

CTIRAD SCHEJBAL

# výpočet zásob ložisek nerostných surovin

Recenzenti: Prof. Ing. Miloslav Dopita, DrSc.  
Doc. Ing. Josef Honěk, CSc.

© Ctírad Schejbal 2005

© MONTANEX, 2005

Výpočet zásob ložisek nerostných surovin

Autor: Ctírad Schejbal

**ISBN 80-7225-201-1**

Vydání této knihy by nebylo možné bez podpory vedoucích pracovníků níže uvedených organizací. Za jejich chápavý přístup jim děkuji.



**DAV, a.s.**  
STAVEBNÍ AKCIOVÁ SPOLEČNOST

Zengrova 19  
703 00 Ostrava - Vítkovice  
Tel.: 596 614 333, fax: 596 614 330  
<http://www.dav-ova.cz>, e-mail: [dav@dav-ova.cz](mailto:dav@dav-ova.cz)

**D A G E N**  
**Havířov - Bludovice**

Děkuji rovněž váženým recenzentům Prof. Ing. Miloslavu Dopitovi, DrSc. a Doc. Ing. Josefu Hoňkovi, CSc., za posouzení rukopisu knihy a za cenné připomínky, a dále svému příteli Ing. Františku Látovi, Csc., za pomoc při zajištění vydání knihy.

V neposlední řadě děkuji své manželce Janě za pečlivé pročtení rukopisu a praktické připomínky.

Autor.



*„Mnozí myslí, že jest hornictví něco náhodného a nečistá práce, a vůbec zaměstnání toho druhu, které si vyžaduje více tělesné námahy než umění. Mně však, uvažují-li dobře jeho části, zdá se, že věc se má zcela jinak. Neboť horník musí býti svého umění dokonale znalý tak, aby ihned věděl, která hora, který kopec nebo která údolní nebo rovinná poloha výhodněji by mohla býti kopána, nebo, má-li se zřící kopání. Pak musí znáti žíly, žilky a vrstvy skal. Dále musí důkladně poznati mnoho různých druhů zemin, roztoků, drahokamů, kamenů, mramorů, hornin, kovů a sloučenin; konečně má rozuměti každému způsobu prací podzemních....*

*Horník by měl kromě toho dobře rozuměti mnohému umění a vědě: především filosofii, aby znal vznik, příčiny a vlastnosti podzemních věcí, neboť pak nalezne snáze a pohodlněji vhodné žíly a z vyrubaných více vytěží...“*

**(Georgius Agricola: De re metallica libri XII., 1556)**

Odhad a ohodnocení zdrojů a zásob ložisek nerostných surovin a akumulací podzemních vod patří po dlouhá desetiletí k neodmyslitelným součástem geologické a hornické činnosti. Je totiž základním podkladem pro jakékoliv rozhodování o využití nalezených ložiskových objektů a návazné projektování investiční výstavby důlních a úpravnických podniků. Je také důležitou složkou úvah o zajištění potřebných nerostných surovin pro normální bezporuchový chod každého státu a v souhrnu celé lidské společnosti. Proto se ve druhé polovině minulého století soustředila pozornost na rozvoj metodiky výpočtu zásob, počínaje prověřováním spolehlivosti vstupních dat, přes principy vymezení ložiskových těles, metody odhadu až k problematice klasifikace zdrojů a zásob. Zvláště v posledním období byla náplň tohoto oboru rozšířena o posuzování vlivů využívání přírodních surovinových zdrojů na životní prostředí.

Je skutečností, že v české literatuře bohužel neexistuje souborná práce, zaměřená na uvedenou velmi komplikovanou problematiku. Proto předkládám jak odborné veřejnosti, tak studentům geologických oborů tuto práci.

Ctirad Schejbal.



# **OBSAH**

<b>kapitola</b>	<b>Str..</b>
1. Úvod	1
2. Náplň výpočtu zásob	6
3. Technicko-ekonomické ukazatele zásob nerostných surovin	9
4. Vzorkování a prověřování hodnověrnosti dat	17
4.1. Typy vzorkování pevných nerostných surovin	17
4.2. Vzorkování podzemních akumulací přírodních tekutin	23
4.3. Hustota vzorkování	23
4.4. Hmotnost základního vzorku	24
4.5. Úprava základního vzorku	26
4.6. Kontrola vzorkování	26
4.7. Závěr	30
5. Sestavení geologicko-geometrického modelu	31
5.1. Identifikace a korelace ložiskových těles	32
5.2. Geometrizace ložiskových těles	34
5.3. Principy modelování ložiskových těles	49
6. Metody výpočtu zásob	52
6.1. Základní formulace procedury odhadu zásob	52
6.2. Tradiční metody výpočtu zásob pevných nerostných surovin	54
6.3. Statistické interpolační metody	62
6.4. Krigovací metody	65
6.5. Výpočet zásob doprovodných složek	73
6.6. Výpočet zásob extrémně nepravidelných ložisek	76
6.7. Metody výpočtu zásob kapalin a plynů	77
7. Určování hodnot parametrů výpočtu	83
7.1. Stanovení středních hodnot parametrů	84
7.2. Obsah plochy	90
7.3. Objemová hmotnost	91
7.4. Doplňkové parametry výpočtového vzorce	93
8. Klasifikace zásob nerostných surovin	95
9. Vymezování bloků zásob a jejich kategorizace	104
9.1. Vliv podmínek využitelnosti	104
9.2. Vliv průzkumného systému a rozfárání ložiska	105
9.3. Vliv stavby a složení ložiskonosného komplexu	107
10. Hodnověrnost a přesnost výpočtu zásob	111
11. Zpracování výpočtu zásob	120
11.1. Sběr dat	120
11.2. Geologický a geometrický model	122
11.3. Odhad zásob	124
11.4. Vyhotovení tabulek a map výpočtu zásob	126
11.5. Zpráva o výpočtu zásob	129
11.6. Hodnocení dopadů na životní prostředí a audit zdrojů a zásob surovin	131
12. Závěr	134
Příloha A – Výběr programových produktů	138
Příloha B – Použité zkratky	140
Literatura	141





## 1. ÚVOD

Výpočet zásob nerostných surovin a zdrojů vod je důležitou standardní součástí závěrečné fáze geologických prací prakticky všech etap ložiskového průzkumu a hydrogeologického průzkumu zaměřeného na zjištění zdrojů podzemních vod. Pravidelně se provádí i během těžby ložiskových objektů ve formě řádných, operativních a likvidačních výpočtů.

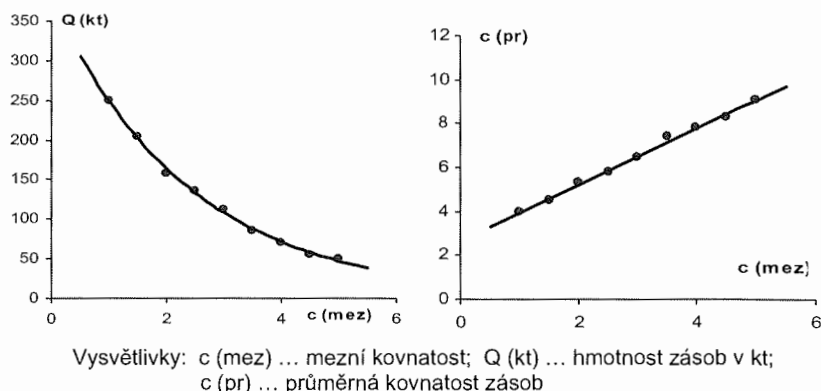
Pokusy o hodnocení a klasifikování zásob nerostných surovin sahají několik století zpět. Georgius Agricola ve své knize „De re Metallica libri XII“ vydané v roce 1556 diskutuje oceňování ložisek, vztah mezi horníkem a vlastníkem a podvodné chování v hornictví. V počátečním období byly výpočty zásob – pokud vůbec byly realizovány – založeny na ručním sběru vzorků a znaleckých úvahách. V 19. a na počátku 20. století byly výpočty zdrojů a zásob ve většině zemí založeny na geologických úvahách a hrubých statistických odhadech. Lze říci, že se využívalo zkušeností ze silničního stavitelství a těžby a přemísťování zemin (Popoff, 1965). Velkou úlohu hrála intuice a praktické zkušenosti.

V roce 1902 Londýnský Institut hornictví a metalurgie (IMM) doporučil členit zásoby viditelné rudy na rudy okonturované a neokonturované důlními díly. Po rozsáhlé diskuzi Institut návrh upravil na tři kategorie, a to viditelná ruda, pravděpodobná ruda a možná ruda. Herbert Hoover publikoval v roce 1909 v práci „Principles of Mining“ návrh na členění rudních zásob na ověřené, pravděpodobné a perspektivní. Tato klasifikace byla rozšířena do 40. let minulého století (Rendu – Miskelly, 2001). Na XII. Mezinárodním geologickém kongresu v roce 1913 v Kanadě byly světové zásoby uhlí členěny na zásoby skutečné, pravděpodobné a možné. V roce 1927 byl zaveden v tehdejší SSSR systém kategorií A, B, C1, C2 odvozený z návrhů IMM, který byl po rozpracování zaveden v padesátých letech minulého století v rámci RVHP. Poznamenejme, že označení kategorií zásob písmeny A, B, C bylo prvně použito ve výpočtu zásob železných rud v rámci XI. Mezinárodního geologického kongresu ve Stockholmu v roce 1910. V druhé polovině tohoto století se začala objevovat celá řada různých národních klasifikací. Rozsáhlá diskuze v 90. letech minulého století ukázala na potřebu sjednocení, které bylo realizováno pod patronací OSN.

Neustále vzrůstající spotřeba nerostných surovin vyvolala požadavky na spolehlivější a přesnější postupy hodnocení. Proto se podobně jako u ostatních komodit rozvíjely metody výpočtu zásob a zdrojů, založené na různých předpokladech a principech. Cílem bylo jednak respektovat stupeň prozkoumanosti ložiskových objektů, jednak hodnotit jejich praktickou využitelnost z hlediska technických a ekonomických možností a pochopitelně s ohledem na následné průmyslové použití. Pro každou nerostnou komoditu byly definovány naturální a chemicko-technologické ukazatele, které vymezovaly surovinové typy a možnosti jejich využití. Tyto ukazatele jsou v čase a v prostoru proměnlivé, neboť odrážejí vývoj těžebních, úpravnických a zpracovatelských technologií a místní a regionální ekonomické poměry, zejména vývoj nabídky a poptávky po nerostných surovinách a tomu odpovídající ceny.

Stanovení zásob nerostné suroviny v ložiskovém objektu a s tím těsně související problém výběru chemicko-technologických ukazatelů podmínek využitelnosti (dříve označovaných jako kondice) je velmi složitý problém, který je determinovaný přírodními, technologickými a ekonomickými faktory, z nichž některé je obtížné definovat, natož je analyticky popsat. Obecně je nutno respektovat, že parametry ložiska jsou proměnné veličiny, které jsou závislé na zvolených hodnotách určujících technicko-ekonomických ukazatelů. Proto je výhodné využít variantní metodu hodnocení a sledovat závislost na vybraných mezních hodnotách určujících ukazatelů (obr. 1.1). Realnost návazného využití ložiskových objektů vyžaduje oceňovat hodnověrnost a přesnost získaných výsledků.

Ložiskové objekty můžeme považovat za špatně organizované systémy, utvářené řadou přírodních faktorů a ve svém konečném důsledku ovlivňované technicko-ekonomickými faktory. Jako prostředek studia a popisu takovýchto systémů se obecně používá matematické modelování. Výběr modelu – v daném případě postupu výpočtu zásob – je v zásadě určován vlastnostmi modelovaného objektu, je ale také závislý na představě řešitele, tj. na přijatém geologicko-geometrickém modelu.



Obr.1.1. Variantní odhad hmotnosti a průměrné kovnatosti zásob Pb+Zn na 7. patře ložiska Horní Benešov v závislosti na mezní kovnatosti

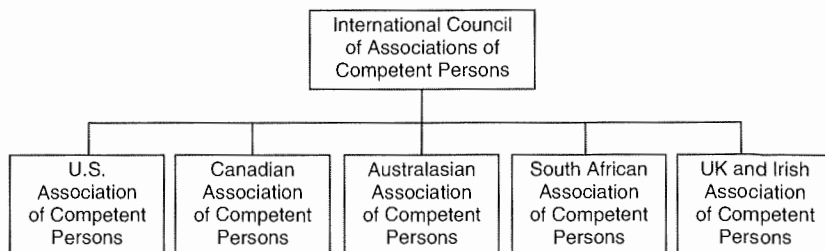
V souhrnu jde o matematicko-geologické modelování, které představuje jedině přijatelný základ odhadu zásob. Přitom může nastat případ, kdy: a) pro různé ložiskové objekty je nutno použít rozdílné modely; b) pro různé ložiskové objekty lze použít stejný model; c) v různých stádiích studia téhož objektu se musí použít odlišné modely. Proto je nezbytné prověřit, do jaké míry se vymezované ložiskové typy odlišují z hlediska matematicko-geologického modelování, jaký vliv má na volbu modelu stupeň jejich prozkoumání a jakým způsobem se v tomto smyslu projevují změny technicko-ekonomických faktorů, zejména změny jejich mezních hodnot.

Závažnou otázkou představuje klasifikace zásob, která byla od počátku devadesátých let minulého století velmi podrobně diskutována. Ačkoliv principy klasifikace jsou dlouhodobě známy, existuje při praktickém řešení řada problémů. Pouze verbálně definované požadavky na kategorie zásob vedou ke značné subjektivitě při zařazování dílčích bloků ložiskového objektu do kategorií prozkoumanosti.

Výpočet zásob představuje *jistý druh expertízy*, používající určité geometrické a matematické postupy, schvalování výsledků výpočtu zásob za jistý druh expertízy zadavatele výpočtu, ať jde o soukromou či státní právnickou osobu (Voronin, 1983, Schejbal 1985). Odhady zdrojů a zásob nerostných surovin jsou komplikované. Vyžadují značné odborné znalosti a zkušenosti, má-li se předejít možným úskalím. Prakticky vždy se na daném úkolu podílí řada odborníků různých profesí. Tato práce vyžaduje dobrou komunikaci mezi členy řešitelského týmu i s dalšími, zejména externími spolupracovníky.

Z uvedených důvodů byly postupně definovány požadavky na odbornou kvalifikaci pracovníků, kteří provádějí operace spojené s výpočtem zásob. Majitelé těžebních společností stále více požadovali, aby odhady zásob byly posuzovány mezinárodními komisemi, nezávislými hornickými konzultačními firmami nebo jejich kombinací. Tento trend byl mimo jiné důsledkem rozsáhlého kolapsu systému úspor a půjček v osmdesátých letech v USA a v odvětví nerostných surovin obrovského skandálu Bre-X v Kanadě v roce 1997, který byl vyvolán úmyslným falšováním výsledků průzkumu v pánvi řeky Mahakan na Kalimantanu

v Indonésii. Proto byla definována v předpisech pro posuzování zdrojů a zásob nerostných surovin vyspělých států (např. JORC Code a VALMIN Code v Austrálii, TSE/OSC Mining Standards v Kanadě apod.) tzv. kompetentní osoba (Abbott – Sandri, 1999). Rendu (2000) navrhl vytvoření mezinárodní rady sjednocující existující asociace (obr.1.2).



Obr.1.2. Návrh mezinárodní rady asociací kompetentních osob (Rendu, 2000)

Rovněž podle Evropského předpisu pro posuzování výsledků průzkumu, nerostných surovinových zdrojů a zásob z roku 2001 (European Code for Reporting of Mineral Exploration Results, Mineral Resources and Mineral Resources) se vyžaduje, aby odhady zdrojů a zásob prováděla *kompetentní osoba*. Ta je v uvedeném předpisu definována jako osoba odborně kvalifikovaná a mající odpovídající zkušenosti v hodnocení zdrojů a zásob daného typu ložisek. Ve smyslu našich předpisů jde o tzv. oprávněnou osobu. Požadavky na odbornou erudici se v různých zemích mohou lišit, např. požadavkem získání příslušné licence nebo členství v odpovídající profesní organizaci či instituci uznávané příslušnou komisí a délkou požadované praxe. Existují rozdíly v pojetí kompetentní nebo kvalifikované osoby, přičemž správnější je termín kompetentní osoba (Ellis – Abbott – Sandri, 1999).

Státní a podnikové instituce věnovaly a neustále věnují velkou pozornost definování požadavků na obsah, rozsah a kvalitu výpočtů zásob. Mezinárodní kooperace v zajišťování nejdůležitějších nerostných surovin (ropy, zemního plynu, uhlí, železných rud, uranu atd.) a obchodování s nimi vedly k tomu, že řada mezinárodních institucí už od sedmdesátých let minulého století analyzovala problematiku hodnocení nerostných zdrojů a zásob. Cílem bylo ujednotit terminologii a klasifikaci zásob a zdrojů a definovat požadavky na prováděné hodnocení. Už zmíněný Evropský předpis rozlišuje a definuje typy zpráv, které mají být prováděny v průběhu průzkumných a těžebních prací. Jsou to: *geologická studie*; *předběžná studie proveditelnosti (prefeasibility study)*; *studie proveditelnosti (feasibility study)*; *báňská zpráva (mining report)*.

Pro kvalitu odhadů zásob a zdrojů nerostných surovin mají zásadní význam geologické informace. Sinclair (1998) shrnuje význam o informací do následujících bodů:

- Geologická stavba ložiskového objektu musí harmonovat s regionálně-geologickým vývojem území jeho výskytu.
- Detailní geologický vývoj poskytuje informace pro geometrický model ložiska, který je základem výpočtu zásob a využití oceněných zásob.
- Mineralogické studie se vztahují k řadě aspektů ocenění ložiska, jako je podíl zásob a zastoupení využitelných nerostů, prostorová distribuce nerostné suroviny, texturně-strukturní charakteristiky.
- Geologický model ložiska podstatně přispívá ke spolehlivosti vytvoření prostorového geometrického modelu. Pomáhá ke stanovení interpolačních a extrapoláčních pravidel a k vymezení úseků s různou distribucí užitkových složek.
- Kontinuita prostorové distribuce nerostné suroviny v ložisku závisí na stylu mineralizace, který může být kontrolován strukturně nebo chemicky.

Odhad a klasifikace zásob tedy vyžaduje spolehlivé profesionální posouzení, zda kritéria oceňování na základě geologických a inženýrských znalostí vyhovují.

Ložisko nerostných surovin představuje z hlediska analýzy, popisu, modelování a oceňování složitý systém, které se skládá z relativně samostatných dílčích elementů (ložiskových těles, lokálních akumulací, nerostných agregátů atd.), organizovaných souhrnem vzájemných vazeb do určité více či méně hierarchicky uspořádané prostorové struktury. Je zřejmé, že v příslušné části geologického prostoru musí být podmíněně spojitě minimálně ty vlastnosti, na jejichž základě bylo ložisko definováno. Při výstavbě vlastního geologického modelu ložiska a jeho geometricko-matematického analogonu se musíme opřít o systémový přístup, tedy o zákony systémové a statistické. To v konkrétním vyjádření vyžaduje:

- a) provést na základě získaných geologických informací z průzkumných, případně těžebních prací, uvážení trendů ložiskové a průzkumné geologie a technologického vývoje a zadaných technicko-ekonomických ukazatelů (podmínek využitelnosti) výběr všech geologických, geometrických a technologických veličin, které budou pro řešení nezbytné;
- b) vytvořit systém sběru dat a jejich formalizace a uchovávání v účelové ložiskové databázi;
- c) vyjádřit strukturu studovaného objektu na všech úrovních postižitelných realizovanými průzkumnými pracemi a popsat jim odpovídající materiální nositele základních ložiskových atributů;
- d) vybudovat geometricko-matematický analogon struktury objektu jako základ jeho ocenění a popřípadě simulací vyžadovaných pro jeho racionální využití.

Velmi závažnou a pro účinnost řešení kritickou otázkou je problém sběru dat a vytvoření problémově orientované databáze, adekvátní objektu a stupni jeho poznání. Ze systémového hlediska je důležité vytvořit typologii ložiskových objektů a při tvorbě modelu ložiska respektovat její principy (tab.1.1).

Tab.1.1 Kritéria a hlediska typologie ložiskových těles

kritérium	hledisko	Typ
morfologie	geometrický tvar	izometrický hrubě deskovitý tence deskovitý čočkovitý lineárně protažený nepravidelný
	charakter spojitosti	primárně spojitý primárně nespojitý sekundárně nespojitý primárně i sekundárně nespojitý
statistická distribuce	charakter	jednoduchý smíšený
	typ distribuční funkce	symetrický kladně asymetrický záporně asymetrický
prostorová distribuce	charakter	determinovaný smíšený náhodný
	kontinuita	homogenní nehomogenní
	směrový vývoj	izotropní anizotropní

Je nutno mít na zřeteli, že existuje souvislost mezi prozkoumaností ložiskového objektu a hloubkou poznání jeho struktury. Proto není účelná snaha o podrobnější vyhodnocení, než odpovídá realizovanému systému pozorování a jeho vypovídací schopnosti.

Navíc je zřejmé, že existuje určitá „bariera náhodnosti“, která nedovoluje ani při sebedokonalejším průzkumném systému jít za hranici poznatelnosti objektu.

Nerespektování těchto souvislostí vede ke vzniku řady prakticky závažných problémů. Velmi ilustrativní příklad poskytuje analýza hustoty průzkumných sítí jednotlivých průzkumných etap v české části hornoslezské pánve (tab.1.2).

Tab.1.2 Hustota průzkumných sítí v české části hornoslezské pánve (Schejbal- Schejbalová 1980)

typ průzkumu	etapa	průměrná hustota v m	kategorie zásob
povrchový	vyhledávací	2000	C2
	předběžná	1000	C1
důlní	podrobná	450	C2
		215	C1
	těžební	125	B
		60	A

Použitý přístup vedl k definování dvou skupin kategorií C2 a C1 zcela odlišného stupně poznání. Podle zkušeností se sítě povrchového průzkumu vyznačují velmi nízkou pravděpodobností poznání geologicko-strukturní stavby uhlonosného útvaru a zejména značnou nespolehlivostí identifikace a korelace uhelných slojí zastížených průzkumnými vrty a hodnocení jejich plošného vývoje. Metodika sestavování geologicko-geometrického modelu vyhodnocovaného úseku musí respektovat tyto faktory a hodnotit ty strukturální úrovně, které jsou na realizované úrovni průzkumu spolehlivě odlišitelné.

Význam odhadu a hodnocení zdrojů a zásob nerostných surovin jak v národním, tak i v mezinárodním měřítku vedl k tomu, že se začal provádět jejich audit interními nebo externími auditory, resp. pověřenými auditorskými firmami. Pokud není součástí tohoto auditu, požaduje se rovněž posouzení dopadů využívání ložisek nerostných surovin a aplikovaných hornických a úpravnických technologií na životní prostředí (EIA).

Ve zprávě Výboru pro přírodní zdroje Ekonomické a sociální rady OSN z roku 1994 se konstatuje, že „informace o národním potenciálu nerostných surovinových zdrojů je klíčová pro plánování národního a regionálního rozvoje.“ Nezbytným předpokladem dostupnosti takových informací je odhad a ocenění zdrojů a zásob nerostných surovin.

Praktickou důležitost výpočtu zásob ložisek nerostných surovin velmi dobře vyjadřuje konstatování G.E. McKelveyho (1996): „Průzkumní geologové musí posuzovat hodnotu svých prací podle konečného výsledku – hodnoty objevených ložiskových akumulací vzhledem k vynaloženým prostředkům. Musí posoudit praktickou využitelnost těchto akumulací a rizika s tím spojená. Musí ale také formulovat své poznatky tak, aby byly využitelné a srozumitelné odborníkům, kteří formulují jak státní, tak podnikové surovinové a hospodářské politiky.“

## 2. NÁPLŇ VÝPOČTU ZÁSOB

Obecná formulace výpočtu zásob není jednoduchá, neboť existují rozdílné názory na jeho obsah a rozsah. Je také skutečností, že metodologie výpočtu zásob prošla a nadále prochází zásadní přestavbou, což je vyvoláno jednak enormním nárůstem požadavků na podrobnost, komplexnost, hodnověrnost a včasnost požadovaných výsledných informací, jednak dopadem informačních a výpočetních technologií. V současnosti se výpočet zásob chápe jako velmi široká interdisciplinární činnost bez přesného vymezení, se základním úkolem stanovit nejpravděpodobnější množství zásob nerostné suroviny a užitkových složek v jistém objemu ložiska. Rozsah a obsah je upravován normativně v rámci společností, odvětví nebo států, resp. v současnosti mezinárodně přijatým kodexem, který ale není právně závazný.

Podobně nejsou jednotné názory na obecné schéma výpočtu zásob. Obecně lze vymezit oblast výchozích údajů, která zahrnuje vstupní data a množinu podmínek, jimž musí výpočet vyhovovat a která může být formulována alternativně, dále pak operační oblast, kterou lze rozdělit na koncepční, geologickou a procedurální úroveň řešení v etapě definiční, realizační a interpretační (tab.2.1).

Tab.2.1 Schéma operační oblasti výpočtu zásob (upraveno podle Veselova a Sergijka, 1974)

etapa řešení	úroveň řešení		
	koncepční	geologická	procedurální
definiční	definice geologického prostoru	geologický model ložiska	geometricko-matematický model ložiska
	definice zásob	geologické zásady aplikace	geometrické a matematické postupy aplikace
	definice procedur výpočtu	oblast aplikace procedur výpočtu	matematické formulace procedur výpočtu
realizační		konkrétní model ložiska	realizace výpočtu zásob
interpretační		interpretace výsledků výpočtu	

Dnešní pojetí výpočtu zásob neznamená pouze vlastní početní operace spojené s určením hmotnosti a parametrů zdrojů a zásob nerostných surovin. Tyto operace ve skutečnosti představují za jistých předpokladů provedené statistické nebo geostatistické odhady. Pro zajímavost lze uvést, že už počátkem minulého století byla při určování rudních zásob využita teorie pravděpodobnosti (Watermayer in Truscott, 1947). Výpočet zásob v širokém slova smyslu je tedy rozsáhlý soubor geologických, mineralogických, petrografických, chemicko-technologických, technicko-ekonomických, hydrogeologických, geomechanických, geometrických, výpočetních a kontrolních činností, které v souhrnu zahrnují:

- sběr podkladů a jejich potřebné uspořádání do účelové databáze,
- prověření hodnověrnosti a přesnosti vstupních podkladů,
- sestavení geologického modelu ložiskového objektu,
- geometrizace ložiskových těles podle zadaných technicko-ekonomických ukazatelů,
- odhad hmotnosti zásob nerostné suroviny a užitkových složek v dílčích elementech ložiska a v ložisku,
- ocenění přesnosti odhadu zásob,
- zařazení zásob do příslušných kategorií prozkoumanosti, hospodářského významu a technické použitelnosti,

- *určení jakosti nerostné suroviny, vymezení rozmístění technologických typů suroviny v ložisku a možností jejich racionálního využití,*
- *ohodnocení geologických, báňsko-technických, hydrogeologických a plynových poměrů pro potřeby dobývání*
- *posouzení dopadů těžby, úpravy a využití nerostné suroviny na životní prostředí,*
- *vyhodnocení vhodnosti použité metodiky geologického průzkumu pro daný genetický, morfologický a surovinový typ ložiska,*
- *ocenění hospodářského významu ověřených zásob a v případě průzkumu posouzení účelnosti dalších prací.*
- *v případě podrobného a těžebního průzkumu odvození využitelných zásob.*

Výchozím bodem výpočtu zásob je *sestavení modelu geologické stavby ložiska*. Zvláště při nízkém stupni prozkoumanosti a také u komplikovaných ložiskových objektů jde o úlohu se značným stupněm neurčitosti. V takovém případě nabývá na významu správnost přijaté genetické a metalogenetické koncepce, neboť geologický model musí vycházet z poznání a respektování všech pochodů, jež se podílely na formování ložiskových těles. Opominutí některého z určujících ložiskotvorných faktorů může vést k závažným nedostatkům, které se projeví především v interpretaci geologického modelu ložiska.

Volba správné úrovně vyhodnocení představuje jeden ze základních metodických principů oceňování zásob. V tabulce 2.2 je uvedeno možné schéma vztahů mezi etapou průzkumu, oblastí a objektem studia a objektem vyhodnocení.

Tab.2.2 Schéma vztahů mezi etapou průzkumu, oblastí a objektem studia a objektem vyhodnocení (Schejbal 1997)

<b>průzkumná etapa</b>	<b>oblast studia</b>	<b>objekt studia</b>	<b>objekt vyhodnocení</b>
vyhledání	ložisková oblast, pánev	průzkumná etapa, průzkumné pole	mineralizovaná zóna, slojový horizont
počáteční průzkum	průzkumný úsek, průzkumné pole	ložisko	zóna ložiskových těles
podrobný průzkum	ložisko	osvojovaná část ložiska	ložiskové těleso
těžební průzkum	osvojovaná část ložiska	ložiskové těleso	geologický blok
příprava těžby	ložiskové těleso	geologický blok	těžební blok
těžba	geologický blok	těžební blok	dobývka, porub

V souhrnu je tedy nutno věnovat zvýšenou pozornost – jak je zřejmé z tabulky 2.1 – následujícím bodům:

- *postupu zpracování geologického modelu a geometrizaci ložiskových těles,*
- *procedurám odhadu výpočtových parametrů,*
- *výběru vlastní procedury odhadu zásob,*
- *posouzení spolehlivosti výsledných odhadů.*

*Vyhláška MŽP ČR č.369/2004 Sb. v návaznosti na zákon č. 44/1988 Sb. ve znění návazných zákonů v § 18 uvádí, že při výpočtech nebo přepočtech zásob nerostů se vychází z podmínek využitelnosti zásob, z výsledků vyhledávání a průzkumu ložiska, resp. u dobývaných ložisek také ze skutečností zjištěných při dobývání, z povolení, vyjádření, souhlasů, stanovisek nebo jiných úředních aktů vydaných ve správních řízeních a dotýkajících se vyhledávání, průzkumu nebo dobývání, z vymezení zájmů chráněných zvláštními právními předpisy a z výsledků projednávání střetů zájmů.*

Zásoby nerostů výhradních ložisek se ve smyslu uvedených právních norem vyhodnocují a klasifikují podle zvláštního právního předpisu (pojem výhradní ložiska je upraven v zákoně č. 44/1988 Sb.). V zásadě platí, že výsledkem etapy vyhledávání jsou zásoby vyhledané a výsledkem etapy průzkumu zásoby prozkoumané (viz znění zákona 62 ze dne 14.9.2000). Jestliže se v průběhu dobývání ložiska změni v důsledku nově zjištěných geologických poznatků nebo v důsledku nových podmínek využitelnosti stav posledních vypočtených zásob o více než 10 %, je organizace povinna dokumentovat tuto skutečnost novým výpočtem zásob.

Výpočet zásob a jeho posouzení zabezpečuje podle § 14 zákona č. 44/1988 Sb. věcně příslušná organizace. Ta odesílá výpočet s posouzením MHP ČR a příslušnému OBÚ. K výpočtu zásob připojí organizace návrh na schválení zásob výhradního ložiska. Postup schvalování výpočtu zásob u úkolů hrazených ze státních prostředků uvádějí příslušné předpisy a pravidla Komise pro projekty a závěrečné zprávy (KPZ) MŽP.

*Výsledky výpočtu zásob jsou součástí návrhu na povolení hornické činnosti. Z tohoto důvodu se uvádějí také zásoby, které organizace plánuje k vydobytí („vytěžitelné zásoby“ – tj. bilanční zásoby zmenšené o předpokládané těžební ztráty).*

Výpočty zdrojů a zásob podzemních vod se provádějí pro evidenci využívaných, nevyužívaných a využitelných zdrojů a zásob vod, pro vodohospodářské a národohospodářské plánování potřeby podzemních vod a možností jejich krytí a jako podklad pro řešení konkrétních vodohospodářských úkolů hlavně při jímání vod pro zásobování vodou a pro odvodňování objektů ve stavebnictví či při důlní činnosti (Homola, 1991).

Při vyhodnocování zdrojů podzemních vod pro individuální zásobování pitnou vodou se podle § 19 vyhlášky výpočet zásob neprovádí, pokud to není objednavatelem prací požadováno. Kvalifikovaný odhad využitelné vydatnosti zdroje pro navrhovaný jímací objekt a dosah vlivů předpokládaného jímání vychází ze zhodnocení hydrogeologických poměrů území, sledování hladiny podzemní vody, jednoduché srážkové bilance, zhodnocení vydatnosti pramenů nebo studní ve vzdálenosti možného ovlivnění jímacího objektu, podle provedených hydrodynamických zkoušek nebo podle analogie.

Charakteristickým rysem vývoje metodiky výpočtu zásob je rostoucí důraz na posouzení ekonomické vhodnosti ověřených zásob k průmyslovému využití. Ukazuje se totiž, že právě takovéto hodnocení má větší praktický význam, než klasifikace podle stupně prozkoumanosti. Z tohoto důvodu se klade stále větší důraz na zpracování předběžné nebo řádné studie proveditelnosti projektovaných průzkumných či těžebních záměrů.



### 3. TECHNICKO-EKONOMICKÉ UKAZATELE ZÁSOb NEROSTNÝCH SUROVIN

Aby přírodní akumulace nerostů nebo hornin byla považována za ložisko nerostné suroviny, musí vyhovovat požadavkům využitelnosti ve zpracovatelském průmyslu (např. v případě rudních surovin minimálnímu obsahu určitého kovu a maximálnímu obsahu škodlivých příměsí, jistým fyzikálně-mechanickým vlastnostem v případě stavebních materiálů apod.). Pro definování geologických zásob nerostné suroviny v ložisku musí dále splňovat požadavky technologie dobývání a úpravy (např. minimální mocnost ložiskového tělesa, vyhovující úložní poměry, upravitelnost atd.). Podmínky využívání těchto zásob jsou odvozeny především od ceny nerostné suroviny a od situace na trhu se surovinami. Jsou také určovány technologickými a ekonomickými podmínkami dobývání, úpravy, transportu a zpracování.

Je tedy zřejmé, že je nutno rozlišovat uvedené skupiny ukazatelů a jim odpovídající modely akumulací nerostů a hornin (obr.3.1).



Obr.3.1 Vztahy mezi přírodními akumulacemi nerostů a hornin a odvozenými modely

Technicko-ekonomické ukazatele, které můžeme obecně vymezit, lze obecně rozdělit do čtyřech skupin:

- *kvantitativní ukazatele* – minimální hmotnost zásob;
- *kvalitativní ukazatele* - minimální a mezní obsahy užitkových složek, případně minimální užitná hodnota suroviny u komplexních rud, maximální obsahy škodlivin, případně minimální ukazatele fyzikálně-mechanických a technologických vlastností;
- *ukazatele ložiskových a úložních poměrů* – minimální mocnost, maximální mocnost započítatelných hluchých vložek (proplástků), maximální hloubka uložení, maximální skrývkový poměr, hydrogeologické poměry atd.;
- *ostatní ukazatele* – ochranná pásma, dopravní vzdálenosti atd.

Je pochopitelné, že význam ukazatelů využitelnosti se bude odlišovat u hlavních skupin nerostných surovin. Vedle společného ukazatele minimální hmotnosti zásob budou prvořadá:

- u ložisek rudních, chemických a agrochemických surovin hlediska jakosti;
- u uhelných ložisek hlediska minimální mocnosti a maximální popelnatosti;
- u ložisek stavebních, cihlářských, cementářských, vápencových, keramických a žárovzdorných surovin chemické, mineralogicko-petrografické a fyzikálně-mechanické charakteristiky pro požadované druhy výrobků a výrobní podmínky.

*Ve všech uvedených ukazatelích, ať mají naturální charakter, je imanentně obsažený ekonomický základ. Jak už bylo uvedeno, jsou v podstatě odvozovány od cen surovin.*

Ve skladbě ukazatelů využitelnosti lze vymezit tři hierarchické úrovně hledisek podle významu a úlohy v procesu hodnocení, a to:

- a) *Ukazatele, které vymezují geologické nerostné zdroje v obecném smyslu.* To znamená, že stanovují, jaké akumulace nerostů a hornin jsou nebo budou z hlediska současných a očekávaných průmyslových technologií možným předmětem využití (ukazatele kvality).
- b) *Ukazatele, které ovlivňují hmotnost a kvalitu zásob* (minimální obsah užitkových složek, maximální obsah škodlivých složek, požadované technologické vlastnosti, minimální hmotnost zásob).
- c) *Ukazatele, které usměrňují ohraničení bloků zásob, resp. určují zásady jejich vylučování.*

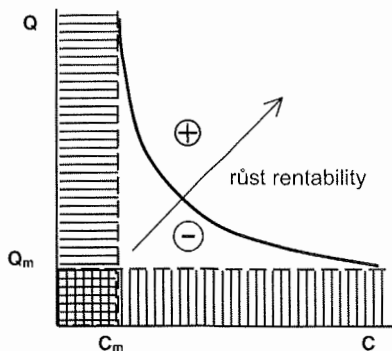
Prvá skupina vychází ze stavu a očekávaného vývoje cen a spotřeby nerostných surovin na světovém surovinovém trhu. Je také výrazně závislá na technologickém vývoji. Právě tento faktor vnáší do zaměření ložiskového průzkumu značný prvek nejistoty. Nové technologie mohou vést jednak k požadavku zajištění nových druhů nerostných surovin, jednak v důsledku nově vyvinutých energeticky a materiálově úsporných technologií (malopáněvní metalurgie, superslitiny, recyklace apod.) mohou výrazně změnit situaci na surovinovém trhu a tudíž ceny surovin. Z uvedených vět vyplývá, že tato skupina ukazatelů slouží především pro vedení ložiskové prospekce a průzkumu zaměřeného na suroviny zajímavé z hlediska dlouhodobé státní hospodářské politiky, ať bude hrazen ze státních nebo soukromých prostředků. V tomto smyslu je zavedení institutu podmínek využitelnosti do zákona 44/1988 Sb. ve znění pozdějších předpisů a požadavky uvedené ve vyhlášce MŽP 369/2004 Sb. oprávněné.

Druhá a třetí skupina ukazatelů má význam pro řešení záměrů podnikatelských subjektů (veřejných nebo soukromých) vedoucích k využití zdrojů nerostných surovin. Zejména druhá skupina je určována z předpokládaných nákladů na těžbu a úpravu (včetně nákladů na výstavbu potřebných zařízení) za předpokladu, že náklady musí být ekvivalentní získané hodnotě za konečný (prodejní) produkt. V těchto rozvahách jsou určující světové ceny surovin a možnosti odbytu, z nichž se odvozují vztahy mezi parametry výpočtu zásob, provozními náklady a očekávaným ziskem. Technicko-ekonomické ukazatele, označované v uvedených zákonných normách jako podmínky využitelnosti, jsou tedy výhradně předmětem úvah podnikatelského subjektu a jeho záměru. Tuto skutečnost zdůrazňují nové směrnice OSN „European Code for Reporting of Mineral Exploration Results, Mineral Resources and Mineral Reserves“ platné od roku 2001, které vyžadují podrobný rozbor této problematiky ve studii proveditelnosti (feasibility study), podle osnovy uvedené v tabulce 3.1.

Tab.3.1 Osnova studie proveditelnosti podle Evropského kodexu z r.2001

Infrastruktura	veřejná vybavenost; dopravní trasy; pracovní síla
Geologie	struktura, velikost, tvar ložiska; obsahy, kvalita, hustota; hmotnost a kvalita zásob/zdrojů; další důležité geologické charakteristiky
Právní náležitosti	práva a vlastnictví; socioekonomické dopady; přijetí veřejností; územní požadavky; vládní vlivy
Provozní náležitosti	mechanika hornin; důlní zařízení; těžební metody; plán výstavby; technologické pilotní testy; úpravna; ukládání odpadů; vodní hospodářství; doprava; zajištění energií; pracovní síly; pomocná zařízení a služby; plán likvidace
Environment	(pokud neexistuje samostatná studie)
Analýza trhu	
Finanční analýza	kapitálové náklady; predikce peněžního toku; investiční náklady; vývoj inflace; výrobní náklady; citlivostní analýza; náklady na likvidaci; náklady na rekultivaci
Hodnocení rizik	(citlivostní analýza může vyžadovat nezávislé ověření)

Z hlediska definice ložiskového objektu je nejdůležitější stanovení závislosti mezi základním kvalitativním a kvantitativním ukazatelem, obvykle mezní kovnatostí nebo mocností a hmotností zásob (obr.3.2). U každého ložiska vždy existuje minimální množství nerostné suroviny  $Q_m$  a u každé suroviny minimální kvalita  $C_m$ , pod kterými nelze za daných ekonomických poměrů ložisko využívat. Mezi těmito parametry existuje závislost, která vymezuje pole nerentabilních a rentabilních zásob. Vzhledem k řadě omezujících podmínek je cílem definovat dynamickou minimální průmyslovou hodnotu, což lze řešit variantními výpočty nebo metodami matematického programování. Vzhledem ke komplikovanosti vztahů mezi technickými a ekonomickými ukazateli je lepší využít variantní přístup. Pro orientační ocenění závislosti uvedených dvou základních parametrů můžeme výhodou využít jednoduché analytické závislosti typu *Laskyho zákona*.



Obr.3.2 Schéma závislosti mezi obsahem a hmotností zásob

Označíme-li  $c_p$  průměrný obsah užitkové složky nerostné suroviny,  $c_m$  mezní obsah a  $Q$  zásoby suroviny, pak podle Laskyho (1950) vztahy mezi těmito veličinami popisují vztahy

$$c_p = \alpha - \beta \times \ln Q,$$

$$c_m = \alpha - \beta \times (\ln Q + 1)$$

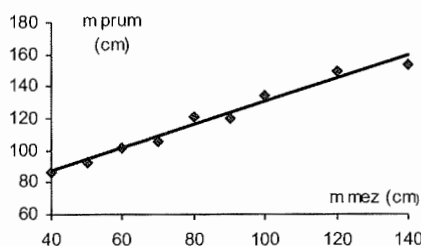
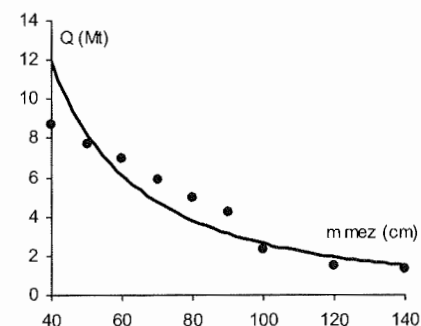
a odtud

$$Q = e^{\left(\frac{\alpha - \beta - c_m}{\beta}\right)},$$

$$c_p = \beta + c_m$$

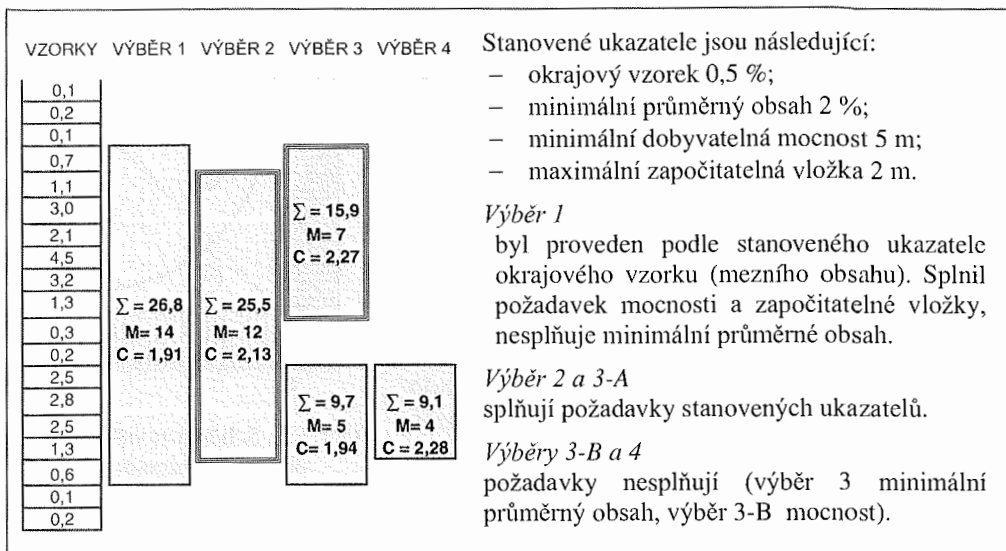
Příklad závislosti je uveden na obr.1.1 pro závislost hmotnosti zásob a průměrné kovnatosti zásob na mezní kovnatosti. Podobnou závislost lze stanovit mezi užitnou hodnotou a hmotností zásob či pro vztah mocnosti a hmotnosti zásob (obr.3.3). Poznamenejme, že v daném případě jsou závislosti zkráceny v důsledku částečného vydobyví zásob.

Empiricky odvozený a na velkém počtu případů prověřený Laskyho zákon považuje řada autorů za velmi dobrý interpolační vzorec a za prakticky vyhovující aproximaci pro případ lognormálního rozdělení hodnot posuzované veličiny. Je ale známo, že zákon vyhovuje pouze v těch případech, kdy koeficient variace veličiny se pohybuje okolo 100 %. Proto byly navrženy různé úpravy (Margolin 1974 aj.).



Obr.3.3 Závislost ověřených hmotnosti zásob a průměrné mocnosti na mezní mocnosti v dobývacích prostorech Dolu Julius Fučík v Petřvaldě

Při definování podmínek využitelnosti se obvykle stanovuje hodnota minimálního průmyslového kvalitativního ukazatele (např. obsahu užitkové složky) a jeho mezní hodnota, dále minimální dobývatelná mocnost ložiskového tělesa, případně maximální mocnost vložek. Jejich praktický význam je patrný z příkladu na obr. 3.4. Reálné hodnoty ukazatelů se odvozují jedním z výše uvedených postupů na základě ekonomicko-technických podmínek.



Obr.3.4 Postup uplatnění podmínek využitelnosti

Při úvahách spojených s odvozováním určujících ukazatelů posuzování přírodních surovinových akumulací (podmínek využitelnosti) se musí respektovat specifické rysy, které charakterizují tuto oblast a speciálně geologicko-průzkumnou a hornickou činnost. Gentry (1988) mezi ně řadí:

- neobnovitelnost zdrojů nerostných surovin;
- nezničitelnost celé řady produktů nerostného surovinového komplexu (zejména kovů), vedoucí ke vzniku druhotného trhu;
- dlouhé předvýrobní období zahrnující prospekci, průzkum a výstavbu důlních a úpravnických zařízení;
- vysokou investiční náročnost, která závisí na surovinovém a geneticko-morfologickém a průzkumném typu nerostné akumulace;
- vysoké riziko dané geologickými, technickými, ekonomickými a politickými faktory.

Proto současná klasifikace OSN klade silný důraz na posuzování životaschopnosti projektovaných průzkumných a těžebních záměrů, což se projevuje ve striktních požadavcích na hodnocení projektů právě s ohledem na technicko-ekonomické podmínky (tab.3.2).

V rámci bývalého sovětského bloku byly základní principy kondic, které byly podle Pluskala (1992) základním pilířem socialistické ideje využívání nerostných surovinových zdrojů a kumulace nerostného bohatství ve státních surovinových bilancích, sjednoceny na 26. zasedání Stálé komise pro geologii RVHP v roce 1974. Tyto principy byly implementovány do zákonných předpisů jednotlivých států.

Zákon č. 44/1988 Sb. ve znění pozdějších předpisů uvádí v § 13, že zjištěné a ověřené množství zásob odpovídá podmínkám využitelnosti, které jsou podkladem pro výpočet zásob. Konstatuje se, že „podmínky využitelnosti zásob jsou souborem ukazatelů množství, jakosti nerostů, geologických, báňsko-technických, ekologických a jiných ukazatelů, podle nichž se posuzuje vhodnost zásob výhradních ložisek k využití.“ (Na problematičnost zavedení institutu podmínek využitelnosti do současných zákonných norem už bylo poukázáno).

Vyhláška MŽP ČR č.369 ze dne 3.června 2004 o projektování a vyhodnocování geologických prací, oznamování rizikových geofaktorů a o postupu při výpočtu zásob výhradních ložisek uvádí v § 17 požadavky na postup zpracování podmínek využitelnosti a na

obsah důvodové zprávy. V ní musí být uvedeny postupy stanovení podmínek (v případě kvantitativních ukazatelů včetně přesnosti stanovení). Podle vyhlášky se podmínky využitelnosti nezpracovávají pro likvidační výpočet zásob.

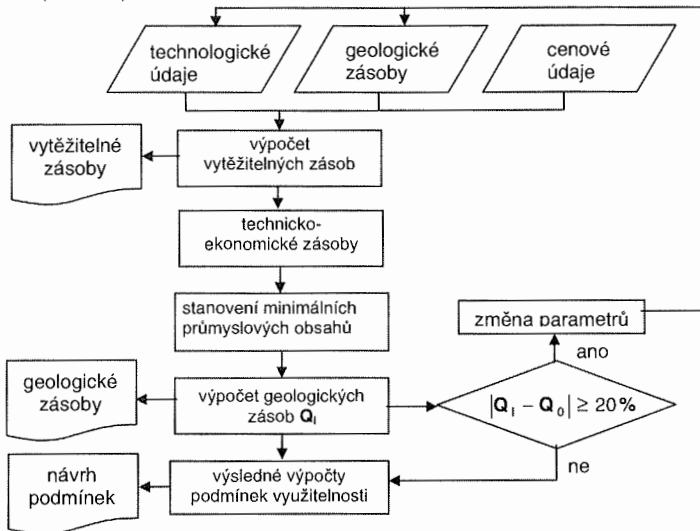
Tab.3.2 Definice etap ocenění využitelnosti projektovaných prací (European Code, 2000)

<p><b>Báňská zpráva</b></p>	<p>Báňská zpráva je chápána jako dokumentace stavu rozvoje a těžby ložiska v průběhu jeho ekonomického života včetně důlních plánů. Obecně je prováděna provozovatelem dolu. Studie bere v úvahu hmotnost a kvalitu nerostů vytěžených za posuzované období, změny kategorií ekonomických podmínek v důsledku změn cen a nákladů, vývoj relevantní technologie, nových environmentálních nebo dalších předpisů a údaje o průzkumu konkurující těžbě. Reprezentuje současný stav ložiska detailními a přesnými, současnými údaji o zbyvajících zásobách a zdrojích.</p>
<p><b>Studie využitelnosti</b></p>	<p>Studie využitelnosti detailně oceňuje technickou spolehlivost a ekonomickou životaschopnost báňského projektu, slouží jako podklad pro investiční rozhodnutí a jako bankovní dokument pro financování projektu. Studie představuje audit všech geologických, inženýrských, environmentálních, právních a ekonomických informací obsažených v projektu. Obecně je vyžadována EIA. Nákladové údaje musí být přiměřeně přesné (obvykle <math>\pm 10\%</math>), aby poskytly nezbytné podklady pro investiční rozhodnutí. Informační základna spojená s touto úrovní přesnosti shrnuje stav zásob vycházející z výsledků detailního průzkumu, technologických pilotních zkoušek a kalkulací investičních a výrobních nákladů včetně požadavků na potřebné zařízení. Detailní seznam položek vyjmenovaných ve studii je uveden v závěrečné verzi.</p>
<p><b>Předběžná studie využitelnosti</b></p>	<p>Předběžná studie využitelnosti poskytuje předběžné ocenění ekonomické životaschopnosti ložiska a tvoří základ pro oprávnění dalších výzkumů (detailního průzkumu a studie využitelnosti). Obvykle uzavírá úspěšnou průzkumnou kampaň a shrnuje všechny geologické, inženýrské, environmentální, právní a ekonomické informace získané po dobu projektu. V projektu, který dosáhl relativně pokročilého stupně, předběžná studie využitelnosti může mít chybovost <math>\pm 25\%</math>. U méně pokročilých projektů lze očekávat větší chybu. V předběžné studii využitelnosti se v mezinárodním měřítku pro vyjádření úrovně přesnosti používají různé termíny. Údaje vyžadované pro dosažení této úrovně přesnosti zahrnují hmotnost a další charakteristiky zásob/zdrojů, které jsou založeny na detailním a předběžném průzkumu, technologických zkouškách v laboratorním měřítku a odhadech nákladů např. podle katalogů nebo srovnatelných báňských operací. Předběžná studie využitelnosti se věnuje stejným položkám jako ve studii využitelnosti, ale ne tak detailně.</p>
<p><b>Geologická studie</b></p>	<p>Geologická studie je počáteční ocenění ekonomické využitelnosti. Toto ocenění se získá použitím smysluplných mezních hodnot kvality, mocnosti, hloubky uložení a nákladů, odhadnutých ze srovnatelných báňských operací. Kategorie ekonomické životaschopnosti nemohou být nicméně obecně definovány geologickou studií vlivem chybějících detailů. Odhadnutá hmotnost zdrojů může indikovat, že ložisko je pravděpodobně ekonomicky zajímavé, tj. v rozmezí ekonomické až potenciálně ekonomické. Geologická studie je obecně prováděna v následujících čtyřech hlavních etapách: rekognoskace, vyhledávání, předběžný průzkum a podrobný průzkum. Cílem geologické studie je identifikovat mineralizaci, určit kontinuitu, hmotnost a kvalitu ložiska a tím definovat investiční příležitost.</p>

Při stanovování podmínek využitelnosti můžeme v zásadě rozlišit v závislosti na etapě prací tři přístupy:

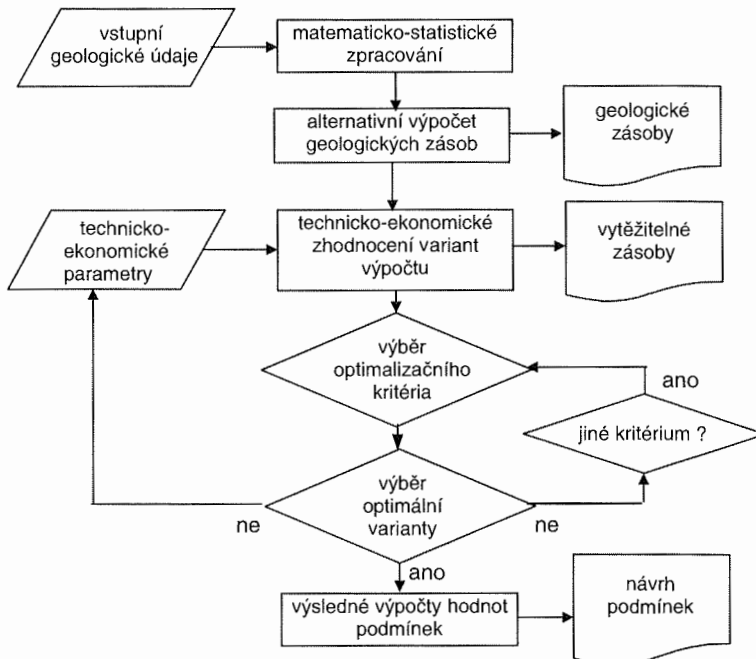
- 1) V etapě geologické prospekce a průzkumu se zpravidla postupuje tak, že jsou přejímány již dříve stanovené ukazatele z obdobných záměrů. V takovém případě je nutno uvést zdroj, odkud je postup stanovení ukazatelů převzat. Nejsou-li údaje o způsobu jejich stanovení známy, uvedou se podle již citované vyhlášky č. 369 tato skutečnost opět s odkazem na zdroj, ze kterého jsou ukazatele přebírány.

- 2) V podrobnějších průzkumných etapách a těžebních záměrech lze použít analytický způsob výpočtu ukazatelů využití ložiskového objektu. Tento postup je použitelný tehdy, kdy je možno formulovat analytické závislosti ložiskových, technologických a ekonomických parametrů (obr.3.5).



Obr.3.5 Schéma analytického způsobu stanovení ukazatelů podmínek využitelnosti

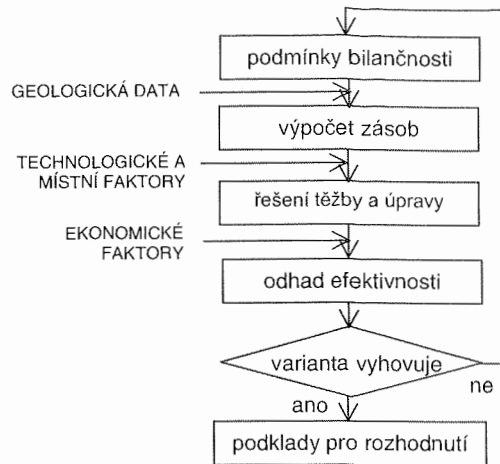
- 3) Variantní způsob stanovení ukazatelů využití ložiskového objektu (obr.3.6) umožňuje zohlednit složité vztahy mezi větším počtem naturálních, ekonomických a technologických ukazatelů, které prakticky nelze popsat analytickými vztahy. Účelnost takového přístupu je zdůrazňována už od čtyřicátých let minulého století.



Obr.3.6 Schéma variantní metody stanovení hodnot podmínek využitelnosti

Při určování hodnot podmínek využitelnosti variantním přístupem má velký význam *volba kritéria optimality* využití ložiskového objektu.

Může to být maximalizace hmotnosti zásob, maximalizace zisku, maximalizace produktu, minimalizace nákladů, poměr přírůstku ceny ložiska k úbytku zásob, nebo i maximalizace životnosti dolu. Dynamické modelování technicko-ekonomických ukazatelů ložiska, tj. modelování vztahů zásoby nerostné suroviny – zásoby užitkové složky – kvalita zásob využívá podmínky využitelnosti jako variabilní součást (tedy nikoliv jako určité konstanty v dřívějším smyslu) tohoto dynamického systému s prioritním cílem *stanovit nejvýhodnější hodnoty podmínek*, zajišťující optimální vyhodnocení zásob,



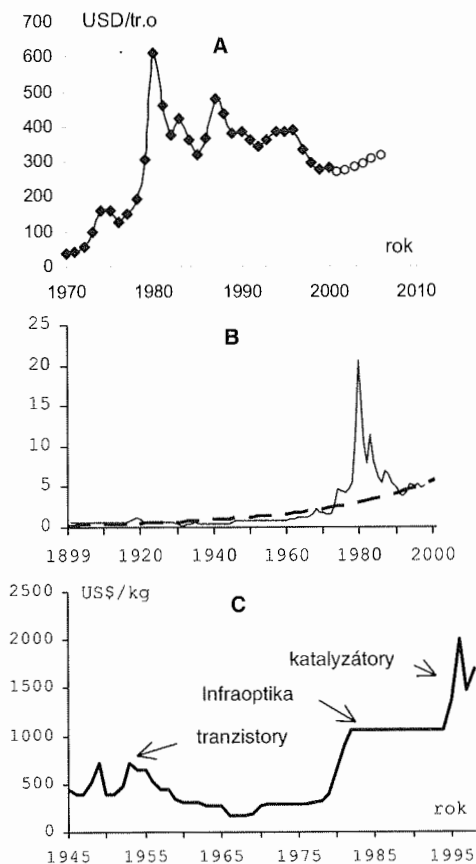
Obr.3.7 Schéma dynamického technicko-ekonomického hodnocení ložiska (Holub1992)

zajišťující optimální vyhodnocení zásob, které tvoří základ pro investiční, resp. těžební záměr. Zjednodušený postup takového modelování popisuje obr.3.7. Podle zkušeností lze jako modely rudních akumulací uvažovat dva typy: jednak ostře omezená ložisková tělesa, která mají poměrně kontrastní zrudnění, jednak ložiska postupně přecházející do okolí s nektrastním zrudněním.

Na závěr je třeba zdůraznit dva kritické momenty stanovování podmínek využitelnosti přírodních akumulací nerostných surovin.

Prvým z nich je *odhad vývoje cen* surovin a investičních, těžebních a úpravářenských nákladů. Právě ceny jsou jedním ze základních faktorů, ze kterých vychází jakékoliv odvozování podmínek využitelnosti. Existuje více typů cen, které je třeba při analýze odlišovat. Lze odlišit burzovní a producentské krátkodobé (spotové) a dlouhodobé ceny.

Ceny nerostných surovin kolísají v krátko-, středně- a dlouhodobém měřítku v závislosti na poptávce a nabídce. Mohou být také ovlivněny státními zásahy. Nejznámější příklad je opuštění zlatého standardu v USA, které vedlo k výraznému vzrůstu cen zlata (obr.3.8-A). Ceny mohou být ovlivněny spekulativními zásahy.



Obr.3.8 Vývoj cen zlata (A), stříbra (B) a germania (C).

Velmi známý příklad je snaha o ovládnutí světového trhu stříbra na rozhraní 70. a 80. let minulého století, kdy došlo k prudkému, ale jen krátkodobému vzestupu ceny (obr. 3.8-B). Zcela zásadním způsobem může být vývoj cen surovin ovlivněn rozvojem nových technologií, např. náhradou mědi ve spojových systémech optickými vlákny, nebo objevem a výrobou polovodičových prvků a později infraoptických přístrojů a katalýzy polymerů v ceně germania (obr. 3.8-C). V poslední době začal výzkum využití germania ve zdravotnictví, neboť se zdá, že působí jako antioxidant a elektrostimulant, přispívá ke zvýšení imunity apod. Po roce 2000 došlo k poklesu ceny germania v důsledku přesycení trhu.

Cílem analýzy časových řad cen nerostných surovin je odhalení charakteru chování analyzované řady, pochopení příčin změn a nalezení vhodného predikčního modelu. K tomu se používají metody založené na expertních odhadech (brainstorming či delfská metoda), techniky studia trendů (regresní analýza, metody vyhlazování a filtrace, autokorelační analýza, harmonická analýza a její moderní varianty), teorie deterministického chaosu a ekonometrické modely založené na regresní analýze. Cílem je odhalit středně a dlouhodobé trendy, což je s ohledem na dlouhodobost cyklu průzkumných, výstavbových a těžebních prací nezbytné.

Druhý velice kritický moment představují vstupní *údaje o geologickém modelu ložiskového objektu*. Je ale pravdou, že ani nejsložitější a nejrafinovanější techniky stanovení podmínek jeho využití nemohou vést k dobrým výsledkům, pokud nejsou spolehlivě poznány geologické charakteristiky ložiska a respektovány technické podmínky jeho využití.



## 4. VZORKOVÁNÍ A PROVĚŘOVÁNÍ HODNOVĚRNOSTI DAT

Vzorkování zkoumaných geoobjektů je standardní součástí průzkumných a těžebních prací. V ložiskovém průzkumu je základním cílem zjištění údajů o kvalitě nerostné suroviny, tj. obsahu užitkových a škodlivých složek, technologických vlastnostech, mineralogickém a petrografickém složení a fyzikálně-mechanických charakteristikách nerostné suroviny a okolního horninového komplexu atd. Na základě výsledků vzorkování se určují parametry výpočtu zásob, v případě neostrých hranic se stanovuje morfologie ložiskových těles, jsou vyčleňovány technologické typy suroviny apod.

Vzorek představuje obecně stanovení hodnoty sledované veličiny/veličin v malém objemu v jistém místě geoobjektu pro potřeby jeho hodnocení. Může být realizován různým způsobem podle povahy řešeného problému a vlastností geoobjektu.

### 4.1. TYPY VZORKOVÁNÍ PEVNÝCH NEROSTNÝCH SUROVIN

Vzorkování lze v zásadě rozdělit do dvou tříd a to na vzorkování hmotné a vzorkování nehmotné. Přehled metod vzorkování v závislosti na etapě prací uvádí tab.4.1

Tab.4.1 Metody vzorkování, druhy vzorků a účel vzorkování

ETAPA	METODY	VZORKY	HMOTNOST VZORKU	ÚČEL VZORKOVÁNÍ	
vyhledávání	vzorkování odkryvů	kusové	< kg	petrograf.-mineralog.	
	vzorkování rýh a šachtic	kusové a zásekové	n kg (n = 0.2-10)	ověření výskytu nerostné suroviny	
	vzorkování vrtů	jádro, vrtná drť	n kg		
	geochemické práce	vzorky půd, vod, rostlinstva		zjištění geochemických anomálií	
	geofyzikální práce	měření fyzikálních vlastností	-	zjištění anomálií fyzikálních polí	
průzkum	vzorkování vrtů	jádro, vrtná drť/kal	n kg	1) stanovení hodnot ložiskových veličin 2) definování typů rudy 3) odhad zásob	
	vzorkování důlních prací	bodové vzorky, záseky, vývrty	10 - 100 kg		
	nepřímé vzorkování	rtg.fluorescenční			
		magnetometrické			
		radiometrické			
radionuklidové					
UV-fluorescenční					
těžební průzkum a těžba	vzorkování důlních děl	záseky, vývrty	5-50 kg	omezení těžebních bloků a technologických typů rud	
	vzorkování důlních průzkumných vrtů	jádro, vrtná moučka	n kg		
	vzorkování těžebních vrtů	vrtná moučka	n kg	těžba bloků a kontrola těžby	
	velkoobjemové vzorky		sta až tisíce kg	kontrola těžby a úpravy	

Vzorky lze rozlišit podle způsobu odběru (kusové, zásekové, odstřelové, vrtné atd.), podle místa odběru (vzorky z vrtů, důlních děl, hald apod.) či podle účelu (chemické, mineralogické, technologické a j.).

### 4.1.1. VZORKOVÁNÍ HMOTNÉ.

Je založeno na odběru hmotných vzorků hornin, ložiskové výplně, půd, vod a rostlinstva. Řadí se sem vzorky z přirozených a umělých odkryvů, vrtné vzorky, vzorky z báňských prací, vzorky z přirozených a umělých zdrojů vod atd.

#### Vzorkování odkryvů.

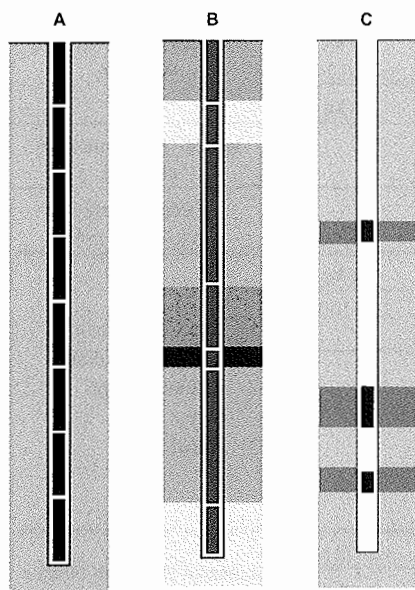
Na odkryvech se odebírají převážně kusové vzorky rozmístěné tak, aby postihly petrografické typy a jejich přeměny a specifické mineralogické charakteristiky. Tyto vzorky se nepoužívají pro potřeby výpočtu zásob. V případě, že jde o výchoz ložiskového tělesa, odebírají se rovněž zásekové vzorky.

#### Vzorkování průzkumných rýh a šachtic

Základním typem vzorků jsou kusové vzorky a záseky. V ojedinělých případech se používají velkoobjemové vzorky pro určení technologických vlastností nerostné suroviny.

#### Vzorkování vrtů

Jádrové průzkumné vrty se vzorkují souvisle v pravidelných segmentech, souvisle v nepravidelných segmentech (např. podle horninových typů nebo podle technologických typů nerostné suroviny) nebo výběrově v určitých intervalech podle vývoje ložiskonosného komplexu (obr.4.1). V případě bezjádrových vrtů se vzorkuje vrtná drť nebo kal, a to průběžně, nebo jen v zájmových intervalech.



Obr.4.1 Vzorkování průzkumných vrtů.

- A - souvislé pravidelné,
- B - souvislé nepravidelné,
- C - výběrové

Prakticky velmi důležitou podmínkou spolehlivosti jádrových vzorků je dostatečný výnos jádra (zpravidla 80 - 90 %). Požadavky na výnos jádra z ložiskových těles a horninového komplexu musí být definovány v rámci projektování průzkumného programu, aby projektant vrtných prací mohl volit vhodnou technologii vrtání a jádrování a zajistit tak reprezentativní vzorky. V současné době převažuje diamantové vrtání, které zabezpečuje požadavkům vyhovující výnos jádra. V případě nedostatečného výnosu jádra se jako náhradní používá *boční vzorek* (boční odběr jádra – BOJ). U jiných vrtných technologií je základním typem vzorku tzv. *výplachový vzorek - vrtná drť a kal* (rotarové vrtání, vrtání s nepřímým proplachem a

hydrotransportem jádra, náběrové vrtání apod.) nebo případně *vrtná moučka* (plnoprofilové vrtání se vzdušným proplachem). Reprezentativnost těchto typů vzorků je mnohem nižší, neboť dochází k selektivnímu rozduřování a míšení materiálu z různých objektů (ložiskových těles a okolních hornin).

