

Aktuální problémy geologie 3

Vyhledávání, průzkum a oceňování nerostných surovinových zdrojů

Část III – Ekonomické oceňování a klasifikace nerostných zdrojů

Miloš René
rene@irms.cas.cz

Ústav struktury a mechaniky hornin AV ČR, v.v.i.

Praha 2007

3. Ekonomické oceňování a klasifikace nerostných zdrojů

Ekonomické oceňování akumulací nerostných surovin, označované často jako výpočet zásob představuje cílevědomý a ucelený sběr, zpracování a hodnocení údajů o geologické pozici, množství a kvalitě nerostné suroviny v její přirozené pozici. Výpočtem zásob vrcholí zpracování výsledků vyhledávání a průzkumu ložisek nerostných surovin. S odhadem kvality a množství akumulace nerostné suroviny vystupují do popředí rovněž otázky věrohodnosti a přesnosti takového odhadu. Obsah, struktura a účel výpočtu zásob a následné klasifikace nerostných zdrojů procházely postupně vývojem, který odrážel především měnící se přístup společnosti k nerostnému bohatství.

Koncem 19. století začali angličtí bányšní inženýři vyčleňovat zásoby „viditelných rud“ (ore in sight) podle rozsahu báňských prací, jimiž byly vypočtené zásoby ohraničeny. Londýnský institut hornictví a metalurgie doporučil r. 1902 rozlišit kategorii viditelných rud na dvě skupiny, na rudy ohraničené a neohraničené. Ohraničené rudy byly ověřeny důlními pracemi až ze tří stran, neohraničené rudy byly zastiženy alespoň jedním důlním dílem. Významným mezníkem byl návrh klasifikace zásob Argella z roku 1903, který rozlišoval ověřené rudy, ověřované rudy a očekávané rudy. Na základě další diskuse doporučil výše zmíněný londýnský institut rozdělení zásob do následujících tří kategorií:

- Viditelné rudy (visible ore), připravené k těžbě potřebným komplexem báňských prací,
- Pravděpodobné rudy (probable ore), připravené k těžbě jen zčásti,
- Možné rudy (possible ore), o nichž byly odvozeny poznatky z teoretických předpokladů a zásoby rud nebyly tudíž vyčísleny.

Rozlišení zásob podle jejich připravenosti k těžbě následně kritizoval ve svém návrhu z roku 1907 Hoover, který upozornil na nutnost respektování geologické pozice a navrhl z klasifikace vyloučit hledisko připravenosti zásob k těžbě. Ve své klasifikaci rozlišil:

- Dokázané rudy (proved ore)
- Pravděpodobné rudy (probable ore)
- Možné rudy (possible ore)

Hooverova klasifikace se začala používat v řadě států v průběhu první poloviny 20. století.

Odlišný způsob klasifikace se začal používat v souvislosti s klasifikací zásob železných rud, která byla představena na 11. Mezinárodním geologickém kongresu ve Stockholmu v roce 1910. Tato klasifikace vycházela z rozsahu průzkumných prací a zavedla rozlišení zásob na později značně rozšířené kategorie A, B, C. Významný rozvoj klasifikace zásob nerostných surovin nastal v první polovině 20. století v SSSR, kde se postupně vytvořila

klasifikace zásob nerostných surovin používající indexy A_1 až C_2 . Základem klasifikace byla prozkoumanost a úroveň poznání ložiska, včetně zřetele jeho průmyslového významu. Později byl snížen počet používaných kategorií na čtyři – A, B, C_1 a C_2 (Kogan 1974). Tento způsob klasifikace byl převzat rovněž v r. 1952 založenou Komisí pro klasifikaci zásob (KKZ), která byla až do roku 1991 vrcholným vládním orgánem hodnotícím zásoby nerostných surovin v Československu. Po zániku této komise převzala její úlohu Komise pro projekty a závěrečné zprávy Ministerstva životního prostředí ČR. Zásoby uranových rud byly až do roku 1990 hodnoceny odděleně, česko-ruskou komisí, resp. Komisí pro klasifikaci zásob uranových rud při Ministerstvu paliv a energetiky (FMPE).

V USA byla v průběhu 40-tých let 20. století přijata klasifikace zásob nerostných surovin, rozlišující:

- Změřené zásoby (measured reserves)
- Předpokládané zásoby (indicated reserves)
- Odvozené zásoby (inferred reserves)

Odlišný způsob hodnocení zásob nerostných surovin byl navržen americkou geologickou službou (USGS) v roce 1976 (U.S. Geol. Surv. Bull., 1450-A, 1976), která rozlišuje zásoby nerostných surovin (reserves) a zdroje nerostných surovin (resources). Zdroje jsou v souladu s touto klasifikací definovány jako přírodní výskyty pevného, tekutého nebo plynného materiálu v zemské kůře v takové formě, že ekonomické využití suroviny je v současné době nebo potenciálně možné. Zásoby jsou charakterizovány jako zjištěné zdroje (identified resources), z nich může být užitečný minerál ekonomicky a se zřetelem na zákonné podmínky využíván v době, kdy byl zdroj nerostných surovin zjištěn. Zásoby se dále člení podle prozkoumanosti (geological knowledge) na zásoby změřené (measured), předpokládané (indicated) a odvozené (inferred). Dalším novým prvkem této klasifikace bylo rozlišení ekonomických (commercial viability) (bilančních) a subekonomických (nebilančních) zásob. Nezcizité zdroje jsou děleny na zkoumané hypotetické zdroje a nezkoumané spekulativní zdroje (oblasti). Tento systém byl následně aktualizován v roce 1980 (U.S. Geol. Surv. Circ. 831, 1980).

Výrazně komplikovanější způsob hodnocení zásob doporučuje OSN, která do něho mimo hlediska prozkoumanosti a ekonomického hodnocení zavádí ještě hodnocení proveditelnosti (feasibility). Toto třetí hledisko nabývá velkého významu při hodnocení zdrojů a zásob nerostných surovin v rozvojových zemích bez dostatečně vyvinuté infrastruktury (dopravní síť apod.).

Metodám výpočtu zásob nerostných surovin byla velká pozornost věnována zejména v druhé polovině 20. století a byla publikována celá řada učebnic a metodických příruček (Smirnov 1960, Stammberger 1966, Hazen 1968, Každan 1974, Kogan 1974, David 1977, 1988, Annels 1991, Kernet 1991).

3.1. Klasifikace nerostných zdrojů

Ve světě jsou pro klasifikaci zásob v současné době využívány jednak výše uvedená sovětská klasifikace rozdělující průmyslové zásoby nerostných surovin do čtyř kategorií podle prozkoumanosti – A až C₂, jednak klasifikace zdrojů nerostných surovin americké geologické služby USGS. V prvním případě se mimo průmyslových zásob kategorie A až C₂ často rovněž rozlišují kategorie prognózních zásob P₁ a P₂. Další často používanou klasifikací zdrojů nerostných surovin je klasifikace doporučená OSN, která je využívána zejména při vyhledávání a průzkumu ložisek nerostných surovin, hrazeného z prostředků rozvojového fondu OSN (UNDP). Jak bylo uvedeno výše, tato klasifikace kromě hlediska prozkoumanosti a ekonomického hodnocení zohledňuje úroveň proveditelnosti. Kategorizace zásob a zdrojů používá pro jednotlivé kategorie číselné kódy (např. 111 – ověřené zásoby, 334 – spekulativní zdroje).

V České republice se v souladu s aktuálním zněním zákona č. 44/1988 Sb., o ochraně a využití nerostného bohatství (horní zákon) ve znění pozdějších předpisů, rozdělují průmyslové zásoby na **zásoby vyhledané a prozkoumané**.

Prognózní zdroje se následně ve smyslu vyhlášky MŽP č. 369/2004 Sb., o projektování, provádění a vyhodnocování geologických prací, oznamování rizikových geofaktorů a o postupu při výpočtu zásob výhradních ložisek, rozdělují na kategorie P, resp. R a Q. Do kategorie P pro vyhrazené nerosty a kategorie R pro nevyhrazené nerosty se zařazují prognózní zdroje nerostů, u kterých jsou znalosti o geologické stavbě území prognózního zdroje a o existenci a kvalitě nerostu prokázány na základě technických prací. Tyto prognózní zdroje se považují za předpokládaná ložiska nerostů pro účely jejich ochrany při územním plánování a územním rozhodování. Do kategorie Q se zařazují prognózní zdroje samostatně vymezené mimo existující ložisko nerostu, zjištěné geologickým mapováním v příhodných geologických podmínkách na základě odůvodněné analogie s jiným ložiskem, bez prokázání existence na základě technických prací.

V průběhu vyhledávacího, případně předběžného průzkumu se stanovují zásoby vyhledané. Na základě výsledku tohoto výpočtu zásob se zpravidla rozhoduje o pokračování

průzkumu, výši dalších nutných prostředků potřebných pro vyčíslení zásob prozkoumaných a o možném průmyslovém využití ložiska. Na závěr podrobného průzkumu se provádí výpočet prozkoumaných zásob, který je podkladem pro vypracování technické projektu výstavby těžebního a úpravárenského zařízení na ložisku. V průběhu těžby ložiska se na základě těžebního průzkumu provádí operativní výpočet, který slouží pro krátkodobé i dlouhodobé řízení těžby, včetně plánování její výše. V minulosti se rovněž pro potřeby střednědobých (pětiletých) a dlouhodobých státních plánů vytvářely generální výpočty zásob ložisek a ložiskových oblastí (např. generální výpočty zásob uhlí jednotlivých pánví). Před ukončení těžby ložiska nebo jeho části se vytváří likvidační výpočet ložiska. Nedílnou součástí výpočtu zásob je současně stanovení podmínek využitelnosti zásob nerostů.

3.2. Podklady pro výpočet zásob

Proces výpočtu zásob zahrnuje sběr a soustředění pokladů, volbu postupu a vlastní výpočet, vyjádření výsledků, jejich rozbor a vyhodnocení, klasifikaci a schválení vypočtených zásob nerostných surovin. S ohledem na specifické rysy základních skupin nerostných surovin se rozlišují výpočty zásob a klasifikace pevných nerostných surovin, ropy a zemního plynu a podzemních vod. Ekonomické základy výpočtu zásob se opírají zejména o stanovení ceny ložiska. Základem tohoto postupu je tzv. Hoskoldův vzorec z roku 1877:

$$C = A \cdot (1+r)^n - 1/r_1 \cdot (1+r)^n - r_1 + r, \text{ kde}$$

A – cena ložiska v momentu výpočtu, A – roční renta (předpokládaný zisk), r – roční úroková míra v %, n – počet let, během nichž bude ložisko těženo, r_1 – úrok, závislý na velikosti rizika důlního podnikání.

