

Možnosti posudzovania napät'ovo-deformačných stavov horninového masívu

Jozef Čížik¹

Possibilities of the evaluation of states of strain deformation in the rock massif

The article suggests methods and the way to solve the states of strain deformation in the rock massif. One of the systems of mathematical modelling, which can help to solve serious and difficult geotechnical problems in the underground construction and mining is presented. The special effect is given concerning tectonic dislocations on general evaluation state of stability in the rock massif. The article presents an actual example "problem of mining stability" of the magnesite mine in Jelšava.

Key words: strain state, tectonic failure, deformation state, stability of rock massif, mathematical modeling.

Úvod

Napät'ové a deformačné prejavy horninového masívu sú pomerne rozsiahle a zložité, pričom ich výskum umožňuje použitie širokej škály metód matematickej aproximácie, analytických riešení, laboratórnych výskumných metód i metód výskumu v banských podmienkach. Každá z metód má svoje výhody aj nedostatky, vyššiu, alebo nižšiu pracnosť, rôznu možnosť zovšeobecnenia výsledkov, a pod. Pri voľbe metód a prostriedkov pre riešenie konkrétneho problému by sa malo vychádzať z jeho závažnosti a zložitosti, ale i požadovanej presnosti výsledkov. Použitie jednotlivých metód sa navzájom prelína, podmieňuje a dopĺňa.

Prezentované riešenie sa týka vymedzenia odbornej problematiky mikovskej časti ložiska Dúbravský masív. Cieľom úlohy bolo geotechnické prehodnotenie napät'ovo-deformačných stavov v okolí barierného piliera daného horninového masívu.

Teoretická časť

Charakteristika súčasného stavu stabilitej problematiky vychádza z doposiaľ na väčšine ložiska používanej dobývacej metódy otvorenou komorou. Pri tejto dobývacej metóde sú rozmery komory závislé na geologických pomeroch a pre zistenie potrebnej stability sa používajú nasledovné parametre: medzikomorový pilier, stropný pilier a čelný pilier. Podľa kvantitatívneho charakteru táto metóda neumožňuje selektívnu ťažbu, ktorá je v súčasnosti a najmä v budúcnosti veľmi preferovanou. Jej negatívom je okrem toho skutočnosť, že po vyťažení ostávajú veľké vydobyté priestory, ktoré je nutné likvidovať. Zložitosti vyskytujúce sa pri likvidácii sústavy ochranných pilierov pri dobývaní značne obmedzujú použitie tejto metódy v konkrétnych podmienkach. Preto už aj v minulosti sa úspešne začala uplatňovať dobývací metóda s mechanizovaným výstupkom so zakladaním vyrúbaného priestoru (Fabián, Ďurove, 2000).

Napät'ovo-deformačný stav dobývacieho sektoru v konkrétnych bansko-technických a geologických podmienkach je závislý na: úložných pomeroch (hlbka pod povrchom), geotechnických vlastnostiach hornín a masívu, štruktúrno-tektonickej stavbe masívu, zvolených parametroch dobývania (komôr, pilierov).

Úložné pomery sa dajú charakterizovať pomocou hodnôt geostatického a bočného tlaku, ktorých hodnoty sa určujú hĺbkou, uhlom vnútorného trenia alebo Poissonovým číslom hornín. Z hľadiska mechanických charakteristík je základným parametrom pevnosť v prostom tlaku, ktorá limituje únosnosť piliera s ohľadom na zvolené rozmery nosnej plochy a na priebeh regresnej krivky. Regresná krivka pevnosti horniny zohľadňuje vplyv tvaru piliera (štíhlosný pomer) na jeho únosnosť. Pre posúdenie stability blokových pilierov na plochách nespojitosti sú dôležitými parametrami uhol vnútorného trenia a súdržnosť na týchto tektonických poruchách. Najťažšie stanoviteľným parametrom štruktúrno-tektonickej stavby masívu je presné určenie jeho porušenia (celková porušenosť). Z toho sa odvíja aj dôležité konštatovanie, že nie je možné presne stanoviť, ktoré blokové piliere sú najviac postihnuté nepriaznivo orientovanou tektonikou. Nedá sa jednoznačne povedať, u ktorých pilierov je potrebné počítať s čiastočnou alebo úplnou stratou ich stability. Celková únosnosť piliera nie je konštantným parametrom a s narastajúcou výškou piliera sa znižuje. Únosnosť piliera je ovplyvnená aj ďalšími činiteľmi, sú to najmä: orientácia poruchy voči osi piliera a trecie plochy na poruche, ktoré sú závislé od uhla vnútorného trenia a zviskovej súdržnosti na tejto poruche.

