

Interaktivní využití měření a modelování pro posouzení bezpečnosti dna lomu Jiří při povrchové těžbě uhlí

Interaktive Nutzung der Messung und der Modellierung für Beurteilung der Sicherheit der Sohle des Tagebaus Jiří bei der tagebaumässigen Kohlenförderung

Die komplizierte Problematik der Sicherheit der mit dem Druck von artesischen Wässern belasteten Sohle des Tagebaus Jiří wird bereits langfristig durch interaktive Nutzung der Messung in situ und mathematische Modellierung gelöst. Auf diese Weise werden zuverlässige Unterlagen für die Umsetzung der Schutzmaßnahmen gewonnen, die einen zuverlässigen Vorgang des Tagebaues bei der Minimierung der Eingriffe in die Naturbedingungen des Schutzgebietes versichern. Im Artikel werden das Lösungskonzept und das große mathematische Raummodell beschrieben, das für die Beurteilung des Tagebauvorganges im Jahre 2000 eingesetzt wird.

Jiri Open-Pit Coal Mine – interactive use of monitoring and modelling for safety assessment of the mine bottom

For solving complex stability problem of Jiri Open Pit Coal Mine loaded by artesian water pressure, field measurement and numerical models have been used in a interactive way for a long time. Reliable input for safety measures, which ensured safe mining advance at a minimized impact on the environment of the protected region, has been produced in this way. The solution concept and a large three-dimensional numerical model, elaborated for assessment of the mining advance in 2000, are described in the paper.

Интерактивное использование результатов измерения и моделирования для оценки устойчивости dna карьера Иржи в процессе открытой добычи угля

Сложная проблема устойчивости dna буроугольного карьера Иржи нагруженного артезианским давлением воды успешно решается уже в течении ряда лет путем взаимного использования и содействия численных моделей и натурных измерений. В результате этого удалось получить надежные данные о состоянии карьера и определить мероприятия, которые обеспечивают безопасную открытую добычу угля при одновременном соблюдении минимума экологических ущербов для окружающей среды. В статье излагаются принципы решения и результаты обширной пространственной численной модели метода конечных элементов, разработанной для научно-технического обоснования плана добычи угля в 2000-ом году.

Interaktivní využití měření a modelování pro posouzení bezpečnosti dna lomu Jiří při povrchové těžbě uhlí

Složitá problematika stability dna povrchového lomu Jiří namáhaného tlakem artéských vod se již dlouhodobě řeší interaktivním využitím měření in situ a matematického modelování. Tímto způsobem jsou získány spolehlivé podklady pro realizaci ochranných opatření, která zajišťují bezpečný postup lomu při minimalizaci zásahů do přírodních podmínek chráněné oblasti. V příspěvku je popsána koncepce řešení a rozsáhlý prostorový matematický model, který byl použit pro posouzení postupu lomu v roce 2000.

Úvod

Sokolovská hnědouhelná pánev se vyznačuje dobrou kvalitou uhlí a příznivým poměrem mocnosti sloje (~ 40 m) k výšce nadloží (70 až 140 m). Pro porovnání lze uvést parametry problému, který v současné době řešíme pro severní Maďarsko. Je požadováno zjištění sedání rozsáhlého území (~ 8 x 12 km), které je vyvoláno plánovaným snížením hladiny podzemních vod o 40 až 80 m. Snížení je nutné pro povrchové dolování tenkých vrstev lignitu (do 4,0 m), jejichž celková mocnost nepřesahuje 12 až 17 m.

I když je povrchová těžba uhlí na Sokolovsku ekonomicky atraktivní, narušuje přírodní poměry rozsáhlého území a působí specifické geotechnické a ekologické problémy. Pod pávní se rozprostírá sokolovský bazální kolektor s proplyněnými termálními vodami karlovarského typu, který vyvoluje artéský tlak na dno lomů. Povrchová těžba uhlí, která vyvolává značné odlehčení dotčeného území, je v těchto podmínkách omezoována nebezpečím vzniku nekrytých přetlaků. Jde o artéský tlak, který vlivem odlehčení již není krytý tlakem nadložních hornin, a může proto ohrozit bezpečnost dna lomu a nepříznivě ovlivnit hydrogeologické poměry celého území. Jelikož značná část dobývacího prostoru sokolovského revíru je v ochranném pásmu léčivých zdrojů lázeňského místa Karlovy Vary, má prognóza a prevence tohoto nebezpečí obzvláštní ekologický význam.

Základním ochranným opatřením, které povrchovou těžbu uhlí v těchto podmínkách umožňuje, je snížení výtlačné úrovně bazálního obzoru termálních proplyněných vod pomocí odpouštěcích vrtů na dně lomu. Podstatné je přitom zjištění optimální míry snížení hladiny, která by pro každou těžební situaci zabezpečila absenci nekrytých přetlaků při minimálním zásahu do hydrogeologických poměrů chráněného území.

Tento závažný hydrogeologický a geotechnický problém se řeší již řadu let a byly přitom aplikovány nejrůznější analytické, experimentální a numerické metody mechaniky hornin. Jako nejúčinnější se ukázalo interaktivní využití numerických modelů a měření in situ, které poskytlo spolehlivé podklady pro realizaci ochranných opatření a tím pro bezpečný postup lomů.

Tento proces je demonstrován na příkladu lomu Jiří, jehož dolové pole je v nehlubší části sokolovské pánve. Zde bylo v roce 1999 dosaženo nejnižší kóty vyuhleného dna 260 m n.m., která je o 50 m níže než proslulá kóta 310 m n.m., jež byla dlouhodobě považována za nepřekročitelnou při dobývání uhlí v sokolovské pávní.

Stabilita dna lomu Jiří namáhaného tlakem artéských vod

Charakteristický příčný řez lomem Jiří s vyznačením geologických a hydrogeologických poměrů území a těžebních postupů lomu je uveden na obr. 1. Strop bazálního kolektoru s proplyněnými termálními vodami tvoří asi 60 m mocná horninová deska z nepropustných vulkanodetrických, tufitických hornin. Bezpečnost dna lomu je v těchto podmínkách závislá na geometrii vyuhleného lomu, na geologické stavbě, celistvosti a pevnosti tufitického meziloží a na tlakových poměrech podél kontaktu meziloží a podloží při jednotlivých těžebních situacích.

