

Návrh certifikované metodiky pro návrh vhodných těžebních metod a technologií na základě výstupů z WP3-8

**Návrh je výsledkem řešení projektu Centrum kompetence efektivní a
ekologické těžby nerostných surovin TE02000029**

Prof. Ing. Vlastimil Hudeček, CSc.

Doc. Ing. Jindřich Šancer, Ph. D.

Ing. Václav Zubíček, Ph. D.

VŠB-TU Ostrava

2019

Obsah

1. Úvod	3
2. Výchozí kritéria návrhu.....	4
2.1 Dobývací metody s volným vyrubaným prostorem	4
2.1.1 Ploše a polostrmě uložená ložiska	5
2.1.2 Strmě uložená ložiska	6
2.2 Dobývání na skládku (s přechodným skladováním rubaniny ve vyrubaném prostoru)	8
2.3 Dobývací metody se zakládkou	9
2.4 Dobývání na zával.....	10
2.4.1 Ploše a polostrmě uložená ložiska	10
2.4.2 Strmě uložená ložiska	10
2.5 Dobývací metody s vyztužováním vyrubaného prostoru	11
2.6 Metody výběru vhodné dobývací metody	12
3. Výběr vhodné dobývací metody pro konkrétní podmínky.....	13
3.1 Výběr vhodné dobývací metody metodikou dle Hartmanna	13
3.2 Výběr vhodné dobývací metody metodikou UBC (University of British Columbia)	15
4. Popis nově navrhované metodiky	18
4.1 Vstupní data – hodnotící kritéria	18
4.1.1 Geologické parametry	19
4.1.2 Geomechanické parametry	20
4.1.3 Parametry ovlivňující vliv dobývání na povrch.....	20
4.2 Hodnocené dobývací metody.....	21
4.3 Popis aplikace MS Excel.....	21
5. Ekonomické aspekty.....	23
6. Popis uplatnění Certifikované metodiky	23
Reference:	24

1. Úvod

Hlavním cílem metodiky je zpracování postupu návrhu vhodných dobývacích metod a technologií vhodných pro těžení zásob kritických surovin s minimálními dopady na životní prostředí a s ohledem na ekonomiku.

Pro každé nově objevené ložisko je na základě dat získaných z Inženýrsko-geologického průzkumu nutné navrhnout vhodnou dobývací metodu, tak aby bylo ložisko pokud možno co nejhospodárněji, efektivně a bezpečně vydobyto. Základním problémem je, že v rámci ČR absentuje jednotná a moderním metodám odpovídající metodika pro výběr vhodných dobývacích metod.

V rámci projektu jsou řešeny lokality, které již zpravidla byly v minulosti těženy, proto mají zpracovány projekty dobývacích metod, které byly na daných ložiscích využívány. Příkladem je směrné sestupkové dobývání v lávkách na zával (ložisko grafitu Český Krumlov), metody komora-pilíř s plavenou základkou, diagonální stěnování s plavenou základkou a komora s betonovými pilíři (ložisko Cínovec), sestupkové lávkování na zával pod umělým stropem (Dolní Rožínka, Brzkov), lomové dobývání (zátinkování, komorování, lávkování, ložisko kaolínu Jimlíkov – viz obr. 1).



Obr.1 Příklad povrchového dobývání kaolínu lávkováním

Přesto bylo jedním z cílů projektu ověřit vhodnost v minulosti používaných metod a případně navrhnout novou efektivnější dobývací metodu. Z tohoto důvodu bylo rozhodnuto navrhnout certifikovanou metodiku pro návrh vhodných těžebních metod a technologií.

2. Výchozí kritéria návrhu

V rámci řešení projektu byla provedena jak rešerše báňsko – technických podmínek vybraných ložisek kritických nerostných surovin v Českých i evropských dolech, tak rešerše dostupných materiálů k dobývacím metodám, případně metodikám výběru vhodných dobývacích metod.

Vzhledem k velké variabilitě úložních parametrů rudných ložisek určujících postup při jejich dobývání, existuje v současné době celá řada rudných dobývacích metod, které jsou popsány a dokumentovány ve světové odborné literatuře.

Tento velký počet dobývacích způsobů (řádově stovky) je možné zatřídit pomocí různých klasifikací. Systémy klasifikací se však podle různých autorů mezi sebou liší rozdílnými hodnotícími kritérii. Například některé klasifikace zatřídí dobývací metody podle způsobu vyztužování vydobytých prostor nebo směru dobývání rudy (výstupky a sestupky, nakloněnými nebo horizontálními pásy), jindy byla kritériem posloupnost dobývání pater, způsob dopravy rudy z dobovek atd.

V současné době se především v bývalém „východním bloku“ (tedy i ČR) používá klasifikace hlubinných metod dobývání rudných ložisek podle N. I. Agoškova. Ta třídí dobývací metody rudných ložisek do šesti tříd podle způsobu vyplnění vydobytého prostoru na:

- ✘ **s volným vyrubaným prostorem**, kde se vydobytý prostor ani nezakládá, ani nezavaluje, ani soustavně nepodpírá výztuží,
- ✘ **se skládkou**, neboli do zásoby, kde se vydobytý prostor udržuje dočasně rozpojeným užitkovým nerostem,
- ✘ **se zakládkou**, u nichž se vydobytý prostor vyplňuje zakládkovým materiálem,
- ✘ **na zával** u nichž se nechává vyrubaný prostor zavalit nadložními horninami,
- ✘ **s vyztužením vyrubaného prostoru**, kde se ihned po rozpojení a odtěžení rudy staví výztuž,
- ✘ **kombinované**, u nichž jsou vyvinuty nejméně dva klasifikační prvky předchozích tříd.

2.1 Dobývací metody s volným vyrubaným prostorem

Charakteristickým znakem těchto dobývacích metod je skutečnost, že po vydobytí bloku zůstává vyrubaný prostor volný a nezaplňuje se ani rubaninou, ani zakládkou. Strop vzniklého volného prostoru se nepodpírá výztuží, popřípadě se jen provizorně podpírá dřevěnou výztuží,

kteřá slouží spíše jako výztuž pracovní. Strop může být zpevňován svorníkovou výztuží a je nesen ponechanými horninovými pilíři. Při dobývání cenných rud, kde se vyžaduje vysoká výrubnost, mohou být tyto pilíře budovány jako umělé (dřevěné hráně, prefabrikáty, pilíře vytvářené základovým materiálem s přísadou cementu apod.)

Podmínky pro použití:

- a) pevná rudná výplň,
- b) pevné průvodní horniny, hlavně nadložní.

Tyto dobývací metody je možno použít u ložisek od malé mocnosti (nad 0,8 m) až po ložiska velmi mocná bez ohledu na jejich úklon. Přípravné práce záleží v ražení rozrážek a chodeb, jimiž se ložisko rozdělí na dobývací pruhy nebo bloky. Široká porubní fronta postupuje na celém úseku připraveném k dobývání těžní chodbou. K udržování vyrubaného prostoru se používá nejčastěji pravidelně nebo nepravidelně rozmístěných pilířů s chudou rudou nebo hlušinou. V malých mocnostech a při středních úklonech se pro odtěžení nejčastěji používá nejčastěji škrabáků, u větších mocností nakladačů a kolových přepravníků.

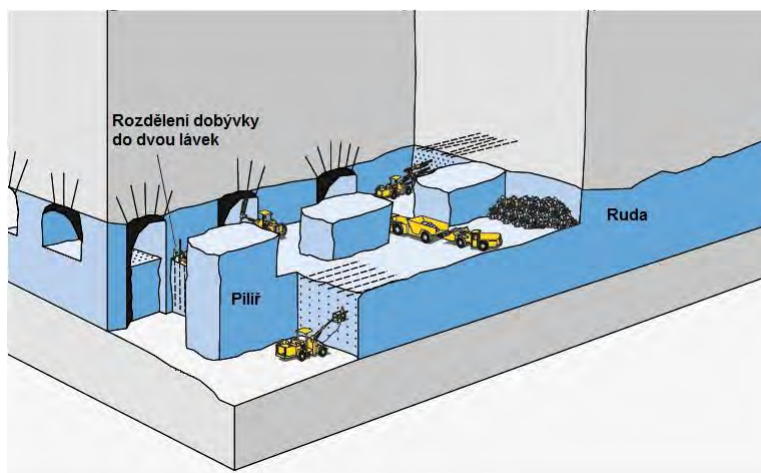
2.1.1 Ploše a polostrmě uložená ložiska

Základní dobývací metodou je zde souvislé dobývání s pravidelně vedenou čelbou. V menších mocnostech se rozpojování provádí trhací práci a odtěžení škrabákem. Ve středních mocnostech lze čelbu odvrtnat krátkými horizontálními vrty, ve větších pak středně dlouhými vrtanými dovrchně nebo úpadně. Odtěžení je prováděno nejčastěji kolovými nakladači.

