

Analýza hodnověrnosti výpočtu zásob nerostných surovin a porovnání s výsledky těžby.

*Ctirad Schejbal*¹

Analysis of the reliability of estimation of mineral raw materials reserves and a comparison with exploitation results

One of the virtually most important problems connected with the method of estimating mineral raw material reserves, on which the success of mining enterprises strongly depends, is the reliability of estimating their and valuable components' mass, including determinant parameters. Theoretically, the only objective criterion is a comparison between the mass estimates of reserves and their parameters and the results of exploitation. According to the existing knowledge, the reliability of the estimation of reserves depends mainly on the accepted geological model of the deposit body and the used method of the estimation as well. At the selection of methodology of reserves estimation and its practical applications it is necessary to respect both the natural character and specific features of the detailed geological structure of the deposit body and the character of statistical and spatial variability and mutual relations of morphometric and qualitative variables that are decisive in reserves estimation. In the paper, the stated problems are analysed; the polymetallic pyrite ore deposit of Horní Benešov being given as an example.

Key words: Reliability of reserves estimation. Influence of geological model. Influence of methodology of estimation. Comparison between estimates and exploitation.

Úvod

Jedním z prakticky nejdůležitějších problémů metodiky výpočtu zásob, na kterém silně závisí úspěšnost hornického podnikání, je hodnověrnost odhadu hmotnosti zásob nerostné suroviny a užitkových složek včetně jejich určujících parametrů. Jde o problém klíčový, který je dlouhodobě sledován a živě diskutován. Teoreticky jediným objektivním kritériem je porovnání odhadů hmotnosti zásob a jejich parametrů s výsledky těžby. Praktické řešení je však komplikováno řadou vlivů, zejména:

- obvykle rozdílným omezením bloků geologických a využitelných zásob a těžebních bloků;
- častými změnami naturálních ukazatelů uplatňovaných v průběhu těžby, které vyplývají z měnících se ekonomických a technologických podmínek;
- faktem, že výrubnost zásob a znečištění jsou určovány dosti nepřesně, a to zpětným propočtem nebo pouze odborným odhadem;
- neúplnou a zpravidla těžce dostupnou evidencí těžby z jednotlivých bloků zásob;
- skutečností, že výsledné údaje o získaném odbytovém produktu nebo užitkových složkách v úpravnickém produktu jsou poskytovány souhrnně za celý ložiskový objekt, resp. důl, tzn. za skupinu bloků zásob, která byla v hodnoceném období těžena.

Přes všechny uvedené a další možné komplikace je potřebné se tímto problémem zabývat, neboť má zásadní dopad na proces rozhodování o možnostech a způsobech využití ložiskového objektu a na hodnocení efektivnosti podnikatelských záměrů spojených s jeho těžbou.

Podle současných znalostí závisí hodnověrnost výpočtu zásob hlavně na přijatém geologickém modelu ložiskového objektu a na použité metodě výpočtu zásob. Mimo to existují další zdroje chyb, a to chyby stanovení hodnot sledovaných morfometrických a jakostních veličin v realizovaných průzkumných průnicích objektem, chyby vyvolané nepřesnostmi mapových podkladů atd. Podíl vlivu

¹ Prof. Ing. Ctirad Schejbal, CSc., Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, Hornicko-geologická fakulta, 708 33 Ostrava, tř. 17. listopadu 15, Česká republika
(Recenzovali: Doc. Ing. Pavol Rybár, CSc. a Doc. Ing. Tibor Sasvári, CSc. Revidovaná verzia doručená 16.6.1997)

uvedených zdrojů chyb závisí jednak na průzkumném (morfoloogicko-strukturním) typu ložiskového objektu, jednak na míře jeho prozkoumanosti.

Vedle stručného rozboru významu modelu objektu bude v dalším textu věnována pozornost především vlivu metody výpočtu zásob na odhad hmotnosti a parametrů zásob v porovnání s výsledky těžby na příkladu kyzového polymetalického ložiska Horní Benešov.