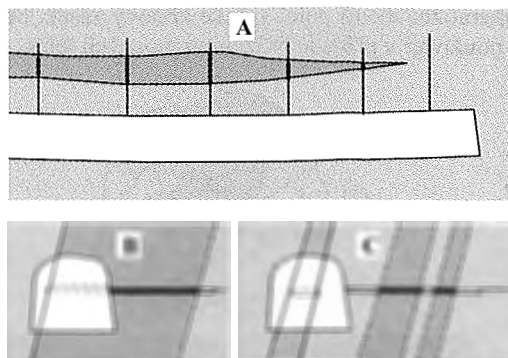
V rámci těžebního důlního průzkumu se vedle maloprofilových jádrových vrtů často používá *vzorkování krátkými vrty*, ze kterých se odebírají vrtná moučka nebo kal (obr.4.2). Takový systém vzorkování se uplatňuje při průzkumu ložiskových těles s nevhodnými

fyzikálně-mechanickými vlastnostmi rudniny (obr.4.2-A), při průzkumu těles, jejichž mocnost přesahuje rozměr důlní chodby (obr.4.2-B) a při v případě těles složitě stavby (obr.4.2-C).

Obr.4.2

Vzorkování krátkými vrty v rámci těžebního průzkumu

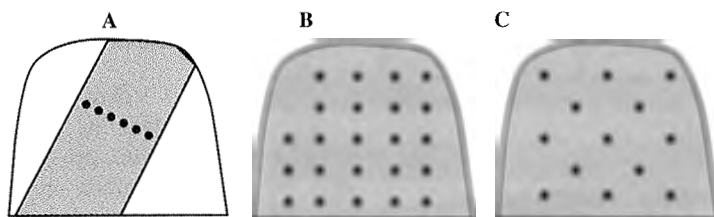
- A - vzorkování rudního tělesa ze směrné chodby,
- B - vzorkování na plnou mocnost tělesa,
- C - vzorkování složitě rudního tělesa



### Vzorkování báňských prací

Ke vzorkování důlních děl se používají vzorky různého typu, a to bodové, zásekové, plošné a velkoobjemové. Vedle toho se při těžbě ložiska používají vzorky vozové, skipové, zásobníkové apod. Využití vzorků určitého typu závisí na vlastnostech mineralizovaného pole (především jeho variabilitě).

*Bodové (otlukové) vzorky* se skládají z kousků ložiskové výplně stejné velikosti odebrané v pravidelné síti vhodného tvaru z plochy důlního díla - čelby, boku či stropu tak, aby charakterizovaly vývoj tělesa v daném místě (obr.4.3). V případě nerostných surovin s rovnoměrným prostorovým rozložením užitkových složek se doporučuje odebrat vzorek složený z cca 15 kousků, u nerovnoměrného rozložení cca 25 kousků a v případě velmi nerovnoměrného rozložení až 100 kousků. Je samozřejmé, že souhrnný vzorek musí splňovat podmínku požadované hmotnosti. Jde o velmi rychlou metodu odběru vzorku, jejíž použití je třeba zdůvodnit porovnáním s přesnějšími metodami. Podle studií provedených v průzkumných organizacích bývalého Československa jde způsob plně srovnatelný se zásekovým vzorkováním.

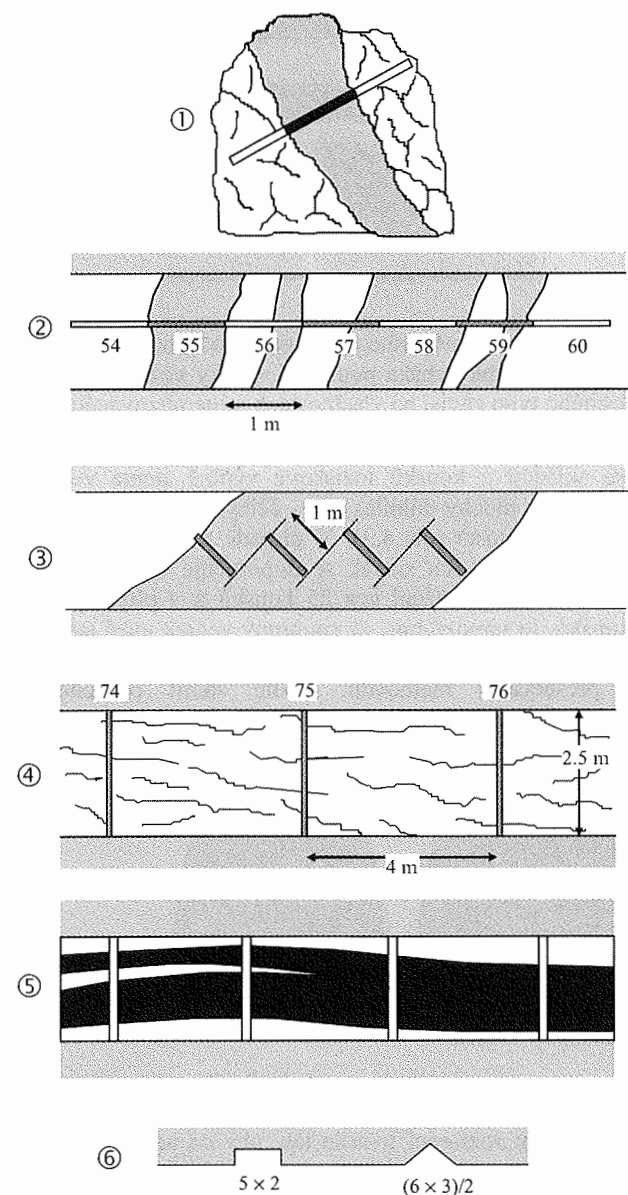


Obr.4.3 Typy bodového vzorkování. A - tzv. bodový zásek, B,C - plošný čelbový vzorek

*Zásekové vzorkování* je pro svou univerzálnost a spolehlivost nejrozšířenějším způsobem vzorkování důlních děl jak v ložiskovém průzkumu, tak při těžbě. Vzorky se rozmísťují podle možností daných způsobem rozfárání ložiska tak, aby co nejlépe postihly vlastnosti ložiskového tělesa. Příčný průřez záseku, který se volí obdélníkový nebo trojúhelníkový (obr.4.4.6), musí být v rámci průzkumného programu konstantní a musí zajistit požadovanou hmotnost základního vzorku. Obvykle se pohybuje kolem 10 - 15 cm<sup>2</sup>.

V průzkumných rýhách se zásek odebírá z boku nebo ze dna rýhy. Čelbové záseky (obr.4.4.1) se v závislosti na úklonu tělesa odebírají ve směru pravé, horizontální nebo vertikální mocnosti.

V případě malé mocnosti se v čelbě odebírají dva až tři záseky pro zajištění dostatečné hmotnosti vzorku. Nejsou-li v případě mocných těles známy směry anizotropie mineralizovaného pole, volí se křížový zásek. Stěnové, obvykle dělené (segmentové) záseky se používají v případě průřezu mocných těles.



Mohou být uspořádány ve směru pravé (obr.4.4.1, obr.4.4.3) nebo horizontální mocnosti (obr.4.4.2). V mocných a v ploše uložených tělesech se záseky odebírají vertikálně buď v celém profilu důlní chodby (obr.4.4.4), nebo v rozsahu mocnosti tělesa (obr.4.4.5). V případě strmě uložených ložiskových těles se používají stropní záseky.

Obr.4.4

Zásekové vzorkování:

- 1 - čelby,
- 2,3 - mocného strmě uloženého rudního tělesa se složitou strukturou,
- 4 - ploše uloženého rudního tělesa s homogenní strukturou,
- 5 - zásekové vzorkování uhelné slaje
- 6 - příklad šířky a hloubky záseku v cm

Velmi málo využívané je s ohledem na pracnost *plošné vzorkování*, při kterém se z celé plochy čelbou otevřeného tělesa odebírá vzorek o tloušťce 3-5 cm. Tento způsob vzorkování má své oprávnění pouze v případě velmi variabilního zrudnění.

*Velkoobjemové vzorkování* se používá jednak pro účely technologického výzkumu upravitelnosti a zpracovatelnosti

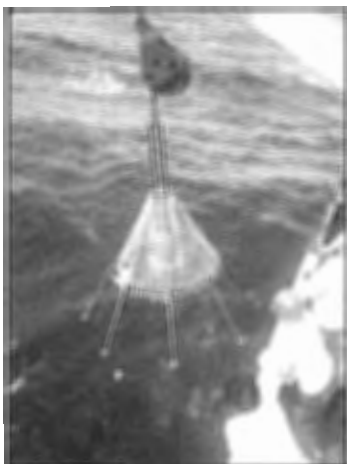
nerostné suroviny, jednak pro výzkum velmi variabilních typů nerostných surovin (např. drahých kovů, drahých kamenů, optických materiálů, slíd atd.). Někdy ani takovýto způsob vzorkování nedává dostatečně spolehlivý obraz o obsahu a distribuci užitečných složek ve zkoumaném ložiskovém tělese. V takovém případě se používá *vzorkování pokusnou těžbou*.

#### 4.1.2. VZORKOVÁNÍ MOŘSKÉ VODY A SEDIMENTŮ MOŘSKÉHO DNA.

Vyhledávání, průzkum a těžba nerostných surovin moře se stejně jako na pevnině opírá o odběr vzorků. Pro vzorkování mořské vody, sedimentů a nerostných surovin mořského dna byla vyvinuta celá řada přístrojů. Mezi přístroje pro měření fyzikálně-chemických vlastností mořské vody patří proudoměry, přístroje pro určení vodivosti, hustoty a teploty vody (obr.4.5) atd. K odběru horninových a minerálních vzorků slouží volné drapáky a gravitační jádrováky vybavené bójemi s možností odběru sedimentů do hloubky 1-3 m. Těžší vzorkovací mechanismy se spouštějí na lanech. Do této skupiny patří multicorer tvořený soupravou 8 válců o průměru 10-12 cm a délce 1 m s přítlačným zařízením pro odběr nezpevněných sedimentů a vody (obr.4.6), maxicorer skládající se ze 3 až 4 válců o průměru 30-50 cm a délce 2 m pro odběry neporušeného materiálu pro geomechanické zkoušky a stanovení fyzikálně-mechanických parametrů hornin, hydraulický jádrovák pro vzorkování sedimentů až do hloubky 12 m pro geologické studie a krabicový jádrovák o ploše odběru 0.25 až 0.5 m<sup>2</sup> pro vzorkování polymetalických kongrecí. Velkoobjemové vzorky kongrecí se získávají pomocí vlečných systémů s kapacitou 800 až 1500 kg (obr.4.7).



Obr.4.5 Přístroj CTD pro měření vodivosti, teploty a hustoty vody Neil Brown Instrumental System, USA s dálkově ovládanými vzorkovnicemi vody (foto A. Pařízek)



Obr.4.6 Multicorer Barnett FRG pro odběr vzorků hornin z mořského dna (foto A. Pařízek)



Obr.4.7 Vlečná síť typu Galatea pro odběr kongrecí k technologickým zkouškám (foto A. Pařízek)

#### 4.1.3. VZORKOVÁNÍ NEHMOTNÉ.

Nejstarším typem nehmotného vzorkování je *vizuální posuzování* kvality zrudnění v důlních dílech. Zkušení odborníci jsou schopni odhadnout kvalitativní třídy rudniny s dostatečnou přesností pro řízení přípravy a dobývání ložiska.

S rozvojem analytických metod, které vycházejí z měření fyzikálních charakteristik rudniny in situ, se do praxe zavedly některé metody nepřímého vzorkování. Nejrozšířenější je *radiometrické vzorkování*, které představuje základní metodu vzorkování na uranových dolech. Při dodržení závazných předpokladů (ocejchování přístroje, znalost koeficientu radioaktivní rovnováhy ...) poskytuje velmi spolehlivé údaje. Stále více je využívána gamaspektrometrie pro stanovení obsahu K, U a Th. Dále se využívají různé *varianty radionuklidových metod* pro stanovení specifických vlastností přírodních materiálů a obsahu odpovídajících prvků (tab.4.2). Časté je *UV-fluorescenční vzorkování*, které se používá pro identifikaci scheelitu, sekundárních uranových nerostů, fluoritu či lithných nerostů. Např. na wolframovém ložisku Mittersill v Rakousku se takto rozlišovaly třídy scheelitové rudniny s obsahem pod 0.1 %, 0.1-0.3 %, 0.3-0.6 %, 0.6-1.5 % a nad 1.5 % WO<sub>3</sub>. Na železorných ložiskách se používá *magnetometrické vzorkování* založené na měření magnetické susceptibility rudniny. Velmi rozšířené jsou karotážní metody, obvykle seskupované do účelových metodických komplexů.

Tab.4.2 Využití radionuklidových metod pro terénní měření (Böhmer - Kužvart, 1993)

prvek	metoda	dosah (cm)	mez detekce (%)	prvek	metoda	dosah (cm)	mez detekce (%)
Al	NAA	20 - 30	0.3 - 0.8	V	XRF	1	0.2
Fe	NAA	20 - 30	0.1 - 0.3	Zn	XRF	1	0.1
	GG-S	3	0.4 - 0.5	Co	XRF	1	0.2
	XRF	1	0.2	Mo	XRF	1	0.01 - 0.05
Mn	NAA	20 - 30	0.1 - 0.2	Sn	GG-S	3	0.4 - 0.5
	GG-S	3	0.4 - 0.5		XRF	1	0.05
	XRF	1	0.2	Be	GN	20 - 30	0.005
Ba	GG-S	3	0.4 - 0.5	Pb	GG-S	3	0.2 - 0.3
	XRF	1	0.05		XRF	1	0.1
F	NAA	20 - 30	0.05 - 0.1	Sb	GG-S	3	0.3 - 0.5
Cr	XRF	1	0.2		XRF	1	0.05
Cu	NAA	20 - 30	0.1	Ag	XRF	1	0.05
	XRF	1	0.05 - 0.1	W	XRF	1	0.1
Ni	NAA	20 - 30	0.1	B	NN	20 - 30	0.003 - 0.006
	XRF	1	0.2				

Vysvětlivky: GG-S ... selektivní gama-gama metoda, NAA ... neutronová aktivační analýza, NN ... neutron-neutron metoda, GN ... gama-neutron metoda, XRF... rentgen-fluorescenční metoda

#### 4.1.4. MINERALOGICKÉ STANOVENÍ KVALITY NEROSTNÉ SUROVINY.

Jsou-li v rámci geologické dokumentace průzkumných prací zaznamenávány paragenetické typy nerostné suroviny v ložisku a jejich vzájemné podíly (mineralogické mapování), lze při znalosti odpovídajících technologických typů suroviny odhadnout zastoupení užitkového nerostu nebo prvku jako vážený průměr

$$\bar{c} = \frac{\sum_i c_i \times p_i}{\sum_i p_i},$$

kde  $c_i$  je průměrná kvalita technologických typů a  $p_i$  plochy nebo mocnosti vymezených typů z geologické dokumentace. K podobnému orientačnímu ocenění lze využít výsledků planimetrických analýz mineralogických vzorků, nebo výsledků kvantitativních analýz

výplavů těžkých minerálů, ať už přirozených (např. při hodnocení ryžovisek) nebo umělých při hodnocení pevných nerostných surovin.

## **4.2. VZORKOVÁNÍ PODZEMNÍCH AKUMULACÍ PŘÍRODNÍCH TEKUTIN**

Vzorkování přírodních tekutin (ropy, zemního plynu, vody) v horninovém prostředí je složitější, než vzorkování pevných nerostných surovin. Technologie vzorkování je tím obtížnější, čím je zkoumaný objekt větší a čím vyšší heterogenitou se vyznačuje. Účelem vzorkování je stejně jako u pevných nerostných surovin stanovit složení tekutin a jejich fyzikální charakteristiky a dále hydraulické parametry jejich kolektorů.

Podle typu odběru lze rozlišit vzorky získané jednorázovým odběrem („bodový“ vzorek), opakovaným odběrem (souvztažné vzorky s časovou nebo prostorovou souvislostí) a vzorky směsné vznikající smíšením řady bodových vzorků, jejichž zvláštním druhem jsou průměrné vzorky (Grmela – Krajča, 1990). Dále lze odlišit vzorky pro studium vertikální a horizontální zonálnosti vod a vzorky globální, které se získávají z celého objektu čerpáním. Vzorky se odebírají buď při čerpání (případně při přelivu) z potrubí na ústí vrtu, u plynem přesycených vod za separátory umožňujícími oddělené měření a vzorkování plynné a kapalné fáze, nebo hlubinnými vzorkovači.

Posouzení vody z průzkumných vrtů může poskytnout důležité informace o výskytu akumulací ropy a zemních plynů. Výhodné je zjišťovat sledované parametry již v průběhu vrtání testerováním. Testery se dělí na kabelové, tyčové a testery stabilně umístěné ve vrtné koloně. Liší se svou konstrukcí a ovládáním. Základním principem je odizolování zkoušené vrstvy od výplachu těsnicemi manžetami a odběr vzorku přitékající tekutiny. V případech ropných projevů ve vodách se ještě provádějí klasické čerpací zkoušky po zapažení vrtů a perforaci zájmových úseků. Vzorky ropy se nesmí odebírat do plastových nádob, neboť by došlo ke kontaminaci vzorku. Při průzkumu ložisek pevných nerostných surovin se vzorkují jak důlní, tak povrchové vody. Problém představuje vzorkování šikmých a svislých dovrelních vrtů.

Povrchové vzorkování se provádí jednak z potrubí čerpadel, které jsou součástí výstroje objektů, jednak pomocí speciálních malých čerpadel určených jen ke vzorkování. Do vrtů je lze zapouštět buď samotná, nebo s oddělovacími pakry. Vzorky vody se odebírají ručně, poloautomaticky nebo automaticky do vzorkovnic (transportních lahví). Hlubinné vzorkování se provádí hlubinnými vzorkovači, které s výjimkou vícekomorových vzorkovačů odebírají jeden bodový vzorek. Jsou to válcové přístroje objemu do 2 litrů, resp. v případě kabelových testerů 20 litrů.

V hydrogeologickém a ložiskovém průzkumu se ve světě používá celá řada vzorkovačů. Nejčastěji se dělí na přístroje proplachované a neproplachované. Souběžně s odběrem vzorků se provádí řada měření, kterými se sleduje hloubka a průchodnost potrubí (vrtů), stav materiálu u dna vrtu, identifikují se změny hladiny, tlaku, teploty, průtoku na povrchu i v hloubce. V případě plynem přesycených a hypertermálních vod a při velkém přetlaku na ústí je nutno používat hermetické tlakové nástavce na ústí vrtu.

## **4.3. HUSTOTA VZORKOVÁNÍ.**

Systém vzorkování je v prvé řadě určen použitým průzkumným systémem. Dále je ale nutno stanovit hustotu odběru vzorků v průzkumných dílech (vrtech, důlních pracích). Podle názorů Matherona, Carliera a dalších je při tom vhodné vycházet z poměru měrných nákladů na vzorek a nákladů na průzkumné dílo, s uvažováním variability mineralizovaného pole. Význam má také cena suroviny (např. na žilných ložiskách zlata je hustota vzorkování mnohem vyšší, než na ložiskách barevných kovů).

Základním úkolem vzorkování je v konečné podobě ocenění parametrů výpočtu zásob nerostné suroviny v ložiskovém objektu. Určujícím faktorem tedy bude variabilita zrudnění. Na velkých pravidelných ložiskách s rovnoměrným rozmístěním zrudnění se pohybuje vzdálenost vzorků kolem 20 až 50 m, na malých nepravidelných ložiskách kolem 2 až 5 m a na velmi nepravidelných ložiskách s nerovnoměrným rozložením zrudnění kolem 1 až 2 m. Böhmer a Kužvart (1993) doporučují vzdálenost vzorků v případě velmi rovnoměrného zrudnění 50 až 5 m, rovnoměrného zrudnění 15 až 4 m, nerovnoměrného zrudnění 4 až 2.5 m, velmi nerovnoměrného zrudnění 2.5 až 1.5 m a mimořádně nerovnoměrného zrudnění 1.5 až 1 m. Ze statistického hlediska lze vzdálenost vzorků  $d$  pro ovzorkování důlních děl o délce  $L$  určit podle vzorce

$$d = L \times \left( \frac{p}{t \times V} \right)^2,$$

kde  $p$  je přípustná chyba vzorkování,  $V$  koeficient variability a  $t$  koeficient pravděpodobnosti. Soukup (1988) navrhl postup založený na dosahu  $a$  a hodnotě prahu  $c$  semivariogramu

$$d = 3.33 - 0.73 \times \ln \left( \frac{100 \times c}{a \times \bar{u}} \right)$$

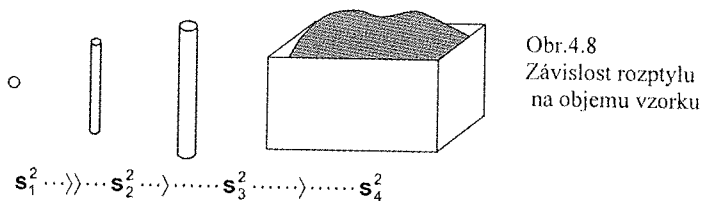
kde  $\bar{u}$  je průměrná hodnota sledované veličiny  $U$ . Podle uvedeného vzorce se interval vzorkování pohybuje u ložisek zlata do 1 m, u ložisek cínu v rozmezí 3 až 4 m a u ložisek barevných kovů mezi 1 až 4 m v závislosti na parametrech semivariogramu odvozeného ze vzorkování důlních děl.

#### 4.4. HMOTNOST ZÁKLADNÍHO VZORKU.

Vzorky, které jsou základem pro určování kvalitativních a kvantitativních charakteristik zkoumaného geobjektu, se vyznačují určitým objemem a geometrií. To znamená, že stanovená hodnota jisté veličiny  $U$  ve vzorku o objemu  $v$  představuje průměr hodnot ve fyzických „bodech“  $u(w)$

$$u_v(x, y, x) = \frac{1}{v} \int_v u(w) dw$$

(jde o regularizovanou hodnotu bodové proměnné v daném objemu). Vzorky různého objemu se budou vyznačovat odlišným rozptylem, který klesá s růstem objemu (obr.4.8).



Velmi názorně se tato skutečnost projeví v průběhu semivariogramů. Čím budou vzorky použité k výpočtu semivariogramu objemově větší, tím bude práh semivariogramu nižší (obr.4. 9).

Stanovení hmotnosti základního vzorku není triviální, neboť je ovlivňováno celou řadou naturálních i technických faktorů. Této problematice se věnovala řada autorů po mnoho desetiletí. Můžeme konstatovat, že hmotnost vzorku  $G$  bude záviset na hmotnosti ověřovaného ložiskového tělesa  $G_v$ , variabilitě určujícího ložiskového atributu vyjádřené obvykle rozptylem  $\sigma^2$  a na kvantitativních znacích nerostné suroviny  $R$ , tj.

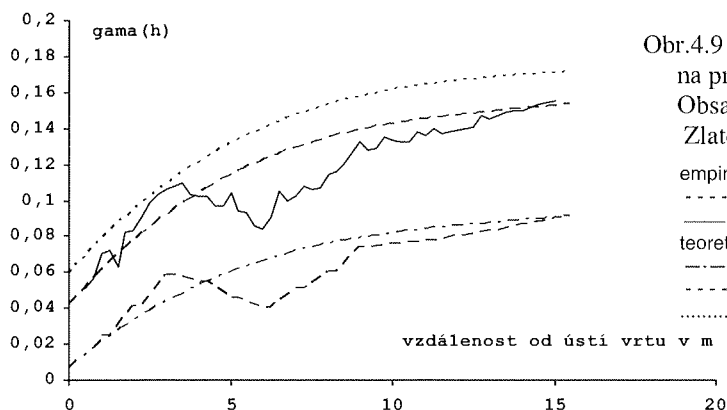
$$G = f(G_v, \sigma^2, R).$$



Velmi často se uvádí Richards-Čečotův vzorec

$$G = k \times d^2,$$

kde  $d$  je maximální velikost částic v rudě a  $k$  koeficient charakterizující stupeň stejnorodosti rudy.



Obr.4.9 Vliv délky vzorku na průběh semivariogramu. Obsah Cu ve vrtu 1718, Zlaté Hory - jih

empirický semivariogram:  
 - - - - vzorky 1 m,  
 ——— vzorky 0.25 m  
 teoretický semivariogram:  
 - · - · vzorky 1 m,  
 - - - - vzorky 0.25 m  
 ..... „bodový“ semivariogram

Jeho hodnota kolísá v širokém rozmezí od 0.1 do 20 (tab.4.3.) a má dosti subjektivní povahu. Demond a Halferdal navrhli podobný vzorec

$$G = k \times d^a,$$

kde exponent  $a$  odpovídá variabilitě suroviny a dosahuje hodnoty 1.8 u rovnoměrné, 2.0 u nerovnoměrné a 2.25 u velmi nerovnoměrné rudy. Závažným nedostatkem uvedených postupů je, že neberou v úvahu faktor přesnosti vzorkování v závislosti na velikosti vzorku.

Tab.4.3 Příklady koeficientu stejnorodosti rudy

charakteristika rudy	koeficient k
magnetitová ruda, rovnoměrné zrudnění, obsah 55 % Fe	0.05 - 0.03
magnetitová ruda s obsahem S a P, hrubě vtoušená, obsah 55 % Fe, 0.7 % S, 0.05 % P	2.0 - 2.5
měděná ruda, rovnoměrné chalkopyritové zrudnění, obsah 3 % Cu	0.13 - 0.1
bohatá polymetalická ruda, obsah 11.5 % Pb, 15 % Zn, 1.4 % Cu, 0.02 % Ag	0.4 - 0.6
bohatá polymetalická ruda s proustitím	3.5 - 5
molybdenová ruda, rovnoměrné zrudnění, obsah 0.5 % Mo	1.5

Na základě uvedeného vzorce Krejter (1960-61) doporučil dostačující hmotnosti vzorků pro jednotlivé skupiny ložisek a různou zrnitost rudy (tab.4.4).

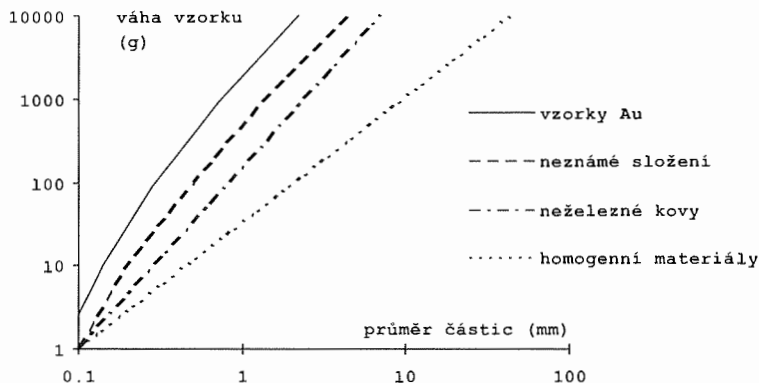
Tab.4.4 Doporučená hmotnost základního vzorku podle Krejtera (1960-61)

charakteristika proměnlivosti ložiska	koeficient k	hmotnost základního vzorku v kg při maximální velikosti zrna v mm				
		20	10	5.0	2.5	1.0
rovnoměrné	0.02	8	2	0.5	0.12	0.02
nerovnoměrné	0.1	40	10	2.5	0.6	0.1
velmi nerovnoměrné	0.2-0.5	80-200	20-50	5-12	1.2-3.0	0.2-0.5
mimořádně nerovnoměrné	0.5-1.0	200-400	50-100	12-25	3-6	0.5-1

Velmi podrobně propracoval teorii vzorkování s ohledem na stanovení hmotnosti základního vzorku na základě charakteristik vzorkovaného materiálu Pierre Gy (1979). Váha základního vzorku je dána výrazem

$$G = C \times d^3 / \sigma^2,$$

kde  $d$  je průměr největších částic v rudě v cm (definovaný jako průměr oka síta, kterým propadne 95 % materiálu),  $\sigma^2$  variabilita rozptylu a  $C$  parametr charakterizující vlastnosti rudy. Na základě uvedeného postupu publikovala Comlabs v Australii graf pro určení váhy základního vzorku jako funkce velikosti částic (in Wellmer 1998 - obr.4.10).



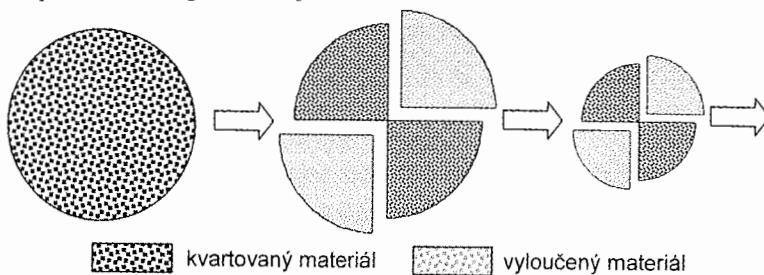
Obr.4.10 Graf stanovení váhy základního vzorku podle Comlabs (Wellmer 1998)

#### 4.5. ÚPRAVA ZÁKLADNÍHO VZORKU

Základní vzorek o hmotnosti  $G$  se pro analytické stanovení upravuje na požadovanou hmotnost  $G_k$ . Tomuto procesu, který zahrnuje *homogenizaci* (drcení, mletí, sítování) a *kvartování* (zmenšování hmotnosti) v řadě stupňů, je třeba věnovat maximální pozornost, aby se vyloučilo možné zkreslení výsledků analýzy. Počet stupňů úpravy se určí podle vzorce

$$n = \ln(G_k/G) / \ln 2 .$$

Postup kvartování, tj. zmenšování hmotnosti základního vzorku, ilustruje obr. 4.11. V případě základních vzorků o malé hmotnosti je možno postupovat ručně, při větších hmotnostech se používají různé přístroje, které umožňují rovnoměrnější dělení vzorku. Před každým stupněm kvartování se provádí homogenizace, tj. zmenšování zrnitosti vzorku.



Obr.4.11 Princip procesu kvartování

#### 4.6. KONTROLA VZORKOVÁNÍ

Vzhledem k zásadnímu významu pro seriózní ocenění hodnocených ložiskových těles je nutno systematicky kontrolovat celý proces vzorkování, od odběru vzorků přes jejich úpravu až k analytickému zpracování a využití ve výpočtu zásob. Všechny etapy tohoto procesu mohou být zdrojem nepřesností. Rozptyl celkové chyby tedy bude

$$s_v^2 = s_0^2 + s_u^2 + s_A^2 ,$$

kde  $s_0^2$  je rozptyl chyby vlastního vzorkování,  $s_U^2$  rozptyl chyby úpravy vzorků a  $s_A^2$  rozptyl analytické chyby.

V rámci kontroly vzorkování je třeba jednak ověřit *opodstatněnost zvoleného způsobu vzorkování* (zejména porovnáním se vzorkováním vyšší přesnosti a spolehlivosti), jednak kontrolovat *proces odběru, transportu a uchovávání vzorků*, neboť vzniklé nedostatky prakticky nelze eliminovat žádnými postupy zpracování a hodnocení vzorků. *Kontrola procesu úpravy vzorků* pro analytické zpracování se provádí analýzou odpadu z homogenizace a kvartování. Zejména je třeba soustředit pozornost na možnou kontaminaci vzorků ve všech fázích úpravy (drcení, mletí, sítování, zmenšování hmotnosti). Nejvíce je propracována *kontrola analytického zpracování vzorků* standardizovaným systémem vnitřních, vnějších a arbitrážních kontrol. K tomu se využívají kontrolní a etalonové vzorky, které mají být voleny tak, aby postihly všechny kvalitativní i kvantitativní třídy nerostné suroviny. Na vnitřní kontrolu se dává asi 5 % vzorků a na vnější asi 3 – 5 %, přičemž minimální použitý počet kontrolních analýz musí umožnit přijatelný statistický rozbor. Vedle toho existují normami stanovené požadavky na shodnost analytického stanovení paralelních vzorků, které musí každá laboratoř plně respektovat. Význam kontrol vyplývá i ze skutečnosti, že instrumentální analytické metody jsou zatíženy nepřesnostmi danými časovými faktory.

V procesu vzorkování se mohou vyskytovat hrubé, náhodné a systematické chyby. *Hrubé chyby*, které v praxi vznikají omyly pracovníků (chybné záznamy, přepisy apod.), lze odhalit stanovením vhodných logických omezení (např. rozmezí možných obsahů sledovaných užitkových a škodlivých prvků, možné mocnosti tělesa apod.) a eliminovat možnost jejich vzniku soustavnou kontrolou. Další fází představuje statistické posouzení, založené na kritériích odlehlých pozorování, kterými se prověřuje nulová hypotéza

$$H_0 : \{u_1, u_2, \dots, u_n\} \in U$$

(„všechny hodnoty pocházejí ze stejného základního souboru“) proti alternativním hypotézám

$$H_1 : \begin{cases} u_{\max} \notin U \\ u_{\min} \notin U \end{cases}$$

(„největší – nejmenší hodnota pochází z jiného základního souboru“). Za odlehlá pozorování se tedy považují hodnoty, které se ve variační řadě

$$u_{(1)} \leq u_{(2)} \leq \dots \leq u_{(n-1)} \leq u_{(n)}$$

nápadně odlišují od ostatních hodnot. K prověření se obvykle používá *Grubbsův test*, nebo v případě malých výběrů hodnot ( $n \leq 30$ ) *Dixonovo kritérium*. Tyto procedury vycházejí z předpokladu normality empirické distribuce. Poněvadž se obvykle jedná o malé výběry, postačuje prověřit hypotézu o normalitě pomocí momentových testů

$$\begin{cases} z_1 = |A/s_A| \\ z_2 = |E/s_E| \end{cases},$$

kde **A** je asymetrie empirické distribuce se směrodatnou odchylkou  $s_A$  a **E** špičatost se směrodatnou odchylkou  $s_E$ . Hypotéza se přijímá, je-li

$$\begin{cases} z_1 \leq 3 \\ z_2 \leq 3 \end{cases}$$

Parametrický Grubbsův test je založen na standardizované odchylce krajních hodnot od průměru. Testová charakteristika je

$$T = \begin{cases} (\mathbf{u}_{(n)} - \bar{\mathbf{u}})/\mathbf{s} \\ (\bar{\mathbf{u}} - \mathbf{u}_{(1)})/\mathbf{s} \end{cases},$$

kde  $\bar{\mathbf{u}}$  je aritmetický průměr a  $\mathbf{s}$  odhad směrodatné odchylky. Pokud vypočtená hodnota kritéria nepřevyší kritickou hodnotu při zvolené hladině významnosti  $\alpha$  (obvykle 0.05)

$$T \leq T_{\alpha, n},$$

pak se nulová hypotéza přijímá. V opačném případě se testovaná hodnota považuje za odlehlou. Velmi jednoduché Dixonovo kritérium je založeno na variačním rozpětí. Pokud testová charakteristika

$$D = \begin{cases} (\mathbf{u}_{(n)} - \mathbf{u}_{(n-1)})/(\mathbf{u}_{(n)} - \mathbf{u}_{(1)}) \\ (\mathbf{u}_{(2)} - \mathbf{u}_{(1)})/(\mathbf{u}_{(n)} - \mathbf{u}_{(1)}) \end{cases}$$

vyhoví kritické hodnotě

$$D \leq D_{\alpha, n},$$

pak se nulová hypotéza přijímá. Uvedené postupy se opakují do vyloučení všech odlehlých hodnot.

Vyloučené hodnoty je nutno pečlivě prověřit a rozhodnout, zda jde skutečně o hrubou chybu nebo o reálnou hodnotu. Pokud půjde o významný údaj, bude v krajním případě nezbytné provést opakované měření či odběr vzorku a jeho analytické zpracování.

Využití reálných extrémních hodnot je komplikovanější problém, zejména v případě tradičních metod výpočtu zásob, které jsou založeny na statistickém hodnocení. Univerzální způsob řešení neexistuje. V podstatě lze odlišit dva odlišné přístupy. Prvý z nich, typický pro moderní metody výpočtu zásob, považuje extrémní hodnoty za hodnoty ložisku vlastní, avšak málo časté a s velmi malou zónou vlivu. Druhý přístup má empirický charakter a spočívá v záměně extrémních hodnot jinou hodnotou, odvozenou podle zvoleného pravidla od ostatních pozorování. Různými autory bylo navrženo mnoho postupů, např. náhrada průměrem ostatních pozorování, průměrem dvou nebo tří nejbližších pozorování, nejbližší nižší hodnotou ve variační řadě apod. Statisticky korektní řešení spočívá v použití robustních odhadů, které jsou založeny na pořadových charakteristikách.

Robustní odhady statistických charakteristik jsou založeny na *lineárních kombinacích kvantilů empirických distribucí*. Pro ocenění charakteristiky polohy se vedle obecně známého *mediánu*  $Me$ , pro který platí, že  $P(\mathbf{u}_i = \bar{\mathbf{u}}) = 0,5$ , se používají další kvantilové odhady střední hodnoty. Velmi stabilní odhady poskytuje *trimean*

$$\tilde{\mathbf{u}}_T = (\tilde{\mathbf{u}}_{0,75} + 2 \times \tilde{\mathbf{u}}_{0,5} + \tilde{\mathbf{u}}_{0,25})/4.$$

Mezi nejznámější a nejpoužívanější patří *uřezaný průměr*

$$\tilde{\mathbf{u}}_U(\alpha) = \frac{\mathbf{p} \times \mathbf{u}_{(g)} + \sum_{i=g+1}^{n-g} \mathbf{u}_{(i)} + \mathbf{p} \times \mathbf{u}_{(n-g+1)}}{\mathbf{n} \times (1 - 2\alpha)}$$

kde  $\mathbf{g} = \text{int}(\mathbf{n}\alpha) + 1$ ,  $\mathbf{p} = \mathbf{g} - \mathbf{n}\alpha$ ,  $\alpha$  se obvykle volí 0.1 (jde vlastně o aritmetický průměr).

Podobně se určuje *winzorizovaný průměr*

$$\tilde{\mathbf{u}}_W = (\mathbf{1}/\mathbf{n}) \times \sum_{i=g+1}^{n-g} \mathbf{u}_i + \mathbf{g} \times \mathbf{u}_d + \mathbf{u}_n$$

kde  $\mathbf{u}_d = (1 - \mathbf{p}) \times \mathbf{u}_{(g+1)} + \mathbf{p} \times \mathbf{u}_{(g)}$ ,  $\mathbf{u}_n = (1 - \mathbf{p}) \times \mathbf{u}_{(n-g)} + \mathbf{p} \times \mathbf{u}_{(n-g+1)}$ .

Podle simulačních studií se v případě velmi malých výběrů doporučuje používat:

- při  $n = 6$  medián,
- pro  $n = 7$  winzorizovaný průměr ( $i=2, \dots, 6$ ),
- pro  $n = 8$  uřezaný průměr s  $\alpha = 0.25$ ,
- při možném výskytu odlehlých pozorování uřezaný průměr s  $\alpha = 0.25 \div 0.4$ .

Náhodné chyby vznikají vždy a nelze jím prakticky zabránit, neboť jsou důsledkem náhodných změn podmínek celého procesu. Za podmínky dodržení požadavků norem na shodnost paralelních stanovení se tyto chyby oceňují pomocí odhadu a vyhodnocení statistického rozptylu.

Systematické chyby se prověřují porovnáním výsledků základních  $\mathbf{u}_z$  a kontrolních  $\mathbf{u}_k$  stanovení vhodnými statistickými testy. K prověření hypotézy o nevýznamnosti diferencí mezi základními  $\mathbf{u}_z$  a kontrolními pozorováními  $\mathbf{u}_k$

$$H_0 : \mathbf{E}(\mathbf{u}_z - \mathbf{u}_k) = 0$$

Lze použít *Studentův t-test pro párové hodnoty*, jehož testovou charakteristikou je

$$\mathbf{t} = \frac{|\bar{\mathbf{d}}| \times \sqrt{(n-1)}}{\mathbf{s}_d},$$

kde  $\bar{\mathbf{d}}$  je aritmetický průměr diferencí a  $\mathbf{s}_d$  jejich standardní odchylka. Bude-li hodnota testové charakteristiky  $\mathbf{t}$  převyšovat kritickou hodnotu  $\mathbf{t}_{\alpha, n-1}$ , považuje se rozdíl mezi základními a kontrolními pozorováními za statisticky významný. V případě velmi malých výběrů s neznámou funkcí rozdělení je výhodnější *Wilcoxonův test* symetrie diferencí. Je-li

$$\sum_j \mathbf{p}_j^+ \text{ součet pořadí kladných a } \sum_k \mathbf{p}_k^- \text{ součet záporných diferencí}$$

ve variační řadě s vynecháním nulových diferencí, pak testová charakteristika bude

$$\mathbf{r} = \min \left| \sum_j \mathbf{p}_j^+, \sum_k \mathbf{p}_k^- \right|.$$

Bude-li platit, že  $\mathbf{r} < \mathbf{r}_{\alpha, m}$ , kde  $m$  je počet uvažovaných diferencí, nulová hypotéza se zamítá a rozdíl mezi základními a kontrolními pozorováními se považuje za statisticky významný.

Z věcného hlediska úplněji lze posoudit existenci systematické chyby pomocí parametrické či v případě malého počtu vzorků neparametrické *regresní analýzy* (obr.4.12). Teoreticky musí platit, že  $\mathbf{u}_k = \mathbf{u}_z$ . Prověřme proto hypotézu o významnosti koeficientů obecné přímkové závislosti

$$\mathbf{u}_z = \mathbf{b}_0 + \mathbf{b}_1 \times \mathbf{u}_z$$

$$H_0 : \begin{cases} \mathbf{b}_0 = 0 \\ \mathbf{b}_1 = 1 \end{cases}$$

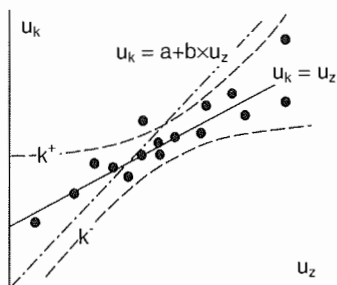
pomocí testových charakteristik

$$\begin{cases} \mathbf{t}_0 = \mathbf{b}_0 / \mathbf{s}_{b_0} \\ \mathbf{t}_1 = |\mathbf{b}_1 - 1| / \mathbf{s}_{b_1} \end{cases},$$

kteří mají t-rozdělení s  $(n-2)$  stupni volnosti. Bude-li

$$\left. \begin{matrix} \mathbf{t}_0 \\ \mathbf{t}_1 \end{matrix} \right\} \leq \mathbf{t}_{\alpha, n-2},$$

nulová hypotéza platí. V opačném případě lze předpokládat existenci systematické chyby, která může mít konstantní charakter ( $\mathbf{t}_0$  významný,  $\mathbf{t}_1$  nevýznamný), nebo proporcionalní průběh ( $\mathbf{t}_1$  je významný).



Obr. 4.12  
 Prověření shody základních  $u_z$   
 a kontrolních  $u_k$  analýz

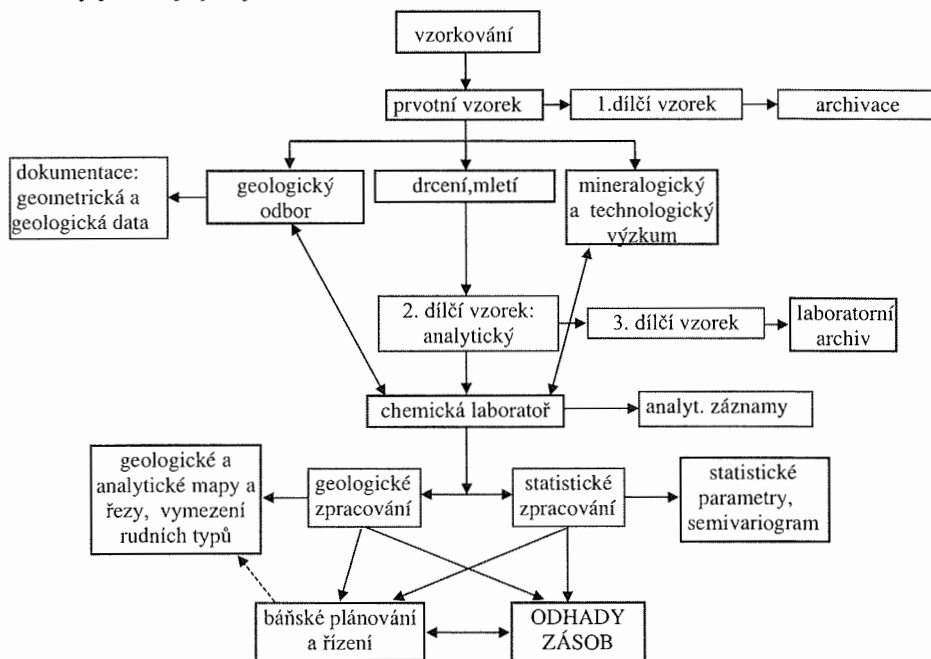
V případě statistického zjištění existence systematické chyby a jejím případným potvrzení další nezávislou laboratoří či zkušebnou vzniká otázka praktického využití pozorování chybou zatížených. Řešení spočívá ve využití přepočtené regresní závislosti

$$x_z = a_0 + a_1 \times x_k,$$

kteřá představuje potřebný opravný koeficient.

#### 4.7. ZÁVĚR

Vzorkování představuje velmi důležitou fázi průzkumných a těžebních prací, která má zcela zásadní význam pro hodnocení zkoumaných objektů. Je nezbytným prvkem výpočtu zásob. Celý proces popisuje schéma na obr.4.13.



Obr. 44.13 Postup práce se vzorky (Bender, 1986)

Je nutno rovněž připomenout, že proces odběru, přípravy, analytického zpracování a ověřování vzorků je pracný a nákladný. Proto je třeba věnovat pozornost pečlivému výběru míst zjišťování hodnot sledovaných veličin a jejich celkového počtu. Zároveň musíme podniknout všechna nezbytná opatření k tomu, aby nedošlo k jakémukoliv znehodnocení odebraných vzorků v procesu jejich přepravy, přípravy a analytických prací.

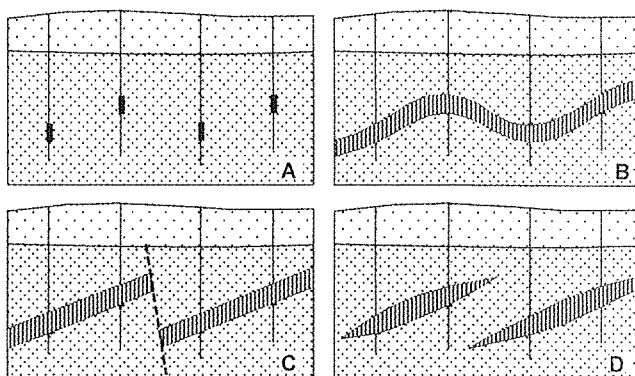
## 5. SESTAVENÍ GEOLOGICKO-GEOMETRICKÉHO MODELU

Velký problém a zároveň jednu z nejdůležitějších operací představuje sestavení spolehlivého **přijatého geologicko-geometrického modelu** ložiskového objektu, zejména správnost identifikace a korelace ložiskových těles mezi realizovanými průzkumnými průniky. Pokud je tento model zatížen podstatnými rozdíly oproti skutečnosti, nelze jakýmkoliv seberafinovanějšími postupy odhadu zásob dosáhnout přijatelných výsledků. Při sestavování geologického modelu narážíme na *omezení, která vyplývají z informační schopnosti použitého průzkumného systému*. Výběr správného modelu geologické stavby ložiskonosného komplexu je klíčovou otázkou nejen pro vedení průzkumu, ale také pro vyhodnocení zásob nerostné suroviny v ložisku. Nesprávný model je tedy zdrojem zásadních chyb, které mohou podstatným způsobem ovlivnit následnou těžbu. Interpretace geologického modelu vyžaduje analyzovat všechna zjištěná data a to zejména v případě skrytých ložisek.

Obr.5.1

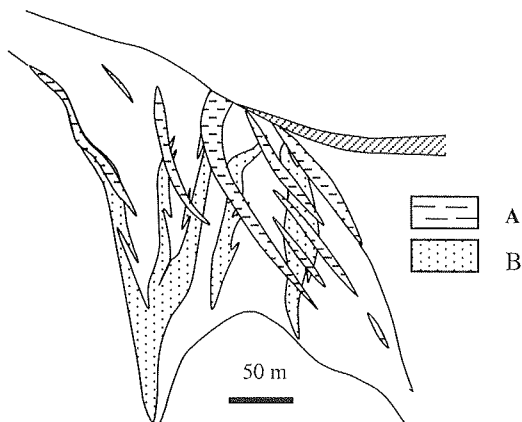
Vliv přijaté geologické stavby na interpretaci morfologie ložiskových těles

- A – průniky vrtů tělesem
- B – koncept zvrásněného ložiskonosného komplexu
- C – koncept komplexu se zlomy
- D – koncept čočkovitých ložiskových těles



V případě složitých typů ložisek je zejména v počátečních průzkumných etapách problematické sestavit dostatečně hodnověrný model (obr.5.1). V takových případech má podstatný význam *správné pochopení geneze ložiskové akumulace a geologicko-strukturního vývoje ložiskonosného komplexu* (obr.5.2). Právě taková hypotéza je základem koncepčního modelu, od kterého se odvíjí jak metodika průzkumu, tak metodika hodnocení a odhad zásob.

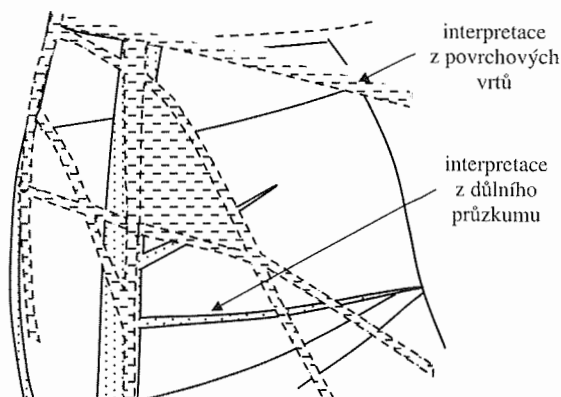
Velmi ilustrativním příkladem nevhodně voleného modelu stavby ložiska je interpretace výsledků průzkumných prací na ložisku Zlaté Hory – jih (obr.5.2). Zjednodušeným pochopením moderní metalogenetické koncepce úzkého spojení akumulací sulfidických rud s ranně geosynklinálním magmatismem spilit-keratofyrové formace, kdy nebyla uvážena možnost primárně rozdílné depozice rud, a dále nerespektováním vlivů regionální metamorfózy došlo k tomu, že rudní tělesa byla interpretována jako výhradně konformní se stavbou horninových komplexů, což se ukázalo být u těles ležících uvnitř kvarcitového komplexu nesprávným.



Obr. 5.2. Porovnání interpretace rudních těles ložiska Zlaté Hory-Jih

- A – z povrchového vrtného průzkumu,
- B – z detailního podzemního průzkumu

Porovnání známých výsledků průzkumných akcí v uhelných pánvích (české části hornoslezské pánve, kladenské pánve nebo východočeské pánve) s poznatky získanými při důlním průzkumu a těžbě dokazují, že podle výsledků povrchových průzkumných vrtů nelze spolehlivě interpretovat zejména tektonickou stavbu ložiska a průběh jednotlivých slojí (problémy identifikace a korelace slojí) či reliéf uhlonosného souvrství. Velmi dobře to ilustruje porovnání stavby interpretované z povrchových vrtů se skutečnou stavbou zjištěnou po rozfárání (obr.5.3). Podle Dopity (1980) lze z povrchového vrtného průzkumu poměrně spolehlivě ověřit stratigrafii vrstevních jednotek a jejich uhlonosnost, základní petrografické složení a chemicko-technologické vlastnosti uhelné hmoty. Naproti tomu poznatky o geologicko-strukturní stavbě, identifikaci, korelaci a plošném vývoji uhelných slojí, hydrogeologických a plynových poměrech je nutno považovat jen za orientační. Podobně Janáček (1981) konstatoval na základě detailního porovnání poznatků z povrchového vrtného průzkumu s výsledky důlních prací v dobývacím prostoru Paskov v OKR, že interpretace geologicko-strukturní stavby a zejména identifikace a korelace uhelných slojí je v oblastech komplikované stavby velmi složitá a málo spolehlivá.

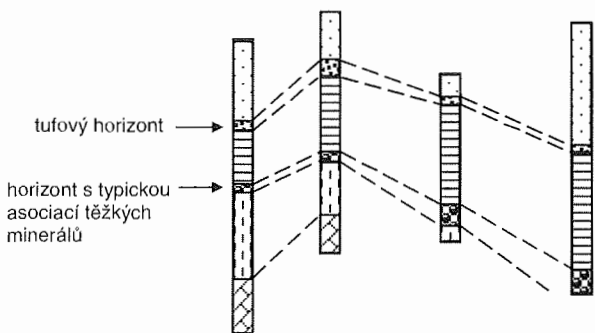


Obr.5.3 Porovnání geologicko-strukturní stavby sloje 38-A na Dole Stonava

z povrchového vrtného průzkumu poměrně spolehlivě ověřit stratigrafii vrstevních jednotek a jejich uhlonosnost, základní petrografické složení a chemicko-technologické vlastnosti uhelné hmoty. Naproti tomu poznatky o geologicko-strukturní stavbě, identifikaci, korelaci a plošném vývoji uhelných slojí, hydrogeologických a plynových poměrech je nutno považovat jen za orientační. Podobně Janáček (1981) konstatoval na základě detailního porovnání poznatků z povrchového vrtného průzkumu s výsledky důlních prací v dobývacím prostoru Paskov v OKR, že interpretace geologicko-strukturní stavby a zejména identifikace a korelace uhelných slojí je v oblastech komplikované stavby velmi složitá a málo spolehlivá.

## 5.1. IDENTIFIKACE A KORELACE LOŽISKOVÝCH TĚLES

Identifikace a korelace ložiskových těles je jedním z velice důležitých kroků. Obecně lze pro identifikaci ložiskových těles využít petrografických, mineralogických a paleontologických (faunistických a floristických) a mikropaleontologických znaků a vůdčích horizontů, horizontů vývoje zvětrávacích kůr, údajů o jakosti a fyzikálních vlastnostech ložiskové výplně, mocnosti poloh a dalších znaků, zjišťovaných karotážními metodami.



Obr.5.4 Příklad korelace podle typických horizontů v uhlonosných souvrstvích

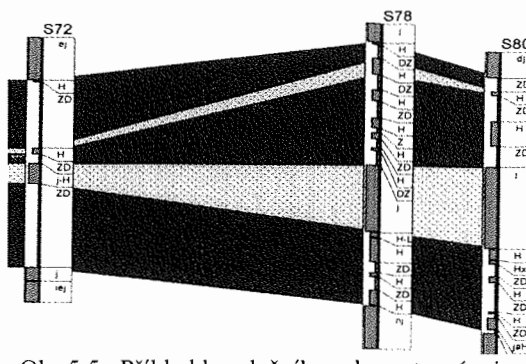
Častými vůdčími horizonty jsou horizonty s typickými fosiliemi či petrografickým složením (např. mořské či sladkovodní horizonty nebo ostravský brousek v OKR), tufitové polohy – tonsteiny v hornoslezské pánvi, charakteristické proplásky v uhelné sloji (např. 8. proplástek ve sloji Antonín v sokolovské pánvi) apod. Základním požadavkem je, aby taková poloha vykazovala stabilní znaky a měla velké plošné rozšíření. Obr.5.5 uvádí příklad části korelačního schématu vývoje dubňanské sloje v jihomoravské lignitové pánvi.

Při korelaci průniků se za předpokladu známé litostratigrafie vychází z porovnávání vrstev v jednotlivých průnicích (vrtech, překopec) a zjišťování jejich nejpravděpodobnější totožnosti nebo alespoň příbuznosti (obr.5.4). Přitom se využívají obecná geologická pravidla, jako je zákon superpozice, faciální analýza atd.

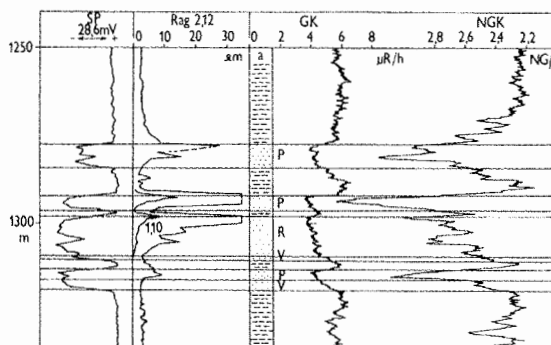


Ve velmi výrazně stratifikovaném bushveldském komplexu se vyskytuje vedle vlastních pravidelně vyvinutých chromititových horizontů UG1 a UG2 a platinonosného Merenskyho reefu několik vůdčích horizontů. Některé z nich mají při velkém plošném rozsahu překvapivě malou mocnost v řádu milimetrů. Právě ty jsou využívány ke korelačním účelům.

Ke korelaci průniků ložiskových těles se velmi často využívá výsledků karotážních měření, zejména v případě průzkumu ložisek uhlí, ropy a zemního plynu, železných rud apod.



Obr.5.5 Příklad korelačního schématu vývoje dubňanské slaje (Honěk et al. 2002)



Obr.5.6

Projev propustného kolektoru na karotážních záznamech (Pagáč in Böhmer – Kužvart, 1993)

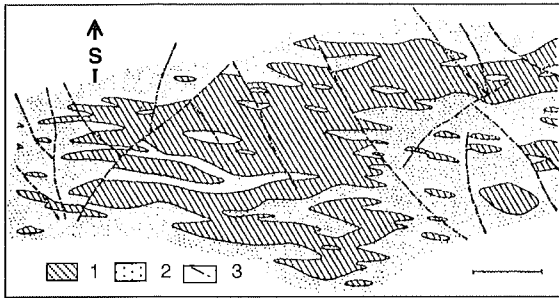
- jílovce
- R kolektor sycený ropou
- P kolektor sycený plynem
- V kolektor sycený vodou

Komplikovaná situace nastává u těch genetických typů ložisek, které jsou tvořeny vtroušeninovými, impregnačními, prožilkovými apod. rudami. Poněvadž v těchto případech neexistuje ostré omezení koncentrací vůči průvodním horninám, je hranice a tudíž i morfologie ložiskových těles závislá na přijatých podmínkách využitelnosti (obvykle na mezním a průměrném minimálním obsahu užitkové složky). Obecně lze říci, že čím nižší jsou zvolené mezní hodnoty, tím má omezení ložiskových těles pravidelnější tvar deskovitého nebo izometrického typu, zatímco při zvyšování mezního obsahu se stává morfologie těles stále složitější a má nespojitý charakter.

V případě žilných ložisek s velmi nepravidelnou distribucí užitkových nerostů v ploše rudní žíly nabývá na významu studium zákonitostí plošné distribuce, neboť jen tehdy bude možné spolehlivé omezení výpočtových bloků. Proto je nutno analyzovat působení strukturálních a litologických faktorů, které mohou výrazně ovlivnit pozici dílčích rudních akumulací a sloupů.

Při hodnocení žilných ložisek složitější stavby může nastat případ, kdy nespojitý žilný typ se pro potřeby výpočtu zásob naopak transformuje do spojitě chápaného mocného deskovitého tělesa. Například antimonitové ložisko Dúbrava v Nízkých Tatrách bylo interpretováno jako výrazně nespojitý složitý žilný typ. Jestliže vezmeme do úvahy žilníkovou impregnační zrudnění v okolí rudních žil, pak lze ložisko chápat jako mohutnou rudní zónu.

Magnezitová ložiska Západních Karpat ve Slovenské republice představují při celkovém pohledu v řadě případů rozsáhlá hrubě deskovitá nebo čočkovitá tělesa stratiformního typu se spojitou morfologií (obr.5.7).



Obr.5.7

Charakter plošné distribuce magnezitu v části horizontu 335 m ložiska Miková (Suchár et al., in Schejbal-Čillík, 1979)

- 1 – magnezit
- 2 – dolomit
- 3 – poruchy

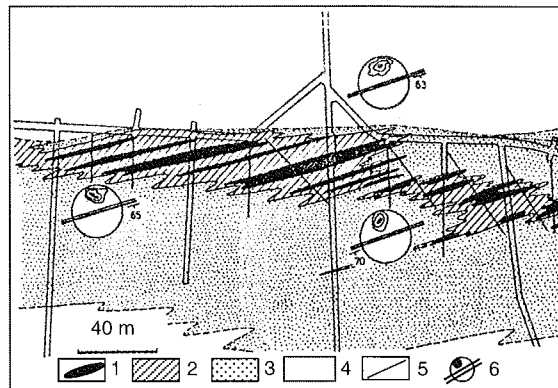
Avšak z hlediska prostorové distribuce užité složky (tj. magnezitu) jde o ložiska výrazně nespojitá (Schejbal – Čillík, 1982). Stupeň nespojitosti se ještě zvýrazňuje při uvážení dalších složek, které mají velký význam při posouzení technologického typu suroviny ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), kdy se navíc mohou uplatňovat i jevy anizotropie, které by měly být respektovány při interpretaci ložiskových těles. Rovněž statistická distribuce sledovaných složek je rozdílná vlivem různých forem výskytu a pochodů jejich utváření.

Morfologii ložiskových těles mohou ovlivňovat sekundární vlivy nespojitosti, jako je tektonické porušení, zkrasovatění, regionální metamorfóza apod. Na polymetalické ložisko kyzovské formace Horní Benešov bylo prokázáno, že detailní prostorové uspořádání rudních těles je výrazně ovlivněno regionálně metamorfním přepracováním do tektonové stavby, která je směrově odlišná od průběhu pásma produktivních hornin a celého devonského komplexu. Morfologicky komplikovaná rudní tělesa jsou kulisovitě uspořádána a zaujímají velmi složité vzájemné konfigurace (obr.5.8).

Obr.5.8

Schéma plošné distribuce Pb-Zn zrudnění ve střední části 9. patra ložiska Horní Benešov (Schejbal-Čillík, 1982).

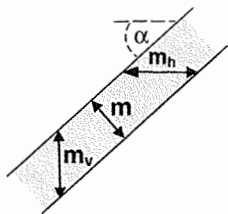
- 1 – rudní tělesa
- 2 – produktivní horniny devonu
- 3 – neproduktivní horniny devonu
- 4 – horniny kulmu
- 5 – poruchy
- 6 – tektonogramy s vyznačením maxima pólů a hlavním směrem ploch kliváže



Obecně lze říci, že zejména u ložisek polygenního typu není sestavení geologicko-geometrického modelu ložiska jednoduché, neboť každá etapa jejich formování se jistým způsobem projevila v jejich morfologii. Proto je nutno hledat prioritní hlediska a podle nich transformovat ložiskový model a návazné vyhodnocení zásob.

## 5.2. GEOMETRIZACE LOŽISKOVÝCH TĚLES

Interpretace poznatků a dat získaných v rámci průzkumných a těžebních prací vyžaduje konstruktivně správné zobrazení do sestavovaných grafických materiálů. Přesné a korektní konstrukce jsou základním předpokladem jak věcně, tak ekonomicky oprávněné metodiky návazných geologicko-průzkumných a těžebních prací i jejich vyhodnocení v rámci výpočtu zásob, projektování a řízení těžby ložisek či realizace staveb apod.



Obr.5.9 Základní typy mocnosti těles

Geometrické konstrukce při interpretaci ložiskových těles využívají v plné míře zjištěné údaje o jejich mocnosti, které jsou zjišťované přímými postupy (průzkumnými hornickými díly a vrtnými pracemi) a nepřímými metodami (geologickými a geofyzikálními). Pod pojmem *mocnost ložiskového tělesa* se chápe vzdálenost mezi nadložní a podložní ohraničující plochou po přímce vedené zvoleným směrem. Podle směru této přímky se rozlišuje (obr.5.9):

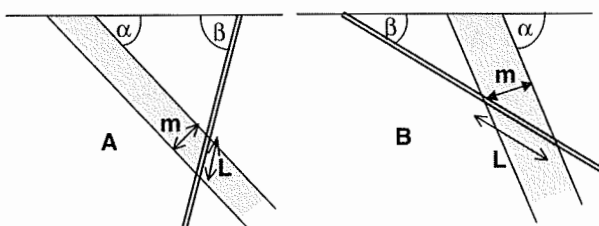
- mocnost normální (pravá)  $m$ , je-li přímka normálou obou ohraničujících ploch;
- mocnost vertikální  $m_v$ , měřená ve svislém směru;
- mocnost horizontální  $m_h$ , stanovená ve vodorovné rovině ve směru kolmém na hlavní přímku roviny;
- mocnost v libovolném směru.

Je-li znám úklon ložiskového tělesa, pak je vztah mezi hodnotami pravé, vertikální a horizontální mocnosti dán následujícími výrazy:

$$m_v = m / \cos \alpha,$$

$$m_h = m / \sin \alpha.$$

V případě zastížení ložiskového tělesa ukloněného pod úhlem  $\alpha$  vrtem pod úklonem  $\beta$  je pravá mocnost podle obr.5.10



Obr.5.10 Vztah mezi mocností a vrtovým průřezem

- v případě A

$$m = L \times \sin(\alpha + \beta),$$

- v případě B

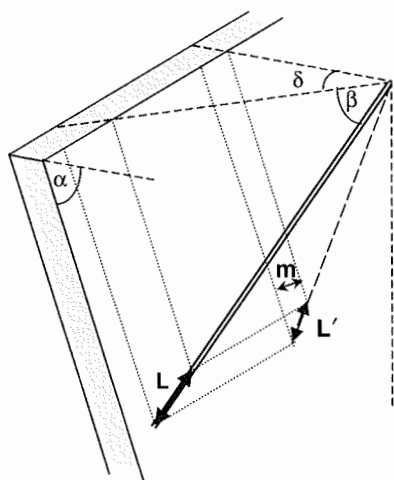
$$m = L \times \sin(\alpha - \beta),$$

kde  $L$  je délka průniku vrtu tělesem. Neleží-li vrt v rovině kolmé na směr tělesa, pak podle obr.5.11 bude

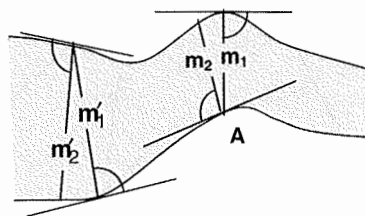
$$m = L \times \sin(\alpha + \beta) \times \cos \delta$$

U nepravidelných ložiskových těles je postup stanovení normální (pravé) mocnosti obtížnější. Podle principu uvedeného na obr.5.12 lze vypočítat snadno průměrnou hodnotu normální mocnosti (Hajkr – Neset, 1978) např. v bodě **A**

$$m = (m_1 + m_2) / 2$$



Obr.5.11 Princip výpočtu pravé mocnosti v obecném případě

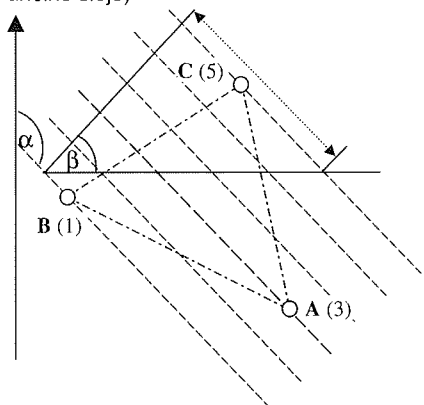


Obr.5.12 Stanovení mocnosti u nepravidelných těles

Konstruktivními postupy se zabývá *geometrie ložisek*. Jde o aplikaci metod deskriptivní geometrie na přírodní a technické (zejména hornické) objekty. Při zpracování zjištěných poznatků z realizovaných průzkumných a těžebních prací se nejvíce používá pravoúhlé promítání na horizontální nebo vertikální rovinu – *kótované promítání*. Geologická tělesa jsou ale zpravidla omezoována nepravidelnými plochami, které se z analogie s morfologií zemského povrchu nazývají plochy topografické. Konstrukce těchto ploch vychází z údajů získaných průzkumnými a těžebními průniky různého typu (povrchová a podzemní hornická díla, vrty), z bodových měření a interpretací geofyzikálních prací. Při zpracování se využívá několik základních konstrukčních úloh, které se v rámci řešení opakují. Jejich principy jsou uvedeny na následujících obrázcích 5.13 až 5.24.

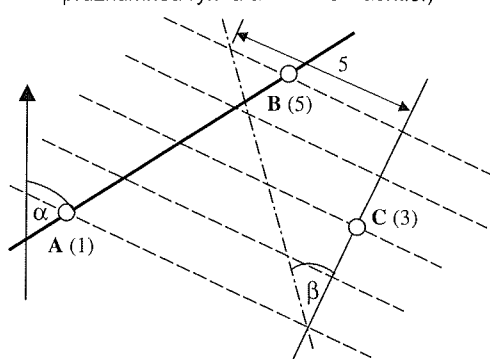
Obr.5.13 Určení směru a úklonu roviny dané třemi body A, B, C.