V současné době je pravděpodobně nejčastěji nasazovanou dobývací metodou metoda komora-pilíř, která může mít řadu obměn a modifikací. Mohou být vytvářeny souvislé pilíře nebo pilíře přerušované čtvercového, obdélníkového někdy i kruhového průřezu, případně mohou být i umělé. Dobývání může být vedeno dovrchně, úpadně, směrně i diagonálně.

Při větších úklonech (30-45°), kdy ještě nelze použít pro odtěžení z dobývky samospádu a zároveň je silně omezen výběr vhodných mechanizačních prostředků pro tuto činnost, lze aplikovat metodu dobývání s odsunem rudy odpalem.

Příkladem klasické metody komora pilíř v plochem uložení s pravidelnými čtvercovými pilíři je uveden na obr 2.

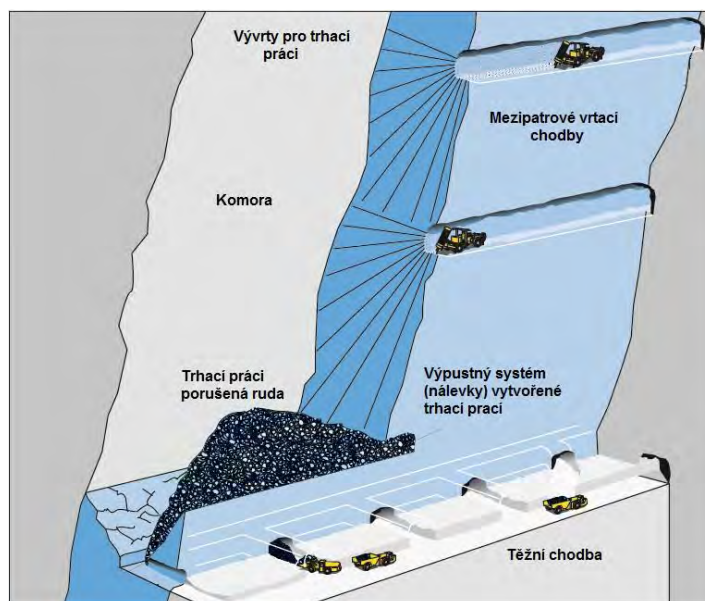


Obr. 2 Metoda komora pilíř

2.1.2 Strmě uložená ložiska

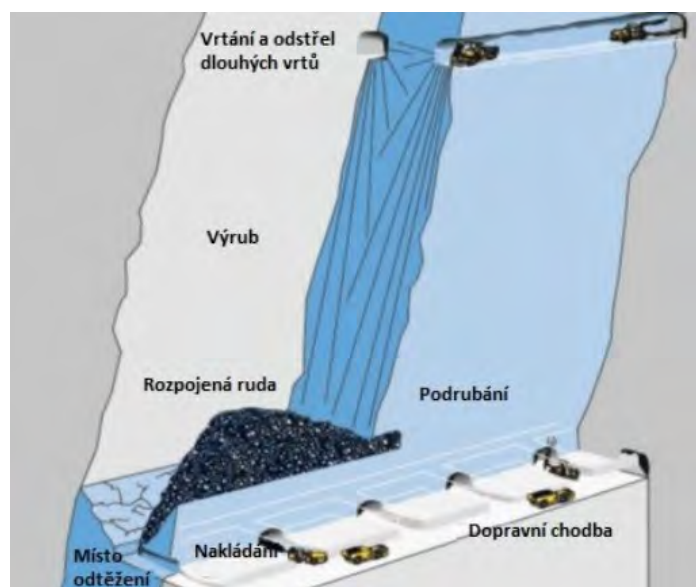
U strmě uložených ložisek (nad 50°) se mohou používat dvě hlavní metody, a to sestupkové a výstupkové dobývání. Sestupkové dobývání se v současné době prakticky využívá velmi omezeně, daleko větší význam má metoda výstupkového dobývání, kdy se může využívat gravitace pro odtěžení rozpojeného materiálu. U této metody dobývání postupuje vzestupně od těžního patra k patru výdušnému.

V současné době je nejpoužívanější dobývací metodou dobývání otevřenou komorou z mezipatrových chodeb, kterou ilustruje obrázek 3. Z obrázku je patrné i typické vrtné schéma. Délka vrtů v tomto případě zpravidla nepřesahuje 30 m.



Obr. 3 Dobývací metoda otevřenou komorou z mezipatrových chodeb

Alternativní metodou je dobývání patrovou otevřenou komorou, které se od předchozího případu liší pouze tím, že vrty jsou vrtány na celou výšku komory (výšku patra). Odpadá tak nutnost ražení mezipatrových chodeb. Úspěch této alternativní metody je úzce spjat především s výkonem vrtací technologie umožňující vrtat tak dlouhé vrty (okolo 50 m) s dostatečnou přesností. Příklad je uveden na obr. 4.



Obr. 4 Dobývání patrovou otevřenou komorou

Sýpy na odtěžení rubaniny jsou v současné době nejčastěji vytvářeny pomocí trhací práce přímo v hornině. V minulosti (při ručním vrtání) kdy bylo nutné budovat rozpínkovou výztuž, která se budovala pouze z technologického důvodu (pracovní povaly, sýpy apod.), omezovala však možnost použití této metody do mocnosti max. 3,5 m (maximální délka dřevěné rozpínky, kterou lze bezpečně zabudovat).

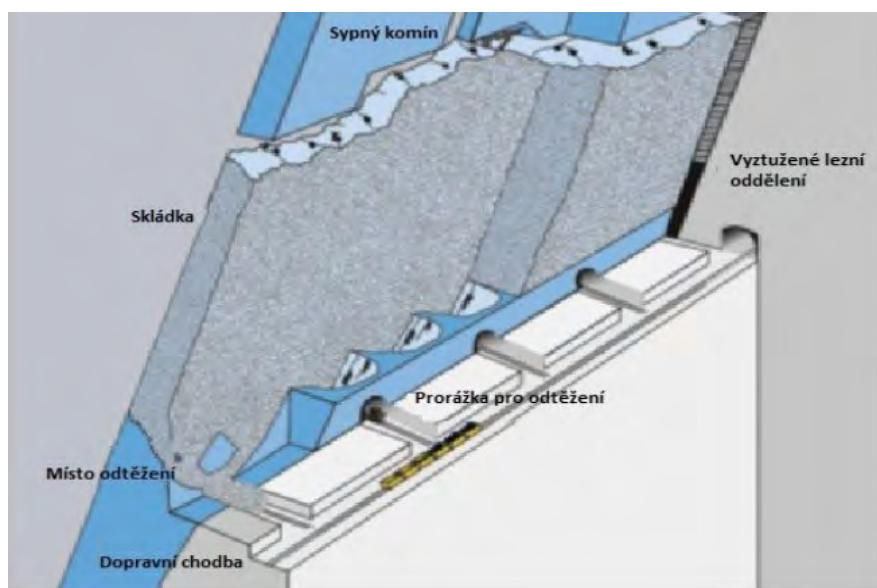
2.2 Dobývání na skládku (s přechodným skladováním rubaniny ve vyrubaném prostoru)

Podstata těchto metod spočívá v sestřelování rudy ve vodorovných nebo šikmých pásech, přičemž se ruda okamžitě nevypouští, ale část zůstává ve vyrubaném prostoru, kde plní funkci jednak zakládky, která dočasně podpírá boky komor, dále pak tvoří pevný povrch pro práci osádky. Z odstřelené rudy se vypouští podle koeficientu nakypření po dobu dobývání jen asi 30 až 40 %. Musí se totiž stále ponechávat asi 2 m vysoký pracovní prostor mezi již odstřelenou zásobou a neodstřelenou rudou. Rozpojená ruda tak tvoří pevnou podlahu v pracovním prostoru. Rubanina klesá sýpy na spodní směrnou chodbu samospádem. Vyrubaný prostor se zavalí nebo založí až po vypuštění rudy ze skládky a po vydobytí mezipatrových a mezikomorových pilířů.

