



Vzt'ah štruktúrno-geologickej stavby rudnianského rudného poľa ku geotechnickej charakteristike územia

Juraj B. Ďurove², Tibor Sasvári¹ a Pavol Vavrek²

The relationship of structures and geological-building of Rudňany ore field to geotechnics features

The geostructural and geotechnical analysis was aimed at the concrete conditions of the Rudňany ore field at the Spiš region, the part of the Slovak Republic. Our research results make it possible to minimize the negative influence of moisture liquidation of the mine field from the ecological point of view. The paper is divided into followings parts: present and future moisture liquidations and their influences on surface subsidences, the theoretical principles for the geotechnical evaluation of the subsidences and application of the principles.

Key words: Mountain building, Geotechnics features, Rudňany ore field, Moisture liquidation of mine.

Úvod

Článok vychádza z tých častí Štúdie o enviromentálnych vplyvoch zatápania bane v Rudňanoch, ktorých cieľom bolo posúdiť spôsob likvidácie bane Západ v Rudňanoch, postupným zatápaním až po obzor ROCHUS, z hľadiska stability dobývacieho priestoru a jeho širšieho okolia (Beharka et al., 1999). Uvedený cieľ bol v priamej súvislosti nielen s riešením environmentálnych vplyvov zatápania, ale aj s prípravou a vypracovaním Plánu zatápania ložiska pre baňu Rudňany.

Závažným činiteľom, spôsobujúcim zmenu stavu fyzikálno-mechanických parametrov hornín a masívu, je jeho reálna štruktúrno-tektonická porušenosť v kombinácii s prítomnosťou vody. Komplexne zhodnotiť oba faktory znamená, že pri riešení otázok „mokrej“ likvidácie bane by vplyv vody a tektonickej porušenosti masívu nemal byť podcenený, ale ani precenený. Výsledná deformácia horninového masívu bude daná sumárnou hodnotou deformovania horninového materiálu a horninových blokov. Prejavy nestability možno v príslušnom merítke masívu posudzovať na základe zmien vlastností hornín, napr. v dôsledku zvýšenia ich vlhkosti, a tiež zmenami napätovo-deformačného stavu nasýteného horninového masívu, ktorý je porušený mikro- a megaštruktúrami.

Geotechnické a štruktúrno-tektonické analýzy (Rozložník a Sasvári, 1985) horninového prostredia rudnianskeho rudného poľa a dobývacieho priestoru ukázali, že ide o viaceré heterogénne systémy zahrnujúce pevnú, kvapalnú a plynnú fázu. Pričom aj vyskytujúce sa horniny, ako časti masívu, vyznačujú sa značne odlišnými vlastnosťami. Podrobné hodnotenie si preto vyžadovalo komplexnú analýzu vzájomných vplyvov geosféry, hydrosféry a atmosféry.

Vplyv vody na napätovo-deformačné prejavy

Nutnými východiskami pre posudzovanie napätovo-deformačných stavov horninového masívu rudnianskeho rudného poľa v suchom a zatopenom geoprostredí, sú popri geomechanických parametroch, geologické, tektonicko-štruktúrne i ložiskové pomery.

V rudnianskom rudnom poli sú zastúpené staropaleozoické horniny rakoveckej skupiny chloriticko-sericitickými fylitmi, mladopaleozoickými horninami dobšinskej a krompašskej skupiny, zastúpené grafitickými fylitmi a diabázmi, mezozoickými horninami stratenskej skupiny, reprezentované vápencami a bridlicami. Mladé pokryvné útvary sú zastúpené horninami centrálného karpatského paleogénu.

Tab.1. Fyzikálne vlastnosti hornín.

Meraná veličina	Symbol	Rozmer	Typ horniny	
			1.	2.
Merná hmotnosť	ρ	kg.m ⁻³	2777 - 3070	2780 - 2856
Objemová hmotnosť	ρ_0	kg.m ⁻³	2756 - 3049	2735 - 2805
Pórovitosť	p	%	0,7 - 0,8	1,6 - 1,8
Kompaktnosť	h	%	99,2 - 99,3	98,2 - 98,4

Vysvetlivky: 1. - grafitické fylity (vyskytujúce sa ako prekremenelé, metamorfované, lokálne vybielené a masné), príp. chloriticko-sericitické fylity, 2. - diabázy a metadiabázové tufty.

