

System vytvoření modelu ložiska uhlí a následný výpočet zásob

František Staněk¹

System of the creation of a model for the coal deposit, and the subsequent reserves estimation

In the paper, methodics of creating a model for different type of the coal deposit is described, including the processing of reserves text and graphic outputs. It is also useful in cases of the deposit with a great number of seams of various thicknesses that is heavily tectonically disturbed and divided into tectonic blocks. The development of seams is variable in both the thickness and quality. Splitting of the seams occurs, separate benches are formed and, on the contrary, connected into one seam.

Key words: Model of coal deposit, reserves estimation, interpolation.

Úvod

Úspěšná těžba ložiska nerostné suroviny je podmíněna správně provedeným výpočtem zásob této suroviny. Kromě stanovení celkových zásob je nutné znát také rozložení suroviny na ložisku. Čím přesněji se podaří určit tvar ložiska a změny kvality suroviny v prostoru, tím lépe lze naplánovat budoucí těžbu. Potřeba výpočtu zásob uhelného ložiska a jejich hodnocení se vyskytuje poměrně často. Kromě základních výpočtů zásob prováděných obvykle po rozsáhlejším průzkumu je nutno často přepočítat zásoby ložiska nebo jeho části. Zvláště pro projektování těžby je třeba provádět tzv. operativní výpočty nebo přepočty zásob. U nich pak možnost stanovovat alternativní zásoby podle měnících se hodnot podmínek využitelnosti hraje významnou roli.

V posledních letech se výrazně zvyšují požadavky na přesnost a spolehlivost výsledků výpočtu zásob nerostných surovin. To zvyšuje pracnost výpočetního postupu. Přitom je ale třeba takovýto výpočet realizovat co možná nejrychleji. To si vyžaduje vypracování dostatečně rychlé metody výpočtu zásob, jejíž základem je vytvoření modelu ložiska nerostných surovin co nejvíce vystihujícího reálnou situaci. Při použití takové metody je pak možno zpracovat alternativní výpočty založené na více variantách technicko-ekonomických ukazatelů a tím se pokusit o snížení rizika hornického podnikání.

Tento článek se zabývá *vytvářením modelů ložisek uhlí a postupy jejich zpracování*, které by splňovaly výše uvedené požadavky. Je zde popsán *system hodnocení uhelných zásob a jejich využitelnosti* pro různé typy ložisek uhlí, včetně zpracování textových a grafických výstupů. Charakter výstupů přitom vychází z tradičních způsobů zpracování výpočtů zásob v ČR tak, aby byla zajištěna návaznost na výpočty zásob provedené v minulosti. Uvedené postupy jsou demonstrovány na částech hornoslezské černouhelné pánve a jihomoravské lignitové pánve.

Jednotlivá uhelná ložiska i jednotlivé sloje se ve svém vývoji od sebe značně liší. Některá ložiska obsahují velké množství slojí s proměnlivou mocností (hornoslezská pánev), jiná mají menší počet slojí se stabilnějším vývojem (jihomoravská lignitová pánev). Vývoj slojí je přitom proměnlivý nejen z hlediska mocnosti ale také kvality. Často dochází k rozštěpování slojí, vytváření samostatných lávek nebo naopak k jejich spojování do jedné sloje. Kromě toho jsou všechna uhelná ložiska do určité míry postižena tektonickými poruchami a deformacemi. Pro takové typy ložisek a slojí jsou v článku prezentovány algoritmy a programy pro vytvoření prostorového modelu ložiska a jeho *rychlé* zpracování na základě informací, které byly získány při průzkumu ložiska. Základním úkolem je tedy aplikovat takové metody řešení, které by z těchto primárních informací stanovily model ložiska, co nejvíce se blížící skutečnosti.

Při vytváření modelu ložiska jsou hodnoty zjištěné v nepravidelně rozmístěných průzkumných bodech interpolovány v jednotlivých slojích nebo lávkách do pravidelné sítě bodů (tzv. gridu). K tomu se používají různé interpolační metody. Posouzení vlivu výběru určité interpolační metody na výsledný model ložiska je také součástí této práce.

¹ Institut matematiky a deskriptivní geometrie HGF VŠB TU, 708 33 Ostrava, tř. 17. Listopadu 15
(Recenzovali: Prof. Ing. Miloslav Dopita, DrSc. a Doc. Ing. Josef Honěk, CSc. Doručené 10.12. 1996)

Uhelná ložiska a jejich modelování

Při zpracování ložisek uhlí se identifikací a korelací jednotlivých průzkumných děl identifikují v těchto dílech jednotlivé sloje, popř. jednotlivé lávky slojí. Tím se prostorový model ložiska převádí na rovinné modely jednotlivých slojí nebo lávek. Vyjádření rozložení hodnot k -té veličiny ve sloji s U_{ks} je pak funkce rovinných souřadnic X, Y :

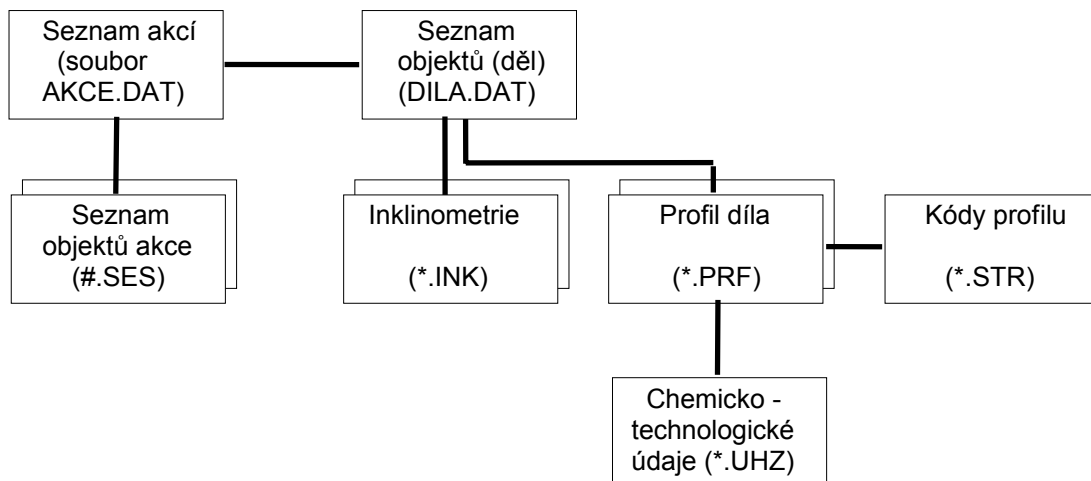
$$U_{ks} = f_{ks}(X, Y).$$

Funkce $f_{ks}(X, Y)$ představují realizaci rovinných proměnných $U_k(X, Y)$.

