametrů tyto kroky programově rychle přepočítat bez nutnosti zdlouhavých ručních postupů. Proto je také možné snadno provést modelování v několika variantách (například s použitím více variant parametrů gridování). Metodický postup je použitelný na všech ložiscích podobného typu.

### 2.1 Revize všech dostupných archivních materiálů

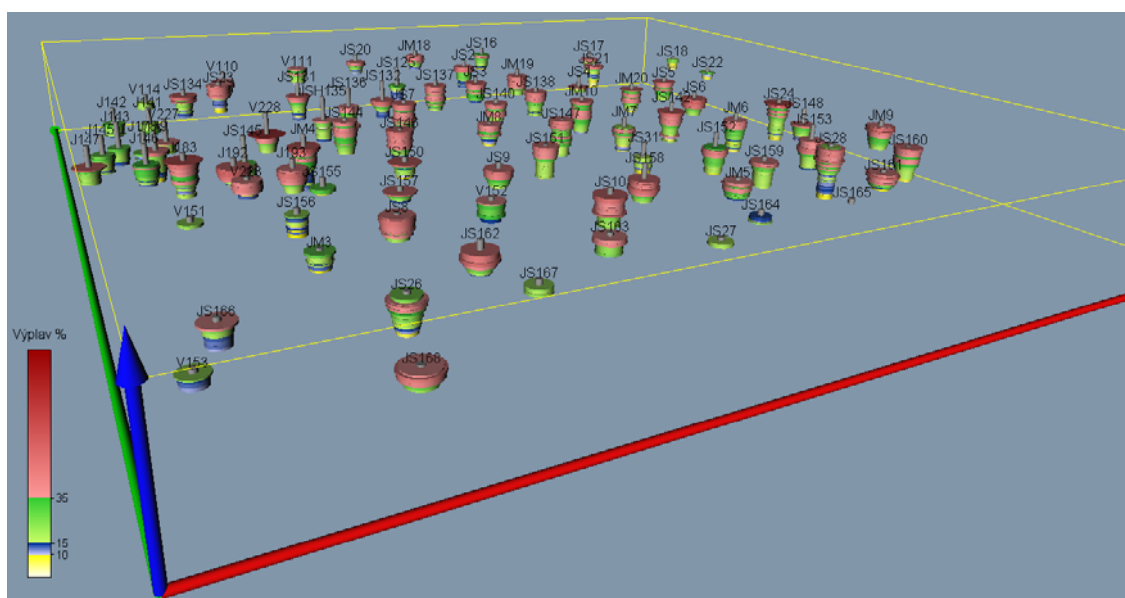
Zdrojem údajů a informací pro kontrolu vstupních dat byly především dostupné archivní materiály o lokalitě z archivu Geofondu ČR z let 1960 až 1992 [1], [2], [3], [4], [6], [7] a závěrečná zpráva [8].

### 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 2.1). Přitom byly zjištěny chyby, které byly způsobeny nejen překlepy souvisejícími s digitalizací archivních podkladů. Chybné údaje byly v maximální možné míře opraveny. Do výpočtu tak vstupují údaje z 85 průzkumných vrtů z let 1960 až 1990 (obr. 1) a 1098 analyzovaných vzorků (obr. 2), u kterých byly na základě obsahů výplavu,  $Al_2O_3$ ,  $Fe_2O_3$  a  $TiO_2$  dopočteny kategorie (třídy) zásob podle tabulky 1.