¹Prof. Ing. Tibor Sasvári, CSc., Katedra geológie a mineralógie Fakulty BERG Technickej univerzity v Košiciach, Park Komenského 15, 043 84 Košice

²Doc. Ing. Juraj B. Ďurove, CSc. a Ing. Pavol Vavrek, Katedra dobývania ložísk a geotechniky Fakulty BERG Technickej univerzity v Košiciach, Park Komenského 19, 043 84 Košice

(Recenzovali: Prof. Ing. Félix Sekula, DrSc. a Doc. Ing. Michal Maras, CSc.)

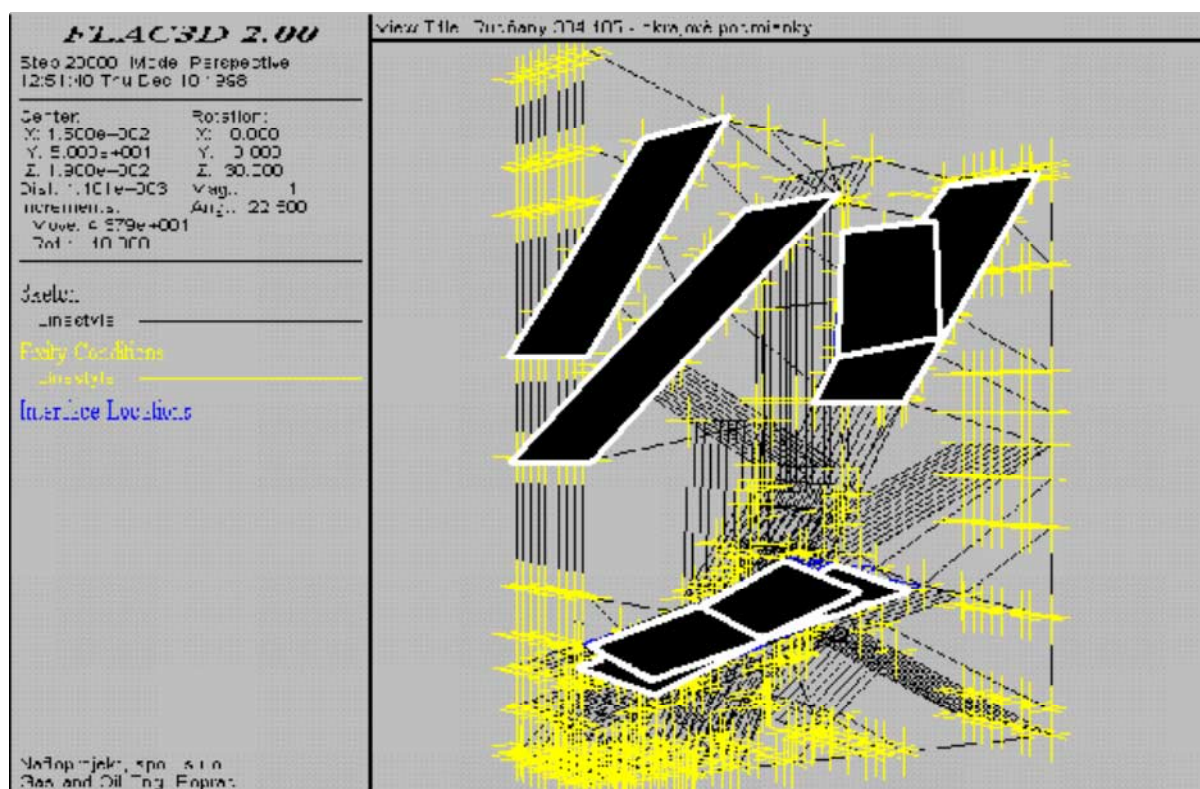
Hodnoty geomechanických vlastností (Trančík et al., 1962) vyššie uvedených horninových typov sú veľmi rozdielne (tab.1), a v dôsledku zvýšenia vlhkosti sa rozdiely ešte zvýraznia (tab.2). Vznikne nový napäťovo-deformačný stav vodou nasýteného horninového masívu, čo môže spôsobiť zmeny jeho stability. Zvýšenie obsahu vody v hornine a jej vplyv na fyzikálno-mechanické vlastnosti, ako aj vplyv úplného nasýtenia horninového masívu vodou v procese likvidácie bane zatápaním na stabilitu povrchu dobývacieho priestoru i širšieho okolia, budú patriť medzi základné vplyvy, očakávané po úplnom zatopení rudnianského rudného poľa vodou.