V tomto vzorci se zásoby nerostných surovin na ložisku promítají nepřímou, jsou užity k výpočtu životnosti ložiska (n), která je podílem celkových zásob ložiska a roční těžby. Roční renta je násobkem zisku z jedné tuny konečného produktu báňské činnosti (suroviny, koncentráty) roční produkcí. Hodnota ložiska se tudíž zvyšuje úměrně množství a kvalitě surovin na ložisku a klesá s výrobními náklady, pokud se v kterékoliv položce zvyšují. Praktickým důsledkem aplikace Hoskoldova vzorce a jeho pozdějších modifikací je při rozhodování o kapitálových investicích prvořadá orientace na velká a bohatá ložiska. Během těžby ložiska si vynucovala aplikace tohoto vzorce selektivní dobývání bohatších partií, ve většině případů doprovázené znehodnocením určité části zásob.

Příkladem odlišného přístupu ke stanovení ceny ložiska je vzorec publikovaný Jankovičem (1967):

$$B = b_0R - a_1N - c_0R \cdot a(N) = C_1N \cdot a(N)$$

B – celkový zisk za dobu N let životnosti ložiska, N – životnost ložiska (doba, potřebná k vytěžení všech zásob), R – celkové zásoby na ložisku (v tunách), b_0 – čistý zisk, vypočítaný z rozdílu $V - c_0$, kde V je prodejní cena suroviny v peněžních jednotkách/t, c_0 – náklady na získání tuny suroviny, proporciální kapacitě těžby, a_1 – konstantní roční náklady na těžbu, c_1 – investice nezávislé na výši roční těžby, $a(N)$ – funkce životnosti ložiska v závislosti na amortizaci a zisku.

Podmínky využitelnosti zásob nerostných surovin byly v minulosti vymezovány v pojmu kondice. Kondice představovaly souhrn požadavků na kvalitu nerostných surovin, jejichž splnění dovolovalo správně rozdělit zásoby nerostných surovin dle jejich národohospodářského významu. Za hlavní ukazatele kondic se považoval minimální průměrný obsah užitkových složek ve výpočtovém bloku, nejnižší obsah užitkových složek v okrajovém vzorku, minimální mocnost těles užitkových složek, zahrnovaných do výpočtu bilančních zásob, maximální přípustná mocnost vložek hlušiny nebo nekondičních surovin, možná hloubka povrchového dobývání, střední a mezní koeficient skrývky, maximální přípustný obsah škodlivých příměsí ve výpočtovém bloku a ve vzorku při ohraničení bilančních zásob, minimální obsah doprovodných látek a minimální zásoby izolovaných těles nerostných surovin, jež lze přiřadit k bilančním zásobám ložiska. Standardně byly vymezovány obecné kondice pro danou nerostnou surovinu a zvláštní kondice stanovované pro konkrétní ložisko nerostné suroviny. V některých případech se prováděly alternativní výpočty kondic.

Dnes používané podmínky využitelnosti zásob nerostů jsou stanovovány v souladu s pokyny uváděnými v příloze č. 1 k výše uvedené vyhlášce MŽP č. 369/2004 Sb. Podmínky využitelnosti se stanovují před zahájením vlastního výpočtu zásob a zpracovávají se v následujícím rozsahu a následujícím způsobem.

Množství nerostu se vyjadřuje souhrnným množstvím zásob nerostu v jednotkách, ve kterých jsou zásoby nerostu vedeny ve státní bilanci zásob. Základní podmínkou pro stanovení minimálního množství zásob nerostu na ložisku je respektování celkových souhrnných nákladů na vyhledání a průzkum ložiska, přípravu, otvírku a dobývání ložiska, likvidaci následků dobývání (sanace, rekultivace, důlní škody), zahrnutí všech úhrad a poplatků vyplývajících z právních předpisů nebo ze smluvních ujednání, představujících závazky vzniklé v procesu osvojování ložiska od počátečního průzkumu až po definitivní ukončení činnosti na ložisku. K těmto nákladům (investičním i provozním) se připočítají

veškeré daně, cla, odvody a jiné poplatky vyplývající z finančních předpisů upravujících podnikání a očekávanou výši zisku z podnikání, a to po celou dobu činnosti na ložisku. Souhrn všech těchto položek vytváří celkovou finanční sumu, kterou musí pokrýt produkce nerostných surovin z ložiska. Tato suma představuje minimální ekonomický potenciál zásob ložiska k zajištění ekonomického dobývání a splnění všech finančních povinností. Do stanovení tohoto minimálního ekonomického potenciálu ložiska je potřebné promítnout rozdíl mezi vytěžitelnými zásobami a geologickými zásobami tak, aby geologické zásoby s přihlédnutím k charakteru ložiska a způsobu jeho úpravy a dobývání byly stanoveny ve výši, umožňující vymezit takový rozsah vytěžitelných zásob, který pokryje minimální požadovaný ekonomický potenciál ložiska. Při hodnocení všech dílčích ekonomických ukazatelů je nutno přihlídnout k očekávanému ekonomickému vývoji v období předpokládané produkce z ložiska. Jestliže se pro minimální ekonomický potenciál využije skupina ložisek, která mají být využívána společně, stanovuje se tato skupina ložisek konkrétním výčtem a minimálním množstvím zásob na každém konkrétním ložisku. Veškeré ekonomické údaje jsou potom jako celek hodnoceny pro skupinu ložisek a údaje pro konkrétní hodnocené ložisko jsou stanoveny jako odůvodněný minimální podíl. U ložisek již dobývaných nebo u ložisek ropy a zemního plynu nalezených v rámci vyhledávání a průzkumu vrty využitelnými následně pro dobývání ložiska se minimální ekonomický potenciál stanovuje s přihlédnutím k úplným budoucím nákladům. Výpočet nebo modelové stanovení nebo odhad minimálního ekonomického potenciálu ložiska určuje minimální množství zásob na ložisku.

Jakost nerostu se vyjadřuje kvalitativními ukazateli, které jsou rozhodné pro technologii úpravy a pro dosažení tržně odbytelné produkce a limity pro odpady nebo pro technologii zpracování způsobem odpovídajícím obecně závazným právním předpisům. Vyjadřuje se jako souhrn průměrných a minimálních nebo maximálních ukazatelů pro ložisko jako celek a v odůvodněných případech i pro části ložiska nebo pro produkty při úpravě a zušlechťování vydobyté nerostné suroviny.

Geologické ukazatele zahrnují zejména litologii, stáří, morfologii těles, tektonické projevy, mineralogii, petrografii, genetický typ ložiska. Vymezují se v těch případech, kdy jsou potřebné pro vymezení zásob a zpracování výpočtu zásob. Vedle kvalitativního vymezení se pro tyto ukazatele v odůvodněných případech stanoví také jejich kvantitativní vymezení v technických jednotkách. V případech, kdy pro vymezení zásob není potřebné geologické ukazatele stanovit nebo je způsobem využitelným pro účely výpočtu zásob

stanovit nelze, se geologické ukazatele nevymezují a tato skutečnost se uvede v odůvodnění podmínek využitelnosti.

Báňsko technické podmínky se stanovují tak, aby vymezené zásoby bylo možné na úrovni existující nebo vyvíjené technologie dobývání vydobýt, při zohlednění platných technických a bezpečnostních právních předpisů. Základním ukazatelem je vztah dobývání k povrchu (povrchové, hlubinné, kombinované, dobývání vrty). Dalšími ukazateli jsou limity pro předpokládanou těžební metodu. Rozsah báňsko-technických ukazatelů a jejich specifikace se stanoví s přihlédnutím k účelu, pro který je výpočet zásob zpracováván. Ekologické podmínky zahrnují limity a omezení, které vyplývají ze zvláštních právních předpisů. Tyto ukazatele se stanoví způsobem a v rozsahu odpovídajícím vlivu ekologických podmínek na vymezení nebo klasifikaci zásob v konkrétním území. Další ukazatele se stanoví s přihlédnutím ke střetům zájmů chráněným zvláštními právními předpisy (např. předpisy o ochraně přírody a krajiny) nebo ke specifickým požadavkům zadavatele ložiskového průzkumu.

Geologická pozorování, jejichž výsledky jsou využity při výpočtu zásob, jsou součástí geologických prací prováděných v rámci vyhledávání a průzkumu ložisek nerostných surovin. Geologické poznatky jsou obsaženy v prvotní a souhrnné geologické dokumentaci, geologických mapách, podélných a příčných řezech ložiskem. Pro potřeby vlastního výpočtu zásob jsou obvykle využívány grafické podklady souhrnné geologické dokumentace (geologické mapy, geologické důlní mapy, ložiskové řezy). Souhrnná dokumentace slouží zejména k vytvoření a vyjádření představy o geologické pozici, rozmístění a tvaru těles nerostných surovin. Dokumentace současně podává ucelený obraz o prozkoumanosti ložiska a správnosti interpolace a extrapolace bodových pozorování.

Vzorkování a měření jsou základním zdrojem numerických údajů potřebných pro výpočet zásob. Vzorkováním a měřením jsou získávány podklady pro kvalitativní a kvantitativní hodnocení ložisek nerostných surovin. Vzorkování je procesem, při němž se provádí odběr části určitého objektu zpravidla předem definovaného souboru. Vzorek je vždy zkoumán a hodnocen v souvislostech, které mají vztah k celku, z něhož byl odebrán. Měření, potřebná pro výpočet zásob obvykle souvisejí a navazují na vzorkování. Kvalita vzorkování a měření má rozhodující význam pro stanovení věrohodnosti a přesnosti výpočtu zásob. Podle účelu se obvykle rozlišuje vzorkování na:

- Stanovení parametrů výpočtového vzorce.
- Zjištění mineralogického a petrografického složení hornin a nerostných surovin.

- Studium technologických vlastností (upravitelnosti).
- Stanovení fyzikálních vlastností hornin a nerostných surovin.