¹ Ing. Jozef Čížik, KDLaG, F BERG TU v Košiciach, jozef.cizik@pobox.sk
(Recenzovaná a revidovaná verzia dodaná 24. 1. 2005)

Z doterajších skúseností vyplýva, že k strate celistvosti piliera dochádza už pri malých posunoch po tektonických poruchách. Preto takýto pilier nemôže plniť svoju aktívnu nosnú funkciu a tvorí pasívnu ochranu priestoru bloku v prípade porušenia stropu dobývky. Zároveň jednotlivé okolité piliere preberajú časť pôvodnej nosnej funkcie tohto piliera, čím dochádza k ich preťaženiu. Celkovo možno zhrnúť, že voľba konkrétneho systému dobývacích blokov závisí od úrovne poznatkov o ložisku. To je vážny dôvod prečo je potrebné vykonávať geotechnické merania s cieľom získania vstupných údajov pre matematické modelovanie napätovo-deformačného stavu horninového masívu. V poslednom období sa metódy matematického modelovania stali silným a všeobecne uznávaným prostriedkom pre riešenie stabilných geotechnických problémov.

Postup zostrojenia modelu napätovo-deformačného stavu horninového masívu

Celý problém úlohy prehodnotenia napätovo-deformačných stavov na ložisku sa dá urobiť pomocou matematického modelu. Základom je zostrojenie samotného modelu, ktorý by mal zodpovedať svojou povahou čo najvernejšie danej skutočnosti.

Popis matematického modelu: v súčasnosti matematický model popisuje približný, primeraný stav na ložisku pri dobývaní magnezitu. Celý model je spracovaný pomocou mapových dokumentov (štruktúrne mapy horizontov 320, 350, 390, 400, 520 m. n. m.). Model modeluje oblasť o rozmeroch 520 m v smere V–Z a 360 m v smere S–J. Výška modelu je 455 m (od úrovne 182 m.n.m.) V modeli je vymodelovaný vzniknutý nezlikvidovaný voľný priestor, ktorého rozmery sú 320 m v smere V–Z a 160 m v smere S–J. Pre model ako celok bol použitý Mohr-Coulombov model (jeden z mnohých), ktorý bol zámerne vybraný pre túto situáciu kvôli svojim špecifickým podmienkam a vstupným geotechnickým parametrom. Povrch masívu nie je fyzicky v modeli vymodelovaný. Preto je povrch nahradený podmienkou zvislého zaťaženia, z ktorej vyplýva, že veľkosť napätia vo vertikálnom smere je daná hĺbkou daného miesta pod povrchom a objemovou tiažou hornín od povrchu až po uvažované miesto.

Fixácia modelu: celý model je určitým spôsobom fixovaný. V horizontálnom smere je každý bod mriežky zafixovaný v smere osí x, y na obidvoch stranách modelu a vo vertikálnom smere sú všetky body mriežky zafixované v spodnej časti v troch smeroch x, y, z. Týmto spôsobom je v modeli vytvorená tzv. „tuhá vaňa“. Povrch modelu nemôže byť zafixovaný, pretože pri výpočte by neodzrkadľoval reálnu povrchovú situáciu, povrch modelu je prirodzený. Hraničné podmienky v danom modeli pozostávajú z hodnôt poľa premenných, ktorými sa stanovujú na okraji modelu čísla mriežok. Okraje sú dvoch kategórií: reálne a umelé. Reálne okraje sú v modeli modelované. Umelé okraje nie sú skutočné, ale musia byť uvedené za účelom ohraničenia vybratého počtu zón. Mechanické podmienky sú aplikované v okrajoch a popisujú vertikálny a horizontálny tlak v modeli.