Obr. 1 Obvod ložiska a průzkumná díla vstupující do výpočtu



Obr. 2 Proporcionální zobrazení obsahu výplavu vzorků

### 2.3 Výpočet a vizualizace prostorové lokalizace vstupních dat

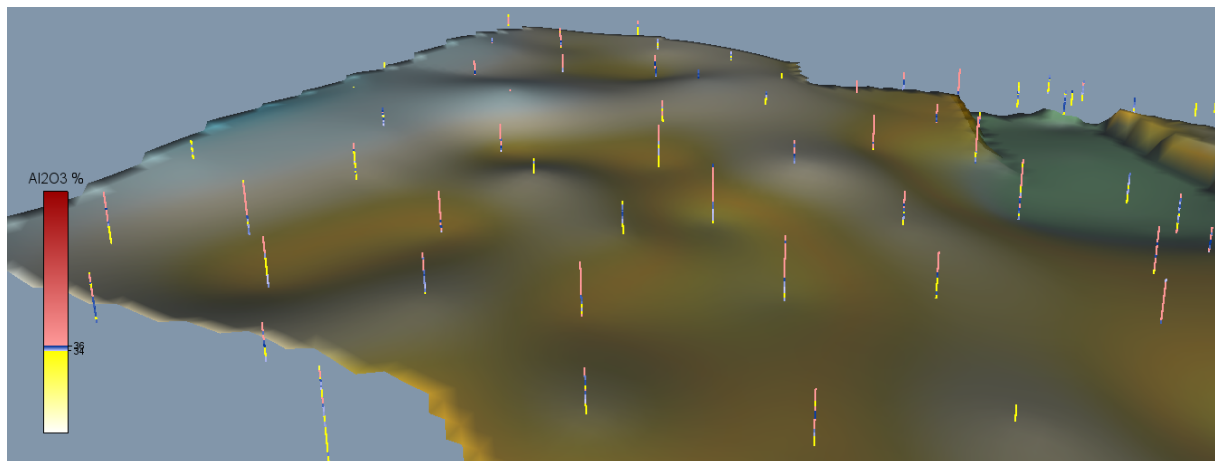
Opravené a doplněné vstupní údaje (geometrické parametry průzkumných děl a vzorky s obsahy technologických parametrů) se s pomocí makra rozdělí po 10 cm úsecích (celkem 21209) a prostorově se lokalizují ve středu každého úseku. Tyto údaje jsou vstupem pro další

zpracování: pro výběr dat pro tvorbu horizontálních a vertikálních řezů, pro statistické analýzy, gridování, vizualizaci ve 2D a 3D aj. Jako příklad jsou na obr. 3 zobrazeny lokalizované údaje obsahu  $\text{Al}_2\text{O}_3$ .

**Tabulka 1 Kategorizace keramických kaolinů na Karlovarsku**

Kategorie (třída)	Výplav [%]	$\text{Al}_2\text{O}_3$ [%]	$\text{Fe}_2\text{O}_3$ [%]	$\text{TiO}_2$ [%]	$\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{TiO}_2$ [%]	Použití
K1	>15	>36	<0.9	<0.3	<1.1	Kaolin pro výrobu porcelánu
K2	>15	>36	<1.1	<0.4	<1.2	
K2A	>15	34 - 36	-	<0.5	<1.2	
K51	>10	>36	-	<0.3	<1.0	
K2B	>15	>36	-	>0.4	<1.6	Kaolin titaničitý
K3B	>15	>36	-	>0.5	<2.0	
K4B	>15	>34	-	>0.5	<2.5	
K3	>15	>34	-	<0.5	<1.6	Kaolin pro ostatní keramický průmysl
K4J	>35	>34	-	-	<5.0	
K4	>15	-	-	-	<3.0	
K5 (NEG)	>10	-	-	-	>3.0	Nevhodný kaolin

Zdroj: vlastní zpracování na základě [8]



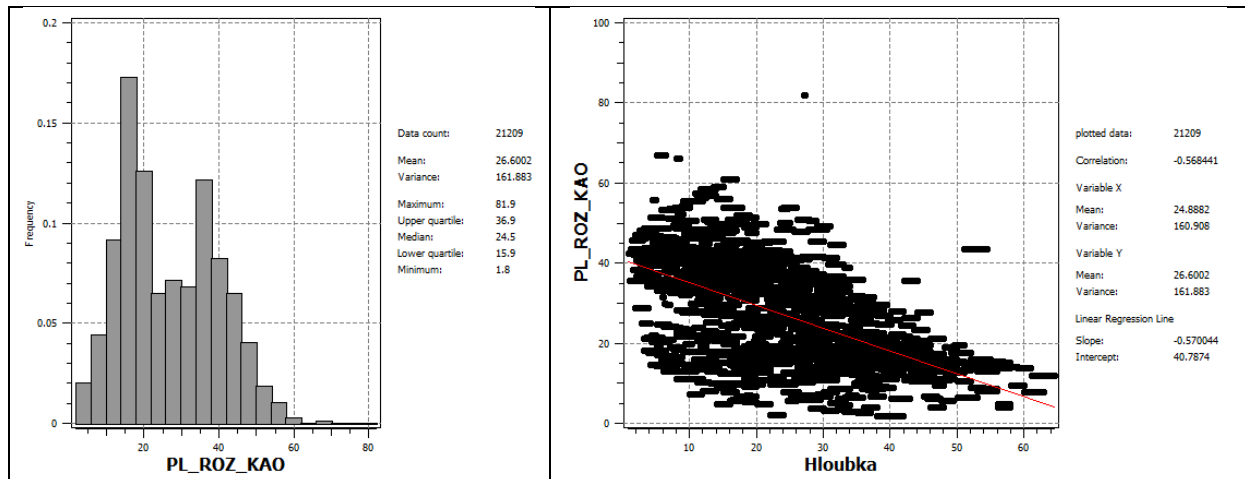
**Obr. 3** Lokalizované údaje obsahu  $\text{Al}_2\text{O}_3$  spolu s bází výskytu kaolinu

## 2.4 Statistické zpracování technologických parametrů

Základní statistické zpracování technologických parametrů je prováděno v prostředí SGeMS [5]. Ukázka výstupů je na obr. 4 - histogram četností výplavu a regresní závislost výplavu na hloubce.