1. (typická úloha stanovení směru  $\alpha$  a sklonu  $\beta$  deskovitého tělesa – vrstvy, rudní žíly, uhelné sloje)



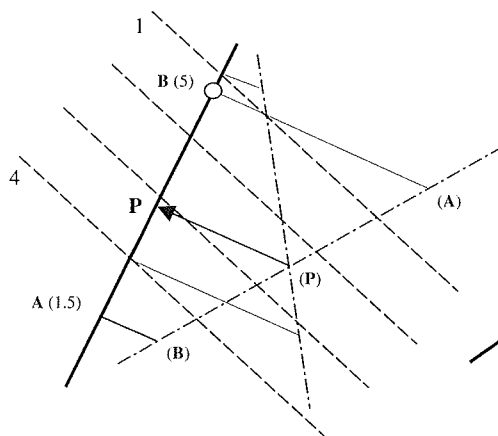
Obr.5.14 Určení směru a sklonu roviny dané přímkou AB a bodem C

- (např. uhelná sloj prozkoumaná směrnou chodbou vrtem, rudní žíla ověřená na povrchu slednou průzkumnou rýhou a vrtem či šachticí)



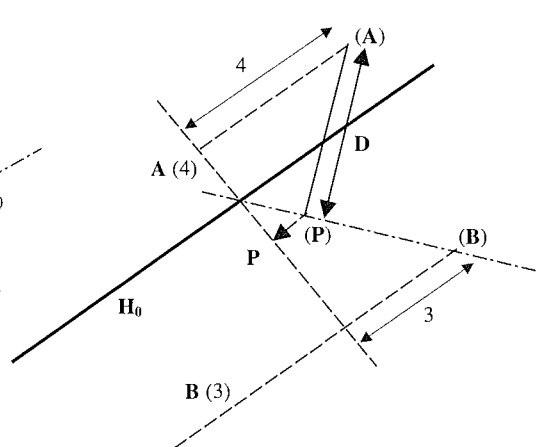
Obr.5.15 Průsečík přímky s rovinou danou hlavními přímkami

- (např. stanovení délky překopu potřebné pro zastížení ložiskového tělesa)

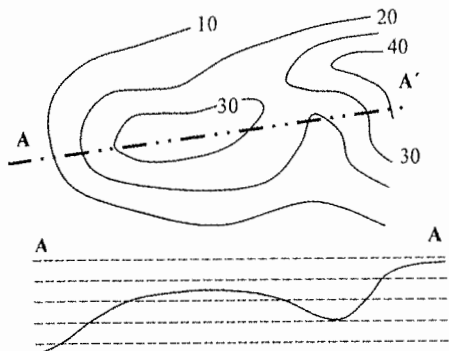


Obr.5.16 Vzdálenost bodu A od roviny dané stopou a bodem B

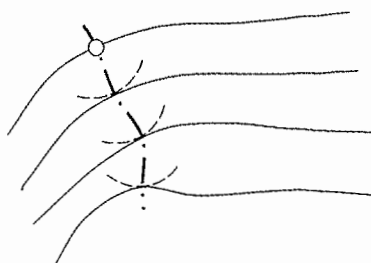
- (např. odhad potřebné délky průzkumného vrtu pro zastížení ložiskového tělesa)



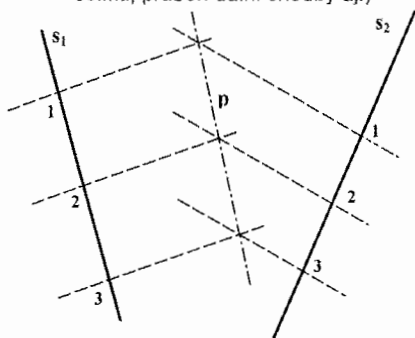
Obr.5.17 Svislý řez topografickou plochou (konstrukce geologického řezu)



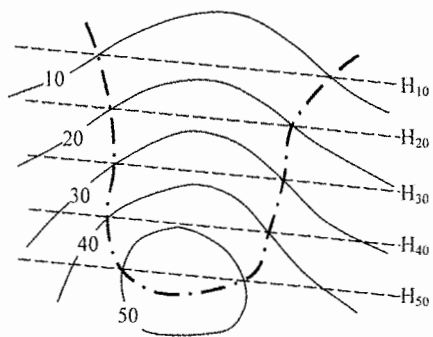
Obr.5.18 Spádnice topografické plochy



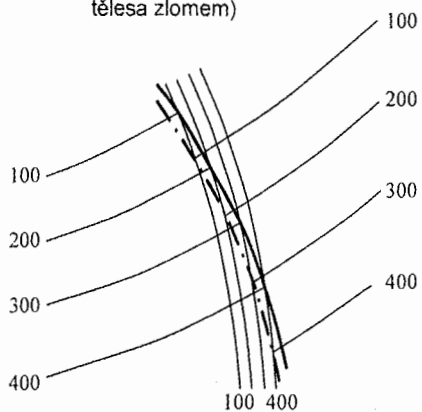
Obr.5.19 Průsečnice rovin daných spádovými přímkami  $s_1, s_2$  (stanovení ochranného celíku, průběh důlní chodby aj.)



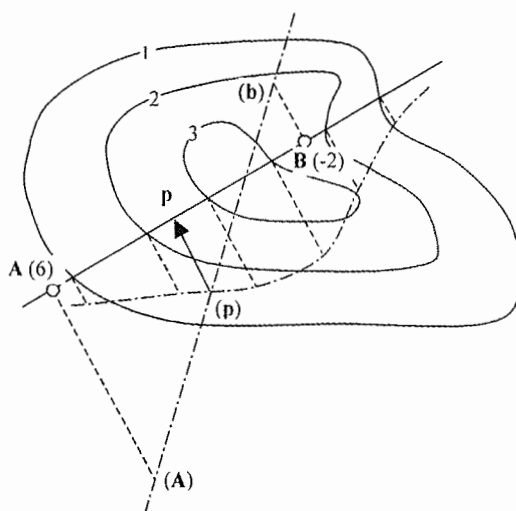
Obr.5.20 Průsečnice roviny s topografickou plochou (výchoz ložiskového tělesa povrch)



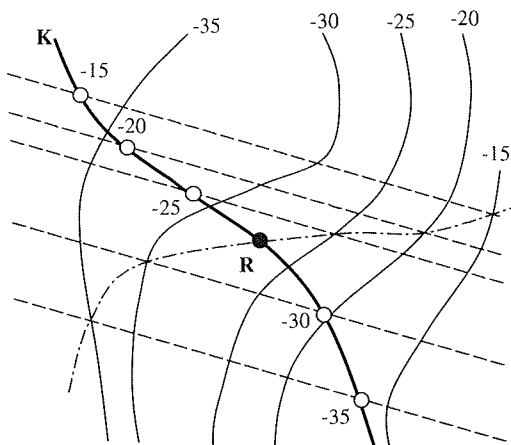
Obr.5.21 Průsečnice dvou topografických ploch (např. porušení ložiskového tělesa zlomem)



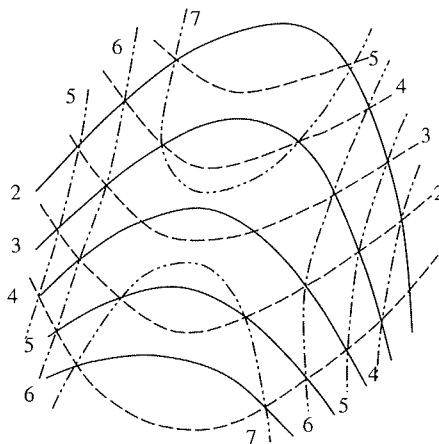
Obr.5.22 Průsečík přímky s topografickou plochou (průnik vrtu ložiskovým tělesem)



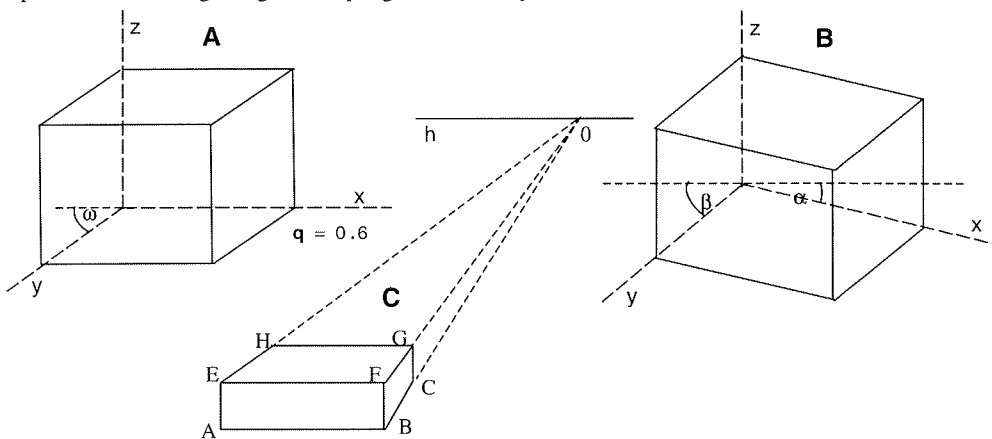
Obr.5.23 Průsčiek prostorové křivky (vrtu) K s topografickou plochou (ložiskem)



Obr.5.24 Sčítání dvou topografických ploch (konstrukce map odvozených veličin aj.)

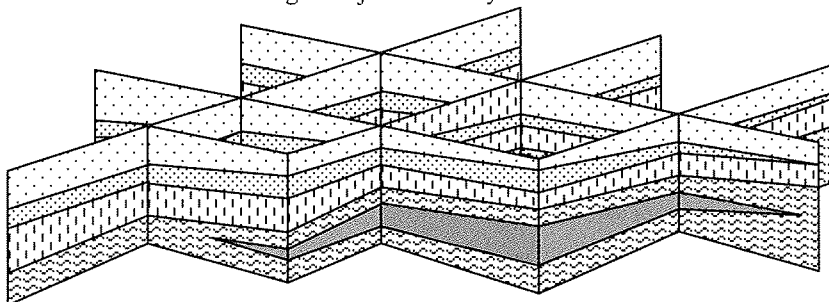


Při konstrukci blokdigramů se používá kosoúhlé nebo axonometrické promítání, v menší míře perspektivní promítání (obr.5.25). Tyto projekce jsou standardní součástí specializovaného geologického programového vybavení.

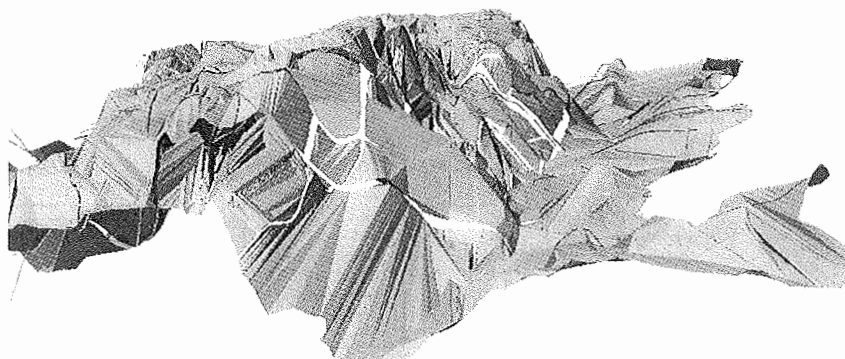


Obr.5.25 Principy kosoúhlého (A), axonometrického (B) a perspektivního (C) promítání

Příklady možného sestavení blokdigramů jsou uvedeny na obr. 5.26 a 5.27.



Obr.5.26 Axonometrická projekce ložiska sestavená z povrchových vrtů



Obr. 5.27 Relief karbonu v ostravsko-karvinské oblasti hornoslezské černouhelné pánve (z materiálů IMGE OKD Ostrava)

Geologické a ložiskové mapy se obvykle zpracovávají v obecných souřadných systémech. Pro zobrazování větších územních celků v topografických a účelových mapách se používá Gauss-Krügerova projekce, v České republice jednotná trigonometrická katastrální síť JTSK (Křováková) s baltským (dříve jadranským) výškovým systémem po vyrovnání. V důlní praxi se zvláště dříve používaly lokální sítě s orientací uzpůsobenou stavbě ložiskových těles.

Geometrizace ložiskových objektů a vlastní výpočet zásob se realizuje v průmětné rovině, která vyhovuje prostorové pozici objektů. U ploše uložených ložiskových těles se volí horizontální a u strmě uložených vertikální průmětna. V řadě případů je třeba provést transformaci souřadné soustavy do průmětné roviny paralelní s maximálními rozměry tělesa. Obecné transformační rovnice jsou

$$\begin{aligned}x' &= x \times \cos \alpha_1 + y \times \cos \beta_1 + z \times \cos \gamma_1 \\y' &= x \times \cos \alpha_2 + y \times \cos \beta_2 + z \times \cos \gamma_2 \\z' &= x \times \cos \alpha_3 + y \times \cos \beta_3 + z \times \cos \gamma_3\end{aligned}$$

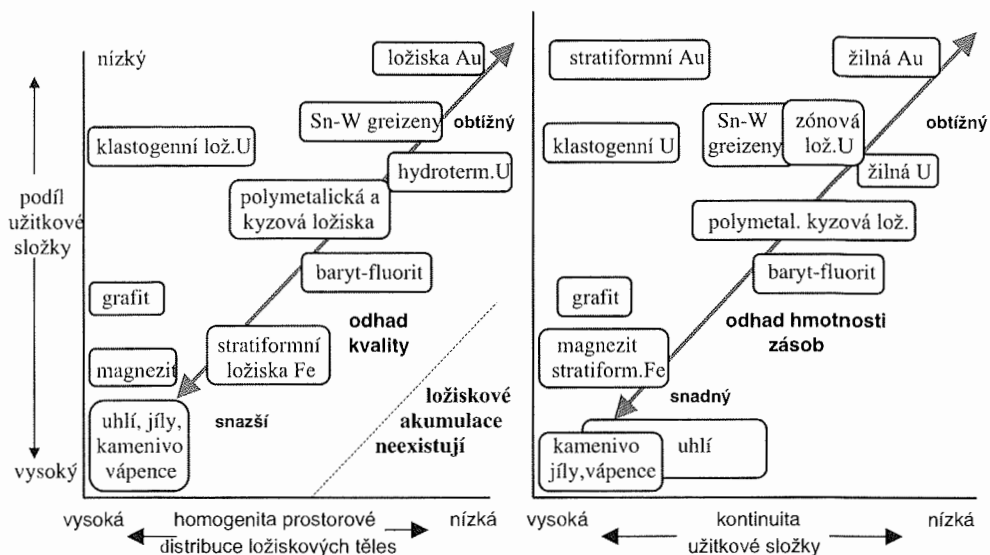
kde  $\alpha_1, \beta_1, \gamma_1$  jsou úhly, které svírá osa  $x'$  s původními osami  $x, y, z$ ,  $\alpha_2, \beta_2, \gamma_2$  úhly mezi osou  $y'$  a původními osami a  $\alpha_3, \beta_3, \gamma_3$  úhly mezi osou  $z'$  a osami  $x, y$  a  $z$ , v případě velmi časté plošné transformace

$$\begin{aligned}x' &= x \times \cos \varphi + y \times \sin \varphi \\y' &= -x \times \sin \varphi + y \times \cos \varphi\end{aligned}$$

kde  $\varphi$  je úhel rotace souřadné soustavy.

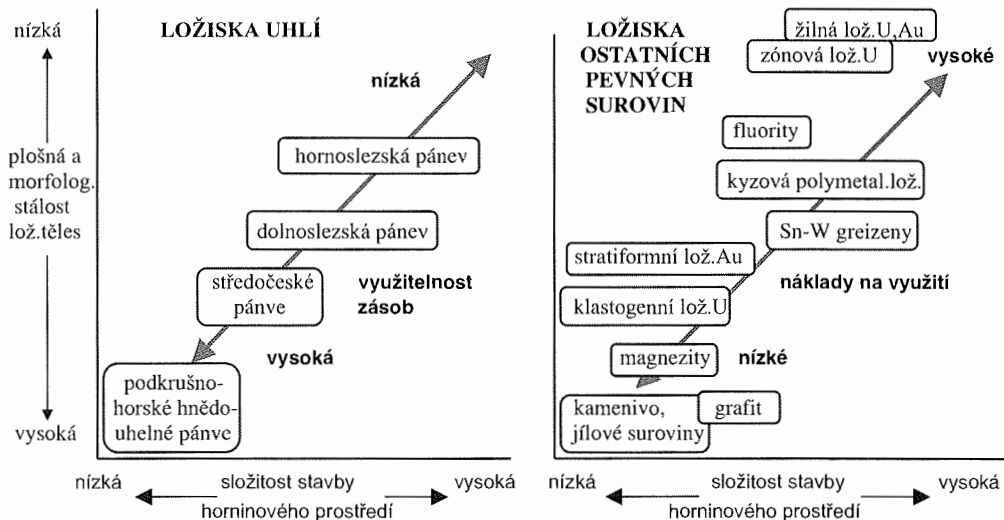
Při sestavování geologicko-geometrického modelu vyhodnocovaného ložiskového objektu je *bezpodmínečně nutné respektovat vztah mezi stupněm složitosti geologicko-strukturní stavby ložiskonosného komplexu a vlastního ložiska, charakterem morfologie a prostorové distribuce určujících ložiskových veličin a stupněm prozkoumanosti.*

Dále je nutné si uvědomit, že existuje naprosto zřejmá závislost mezi zastoupením užitečné (škodlivé) složky, kontinuitou a homogenitou její prostorové distribuce a obtížností odhadu kvality nerostné suroviny a dále mezi podílem hodnocené složky a mírou obtížností odhadu hmotnosti zásob (obr.5.28).



Obr.5.28 Vliv homogenity prostorové distribuce, zastoupení užitečné složky a kontinuity ložiskových těles na odhad kvality a hmotnosti zásob nerostných surovin.

Při úvahách o využití ložiskových akumulací, kdy do hry vstupují technicko-ekonomické faktory určující systém otvirky, přípravy, dobývání a zpracování, je třeba respektovat i vlivy složitosti stavby horninového prostředí (ložiskonosného komplexu) v interakci s plošnou a morfologickou stálostí ložiskových těles. Uvedené faktory totiž zásadním způsobem ovlivňují využitelnost zásob a nákladovost hornických operací (obr.5.29).



Obr.5.29 Vliv složitosti stavby horninového prostředí a plošné a morfologické stálosti ložiskových těles na využitelnost zásob

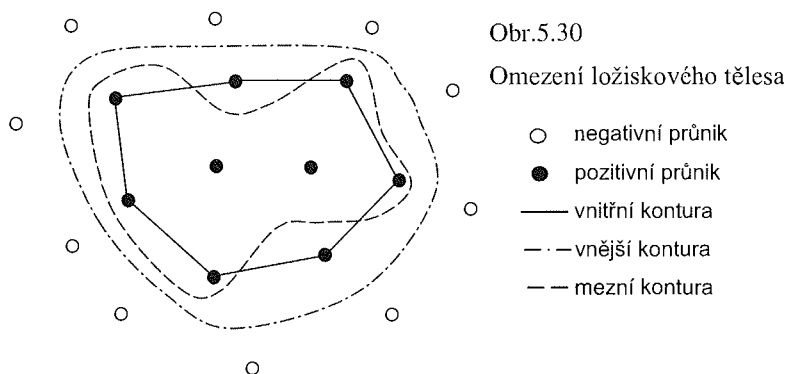


Jednou z nejdůležitějších a také nejobtížnějších operací při konstrukci grafického modelu geologického tělesa je **určení hranic**, tedy povrchu. Při modelování lze odlišit hranice definované litologickými, tektonickými či smluvními plochami (ostré čili „tvrdé“ hranice ve smyslu Houldinga, 1994) a hranice odvozované pomocí mezních podmínek, např. mezním obsahem užitkové či škodlivé složky (neostré čili „měkké“ hranice podle Houldinga).

Z hlediska výpočtu zásob je velmi důležité správné *stanovení obrysu ložiskových těles*. Proto se klade důraz na dodržení jistých dohodnutých postupů, které lze shrnout do následujících pravidel.

1) Při omezování ložiskových těles se rozlišuje vnější, vnitřní a mezní kontura (obr.5.30):

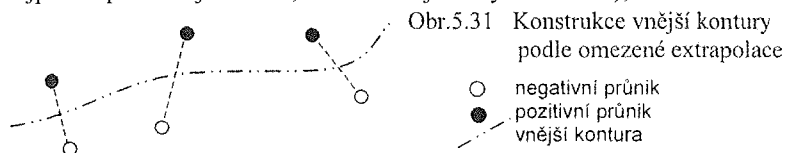
- *vnitřní kontura* je tvořena úsečkami, které spojují okrajové (tj. poslední) pozitivní průzkumné průniky;
- *vnější kontura* odpovídá geologickému obrysu tělesa v dané průmětné rovině; je představována spojnici bodů, ve kterých těleso nabývá nulové mocnosti, přičemž tato spojnice má odpovídat přirozenému tvaru objektu;
- *mezní kontura* je spojnice bodů, určených podle mezních ukazatelů technicko-ekonomických podmínek pro hodnocení zásob ložiska (např. mezní mocnost, mezní obsah užitkové složky, mezní užitná hodnota).



2) Pro konstrukci vnější kontury platí následující pravidla:

a) V případě, že vedle pozitivních průniků existují i průniky negativní, ve kterých ložiskové těleso nebylo zastíženo, stanoví se vnější kontura podle principů *omezené extrapolace*:

- při dostatečně podrobné průzkumné síti podle obr.5.31 v polovině vzdálenosti nejbližších pozitivních a negativních průniků (ze statistického hlediska jde o nejpravděpodobnější řešení, minimalizující chybu odhadu);



- v případě značně variabilních ložiskových těles, nebo je-li vzdálenost mezi negativními a pozitivními průniky značně větší, než průměrná, vede se nulová

kontura blíže k pozitivnímu průniku (vhodnou vzdálenost je nutno odvodit z vlastností tělesa).

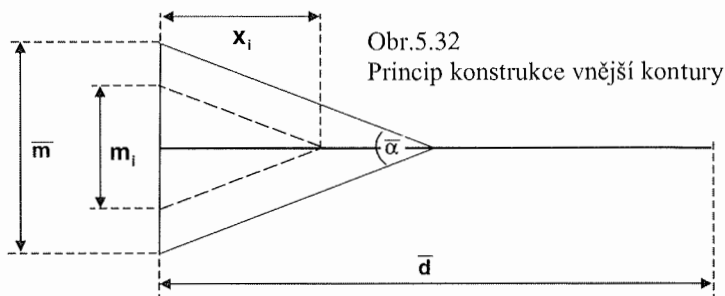
- b) U pravidelně vyvinutých čočkovitých a deskovitých těles lze určit polohu nulové kontury podle průměrného úhlu vykliňování (obr.5.32)

$$\operatorname{tg} \bar{\alpha} = 2\bar{m}/\bar{d},$$

kde  $\bar{m}$  je průměrná mocnost a  $\bar{d}$  průměrná vzdálenost mezi průzkumnými průniky. Bod nulové kontury na příslušné spojnici negativního a pozitivního průniku leží ve vzdálenosti

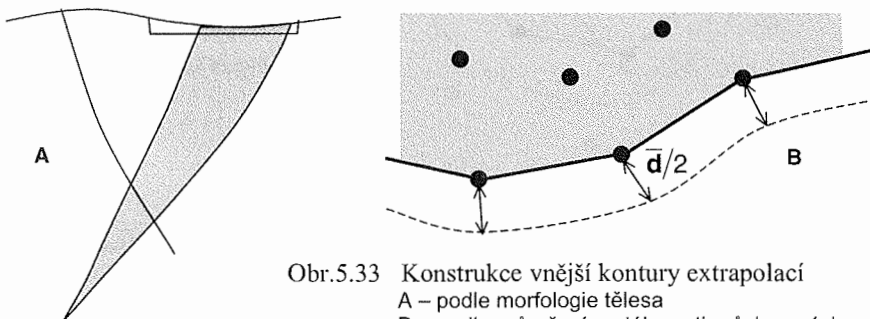
$$x_i = m_i / \operatorname{tg} \bar{\alpha} = m_i / (2\bar{m})$$

od posledního pozitivního bodu s mocností  $m_i$ .



- c) V případě, že neexistují negativní průzkumné průniky, určí se vnější kontura pomocí *neomezené extrapolace*:

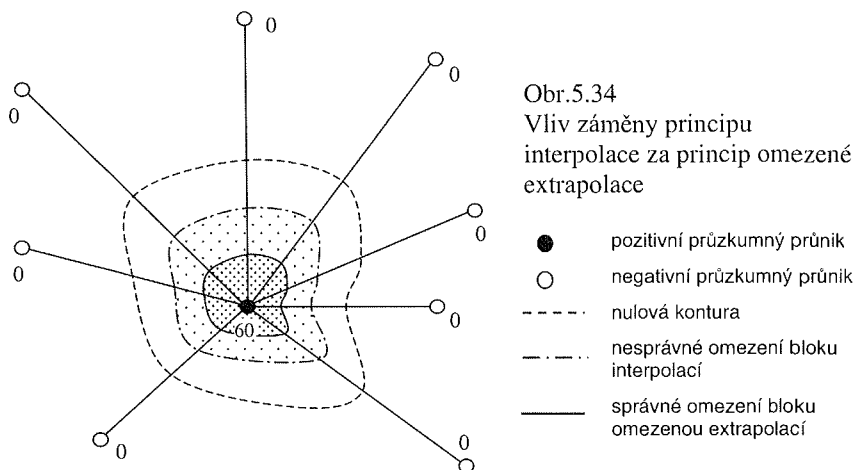
- podle geologických hledisek, založených na litologických, strukturních a dalších faktorech, které vyjadřují podmínky možného vývoje ložiskového tělesa (obr.5.33-A);



- u mocnějších ložiskových těles podle charakteru jejich morfologie vyjádřené řezy nebo mapami izolinií mocnosti (v tomto případě se vnější kontura stanoví extrapolací průběhu izolinií mocnosti z části tělesa omezené vnitřní konturou – obr.5.33-B);
- na základě formálních pravidel, kdy se body vnější kontury stanoví v polovině nebo u nepravidelných těles v třetině vzdálenosti průniků  $\bar{d}$ .

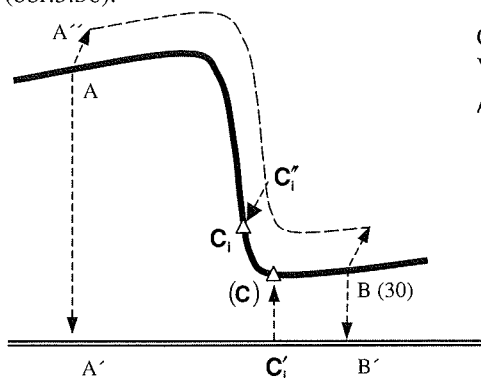
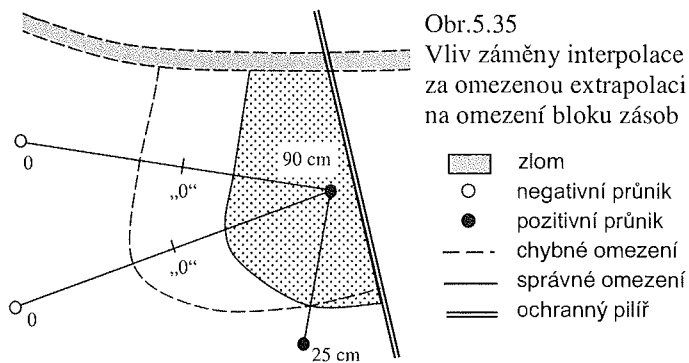
Je třeba zdůraznit, že *záměna principu interpolace za omezenou extrapolaci* mezi pozitivním a negativním může vést k významnému nadhodnocení velikosti ložiskového tělesa. Zvláště výrazně se tento jev projevuje jednak v případě řídkých průzkumných sítí, jednak u nahodile vyvinutých ložiskových těles. Takový postup znamená, že se ukončení ložiskového tělesa předpokládá právě v negativních průzkumných průnicích. Už intuitivně je zřejmé, že

jde o řešení velmi málo pravděpodobné, zejména v případě nepravidelné a řídké průzkumné sítě. Proto je třeba aplikovat takové pravidlo, které bude zajišťovat stejnou pravděpodobnost vzniku kladných a záporných chyb a tím minimalizovat celkovou chybu výpočtu. Nejjednodušší, logicky i statisticky zcela vyhovující formální pravidlo je volit vnější konturu ložiskového tělesa v polovině vzdálenosti mezi sousedními negativními a pozitivními průniky (obr.5.34).

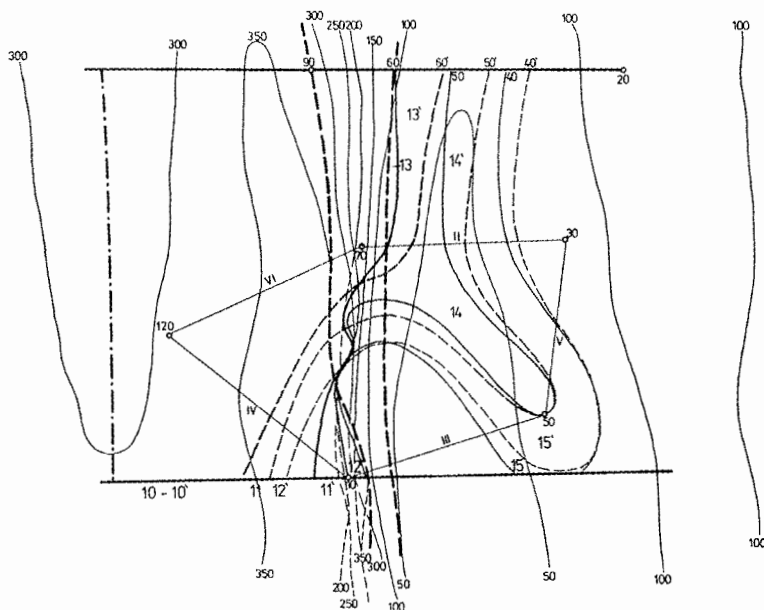
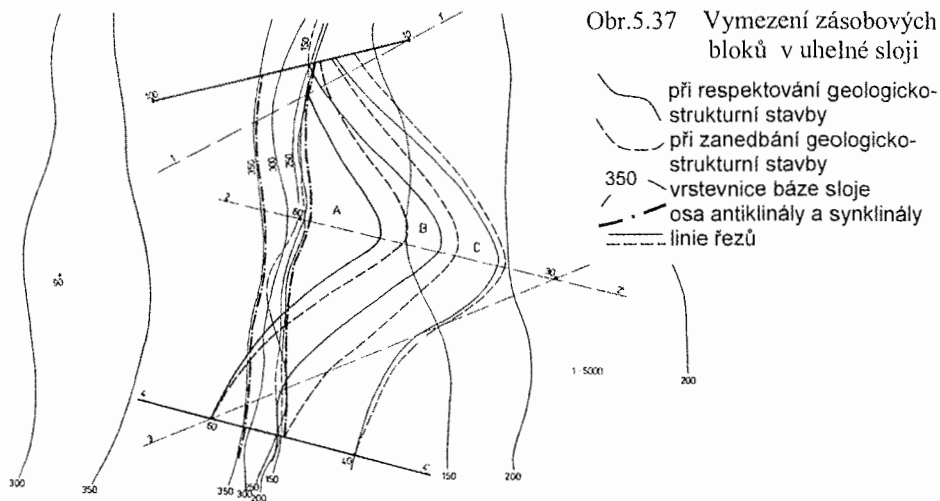


Podobný velmi významný efekt má takováto záměna i v případě kombinace více faktorů charakteru přirozených i umělých (technických) omezení, jako např. poruchových zón, ochranných pilířů apod. (obr.5.35).

Při konstrukci mezních linií hodnot naturálních ukazatelů je nutno vždy brát v úvahu geologicko-strukturální uspořádání horninového komplexu. Zanedbání zlomové a hlavně vrásové stavby při interpolaci a omezené extrapolaci vede ke vzniku značných chyb, které se projeví v nadhodnocení zásob (obr.5.36).



Konkrétní příklad nerespektování geologicko-strukturní stavby při konstrukci mezních izoliníí mocností uhelné sloje, které tvoří základní ukazatel podmínek pro omezení zásobových bloků, je uveden na obr. 5.37 a 5.38.



Obr.5.38 Vymezení zásobových bloků v uhelné sloji  
Vysvětlivky viz obr.5.37

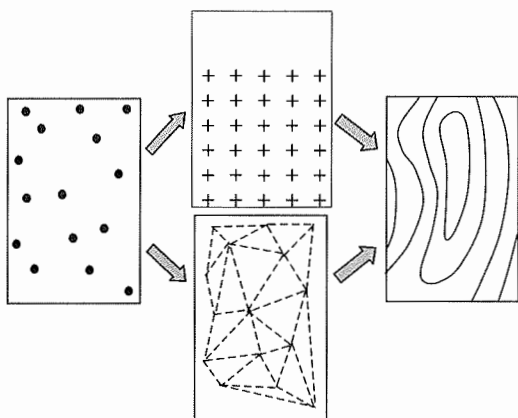
Z dlouholetých praktických zkušeností a řady publikovaných prací vyplývá, že nedodržování konstruktivních postupů je jedním z poměrně častých nedostatků předkládaných geologických zpráv a výpočtů zásob. Proto je nutno se seznámit s principy geometrie ložisek a hlavně tyto konstruktivní principy využívat a správně aplikovat.

S rozvojem počítačové techniky a softwarového inženýrství se stávají normou postupy počítačového modelování a simulací geologických objektů. V zásadě se uplatňují dva přístupy. Prvý vychází z využití standardních metod „ručního“ zobrazování geobjektů, druhý na základě projekce pozorovaných dat ve zvoleném prostoru vytváří pomocí zvolené procedury grafického zobrazování aproximaci morfologie těles a jejich vnitřních atributů.

Vizualizační techniky výrazně pokročily od konvenčních postupů ke komplexním prostředkům plošného a prostorového zobrazení. Existuje mnoho standardních programových prostředků, které se liší jednak uživatelským komfortem, jednak svými principy (tj. použitými algoritmy). Proto je třeba věnovat pozornost výběru a především omezením aplikovaných procedur. Plošné a zejména prostorové modelování je značně citlivé na použité principy a techniky zobrazení, což vyplývá ze složitosti geologických objektů a nehomogenního charakteru zpracovávaných dat. Algoritmy musí poskytovat určitou pružnost a rychlou a jednoduchou konstrukci modelu.

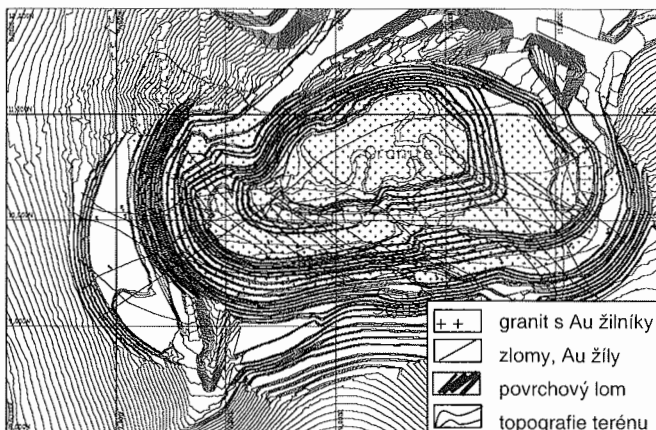
V geologické praxi jsou nejobvyklejší *plošné modely*. Ve většině případů jde o mapy objektů (na příklad geologické mapy), mapy morfometrických a jakostních veličin a geologické a účelové řezy. Velmi obvyklým typem plošných modelů jsou *mapy izolinií*

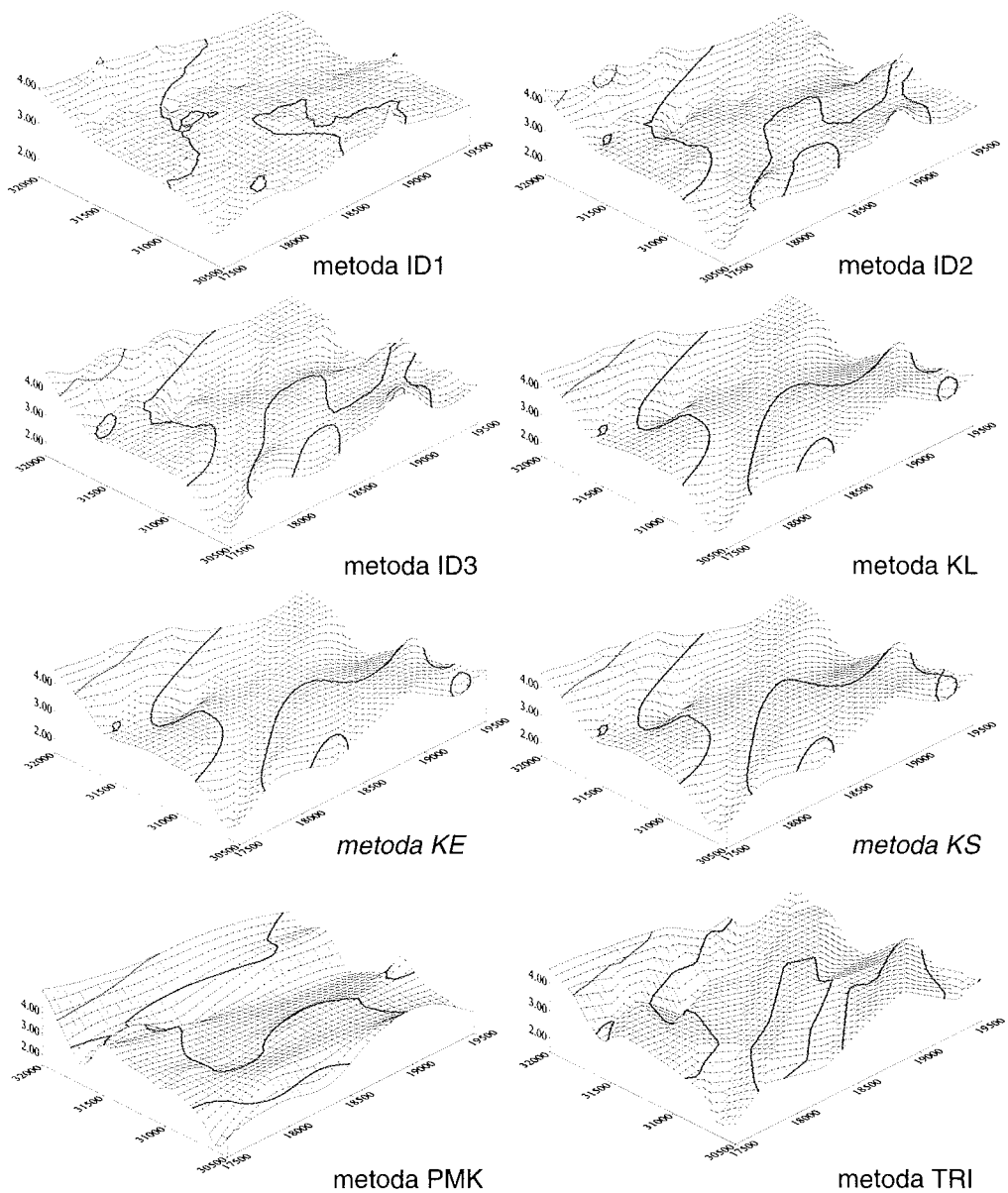
reálných a skrytých topografických ploch. Počítačové techniky jejich konstrukce jsou podle obr.5.39 založeny na principu vytvoření trojúhelníkového modelu nebo ortogonálního bodového modelu plochy (gridování) za využití lokálních funkcí typu různých interpolačních procedur, např. statistických vážených průměrů různého typu, zejména metod inverzních vzdáleností, dále ploch minimální křivosti či krigovacích postupů (obr.5.41). Při modelování reálných objektů dochází k průnikům různých geometrických prvků. Běžně se spojují zjevné a skryté topografické plochy, různé roviny a tělesa, modelující např. povrchový nebo hlubinný důl (obr.5.40)



Obr.5.39 Modelování plochy z nepravidelné sítě pozorování

Obr.5.40 Mapa povrchového zlatodolu Fort Knox u města Fairbanks na Aljašce. (Fort Knox and True North Deposit Technical Report, 2003)





Obr.5.41 Porovnání ploch získaných různými interpolačními procedurami (Staněk 1999)

ID1 – metoda ID; ID2 – metoda IDS; ID3 – metoda IDC; KL – krigování s lineárním modelem semivariogramu; KE – korigování s exponenciálním modelem semivariogramu; KS – korigování se sférickým modelem semivariogramu; PMK – plocha minimální křivosti; TRI – trojúhelníková metoda

Při sestavování prostorových modelů se používají různé přístupy. Výchozím krokem jejich tvorby je sestavení koncepčního geologického modelu, který vyhovuje praktickým poznatkům a rovněž teoretickým předpokladům. Následný postup může být různý. Nejjednodušší modely vznikají sloučením série paralelních vertikálních nebo horizontálních řezů (obr.5.42-B). Z tohoto pseudoblokdiagramu lze odvodit blokdiagram (obr.5.42-C) ve vhodném zobrazení (axonometrickém, perspektivním).

Pro zobrazení morfologie prostorového modelu geobjektu se používají různé kartografické techniky. Častým případem jsou *drátové modely*, které se skládají pouze z vrcholů a hran, nebo *plošné modely*, kdy je povrch tělesa simulován soustavou jednoduchých geometrických ploch, a to buď ploch rovinných (nejčastěji trojúhelníkových) nebo zborcených (čtvercových nebo obdélníkových). Pro zvýšení názornosti sestavených prostorových modelů se často používá kombinace drátového modelu a izolinií, nebo stínování ploch.

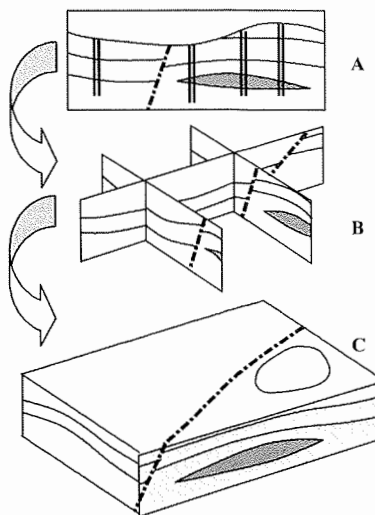
Třetím typem jsou modely vznikající pomocí *objemového modelování*, které je založeno na postupném vytváření modelu objektu **V** pomocí sjednocení, rozdílů a průniků jednoduchých geometrických těles, tzv. primitivů  $V_{1...m}$ , např.

$$\{[(V_1 \cap V_2) \cup V_3] \cap V_4\} \cup V_5 \dots ,$$

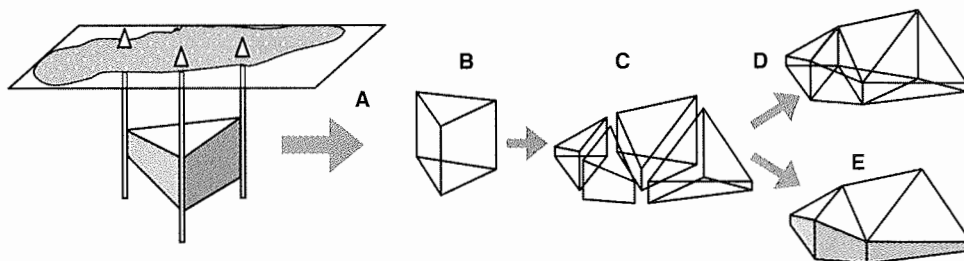
doplňených topologickými charakteristikami jejich popisu. V rámci modelování geologických objektů lze za jednoduchá tělesa (primitivy) pokládat:

- trojboké hranoly či kvádry (úseky geologických těles omezené průzkumnými průniky),
- tělesa deskovitá (vrstva, sloj), čočkovitá (skarn, lakolit), lineárně protažená (peň, komín, diapir) a izometrická (žilník),
- vrásy a vrásové struktury,
- zlomy a zlomové systémy.

Tyto primitivy lze jednoduše geometricky definovat a modifikovat pomocí transformací souřadnic podle charakteru modelovaného objektu (obr.5-43).



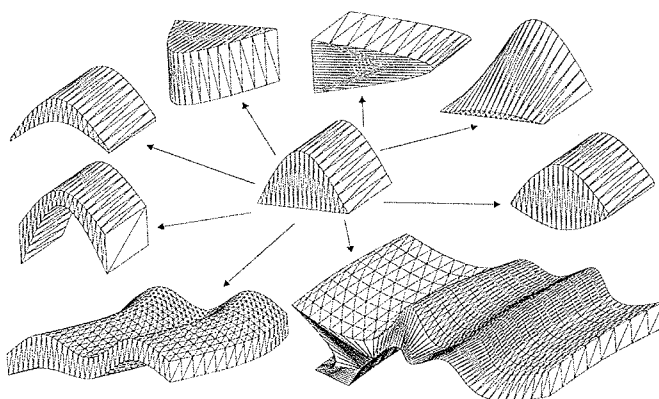
Obr.5.42 Konstrukce prostorového modelu pomocí řezů



Obr.5.43 Modelování geologického tělesa transformacemi primitivu trojbokého hranolu  
A - konstrukce základního primitivu, B - základní hranol, C - transformace základního hranolu, D - drátový model, E - objemový model

Transformace se mohou vhodně kombinovat různým způsobem. Tak lze vytvářet složitější obrazce (obr.5.44).

Obr.5.44  
Příklad generování modifikací vrás a vrásových struktur z jednoduchého základního primitivu vrásky (Pinto - Casas, 1996)

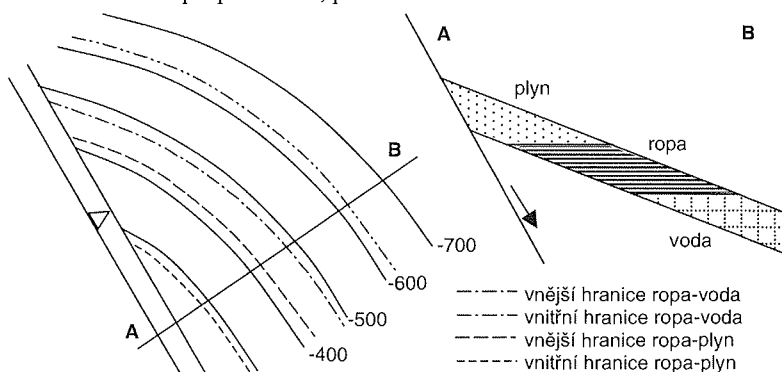


Geometrizace ložisek ropy a zemního plynu vyžaduje sestavení řady strukturálních map, a to zejména:

- strukturální mapy povrchu a počvy produktivního tělesa (vrstvy, propustné zóny apod.);
- stanovení polohy hladin ropa – voda, resp. plyn – voda a ropa – plyn a sestavení odpovídajících strukturálních map;
- určení vnějších a vnitřních hranic ropné a plynové zóny ve strukturálních mapách;
- sestavení mapy mocností produktivní části ložiska.

Ve strukturálních mapách jsou pomocí stratoizohyps (izolinií stejných nadmořských výšek) znázorněny skryté topografické plochy nebo jejich kombinace. Obvykle jde o strukturální plochy ploch omezujících geologická nebo ložisková tělesa (nadložní či podložní plochy), plochy zlomů, plochy morfologie erozivních povrchů apod. Podobně se sestavují mapy struktury ropo- a plynonosného horizontu a mapy jeho mocností. Konstrukce strukturálních map se opírá o poznatky zjištěné geologickým a strukturálním mapováním, geofyzikálním, geochemickým a dálkovým průzkumem, průzkumnými vrty a důlními díly. V zásadě je tedy třeba využít všechny dostupné údaje.

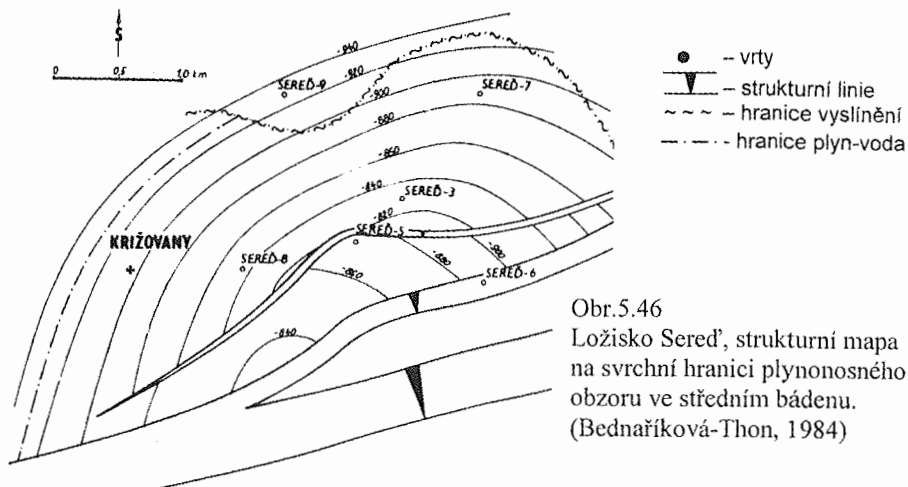
Vnější a vnitřní hranice produktivnosti ložiska je dána průsečnicí plochy povrchu, resp. počvy produktivní vrstvy s plochou rozhraní ropa-voda či plyn-voda (obr.5.45). Rozhodující je konstrukce map hladin rozhraní ropa-voda a ropa-plyn, která vychází z vrtných údajů, karotážních měření a čerpacích zkoušek, zejména v blízkosti kontaktů. Tyto hladiny jsou v zásadě horizontální, což je důsledkem rozdílů v měrné hmotnosti. Mohou být nakloněny nebo deformovány litologickými změnami kolektoru, strukturou pórového prostoru, změnami fázové propustnosti, prouděním vrstevních vod atd.



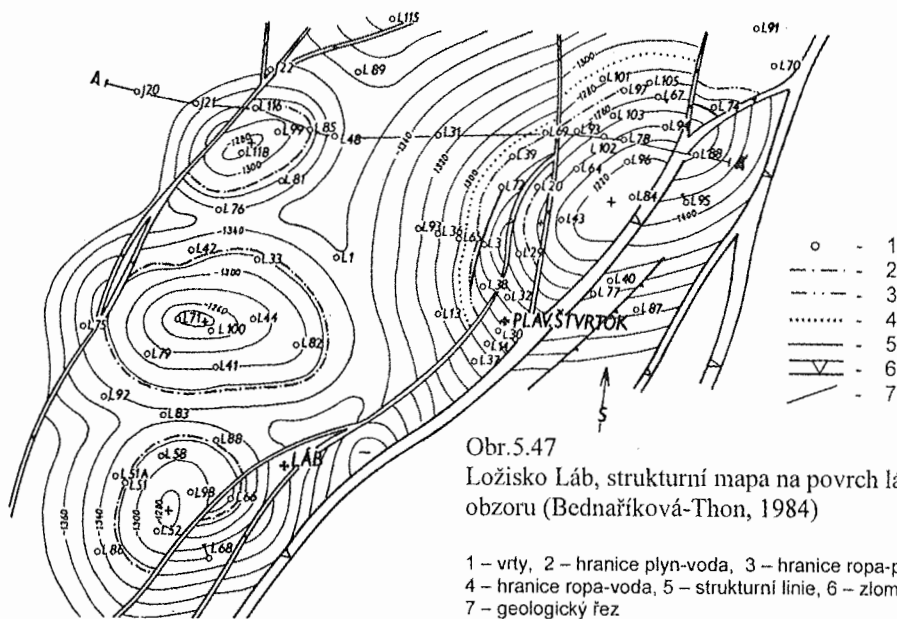
Obr.5.45 Konstrukce hranic ložiska ropy a plynu



Mapa mocnosti (mapa izopach) ložiska ropy a plynu (resp. jen ropy či jen plynu) vychází z map hladin rozhraní ropa-voda (plyn-voda) a ropa-plyn.



Obr.5.46  
Ložisko Sered', strukturní mapa na svrchní hranici plynonosného obzoru ve středním bádenu. (Bednařiková-Thon, 1984)



Obr.5.47  
Ložisko Láb, strukturní mapa na povrch lábského obzoru (Bednařiková-Thon, 1984)

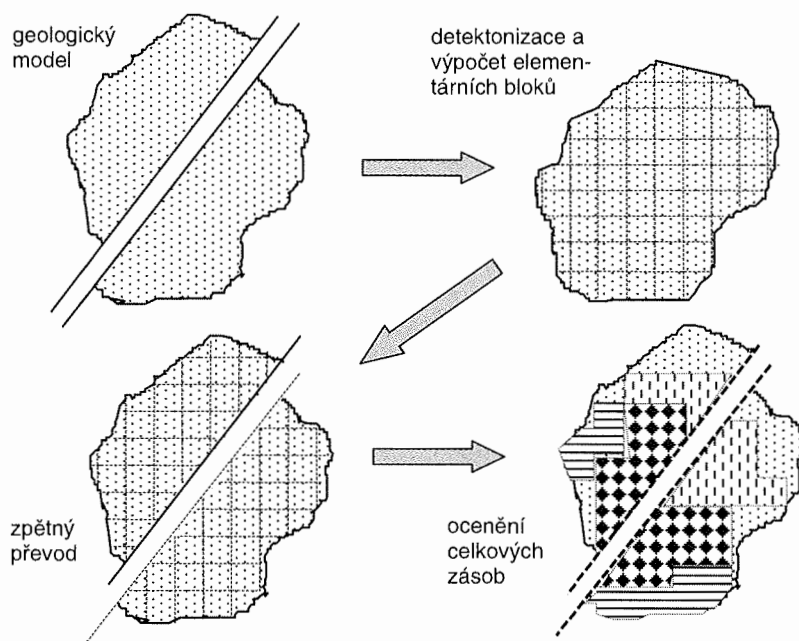
1 – vrty, 2 – hranice plyn-voda, 3 – hranice ropa-plyn,  
4 – hranice ropa-voda, 5 – strukturní linie, 6 – zlom,  
7 – geologický řez

### 5.3. PRINCIPY MODELOVÁNÍ LOŽISKOVÝCH TĚLES

Je tedy zřejmé, že v průběhu cyklu geologických a těžebních prací se významným způsobem mění kritéria, na základě nichž sestavujeme model ložiska. V počátku cyklu vycházíme z genetických a geologicko-strukturních hypotéz, které jsou základem pro vypracování **konceptního geologického modelu**. Dále se podle typologických kritérií, které zahrnují morfometrická hlediska a hlediska statistické a prostorové variability polí určujících ložiskových veličin, sestavuje **geologicko-geometrický model** objektu. V průzkumných etapách se vychází z **matematicko-geologického modelu**, při jehož tvorbě se uplatňují

naturální velikostní (minimální mocnost, minimální rozměr bloku, minimální hmotnost zásob) a jakostní ukazatele (minimální obsah užtkových složek, maximální obsah škodlivin, požadované fyzikálně-mechanické parametry atd.) hodnocení ložiskových těles. Výsledkem jsou *geologické zásoby*. V etapě projektování a výstavby dolu se vychází z *modelu využitelných zásob*, které odrážejí základní technicko-ekonomická kritéria. Konečně v etapách využití ložiska se v rámci těžby uplatňují hlediska technologické optimalizace vedoucí k *modelu těžitelných zásob*. Zatímco modely počátečních etap jsou relativně stabilní, modely využitelných a těžitelných zásob jsou v čase velmi proměnlivé. Proto jsou velmi výhodné procedury odhadu zásob vytvářející na základě naturálních ukazatelů „inventář“ elementárních plošných nebo prostorových domén (mikrobloků a pod.), které pak mohou být podle okamžitých technicko-ekonomických ukazatelů různým způsobem tříděny.

Další komplikace mohou nastat zejména při využití počítačových modelů výpočtu zásob založených na segmentaci pole v případě tektonického postižení ložiskových těles. Obvykle se v takovém případě přistupuje k „detektonizaci“, tj. k sestavení atektonického modelu objektu pro potřeby odhadu zásob (obr.5.48). Uvedený postup je oprávněný v případě, že tektonické deformace neporušují charakter původních mineralizovaných polí. V opačném případě musí procedura odhadu zásob respektovat původní geometrický model ložiskového objektu.



Obr.5.48 Postup ocenění zásob tektonicky porušeného ložiska

Sestavování modelů geologických objektů je běžnou součástí práce geovědců po dlouhá desetiletí, neboť podle Babcocka (1984) geologické modely „jsou klíčem k jakémukoliv průzkumnému programu“, tedy základem veškeré aplikované geologie. Jejich konstrukce byla založena především na mentální analýze. Byla tak silně závislá na odborné erudici a zkušenostech autora, jehož induktivně-deduktivní postupy byly a jsou často obtížně popsatelné a algoritmizovatelné. Široce se využíval princip analogie, který je jedním z hlavních metodologických principů dodnes. S rozvojem základních přírodních věd a

nezbytných technik a hardwaru se modelování, založené na využití matematických metod a počítačových technologií, velmi rozvinulo a rozšířilo.

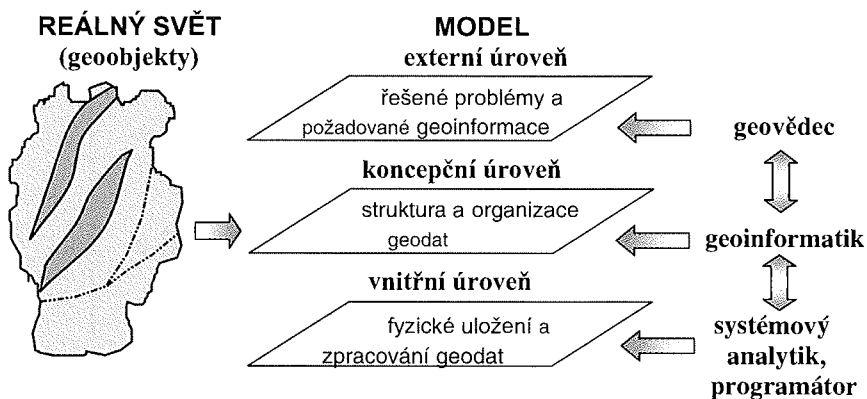
Právě reálnost a hodnověrnost geometrického modelu geologického objektu představuje jeden ze základních problémů matematicko-geologického modelování. Jestliže je přijatý geometrický model založený na chybné koncepci geologické stavby objektu, pak seberažinovanější matematický model nemůže tuto chybu eliminovat.

V zásadě můžeme rozlišit prostorové modelování morfologie geologických těles a modelování jejich „vnitřních“ atributů. *Modelování morfologie těles* může být vedle tradičních metod geometrie ložisek (aplikace deskriptivní geometrie) založeno na metodách dvou- a trojrozměrné počítačové grafiky (vrstevnicové, drátové a objemové modely). *Modelování vnitřních atributů* geologických těles vychází vedle empirických pravidel z využití matematicko-fyzikálních teorií polí a teorie náhodných veličin a náhodných funkcí. Vede tedy k modelům deterministickým, statistickým, geostatistickým a empirickým. *Deterministické modely* jsou využívány např. v geofyzice, hydrogeologii, geomechanice a v některých případech i v ložiskové geologii a aplikované geochemii. Velmi rozšířené jsou *statistické modely*, neboť funkční vyjádření polí sledovaných veličin a jejich vzájemných vztahů je obtížné a často prakticky nerealizovatelné. Za reálnější se považují *geostatistické modely*, založené na náhodných funkcích (polích), které mají schopnost postihnout jak prostorovou strukturu objektů, tak jejich náhodnou složku. Velmi časté jsou také *empirické modely*, které určitým matematickým aparátem popisují objekt na základě jisté apriorní představy autora bez teoretického zdůvodnění.

Pro efektivnost matematicko-geologického modelování mají velký význam *datové modely*. Modelování musí být založeno na věcně opodstatněných *koncepčních modelech*, které vycházejí jednak z předem formulovaných cílů prací, jednak z obecných zákonitostí formování a vývoje geologických objektů.

Významnou složkou celého procesu modelování je *báze znalostí*. I když tento termín je vlastní sféře znalostního inženýrství, resp. konkrétně expertním systémům, má své obecné opodstatnění. Je důležitou složkou procesu modelování, neboť je základem tvorby koncepčních modelů a na nich budovaných matematicko-geologických modelů.

Úlohu geovědce, geoinformatika, systémového analytika a programátora v procesu celého poznávacího cyklu znázorňuje schéma na obr. 5.49.



Obr.5.49 Úrovně abstrakce při modelování geoobjektů (upraveno podle Streita 1998)

## 6. METODY VÝPOČTU ZÁSOB

### 6.1. ZÁKLADNÍ FORMULACE PROCEDURY ODHADU ZÁSOB

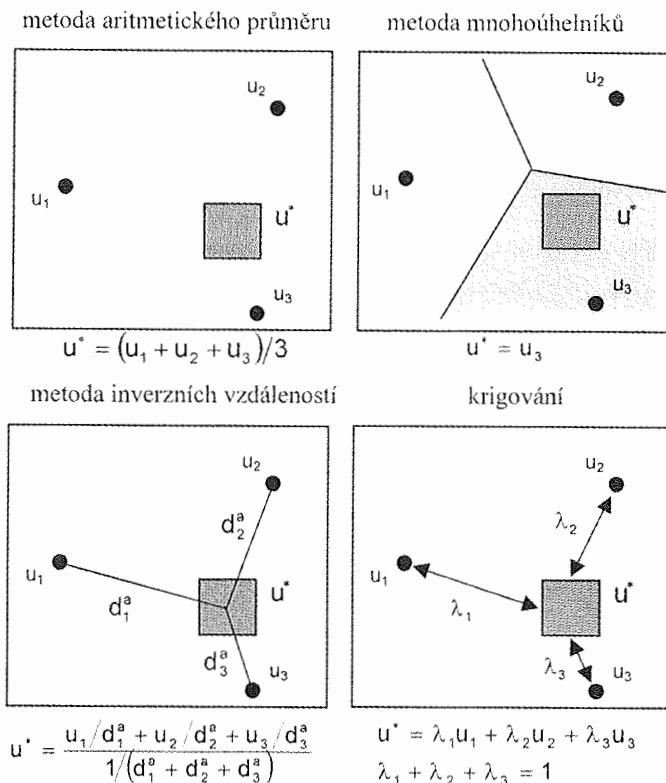
Zásoby nerostné suroviny  $Q$  a užitkových složek  $R$  v ložisku je možné intuitivně vyjádřit následujícími výrazy:

$$Q = \int_V f_a(\rho) \times \beta(\mathbf{v}) d\mathbf{v}$$

$$R = \int_V f_a(\rho) \times f_b(\mathbf{c}) \times \beta(\mathbf{v}) d\mathbf{v}$$

kde  $f_a(\rho)$  a  $f_b(\mathbf{c})$  jsou prostorové funkce objemové hmotnosti a obsahu užitkových složek v náhodném poli  $\mathbf{V}$  a  $\beta(\mathbf{v})$  je geometrická funkce nabývající hodnotu 1 uvnitř a hodnotu 0 vně pole  $\mathbf{V}$ . Uvedené výrazy neodrážejí vzájemné závislosti proměnných vystupujících jako parametry výpočtových vzorců. Proto je obecně nezbytné buď zavést do vzorců opravné členy vyjadřující jejich kovarianci nebo vycházet při výpočtu z odvozených proměnných typu metrprocenta (akumulace) nebo lineárních zásob.

Jednotlivé metody odhadu zásob se v zásadě liší ve způsobu odhadu objemu ložiskového tělesa a v proceduře odhadu hodnot uvedených funkcí v definované doméně (bloku). Postup odhadu průměrných hodnot ložiskových proměnných musí respektovat jejich statistickou a prostorovou distribuci, morfogenetický typ ložiska a systém jeho průzkumu a samozřejmě použitou metodu odhadu zásob (obr.6.1).



Obr.6.1. Principy vybraných metod odhadu zásob nerostných surovin

V principu jde o problém výběru vhodné procedury odhadu očekávaných hodnot  $E[\mathbf{f}(\mathbf{U})]$  parametrů na základě pozorování  $\{\mathbf{u}_i\}$

$$E[\mathbf{f}(\mathbf{U})] = \int_V \mathbf{g}(\mathbf{u}) \times \mathbf{f}(\mathbf{u}) d\mathbf{v}$$

kde  $\mathbf{f}(\mathbf{u})$  je funkce pozorovaných hodnot a  $\mathbf{g}(\mathbf{u})$  odpovídající váhová funkce. Ve všech známých metodách výpočtu zásob je odhad hodnoty funkce  $\mathbf{f}(\mathbf{U})$  v jisté doméně  $\mathbf{j}$  náhodného pole  $\mathbf{V}$  odvozován z realizovaných pozorování podle vzorce

$$\mathbf{u}_j^* = \sum_{i=1}^m \mathbf{w}_{ji} \times \mathbf{u}_{ji},$$

kde  $\mathbf{w}_{ji}$  jsou váhy a  $\mathbf{u}_{ji}$  pozorované hodnoty hodnocené proměnné  $\mathbf{U}$ . Rozdíly mezi metodami spočívají ve způsobu definování výpočtové domény s ohledem na průzkumný systém a zónu vlivu informace z každého průzkumného pozorování a na způsobu odvození vah. Postupy musí poskytovat vydatný odhad, tj. nestranný odhad s minimálním rozptylem

$$E(\mathbf{u} - \mathbf{u}^*) = 0, \quad \text{VAR}(\mathbf{u} - \mathbf{u}^*) = \min,$$

kde  $\mathbf{u}$  je skutečná a  $\mathbf{u}^*$  odhadnutá hodnota veličiny  $\mathbf{U}$ .

Obecné výrazy jsou v jednotlivých metodách výpočtu zásob transformovány podle použitého principu do jistého výpočtového vzorce. Jeho parametry mají povahu statistických očekávaných (středních) hodnot  $E(\mathbf{U})$ . Jestliže použijeme příklad deskovitých těles, pak výše uvedené výrazy transformované do podoby

$$\begin{aligned} E(\mathbf{Q}) &= E(\mathbf{S}) \times E(\mathbf{m}) \times E(\rho) \\ E(\mathbf{R}) &= E(\mathbf{S}) \times E(\mathbf{m}) \times E(\rho) \times E(\mathbf{c}) \end{aligned}$$

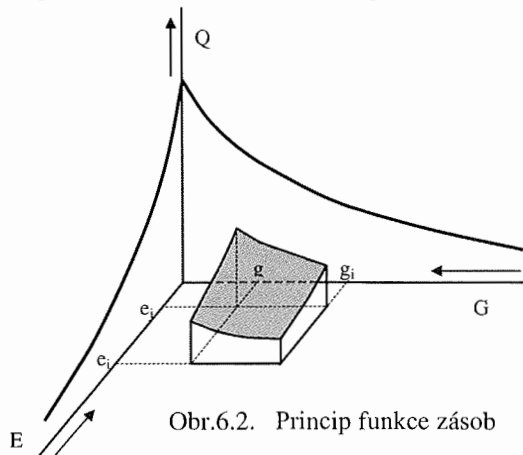
kde  $\mathbf{S}$  je obsah plochy,  $\mathbf{m}$  mocnost,  $\rho$  objemová hmotnost a  $\mathbf{c}$  obsah užitkové složky, platí jen tehdy, jde-li o veličiny vzájemně nezávislé. Jinak je nutno brát ohled na charakter a míru těsnosti  $h$  vztahů mezi veličinami a prošetřit jejich vliv na odhad. Obecně tedy platí vzorce

$$\begin{aligned} E(\mathbf{Q}) &= E(\mathbf{S}) \times E(\mathbf{m}) \times E(\rho) + \text{COV}(\mathbf{S}, \mathbf{m}, \rho) \\ E(\mathbf{R}) &= E(\mathbf{S}) \times E(\mathbf{m}) \times E(\rho) \times E(\mathbf{c}) + \text{COV}(\mathbf{S}, \mathbf{m}, \rho, \mathbf{c}) \end{aligned}$$

kde  $\text{COV}(\mathbf{S}, \mathbf{m}, \rho)$  a  $\text{COV}(\mathbf{S}, \mathbf{m}, \rho, \mathbf{c})$  jsou opravné členy postihující vliv kovariancí.

Postupy odhadu zásob, které jsou založeny na počítačových modelech, využívají segmentace ložiskového objektu do plošné či prostorové sítě elementárních plošných nebo prostorových jednotek představujících základní "inventář" odhadů, který je oceňován „krok za krokem“ (obr.6.2). Tento inventář je pak transformován podle stupně prozkoumanosti  $\mathbf{G}$  (tj. podle rozsahu a spolehlivosti poznání) a souboru požadovaných technicko - ekonomických kritérií využitelnosti  $\mathbf{E}$  do ocenění zásob jednotlivých kategorií. Označíme-li pro tyto účely funkci zásob  $F(\mathbf{Q}|\mathbf{G}, \mathbf{E})$ , pak celkové zásoby, resp. zásoby jednotlivých kategorií získáme integrací v mezích prozkoumanosti  $\mathbf{g}_i, \mathbf{g}_j$  a využitelnosti  $\mathbf{e}_i, \mathbf{e}_j$

$$\mathbf{Q}_{ij} = \int_{\mathbf{g}_i}^{\mathbf{g}_j} \int_{\mathbf{e}_i}^{\mathbf{e}_j} F(\mathbf{Q}|\mathbf{G}, \mathbf{E}) d\mathbf{g} d\mathbf{e}$$



Obr.6.2. Princip funkce zásob

## 6.2. TRADIČNÍ METODY VÝPOČTU ZÁSOB PEVNÝCH NEROSTNÝCH SUROVIN

V průběhu řady desetiletí byla pro odhad zásob pevných nerostných surovin navržena a prakticky využívána řada metod, zpravidla rozpracovaných do několika variant. Proto také různí autoři uvádějí rozdílný počet výpočtových metod. Hlavní metody jsou dále stručně charakterizovány.