Vliv geologického modelu ložiskového objektu

Je nepochybné, že z hlediska hodnověrnosti odhadu zásob má určující význam reálnost přijatého geologického modelu ložiskového objektu. Pokud je tento model zatížený podstatnými rozdíly oproti skutečnosti, nelze jakýmkoliv seberafinovanějšími postupy odhadu dosáhnout přijatelných výsledků.

Při sestavování geologického modelu objektu narážíme na omezení, která vyplývají z informační schopnosti použitého průzkumného systému. V případě složitých typů ložisek je zejména v očátečných průzkumných etapách, tj. v podmínkách zvýšené neurčitosti, problematické sestavit dostatečně hodnověrný model. To obecně vyplývá z principu inkompatibility zformulovaného Zadehem. V takových případech má podstatný význam jednak správné pochopení geneze ložiskové akumulace

a geologicko-strukturního vývoje ložiskonosného komplexu, jednak průzkumnému systému odpovídající úroveň vyhodnocení (tab.1).

Tab.1. Schéma vztahů mezi etapou průzkumu (průzkumným systémem), oblastí a objektem studia a objektem vyhodnocení (Schejbal 1985, upraveno).

průzkumná etapa		oblast studia	objekt studia	objekt geometrizace a vyhodnocení
vyhledávání		lož. oblast, pánev	průzk. úsek, průzk. pole	mineralizovaná zóna, slojový horizont
předběžný průzkum		průzk. úsek, průzk. pole	ložisko	zóna lož. těles, spoleh. identif. těleso
podrobný průzkum, průzkum otvirkou		ložisko	osvojovaná část ložiska	ložiskové těleso
těžba	těžební průzkum	osvojovaná část ložiska	ložiskové těleso	geologický blok
	příprava	ložiskové těleso	geol. Blok (skupina bloků)	těžební blok
	dobývání	geologický blok	těžební blok	dobývka, porub

Posledně uvedené hledisko je velmi často přehlíženo, což vede vedle zbytečně zvýšené pracnosti ke zdánlivě přesnějším výsledkům, a v důsledku toho k pozitivnějšímu, ale nereálnému hodnocení výsledků průzkumu. Takový přístup se dále může odrazit v podstatě neodůvodněně formulovaných investičních a těžebních podnikatelských záměrech, které mohou vést ke zbytečným hospodářským ztrátám.

Ilustrujme význam reálného sestavení geologického modelu ložiskového objektu na hodnověrnost odhadu zásob na příkladu hornobenešovského ložiska.

Výchozí výpočet zásob Pb-Zn rud (Kučera et al., 1959) vycházel z představy jednoduchého deskovitého rudního tělesa a nerespektoval velmi složitou morfologii ložiskových těles a vysokou variabilitu prostorové distribuce zrudnění. To se odrazilo v metodice výpočtu zásob, která využívala klasickou metodu geologických bloků s omezováním bloků podle běžných pravidel interpolace a extrapolace. Výsledky těžby do konce roku 1975 ale vykázaly zhruba 21 % úbytek hmotnosti zásob rudy, 25 % snížení kovnatosti a 42 % úbytek hmotnosti kovů.

Proto byla v následném výpočtu zásob použita modifikovaná metoda geologicko-těžebních bloků (Bussinov et al., 1979), která byla založena na maximálním využití geologického modelu ložiska a respektování způsobu prozkoumanosti každého konkrétního úseku (Schejbal, 1978). Vymezování bloků zásob v horizontálních i vertikálních řezech vycházelo z průběhu izolinií kovnatosti, které respektovaly velmi složitou stavbu ložiskonosného komplexu, v němž se zrudnění vyskytuje ve tvaru

nepříliš velkých kulisovitě se překrývajících rudních těles, orientovaných souhlasně s tektonovým uspořádáním zóny produktivních hornin. Tento přístup vedl spolu s uplatněním výsledků podrobného statistického vyhodnocení k významnému poklesu zásob a ve svém důsledku k velmi podstatnému snížení rozdílů mezi odhadem zásob a výsledky těžby. V nejdůležitějším sumárním ukazateli - hmotnosti užitečných složek - došlo k poklesu ze 40.8 % na 17.6 %, tj. 2.3 krát. Rozbor ukázal, že hlavním problémem je přesnost odhadu průměrných obsahů užitečných složek, který závisí nejen na hodnověrnosti geologického, resp. geologicko-geometrického modelu ložiskového objektu, ale i na vlastním výpočtovém postupu.