Riešenie napätových stavov: pri riešení napätovo-deformačných stavov v okolí banského diela malo by sa vychádzať z priebehu napätí, ktoré v danom mieste pôsobili pred vznikom banského diela. Primárny napätový stav bol vypočítaný na základe aplikovaného gradientu napätia použitého pri efekte stúpajúceho tlaku s hĺbkou pôsobiacej pri gravitácii. Gradient bočného tlaku bol vypočítaný pomocou koeficientu bočného tlaku ($k = 0,3927$). Takým spôsobom sa dosiahla miera spolupôsobenia vplyvu bočného tlaku na vertikálny tlak, ktorého veľkosť rastie s hĺbkou pod povrchom. Z toho vyplýva, že s narastajúcou hĺbkou rastú hodnoty namáhania na tlak, pričom v smere k povrchu (približne od úrovne 600 m.n.m.) rastú mierne hodnoty namáhania na ťah. Takýmto spôsobom je zadaný primárny napätový stav modelu horninového masívu od povrchu (637 m.n.m.) až po úroveň 182 m.n.m.

Vstupné geotechnické parametre, ktoré boli použité pre model (Zahoranský, 1985) a pre tektonické poruchy (Kulhawý, 1975) sú uvedené v príslušných tabuľkách (tabuľka 1, 2).

Tab. 1. Vstupné geotechnické parametre modelu (Mohr-Coulomb)
Tab. 1. Input geotechnical parameters of the model ((Mohr-Coulomb).

Charakteristika	Magnezit	Rozmer
Poissonovo číslo (μ)	0,282	–
Objemový modul pružnosti (K)	$17,431 \cdot 10^3$	MPa
Šmykový modul pružnosti (G)	$8,892 \cdot 10^3$	MPa
Statický modul pružnosti (E)	$22,8 \cdot 10^3$	MPa
Uhol vnútorného trenia (φ)	45	°
Súdržnosť (c)	20	MPa
Pevnosť v priečnom ťahu (σ_{pt})	7,19	MPa

Tab. 2. Vstupné geotechnické parametre pre tektonické poruchy
Tab. 2. Input geotechnical parameters for the tectonic Dislocations.

Charakteristika	Magnezit	Rozmer
Uhol vnútorného trenia (φ)	40	°
Normálová tuhosť (kn)	1	MPa.m-1
Šmyková tuhosť (ks)	1	MPa.m-1

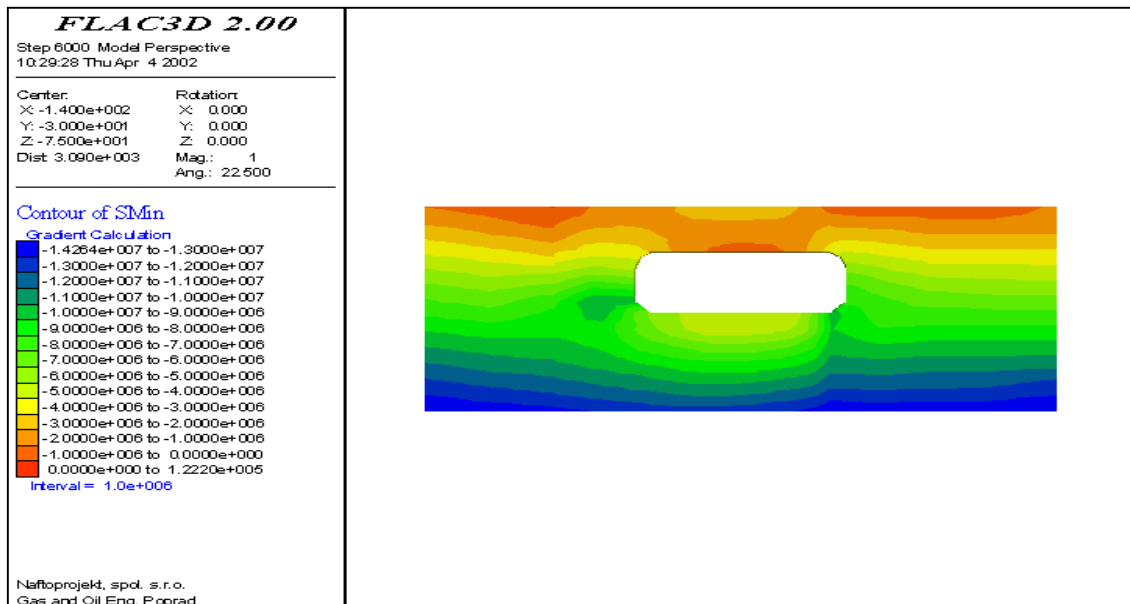
Riešenie modelu: celá úloha bola riešená variantným spôsobom tak, že v jednotlivých variantoch sa menila hodnota pevnosti v priečnom ťahu. Takto boli určené možné situácie (od najpriaznivejšej 7,19 MPa až po najzložitejšiu 1,5M Pa pre daný prípad), ktoré môžu nastať v rámci vydobytého voľného priestoru a jeho vplyvu na celkovú napäťovo-deformačnú situáciu. Pri pevnosti v priečnom ťahu totiž dochádza k porušeniu po predurčenej ploche. Toto je samozrejme jedna z podmienok, ktorá jednoznačne hovorí ako vznikne samotné porušenie v okolí vydobytého voľného priestoru.