Ložisko nebo jeho část, kterou lze dobývat na skládku, musí splňovat následující podmínky:

- ✂ ruda i průvodní horniny musí být dostatečně pevné,
- ✂ úklon ložiska musí být větší než 50°,
- ✂ mocnost rudy musí být 0,8 až cca 30 m,
- ✂ kontakt rudy s podložím a nadložím musí být ostrý a pravidelný, ložisko nesmí být porušené ani s hluchými partiemi, rudná výplň musí být bez jílových příměsí,
- ✂ ruda nesmí být náchylná k samovznícení, nesmí být hygroskopická, nesmí se časem znehodnocovat a musí být dostatečně soudržná, aby se skladováním nedrobila.

Nejčastější uspořádání skládkové dobývky ve strmě uloženém ložisku je patrné z obr. 5. Blok o průměrné výšce 50 m ohraničují zpravidla dva komíny sloužící pro přístup mužstva a větrání. Tyto komíny bývají vyztužovány (případně mohou být chráněny mezikomorovými pilíři). Nevýhodou této metody je, že hrubý skládkový materiál neumožňuje používat moderní těžkou vrtací technologii s dlouhým dosahem vrtů (na podvozku) a poměrně nebezpečnou práci mužstva pod nezajištěným stropem narušeným trhací prací.



Obr. 5 Uspořádání skládkové dobývky ve strmě uloženém ložisku

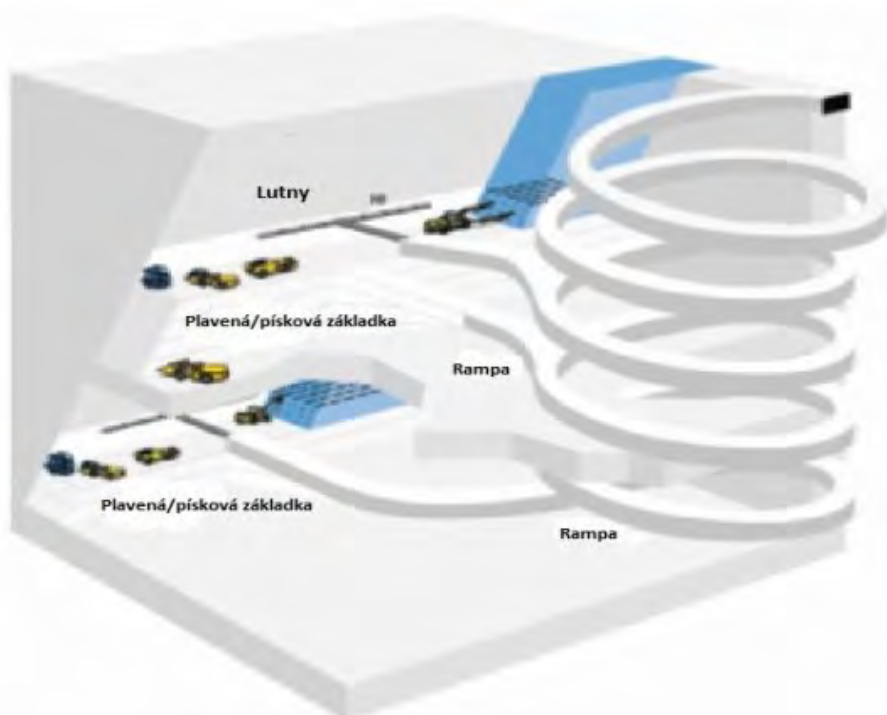
2.3 Dobývací metody se zakládkou

Hlavním znakem všech dobývacích metod zařazených do této skupiny je vyplnění vyrubaného prostoru základkovým materiálem v těsné návaznosti na postup dobývacích prací. Základka je tedy součástí dobývacího cyklu.

Dobývání se zakládkou bývá náročný a drahý způsob dobývání rudných ložisek. Nicméně existují důvody, proč musíme tohoto způsobu stále používat. Patří k nim především nepříznivé báňsko-geologické podmínky, jako jsou málo pevné horniny, ložiska s nevýrazným kontaktem a nepravidelným vývinem apod., dále nutnost ochrany povrchu před poklesy, nutnost ochrany jam a hlavních překopů, možnost dosáhnout dobré výrubnosti u cenných rud a u nepravidelných ložisek, zmenšení důlních tlaků či nebezpečí důlních otřesů.

Podle typu základkového materiálu a jeho uložení můžeme zakládky dále dělit na ruční, sypané, vrhané, foukané, plavené a hydrotuhnoucí.

Příklad moderního pojetí dobývání se zakládkou v rudném hornictví je uveden na obr. 6.



Obr. 6 Moderního pojetí dobývání se základkou v rudném hornictví

2.4 Dobývání na zával

Hlavním znakem těchto dobývacích metod je to, že se vymezené vyrubané prostory dají zavalit přímo za porubem. To má velké přednosti, neboť trhací práce jsou mnohem efektivnější a k zakládání vydobytých prostorů není nutná zakládka – nahrazuje ji hlušina z bočních hornin. Tyto metody se dále vyznačují tím, že se dobývá shora dolů, a to tak, že se ložisko rozdělí na lávky. Metodu lze použít u ložisek střední i velké mocnosti až do 100 m, při úklonu malém i strmém. Ruda je nejvhodnější středně pevná a průvodní horniny snadno zavalující.

2.4.1 Ploše a polostrmě uložená ložiska

Ploše a polostrmě uložená rudná ložiska se na zával dobývají pomocí metod známých spíše z uhelného hornictví. Jedná se o pilířování, častěji však o zátinkování a stěnování.

2.4.2 Strmě uložená ložiska

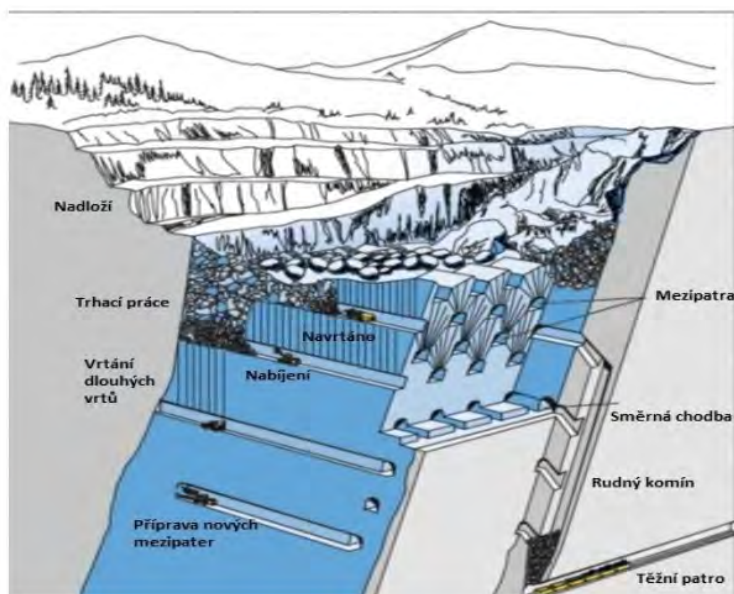
Strmě uložená ložiska lze dobývat v lávkách (plástech), mezipatrovým a patrovým závalem.

Podstata dobývání v lávkách na zával spočívá v tom, že dobývání postupuje shora dolů ve vodorovných lávkách o výšce cca 3 m, které se po odtěžení rubaniny a položení umělého

stropu s postupem porubu zavalují. V další lávce se pak dobývá pod závalem předcházející lávky. Tato metoda má mnoho obměn a může být při ní využito zátinkování a v příhodných podmínkách i stěnování.

Při použití mezipatrového závalu, který se vyvinul z dobývání v lávkách, se blok rozdělí na mezipatra, které se dobývají shora dolů. Je možné dobývat i s umělým stropem, většinou se však dobývá bez něj.