Tab.2. Porovnání ukazatelů odhadu zásob vzájemně a s výsledky těžby do roku 1990 na ložisku Horní Benešov.

porovnání	hmotnost zásob %	obsah Pb %	obsah Zn %	hmotnost už.složek %
výpoč.1978 a 1959	-0.7	-29.8	-25.2	-27.3
těžba a výp. 1959	-11.7	-35.1	-35.1	-40.8
těžba a výp. 1978	-3.1	-14.4	-16.2	-17.6

Vplyv metody výpočtu zásob

Hodnověrnost výsledků odhadu zásob je do značné míry ovlivňována použitou procedurou odhadu, obvykle označovanou jako metoda výpočtu zásob. Ta musí respektovat jak specifické rysy morfologie ložiskového objektu a jeho vnitřní stavby, tak charakter statistické a prostorové distribuce hodnot těch veličin, které jsou z hlediska odhadu zásob určující.

Pro výpočet zásob nerostných surovin byla vypracována celá řada metod, které jsou založeny na větší nebo menší geometrizaci ložiska, přímém odvození kvantitativních i kvalitativních parametrů výpočtem v zadaném objemu nebo na jejich odvození z geologických konstrukcí. Je nutno konstatovat, že dosud nejsou rozpracována objektivní kritéria pro volbu vhodného postupu výpočtu, která by vycházela z přirozených atributů ložisek a která by zajistila co nejdůvěhodnější a nejpřesnější výsledky při rozumné pracnosti získávání potřebných podkladů a vlastního výpočtu.

Základem odhadu zásob je intuitivní tvrzení, že hmotnost zásob nerostné suroviny Q a užitečné složky či složek P v hodnoceném objektu (ložiskovém tělese) jsou dány vzorci

$$Q = V \cdot \Gamma$$

$$P = V \cdot \Gamma \cdot C$$

kde V je objem objektu, Γ průměrná objemová hmotnost nerostné suroviny a C průměrný obsah užitečné složky (složek). Tyto základní vzorce jsou rozvíjeny do konkrétních výpočtových vzorců v závislosti na použité metodě. Všechny parametry výpočtového vzorce jsou zpravidla chápány jako očekávané hodnoty daných veličin, přičemž se apriorně předpokládá jejich vzájemná nezávislost. Poslední předpoklad velmi často není splněn, např. u ložisek vtroušených rud. Proto korektní řešení znamená buď zavést do výpočtového vzorce opravné členy na kovarianci veličin, nebo provést výpočet pomocí odvozených veličin, jejichž hodnoty jsou násobkem hodnot původních veličin stanovených

v průzkumných průnicích (např. tzv. akumulace = metrocento či lineární zásoby). Jinak dochází k systematickému vychýlení odhadu. Druhý způsob je výhodnější, neboť eliminuje nutnost výpočtu kovariancí, který není v případě složitějších výpočtových vzorců triviální.

V podstatě všechny výpočtové procedury vycházejí z jediného vzorce odhadu

$$u^* = \sum_{i=1}^m w_i \cdot u_i$$

kde u_i jsou hodnoty veličiny v průzkumných průnicích a w_i jejich váhy. Rozdíl mezi nimi spočívá ve způsobu vymezení základní výpočtové jednotky (bloku), ve výběru hodnot pro výpočet a ve způsobu odvození váhy každého průniku na odhad. Postupy musí poskytovat vydatný odhad, tj. nestranný odhad s minimálním rozptylem

$$E(u - u^*) = 0$$

$$\text{VAR}(u - u^*) = \min$$

kde: u je skutečná hodnota a u^* odhadnutá hodnota veličiny U .