Tab.2. Mechanické vlastnosti hornín.

Meraná veličina	Symbol	Rozmer	Typ horniny	
			1.	2.
Pevnosť v prostom tlaku	σ_{11}	MPa	25,4 – 38,6	60,5 – 83,2
Pevnosť v pričnom tlaku	σ_{1p}	MPa	1,0 – 2,1	1,9 – 7,5
Pevnosť v prostom strihu	τ_{ps}	MPa	1,9 – 5,1	12,6 – 21,4
Modul pružnosti*	E	MPa	5000 – 10 000	20 000 – 30 000
Poissonove číslo*	μ	bezrozmerné	0,1 – 0,2	0,3 – 0,4

Vysvetlivky: 1. - grafitické fylity (vyskytujúce sa ako prekremenelé, metamorfované, lokálne vybielené a masné), príp. chloriticko-sericitické fylity, 2. - diabázy a metadiabázové tufity, * - hodnoty boli odhadnuté.

Uvedené hodnoty pevností boli vypočítané pomocou koeficientu zrnkútia $K_{zk} = 0,5$; teda ide o zostatkové hodnoty v absolútnom vyjadrení.



Obr.1. Geotechnická analýza v reze č. 304 185 v rudnianskom rudnom poli. Bielou farbou sú znázornené okrajové podmienky matematického modelu (fixácia posunutí v smere osi x, y, z). Čiernou farbou sú znázornené hlavné tektonické poruchy v danom reze (Vavrek, Ďurove a Maras, 1999).

Priamy styk horniny s vodou tak bude mať permanentný vplyv na zmenu geotechnických vlastností masívu. Prítomnosť a pohyb vody v horninách sú podmienené prvotnou ale aj druhotnou pórovitosťou hornín, u horninových masívov systémom puklín a zlomov v závislosti od ich výplne, u masívov s vydobytými časťami ložiska aj systémom banských chodieb a dobývacích priestorov. Voda má vplyv na objemovú hmotnosť hornín, bobtnavosť hornín, rozbredavosť hornín, ale jej vplyv sa prejavuje najmä na znížení pevnosti horniny.

Hodnoty prvotnej pórovitosti ukazujú, že pórovitosť hornín v rudnianskom rudnom poli je relatívne nízka. Znamená to pomerne malú prirodzenú vlhkosť i vodopriepustnosť. Pokiaľ posudzujeme vodopriepustnosť horninového masívu, potom najpriechodnejšími budú križujúce sa tektonické zóny, ktoré môžu predstavovať cesty prepojenia rôznych častí rudného poľa.

Vplyv vody na mechanické vlastnosti hornín sa bežne vyjadruje súčiniteľom zmäknutia K_{zk} (STN 72 1163), ktorý číselne vyjadruje iba vplyv vody u jednoosovej pevnosti v tlaku, a znamená pomer pevnosti nasiaknutej horniny ku pevnosti vysušenej horniny. Tento koeficient je bezrozmerný. Vzhľadom na to, že so zmenou obsahu vody v hornine sa menia i ďalšie mechanické vlastnosti, je podľa Lesňáka (1975) vhodnejšie vyjadrovať vplyv vody „zostatkovými“ hodnotami, čo znamená percentuálny zostatok z hodnoty nenasiaknutej horniny (tab.2).

Výraznú zmenu mechanických vlastností hornín vplyvom vody v rudnianskom rudnom poli možno očakávať najmä u hornín karbónu. Zvýšená vlhkosť sa negatívne prejaví u hornín a masívov s väčším obsahom ílovitých zložiek. Preto najvyššia miera devastácie otvorených banských priestorov ale už aj zavalených častí, bude pri prechode (stúpaní hladiny) vody týmito typmi hornín.