Při matematicko-geologickém modelování se rozlišuje modelování morfologie geologických těles a modelování jejich „vnitřních“ atributů. Modelování morfologie těles bývá založeno nejčastěji na metodách dvou a trojrozměrné počítačové grafiky. V případě modelování jednotlivých slojí uhelného ložiska se nejčastěji používají vrstevnicové modely. Modelování vnitřních atributů geologických objektů vychází z využití matematicko-fyzikálních teorií polí, teorie náhodných veličin a náhodných funkcí. Vede tedy k modelům deterministickým, statistickým a geostatistickým. K jejich vytvoření se používají odpovídající způsoby interpolace funkcí. Podmínkou aplikace geostatistických modelů je možnost provedení strukturální analýzy objektu, tedy určení semivariogramů. To však především u ložisek uhlí s proměnlivým vývojem a malým počtem informačních bodů nebývá možné. Malá hustota vrtné sítě při průzkumu uhelných ložisek obvykle nedovoluje postihnout strukturální změny ve vývoji slojí. Dosahy směrových experimentálních semivariogramů jsou většinou menší než vzdálenosti mezi jednotlivými vrty.

Základem procesu hodnocení uhelných zásob je etapa sběru a předzpracování dat, která předchází následné etapě analýzy dat. Výběr a kvalita vstupních údajů jsou velmi důležité, vytvořená struktura dat a systém jejich sběru musí dostatečně reprezentovat celý zkoumaný a modelovaný objekt. Zásadní význam má fáze formalizace a uspořádání dat. Po uspořádání dat a zavedení do účelové databáze je nutné provést verifikaci dat, s cílem zabránit především výskytu hrubých a systematických chyb.

Pro uložení vstupních údajů příkladů v této práci se v zásadě používá omezená struktura a obsahy souborů dat odvozené ze základní struktury databáze uhelných pánví ČR (Schejbal a kol., 1991).



Vysvětlivky: # - pořadové číslo akce
* - označení objektu v seznamu děl

Obr. 1. Upravená logická struktura databází uhelných pánví ložisek ČR.

Jednou z nejdůležitějších podmínek spolehlivého modelování uhelného ložiska na všech úrovních, jež jsou postižitelné realizovaným systémem pozorování, je odhalení a popis struktury polí rovinných proměnných veličin, které je charakterizují. Charakteristiky hodnot polí rovinných proměnných veličin se nejčastěji popisují s pomocí lokálních funkcí.

Lokální modely vytvářejí morfologii plochy, která odpovídá rozložení a hodnotám experimentálních dat (pozorování), postupnou interpolací nebo aproximací pomocí funkcí, jejichž koeficienty jsou odvozeny z pozorování v dílčích úsecích pole. Často používané jsou procedury vyrovnání klouzavými průměry. Velmi dobrým a rozšířeným typem klouzavých interpolačních

procedur jsou známé metody typu inverzních vzdáleností ID („Inverse Distance“). Jiný způsob interpolace nebo aproximace vychází z využití tzv. splinových funkcí. Jsou to po částech spojitě funkce, které se vyznačují hladkostí a minimální křivostí a které jsou schopny postihnout i velmi variabilní rozložení hodnot veličiny. Geostatistické krigování je založeno na teorii náhodných funkcí.

Při zpracování geologických údajů, v našem případě při modelování ložiska uhlí, se tedy střetáváme s úlohou následujícího typu: Vyšetřovaným objektem je veličina, kterou je možné reprezentovat reálnou funkcí dvou proměnných. Známe jsou přitom hodnoty zkoumané veličiny v omezeném počtu známých bodů v zadané oblasti. Typickým příkladem takovéto úlohy je tedy zjištění hodnot k - té geologické veličiny (např. mocnost či obsah popela) v různých bodech sloje nebo lávky uhlí s . Obvykle se takto generují hodnoty v pravidelné síti (gridu) jako základ pro následnou interpretaci empirických hodnot. Rozložení hodnot U_{ks} této k - té veličiny ve sloji s je reprezentováno funkcí rovinných souřadnic X, Y :

$$U_{ks} = f_{ks}(X, Y).$$

Mějme obecně konečný počet N známých hodnot funkce $Z(X, Y)$ o rovinných souřadnicích x_i, y_i

$$Z_i = Z(x_i, y_i), \quad i = 1, 2, \dots, N.$$

Těchto N hodnot neurčuje funkci $Z(X, Y)$ přesně. Musíme nalézt takovou funkci $S(X, Y)$, která hledanou funkci $Z(X, Y)$ aproximuje co nejpřesněji. Tato úloha se nazývá interpolační a hledaným řešením je interpolující funkce $S(X, Y)$.

Základním požadavkem při konstrukci interpolující funkce je požadavek, aby interpolující plocha procházela zadanými hodnotami:

$$S(x_i, y_i) = Z(x_i, y_i) = Z_i, \quad i = 1, 2, \dots, N.$$

System hodnocení uhelných zásob

V této části jsou prezentovány algoritmy a programy pro *system hodnocení uhelných zásob a jejich využitelnosti* pro různé typy ložisek uhlí (v práci jsou to hornoslezská pánev a jihomoravská lignitová pánev). Základem pro takovýto system hodnocení je vytvoření prostorového modelu daného ložiska, který by umožňoval stanovit zásoby uhlí a přitom respektovat geologická specifika pánve. Obecným problémem je problém „bariéry poznatelnosti“. Žádný použitý system pozorování nemůže vystihnout celou složitost modelovaného geologického objektu. Kromě složitosti tvaru modelovaného geologického objektu to souvisí také s množstvím, kvalitou a hodnověrností dostupných informací o objektu. Ani sebelepší system hodnocení nemůže nahradit nedostatečný system pozorování a nedostatečnou přesnost a hodnověrnost vstupních informací. Termín „nedostatečný system“ může vyjadřovat i nedostatky ve způsobu odběru vzorků, ale především vyjadřuje omezené množství vzorků získané při geologickém průzkumu dané velkou finanční náročností průzkumných prací.

Popisovaný programový system s ohledem na možnosti využití respektuje tyto požadavky:

1. vlastní metoda výpočtu zásob se podstatně neodlišuje od způsobu, jakým byly hodnoceny zásoby uhlí v minulosti, aby byly výpočty zásob srovnatelné. To se samozřejmě týká pouze základního principu zvolené metody geologických bloků, vlastní postupy - algoritmy řešení jsou nové.
2. rovněž forma zpracování výsledků včetně grafických výstupů je přizpůsobena tradiční formě, v jaké byly výpočty zásob prováděny v minulosti. Přitom opět vlastní postup využívá nové možnosti výpočetní techniky.