## 2.5 Modelování báze a stropu výskytu kaolinu a celkové litologie ložiska

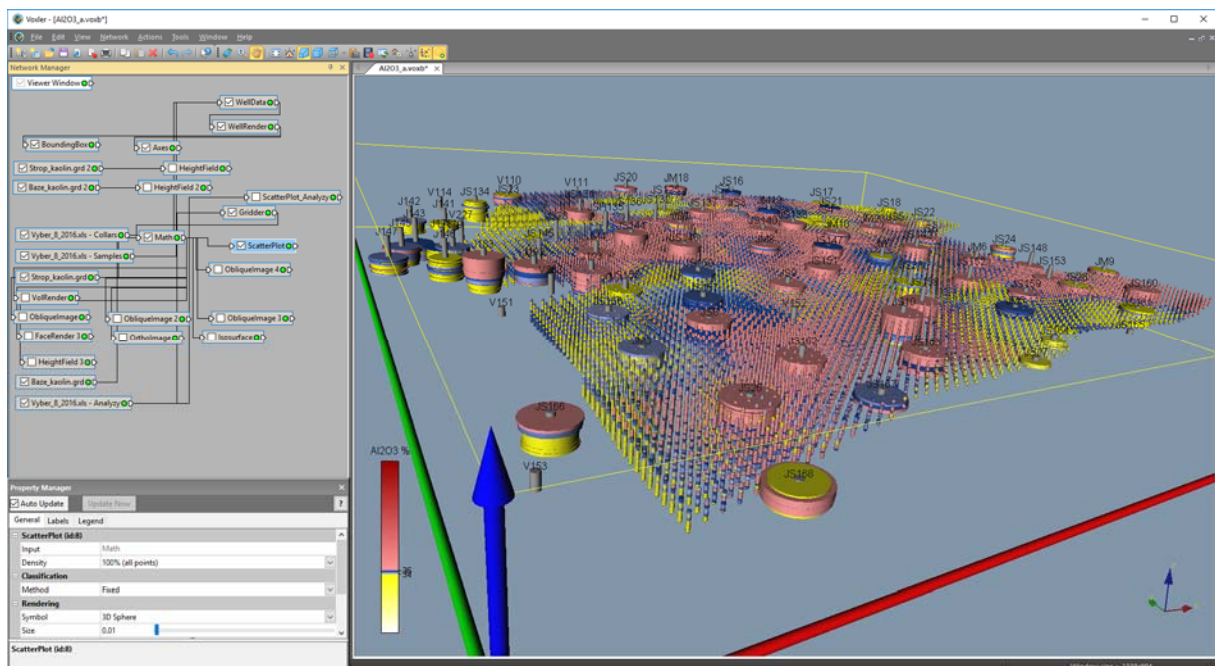
Výsledkem práce geologů bylo vytvoření 2D gridů osmi geologických vrstev od krystalického podloží až po povrch. Na jejich základě byly vytvořeny gridy báze (obr. 3) a stropu výskytu kaolinu, kterými je omezen 3D model ložiska. V průběhu těžby bude nezbytné pravidelně aktualizovat grid stropu výskytu kaolinu.



Obr. 4 Histogram četností parametru výplav (vlevo) a regresní závislost výplavu na hloubce (vpravo)

## 2.6 Program Kaolin\_A

Program *Kaolin\_A* vygeneruje 3D gridy jednotlivých technologických parametrů podle zadaných parametrů anizotropie, geometrie gridu a výběru vzorků pro interpolaci (tyto parametry lze měnit a vytvářet tak varianty modelů ložiska) a exportuje je také ve formě série horizontálních 2D gridů pro další zpracování. Každý bod 3D gridu pak představuje blok zásob kaolinu zadané velikosti (například 10 x 10 x 1 m). Program *Kaolin\_A* vygeneruje v prostředí Voxleru i různé způsoby zobrazení aktualizovaných dat (viz 2.3) a 3D gridů jednotlivých technologických parametrů. Na obr. 5 je ukázka jednoho z výstupů programu *Kaolin\_A* – vizualizace obsahu  $Al_2O_3$ , v levé části je okno se strukturou jednotlivých modulů Voxleru vygenerovaných programem *Kaolin\_A*.