Uspořádání dobývky v mocném vývoji ložiska je zřejmé z obr. 7. Vějířovité vrty jsou vrtány kolmo na chodby a jejich délka může být až 30 m.



Obr. 7 Uspořádání dobývky v mocném vývoji ložiska

2.5 Dobývací metody s vyztužováním vyrubaného prostoru

Podstatou tohoto dobývacího způsobu je soustavné zajišťování vyrubaného prostoru výztuží, která se buduje současně s postupujícím výlomem rudy a ve vydobytém prostoru se trvale ponechává. Používá se na ložiscích o mocnosti do cca 3,5 m s libovolným úklonem.

Příkladem pro ploše uložené ložisko může být souvislé dobývání s pravidelnou čelbou. Postup dobývky je směrný a rozpojování trhacími pracemi. Vyrubaný prostor se zajišťuje dřevěnou dveřejovou výztuží se stropnicemi, která je postupně nahrazována dřevěnými hraněmi, rozmístěnými šachovitě. Hraně pak tvoří stálou výztuž porubu.

U strmě uložených ložisek se používá buďto zesílené rozpínkové výztuže, dveřejové výztuže případně prostorové (krychlové) výztuže. V praxi se často dobývací metody s vyztužováním vyrubaného prostoru kombinují se základkou, v klasickém pojetí se používají zřídka.

2.6 Metody výběru vhodné dobývací metody

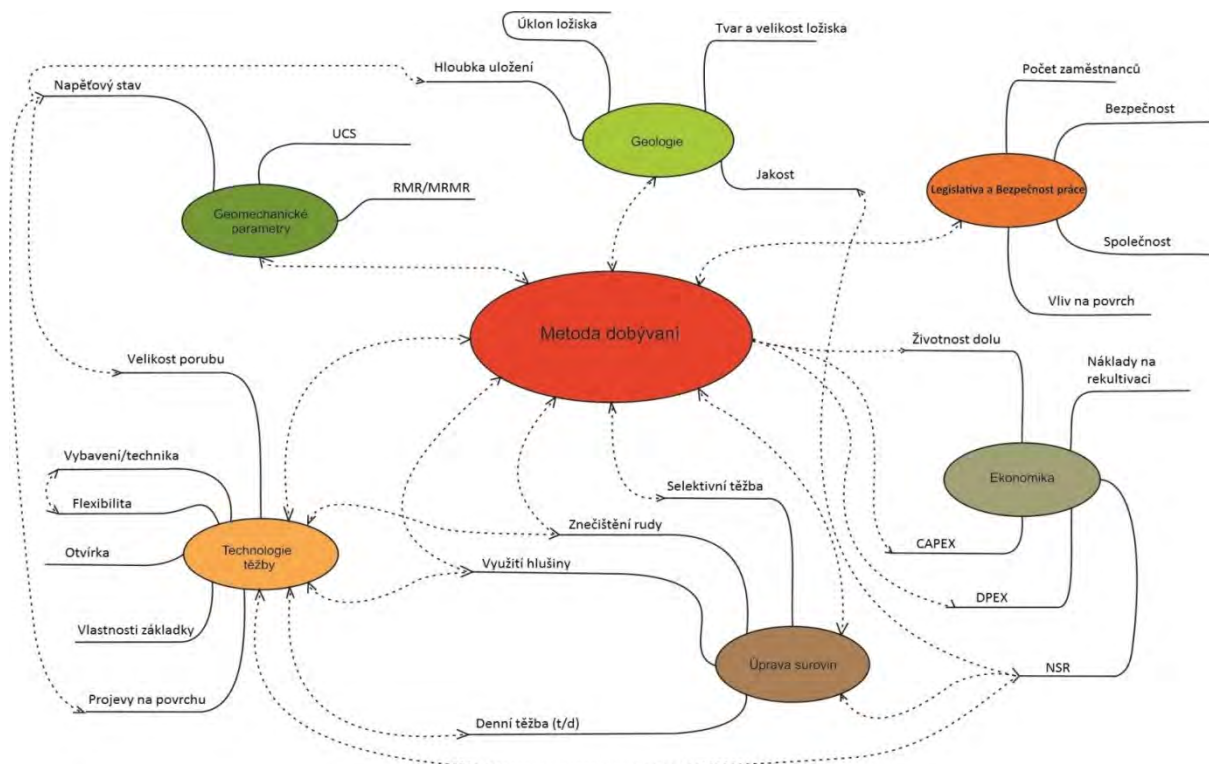
Z výše uvedeného vyplývá, že existuje celá řada dobývacích metod, které je možné použít pro exploataci rudných ložisek. Volba vhodné dobývací metody je závislá na poměrně velkém množství ovlivňujících činitelů, mezi které patří:

- ✂ Geologie (generální tvar ložiska, mocnost, úklon, hloubka uložení, tektonika...)
- ✂ Geomechanické parametry (pevnost, E , φ , μ , RSS, RMR, napět'ový stav...)
- ✂ Technologie těžby (rozměry dobývky, otvirkové díla, kontrola nadloží, technologické vybavení, flexibilita, dostupnost základky ...)
- ✂ Úprava surovin (znečištění rudy průvodními horninami, selektivita těžby, kapacita úpravny, loužící roztoky, ...)
- ✂ Legislativa, ŽP a Bezpečnost práce (počet a dostupnost kvalifikovaných zaměstnanců, bezpečnost práce, vlivy na povrch, postoj společnosti vůči hornické společnosti...)
- ✂ Ekonomika (životnost dolu, náklady na rekultivaci, kapitálové výdaje na technologii, provozní náklady, ...)

Výběr vhodné dobývací metody je z tohoto důvodu poměrně složitý, nicméně existuje celá řada metod a postupů pro volbu nejvhodnějších dobývacích metod na konkrétní lokalitě. Stručný přehled dosud analyzovaných metod v rámci předmětného projektu je uveden níže:

- ✂ Boshkov a Wright (1973), [1]
- ✂ Morrison (1976), [2]
- ✂ Nicholas (1981) [3]
- ✂ Hartman (1987), [4]
- ✂ UBC metoda (University of British Columbia 1995) [5]
- ✂ Metoda AHP (Analytic Hierarchy Process) [6]
- ✂ Metoda PROMETHEE [7]

Na obr. 8 jsou graficky znázorněny činitelé ovlivňující výběr vhodné dobývací metody.