Celý system rychlého hodnocení uhelných zásob můžeme v souladu s tím, co už bylo uvedeno, rozdělit do těchto základních částí:

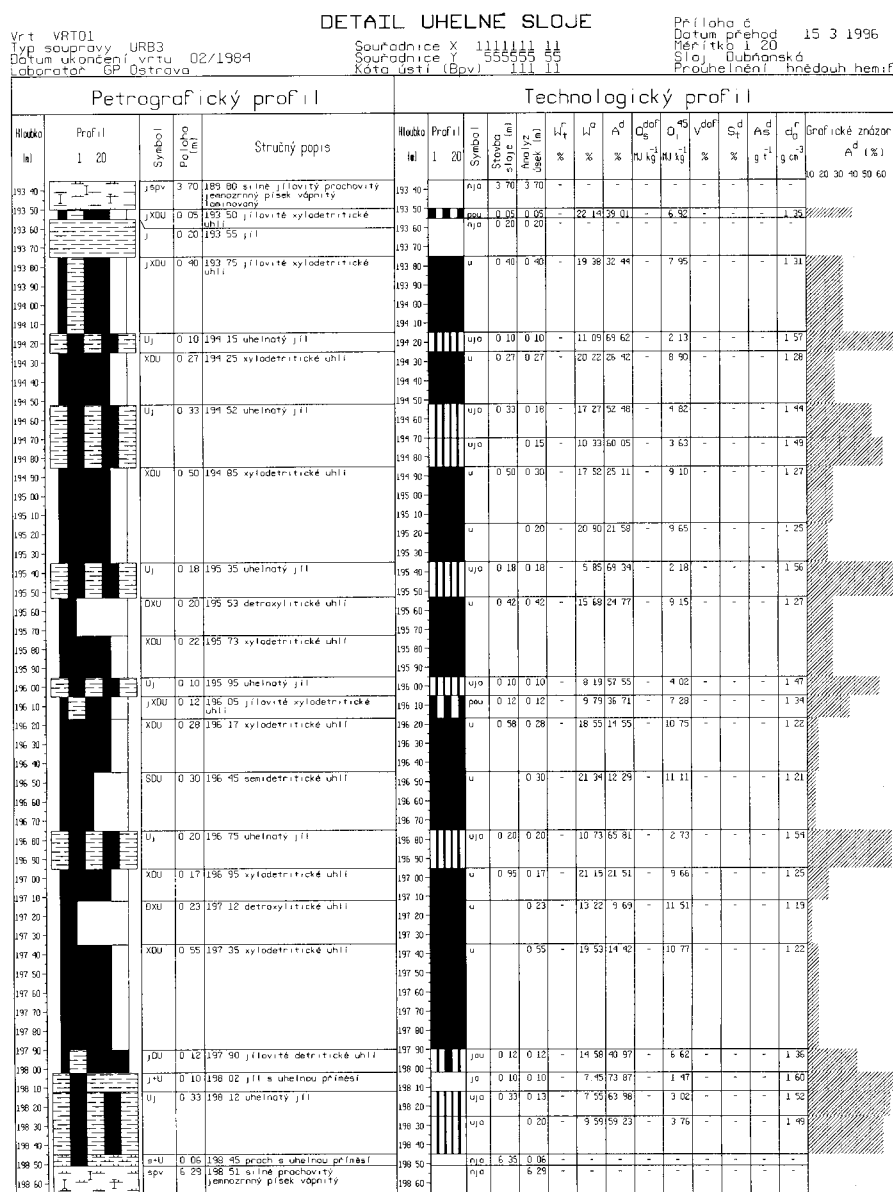
1. *Přípravná fáze* - zpracování prvotních údajů z geologického průzkumu, prověřování věrohodnosti dat, tvorba ložiskové databáze, identifikace a korelace slojí.
2. *Konstrukční fáze* - vytvoření základního modelu ložiska včetně respektování zjištěných tektonických poruch, paleoreliéfu karbonu atd.
3. *Určení oblastí vyhovující jednotlivým limitním hodnotám podmínek využitelnosti (dále v textu označované jako „oblasti typů bilančnosti“)* ve slojích - interpolace nepravidelně rozmístěných údajů z průzkumných bodů (mocnost a obsah popela) v jednotlivých slojích do pravidelné sítě bodů (gridu), vymezení území ve slojích vyhovujících limitním hodnotám podmínek využitelnosti (kondic).

4. Rozdělení oblastí jednotlivých typů bilančnosti ve sloji na geologické bloky - hranice bloků jsou tvořeny jednak limitními hodnotami podmínek využitelnosti, jednak také přirozenými plochami a liniemi (tektonické poruchy, eroze, výchozy atd.) a smluvními hranicemi (ohradníky, hranice dobývacích prostorů, státní hranice atd.).
5. Určení rozložení ostatních technologických parametrů (obsah prchavé hořlaviny, index puchnutí atd.) ve slojích a průměrných hodnot těchto parametrů v geologických blocích - vytvoření matematicko - geologického modelu každé sloje.
6. Zpracování modelu - vlastní výpočet zásob.

Vzhledem k rozsahu výstupů jsou uvedené části systému ilustrovány na výseku jedné sloje karvinského souvrství hornoslezské pánve (příklad 1) a na výseku dubňanské sloje jihomoravské lignitové pánve (příklad 2). Příklad vychází z reálné situace, proti skutečnosti však byly upraveny a zjednodušeny, aby mohly být názorně demonstrovány algoritmy zpracování.

Přípravná a konstrukční etapa

Před započítáním modelování ložiska je nezbytná etapa prověřování hodnověrnosti a přesnosti vstupních podkladů. K provádění vizualizace dat, určování odhadů statistických charakteristik, odhalování odlehlých pozorování, provádění statistických testů ap. bylo použito programového prostředí



Obr. 2. Detail uhelné sloje jihomoravské lignitové pánve.

matematického softwaru Matlab a jeho statistického toolboxu. Do ložiskové databáze jsou zahrnuty pouze prověřené, popř. opravené vstupní údaje.

Důležitou fází pro stanovení zásob uhlí je správně provedená identifikace a korelace slojí, příp. lávek, zajišťující, že vstupní údaje z vrtů pro určitou sloj se vztahují skutečně k této sloji. Ze vstupních údajů získaných z průzkumných vrtů, popř. záseků, se provede identifikace a korelace jednotlivých slojí s cílem dostat pro každou sloj lokalizované vstupní údaje. Vlastní identifikaci a korelaci provádí ložiskový geolog. Automatickou korelaci slojí v tak složité pánvi, jakou je např. hornoslezská pánev, není možno provést.

Samozřejmě se ale využívá výpočetní

technika - jak vhodně zpracované údaje z ložiskových databází, tak grafické výstupy - automaticky

vykreslené profily vrtů, detaily slojí, schematické geologické řezy atd. jako podklady pro vlastní identifikaci a korelaci slojí.

Na obr. 2 je ukázka takového výstupu - detail uhelné sloje jihomoravské lignitové pánve.

Následuje etapa konstrukční - vytvoření základního geologického modelu celého ložiska. Vykonstruovaná geologická situace jednotlivých slojí - výsledek práce ložiskového geologa a konstruktéra - se zdigitalizuje z map slojí.