Vyhodnotenie modelu a interpretácia výsledkov

Značný vplyv na stabilitu má tektonická porušenosť masívu, ktorá je pomerne rozsiahla v povrchovej (stropnej) časti. Modelová situácia ukazuje, že k zvýšeniu napätí dochádza v miestach prechodu tektonických porúch. To je jednoznačný dôkaz, že tektonické poruchy majú vplyv na stabilitu nielen stropnej časti vydobytého voľného priestoru, ale aj celej oblasti ložiska (Čížik, 2002). Vzhľadom na rozsiahlosť výstupov uvádzam len jeden variant modelu, tzv. „variant 1“.

Maximálne napätia: Variant 1 predstavuje najpriaznivejšiu situáciu priebehu maximálnych napätí v modeli. Je v ňom viditeľná zvýšená koncentrácia tlakových napätí (10 MPa) v západnej a juhozápadnej časti vydobytého voľného priestoru, kde sa nachádza (vzniklo) prepojenie na povrch, tzv. prepádisko. Táto časť masívu je dosť nestabilná a dochádza v nej k značným porušeniam, nakoľko sa nachádza na tektonickej poruche. Z toho dôvodu je zřejmé, že daná oblasť je považovaná z hľadiska stability za oblasť pomerne oslabenú.

V stropnej časti vznikajú tlakové napätia (1-2 MPa), ktoré sú príčinou tvoriaceho sa klenbového efektu. Napriek výskytu tektonických porúch, ktoré majú negatívny vplyv v samotnej tvoriacej sa klenbe tlakové napätia nepredstavujú zvýšené hodnoty z hľadiska ohrozenia stability.

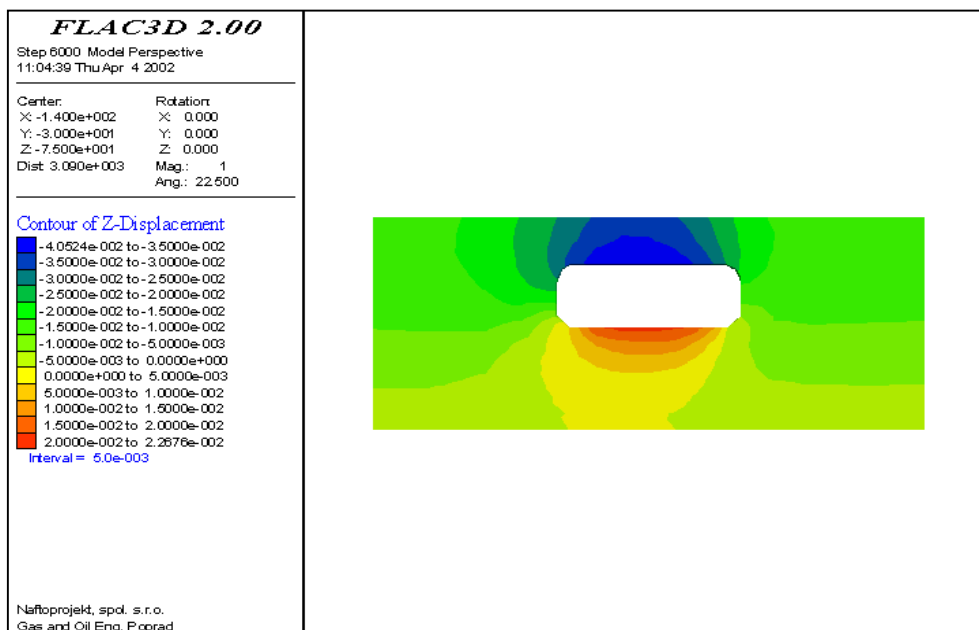


Obr. 1. Maximálne hlavné napätia (vertikálny pozdĺžny rez).
Fig. 1. Maximum principal stresses (vertical longitudinal section).

