

**Pavol VAVREK<sup>1</sup>**

**VPLYV TECHNOLOGICKÝCH FAKTOROV NA STABILITU  
VNÚTROBLOKOVÝCH PILIEROV NA MAGNEZITOVÝCH LOŽISKÁCH**

**TECHNOLOGICAL FACTORS INFLUENCE OF INTER-BLOCK PILLARS  
STABILITY ON THE MAGNESITE DEPOSITS**

**Abstrakt**

Článek se zaměřuje na geomechanickou analýzu podzemního dobývání ložisek magnezitových minerálů na Slovensku. Slovenská magnezitová ložiska patří k největším v Evropě. Ložisko s největším ekonomickým významem vzniklo postupně v centrální a východní části Slovenského rudohoří. Nachází se zde velká ložiska Jelšava-Dúbravský masív, Košice-Bankov, Bubeník a další menší. Hlavní dobývací technikou od 80 let minulého století je metoda tzv. otevřené komory. Od 90 let je pro výběrovou těžbu používána nová metoda dobývání: mechanizované výstupkové dobývání s vnitřními pilíři 5x5 m. Článek se zaměřuje na řešení geomechanických problémů – zpětné ovlivňování stability vnitroblokových pilířů.

**Abstract**

The paper focus on the geomechanical analysis of underground mining by extraction of the deposit of magnesite minerals in Slovakia. Magnesite deposits in Slovakia belong to the largest ones in Europe. Deposits of the major economic importance occur in a long strep in the central and eastern part of the Slovenské Rudohorie Mst. Large deposits Jelšava-Dúbravský masív, Košice-Bankov, Lubeník and other smaller deposits are situated there. The main extraction technique up the eighties of the last century was the method of open stope with mining railles mechanization. For selective mining since the nineties was used new method of extraction: mechanized overhead stopping method, with the inter-block pillars of 5x5 m. The paper is oriented on the solution geotechnical problems-backfill influence related with inter-block pillar stability.

**Úvod**

Ťažba magnezitu má na Slovensku bohatú históriu. V súčasnosti sa ťaží magnezit na ložiskách Jelšava, Lubeník a Mútnik-Hnúšťa s celkovou ročnou ťažbou na úrovni cca 1,5 mil. t. Pri ťažbe magnezitu sa v súčasnosti používajú hlavne dve dobývacie metódy a to:

---

<sup>1</sup> Ing. Pavol Vavrek, ÚMV a OŽP, F BERG TU v Košiciach Park Komenského 19, 042 00, Košice, Slovenská Republika, e-mail: [pavol.vavrek@tuke.sk](mailto:pavol.vavrek@tuke.sk)

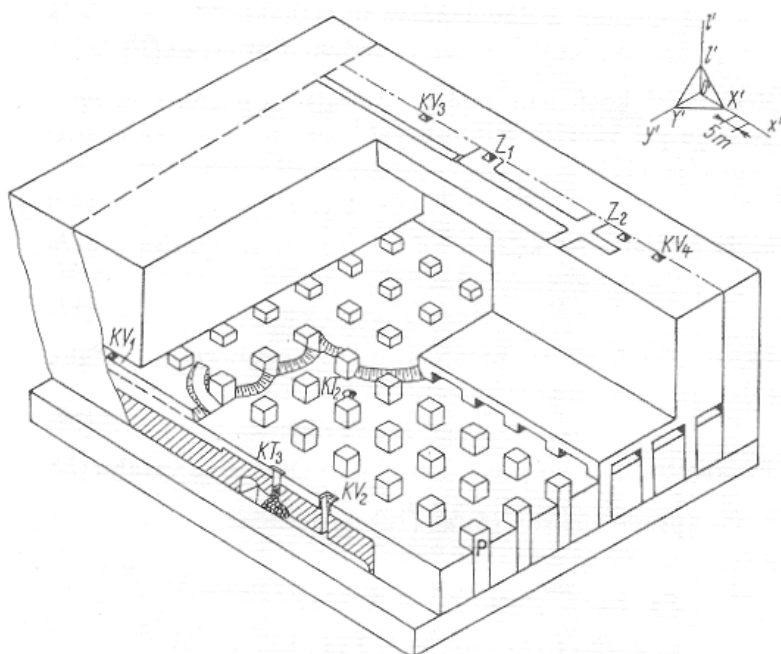
- ❑ dobývanie otvorenou komorou z medziobzorových chodieb,
- ❑ mechanizované výstupkové dobývanie so zakladaním vyrábaných priestorov.