V případě procedur, které se opírají o statistické postupy (metody geologických a těžebních bloků, metody geologických řezů apod.), vzniká problém vhodného odhadu středních hodnot parametrů výpočtového vzorce. Příčiny spočívají v časté heterogenitě statistických distribucí určujících veličin, v jejich převažující asymetrii, resp. zastoupení odlehlých pozorování.

Smíšené statistické distribuce se v geologických vědách vyskytují běžně např. v průzkumné geofyzice či geochemii. V ložiskové praxi jsou obvyklé u takových morfogenetických a surovinových typů, kdy nelze přesně stanovit geologickou hranici mezi ložiskovými tělesy a okolními horninami a kdy je nutno při jejich určování postupovat podle hledisek definovaných technicko - ekonomickými podmínkami využitelnosti. Typickým příkladem jsou akumulace tvořené prostorově velmi nepravidelným imp-regnačním či žilníkovým zrudněním (tab.3).

Tab.3. Výsledky separace heterogenních souborů vzorků ze 7. a 9. patra ložiska Horní Benešov.

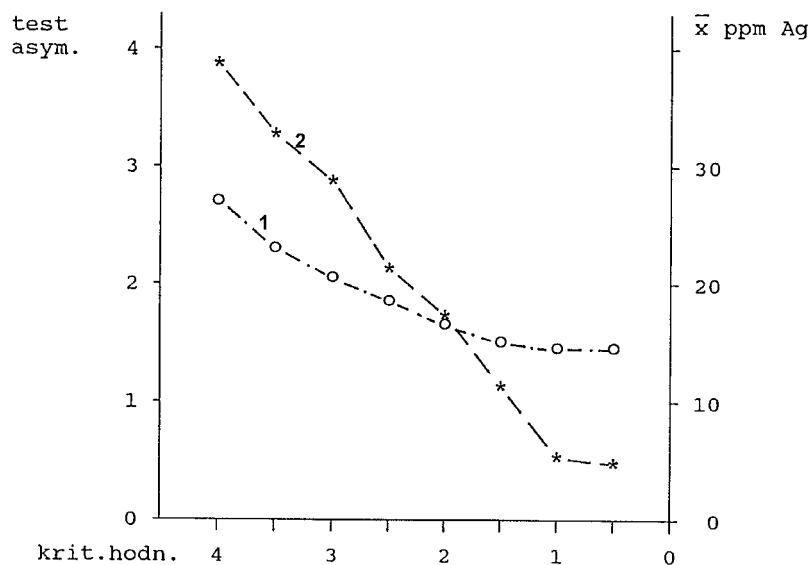
p.	prvek	hornin. podsoubor		rudní podsoubor		poměr smíšení
		x %	s %	x %	s %	
7	Pb	0.13	0.22	1.15	1.90	0.58
	Zn	0.16	0.19	2.61	3.20	0.54
9	Pb	0.09	0.19	1.35	2.79	0.62
	Zn	0.10	0.15	2.53	6.41	0.44

K analogické situaci dochází i při studiu distribucí vzorků zahrnutých do zásobových bloků, do nichž jsou započítávány i nezrudnělé vločky, které nelze z technologického hlediska z dobývání vyloučit. Z příkladu uvedeného v tab. 4 je např. zřejmé, že do bilančních částí ložiskových těles byly zhruba z 15 až 20 % zahrnuty i vzorky "horninové", což je s ohledem na velice složitý charakter zrudnění hornobenešovského ložiska naprosto pochopitelné.