Obr. 8 Činitelé ovlivňující výběr vhodné dobývací met

3. Výběr vhodné dobývací metody pro konkrétní podmínky

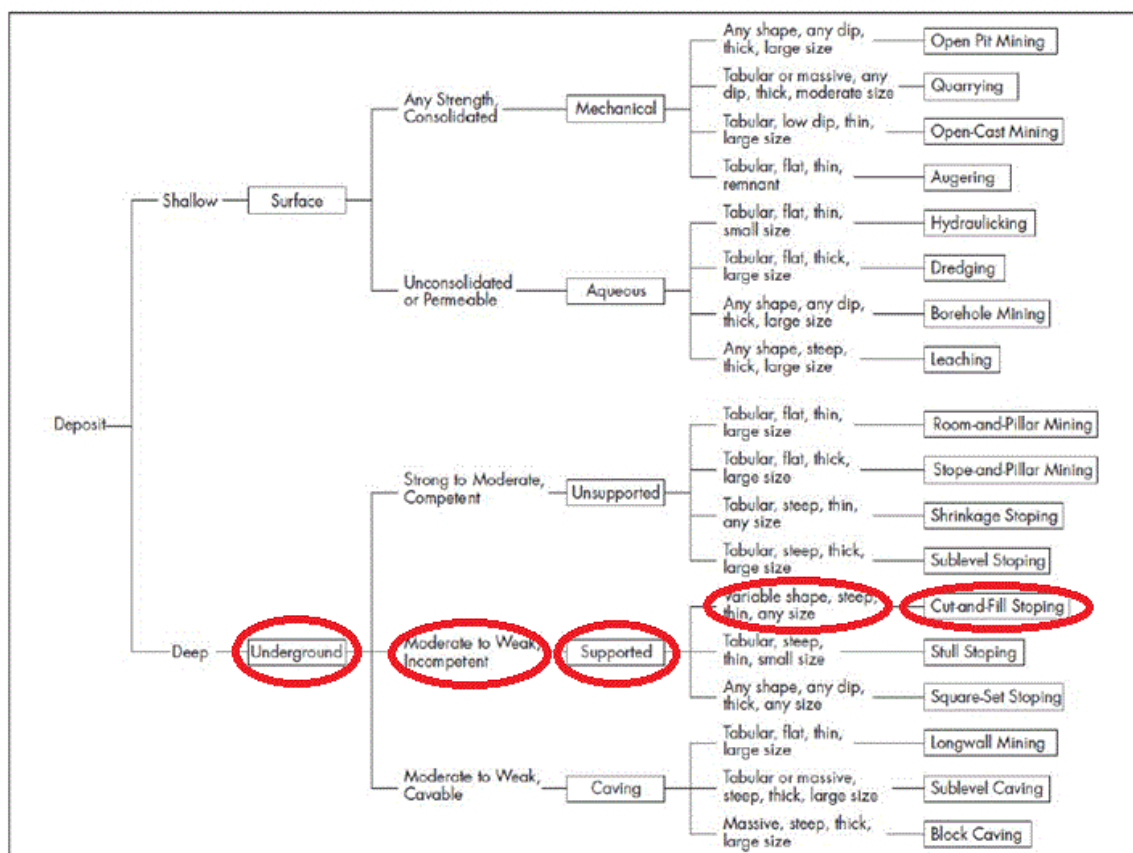
Po prostudování rešeršních materiálů byly pro prvotní analýzu a výběr vhodné dobývací metody vybrány a otestovány metodiky dle Hartmanna a metodika UBC. Jedná se totiž o poměrně jednoduché metody zohledňující pouze základní vstupní údaje, které je možné získat ze základního Inženýrsko-geologického průzkumu, a tudíž byly aplikovatelné i na lokality řešené v rámci předmětného projektu. Tyto metodiky byly aplikovány a otestovány na grafitové ložiska na Českokrumlovsku.

3.1 Výběr vhodné dobývací metody metodikou dle Hartmanna

Výběr vhodné dobývací metody dle Hartmanna je velmi rychlý a jednoduchý. Postupuje se v podstatě dle schématu uvedeného na obr. 9. Schéma má strukturu stromu na jehož konci

je uvedena nejvhodnější dobývací metoda pro hodnocenou lokalitu. V prvním kroku se hodnotí hloubka uložení. Zde je nutné se rozhodnout a vyhodnotit, zda - li se má jednat o povrchové nebo hlubinné dobývání. I když se v našem případě jedná o poměrně mělce uložené ložisko, je nutno zvolit hlubinný způsobu exploatace ložiska vzhledem k umístění ložiska v CHKO Blanský les.

Poté se hodnotí pevnost dobývané suroviny a průvodních hornin ve vztahu k samonosnosti masívu, a zda se budou vydobyté prostory ponechávat volné bez výztuže, budou vyztužovat či se nechají zavalit. Vzhledem k požadavku na bezpoklesovou metodu dobývání a poměrně malé pevnosti dobývané suroviny byla zvolena varianta s vyztužováním. Následuje krok, kde se zohledňují úložní poměry ložiska (tvar, sklon, mocnost a rozměr). Zde byly vzhledem k poměrně vysoké variabilitě úložních poměrů a strmému charakteru ložiska zvolen následující parametry - variabilní tvar, vysoký úklon a malá mocnost. Dle tohoto schématu byla doporučena za vhodnou dobývací metodu metoda komorování v lávkách se základkou (Cut and Fill Stopping) viz schéma na obr. 9.



Obr. 9 Výběr vhodné dobývací metody [6]

3.2 Výběr vhodné dobývací metody metodikou UBC (University of British Columbia)

Jedná se o mírně modifikovanou metodiku původně představenou původně Nicholasem v roce 1981. Modifikace spočívá především o doplnění vstupních parametrů o geomechanickou klasifikaci RMR. Výhodou této metody je její částečné zpracování formou freeware softwaru [7], který je volně dostupný na internetových stránkách. Metodika je založena na bodovém ohodnocení parametrů popisujících úložní a geomechanické parametry a jejich vhodnost pro jednotlivé dobývací metody. Za nejvhodnější se považují ty dobývací metody, které mají v sumě nejvyšší počet přidělených bodů.

Z úložních parametrů se konkrétně hodnotí generální tvar ložiska (rozsáhlý – masivní, **lavcovitý**, nepravidelný), mocnost ložiska (nízká <3 m, **3-10m**, 10-30m, 30-100m, velmi mocné >100 m), úklon ložiska (ploše uložené <20°, šikmé 20-55°, **strmě uložené > 55°**), kvalita suroviny – kovnatost (stálá, postupně – předvídatelně se měnící, **nevyzpytatelná**), hloubka pod povrchem (**nízká <100 m**, střední 100-600 m, vysoká >600 m).

Z geomechanických parametrů se hodnotí popis průvodních hornin a těžené suroviny pomocí geomechanické klasifikace masívu metodou RMR (Rock Mass Rating) a pevnost hornin vzhledem k předpokládaným napět'ovým podmínkám v horském masívu RSS (Rock Substance Strength). Hodnoty RMR byly pro jednotlivé vrstvy zadány na základě f'arání in situ a odborného odhadu takto – ložisková výplň kategorie měkké (RMR 20-40), nadložní horniny ruly – střední (RMR 40-60) a podložní krystalické vápence pevné (60-80). Hodnoty RSS byly vypočteny na základě průměrných pevností grafitu a průvodních hornin dle tabulky 1 a předpokládaného napětí v hloubce cca 100 m pod povrchem, vypočteného z objemové hmotnosti rul, jakožto předpokládaných nadložních hornin. Předpokládané napětí v hloubce 100 metrů je 2,6 MPa.

Tabulka 1. Hodnoty fyzikálně – mechanických vlastností ložiska a průvodních hornin [4]

Název horniny	Pevnost [MPa]			Objemová hmotnost [tm ⁻³]
	tlak	tah	střih	
Tvrký grafit	20,9	3,1	8,6	2,46
Měkký grafit	9,7	1,8	0,3	2,39

Vápence	97,9	7,3	20,1	2,70
Ruly	81,3	8,9	11,9	2,60

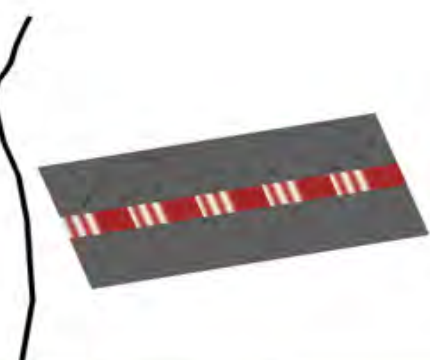
Po vyplnění a vyhodnocení vstupních dat byly metodikou UBC (viz obr. 10) doporučeny následující dobývací metody:

- ✘ Povrchové dobývání (34 bodů)
- ✘ Mezipatrové komorování (32 bodů)
- ✘ Výstupkové komorování na skládku (30 bodů)
- ✘ Komorování se základkou (29)
- ✘ Výstupkové dobývání s vyztužováním vyrubaného prostoru (19 bodů)
- ✘ Lávkování (18 bodů)

Povrchové dobývání je vzhledem k umístění ložiska v CHKO a v poměrné blízkosti UNESCO chráněného centra města Český Krumlov zcela vyloučeno. Jako optimální metody vyšly různé varianty komorového dobývání. Vzhledem ke skutečnosti, že by se při výběru vhodné dobývací metody vzhledem k nevhodnému umístění ložiska v blízkosti historického centra města a CHKO měl klást velký důraz na ochranu životního prostředí, doporučujeme jako nejvhodnější metodu dobývání komorování se základkou. Hlavní výhodou této dobývací metody je minimální vliv dobývání na povrch, a pokud bude jako základkový materiál využita hlušina z ražeb a úpravy grafitu, nebude potřeba tento jinak zpravidla nevyužitelný materiál deponovat na odvalu umístěném na povrchu. Jako vhodný základkový materiál tedy doporučujeme využít hlušinu z ražeb, hlušinový materiál z úpravny, případně inertní materiál z blízkých zdrojů.