Tlakové poměry podél stropu artéských vod jsou závislé na nadmořské poloze paty meziloží a při postupném zahlubování stratigrafických souvrství artéský tlak na

dno lomu výrazně roste. Za období 1981 – 1998 činil tento nárůst tlaku 70 m vodního sloupce, což si vyžádalo snížení hladiny bazálního kolektoru na kótu 330 m n.m., tj. o 37 m.

Sbližovací výpočty

Zatímco výše uvedená, maximální míra snížení hladiny, byla výstižně prognózována již prvními analytickými výpočty a fyzikálními modely z ekvivalentních materiálů, prognóza deformace dna lomu a způsobu jeho porušení byla daleko od skutečnosti. Očekávalo se zvedání až 7 m a náhlé prolomení dna lomu svislou trhlinou doprovázené hromadným únikem proplyněných termálních vod.

První modelové řešení těžebních postupů lomu Jiří metodou konečných prvků (MKP) v roce 1976 [1] vedlo na podstatně menší hodnotu maximálního zdvihu (0,80 m), což dalo impuls k zahájení měření deformace meziložní desky v důlních chodbách v předpolí lomu. Tento systematický záznam deformační odezvy rozsáhlého území na těžební zásahy se provádí již od roku 1977 až dodnes [2, 3, 4]. Získané údaje nejen že potvrdily první výsledky MKP, ale tvořily a stále tvoří nenahraditelný podklad pro verifikaci matematických modelů a pro jejich kalibraci pomocí sbližovacích výpočtů.

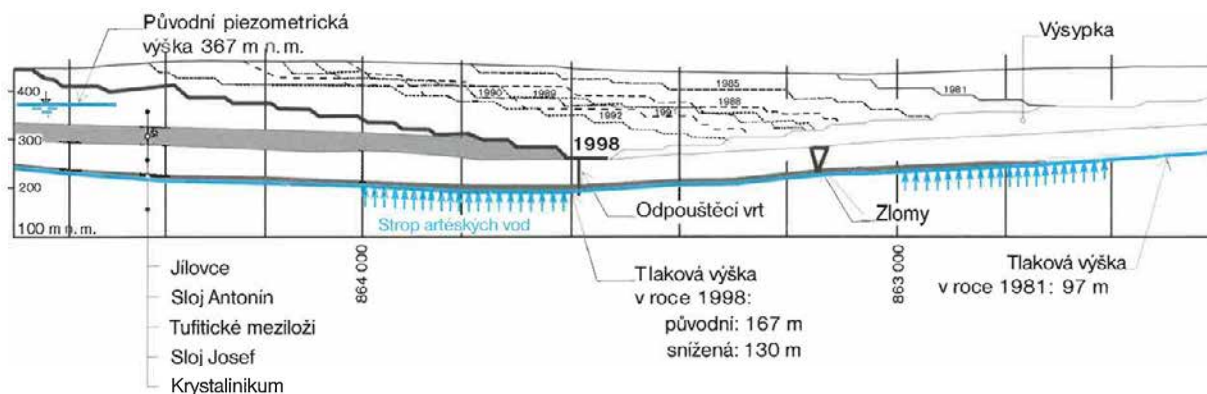
Výsledky takových sbližovacích výpočtů, které spolu s polními zkouškami mechaniky hornin [5] umožnily upřesnit konstitutivní model hornin a jeho parametry, jsou vykresleny na obr.2. Podstatné je, že shody měření a výpočtů bylo dosaženo pro větší počet měrných bodů (~40) pro delší časové období (4 roky) a přitom byly zachovány základní přetvárné a pevnostní parametry hornin podle polních zkoušek. Takto upřesněný materiálový model a jeho parametry jsou bez podstatných změn používány dodnes.

Dalším významným výsledkem sbližovacích výpočtů k hodnotám měření bylo stanovení součinitele bočního tlaku v klidu $K_0 = \sigma_{\text{hor}}/\sigma_{\text{vert}} = 0,6$ až $0,8$ (σ_{vert} , σ_{hor} – svislá a vodorovná složka napětí pro původní, těžbou nedotčený stav území), který má velký vliv na bezpečnost dna lomu namáhaného tlakem artéských vod [6].

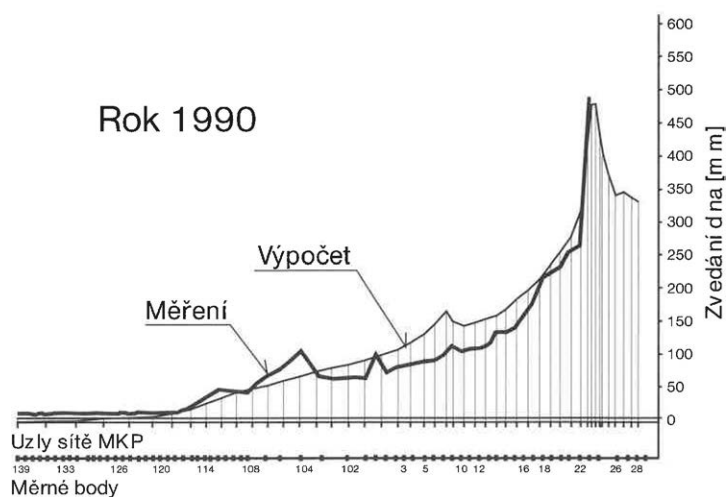
Stabilita dna lomu

Pomocí upřesněných matematických modelů byly pak vyjasněny tlakové poměry v meziloží a byl prognózován možný mechanismus porušení dna lomu. Díky příznivému miskovitému tvaru lomu jsou horizontální tlaky větší než vertikální i při menší hodnotě $K_0 = 0,6$, což vylučuje dříve předpokládané prolomení dna lomu svislou trhlinou. Dochází však k vytváření zón snížených tlaků ve svislém směru a podél tektonických zlomů. Výskyt těchto zón podél stropu artéských vod může vést k narušení vodotěsnosti tufitických jílovců a vstupu vody do meziloží, je-li splněna některá z následujících podmínek:

- narušení celistvosti meziloží (starý vrt, poškozená cementace), které umožňuje komunikaci mezi bazálním kolektorem a horní, odlehčenou částí meziloží,



Obr. 1 Lom Jiří - charakteristický příčný řez s vyznačením geologických poměrů území a těžebních postupů lomu



Obr. 2 Zvedání dna lomu podle měření v důlních chodbách a podle sblížovacích výpočtů k výsledkům měření (rovinný model MKP z roku 1991)

- výskyt plochy oslabení s absencí tahové pevnosti (tektonické zlomy, pukliny, proplástky), kde je tlak horniny menší, než je výtlak v bazálním kolektoru (možnost hydraulického rozpojování nekrytým přetlakem).