Nosnou dobývacou metódou z hľadiska veľkosti ťažby je výstupkové dobývanie (VD), ktoré je charakterizované postupom dobývania od základného obzoru smerom nahor v pravidelných veľkoplošných vrstvách po tzv. lávkach (obr. 1). Umožňuje selektívne dobývanie iba v tých častiach bloku, ktoré kvalitatívne vyhovujú.

Súčasťou ťažby je ponechávanie ochranných pilierov, ktoré plnia pri výstupkovom dobývaní tieto funkcie:

- ❑ chráni mimoblokové banské diela pred nepriaznivými prejavmi horninových tlakov vznikajúcich ako dôsledok dobývania v bloku, najmä na dovrchnú chodbu, vetracie komíny a susedné dobývacie bloky a banské diela,
- ❑ chráni vlastný priestor dobývky tým, že podopierajú strop. Tieto vnútroblokové piliere majú bežne pôdorysné rozmery 5x5 m a premenlivú výšku v rozmedzí cca 6 – 70 m a sú spravidla rozmiestňované v 12 m rozostupoch. Priestor medzi piliermi sa zakladá a zároveň tvorí dobývacie pásy.

Pri ťažbe na výstupkoch dochádza niekedy k porušovaniu až úplnej deštrukcii vnútroblokových pilierov (VBP), čo sa negatívne prejavuje na bezpečnosti a efektívnosti ťažby v banských podnikoch.



**Obr. 1** Zobrazenie výstupkového dobývania so základkou (P – pilier, Z – základkový komín, KV – komín vetrací, KT – komín ťažobný)

## **Faktory ovplyvňujúce stabilitu VBP**

Faktory, ktoré ovplyvňujú nosnú schopnosť vnútroblokových pilierov môžeme rozdeliť do dvoch hlavných kategórií:

- ☐ prírodné faktory,
- ☐ technologické faktory.

### ***Prírodné faktory***

Pri dobývaní ťžitkových surovín v podzemí musíme brať do úvahy prejav horninového masívu, ktorý je výsledkom pôsobenia veľkého počtu prírodných faktorov. Vo všeobecnosti môžeme za najdôležitejšie faktory považovať:

- ☐ horninový materiál, ktorý je charakterizovaný jeho fyzikálno-mechanickými vlastnosťami,
- ☐ systém plôch nespojitosti, ktorý má často podstatný vplyv na prejav horninového masívu. Diskontuity hodnotíme hlavne z hľadiska ich orientácie, priebežnosti, výplne, drsnosti, počtu, zvodnenosti a pod.,
- ☐ voda v póroch a trhlinách, ktorá napr. spôsobuje zníženie pevnosti horninového materiálu, plastifikuje výplňový materiál, čo spôsobuje zníženie trenia na plochách trhlín a tým znižuje pevnosť masívu,
- ☐ primárny stav napätia daný hlavne hĺbkou uloženia dobývok pod povrchom, reziduálnymi napätiami od horotvorných pochodov, konfiguráciou terénu, anizotropiou a heterogenitou hornín,
- ☐ časové zhodnotenie prejavu horninového masívu, ktoré je nutné pri dlhodobejšej životnosti banských diel a ochranných pilierov.

Všetkých týchto päť prírodných faktorov môžeme považovať za všeobecné. K týmto faktorom prístupujú ďalšie špecifické faktory, z ktorých sú najdôležitejšie:

- ☐ úložné pomery ložiska,
- ☐ povaha a orientácia stykových plôch ložiska s nadloží a podloží,
- ☐ prítomnosť preplástkov v pilieroch, ktorých pevnosť, výšková pozícia preplástku a stav trenia na stykových plochách ovplyvňuje priebeh napätí v pilieroch,
- ☐ geometrické parametre vyrúbaného priestoru,
- ☐ geometrické parametre vnútroblokových pilierov.

### ***Technologické faktory***

Charakteristickým znakom prevažnej väčšiny v súčasnej dobe používaných technológií dobývania je rozpojovanie hornín pomocou vŕtno-trhacích prác, čo vystavuje ochranné piliere periodickým účinkom seizmickej rázovej vlny pri odpaľovaní pomerne veľkých náloží v jednom časovom stupni s prejavom na ich stabilitu.