Tab.4. Výsledky separace heterogenních souborů vzorků z bilančních úseků průzkumných průniků na 7. a 9. patře ložiska Horní Benešov.

p.	prvek	hornin. podsoubor		rudní podsoubor		poměr smíšení
		x %	s %	x %	s %	
7	Pb	0.12	0.11	1.07	1.60	0.23
	Zn	0.14	0.13	2.71	3.69	0.20
9	Pb	0.08	0.13	1.16	2.24	0.09
	Zn	0.30	0.51	3.37	5.73	0.16

Asymetrie distribucí ztěžuje odhad středních hodnot a variability veličin a snižuje jeho spolehlivost. Tuto skutečnost dobře dokumentuje závislost odhadu průměrného obsahu Ag na asymetrii při vylučování okrajových pozorování pomocí Fergusonova kritéria na uvedeném ložisku (viz obr.1).



Obr.1. Závislost odhadu průměrného obsahu Ag na asymetrii distribuce, Horní Benešov (Schejbal, 1989).
1-odhad průměru metodou maximální věrohodnosti, 2-hodnota testu symetrie.

Proto je často třeba použít vhodné transformace určujících veličin minimalizující asymetrii distribuce nebo řešit problém odlehklých či nepřesně stanovených pozorování (cenzo-rovaných distribucí).

V případě často používaných interpolačních metod, z nichž nejběžnější je procedura vážení inverzními vzdálenostmi IDS (Inverse Distance Squared) podle vzorce:

$$u^*(x_0, y_0, z_0) = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{u_i}{d_i^2}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{d_i^2}} \quad \dots d_i > 0$$

$$u(x_0, y_0, z_0) \quad \dots d_i = 0$$

kde u_i o souřadnicích (x_i, y_i, z_i) leží uvnitř zóny vlivu $W(x_0, y_0, z_0)$ a

$$d_i = \sqrt{(x_i - x_0)^2 + (y_i - y_0)^2 + (z_i - z_0)^2}$$

vznikají problémy vyvolané jednak nestacionaritou mineralizovaného pole, jednak rozdílnou hustotou průzkumného systému (zejména výskytem "shluků" pozorování).

Nejúplněji řeší všechny uvedené problémy krigovací metody vycházející z koncepce náhodných polí, které poskytují podle teoretických rozborů i praktických zkušeností nejlepší výsledky odhadu zásob. Odhad hodnoty oceňované veličiny jako parametru výpočtu zásob v elementárním bloku ložiskového tělesa je

$$u^* = \sum_{i=1}^m \beta_i \cdot u_i$$

za podmínky, že rozptyl odhadu

$$\sigma_e^2 = \min$$

a součet vah

$$\sum_{i=1}^m \beta_i = 1$$

Váhy se určí řešením krigovací soustavy lineárních rovnic pomocí standardní procedury Lagrangeových multiplikátorů. Rovnice jsou sestaveny na základě vzdáleností h_{ij} mezi hodnoceným blokem B a průniky b_i pomocí strukturální funkce - semivariogramu