Nevýhodou této dobývací metody je však vyšší ekonomická náročnost a nižší výkon. Je však nutné podotknout, že vzhledem k nevhodnému umístění ložiska, značné variabilitě mocnosti a tvaru ložiska se nedají předpokládat vysoké těžební výkony na dané lokalitě. Dále je třeba si uvědomit, že na území CHKO bude velmi obtížné vybudovat zcela novou infrastrukturu (příjezdové komunikace), které by kapacitně umožňovaly převážet velké množství vytěžené suroviny na úpravnu. Z tohoto důvodu by se v rámci studie proveditelnosti měla zvážit varianta s úpravnou grafitu umístěnou přímo v podzemí. Hlušina a odpadní materiál z této úpravny by mohl být přímo použit jako základkový materiál, aniž by opustil podzemí a areál dolu. V případě, že nebude k dispozici dostatek základkového materiálu, lze v menších mocnostech ložiska dobývat otevřenou komorou, a to jak mezipatrovým komorováním, tak výstupkovým komorováním na skládku.

UBC Mining Method Selection (see Appendix II - Mining Method Reference) is a modified version of the Nicolaus approach for selection of mining method based on orebody characteristics (refer Nicolaus 1951). Selection involves examination and ranking of numerical values associated with orebody characteristics that reflect the suitability of a particular method. This interactive presentation of the selection process allows you to investigate the influence of orebody characteristics on the selection of appropriate mining methods. Keep this window open and apply it to the mining methods discussed in the following sections.

Mining Method Rankings	Orebody Cartoon	Orebody Characteristics
<p>(over)</p> <ul style="list-style-type: none"> Open Pit (31) Sublevel Stopping (22) Shrinkage Stopping (30) Cut and Fill Stopping (29) Square Set Stopping (19) Top Slicing (18) Sublevel Caving (21) Longwall Mining (25) Block Caving (24) Room and Pillar (30) <p>(over)</p>		<p>Geometry and Grade Distribution</p> <ul style="list-style-type: none"> General Shape: Flat-Trough Ore Thickness: Narrow (3-10m) Ore Plunge: Steep (more than 55deg) Grade Distribution: Erratic Depth: Shallow (0-100m) <p>Rock Mass Rating (after Bieniawski 1973)</p> <ul style="list-style-type: none"> Ore Zone: Weak (20-40) Hanging Wall: Medium (40-60) Footwall: Strong (60-80) <p>Rock Substance Strength (accounted compressive strength - principal stress)</p> <ul style="list-style-type: none"> Ore Zone: Very Weak (less than 5) Hanging Wall: Strong (more than 15) Footwall: Strong (more than 15)

Obrazek 10 Výběr vhodné dobývaci metody dle UBC

4. Popis nově navrhované metodiky

Výše uvedené a prakticky nasazené metody pro výběr dobývací metody vykazaly jejich funkčnost a použitelnost, nicméně stále nezohledňují některé parametry, které jsou v ČR považovány za velmi důležité při legislativním procesu otevření nového dolu. Jedná se především o aspekty zohledňující vliv dobývací metody na životní prostředí, bezpečnost práce a ekonomiku. Přesto bylo rozhodnuto, že základem nově navrhované metodiky bude původní metoda UBC, a to především díky její univerzálnosti, vícekriteriálnímu hodnocení a jak ze studia rešeršních materiálů vyplynulo, poměrně častému nasazení v rámci světového hornictví. [8,9].

Modifikace a modernizace metodiky měla spočívat v doplnění výše uvedených parametrů (vliv dobývání na ŽP, ekonomika, bezpečnost). V rámci testování metodiky doplněné o výše uvedené parametry bylo zjištěno, že některé parametry ovlivňující výběr vhodné dobývací metody jsou navzájem protichůdné. Např. dobývací metoda minimalizující vliv dobývání na povrch a ŽP je častokrát z ekonomického hlediska nevyhovující a naopak. To je pravděpodobně důvod, proč tyto parametry častokrát nejsou přímo hodnoceny v rešerši uvedených metodikách.

Z tohoto důvodu bylo rozhodnuto, že navržená metodika bude doplněna pouze o jeden parametr, a to vliv dobývání na životní prostředí (pokles a devastaci povrchu). Tento parametr bude možno navíc uživatelem úplně ignorovat, případně mu bude možné přidělit různou důležitost - váhu, (jiné budou požadavky na důlní vlivy v blízkosti zastavěné a obydlené oblasti, než v odlehle oblasti).

Pomocí navržené metodiky je možné vytipovat zástupce nejvhodnějších dobývacích metod a tyto pak dále analyzovat a porovnávat o další parametry např. z ekonomického hlediska (směrné čísla příprav, požadavků na kapitálové výdaje apod.), či bezpečnosti (jedná se o schválenou dobývací metodu, byla v ČR nasazena, je bezpečná apod.).

Závěrem byla navržená metodika zpracována pomocí jednoduché aplikace v prostředí MS Excel, kdy je po doplnění vstupních údajů automaticky provedeno vyhodnocení a obodování jednotlivých dobývacích metod. Přičemž platí, že dobývací metody s nejvyšším počtem bodů jsou nejvhodnější, s nejnižším nejméně vhodné. Výhodou této nově navržené metodiky je její univerzálnost, jednoduchost a možnost další modifikace, případně doplnění o další dobývací metody.

4.1 Vstupní data – hodnotící kritéria

Vstupní data, a tudíž hodnotící kritéria pro výběr vhodné dobývací metody je možno rozdělit do tří základních částí. Geologické parametry, geomechanické parametry a parametry ovlivňující vliv dobývání na povrch.

4.1.1 Geologické parametry

Z geologických parametrů se jedná především o následující 4 parametry:

- ✂ generální tvar ložiska,
- ✂ mocnost ložiska,
- ✂ generální sklon,
- ✂ kvalitu (kovnatost) ložiska

Z hlediska generálního tvaru ložiska je nutné hodnocenou lokalitu zatřídit do jedné ze tří možných kategorií

1. Masívní – zde se zatřídí ložiska, které mají přibližně stejné rozměry, co se týče šířky, výšky a hloubky, přičemž se předpokládá poměrně velké rozměry zrudněné oblasti, alespoň řádově desítky až stovky metrů.
2. Lavicovitý – předpokládá se, že dva rozměry zrudněné oblasti budou značně převládat nad třetím rozměrem, typickým příkladem jsou vrstvy, žíly apod.
3. Nepravidelný tvar – ostatní zrudněné útvary, které nelze charakterizovat do výše uvedených kategorií, např. čočky.

Na základě mocnosti ložiska je jej možné zatřídit do jedné z pěti kategorií, a to:

1. Velmi malé mocnosti < 3 m
2. Malé mocnosti 3 – 10 m
3. Střední mocnosti 10 – 30 m
4. Mocné ložiska 30 – 100 m
5. Velmi mocné ložiska > 100 m

Z hlediska generálního sklonu je možné ložiskovou výplň charakterizovat jako:

1. Ploše uloženou < 20°
2. Strmě uložené 20°- 55°
3. Velmi strmě uložené > 55°

Z kvalitativního hlediska (kovnatosti a její stálosti/proměnlivosti v ložiskové výplni) je možné ložisko charakterizovat jako:

1. Stálé
2. Postupně (předvídatelně) se měnící
3. Nevyzpytatelná

4.1.2 Geomechanické parametry

Geomechanické parametry do značné míry ovlivňují stabilitu důlních děl a rovněž samotnou technologii rozpojování hornin, proto je velmi důležité jejich hodnocení. Jelikož má ložisková výplň často jiné fyzikálně-mechanické vlastnosti než průvodní horniny, je nutné zvlášť hodnotit průvodní horniny (nadloží a podloží) a samotnou rudu.

Moderní pojetí geomechaniky je založeno na hodnocení nejen fyzikálně-mechanických vlastností hornin tvořících masív, ale celého masívu, resp. jeho částí (nadloží, podloží) jako celku. Pro toto hodnocení je z celosvětového hlediska pravděpodobně nejvíce používaná geomechanická klasifikace RMR (Rock Mass Rating) popsána např. v [10]. Hodnoty RMR jsou zadávány zvlášť pro nadloží, zrudněnou oblast i podloží a je možné je zařadit do jedné z pěti tříd (0-20, 20-40, 40-60, 60-80, 80-100 bodů).