V příkladě 1 jde o sloj s kontinuálním vývojem v prostoru, v příkladě 2 se sloj rozděluje na 4 lávky se 3 dělicími proplásky. Tyto lávky a proplásky se budou dále v textu označovat jako „vrstvy“ a jsou jim přiřazena čísla 1 (spodní lávka) až 7 (horní lávka). Lávky (od spodní) mají tedy čísla 1, 3, 5 a 7, dělicí proplásky (od spodního) 2, 4 a 6.

Geometrizační ložiskových těles podle zadaných technicko - ekonomických ukazatelů (podmínek využitelnosti)

Geologické zásoby uhlí se dělí podle podmínek využitelnosti na

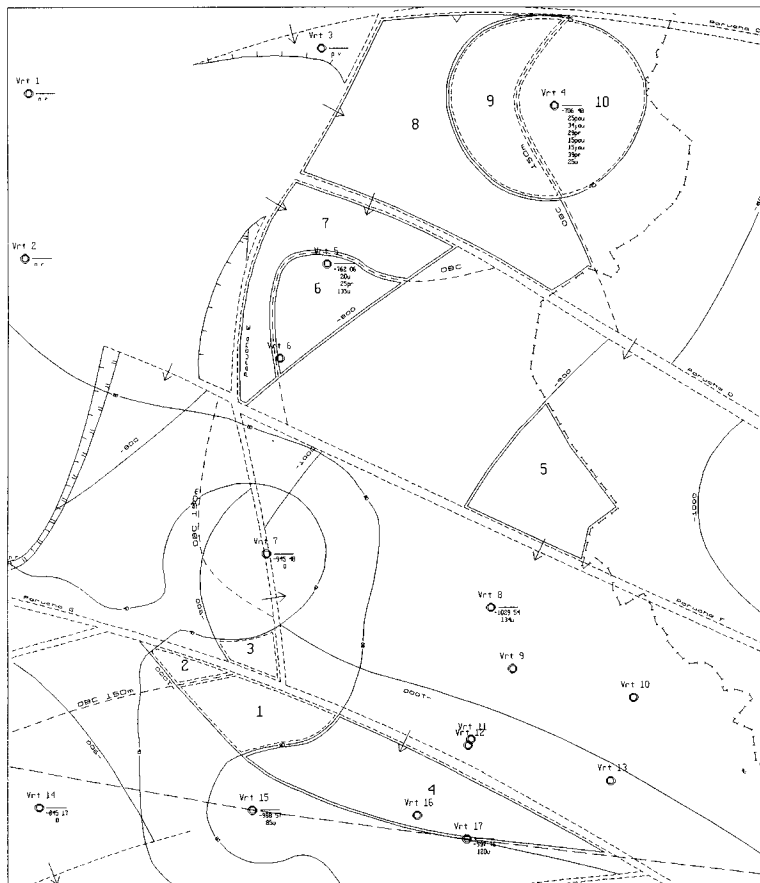
- *zásoby bilanční*, využitelné v současnosti a vyhovující stávajícím technickým a ekonomickým podmínkám využitelnosti a

- *zásoby nebilanční*, v současnosti nevyužitelné, ale u kterých lze v budoucnosti předpokládat, že se stanou v souvislosti s rozvojem techniky využitelnými.

Zařazování zásob uhlí (např. geologického bloku) podle bilančnosti se provádí podle limitních hodnot základních geologických a kvalitativních parametrů (minimální mocnost sloje, maximální obsah popela v uhlí) stanovených podmínek využitelnosti. V popisovaném systému lze libovolně zadávat členění geologických zásob do různých skupin podle příslušných limitních hodnot určujících parametrů. Zásoby je tak možno rozdělit např. na bilanční, podmíněně bilanční, nebilanční, nebilanční I, podlimitní, atd.

Pokud se sloj dělí proplásky na lávky, pak je možné podle počtu dělicích proplásků v prostoru vytvořit několik variant tvaru sloje variantním skládáním částí lávek a proplásků. Potom je nutné vybrat podle limitních hodnot základních geologických a kvalitativních parametrů optimální tvar sloje. To je také případ příkladu 2.

Interpolace údajů (mocnosti a obsahu popela) z nepravidelně rozmístěných průzkumných bodů do pravidelné sítě bodů



Rozložení hodnot výpočtových parametrů (mocnost a obsah popela) se stanoví interpolací údajů z nepravidelně rozmístěných průzkumných bodů (vrtů) do pravidelné sítě bodů - gridu modelovaného území.

Pokud je sloj rozdělena proplásky na jednotlivé lávky, určí se nejprve rozložení hodnot výpočtových parametrů v každé uhelné látce a proplásku zvlášť. Distribuce hodnot mocnosti a obsahu popela v celé sloji se pak stanoví ze sumárního gridu vytvořeného součtem gridů jednotlivých lávek a proplásků. Pokud není sloj rozdělena mocnějšími proplásky, zpracuje se jako jedna látka.

Problému interpolace - volbě vhodné interpolační metody pro určitý stupeň prozkoumanosti a typ ložiska - je třeba věnovat značnou pozornost. Na základě výsledků testování různých interpolačních metod byla pro příklad 1

Obr. 3. Mapa zásob vybraných geolo-

gických bloků výseku sloje příkladu 1.

použita interpolační metoda IDS - Inverse Distance Squared, nejbližších 6 hodnot a grid 100 krát 100 m. Pro příklad 2 je použita stejná metoda a grid 200 krát 200 m. Hustota pravidelné sítě odhadovaných hodnot byla zvolena podle hustoty vrtné sítě jednotlivých příkladů.

Na základě takto získaných hodnot mocnosti a obsahu popela se vykreslí izolinie mocnosti a popelnatosti, které názorně ukazují rozložení těchto geologických veličin ve sloji. Izolinie limitních hodnot příkladu 1 jsou na obr. 3.

V příkladu 2 lze sloj skládat v prostoru z jednotlivých vrstev. Např. složená vrstva 315 je složena z lávek 1, 3, 5 a proplásků 2 a 4. Pro určení optimálního tvaru sloje na základě limitních hodnot budou nutné také pravidelné sítě bodů mocnosti a obsahu popela složených vrstev, které se vytváří skládáním gridů vrstev základních. Mocnosti v bodech gridu se sčítají, obsah popela se vypočte váženým průměrem přes mocnost.