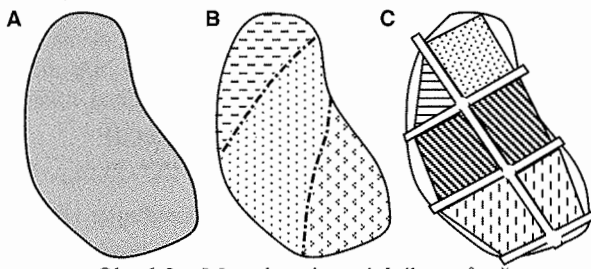
### 6.2.1. Metody aritmetického průměru

jsou založeny na záměně hodnoceného tělesa deskou stejného objemu o konstantní výšce. Hodnoty parametrů výpočtového vzorce jsou určovány jako aritmetické průměry z hodnot zjištěných v průzkumných průřezích, které leží uvnitř kontury tělesa nebo jeho hodnocené části. Výpočet se provádí dle vzorců

$$Q = S \times M_p \times \rho_p,$$

$$P = S \times M_p \times \rho_p \times C_p \times 10^{-2},$$

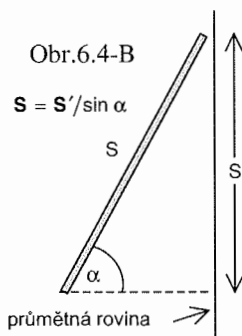
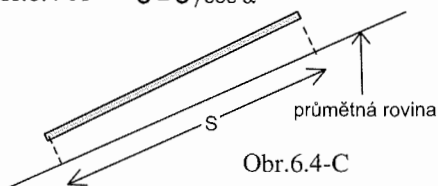
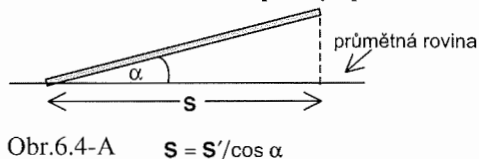
kde  $S$  je plocha tělesa nebo bloku v průmětné rovině,  $M_p$  průměrná mocnost,  $\rho_p$  průměrná objemová hmotnost a  $C_p$  průměrný obsah užitečné složky (složek) v %. Je-li výpočet prováděn v rámci celého ložiskového tělesa, je postup označován jako **metoda aritmetického průměru** (obr.6.3-A), při výpočtu v rámci částí tělesa omezené přirozenými geologickými hranicemi (vyklíněním, vyhluchnutím, tektonickou linií) jako **metoda geologických bloků** (obr.6.3-B) a při výpočtu v úseku tělesa omezeném důlními přípravnými díly jako **metoda těžebních bloků** (obr.6.3-C).



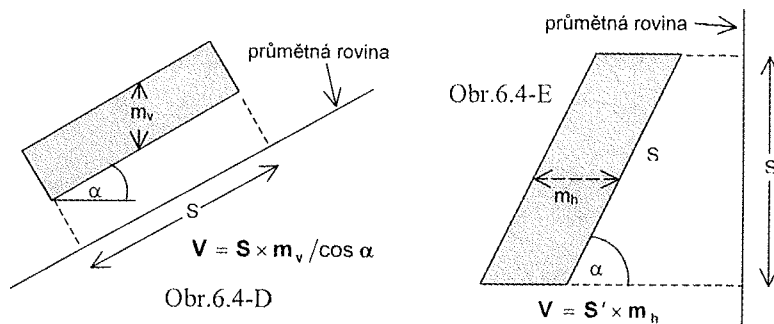
Obr.6.3 Metody aritmetického průměru

Výhodou metod aritmetického průměru je jednoduchost a rychlost, nevýhodou menší přesnost odhadu a nedostatečné informace o rozmístění kvalitativních typů suroviny v tělese. Tyto metody se používají hlavně u deskovitých těles menších mocností.

Volba průmětné roviny závisí na úklonu ložiskového tělesa. Podle obvyklé praxe se do úklonu tělesa  $45^\circ$  volí vodorovná rovina (obr.6.4-A) a nad  $45^\circ$  svislá rovina (obr.6.4.-B). V případě úklonu do  $10^\circ$  se redukce plochy zpravidla zanedbává.

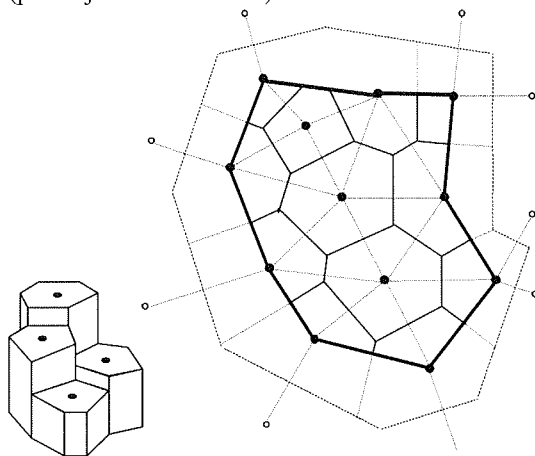


Podle toho se řídí výpočet obsahu plochy. Další možnost představuje volba průmětné roviny rovnoběžné s průměrným úklonem ložiskového tělesa (obr.6.4-C). V případě mocných ložiskových těles lze při výpočtu objemu bloku s výhodou využít vertikálních průzkumných průřezů (obvykle vrtů), nebo u strně uložených těles horizontálních průzkumných průřezů (průzkumných překopů a vrtů). Princip výpočtu je uveden na obr.6.4-D a 6.4-E.



### 6.2.2. Metoda mnohoúhelníků

je známa rovněž pod názvem Boldyrevova metoda. Vychází z rozdělení plochy ložiska v průmětné rovině na elementární mnohoúhelníky, které zobrazují zóny vlivu každého průzkumného průřezu. Vrcholy mnohoúhelníku jsou tvořeny průsečíky kolmic, vedených středy spojnic centrálního průřezu s přilehlými sousedními průřezími (obr.6.4). Odhad hmotnosti zásob ložiskového tělesa je dán součtem zásob elementárních mnohoúhelníků (přesněji řečeno hranolů)



Obr.6.4 Princip výpočtu zásob metodou mnohoúhelníků

$$Q = \sum_{j=1}^k S_j \times M_j \times \rho_j,$$

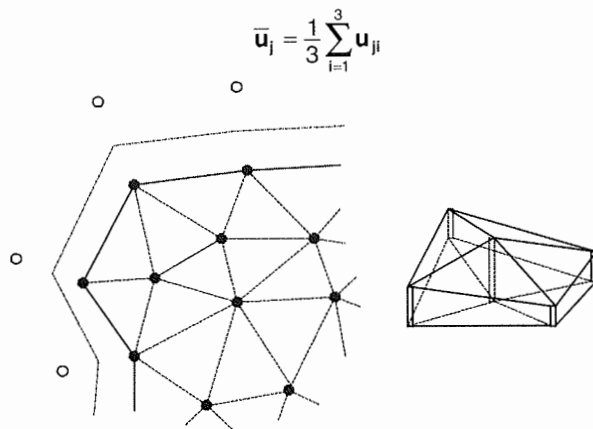
$$R = \sum_{j=1}^k S_j \times M_j \times \rho_j \times C_j \times 10^{-2}$$

kde  $S_j$  je plocha j-tého mnohoúhelníku a  $M_j$  mocnost,  $\rho_j$  objemová hmotnost suroviny a  $C_j$  obsah v % v centrálním j-tém průřezu. Obvykle je objemová hmotnost stanovena pro celý ložiskový objekt a ve výpočtovém vzorci vystupuje jako konstanta. Předností této metody je jednoduchost a rychlost, nedostatkem skutečnost, že nerespektuje přirozenou morfologii ložiskových těles a charakter prostorové distribuce užitkové složky. Metoda se používá pro odhad zásob

deskovitých a čočkovitých těles. Podle všech zkušeností tato metoda poskytuje nejméně spolehlivé výsledky a proto se od jejího používání upouští.

### 6.2.3. Metoda trojúhelníků

Metoda spočívá v rozčlenění ložiskového tělesa na hranoly s trojúhelníkovými základnami, jejichž vrcholy jsou v realizovaných průzkumných bodech (obr.6.5). Pro každý hranol se určí průměrné hodnoty obsahu užitkových složek, mocnosti a v některých případech i objemové hmotnosti, a to jako aritmetické průměry z hodnot zjištěných v průzkumných bodech, které tvoří vrcholy trojúhelníků



Obr.6.5 Princip metody trojúhelníků

Zásoby v j-tém hranolu tedy jsou

$$Q_j = S_j \times \bar{M}_j \times \bar{\rho}_j$$

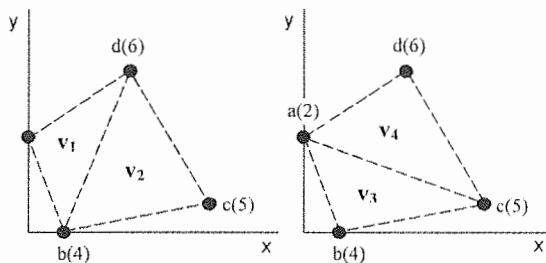
$$R_j = S_j \times \bar{M}_j \times \bar{\rho}_j \times \bar{C}_j \times 10^{-2}$$

Celkové zásoby se určí sumací dílčích hranolů. Stejně jako v předešlém případě je objemová hmotnost zpravidla stanovena pro celý objekt. Celkové zásoby v tělese tedy budou

$$Q = \bar{\rho} \times \sum_{j=1}^k S_j \times \bar{M}_j$$

$$R = \bar{\rho} \times \sum_{j=1}^k S_j \times \bar{M}_j \times \bar{C}_j \times 10^{-2}$$

Metoda ve své klasické podobě nenašla většího použití, neboť nerespektuje geologická hlediska, tj. morfologii a vnitřní strukturu ložiskových těles, neposkytuje stabilní řešení (obr.6.6) a výsledky výpočtu nelze přímo využít pro praktické účely těžby ložiska.



Obr.6.6 Příklad nestability trojúhelníkové metody

$$S_1 = 0.5 \times [0 + 1 \times (5 - 3) + (3 - 0)] = 7$$

$$m_1 = (2 + 4 + 6) / 3 = 4$$

$$V_1 = 7 \times 4 = 28$$

$$S_2 = 0.5 \times [1 \times (1 - 5) + 5 \times (6 - 0) + 4 \times (0 - 1)] = 8.5$$

$$m_2 = (4 + 5 + 6) / 3 = 5$$

$$V_2 = 8.5 \times 5 = 42.5$$

$$V_1 + V_2 = 28 + 42.5 = 70.5$$

$$S_3 = 0.5 \times [0 + 1 \times (1 - 3) + 5 \times (3 - 0)] = 6.5$$

$$m_3 = (2 + 4 + 5) / 3 = 3.67$$

$$V_3 = 6.5 \times 3.67 = 23.85$$

$$S_4 = 0.5 \times [0 + 5 \times (5 - 3) + 4 \times (3 - 1)] = 9$$

$$m_4 = (2 + 5 + 6) / 3 = 4.33$$

$$V_4 = 9 \times 4.33 = 39$$

$$V_3 + V_4 = 23.85 + 39 = 62.83$$

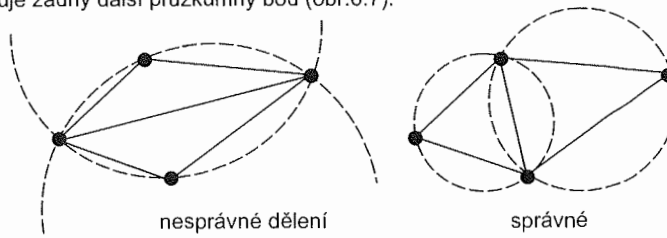
Diference = 12 %



Nestabilitu výsledků lze snadno eliminovat zavedením vah úhlů  $\vartheta_{ji}$  vrcholů trojúhelníka

$$\bar{\mathbf{u}}_j^* = \frac{1}{180} \sum_{i=1}^3 \mathbf{u}_{ji} \times \vartheta_{ji}$$

Poznámka: při dělení plochy ložiskového tělesa na trojúhelníky lze využít principy optimální Delaunayovy triangulace, tj. dělení na takové trojúhelníky, u nichž opsaná kružnice neobsahuje žádný další průzkumný bod (obr.6.7).



Obr.6.7 Princip Delaunayovy triangulace

#### 6.2.4. Metody geologických řezů

se používají pro výpočet zásob deskovitých, čočkovitých nebo nepravidelných ložisek větších mocností, prozkoumaných systémy zpravidla vertikálních nebo horizontálních průzkumných řezů. Parametry výpočtu se určují z konstruovaných geologických řezů (obr.6.8-A). Postup výpočtu je následující:

- nejprve vypočteme plošné zásoby suroviny  $\mathbf{Q}_j$  a uživatelské složky  $\mathbf{R}_j$  každého řezu

$$\mathbf{Q}_j = \mathbf{S}_j \times \bar{\rho}_j$$

$$\mathbf{R}_j = \mathbf{S}_j \times \bar{\rho}_j \times \bar{\mathbf{C}}_j \times 10^{-2}$$

kde  $\mathbf{S}_j$  je plocha řezu,  $\bar{\rho}_j$  objemová hmotnost suroviny a  $\bar{\mathbf{C}}_j$  průměrný obsah uživatelské složky v %,

- poté vypočteme zásoby suroviny tělesa:

- podle zón vlivu řezů  $\mathbf{z}_j$  (obr.6.8-B)

$$\mathbf{Q} = \sum_{j=1}^m \mathbf{Q}_j \times \mathbf{z}_j,$$

- pomocí vzdálenosti  $h_{j,j+1}$  sousedních řezů (obr.6.8-C)

$$\mathbf{q} = \sum_{j=1}^m 0.5 \times (\mathbf{Q}_j + \mathbf{Q}_{j+1}) \times h_{j,j+1}$$

- podle Matheronových vzorců přibližné integrace (obr.6.8-D)

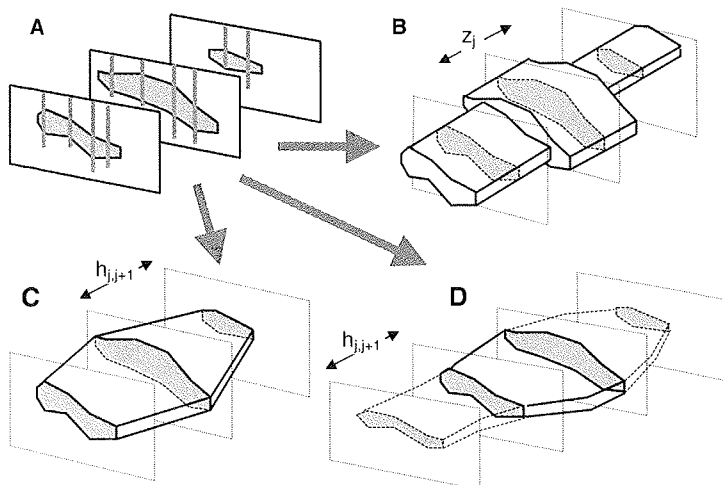
$$\mathbf{Q}_{1,2} = \left( \frac{2}{3} \mathbf{Q}_2 + \frac{5}{12} \mathbf{Q}_1 - \frac{1}{12} \mathbf{Q}_3 \right) \times h_{1,2}$$

$$\mathbf{Q}_{j,j+1} = \left\{ \frac{13}{24} (\mathbf{Q}_j + \mathbf{Q}_{j+1}) - \frac{1}{24} (\mathbf{Q}_{j-1} + \mathbf{Q}_{j+2}) \right\} \times h_{j,j+1}$$

$$\mathbf{Q}_{m-1,m} = \left( \frac{2}{3} \mathbf{Q}_{m-1} + \frac{5}{12} \mathbf{Q}_m - \frac{1}{12} \mathbf{Q}_{m-2} \right) \times h_{m-1,m}$$

V případě různoběžných řezů závisí postup výpočtu bloku na velikosti úhlu, který řezy svírají (obr.6.10). Je-li úhel  $\alpha$  menší než  $10^\circ$  platí vzorec

$$\mathbf{Q}_{i,j} = \frac{1}{4} (\mathbf{Q}_i + \mathbf{Q}_j) \times (\mathbf{t}_i + \mathbf{t}_j),$$

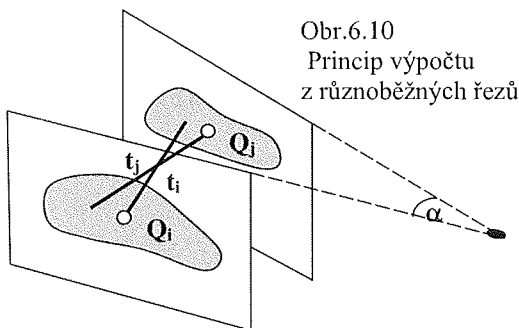


Obr.6.8 Možné postupy odhadu zásob metodami řezů

při úhlu mezi rovinami řezu větším než  $10^\circ$  vzorec

$$Q_{i,j} \cong \frac{\alpha}{4 \sin \alpha} \times (Q_i + Q_j) \times (t_i + t_j)$$

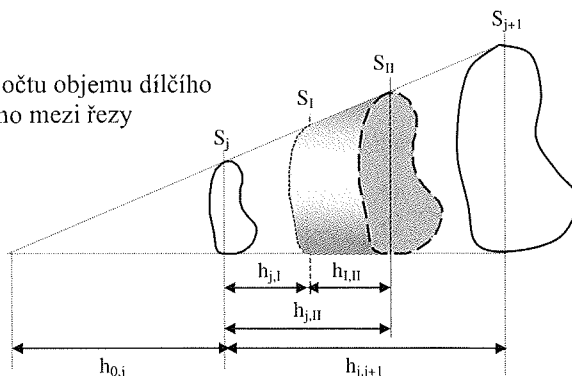
kde  $t_i$ ,  $t_j$  jsou délky kolmic vedených z těžiště jednoho řezu na druhý.



Obr.6.10  
Princip výpočtu  
z různoběžných řezů

Podle analogických vztahů se určují i zásoby užitkové složky. Hlavní předností této metody je, že plně respektuje geologický model ložiska a že nevyžaduje žádné účelové konstrukce. Předpokladem je, že ložisko musí být dobře prozkoumané systémem řezů. Pro těžební účely je často potřebné určit zásoby v dílčím bloku mezi výpočtovými řezy. Princip znázorňuje obr.6.11.

Obr.6.11 Princip výpočtu objemu dílčího bloku ležícího mezi řezy

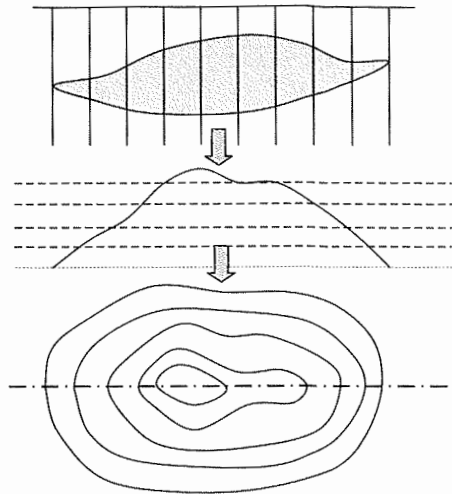


### 6.2.5. Metoda izolinií

jejíž princip je znázorněn na obr.6.12, je ve své tradiční podobě založena na ruční konstrukci map izolinií ložiskových parametrů. V případě, že vycházíme z map izolinií

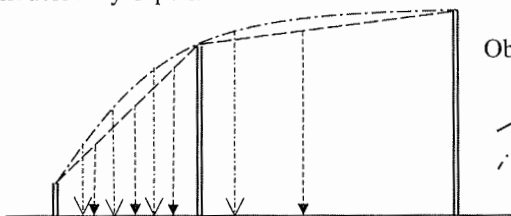
mocnosti, určujeme objem tělesa, z map izolinií násobků mocnosti a objemové hmotnosti (map metraprocenta), určujeme zásoby nerostné suroviny a z map násobků mocnosti, objemové hmotnosti a obsahu užitečné složky (map lineárních zásob) zásoby užitečné složky. Poslední uvedené přístupy jsou výhodné, neboť v podstatě eliminují vlivy závislosti veličin.

Metoda je založena na předpokladu, že hodnoty veličiny se v poli mění spojitě a postupně, bez přerušení. Při ruční konstrukci map izolinií se zpravidla používá pravidlo lineární interpolace (tj. předpoklad lineární změny hodnoty veličiny mezi známými body), což nemusí odpovídat skutečnosti (obr.6.13). Proto je nutno zvláště u těles se složitější morfologií a rovněž prostorovou distribucí modelovaných veličin interpolační pravidlo ověřit, aby se předešlo nesprávnému hodnocení modelovaných polí.



Obr.6.12 Princip metody izolinií

Obr. 6.13 Výběr interpolačního pravidla

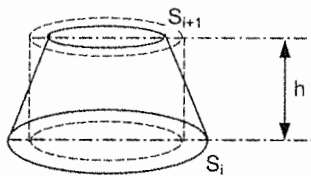


zjištěné hodnoty v průzkumných průnicích  
 lineární interpolace  
 nelineární interpolace

Mapy izolinií jsou v geovědách široce používány. Pro hornické a inženýrské účely byla metoda rozpracována Sobolevským (1928).

Odhad objemu tělesa, hmotnosti nebo dalších veličin se může provádět podle několika vzorců, které jsou spolu s principy uvedeny dále:

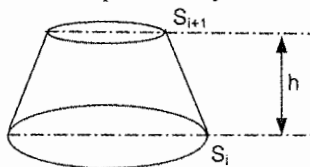
a) dle vzorce pro válec



$$V = \frac{1}{2} \times h \times \left( S_0 + 2 \times \sum_{i=1}^{n-1} S_i + S_n \right) + \frac{1}{3} \times S_n \times h'$$

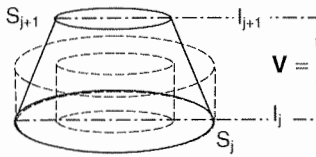
kde  $S_i$  je plocha omezená  $i$ -tou izolinií,  $h$  rozdíl hodnot izolinií a  $h'$  výška zbývající nad konečnou izolinií;

b) dle vzorce pro komolý kužel



$$V = \frac{1}{3} \times h \times \sum_{i=1}^{n-1} \left( S_i + \sqrt{S_i \times S_{i+1}} + S_{i+1} \right) + \frac{1}{3} \times S_n \times h'$$

a) dle vzorce pro dutý váleček



$$V = \sum_{j=1}^{m-1} (S_j - S_{j+1}) \times 0.5 \times (l_j + l_{j+1}) + S_m \times [l_m + 0.5 \times (l_m - l_{m-1})]$$

kde  $S_j$  je plocha omezená  $j$ -tou izoliní a  $l_j$  odpovídající hodnota této izolinie.

Předností metody izolinií je názornost. Metoda není vhodná pro značně nepravidelná ložiska se složitou prostorovou distribucí užitkových složek a zejména pro málo prozkoumaná ložiska.

### 6.12.6. Statistické metody

se používají jednak k odhadu zásob prozkoumaných a těžených ložisek s vysokou variabilitou užitkových složek, jednak pro odhad prognózních zásob v málo známých oblastech.

Typickým příkladem prvé skupiny je tzv. *metoda produktivity*, která je často využívána pro výpočet zásob uranových žilných ložisek. Zásoby uranu v  $j$ -tém bloku jsou

$$R_j = S_j \times q_j / K,$$

kde  $S_j$  je plocha bloku,  $q_j$  produktivita a  $K$  koeficient výtěžnosti,

$$q_j = \sum_i p_i / \sum_i s_i$$

$p_i$  je hmotnost kovu získaného z plochy  $s_i$ .

Pro odhad prognózních zásob málo prozkoumaných úseků uhelných pánví se používá *metoda uhlonosnosti*. Pravděpodobné zásoby se určí ze vztahu

$$Q = S \times \bar{M} \times \bar{p} \times k,$$

kde  $S$  je plocha hodnoceného úseku,  $\bar{M}$  průměrná mocnost uhlonosného souvrství,  $\bar{p}$  objemová hmotnost uhlí a  $k$  koeficient uhlonosnosti

$$k = M_u / \bar{M},$$

$M_u$  je součet průměrných mocností slojí.

### 6.2.7. Využitelnost klasických výpočtových metod.

Praktické využití klasických metod výpočtu zásob v „předpočítačovém“ období ilustrují údaje zveřejněné Květoněm (1953). Podobné údaje uvádějí někteří ruští autoři.

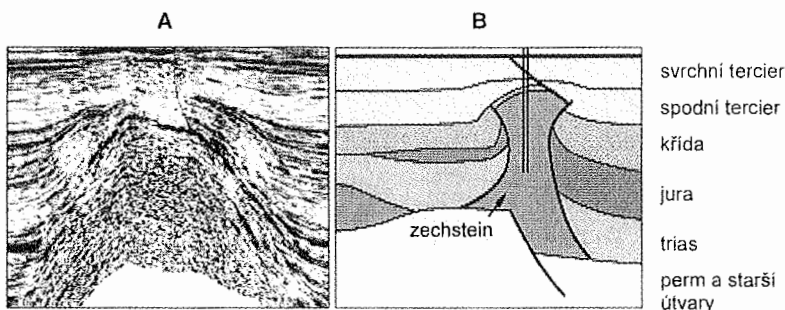
ložiska	metoda výpočtu v %							
	metody aritmet. průměru	metoda bloků	metoda mnoho-úhelníků	metoda trojúhelníků	metoda izolinií mocnosti	metoda vrstevnic	metoda rovnoběž. řezů	jiné způsoby
rudý	7.2	25.2	13.7	5.0	-	-	<b>36.0</b>	12.9
uhlí	-	<b>58.3</b>	23.2	-	-	15.4	1.3	1.8
nerudý	<b>38.5</b>	15.0	27.4	3.8	1.8	-	12.5	1.0
celkem	15.6	<b>34.6</b>	22.4	2.6	0.7	6.1	13.8	4.2

Dostí opomíjenou otázkou je problém volby vhodné metody výpočtu zásob. Možnosti využití základních tradičních metod výpočtu zásob v závislosti na průzkumném typu ložiska jsou uvedeny v následující tabulce.

průzk. typ	morfologie ložisk. těles	kvalitativní charakteristika suroviny	distribuce hodnot		průzkumný systém	metoda výpočtu			
			statistická	prostorová		řezů	geol. bloků	těžeb. bloků	statistická
I	spojitá	spojitá, rovnoměrná	symetrická i nesymetrická	nenáhodná	profily vrtů	■			
					vrtná síť		■		
II	spojitá	nerovnoměrné rozložení	nesymetrická (kladně asymetrická)	nenáhodná	profily vrtů	■			
					vrtné sítě		■		
					důlní díla neomezují bloky		■		
					důlní díla omezují bloky			■	
III	nespojité, jednoduchá tektonika	nerovnoměrné	nesymetrická (kladně asymetrická)	náhodná	důlní díla neomezují bloky	■			
					důlní díla omezují bloky			■	
					profily vrtů	■			
					vrtné sítě		■		
IV	nespojité, složitá tektonika	nerovnoměrné	nesymetrická (kladně asymetrická)	náhodná	důlní díla, kombinované systémy	■	■	■	■

■ využitelná □ nevhodná

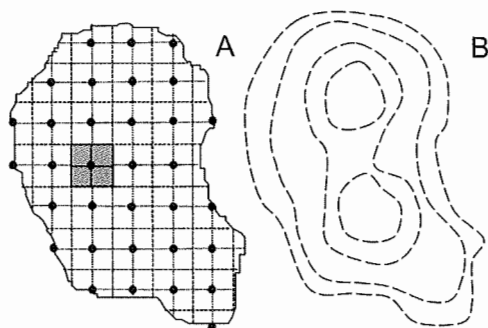
Zejména v případě ložiskových těles s velmi nepravidelnou morfologií a složitou prostorovou distribucí užítkových složek je výběr vhodné, tzn. spolehlivé a rozumně pracné metodiky výpočtu zásob nerostné suroviny závažným problémem. Obtíže se stupňují v těch případech, kdy je nutno realizovat odhad zásob na základě minimálního počtu průzkumných bodů (průniků). Takový případ může nastat jak v počátečních průzkumných etapách či při vyhledávání ložisek ve velkých hloubkách (např. akumulací přírodních uhlovodíků), tak při řešení hloubkového pokračování známých, už těžných ložisek. V extrémních případech se provádí odhad na základě jediného průniku a přijatého geologického modelu odvozeného z geologických pozorování a nepřímých, zejména geofyzikálních metod, které jsou základem sestavení modelu struktury ložiskového tělesa (obr.6.14).



Obr.6.14 Postup ověření ropného pole Machar v Severním moři.  
A – seismický profil struktury; B – ověření struktury vrtem

### 6.3 STATISTICKÉ INTERPOLAČNÍ METODY

Statistické interpolační metody jsou základem počítačově vytvářených pravidelných sítí odhadů, obvykle nazývaných gridy (obr.6.15-A) a map izolinií (obr.6.15-B). Oba typy produktů představují výchozí podklad pro realizaci odhadu zásob a jeho parametrů. V případě gridu reprezentují hodnoty v uzlových bodech odhady přilehlých elementárních výpočtových jednotek (plošných nebo prostorových), zatímco v případě izolinií se další postup shoduje s tradiční metodou izolinií.



Obr.6.15 Princip využití interpolačních metod

Předpokládáme, že jistá hodnota modelované veličiny ve zvoleném bodě je závislá na jejích hodnotách v okolních vzorkách. Hledáme tedy *interpolační funkci pomocí vhodného váženého lineárního odhadu*

$$u^*(x_0, y_0, z_0) = \sum_{i=1}^k w_i \times u(x_i, y_i, z_i),$$

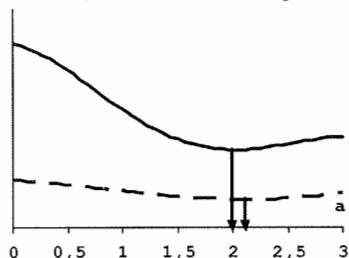
kde  $u^*(x_0, y_0, z_0)$  je odhad a  $u(x_i, y_i, z_i)$  známá hodnota veličiny  $U$  v jistém bodě nebo elementární plošné nebo prostorové jednotce (mikrobloku) tělesa a  $w_i$  její váha, která je základem odhadu zásob. Nejjednodušší postup je založen na využití klouzavých průměrů. V ložiskové geologii se často provádí odhad určité veličiny použité jako parametr výpočtového vzorce metodami typu inverzních vzdáleností ID (Inverse Distance), resp. IDP (Inverse Distance Powered) podle vzorce

$$u^*(x_0, y_0, z_0) = \begin{cases} \frac{\sum_{i=1}^k (u_{pi} / d_i^a)}{\sum_{i=1}^k (1/d_i^a)} & \dots d > 0 \\ u(x_0, y_0, z_0) & \dots d_i = 0 \end{cases}$$

kde známé hodnoty  $u_{pi}$  o souřadnicích  $(x_i, y_i, z_i)$  leží uvnitř zóny vlivu  $W(x_0, y_0, z_0)$  ve vzdálenosti

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

od odhadovaného bodu,  $a$  je exponent, vyjadřující vliv okolních pozorování na odhad. V případě středně variabilních ložiskových objektů se používá  $a = 2$ , což provedené simulace potvrdily (obr.6.16). Tato varianta se proto označuje IDS (Inverse Distance Squared).



Obr.6.16

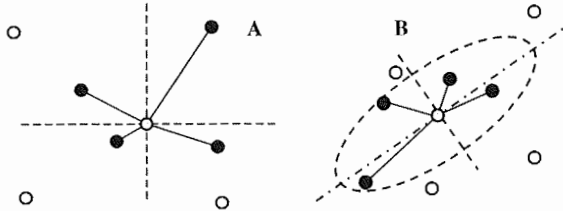
Závislost chyby interpolace na hodnotě exponentu  $a$  na příkladu uhelné sloje Antonín v sokolovské hnědouhelné pánvi (Schejbal, 1972)

— mocnost  
- - - popelnatost

Uvedený postup dává v případě deskovitých a čočkovitých ložiskových těles prozkoumaných zhruba rovnoměrným, tzv. náhodně pravidelným systémem velmi dobré výsledky. Problém představují „shluky“ průniků, anizotropie vlastností ložiska a existence

diskontinuit. Proto se do výpočtu zavádějí různé úpravy, např. kvadrantové nebo oktantové testy či definování oblasti výběru hodnot pro odhad jako elipsy anizotropie.

V případě kvadrantového (oktantového) testu se pro omezení vlivu shluků průzkumných bodů (průníků) pro odhad použije předem stanovený počet (1 – 2) hodnot  $u_i$  nejbližších vzorků z každého kvadrantu či oktantu (obr.6.17-A). Je-li modelované pole anizotropní, je výhodné definovat eliptickou oblast výběru (její rozměry lze definovat nejvýhodněji pomocí dosahu semivariogramů), případně v kombinaci s kvadrantovým testem (obr.6.17-B).



Obr.6.17

Princip kvadrantového testu (A) a anizotropní oblasti výběru dat (B)

Vedle uvedených postupů se také využívají metody založené na interpolaci hladkými plochami, které vyžadují spojitost interpolující funkce a zadaného počtu derivací. Obvykle se používají metody typu tenké desky (např. pro oceňování uhelných slojí). Interpolující funkce

$$f(\mathbf{U}; \mathbf{X}, \mathbf{Y}) = \{\varphi_{ij}(\mathbf{u})\},$$

( $i=1, \dots, n-1, j=1, \dots, m-1$ ), minimalizuje funkcionál

$$I(f) = \int_w \left( \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} \right) + \left( \frac{\partial^2 f}{\partial x \partial y} \right) + \left( \frac{\partial^2 f}{\partial y^2} \right) dw.$$

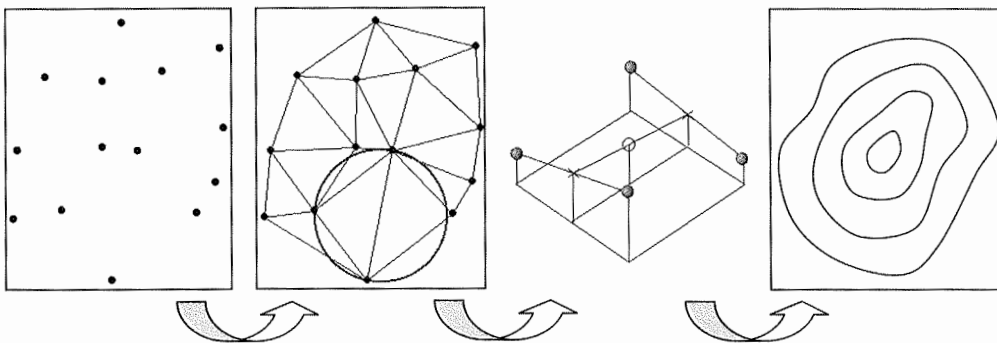
Běžným postupem je využití bikubické splinové funkce

$$u_{ij} = \sum_{p=0}^3 \sum_{q=0}^3 a_{p,q}^{ij} \times x^p \times y^q,$$

přičemž spojitost lokálních funkcí je na hranicích úseků pole zajištěna jejich prvými a druhými derivacemi.

Používají se i další interpolační metody, jako např. metoda triangulace s lineární interpolací, multikvadrková metoda, metoda nejbližšího okolí apod.

*Metoda triangulace* z nepravidelné sítě pozorování je založena na generování trojúhelníkové sítě zpravidla pomocí Delaunayho algoritmu. V návazném kroku je zpracována zpravidla pomocí lineární interpolace mapa izolinií . obr.6.18



Obr.6.18 Princip metody triangulace s lineární interpolací

*Multikvadrková metoda* vychází z předpokladu, že libovolnou neregulérní spojitou plochu lze s určitou přesností vyjádřit sumou dílčích regulérních funkcí (v daném případě kvadratických). Základem je řešení soustavy lineárních rovnic

$$\sum_{j=1}^n c_j \times \sqrt{(x_j - x_i)^2 + (y_j - y_i)^2} = u_i,$$

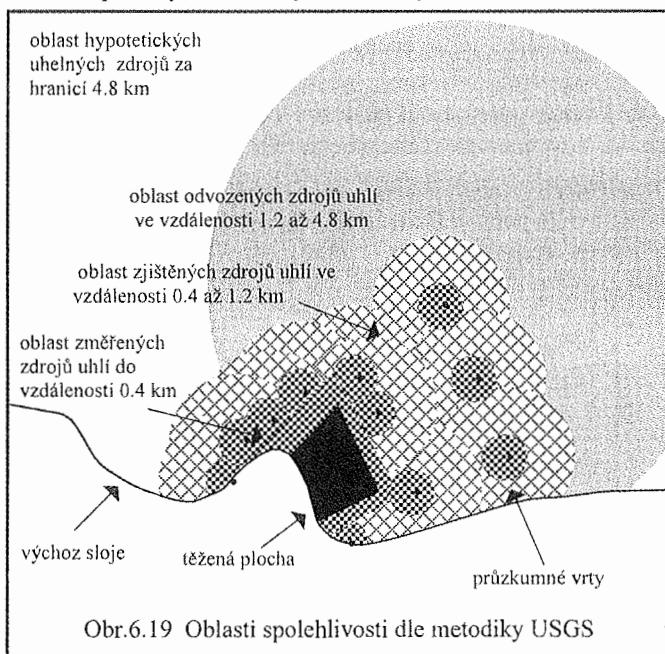
kde  $x_i, y_i$  jsou souřadnice průzkumných průníků,  $u_i$  zjištěné hodnoty studované veličiny v průnících a  $c_j$  hledané koeficienty.

Volba vhodného typu interpolační procedury představuje závažný problém. Proto je třeba prověřit její vhodnost pomocí tzv. bumerangového testu (též metoda "jack knife")

$$\frac{1}{n} \sum (u^* - u) \rightarrow 0, \quad \frac{1}{n} \sum \frac{(u^* - u)^2}{\sigma^2} \rightarrow 1,$$

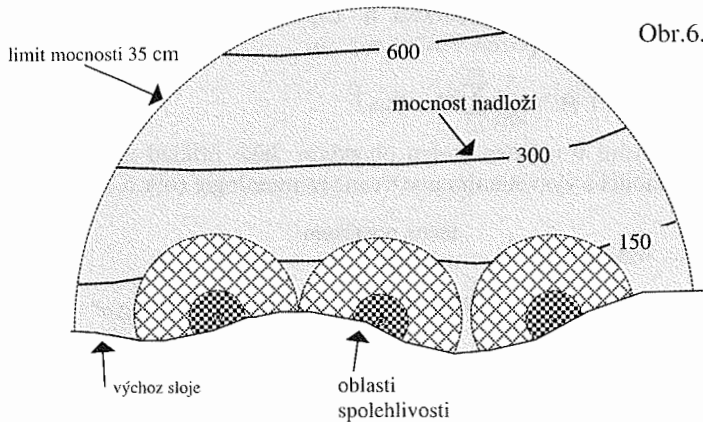
kde  $u$  je známá hodnota a  $u^*$  její odhad z přílehlých známých hodnot. Rozbor interpolačních metod z hlediska jejich praktické využitelnosti uvádí Staněk (1999).

Jistou variantou interpolačních postupů je *metoda odhadu zdrojů a zásob podle USGS*. Metoda vychází z posouzení dosahu věrohodnosti informace z realizovaných průzkumných bodů (průníků) a důlních prací. Představuje kombinaci pravděpodobnostního odhadu s aplikací naturálních ukazatelů podle principu interpolačních metod. Odhad hmotnosti a klasifikace zdrojů a zásob je založena na posouzení geologického ověření jejich existence a na jejich ekonomické využitelnosti (Englund et al. 1975, cirkulář USGS č.891). Geologické ověření je závislé na vzdálenosti od průzkumného bodu (průniku), mocnosti sloje a nadloží, znalosti kvality uhlí, rozloze oblasti, identifikace a korelace slojí a znalosti stavby uhlonosného souvrství. Ekonomická využitelnost je ovlivňována nejen takovými fyzikálními a chemickými faktory jako je mocnost sloje a nadloží či kvalita uhlí, dále ekonomickými proměnnými jako je cena uhlí, náklady investiční, výrobní, úpravnické a dopravní, daně, zisk, uhelný trh, povětrnostní poměry, ale i různými zákonnými normami.





Princip odhadu uhelných zdrojů pomocí stanovení oblastí spolehlivosti na základě údajů o mocnosti sloje, které byly zjištěny na výchoze, v průzkumných vrtech a v těžené ploše, je znázorněn na obrázku 6.19. Příklad navazujícího postupu uvádí obr.6.20, kde vedle kritéria stupně spolehlivosti je uplatněno kritérium mocnosti sloje a mocnosti nadloží.

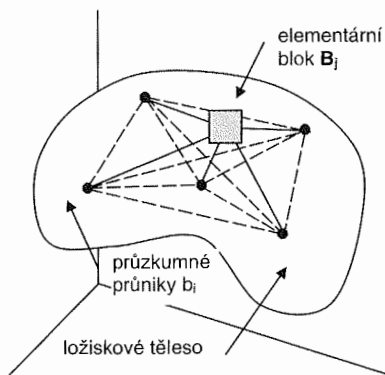


Obr.6.20 Uplatnění dalších kritérií dle postupu USGS

Australské instrukce pro odhad zdrojů a zásob černého uhlí z roku 2000 uvádějí poněkud jiné vzdálenosti od průzkumného bodu a to v případě změřených zdrojů do 500 m a při vhodném odůvodnění do 1000 m, u zjištěných zdrojů do 1000 m (resp. 2000 m) a konečně u odvozených zdrojů do 2000 m (resp. 4000 m). Dalšími aplikovanými kritérii, která ve svém souhrnu určují stupeň ekonomické využitelnosti, jsou: 1) mocnost uhelné sloje, 2) mocnost nadloží, 3) kvalita a skupina uhlí, 4) výrobní náklady, daně, poptávka a nabídka atd., 5) prodejní cena, 6) očekávaný zisk. První tři kritéria jsou jednotně definována instrukcemi USGS.

#### 6.4. KRIGOVACÍ METODY

Tyto metody poskytují velmi dobré výsledky odhadu zásob. Na rozdíl od předešlých metod jsou založeny na teorii náhodných funkcí. Jejich velkou předností je, že respektují jak strukturální charakter prostorové distribuce veličin, které popisují ložiskový objekt, tak rozložení a hustotu průzkumného systému (obr.6.21).



Obr.6.21 Princip odhadů krigováním

Odhad hodnoty oceňované veličiny  $U$  jako parametru výpočtu zásob v elementárním bloku  $B_j$  ložiskového tělesa  $V$  je

$$u^* = \sum_{i=1}^m \lambda_i \times u_{p_i}$$

za podmíněk, že rozptyl odhadu

$$\sigma_e^2 = \min$$

a součet vah

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

Váhy se určí řešením krigovací soustavy lineárních rovnic, které jsou sestaveny s ohledem na charakter mineralizovaného náhodného pole (stacionární či nestacionární) na základě vzdáleností  $h_{ij}$  mezi blokem  $B_j$  a průniky  $b_i$  pomocí funkce semivariogramu, procedurou Lagrangeových multiplikátorů.

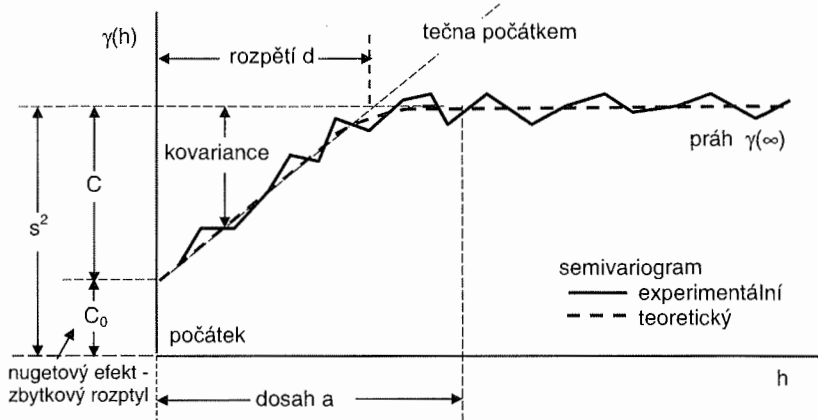
Semivariogram je vektorová strukturální funkce, která popisuje závislost průměrné kvadratické difference hodnot prostorové proměnné veličiny  $U$  na velikosti vektoru  $h$  v poli  $V$

$$\gamma(h) = \frac{1}{2V} \int_V (u_i - u_{i+h})^2 dv,$$

kde  $u_i, u_{i+h}$  jsou hodnoty veličiny  $U$  ve vzdálenosti  $h$ . Experimentální semivariogram je empirická realizace určovaná z množiny pozorování  $u_1, u_2, \dots, u_n$

$$\gamma'(h) = \frac{1}{2m} \sum_{i=1}^m (u_i - u_{i+h})^2$$

kde  $m$  je počet dvojic pozorování v určitém směru objektem. Jako příklad je dále uveden často se vyskytující sférický model s vysvětlením používané terminologie (obr.6.22).



Obr.6.22 Terminologie popisu semivariogramu

Experimentální semivariogram je pro návazné úvahy aproximován teoretickým modelem  $\gamma^*(h)$ . Modely semivariogramů se dělí do několika skupin a to na:

- modely přechodového typu, tj. s prahem (sférický, kvadratický, gaussovský, exponenciální),
- modely bez přechodu (lineární, logaritmický),
- modely s oscilujícím prahem (sinový, kosinový),
- čistě náhodný model.

**Rovnice a grafy hlavních typů semivariogramů** (použité označení odpovídá obr.6.22):

Sférický semivariogram (Matheronův)

$$\gamma^*(h) = \begin{cases} C_0 + C \times [1.5 \times (h/a) - 0.5 \times (h/a)^3] & \dots h \leq a \\ C_0 + C & \dots h > a \end{cases}, \quad a = 1.5 d$$

Exponenciální semivariogram (Formeryho)

$$\gamma^*(h) = C_0 + C \times [1 - \exp(-h/a)], \quad a' \cong 3d$$

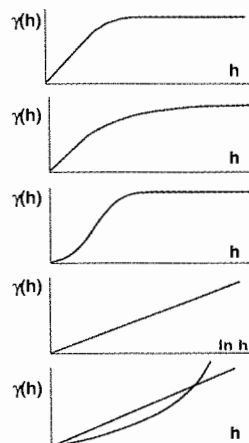
Gaussovský semivariogram

$$\gamma^*(h) = C_0 + C \times [1 - \exp(-h^2/d^2)], \quad a' = d \times \sqrt{3},$$

Logaritmický semivariogram (de Wijsův)

$$\gamma^*(h) = C_0 + k \times \ln h$$

Lineární semivariogram  $\gamma^* = C_0 + k \times h^a$



Sinový semivariogram

$$\gamma^*(\mathbf{h}) = C_0 + C \times \left[ 1 - \frac{\sin(\mathbf{g} \times \mathbf{h})}{\mathbf{g} \times \mathbf{h}} \right], \mathbf{g} = \pi/\omega,$$

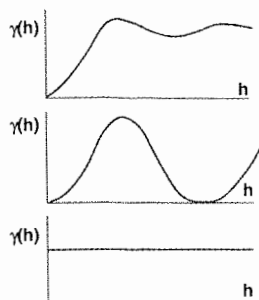
kde  $\omega$  je polovina periody,

Kosinový semivariogram

$$\gamma^*(\mathbf{h}) = C_0 + C \times [1 - \cos(\mathbf{g} \times \mathbf{h})]$$

Čistě náhodný semivariogram

$$\gamma^*(\mathbf{h}) = C_0 + C$$



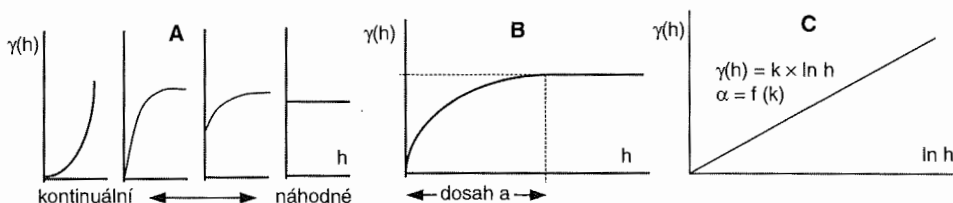
Poznámka: výpočet hodnot goniometrických funkcí v modelech s oscilujícím prahem se provádí v radiánech.

V případě závislosti veličin  $U_k, U_l$  lze zobecnit představu strukturální funkce na *koregionalizaci*, tj. definování vzájemného semivariogramu

$$\gamma_{k,l}(\mathbf{v}_i, \mathbf{v}_j) = \frac{1}{2} \mathbf{E} \{ [U_k(\mathbf{v}_i) - U_k(\mathbf{v}_j)] \times [U_l(\mathbf{v}_i) - U_l(\mathbf{v}_j)] \}$$

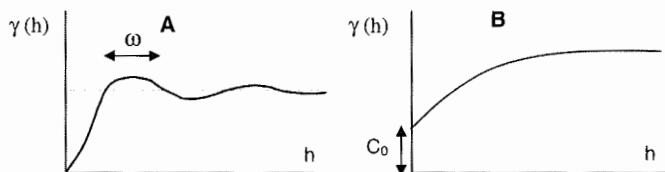
Cílem *strukturální analýzy (variografie)*, tj. výpočtu a studia semivariogramů, je popsat charakter prostorové distribuce sledovaných veličin na všech strukturálních úrovních, postížitelných realizovaným průzkumným systémem, a stanovit vhodný a dostatečně robustní strukturální model pro návazné výpočty. Jde o *základní součást veškerých geostatistických výpočtů* (krigování, simulace, optimalizace průzkumných a vzorkovacích systémů, řízení těžby), která vyžaduje individuální přístup. Musí vycházet ze všech dostupných poznatků o hodnoceném přírodním objektu. Dílčí úkoly strukturální analýzy lze shrnout následovně:

a) Ocenění *kontinuity pole* (u přechodových semivariogramů chováním v okolí počátku a dosahem, u semivariogramů bez přechodu koeficientem absolutního rozptylu – obr.6.23);



Obr.6.23 Principy hodnocení kontinuity pole: A – podle chování v okolí počátku; B – podle dosahu přechodových semivariogramů; C – podle koeficientu absolutního rozptylu

b) Posouzení *homogenity* či *nehomogenity pole*, která se projevuje oscilací kolem prahu (obr.6.24-A), nebo v případě skrytých nehomogenit nepostížitelných realizovaným průzkumným systémem nespojitostí v počátku – zbytkovým rozptylem  $C_0$  (obr.6.24- B). Zbytkový rozptyl může být také důsledkem chyb vzorkování.



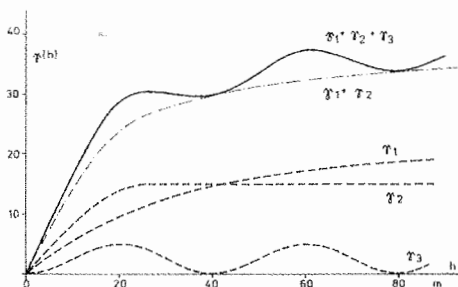
Obr.6.24 Projevy nehomogenity pole

Variabilita pole může být vyvolána zdroji různých rozměrů (např. rudními čočkami, rudními sloupy, ložiskovými tělesy apod.). To se pak odráží ve složitém průběhu

empirického semivariogramu, který je součtem semivariogramů jednotlivých úrovní struktury pole

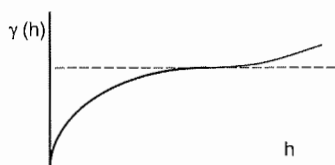
$$\gamma(\mathbf{h}) = \gamma_0(\mathbf{h}) + \gamma_1(\mathbf{h}) + \varphi + \gamma_m(\mathbf{h})$$

Obecný strukturální model je velmi flexibilní a lze jím vyjádřit prakticky všechny typy strukturálních funkcí (obr.6.25).



Obr.6.25 Obecný strukturální model

c) Popis *nestacionarity pole*, kterou lze odhalit podle parabolické deformace „v nekonečno“, tj. v oblasti prahu (obr.6.26).



Obr.6.26

Vliv driftu na průběh semivariogramu

d) Studium *izotropie* či *anizotropie pole* je založeno na výpočtu a vyhodnocení směrových semivariogramů. V případě izotropie jsou jejich konstanty přibližně shodné. Obvykle se vychází z posouzení jejich dosahů (obr.6.27-A). Geometrická anizotropie se projevuje u přechodových semivariogramů změnami dosahů (obr.6.27-B), u semivariogramů s oscilujícím prahem změnami periody a u semivariogramů bez přechodu změnou směrnice. Tyto změny lze eliminovat afinní transformací souřadnic. Zonální anizotropie se může projevit nepravidelnými změnami všech konstant nebo i typu semivariogramu, takže není možno je odstranit jednoduchou transformací souřadného systému (obr.6.27-C).

Obr.6.27

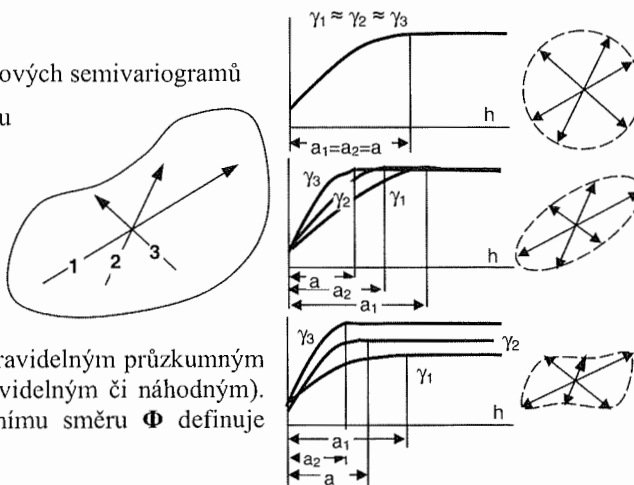
Výpočet a vyhodnocení směrových semivariogramů

1,2,3,... hlavní směry výpočtu

A – izotropie;

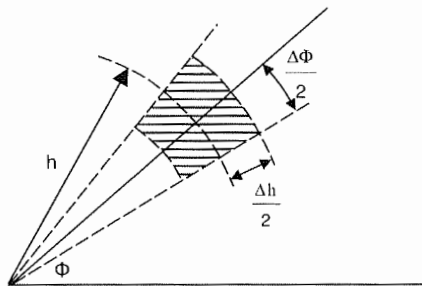
B – geometrická anizotropie;

C – zonální anizotropie



Obvykle se setkáváme s nepravidelným průzkumným systémem (tzv. náhodně pravidelným či náhodným). Proto se ke každému hlavnímu směru  $\Phi$  definuje

úhlová  $\Delta\Phi/2$  a délková  $\Delta h/2$  tolerance tak, aby byla pokryta celá plocha objektu (obr.6.28).



Obr.6.28 Schéma výpočtu směrového empirického semivariogramu

Při jakékoliv interpretaci empirických semivariogramů je nutno respektovat, že přesnost a tedy hodnověrnost vypočtených empirických bodů semivariogramu je závislá na počtu dvojic průniků, které vstupují do výpočtu. Obecně se uvádí, že počet dvojic v každém kroku výpočtu by neměl klesnout pod 20 až 30 (pokud je to prakticky možné). Body, které jsou určeny z malého počtu hodnot, je často účelné zanedbat. Proto se také doporučuje provádět výpočet empirických semivariogramů do vzdáleností  $h < L/2$ , kde  $L$  je maximální vzdálenost průniků v poli. Úroveň prahu se obvykle volí podle

hodnoty statistického rozptylu. To platí pouze u přechodových semivariogramů ve stacionárních polích a v polích bez vlivu nehomogenit. Při výpočtu a interpretaci empirických semivariogramů je nezbytné brát v úvahu charakter vzorků, ze kterých se odvozují (např. vrtné a zásekové vzorky). Vliv rozdílných nositelů je zřejmý z obr.4.9. V takovém případě je třeba provést přepočet na stejné nositele (regularizace a deregularizace semivariogramu).

V případě alespoň kvazistacionarity mineralizovaného pole v okolí odhadu se váhy  $\lambda_i$  určí minimalizací rozptylu odhadu

$$\sigma_E^2 = 2 \sum_{i=1}^m \lambda_i \bar{\gamma}(\mathbf{B}_j, \mathbf{b}_i) - \bar{\gamma}(\mathbf{B}_j, \mathbf{B}_j) - \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m \lambda_i \lambda_j \gamma(\mathbf{b}_i, \mathbf{b}_j),$$

kde  $\bar{\gamma}$  je průměrná hodnota semivariogramu

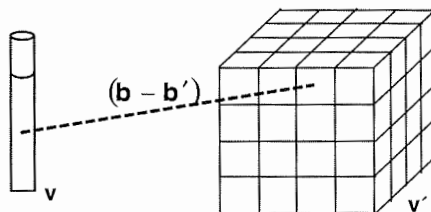
$$\gamma(\mathbf{h}) = \frac{1}{2V} \int_V (\mathbf{u}_i - \mathbf{u}_{i+\mathbf{h}})^2 d\mathbf{v}$$

určená numerickou aproximací

$$\bar{\gamma}(\mathbf{v}, \mathbf{v}') = \frac{1}{\mathbf{n} \times \mathbf{m}} \sum_{i=1}^{\mathbf{n}} \sum_{j=1}^{\mathbf{m}} \gamma(\mathbf{s}_i - \mathbf{s}'_j),$$

$\mathbf{s}$  a  $\mathbf{s}'$  jsou středy  $\mathbf{b}, \mathbf{b}'$  zvolených úseků nositelů  $\mathbf{v}$  a  $\mathbf{v}'$  (v případě lineárních nositelů 6-10, u plošných 6×6 a u prostorových 4×4×4 úseků).

Obr.6.29  
Princip výpočtu průměrné hodnoty semivariogramu



Po úpravě dostaneme soustavu rovnic

$$\left. \begin{aligned} \sum_{i=1}^m \lambda_i \gamma(\mathbf{b}_i, \mathbf{b}_j) - \mu &= \bar{\gamma}(\mathbf{B}_j, \mathbf{b}_j), (j = 1, 2, \dots, m) \\ \sum_{i=1}^m \lambda_i &= 1 \end{aligned} \right\},$$

kde  $\mu$  je Lagrangeův multiplikátor, ze které se určí hledané váhy  $\lambda_i$ .

Velkou předností metody je, že se zároveň stanovuje rozptyl odhadu

$$\sigma_k^2 = \sum_{j=1}^m \lambda_j \times \bar{\gamma}(\mathbf{B}_j, \mathbf{b}_i) - \bar{\gamma}(\mathbf{B}_j, \mathbf{B}_j) - \mu$$

Uvedená formulace procedury se v případě složitějších náhodných polí upravuje o členy zohledňující nestacionaritu a anizotropii pole.

Soustava univerzálního krigování bude

$$\left. \begin{aligned} \sum_{i=1}^m \lambda_i \gamma(\mathbf{b}_i, \mathbf{b}_j) + \sum_{p=1}^q \mu_p f_i^p &= \bar{\gamma}(\mathbf{B}_j, \mathbf{b}_i), (i = 1, 2, \dots, m) \\ \sum_{i=1}^m \lambda_i f_i^p &= f_B^p, (p = 1, 2, \dots, q) \end{aligned} \right\}$$

kde člen  $\sum_{p=1}^q \mu_p f_i^p$  popisuje drift pole pomocí polynomu q-tého stupně. Rozptyl krigování bude

$$\sigma_k^2 = \sum_{i=1}^m \lambda_i \bar{\gamma}(\mathbf{B}_j, \mathbf{b}_i) + \sum_{p=1}^q \mu_p f_B^p - \bar{\gamma}(\mathbf{B}_j, \mathbf{B}_j).$$

**Indikátorové krigování** vychází ze skutečnosti, že každou funkci  $f[\mathbf{U}_k(\mathbf{X}, \mathbf{Y}, \mathbf{Z})]$  lze vyjádřit pomocí indikátorů. Je-li náhodnou funkcí proměnná, která nabývá konečný počet hodnot

$$\mathbf{U}(\mathbf{X}, \mathbf{Y}, \mathbf{Z}) = 0, 1, \dots, i, \dots, m,$$

pak indikátorová funkce (zkráceně indikátor) nabývá hodnot

$$\mathbf{I}[\mathbf{U}_k(\mathbf{X}, \mathbf{Y}, \mathbf{Z}) = i] = \begin{cases} 1 \cdots \mathbf{u}_k(\mathbf{x}, \mathbf{y}, \mathbf{z}) = i \\ 0 \cdots \mathbf{u}_k(\mathbf{x}, \mathbf{y}, \mathbf{z}) \neq i \end{cases}$$

Spojitou proměnnou lze převést na indikátorovou pomocí indikátorové funkce

$$\mathbf{I}[\mathbf{U}_k(\mathbf{X}, \mathbf{Y}, \mathbf{Z}); \mathbf{m}_k] = \begin{cases} 1 \cdots \mathbf{u}_k(\mathbf{x}, \mathbf{y}, \mathbf{z}) \geq \mathbf{m}_k \\ 0 \cdots \mathbf{u}_k(\mathbf{x}, \mathbf{y}, \mathbf{z}) < \mathbf{m}_k \end{cases}$$

Indikátorová proměnná je pak základem pro výpočet semivariogramu  $\gamma_1(\mathbf{h})$  a návazných odhadů krigováním

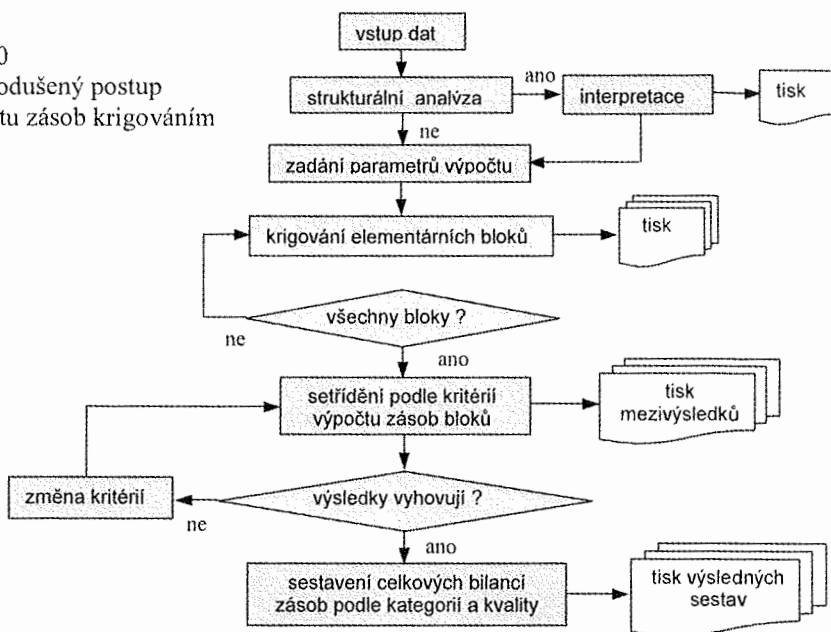
$$\phi = \sum_{j=1}^m \lambda_j \times \mathbf{i}(\mathbf{u}_j; \mathbf{m}_u)$$

se soustavou

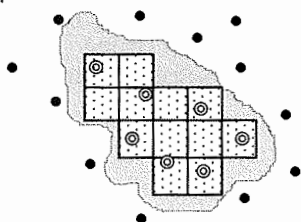
$$\begin{aligned} \sum_{j=1}^m \lambda_j \times \gamma_1(\mathbf{h}_{jk}) - \mu &= \bar{\gamma}_1(\mathbf{A}, \mathbf{v}_j), \\ \sum_{j=1}^m \lambda_j &= 1. \end{aligned}$$

Procedury krigování jsou standardní součástí řady moderních programových produktů. Výpočet je po zadání potřebných parametrů realizován automaticky. Jediným problémem je vyhodnocení charakteru pole pomocí strukturální analýzy (variografie), které vyžaduje aktivní spolupráci odborného řešitele. Někdy použité procedury s pevně zabudovaným typem semivariogramu nebo s automatickým řešením např. pomocí metody nejmenších čtverců nepřinášejí podle řady doporučení uspokojivé výsledky. Zjednodušené schéma krigování je uvedeno na obr.6.30.

Obr.6.30  
Zjednodušený postup  
výpočtu zásob krigováním



Při výpočtu je možné volit libovolné omezení vyhodnocované části ložiskového objektu. Základem je ale vždy segmentace tělesa do elementárních pravoúhlých mikrobloků  $\mathbf{B}_j$  o objemu  $\mathbf{V}_j$ , jejichž rozměry mohou být výrazně menší, než je realizovaný průzkumný systém (obr.6.31).



Obr.6.31 Příklad dělení ložiskového tělesa do elementárních bloků

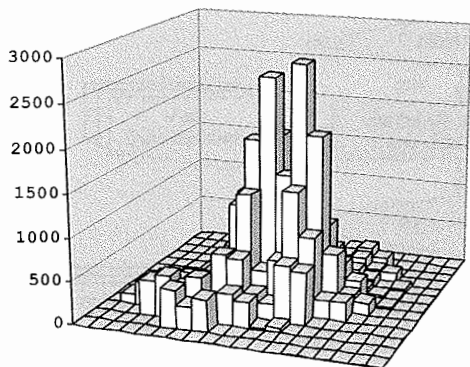
- ⊕ pozitivní průniky
- negativní průniky

Krigovací metody umožňují provádět výpočet zásob všech morfologických a surovinových typů ložisek zkoumaných jakýmkoliv průzkumným systémem za předpokladu, že lze provést strukturální analýzu objektu (tj. určení semivariogramů). Při výpočtu je možné volit libovolné omezení vyhodnocované části ložiskového objektu. Pomocí odhadů elementárních mikrobloků  $\mathbf{B}_j$  o objemu  $\mathbf{V}_j$  se stanoví odhad zásob geologického nebo těžebního bloku  $\mathbf{B}$  (tj. skupiny mikrobloků)

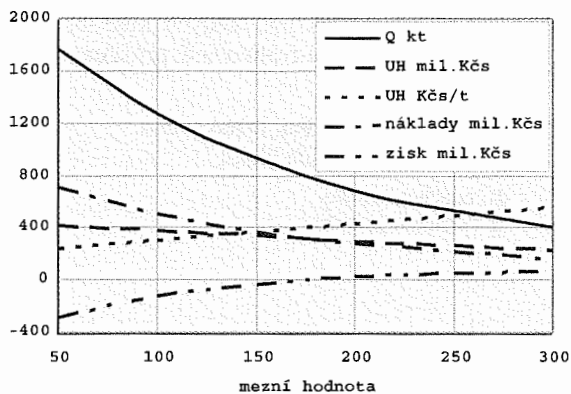
$$Q_B = \sum_{j=1}^m Q_j \quad u_B^* = \left( \sum_{j=1}^m u_j \times V_j \right) / \left( \sum_{j=1}^m V_j \right)$$

Poznamenejme, že existuje celá řada typů krigovacích metod, které jsou založeny na odlišných předpokladech (Schejbal, 2001).

Jako příklad využití je uveden výpočet zásob prožilkovomipregnačního polymetalického Pb-Zn-Cu-Au-Ag zrudnění na ložisku Hodruša-Hamre ve Slovenské republice. Studované zrudnění se vyskytuje ve dvou tělesech, z nichž hlavní severní těleso, které bylo předmětem ocenění, má tvar neostře omezené složitě diferencované čočkovité polohy. Statistická a geostatistická strukturální analýza prokázala vysokou prostorovou variabilitu zrudnění s výraznou anizotropií. Odhady byly s ohledem na vývoj zrudnění ve tvaru nepravidelné čočkovité zóny generelně vázané na kontakt mezi nadložními dacity a granodioritovým tělesem realizovány v soustavě desek o mocnosti 2.5 m orientovaných paralelně s kontaktem, přičemž elementární výpočtové bloky měly rozměry  $10 \times 10 \times 2.5$  m (v  $250 \text{ m}^3$  obsahovaly 700 t rudy). Příklad výpočtu jedné z desek je uveden na obr.6.32. Výsledné vyhodnocení geologických zásob bylo provedeno v šesti variantách při mezní hodnotě okrajového mikrobloku 50, 100, 150, 200, 250 a 300 Kčs/t. Orientační ekonomické ocenění jednotlivých variant vyjadřuje graf na obr.6.33.



Obr.6.32  
Výsledky blokového krigování užité hodnoty ve vrstvě č.13 prožilkově polymetalického Pb-Zn-Cu-Au-Ag zrudnění na ložisku Hodruša-Hamre (Schejbal-Güttner 1990)



Obr.6.33  
Ekonomické vyhodnocení variant výpočtu Au-Ag rud na ložisku Hodruša-Hamre (Schejbal-Güttner 1990)



## 6.5. VÝPOČET ZÁSOB DOPROVODNÝCH SLOŽEK

V řadě ložisek nerostných surovin se vyskytují akumulace doprovodných užitečných nerostů nebo stopových prvků, které mohou být prakticky významné, neboť mohou představovat důležitou průmyslovou surovinu, resp. zvyšovat cenu nerostné suroviny a tedy i hodnotu ložiska.