Za technologické faktory ďalej môžeme považovať vyosenie a nerovnosť povrchu VBP ako dôsledok technologickej nedisciplinovanosti pri vŕtacích prácach, ale aj ako dôsledok technicko-prevádzkových parametrov použitých mechanizmov.

Pri výstupkovom dobývaní so základkou treba brať do úvahy aj ďalší technologický faktor a to pojazd mechanizmov po základke. Pri pojazde mechanizmov po jednej strane piliera môže dôjsť k namáhaniu na vzper, čo sa môže negatívne prejaviť na stabilite VBP.

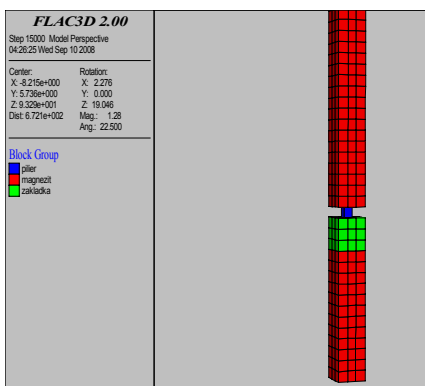
Ak sa prevádza likvidácia vyrúbaných priestorov zakladaním, základka tiež môže ovplyvňovať nosnú schopnosť VBP.

Z vyššie uvedeného vyplýva, že únosnosť VBP ovplyvňuje široká škála faktorov. Zohľadnenie vplyvu týchto faktorov v analytickom vyjadrení je problematické až nemožné. Pri riešení takýchto problémov sa v súčasnosti s výhodou používa hlavne matematické modelovanie, ktoré bolo použité pri riešení vplyvu základky a vyosenia na stabilitu VBP o čom pojednáva ďalšia časť príspevku.

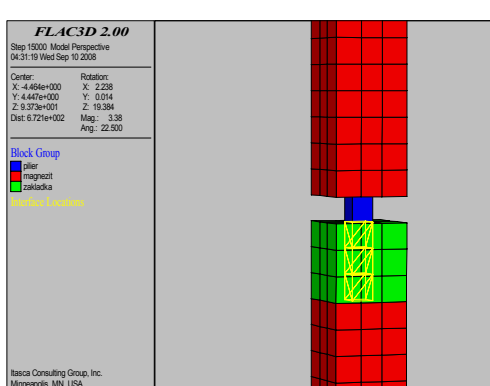
### Vplyv základky na stabilitu VBP

Pri výstupkovom dobývaní dochádza k selektívnej ťažbe so zakladaním vydobytých priestorov. Ako základkový materiál sa používa odpad z úpravárenských technológií a úžitková surovina, ktorá nevyhovuje kvalitatívnym požiadavkám. Základka sa dopravuje cez základkový komín na príslušnú lávku kde sa pomocou prepravníkových nakladačov rozmiestňuje po výstupku. Pri modelovaní vplyvu základky na stabilitu VBP bol použitý materiálový model pre základku s takými vlastnosťami, ktoré sa čo najviac približujú reálnym vlastnostiam základky (obr. 2).

Modelovala sa 24 m výška výstupku s 18 m výškou základky, vnútroblokový pilier mal pôdorysné rozmery 5x5 m. Pri stanovení fyzikálno–mechanických vlastností základky sa vychádzalo z meraní, ktoré boli realizované na výstupku V- 601 na košickom ložisku Bankov. V rámci meraní in-situ sa na výstupku realizovali statické zaťažovacie skúšky doskou, dynamické penetračné skúšky, stanovovala sa zrnitosť, zhutniteľnosť a objemová hmotnosť základky.



**Obr. 2** Materiálový model základky



**Obr. 3** Deliaci vrstva - interfaces

Základka bola modelovaná materiálom, ktorého vlastnosti (viď nižšie) sa odlišovali od vlastností materiálov tvoriacich horninový masív (magnezit a pilier). Pre základkový materiál bola stanovená krivka zrnitosti, podľa ktorej je materiál charakterizovaný ako štrk hlinito-piesčitý. Kontakt medzi pilierom a základkou bol tvorený deliacou vrstvou – pomocou funkcie interfaces, ktorú ma k dispozícii použitý program (obr. 3). Pre deliacu vrstvu boli použité tieto vlastnosti:

- ☐ normálová tuhosť  $k_n = 2009 \text{ MPa/m}$ ,
- ☐ šmyková tuhosť  $k_s = 707 \text{ MPa/m}$ ,
- ☐ uhol vnútorného trenia kontaktu magnezit – základka  $\phi_k = 30^\circ$ .