Před zahájením vzorkování je nutné stanovit počet vzorků, pozici, tvar a rozměry vzorků, způsob odběru a zpracování vzorků. Počet vzorků je dán účelem a možnostmi vzorkování. Stanovení počtu vzorků závisí zejména na možnosti přiřazení vzorkovaného objektu k určitému genetickému typu, resp. ložiskovému modelu, prozkoumanosti ložiska a jeho jednotlivých částí, zvoleném systému průzkumu a ekonomice průzkumu, resp. těžby. Přiřazení vzorkovaného objektu k určitému genetickému typu, resp. ložiskovému modelu je východiskem stanovení počtu vzorků zejména v etapě vyhledávacího průzkumu. Počet a rozmístění vzorků je v této etapě ovlivněno pozicí a rozšířením ložiskových příznaků. Se vzrůstajícím poznáním akumulace nerostné suroviny se projevuje obecná tendence ustálit, a pokud je to možné, minimalizovat počet vzorků nezbytných pro uspokojivou charakteristiku dané objektu (plochy, bloku apod.). Vhodným prostředkem je průběžné hodnocení výsledků vzorkování a srovnávání výsledků vzorkování s výsledky těžby.

Významnou hranicí určující počet vzorků je celková ekonomika průzkumu a těžby. Nedostatečný počet vzorků přinášející prvotní úsporu se může později projevit významnými ztrátami při těžbě a zpracování suroviny. V praxi je počet vzorků určován:

- empiricky,
- vyčleněním podílu z celkových nákladů na průzkum a těžbu,
- na základě statistických výpočtů podložených požadavky na přesnost výpočtu.

Pozici (počet, rozmístění a orientace vzorků) a objemové charakteristiky (velikost a tvar) vzorků je třeba posuzovat s ohledem na způsob odběru. Způsob odběru vzorků je ovlivněný účelem vzorkování, technickými prostředky průzkumu, náklady na vzorkování a druhem suroviny. Způsob odběru vzorků současně ovlivňuje jejich následné zpracování, reprezentativnost a přesnost údajů.

Podle způsobu vzorkování je rozlišováno:

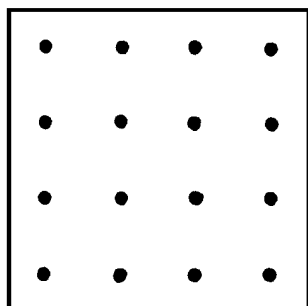
- Kusové vzorkování (odběr vzorků pro potřeby mineralogického a petrografického výzkumu, případně vzorkování v etapě prognózního ocenění území).
- Bodové nebo otlukové vzorkování spočívá v odběru nevelkých úlomků v pravidelné síti z přirozených nebo umělých výchozů, resp. otlukem stěn důlních stěn.
- Zásekové vzorkování představuje velmi rozšířený a současně dostatečně reprezentativní způsob vzorkování důlních děl. Někdy je provádění záseků nahrazováno vývrty. Tento způsob vzorkování má rozhodující význam v etapě podrobného a těžebního průzkumu.

- Vzorkování jádra, resp. vrtného kalu se uplatňuje zejména v etapě vyhledávacího a předběžného průzkumu. Závažným problémem tohoto vzorkování je dostatečný výnos jádra, resp. reprezentativní způsob odběru vrtného kalu.
- Plošné vzorkování, kdy je odebírána vrstva povrchu tělesa nerostné suroviny o stálé mocnosti.
- Objemové vzorkování představuje odběr většího množství vzorku (důlní vozík, nákladní auto apod.) a používá se zejména pro výzkum technologických vlastností nebo při průzkumu surovin těžených ve velkém objemu (živcové suroviny, kaoliny, jíly, uhlí apod.).

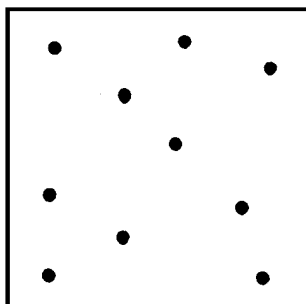
Při vzorkování s použitím sítí odběru vzorků je nutné věnovat značnou pozornost výběru vzorkovací sítě. V etapě vyhledávacího průzkumu se nejčastěji používá náhodná nebo mnohostadijní síť, případně vzorkování do tříd (Miesch 1976) (obr. 1).

V etapě předběžného, podrobného a těžebního průzkumu se používá rovnoměrná, čtvercová nebo obdélníková síť. Podobně jako je volen počet vzorků v návaznosti na použitou vzorkovací síť, lze někdy volit i počet vzorků v rámci určité metody vzorkování, zejména při použití otlukového nebo zásekového vzorkování (obr. 2).

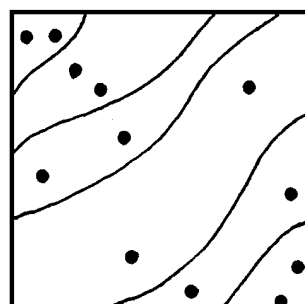
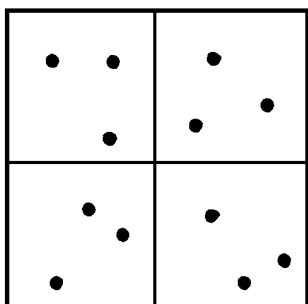
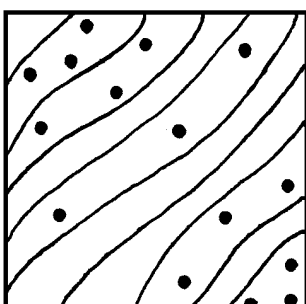
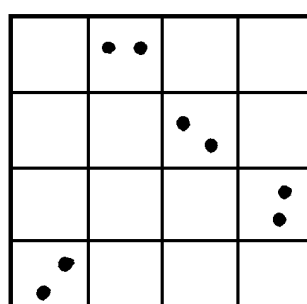
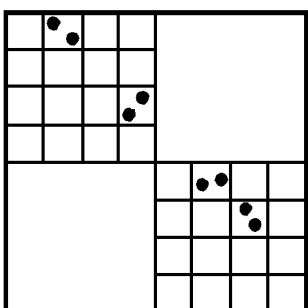
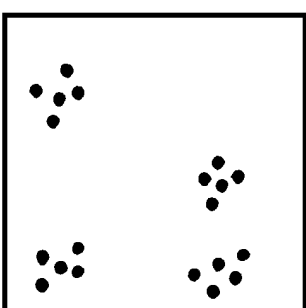
Hmotnost, resp. **objem vzorku** představuje významný parametr celého procesu vzorkování, kdy se pro stanovení hmotnosti vzorku často používá Richards-Čečottův vzorec – $Q = k * d^2$, kde je Q hmotnost vzorku, d velikost největších minerálních zrn a k stupeň variability užitkové složky ve vzorkovaném objektu. S velikostí vzorku, resp. jeho reprezentativností úzce souvisí stanovení rozptylu chyby vzorkování, čímž se zabýval zejména Gy (1968, 1992), který pro odhad rozptylu této chyby navrhl následující vzorec – $s^2 = Cd^3/m$, kde je C konstanta související s tvarem vzorku, mineralogickým charakterem užitkové složky, stupněm homogenity a variability této složky ve vzorkovaném materiálu, d velikost zrn, m hmotnost vzorku. Hodnota s reprezentuje odhad rozptylu chyby. Gy (1968, 1992) stanovil velikost rozptylu chyby vzorkování zejména pro rudy, aluviální ložiska zlata a pro ložiska uhlí.



rovnoměrná síť

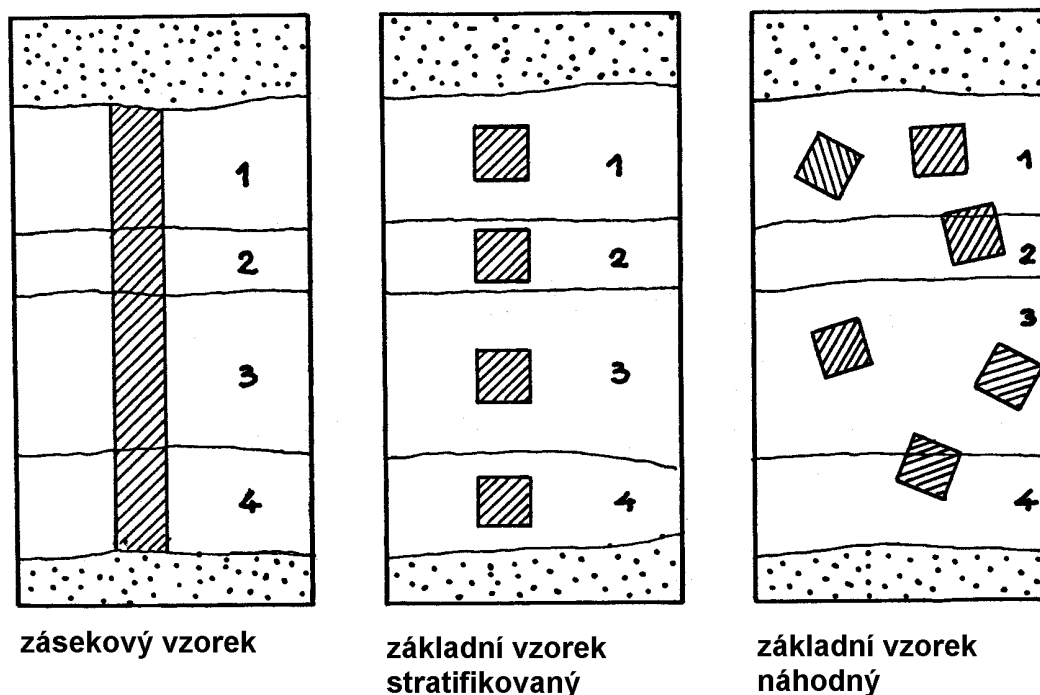


náhodná síť jednoduchá

náhodná síť
stratifikovanánáhodná síť stratifikovaná
s formálními vrstvamimnohostadijní síť -
dvoustadijní síť s
přirozenými vrstvamimnohostadijní síť -
dvoustadijní s
formálními vrstvamimnohostadijní síť -
trojstadijní s
formálními vrstvami

vzorkování do tříd

Obr. 1. Typy vzorkovacích sítí (podle Miesche 1976).



nevzorkovaná populace

Obr. 2. Různé způsoby zásekového, resp. otlukového vzorkování (Miesch 1976).