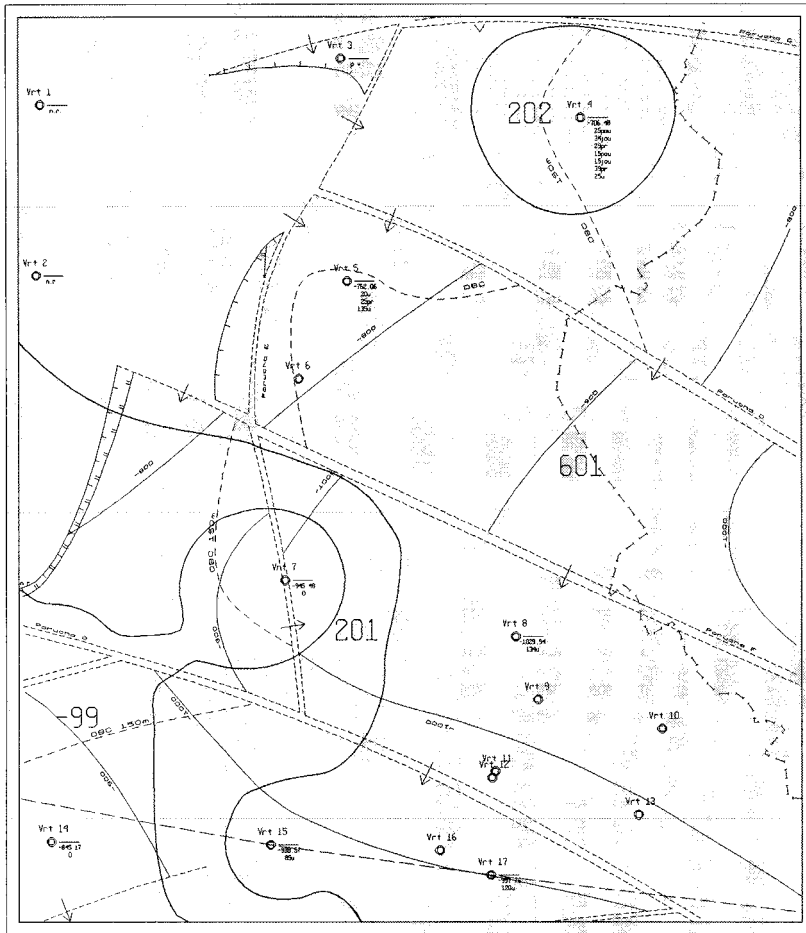
Určení oblastí jednotlivých typů bilančnosti ve sloji

Podle hodnot mocnosti a obsahu popela v jednotlivých bodech gridu se s ohledem na limitní hodnoty automaticky vymezí souvislé podlimitní, nebilanční a bilanční oblasti a ty se opět automaticky očíslovají a okonturují. Tím jsou určeny souřadnice obvodových polygonů zásob náležících jednotlivým

typům bilančnosti. Číslování oblastí se zadává v parametrickém souboru spolu s hodnotami parametrů podmínek využitelnosti. V tomto případě jsou použity pro podlimitní oblasti čísla -99, -98, ..., pro nebilanční 201, 202, ..., pro bilanční 601, 602, ...

Tato situace příkladu 1 je zachycena na obr. 4, kde je také znázorněn grid, vrty a vykonstruovaná geologická situace sloje.

Příklad 2 je složitější. Účelem zpracování - výpočtu zásob - je obvykle vyhledání co největšího množství zásob při dodržení kvality dané podmínkami využitelnosti. Pro skládání lávek je stanoven také okrajový vzorek okrajové lávky, proto je nutné určit ve všech možných okrajových lávkách také oblasti splňující daný okrajový vzorek. Souřadnice obvodových polygonů těchto oblastí budou použity dále.



Obr. 4. Mapa sloje příkladu 1 s okonturovanými oblastmi typů bilančnosti včetně gridu.

Určení hodnot ostatních parametrů v pravidelné síti bodů ve sloji (vrstvě)

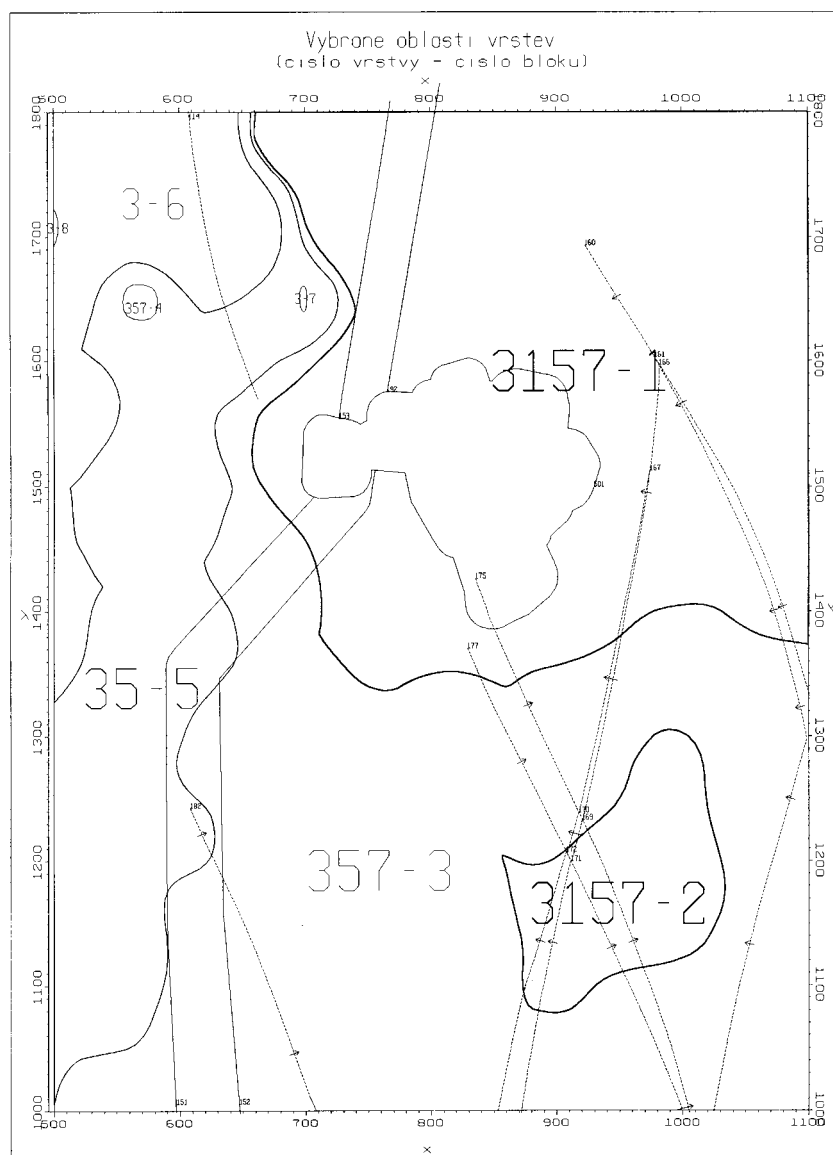
Ve stejných bodech gridu, v jakých byly stanoveny hodnoty mocnosti a obsahu popela, se dále vybranou interpolační metodou stanoví hodnoty ostatních potřebných technologických parametrů (pro černé uhlí obsah prchavé hořlaviny, index puchnutí, kontrakce a dilatace zjištěné při dilatometrické zkoušce, spalné teplo, obsah síry, obsah fosforu, případně dalších veličin; pro lignit obsah síry, obsah arzenu, případně dalších veličin). Použitá interpolační metoda pro výpočet gridu jednotlivých veličin může být u všech stejná a může se shodovat s interpolační metodou pro určení gridu mocnosti

a obsahu popela, nebo pro různé veličiny můžeme použít různé interpolační metody. Pro výběr interpolační metody jednotlivých parametrů platí totéž, co pro interpolaci mocnosti a obsahu popela.