Mechanické vlastnosti horninového masívu sú spravidla odlišné od vlastností horninového materiálu. V porovnaní s laboratórnymi hodnotami masív vykazuje 10x nižšiu pevnosť a 20x nižšiu pretvárnosť, voči laboratórnym hodnotám. Reologické parametre, ktoré charakterizujú prejav hornín a masívu v závislosti na čase, majú taktiež významné miesto v deformácii hornín a horninového masívu.

Skúmanie pôvodného (primárneho) a novovytvárajúceho sa napätového stavu (po zatopení) rudnianskeho rudného poľa vykonali (Vavrek et al., 1999) pomocou matematických modelovacích systémov GEM 22 a FLAC^{3D}. Z výsledkov analýz napäťovo-deformačných stavov vyplýva, že následkom zatápania dôjde k zhoršeniu stabilitných pomerov na skúmanom území. Závažným faktorom je pritom štruktúra masívu.

Horninový masív, ktorý buduje rudnianske rudné pole, možno charakterizovať vysokým stupňom štruktúrnej nerovnorodosti. Rozčlenený je diskontinuitami na mnohé bloky o rôznej veľkosti. Mechanizmus deformácií horninových masívov s takouto blokovitou štruktúrou, u ktorej navyše sú jednotlivé bloky narušené vydobytými priestormi, spočíva v deformácii samotných blokov, a tiež v posunoch a v priestorovom otáčaní blokov ako celkov.

Otvorené, alebo vyplnené plochy odlučnosti pri zvýšení ich vlhkosti zvyšujú náchylnosť horninových blokov k pohybu a vedú k vytváraniu nového rovnovážneho stavu. Táto skutočnosť je z hľadiska mechaniky pohoria veľmi závažnou i preto, že výskyt odlučných plôch – tektonického porušenia, v nadloží výrazne znižuje samonosnosť masívu. Obdobne možno očakávať náchylnosť k pohybu poklesového typu u strmých a križujúcich sa tektonických štruktúr.

Tektonické štruktúry vhodné pre zvodnenie

Najvýznamnejšie tektonické štruktúry rudnianskeho rudného poľa, patria medzi poruchové, zlomové štruktúry. Vznikli v dôsledku viacnásobnej zmeny poľa napätia na horninový masív oblasti. Klivážové a puklinové štruktúry boli niekoľkokrát obnovované. Poruchové štruktúry, môžeme priradiť podľa výplne k významným štruktúro-geologickým vývojovým etapám, ktoré vznikli po hlavných mineralizačných procesoch. Z tohoto pohľadu za najstaršie porudné štruktúry pokladáme, tzv. *poruchy s mylonitom*. Dokumentujú kompresné pole napätia v oblasti, ktoré podmienilo vznik tektonických brekcií v týchto štruktúrach. Následne, umožnili tieto brekcie, dobrú infiltráciu hydrotermálnym roztokom, ktoré vznikali v závere posledných zrudňovacích pulzov. Metasomatózou horninotvorných minerálov vznikli íly, ktoré viac-menej vyplnili a stmelili tektonické brekcie. Geomechanické vlastnosti porúch s mylonitom sú závislé od fyzikálno-chemických vlastností ílov. Voda môže spôsobiť *bobtnanie ílov* ale aj *náhly pokles koeficientu trenia*. Môže to byť dôvod ku geodynamickej aktivizácii porúch s ílovou a ílovito-brekciou (mylonitovou) výplňou. Na druhej strane je *voľná infiltrácia vody výrazne znížená*.

Poruchy bez výplne sú štruktúry, ktorých vznik sa predpokladá v porudnom štádiu vývoja oblasti, v podmienkach extenzie (ťahu). Sú to poruchy, ktoré sú založené buď na poruchách predošlého typu (s mylonitovou výplňou), alebo poruchy nové, prevážne s nimi subparalelné. Tieto extenzné poruchy, dokumentujú rozširovanie priestoru rudného poľa, v doprovide veľkého množstva poklesových štruktúr, ktoré sú najlepšie pozorovateľné na poklesových kryhách priemyselne významných žíl. Amplitúda posuvu poklesu, je mnohokrát vyššieho rádu, to znamená od niekoľkých metrov až po niekoľko desiatok metrov.