Z uvedených důvodů je nutno v takových případech přizpůsobit zaměření a metodiku průzkumu na všechny možné užitečné složky a dobře prostudovat nerostné a chemické složení nerostné suroviny tak, aby bylo možno ocenit zastoupení vedlejších užitečných složek a stopových prvků, vymezit technologické typy surovin a ohodnotit jejich možné zásoby. Je ovšem snadno pochopitelné, že z ekonomických i praktických důvodů nelze stanovovat obsahy těchto složek ve všech odebíraných vzorcích. *Odhad zastoupení a hmotnosti zásob je proto zpravidla založen na studiu vzájemných vztahů mezi doprovodnými (stopovými) elementy a hlavními užitečnými složkami.* Tomuto principu je nezbytné přizpůsobit prováděné výzkumné a průzkumné práce.

Už v počátečních fázích průzkumu bude potřebné pečlivě prostudovat mineralogické složení nerostné suroviny a podrobně analyzovat chemické složení jednotlivých nerostů. Doprovodné užitečné složky se totiž mohou vyskytovat jako samostatné nerosty, jako mikroskopické až submikroskopické vtoušeniny těchto nerostů a ryzích kovů a slitin v hlavních užitečných nerostech a konečně jako izomorfní příměsi zájmových prvků v těchto nerostech. Vodítkem jsou známé informace o výskytech doprovodných nerostů v některých rudách (tab.6.3) a o složení nerostů a výskytech stopových prvků (Cd, Ga, Ge, Hf, In, Rb, Re, Sc, Te, Tl) v těchto nerostech (tab.6.4).

Tab.6.3 Příklady užitečných a škodlivých příměsí v některých rudách

rudy	užitečné příměsi	škodlivé příměsi
Fe	Ni, Co, Cr, V, W, Mo	Pb, Zn, As, Sn, Cu
Cr	Ni, V, Pt	S, P
Mn	Fe	P
Ni	Pt, Pd, Au, Ag, Co	
Co	Ni, Cu	
Cu	Au, Se, Ag, Cd, Ge, Mo, ...	
Pb - Zn	Ag, In, Cd, Ge, Ga, Au, Se	As, Bi, Sn, Sb
Sb	Au	As, S, Pb, Cu
Al	Ga, U, V, Cr	SiO <sub>2</sub>

Tab.6.4 Příklady zastoupení stopových prvků v některých rudních nerostech

nerost	chemický vzorec	příměsi
galenit	PbS	Ag, Bi
sfalerit	ZnS	Cd, In, Cs
chalkopyrit	CuFeS <sub>2</sub>	Au, Ag
pyrit	FeS <sub>2</sub>	Co, Ni, Cu, Au, Ag
antimonit	Sb <sub>2</sub> S <sub>3</sub>	Ag, Au
tetraedrit	Cu <sub>12</sub> As <sub>4</sub> S <sub>13</sub>	Ag, Zn, Hg, Ni, Co

Obecně můžeme rozlišit dva základní typy nerostné suroviny. V prvním typu tvoří doprovodný nebo stopový prvek součást téhož nerostu, jako základní složka. Tento typ je z hlediska získávání doprovodné složky nejvýhodnější. V druhém typu vstupují tyto složky do

složení jiných nerostů v nerostné surovině. V tomto případě závisí využitelnost akumulace doprovodných složek na těsnosti jejich prostorových vztahů s hlavními složkami.

Častým případem je skutečnost, že realizovaný systém vzorkování je orientován pouze na hlavní komponenty nerostné suroviny. To ztěžuje, nebo dokonce znemožňuje ocenění praktického významu doprovodných složek. Odběr vzorků je nutno uzpůsobit tak, aby bylo získat potřebné informace a splnit požadované úkoly. Přitom je nutno respektovat následující zásady:

- Odběr vzorků v ložisku musí vycházet z podrobného studia geologických a ložiskových poměrů, neboť mineralizace doprovodných složek může mít jiné prostorové rozmístění, než rozmístění hlavních užitkových nerostů.
- Systém odběru vzorků v průzkumných a těžebních dílech musí být v souladu se systémy vzorkování na hlavní užitkové nerosty, aby bylo možno je vzájemně propojovat.
- Pro prověření co nejpřesnějších dat o mikrodistribuci stopových prvků a příměsí v rudních a doprovodných nerostech se odebírají speciální monominerální vzorky rozmístěné tak, aby charakterizovaly jednotlivé typy suroviny v každém úseku ložiska.
- Podobně jako v případě hlavních užitkových nerostů musí být prověřovány všechny fáze práce se vzorky a všechny dílčí produkty včetně odpadů.
- Celý systém vzorkování a zpracování vzorků se prověřuje stejnými postupy a druhy kontrol, jako základní vzorkování.

Z praktického hlediska má být pozornost zaměřena na ložiska velkých rozměrů, neboť vzhledem k nízkým až velmi nízkým zastoupením vedlejších složek a stopových prvků nelze očekávat významnější výsledky na malých ložiskách.

Při výzkumu nerostné suroviny se nejprve obvykle vychází se sdružených vzorků. Teprve po ověření významnějších obsahů se přechází na běžné vzorky. Sdružené vzorky se musí vytvářet podle přirozených charakteristik surovinových typů (např. technologické typy – sekundárně alterované a primární rudy, bohaté a chudé rudy apod.) a podle lokalizace ložiskových těles (ložiskové těleso, hloubková úroveň, geologický či těžební blok, důlní dílo atd.). Smyslem takového přístupu je možnost charakterizovat každý blok a každé dílčí těleso samostatně. Skupinové vzorky vznikají slučováním duplikátů nebo podílů původních vzorků. Při slučování se musí respektovat zóny vlivu vzorků na průzkumném průniku či díle.

V případech, kdy hranice prostorového rozmístění doprovodných složek nesouhlasí s konturou lokalizace hlavních složek, musí být vzorkování a vyhodnocení úseků ležících mimo hranice hlavní mineralizace provedeno samostatně.

Jeden z nejdůležitějších úkolů představuje technologický výzkum, který se provádí v případě, ukáže-li výzkum makrodistribuce hodnocených složek jejich ložiskovou významnost. Technologický výzkum musí poskytnout následující informace:

- jaká je bilance sledovaných doprovodných složek v produktech technologického procesu získávání hlavních užitkových složek;
- jaká je ekonomická efektivnost jejich získávání;
- jaká bude optimální technologie získávání koncentráту studovaných doprovodných složek, aby byl prodejný a průmyslově zpracovatelný.

Odhad zásob  $R_{st}$  doprovodných složek nebo stopových prvků ve výpočtových blocích a v ložisku může vycházet z údaje o hmotnosti zásob rudy  $Q$  a to:

- v případě dostatečného počtu vzorků v bloku, skupině bloků či tělese na výpočtu průměrného obsahu hodnocené složky  $\bar{c}_{st}$

$$R_{st} = Q \times \bar{c}_{st}$$

- na stanovení regresní závislosti mezi nimi a hlavními komponentami nerostné suroviny, tj.

$$R_{st} = Q \times c_{st}^{reg}$$

$$c_{st}^{reg} = \sum_{j=1}^k b_j \times \varphi_j(c_1, c_2, \dots, c_m)$$

kde  $\varphi_j$  jsou funkce obsahů jednotlivých složek  $c_j$  s koeficienty  $b_j$  Podle Kvačka (1981) lze takový postup použít, převyšuje-li koeficient korelace hodnotu 0,8. Poznamenejme, že je ale vždy nutno ověřit statistickou významnost zjištěných korelačních a regresních vztahů a věcně je interpretovat.

- na základě údajů o obsahu hlavní a doprovodné složky v koncentrátu

$$R_{st} = \frac{c_{sk}}{(1-z) \times c_k} \times R,$$

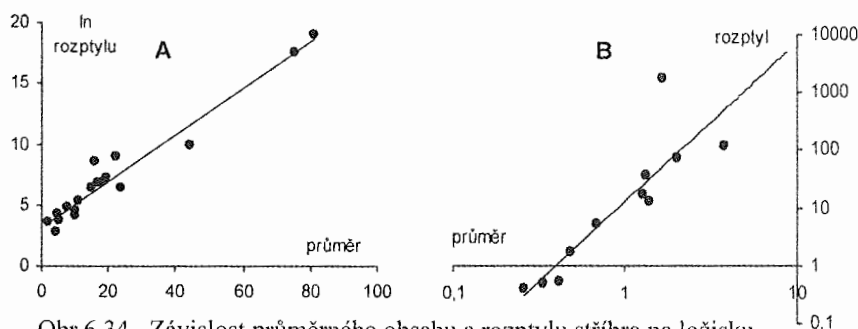
kde  $P$  jsou zásoby hlavní složky,  $c_{sk}$  průměrný obsah doprovodné složky v koncentrátu,  $c_k$  průměrný obsah hlavní složky v koncentrátu a  $z$  koeficient ztrát.

Jako příklad takového přístupu lze uvést hodnocení možných zásob stříbra ve spodní části polymetalického ložiska Horní Benešov. Odhad zásob narazil na skutečnost, že chyběla stanovení obsahu stříbra v mnoha průzkumných průnicích. Proto byly odvozeny regresní závislosti

- |                            |  |
|----------------------------|--|
| - pro celkový soubor       | $\ln Ag = 1,98 + 0,2328 \ln Pb + 0,2175 \ln Zn + 0,5914 \ln S$ |
| - pro křemité horniny      | $\ln Ag = 2,86 + 0,2317 \ln Pb + 0,4529 \ln Zn + 0,1070 \ln S$ |
| - pro sericitické břidlice | $\ln Ag = 1,44 + 0,2186 \ln Pb + 0,2194 \ln Zn + 0,7021 \ln S$ |
| - pro vápence              | $\ln Ag = 2,73 + 0,5133 \ln Pb - 0,0396 \ln Zn + 0,4142 \ln S$ |

Tyto závislosti, které zohledňují vliv horninového prostředí na akumulaci stříbra v polymetalických rudách, byly poté základem odhadu jeho zásob pod 9. patrem ložiska.

Uvedený přístup ale nezohledňuje prostorový vývoj mineralizovaného pole v ložiskonosné struktuře v dostatečné míře. Změny rozptylu obsahů v závislosti na lokálních průměrech ukazují na projev tzv. proporcionálního efektu a tudíž na rozdílný charakter mineralizace v různých částech ložiskového objektu (obr.6.34).



Obr.6.34 Závislost průměrného obsahu a rozptylu stříbra na ložisku Horní Benešov (A) a zlata na ložisku Zlaté Hory – západ (B)

Proto by bylo správnější vysledovat prostorové změny závislosti obsahu stříbra na obsahu hlavních rudních prvků, resp. síry.

V souhrnu vyžaduje splnění uvedených požadavků na sledování a výpočet zásob doprovodných užitečných složek provedení následujících prací:

- a) ověřit, které prakticky zajímavé doprovodné složky jsou v dané akumulaci nerostné suroviny přítomny a které z nich mohou mít ekonomický význam;
- b) stanovit formy vazeb vybraných, ekonomicky zajímavých průvodních složek, jejich prostorovou distribuci v ložisku a korelační vztahy k hlavním užitečným složkám;
- c) zjistit jejich technologickou charakteristiku ve vztahu k technologii hlavních užitečných složek;
- d) provést odhad zásob a ocenění jeho výsledků z hlediska využití.

Při průzkumu a vyhodnocování výskytů doprovodných vzácných a stopových prvků je tedy nutno řešit řadu složitých problémů, od vzorkování, přes analytiku, odhad zásob, technologii úpravy, až k průmyslovému získávání. Tyto problémy jsou důsledkem nízkých až velmi nízkých koncentrací, což často vyvolává potřebu aplikovat speciální analytické metody, nezbytnost využívat zvláštní úpravnické a zpracovatelské technologie atd. (Maljkovič, 1987).

Možnost výskytu a využití takovýchto komplexních nerostných surovin se zastoupením minoritních a stopových prvků je tedy závislá na třech faktorech, a to:

- geologickém, tj. zastoupení cenných doprovodných nerostů nebo prvků v nerostné surovině;
- technologickém, tzn. možnosti jejich efektivního získání při existujících technických možnostech;
- ekonomickém, což znamená, že hodnota získaných doprovodných složek musí nejen pokrýt náklady na jejich vytěžení, úpravu a prodej, ale také poskytnout nutný zisk.

## **6.6. VÝPOČET ZÁSOB EXTRÉMNĚ NEPRAVIDELNÝCH LOŽISEK**

Typickým příkladem jsou ložiska drahokamů a polodrahokamů, která lze v zásadě rozlišit do čtyř skupin. Prvou tvoří akumulace drahokamů sporadicky rozptýlených v mateřské hornině (kimberlitová ložiska diamantů, ložiska pyropu a safíru v bazických, ultrabazických a metamorfovaných horninách apod.), druhou kapsovitě akumulace nepravidelně rozmístěné v pegmatitech, třetí hydrotermální žilná ložiska a čtvrtou sekundární akumulace v ryžoviskách. Patří se rovněž akumulace slídy a optických nerostů v pegmatitech.

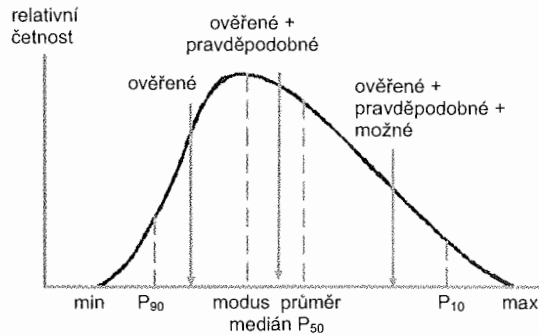
Výpočet zásob je obtížný, což plyne z enormní nepravidelnosti a složité predikovatelnosti akumulací. Opírá se o objemové vzorkování nebo i vzorkování pokusnou těžbou. Velkou roli hraje i interpretátorova zkušenost s podobnými ložisky (Kampani, 1998). Obsah zájmových nerostů se určuje laboratorními či poloprovozními úpravnickými postupy. V principu jde o tradiční statistickou metodu odhadu (kap. 6.12.6).

Mezi velmi nepravidelná ložiska se řadí řada primárních i sekundárních ložisek zlata, ve kterých se často vyskytují malé úseky s extrémními obsahy. Právě na základě této skutečnosti byly rozpracovány krigovací metody.

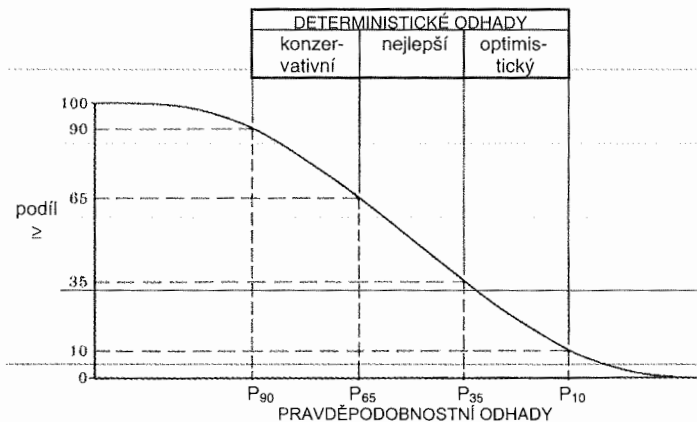
## 6.7. METODY VÝPOČTU ZÁSOb KAPALIN A PLYNŮ

V závislosti na typech a množství dostupných dat a posouzení jejich spolehlivosti se volí vhodná metoda odhadu zásob. Metody založené na těžebních údajích jsou obecně přesnější, než metody, které jsou závislé pouze na odvození z geologických a inženýrských dat. Mezi tyto metody náleží metoda poklesu těžby (statistická extrapolací metoda) založená na produkčních křivkách (pro kolektory ropy a zemního plynu), metoda materiálové bilance (pro ropné kolektory), metoda poklesu tlaku (pro kolektory plynu) a simulační metoda (pro kolektory ropy a plynu). Volba nevhodnější metody pro hodnocení ložiska závisí na typu kolektoru a mechanismu produkce a dále na dostupných datech, tj. na etapě průzkumu nebo využití ložiska. Mezi metody, které nejsou závislé na těžebních údajích, patří objemová metoda (pro ropné a plynové kolektory) a metoda analogie (nominální). Tyto metody jsou méně spolehlivé, i když objemová metoda je přesnější. Obecně lze říci, že odhad zdrojů vychází z analogie se známými obdobnými poli a ložisky, zatímco zásoby jsou odhadovány především dalšími uvedenými metodami (Crawford et al. 2002).

Odhady zásob mohou být založeny na deterministickém či pravděpodobnostním přístupu. *Deterministický přístup*, který je obecně nejvyužívanější, zahrnuje výběr jedné hodnoty pro každý parametr výpočtu zásob. Spolehlivost přístupu závisí potom na výběru vhodné procedury odhadu hodnoty parametru a zásob (obr.6.35). *Pravděpodobnostní analýza* zahrnuje popis celého rozpětí možných hodnot každého neznámého parametru a jeho statistické distribuce. Takový přístup je založen na počítačové simulaci např. metodou Monte Carlo. Oba uvedené přístupy jsou vzájemně spjaté (obr.6.36), neboť deterministický odhad představuje jednu z možných hodnot pravděpodobnostního odhadu.



Obr.6.35 Výběr hodnot parametrů odhadu zásob



Obr.6.36 Vztah mezi pravděpodobnostními a deterministickými odhady zásob

### 6.7.1. ODHADY ZDROJŮ ROPY A PLYNU.

Základem většiny geologických úvah spojených s odhadem zdrojů a zásob nerostných surovin je obecně princip analogie. Odhady zdrojů ropy a plynu v ložiskových polích či ložiskách využívající analogii jsou poměrně nenáročné a dostatečně flexibilní (Dolton a Crovelli, 1995). Jsou založeny na konstrukcích kolektorů odvozených ze seismických dat a geologických pozorování. Další potřebné parametry (efektivní pórovitost, vodonasycenost, tlak a teplota) jsou odvozovány na základě analogie s podobnými poli či ložisky. Prvořadou podmínkou aplikace tedy je podobnost hodnoceného objektu s některým známým ložiskem (Cronquist, 2001).

### 6.7.2. METODY VÝPOČTU ZÁSOB ROPY

V praxi jsou nejpoužívanější metoda objemová, bilanční a statistická v různých modifikacích.

#### **Objemová metoda**

Vychází ze znalosti geometrického tvaru ložiska nebo jeho části a informací o objemu pórového prostoru v ložisku. Geologické zásoby ropy se určí ze vztahu

$$R_g = S \times m \times \Phi \times \delta \times \gamma \times \mu,$$

kde **S** je plocha produktivní části kolektoru, **m** střední efektivní mocnost kolektoru, **Φ** koeficient efektivní pórovitosti, **μ** koeficient roponasycenosti (tj. poměr objemu pórů nasycených ropou k objemu celého pórového prostoru), **δ** přepočtový koeficient z ložiskových teplotních a tlakových podmínek na standardní, **γ** měrná hmotnost ropy. Všechny koeficienty jsou určovány jako střední hodnoty z údajů získaných při terénních (vrtných a karotážních) a laboratorních měření a pozorování. Vytěžitelné zásoby závisejí na typu ložiskového režimu, tj.

$$R_v = R_g \times K,$$

kde **K** je koeficient vytěžitelnosti (při režimu tlakové vody 0.6 až 0.8, při režimu rozpuštěného plynu 0.2 až 0.4 a při gravitačním režimu 0.1 až 0.2).

V některých případech jsou určité parametry odvozovány z výsledků těžby jiného ložiska - kolektoru (zejména koeficienty **μ** a **δ**). V tomto případě se metoda označuje jako *objemově statistická*.

*Mocnost ložiska* se ve vrtu vymezuje jako celková a jako efektivní nasycená. Do efektivní mocnosti se nezapočítávají neproduktivní proplásky (např. jílovité) a části vrstvy s fyzikálními vlastnostmi (pórovitostí, propustností a nasyceností) neodpovídajícími podmínkám průmyslového přítoku ropy nebo plynu.

*Pórovitost*, tj. poměr objemu volných pórů k celkovému objemu korektorské horniny, se stanovuje jako absolutní (uvažuje se objem všech pórů) a jako efektivní (uvažují se pouze vzájemně propojené volné prostory). Rozlišují se tři základní typy pórovitosti – intergranulární, puklinová a kavernózní. Do výpočtu vstupuje koeficient efektivní pórovitosti **Φ**.

*Koeficient roponasycenosti* **μ** je dosti obtížně stanovitelný. Pórový prostor je vlivem rozdílné afinity horninových nerostů k ropě, plynu a vodě a různému průměru pórů vždy vyplněný směsí těchto médií. Spodní hranice nasycení ropou je v ložiskových poměrech asi 40 %, při nižším nasycení už nedochází k efektivnímu toku ropy (Pagáč in Böhmer–Kužvart, 1993).

*Koeficient vytěžitelnosti K* vyjadřuje množství vytěžitelné ropy nebo plynu v poměru k primárnímu obsahu v hornině. Laboratorně stanovený koeficient vytěžitelnosti charakterizuje maximální možnosti a je výchozí hodnotou pro stanovení koeficientu vytěžitelnosti, který úzce souvisí s energetickým režimem ložiska (pro ropu je nejuvhodnější vodní tlakový režim). V konečné podobě jde o odhadovanou hodnotu, která se opírá o analogii.

### Metoda bilanční

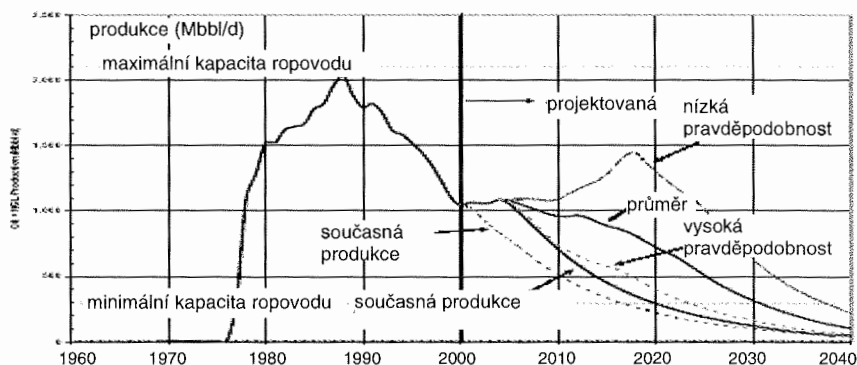
V procesu těžby dochází v kolektoru k neustálému přerozdělování ropy, plynu a vody v důsledku změn objemů, tlaků a teploty. Tyto změny a s nimi spjaté změny fyzikálních vlastností ropy a plynu jsou základem výpočtu zásob podle rovnic materiálových bilancí. Přes celou řadu uváděných vztahů pro různé režimy a se zdůrazněním významu určitého parametru lze uvést základní bilanční rovnici

$$R_0 = \frac{R_s \times [u + (r_p - r_0) \times v] - (W - w)}{u - u_0 + \frac{m \times u_0}{v_0} \times (v - v_0)}$$

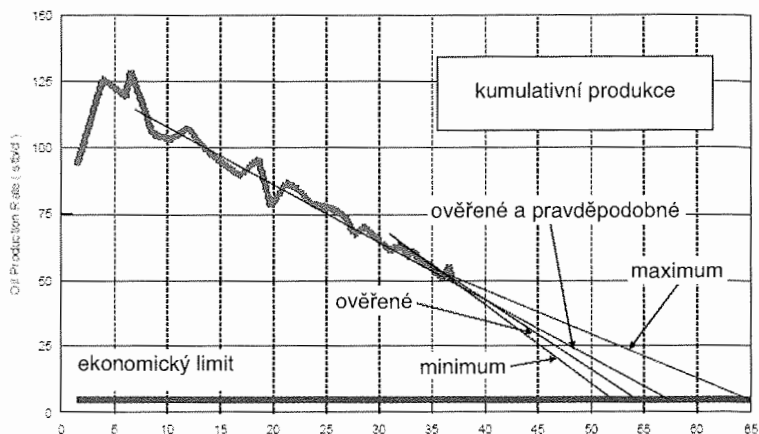
kde  $R_0$  jsou počáteční bilanční zásoby ropy při standardních podmínkách,  $R_s$  celkové množství ropy vytěžené ke dni výpočtu,  $r_0$  objem plynu rozpuštěného v ropě při počátečním ložiskovém tlaku  $P_0$ ,  $r$  objem plynu rozpuštěného v ropě ke dni výpočtu při tlaku  $T$ ,  $u_0$  jednofázový objemový koeficient ložiskové ropy při  $T_0$  a  $r_0$ ,  $u$  dvoufázový objemový koeficient pro ropu a plyn,  $v_0$  objemový koeficient ložiskového plynu při  $T_0$ ,  $v$  objemový koeficient plynu při  $T$ ,  $r_p$  střední plynový faktor pro  $R_s$  při poklesu tlaku z  $T_0$ ,  $m$  poměr objemu plynu v plynové čepici k objemu ropy v ložisku,  $W$  množství vody vniknuvší do ložiska při poklesu tlaku z  $T_0$  na  $T$  a  $w$  množství vytěžené vody. Vzorec lze transformovat podle typu ložiskového režimu do speciálních vztahů. Metoda se dá použít po odtěžení asi 20 % vytěžitelných zásob ropy v ložisku. Problematickým místem je stanovení množství vody nebo plynu, která vnikla do ropné zóny.

### Metoda extrapolační

Je použitelná pouze v případě ložisek, která jsou delší dobu těžena (obr.6.37 a 38). Vychází totiž ze statistického vyhodnocení údajů o těžbě na ložisku v závislosti na čase. Z produkčních křivek se provádí extrapolace pro následující období či do ukončení produkce sondy, resp. průměru sond. Podle typu ložiskového režimu lze určit celkové množství zásob ropy.



Obr.6.37 Projektovaná produkce ropy ze severních svahů Aljašky Mbbls/den (U.S. Department of Energy, 2001)



Obr.6.38 Statistický odhad zásob ropy podle poklesu produkce

### Hektarová metoda

Metoda je založena na výpočtu zásob ropy, které se vyskytují v 1 hektaru plochy možné roponosnosti a 1 metru mocnosti

$$R = S \times M \times q,$$

kde **S** je možná plocha roponosnosti v hektarech, **M** sumární mocnost všech možných roponosných horizontů v metrech, **q** podíl zásob na 1 hektar a 1 metr mocnosti ze známého ložiska o ploše **S'** a mocnosti **M'** se zásobami **R'**, tj.

$$q = \frac{R'}{S' \times M'}.$$

Metoda se používá pro výpočet zásob nižších kategorií a jako kontrolní.

### Metoda map ložiskových tlaků

Je založena na stanovení funkční závislosti mezi středním ložiskovým tlakem, stanoveným z mapy tlaků a odběrem ropy z kolektoru. Ze závislosti lze odvodit zásoby **R<sub>0</sub>**.

## 6.7.3. METODY VÝPOČTU ZÁSOB PLYNU

### Objemová metoda

Slouží pro výpočet zásob plynu po ukončení průzkumu. Geologické zásoby se určí ze vzorce

$$V_g = S \times m \times \Phi \times \mu' \times \tau \times \alpha \times T,$$

kde **V<sub>g</sub>** je objem zásob, **S** plocha produktivní části kolektoru, **m** střední efektivní mocnost, **Φ** koeficient efektivní pórovitosti, **μ'** koeficient nasycení pórů plynem, **τ** koeficient tepelné roztažnosti plynu, **α** koeficient odchylky od stlačitelnosti ideálních plynů a **T** ložiskový tlak. geologických jejich redukcí koeficientem vytežitelnosti a odečtením množství zásob, které v ložisku zůstanou při jistém zbytkovém tlaku **T<sub>z</sub>**, při němž již není těžba ekonomická, tj.



$$V_V = V_G \times \left[ 1 - \frac{\alpha_z \times T_z}{\alpha \times P} \right] \times K,$$

kde  $\alpha_z$  je koeficient odchylky stlačitelnosti při  $P_z$ ,  $K$  je koeficient vytěžitelnosti (pro režim stlačeného plynu 0.9 a pro režim tlakové vody 0.8).

### Metoda poklesu tlaku

Je použitelná na těžených ložiskách pro výpočet vyšších kategorií zásob. Vychází z předpokladu, že objem plynu, vytěžený při určitém poklesu tlaku, je konstantní (ložisko nemá aktivní tlakovou vodu). Jestliže na počátku bylo při tlaku  $T_0$  vytěženo množství  $R_0$  a později při tlaku  $T_1$  množství  $R_1$ , pak za celé období mezi těmito daty bylo vytěženo

$$\frac{R_1 - R_0}{T_0 - T_1}.$$

Jestliže toto množství bude při stejném tlakovém rozdílu považováno za konstantní, lze vypočítat celkové zásoby plynu až po konečný tlak  $T_k$  ze vztahu

$$V = \frac{(R_1 - R_0) \times (T_1 \times \alpha_1 - T_k \times \alpha_k)}{T_0 \times \alpha_0 - T_1 \times \alpha_1},$$

kde  $\alpha_0$ ,  $\alpha_1$ ,  $\alpha_k$  jsou opravy na odchylky. Jde o velmi jednoduchou metodu výpočtu, která ale vyžaduje znalost přesných hodnot tlakových parametrů a předpokládá jednoduchou stavbu ložiska.

### 6.7.4. METODY VÝPOČTU ZÁSOB PODZEMNÍ VODY

Metodika výpočtu zásob podzemní vody musí vycházet z druhu hodnocených zásob (geologické – využitelné dynamické) a z okrajových podmínek zvodněných horizontů.

*Geologické – přírodní zásoby* gravitační vody v horninovém prostředí se určují **objemovou metodou** ze vzorce

$$V_{\text{geol}} = V_{\text{kol}} \times k_{\text{ot}} \times (1 - d) = S \times m \times k_{\text{ot}} \times (1 - d),$$

kde  $S$  je plocha zvodněného horizontu,  $m$  mocnost,  $k_{\text{ot}}$  součinitel efektivní pórovitosti a  $d$  podíl pórového prostranství vyplněný obalovou a adsorpční vodou.

*Odvodnitelné zásoby* podzemní vody lze určit ze vztahu

$$V_{\text{odv}} = V_{\text{kol}} \times k_{\text{dr}} = V_{\text{kol}} \times k_{\text{ot}} \times k_{\text{sys}} \times k_{\text{vyt}},$$

kde  $V_{\text{odv}}$  je objem odvodnitelných zásob,  $V_{\text{kol}}$  objem kolektoru,  $k_{\text{dr}}$  součinitel účinné drenážní pórovitosti,  $k_{\text{sys}}$  součinitel nasycení vodou (při úplném nasycení kolektoru rovný jedné),  $k_{\text{vyt}}$  součinitel vytěžitelnosti. Při výpočtech objemu odvodnitelných zásob podzemní vody je nutno brát u jemnozrnných a prachových kolektorů v úvahu časový faktor, který ovlivňuje hodnotu účinné drenážní pórovitosti, resp. koeficientu vytěžitelnosti. V praxi postačuje určit časový průběh nárůstu hodnoty v prvních 14 dnech (Homola, 1991).

*Výpočet nově vzniklých zásob* při stoupání volné hladiny podzemních vod dochází k opačnému pochodu. Objem zásob je dán vztahem

$$V_n = S \times (h_{\text{max}} - h_{\text{min}}) \times k_{\text{ned}},$$

kde  $S$  je plocha, na které došlo k vzestupu volné hladiny podzemní vody,  $h_{\max}$  a  $h_{\min}$  úroveň volné hladiny po vzestupu a před vzestupem a  $k_{\text{ned}}$  součinitel nedostatku nasycení, který je o několik % větší, než drenážní účinná pórovitost  $k_{\text{dr}}$ . Určení součinitele nedostatku nasycení je problematické a proto se v praxi předpokládá rovnost  $k_{\text{ned}}$  a  $k_{\text{dr}}$ .

*Pružné zásoby podzemní vody* vznikají zmenšením objemu vody v pórovém prostranství působením tlaku vody v pórech. Objem je dán vztahem

$$V_{\text{pr}} = S \times m \times k_{\text{st}} \times (h_1 - h_2),$$

kde  $k_{\text{st}}$  je koeficient storativity (pružné zásobnosti),  $h_1$  počáteční a  $h_2$  konečná střední piezometrická výška ve zvodněném systému.

*Výpočty přírodních zdrojů podzemních vod* jsou nutným předpokladem pro výpočet využitelných množství odebíraných z proudů podzemních vod. Z definice vyplývá, že přírodní zdroje určitého povrchového povodí sestávají ze základního odtoku v daném povodí a z podzemního odtoku ze sousedního povodí, který přetéká do daného povodí, zmenšeným o podzemní odtok z daného povodí do sousedních (Homola, 1991). Vydatnost přírodních zdrojů se stanoví podle vzorce

$$Q_{\text{pz}} = S \times q_{\text{p}}.$$

kde  $S$  je plocha povodí v  $\text{km}^2$ ,  $q_{\text{p}}$  modul podzemního odtoku (součinitel specifického základního odtoku [ $\text{s} \times \text{km}^2$ ] $^{-1}$ ).

*Využitelné množství podzemních vod* lze stanovit jímáním vody vystupující ve vývěrech (pramenech), jímáním z nádrže podzemní vody, jímáním z proudu podzemní vody a jímáním z indukovaných zdrojů.

*Způsoby výpočtu a modelování vydatnosti objektů* závisí na plošné rozloze a podmínkách přítoku vody do vrstvy. Zjišťuje se množství vody, které proteče za určitý čas. Výpočet zásob je dosti složitý a je založen na:

- 1) *bilanci* přítoků, odtoků a dosavadních zásob v daném hydrogeologickém celku;
- 2) *hydraulických pozorování a výpočtech* vycházejících z výsledků čerpacích zkoušek a režimního pozorování;
- 3) *hydrodynamických výpočtech*, které řeší změny všech faktorů, majících vliv na filtrační tok.

Základem modelů proudění podzemních vod je parciální diferenciální rovnice

$$\frac{\partial C}{\partial t} = k_x \times \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} + k_y \times \frac{\partial^2 C}{\partial y^2} + k_z \times \frac{\partial^2 C}{\partial z^2},$$

kde  $C$  je funkce popisující koncentraci hmoty,  $k_x$ ,  $k_y$ ,  $k_z$  koeficienty přenosu ve směru os  $x$ ,  $y$ ,  $z$  a  $t$  čas. Tato rovnice je upravována podle charakteristik prostředí (zpravidla nehomogenního), typu přenosu a okrajových podmínek.

## 7. URČOVÁNÍ HODNOT PARAMETRŮ VÝPOČTU

Z předchozí kapitoly vyplývá, že základními parametry výpočtu zásob pevných nerostných surovin jsou *obsah plochy* průmětu ložiska nebo jeho části do vhodné průmětné roviny a *mocnost*, na základě nichž se stanovuje *objem* výpočtového bloku nebo ložiskového tělesa či jeho části, dále *obsah* užitkové nebo škodlivé složky (složek) nebo její ekvivalent (obvykle užitná hodnota) a *objemová hmotnost*. V některých případech se v případě rudních ložisek používá jako doplňkový parametr *koeficient rudonosnosti*. Při výpočtu zásob kapalin a plynů se uplatňuje řada dalších *parametrů, které popisují charakter prostředí a vlastnosti kolektoru*.

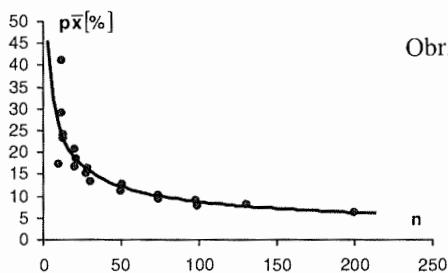
Je třeba připomenout, že existuje zásadní rozdíl v přístupu k výpočtu hodnot parametrů u tradičních a nových modelů výpočtu zásob, což vyplývá ze skutečnosti, že teoretickým základem tradičních metod jsou náhodné veličiny, kdežto u nových modelů to jsou náhodné funkce.

V případě tradičních metod jsou parametry výpočtového vzorce až na obsah plochy určovány jako střední hodnoty. Proto je třeba mít na paměti, že:

- 1) Způsob stanovení střední hodnoty závisí na použitém postupu výpočtu zásob, tj. na konkrétní hodnotě výpočtového vzorce, která odráží výchozí předpoklady;
- 2) Odhad střední hodnoty se blíží tím více skutečné střední hodnotě, čím větší je počet pozorování, což vyjadřuje limitní věta

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \{P\{|\bar{x} - \mu| < \delta\} = 1$$

pro každé libovolně malé  $\delta > 0$ . Tuto skutečnost názorně dokumentuje obr. 7.1.

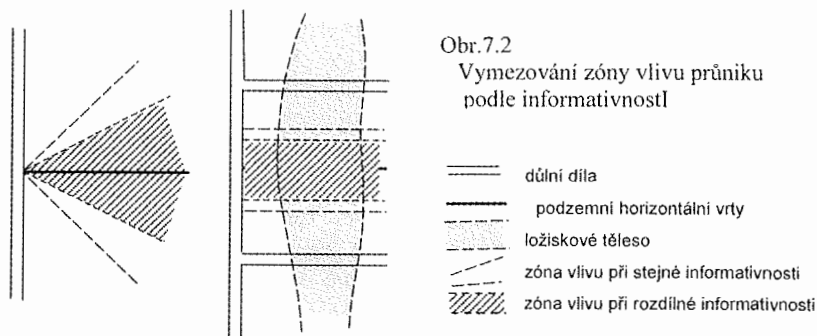


Obr.7.1 Závislost relativní chyby odhadu  
popelnatosti  $p\bar{x}$  [%] na počtu pozorování  $n$ .  
Sloj 520, Důl Darkov v Karvině

- 3) Velmi důležitým problémem je otázka stanovení zóny vlivu údajů z průzkumného bodu (průniku), které obecně nejsou stejné, ale závislé na prostorových charakteristikách distribuce užitkové (škodlivé) složky (složek) a rozmístění míst pozorování; uvedená otázka nabývá na významu zejména v případě existence extrémních hodnot, při anizotropním uspořádání hodnot sledované veličiny v prostoru ložiskového objektu a při nerovnoměrném průzkumném systému.

Zóny vlivu jsou zpravidla určovány podle jednoduchého geometrického pravidla poloviny vzdálenosti mezi pozorování. Takový postup nezohledňuje rozdílný informační přínos průzkumných průníků různého typu a prostorový vývoj mineralizovaného pole. Je např. zřejmé, že důlní díla mohou poskytovat daleko detailnější, úplnější a objektivnější informace o studovaném ložisku než práce vrtné, že je rozdíl mezi informací o mocnosti ložiskového tělesa získané při úplném výnosu jádra z vrtu a informací při neúplném výnosu nebo získanou z karotážního měření atd. Proto je potřebné předem analyzovat

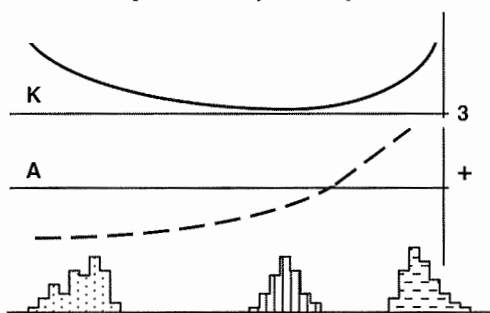
míru informativnosti jednotlivých typů průzkumných průřezů a postupů zjišťování hodnot veličin a podle toho stanovit interpretační pravidla (obr.7.2).



- 4) Při odhadu středních hodnot je nutno respektovat typ statistické distribuce hodnocené veličiny a charakter závislosti veličin, které vystupují jako parametry výpočtového vzorce. Zanedbání tohoto hlediska vede zejména v případě silně asymetrických, smíšených nebo cenzurovaných distribucí k chybným závěrům.
- 5) Při odhadu středních hodnot je třeba respektovat vztahy mezi veličinami, které vystupují jako parametry výpočtového vzorce. Některé z nich mohou být závislé na té veličině, která je z hlediska geneticko-morfologického typu ložiskové akumulace určující. Např. v případě uhelných ložisek je plocha závislá na mezní mocnosti a mezní popelnatosti, mocnost a tedy i plocha vtroušeninových rudních ložisek je daná mezní kovatostí apod. Tyto okolnosti je třeba zohlednit při volbě metodiky odhadu zásob.

### 7.1 STANOVENÍ STŘEDNÍCH HODNOT PARAMETRŮ

Při zpracování výsledků pozorování veličin popisujících ložisková tělesa se zjistilo, že



Obr.7.3 Optimální transformace podle Box-Coxova principu

značný počet jejich empirických distribucí nevyhovuje běžně uvažovanému normálnímu rozdělení  $N(\mathbf{U}; \mu, \sigma^2)$ , ale že vykazují více či méně převážně kladně asymetrickou distribuci. Proto se pro popis využívají různé transformace veličin, obvykle logaritmická  $v = \ln(\mathbf{u})$  nebo obecná logaritmická  $v = \ln(\mathbf{a} + \mathbf{b} \times \mathbf{u})$ , která vede k velmi často používanému logaritmickému rozdělení  $LN(\mathbf{U}; \mu, \sigma^2)$ , resp. k obecnému logaritmicko normálnímu rozdělení  $LN(\mathbf{U}; \mu, \sigma^2, \mathbf{a}, \mathbf{b})$ , jehož konstanty lze stanovit pomocí účelové funkce

buď symetrizační  $|\mathbf{A}| \rightarrow \min$  nebo normalizační  $\mathbf{w} \times |\mathbf{A}| + |3 - \mathbf{K}| \rightarrow \min$ , kde  $\mathbf{A}$  je šikmost,  $\mathbf{K}$  koncentrace a  $\mathbf{w}$  je váha volená tak, aby účelová funkce neměla více lokálních minim (obr.7.3). V případě kladně asymetrické distribuce je  $\mathbf{b} = 1$  a v případě záporně asymetrické distribuce  $\mathbf{b} = -1$ . Je skutečností, že asymetrie distribuce ztěžuje odhad středních hodnot a variability veličin. Proto je tomuto problému třeba věnovat pozornost.

Obecně užívanou statistickou charakteristikou střední hodnoty je *aritmetický průměr*, který je za předpokladu

– normální distribuce 
$$\bar{u} = \frac{1}{n} \times \sum_{i=1}^n u_i,$$

– lognormální distribuce 
$$\bar{u} = e^{\bar{z} + \epsilon^2/2},$$
  
kde  $\bar{z}$  je aritmetický průměr přirozených logaritmů hodnot veličiny a  $\epsilon^2$  jejich rozptyl.;

– obecné lognormální distribuce 
$$\bar{u} = b \times \left[ e^{\bar{z} + \epsilon^2/2} - a \right].$$

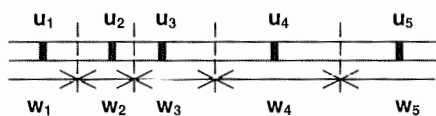
Běžně uváděný odhad aritmetického průměru lognormálního rozdělení je vychýlený k vyšším hodnotám a proto lze za nejrealnější hodnotu považovat odhad průměru založený na metodě maximální věrohodnosti

$$\begin{aligned} \bar{u}_{MV} &= e^{\bar{z}} \times \psi_n(\mathbf{q}) \\ \psi_n(\mathbf{q}) &\approx e^t \times \left\{ 1 - \frac{\mathbf{q} \times (\mathbf{q} + 1)}{n} + \frac{\mathbf{q}^2 \times (3\mathbf{q} + 22\mathbf{q} + 21)}{6n^2} \right\}. \\ \mathbf{q} &= \frac{1}{2} \times \epsilon^2 \end{aligned}$$

Často je používán *obecný (vážený) aritmetický průměr*

$$\bar{u} = \frac{\sum_{i=1}^n (w_i \times u_i)}{\sum_{i=1}^n w_i},$$

kde  $w_i$  jsou váhy pozorování. Mohou to být délky, plochy či objemy zón vlivu (obr.7.4).



Obr.7.4 Princip výpočtu obecného průměru

Poněvadž aritmetické průměry jsou obecně ovlivňovány krajními hodnotami variační řady, které mohou být silně odlišné (extrémní), používá se často jako charakteristika střední hodnoty *medián*, pro který platí, že

$$P\{u_i < \tilde{u}\} = 0.5.$$

Jde tedy o 50 % kvantil rozdělení, resp. střední hodnotu variační řady. V případě lognormální distribuce stanovíme medián ze vzorce

$$\tilde{u} = e^{\bar{z}}$$

resp. u obecné lognormální distribuce

$$\tilde{u} = b \times \left[ e^{\bar{z}} - a \right].$$

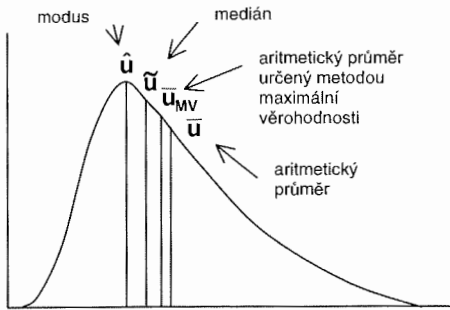
Další možností je využití robustních odhadů střední hodnoty uvedených v kapitole 4.5.

Nejčetnější hodnota v distribuci se nazývá *modus*, který se v případě lognormální distribuce určí dle vzorce

$$\hat{u} = e^{\bar{z} - \epsilon^2},$$

kde  $\epsilon^2$  je rozptyl přirozených logaritmů hodnot veličiny; u lognormální distribuce

$$\hat{u} = b \times \left[ e^{\bar{z} - \epsilon^2} - a \right]$$



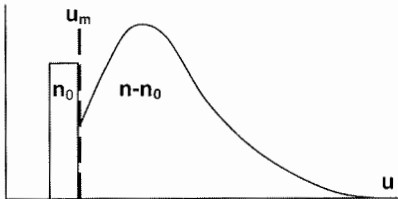
Obr.7.5 Statistické charakteristiky polohy kladně asymetrických distribucí

Vzájemné vztahy mezi výše uvedenými středními hodnotami kladně asymetrických (lognormálních a podobných) rozdělení jsou schematicky znázorněny na obr.7.5.

Jejich použitelnost závisí jednak na počtu pozorování, jednak na složitosti statistické distribuce. V případě rozsáhlých výběrů je doporučováno použití odhadu střední hodnoty metodou maximální věrohodnosti. Naopak u malých nebo velmi malých výběrů se doporučuje použití mediánu, resp. odhadů založených na pořadových statistikách, jako je

trimean, winzorizovaný nebo uřezaný průměr (kap. 4.5).

Značný problém představuje při odhadu středních hodnot výskyt obsahů užitkových složek ležících pod mezí citlivosti stanovení  $u_m$  (obr.7.6). Statisticky korektní řešení tohoto problému vede k aplikaci *jednostranně cenzurovaného rozdělení*, odvozeného Haldem (1949). Zjednodušené řešení vychází z výpočtu konstant



Obr.7.6 Jednostranně cenzurované rozdělení

$$h = n_0/n,$$

$$y = \frac{(n - n_0) \times \sum_{i=1}^{n-n_0} (u_i - u_0)^2}{2 \times \left[ \sum_{i=1}^{n-n_0} (u_i - u_0) \right]^2},$$

kde  $n_0$  je počet hodnot menších než mez cenzurování  $u_m$  z výběru  $n$  pozorování ze základního souboru s normálním rozdělením. Podle nich se z grafu na obr.7.5 určí hodnoty funkcí  $g(h, y)$  a  $v(h, y)$ , které vedou k odhadu průměru

$$\bar{u} = s \times v(h, y)$$

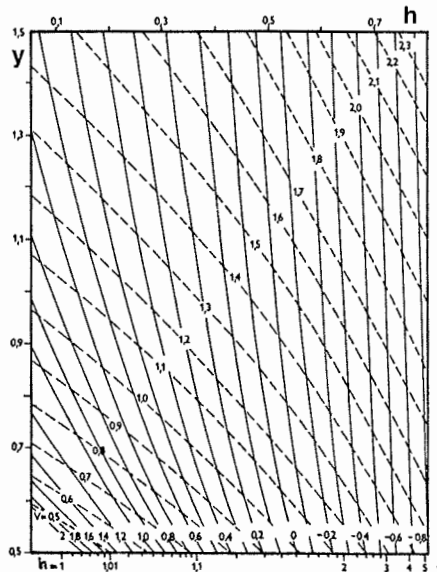
kde  $s$  je odhad směrodatné odchylky

$$s = \frac{\sum_{i=1}^{n-n_0} (u_i - u_0)}{n - n_0} \times g(h, y).$$

Obr.7.7

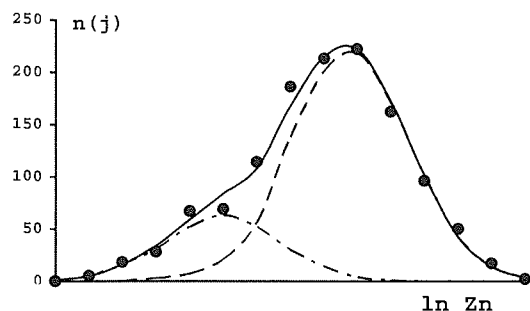
Graf pro výpočet odhadu průměru jednostranně cenzurovaného rozdělení (Šurigin 1971)

————  $v(h, y)$       - - - - -  $g(h, y)$



V některých případech se setkáváme s nutností stanovit odhady středních hodnot z empirických distribucí, které mají polymodální charakter vznikající smíšením hodnot dvou nebo více základních souborů (např. hodnot rudního a horninového souboru). Jde o problém separace smíšených distribucí

$$f(u) = \alpha_1 \times f_1(u) + \alpha_2 \times f_2(u) + \dots + (1 - \alpha_1 - \alpha_2 - \dots - \alpha_{m-1}) \times f_m(u),$$

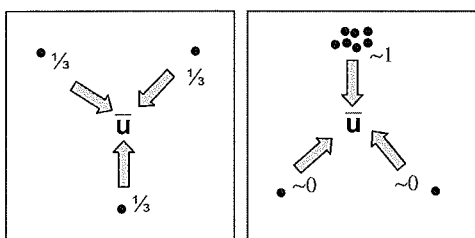


kde  $\alpha_i$  jsou podíly a  $f_i(u)$  hustoty pravděpodobnosti jednotlivých distribucí. V případě bimodální distribuce (obr.7.8) se jedná o separaci a odhad charakteristik rozdělení  $F(U; \mu_1, \mu_2, \sigma_1^2, \sigma_2^2, \alpha)$ , a to orientační grafickou metodou, metodou maximální věrohodnosti či momentovými metodami rozpracovanými Pearsonem (1894) a poté (1952), jejichž použitelnost byla analyzována řadou autorů, např. Schejbalem et al. (1977). Tyto postupy jsou dosti komplikované a realizovatelné speciálními počítačovými programy.

Obr.7.8 Separace bimodální distribuce Zn v bilančních úsecích 6.-9. patra ložiska Horní Benešov (Schejbal et al., 1977)

O problematice výskytu hodnot, které se významně odlišují od ostatních (tzv. odlehlá pozorování, v geologické literatuře označovaná jako extrémní či uraganní hodnoty), je pojednáno v kapitole 4.3 při hodnocení použitelnosti pozorování.

V případě klasických metod aritmetických průměrů (geologických a těžebních bloků) představuje značný problém *výběr pozorování pro odhad průměru*. Obtíže v praxi vyplývají z nepravidelného rozložení průzkumných průniků a z nezbytnosti respektování geologicko-strukturální stavby a kontinuity ložiskových těles jejich vlastností.

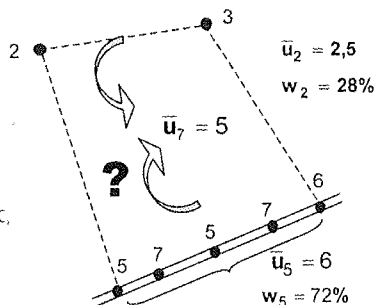


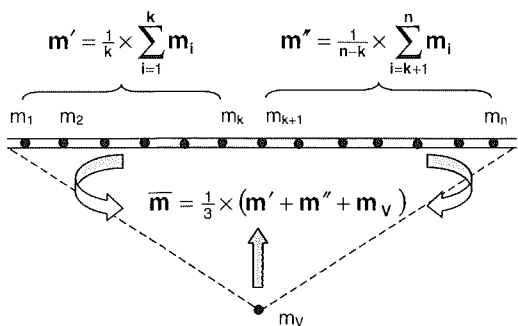
Obr.7.9 Závislost vlivu pozorování na odhad střední hodnoty

Problém nepravidelného rozložení míst pozorování, zejména tzv. shluků průzkumných bodů, vzniká u všech konvenčních metod výpočtu zásob. V případě zpravidla obvyklé nestacionarity mineralizovaného pole, kdy změny mocnosti nebo dalších hodnocených parametrů vykazují určitý trend, může dojít k chybnému odhadu střední hodnoty proto, že vliv shluku pozorování (dobře ovzorkované chodby apod.) převáží nad vlivem izolovaných pozorování např. z vrtů (obr.7.9 a 7.10).

Tento problém řeší zcela korektně teprve metody založené na náhodných funkcích a lokálních odhadech typu metod minimální křivosti.

Obr.7.10 Příklad vlivu nepravidelného rozmístění míst pozorování na odhad průměru



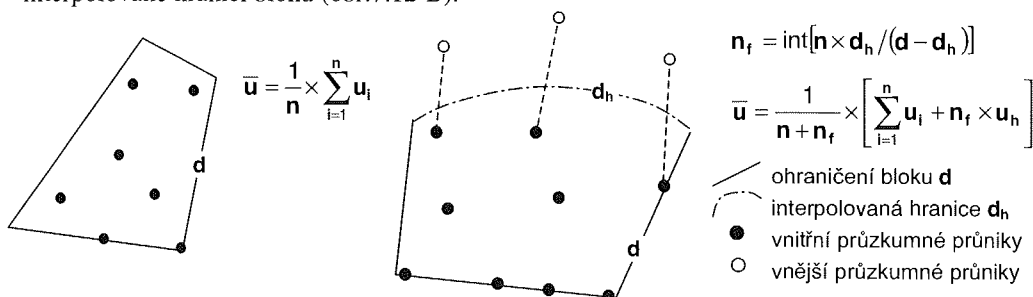


Obr.7.11 Výpočet průměrné mocnosti bloku podle údajů z důlní chodby a vrtu

počet pozorování. Pak jsou pro odhad hodnot výpočtových parametrů používány vedle „vnitřních“ pozorování i pozorování „vnější“, jejichž výběr je založen na odborném odhadu. Zodpovědný řešitel je volí podle svých zkušeností a znalostí hodnoceného objektu a objektů obdobného geneticko-morfologického typu. Právě tato skutečnost přináší problémy při schvalování výpočtu zásob. Proto je nezbytné předem vypracovat a odůvodnit pravidla výběru, která musí respektovat výše uvedená hlediska. Jako příklad je uveden postup založený na charakteru omezení bloku, který byl navržen pro podmínky ložisek černého uhlí v české části hornoslezské pánve. Oproti klasickému přístupu výpočtu průměru, který vychází pouze z vnitřních průřezů (obr.7.12-A), se v tomto případě uvažují fiktivní průřezy na interpolované hranici bloku (obr.7.12-B).

Jedna z možností zamezení vlivu shluků pozorování z průřezových průřezů spočívá ve výpočtu lokálních průměrů, které pak vstupují do výpočtu celkového průměru. Na obr. 7.11 je uveden takovýto postup při výpočtu průměrné mocnosti bloku omezeného dobře ovzorkovanou důlní chodbou a vrtem. Tento princip lze aplikovat na podobné situace i v případě většího počtu izolovaných pozorování.

Komplikovaná situace nastává v takovém případě, když vymezený blok obsahuje minimální nebo dokonce nulový

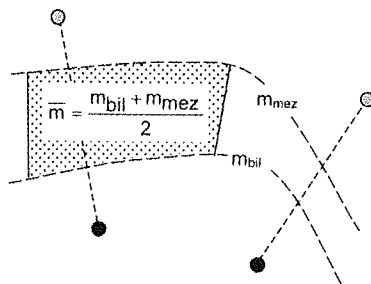


Obr.7.12 Příklad odhadu průměru parametru v bloku

V oblastech postupného přechodu ložiskového tělesa do hodnot určujících veličin, které leží za hranicí ekonomické nebo technické využitelnosti (zpravidla v oblasti jejich genetického vyklíňování), běžně nastává situace, kdy je nutno vymežit bloky ležící v mezích určených interpolovanými hranicemi, tj. nemajících vlastní průřezové průřezy. Pak lze určit průměrné hodnoty mocnosti, obsahu apod. podle principu uvedeného na obr. 7.13.

Obr.7.13

Výpočet průměrné hodnoty mocnosti mezi interpolovanými hranicemi bez vnitřních průřezů



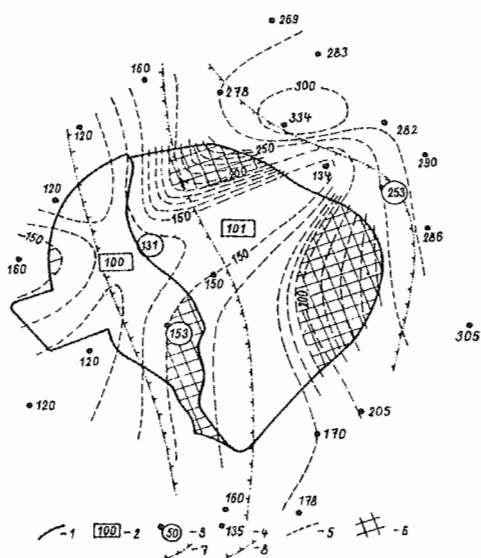


Nevyužívání všech dostupných pozorování – ať už ze zdánlivě dobrých důvodů – může ovšem vést ke zkreslení odhadů zásob. To dobře ilustrují údaje v tab.7.1, které popisují dva zásobové bloky ze sloje č.674 b na Dole Lazy v OKR.

Tab.7.1 Porovnání vlivu postupu stanovení průměrné mocnosti bloku na odhad zásob v blocích 100 a 101 sloje č. 674 b na Dole Lazy v OKR (Schejbal 1984)

veličiny		jednotky	Blok 100	Blok 101
plocha bloku S		km <sup>2</sup>	0,1023	0,2128
mocnost ve výpočtu zásob $m_z$		cm	153	192
mocnost váženým průměrem $m_v$		cm	140	174
mocnost aritmetickým průměrem $m_a$		cm	139	173
popelnatost $A^d$		%	23	15
objemová hmotnost $\rho_o$		kg.m <sup>-3</sup>	1430	1340
zásoby	$Q_z = m_z \times S \times \rho_o$	kt	224	548
	$Q_v = m_v \times S \times \rho_o$	kt	205	496
	$Q = m \times S \times \rho$	kt	203	496
rozdíl	$Q_z - Q_v$	kt	+19	+52
		%	+9,3	+10,5
	$Q_a - Q_v$	kt	-2	0
		%	+1,0	0

Použitý princip výběru údajů pouze z tzv. komplexně dokumentovaných bodů (tj. průniků, ve kterých byly vedle mocnosti stanovena popelnatost další chemicko-technologické veličiny) vedl k tomu, že mocnost bloku 100 byla určena jen na základě jednoho a bloku 101 dvěma údaji. Mapa izolinií mocnosti, která byla sestavena s využitím všech dostupných údajů z dlouhých důlních děl, vrtů a přilehlých vydobytých ploch, ukazuje na neoprávněnost takového přístupu, neboť podíl ploch s mocností vyšší než výpočtová je mnohem menší, než podíl ploch s menší mocností (obr.7.14). Použitá mocnost a výsledné zásoby byly nadhodnoceny přibližně o 10 %.



Obr.7.14

Mapa izolinií mocnosti uhelné sloje č. 674 b na Dole Lazy v OKR v blocích 100 a 101 (Schejbal, 1984)

- 1 – hranice bloků
- 2 - číslo bloku
- 3 – mocnost sloje v plně dokumentovaných bodech
- 4 – mocnost sloje v ostatních bodech
- 5 – izolinie mocnosti sloje
- 6 – plochy bloku s mocností vyšší než výpočtovou
- 7 – hranice údajů mocnosti pro blok 100
- 8 – hranice údajů mocnosti pro blok 101

Podobná situace nastává v případě *neúplných údajů* při hodnocení doprovodných užitkových složek, např. stříbra či stopových prvků v polymetalických rudách, zlata v měděných porfyrových rudách apod.. Chybějící data mohou totiž vážně ovlivnit výsledné odhady. Když totiž budeme ignorovat chybějící údaje, nebo když taková neúplná pozorování vyloučíme, riskujeme nesprávné nebo nevýznamné výsledky. Proto je na místě *otázka vhodné náhrady chybějících údajů*.

Obecně existují dva přístupy k řešení uvedeného problému. Prvý z nich je založen na vypuštění neúplných pozorování, a to buď celé akce (případu) s takovými pozorováními, nebo samostatných pozorování. Druhý je založen na náhradě chybějících údajů:

- vhodnou střední hodnotou z ostatních pozorování podle typu statistického rozdělení dané veličiny (průměrem, mediánem, modem);
- přiřazením hodnoty z přílehlého pozorování nebo hodnotou odvozenou z přílehlých pozorování pomocí vhodné lokální funkce;
- hodnotou určenou z jednoduché nebo mnohonásobné regresní závislosti.

Např. na ložisku Zlaté Hory – západ ukázal podrobný statistický rozbor, že chybějící stanovení Au a Ag lze nahradit geometrickými průměry, které jsou prakticky shodné u původních i redukovanych souborů (tj. po vyloučení odlehlých hodnot) a které reprezentují průměrné obsahy v ložiskonosných horninách (tab.7.2).

Tab.7.2 Charakteristiky původních a redukovanych souborů Au a Ag. Zlaté Hory - západ

charakteristika	původní soubor		redukovany soubor	
	Au g/t	Ag g/t	Au g/t	Ag g/t
výběrový medián	0,31	3,0	0,21	3,0
geometrický průměr	0,28	3,1	0,21	3,0
aritmetický průměr	2,60	5,1	0,53	4,0
max. věrohodný průměr	2,57	5,0	0,53	4,0

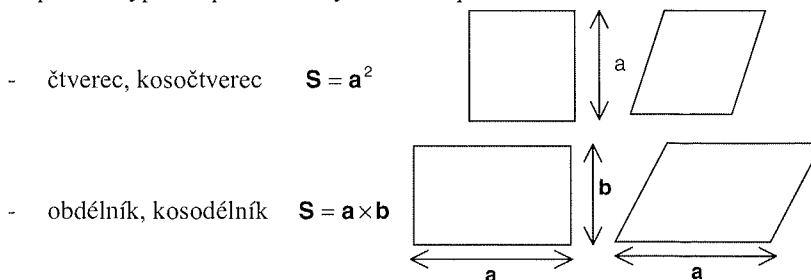
Jde-li o údaje, které leží pod mezí citlivosti (rozlišitelnosti) metody stanovení (nejčastěji chemické nebo fyzikálně chemické analytické metody), pak lze tyto údaje nahradit:

- smluvní hodnotou odvozenou z meze citlivosti, a to obvykle  $\frac{1}{2}$  mezní hodnoty pro údaje označené „ $<u_m$ “ nebo  $\frac{1}{10}$  mezní hodnoty pro údaje označené „stopy“ či „0“;
- hodnotou odvozenou simulací podle typu statistické distribuce (metodou Monte Carlo apod.);
- hodnotou určenou z jednoduché nebo mnohonásobné regresní závislosti.

## 7.2. OBSAH PLOCHY

Plocha průmětu tělesa nebo řezu tělesem, resp. výpočtového bloku je dalším základním parametrem odhadu zásob. Určuje se v závislosti na omezení hodnocené plochy:

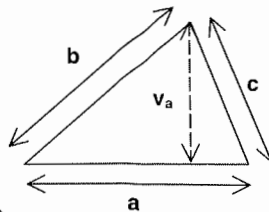
- a) v případě bloku jednoduchého tvaru, resp. tvaru rozložitelného na jednoduché geometrické obrazce lze plochu vypočítat podle známých vzorců pro



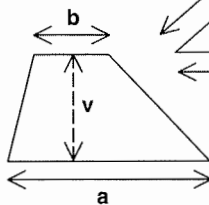
trojúhelník  $S = \frac{1}{2} a \times v_a$

$$S = \sqrt{s \times (s - a) \times (s - b) \times (s - c)}$$

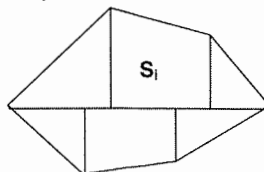
$$s = (a + b + c) / 2$$



- lichoběžník  $S = \frac{1}{2} \times v \times (a + b)$



- nepravidelný mnohoúhelník  $S = \sum_{i=1}^m S_i$



b) v případě libovolné plochy lze určit její obsah

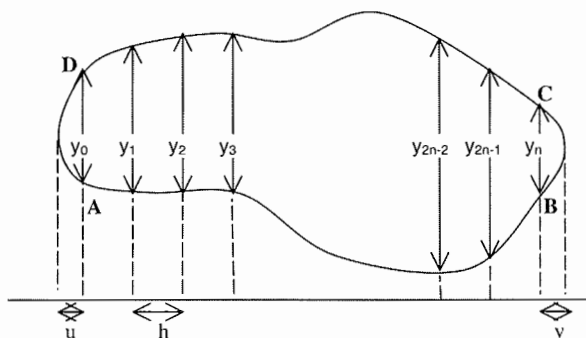
- podle Simpsonova pravidla (obr.7.15)

plocha ABCD se rozdělí rovnoběžnými úsečkami  $y_0, y_1, \dots, y_{2n}$  na sudý počet  $2n$  dílů stejné šířky  $h$ . Pak obsah plochy bude

$$S \approx \frac{1}{3} \times h \times [y_0 + 4 \times (y_1 + y_3 + \dots + y_{2n-1}) + 2 \times (y_2 + y_4 + \dots + y_{2n-2}) + y_{2n}]$$

Krajní části plochy se určí jako obsah úsečí

$$S' \approx \frac{2}{3} \times (u \times y_0 + v \times y_{2n})$$



Obr.7.15 Určování libovolné plochy podle Simpsonova a Ponceletova pravidla

- podle Ponceletova pravidla

plocha se rozdělí na  $n$  dílů stejné šířky  $h$ ; pak

$$S \approx h \times [2 \times (y_1 + y_3 + \dots + y_{n-1}) + \frac{1}{4} \times (y_0 + y_n) - \frac{1}{4} \times (y_1 + y_{n-1})]$$

c) výpočet plochy určené souřadnicemi vrcholů  $(x_i, y_i)$  obvodového polygonu

$$S = \frac{1}{2} \times [x_1 \times (y_2 - y_n) + x_2 \times (y_3 - y_1) + x_3 \times (y_4 - y_2) + \dots + x_n \times (y_1 - y_{n-1})]$$

nebo 
$$S = \frac{1}{2} \times [y_1 \times (x_2 - x_n) + y_2 \times (x_3 - x_1) + y_3 \times (x_4 - x_2) + \dots + y_n \times (x_1 - x_{n-1})].$$

Poznámka: výpočet ploch v počítačových programech je založen na tomto postupu.

### 7.3. OBJEMOVÁ HMOTNOST

Je jedním ze základních parametrů výpočtu zásob, na kterém závisí odhad hmotnosti zásob nerostné suroviny a uživatkové složky v ložisku.

Běžně používaný způsob stanovení tohoto parametru spočívá ve výpočtu aritmetického průměru objemových hmotností odebraných vzorků ložiskové výplně, které by měly být voleny tak, aby postihovaly všechny kvalitativní třídy suroviny. Vypočtená hodnota je pak považována za konstantu výpočtu pro celé ložisko. Tento způsob není příliš vhodný, neboť:

- a) nerespektuje rozdílné zastoupení kvalitativních tříd nerostné suroviny;
- b) nezohledňuje typ statistické distribuce objemové hmotnosti;
- c) popírá funkční závislost objemové hmotnosti na obsahu užitečných, resp. škodlivých složek;
- d) neuvažuje prostorové rozložení těchto složek a tedy i objemové hmotnosti.

Ve svém důsledku vede ke vzniku lokálních diferencí mezi vypočtenými a skutečnými zásobami, které mohou významně ovlivnit odhad zásob v jednotlivých blocích ložiska. Metodicky korektní způsob vyžaduje, aby objemová hmotnost byla považována za prostorovou proměnnou veličinu  $\rho(\mathbf{X}, \mathbf{Y}, \mathbf{Z})$ . Hmotnost zásob pak bude

$$Q = \int_V \rho(\mathbf{x}, \mathbf{y}, \mathbf{z}) dv .$$

Poněvadž vyjádření funkce objemové hmotnosti by bylo velice komplikované, lze použít výraz

$$Q = \sum_{i=1}^n \rho_i \times v_i ,$$

kde  $\rho_i$  je objemová hmotnost v objemu  $v_i$  zóny vlivu vzorku,  $n$  je počet vzorků v objemu  $V$ .