Nebezpečí, proti němuž je nutno lom a léčivé zdroje chránit, není tedy náhlé prolomení dna lomu, nýbrž postupné snižování těsnicí funkce tufitického meziloží v důsledku vzniku průsakových cest a zatlačování termálních vod do odlehčeného prostoru [7]. Jelikož jsou podle modelu vodorovná napětí větší než svislá, lze očekávat, že převládající směr průsaků bude, až na zlomy, vodorovný.

Tlakové poměry podél stropu artéských vod lze regulovat postupem těžby a snižováním výtlaku bazálního kolektoru. Vzhledem k limitům odpouštěného množství termální vody a narušení celistvosti meziloží mladšími tektonickými zlomy nelze však lokální výskyt nekrytých přetlaků, a tím i inicializaci výše uvedených procesů, úplně vyloučit. To mohlo být i příčinou některých negativních jevů (poškození pažnic vrtů), které byly v minulých letech na dně lomu pozorovány. Šlo ale o ojedinělé případy, které byly bez dalších následků operativně likvidovány, a nemohly proto být překážkou pro další postup lomu.

Důležité však je omezení těchto jevů na minimum a vyloučení jejich plošného výskytu.

Jako další krok interaktivního procesu měření a modelování bylo proto doporučeno sledování deformačních, napjatostních a hydrogeologických poměrů uvnitř meziloží. Byly osazeny vrty s magnetickými značkami, tlakové snímače ve spodní části meziloží, která má významnou ochrannou funkci, a vyhloubeny částečně vystrojené hydrogeologické vrty pro měření chemického složení, teploty a přetoku meziložních vod.

Co se týče prognózy deformací a tlakových poměrů dna lomu pro jednotlivé těžební situace a výtlachné horizonty bazálních vod, byly zatím nejspolehlivější výsledky získány pomocí prostorových modelů MKP. Poslední model, vypracovaný pro posouzení bezpečnosti dna lomu v roce 2000, je stručně popsán v následující kapitole.

Posouzení těžebních záměrů lomu pomocí prostorového matematického modelu

Náročné geologické poměry lomu Jiří s častým výskytem mladších tektonických zlomů a složitou prostorovou konfigurací díla danou těžebními postupy a polohou závěrného svahu zatím nejlépe vystihl prostorový (3D) model lomu Jiří vypracovaný v roce 1998.

Těžební záměry lomu v roce 2000 obsahují vyhloubení dvou retenčních nádrží, které jsou stále ještě situovány v centrální zakleslé kře sloje Antonín a tufitického meziloží, tj. v nejhlubší části lomu. Proto bylo rozhodnuto o vypracování nového 3D modelu, který by navázal na předchozí model a umožnil by s dostatečnou spolehlivostí posoudit realizovatelnost těžebních záměrů.

Výpočetní model

Byl vytvořen 3D model, který zahrnuje celou centrální a jižní část lomu Jiří vymezenou souřadnicemi $x = 1\,010\,400$ až $1\,012\,000$ a $y = 862\,800$ až $864\,800$. Plošný obsah modelu je 1600×2000 m, výška modelu 460 m (obr.3).

Model pečlivě sleduje prostorový průběh význačných tektonických zlomů včetně grassetské poruchy v tufitickém meziloží a sloji Antonín a prostorovou konfiguraci skrývky, uhelných řezů, retenčních nádrží a výsypky pro šest vybraných těžebních situací. Jsou to roky 1988, 1993, 1996 a 1998, které odpovídají skutečným těžebním postupům, a roky 1999 a 2000, které modelují plánované stavy. Náročné bylo zejména modelování skutečných těžebních situací, kde musí být zachována řada detailů pro dosažení srovnatelnosti výsledků výpočtů s výsledky měření.

Výsledný model má 11 572 izoparametrických prvků a 50 265 uzlů, což vede na soustavu lineárních algebraických rovnic s počtem neznámých 154 027. Podle dostupných informací je tento model jedním z největších prostorových modelů vytvořených v oblasti inženýrských a důlních staveb v ČR.

Koncepce a postup řešení

Při formulaci modelu byly zachovány hlavní zásady a předpoklady předchozího 3D modelu a promítnuty některé nové poznatky.

Řeší se sružené mechanicko-hydraulické úlohy, které umožňují náležitě respektovat vliv výtlaku bazálního kolektoru na stav napjatosti a přetvoření a na stabilitu dna lomu. Při novém řešení byl zachován předpoklad o nepropustnosti meziložní desky, což zabezpečuje návaznost a srovnatelnost obou 3D modelů. Zároveň byl celý prostorový model formulován tak, aby umožnil v případě potřeby analýzu vzniku potenciálních průsakových cest podél tektonických zlomů a kontaktů materiálů. Jde o podmíněnou propustnost, kdy je vstup vody do horninového masivu podmíněn mechanickým porušením horniny tahem nebo smykem. Tato analýza zavádí do modelu reálné tlakové ztráty při prosakování vody a může proto poskytnout lepší podklad pro bezpečné umístění odvodňovacích vrtů než model s nepropustným stropem artéských vod.

Byl také zachován již osvědčený dráhově závislý pružnoplastický model materiálů, jehož parametry jsou dlouhodobě kalibrovány podle výsledků měření in situ.

Stejně jako minule byla modelována výchozí geostatická napjatost území se součinitelem bočního tlaku v klidu $K_0 = 0,6$ a skutečné těžební situace v letech 1988, 1993 a 1996 s postupným snižováním výšky bazálního kolektoru z kóty 362 m n.m. na kótu 342 respektive 332 m n.m. Pro skutečný stav v roce 1998 a plánované stavy 1999 a 2000 byla uvažována průměrná hladina podle režimních měření na dně lomu 329 m n.m. Stav retencí v roce 1999 a 2000 byl modelován podle podkladů. Vždy je zasypána polovina předchozí retence, tj. celkem je otevřeno jedna a půl retence.

Při řešení sružených pružnoplastických úloh je zatížení přikládáno po přírůstcích a jednotlivé výpočetní etapy (odtěžení nebo snížení hladiny) rozděleny na 4 až 6 dílčích kroků. To si vyžádalo řešení více než 40 prostorových úloh o výše uvedené dimenzi. To je realizovatelné jen díky velmi efektivnímu způsobu řešení

velkých soustav lineárních algebraických rovnic, který vyvinul [8] a do programového systému CRISPATh implementoval RNDr. Ivo Hladík, PhD.