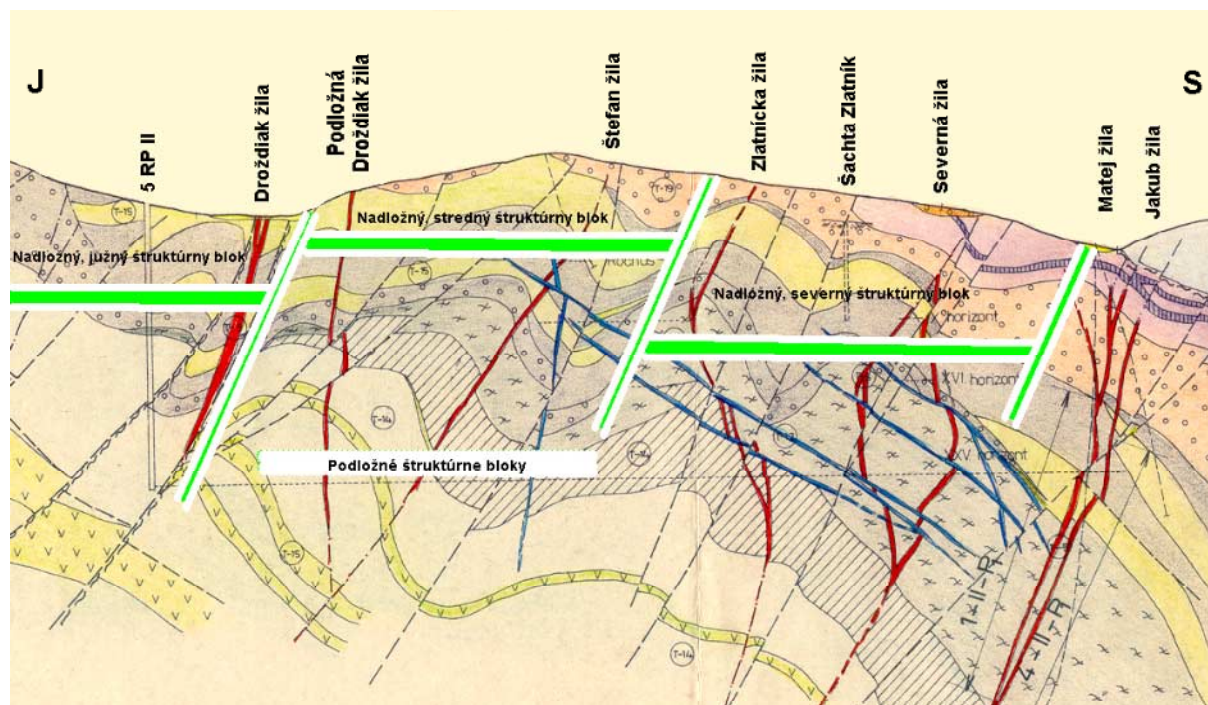
Občasnú zmenu poľa napätia horninového masívu dokumentuje menšie množstvo kompresných a prešmykových zlomov, ktoré sú však opätovne vystriedané poklesovou, poruchovou tektonikou, prevládajúcou dodnes.

Z geodynamického pohľadu je *východná časť* rudného poľa (obr.2), členená na tzv. *podložné štruktúrne bloky*, ktoré sú vyvinuté v zóne, najmä pod 16. obzorom. Táto oblasť je charakterizovaná štruktúrnymi blokmi, ktoré sú vymedzené konjugovanými poruchami smeru SV-JZ. Priestorová stavba umožňuje *klinovité poklesávanie tektonických blokov*.

V oblasti žily Severná, nad 10. obzorom, je báza *Nadložného, severného štruktúrneho bloku*, v ktorom majú hlavné štruktúry poklesového charakteru smer SSSZ-JJV s úklonom k SVV. V pripovrchovej zóne tejto oblasti nie sú známe výraznejšie poklesové závaly.