Úprava a analýza vzorků představuje další významnou etapu při zjišťování kvalitativních parametrů nerostné suroviny. Pro získání dostatečně reprezentativního vzorku se hmotnost vzorku obvykle pohybuje v rozmezí 1-5 kg, v případě objemového vzorkování může hmotnost jednotlivého vzorku dosáhnout velikosti 100-1000 i více kg. V závislosti na použité analytické metodě do procesu analýzy však vstupuje několikanásobně menší vzorek, mající nejčastěji hmotnost 1-10 gramů, někdy i méně (metody neutronové aktivační analýzy a ICP-MS) (standardně 0,1-0,5 g). Z výše uvedeného je patrné, že při přípravě vzorku k analýze musí být pokud možno reprezentativním způsobem zmenšena velmi výrazným způsobem hmotnost a tudíž i objem původního vzorku. Toto zmenšování hmotnosti, obvykle označované pojmem **kvartace vzorku** je prováděna buď ručně nebo pomocí specializovaných automatických vzorkovačů.

S úpravou, analýzou vzorku a z ostatními měřeními kvalitativních parametrů nerostné suroviny úzce souvisí **definice a klasifikace chyb**. Chyby v procesu vzorkování vznikají jednak při vlastním odběru vzorku, jednak při následné manipulaci se vzorkem (transport a kvartace). Chybu vzniklou při vlastním odběru vzorku lze vyjádřit jako rozdíl mezi skutečnou koncentrací sledovaného prvku ve vzorku a skutečnou koncentrací v objemu vzorkovaného materiálu, který má být vzorkem reprezentovaný. Chyba vzniklá při manipulaci se vzorkem je

rozdíl mezi koncentrací získanou analýzou a skutečnou koncentrací v odebraném vzorku podrobeného analýze.

Z hlediska charakteru chyby se chyby obvykle rozdělují na chyby hrubé, systematické a nahodilé. Hrubé chyby se zpravidla daří vyloučit pomocí opakovaného měření nebo opakované analýzy. Z těchto důvodů se při analýze často stanovuje koncentrace sledové proměnné ze dvou nezávislých měření, resp. analýz. Vznik systematických chyb, někdy označovaných jako chyb ze zaujatosti (Miesch 1976) má celou řadu příčin. V procesu vzorkování vznikají systematické chyby v důsledku skutečnosti, že není dostupná celá vzorkovaná populace a dostupná část této populace není zcela reprezentativní. Tento jev souvisí zejména s heterogenitou vzorkovaného výskytu nerostné suroviny. Různá zaujatost může být způsobena rovněž osobou vzorkaře, resp. jím použitého způsobu vzorkování. Zaujatost při manipulaci se vzorkem vzniká nejčastěji v důsledku nedostatečné homogenizace vzorku v procesu drcení a mletí vzorku, kontaminací použitými homogenizačními zařízeními (např. kontaminace Cr, Ni, V z čelistí drtičů), případně nevhodnou analytickou metodou, resp. nevhodnou standardizací této metody. Kvalita použitých analytických metod se posuzuje obvykle z hlediska jejich přesnosti (precision) a správnosti (accuracy). Přesnost se zjišťuje opakovanými analýzami jednoho a téhož vzorku. Správnost analýzy je zjišťována pomocí porovnávání hodnot analýz stejných vzorků různými metodami, porovnáváním hodnot analytických standardů analyzovaných různými metodami se známými hodnotami těchto standardů, případně porovnáváním hodnot analýz stejných vzorků provedených v různých laboratořích shodnou metodou.

Při chemické analýze nerostných surovin se pro vyloučení systematických chyb používají jednak mezinárodní, případně národní standardy s hodnotami ověřenými ve větším počtu laboratoří, jednak se využívají pouze certifikované laboratoře (ISO normy). V současné době jsou pro analýzu vzorků nerostných surovin využívány zejména kanadské laboratoře ACTLABS (www.actlabs.com) a ACME (www.acme.com).

Příčiny nahodilých chyb jsou výrazně méně známy než příčiny vzniku systematických chyb. Obvykle se projevují zvýšenou fluktuací analytických hodnot kolem hodnoty průměru, tj. zvyšují rozptyl hodnot měření. Zpravidla se tyto chyby stávají blíže nevymezenou složkou hodnot, charakterizujících přirozenou proměnlivost zkoumané veličiny. Jsou tudíž součástí výsledků statistického hodnocení daného analytického souboru charakterizujícího určitou část ložiska (žíla, vrstva, blok). Jejich zohlednění je někdy součástí podrobného nebo těžebního

průzkumu zejména v těch případech, kdy je k dispozici velké množství analytických dat umožňujících komplexní statistické zpracování.

3.3. Základní výpočtové vzorce

Výpočet zásob nerostných surovin má podávat pokud možno věrohodné a přesné údaje o množství suroviny a všech jejích užitkových složkách v původní přírodní akumulaci. Na základě měření a vzorkování jsou ze získaných analytických souborů vypočteny příslušné parametry a dosazeny do základního výpočtového vzorce. Pro výpočet zásob pevných nerostných surovin je používán následující základní výpočtový vzorec:

$$Q = V * c * d,$$

kde je Q množství užitkové složky v tunách, V objem nerostné suroviny v m^3 , c obsah užitkové složky v % a d objemová hmotnost. v g/cm^3 .

Podle tvaru těles nerostných surovin, složení a proměnlivosti obsahu užitkových složek jsou k výpočtu používány různé modifikace výše uvedeného výpočtového vzorce. U vrstevných ložisek (např. ložisek kaolinu, jílu, uhlí) je používán základní výpočtový vzorec v následující úpravě:

$$Q = S * m * c * d,$$

kde je m mocnost tělesa v m a S plocha v m^2 .

Základním problémem stanovení výše uvedených parametrů výpočtových vzorců je ohraničení plochy ložiskového tělesa. V praxi se setkáváme s třemi možnostmi takového ohraničení:

- Geologické, vyplývající ze strukturních a látkových odlišností suroviny vůči horninám, které surovinu obklopují.
- Ekonomicko-průmyslové, probíhající nezávisle na odlišnosti geologických charakteristik nebo v případě, kdy se surovina v základních strukturách nebo látkových charakteristikách shoduje se svým bezprostředním okolím.
- Kombinované, kdy se zčásti uplatňuje geologické ohraničení, zčásti ekonomicko-průmyslové ohraničení.

Ekonomicko-průmyslové ohraničení těles nerostných surovin je obvykle limitováno hodnotami obsahu užitkových nebo škodlivých složek v surovině a někdy jsou určovány i spodní hranice některého z objemových parametrů, zejména mocnosti. Takovéto ohraničení se používá zejména na ložiscích vtroušených a nízko-obsahových rud, zvětrávacích a

metasomatických ložiskách rud i nerud. Kombinované ohraničení ložiskových těles se využívá zejména u vrstevných ložisek (ložiska uhlí).

3.4. Stanovení jednotlivých parametrů výpočtu zásob pevných nerostných surovin

Parametry základního výpočtového vzorce jsou výsledkem zpracování velkého množství údajů získaných měřeními, vzorkováním a následnou analýzou sledovaných parametrů. Před vlastním výpočtem každého parametru musí být jednotlivé údaje soustředěny a zpracovány tak, aby:

- Vystihovaly všechny poznatky o strukturních a látkových poměrech ložiska.
- Respektovaly požadavky na množství a kvalitu suroviny, vyjádřené v podmínkách využitelnosti.
- Respektovaly všechny vzájemné vztahy mezi jednotlivými parametry, jež vyplývají z geologických poměrů a z použitých metod průzkumu, případně těžby dané akumulace.

Podle morfologie lze tělesa nerostných surovin rozdělit na:

- Malé, čočkovité, smouhovité nebo hnízdovité akumulace užitečné složky.
- Souvislé, plošně rozsáhlé akumulace užitečné složky tvořící deskovitá, plochá tělesa.
- Sloupcovitě orientovaná hnízda a smouhy akumulací užitečných nerostů podél dislokací nebo látkově odlišných typů hornin.
- Zhruba isometrická, souvislá, vůči okolí zřetelně ohraničená tělesa, nezávislá svým tvarem na orientaci vrstev nebo hranicích horninových komplexů.
- Nepravidelná velká tělesa, výrazně ohraničená vůči svému okolí, sledující průběh určitých strukturních nebo látkových prvků geologické stavby.
- Velká tělesa nepravidelně nebo nevýrazně ohraničená vůči svému okolí, bez zřetelných vztahů k základním strukturním či látkovým prvkům geologické stavby nebo podřízená složitému a v hranicích ložiska nepravidelnému vývoji strukturních a látkových prvků.

Z hlediska proměnlivosti látkového složení je možno pevné nerostné suroviny klasifikovat na:

- Suroviny s poměrně stálým látkovým složením.
- Suroviny s proměnlivým složením, ovlivňujícím buď průmyslové využití nebo ohraničení výpočtových jednotek.

- Suroviny s velmi proměnlivým složením, ovlivňujícím jak průmyslové využití, tak ohraničení výpočtových jednotek.

Ohraničení akumulací nerostných surovin, označované někdy jako konturace, je vedení obrysů těles těchto akumulací. Obrisy jsou znázorněny v geologických mapách a profilech. Ohraničení ložiskových těles je buď geologické nebo formální. Geologické ohraničení využívá všechny poznatky získané během průzkumu, případně těžby ložiska nerostné suroviny. Vedení obrysů obvykle vychází z mineralogických, petrografických a strukturních pozorování.

Formální ohraničení používá obvykle ekonomicko-průmyslové parametry odvozené z podmínek využitelnosti (kondic). Při vymezení formálního ohraničení se často rozlišuje vnitřní a vnější obrys tělesa nerostných surovin. Vnitřní obrys vzniká souvislým, nejčastěji přímkovým propojením bodů a linií pozorování v nichž byla zjištěna nerostná surovina s vlastnostmi odpovídajícími podmínkám využitelnosti (kondicím). Vnější obrys probíhá mezi bodem nebo linií pozorování, v nichž údaje splňují nebo překračují hodnoty stanovené podmínkami využitelnosti (kondicemi) a body nebo liniemi, které těmto ukazatelům nevyhovují. Zvláštním případem je absence nebo výskyt jen ojedinělých bodů pozorování za linií vnitřního obrysu, kdy se vedení obrysu provádí extrapolací. V ostatních případech se používá interpolace mezi nejbližšími body pozorování. Přesnost interpolace a extrapolace je závislá na úrovni geologického poznání prostorové proměnlivosti, obsahu užitečných a škodlivých příměsí, poznatků o změně mocnosti a hustotě pozorování. V minulosti se vedení obrysů provádělo zejména ve vhodných vodorovných a svislých řezech, dnes se pro konstrukci tvaru ložiskových těles s výhodou využívají různá CAD a GIS řešení, která umožňují i tvorbu prostorových modelů.