Výsledky řešení a verifikace modelu

Výsledky řešení jsou pro vybrané výpočetní etapy zobrazeny pomocí izochar složek posunů, napětí, stupně mobilizace smykové pevnosti a součinitele pro posouzení nebezpečí hydraulického porušení meziloží.

Porovnáním vypočtených a naměřených posunů pro skutečné stavy lomu se model verifikuje. Jsou-li posuny v přijatelných mezích, lze považovat za věrohodný i vypočtený stav napjatosti. Pomocí napětí se pak posuzuje nebezpečí porušení dna lomu. Ukazatelem mechanického porušení (plastifikace) horniny je úplné vyčerpání smykové pevnosti, tj. stupeň mobilizace $i = \tau_{\text{oct}} / \tau_{\text{oct}}^{\text{mez}} = 1,0$ (τ_{oct} , $\tau_{\text{oct}}^{\text{mez}}$ – oktaedrické smykové napětí a jeho mezní hodnota v daném bodě).

Ukazatelem možnosti porušení meziložní desky tlakem vody jsou součinitele s_1 , s_2 , s_3 , s_4 , které vyjadřují poměr potenciálního vodního tlaku (rozdíl výtláčné výšky bazálního kolektoru a výškové polohy daného bodu) a vypočteného horninového tlaku v meziložní desce. Důležité je, zda hodnota těchto součinitelů je méně než jedna podél paty meziloží, která tvoří v modelu strop artéských vod. Pak s_1 a s_3 ukazují možnost vzniku svislé průsakové cesty a s_2 vodorovné průsakové cesty. Součinitel s_4 indikuje potenciální průsakovou cestu podél obecně šikmých ploch, na níž působí nejmenší hlavní napětí v daném bodě.

Jak již bylo zdůrazněno, díky spojenému úsilí všech zúčastněných organizací je dnes k verifikaci tak velkého modelu k dispozici i velké množství cenných měrných údajů. Jsou to především výsledky měření v důlních chodbách v předpolí lomu a také pevné body na dně lomu. Tyto důlní chodby a pevné body přitom tvoří prostorově dosti komplikovanou síť, kterou lze jen obtížně vyhodnocovat a interpretovat jinak než prostorovým modelem.

Prognózované zvedání hlavy meziloží za rok 1999 je znázorněno na obr. 4, zatímco na obr.5 jsou porovnány zdvihy naměřené v důlních chodbách a vypočtené 3D modelem MKP za delší časové období: 12/1996 až 12/1999 respektive 3/2000.

Jak je patrné, podél účelové chodby a u grassetské poruchy (lanovka Jindřich – chodba C11) je shoda modelu s měřením dobrá, zatímco u chodby k vrtu 32 HA bylo na modelu k 12/1999 vypočteno podstatně větší zvedání, než bylo naměřeno. Jsou to totiž měrné body v oblasti zlomů, kde dochází na modelu k intenzivnější plastifikaci než ve skutečnosti.

Toto vyhodnocení, které bylo zpracováno v lednu 2000, doznalo změny po publikaci výsledků měření za 1. čtvrtletí 2000. Ukázalo se, že při dalším odtěžování došlo nad chodbou k vrtu 32 HA u bodů 93 a 94 k neočekávaně velkému zvedání 100 až 200 mm, které bylo prognózováno modelem. Při podrobnějším přešetření bylo zjištěno, že teprve v 1. čtvrtletí 2000 postoupila těžba na kótu (~ 290 m n.m.), která byla na modelu realizována už ve 4. čtvrtletí roku 1999.

Na obr.5 jsou pro chodbu k vrtu 32 HA uvedena dvě modelová řešení, která ukazují menší (tečkovaná čára) a větší vliv výsypky (čárkovaná čára). Obě řešení svědčí

o vyhovující shodě měření a modelu pro shodnou těžební situaci k 12/1999 (model) a 3/2000 (skutečnost).

Vyhovující shoda měření a modelu je na obr.5 prokázána ve třech směrech a pro řadu měrných bodů. Znamená to, že lze přírůstek zvedání hlavy meziloží vypočtený 3D modelem v předpolí lomu pro stavy 1996 – 1999 považovat za zobecnění výsledků měření za toto období.

Odpovídající napjatost je vyhodnocena pomocí součinitele s_4 , který vyjadřuje poměr potenciálního vodního tlaku (rozdíl mezi výtláčnou výškou a polohou bodu) k nejmenšímu totálnímu hlavnímu napětí v hornině. Při vyhodnocování lze tahovou pevnost horniny zanedbat (obr. 6) nebo ji přičíst k napětí v hornině (obr. 7).