$$\gamma(h_{ij}) = \frac{1}{2m} \sum_{i=1}^m (u_i - u_j)^2$$

Velkou předností metody je, že se zároveň stanovuje rozptyl odhadu

$$\sigma_k^2 = \sum_{i=1}^m \beta_i \cdot \gamma(B, b_i) - \gamma(B, B) - \mu$$

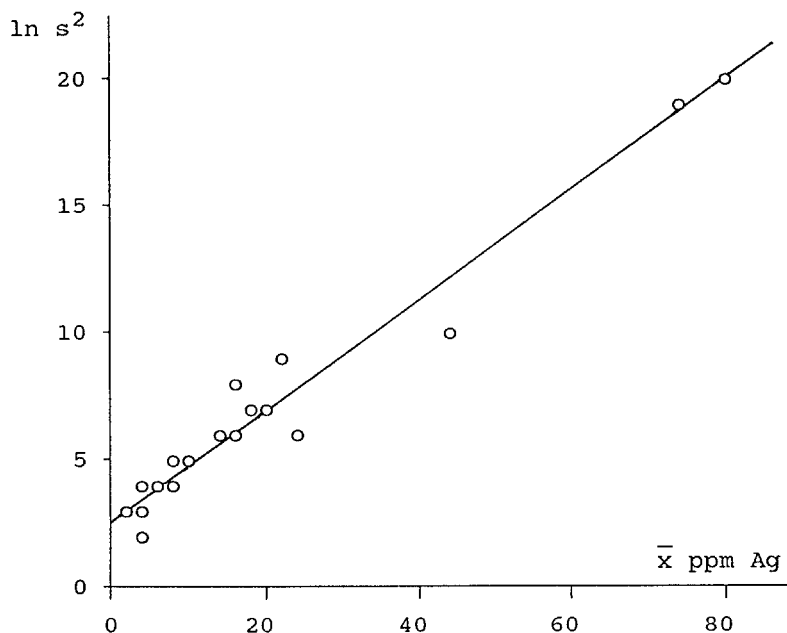
kde μ je hodnota Lagrangeova multiplikátoru.

Z uvedeného je patrné, že klíčovým problémem krigování je spolehlivý popis charakteristik prostorové distribuce určujících veličin, tzn. jejich kontinuity, homogenity, stacionarity/nestacionarity a izotropie/anizotropie pomocí semivariogramů.

V případě hornobenešovského ložiska má prostorová distribuce mocnosti a užitekových složek velmi komplikovaný nehomogenní charakter, projevující se složitým strukturálním modelem, ve kterém jsou zastoupeny sférické a exponenciální semivariogramy, zpravidla komplikované sinovými a kosinovými modely. Např. mocnost zrudnění v severním křídle ložiska mezi 7. a 15. patrem lze popsat izotropním semivariogramem

$$\gamma^*(h) = \begin{cases} 250 \cdot \left(1.5 \frac{h}{400} - 0.5 \left(\frac{h}{400} \right)^3 \right) + 75 \cdot \left(1 - \cos \left(31.4 \frac{h}{400} \right) \right) & \dots h \leq 400 \\ 250 + 75 \cdot \left(1 - \cos \left(31.4 \frac{h}{400} \right) \right) & \dots h > 400 \end{cases}$$

tzn., že základní struktura popsaná sférickým semivariogramem s dosahem 400 m je komplikovaná kosinovým semivariogramem s periodou 80 m, který popisuje dílčí rudní tělesa. Mineralizované pole je anizotropní, přičemž orientace os anizotropie se v různých částech ložiska mění. Navíc vykazuje značný proporcionalní efekt (obr.2) a je zatížené driftem.



Obr.2. Závislost lokálních průměrů a rozptílů obsahu Ag na ložisku Horní Benešov.

Uvedená komplikovanost prostorové distribuce určujících veličin hornobenešovského ložiska způsobila, že ani krigování neposkytlo zlepšení parametrů odhadu zásob přesto, že porovnání bylo provedeno ve skupině 16 bloků v dobře prozkoumané centrální části ložiska mezi 7. a 9. patrem (tab.5).

Tab.5. Srovnání výsledků odhadu zásob krigováním s výpočtem z roku 1978 a s těžbou.

porovnání	hmotnost zásob %	obsah kovů %	hmotnost kovů %
krigování a výp.1978	-11.1	+11.1	-0.7
těžba a krigování	+5.8	-20.1	-15.9

Již v úvodu bylo poukázáno na komplikace, které při posuzování hodnověrnosti vyvolává stanovení výrubnosti a znečištění. Obvykle se tyto faktory určují výpočtem ze skutečných parametrů těžby v porovnání s parametry zásob stanovených těžebním průzkumem, které jsou považovány

za nejspolehlivější. To ale nemusí platit. Pro ilustraci lze uvést údaje z hornobenešovského ložiska. V časovém intervalu 1978 až 1988 činila podle podkladů dolu průměrná výpočtem stanovená celková výrubnost 85 % a znečištění 11 %. Měřicky ověřené údaje jsou ale dosti odlišné (tab.6).