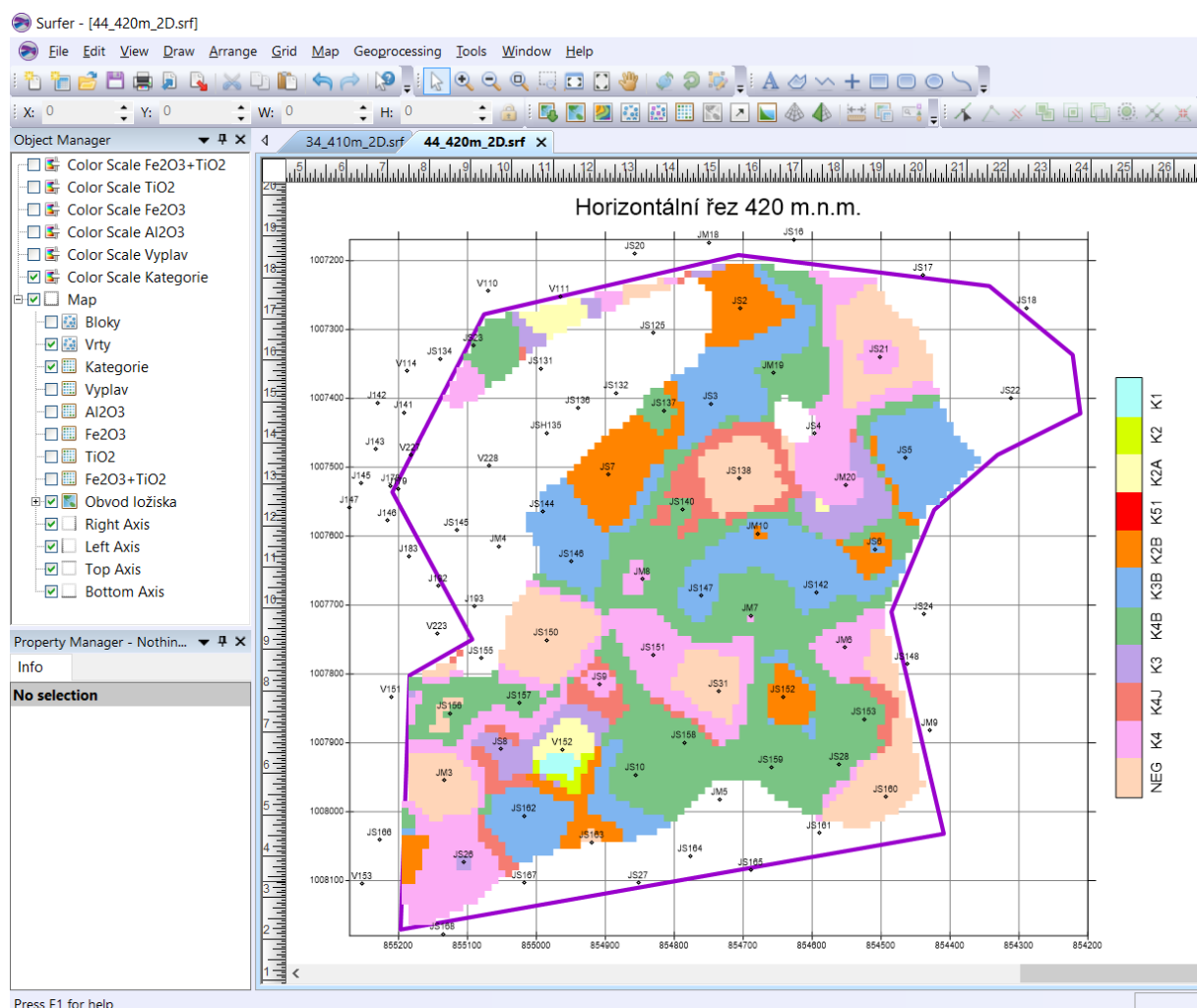
Obr. 5 3D vizualizace obsahu  $Al_2O_3$  – zobrazení 3D gridu pomocí ScatterPlot

## 2.7 Kategorizace bloků zásob (program Kaolin\_Viz)

První z modulů programu *Kaolin\_Viz* provede kategorizaci bloků zásob na základě gridů technologických parametrů exportovaných programem *Kaolin\_A* (viz 2.6) a zadaných parametrů kategorií zásob (tabulka 1). Kódy kategorií bloků zásob jsou pro další zpracování uchovány jednak ve formě série horizontálních 2D gridů, jednak ve formě 3D gridu. Tento modul současně provádí odhad zásob kaolinu ložiska v textové formě.