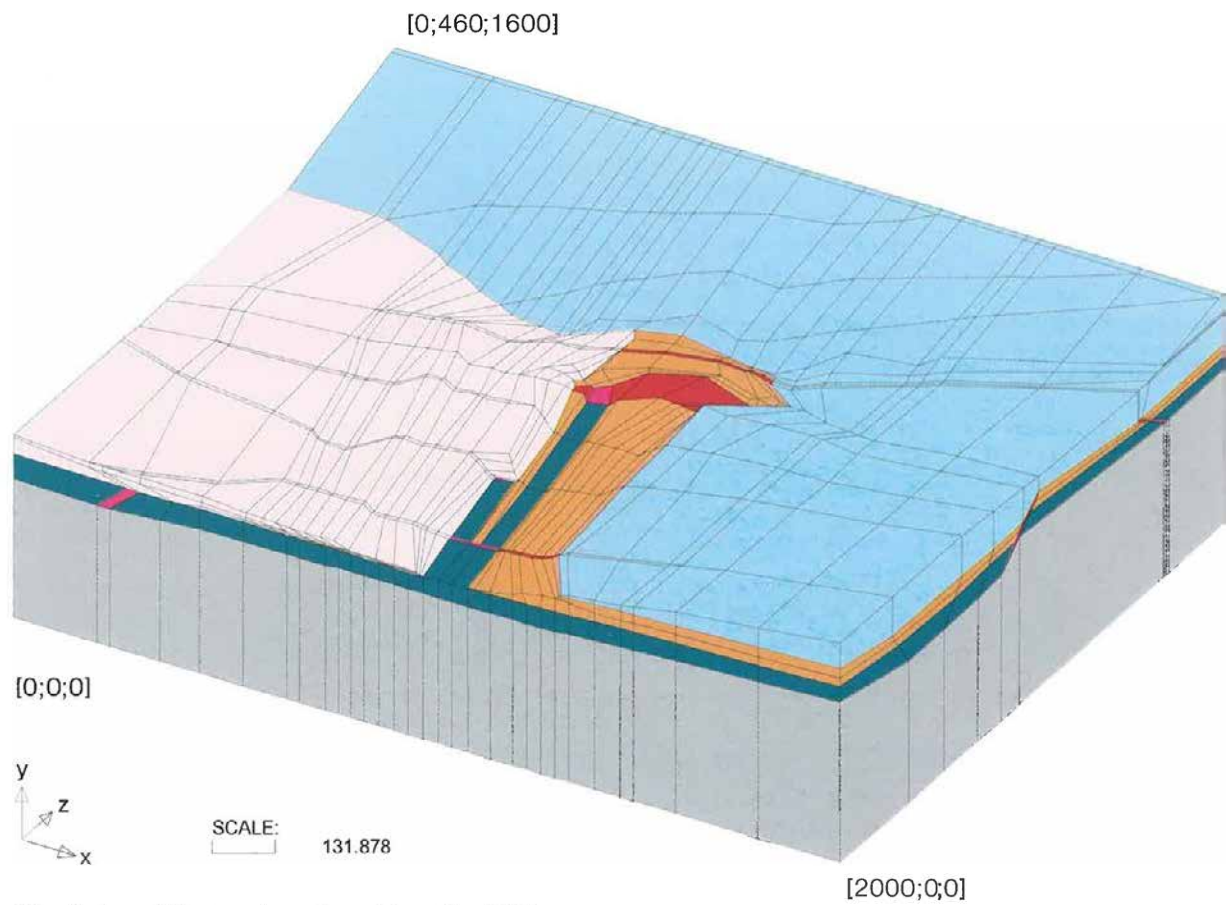
Jak je patrné, nelze podle modelu pro rok 1999 úplně vyloučit zatlačování podzemních vod do odlehčeného meziloží, jelikož zóny s $s_4 < 1$ vznikají podél tektonických zlomů i při uvažování příznivého vlivu tahové pevnosti horniny. To podle předchozí kapitoly může vést k lokální akumulaci tlakové vody v místech, kde se střídají propustné a nepropustné vrstvy. Narušení rovnováhy těžebním zásahem pak může – při nepříznivé souhře okolností – vyvolat některé negativní jevy na dně lomu. V průběhu roku 1999 k tomu došlo dvakrát, ale bez následků pro bazální kolektor. Vždy šlo o ojedinělý případ, kdy oprava byla rychlá, takže těsnicí schopnost meziloží nebyla narušena.

I tento případ dokládá užitečnost interaktivního využití měření a modelování. Pomocí modelu lze simulovat a objasnit komplikované procesy, jako je vznik dočasných průsakových cest v meziloží. Při posouzení závažnosti prognózovaných jevů (zda jde o jev ojedinělý nebo plošný, sporadický nebo systematický atd.) je však nutno přihlídnout k výsledkům pozorování.

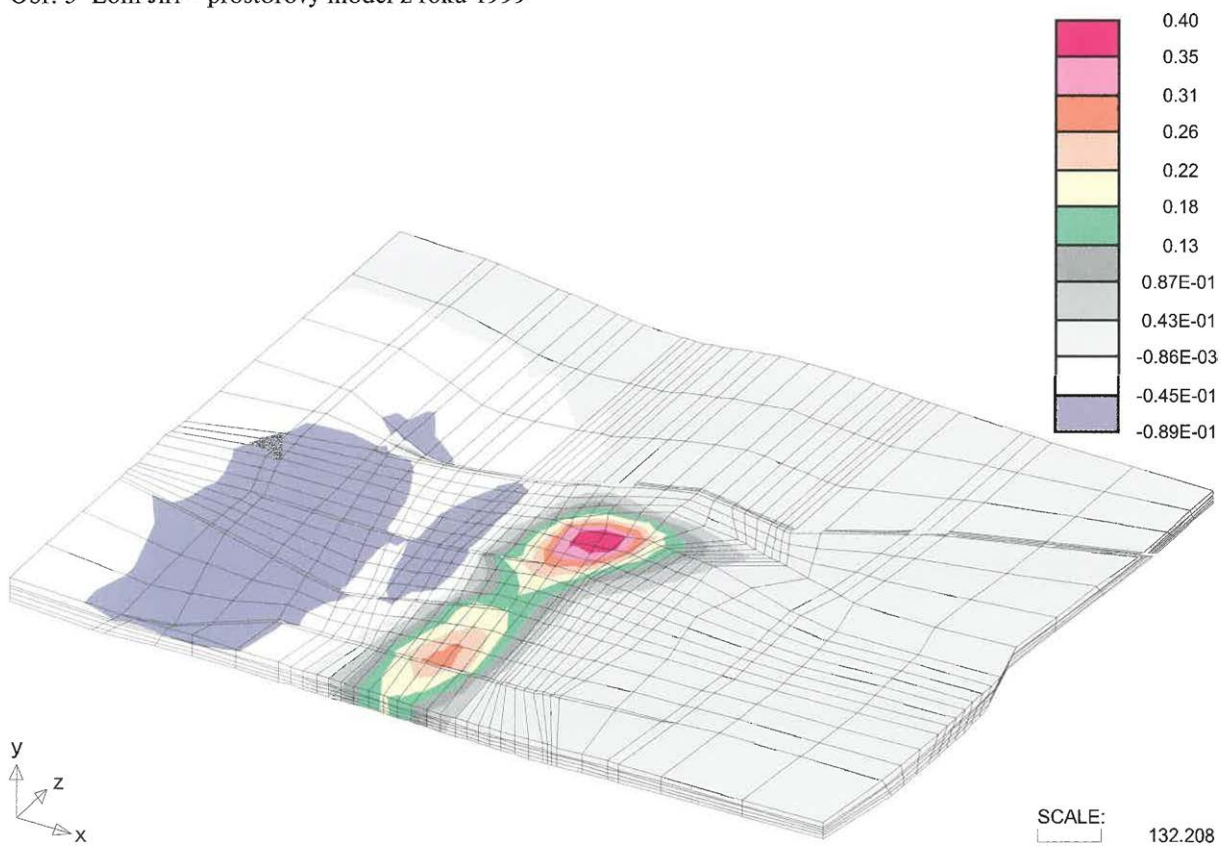
Nepříznivý vliv případného zvýšení hladiny bazálního kolektoru v roce 2000 o 3 m ukazují obr. 8 a 9. Při hladině 329 m n.m. nevznikají nekryté přetlaky na dně lomu (absence červených a modrých ploch), zatímco při hladině 332 m n.m. ano. V oblasti grassetské poruchy model signalizuje nekryté přetlaky v obou případech. Je to působeno specifickými geologickými poměry grassetské poruchy podle dosavadních podkladů, které budou ověřovány doplňkovým geologickým průzkumem.