Tab.6 Průměrné výrubnosti a znečištění u dobývek mezi 7.- 9. patrem hornobenešovského ložiska (podle podkladů dolu)

úsek lož.	výrubnost	znečištění	důvody
jižní	93 %	26 %	velmi nepevné nadloží,
centrální	94 %	6 %	střední až pevné nadloží, velká mocnost
severní	94 %	5 %	pevné nadloží, střední mocnost

Tyto faktory negativně ovlivňují reálnost srovnání odhadů zásob s výsledky těžby. To nakonec potvrzuje skutečnost, že i odhadu zásob provedeném po ukončení těžebního průzkumu, při kterém je průzkumný systém zahušťován dvojnásobně, činí průměrná diference více než 10 % hmotnosti užitečných složek.

Někdy se posuzuje hodnověrnost odhadu zásob na základě vzájemného porovnání výpočtů provedených odlišnými metodickými postupy. Spolehlivost takového přístupu je pochopitelně omezená, neboť se jedná pouze o porovnání různých odhadů. Má ale své oprávnění pouze v případě, že se opírá o poznatky, které byly získány ve známé, těžbou dobře ověřené části téhož objektu, nebo s výhradami i z morfogeneticky a surovinově analogického objektu.

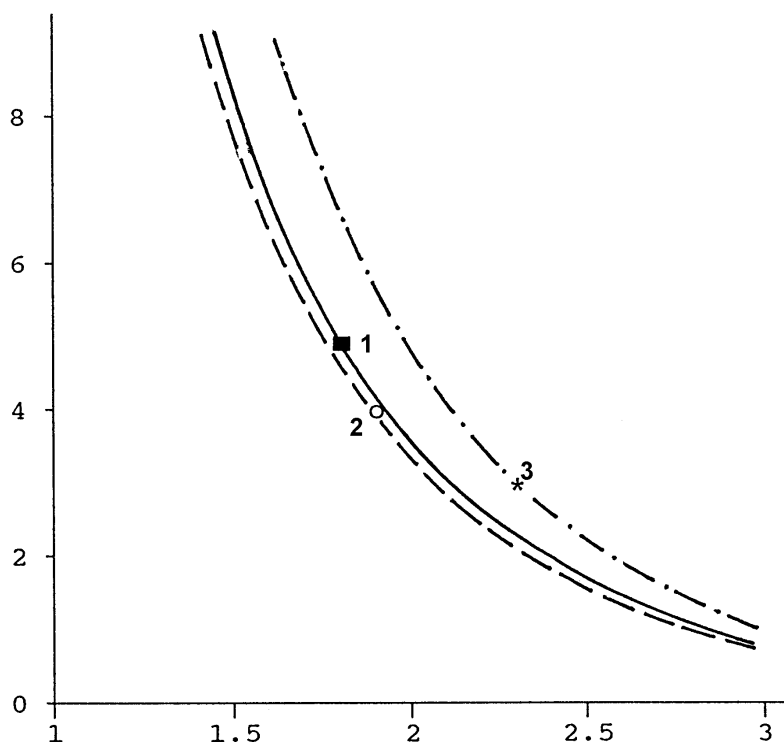
Ilustrujme uvedený postup na příkladu vyhodnocení zásob polymetalických rud ve spodní části ložiska Horní Benešov, pod úrovní posledního hornicky otevřeného patra, která byla prozkoumána vrty. Pro ocenění geologických zásob v této části ložiska byla použita metoda geologických bloků, metoda izolinií založená na proceduře IDS a metoda geologicko-statistická. Posledně uvedená metoda, která byla pro daný účel nově vypracována, vychází z metody geologických řezů. Je založena na plném využití geologického modelu ložiska, odvození parametrů výpočtu regresní analýzou z celého objektu a začlenění koeficientu rudonosti.