Pri výpočtoch boli použité tieto vlastnosti základky:

$E$  (modul pružnosti) = 200 MPa

$\phi$  (uhol vnútorného trenia) =  $33^\circ$

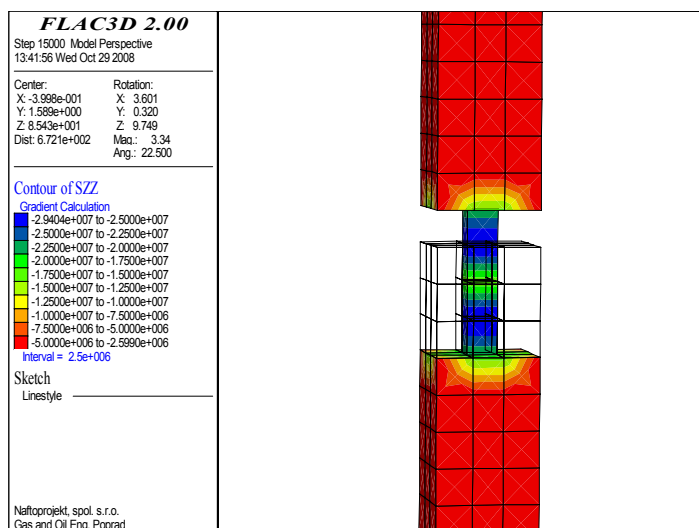
$\rho_0$  (objemová hmotnosť) =  $2200 \text{ kg.m}^{-3}$

Vlastnosti magnezitu, piliera a inicializačné napätia boli prevzaté z predchádzajúcich úloh, ktoré boli riešené v minulosti v období rokov 2002-2006 [1],[4].

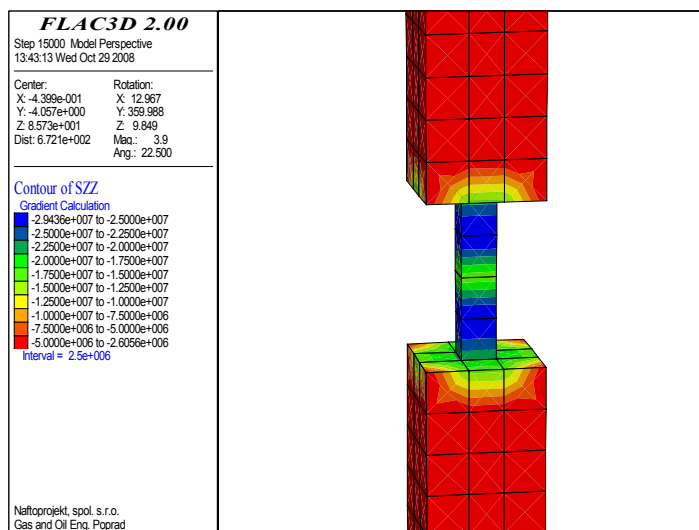
Pre posúdenie vplyvu základky na stabilitu vnútroblokových pilierov boli použité maximálne hodnoty normálových napätí v príslušných smeroch ( $S_{xx}$ ,  $S_{yy}$ ,  $S_{zz}$ ), maximálne hodnoty stredných hlavných napätí ( $S_{mid}$ ) a hodnoty priemerných deformácií ( $DispM$ ) v spodnej časti piliera. Porovnávali sa výstupné parametre (tab. 1) medzi modelom bez základky a so základkou. Na obr. 4 a 5 je zachytená zmena normálových napätí  $S_{zz}$  pre model bez základky a so základkou. Výstupné hodnoty napätí sú uvádzané v [Pa], záporné hodnoty predstavujú tlakové napätia, deformácie sú uvádzané v [m] .