Závěry

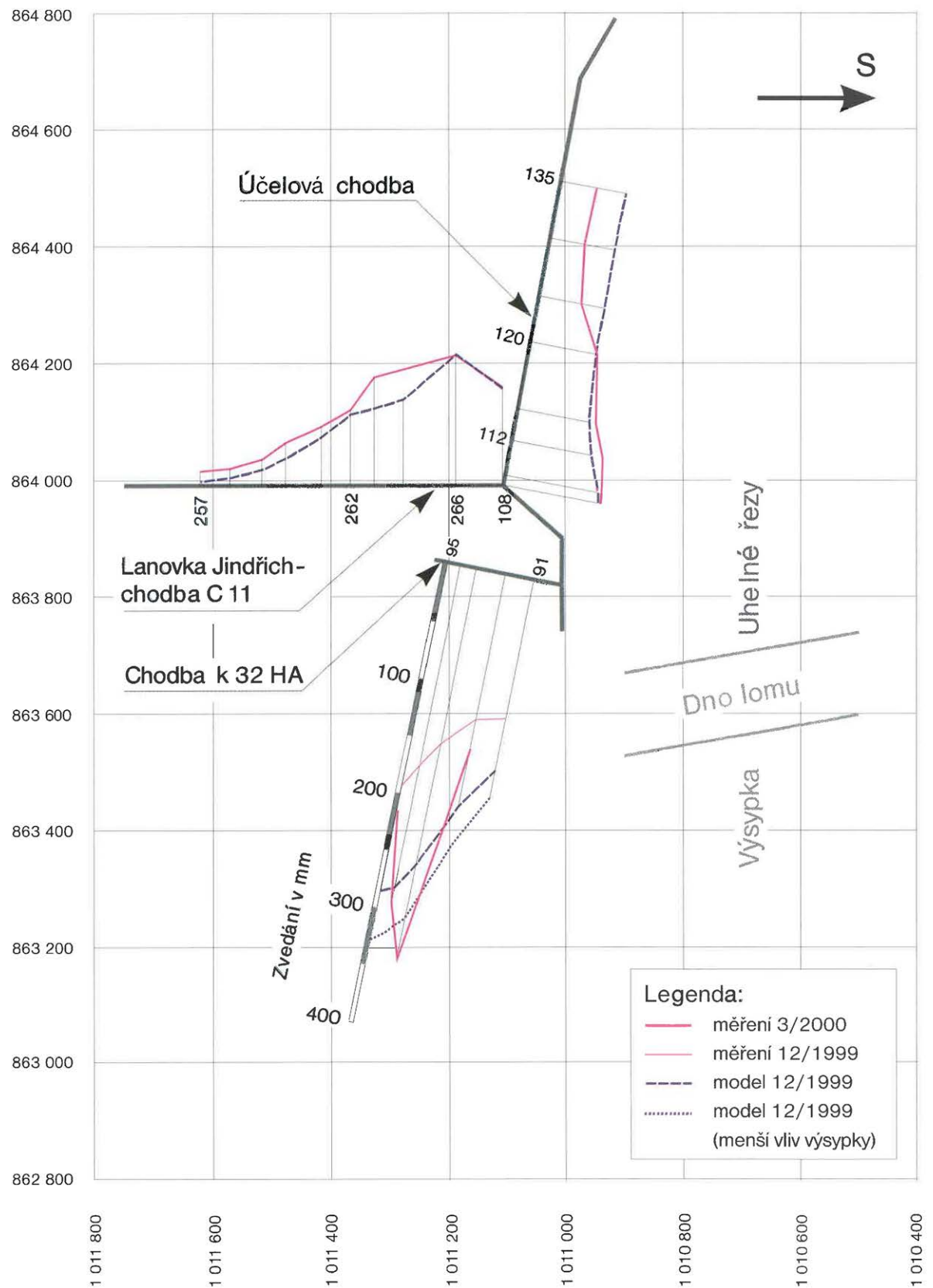
1. Interaktivní využití monitoringu a matematického modelování pro posouzení stability dna lomu Jiří namáhaného tlakem artéských vod se ukázalo jako účinný prostředek pro řešení komplexních hydrogeologických a geotechnických problémů povrchové těžby uhlí.
2. Dlouhodobé měření zvedání meziloží v důlních chodbách poskytlo cenné informace pro verifikaci a kalibraci matematických modelů a zvýšilo jejich prognózovací schopnost. Pomocí modelů pak byly bodové výsledky měření zobecněny a interpretovány a monitorovací program lomu postupně zdokonalován a rozšiřován.
3. Tímto postupem byly získány ověřené poznatky o chování dna lomu, které pak tvořily podklad pro posouzení jeho bezpečnosti. Umožnilo to stanovit optimální míru snížení hladiny v bazálním kolektoru při realizaci dlouhodobých těžebních záměrů lomu.



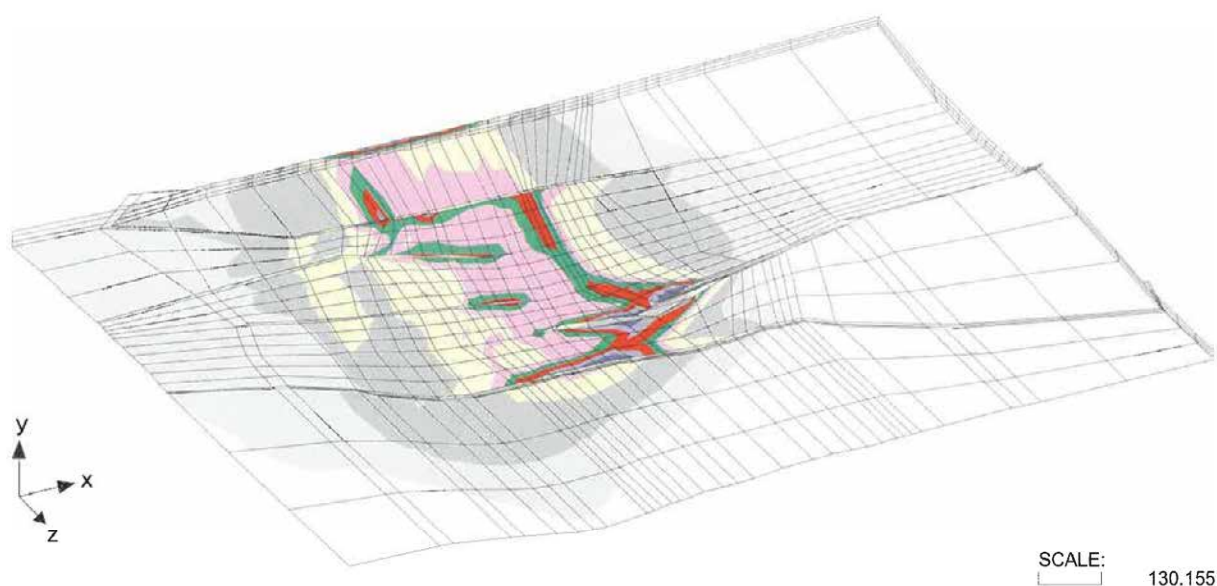
Obr. 3 Lom Jiří - prostorový model z roku 1999