Poněvadž jde o metody založené na zcela odlišných principech, bylo nutno nejprve ze svrchní otevřené a podrobně prozkoumané části ložiska stanovit závislost hmotnosti zásob na obsahu užitečných složek a pomocí ní porovnat výsledky. Variantními propočty bylo zjištěno, že tuto závislost velmi dobře popisuje funkce

$$Q_{\%} = 2437.99 \cdot e^{-1.70376 \cdot c_{\text{sum}}}$$

s indexem korelace 0.892, kde $Q_{\%}$ je relativní hmotnost zásob v procentech a c_{sum} obsah užitečných složek v přepočtu na sumární obsah Zn.

Z obr.3 vyplývá, že geologicko-statistická metoda poskytuje prakticky zcela srovnatelné výsledky s metodou izolinií (diference nepřesahuje 5 %), zatímco metoda geologických bloků výrazně odhad zásob nadhodnocuje (v porovnání s geologicko statistickou metodou o cca 40 % a s metodou izolinií o 45 %).



Obr.3. Porovnání odhadů zásob polymetalických rud ve spodní části ložiska Horní Benešov. 1-geologicko - statistická metoda, 2-metoda IDS, 3-metoda geologických bloků.

Závěr

Posuzování hodnověrnosti výpočtu zásob nerostné suroviny na základě výsledků těžby konkrétního ložiskového objektu je komplikované. Přesto lze formulovat některé obecné závěry vedoucí ke zvýšení spolehlivosti odhadů.

Při výběru metodiky výpočtu zásob a její praktické aplikaci je nutné respektovat jednak přirozený charakter a specifické rysy detailní geologicko-strukturální stavby ložiskových těles, jednak charakter statistické a prostorové variability a vzájemné vztahy morfometrických a kvalitativních veličin, které jsou pro odhad zásob určující. Uvedené příklady dosvědčují, že opomíjení uvedených atributů vede ke snížení spolehlivosti odhadů. To velmi dobře dokumentuje nadhodnocení zásob u klasické metody geologických bloků, které vyplývá hlavně z nerespektování prostorových charakteristik distribuce užitečných složek v ložiskovém objektu.

Problém hodnověrnosti odhadů zásob nerostných surovin v ložiskovém objektu není nový. Domnívám se ale, že právě v současné době s růstem aktivit soukromých podnikatelských subjektů nabývá na novém rozměru. Vždyť nezbytnost zpracování studií proveditelnosti podnikatelského záměru spjatého s velmi rizikovou hornickou činností nutně předpokládá analyzovat spolehlivost odhadů zásob a jejich parametrů jako nejdůležitějšího podkladu pro rozhodování.

Literatura

- Bussinov, I., Kuba, B. a Urbánek, J.: Závěrečná zpráva s výpočtem geologických zásob Pb-Zn-Ag rud Horní Benešov. - *MS RD Jeseník*, 1979.
- Kučera, J. et al.: Závěrečná zpráva a výpočet zásob Pb-Zn ložiska Horní Benešov. - *MS GP Ostrava*, 1959.
- Marek, M., Schejbal, C. a Urbánek, J.: Hlubkový vývoj ložiska Pb-Zn rud Horní Benešov. - *Geol. průzkum*, 1, 1981, 3-5.
- Schejbal, C.: Metodika výpočtu zásob ložiska Horní Benešov nad 13. patrem. - *MS VŠB Ostrava*, 1978.

- Schejbal, C.: Nová geologicko-statistická varianta výpočtu zásob periferních částí ložiska v podmínkách nízkého stupně prozkoumanosti. - *Sb. Hor. Příbram ve vědě a technice, Matematické metody v geologii*, 1979, 382-396.
- Schejbal, C.: K hodnověrnosti a přesnosti výpočtu a kategorizaci zásob ložisek pevných nerostných surovin. - *Geologický průzkum*, 12/1982, 344-347.
- Schejbal, C.: Metodologie podrobného a těžebního průzkumu. - *Sb. 3. mezinár. věd. konf., sekce 6 Metodika a optimalizace podrobného a těžebního ložiskového průzkumu. VŠB Ostrava*, 6-12, 1985.