V podloží vznikajú tlakové napätia (4-5 MPa), ktoré sú spôsobené hĺbkou uloženia, objemovou hmotnosťou a gravitačným zrýchlením. V prípade ich zvýšenia môže dôjsť k porušeniu podložia a následne k ohrozeniu celkovej stability pilierov pri výstupkovom dobývaní, ktoré sa aplikuje pod vydobytým voľným priestorom. Najpriaznivejšiu situáciu priebehu maximálnych hlavných napätí udáva variant 1 (obr. 1), v ktorom veľkosť pevnosti v priečnom ťahu je 7,19 MPa. V podloží vznikajú tlakové napätia (4 až 5 MPa), ktoré sú spôsobené hĺbkou uloženia pod povrchom a objemovou hmotnosťou hornín (magnezit). Na povrchu dochádza v západnej a východnej časti k vzniku ťahových napätí (1,2 MPa), ktoré sa nenachádzajú nad vydobytým voľným priestorom a môžu byť spôsobené miestnou situáciou. Z modelu vyplýva, že ich vplyv na stabilitu danej oblasti nadobúda čoraz väčší význam.

Posunutia: posunutia patria k dôležitým sledovaným hodnotám, pomocou ktorých je možné stanoviť napäťovo-deformačný stav v okolí vzniknutého vydobytého voľného priestoru. Kvôli správne vyhodnoteniu modelu je potrebné určiť, aký veľký je posun zaťaženia pre rôzne modelové situácie, pri zmene hodnoty pevnosti v priečnom ťahu. Z toho sa bude dať jednoznačne určiť, kde dochádza v okolí vydobytého voľného priestoru k najväčším posunutiam. Potom na základe veľkosti posunutí je možné určiť oblasti možného

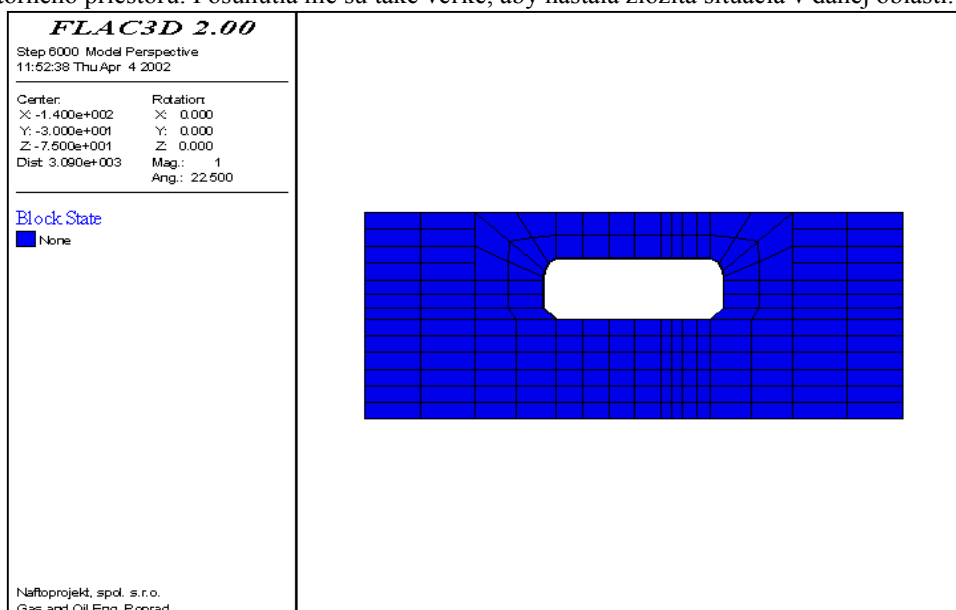
oslabenia stability, prípadne možný prejav deformácií v strope, v podloží alebo v jeho okolí. Najpriaznivejší prípad posunutí udáva variant 1 (obr. 2).



Obr. 2. Veľkosť posunutia vo zvislom smere (vertikálny pozdĺžny rez).
 Fig. 2. Displacement in the vertical direction (vertical longitudinal section).