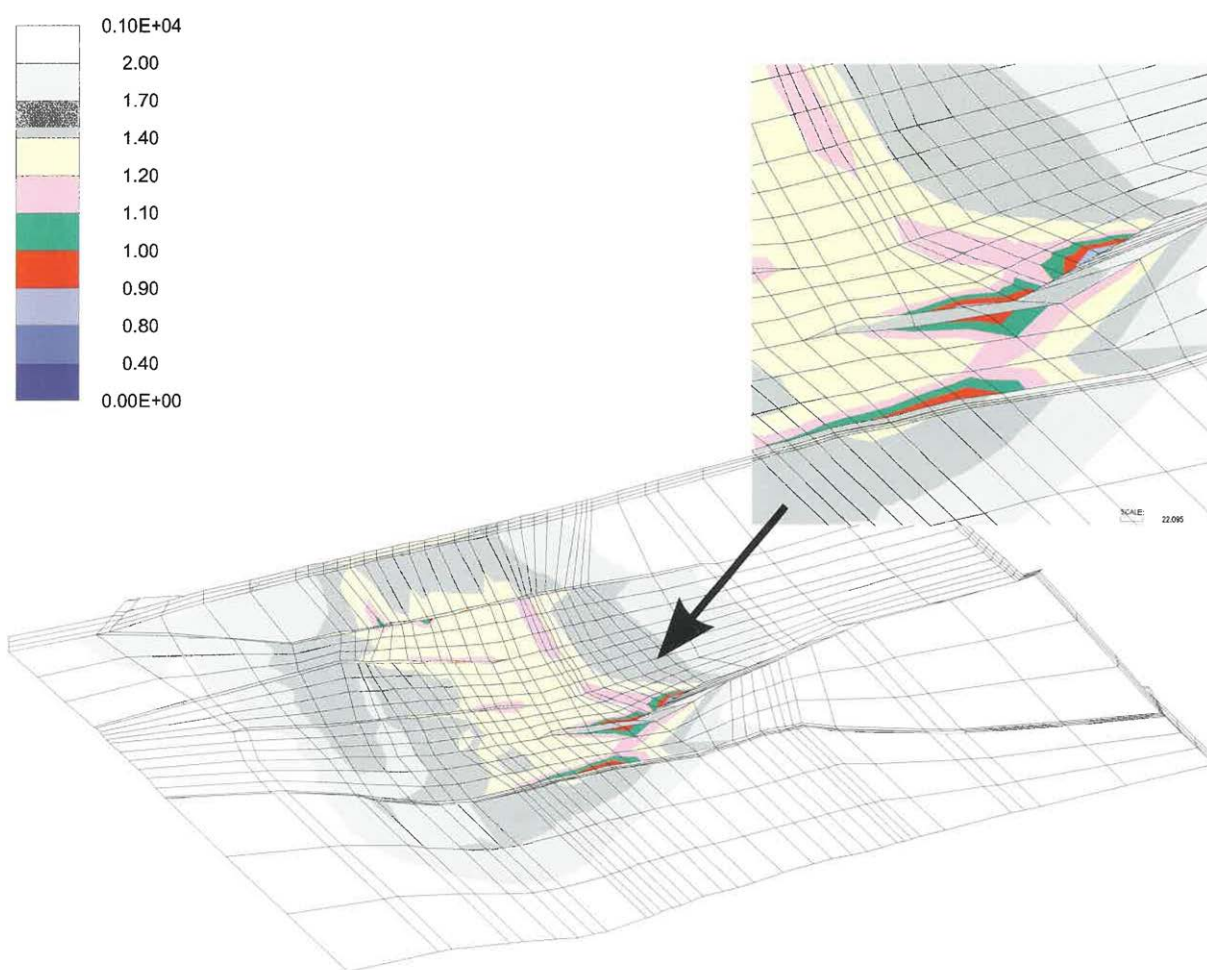
Obr. 4 Lom Jiří - přírůstek zvedání hlavy meziloží za rok 1999 prognózovaný prostorovým modelem



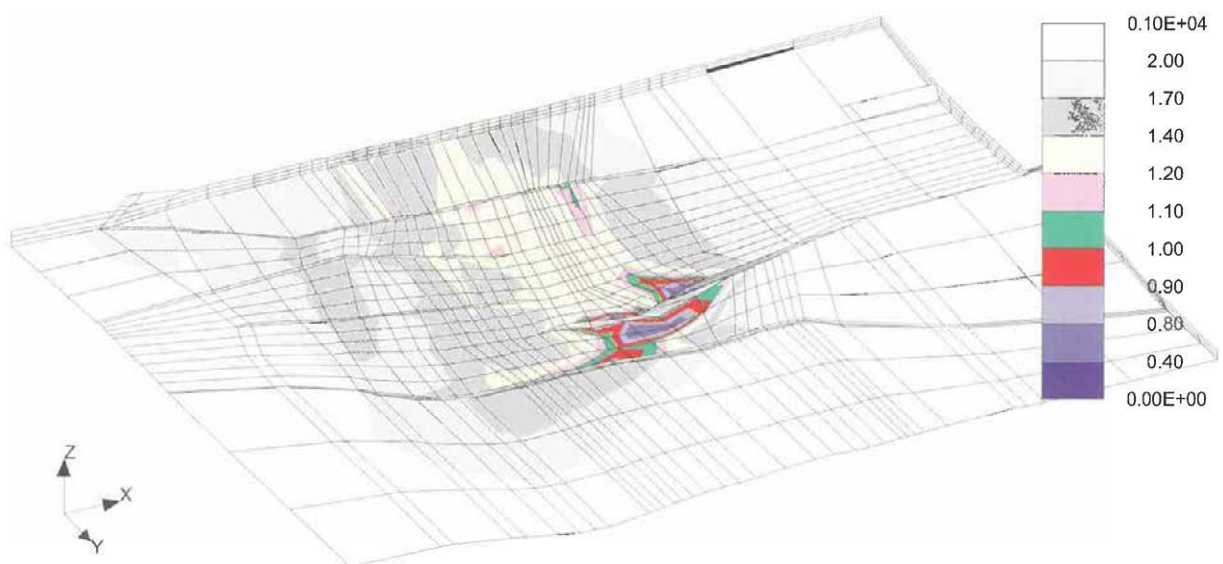
Obr. 5 Lom Jiří – srovnání zvedání hlavy meziloží podle měření v důlních chodbách a podle prostorového modelu MKP za měrné období 12/1996 – 12/1999