Interpolace mezi body a liniemi pozorování se nejčastěji provádí na základě předpokladu plynulé změny mezi body pozorování, na základě obecně vyjádřených charakteristik proměnlivosti sledovaných parametrů nebo podle zvolených pravidel pro dané ložisko nebo druh suroviny. Pro interpolaci se často využívají postupy a nástroje používané pro konstrukci digitálních modelů terénu (např. software SURFER, ArcGIS, resp. 3D Analyst) nebo nástroje založené na geostatistických postupech (rozšíření Geostatistical Analyst pro ArcGIS aj.). Pro interpolaci se v tomto případě používají metody inverzní vzdálenosti, splinové nebo polynomiální funkce, případně různé metody krigingu. Podrobnosti o využití těchto metod lze najít zejména v různých učebnicích geostatistiky

(David 1977, Akim a Siemers 1988, Annels 1991), případně získat v kurzu geostatistiky katedry geoinformatiky PřF UP.

Extrapolace se uplatňuje zejména tehdy, jestliže za hranicí vnitřního obrysu byly zjištěny v jednotlivých bodech nebo liniích pozorování negativní údaje, nevyhovující ukazatelům využitelnosti ložiska nebo zcela ojedinělé a od vnějšího obrysu značně vzdálené údaje pozitivní. Také v tomto případě lze s úspěchem použít zejména polynomiální, případně splinové funkce nebo metody krigingu. Extrapolace se obvykle využívá v etapách vyhledávacího až předběžného průzkumu a pro stanovení zásob nižších kategorií prozkoumanosti.

Výpočet objemu těles nerostných surovin vychází z ohraničení těchto objektů v geologické, případně měřičské dokumentaci (geologické mapy a profily). V minulosti se k výpočtu používaly zejména vzorce pro výpočet objemu standardních prostorových těles (kvádr, kužel, komolý kužel, komolý jehlan) nebo výpočet objemu jednotlivých segmentů na něž lze složitější těleso rozdělit. Dnes jsou pro tyto účely využívány různé 3D CAD a GIS softwarová řešení, které pro výpočet používají různé matematické, případně statistické funkce (polynomiální, splinové funkce, metody krigingu).

Parametr plochy je stanovován pro tělesa, která mají zhruba deskovitý tvar, jejichž třetí rozměr je stanovován samostatně a označován jako **mocnost**. Výpočet plochy navazuje na vymezení obrysu tělesa nerostné suroviny v rovině, procházející podložím nebo nadložím deskovitého tělesa. V minulosti se k výpočtu plochy používaly standardní trigonometrické funkce, planimetry nebo ruční bodová integrace. V dnešní době jsou všechny tyto postupy obvykle nahrazovány matematickými funkcemi, které obsahují standardní CAD nebo GIS řešení. Základním problémem těchto postupů zůstává získání dostatečného počtu měření souřadnic vnitřních nebo vnějších obrysů ploch vymezených na základě geologických nebo ekonomicko-průmyslových kritérií. Vzhledem k tomu, že GIS software používá pro zápis souřadnic různá geografická zobrazení (souřadnicové systémy), je vhodné pro výpočet plochy používat taková zobrazení, která jsou plochojevná, tj. zobrazení, kde dochází k co nejmenšímu zkreslení plochy při průmětu geoidu do roviny.

Stanovení **parametru mocnosti** navazuje na stanovení parametru plochy u deskovitých těles nerostných surovin. Při výpočtu zásob jsou k výpočtu mocnosti obvykle užívány údaje o pravé mocnosti, získané přímým měřením nebo přepočtem. Hodnoty nepravé mocnosti jsou často získávány při měření mocnosti ve vrtech nebo při měření v důlních dílech. Při přepočtu

nepravé mocnosti na pravou mocnost je třeba přihlížet jak k úklonu, tak k orientaci měření. V praxi se pro stanovení pravé mocnosti používá nejčastěji následující vzorec:

$$m = m' \cdot \cos(\alpha - \beta) \cdot \cos \gamma,$$

kde je m pravá mocnost, m' nepravá mocnost, α sklon ložiskového tělesa, β sklon vrtu, γ úhel mezi směrem průsečnice a spádnice tělesa nerostné suroviny.

Při měření mocnosti poskytují nejpřesnější hodnoty přímá měření, která jsou obvykle prováděna s přesností $\pm 0,01$ m. Hrubé měření mocnosti je obvykle spojováno s měřením mocnosti prováděným při odběru zásekových vzorků, zejména tam, kde nelze přesně vymezit hranici mezi nerostnou surovinou a okolní horninou. Nepřímá měření mocnosti vycházejí ze zkoumání fyzikálních vlastností hornin, při nichž se uplatňují metody vrtné geofyziky. Tento postup je používán zejména v bezjádrových vrtech nebo vrtech s nedostatečným výnosem vrtného jádra v důsledku významného tektonického porušení. Pravá nebo nepravá mocnost je v tomto případě odvozována z karotážních měření, případně z televizního záznamu stěn vrtu. Pro výpočet střední hodnoty mocnosti pro celé těleso se používají standardní statistické metody, přičemž za minimální počet měření se považuje 40-50 měření. V některých případech se mimo mocnosti polohy nerostné suroviny sleduje rovněž mocnost vložek hlušiny (proplástků).

Objemová hmotnost má vždy vyjadřovat hodnotu objemové hmotnosti, odpovídající podmínkách přirozeného uložení suroviny. Při výběru místa odběru vzorků pro stanovení objemové hmotnosti je rovněž důležité posouzení látkových změn vyvolaných větráním, metasomatózou, hydrotermálními přeměnami, kontaktní a regionální metamorfózou. Pro vlastní stanovení se používají vzorky od několika cm^3 do několika dm^3 a provádí se v souladu se standardním stanovením měrné hmotnosti (pyknometricky, vážení vzorku ve vodě a ve vzduchu, vážení a stanovení objemů vzorků v kalibrovaných nádobách).

Parametr obsahu užitečných složek je střední hodnotou jednotlivých údajů, získaných v hranicích tělesa nerostné suroviny. Je rozhodující charakteristikou u všech nerostných surovin, jež jsou zdrojem k získání různých prvků nebo sloučenin. Podle druhu suroviny se vztahuje k jedné nebo více užitečným složkám. Při výpočtu parametru obsahu musí být vždy použitý údaj vázaný na stanovení obsahu v materiálu s přirozenou vlhkostí. Spolu s opravou na vlhkost musí být před výpočtem parametru obsahu posouzena a zhodnocena přesnost a správnost laboratorního, případně terénního stanovení obsahu užitečné složky v jednotlivých vzorcích. Při stanovení obsahu sledovaných složek suroviny je obvykle vyžadováno provedení kontrolních analýz. Z hlediska způsobu zadávání kontrolních analýz je rozlišována

vnitřní, vnější a arbitrážní kontrola. Vnitřní kontrola je prováděna opakovanou analýzu vybraného počtu vzorků v téže laboratoři, kde byla provedena ostatní stanovení. Vnější kontrola je prováděna na obdobném souboru vzorků v jiné laboratoři. V některých případech je požadována arbitrážní kontrolní analýza, která se provádí ve zvláště certifikované laboratoři, kterou je v řadě případů laboratoř státní geologické služby. V některých případech, zejména u nerostných surovin s mimořádně nerovnoměrným obsahem užitkové složky (např. ložiska zlata) dochází k nalezení vzorků s neúměrně vysokým obsahem užitkové složky (uraganní vzorky). V těchto případech je nezbytné provést jednu nebo více kontrolních stanovení, aby se vyloučila hrubá chyba stanovení. Pro stanovení střední hodnoty obsahu užitkové složky se používají standardní statistické, případně geostatistické metody. Případné vyloučení extrémních hodnot (uraganních vzorků) se provádí podle předem stanovených pravidel, většinou vyvozovaných z empirických pozorování a obecně zabraňuje nadhodnocení zásob. Místo prostého vyloučení extrémních hodnot se někdy používá jejich nahrazení jinými, zpravidla na hranici běžně se vyskytujícími nejvyššími hodnotami, což má snížit negativní účinky prostého vyloučení extrémních hodnot z výpočtu.

3.5. Metody a modely výpočtu zásob

Postup třídění, hodnocení a zpracování jednotlivých údajů při výpočtu parametrů základního výpočtového vzorce, množství suroviny i užitkové složky se označuje zpravidla jako metoda nebo model výpočtu zásob. V průběhu vývoje metod výpočtu zásob se postupně vytvořil standardní soubor následujících metod:

- Metoda geologických bloků
- Metoda těžebních bloků
- Metoda geologických řezů
- Metoda geometrických obrazců
- Metoda isohyps
- Metoda isolinií
- Metoda statistická, resp. geostatistická

Metoda geologických bloků spočívá ve vymezení výpočtových jednotek shodně s geologickými obrysy, případně ve vymezení úseků mineralizovaných vrstev nebo struktur, případně ve vymezení úseků mineralizovaných vrstev nebo struktur, obsahujících hnízda, čočky nebo vložky suroviny tak, aby ve svém souhrnu vyhovovaly podmínkám využitelnosti (kondicím). Všechny samostatně určované parametry jsou počítány jako prostý nebo vážený

aritmetický průměr vstupních údajů v hranicích vymezené výpočtové jednotky (geologického bloku). Metodou geologických bloků je převeden tvar tělesa nerostné suroviny v deskovité těleso, jehož obrys je určený rozmístěným bodů pozorování. Základem metody geologických bloků je důsledná a podrobná analýza všech údajů o geologické stavbě ložiska. Velká pozornost je věnována strukturní a látkové kontrole distribuce užitkových složek, včetně vystižení prostorové proměnlivosti a přirozených hranic mezi nerostnou surovinou a okolním horninovým prostředím. Pro vymezení geologických bloků se používají geologické řezy vedené v rovině mineralizované polohy. Metoda geologických bloků je velmi často používaná při výpočtu zásob nerostných surovin po skončení etapy podrobného průzkumu.