**Tab. 1** Hodnoty porovnávaných parametrov

<b>Model</b>	<b><math>S_{xx}</math> [Mpa]</b>	<b><math>S_{yy}</math> [Mpa]</b>	<b><math>S_{zz}</math> [Mpa]</b>	<b><math>S_{mid}</math> [Mpa]</b>	<b><math>DispM</math> [m]</b>
<b>bez základky</b>	2,8472	2,8466	29,436	2,5268	$2,29 \cdot 10^{-3}$
<b>so základkou</b>	2,8258	2,8321	29,404	2,5149	$1,77 \cdot 10^{-3}$



**Obr. 4** Priebeh  $S_{zz}$  – model bez základky



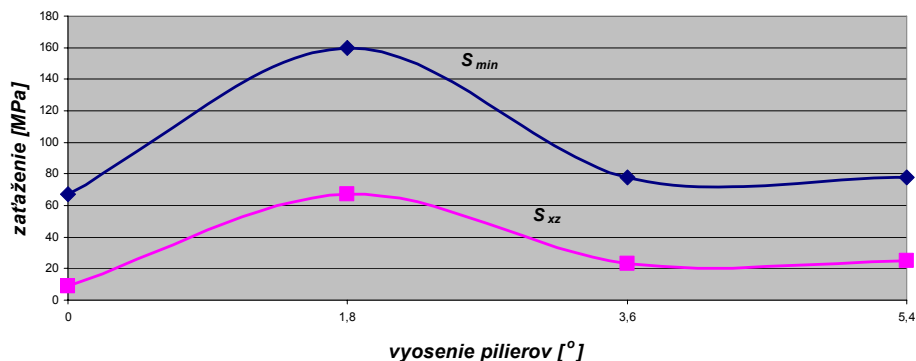
**Obr. 5** Pribeh Szz – model so základkou

Vyššie uvedené hodnoty (tab. 1) normálových napätí v príslušných smeroch, priemerné hodnoty deformácií ako aj hodnoty stredných hlavných napätí poukazujú na nepatrný vplyv základky na napäťovo-deformačný stav vnútroblockových pilierov pri daných okrajových podmienkach. Pri modeloch bez a so základkou nedochádza taktiež k zmenám priebehu sledovaných veličín.

### Vplyv vyosenia pilierov na ich stabilitu

Ďalší z technologických faktorov, ktorý môže ovplyvniť negatívnym spôsobom stabilitu VBP je ich vyosenie. Matematickým modelovaním bolo posudzované vyosenie 1,8°, 3,6° a 5,4° oproti východzie mu stavu (pilier bez vyosenia). Pre jednotlivé varianty bola vyhodnocovaná maximálna hodnota maximálneho hlavného napätia  $S_{min}$ , maximum šmykového napätia  $S_{xz}$  a maximálne posunutie v oblasti stropnej časti vnútroblockového piliera (obr. 6, 7).

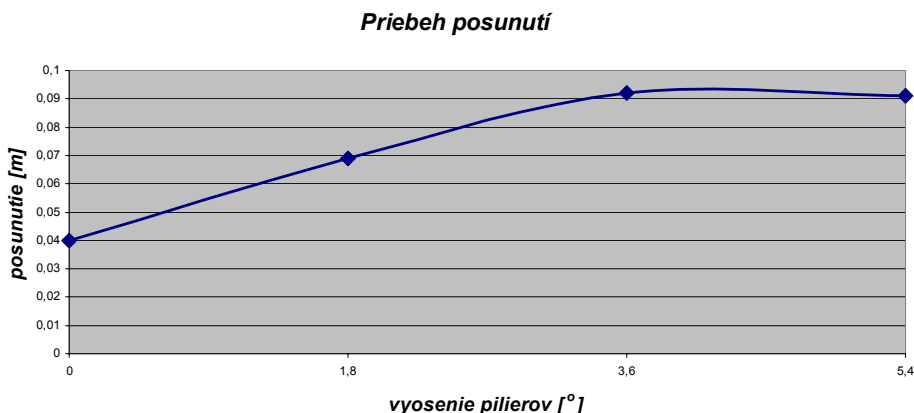
#### Pribeh maxim $S_{min}$ a $S_{xz}$



**Obr. 6** Zmena  $S_{min}$  a  $S_{xz}$  v závislosti od vyosenia pilierov

Priebeh zmeny  $S_{min}$  a  $S_{xz}$  v závislosti od zmeny vyosenia piliera je podobný. Z východzej polohy (pilier bez vyosenia) po vyosenie na úrovni  $1,8^\circ$  dochádza k výraznému cca 2,5 násobnému nárastu  $S_{min}$  a  $S_{xz}$ . Pri vyosení  $3,6^\circ$  a  $5,4^\circ$  dochádza oproti východzie mu stavu k miernemu cca 25 % nárastu sledovaných napätí.