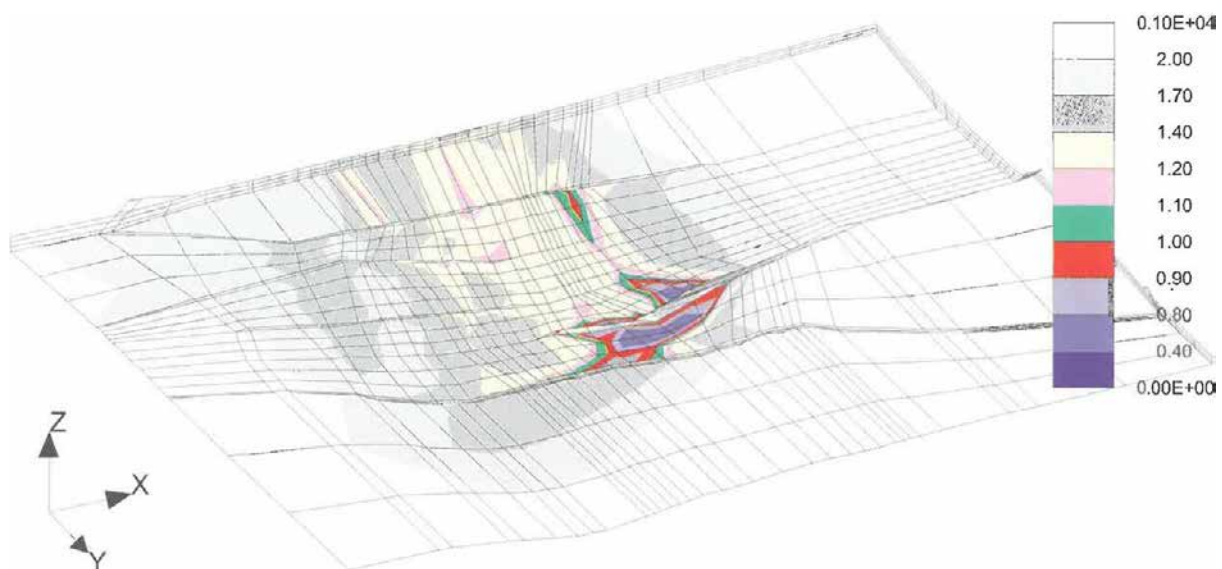
Obr. 6 Posouzení nebezpečí vzniku průsakových cest při těžební situaci v roce 1999 – pohled na patu meziloží s vyznačením izočar součinitele s_f bez uvažování tahové pevnosti horninového masivu



Obr. 7 Posouzení nebezpečí vzniku průsakových cest při těžební situaci v roce 1999 – pohled na patu meziloží s vyznačením izočar součinitele s_n s uvažováním tahové pevnosti horninového masivu



Obr. 8 Posouzení nebezpečí vzniku průsakových cest pro těžební situaci v roce 2000 při výtlačné úrovni bazálního kolektoru na kótě 329 m n.m. – izočáry s_{a1} s uvažováním tahové pevnosti horninového masivu



Obr. 9 Posouzení nebezpečí vzniku průsakových cest pro těžební situaci v roce 2000 při výtlačné úrovni bazálního kolektoru na kótě 332 m n.m. – izočáry s_{a1} s uvažováním tahové pevnosti horninového masivu

4. Zachování a uplatnění tohoto interaktivního postupu je předpokladem pro úspěšnou realizaci dalšího postupu lomu Jiří, který v současné době prochází nejhlubší částí pánve.

PODĚKOVÁNÍ

Autoři děkují za finanční podporu pro vývoj MKP poskytovanou GA ČR v rámci grantů č.103/00/1043 a č.103/00/1605.

LITERATURA

1. Doležalová, M., Mikulášková, V., Škoch, V. (1977): Stability of a Deep Excavation Bottom, Proc. of 9th Int. Conf. ISSMFE, Tokyo, 47 – 50
2. Pazdera, A., Voborníková, H. (1992): Souhrn nivelačních měření v odvodňovacích chodbách za období 1.3.1978 – 25.9.1992, GMS, Geoindustria, Praha
3. Pazdera, A., Voborníková, H. (1985 až 1992): Velkolom Jiří – realizace ochranných opatření II, Dílčí a závěrečné zprávy, GMS, Geoindustria, Praha
4. Pazdera, A., Voborníková, H. (1993 až 1999): Lomy Jiří, Družba, Marie – realizace ochranných opatření, Závěrečné zprávy, HPV sdružení, Vojkov - Praha
5. Hudek, J. a kol. (1986): Souhrnná zpráva o geotechnických vlastnostech zjištěných při báňském průzkumu (sloj Josef a vulkanodetritické souvrství), PÚDIS Praha
6. Doležalová, M. (1986): Deep Excavation Loaded by Artesian Water Pressure, 8. Danube-European Conference on Soil Mech. and Found. Eng., Vol.1., pp. 247 - 256, Nürnberg, Germany
7. Doležalová, M. (1992): Velkolom Jiří – rozbor dosavadních geotechnických poznatků a možností ochrany přírodních zdrojů léčivých vod a uhelných lomů, Dolexpert – Geotechnika, Praha
8. Hladík, I., Reed, M., Swoboda, G. (1997): Robust preconditioners for linear elasticity FEM analyses, Int. Journal for Numerical Methods in Engineering, Vol. 40, 2109 – 2127