Metoda těžebních bloků slouží k výpočtu zásob v hranicích těles nerostných surovin nebo v geologicky vymezených hranicích mineralizovaných vrstev a disjunktivních struktur v návaznosti na projektovanou, zvolenou nebo již používanou metodu dobývání. Metoda těžebních bloků je proto používaná především při výpočtu zásob ložisek připravovaných k těžbě nebo již těžných. Při povrchovém dobývání jsou zpravidla těžební bloky podřízené orientaci a rozloze jednotlivých řezů nebo etází v návaznosti na postup skrývky nadložních vrstev. Podle tvaru a úložných poměrů těles nerostných surovin mají těžební bloky tvar krychlí nebo kvádrů. Parametr plochy, resp. objemu závisí na technických ukazatelích a přesnost jeho stanovení je v podstatě úměrná přesnosti měřičských prací na ložisku. K výpočtu obsahu užitkové složky, mocnosti a dalších parametrů jsou využity všechny údaje, získané ze vzorkování a měření po obvodu, případně i uvnitř bloku.

Metoda geologických řezů je užívána k výpočtu zásob nerostných surovin, jejichž ohraničení, tvar a velikost je vyšetřována a určována uceleně. Jsou to především tělesa nerostných surovin, jež nelze aproximovat deskovitými tělesy, neboť mají nepravidelný a často velmi proměnlivý tvar. Při této metodě jsou jednotlivá tělesa, případně celé ložisko samostatně vyšetřována systémem paralelních, kosých nebo vzájemně kolmých rovin. V každé z těchto rovin je vymezen obrys tělesa. Soustava rovin má být volena tak, aby umožňovala co nejpřesnější stanovení velikosti, tvaru a geologické pozice jednotlivých těles. Proto se nejčastěji volí systém paralelních, většinou vertikálních nebo horizontálních řezů. V závislosti na zvoleném systému průzkumu a otvírky jsou tyto řezy vzdáleny od sebe o konstantní nebo proměnlivou vzdálenost. Tím se těleso v podstatě rozpadá na soustavu deskovitých segmentů a jeho objem může být stanoven prostou integrací jednotlivých segmentů.

Sestavení řezu může být buď součástí základní geologické dokumentace nebo je pro výpočet zásob realizováno samostatně. Je podloženo geologickými výzkumy úložných poměrů a mají být v něm promítnuty všechny zjištěné zákonitosti změn tvaru a vlastností nerostné suroviny. V případě přednostní lineární nebo plošné orientace těles nerostných surovin, případně anizotropie některé vlastnosti, je vhodné vést řez kolmo na tuto orientaci. V praxi převládají systémy horizontálních nebo vertikálních řezů. Řezy jsou vedeny tak, aby se v rovině řezu nacházel co největší počet míst pozorování, resp. technických prací (vrtů, šachtic, důlních prací). Objem ložiskových těles mezi sousedními paralelními řezy je obvykle počítán podle vzorce pro hranol nebo komolý jehlan.

Metody geometrických obrazců jsou uplatňovány zejména na ložiskách s plošně rozlehlými tělesy nerostných surovin, prozkoumaných více nebo méně nepravidelnými vrtnými sítěmi. Jednotlivá tělesa jsou rozdělena na geometrické obrazce, vznikající nejčastěji propojením jednotlivých bodů, v nichž byly těleso nebo mineralizovaná struktura prořaty. Podle rozčlenění na jednotlivé segmenty jsou rozlišovány metody mnohoúhelníků, trojúhelníků nebo čtyřúhelníků. V případě mnohoúhelníků je těleso rozděleno na jednotlivé nepravidelné hranoly, jimž se přiřazují charakteristiky, zjištěné průzkumnými díly ve středu mnohoúhelníků. V případě trojúhelníků nebo čtyřúhelníků je množství nerostné suroviny počítáno z údajů průzkumných děl ležících ve vrcholech trojúhelníku nebo čtyřúhelníku.

Metoda isohyps je užívána pro ložiska nerostných surovin s poměrně stálou mocností, avšak složitými úložnými poměry. Základem metody je výpočet plochy pomocí údajů, získaných lineárními průsečnicemi (např. vrty) tělesem nerostné suroviny, z nichž jsou sestaveny v mapovém podkladu isohypsy. Objem tělesa nerostné suroviny je postupně počítán z objemů zjištěnými mezi jednotlivými isohypsami. Tato metoda je užívána zejména pro výpočet zásob ložisek uhlí, ropy a zemního plynu.

Metoda isolinií je užívána na ložiskách nerostných surovin s tělesy značně nepravidelného tvaru a proměnlivosti obsahu užitkové složky. Její podstatou je převedení zkoumaného tělesa v těleso, jehož podstavu tvoří základní zobrazovací rovina. Ve zvoleném vertikálním nebo horizontálním řezu tělesa nebo částí ložiska jsou v jednotlivých bodech pozorování, kolmo promítnutých do zvolené roviny vyneseny hodnoty mocnosti tělesa nerostné suroviny a sestrojeny isolinie mocnosti. Mocnost tělesa je vždy kolmou vzdáleností na zvolenou rovinu řezu. Nejčastěji jsou voleny roviny shodné s horizonty hornických prací, případně roviny vertikální. Metoda isolinií je náročná na zpracování vstupních údajů. Její věrohodnost a přesnost závisí na úrovni poznání proměnlivosti obsahu i mocností. Při

sestavování isolinií je nutné respektovat průběh disjunktivních struktur, případně dalších faktorů ovlivňujících obsah užitkové složky.

Metoda statistická je založena na modifikaci základního výpočtového vzorce, kdy je uvažováno množství užitkové složky v jednotkové ploše nebo objemu. Tato veličina se označuje obvykle jako **produktivnost** a je vyjadřovaná množstvím užitkové složky v kg na 1 m² nebo 1 m³ (kg/m², kg/m³). Hodnota produktivnosti je používána zejména v těch případech, kdy nelze s dostatečnou přesností odvodit mocnost a obsah užitkové složky vzorkováním nebo měřením in situ. Produktivnost je počítána podle následujícího vzorce:

$$q = c * m * d * 10, \text{ kde}$$

je q produktivnost v kg/m², m mocnost tělesa v m, c obsah užitkové složky ve hmotnostních %, d objemová hmotnost v g/cm³. V praxi se metoda používá zejména v etapě vyhledávacího průzkumu, kdy nejsou tělesa nerostné suroviny ohraničena s dostatečnou přesností nebo když vzorkováním nelze spolehlivě odvodit parametry obsahu a mocnosti z jednotlivých bodů pozorování. Tato metoda se rovněž používá v těch případech, kdy se ložisko nerostných surovin skládá z nevelkých, relativně bohatých těles užitkových nerostů ve formě smouh, čoček a hnízd.

K výpočtu zásob ložisek nerostných surovin s velmi nerovnoměrně rozptýlenou užitkovou složkou, jakými jsou zejména ložiska zlatých rud, ale nejen tam, se využívají **geostatistické metody**, někdy shrnované do pojmu **kriging** (krigáž). Základ těchto metod položil jihoafrický geolog Krige (1951), který se zabýval proměnlivostí obsahu zlata na světově významných ložiscích v oblasti Wittwatersrand (JAR). Výsledky jeho studií později rozpracovali francouzští matematici a geologové soustředění kolem Matherona. V průběhu těchto studií bylo zjištěno, že hodnoty obsahu užitkové složky nebo jiných parametrů výpočtu zásob, které jsou spojitě se měnící proměnnou v prostoru, lze považovat za „funkci“ polohových souřadnic v jednorozměrném i třírozměrném prostoru. Francouzská Matheronova statistická škola, která se začala označovat jako geostatistická, zavedla pro spojitě se měnící proměnnou v geologickém tělese, kterou nelze popsat žádnou konkrétní funkcí, pojem „regionalizovaná proměnná“. V popisech regionalizované proměnné je uváděna především její závislost na lokalizaci a souvislost s geometrií a orientací vzorku. Její hodnota se mění sice spojitě, někdy však velmi rychle a zejména s různou variabilitou v různých směrech. Podle Matherona (1963) jde v případě regionalizované proměnné o realizaci náhodné funkce v prostoru. Hlavním prostředkem výzkumu variability regionalizované proměnné je výzkum rozptylu zkoumané proměnné jako funkce vzájemných vzdálenosti jednotlivých bodů měření.

Mezi hodnotami proměnné v jednotlivých bodech existuje korelace, která po určité vzdálenosti zaniká, a jednotlivá měření lze považovat za navzájem nezávislá. Tento prostředek je označován jako variogram. Z variogramu vycházejí další výpočetní postupy, označované na počet výše zmíněného Krigeho jako kriging. Jsou to metody váženého průměru, jejichž cílem je optimální určení střední hodnoty regionalizované proměnné v dané ploše nebo prostoru. Váhy se počítají pomocí hodnot odečtených z variogramu. Variogram lze vyjádřit funkcí, která může mít různý průběh. Podle jejího průběhu je možné mluvit o lineárním, kvadratickém, logaritmickém modelu variogramu, případně o jiných modelech.

Postupy o postupech používaných při výpočtu variogramu a následně krigingu lze najít zejména v monografiích Davida (1977, 1988), Clarka (1979), Akina a Siemense (1988). Geostatistické metody jsou dnes využívány nejen při výpočtu zásob nerostných surovin, ale i při tvorbě digitálních modelů terénu (software SURFER, ArcGIS aj.).

Metody výpočtu zásob ropy a zemního plynu se od metod výpočtu pevných nerostných surovin odlišují zejména tím, že se neprovádí výpočet celkového množství obou surovin, ale pouze výpočet těžitelných zásob. Pro výpočet zásob ropy jsou používané objemové, statistické metody a metody materiálové bilance. Objemový způsob výpočtu je založený na výpočtu celkového objemu pórů v kolektorových horninách. Při výpočtu zásob plynu se využívají objemové metody a metody založené na poklesu tlaku.

Dnes jsou jak pro výpočet zásob pevných nerostných surovin, tak pro výpočet zásob ropy a zemního plynu k dispozici softwarová řešení umožňující provést výpočet zásob podle některých z výše uvedených modelů, včetně 3D animace výsledků takového výpočtu. Z mnoha různých nabízených výpočetních programů jsou nejčastěji používané softwarová řešení společnosti Datamine (Studio 3, www.datamine.co.uk) nebo řešení společnosti Surpac (Surpac Vision, www.surpac.com). Tato řešení mají návaznost jak na tvorbu vrtných aj. profilů a dalších podkladů primární dokumentace, tak na technicko-ekonomické studie a modely plánování těžby a následné rekultivace ložiska nerostné suroviny.