## 2.8 Vizualizace horizontálních řezů (program Kaolin\_Viz)

Druhý z modulů programu *Kaolin\_Viz* postupně generuje a zobrazuje uživatelem zadané horizontální řezy bloků zásob ve 2D v prostředí Surfer v zadaném měřítku. Na obr. 6 je vizualizace jednoho ze série takto vygenerovaných horizontálních řezů v prostředí Surfer. Zapínáním, případně vypínáním objektů v levém okně (obr. 6) lze zobrazit:



Obr. 6 Vizualizace horizontálního řezu 420 m.n.m. v prostředí Surferu

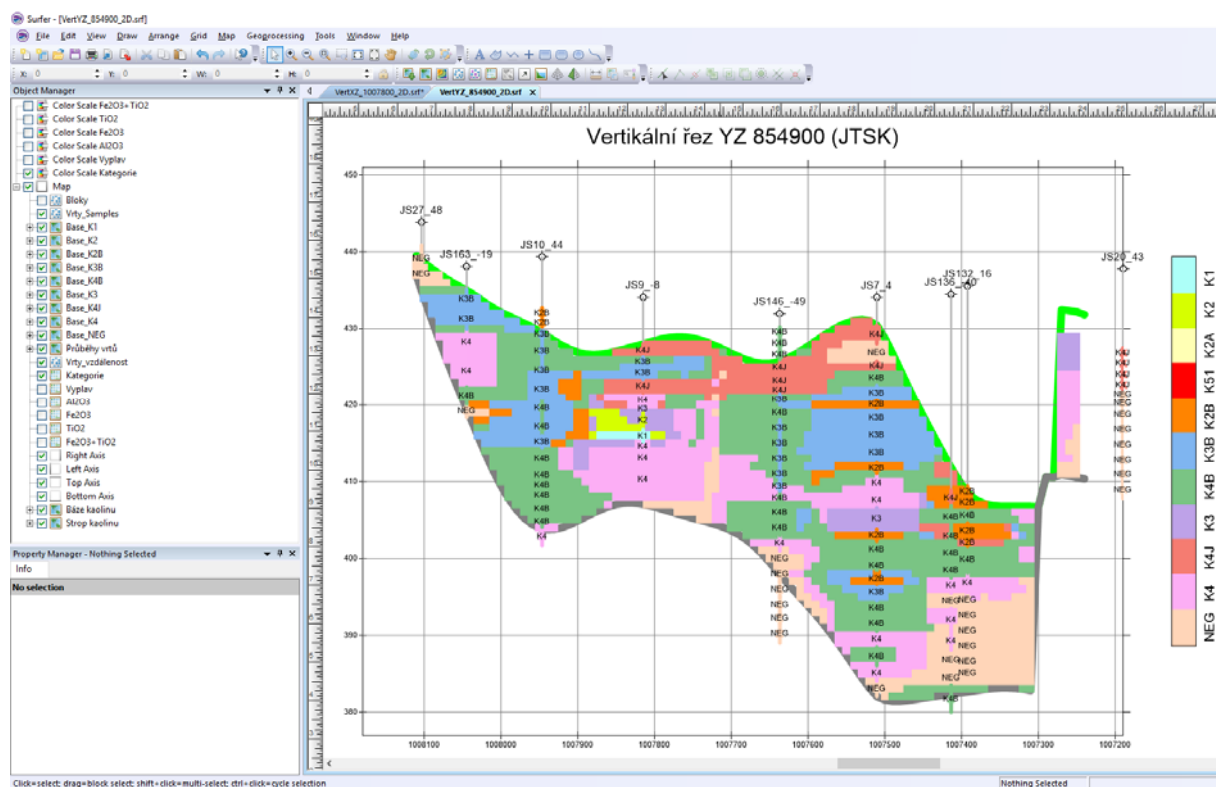
- Kategorie bloků zásob kaolinu řezu (objekt Kategorie).
- Obsahy Výplavu (objekt Vyplav),  $Al_2O_3$  (objekt  $Al_2O_3$ ),  $Fe_2O_3$  (objekt  $Fe_2O_3$ ),  $TiO_2$  (objekt  $TiO_2$ ) a  $Fe_2O_3+TiO_2$  (objekt  $Fe_2O_3+TiO_2$ ) bloků řezu.