Zmena veľkosti deformácie na vnútroblokovom pilieri pri zmene vyosenia piliera (obr. 7) má iný priebeh ako pri sledovaných napätiach (obr. 6). Z východzej polohy po úroveň vyosenia  $3,6^\circ$  dochádza k lineárnemu cca 2 násobnému nárastu deformácií. Od tejto úrovne po vyosenie  $5,4^\circ$  sa sledované posunutia prakticky nemenia.



**Obr. 7** Zmena deformácie vnútroblokového piliera v závislosti od vyosenia pilierov

## Záver

Stabilita vnútroblokových pilierov mechanizovaného výstupku pri ťažbe magnezitu je stále nedoriešeným geotechnickým problémom. Ovplyvňuje ju kombinácia prírodných a technologických faktorov, ktorých váha závisí od konkrétnej geotechnickej situácie. Vzhľadom na vysoké pevnosti (tlak, ťah, ohyb) magnezitu a dolomitu, ktorý je najčastejším sprievodným horninovým typom na magnezitových ložiskách ako aj slabý vplyv vody (vysoká hodnota koeficienta zmäknutia) na ich mechanické vlastnosti je menej dôležitým aspektom nestability VBP samotný horninový materiál, ktorý je schopný prenášať aj vysoké hodnoty zaťaženia. Väčšiu úlohu pri stabilite VBP zohráva ich tektonická porušenosť resp. prítomnosť preplástkov, čo v kombinácii so zvýšeným zaťažením spôsobuje porušovanie až totálnu deštrukciu pilierov. Zvýšené zaťaženie pilierov môže byť spôsobené napr. polohou piliera v porubnom poli (pri prehýbajúcom sa priamom nadloží sú viac zaťažované stredové piliere), klenbovým účinkom z vyššie nezlikvidovaných obzorov ale aj nedodrzaním technologickej disciplíny kde vplyvom predimenzovaných ťhacích prác môže dôjsť k zmenšeniu účinného prierezu, na ktorý nebol pilier dimenzovaný.

Vplyv základky je technologický faktor, ktorý pri daných okrajových podmienkach ovplyvňuje únosnosť ochranných pilierov vo veľmi malej miere, čo dokumentujú výsledky matematického modelovania. Podstatne väčší vplyv na napäťovo-deformačný stav vnútroblokových pilierov má ich vyosenie. Nedodrzaním závislosti pilierov dochádza k viac ako dvojnásobnému zvýšeniu zaťaženia pilierov, čo sa v kombinácii s inými faktormi môže prejaviť v znížení ich stability. Dodržiavanie

technologickej disciplíny, priebežná kontrola zvislosti VBP môžu výrazným spôsobom pozitívne ovplyvniť stabilitu vnútroblokových pilierov.

*Príspevok vznikol v rámci riešenia grantového projektu VEGA č. 1/0447/08.*

### **Literatúra**

- [1] ĎUROVE, J. & VAVREK, P. *Analýza napäťovo-deformačných stavov a prepočet stability dobývacieho sektoru B so zohľadnením štruktúrnych podmienok a aktuálnych stavov vnútroblokových pilierov*. Výsk.správa k bodu č.2 z I. etapy riešenia ZoD zo dňa 26. 3. 2004 (zodp.riešiteľ prof. Sasvari). F BERG TU v Košiciach, november 2004.
- [2] HOEK, E. *A Brief History of the Hoek – Brown Criterion*, Program: „Roc Lab“, 2002.
- [3] MUŽÍK, L. a kol. *Určení napěťo-deformačních stavu na magnezitovém ložisku Miková*. Výskumná správa, Ústav geologie a geotechniky ČSAV, Praha, 1979.
- [4] VAVREK, P. *Komplexný prepočet stabilitných podmienok a návrh stabilného riešenia na sektore B a v oblasti bariérneho piliera*. Časť: *Matematické modelovanie*. Košice, október 2005.

**Oponentní posudek vypracoval:**

**Doc. Ing. Petr Konečný, CSc., Ústav geoniky AVČR, v.v.i., Ostrava**