3.6. Prezentace a schvalování výpočtu zásob

Základní hodnocení množství zásob nerostných surovin se vždy vztahuje k tzv. **geologickým zásobám**, vyjadřujícím s co možná největší přesností a věrohodností množství a kvalitu nerostné suroviny v přirozeném uložení. Z hlediska dnes používané klasifikace zásob v České republice se tyto zásoby člení na zásoby prozkoumané, vyhledané a prognózní. Z hlediska jejich aktuálního hospodářského významu se prozkoumané a vyhledané zásoby

rozdělují na zásoby bilanční a nebilanční. Z hlediska aktuálních možností jejich těžby lze zásoby nerostných surovin rozdělit na zásoby volné a vázané. Vázané zásoby jsou obvykle zásoby v ochranných pilířích těžních a úpravárenských zařízení, případně zásoby v ochranných pilířích komunikací a zásoby v oblasti intervalů měst a obcí (např. vázané zásoby uhlí v okolí Litvínova). Projednáváním a schvalováním výpočtů zásob se v České republice zabývá Komise pro projekty a závěrečné zprávy Ministerstva životního prostředí ČR (KPZ). Evidenci zásob ložisek nerostných surovin ve smyslu vyhlášky MHPR ČR č. 497/1992 Sb., o evidenci zásob výhradních ložisek nerostů, se zabývá pro potřeby Ministerstva průmyslu a obchodu ČR Česká geologická služba-Geofond, která každoročně sestavuje aktuální bilanci zásob výhradních ložisek nerostných surovin a evidenci zásob nevýhradních ložisek.

Pravidla pro sestavování výpočtu zásob výhradních ložisek jsou vymezena vyhláškou MŽP ČR č. 369/2004 Sb., o projektování, provádění a vyhodnocování geologických prací, oznamování rizikových geofaktorů a o postupu při výpočtu zásob výhradních ložisek, zejména jejími přílohami č. 4, 5, 6. Příloha č. 1 výše uvedené vyhlášky stanovuje postup zpracování podmínek využitelnosti zásob nerostných surovin, jejichž zpracování a schválení předchází vlastnímu výpočtu zásob. Náležitosti výpočtu zásob nevýhradních ložisek jsou stanoveny zejména ve vyhlášce ČBÚ č. 175/1992 Sb., ve znění vyhlášky č. 298/2005 Sb. o podmínkách využívání ložisek nevyhrazených nerostů. Příloha č. 2 vyhlášky MŽP ČR č. 369/2004 obsahuje podmínky pro vymezení prognózních zdrojů vyhrazených i nevyhrazených nerostů.

Závěrečná zpráva o výsledku ložiskového průzkumu obsahující výpočet zásob se skládá z textové části, grafických a textových příloh. V úvodu textové části je vymezen cíl a metodika průzkumných prací. Nejvýznamnější součástí textové zprávy je geologická charakteristika ložiska nerostné suroviny, včetně jeho začlenění do geologické stavby daného regionu a určení genetického typu ložiska. Významnou součástí geologické charakteristiky je popis hydrogeologických poměrů daného území, zejména popis případných zvodnělých vrstev nebo výskyt krasových vod. Vlastnímu výpočtu zásob předchází jakostní a technologická charakteristika jednotlivých typů nerostných surovin zjištěných na ložisku, včetně doprovodných surovin (např. písků nebo jílu v nadloží uhelné sloje). V případě výpočtu prozkoumaných zásob musí být dostatečně charakterizovány rovněž materiály pozdější zakládky důlních děl, hald, výsypek a odkališť úpravárenských provozů. U hornin ukládaných na haldy, výsypky a odkaliště musí být stanovena mobilita případných škodlivých

složek a jejich vliv na životní prostředí. Hydrogeologická část závěrečné zprávy ložiskového průzkumu s výpočtem prozkoumaných zásob musí rovněž obsahovat údaje o předpokládané množství a kvalitě důlních vod a vztah předpokládaného způsobu využívání ložiska na zdroje podzemních vod a na vody povrchové. Inženýrskogeologická charakteristika ložisek s vymezenými prozkoumanými zásobami musí obsahovat rovněž charakteristiku případných vlivů předpokládaného způsobu dobývání nerostů na stabilitu území.

Likvidační výpočty zásob, které se vyhotovují před ukončením těžby ložiska nerostné suroviny obsahují charakteristiku zbytkových zásob, charakteristiku materiálů zakládky, hald, výsypek a odkališť a jejich možný vliv na životní prostředí. V hydrogeologické a inženýrsko geologické kapitole likvidačního výpočtu zásob se charakterizuje předpokládaný stav po skončení dobývání a vliv důlních a ostatních prací používaných v souvislosti s dobýváním nerostné suroviny na povrch, zdroje podzemních vod a celkovou stabilitu území.

Výpočet zásob musí obsahovat popis metodiky použitého modelu výpočtu zásob, všechny algoritmy, případně popis software použitého při výpočtu zásob, variantní výpočty zásob a průkazné vyjádření spolehlivosti všech parametrů výpočtu zásob. Nedílnou součástí výpočtu zásob jsou tudíž výsledky všech kontrolních stanovení. Ve výpočtu zásob musí být popsány zásady geometrizace ložiskových těles, rozblokování, případně použité metody extrapolace zásob nerostné suroviny. Při výpočtech zásob potřebných pro povolení hornické činnosti nebo výpočtech zásob na již těžených ložiskách nerostných surovin musí být rovněž vymezeny zásoby vytěžitelné. Důležitou součástí kapitoly věnované výpočtu zásob je stanovení případného vztahu dobývání ložiska k zájmům chráněným zvláštními právními předpisy (ochrana přírody, ochranná pásma budov, komunikací apod.).

Informace o financování průzkumných prací se v závěrečné zprávě ložiskového průzkumu uvádějí v případě, když byl průzkum zčásti nebo zcela hrazen z prostředků státního rozpočtu. Závěrečná kapitola obsahuje celkovou využitelnost prozkoumané akumulace nerostné suroviny a návrh dalšího řešení.

Nejvýznamnější součástí grafických příloh jsou geologické mapy a řezy ložiska nerostné suroviny, případně další účelové mapy a řezy (geofyzikální, geochemické, technologické, hydrogeologické, inženýrsko-geologické, mapy a řezy bloků zásob ložiska apod.). Závěrečná zpráva musí obsahovat rovněž veškerou grafickou dokumentaci všech provedených průzkumných děl (šachtice, rýhy, vrty, důlní díla).

Textové přílohy obsahují rozhodnutí o stanovení průzkumného území, schválené podmínky využitelnosti, návrh na schválení zásob ložiska nerostné suroviny, pasport ložiska,

měřickou zprávu a výsledky všech provedených měření a analýz. Důležitou součástí textových příloh jsou speciální zprávy (mineralogické, petrografické, geochemické, hydrogeologické, geotechnické, technologické apod.), doklady o projednání střetů zájmů, kopie protokolů o likvidaci technických prací a pochopitelně i původní projekt geologických prací, včetně všech schválených změn a doplňků.

3.7. Studie proveditelnosti

Jakmile jsou na ložisku vypočteny průmyslové (bilanční) zásoby nerostné suroviny nastává problém jejich osvojení, neboli problém přípravy těžby a zpracování dané nerostné suroviny. Příprava těžby nerostné suroviny představuje proces, který se obvykle shrnuje do pojmu studie proveditelnosti (feasibility studies). Prvním problémem je stanovení životnosti ložiska, tj. stanovení délky předpokládané těžby. Životnost ložiska představuje podíl celkových vytěžitelných zásob k průměrné roční těžbě. Stanovení roční velikosti těžby je určováno řadou faktorů, zejména výší možného odbytu v případě nerostných surovin jako je uhlí nebo stavební suroviny. V případě rudních surovin mají rozhodující význam marketingové a cenové studie o dlouhodobém vývoji trhu a ceny dané nerostné suroviny, resp. daného kovu. S růstem ceny význam každého ložiska s pohotovými průmyslovými zásobami stoupá, v případě poklesu ceny naopak klesá a současně klesá podíl bilančních zásob k celkovým vytěžitelným zásobám nerostné suroviny na ložisku. V případě rozvojových zemí je velmi důležitým prvkem rovněž politická stabilita daného státu. Vzhledem k tomu, že nerostné suroviny, jejichž zpracování je spojeno s následující úpravou a zpracováním (úpravny, hutě) vyžadují velké investiční náklady, je důležitým prvkem zajištění dostatečné výše finančního kapitálu pro zahájení těžby ložiska. Všechny tyto faktory ovlivňují celkovou délku těžby ložiska na tolik, že se obecně odhaduje minimální životnost ložiska na sedm až deset let (Scott 1995). Obecně platný vzorec průměrné roční těžby tudíž lze vyjádřit následujícím způsobem:

$RT = CZ^{0.75}/6.5$, kde RT je výše průměrné roční těžby a CZ jsou celkové vytěžitelné zásoby ložiska.

Z hlediska těžby nerostných surovin jsou rozlišovány dva rozhodující způsoby těžby, podzemní a povrchová těžba. V případě podzemní těžby musí být obsah užitkové komponenty nejméně třikrát vyšší než tomu je u těžby povrchové. Na druhé straně některé hlubinné doly dnes používají velkoobjemovou přepravní a dobývací techniku, kdy náklady na vytěžení tuny materiálu jsou srovnatelné s náklady dosahovanými při těžbě na povrchových ložiscích (těžba

měděných rud, magnezitu apod.). V případě povrchové těžby je rozhodující poměr mocnosti, resp. objemu nadložních hornin (skrývky) k mocnosti, resp. objemu užitkového nerostu uloženého pod vrstvou skrývky. Největší objemy skrývkových hmot jsou obvykle spojeny s těžbou uhlí, kdy hloubka stávajících velkolomů standardně dosahuje hloubek 100-200 m, při mocnosti uhelné sloje 20-40 m. Na druhé straně největší povrchové doly jsou doly v Chile a USA, těžící chudé měděné rudy. Další významné náklady představuje následující úprava vytěžené suroviny. V případě úpravy, resp. třídění stavebního kamene nebo štěrkopísků jsou tyto náklady relativně nízké, v případě úpravy rudních surovin, zejména při úpravě chudých rud zlata, mědi, zinku a olova představují tyto náklady významný podíl celkových nákladů na získání prodejného produktu.