Nelze předpokládat, že by u každého vzorku zahrnutého do hodnocení zásob byla vedle obsahu užitečných a škodlivých složek stanovována i objemová hmotnost. Přijatelné řešení spočívá v analýze vztahů mezi objemovou hmotností a obsahem užitečných či škodlivých složek, resp. hlavních užitečných nerostů, které by umožnily ze stanovené závislosti odvozovat potřebné údaje.

U rudních a obdobných surovin lze při známém zastoupení ( $a_1, a_2, \dots, a_k$ ) užitečných nerostů ( $A_1, A_2, \dots, A_k$ ) o měrné hmotnosti ( $\rho_1, \rho_2, \dots, \rho_k$ ) určit měrnou hmotnost nerostné suroviny z výrazu

$$\rho = a_1 \times \rho_1 + a_2 \times \rho_2 + \dots + a_k \times \rho_k + (1 - a_1 - a_2 - \dots - a_k) \times \rho_0 ,$$

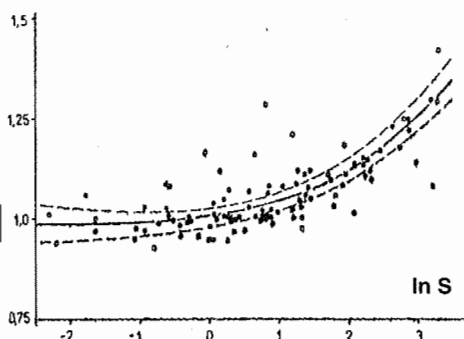
kde  $\rho_0$  je objemová hmotnost původní horniny.

V případě sulfidické mineralizace často vykazuje objemová hmotnost nejtěsnější vztah k obsahu síry, což je pochopitelné, neboť obsah síry vyjadřuje zastoupení všech sulfidů v rudnině. Tento vztah vyjadřuje rovnice

$$\rho_V = e^{[1,00465 + 0,02517 \times \ln(S) + 0,01353 \times (\ln S)^2 + 0,0024 \times (\ln S)^3]}$$

jejíž grafické znázornění je na obr.7.16.

V případě ložisek uhlí se ve všech odebraných vzorcích stanovuje vedle dalších veličin popelnatost  $A^d$  %, zatímco objemová hmotnost jen u malého výběru vzorků. Proto je třeba odvodit závislost objemové hmotnosti na

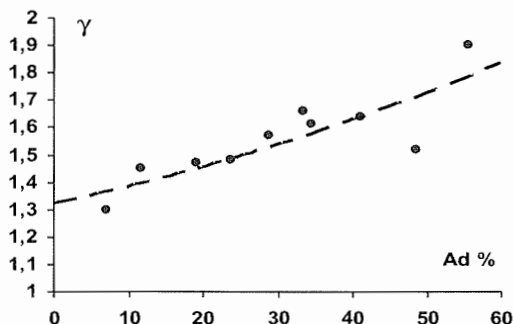


Obr.7.16 Závislost objemové hmotnosti rudniny na obsahu sulfidické síry na ložisku Horní Benešov

popelnatosti, která má obecnou podobu

$$\rho = \frac{1}{a - b \times A^d}$$

Koeficienty **a**, **b** uvedené závislosti jsou odvozovány pro každý dobývací prostor a průzkumné pole na základě odebraných vzorků (obr.7.17).



Obr.7.17  
Příklad závislosti objemové hmotnosti na popelnatosti uhlí

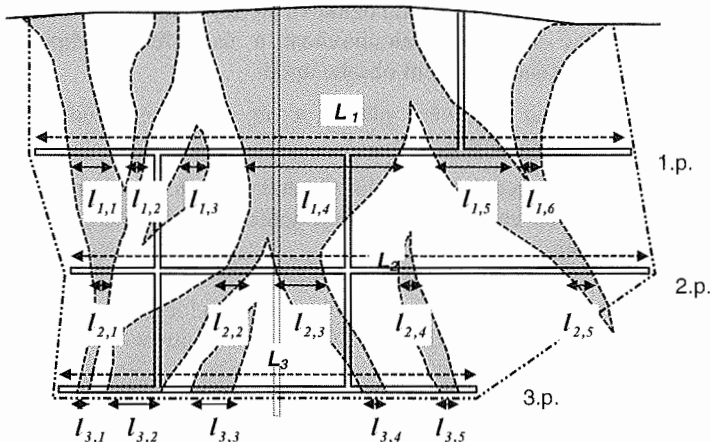
#### 7.4. DOPLŇKOVÉ PARAMETRY VÝPOČTOVÉHO VZORCE

Z přehledu klasických metod výpočtu zásob je zřejmé, že základními parametry výpočtu jsou plocha průmětu ložiskového tělesa nebo příslušného řezu tělesem, mocnost tělesa nebo jeho části, objemová hmotnost nerostné suroviny a obsah užitkové složky/složek, který může být vyjádřený přepočtem na hlavní složku nebo cenou. Vedle těchto základních parametrů jsou v některých případech využívány doplňkové parametry v podobě různých opravných koeficientů.

Nejznámější z nich je *koeficient rudnosnosti*, který se využívá při odhadu zásob velmi variabilních rudních ložisek (obr.7.18). Jde o opravný koeficient na nerovnoměrnost koncentrace užitkové složky. Běžně se určuje na základě výsledků podrobného průzkumu podle vzorce

$$k_r = \frac{\sum_i \sum_j l_{i,j}}{\sum_i L_i}$$

kde  $l_{i,j}$  jsou délky rudních úseků v průzkumných dílech a  $L_i$  délky průzkumných děl v rudních tělesech. Spolehlivější výpočet vychází z plošných nebo objemových dat.



Obr.7.18 Princip výpočtu koeficientu rudnosnosti

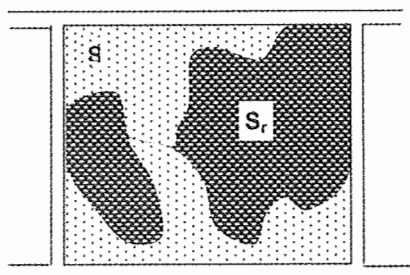
Přesnější bude stanovení koeficientu rudonosnosti podle poměru součtu rudních ploch  $S_r$  k celkové odpracované ploše  $S$  (obr.7.19)

$$k_r = \sum_j S_{r,j} / S,$$

nejlépe podle poměru objemů rudních úseků  $V_r$  k celkovému odpracovanému objemu  $V$

$$k_r = \sum_m V_{r,m} / V.$$

Koeficient rudonosnosti má hodnotu vždy menší než 1. Nejčastěji se pohybuje mezi 0,9 až 0,7 a může klesat až na hodnotu 0,2.



Obr.7.19 Plošný koeficient rudonosnosti

Vedle tohoto koeficientu se v některých případech využívají další opravné koeficienty v závislosti na typu nerostné suroviny a jejich vlastnostech a také v závislosti na metodě výpočtu a charakteru dostupných údajů. Smirnov (1957) uvádí stručný popis následujících koeficientů:

- Opravný koeficient určení mocnosti ložiskových těles, který vyjadřuje opravu mocnosti zjištěné v průzkumných vrtech, zkreslené vlivem výběrového rozmělnění a výnosu měkčích částic. Oprava se realizuje na základě karotážních měření, a to nejlépe v přijatém profilu vrtu.
- Opravný koeficient objemové hmotnosti stanovené laboratorně na poměry horninového masívu.
- Opravné koeficienty stanovení obsahu užitkové složky v nerostné surovině zahrnují opravy na vlhkost nerostné suroviny, valounovitost a nakypření v případě rozsypů, chyby vzorkování a analytického stanovení obsahu apod.
- Opravné koeficienty na stanovení plochy a objemu ložiskových těles, kam patří už uvedený koeficient rudonosnosti.

Zavádění opravných koeficientů není příliš vhodné, protože ve skutečnosti snižují přesnost odhadu zásob. Pokud jsou zavedeny, vyžadují spolehlivé prověření přímými a kontrolními měřeními či stanoveními.

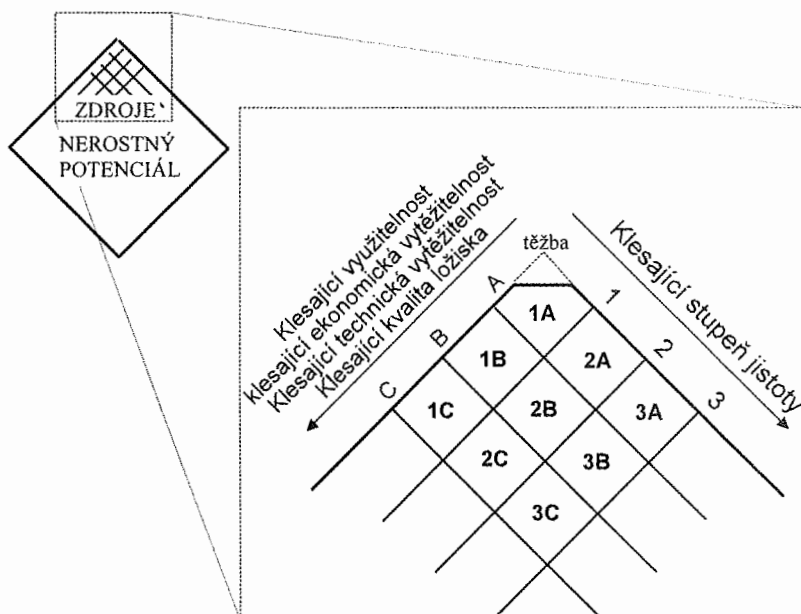
## 8. KLASIFIKACE ZÁSOB NEROSTNÝCH SUROVIN

Klasifikace zásob ložisek nerostných surovin je od svých počátků obecně založena na hodnocení svou hledisek, a to stupněm prozkoumanosti, tj. hodnověrnosti poznání a stupně technicko-ekonomické využitelnosti. Implementace těchto principů není dosud dostatečně teoreticky i prakticky rozpracována. Vyjádříme-li obecné klasifikační schéma ve tvaru matice

$$Q = \begin{bmatrix} Q_{11} & Q_{12} & Q_{13} & \dots \\ Q_{21} & Q_{22} & Q_{23} & \dots \\ Q_{31} & Q_{32} & Q_{33} & \dots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \dots \end{bmatrix},$$

pak pouze prvé dva až tři členy lze spolehlivě popsat.

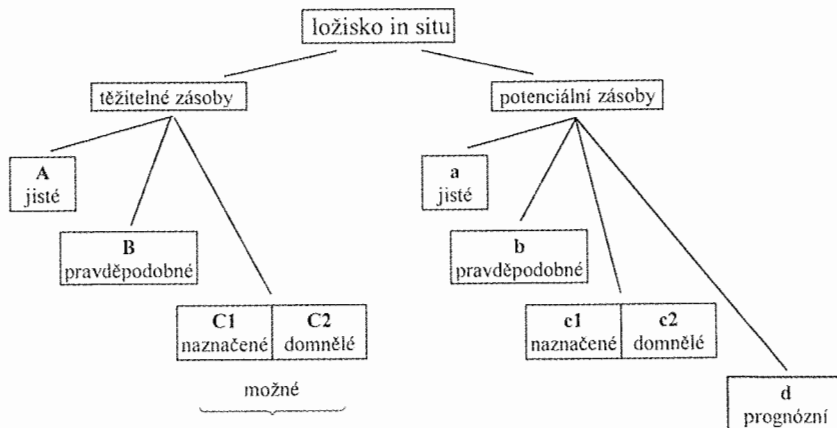
Do současné doby byla vypracována řada systémů klasifikace zásob a zdrojů nerostných surovin, které jsou založeny na poněkud odlišných principech a které také používají různé termíny a definice. Po mnoho let se proto projevovala snaha ujednotit jejich pojetí. Obecně uznávaným základem se stal tzv. McKelveyho diagram (McKelvey, 1973). Podstatu klasifikace zdrojů nerostných surovin dobře ilustruje Fettweisovo schéma (obr.8.1).



Obr.8.1. Princip klasifikace zdrojů a zásob podle Fettweise (1975)

Používané klasifikace zásob podle prozkoumanosti se vzájemně odlišují, neboť požadavky na jednotlivé kategorie zásob jsou definovány pouze slovně a značně vágně. Z tohoto důvodu mají *kategorie zásob charakter subjektivních expertních odhadů*.

Komise Společnosti německých hutníků a horníků se v roce 1957 pokusila o sjednocení tehdejších západních a východních přístupů a navrhla klasifikaci zásob a zdrojů pevných nerostných surovin, která byla v roce 1959 publikována jako směrnice GDMB (obr.8.2).



Obr.8.2 Návrh klasifikace zásob a zdrojů pevných nerostných surovin podle GDMB (1959)

Fettweis podal v roce 1975 návrh mezinárodní klasifikace uhelných zdrojů a zásob, který vychází z klasifikace USGS podle McKelveyho schématu (tab.8.1).

Tab.8.1 Návrh mezinárodní klasifikace zásob a zdrojů uhlí (Fettweis, 1975)

		Zjištěné			neobjevené		↑ Rostoucí stupeň ekonomické využitelnosti
		dokázané			hypotetické	spekulativní	
		změřené	indikované	odvozené	ve známých obvodech	v neznámých obvodech	
ekonomické		<b>zásoby</b>					↑
subekonomické	paramarginální						
	submarginální						
neekonomické							
		← Rostoucí stupeň geologické jistoty →					

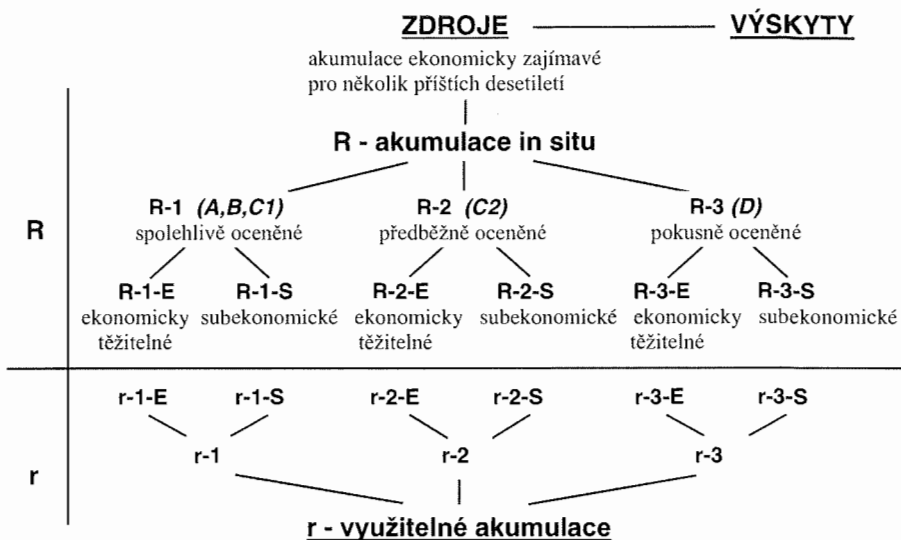
Rozsáhlé diskuse vedené skupinami expertů pod patronací OSN vedly k vypracování jednoduchého schématu mezinárodní klasifikace z roku 1979, který by sjednocoval západní a východní klasifikace a důsledně odlišoval geologické a využitelné zdroje a zásoby. V uvedeném schématu je provedena paralelizace s klasifikací zdrojů a zásob, která byla zavedena v rámci bývalé RVHP (obr.8.3).

Odlisný přístup ke klasifikaci zásob nerostných surovin uvádí Každan (1980). Podle jeho návrhu každé průzkumné etapě, sledující prověření geobjektů určité hierarchické strukturální úrovně, odpovídá jediná kategorie zásob (tab.8.2).

Tab.8.2 Klasifikace zdrojů a zásob nerostných surovin podle Každana (1980)

ZÁSoby			ETAPA PRACÍ
Zjištěné	E	těžitelné (osvojené)	těžební průzkum
	R	prozkoumané	podrobný průzkum
	Rp	předběžně prozkoumané	předběžný průzkum
	Op	předběžně oceněné	vyhledávací oceňovací průzkum 1:2000
předpokládané	Pm	prognózní zásoby ložisek	vyhledávací průzkum 1:10000
	Pp	prognózní zásoby revírů	vyhledávací mapovací práce 1:50000
	Pu	prognózní zásoby ložiskových uzlů	vyhledávací mapovací práce 1:200000
	Gr	hypotetické zásoby ložiskových rajonů	metalogenetické výzkumy 1:1000000
	Gp	hypotetické zásoby provincií	regionální metalogenetické výzkumy





Obr.8.3 Schéma návrhu mezinárodní klasifikace z roku 1979

Klasifikace zásob a zdrojů nerostných surovin v USA se vyvíjela od systému, který byl přijat na XII. MGK (zásoby skutečné – pravděpodobné – možné) přes McKelveyho schéma k systémům současně používaným, jako je klasifikace USBM a USGS (tab.8.3).

Tab.8.3 Klasifikace USBM a USGS (1980)

Kumulativní produkce	identifikované zdroje			neidentifikované zdroje	
	demonstrované		odvozené	hypotetické	spekulativní
	změřené	indikované			
ekonomické	<b>zásoby</b>		odvozené zásoby		
marginálně ekonomické	marginální zásoby		odvozené marginální zásoby		
subekonomické	demonstrované subekonomické zdroje		odvozené subekonomické zdroje		
Ostatní výskyty	zahrnuje nekonvenční a nízkokvalitní materiály				

↑  
rostoucí ekonomický význam

← rostoucí geologická spolehlivost →

zásobová základna   
 zdroje

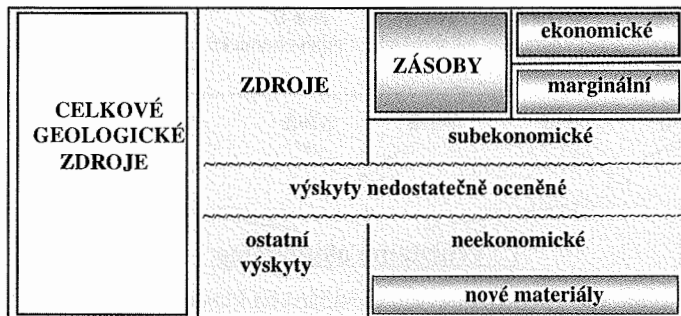
V následující tabulce 8.4 je uvedeno porovnání této klasifikace s klasifikací bývalého Sovětského svazu, která byla uplatňována i v rámci bývalé RVHP.

Tab.8.4 Porovnání klasifikace USBM/USGS a klasifikace bývalého SSSR

		CELKOVÉ ZDROJE		CELKOVÉ GEOLOGICKÉ ZDROJE		
		identifikované objevené		neobjevené	neobjevené	
		demonstrované		odvozené	hypotetické (prognózní)	spekulativní
		změřené	indikované			
<i>kondiční</i>	ekonomické	<b>A + B</b>	<b>C1</b>	<b>C2</b>	prognózní	
	marginální	zásobová báze bilanční zásoby		potenciální		
<i>nekondiční</i>	subekonomické	zdroje nebilanční zásoby			<b>P1</b>	<b>P2</b>

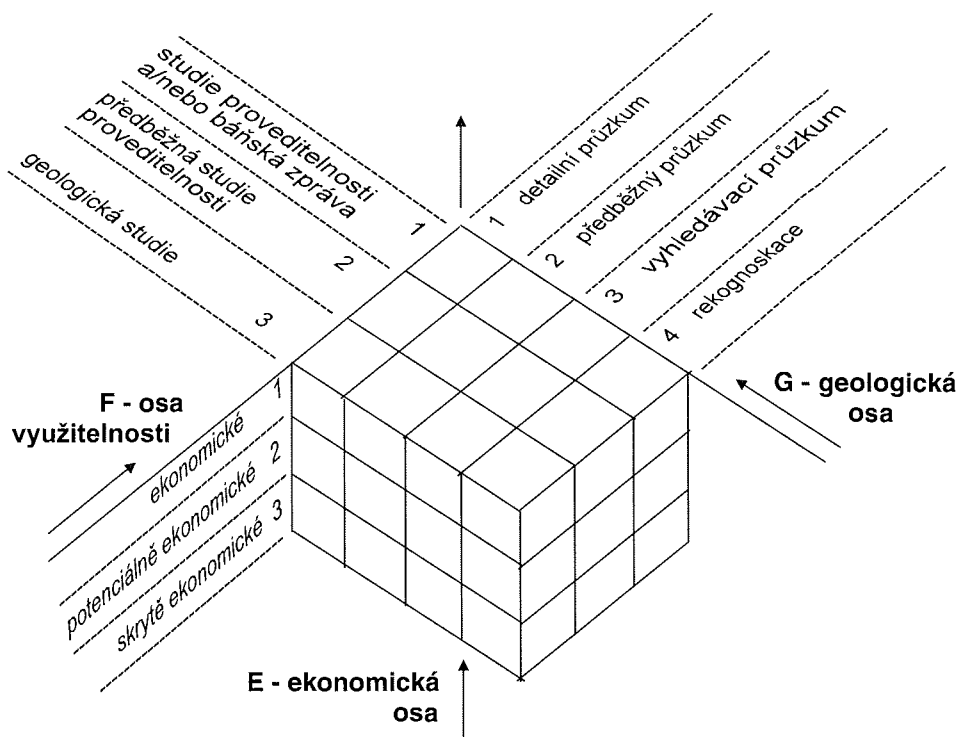
Je zřejmé, že systémy klasifikace zdrojů a zásob nerostných surovin používané v západních zemích (zejména, USA, Velké Británii, Kanadě a Austrálii) se v posledních desetiletích sblížovaly. Systém zavedený v bývalém Sovětském svazu a následně zemích sdružených v RVHP, resp. zemích ovlivněných působením sovětských geologů (Mongolsko, Kuba), je stále používán. To neplatí v případě naší republiky, která používá členění zásob uvedené v horním zákoně blízké se západním systémům (zásoby prozkoumané a vyhledané). Uvedené typy systémů se vzájemně odlišují hlavně v tom smyslu, že sovětský systém vychází především z úrovně znalostí ložiska ve vztahu k průzkumným etapám a předdefinovaným mezním hodnotám naturálních ukazatelů.

Obr.8.4 Obecné schéma klasifikace zásob a zdrojů podle využitelnosti



Geologicko-průzkumný a těžební průmysl už dlouhou dobu cítil potřebu vypracovat mezinárodní standardy. Řada institucí - např. JORG (Joint Ore Reserve Committee) Austrálie, SME (Society for Mining, Metallurgy and Exploration) USA, IMM (Institution of Mining and Metallurgy) Velká Británie, SAMREC JAR (South African Mineral Resource Committee), CIM Kanada (Canadian Institute of Mining, Metallurgy and Petroleum) - zpracovala vlastní návrhy. V roce 1994 na 15. kongresu CMMI (Council of Mining and Metallurgical Institutes) byl vytvořen mezinárodní komitét zásob nerostných surovin CMMI IMRC (International Mineral Reserves Committee) s úkolem vyvinout soubor mezinárodních definic nerostných zdrojů a zásob. Tuto potřebu významně podtrhl známý Bre-X skandál. V roce 1997 byla přijata členy CMMI tzv. Denverská dohoda s předběžnými definicemi zdrojů a zásob a jejich kategoriích. Souběžně s tím Ekonomická komise OSN pro Evropu UN-ECE (United Nations Economic Commission for Europe) vypracovala návrh rámcové klasifikace zásob a zdrojů pevných paliv a nerostných komodit – International Framework Classification for Mineral Reserves and Resources (Solid Fuel and Mineral Commodities). Po řadě pracovních jednání byla v roce 1997 přijata v Ženevě finální verze. V roce 1998 bylo dosaženo dohody obou organizací. Následovala další jednání, která vedla ke zpracování společného návrhu „European Code for Reporting of Mineral Exploration Results, Mineral Resources and Mineral Reserves“ předloženého v říjnu 2000 s platností od roku 2001. Klasifikační kritéria a princip kódování zdrojů a zásob pevných nerostných surovin obsažený v uvedeném materiálu, je patrný ze schématu na obr.8.5. V praxi jsou reálné pouze kategorie znázorněné na obr. 8.6, jejichž charakteristika je uvedena v tabulce 8.5.

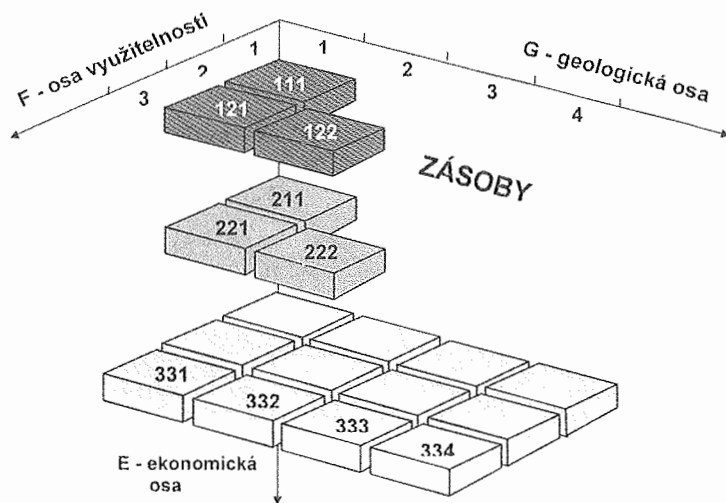
V mezinárodním klasifikačním systému OSN je kladen zásadní důraz na posouzení využitelnosti zjištěných zásob a zdrojů formou studií využitelnosti, resp. geologické či těžební studie v závislosti na etapě prací.



Obr.8.5 Schéma klasifikačních princip a kódování zásob a zdrojů nerostných surovin

Tabulka 8.5 Charakteristika a kódové číslo reálných kategorií zásob a zdrojů

ekonomická osa	osa využitelnosti	geologická osa	kód
ekonomické	podrobná studie využitelnosti a/nebo baňská zpráva	podrobný průzkum	111
ekonomické	předběžná studie využitelnosti	podrobný průzkum	121
ekonomické	předběžná studie využitelnosti	předběžný průzkum	122
potencionálně ekonomické	podrobná studie využitelnosti a/nebo baňská zpráva	podrobný průzkum	211
potencionálně ekonomické	předběžná studie využitelnosti	podrobný průzkum	221
potencionálně ekonomické	předběžná studie využitelnosti	předběžný průzkum	222
ekonomické až potenciálně ekonomické	počáteční studie využitelnosti	podrobný průzkum	331
ekonomické až potenciálně ekonomické	počáteční studie využitelnosti	předběžný průzkum	332
ekonomické až potenciálně ekonomické	počáteční studie využitelnosti	vyhledávací průzkum	333
ekonomicky nedefinované	počáteční studie využitelnosti	rekognoskace	334



Obr. 8.6 Pozice reálných kategorií zásob a zdrojů

Dále jsou uvedeny definice termínů, použitých v klasifikaci OSN (tab.8.6 až 8.8). Jde totiž o to, že pojetí zdrojů a zásob je odlišné od našich dosavadních zvyklostí. Z uvedených definic je také patrná poněkud odlišná struktura cyklu geologických prací a silný důraz na posuzování životaschopnosti projektovaných prací.

Tab.8.6 Definice termínů zásoby/zdroje v klasifikaci OSN

termín	kód	charakteristika
<b>dokázané zásoby</b>	111	Ekonomicky těžitelné podle studie využitelnosti nebo aktuální báňské činnosti, obvykle prováděné v oblastech podrobného průzkumu.
<b>pravděpodobné zásoby</b>	121+122	Ekonomicky těžitelné podle předběžné studie využitelnosti, obvykle prováděné v oblastech detailního a předběžného průzkumu.
<b>využitelné zdroje</b>	211	Potenciálně ekonomické podle studie využitelnosti nebo dřívější hornické činnosti, obvykle prováděné v oblastech detailního průzkumu
<b>předběžně využitelné zdroje</b>	221+222	Potenciálně ekonomické podle předběžné studie využitelnosti, obvykle prováděné v oblastech detailního a předběžného průzkumu
<b>změřené zdroje</b>	331	Oceněné jako intrinsikčně ekonomicky zajímavé, založené na detailním průzkumu, kterým byly zjištěny všechny relevantní charakteristiky ložiska s vysokou přesností.
<b>indikované zdroje</b>	332	Oceněné jako intrinsikčně ekonomicky zajímavé, založené na předběžném průzkumu, kterým byly zjištěny hlavní geologické rysy ložiska zajišťující počáteční odhad velikosti, tvaru, struktury a kvality.
<b>odvozené zdroje</b>	333	Oceněné jako intrinsikčně ekonomicky zajímavé, založené na vyhledávání, jehož cílem je nalézt ložisko. Odhady množství jsou odvozené, založené na zjištění výchozů, geologickém mapování, nepřímých metodách a omezeném vzorkování
<b>vyhledané zdroje</b>	334	Založené na rekognoskaci, jejímž cílem je identifikovat oblasti se zvýšeným nerostným potenciálem. Řádové odhady množství lze udělat jen v případě, jestliže jsou k dispozici dostatečná data a když je možná analogie se známým ložiskem obdobného geologického charakteru

Tab.8.7 Definice kategorií ekonomické životaschopnosti

<b>ekonomické</b>	Množství vyjádřené v tunách či objemu určitého obsahu nebo kvality, dokázané předběžnou studií využitelnosti, studií využitelnosti nebo báňskou zprávou, které opravňují jejich těžbu při technologických, ekonomických, environmentálních a dalších relevantních podmínkách, v čase stanovení realisticky předpokládaných. Termín „ekonomické“ zahrnuje subkategorie „normálně ekonomické“ a „podmíněně ekonomické“ definované dále, které jsou použitelné na národní úrovni
normálně ekonomické	Normálně ekonomické zásoby jsou zásoby, které opravňují těžbu za tržních podmínek. Tedy průměrná hodnota vytěžen komodity za rok musí zabezpečit vyžadovanou návratnost investic.
podmíněně ekonomické	Podmíněně ekonomické zásoby jsou zásoby, které v současnosti nejsou za daných tržních poměrů ekonomické. Jejich těžba je možná za předpokladu vládních nebo jiných subvencí.
<b>potenciálně ekonomické</b>	Množství vyjádřené v tunách či objemu určitého obsahu nebo kvality, dokázané předběžnou studií využitelnosti, studií využitelnosti nebo báňskou zprávou, které neopravňují jejich těžbu při technologických, ekonomických, environmentálních a dalších relevantních podmínkách, realisticky předpokládaných v čase stanovení. Termín „potenciálně ekonomické“ zahrnuje subkategorie „marginální“ a „submarginální“ definované dále, které jsou použitelné na národní úrovni.
marginální ekonomické	Marginální ekonomické zdroje jsou takové, které v čase jejich stanovení nejsou ekonomické, ale stojí na okraji ekonomické využitelnosti. Mohou se stát ekonomickými v blízké budoucnosti v důsledku změn technologických, ekonomických, environmentálních a dalších relevantních podmínek.
submarginální ekonomické	Submarginální ekonomické zdroje jsou ty, které by vyžadovaly podstatně vyšší cenu komodity nebo velké technologické pokroky redukcí náklady.
<b>ekonomické až potenciálně ekonomické</b>	Množství vyjádřené v tunách či objemu určitého obsahu nebo kvality, odhadnuté geologicky jako ekonomicky zajímavé. Poněvadž geologická studie obsahuje pouze předběžné ocenění ekonomické životaschopnosti, nerozlišují se ekonomické a potenciálně ekonomické zdroje (s výjimkou komodit s nízkou investiční náročností, jako je písek, šterk či jíly, kde lze odlišit ekonomické a potenciálně ekonomické zdroje). Tyto zdroje proto leží v rozmezí ekonomických až potenciálně ekonomických.

Tab.8.8 Definice výskytů

Termín „Výskyt“ se používá ve dvou významech	
<b>neekonomické výskyt</b>	Materiály odhadnutého množství, které mají příliš nízkou kvalitu nebo z jiných důvodů nejsou považovány za potenciálně ekonomické. Neekonomické výskyt tudíž nejsou součástí nerostných zdrojů. Jestliže stojí hmotnost a kvalita za zmínku, mělo by být uvedeno, že neekonomické výskyt nelze těžit bez velkých technologických a/nebo ekonomických změn, které v současnosti nelze predikovat.
<b>nerostné výskyt</b>	Nerostný výskyt je indikace mineralizace, která zasluhuje další výzkum. Termín neobsahuje žádný údaj o objemu či hmotnosti nebo obsahu či kvalitě a tedy není součástí nerostných zdrojů.

Klasifikace OSN počítá s uplatněním národních klasifikací a jejich sjednocením, resp. podřízením mezinárodnímu přístupu. V současné době jsou jak národními, tak mezinárodními odbornými organizacemi na uvedeném základě rozpracovávány definice zdrojů a zásob pro různé druhy nerostných surovin. Tím lze překonat určité problémy při vyhodnocování, schvalování a porovnávání zásob jak mezi jednotlivými ložisky, tak mezi státy při makroekonomických úvahách spojených s řešením možností dovozu a vývozu nerostných

surovin a při zahraničním podnikání. Jako příklad je uvedena klasifikace pevných nerostných surovin JAR (tab.8.9), definice zdrojů a zásob ropy a zemního plynu SPE/WPC/AAPG (tab.8.10) a schéma norské klasifikace zdrojů a zásob ropy, která velmi podrobně rozpracovává fáze využití zjištěných zdrojů (tab.8.11).

Tab.8.9 Příklad začlenění klasifikace JAR do rámce mezinárodní klasifikace

systém mezinárodní		detailní průzkum	předběžný průzkum	vyhledávací průzkum	rekognoskace
klasifikace OSN	Klasifikace JAR	změřené	indikované	odvozené	průzkumné informace
studie proveditelnosti a/nebo báňská zpráva	detailní technické a ekonomické studie	1 ověřené zásoby (111) 2			obvykle irelevantní
předběžná studie proveditelnosti	předběžné technické a ekonomické studie	1 pravděpodobné zásoby (121) 2			
Geologická studie	zdroje in situ bez ekonomické studie	1-2 změřené zdroje (331)	1-2 indikované zdroje (322)	1-2 odvozené zdroje (333)	? průzkumné informace (334)

Tab. 8.10 Definice zdrojů a zásob ropy podle SPE/WPC/AAPG 2000

		TĚŽBA				
		ZÁSoby				
CELKOVÉ ZDROJE	objevené	ekonomické	ověřené	ověřené + pravděpodobné	ověřené + pravděpodobné + možné	těžené ve výstavbě plánovaná výstavba
			MOŽNÉ ZDROJE			technologie ověřená
		sub-ekonomické	nizký odhad	nejlepší odhad	vysoký odhad	neověřená neekonomické
	neobjevené	nevyžitelné				
		PERSPEKTIVNÍ ZDROJE			průzkumný úsek nadějný úsek nadějná území	
		nevyžitelné				

Tab.8.11 Schéma norské klasifikace zdrojů a zásob ropa

		třída zdrojů		kategorie stavu projektu		
		prodaná a dodaná ropa	zásoby	0	vytěžený	
celkové zdroje	objevené	ekonomické	zásoby	1	v těžbě	nižší riziko
				2A/F	schválený rozvojový plán	
				3A/F	zpracován plán využití	
		sub-ekonomické	možné zdroje	4A/F	počáteční plánovaný	↑
				5A/F	nevyjasněný	
				6	nepřilíš pravděpodobný	
			7A/F	neoceněné zdroje	↓	
	neobjevené		nevyžitelné			vyšší riziko
		perspektivní zdroje	8	prospekt		
		nevyžitelné	9	příznaky		
		← rozmezí nejistoty →				

Vývoj klasifikace zásob v našich zemích byl zcela ovlivněn principy, které byly uplatňovány v rámci bývalých socialistických států. *Narřízení č. 80/1988* vlády Československé socialistické republiky uvádí kategorizaci zjištěných a ověřených zásob podle následujících hledisek:

- a) Podle **stupně prozkoumanosti** se zásoby klasifikují na **kategorie A, B, C1 a C2** (§ 5, odst. 1). Podmínky pro zařazování zásob do kategorií jsou uvedeny v příloze nařízení.
- b) Podle **vhodnosti k hospodářskému využití** se zásoby klasifikují na **zásoby bilanční a zásoby nebilanční** (§ 6 odst. 1). Bilanční zásoby jsou zásoby využitelné v současnosti, které vyhovují stávajícím technickým a ekonomickým podmínkám využití ložiska. Nebilanční zásoby jsou takové, které jsou v současnosti nevyužitelné, ale jsou podle předpokladů využitelné v budoucnosti s ohledem na očekávaný technický a ekonomický vývoj nebo na očekávanou změnu báňskotechnických podmínek využití ložiska.
- c) Podle **přípustnosti k dobývání**, podmíněné technologií dobývání, bezpečností provozu a stanovenými ochrannými pilíři, se zásoby klasifikují na **zásoby volné a zásoby vázané**.

Další vývoj klasifikace zásob v našich poměrech vedl ke zjednodušení a v jistém smyslu i k přizpůsobení mezinárodním tendencím. Podle paragrafu 14 *zákona č. 44/1988* ve znění dalších zákonů se zásoby klasifikují:

- a) **podle stupně prozkoumanosti** výhradního ložiska a znalosti jeho úložních poměrů nebo jeho části, jakosti a technologických vlastností nerostů a báňsko-technických podmínek na **zásoby vyhledané a zásoby prozkoumané**; obsahuje-li výhradní ložisko několik užitkových složek, klasifikují se jejich zásoby podle dosaženého stupně jejich prozkoumanosti a znalosti;
- b) **podle podmínek využitelnosti** na **zásoby bilanční**, které jsou využitelné v současnosti a vyhovují stávajícím technickým a ekonomickým podmínkám využití ložiska, a na **zásoby nebilanční**, které jsou v současnosti nevyužitelné, protože nevyhovují stávajícím technickým a ekonomickým podmínkám využití, ale jsou podle předpokladu využitelné v budoucnosti s ohledem na očekávaný technický a ekonomický vývoj;
- c) **podle přípustnosti k dobývání**, která je podmíněna technologií dobývání, bezpečností provozu a stanovenými ochrannými pilíři, na **zásoby volné a zásoby vázané**. Vázané zásoby jsou zásoby v ochranných pilířích povrchových a podzemních staveb, zařízení a důlních děl, jakož i v pilířích stanovených k zajištění bezpečnosti provozu a ochrany právem chráněných zájmů; ostatní zásoby jsou zásoby volné.

Ve výpočtu zásob, který je součástí návrhu na povolení hornické činnosti, uvede organizace zásoby, které plánuje k vytěžení (vytěžitelné zásoby). **Vytěžitelné zásoby** jsou bilanční zásoby zmenšené o hodnotu předpokládaných těžebních ztrát souvisejících se zvolenou technologií dobývání nebo s vlivem přírodních podmínek. V tomtéž paragrafu je uvedeno, že klasifikace zásob a postup při výpočtu zásob výhradních ložisek a náležitosti výpočtu podrobněji upraví obecně závazným právním předpisem ministerstvo pro hospodářskou politiku a rozvoj, jehož pravomoci a odpovědnosti převzalo po zrušení uvedeného ministerstva ministerstvo životního prostředí. K vydání předpisu však dodnes nedošlo. Popsaný systém je tedy uplatňován doposud.

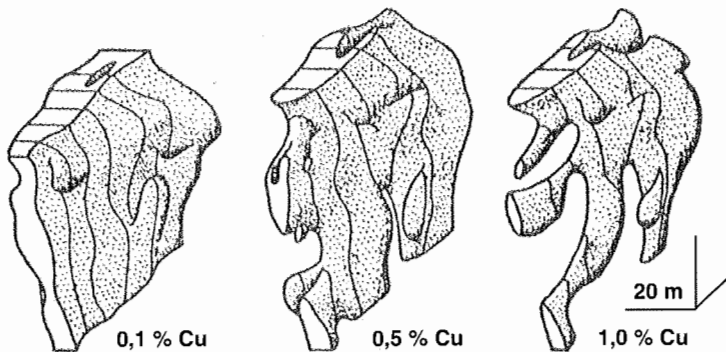
Vedle zřejmých rozdílů v kategorizaci zásob a zdrojů podle míry geologického poznání můžeme pozorovat i významné rozdíly v klasifikaci podle využitelnosti. Z praktického hlediska představuje závažný nedostatek současného přístupu skutečnost, že se při kategorizaci zásob nehodnotí spolehlivost zařazení do ekonomických kategorií, tj. zařídění do ekonomických, subekonomických a neekonomických zásob.

## 9. VYMEZOVÁNÍ BLOKŮ ZÁSOB A JEJICH KATEGORIZACE

Z předchozích kapitol je zřejmé, že různé geneticko-morfologické typy ložisek nerostných surovin a odlišné podmínky jejich průzkumu a využívání si vyžadují specifický přístup ke konturování ložiskových těles a k vymezení jejich dílčích částí ve formě geologických nebo těžebních bloků. Vymezení bloků závisí na podmínkách využitelnosti, průzkumném systému resp. způsobu rozfárání ložiskového objektu, charakteru stavby a složení ložiskonosného komplexu, na úložních a skrývkových poměrech a na přijatém geologicko-geometrickém modelu.

### 9.1. VLIV PODMÍNEK VYUŽITELNOSTI

V případě rudních ložisek je základním ukazatelem podmínek využitelnosti obsah užitkové složky. Přitom se rozlišuje *mezní obsah*, při kterém cena získané užitkové složky přesně kryje výrobní náklady (breakeven grade), a *minimální průmyslový obsah* (cutoff grade), který za určitých podmínek vede podle zvoleného kritéria k odlišení zásob využitelných od nevyužitelných. V praxi se rozlišuje kovnatost okrajového vzorku nebo okrajového díla, které slouží k omezení ložiskových těles. Právě stanovení těchto hodnot může velmi ovlivnit výsledné zásoby. Čím nižší bude hodnota okrajového vzorku a díla, tím souvislejší a pravidelnější bude výsledné těleso. Při zvyšování naopak dochází k postupnému rozpadu původně jednotného tělesa (obr.9.1).

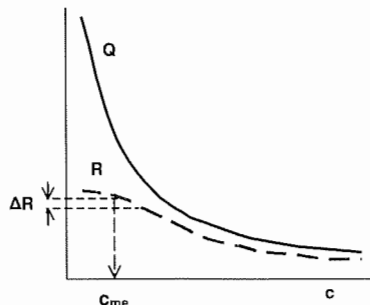


Obr.9.1 Závislost morfologie ložiskových těles na mezním obsahu Cu v těžebním bloku B 207 na ložisku Zlaté Hory - jih

Současně dochází ke změnám hmotnosti zásob nerostné suroviny Q i užitkové složky R. Z obr.9.2 je patrné, že při snižování hodnoty okrajového vzorku nastane zejména u ložisek nekontrastních rud situace, kdy sice rostou zásoby nerostné suroviny, ale přírůstek zásob užitkové složky klesá a postupně se snižuje až do nevýznamných hodnot. To lze využít při volbě mezní hodnoty v rámci alternativní metody stanovení hodnot podmínek využití. Mezní hodnota se volí taková, kdy odpovídající přírůstek zásob užitkové složky

$$\Delta R \leq \Delta_{\text{krit}}$$

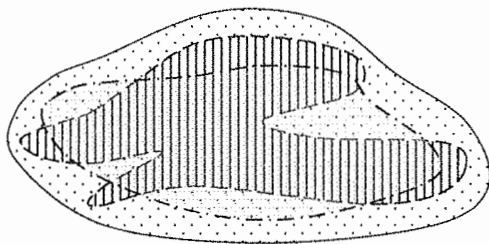
klesne pod zvolenou kritickou hodnotu  $\Delta_{\text{krit}}$  a v dalším průběhu se v podstatě stabilizuje.






Obr.9.2 Vztah zásob nerostné suroviny Q a užitkové složky R na mezní hodnotě  $c_m$

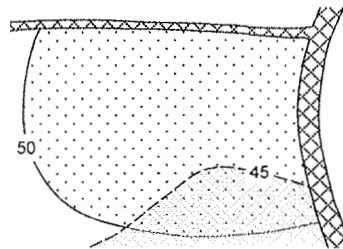


Zpravidla je nutno respektovat více limitujících podmínek, např. obsah užitkové a škodlivé složky či mezní kovnatost a minimální mocnost, nebo v případě uhelných slojí minimální mocnost a maximální popelnatost (obr.9.3 a 9.4).






Obr.9.3 Vliv mezních hodnot podmínek využitelnosti na určení hranic bloku

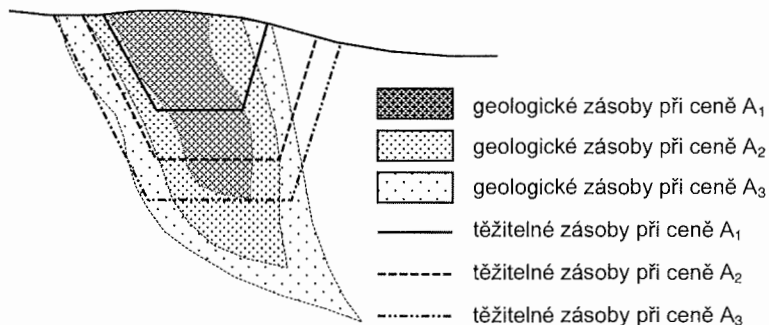
-  geologické těleso
-  oblast mezní mocnosti
-  oblast mezní kovnatosti



Obr.9.4 Vymezení bloku zásob podle podmínky mezní mocnosti a maximální popelnatosti sloje

-  mezní mocnost 50 cm
-  maximální popelnatost 45 %
-  zlomy

Zcela určujícím parametrem, od kterého se odvíjejí všechny úvahy o využitelnosti zásob nerostné suroviny a tedy stanovení podmínek využití, je *cena hodnocené nerostné suroviny*. Na nezbytnost sledování vývoje cen nerostných surovin už bylo poukázáno.

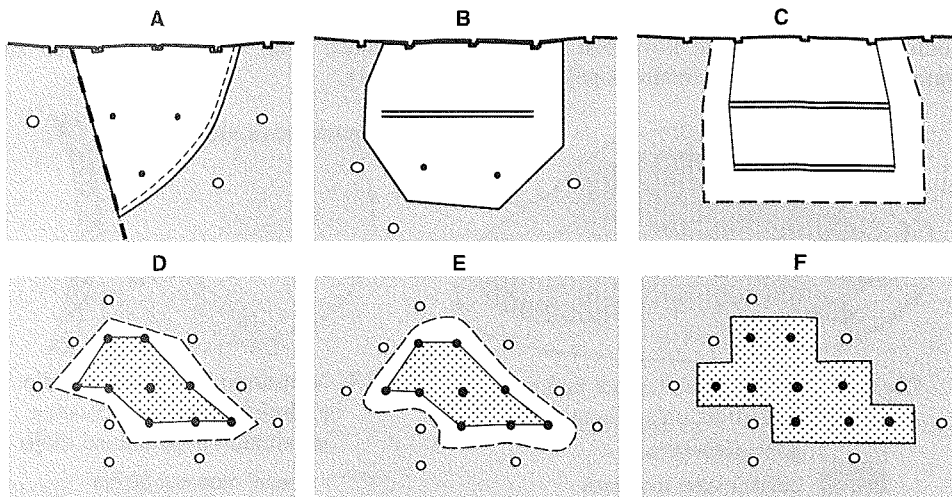


Obr.9.5 Závislost geologických a těžitelných zásob na ceně nerostné suroviny

## 9.2.VLIV PRŮZKUMNÉHO SYSTÉMU A ROZFÁRÁNÍ LOŽISKA

Vymezování bloků zásob je závislé na typu a hustotě realizovaného průzkumného systému. Velmi podstatně se uplatňuje systém otvírky a přípravy ložiskových těles, který se řídí podle jiných hledisek, než v případě průzkumu.

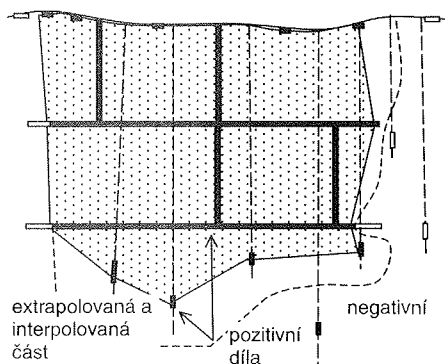
Na obr.9.5 je znázorněno několik možností konstrukce vnějšího omezení ložiskového tělesa při různém průzkumném systému. Je zřejmé, že přednost mají postupy, které při respektování realizovaného systému pozorování (průzkumného systému či způsobu otevření ložiska) vycházejí z geologických hledisek. Ta mají při omezování ložiskových těles a jejich částí (geologických bloků) vždy prioritní význam. Není-li takový přístup možný, postupuje se podle formálních pravidel, a to interpolačních nebo extrapolacních, resp. formálních pravidel odvozených ze způsobu otevření ložiska.



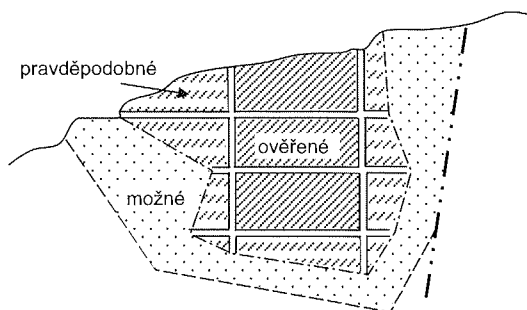
Obr.9.5 Příklady omezení ložiskového tělesa

A – geologické omezení podle zlomu a vývoje horninového komplexu; B – omezení interpolací;  
 C – omezení extrapolací; D – omezení interpolací formálním způsobem;  
 E- omezení interpolací s respektováním přirozeného tvaru tělesa; F – omezení podle zón vlivu

Při omezování bloků zásob hornicky zpřístupněného ložiska hraje prioritní úlohu stanovení vnitřní kontury, která zahrnuje pozitivně ověřenou část ložiskového tělesa. Od ní se pak odvozuje vnější kontura, která je základem pro stanovení obrysu bloků zásob nižších kategorií (obr.9.6). Na dalším obrázku 9.7 je uveden příklad kategorizace zásob podle uvedeného principu.



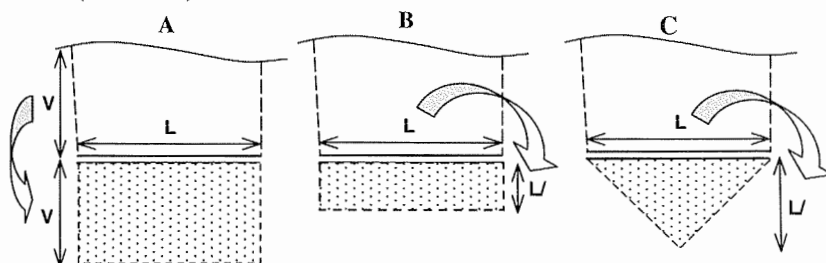
Obr.9.6 Stanovení vnitřní a vnější kontury ložiskového tělesa ověřeného důlními díly a povrchovými vrtvy



Obr.9.7 Kategorizace zásob s využitím vnitřní a vnější kontury a stupně otevření bloku

Omezování bloků zásob extrapolací pod hornicky otevřenou část ložiska nebo jednotlivých ložiskových těles má být – jak už bylo několikrát zdůrazněno – v první řadě založeno na geologických a morfologických hlediscích. Někdy je ale nutno použít zcela formální způsoby, které vycházejí ze způsobu otevření ložiska. Tento postup se uplatňuje hlavně u deskovitých a čočkovitých ložiskových těles (rudních žil), ale i u ložisek sedimentárních. Jedná-li se o pravidelně vyvinuté ložisko, pak se extrapolace „podvěšeného“ obdélníkového bloku provádí na výšku bloku ověřeného, tj. na vzdálenost patra (obr.9.8-A).

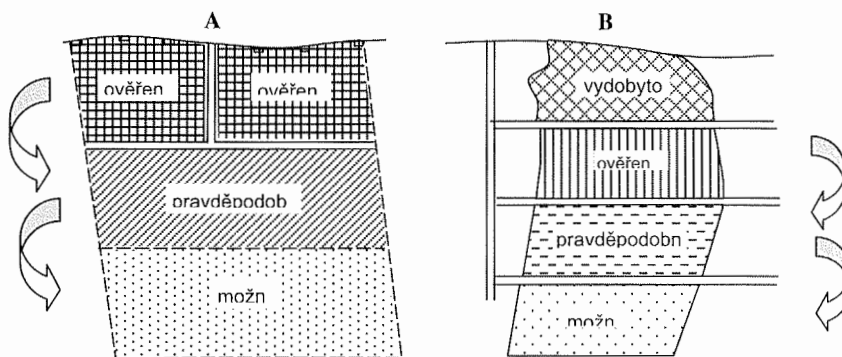
V případě těles s nepravidelným zrudněním či vývojem mocnosti lze použít obdélníkové omezení extrapolované na  $\frac{1}{4}$  délky bloku (obr.9.8-B) nebo trojúhelníkové omezení do  $\frac{1}{2}$  délky bloku (obr.9.8-C).



Obr.9.8 Možné způsoby formální konstrukce omezení extrapolovaného bloku

V případě izometrických těles (pňů, žilníků apod.) se používají v zásadě obdobné postupy, tj. omezení kuželem nebo polokoulí s rozměry odvozenými z ověřené části tělesa.

Na obr.9.9 jsou uvedeny příklady konstrukce bloků zásob a jejich kategorizace podle uvedených formálních principů, a to pro případ pravidelného (A) a nepravidelného (B) ložiskového tělesa.

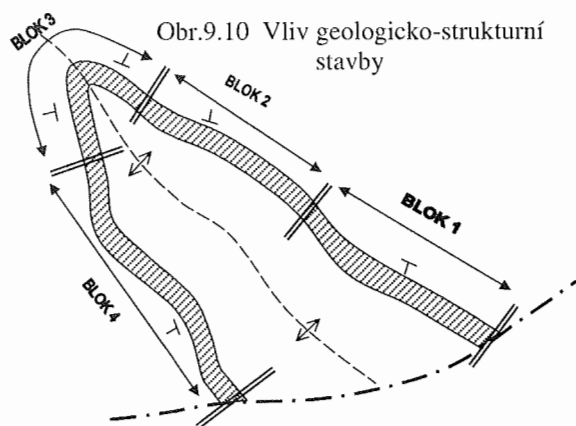


Obr.9.9 Omezení a kategorizace zásob podle formálních

Musíme připomenout, že tyto formální postupy vedou velmi často k vychýlení odhadů zásob. Zpravidla totiž podhodnocují rozměry ložiskových těles. Proto je nelze příliš doporučit, i když jsou v praxi značně rozšířeny.

### 9.3. VLIV STAVBY A SLOŽENÍ LOŽISKONOSNÉHO KOMPLEXU

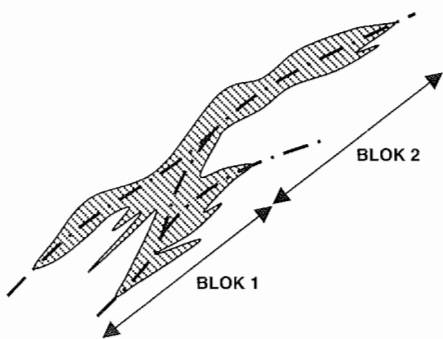
Z hlediska možností využití ložiskových objektů je obvyklým požadavkem, aby vymezené bloky zásob byly co do úložních poměrů pokud možno homogenní. To dovoluje řešit jejich otvírku, přípravu a dobývání snadněji a efektivněji. Existují-li tedy ložiskové objekty, které mají složitou stavbu, je třeba tuto skutečnost zohlednit při určování hranic zásobových bloků. Změna úložních podmínek nebo rozdílný charakter strukturně-tektonického namožení je vždy podstatným důvodem pro odpovídající rozblokování ložiskového tělesa (obr.9.10). V krajních případech to mohou být i důvody pro vyloučení silně exponovaných úseků takových těles z hodnocení zásob, pro redukci zásob z důvodu tektonické porušenosti nebo přinejmenším pro snížení kategorie zásob nebo převedení do zásob nebilančních.



Obr.9.10 Vliv geologicko-strukturální stavby

Úpravu hmotnosti zásob lze založit na redukčním koeficientu, který můžeme odvodit z údajů o odpisech zásob v již vydobytých částech ložiska. Jako příklad lze uvést tzv. severní pole dobývacího prostoru Lazy v české části hornoslezské pánve, kde v silně tektonicky postiženém pásmu mezi Žofínskou a Anenskou poruchou bylo značné množství zásob odepisováno právě z těchto důvodů. Proto při výpočtu zásob nižších pater by bylo účelné takto postupovat a odhadované zásoby předem snížit.

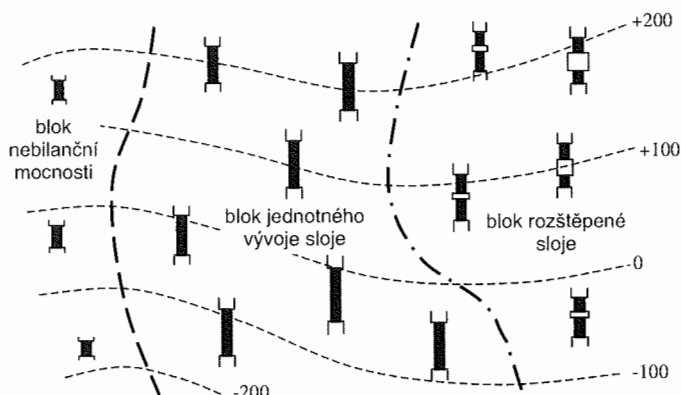
Při vymezení bloků zásob je nutno respektovat míru složitosti strukturální stavby ložiskových těles. To je zvláště potřebné v případě hydrotermálních žilných a žilníkových ložisek, ložisek impregnačních, magmatických ložisek apod. Vždy je třeba při vymezení bloků odlišit úseky složité a jednoduché stavby (obr.9.11).



Obr.9.11

Hranice bloků jednoduché (B2) a složité (B1) stavby žilného a žilníkového zrudnění






Obdobný vliv má charakter vývoje uhelné sloje. Je účelné odlišit úseky sloje s jednotným vývojem od úseků, kde dochází k rozštěpení sloje, pokud mocnost proplátek je z hlediska dobývání a následného využití sloje významná (obr.9.12).

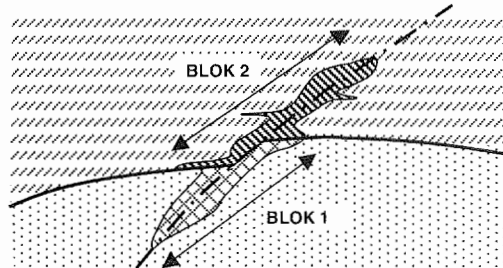


Obr.9.12 Vliv stavby uhelné sloje na vymezení zásobových bloků

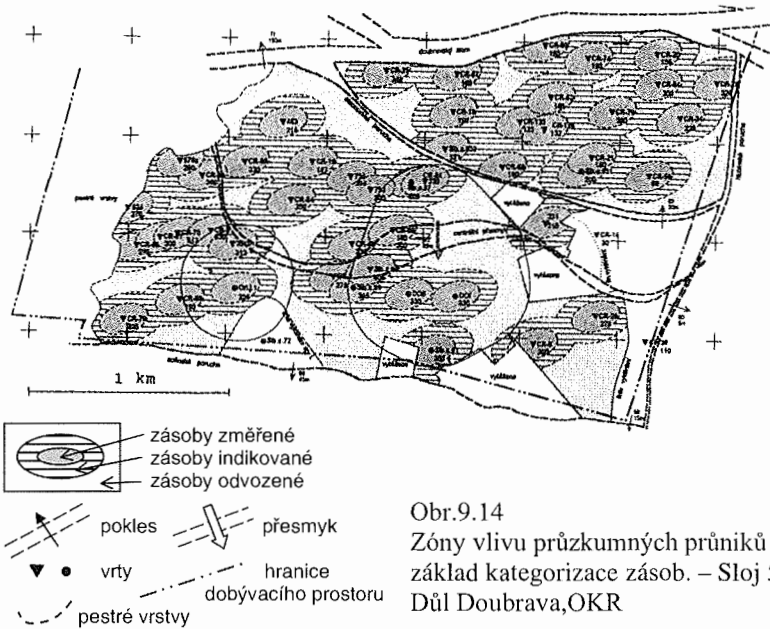
Podobně musíme respektovat vliv petrografického složení ložiskonosných hornin, neboť to určuje technologickou charakteristiku užitkové suroviny (obr.9.13).

Obr.9.13 Schéma blokování žilnickového zrudnění v závislosti na průvodních horninách (Šumilin - Vikentjev 1982)

-  karbonáty
-  diabasy
-  zlom
-  zrudnění v diabasech
-  zrudnění v karbonátech



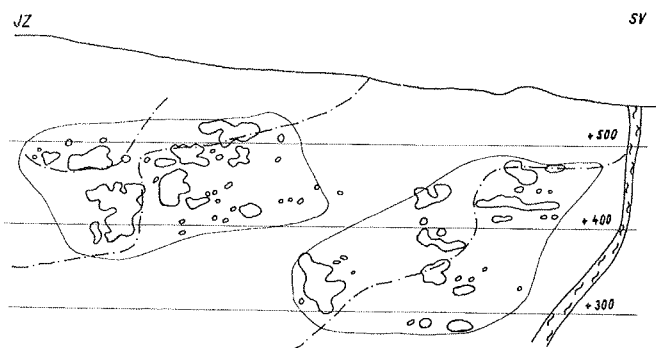
Při podrobnějším hodnocení a rozblování ložiskových těles je vhodné sledovat charakter prostorové variability jejich vlastností, neboť tak lze odhalit zóny rozdílného vývoje (např. mineralizace). Zóny vlivu průzkumných průniků, odvozené podle charakteristik semivariogramů (obvykle jejich dosahů) pak mohou být základem kategorizace zásob podle prozkoumanosti (obr.9.14).



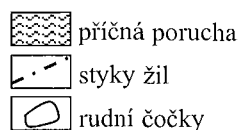
Obr.9.14

Zóny vlivu průzkumných průniků jako základ kategorizace zásob. – Sloj 558, Důl Doubrava, OKR

Postavení rudních sloupců a čoček ve složitých žilných strukturách závisí na stupni tektonického namožení porušeného pásma. Proto je třeba věnovat velkou pozornost studiu vývoje takové oslabené tektonické zóny, a to zejména v případech vícenásobného opakování tektonických pohybů. Tyto případy jsou známy z celé řady ložiskových oblastí. V Českém masivu jsou popisovány z rudních revírů žilných a zónových hydrotermálních ložisek, např. příbramské, západočeské či rožinecko-olšinské oblasti (obr.9.15).

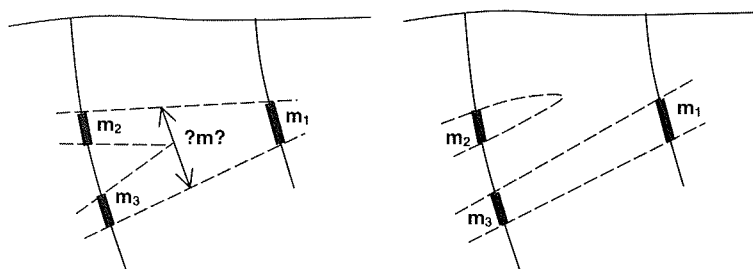


Obr.9.15  
Postavení rudních sloupů na  
uranovém ložisku Daměťice  
(Doležel-Schejbal, 1984)



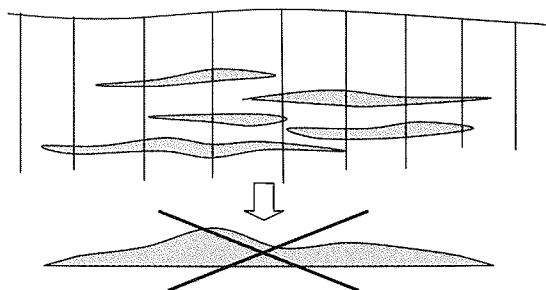
Na správném stanovení kontur ložiskových těles do značné míry závisí správnost ohodnocení ložiska. Proto je nutno věnovat tomuto problému velkou pozornost a vyvarovat se možných chyb, např.:

- Při určování kontury ložiskového tělesa mezi průzkumnými průniky nesmí docházet k umělému nárůstu mocnosti, neboť tím by docházelo k neodůvodněnému navýšení zásob (obr.9.15).



Obr.9.15 Chybná a správná interpretace ložiskových těles

- Překrývající se izolovaná rudní tělesa malých rozměrů oddělená hluchými polohami nelze spojovat do jednoho rozměrného tělesa s nasčítanými mocnostmi. Toto slučování (tzv. „presování“) zcela zkresluje vypočtené zásoby a jejich reálnou využitelnost (obr.9.16).



Obr.9.16 Chybná interpretace  
spojením izolovaných  
malých ložiskových těles

- Pokud se v zóně chudých rud vyskytují akumulace bohatého zrudnění, které nelze na základě realizovaného průzkumného systému spolehlivě okonturovat, pak je jedině přijatelné jejich podíl odhadnout statisticky.

## 10. HODNOVĚRNOST A PŘESNOST VÝPOČTU ZÁSOB

Jedním z prakticky nejvýznamnějších problémů metodiky výpočtu zásob nerostných surovin, na kterém silně závisí úspěšnost využití ložiskových akumulací, je hodnověrnost odhadu zásob nerostné suroviny a užitkových složek včetně jejich určujících parametrů. Obecně řečeno existuje řada příčin nejistot, které ovlivňují hodnověrnost výpočtu. Jsou to nejistoty v odhadu hmotnosti a kvality zásob, nejistoty v předpokládaných ekonomických parametrech, nejistoty ve výběru dobývacích a úpravnických metod, atd. Je známo, že ocenění zásob a hornicko-geologické charakteristika ložiskových objektů jsou obvykle nejslabším článkem projektování využití ložiska.

I když mají požadavky na hodnověrnost a přesnost ocenění ložiskových objektů velký praktický význam, byly a stále jsou v dosud uplatňovaných pokynech obsaženy pouze částečně v popisu kategorií zásob a uplatňovaly se zprostředkovaně v požadavcích na hustotu průzkumného systému, která byla určována prakticky jen na základě principu analogie. Formulace obsažené ve zmíněných pokynech jsou značně volné, připouštějí různý výklad a neurčují až na výjimky žádná kritéria přesnosti.

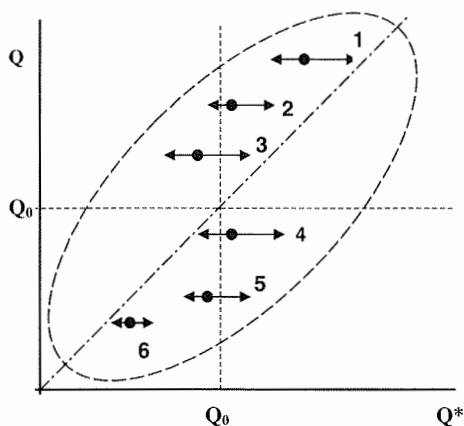
Je pochopitelné, že jakákoliv metoda odhadů parametrů a rovněž odhadu zásob je zatížena chybami  $\mathbf{er}_k = \mathbf{u}_k^* - \mathbf{u}_k$ , které lze za předpokladu stacionarity náhodné funkce chyb  $\mathbf{Er}(X, Y, Z)$  charakterizovat určitou distribuční funkcí

$$F_{er}(q) = P \{ \mathbf{Er}(X, Y, Z) \leq q \}$$

Empirické funkce chyb jsou přibližně symetrické. Poněvadž můžeme určit střední hodnotu  $\mathbf{m}_{er}$  a rozptyl  $\sigma_{er}^2$  chyb, lze pro popis neznámé distribuční funkce podle Journela a Huijbregtse (1978) použít normální Gaussovu distribuci  $N(\mathbf{m}_{er}, \sigma_{er}^2)$ . Pravděpodobnost, se kterou chyba odhadu bude ležet v jistém intervalu  $(a, b)$ , je

$$P \{ a \leq \mathbf{Er}(X, Y, Z) \leq b \} = F_{er}(b) - F_{er}(a).$$

Pro ohodnocení míry prozkoumanosti a rizika hornického podnikání je určení přesnosti odhadu např. formou konfidenčních intervalů středních hodnot výpočtových parametrů a odhadnutých zásob velmi významné. Logické zdůvodnění je zřejmé ze znázornění vztahů mezi skutečnými zásobami  $Q$  a jejich odhady  $Q^*$  (obr.10.1). V případě 1, u kterého leží spodní mez konfidenčního intervalu nad minimálními požadovanými zásobami  $Q_0$ , jde



Obr.10.1 Princip využití konfidenčních intervalů odhadů

o ložisko hodnověrně využitelné, v případě 6 o ložisko hodnověrně nevyužitelné, neboť horní mez konfidenčního intervalu leží pod požadovanou mezí. U případů 2 až 5 však musíme počítat s nejistotou, kdy přijetí rozhodnutí o využití objektu vyžaduje další průzkumné práce. Jinak může dojít k nesprávnému ocenění objektů, které se projeví buď jako chyba prvního druhu (průmyslový objekt je považován za nevyužitelný - případ 3), nebo jako chyba druhého druhu (netěžitelný objekt je brán za průmyslový - případ 4).