Nadložný, stredný štruktúrny blok zahŕňa v sebe Podložnú žilu Droždiak a žilu Štefan. Bazálna časť tohoto bloku je vo výške obzoru Rochus. Hlavné poklesové štruktúry sú v tejto oblasti v zásade smeru V-Z s úklonom 40-50° k J. Pripovrchová oblasť môže byť deformovaná týmito poklesmi.

Nadložný, južný štruktúrny blok obsahuje žilu Droždiak. Podľa pripovrchových deformácií je analogický Nadložnému, strednému štruktúrnemu bloku. Expertízne práce Kunáka (1985), ktoré sledovali geodetickými metódami povrchové deformácie terénu, potvrdili existenciu *dominantných poklesových štruktúr smeru V-Z s úklonom 50°k J.* V priestore medzi jamami Mier, 5 RP II., 5 RP I. a Poráč boli identifikované závaly s amplitúdou poklesu od 10cm do 75 cm. Tieto expertízne práce exaktne potvrdili *poklesovú tektoniku pripovrchovej zóny, smeru V-Z s úklonom k J.*



Obr.2. Geologicko-štruktúrno-ložiskový rez východnou časťou rudnianskeho rudného poľa. Osobitne sú vyznačené, štruktúrnou analýzou overené, nadložné a podložné štruktúrne bloky (podľa geologického rezu Gondy, 1988, upravil Sasvári, 1998).

Vzájomné vzťahy tektoniky a geomechanických vlastností horninového masívu v rudnianskom rudnom poli sú závislé od typu horninového prostredia, prednostnej orientácie minerálov, látkovej inhomogenity žilnej výplne, typu dislokácií, petrografického a chemického zloženia hornín, veľkosti minerálnych zŕn, úklonu a priebehu jednotlivých dielčích úsekov.

Analýzou vyššie uvedených faktorov a meraniami Schmidovým kladivkom Király (1986) zistil, že horninové prostredie na 19. obzore žily Zlatník je v smere S-J viac inhomogénne ako vo smere V-Z. Na 16. obzore sa pomer inhomogenity vo smere V-Z a S-J vyrovnal. Výrazný je rozdiel napríklad u grafitických fylitov vrchného karbónu, ktoré v smere V-Z vykazujú podstatne vyššiu homogenitu horninového masívu ako v smere S-J. *Znamená to, že štruktúrne bloky sú výrazne ovplyvnené faktormi geologického prostredia horninového masívu.*

Aplikáciou vyššie uvedených výsledkov pre celú východnú a taktiež aj západnú časť rudnianskeho rudného poľa, prichádzame k záveru, že poklesové štruktúry vznikajú prednostne, najmä v pripovrchovej zóne, vo smere V-Z s úklonom k J. Plochy tektonických štruktúr sa tvoria súbežne s pásmom inhomogenity horninového masívu vo smere V-Z.

Záver

Predložený článok mal za cieľ uviesť spôsoby analýz a hodnotenia vplyvov likvidácie hlbinej bane na príklade rudného ložiska v Rudňanoch, kde dôjde k postupnému zatápaniu celého dobývacieho poľa. Poukazuje aj na možné zmeny stability v horninovom prostredí a následné deformačné prejavy na povrchu.

Súčasný (sekundárny) napätový stav v celom dobývacom území rudnianskeho ložiska je závislý od pôsobenia horských tlakov v starinách tesne pod úrovňou obzoru Rochus.

Po zatopení bane dôjde k vytvoreniu nového rovnovážneho stavu, ktorý bude odrazom fyzikálno-mechanických parametrov hornín priameho a vzdialenejšieho nadložia. V súčasnosti vlhkosť hornín, s jej možným rozptylom, výrazne neovplyvňuje napäťovo-deformačný stav (okrem polôh bridlíc).