- Color Scale Kategorií bloků zásob kaolinu (objekt Color Scale Kategorie), obsahu Výplavu (objekt Color Scale Vyplav), obsahu  $Al_2O_3$  (objekt Color Scale  $Al_2O_3$ ), obsahu  $Fe_2O_3$  (objekt Color Scale  $Fe_2O_3$ ), obsahu  $TiO_2$  (objekt Color Scale  $TiO_2$ ) a obsahu  $Fe_2O_3 + TiO_2$  (objekt Color Scale  $Fe_2O_3 + TiO_2$ ) bloků řezu.
- Pozice a názvy vrtů v řezu (objekt Vrty).
- Hodnoty údajů o jednotlivých blocích zásob (objekt Bloky).
- Obvod ložiska (objekt Obvod ložiska).
- Jednotlivé osy souřadného systému (Objekty Right Axis, ...).

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

## 2.9 Vizualizace sítě vertikálních řezů (program Kaolin\_Viz)

Třetí z modulů programu *Kaolin\_Viz* postupně generuje a zobrazuje uživatelem zadanou síť vertikálních řezů XZ a YZ bloků zásob ve 2D v prostředí Surfer v zadaném měřítku. Na obr. 7 je vizualizace jednoho ze série takto vygenerovaných vertikálních řezů v prostředí Surfer. Zapínáním, případně vypínáním objektů v levém okně (obr. 7) lze navíc zobrazit:



Obr. 7 Vizualizace vertikálního řezu YZ 854900 v prostředí Surferu

- Pozice, názvy a vzdálenost od řezu vrtů vybraných do řezu (objekt Vrty\_vzdálenost).
- Hodnoty údajů o jednotlivých vzorcích ve vrtech (objekt Vrty\_Samples).

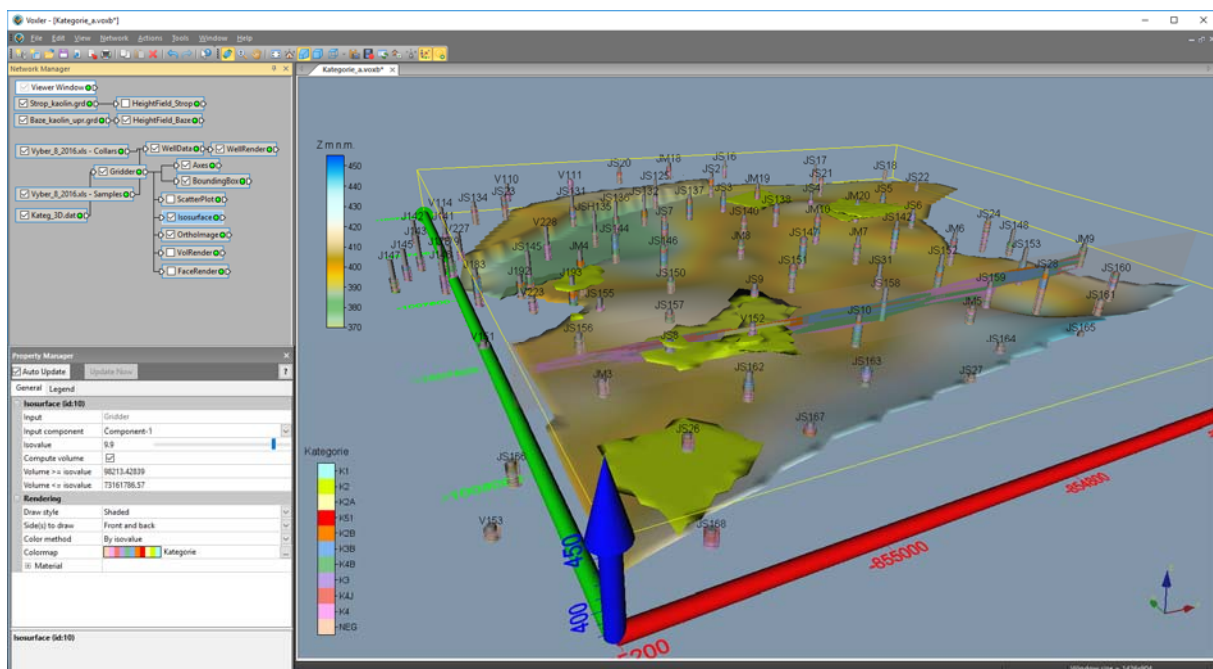
Projekt jest współfinansowany ze środków Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego oraz z budżetu państwa RP "Przekraczamy Granice"

- Průběhy vrtů vybraných do řezu (objekt Průběhy vrtů).
- Úseky do řezu vybraných vrtů se vzorky kategorií K1, K2, ..., NEG (objekty Base\_K1, Base\_K2, ..., Base\_NEG).
- Průběh báze (objekt Báze kaolinu) a stropu (objekt Strop kaolinu) výskytu kaolinu v řezu.