V případě těžby ložisek v rozvojových zemích nebo v území s málo rozvinutou, případně zcela chybějící infrastrukturou (Sibiř, severovýchod Ruska, Aljaška) je významným faktorem, často zcela rozhodujícím o případném osvojení ložiska dostupnost zdrojů energie, vody a charakter dopravní infrastruktury.

Významným prvkem každé studie proveditelnosti je odhad cenového vývoje dané nerostné suroviny. U surovin, které jsou prodávány prostřednictvím burz jako je např. londýnská burza LME, lze využít údaje o dlouhodobém vývoji cen na těchto burzách. Většina menších těžařů však není schopna pravidelně sledovat vývoj surovinových burz, nicméně všichni se snaží pokud možno minimalizovat náklady na těžbu a úpravu těžené suroviny. Někdy je tento problém řešen tak, že část nerostné suroviny na hranici bilančnosti je vytěžena, je však zpracována do konečného produktu až v okamžiku vzrůstu ceny suroviny. Pro řešení těchto problémů jsou dnes k dispozici softwarová řešení, která umožňují vytvářet variantní ekonomické modely řízení těžby a zpracování nerostných surovin (software společností Datamine, Surpac). V minulosti byly takovéto modely zpracovány zejména pro těžbu měděných a uranových rud v USA.

V případě těžby surovin v rozvojových zemích je důležitým prvkem studie proveditelnosti mimo výše uvedeného odhadu politické stability rovněž posouzení legislativních norem daňového systému, zdravotní a sociální politiky, ochrany a bezpečnosti práce a případných investičních pobídek zahraničních investorů. Stále vzrůstající význam mají legislativní normy ochrany přírodního prostředí, zejména procedura posuzování vlivů investic na životní prostředí (EIA). Při povrchové těžbě do této skupiny vlivů patří zejména hluk, prašnost, lokalizace deponií skrývkových materiálů (vnější a vnitřní výsypka lomů), zvýšené nároky na dopravu a v neposlední řadě ochrana podzemních a povrchových vod.

Některé studie jsou prováděné až následně po zahájení těžby, jako jsou studie seismicity, posuzující vliv rozpojovacích prací na okolní zástavbu. Z hlediska zaměstnanecké politiky má při stanovování pracovních podmínek často významný vliv odborové hnutí a různé nevládní iniciativy.

V souhrnu představují studie proveditelnosti rozsáhlý písemný a tabulkový elaborát, který kriticky analyzuje geologické, těžební, zpracovatelské, marketingové, ekologické a politické aspekty budoucí těžby a zpracování nerostné suroviny (Goode et al. 1991, Smith 1991). Zpracování studie proveditelnosti je obvykle rozdělováno do tří až čtyř etap. Úvodní studie proveditelnosti zpracovávána již v průběhu podrobného průzkumu využívá případové studie zpracované pro daný stát a typ suroviny a upozorňuje na možné problémy spojené s budoucí otvírkou a těžbou daného ložiska nerostné suroviny. Předběžný prováděcí projekt je zpracováván tak, aby stanovil budoucí náklady na osvojení ložiska s přesností na 10-25 %. Někdy bývá součástí této etapy provedení pokusné těžby a pilotního projektu úpravy a zpracování nerostné suroviny. Vlastní projekt otvírky ložiska už musí být zpracován s přesností odhadu celkových nákladů s chybou ± 10 %. Tento dokument již musí obsahovat posouzení vlivů těžby a úpravy na životní prostředí (EIA) a musí být zpracován ve formě předložitelné budoucím investorům, resp. bankám u nichž bude požadován případný úvěr. Banky následně ve spolupráci se svými experty často vytváří vlastní ocenění proveditelnosti projektu, zejména v případě finančně náročnějších investic. Nedílnou součástí závěrečných etap studií proveditelnosti je zpracování rizikové analýzy. Těžba a zpracování nerostných surovin jsou standardně zařazovány do oblasti rizikového podnikání. Na druhé straně některé státy mají ve své daňové legislativě zahrnuta ustanovení o odpisu nákladů na geologický průzkum z daňového základu. Vzhledem k tomu, že zahájení těžby a zpracování většiny nerostných surovin je obvykle spojené s velkými vstupními investicemi, je financování těchto investic kryto z více zdrojů. Prvotním finančním zdrojem jsou finanční zdroje vlastníka ložiska. V řadě případů jsou však tyto investice financovány z externích zdrojů, tvořených často skupinou bank. V tomto případě je také kontrola celkového podnikání nikoliv v rukou vlastníka ložiska, ale v rukou bankovních domů. Vzhledem k tomu, že většina ložisek nerostných surovin je těžena akciovými společnostmi, je rozhodování o investicích a rozdělení zisku kontrolováno akcionáři společnosti. Úspěšné společnosti obvykle nerozdělují veškerý zisk mezi akcionáře, ale vytvářejí zvláštní rezervy jednak pro další geologický průzkum, jednak pro krytí ztrát v případě poklesu ceny suroviny nebo poklesu těžby apod. Všechny těžební společnosti navíc musí vytvářet zvláštní fond určený na následné zahlazení stop po

skončení těžby nerostné suroviny a rekultivaci celého území. Hodnota těchto prostředků stoupá zejména v případě ložisek těžných povrchovým způsobem.

3.8. Použitá a doporučená literatura

- Agterberg F.P. (1974): Geomathematics. – Elsevier, 550 s.
- Akin H. – Siemers H. (1988): Praktische Geostatistik. – Springer Verlag, 304 s.
- Annels A.E. (1991): Minerals deposit evaluation: A practical approach. – Chapman and Hall.
- Carlier A. (1964): Contribution aus méthodes d'estimation des gisements d'uranium. – Rapport CEA R-2332, 350 s..
- Clark I. (1979). Practical geostatistics. – Elsevier.
- David M. (1977): Geostatistical ore reserve estimation. – Elsevier, 364 s.
- David M. (1988): Handbook of applied advanced geostatistical ore reserve estimation. – Elsevier.
- Davis J.C. (1986): Statistics and data analysis in geology. – Wiley, 646 s.
- Gocht W.R. – Zantop H. – Eggert R.G. (1988): International mineral economics. – Springer Verlag.
- Goode J.R. – Davie M.J. – Smith L. D. – Lattanzi C.R. (1991): Back to basics: the feasibility study. – Can. Inst. Min. Metall. Bull., 84, 953, 53-61.
- Gy M. (1992): Sampling of heterogeneous and dynamic material systems. – Elsevier.
- Gy P. (1968): Theory and practice of sampling broken ores. – Canad. Inst. Min. Met., Spec. Vol., 9, 5-10.
- Hartman H.L. (1987): Introductory mining engineering. – Wiley.
- Hazen S.W.jr. (1968): Ore reserves calculation. – Canad. Inst. Mining Metall. Spec., 9, s. 11-32.
- Henley S. (1981): Nonparametric geostatistics. – Applied Science Publication.
- Hohn M.E. (1988): Geostatistics and petroleum geology. – Chapman and Hall, 264 s.
- Hoover H.C. (1907): Principles of mining valuation, organization and administration.
- Issaks E.H. – Srivastava R.M. (1989): An introduction to applied geostatistics. – Oxford University Press, 561 s.
- Jankovič S. (1967): Wirtschaftsgeologie der Erze. – Springer Verlag, 348 s.
- Journel A.G. – Huijbregts C.H.J. (1978): Mining geostatistics. – Academic Press.
- Každan A.B. (1974): Metodologičeskije osnovy razvědky poleznych iskopajemych. – Něždra, 272 s.

- Kernet C. (1991): *Equities: Evaluation and trading*. – Woodhead Publishing Ltd.
- Kogan J.D. (1974): *Podsčtet zasov i geologo-pormyšlennaja ocenka rudnych městorožděnij*. – Nėdra, 304 s.
- Koch G.S. – Link R.F. (1980): *Statistical analysis of geological data*. – Dover Publications.
- Krige D.G. (1951): *A statistical approach to some basic mine valuation problems on the Witwatersrand*. – J. Chem.Met.Min.Soc., 52.
- Matheron G. (1963): *Traite de geostatistique applique*. –Edition Technip., 172 s.
- Miesch A.T. (1976): *Geochemical survey of Missouri – methods of sampling, laboratory analysis and statistical reduction of data*. – US Geol. Surv. Prof. Pap., 954-A.
- Pluskal O. – Vaněček M. (1982): *Výpočet zásob nerostných surovin*. – Univerzita Karlova, 202 s.
- Rozložník L. – Havelka J. – Čech F. – Zorkovský V. (1987): *Ložiská nerastných surovín a ich vyhladávanie*. – SNTL, 693 s.
- Scott B.C. (1995): *Feasibility studies*. – In: Evans et al. (1995) *Introduction to mineral exploration*, s. 203-220. - Blackwell Science Ltd.
- Sinclair A.J. – Blackwell G.H. (2002): *Applied mineral inventory estimation*. – Cambridge University Press, 400 s.
- Smirnov V.I. (1950): *Podsčtet zasov miněral' nogo syrja*. – Gosgeoltechizdat.
- Smirnov V. I. et al. (1960): *Podsčtet zasov městorožděnij poleznych iskopajemych*. – Gosgeoltechizdat.
- Smith J. (1991): *How companies value properties*. – Can. Inst. Min. Metall. Bull., 84, 953, 50-52.
- Stammler F. (1966): *Theoretische Grundlage der Bemustrung von Lagerstätten fester mineralischer Rohstoffe*. – Akademie Verlag.
- Wellmer F.-W. (1989): *Economic evaluations in exploration*. – Springer Verlag, 163 s.
- Wellmer F.-W. (1998): *Statistical evaluations in exploration for mineral deposits*. – Springer Verlag, 379 s.
- Principles of the mineral resource classification systém of the U.S. Bureau of Mines and U.S. Geological survey* – U.S. Geol. Surv. Bull., 1450-A, 1976.
- Principles of a resources/reserve classification for minerals*. – U. S. Geol. Surv. Circ. 831, 1980, 5 s.
- United Nations framework classification for fossil energy and mineral resources*. Document E/2004/37 – E/ECE/1416.