Nyní lze z modelu, který je tvořen gridy výše uvedených veličin, vypočítat charakteristiky jednotlivých oblastí bilančnosti ve vrstvách (slojích).

Rozdělení oblastí jednotlivých typů bilančnosti ve sloji na geologické bloky

Oblasti jednotlivých typů bilančnosti se člení na geologické bloky podle přirozených ploch a linií (tektonické poruchy, eroze, výchozy sloje na karbonský paleoreliéf, hranice pestrých vrstev atd.) a podle smluvních hranic (ohradníky, hranice dobývacích prostorů, státní hranice atd.).



Obr. 5. Vybrané oblasti vrstev hlavního tělesa příkladu 2 spolu s mezními liniemi.

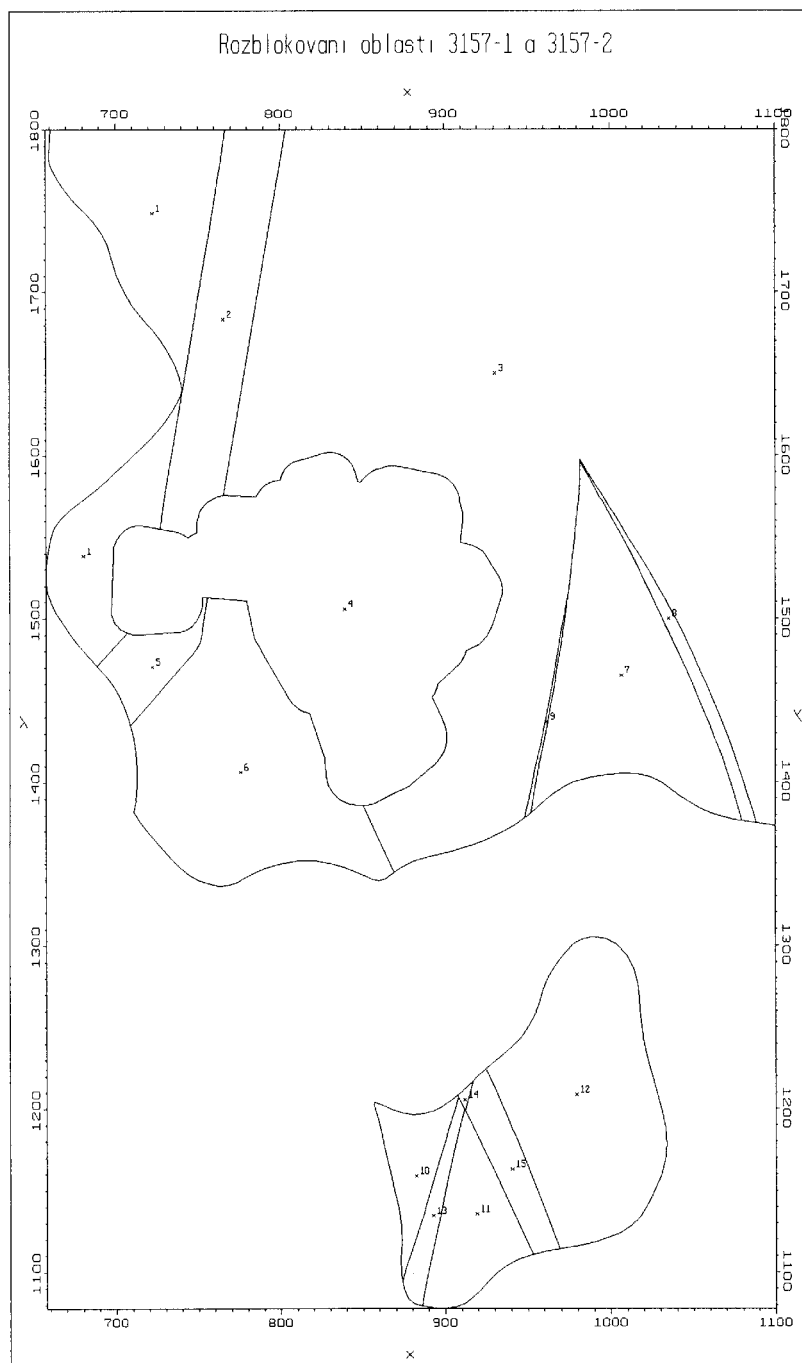
Každá oblast bilančnosti má své identifikační číslo a obvodový polygon souřadnic. Také každá zdigitalizovaná linie geologických (konstrukčních) podkladů (tektonické linie, eroze, demarkace atd.) má své identifikační číslo a uchované souřadnice. Pomocí jednoduchého jazyka lze pak popsat, ze kterých linií se geologický blok skládá a pro každý geologický blok definovat obvodový polygon.

V příkladě 1 bylo pro ilustraci náhodně vybráno pouze několik geologických bloků (tedy ne všechny bloky ukázkové sloje), které jsou vykresleny na obr. 4.

V příkladě 2 byly pro ilustraci vybrány geologické bloky, které vzniknou v hlavním tělese složeném ze všech vrstev. V tomto případě se tyto oblasti člení na geologické bloky podle zdigitalizovaných linií, jak je vidět na obr. 5. Automaticky se vytvoří 15 geologických bloků (viz obr. 6).

Pro každý geologický blok se také vypočítá plocha a případně se určí seznam dalších bloků nebo podlimitních oblastí bilančnosti ležících uvnitř tohoto bloku. Vznikne tak množina lokalizovaných geologických bloků každé sloje, pro které budeme určovat další charakteristiky. Postupným zpracováním všech slojí vznikne soubor všech bloků celého ložiska.

Z hodnot gridu každé veličiny se poté stanoví průměrné chemicko-technologické charakteristiky geologických bloků ve sloji.



Obr. 6. Vybrané geologické bloky příkladu 2.

Výpočet zásob

Množství zásob v každém geologickém bloku se určí z pravé plochy bloku (vypočtené z plochy nepravé podle průměrného úklonu bloku), průměrné mocnosti sloje v bloku a z průměrné objemové hmotnosti uhlí v bloku. Souborem geologických bloků jednotlivých slojí vzhledem k jejich lokalizaci je vytvořen prostorový model ložiska. Ten je dále možno automaticky zpracovat do výstupů textových (zásobové sestavy ap.) a grafických, včetně map zásob uhlí jednotlivých slojí. Přitom systém respektuje tradiční způsob mapové dokumentace. Výřez takové mapy příkladu 1 je na obr. 3. Vybrané bloky bilanční jsou okonturovány plnou čarou, vybrané bloky nebilanční jsou okonturovány přerušovanou čarou. Systém umožňuje vytváření několika desítek výstupních zásobových sestav podle různých výběrových a třídících kritérií.