Dalším důležitým geomechanickým parametrem ovlivňujícím stabilitu důlních děl je primární napěťový stav. Ten je v předmětné metodice zohledněn pomocí tzv. Rock Substance Strength (RSS) což je podíl pevnosti v prostém tlaku horniny k nejvyšší složce primárního napětí v předmětné hloubce. Vzhledem k možným odlišným pevnostem hornin tvořících průvodní horniny a zrudněnou zónu, je tento parametr opět zadáván zvlášť pro nadloží, rudu a podloží. Na základě RSS je možné hodnocené horniny zatřídit do jedné ze 4 kategorií (velmi měkké <5, měkké 5 – 10, střední 10 – 15 a velmi pevné > 15).

4.1.3 Parametry ovlivňující vliv dobývání na povrch

V současné době neexistuje žádná konvenční dobývací metoda, která by neměla alespoň minimální vliv na povrch. Velikost projevu dobývání na povrch je závislé jednak od přírodních podmínek, tj. především geologických parametrů (mocnost, úklon, tvar, hloubka pod povrchem, charakter nadložních vrstev apod.) a jednak na samotné dobývací metodě. Zároveň je důležité si uvědomit fakt, že použitelnost každé dobývací metody má jisté omezení ve vztahu ke geologickým, resp. úložním podmínkám. Z tohoto důvodu pokud chceme nějakým způsobem odhadnout vliv dobývání na povrch, je nutné hodnotit jak geologické podmínky, tak vliv samotné dobývací metody. Obecně lze vzít v úvahu fakt, že čím menší bude dobývaná mocnost a čím hlouběji pod povrchem bude k dobývání docházet, tím menší budou patrné projevy dobývání na povrchu. Na druhou stranu, pokud bude docházet k dobývání na zával, budou projevy na povrchu větší než u bezzávalových dobývacích metod.

Z tohoto důvodu je tento vliv v předmětné metodice hodnocen dvoukriteriově, a to jak vliv geologických parametrů (automaticky se převezmou nejvýznamnější hodnoty popisující geologické parametry – hloubka a mocnost), tak vliv dobývací metody (pro každou dobývací metodu je přidělen koeficient hodnotící míru potencionálního ovlivnění povrchu).

Uživatel metodiky (např. projektant) si rovněž může ovlivnit váhu (dát důležitost) tomuto hodnoticímu parametru – požaduje-li minimální vliv na povrch (např. zastavěná oblast, přijatelné poklesy max. do cca 1 m) dá tomuto parametru významnou důležitost, naopak bude-

li požadavek na stabilitu povrchu minimální, dá tomuto parametru střední nebo nízkou důležitost, případně nebude tento parametr pro hodnocení používat vůbec.

4.2 Hodnocené dobývací metody

Jak již bylo uvedeno výše, celosvětově existuje a byla popsána celá řada dobývacích metod (řádově stovky včetně různých modifikací). Nicméně tyto jednotlivé dobývací metody a jejich modifikace zpravidla vychází ze základních dobývacích metod, které je dle základní Agoškovy klasifikace možné rozdělit do šesti základních tříd.

Z tohoto důvodu bylo do navržené metodiky zařazeno pouze omezené množství celosvětově nejpoužívanějších a nejznámějších dobývacích metod. Nicméně zvolené dobývací metody byly vybrány tak, aby charakterizovaly co největší množství podobných a odvozených dobývacích metod a zároveň byl v metodice obsažen alespoň jeden zástupce z každé třídy klasifikace dle Agoškova.

V databázi jsou hodnoceny následující dobývací metody:

- ✂ povrchové (lomové) dobývání – Open Pit Mining
- ✂ dobývání v bloku na zával – Block Caving
- ✂ mezipatrové komorování - Sublevel stoping
- ✂ mezipatrové komorování na zával - Sublevel caving
- ✂ stěnování na zával – Longwall mining
- ✂ komora – pilíř – Room and Pillar
- ✂ komorování na skládku - Shrinkage Stopping
- ✂ výstupkové lávkování na základku - Cut and Fill Stopping
- ✂ sestupkové lávkování – Top Slicing
- ✂ komorování s vyztužováním vyrubaného prostoru – prostorová výztuž - Squereset Stopping

Pro případ hodnocení vlivu dobývání na povrch, byly do metodiky přidány rovněž alternativy dobývacích metod umožňující zakládání vyrubaného prostoru, čímž lze omezit projevy na povrchu (např. stěnování se zakládáním vyrubaného prostoru, AVOCA – mezipatrové komorování se základkou).

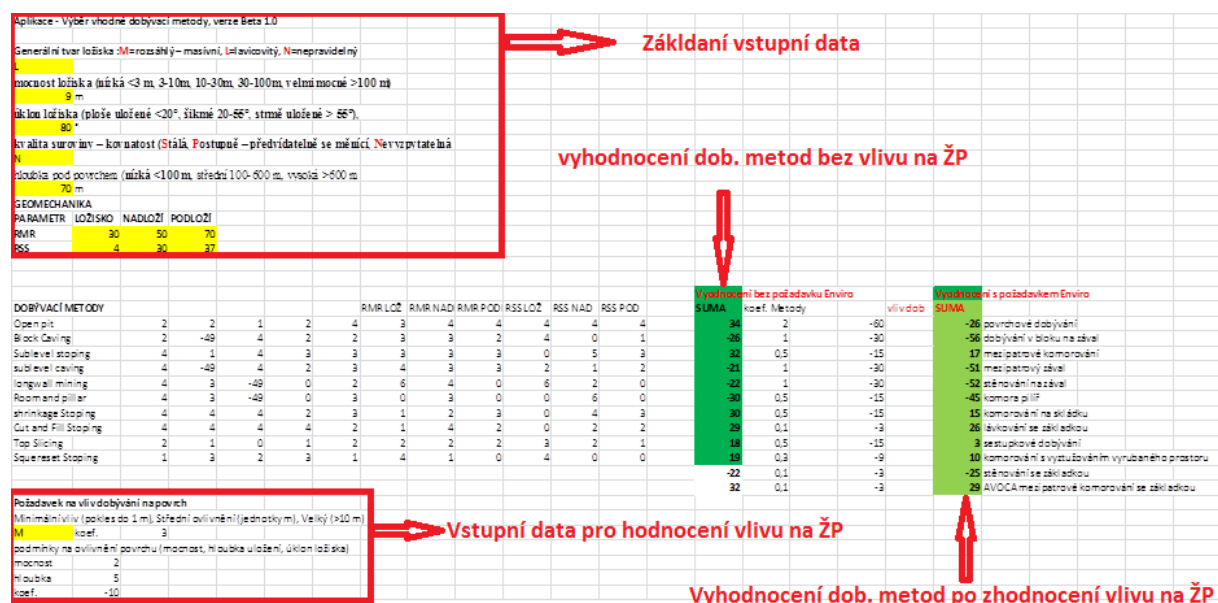
4.3 Popis aplikace MS Excel

Výše popsaná metodika byla zpracována rovněž formou jednoduché softwarové aplikace v prostředí MS Excel. Po zadání vstupních dat (zvýrazněno žlutým pozadím) ve správném formátu, se automaticky přiřadí pro jednotlivé dobývací metody bodové ohodnocení pro každé hodnotící kritérium. Pro každou dobývací metodu, je na závěr proveden součet bodů za

jednotlivé hodnocené kritéria, přičemž čím většího počtu bodů je dosaženo, tím vhodnější je dobývací metoda pro hodnocenou lokalitu.

Vývojová aplikace MS Excel byla záměrně vytvořena tak, aby bylo možné sledovat kolik bodů bylo přiděleno každé dobývací metodě pro každé hodnotící kritérium. Ve finální verzi aplikace bude možno aplikaci uzavřít a navrhnout tak, aby byly viditelné jen vstupní data a výsledné vyhodnocení.