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

## 2.10 Vizualizace kategorií bloků zásob ve 3D (program *Kaolin\_Viz*)

Čtvrtý z modulů programu *Kaolin\_Viz* realizuje různé způsoby vizualizace kategorií bloků zásob ve 3D v prostředí Voxler. Na obr. 8 je ukázka jednoho ze způsobů vizualizace, v levé části je okno se strukturou jednotlivých modulů Voxleru vygenerovaných programem *Kaolin\_Viz*.



**Obr. 8** 3D vizualizace kategorií bloků zásob – zobrazení obálky těles kategorií K1 a K2 (Isosurface), řezu ložiskem (OrthoImage) a báze výskytu kaolinu

## 2.11 Aktualizace modelu

V případné doplnění vstupních údajů na základě prováděného těžebního průzkumu je nezbytné doplněné údaje zpracovat tak, jak bylo popsáno v 2.2 až 2.4. Při probíhající těžbě je také nezbytné zaktualizovat grid stropu výskytu kaolinu (2.5).

Poté je vše připraveno pro aktualizaci modelu a jeho vizualizaci postupem popsáním v 2.6 až 2.10.

## ZÁVĚR

Předkládaná metodika modelování ložiska kaolinu 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 odhady zásob a vizualizaci kategorií bloků zásob.

Pomocí speciálně vytvořeného programového vybavení je zajištěna kontrola vstupních dat, kompatibilita 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 kaolinu, umožňuje také rychlé aktualizace těchto modelů při doplnění nebo změně vstupních dat (případně i parametrů modelování - například použití více variant parametrů interpolace). Uplatnění popsaných metodických postupů vede k vytvoření aktivního, dynamického komplexního modelu ložiska kaolinu, do něhož lze operativně doplňovat informace na základě prováděného těžebního průzkumu včetně variantních odhadů zásob podle zadaných podmínek využitelnosti.

Od ledna 2017 je tento dynamický model využíván v praxi na ložisku Jimlíkov – východ firmou Sedlecký kaolin a. s.

## PODĚKOVÁNÍ

Článek byl připraven za podpory projektu TAČR TE02000029 – CEEMIR (Centrum kompetence efektivní a ekologické těžby nerostných surovin).

## LITERATURA

1. Hrzina et al. "Jimlíkov II." Závěrečná zpráva, archiv Geofondu ČR Praha, 1985.
2. Jadrníček et al. "Božičany." Závěrečná zpráva, archiv Geofondu ČR Praha, 1960.
3. Křelina et al. "Jimlíkov." Závěrečná zpráva, archiv Geofondu ČR Praha, 1969.
4. Neumann et al. "Jimlíkov-sever II." Závěrečná zpráva, archiv Geofondu ČR Praha, 1992.
5. N. Remy, A. Boucher, J. Wu. *Applied geostatistics with SGeMS: a user's guide*. New York: Cambridge University Press, 2009, xix, 264 p.
6. Skopový et al. "Božičansko sever." Závěrečná zpráva, archiv Geofondu ČR Praha, 1976.
7. Tvrdý et al. "Jimlíkov-sever." Závěrečná zpráva, archiv Geofondu ČR Praha, 1986.
8. J. Tvrdý, J. Bartošová, A. Burdová. "Závěrečná zpráva geologického úkolu Jimlíkov-východ (přehodnocení ložiska keramického kaolinu a cihlářské suroviny Jimlíkov-sever v dobývacím prostoru Jimlíkov II)." Závěrečná zpráva, GET s.r.o. Praha, 2014.
9. "Centrum kompetence efektivní a ekologické těžby nerostných surovin" Internet: <https://www.hgf.vsb.cz/ceemir/cs/>, [Feb. 14, 2017].
10. "EXPLORE THE DEPTHS OF YOUR DATA - SURFER v14." Internet: <http://www.goldensoftware.com/products/surfer/features>, [Feb. 14, 2017].
11. "POWER FORWARD INTO 3D VISUALIZATION - VOXLER v4." Internet: <http://www.goldensoftware.com/products/voxler/features>, [Feb. 14, 2017].