Vliv výběru interpolační metody na model ložiska

Jak bylo uvedeno již výše, údaje z průzkumných bodů jednotlivých slojí ložiska uhlí, popř. lávek a proplástků, jsou interpolovány do pravidelné sítě bodů (gridu) modelovaného území. Hodnoty v této pravidelné síti bodů jsou vlastně modelem reality a základem pro variantní výpočty zásob.

Proto je třeba věnovat *značnou pozornost výběru vhodné interpolační metody pro určitý stupeň prozkoumanosti a typ ložiska*. Největší vliv na stanovení velikostí oblastí bilančnosti nebo geologických bloků, stanovení jejich průměrných charakteristik a také výsledných geologických zásob mají určující parametry stanovených podmínek využitelnosti - mocnost sloje (vrstvy) a obsah popela. Proto se testovaly právě tyto charakteristiky.

Jaký je vliv výběru interpolační metody na výsledný model ložiska? Pro hledání odpovědi na tuto otázku byl použit příklad 2. Vlastní testování bylo provedeno dvěma odlišnými postupy:

- *Postup 1: Srovnání modelů ložiska vytvořených s pomocí jednotlivých interpolačních metod na základě průměrných odchylek.* Vybranými interpolačními metodami byly vytvořeny pravidelné sítě bodů mocnosti a obsahu popela pro vrstvy 1, 3, 5, 7, 31, 315, 3157, 35, 357 a 57. Na základě takto vzniklých modelů stejného ložiska se v jednotlivých vrstvách vypočítá celková průměrná mocnost, celkový průměrný obsah popela, dále plocha, průměrná mocnost, průměrný obsah popela a geologické zásoby bilančních a nebilančních oblastí. Tyto průměrné hodnoty jsou základem pro srovnání s odpovídajícími hodnotami jednotlivých modelů s pomocí vypočtených procentuálních odchylek.
- *Postup 2: Srovnání předem vytvořeného modelu ložiska s modely ložiska vytvořenými s pomocí jednotlivých interpolačních metod.* K tomuto účelu byl vytvořen teoretický model - pravidelné sítě bodů hodnot mocnosti sloje a obsahu popela ve stejném území jako v příkladu 2. Z gridů tohoto teoretického modelu se v místech vrtů příkladu 2 zjistí přesné hodnoty mocnosti sloje a obsahu popela a ty se stanou vstupními hodnotami pro stejné interpolační metody jako v postupu 1. Na základě těchto hodnot se vypočítá celková průměrná mocnost, celkový průměrný obsah popela, dále plocha, průměrná mocnost, průměrný obsah popela a geologické zásoby bilančních a nebilančních oblastí modelového příkladu. Tyto hodnoty teoretického modelu budou základem pro srovnání s odpovídajícími hodnotami jednotlivých modelů s pomocí vypočtených procentuálních odchylek.

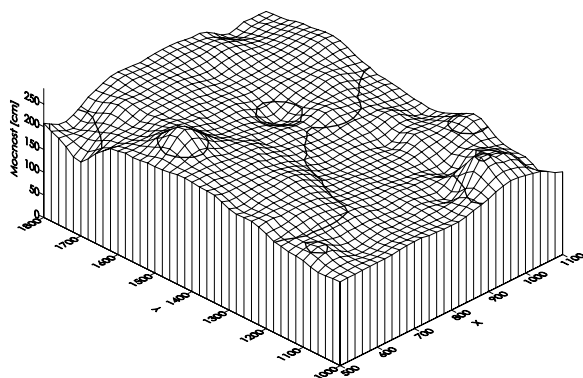
Výběr interpolačních metod byl ovlivněn jedním ze zásadních požadavků na systém hodnocení uhelných zásob - to je dostatečná *rychlost zpracování*. Interpolační metody by neměly být pokud možno příliš složité a na druhé straně by programy je realizující měly být uživatelsky přístupné s možností grafických výstupů. Z dostupného software se v praxi k těmto účelům nejčastěji využívají programy Rockworks a Surfer. V obou testovacích postupech se testovalo celkem 14 různých interpolačních metod.

Z provedeného srovnání postupem 1 lze vyvodit závěr, že nevhodnějšími interpolačními metodami byly vyhodnoceny takové, které jsou schopny dostatečně postihnout vliv blízkých vstupních hodnot a potlačují vliv vzdálenějších vstupních hodnot výběrem omezeného počtu okolních vstupních hodnot a u metod ID exponentem ≥ 2 . Vůbec nejlépe ze srovnání vyšla metoda IDS (s výběrem 6 nejbližších vstupních hodnot z okolí - firemní program Rockworks), která byla také v příkladu 2 této práce použita.

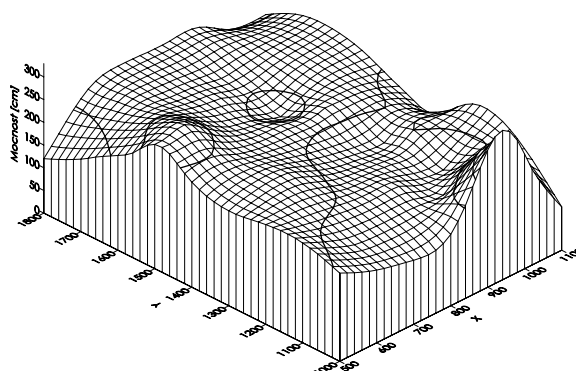
Pro ilustraci rozdílnosti modelů vytvořených různými interpolačními metodami jsou prostorově zobrazeny mocnost hlavní lávky 3 metodami IDS (vyhodnocena jako nevhodnější - obr. 7) a SPLAJN (metoda plochy minimální křivosti - firemní program Surfer), která byla vyhodnocena jako nejméně vhodná - obr. 8).