V danom modeli je vidieť, že najväčšia koncentrácia posunutí sa nachádza v strope, v západnej a východnej hornej rohovej časti vydobytého voľného priestoru. Menšie koncentrácie sú viditeľné v spodnej časti. V stropnej časti posunutia jednoznačne dokazujú vznik klenbového efektu. Ich veľkosť je len 4 cm. Z toho vyplýva, že v stropnej časti nedochádza k prudkým zmenám posunutí. V horných rohových častiach sa koncentruje veľké napätie pochádzajúce z klenby. Veľkosť posunutí v horných rohových častiach je 3,5 cm a ich smer ústi do vnútra vydobytého voľného priestoru.

V podloží dochádza k menším prejavom posunutí ako v hornej klenbe, ich veľkosť je v rozpätí od 1,3 cm do 2,26 cm. Ich smer ústi do vnútra vydobytého voľného priestoru. Z toho vyplýva, že dochádza k prejavu ťahových napätí podložných vrstiev, ktoré túto situáciu spôsobujú, a tým sa môže podložie pomaly dvíhať do vnútorného priestoru. Posunutia nie sú také veľké, aby nastala zložitá situácia v danej oblasti.



Obr. 3. Aktuálny stav stability (vertikálny pozdĺžny rez).
 Fig. 3. Current stability state (vertical longitudinal section).

Prejav posunutí na povrchu je pomerne malý, len v západnej a juhozápadnej časti je vidieť šikmý smer posunutí priamo do vnútra vydobytého voľného priestoru. Je to prirodzene miesto oslabenia, kvôli vzniku prepadliska.

Aktuálny stav stability: pre určenie napäťovo-deformačného stavu vo vzniknutom vydobytom voľnom priestore a v jeho okolí v masíve je potrebné poznať, aký je momentálny stav stability na danom mieste. V tomto prípade sa dá jednoznačne určiť, kde dochádzalo resp. môže dochádzať k prípadnému porušeniu ťahom alebo šmykom. Najpriaznivejší prípad aktuálneho stavu stability udáva variant 1 (obr. 3).

Na modelovej situácii vidno, že tu nedochádza k žiadnym prejavom porušenia ťahom alebo šmykom. Z toho sa dá konštatovať, že samotný vydobytý voľný priestor a jeho okolie sa pri danej pevnosti v priečnom ťahu (7,19 MPa) nachádza v bezpečnom stave. Vo variante 1 nedochádza k zvýšeniu hodnôt maximálnych hlavných napätí a posunutí. To je dôkaz, že vydobytý voľný priestor a jeho okolie sú momentálne v kľudnom stave.

Záver

Z modelovaných variantov (1-7) možno konštatovať, že v celej oblasti vydobytého voľného priestoru a v jej okolí (vynímajúc oslabené časti) k zvýšeným prejavom maximálnych hlavných napätí a posunutí nedochádza. Podobne z hľadiska aktuálneho stavu stability je celá oblasť a jej okolie v stave parciálnej rovnováhy. Rozdiely medzi jednotlivými variantmi modelov sa prejavujú v postupnom narastaní hodnôt pevnostných charakteristík a posunutí.

Z hľadiska inžiniersko-technického riešenia je na prvom mieste bezpečnosť a nenarušenie stability, a preto na základe predošlých súvislostí je potrebné používať už aplikovanú dobývaciu metódu „mechanizované výstupkové dobývanie so zakladaním vydobytých priestorov“. Ide o najefektívnejšiu dobývaciu metódu v týchto podmienkach, najmä z hľadiska vlastných výhod, ale aj z hľadiska ekonomiky a bezpečnosti.

Literatúra - References

- Zahoranský, G.: Spracovanie meraných hodnôt tlakov a deformácií, *Ústav pre výskum rúd, Košice 1985*.
 Fabián, J., Durove, J.: Otvárka ložiska SMZ Jelšava a.s. (pod úrovňou 323m.n.m.), *Košice 2000*.
 Kulhawy, F. H.: Stress deformation properties of rock and rock discontinuities, *1975*.
 Čížik, J.: Prehodnotenie likvidácie priestorov z hľadiska nadložia na závode SMZ, a.s. Jelšava pomocou matematickeho modelovania, *Diplomová práca, TU F BERG v Košiciach, 2002*