Podle současných znalostí *závisí hodnověrnost výpočtu zásob hlavně na přijaté geologickém modelu ložiskového objektu a na použité metodě výpočtu zásob.* Mimo to

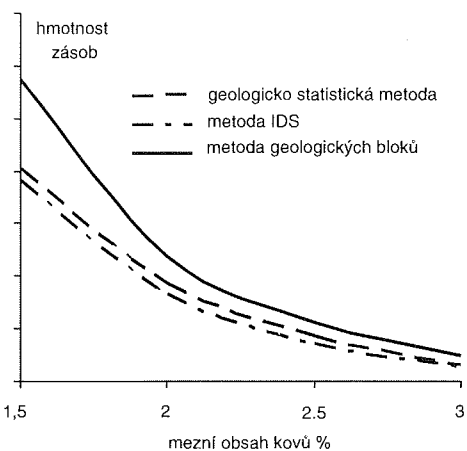
existují další zdroje chyb, a to chyby stanovení hodnot sledovaných morfometrických a jakostních veličin v realizovaných průzkumných průnicích objektem, chyby vyvolané nepřesností mapových podkladů apod. Podíl vlivu uvedených zdrojů chyb závisí jednak na průzkumném, tj. morfologicko-strukturním typu ložiskového objektu, jednak na míře jeho prozkoumanosti.

Přijatý geologicko-geometrický model ložiska je z hlediska realizace výpočtu zásob považován za hodnověrný, ač může být zdrojem zcela zásadních chyb, a to hlavně v počátečních průzkumných etapách. Tuto skutečnost dobře ilustruje příklad ocenění polymetalického ložiska Horní Benešov. Výchozí výpočet zásob vycházel z modelu ložiska jako jednoduchého deskovitého tělesa. Výsledky těžby ukazovaly podstatně odlišné výsledky. Proto byl pro další výpočet zásob vypracován nový geometrický model, který respektoval složitou tektonovou stavbu ložiskonosného komplexu, v němž se zrudnění vyskytuje ve tvaru nepřímých velkých, kulovitě se překrývajících rudních těles. Na tomto modelu založený výpočet zásob vedl k velmi podstatnému snížení rozdílů mezi odhadem zásob a výsledky těžby (tab.10.1). Hlavním problémem zbývajících diference je přesnost odhadu průměrných obsahů kovů, která je ovlivněna vedle vysoké statistické a prostorové variability zrudnění i vlastní metodou odhadu.

Tab.10.1 Porovnání ukazatelů odhadu zásob s výsledky těžby na ložisku Horní Benešov (Schejbal, 1997)

porovnání těžby	hmotnost zásob %	obsah Pb %	obsah Zn %	hmotnost kovů %
s výpočtem z roku 1959	-11,7	-35,1	-35,1	-40,8
s výpočtem z roku 1978	-3,1	-14,4	-16,2	-17,6

Často se posuzuje hodnověrnost odhadu zásob vzájemným porovnáním výpočtů provedených odlišnými metodickými postupy (obr.10.2). Spolehlivost takového přístupu, který je některými autory doporučován, je omezená, neboť se jedná pouze o porovnání různých odhadů. Má ale své oprávnění v tom případě, že se opírá o poznatky, které byly získány ve známé, těžbou ověřené části téhož objektu, nebo s výhradami i z morfogeneticky a surovinově analogického objektu.



Obr.10.2 Porovnání odhadů zásob polymetalických rud ve spodní části ložiska Horní Benešov (Schejbal, 1997)

Teoreticky vzato jediným objektivním kritériem je porovnání odhadů hmotnosti zásob a jejich parametrů s výsledky těžby. Praktické řešení je ale komplikováno řadou vlivů (Schejbal,1997), zejména:

- zpravidla 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 využitelnosti;
- faktem, že výrubnost zásob a znečištění rubaniny jsou určovány 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.

Proto se objevily návrhy na ohodnocení hodnověrnosti geologicko-geometrického modelu objektu na základě modelu diferencí jeho nejodlišnějších variant, který je podkladem pro vymezení úseků s nižší prozkoumaností a tedy s nižší kategorizací zásob.

Celková chyba odhadu zásob je obecně závislá na rozptylech  $\sigma_i$  a kovariancích  $\sigma_{ij}$  jednodlívých parametrů  $p_i$

$$\sigma_a^2 = \sum_{i=1}^m \left( \frac{\partial Q}{\partial p_i} \right)^2 \times \sigma_i^2 + \sum_{i=1}^{m-1} \sum_{j=i+1}^m \left( \frac{\partial Q}{\partial p_i} \times \frac{\partial Q}{\partial p_j} \right) \times \sigma_{ij}$$

Klasické procedury výpočtu zásob předpokládají *nezávislost ložiskových veličin* a tudíž zanedbávají druhou část chybového vzorce, což je v případě velmi časté závislosti veličin, vyvolané jak přirozenými tak technologickými faktory, zdrojem závažných chyb. *Stanovení kovariancí je komplikované* a proto se doporučuje *využívat odvozené veličiny* typu akumulace - metrprocenta  $a = m \times c$  (násobek mocnosti a obsahu užitkové složky v každém průzkumném průniku) či lineárních zásob  $l = m \times c \times p$  (násobek mocnosti, obsahu a objemové hmotnosti). Tento přístup se plně uplatňuje u krigovacích metod.

Relativní chyba odhadu  $\Delta Q$  vychází z už uvedeného výrazu. Vlastní chybový vzorec závisí na metodě odhadu zásob a odpovídajícím výpočtovém vzorci, ze kterého je pomocí parciálních derivací odvozen.

V případě metody geologických bloků bude relativní chyba odhadu při zanedbání kovariancí

$$\Delta Q = \pm 200 \times \frac{\sigma_a}{Q} = \pm 200 \times \sqrt{\frac{\sigma_s^2}{S^2} + \frac{\sigma_m^2}{m^2} + \frac{\sigma_p^2}{p^2}},$$

kde  $\sigma_s^2$  je rozptyl plochy  $S$ ,  $\sigma_m^2$  rozptyl mocnosti  $m$  a  $\sigma_p^2$  rozptyl objemové hmotnosti  $p$ . Jak už bylo uvedeno, je při výpočtu zásob černého uhlí v české části hornoslezské pánve objemová hmotnost určována ze závislosti na popelnatosti uhlí  $A$  a skutečná plocha bloku opravována podle středního úklonu sloje  $\alpha$ . Výpočtový vzorec tedy bude

$$Q = \frac{S'}{\cos \alpha} \times m \times \frac{1}{a - b \times A}$$

a odpovídající chybový vzorec

$$\Delta Q = \pm 200 \times \frac{\sigma_a}{Q} = \pm 200 \times \sqrt{\frac{\sigma_{S'}^2}{S'^2} + \frac{\sigma_{\cos \alpha}^2}{\cos^2 \alpha} + \frac{\sigma_m^2}{m^2} + \frac{\sigma_a^2 + A^2 \times \sigma_b^2 + b^2 \times \sigma_A^2}{(a - b \times A)^2}}.$$

U velmi často aplikované metody geologických řezů se vedle standardně odvozených chyb objemové hmotnosti a obsahu užitkové složky chybový vzorec liší podle použitého postupu stanovení objemu bloku. Jsou-li plochy omezujících řezů  $S_1$ ,  $S_2$  blízké, stanoví se objem bloku podle vzorce

$$V = \frac{1}{2} \times L \times (S_1 + S_2)$$

a odpovídající relativní rozptyl objemu bude

$$\frac{\sigma_v^2}{V^2} = \frac{\sigma_{S_1}^2 + \sigma_{S_2}^2}{(S_1 + S_2)^2}.$$

Liší-li se plochy řezů o více než 40 %, stanoví se objem bloku podle vzorce

$$V = \frac{1}{3} \times L \times (S_1 + S_2 + \sqrt{S_1 \times S_2}),$$

s relativním rozptylem

$$\frac{\sigma_v^2}{V^2} = \frac{\sigma_{s_1}^2 \times \left(1 + \frac{S_2}{2 \times \sqrt{S_1 \times S_2}}\right) + \sigma_{s_2}^2 \times \left(1 + \frac{S_1}{2 \times \sqrt{S_1 \times S_2}}\right)}{(S_1 + S_2 + \sqrt{S_1 \times S_2})^2}$$

Chybu odhadu zásob lze pro další případy odvodit podle zákona o hromadění chyb funkce

$$\sigma_{\bar{F}}^2 = \sum_j \left( \frac{\partial F}{\partial u_j} \right)^2 \times \sigma_{u_j}^2,$$

kde  $\partial F / \partial u_j$  jsou parciální derivace funkce  $F$  podle proměnné  $u_j$  a  $\sigma_{u_j}^2$  její rozptyl.

Jak bylo uvedeno v kapitole 6.4, je v případě krigovacích metod souběžně s odhadem parametrů výpočtu zásob stanovován rozptyl odhadu základních elementárních bloků výpočtu. Na základě toho se pak podle konkrétní polohy bloku a charakteru jeho omezení určuje relativní chyba odhadu. Leží-li oceňovaný blok uvnitř ložiskového tělesa a není alespoň částečně omezen přirozenou interpolovanou nebo extrapolovanou hranicí, bude průměrná relativní chyba odhadu

$$\Delta_B = \frac{\sqrt{\sum_{j=1}^m \Delta_j^2 \times V_j}}{\sqrt{\left(\sum_{j=1}^m V_j\right)^2}}$$

kde

$$\Delta_j = 100 \sigma_{k_j} / u_j^*$$

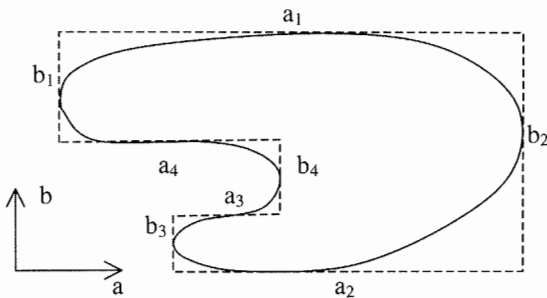
V opačném případě, např. při oceňování okrajových bloků či celého ložiskového tělesa vstupuje do odhadů tzv. *hraniční efekt*, který popisuje chybu geometrizace v závislosti na typu průzkumného systému a morfologii ložiskového tělesa a její vliv na odhad kvality objektu. V případě tenkého deskovitého tělesa (uhelné sloje, rudní žíly) je chyba geometrizace vyjádřena výrazem

$$\frac{\sigma_s^2}{S^2} = \frac{k \times W}{n^{3/2} \times \sqrt{S}},$$

kde  $n$  je počet pozitivních průzkumných bodů (průniků) ležících uvnitř interpretované kontury,  $W$  obvodový rozptyl

$$W = \sqrt{\frac{1}{2} W_a \times \frac{1}{2} W_b} = \sqrt{\frac{1}{2} \sum_i a_i \times \frac{1}{2} \sum_j b_j},$$

$a_i$ ,  $b_j$  jsou při jistém zjednodušení průměty úseků obvodové kontury do směrů hlavní a vedlejší osy tělesa (obr.10.3).



Obr. 10.3  
Princip stanovení obvodového rozptylu

Hodnota koeficientu  $k$  závisí na typu průzkumné sítě a charakteru kontury tělesa  $k = f(\kappa, \varphi)$ , kde  $\kappa$  je poměr stran sítě a  $\varphi$  úhel mezi nimi. V případě pravidelné čtvercové nebo obdélníkové sítě bude při izotropní kontuře tělesa či řezu ( $W_a = W_b$ ) dán výrazem

$$k = 0,1667 \times \sqrt{b/a} + 0,0609 \times \sqrt{(a/b)^3},$$

kde  $a, b$  jsou strany oka sítě (při obdélníkové síti  $a > b$ ). Bude-li kontura tělesa anizotropní ( $W_a > W_b$ ), je hodnota koeficientu dána vzorcem

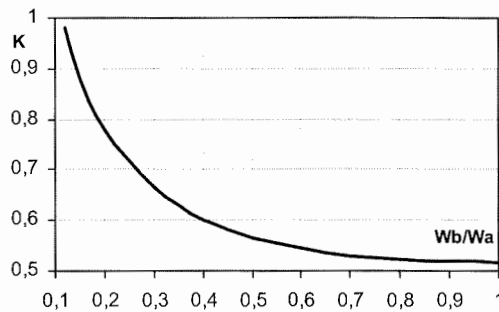
$$k = 0,1667 \times \sqrt{\frac{W_a \times b}{W_b \times a}} + 0,0609 \times \sqrt{\left(\frac{W_b \times a}{W_a \times b}\right)^3}.$$

Jestliže je průzkum realizován v praxi běžnou náhodně pravidelnou sítí (průzkumné body zaujmají libovolnou pozici v každém oku myšlené čtvercové nebo obdélníkové sítě), lze za předpokladu, že hlavní směry sítě se alespoň zhruba shodují se směry anizotropie tělesa a jsou na sebe kolmé ( $\varphi = 90^\circ$ ), stanovit hodnotu koeficientu sítě  $k$  podle vzorce

$$k = \left( \ln(0,13989 \times (\ln \kappa)^2 + 2,05759) \right)^2,$$

jehož graf je uveden na obr.10.4.

Obr.10.4  
Graf koeficientu  $k$  pro  $\varphi = 90^\circ$



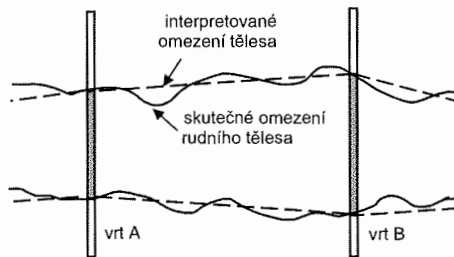
Postupy řešení pro různé interakce morfologie ložiskového tělesa a průzkumného systému uvádí podrobně např. Journel a Huijbregts (1978).

Chyba geometrizace má pochopitelně vliv na odhady kvalitativních a kvantitativních ukazatelů. Rozptyl globálního odhadu se skládá z odhadu rozptylu hodnoceného ukazatele a hraničního členu. Např. v případě průměrné akumulace  $A_s$  v ploše  $S$  platí, že

$$\sigma_A^2 = E\left\{ \left( A_s - A_s^* \right)^2 \right\} = \sigma_{eA}^2 + \frac{\sigma_S^2}{S^2} \times D_A^2(0/S),$$

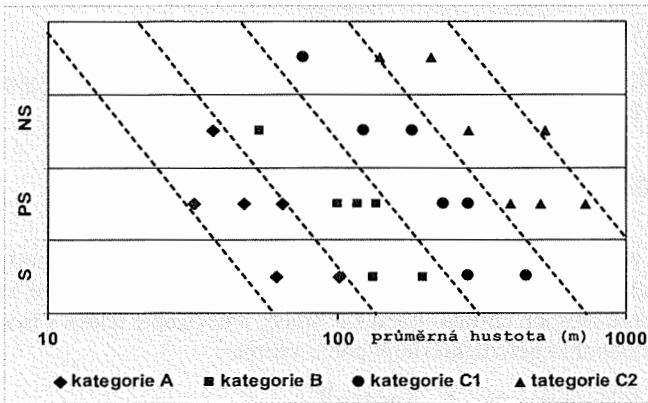
kde  $D_A^2(0/S)$  je rozptyl disperze bodové akumulace v ploše  $S$ .

Procedura odhadu zásob je tak významným zdrojem chyb. Důvody lze v první řadě spatřovat ve způsobu geometrizace ložiskových těles a vymezování výpočtových bloků, a to zejména v případě formálních geometrických přístupů. Je však zřejmé, že vždy budou vznikat difference mezi omezením výpočtových bloků a skutečnou stavbou těles, kterým nelze prakticky zamezit (obr.10.5).



Obr.10.5 Diference mezi interpretovaným a skutečným omezením bloku

U deskovitých ložiskových těles přesnost odhadu zásob závisí na jejich plošné stálosti a samozřejmě hustotě průzkumného systému. Tato skutečnost bývá při úvahách o hustotě sítě zanedbávána, ač má výrazný dopad na hodnověrnost odhadu, tj. kategorizaci zásob (obr.10.6).



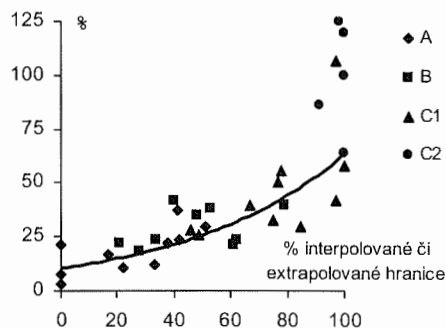
Obr.10.6

Vztah mezi plošnou stálostí slojí, průměrnou hustotou průzkumné sítě a kategoriemi zásob z důlního průzkumu. Důl Julius Fučík, Petřvald (Schejbal - Schejbalová 1987)

S - sloje stálé,  
PS - sloje poměrně stálé,  
NS - sloje nestálé,  
N - sloje nahodilé

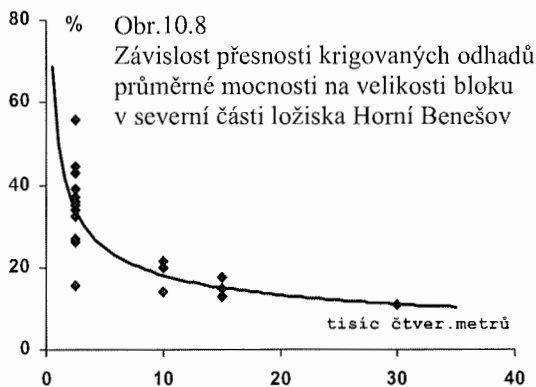
Charakter plošné stálosti bude u deskovitých ložiskových těles (uhelných slojí, rudních žil) závažným způsobem ovlivňovat kategorizaci zásob a tedy hodnověrnost a přesnost odhadu zásob. Tento vliv bude stoupat v případě nepravidelného a v porovnání s rozměry těles řídkého systému průzkumných průniků.

Chyba odhadu zásob v geologickém nebo těžebním bloku vzrůstá s nárůstem podílu interpolované nebo extrapolované hranice. Je to dáno tím, že plocha bloku je zatížena mnohem větší nejistotou, než v případě geometricky přesně omezeného bloku (obr.10.7).



Obr.10.7 Závislost chyby odhadu zásob na podílu interpolované či extrapolované hranice bloku. Sloj 302, Důl Julius Fučík, Petřvald

Obvykle se také nerespektuje, že při každé změně hranic hodnocené oblasti nebo daného ložiskového tělesa dochází ke změně přesnosti odhadu. Totéž může nastat při sloučení dílčích bloků do větších (obr.10.8). Další chyby jsou důsledkem nerespektování



Obr.10.8 Závislost přesnosti krigovaných odhadů průměrné mocnosti na velikosti bloku v severní části ložiska Horní Benešov

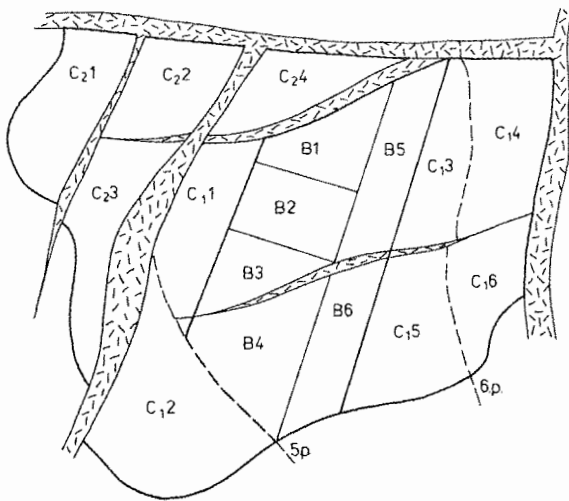
charakteru jak statistické, tak hlavně prostorové distribuce ložiskových veličin a jejich vzájemných vztahů, ze subjektivního přístupu ke konkrétnímu výběru průzkumných průniků pro odhad atd. Je tedy zřejmé, že při seriózním posouzení přesnosti a hodnověrnosti odhadu zásob se musí věnovat pozornost všem uvedeným zdrojům chyb.

Přesnost odhadu zásob skupiny bloků (např. v jedné tektonické kře či na jednom patře) nebo celého ložiskového tělesa či ložiska se určí podle vzorce

$$\Delta Q_c = \pm \frac{\sqrt{\sum_{j=1}^m (\Delta Q_j \times Q_j)^2}}{\left( \sum_{j=1}^m Q_j \right)^2},$$

kde  $\Delta Q_j$  je přesnost j-tého bloku a  $Q_j$  jeho zásoby. Postup výpočtu přesnosti odhadu zásob skupin bloků a sloje je uveden na obr.10.9.

Obr.10.9 Výpočet přesnosti odhadu zásob skupin bloků a sloje



blok	$Q_j$ [kt]	$\Delta Q_j$ [%]
B1	19,1	±22,4
B2	28,4	±19,3
B3	18,7	±24,2
B4	25,8	±23,8
B5	26,5	±20,3
B6	20,7	±24,2
$\Sigma B$	139,4	±9,1
C <sub>1,1</sub>	19,1	±36,9
C <sub>1,2</sub>	45,3	±31,7
C <sub>1,3</sub>	23,7	±36,2
C <sub>1,4</sub>	32,6	±39,9
C <sub>1,5</sub>	30,3	±37,2
C <sub>1,6</sub>	17,0	±34,6
$\Sigma C_1$	168,0	±16,1
C <sub>2,1</sub>	28,3	±61,4
C <sub>2,2</sub>	18,4	±58,1
C <sub>2,3</sub>	20,4	±64,5
C <sub>2,4</sub>	20,0	±61,0
$\Sigma C_2$	87,1	±31,2
$\Sigma \Sigma$	394,5	±10,2

V souladu s obecnými poznatky se přesnost odhadu zásob skupin bloků a celkových zásob uhlénné sloje výrazně zvyšuje, a to u bloků kategorie B na ±9,1 %, u bloků kategorie C<sub>1</sub> na ±16,1 %, u bloků kategorie C<sub>2</sub> na ±31,2 % a u zásob celé sloje na ±10,2 %. Jestliže přijmeme přípustné tolerance kategorie A např. ±15 %, kategorie B ±25 %, kategorie C<sub>1</sub> ±40 % a kategorie C<sub>2</sub> ±65 %, pak je zřejmé, že odhad skupiny bloků zásob kategorie B vykazuje přesnost vyhovující kategorii A, u skupiny bloků kategorie C<sub>1</sub> přesnost kategorie B a u bloků zásob kategorie C<sub>2</sub> přesnost kategorie C<sub>1</sub>. Celkové zásoby pak vyhovují toleranci zásob kategorie A.

Už dlouhou dobu existuje snaha po objektivizaci klasifikace zásob. Řada autorů spatřuje cestu ve stanovení tolerancí (tj. přípustných chyb) kategorií zásob. Existuje mnoho návrhů tolerancí kategorií zásob (Diehl - David 1982, Schejbal 1982 apod.), které ale mají jen charakter doporučení (tab.10.2). Jsou založeny na hodnocení chyby odhadu zásob, což není zejména u málo prozkoumaných ložisek složitějších morfogenetických typů triviální problém. Diskutabilním je, že se tyto návrhy zaměřují především na hodnocení přesnosti z hlediska prozkoumanosti. Prakticky důležitější spolehlivost ekonomického ocenění většinou stojí stranou pozornosti.

Statistickému rozboru publikovaných a ověřovaných údajů uvedenému v tab.10.3 vyhovuje jednoduchý vztah

$$M_k = 15 \times \sqrt{e^k}$$

kde  $k$  nabývá hodnot 0, 1, 2, 3.

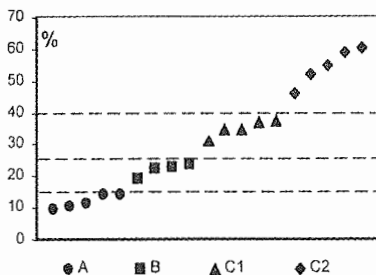
Tab.10.2 Příklady návrhů tolerancí kategorií zásob

stát	velikost bloků	přípustná chyba kategorie zásob %				pravděpodobnost %	autor
		dokázané ±10	pravděpodobné ±20	možné I ±30	možné II ±50		
Německo	3-4 let těžby					90	Wellmer 1983
Rakousko	?	reálně odhadnuté				90	ÖNORM 1989
		1A ±20	1B ±30	1C ±50			
Německo Kanada	krátkodobé plánování	A ±20				95	Diehl-David 1982
	střednědobé plánování		B ±40				
	dlouhodobé plánování			C ±80			
Česká republika		A ±15	B ±25	C1 ±40	C2 ±65	95	Schejbal 1982
Kanada	globální odhady	třída I <±10 třída II <±20		třída I <±30 třída II <±40			Vallée et al. 1993
	lokální bloků	třída I <±25 třída II <±50		třída I >±50 třída II >±50			
Austrálie	pouze uhlí	A ±20	B ±40	C ±60		95	Whitchurch et al.1990
SSSR			B ±30	C1 ±50			Šumilin - Vikentjev 82

Tab.10.3 Statistický rozbor tolerancí kategorií zásob (Schejbal, 1982)

kategorie	variální rozpětí	průměr	standard. odchylka	pořad. číslo	m <sub>k</sub> vyp.	m <sub>k</sub>
A	5 - 25	14,9	4,9	0	15,0	15
B	10 - 50	26,3	8,6	1	24,7	25
C1	20 - 75	42,0	12,0	2	40,8	40
C2	40 - 210	63,3	23,4	3	67,2	65

Princip klasifikace podle chyby odhadu je následující. Seřadíme-li oceněné bloky zásob  $B_j$  do neklesající posloupnosti podle chyby odhadu zásob vyjádřené např. standardní odchylkou odhadu  $\sigma(B_j)$ , pak se za předpokladu ložiskového objektu se stabilními strukturálními vlastnostmi, tj. kontinuitou a homogenitou prostorové distribuce určujících veličin, vytvoří skupiny bloků s přibližně stejnými chybami odhadu, které odpovídají jednotlivým kategoriím zásob (obr.10.10).

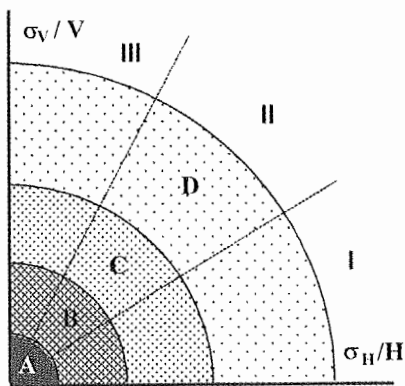


Obr.10.10

Klasifikace zásob bloků podle chyby odhadu zásob

Při značném zjednodušení lze říci, že relativní chyba odhadu zásob se skládá z chyby odhadu objemu ložiska a z chyby odhadu kvalitativních parametrů

$$\frac{\sigma_Q}{Q} = \sqrt{\frac{\sigma_V^2}{V^2} + \frac{\sigma_H^2}{H^2}}$$



Obr.10.11  
Schéma definování průzkumných  
typů ložisek podle chyb odhadu  
zásob

segmenty pak odpovídají tzv. průzkumným typům ložisek, které jsou obvykle v průzkumné praxi a prováděcích směrnících nebo zákonných normách či kodexech vymezovány.

Návrhy na zavedení tolerancí kategorií zásob pokračují. Např. podle USBM změřené zásoby mají toleranci  $\pm 20\%$ , indikované  $\pm 30\%$  a odvozené  $\pm 50\%$  (Horscroft, 1992). Amorim a Ribeiro (1996) zpracovali klasifikaci podle „indexu rizika“, který podle jejich návrhu nabývá u ověřených zásob hodnoty  $<0,6$ , u pravděpodobných zásob  $0,6$  až  $0,9$  a u možných zásob  $>0,9$ .

Znázorníme-li oblasti příslušející jednotlivým kategoriím zásob, pak lze vymezit tři segmenty s různým zastoupením těchto chyb (obr.10.11). V segmentu I je převažujícím zdrojem chyby odhadu zásob chyba kvalitativních parametrů (např. obsahu užitkových složek). Tento případ nastává u ložisek jednoduchého a snadno interpretovatelného tvaru, kdy lze spolehlivě zkonstruovat geologický model objektu. V segmentu II se uplatňují přibližně stejnou měrou chyby obou skupin, což může nastat jednak u málo prozkoumaných ložisek omezených s použitím interpolačních a extrapolacních postupů, jednak u ložisek složitější morfologie a prostorové distribuce užitkových složek. Konečně v segmentu III výrazně převažují chyby odhadu objemu. To nastává prakticky vždy při posuzování ložisek složitě morfologie, případně komplikovaných zlomovými a vrásovými strukturami. Vymezené

## **11. ZPRACOVÁNÍ VÝPOČTU ZÁSOB**

Z předešlých kapitol je zřejmé, že vyhodnocení zásob (resp. ve smyslu nového přístupu zachyceného ve směrnici OSN zdrojů a zásob) nerostných surovin v ložisku nebo jeho části představuje rozsáhlý a zpravidla komplikovaný „výrobní proces“, který zahrnuje řadu dílčích návazných činností. V zásadě je můžeme rozdělit do pěti etap:

- 1) sběr a předzpracování všech dostupných podkladů s cílem sestavení účelové databáze prověřených údajů;
- 2) vytvoření geologického modelu ložiskového objektu a zpracování odpovídajícího geometrického, resp. matematicko-geometrického modelu;
- 3) realizace odhadu zásob či zdrojů nerostné suroviny v ložiskových tělesech a ložisku jako celku;
- 4) příprava a zpracování výstupních sestav, zásobových map a dalších požadovaných dokladů;
- 5) vyhotovení zprávy o provedeném výpočtu zásob.

Postup procesu výpočtu zásob upravuje v našich poměrech *vyhláška MŽP ČR č.369/2004 Sb.*

### **11.1. SBĚR DAT**

Za základ kvalifikovaného zpracování výpočtu zásob musíme považovat *shromáždění, převzetí a pečlivé posouzení všech dostupných podkladů.*

Po shromáždění a převzetí podkladů je nejprve třeba *prověřit jejich úplnost a kvalitu.* Už v této fázi musíme posoudit, zda podklady dostačují k realizaci výpočtu zásob, nebo zda je nutné jejich doplnění dalšími průzkumnými pracemi. Případné nedostatky v geologické dokumentaci, nesrovnalosti v geologických popisech a vzorkové bázi je nezbytné identifikovat a podle možností odstranit, neboť při dalším zpracování je obtížné a problematické je eliminovat. Značné komplikace nastávají při využívání starších dokumentačních materiálů a materiálů, zpracovávaných různými autory. Pozornost se musí zaměřit především na ty skutečnosti, které popisují vlastní ložisková tělesa a jejich vlastnosti a které budou mít dopad na jejich těžbu, úpravu a návazné průmyslové využití. Je třeba zdůraznit, že verifikace vstupních údajů je jedním ze základních požadavků hodnověrnosti odhadu zásob.

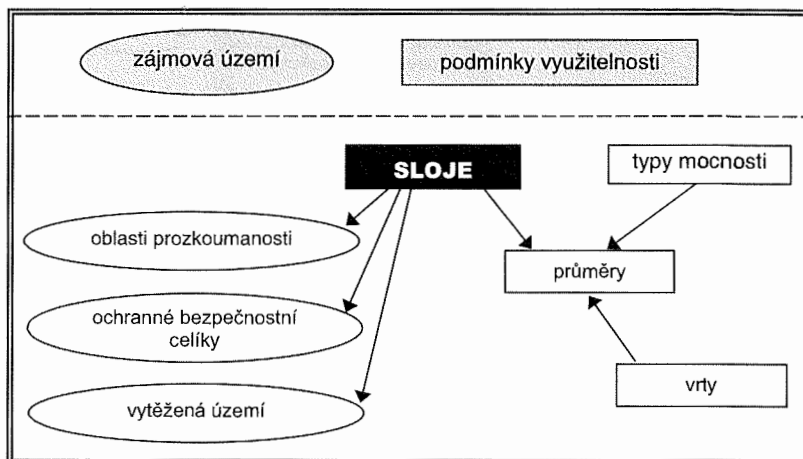
Podkladové materiály, které jsou potřebné pro provedení výpočtu zásob a zdrojů, obecně zahrnují následující údaje:

- *Údaje o geologické stavbě ložiska, resp. ložiskových těles, která jsou předmětem výpočtu.*
- *Údaje o typu, složení a kvalitě nerostné suroviny v ložisku, resp. o různých chemicko-technologických či fyzikálně-mechanických druzích suroviny. Důležitým podkladem jsou katalogy a mapy vzorků, resp. pozorování hodnot sledovaných veličin, jejichž výběr musí respektovat nejen současné, ale i možné budoucí požadavky. Je nutno respektovat očekávaný vývoj spektra požadovaných nerostných surovin s ohledem na rozvoj zpracovatelských technologií, které se mohou odrazit právě v této oblasti.*
- *Údaje popisující morfologii a úložní poměry ložiskových těles a jejich vnitřní stavbu. Zvláštní pozornost se musí zaměřit na charakter a míru proměnlivosti ložiskových charakteristik.*
- *Údaje o báňsko-geologických poměrech, jako je tektonická porušenost, rozvoj zvětrávací zóny, hydrogeologické a plynové poměry apod. Geomechanická charakteristika jak ložiskové výplně, tak okolního horninového komplexu je důležitou součástí těchto informací.*



Všechna průzkumná díla přinášející požadované údaje by měla být v prostoru ložiska rozmístěna tak, aby poskytla když ne zcela, tak alespoň zčásti srovnatelné informace o vývoji polí sledovaných veličin.

Výsledkem této etapy je vytvoření *archivu datových a mapových podkladů*. Pro další postup řešení je velmi výhodné převést všechny materiály do digitální formy a uspořádat je do *účelové databáze* (obr.11.1). Pro ověření kvality dat v databázi se doporučuje provádět periodicky statistická šetření kvality uložených souborů (Marek, 2000). Vybudování účelové databáze, přizpůsobené hodnocenímu objektu, v současnosti zcela převažuje, zejména v případě větších a složitějších ložiskových objektů.



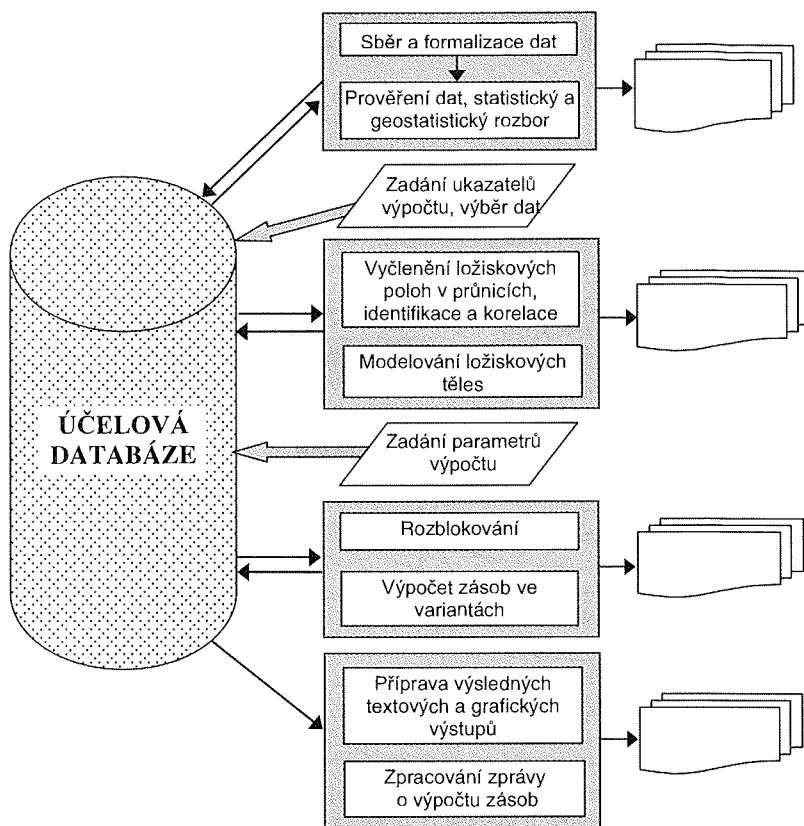
Obr.11.1 Příklad uspořádání obsahu a relací databáze pro automatizované hodnocení uhelných ložisek (Hoňková in Schejbal et al. 2003)

Databáze tedy obsahuje jednak primární data získaná přímým pozorováním a měřením, jednak odvozená interpretovaná data, jako geologické projekce a modely bloků. Všechna důležitá data musí být prostorově a časově orientovaná. Pro zvýšení bezpečnosti se doporučuje zálohování dat.

V praxi se můžeme setkat s různými systémy sběru a uspořádávání dat, od systému, který používá tradiční postup sběru dat a jejich ruční formalizaci, přes systém tradičního sběru dat a počítačovou formalizaci až ke zcela počítačovým systémům, ve kterém jsou primární data získávána přímo v digitalizované podobě. Uvedené systémy jsou popsány Schejbalem et al. (2004).

V počátcích zavádění výpočetní techniky byla data uspořádávána ve shodě s fyzickými záznamy do datových záznamů, které byly uspořádávány bez vzájemných vazeb podle potřeb konkrétních programů do souborů bez vzájemných vazeb. To bylo značně nepraktické a vedlo při zpracování ke vzniku velkého množství souborů a k redundanci dat. Koncepte báze dat tyto a další nevýhody odstranily. V současnosti dominují tři modely logické organizace dat a to hierarchicko-síťový, relační a objektově orientovaný, z nichž převažuje relační model.

Vytváření účelové databáze (tj. databáze určitého ložiskového objektu) představuje poměrně složitý a časově náročný problém, kterému je třeba věnovat patřičnou pozornost. Jde o to, že databáze je využívána ve všech fázích procesu výpočtu zásob (obr.11.2).

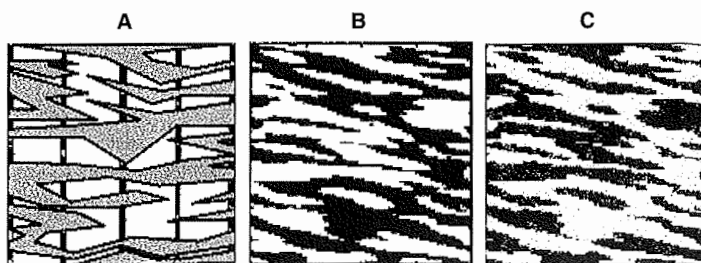


Obr.11.2 Význam účelové databáze v procesu zpracování výpočtu zásob

## 11.2. GEOLOGICKÝ A GEOMETRICKÝ MODEL

Zpracování *geologického modelu ložiskového objektu* představuje pro výsledný odhad zásob, resp. jeho hodnověrnost, kritickou fází. Na základě tohoto modelu se provádí *geometrizace ložiskových těles*. Velmi důležitou operací je *identifikace těles* v jednotlivých průzkumných průnicích (vrtech či důlních dílech) a jejich vzájemná *korelace*. Právě zde často dochází k nesrovnalostem nebo v krajním případě až k fatálním omylům, které mohou být vyvolány chybnou interpretací zjištěných skutečností. Musíme ale také brát v úvahu, že mohou být důsledkem nedostatečné prozkoumanosti, resp. omezené informační schopnosti aplikovaného průzkumného systému. Obecně platí, že při tvorbě geologického a následně i geometrického modelu ložiska musíme brát v úvahu všechny zjištěné skutečnosti z průzkumných a těžebních prací, při respektování obecných poznatků průzkumné a ložiskové geologie, které se týkají obdobných morfogenetických a surovinových typů. Významnou úlohu hraje odborná erudice a zkušenost zpracovatele.

Prvou fází tedy představuje *zpracování korelačních schémat*. Opírá se o analýzu charakteru vývoje ložiskonosného komplexu, stratifikace horninových komplexů, vyčlenění vúdčích horizontů, typických vývojů či výskytu skupin ložiskových těles (např. slojových skupin v hornoslezské pánvi), posouzení vnitřní stavby ložiskových těles (výskytu a charakteru proplásků v uhelné sloji apod.). Při zpracování korelačních schémat lze využít počítačové modelování, které je založeno na výpočtu směrů maximální a minimální kontinuity těles s využitím geologických zkušeností (obr.11.3).

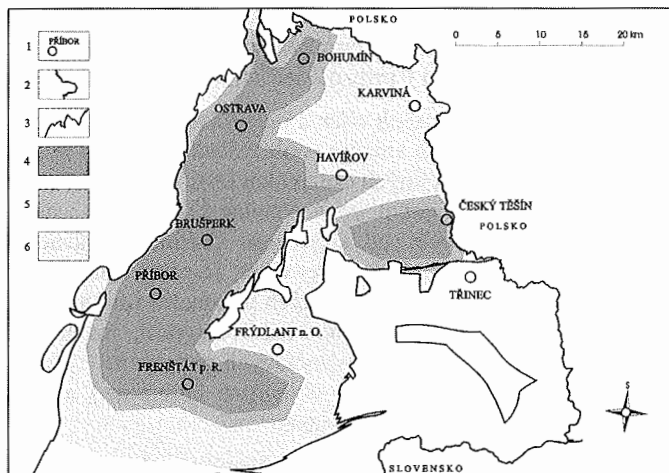


Obr.11.3 Příklad zpracování korelačního modelu pomocí simulací kontinuity těles (Centre of Geostatistics, 2004)

A – mechanická korelace; B – modelování žil; C – modelování zrudnění v žilách

Poté se obvykle sestavují *systemy vertikálních a horizontálních řezů*. Důležité je, aby v nich byl dodržen jednotný styl geologické stavby a to hlavně v případě složitého strukturně-tektonického postižení horninového komplexu.

Při geometrizaci ložiskových těles (uhelných slojí, rudních žil aj.) se při respektování principů deskriptivní (konstruktivní) geometrie sestavují ve vhodných průmětných rovinách *mapy ložiskových těles*, ve kterých jsou obvykle formou izoliniiových map znázorněny morfometrické a kvalitativní vlastnosti těles. Pokud to neumožňuje nízký počet pozorování, vymezují se v mapách jen oblasti hlavních surovinových a jakostních typů (např. obchodních skupin uhlí). V těchto případech je účelné přiložit mapu, která znázorňuje postup odvozování výpočtových parametrů (obr.11.4).



Obr.11.4

Mapa postupu odvozování ložiskových parametrů slojí petřkovických vrstev v české části hornoslezské pánve. (Sivek et al. 2003)

- 1 – sídla; 2 - státní hranice;
- 3 - provozní hranice pánve;
- 4 - metoda interpolace;
- 5 - metoda extrapolace;
- 6 - odborný odhad.

Poznámka: Mapa zachycuje prozkoumanost petřkovických vrstev. Je patrná nízká prozkoumanost petřkovických vrstev v karvinské části, kde tyto vrstvy byly zachyceny jen několika strukturálními vrty, narozdíl od ostravské části, kde tyto vrstvy byly intenzivně těženy a vzorky byly získány jak z průzkumných vrtů, tak i z důlních děl.

V mapách jsou uvedeny provedené průzkumná a těžební díla, jako jsou průzkumné vrty, důlní díla, vytěžené plochy apod., hranice dobývacích prostorů, ochranných pílířů a bezpečnostních pásem, dále smluvenými značkami prvky strukturně-tektonické stavby (směr a úklon, osy vrás, zlomy, linie vyklínění či vyhluchnutí těles, hranice oblastí postižených erozí nebo sekundárními změnami atd.). Přitom je třeba respektovat vyhlášku č. 435/1992 Sb.

Opět zdůrazňuji, že v případě většího počtu ložiskových těles musí být respektován analogický styl jejich stavby, a to včetně mladších „naložených“ tektonických systémů, pokud

se vyskytují a mají závažný vliv. Typickým příkladem je souvrství produktivního karbonu hornoslezské pánve s mnoha desítkami uhelných slojí, které jsou postiženy složitou vrásovo-zlomovou tektonikou velkých a středních rozměrů, doprovázenou slojovou tektonikou. Podobný případ představuje geometrizace ropo- a plynonosného souvrství s větším počtem produktivních horizontů.

Po zpracování všech vertikálních a horizontálních řezů a strukturálních map ložiskových těles je nezbytné provést kontrolu, zda jsou všechny vzájemně plně konformní. Nejjednodušší cestou je kontrola průsečnic všech zkonstruovaných materiálů a odstranění případných nesrovnalostí.

### **11.3. ODHAD ZÁSOB**

Odhad a klasifikace zásob vyžaduje odborné posouzení v kombinaci s geologickými a inženýrskými znalostmi, aby bylo možno ocenit, zda byla či nebyla splněna kritéria pro ocenění a kategorizaci zásob. To vyžaduje nejen znalost metod odhadu, ale také pochopení takových kategorií, jako je pravděpodobnost a statistika, neurčitost a riziko apod.

Realizace odhadu zásob a zdrojů nerostné suroviny a užitkových složek v ložiskových tělesech zahrnuje výběr vhodné metody odhadu, volbu a aplikaci technicko-ekonomických podmínek využití, vymezení zásobových bloků a určení odhadů parametrů a zásob v blocích, jejich kategorizaci a setřídění odhadů podle stanovených požadavků.

*Výběr metody odhadu* musí vycházet z ložiskového typu a aplikovaného průzkumného systému, resp. charakteru a množství dostupných dat. I když se obvykle mluví o „výpočtu“, stále si musíme být vědomi, že nejde o rigorózní výpočet, ale pouze o statistické či geostatistické odhady, které jsou zatíženy nepřesnostmi. Je skutečností, že řada metod poskytuje oproti skutečnosti nadhodnocené odhady. Klasickým příkladem je metoda mnohoúhelníků, ale v tomto smyslu existují poznatky i v případě dalších metod.

Nejodpovědnější operace je *vymezení ložiskových těles a okonturování bloků*. Jedna z příčin spočívá v prozkoumanosti. Je-li nízká, pak se snižuje spolehlivost stanovení hranic těles, vrásové a zlomové tektonické stavby, výmolů a jiných erozivních jevů. Problematičnost stanovení hranic se stupňuje u těch ložisek, které nemají jasně zřetelné hranice, jako např. ložiska porfyrových měděných rud, vtroušeninových rud zlata typu Carlin, zvětrávacích ložisek bauxitu, kaolinu a dalších průmyslových nerostů. Je třeba vidět, že právě tomto bodě se velmi výrazně uplatňuje vliv ekonomických a báňsko-technických parametrů (minimální a mezní obsah užitkových a případně i škodlivých složek, minimální mocnost, maximální mocnost hluchých vložek), což vede ke vzniku závislosti výpočtových parametrů (obsahu, mocnosti, plochy a při vysokém obsahu užitkové složky i objemové hmotnosti) a tedy k nutnosti přizpůsobit výběr metodiky odhadu zásob této skutečnosti.

Řešení uvedeného problému není jednoduché. U většiny metodických postupů je založeno na erudici řešitele. Pro stanovení „optimálních“ hranic ložiska byly rozpracovány geostatistické krigovací metody zaměřené na analýzu *morfologie*.

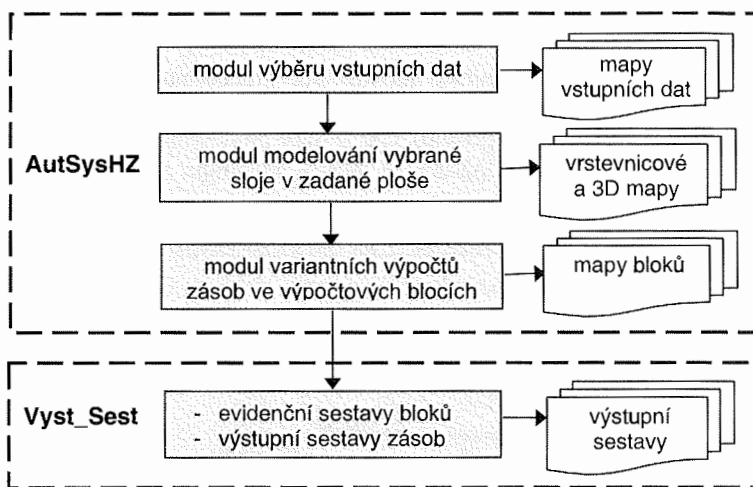
Integrace dat ze všech dostupných zdrojů vyžaduje rozsáhlé znalosti geologických a báňských disciplín, praktické zkušenosti a schopnost pracovat s poznatky mnoha rozdílných oborů včetně počítačových.

Je třeba mít na paměti, že logické principy získávání věcných poznatků v rámci sběru dat a modelování ložiskových objektů jsou – odhlédneme-li od technických možností daných existencí výpočetní techniky a vyvinutých programových prostředků – v principu jen velmi málo proměnlivé. Proces sběru dat (popis hornin a nerostů, alterací, morfologie těles apod.) stále ve značné míře závisí na usuzování terénních pracovníků, přičemž postup jejich myšlení

je obtížné kvantifikovat. Při interpretaci a modelování jde stále o lidské soudy, o lidské rozlišování obrazců (Marek, 2000), ať už jde o aplikaci modelů klasické deskriptivní geometrie, nebo metod počítačové grafiky. Proces modelování lze rozdělit na prostorové modelování morfologie a na modelování vnitřních atributů ložiska resp. ložiskových těles. Většinou se prostorový model objektu převádí na sérii rovinných modelů.

Příkladů počítačově orientovaných systémů statistické a geostatistické analýzy dat a hodnocení zásob existuje řada, např. Surpac, Vulcan, Micromine atd. (příloha A). Jako příklad je uvedena velmi stručná charakteristika programového systému pro rychlé hodnocení uhelných ložisek *AutSysHZ* (Staněk in Schejbal et al. 2003, Staněk 2005).

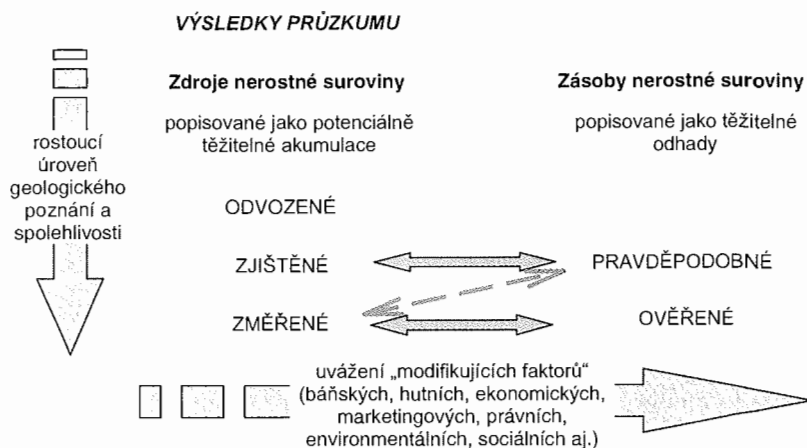
Systém probíhá v maximálně automatizovaném režimu s minimálními ručními zásahy do postupu řešení. Hlavní předností je možnost rychlých alternativních odhadů zásob podle měnících se podmínek využitelnosti. Po zadání podmínek využitelnosti a výběru hodnoceného objektu a oblasti probíhá modelování morfologie a vnitřních atributů sloje, přičemž je možno do tohoto modelování interaktivně vstupovat. Na tuto část navazuje variantní odhad zásob ve výpočtových blocích. Systém vytváří grafické a tiskové výstupy pro jednotlivé varianty hodnocení (obr.11.5).



Obr.11.5 Zjednodušené schéma automatizovaného systému výpočtu zásob uhelných ložisek (Staněk in Schejbal et al., 2001)

*Kategorizace zásob* je – jak je uvedeno v kapitole 8, předmětem neustálé pozornosti a integrace. Musím zdůraznit, že v pojetí zdrojů a zásob nerostných surovin v ložisku dochází ke změnám, které lze velmi schematicky znázornit následujícími schématem (obr.11.6).

Z výše uvedených skutečností vyplývá, že velmi důležitým problémem, který u nás byl a stále částečně je nedoceňován, je stanovení *technicko-ekonomických podmínek využití zásob*. Vhodné definování zásob závisí na řadě geologických, báňsko-technických, ekonomických, zpracovatelských, marketingových, environmentálních, sociálních a právních faktorů. V tomto směru je velmi významný správný rozbor už v rámci *předběžné studie proveditelnosti* (prefeasibility study) a v podrobnějších fázích v rámci *studie proveditelnosti* (feasibility study). Ekonomické, právní a další netechnické faktory vnášejí nejistotu do odhadů zásob a tím i do životaschopnosti celého projektu. Obecně je ale zřetelná tendence uvažovat co nejpřesněji technická a geologická data.

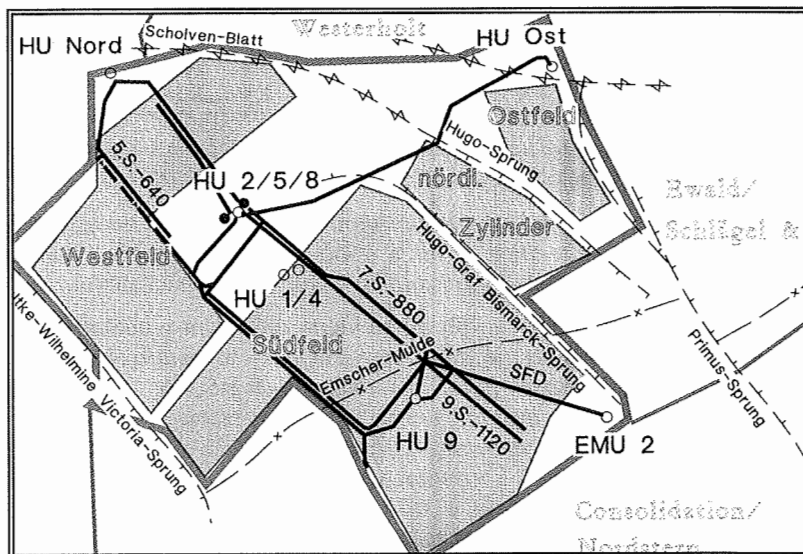


Obr.11.6 Vztahy mezi výsledky průzkumu, nerostnými zdroji a zásobami (Rendu – Miskelly, 2001)

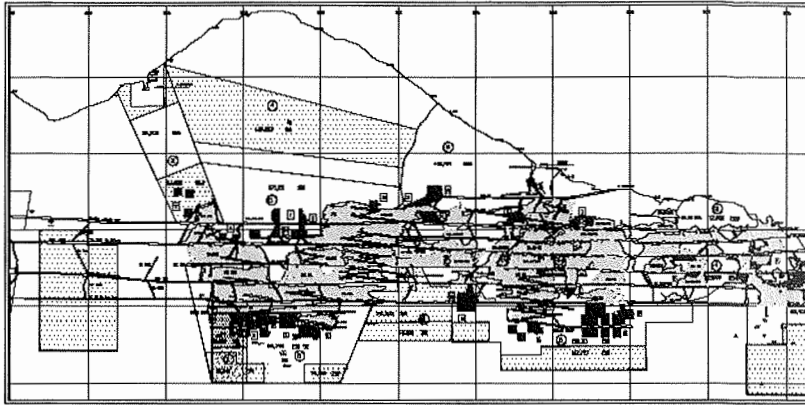
Technicko-ekonomické podmínky mohou být předdefinovány ve *formě nařízení* (sovětský přístup), nebo stanoveny na základě rozboru v rámci už uvedených *studii proveditelnosti* (americko-kanadský přístup), což je dnes preferovaný přístup (Henley, 2004). V počátečních etapách průzkumu ložiska se někdy uplatňuje variantní přístup k jejich definování.

#### 11.4. VYHOTOVENÍ TABULEK A MAP VÝPOČTU ZÁSOB

Výsledky odhadu zásob a požadované mapové doklady (geologické mapy a řezy, zásobové mapy apod.) jsou nutnou součástí zprávy o provedeném výpočtu zásob. Příklady částí zásobových map jsou uvedeny na obr.11.7, 11.8 a 11.9.

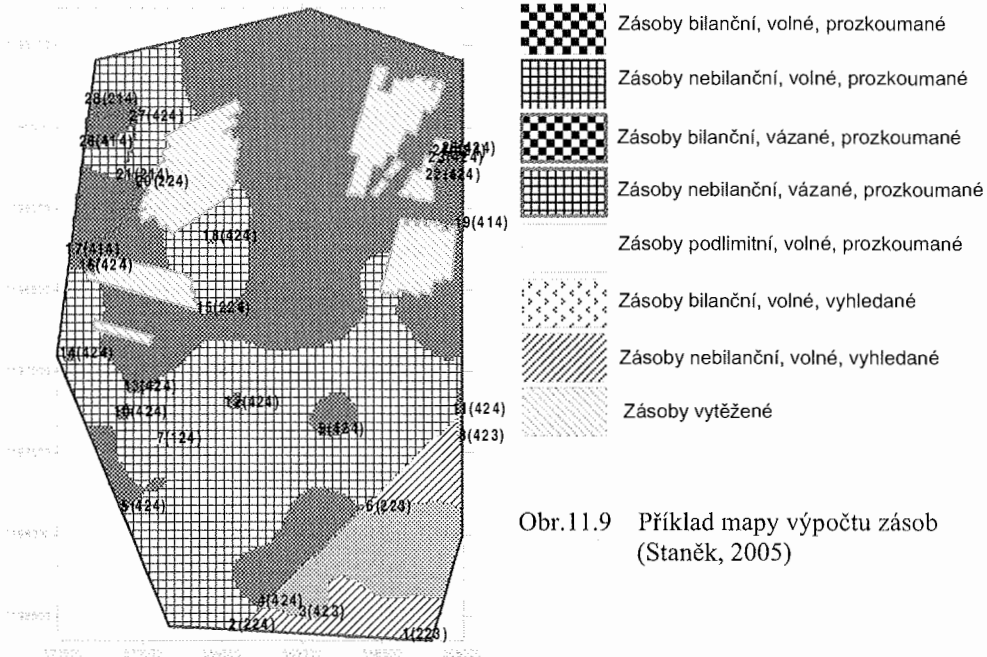


Obr.11.7. Příklad zásobové mapy. Důl Hugo (Ruhrkohle Westfalen 1990)

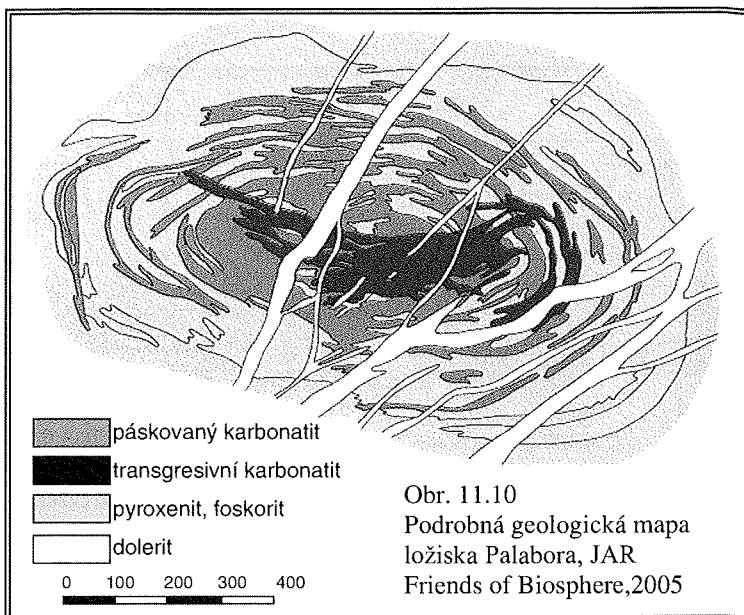


Obr.11.8 Příklad zásobové mapy žilného ložiska stříbra San Martín de Bolaños, Mexiko (Pincocock et al., 2005)

- zásoby jisté a pravděpodobné
- zásoby indikované
- zásoby vytěžené



Obr.11.9 Příklad mapy výpočtu zásob (Staněk, 2005)



Ke každému ložiskovému tělesu jsou vytištěny mapy mocnosti, mapy vnitřních atributů a mapa vzorků. Velmi důležitým výstupním dokladem jsou *zásobové mapy*, ve kterých jsou vymezeny hranice výpočtových bloků, jejich identifikace a zařazení podle hledisek prozkoumanosti, bilančnosti, vázanosti a dalších možných hledisek (tab.11.1).

<b>Přehled zásob uhlí podle bilančnosti, vázanosti a prozkoumanosti</b>										
Automatizovaný systém pro rychlé hodnocení uhelných ložisek							Projekt GA ČR 105/00/0194			
<b>Detailní výpočet zásob v polygonu A_examle, sroj dubňanská_L, varianta 6</b>										
Datum zpracování: 11.1.2003										
Druh zásob	Skupina zásob	Prozkoumanost	Počet bloků	Plocha m <sup>2</sup>	Mocnost m	Obsah popela %	Obsah síry %	Objemová hmotnost g.cm <sup>-3</sup>	Výhřevnost MJ.kg <sup>-1</sup>	Geologické zásoby kt
B	VO	PROZ	11	1498000	4,20	22,19	-	1,256	9,68	7896,021
B	VO	VYH	2	56400	4,87	24,20	-	1,267	9,30	347,739
B	VO	Celkem	13	1554400	4,22	22,27	-	1,257	9,67	8243,760
B	VA	PROZ	2	144000	3,93	21,75	-	1,254	9,87	711,156
B	VA	Celkem	2	144000	3,93	21,75	-	1,254	9,87	711,156
B	Celkem	Celkem	15	1698400	4,20	22,23	-	1,257	9,68	8954,916
N	VO	PROZ	5	4640400	4,68	31,54	-	1,307	8,30	28389,409
N	VO	VYH	1	882800	4,86	29,59	-	1,296	8,55	5566,596
N	VO	Celkem	6	5523200	4,71	31,22	-	1,306	8,34	33956,005
N	VA	PROZ	2	251200	4,75	29,10	-	1,294	8,70	1542,793
N	VA	Celkem	2	251200	4,75	29,10	-	1,294	8,70	1542,793
N	Celkem	Celkem	8	5774400	4,71	31,13	-	1,305	8,36	35498,798
PL	VO	PROZ	5	59600	4,79	41,46	-	1,366	6,72	390,270
PL	VO	Celkem	5	59600	4,79	41,46	-	1,366	6,72	390,270
PL	Celkem	Celkem	5	59600	4,79	41,46	-	1,366	6,72	390,270
<b>Celkem</b>	<b>Celkem</b>	<b>Celkem</b>	<b>28</b>	<b>7532400</b>	<b>4,60</b>	<b>29,44</b>	<b>-</b>	<b>1,296</b>	<b>8,61</b>	<b>44843,984</b>

Tab.11.1 Příklad výstupní sestavy (Staněk, 2005)



Výstupní tiskové sestavy mají dokumentovat datovou bázi, postup výpočtu a výsledky odhadu zásob a to podle požadavku buď pro všechny, nebo pro vybranou variantu výpočtu. Obvykle jsou požadovány následující sestavy:

- seznam použitých vzorků a hodnot odpovídajících veličin;
- základní evidenční sestava bloků;
- přehled zásob podle prozkoumanosti, bilančnosti a vázanosti v každém ložiskovém tělese;
- přehled zásob podle prozkoumanosti, bilančnosti a vázanosti v ložisku.

Všechny textové a grafické výstupy musí vyhovovat předpisům, které vydávají v souladu se zákonnými normami pověřené státní orgány.

### **11.5. ZPRÁVA O VÝPOČTU ZÁSOB**

Zpráva o výpočtu zásob shrnuje veškeré poznatky o ložisku a oceněných zásobách. Zpracování zprávy vyžadují všechny státy, přičemž na obsah a formu zpracování se kladou obdobné požadavky, což je důsledkem postupující snahy o standardizaci informací určených pro soukromé a státní podnikatelské subjekty, pro orgány státní správy a pro odbornou a po jistých úpravách i laickou veřejnost.

Závěrečná zpráva s výpočtem zásob se v závislosti na druhu výpočtu zpracovává v případě zásob nerostů podle osnovy uvedené v příloze 4, 5 nebo 6 vyhlášky MŽP ČR č.369/2004 Sb. a v případě zásob podzemní vody podle osnovy v příloze 7 vyhlášky MŽP 369/2004 Sb. Závěrečnou zprávu s výpočtem zásob prověřuje a v oponentním řízení schvaluje objednavatel geologických prací.

Zpráva zpravidla zahrnuje textovou část včetně tabulek výpočtu, grafickou část, textové doklady a v potřebném rozsahu i dokumentaci průzkumných a těžebních prací dokumentující skutečnosti použité v rámci výpočtu zásob. Rozsah elaborátu závisí jednak na velikosti a významu hodnoceného objektu, jednak na stupni jeho poznání (ložisko nově vyhledané nebo prozkoumané, ložisko v těžbě, ložisko v likvidaci apod.).

*Textová část výpočtu* uvádí charakteristiku ložiska a provedených prací v podrobnosti odpovídající výše uvedeným hlediskům. Struktura písemné zprávy je následující:

- Název objektu, objednatel, odpovědný řešitel a organizace, cíl prací, stanovené průzkumné území, resp. v případě těžebního průzkumu údaje o dobývacím prostoru.
- Všeobecné údaje o ložisku (zeměpisná poloha, komunikační dostupnost, geomorfologické, hydrogeologické, biogeografické a klimatické poměry, historie průzkumu a těžby atd.).
- Dosavadní prozkoumanost a provedené geologické práce (jejich rozsah, metodika a technologické postupy, způsob vzorkování a přímých měření a pozorování), způsob likvidace nebo zajištění technických prací, střety zájmů a jejich řešení.
- Geologická charakteristika širšího okolí a ložiska v závislosti na typu ložiska a druhu nerostné suroviny. Geologický popis ložiska zahrnuje popis petrografických a strukturně-tektonických poměrů horninového komplexu, popis ložiskových těles (počet, tvar, rozměry, složení, obsahy užitkových a škodlivých složek, primární a sekundární změny, u ložisek ropy a zemního plynu charakteristika ložiskového režimu apod.). Geneze ložiska.
- Jakostní a technologická charakteristika nerostné suroviny, její chemické, fyzikálně-mechanické a mineralogické či petrografické složení a vlastnosti. Popis provedených laboratorních, poloprovodních a provozních zkoušek a jejich zhodnocení vzhledem k požadavkům zadavatele výpočtu zásob, resp. technickým podmínkám, normám atd.

- Hydrogeologie okolí a vlastního ložiska. Důležité je sestavení bilance přítoku podzemní (případně i povrchové) vody při těžbě ložiska a hydrogeologická klasifikace ložiska.
- Inženýrsko-geologická charakteristika území a báňsko-technické podmínky dobývání v závislosti na morfologickém typu a úložních poměrech ložiska a z toho vyplývajícího postupu otvírky, přípravy a dobývání, fyzikálně-mechanické a geomechanické charakteristiky ložiskového komplexu apod. Vlivy na povrch, včetně ovlivnění hydrogeologických a hydrologických poměrů. Vymezení prostorů pro ukládání hlušiny a úpravárenských odpadů. Návrh rehabilitace území po ukončení těžby.
- Výpočet zásob, tj. popis a zdůvodnění použité metodiky odhadu zásob a aplikované algoritmy, způsoby stanovování parametrů výpočtu v závislosti na aplikovaném metodickém postupu. Podmínky využitelnosti zásob. Odůvodnění principů konturování ložiskových těles a jejich rozblokování. Prověření spolehlivosti a přesnosti odhadu zásob, prověření vstupních dat.
- Tabulky výpočtu musí být uspořádány tak, aby dokumentovaly postup prací, od vstupních dat přes mezivýsledky až ke konečným sestavám. V nich jsou seříděny výsledky výpočtu jednotlivých bloků, ložiskových těles a ložiska jako celku podle různých požadovaných hledisek, jako např. přístupnost zásob k využití, prozkoumanost, ekonomická výhodnost atd. Složení tabulkové části se liší podle aplikované metody výpočtu, ale v každém případě musí být zpracován celkový sumář ověřených zásob, přičemž konkrétní požadavky na jeho uspořádání se liší.
- Limity možného využití ložiska, tj. předpokládaný způsob dobývání, umístění hlavních důlních děl, odvalů, odkališť a hlavních povrchových staveb. Vlastnictví pozemků dotčených při předpokládaném dobývání. Vztahy k zájmům chráněným zvláštními předpisy.
- Financování předchozí prací a cena řešeného úkolu, pokud jsou hrazeny plně nebo částečně ze státního rozpočtu.
- Závěry a doporučení. Shrnutí poznatků a přehled vypočtených zásob hlavní a popřípadě doprovodných nerostných surovin, možnosti využití zásob a případné střety zájmů.
- Místo a způsob využití hmotné geologické dokumentace, protokoly o skartaci.
- Seznam použité literatury, mapových podkladů a ostatních pramenů.

*Přílohy k výpočtu zásob* jsou nedílnou součástí zprávy. Dělí se na grafické a textové. Rozsah a obsah *grafických příloh* závisí na druhu nerostné suroviny, typu ložiska a míře jeho prozkoumanosti. Mezi základní náleží:

- Situační mapa oblasti s vyznačením polohy ložiska, osídlením, komunikacemi a říční sítí a se zakreslenými hranicemi chráněných území.
- Mapy a řezy s vyznačením míst odběru vzorků, pozorování a měření a lokalizace technických prací.
- Účelové mapy s odborným obsahem, zejména přehledná či základní geologická mapa území a dále podrobná geologická mapa ložiska doplněná geologickými řezy, geofyzikální, geochemické, hydrogeologické a další mapy, u ložisek kapalných a plyných kaustobiolitů strukturní mapa a mapy efektivních mocností jednotlivých horizontů s vymezením hranice ropo a plynonosnosti.
- Mapy a řezy bloků zásob, ve kterých jsou vyznačeny bloky zásob včetně jejich kategorizace, a další grafické materiály dokumentující výpočet zásob.
- Fotografická dokumentace odkryvů a povrchových a podzemních báňských prací.