Při postupu 2 jsou potřebné parametry teoretického modelu ložiska (celková průměrná mocnost, celkový průměrný obsah popela, dále plocha, průměrná mocnost, průměrný obsah popela a geologické zásoby bilančních a nebilančních oblastí) známy, proto je možné zjistit odpovídající parametry modelů ložiska vytvořených s pomocí popsaných interpolačních metod a zjistit, do jaké míry se liší od hodnot teoretického modelu. Lze zde vyvodit ještě výrazněji tentýž závěr jako při postupu 1, že nevhodnějšími interpolačními metodami byly vyhodnoceny takové, které jsou schopny dostatečně postihnout vliv blízkých vstupních hodnot a potlačují vliv vzdálenějších vstupních hodnot výběrem omezeného počtu okolních vstupních hodnot a u metod ID exponentem ≥ 2 . Výsledky geostatistické metody KRIG, která pro odhad hodnot veličin v poli použila afinní transformaci souřadnic podle zjištěné geometrické anizotropie pole, ukazují, že vzhledem k malé hustotě vrtné sítě nebyla tímto systémem pozorování spolehlivě odhalena existence zákonité složky v polích sledovaných veličin. Metoda IDS, která byla v příkladu 2 použita, byla vyhodnocena opět mezi nevhodnějšími interpolačními metodami. Na obr. 9 je prostorově zobrazena mocnost teoretického

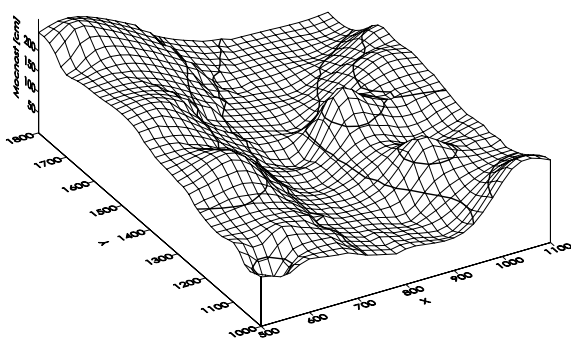
modelu a na obr. 10 mocnost modelu s použitím interpolační metody ID3 (inverzní vzdálenosti, výběr nejbližších 6 hodnot, exponent 3).



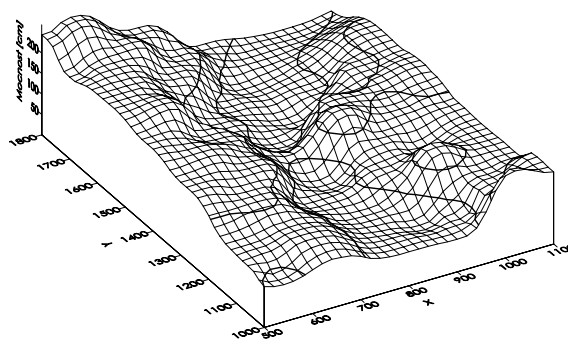
Obr. 7. Mocnost lávky 3, interpolační metoda IDS.



Obr. 8. Mocnost lávky 3, interpolační metoda SPLAJN.



Obr. 9. Mocnost teoretického modelu.



Obr. 10. Mocnost modelu, interpolační metoda ID3.

Dále je pro zvolený teoretický model z postupu 2 aplikován vyhodnocovací postup 1. Odpovídají výsledky srovnání interpolačních metod postupu 2? Srovnání interpolačních metod teoretického modelu podle postupu 1 s pořadím dosaženým při postupu 2 ukazuje, že oba postupy poměrně jednoznačně detekují interpolační metody pro teoretický model nevhodné.

Závěr

Předložená práce přináší přehled problematiky modelování uhelných ložisek a ucelený systém hodnocení uhelných zásob a jejich využitelnosti pro různé typy ložisek uhlí na základě vytvoření prostorového modelu ložiska. Systém využívá *automatickou geometrizaci ložiskových těles podle zadaných technicko-ekonomických ukazatelů* (podmínek využitelnosti), což umožňuje rychlé provádění alternativních výpočtů zásob založených na více variantách technicko-ekonomických ukazatelů. Systém je vypracován včetně textových a grafických výstupů, které mají charakter tradičních způsobů zpracování výpočtů zásob v ČR, vyhovujících platným předpisům.

Zvláštní pozornost je v práci věnována problematice výběru vhodné interpolační metody pro daný typ ložiska při vytváření jeho modelu. *Volba vhodné interpolační metody* pro určitý stupeň prozkoumanosti a typ ložiska má *zásadní význam* pro vytvoření reprezentativního modelu ložiska. Proto je nezbytné věnovat výběru interpolační metody velkou pozornost. Pokud lze provést spolehlivě geostatistickou strukturální analýzu polí, je nutné při výběru interpolačních metod uvažovat zjištěnou anizotropii polí a zadávat ji při výpočtech. Řídká vrtná síť používaná při průzkumu uhelných ložisek však obvykle nedovoluje anizotropii polí studovaných rovinných veličin slojí ložiska přesně určit a použít ji při interpolaci. Pokud se při interpolaci zohlední nevěrohodně stanovená anizotropie pole, může dojít naopak k velkému zkreslení výsledků. Při výběru interpolační metody se musí brát v úvahu jeden ze zásadních požadavků na systém hodnocení uhelných zásob - to je dostatečná *rychlost zpracování*. Interpolační metody by neměly být pokud možno příliš složité a časově náročné.

V závěrečné části předložené práce jsou *navrženy dva postupy výběru vhodné interpolační metody* z vybrané množiny různých interpolačních metod. Pro výběr nejvhodnější interpolační metody by se

měly aplikovat oba tyto postupy a vybrat tu metodu, která je v obou postupech hodnocena mezi nejlepšími.

Předpokládá se další rozšiřování tohoto systému podle požadavků, které vzniknou při jeho praktickém využívání.

Literatura

- David, M.: Handbook of Applied Advanced Geostatistical Ore Reserve Estimation. *Elsevier, Amsterdam, 1988.*
- Gridzo. RockWare Scientific Software. *Colorado, 1994.*
- Marčuk, G.I.: Metody numerické matematiky. *Academia, Praha, 1987.*
- Matheron G.: Osnovy příkladnoj geostatistiky. *Mir, Moskva, 1968.*
- MATLAB. Reference Guide. *Natick, Massachusetts, 1994.*
- Schejbal, C.: Aplikovaná geostatistika I - III. *ČSÚP, Příbram, 1983-1987.*
- Schejbal, C.: Geologická informatika. *VŠB-TU, Ostrava, 1994.*
- Schejbal, C.: Matematická geologie. *VŠB-TU, Ostrava, 1994.*
- Schejbal, C.: Úvod do geostatistiky. *VŠB-TU, Ostrava, 1996.*
- Schejbal, C. et al.: Vytvoření databází uhelných pánví České republiky. *MS HGF VŠB, Ostrava, 1991.*
- Staněk, F. & Honěk, J.: Ložiskové databáze uhelných pánví. *In: VII. uhelně geologická konference katedry ložiskové geologie PřFUK Praha. UK, Praha, 1993, 183-188.*
- Staněk, F., Honěk, J. & Čepelová, L.: Metodika vytvoření modelu černouhelného ložiska hornoslezské pánve a následný výpočet zásob. *In: Mezinárodní vědecká konference VŠB-TU, sekce geologie. VŠB-TU, Ostrava, 1995, 311-317.*
- Statistics TOOLBOX for use with MATLAB. User's Guide. *Natick, Massachusetts, 1994.*
- Surfer for Windows. *Golden Software, Inc., Colorado, 1994.*