Na obr. č. 11 je zobrazen printscreen metodiky z aplikace MS Excel (příloha k této metodice), s vyznačením polí sloužících k zadávání vstupních dat a výsledným vyhodnocením. V červeně nezvýrazněných plochách je možno vidět přiřazené body za jednotlivé hodnotící kritéria, které v „Beta“ verzi slouží jednak pro kontrolu funkčnosti aplikace, ale rovněž pro ukázkou zdrojových dat a „váhy“ jednotlivých hodnotících kritérií, pro případnou korekci, či aktualizaci.



Obr. 11 Printscreen z aplikace MS Excel vyvinuté pro výběr vhodné dobývací metody

Obrázek č. 11 rovněž demonstruje výsledek vyhodnocení vhodné dobývací metody pro lokality grafitového ložiska na Českokrumlovsku. Pokud nebudeme brát v úvahu vliv dobývání na ŽP, tak jako nejvhodnější dobývací metody se dle této aplikace jeví povrchové dobývání, mezipatrové komorování a komorování na skládku. Pokud budeme brát v úvahu minimální vliv dobývání na povrch, pak se jako nejvýhodnější metody jeví metoda AVOCA – mezipatrové komorování se základkou, lávkování se základkou a mezipatrové komorování.

5. Ekonomické aspekty

Jak již bylo uvedeno výše, pomocí navržené metodiky je sice možné vyhodnotit a navrhnout nejvhodnější metody pro dobývání z technologického hlediska, nicméně stále ještě nemusejí být nejvýhodnější z ekonomického hlediska. Z tohoto důvodu je nezbytné, alespoň 3 nejlépe hodnocené dobývací metody porovnat i z ekonomického hlediska.

Alespoň orientační ekonomické vyhodnocení lze stanovit vzájemným porovnáním základních ekonomických ukazatelů, jakými jsou směrná čísla příprav, vstupní ekonomické požadavky na technologii, množství vydobytých zásob (výrubnost dobývací metody) apod. Teprve po komplexním vyhodnocení je možné doporučit finální dobývací metodu.

V případě Českokrumlovských grafitových ložisek (lokalita Lazec, Bíca a Městský vrch) se jako nejvýhodnější jeví nasazení dobývací metody AVOCA – mezipatrové komorování se základkou, a to nejen dle navržené metodiky, ale díky maximálnímu využití starých důlních děl i z ekonomického hlediska. Kdyby nemusel být brán zřetel na vliv dobývání na povrch (což vzhledem k CHKO Blanský les nepřipadá v úvahu), pak by bylo ekonomičtější nasazení mezipatrového komorování nebo původní metody mezipatrového komorování na zával.

Vzhledem ke skutečnosti, že uvedená metodika včetně softwarového zpracování je poměrně jednoduchá na obsluhu, předpokládá se její hojné využití. Další výhodou této metodiky je její poměrná jednoduchost a možnost rozšíření (doplnění) o nové dobývací metody, formou tzv. upgrate stávajícího softwaru. Z výše uvedeného vyplývá, že o novou metodiku by mohl být potencionální zájem jak z řad státní báňské správy, tak z řad komerčních firem zabývajících se projektováním hornické činnosti. Z tohoto důvodu je možné hodnotit ekonomický přínos a využití této metodiky pozitivně.

6. Popis uplatnění Certifikované metodiky

Vzhledem ke skutečnosti, že v rámci ČR dosud nebyla navržena jednotná metodika pro výběr vhodné dobývací metody, neměli pracovníci státní báňské správy k dispozici žádný nástroj pro kontrolu výběru vhodné dobývací metody (např. v rámci schvalování POPD). Předmětná metodika může být využívána nejen pracovníky státní báňské správy, ale rovněž může být využívána projekčními firmami a báňskými projektanty působícími v oblasti hornické činnosti.

Reference:

- [1] KOLEKTIV AUTORŮ: Dílčí zpráva projektu CEEMIR, VIII Etapa: VŠB-TUO, Ostrava, 2017.
- [2] TICHÝ L.: Závěrečná zpráva Český Krumlov – Městský vrch, MS Geofond, Praha, 1984.
- [3] KADOUNOVÁ, Z.: Petrologický, petrochemický a strukturní výzkum ložiska grafitu Městský vrch a jeho vztah k horninám krumlovské pestré skupiny. Praha, 1987. Přírodovědecká fakulta Univerzity Karlovy v Praze.
- [4] GEOINDUSTRIA, N. P. Závěrečná zpráva Lazec: grafit. Jílové, 1965.
- [5] RUDNÉ DOLY, n. p.: Sborník dobývacích metod. Příbram, 1985.
- [6] DARLING, P.: SME Mining Engineering Handbook, Third Edition. SME, 2011, ISBN 0873352645.
- [7] Mining Method Selection. Edumine - Professional Development and Training for Mining [online]. Dostupné z: <http://www.edumine.com/xtoolkit/xmethod/miningmethodgraphic.htm>
- [8] Njamba, M. N., Mutambo, V.: Design an Appropriate Mining Method for Extraction of Ore between 330ml and 400ml at Baluba East Upper T-Block. International Journal of Mining Engineering and Mineral Processing 2016, 5(1): 16-23.
- [9] T.W. Peskens: Underground mining method selection and preliminary techno-economic mine design for the Wombat orebody, Kylylahti deposit, Finland, Delft University of Technology, Department of Geoscience & Engineering, Netherlands 2013.
- [10] Bieniawski, Z.T. (1976) Rock Mass Classification in Rock Engineering. In: Bieniawski, Z.T., Ed., Symposium Proceedings of Exploration for Rock Engineering, 1, 97-106.

Aplikace - Výběr vhodné dobývací metody, verze Beta 1.0

Generální tvar ložiska :**M**= rozsáhlý – masivní, **L**=lavcovitý, **N**=nepravidelný

L

mocnost ložiska (nízká <3 m, 3-10m, 10-30m, 30-100m, velmi mocné >100 m)

9 m

úklon ložiska (ploše uložené <20°, šikmé 20-55°, strmě uložené > 55°),

80 °

kvalita suroviny – kovnatost (**S**tálá, **P**ostupně – předvídatelně se měnící, **N**evyzpytatelná

N

hloubka pod povrchem (nízká <100 m, střední 100-600 m, vysoká >600 m)

70 m

GEOMECHANIKA

PARAMETR LOŽISKO NADLOŽÍ PODLOŽÍ

RMR	30	50	70
RSS	4	30	37

DOBÝVACÍ METODY

					RMR LOŽ	RMR NADL	
Open pit	2	2	1	2	4	3	4
Block Caving	2	-49	4	2	2	3	3
Sublevel stoping	4	1	4	3	3	3	3
sublevel caving	4	-49	4	2	3	4	3
longwall mining	4	3	-49	0	2	6	4
Room and pillar	4	3	-49	0	3	0	3
shrinkage Stoping	4	4	4	2	3	1	2
Cut and Fill Stoping	4	4	4	4	2	1	4
Top Slicing	2	1	0	1	2	2	2
Squareset Stoping	1	3	2	3	1	4	1

Požadavek na vliv dobývání na povrch

Minimální vliv (pokles do 1 m), Střední ovlivnění (jednotky m), Velký (>10 m)

M koef. 3

podmínky na ovlivnění povrchu (mocnost, hloubka uložení, úklon ložiska)

mocnost 2

hloubka 5

koef. -10

RMR	PODL	RSS LOŽ	RSS NAD	RSS POD
4		4	4	4
2		4	0	1
3		0	5	3
3		2	1	2
0		6	2	0
0		0	6	0
3		0	4	3
2		0	2	2
2		3	2	1
0		4	0	0

Vyodnocení bez požadavku Enviro

SUMA	koef. Metody	
34	2	-60
-26	1	-30
32	0,5	-15
-21	1	-30
-22	1	-30
-30	0,5	-15
30	0,5	-15
29	0,1	-3
18	0,5	-15
19	0,3	-9
-22	0,1	-3
32	0,1	-3

vliv dob

Vyodnocení s požadavkem Enviro

SUMA

- 26 povrchové dobývání
- 56 dobývání v bloku na zával
- 17 mezipatrové komorování
- 51 mezipatrový zával
- 52 stěnování na zával
- 45 komora pilíř
- 15 komorování na skládku
- 26 lávkování se základkou
- 3 sestupkové dobývání
- 10 komorování s vyztužováním vyrubaného prostoru
- 25 stěnování se základkou
- 29 AVOCA mezipatrové komorování se základkou