Konečně se přikládají *textové přílohy*, zejména výsledky měření, analýz a zkoušek, speciální zprávy (mineralogické, petrografické, chemicko-technologické atd.). Důležitými přílohami jsou rozhodnutí o stanovení průzkumného území resp. dobývacího prostoru, schválené podmínky využitelnosti zásob včetně důvodové zprávy, *návrh na schválení zásob a pasport zásob ložiska* (tj. záznamový list se základními charakteristikami ložiskového objektu a údaji o zásobách), záznamy o projednání střetů zájmů, protokoly o likvidaci technických prací a v případě prací hrazených ze státního rozpočtu projekt a jeho změny.

Zjištěné zásoby nerostných surovin jsou v každém státě evidovány a hospodaření s nimi průběžně sledováno. V České republice je touto činností pověřen Geofond ČR v Praze, který každoročně zpracovává souhrnné přehledy.

Struktura *zprávy o výpočtu zásob podzemních vod* je v podstatě analogická, jako je struktura zprávy o výpočtu zásob užitkových nerostů. Při vlastním výpočtu je nutno vymezit a prostorově charakterizovat hodnocený vodní útvar průmětem jeho hranic na povrch, názvem odvozeným od platné územní identifikace a příslušnosti k hydrogeologickému rajonu. Je třeba začlenit hodnocený vodní útvar do hydrogeologických poměrů širší oblasti, charakterizovat zvodněný systém a hydrogeologické funkce litostratigrafických jednotek. Musí být uvedeny výchozí klimatologické a hydrogeologické údaje a jejich zhodnocení a současné využívání podzemních vod, zhodnocení režimních pozorování a hydraulických parametrů zvodněného horninového prostředí, režimu podzemních vod a hydrochemický a bakteriologický stav vod. V další části jsou popsána modelová řešení, metodika výpočtu, výpočtová schémata a odůvodnění okrajových podmínek. Podobně jako u užitkových nerostů je dále uveden vlastní výpočet množství podzemních vod a jejich kvality, klasifikace zásob a zdrojů. Velmi důležitým bodem je popis ochrany a jakosti podzemních vod, resp. návrh na jejich úpravu. S tím souvisí návrh na zřízení pozorovacích objektů a řešení možných střetů zájmů.

Uvedené schéma je upravováno podle konkrétních požadavků využívání ložiskového objektu, kdy je nutno vedle geologických zásob určovat i zásoby vytěžitelné. Pak lze např. odlišit fázi geologického a matematicko-geometrického modelování, fázi technického modelování a fázi ekonomického ocenění těžitelných zásob (Hrádek, 1992).

## **11.6. HODNOCENÍ DOPADŮ NA ŽIVOTNÍ PROSTŘEDÍ**

### **A AUDIT ZDROJŮ A ZÁSOB NEROSTNÝCH SUROVIN**

Ohodnocení environmentálních dopadů vyžadují všechny činnosti spojené s využíváním ložisek nerostných surovin, neboť se dotýkají pozemků, vodních zdrojů, ekologických systémů, kulturních a chráněných přírodních území a útvarů a celé veřejnosti. V rámci hodnocení je třeba věnovat pozornost aplikovaným těžebním technologiím z hlediska jejich bezpečnosti a stupně ovlivnění prostředí. Přednost mají vysoce produktivní technologie, minimalizující produkci odpadů a zvyšující kulturu a hygienu hornické práce. Hlavním problémem povrchové dobývání je zábor pozemků, ovlivnění staveb všech typů, povrchových vodních toků a nádrží, dopravních spojení, energovodů a produktovodů, nežádoucí změny morfologie terénu porušující původní panoráma atd. U podzemního dobývání mají vedle záboru pozemků velký negativní význam vlivy poddolování, které se mohou projevit poklesem povrchu, porušením povrchových staveb a zařízení, změnami režimu povrchových a podzemních vod včetně ovlivnění jejich chemismu atd. Z uvedených důvodů se už ve fázi přípravy vyžaduje zpracování návrhu monitorovacích systémů a průběžné sanace zamokřených poklesových kotlin. Vedle toho je v obou případech nutno věnovat pozornost dopravnímu zatížení oblasti, které se v některých případech může ukázat jako limitující pro hornickou činnost. Konečně nelze opominout problematiku znečištění ovzduší vlivem prašnosti z dopravních zařízení, úpraven, odvalů a odkališť, otázky zvýšeného hluku a otřesů spojených s trhačimi pracemi. Nezbytné je i posoudit možnost a

pravděpodobnost vzniku kritických situací, jako jsou požáry či důlní otřesy. Nezanedbatelnou složkou posouzení je požadavek na průběžné odborné sledování lokality z biologického hlediska (hodnocení druhové diverzity území, posuzování odolnosti ekosystémů vůči narůstající zátěži atd), operativní odstraňování vlivů hornické činnosti na povrch za účelem ochrany fauny a flory a zabezpečení náhradní výsadby na postižených plochách.

Proces posuzování vlivů průzkumné a hornické činnosti sehrává pozitivní roli při přípravě záměrů. Systém veřejného projednávání, který je součástí procesu posuzování, eliminuje možné rozpory s veřejností. Zaváděné **zjišťovací řízení** (*screening process*) situaci ještě zlepšuje. S rozvojem environmentální legislativy a požadavky stále přísnějších standardů se stávají environmentální výzkumy základním prvkem plánování průzkumných a hornických programů. Ideální je zahájit tyto práce už v počátečních fázích přípravy projektu, aby se zabránilo začlenění takových činností, které by mohly vést ke komplikacím nebo i k fatálním událostem či neřešitelným střetům zájmů. Prvou fází prací, která je v některých státech povinná, je **prošetření možností** (*scoping*) jako předpoklad přijatelnosti vývoje pro schvalující agentury a investory. Následné fáze výzkumu a ocenění dopadů a návrhy možných řešení vznikají ve vzájemné spolupráci inženýrského a environmentálního týmu.

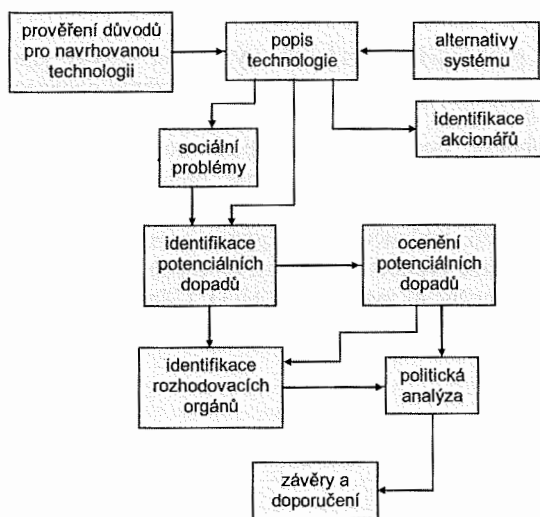
**Hodnocení dopadů na životní prostředí (EIA)** zařadily některé státy do stávajících právních norem, zpravidla jako doplněk zákonů o územním plánování (Velká Británie, Irsko, Dánsko) nebo zákonů o ochraně přírody (Francie). V jiných státech se EIA stala součástí zákonů o životním prostředí (Nizozemsko, Řecko). Konečně některé státy přijaly samostatné právní normy o EIA (SRN, Belgie, Španělsko, Česká republika v návaznosti na ustanovení zákona o životním prostředí). Procesní postup hodnocení environmentálních dopadů může být v detailech rozdílný. Tabulka 11.2 uvádí příklad detailní úpravy v České republice.

Tab.11.2 Schéma EIA podle zákona ČNR č. 244/1992 Sb.

činnost	náplň činnosti	zajišťuje	adresát	termín
<b>ZÁMĚR</b>	zpracování záměru	investor	příslušný orgán	
<b>DOKUMENTACE</b>	zpracování dokumentace	oprávněná osoba		
<b>PŘEDÁNÍ</b>	zaslání záměru a dokumentace	investor	příslušný orgán	
	zaslání dokumentace příslušné obci a dotčeným orgánům	příslušný orgán	příslušná obec, dotčené orgány	5 dnů
<b>VEŘEJNÉ NAHLÉDNUTÍ</b>	oznámení o možnosti nahlédnutí	příslušná obec	občané	5 dnů
	veřejné nahlédnutí	občané	příslušná obec	30 dnů
<b>VYJÁDŘENÍ</b>	písemné připomínky a vyjádření	příslušná obec	příslušný orgán	14 dnů
	vyjádření k dokumentaci	dotčené orgány	příslušný orgán	50 dnů
<b>POSUDEK</b>	zajištění zpracování posudku	příslušný orgán	oprávněná osoba	
	zpracování posudku	oprávněná osoba	příslušný orgán	60 dnů
<b>VEŘEJNÉ PROJEDNÁNÍ</b>	veřejné projednání	příslušný orgán		30 dnů
	zpracování protokolu	příslušný orgán		
<b>STANOVISKO</b>	vydání stanoviska	příslušný orgán	investor	

Poznámka: příslušný orgán je podle povahy záměru okresní či krajský úřad nebo MŽP ČR, dotčený orgán je orgán státní správy, jehož působnosti se záměr dotýká

Pro environmentální hodnocení hornických technologií je využitelná procedura EnTA - **Environmental Technology Assessment** - navržená UNEP IE (obr. 11.11). Může být součástí EIA nebo ji lze použít při modernizaci či zavádění nového strojního zařízení a



Obr.11.11 Schéma environmentálního ocenění hornických technologií podle UNEP IE (1997)

dáno velkou variabilitou přírodních a ekologických podmínek, variabilitou technologií dobývání, v případě ložisek některých surovin často se měnícím stanovištěm, nejednotným ekologickým hodnocením technologií atd. Proto se zdá, že hornickému podnikání více vyhovuje výstavba systému managementu životního prostředí podle ISO 14001, neboť tato norma není závislá na stanovišti (Grosse - Dirner 1997). V posledních letech řada společností vyžaduje *vnitřní nebo nezávislý audit zdrojů a zásob*. Postup auditu je následující (McNamara 2003):

#### Audit zdrojů:

- Regionální a lokální geologie. Topografie, povrchový a podzemní vývoj.
- Průzkum, vzorkování a laboratorní analýzy.
- Odhad objemové hmotnosti. Vymezení horninových typů či rudní zóny.
- Modelování bloků a geostatistika.
- Podmínky stanovení zdrojů (fyzikální, cenové).
- Klasifikace spolehlivosti zásob (stanovené, indikované, odvozené).
- Sladění predikovaných a skutečných dat z historických záznamů.
- Kontrola rudy.

#### Audit zásob:

- Důlní plány: krátkodobý, pětiletý a na dobu životnosti dolu.
- Parametry plánování důlní činnosti.
- Projekt konečné podoby dolu. Projekty etap.
- Ekonomické parametry. Plány produkce.
- Důlní a úpravárenské operace a provádění údržby.
- Parametry úpravny (vstupy, výtěžek, specifické požadavky na charakteristiky rudy).
- Základ ceny produktu. Historické a projektované výrobní a kapitálové náklady.
- Voda, energie, doprava.
- Environmentální požadavky a povolení a územní povolení.

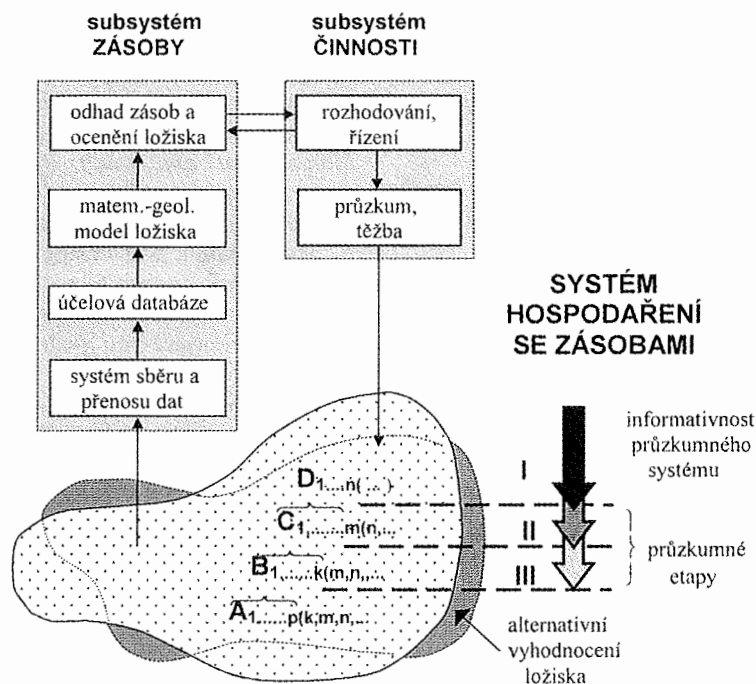
Uvedené seznamy požadavků auditů jsou obecné a jsou upravovány podle typu prověřovaného ložiska a dolu a rozsahu prací.

technologie, dále v rámci procesu získávání povolení k činnosti, ale pochopitelně také v rámci strategických studií o různých nových technologiích, jako např. postupech podzemního vyluhování či kyanizačního zpracování rud zlata apod. či biotechnologiích.

V rámci průmyslových podniků se zavádí systém pro hodnocení a soustavné zlepšování ochrany životního prostředí. Jde o tzv. *ekologický audit*, který vychází z nařízení EHS č. 1836/1993 o dobrovolné účasti průmyslových podniků na programu společnosti o ekologickém řízení a posuzování podniku, stručně označované **EMAS** - *Environmental Management and Audit System*. Do sféry působnosti nařízení je zahrnuto i hornictví, i když jde o oblast z hlediska realizace auditu problematickou. Je to

## 12. ZÁVĚR

Metodologie výpočtu zásob se v posledních desetiletích významně rozvíjí jako samostatný interdisciplinární vědní obor geověd, pro který Sivek (1998) navrhuje označení *teorie hodnocení zásob ložisek nerostných surovin* (zkráceně *teorie zásob*). V důsledku enormního nárůstu požadavků na podrobnost, hodnověrnost, komplexnost a včasnost informací, potřebných pro osvojení a využití ložisek, se výrazně projevuje přechod k širokému interdisciplinárnímu pojetí, které zahrnuje celý soubor činností od sběru dat, prověřování jejich použitelnosti, přes analýzu vedoucí k vytvoření geometrického a matematicko-geologického modelu ložiska, vlastní výpočet a kategorizaci zásob až k ocenění jejich ekonomického významu a technických možností využití (obr.12.1). Cílem je vytvořit dynamický adaptivní systém hospodaření se zásobami, který lze v zásadě rozlišit na subsystém **ZÁSObY** a subsystém **ČINNOSTI**.



Obr. 12.1 Systémové pojetí geologicko-průzkumných a hornických prací a jejich modelování

Výpočet zásob představuje ve své podstatě *jistý druh expertízy*, neboť vychází věta, podle níž je množství zásob nerostné suroviny součinem určitého objemu a objemové hmotnosti, resp. v případě zásob užitkové složky součinem objemu, objemové hmotnosti a obsahu, má čistě heuristickou povahu, stejně jako výběr určité metody výpočtu pro hodnocený objekt. Uvědomíme-li si tyto skutečnosti, pak je proces schvalování výpočtu *druhem právního aktu veřejné (státní) expertízy*.

Už v kapitole 1 bylo uvedeno, že výběr vhodné metody odhadu zásob musí vycházet jednak z úrovně poznání ložiskového objektu, jednak z účelu výpočtu. Zatímco pro odhad geologických zásob je možné používat modely založené na přímém využití geologických konstrukcí (metody bloků a řezů), modely interpolační, statistické a geostatistické, bude odhad vytěžitelných zásob vycházet z geostatistických modelů a prostorových a časových

modelů optimalizačního typu. Velmi častým případem je využití kombinace výpočtových metod na též ložiskovém objektu podle míry poznání a osvojení.

Velký problém představují otázky klasifikace zásob, které jsou - jak už bylo uvedeno - celosvětově živě diskutovány. Ačkoliv principy klasifikace jsou dlouhodobě známy, existuje při praktickém řešení řada problémů. *Závažným nedostatkem je skutečnost, že dosud není respektována vazba na cíle průzkumných etap.* To vede k odlišnému chápání těchto kategorií zásob v různých etapách studia ložiska. *Pouze verbálně definované požadavky na kategorie prozkoumanosti.* Je však skutečností, že tento fakt se oproti posouzení ekonomické efektivity a využitelnosti ukazuje při vlastním využívání ložiska málo významným. Výmluvné poznatky vyplývají z porovnání mezinárodní klasifikace OSN s pojetím klasifikace uvedené v našem horním zákoně. (tabulka 12.1).

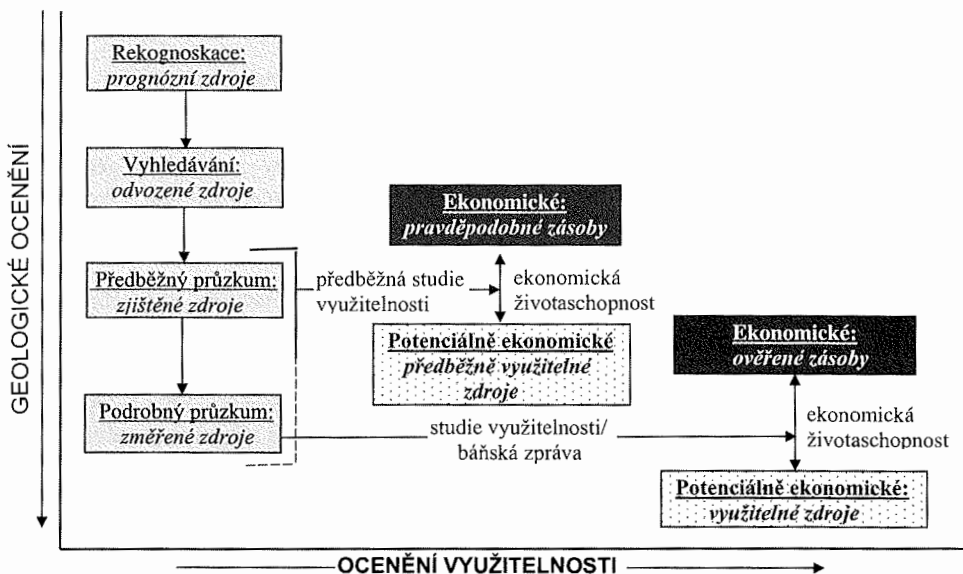
Tab. 12.1 Porovnání klasifikační hledisek mezinárodní a české klasifikace zásob a zdrojů pevných nerostných surovin

klasifikace OSN	míra shody	klasifikace ČR
geologická prozkoumanost	≡	geologická prozkoumanost
ekonomické třídění	≈	podmínky využitelnosti
posouzení využitelnosti	≠	přípustnost k dobývání

≡ přibližně shodné ≈ částečně shodné ≠ rozdílné

Mezinárodní směrnice kladou mnohem větší důraz na ekonomické třídění zásob a zdrojů a zejména na posuzování jejich využitelnosti.

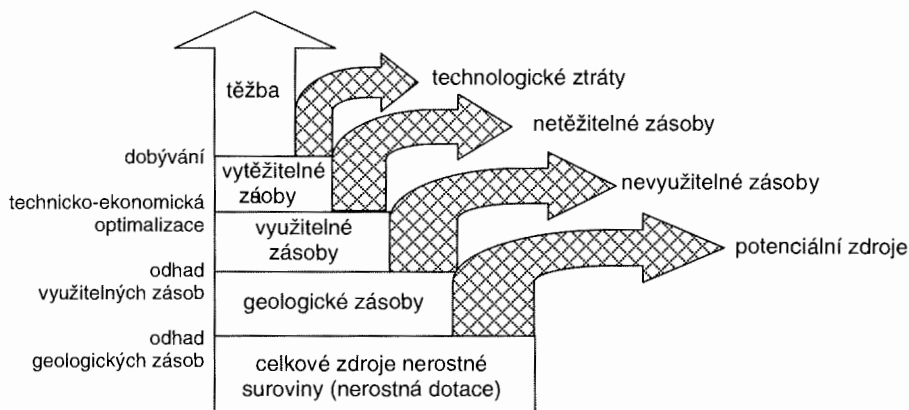
Úplný cyklus geologických prací a hodnocení získaných ložiskových výsledků z hlediska geologického ocenění a ocenění využitelnosti zjištěných akumulací nerostných surovin, který vyplývá z obecných zkušeností a který je ve své podstatě základem návrhu klasifikace a posuzování zdrojů a zásob nerostných surovin zpracovaného OSN, lze znázornit následujícím schématem (obr. 12.2).



Obr.12.2 Úplný cyklus geologických prací a hodnocení ložiskových výsledků podle OSN

Mnohokrát zdůrazňovanou nezbytnost sjednocení a standardizace posuzování zdrojů a zásob nerostných surovin lze dokreslit skutečností, že v současnosti ve světě existuje okolo 150 různých klasifikací (Vygon, 2002).

*Celková dotace nerostných surovin* v hodnocené oblasti (revír, provincie, stát, světadíl, Země je v zákoně č. 44/1988 Sb. ve znění dalších předpisů označována poněkud nešťastně jako „nerostné bohatství“. Toto označení totiž evokuje představu, že zahrnuté nerostné akumulace mají tržní hodnotu, že je lze směnit za peníze či jiné komodity (Pearce et al., 1992). To však zdaleka nemusí být pravda, nejsou-li tyto akumulace dostatečně velké a kvalitní, nebo pro lidskou společnost nepotřebné. Proto je mnohem případnější používat neutrální označení, jako např. „nerostná dotace“ (Zwartendyk, 1972), „zdrojová základna“ (Fettweis, 1975) nebo „celkové geologické výskyty“ (Schejbal, 1989). Po ocenění lze definovat *nerostné zdroje*, ze kterých se odvozují *geologické zásoby*. Velký problém představuje stanovení těch zásob, které jsou využitelné a nakonec prakticky vytěžitelné. Právě vymezení *vytěžitelných zásob* je velmi důležité, neboť ty jsou předmětem dobývání, úpravy, obchodování a zpracování. Mimo to právě podle nich by se měla posuzovat efektivnost geologických průzkumných prací.



Obr.12.3 Vzájemné vztahy mezi geologickými, využitelnými a vytěžitelnými zásobami a postupy jejich ocenění

Pochopení a respektování vztahů mezi uvedenými instituty a odhalení geologické podstaty ložiskových objektů je důležité. Pro ilustraci lze uvést příklad z ostravsko-karvinského revíru, kde v činných dolech činily vytěžitelné zásoby k 1.1.2001 pouze 13,7 % z geologických zásob.

*Hlavní trendy v hodnocení zdrojů a zásob nerostných surovin* lze shrnout do následujících bodů:

- 1) Základem moderního hodnocení zdrojů a zásob je modelování ložisek nerostných surovin založené na účelových databázích a počítačovém zpracování. Sběr a organizace dat do účelových databází je při své nezbytnosti velmi pracné a časově náročné. Podle Sinclaire (1999) může vyžadovat i více než 50 % celkové doby nutné pro realizaci výpočtu zásob.
- 2) Projevuje se sblížování, resp. sjednocování klasifikací zdrojů a zásob, neboť určující význam nerostných surovin vyžaduje analyzovat stupeň zajištěnosti spotřeby nejen



v regionálním, ale zejména globálním rozměru, což je nezbytným podkladem pro usměrňování průzkumných a těžebních aktivit.

- 3) Významným rysem současného pojetí je důraz na komplexní evidenci nerostného surovinového potenciálu, což úzce souvisí s přechodem od krátkodobých k dlouhodobým programům jako jedním ze základních globálních trendů.
- 4) Ve většině dosavadních klasifikací zásob se vyskytují vyjádření jako „známé se stanoveným stupně znalosti“, „stanovené s vysokou jistotou“, „odhadnuté s nízkým stupněm jistoty“ apod. Je zřejmé, že taková nepřesná konstatování lze interpretovat různě. Mohou sice být z řady důvodů pochopitelná geologické a hornické komunitě, ale mohou být různě chápána a interpretována finančníky, akcionáři, nebo i veřejností. Proto roste snaha o hodnocení spolehlivosti odhadů zdrojů a zásob, což se projevuje jednak v požadavcích na určování tolerancí chyb odhadů, jednak ve zvýšené pozornosti věnované zásobám ležícím na pokraji obyvatelnosti.
- 5) Důsledně se rozlišují zásoby geologické a zásoby dobytelné, které jsou odvozovány technicko-ekonomickými optimalizačními postupy. V této souvislosti je třeba uvést, že tzv. využitelné zásoby mají ve své podstatě pouze evidenční smysl, neboť jsou stanovovány stejnými postupy, jako zásoby geologické.
- 6) Velká pozornost se věnuje problematice cen nerostných surovin a obecně oceňování ložisek včetně způsobů ovlivňování jejich využívání pomocí daňových nástrojů.
- 7) Podmínkou hodnocení zdrojů a zásob nerostných surovin je zpracování jejich technicko-ekonomického hodnocení formou studií proveditelnosti (feasibility study).
- 8) Odhady zdrojů a zásob, studie proveditelnosti či báňskou zprávu a auditu zdrojů a zásob musí provádět kompetentní (oprávněná) osoba. U zpracovatelů i auditorů odhadů zdrojů a zásob se požaduje potřebné odborné vzdělání a praxe (např. podle SPE v případě zpracovatelů minimálně tříletá a v případě auditorů desetiletá).
- 9) Neoddělitelnou součástí výpočtu zásob je ohodnocení environmentálních dopadů využívání ohodnocených zásob ložisek nerostných surovin. V rámci hodnocení je třeba věnovat pozornost aplikovaným těžebním a úpravnickým technologiím z hlediska jejich bezpečnosti a stupně ovlivnění prostředí.

Za nejzávažnější metodologické změny, které proběhly už v 50. – 80. letech minulého století, lze považovat:

- rozpracování postupů založených na geostatistickém modelování ložiskových objektů;
- přechod na databázové systémy práce s daty;
- začlenění prostředků výpočetní techniky do celého procesu řešení.

Většina vyspělých států a nakonec i společná komise pod patronací OSN proto vypracovala kodexy hodnocení zdrojů a zásob nerostných surovin, které obsahují tzv. standardy popisu výsledků průzkumu a těžby a kategorizace zdrojů a zásob.

Moderní společnost zcela závisí na zdrojích a zásobách nerostných surovin, z nichž jsou zcela rozhodující zdroje energetické a vodní. Proto je jejich spolehlivé poznání a zejména odhad ověřených zásob otázkou prvořadě důležitosti.

**Příloha A**  
**Výběr programových produktů pro statistickou a geostatistickou analýzu dat**  
**(podle AI-Geostats 2005)**

software	platform	U	M	Mo	C	DK	OK	SK	UK	SI	IDW	MQ	NN	T	V	O	S	NE
Agromet	D		+	+	+		+											
DATAMINE	W/U			+	+		+	+			+		+				+	
ECOSE	W	+		+			+		+		+							
GeoEAS	D/U		+	+	+		+	+										
GeoOres	D										+				+	+		
GeoPack	D		+	+	+	+	+										+	
Geost.toolbox	D		+	+	+		+	+										
Geostat System	W	+		+			+			+								
Geostokos	D/W		+	+	+		+		+	+	+							
GMS	W/U						+		+		+			+	+		+	+
GMT	W													+	+			
GridStat	W/U		+	+	+		+			+								
GS+	W	+		+			+											
GSLIB	D/U		+	+	+		+	+		+							+	
GSTAT	D/W/U		+	+	+		+	+	+								+	
GVIZ	W	+		+			+			+								
Isatis	W/U		+	+	+	+	+	+		+								
Isomap	W						+										+	
Kriging Code	U						+											
KSTAT	D	+		+			+											
Lynx	W	+	+	+			?											
MacGeoPack	M	+		+			+				+						+	
OmniVar99	W	+		+														
PC Raster 1	D/U		+	+	+		+		+	+	+						+	
PC Raster 2	D/U		+	+	+		+		+	+	+						+	
RC2	U		+	+	+		?			+								
SAGE2001	W	+		+														
SAND	U			+	+		+			+							+	
SAS/STAT	W/U	+		+			+											
SGS	U						+	+		+								
SigmaView	U		+	+	+		+			+							+	
Spherekit	U	+		+			+				+	+		+				
Splus+SpatStat	W/U	+		+			+		+									
SSTAT	D	+		+			+				+							
Surfacell	M								+		+						+	
Surfer	W	+		+			+				+	+	+				+	+
UNCERT	U		+	+	+		+				+							
Vario96	D	+		+														
Variowin2.21	W			+	+													
UNCERT	U						+				+							
VESPER	W	+		+			+	+										
Visor	W	+		+														
3DField	W										+			+	+			

**Platforma:** D - DOS, W - Windows, U - Unix, M - Macintosh;

**Metody:** U - univariační statistika, M - multivariační statistiky, Mo - modelování variogramů, C - smíšená variografie, KD - disjunktivní krigování, OK - ordinární krigování, SK - základní krigování, UK - univerzální krigování, SI - geostatistická simulace, IDW - metody vážených inverzních vzdáleností, MQ - multikvadrátová metoda, NN - metoda nejbližšího okolí, T - trojúhelníková metoda, V - Voronoi/ Thiessenovy polygony, O - jiné, S - spliny, Ne - neuronové sítě

**Výběr programových produktů pro odhady zásob nerostných surovin**  
(s použitím podkladu Gibbse, 1990, upraveno a doplněno)

<b>PRODUKT</b>	<b>ECS MIN3D</b>	<b>DATA</b>	<b>Gem- com MINE</b>	<b>Geo- math</b>	<b>Vul- can</b>	<b>Lynx</b>	<b>Micro- mine</b>	<b>Min- com</b>	<b>Mine- soft</b>	<b>Min- tec</b>	<b>Sur- pac</b>	<b>Isatis</b>
<b>LOŽISKO</b>												
deskovité	ne	ano	ano	ano	ano	ano	ano	ano	ano	ano	ano	ano
vtroušené	ano	ano	ano	ano	ano	ano	ano	ano	ne	ano	ano	ano
žilné	ano	ano	ano	ano	ano	ano	ano	ano	ne	ne	ano	ano
DBMS	2	1	2	1	1	2	1	2	1	2	2	1
<b>MODEL</b>												
bloky 3D	ano	ano	ano	ano	ano	ano	ano	ano	ne	ano	ano	ano
grid	ano	ano	ano	ano	ano	ano	ano	ano	ano	ano	ano	ano
nepravid.	ano	ano	ne	ne	ano	ne	ne	ne	ne	ne	ne	ano
řezy	ano	ano	ano	ano	ano	ano	ano	ano	ne	ne	ano	ano
objemové	ano	ano	ne	ne	ne	ano	ne	ano	ne	ne	ne	ano
<b>METODA</b>												
polygony	ano	ano	ne	ano	ne	ne	ne	ano	ano	ano	ne	ano
ID	ano	ano	ano	ano	ano	ano	ano	ano	ano	ano	prům.	ano
geostatist.	ano	ano	ano	ano	ano	ano	ano	vario	ano	ano	ano	ano
trendová	ne	ano	ne	ano	ne	ne	ne	ano	ano	ano	ne	ne
trojúheln.	ne	ano	ne	ano	ano	ano	ne	ano	ne	ne	ano	ano
<b>GEOLOGIE</b>												
vrty	ne	ne	ne	ne	ano	ano	ne	ano	ne	ne	ano	ano
hranice	ano	ano	ano	ano	ano	ano	ano	ano	ano	ano	ano	ano
horniny	ano	ano	ano	ano	ano	ano	část.	ne	ano	ano	ano	ano
zlomy	ano	ano	ano	ano	ano	ano	ano	ano	ne	ano	ne	ano
překryvy	část.	ano	ano	ano	ano	ano	ano	ano	ne	ano	ano	ano
<b>GRAFIKA</b>												
vrty	ne	ne	ne	ano	ano	ano	ano	ano	ne	ne	ne	ano
obrazce	?	?	?	ano	ne	ne	ne	?	?	?	ano	ano
řezy	ano	ano	ano	ano	ano	ano	ano	ano	ano	ano	ano	ano
izolinie	ano	ano	ano	ano	ano	ano	ano	ano	ano	ano	ano	ano
3D plochy	ano	ano	ano	ano	ano	ano	ano	ano	ano	ano	ano	ano
<b>ZÁSoby</b>												
bloky	ano	ano	ano	ano	ano	ano	ano	ano	ano	ano	ano	ano
dílčí bloky	ne	ano	ano	ano	ano	ano	?	?	ne	ano	ano	ano
celkové	ano	ano	ano	ano	ano	ano	ano	ano	ne	ano	ano	ano

Databázový systém (DBMS): 1 – plné funkce; 2 – částečné funkce

## Příloha B

### POUŽITÉ ZKRATKY

AAPG	American Association of Petroleum Geologists, USA
CMMI	Council of Mining and Metallurgical Institutions
CRIRSCO	Combined Reserves International Reporting Standards Committee
EIA	Environmental Impact Assessment
EnTA	Environmental Technology Assessment
EMAS	Environmental Management and Audit System
GDMB	Gessellschaft für Bergbau, Metalurgie, Rohstoff und Umwelttechnik, Deutschland
IMM	Institution of Mining and Metalurgy, United Kingdom
IMRC	International Mineral Reserve Committee
JORG	Point Ore Reserve Committee, Australia
MHP ČR	Ministerstvo hospodářství a průmyslu, Česká republika
MŽP ČR	Ministerstvo životního prostředí, Česká republika
OBÚ	Obvodní báňský úřad
OKR	Ostravsko karvinský revír
SAMREG	South African Mineral Resource Committee, South Africa
SME	Society for Mining, Metalurgy and Exploration, USA
SPE	Society of Petroleum Engineers, USA
TSE/OSC	Toronto Stock Exchange and Ontario Securities Commission Task Force on Mining Standards
UN-ECE	United Nations Economic Commission for Europe
UNEP IE	United Nations Environmental Programme. Industry and Environment
UNFC	United Nations Framework Classification for Energy and Mineral Resources
USBM	United States Burelu of Mines, USA
USDE	United States Department of Energy, USA
USGS	United States Geological Survey, USA
WEC	World Energy Council
WPC	WorldPetroleum Congress

## **LITERATURA**

- A guide for reporting exploration information, mineral resources, and mineral reserves. - *Resources and reserves committee, Society for mining, metallurgy and exploration, Littleton, Colorado, 1999*
- A Guide to Oil Reserve and Resources. – Dostupné na <<http://archive.greenpeace.org/climate/arctic99/reports/oilreserve.html>>
- A Guide to Oil Reserve and Resources. – Dostupné na <<http://archive.greenpeace.org/climate/arctic99/reports/oilreserve.html>>
- Abbott, D.M.- Sandri, H.J.: Trends in Regulation of Mineral Deposit Valuation. –*SME Annual Meeting March 1-3, 1999, Denver, Colorado Preprint 99-29. Dostupné na <<http://www.mineralsappraisers.org/99-029.pdf>>*
- Agricola, G.: De re metallica libri duodecima. - 1556. *Český překlad „Dvanáct knih o hornictví a hutnictví, Praha, 1933*
- An overview of mineral resource assessment. - *RSI-Georesource, Spring/Summer 1996. Dostupné na <<http://www.resource-science.com/geores/96spsu.htm>>*
- Arik, A.: Comparison of Ressource Classification Methodologies With a New Approach. – *30th APCOM Symposium Proceedings, Phoenix, Arizona, 2002*
- Attanasi, E.D.- Coburn, T.C.: Uncertainty and Inferred Reserve Estimates – The 1995 National Assessment. – *U.S. Bulletin 2172 – G, Reston, Virginia, 2003*
- Auditing of exploration programmes. - *SRK Ltd., UK. Dostupné na <<http://www.srk.co.uk/serv/expminegeo/audit.html>>*
- Auditing Standards for Reserves. – *Society of Petroleum Engineers, Board of Directors meeting, June 2001*
- Böhmer, M. - Kužvart, M.: Vyhľadávanie a prieskum ložísk nerastných surovín. - *Slovenské pedagogické nakladateľstvo, 1993, Bratislava*
- Bednaříková, J.- Thon, A. (edit.): Naftový průmysl na území Československa. – *5. svazek knihovničky Zemního plynu a nafty, Hodonín, 1984*
- Bender, F., edit.: Angewandte Geowissenschaften. Band IV - Untersuchungsmethoden für Metall- und Nichtmetallrohstoffe, Kernenergierohstoffe, feste Brennstoffe und bituminöse Gesteine. - *Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart, 1986*
- Blackwell, G.: Relative Kriging Errors – A Basis for Mineral Resource Classification. – *Exploration and Mining Geology Journal, vol.7, No.4, 1998*
- Bliss, J. D. (edit.): Developments in Mineral Deposit Modelling. - *U.S. Geological Survey Bulletin 2004, 1992*
- BP Educational Service. – Dostupné na <<http://www.bpes.com>>
- Bourke, P.: Triangulate Efficient Triangulation Algorithm Suitable for Terrain Modelling or An Algorithm for Interpolating Irregularly-Spaced Data with Applications in Terrain Modelling. – 1989. Dostupné na <<http://astronomy.swin.edu.au/~pbourke/modelling/triangulate/>>
- Bugayets, A.N.- Hruška, J.- Schejbal, C.: Computer methods of regional assessment and prognostic reserves of ore deposits in the USSR and East European countries. -

- Symposium on computer-aided regional assessment and prediction of ore resources, Alma-Ata, Geoinform CMEA, Geofond Prague, 1985*
- Byrnes, T.: Definitions and Guidelines for Estimating and Classifying Oil and Gas Reserves. – *Petroleum Society of CIM Standing Committee on Reserves Definitions, Alberta Energy & Utilities Board, Calgary, 2002*
- Canadian Oil and Gas Evaluation Handbook (COGEH). - *Petroleum Society of the Canadian Institute of Mining, Metallurgy and Petroleum, Calgary. First Edition June 30, 2002*
- Carlier, H.: Contribution aux methodes d'estimation de gisements d'uranium. - *Paris, 1964*
- Clark, I. – Harper, W.V.: Practical Geostatistics 2000. – *Greyden Press, USA, 2000*
- Čillík, I.- Oguřčák, Š.: Metodika prieskumu rudných ložísk. - *ÚGÚ Praha, Bratislava, 1964*
- David, M.: Geostatistical Ore Reserve Estimation. – *Elsevier, Amsterdam, 1977*
- Diehl, P. - David, M.: Classification of ore reserves/resources based on geostatistical methods. - *CIM Bulletin, 75, 1982, 2838, s. 127-136.*
- Doležel, M.- Schejbal, C.: The uranium deposits in Horažďovice and Klatovy region. - *Folia Musei Rerum Naturalium Bohemiae Occidentalis, Západočeské museum, Plzeň, 1984*
- Doležel, M.: Způsob a problematika odpracování ložisek strážského bloku. - *In „Geologie a hydrometalurgie uranu,“ zvláštní číslo, pracovní seminář ČSÚP - VŠB Ostrava, vyd. OBIS při ÚL ČSÚP, Stráž p.Ralskem, roč. 7, 1983, 185-196*
- Dolton, G.L. – Crovelli, R.A.: Assessment Metodology for Deep Natural Gas Resources. – *U.S.Geological Survey Bulletin 2146-O, Washington, 1997*
- Dolton,G.L.- Crovelli, R.A.: Assessment Metodology for Deep Natural Gas Resources. –*U.S. Geological Survey Bulletin 2146-O Washington, 233-239, 1997*
- Domini, S. C. et al.: Estimation and Reporting of Mineral Resources for Coarse Gold-bearing Veins. - *Explor. Mining Geol., Vol. 9, No. 1, 13–42, 2000*
- Dopita, M.: K spolehlivosti geologických podkladů zpracovaných z výsledků průzkumných prací z povrchu v československé části hornoslezské černouhelné pánve. - *2.mezinárodní vědecká konference VŠB, sekce 5 Ložisková a průzkumná geologie, Ostrava, září 1980, 18*
- Duture Oil Production for the Alaska North Slope. – *U.S.Department of Energy, EOE/EIA-0627, Washington, 2001. Dostupné na <[http://www.eia.doe.gov/pub/oil\\_gas/petroleum/analysis\\_publications/future\\_production\\_ans/alaska.pdf](http://www.eia.doe.gov/pub/oil_gas/petroleum/analysis_publications/future_production_ans/alaska.pdf)>*
- Eisenthal, D.C.R.: Solid modelling. – *Dostupné na <<http://www.bath.as.uk/~ensdcre/trans/node19.html>>, 1998*
- Ellis, M.S. et al.: Evaluation of Economically Extractable Coal Resources in the Gillette Coal Field, Poder River Basin, Wyoming. – *USGS Open-File Report 02-180, 2002, U.S. Geological Survey, Denver. Dostupné na <<http://greenwood.cr.usgs.gov/energy/OF02-180/OF02-180.pdf>>*
- Ellis,T.R.- Abbott,D.M.-Sandri,H.J.: Trends in the regulation of mineral deposit valuation. – *SME Annual Meeting, March 1-3, 1999, Denver, Colorado, Preprint 99-29*
- Englund, K.J. et al.: Coal resource assessment in the United States. - *In First IASA conference on energy resources (edit. M. Grenon), Laxenburg Austria, 1975, 531-538.*

- Environmental impact assessment (EIA) services. - *SRK Ltd., UK. Dostupné na*  
<http://www.srk.co.uk/serv/envscience/envimpact.html>>
- Environmental risk assessment. – *American statistical association. Dostupné na*  
<http://www.amstat.org/careers/copss/risk.html>>
- Estimation of Mineral Resources and Mineral Reserves Best Practice Guidelines. – *Best Practice Committee's Report, CIM, Draft June 24 2002. – Dostupné na*  
[http://www.cim.org/committees/June\\_2002Draft.pdf](http://www.cim.org/committees/June_2002Draft.pdf)>
- Estimation of Mineral Resources and Mineral Reserves. Best Practice Guidelines. – 2002
- Estimation of Reserves and Resources. - *U.S. Crude Oil, Natural Gas, and Natural Gas Liquids Reserves, Annual Report, Appendix G. – Energy Information Administration, 2001, 127-130*
- European code for reporting of mineral exploration results, mineral resources and mineral reserves (The European Code). Consultation draft. - *Working group of IMM in conjunction with EFG and IGI, October 2000.*
- Fettweis, G.B.: Contributions to the assessment of world coal resources or coal is not so abundant. - *In First IASA conference on energy resources (edit. M. Grenon), Laxenburg, Austria, 1975, 467-530*
- François-Bongarçon, D.: Extension to the demonstration of Gy's formula. - *Exploration and mining geology, 1999, vol.7, no.1+2, 149-155*
- François-Bongarçon, D.: The practice of the sampling theory of broken ores. - *Canad. Inst. Min. Metall. Bulletin, 1993, 86(970), 75-81*
- Gentry, D. W.,- O'Neil, T. J.: Mine feasibility studies. - *In Hartman, H. L. ed., Mining Engineering Handbook; Society for Mining, Metallurgy and Exploration, 1992, 393-404.*
- Gentry, D.W.: Minerals project evaluation – an overview. – *Transactions of Institution of Mining and Metallurgy, sect.A – Mining Industry, vol. 97, 1988, A25 – A35*
- Gibbs, B.I.:Review of modeling techniques in commercial reserve evaluation software. – *XXII. APCOM, Proc., vol. II, 53-62, Berlin, 1990*
- Golightly, D.W.- Simon, F.O.: Sampling of Coal Beds for Analysis. Methods for Sampling and Inorganic Analysis of Coal.- *U.S. Geological Survey Bulletin 1823. Dostupné na*  
<http://pubs.usgs.gov/bul/b1823/01.htm>>
- Goovaerts, P.: Geostatistics for Natural Reserves Evaluation. – *Oxford University Press, New York, 1997*
- Grmela, A. – Krajča, J.: Základy hydrochemie. – *VŠB Ostrava, 1990*
- Grosse, H. – Diner, V.: Metodika zavedení systémů ekologického managementu a provedení ekologického auditu dle nařízení ES č.1836/93 a možnosti její aplikace v hornictví. – *In „Lidská společnost a nerostné surovinové zdroje: region Kašperské Hory“, edit. C.Schejbal, HGF VŠB-TU Ostrava,1997, 67-77*
- Gy, P.M.: Sampling of particulate materials. Theory and practice. - *Elsevier, Amsterdam, 1979*
- Hewlett, R.F.: Comparison of the Triangular, Polygonal and Statistical Method of Computing Grade and Tonnage of Ore for the Silver Bell Oxide Porphyry Copper Deposit. –

*Bureau of Mines Report of Investigations 7331, United States Department of the Interior, January 1970*

- Homola, V.I.: Výpočty zásob podzemních vod. – *Rekvalifikační postgraduální kurz 1989-1991, HGF VŠB Ostrava, 1991*
- Hoover, H.C.: Principles of Mining. – *McGraw-Hill Book Co., New York, 1909*
- Houlding, S.W.: 3D geosciences modelling: computer techniques for geological characteristics. – *Springer, Berlin, 1994*
- Hrádek, J.: Kategorizace geologických a báňsko-technických podmínek dobývání v uranovém průmyslu. – *Sborník konference Aktuální problémy hornictví, Malenovice, 1992, 172-173*
- Hydrocarbon Liquid, Produced Gas, Mud Gas, and Side Wall Core Sampling Procedures. – *Oil Tracers LLC, 1999-2005*
- Hydrocarbon Liquid, Produced Gas, Mud Gas, and Side Wall Core Sampling Procedures. – *Oil Tracers LLC, 1999-2005*
- Jahns, R.H.: Gem Materials. – *In Lefond, S.J. (edit) „Industrial Minerals and Rocks“, Fifth Edition, vol. I, American Institute of Mining, Metallurgical, and Petroleum Engineers, Inc., New York, 1983, 279-338*
- Janáček, J.: Konfrontace výsledků geologického průzkumu vrty z povrchu s výsledky důlní činnosti na Dole Paskov, k.p. – OKR. – *Sborník VII. Uhelně geologického semináře, Ostrava, 1981, 41-52*
- Joint CMMI/UNFC Definitions for mineral resources and reserves - Solid fuel and mineral commodities. – *Geneva, 1999.*
- Journel, A.- Huijbregts, C.J.: Mining geostatistics. – *Elsevier, Amsterdam, 1978.*
- Kampani, S.M.: Mine Evaluation constraints of Gredmstone Mining. – *Proc. of The Seventh International Symposium on Mine Planning and Equipment Selection 1998, Calgary, edit. Raj K. Singhal, Balkema, Rotterdam/Brookfield, 1998, 329-335*
- Kandel, P.: Reserve Estimation: Metodology, Definitions & Standards of Practice. – Presentation to U of C Petroleum Geology. – *Dostupné na <<http://www.ajma.net/pdfs/U%20of%20C%20Petroleum%20Geology%20577%20>*
- Karpíšek, J.: Ekonomická kategorizace geologických zásob ložiska z hlediska efektivnosti jejich využití. – *Sborník konference Aktuální problémy hornictví, Malenovice, 1992, 163-166*
- Keller, E. A.: Introduction to Environmental Geology.“ – *Pearson Education, Inc., Pearson Prentice Hall, 1995-2004. Dostupné na: <[http://wps.prenhall.com/esm\\_keller\\_introenvgeo\\_2/...html](http://wps.prenhall.com/esm_keller_introenvgeo_2/...html)*
- Kesler, S. E.: Mineral Resources, Economics and the Environment. – *New York, Macmillan, 1994*
- Krige, D. G.: Lognormal-de Wijsian Geostatistics for Ore Evaluation. – *South African Institute of Mining and Metalurgy, Johannesburg, 1978*
- Lacy, W.: An Introduction to Geology and Hard Rock Mining. – *Rocky Mountain Mineral Law Foundation, Science and Technology Series, 2005. Dostupné na <<http://www.rmmlf.org/SciTech/Lacy/lacy.htm>*



- Long, S.D.: Practical Duality Kontrol Procedures in Mineral Inventory Estimation. - *Exploration and Mining Geology Journal, Vol.7, Nos.4, 1998*
- Maljkovič, J.: Metodika prieskumu a výpočet zásob stopových a vzácných prvkov. - *2. mezinárodní vědecká konference VŠB, sekce 5 Ložisková a průzkumná geologie, Ostrava, září 1980, 17*
- Marek, J.: Orebody Delineation and Reserve Estimation- Seeking Common Sense from Extensive Investment in Fact. - *MassMin 2000, Brisbane, 2000*
- McKelvey, G.E.: Frontiers in exploration research – a philosophical overview. - *Nonrenewable Resources, vol.5, 1996, No.2, 85-90*
- McKelvey, V.V.: Mineral Resource Estimates and Public Policy. - *US Geological Survey Professional Paper 820, Washington D.C., 1973, 9-19*
- McNamara, T.: Ore Reserve Audits. - *Pincock Perspectives, Pincock, Allen and Holt, Issue No.44, Colorado, July 2003*
- Merks, J.W. – Merks, E.A.T.: Precision Estimates for Ore Reserves. - *Erzmetal , 44, Nr. 10, 1991, 498-503*
- Müller, K.- Hofrichterová, L.: Použití geofyzikálních metod v geologickém průzkumu. - *ES VŠB Ostrava, 1979*
- Müller, K.- Hofrichterová, L.: Současný stav a další možnosti využívání geofyzikálních metod v etapách podrobného a těžebního průzkumu. - *3. mezinárodní vědecká konference, sborník sekce 6 „Metodika a optimalizace podrobného a těžebního ložiskového průzkumu“, VŠB Ostrava, 1985, 17-23*
- Mustermappe. - *Ruhrkohle Westfalen AG, 1990*
- Nářízení vlády Československé socialistické republiky č. 80/1988 o stanovení kondic, klasifikaci zásob výhradních ložisek a o posuzování, schvalování a státní expertize jejich výpočtů.
- Noble, A.C.: Geologic Resources Vs. Ore Reserves. - *Mining Engineering, February 1993, 173-178*
- Oil and Gas Reserve Definitions. - *Society of Petroleum Evaluation Engineers, 1997*  
Dostupné na < <http://www.spee.org/resrvdef.htm> >
- Pearce, D.W. et al.: MacMillanův slovník moderní ekonomie. - *Victoria Publishing, Praha, 1992*
- Pearson, K.: Contribution to the Mathematical Theory of Evaluation. - *Philosophical Transactions of Royal Society, London, 185 A, 1894, 71-110*
- Peschier, J.: Characterisation of Topographic Surfaces on a Triangulated Irregular Network. - *Online papers: Statistics & Geostatistics, AI-Geostats. Dostupné na <[http://curie.ei.jrc.it/biblio/online\\_sta.htm](http://curie.ei.jrc.it/biblio/online_sta.htm)>*
- Peters, W.C.: Exploration and Mining Geology, 2nd edition. - *Wiley and sons, New York, 1987*
- Phalaborwa. Geology of mine. - *Friends of the Biosphere. 2005. Dostupné na <[Krueger2Canyons.com](http://Krueger2Canyons.com)>*
- Pincock, A. – Holt, L.L. - Mark, G. S.: Technical Report for the San Martín de Bolaños Silver Mine, State of Jalisco, México. - *First Silver Reserve Inc., 2005*

- Pinto, V. - Cases, A.: An interactive 2D and 3D gravity modeling program for IBM-compatible personal computers. - *Computers and Geosciences*, 1996, vol.,22, no.5, 535-546
- Plays and Resources in the North Sea. Oil and Gas Exploration in the North Sea. – *Geologi, Nyt Fra Geus*, Nr. 2&3, Oktober 1996, 6-13
- Pluskal, O.: Pohled na současný stav hornické a geologické legislativy ve vztahu ke kategorizaci geologických a báňsko-technických podmínek dobývání. – *Sborník konference Aktuální problémy hornictví, Malenovice, 1992, 158-159*
- Rahman, A.A.: Design and Evaluation of TIN Interpolation Algorithms. – *Online papers: Statistics & Geostatistics, AI-Geostats. Dostupné na <[http://curie.ei.jrc.it/biblio/online\\_sta.htm](http://curie.ei.jrc.it/biblio/online_sta.htm)>*
- Rao, C.F.R.: Advanced Statistical Methods in Biometric Research. – *Hafner Publications, Darrien, 1970*
- Rendu, J. M.: An Introduction to Geostatistical Methods of Mineral Evaluation. – *South African Institute of Mining and Metallurgy, Johannesburg, 1978*
- Rendu, J.M. – Miskelly, N.: Mineral Resources and Mineral Reserves. Progress On International Definitions And Reporting Standards. – *Dostupné na <[http://www.JMR\\_NM](http://www.JMR_NM) 9 Nov 2001.doc>*
- Rendu, J.M.: International Aspects of Ressource and Resewerve Reporting Standards. – *The Codes Forum, Sydney, 2000 <Reserves%20Definitions%20SEMINAR.pdf>*
- Riddler, G.P. - Miskelly, N.: An international reporting standard for mineral resources and reserves - an odyssey nears its end. - Mineral resource evaluation into the 21st century, MRE 21 - *Annels meeting, Proc., ed. S.C.Dominy, Cardiff University, Cardiff, UK, 2000*
- Rivoirard, J.: Introduction to Disjunctive Kriging and Non-linear Geostatistics. – *Clarendon Press, Oxford, 1994*
- Schejbal, C. - Boháč, Z. – Gavlovský, L.: Separace smíšených souborů v matematicko-statistických modelech geologických veličin. – *Symposium Hornická Příbram ve vědě a technice, Sborník Matematické metody v geologii, 1977, 785-798*
- Schejbal, C. - Boháč, Z.: Databáze v geovědách. - *Sborník vědeckých prací Vysoké školy báňské – Technické univerzity Ostrava, řada hornicko--geologická, ročník XLIV, 1998, 2, 9-13*
- Schejbal, C.- Dopita, M.: Methodology of the Reserves Estimation of Coal Deposits. – *The Mine Surveying in the Socialist Countries, vol.10, 201-210, 1986*
- Schejbal, C. et al.: Automatizovaný systém pro rychlé hodnocení uhelných ložisek s použitím univerzálního systému zobrazení hornin, přechodných hornin a uhlí. – *Sborník vědeckých prací Vysoké školy báňské – Technické univerzity Ostrava, řada hornicko--geologická, ročník XLIX, 2003, Monografie 9, 162 s. ISBN 80-248-0401-8, ISSN 0474-8476*
- Schejbal, C.- Güttner, S.: Alternativní vyhodnocení zásob prožilkově-impregnačního zrudnění na ložisku Hodruša - Hamre pomocí geostatistických postupů. - *MS, VŠB Ostrava, 1990*
- Schejbal, C. – Homola, Vl. – Staněk, Fr.: Geoinformatika. – *PONT, Košice, 2004*

- Schejbal, C.- Schejbalová, J.: Optimalizace průzkumného systému v československé části hornoslezské pánve. - *MS, VŠB Ostrava, 1987.*
- Schejbal, C.- Sivek, M. – Tojšl, K.: Rozvoj metodologie výpočtu zásob z hlediska požadavků podrobného a těžebního průzkumu. - *3.mezinárodní vědecká konference VŠB, Ostrava, 1985, 94-100*
- Schejbal, C.: Analýza hodnověrnosti výpočtu zásob nerostných surovin a porovnání s výsledky těžby. – *Acta Montanistica Slovaca, 1997, 2,137-144*
- Schejbal, C.: Analýza interpolačních a extrapoláčních postupů v OKR. – *MS VŠB Ostrava,1982*
- Schejbal, C.: Aplikace metodických pokynů KKZ pro posuzování přesnosti a spolehlivosti výpočtů zásob ložisek pevných nerostných surovin v podmínkách OKR. – *MS VŠB Ostrava, 1983-1984*
- Schejbal, C.: Aplikovaná geostatistika I, II, III. - *ČSUP Příbram, 1983, 1985,1987*
- Schejbal, C.: Contribution to the Metodology for Reserves Estimations of Highly Variable Ore Mineralizations. – *Sborník vědeckých prací Vysoké školy báňské Ostravě, roč. XXXIX, řada hornicko-geologická, 1993, 1, 1-10*
- Schejbal, C.: Geologicko-ekonomické hodnocení ložisek nerostných surovin a problematika určování kondic. - *ČSUP Příbram, 1989*
- Schejbal, C.: K hodnověrnosti a přesnosti výpočtu a kategorizaci zásob ložisek pevných nerostných surovin. -*Geologický průzkum, 1982, 12, s. 344-347.*
- Schejbal, C.: K některým metodickým nedostatkům výpočtu zásob uhelných ložisek. – *Uhlí, 32, 1984, 1, 15-19*
- Schejbal, C.: Matematické metody a postupy ložiskového průzkumu. – *Sborník vědeckých prací Vysoké školy báňské – Technické univerzity Ostrava, řada hornicko-geologická, Monografie 5, XLVII, 2001, 222 str.*
- Schejbal, C.: Methodology of Geological Exploration and Mineral Reserves Estimation. – *MS VŠB-TU Ostrava, 2004*
- Schejbal, C.: Methodology of prognostic reserves assessment in ore districts (Czechoslovakia). - *Proc. of the Intern. Colloquim „Computers in Earth sciences for natural reserves characterization“, 1984, Nancy, France, 132-141*
- Schejbal, C.: Metodika odhadu prognózních zásob rudního revíru nas příkladu oblasti Horního Města u Rýmařova na severní Moravě. - *In Sborník „Symposium Hornická Příbram ve vědě a technice. Sekce Matem. metody v geologii“, Příbram, 1983, 342-359*
- Schejbal, C.: Metodologie a systémové pojetí výpočtu zásob ložisek pevných nerostných surovin. - *Geologický průzkum, 8-9/1982, 236-238*
- Schejbal, C.: Metodologie geologického průzkumu. – *Vienala, Košice, 2003, 245 str.*
- Schejbal, C.: Metodologie podrobného a těžebního průzkumu. - *3. mezinárodní vědecká konference VŠB, Sborník sekce „Metodika a optimalizace podrobného a těžebního ložiskového průzkumu, Ostrava, 1985, 6-11*
- Schejbal, C.: Principy klasifikace zdrojů a zásob nerostných surovin. – *In „Zdroje a Zásoby nerostných surovin“, VŠB Ostrava, 1989, 8-14*

- Schejbal, C.: Problematika hodnocení zdrojů a zásob ložisek nerostných surovin. – *Sborník konference Aktuální problémy hornictví, Malenovice, 1992, 159-161*
- Schejbal, C.: Problematika výpočtu a klasifikace zásob a zdrojů pevných nerostných surovin. – *In Sborník vědeckých prací Vysoké školy báňské – Technické univerzity Ostrava, řada hornicko--geologická, ročník XLIX, 2003, Monografie 9, 139-161. ISBN 80-248-0401-8, ISSN 0474-8476*
- Schejbal, C.: Strukturální analýza – základ moderního výpočtu zásob ložisek pevných nerostných surovin. – *Geologický průzkum, 6/1983, 173-175*
- Schejbal, C.: Strukturální analýza prostorových proměnných veličin jako základ modelování geologických těles. I. Část: Definice strukturální analýzy a její teoretické modely. – *Geologie a hydrometalurgie uranu, roč. 7, 1983, 3-30*
- Schejbal, C.: Strukturální analýza prostorových proměnných veličin jako základ modelování geologických těles. II. Část: Interpretační problémy strukturální analýzy. – *Geologie a hydrometalurgie uranu, roč. 7, 1983, 3-31*
- Schejbal, C.: Studium vlivu statistické distribuce, počtu pozorování a vztahů veličin na výpočet zásob v OKR. – *MS VŠB Ostrava, 1980*
- Schejbal, C.: The Geostatistical Analysis of Coal Seams in the Ostrava-Karvina Field (the Czech Republic). – *3rd CODATA conference on Geomathematics and Geostatistics (edit. A.G.Fabbri et J.J.Royer), Sci. De la Terre, Ser. Inf. Nancy, 1994, 32, 341-351*
- Schejbal, C.: The Statistical and Geostatistical Analyse of the Highly Variable Au Ore Deposit of Suchá Rudná in the Jeseníky Mountains. – *Proceedings IX. Congress ISM, Praha 18.4. – 22.4. 1994, 562-567*
- Schejbal, C.: Typologie ložisek nerostných surovin a modelování prostorových proměnných veličin. – *MS HGF VŠB Ostrava, 1985*
- Schejbal, C.: Význam vzorkování pro hodnocení vlastností nerostných surovin. – *Proc. Intern. Conf. „Environment and mineral processing“, VŠB Ostrava, 1994*
- Sinclair, A.J.: Applied Mineral Inventory Estimation. – *Queen's University Ontario, 2002*
- Sinclair, A.J.: Exploratory Data Analysis: A Precursor to Resource/Reserve Estimation. – *Canadian Institute of Mining, Metallurgy and Petroleum, 1999*
- Sinclair, A.J.: Geological Controls in Resource/Reserve Estimation. – *Exploration and Mining Geology Journal, vol. 7, Nos. 1&2 (January and April), 1998*
- Sivek, M.: Hlavní směry současného vývoje teorie hodnocení zásob ložisek nerostných surovin. – *Sborník vědeckých prací Vysoké školy báňské – Technické univerzity Ostrava, řada hornicko--geologická, ročník XLIV, 1998, číslo 2, 129-133.*
- Sivek, M, et al.: Atlas chemicko-technologických vlastností uhlí české části hornoslezské pánve. – *Sborník vědeckých prací Vysoké školy báňské – Technické univerzity Ostrava, řada hornicko--geologická, ročník XLIX, 2003, Monografie 11. ISBN 80-248-0401-7,*
- Staněk, F.: Vliv výběru interpolační metody na přesnost výpočtu zásob uhelného ložiska. – *Bulletin of Czech Geological Survey, ČGÚ Praha, 1999, 74. 2. s. 211-213.*
- Staněk, F.: Tvorba modelu ložiska uhlí a způsoby jeho hodnocení. – *Sborník vědeckých prací Vysoké školy báňské – Technické univerzity Ostrava, řada hornicko--geologická, ročník LI, 2005, Monografie 14. ISBN 80-248-0401-8, ISSN 0474-8476*

- Stanton, R. W.: Sampling of Coal Beds for Analysis. – *Methods for Sampling and Inorganic Analysis of Coal*. Edit. D.W. Golightly a F.O. Simon. U.S. Geological Survey Bulletin 1823. Dostupné na <<http://energy.er.usgs.com/products/papers/B1823>>
- Stanton, R.W.: Sampling of Coal Beds for Analysis. – In „*Methods for Sampling and Inorganic Analysis of Coal*“ (edit. D.W.Golightly a F.O.Simon). USGS Bulletin 1823, 2003. Dostupné na <<http://pubs.usgs.gov/bul/b1823/01.htm>>
- Stoček, B.: Důlní geologie.- NČSAV Praha, 1954
- The ABC's of the North Sea. Oil and Gas Exploration in the North Sea. – *Geologi, Nyt Fra Geus*, Nr. 2&3, Oktober 1996, 4-5
- Truscott, S.J.: Mine Economics- - *Mining Publications Ltd., London, 1947*
- United Nations international framework classification for reserves/resources. Solid fuel and mineral commodities - executive summary. - *United nations, Economic commission for Europe, Committee for energy, Working party on coal. Seventh session, 3-5 November 1997, Geneva.*
- Ušakov, I.N.: Geometrie nerostných ložisek. – *SNTL Praha, 1955*
- Vallée, M.: Sampling Duality Kontrol. – *Exploration and Mining Geology Journal, Vol.7, Nos.4, 1998*
- Vygon, G.: Which oil & gas reserve classification is acceptable for Russia ? – *Institute for Financial Studies, weekly topic. (095) 795-0366, September 30, 2002*
- Vyhláška o geologické dokumentaci. – *Vyhláška MŽP č. 368/2004 Sb.*
- Vyhláška o projektování, provádění a vyhodnocování geologických prací, oznamování rizikových geofaktorů a o postupu při výpočtu zásob výhradních ložisek. – *Vyhláška MŽP č. 369/2004 Sb.*
- Wellmer, F.W.: Klassifikation von Lagerstättenvorräten mit Hilfe der Geostatistik. - *Schriftenreihe der GDMB, Verlag Chemie, Weinheim, 1983, Heft 39, s. 9-43.*
- Wiltshire, J.: Future Prospects for the Marine Mineral Industry. – *Artikle Reprint, Underwater Magazine, May/June 2001*
- Wood, G.H., et al.: Coal Ressource Classification System of the U.S. Geological Survey. – *Geological Survey Circular 891*
- Words on Mineral Assessment. Ressource classification, Metod of mineral ressource assessment, economic analysis of deposits in Hungary. – *Hungarian Geological Survey, 2002. Dostupné na <[http://mgsz.hu/english/mineral/mineral\\_2.html](http://mgsz.hu/english/mineral/mineral_2.html)>*
- Zákon č. 439/1992 Sb. Úplné znění zákona 44/1988 o ochraně a využití nerostného bohatství
- Zákon ČNR č. 244/1992 Sb. o posuzování vlivů na životní prostředí
- Zákon o geologických pracích a Českém geologickém úřadu č. 62/1988 Sb., ve znění pozdějších zákonů.- *MŽP ČR*
- Zásady pro provádění technologických prací při průzkumu ložisek uhlí. - *GR koncernu SHD Most, 1978*
- Zwartendyk, J.: Resource Classification and Terminology. – In „*Evaluation of Uranium Resources*“, IAEA, Vinna, 1979, 23-37

- Zwartendyk, J.: What is Mineral Endowment and How Should We Measure It ? – Mineral Bulletin MR126, Ottawa. Canadian Department of Energy, Mines and Resources, 1972
- Альбов, М. Н. – Быбочкин, А. М.: Рудничная геология. - *Недра, Москва, 1973*
- Атякин, А. К.: Опробование полезных ископаемых при бурении скважин. - *Недра, Москва, 1968*
- Веселов, В. В. – Сергийко, Ю. А.: О формальной схеме подсчета запасов геологических объектов. – *Тезисы семинара Применение математических методов и ЭВМ в геологии, Алма Ата, 1974, 72-74*
- Вилесов, Г. И. и др.: Методика геометризации меторождений. – *Недра, Москва, 1973*
- Каждан, А. Б.: Принципы классификации запасов твердых полезных ископаемых. - *Советская геология, 1980, 1, 10-20*
- Крейтер, В. М.: Поиски и разведка меторождений полезных ископаемых. - *Недра, Москва, 1969*
- Крейтер, В.М.: Поиски и разведка месторождений полезных ископаемых I.П. – *Госгеолтехиздат, Москва, 1960-61*
- Кузьмин, В. И.: Геометризация и подсчет запасов месторождений твердых полезных ископаемых. - *Недра, Москва, 1967*
- Кузьмин, В. И.: Геометризация и подсчет запасов меторождений твердых полезных ископаемых. – *Недра, Москва, 1967*
- Марголин, Д.М.: Оценка запасов минерального сырья. Математические методы. - *Недра, Москва, 1974*
- Мелик-Пашаев, В. С. (ред.): Вопросы геологии нефтяных и газовых меторождений. – *Гостоптехиздат, Москва, 1957*
- Миронов, К. В.: Разведка и геолого-промышленная оценка угольных меторождений. - *Недра, Москва, 1977*
- Петров, Г. И. и др.: Методы геолого-геофизического обслуживания урановых рудников. – *Атомиздат, Москва, 1960*
- Пухальский, Л. Ч. – Шумилин, М. В.: Разведка и опробование урановых меторождений. - *Недра, Москва, 1977*
- Смирнов, В.И., и др.: Подсчет запасов месторождений полезных ископаемых. – *Госгеолтехиздат, Москва, 1960*
- Соболевский, П.К.: Современное маркшейдерское искусство как методология для решения основных задач горного искусства. – *Труды I, Всесоюзного горного научн.-техн. съезда, вып. VII, 1928*
- Четвериков, Л. И.: Теоретические основы разведки недр. - *Недра, Москва, 1984*
- Шумилин, М. В. – Викентьев, В. А.: Подсчет запасов урановых месторождений. - *Недра, Москва, 1982*
- Шурыгин, А. М.: Оценка параметров при статистической обработке результатов спектральных анализов. – *Журнал прикладной спектроскопии, 14, 1971, 6, 978-985*

**Ctírad Schejbal**  
**VÝPOČET ZÁSOB LOŽISEK NEROSTNÝCH SUROVIN**

Obálka a grafická úprava: Ctírad Schejbal  
Sazba: Pavla Starovičová – MONTANEX  
Vydalo vydavatelství MONTANEX, a. s., Výstavní 10,  
709 00 Ostrava-Mariánské Hory v roce 2005 jako svou 320. publikaci  
Tisk: Printo, spol. s r. o., Ostrava-Poruba

[www.montanex.cz](http://www.montanex.cz)  
[www.vsechnyknihy.cz](http://www.vsechnyknihy.cz)