Nové *tlakové pomery*, ktoré budú postupne vyvolané čiastkovým (po XIII. obzor) až úplným zatopením ložiska (po Rochus), môžu viesť k novej aktivácii pohybov a poklesov horninových blokov najmä po význam-

ných dislokáciách, zlomových štruktúrach s mylonitom a bez výplne. Vo východnej časti rudného poľa, nad obzorom Rochus (Hatala a Ďurove, 1996), v Nadložnom, strednom a južnom štruktúrnym bloku, v oblasti medzi jamami Mier, Zlatník, Poráč a 5 RP II., môže dochádzať k poklesom vo smere V-Z, s úklonom k J. Hlbšie, pod 16. obzorom sa však už prejavuje SV-JZ smer konjugovaných poruchových štruktúr. V západnej časti rudného poľa, v celom priestore medzi 19. až 13 obzorom, a pravdepodobne aj v pripovrchovej zóne, môžu vzniknúť poklesy smeru V-Z s priemerným úklonom 43° k J (Sasvári, 1998).

Pri úplnom zatopení môže dôjsť aj k reaktivizácii niektorých zosuvov v dôsledku osobitných podmienok, ktoré predstavuje zložitá geometria banských diel a vydobytých rudných žíl. Ide o priestory založené, čiastočne, alebo úplne zavalené, značne konsolidované, ktoré sa nachádzajú v sieti pilierov a okolitých hornín. Koeficient trvalého nakyprenia $k_{tr} = 1,25$ uvažovaný pri zavalených priestoroch, môže poklesnúť po konsolidácii vodou na hodnotu $k_u = 1,1$, a tým závalová elipsa môže dosiahnuť povrchové časti. Možno predpokladať aj stratu únosnosti stien banských diel a pilierov obsahujúcich najmä vrstvy sericiticko-chloritických fylitov, v dôsledku rozpadavosti týchto hornín, čo môže spôsobovať ďalšie pohyby, avšak bez výraznejších prejavov na povrchu krajiny. V súvislosti s uvedenou štúdiou bolo tiež úlohou navrhnúť a vybrať najvhodnejšie opatrenia a postupy (technické riešenia), ktoré budú minimalizovať environmentálne dopady zatápania bane. Tieto opatrenia však v tomto príspevku nerozoberáme, podrobne sú uvedené in Beharka et al. (1999).

Literatúra

- Beharka, M., Piovarcsy, K. Bauer, V. a Husár, M.: Environmentálne vplyvy zatápania bane v Rudňanoch. *Štúdiá, archív Geologia, s.r.o., Spišská Nová Ves a F BERG TU Košice, 1999.*
- Hatala, J. a Ďurove, J.: Odborné posúdenie stability jamy Poráč. *Záv. správa – archív F BERG TU v Košiciach, 1996.*
- Király, R.: Vzájomné vzťahy tektoniky a geomechanických vlastností horninového masívu na rudnom ložisku Rudňany. *Dipl. práca – archív F BERG KGaM TU v Košiciach, 1986, 79 s.*
- Kunák, L.: Vplyv dobývania na deformácie v okolí banských diel. *Záverečná správa úlohy II-6-1/08.01, BF VŠT Košice, 1985.*
- Lesňák, O.: Vliv vody na fyzikální a mechanické vlastnosti hornin z OKR. *VVUÚ, Ostrava-Radvanice, 1975.*
- Rozložník, L. a Sasvári, T.: Povaha mineralizovaných štruktúr a ich postavenie vo vývoji stavby rudnianskeho rudného poľa. In Cambel, B. & Jarkovský, J. „Rudnianske rudné pole“. *Vyd. VEDA SAV, Bratislava, 1985, s. 42 – 60.*
- Sasvári, T.: Štúdiá štruktúrno-geologických pomerov rudnianskeho poľa. Zhodnotenie súčasného stavu podzemia z hľadiska tektoniky. *KGaM, F BERG TU v Košiciach, 1998, 48 s.*
- Trančík, P., Hatala, J., Vrabec, F., Dojčár, O. a Sedlatý, V.: Fyzikálno-mechanické vlastnosti okolitých hornín na ložisku Rudňany. *KHDL a VB, BF VŠT Košice, 1962.*
- Vavrek, P., Ďurove, J.B. a Maras, M.: Posúdenie geotechnických vplyvov zatápania bane Západ v Rudňanoch matematickým modelovaním. *Acta Montanistica Slovaca – monografia, 2/1999.*