## DYNAMICKÝ MODEL LOŽISKA KAOLINU

**Abstrakt:** Článek popisuje část řešení projektu TE02000029 - Centrum kompetence efektivní a ekologické těžby nerostných surovin (CEEMIR) financovaného Technologickou agenturou ČR, přesněji výsledky řešení Work Package WP4 - Prostorové modelování ložisek nerostných surovin. Hlavním cílem WP4 je digitální modelování vybraných neenergetických surovin, které se řadí mezi kritické komodity EU. Pro modelování ložisek se využívají vhodné matematické postupy na základě studia a přehodnocení dat z archivních materiálů. Jedním z vybraných ložisek je ložisko kaolinu v okolí obce Jimlíkov na Karlovarsku. V článku jsou popsány jednotlivé kroky metodického postupu tvorby, vizualizace a zhodnocení 3D modelu tohoto ložiska. Tato metodika spolu s nově vyvinutým programovým vybavením umožňuje vytvářet variantní dynamické modely ložiska tohoto a obdobných typů, umožňuje rychlé aktualizace těchto modelů při doplnění nebo změně vstupních dat na základě prováděného těžebního průzkumu (případně i parametrů modelování - například použití více variant parametrů interpolace). Uplatnění popsaného metodického postupu vede ke komplexnímu zhodnocení ložiska včetně variantních odhadů zásob podle zadaných podmínek využitelnosti. V lednu 2017 proběhlo zaškolení a instalace software u Sedleckého kaolinu a. s. v Božičanech a dynamický model je tak plně využíván v praxi.

**Klíčová slova:** prostorové modelování ložisek, kritické komodity EU, ložisko kaolinu, vizualizace, odhady zásob.

## DYNAMIC MODEL OF A KAOLIN DEPOSIT

**Abstract:** This paper focuses on research within the project TE02000029 Competence Centre for Effective and Ecological Mining of Mineral Resources, granted by The Technology Agency of the Czech Republic, and, more specifically, on the research within its work package WP4 - Spatial modelling of mineral deposits. The focus of this work package is digital modelling of selected non-energetic raw materials, which belong to the critical commodities, as defined by the European Union. For modelling these deposits, suitable mathematical procedures, based on study and reevaluation of archived data, are needed. One of the selected deposits is a kaolin deposit near the village Jimlíkov near the city Karlovy Vary. In this paper, we show a step-by-step procedure for creation, visualization and evaluation of a 3D model of the deposit. This methodology, along with our recently developed software allows a user to create a variant of this dynamic model for the same or similar types of deposits, enables rapid updating of these models when adding or changing the input data on the basis of new mining exploration or when changing modelling parameters such as using multiple variations interpolation parameters. Our methodology leads to a more advanced deposit evaluation, including adaptive estimates of the reserves based on the usability requirements we choose. In January 2017 our software was tried out in the company Sedlecký kaolin a. s. in Božičany and our dynamic model is fully applied in practice.

**Keywords:** spatial modelling of deposits, EU critical commodities, kaolin deposit, visualization, estimates of reserves.

Datum odeslání článku do redakce: 04.2017

Datum přijetí článku redakcí: 05.2017



PŘEKRAČUJEME HRANICE  
PRZEKACZAMY GRANICE  
2014–2020



EVROPSKÁ UNIE / UNIA EUROPEJSKA  
EVROPSKÝ FOND PRO REGIONÁLNÍ ROZVOJ  
EUROPEJSKI FUNDUSZ ROZWOJU REGIONALNEGO



Projekt jest współfinansowany ze środków Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego oraz z budżetu państwa RP  
"Przekraczamy Granice"

Doc. RNDr. František Staněk, Ph.D.

VŠB-TU Ostrava

Katedra matematiky a deskriptivní geometrie, Institut čistých technologií těžby a užití energetických surovin

17. listopadu, 708 33 Ostrava-Poruba

tel.: +420 597 325 484, e-mail: [frantisek.stanek@vsb.cz](mailto:frantisek.stanek@vsb.cz)

Mgr. Marcela Jarošová

VŠB-TU Ostrava

Katedra matematiky a deskriptivní geometrie, Institut čistých technologií těžby a užití energetických surovin

17. listopadu, 708 33 Ostrava-Poruba

tel.: +420 597 323 827, e-mail: [marcela.jarosova@vsb.cz](mailto:marcela.jarosova@vsb.cz)

RNDr. Jana Staňková, Ph.D.

VŠB-TU Ostrava

Katedra matematiky a deskriptivní geometrie

17. listopadu, 708 33 Ostrava-Poruba

tel.: +420 597 325 484, e-mail: [jana.stankova@vsb.cz](mailto:jana.stankova@vsb.cz)