

Geotechnické aspekty ťažby soli na slovenských ložiskách

Pavol Vavrek¹

Geotechnics aspects salt exploitation of the slovak deposits

Salt caverns can be used for a variety of storage purposes, and this requires adequate calculation methods for the rock mechanical behavior and for the proof of cavern stability. A general calculation concept and dimension criteria is proposed to contribute to the elements of the theoretical investigation of the stability behaviour of caverns in salt rock.. As a method for solution by approximation of non-linear equations concerning the stresses and strains in the rock, the mathematical modelling methods (FEM- Finite Element Method, BEM – Boundary Element Method, DEM – Distinct Element Method) is applied. The knowledge on the material behavior depending on stress, temperature, cavern shape, and time must be the basis for reliable results of calculations. In the present paper is made to demonstrate mathematical modelling application for the geotechnical problems solving of the slovak salt deposits Zbudza and Solivary-Prešov.

Key words: geotechnics, salt caverns, exploitation, storage, stress, strain.

Úvod

V súčasnom bežnom živote sa dôležitosť kamennej soli nijako markantne neprejavuje. Celé dejiny ľudstva však svedčia o pravom opaku. Výroba, neskoršie aj ťažba soli, nenahraditeľnej k ľudskému životu, sa stali postupne prostriedkom k uskutočňovaniu rôznych mocenských záujmov, čím sa prakticky do určitej miery ovplyvňoval vývoj politicko-spoločenských vzťahov takmer všetkých národov.

Na Slovensku sa v súvislosti s terajšou a budúcou ťažbou soli hovorí najviac o dvoch lokalitách a síce o ložisku Solivary (Soľná baňa pri Prešove) a Zbudza.

Ťažba soli sa v našich podmienkach realizuje technológiou lúhovania. Jej súčasťou je vytváranie umelých podzemných priestorov – soľných kavern (komôr). V prípade vhodných geotechnických podmienok sa tieto kaverny môžu sekundárne využívať na uskladňovanie plyných a kvapalných médií.

Dimenzionálne kritéria pre soľné kaverny

Na rozdiel od iných typov podzemných inžinierskych a banských diel (chodieb, štôlni, tunelov, porubov) pre výstavbu a užívanie soľných komôr v našich podmienkach neexistuje žiadna technická legislatíva, smernice, odporúčania. Vodítkom v tejto oblasti sú potom len zahraničné skúsenosti. Pri plánovanom sekundárnom využívaní soľných kavern by sa z geotechnického hľadiska malo postupovať v nasledovných krokoch:

- vykonanie inžiniersko-geologických a poľných skúšok,
- zhotovenie teoretického modelu masívu dotknutej oblasti – stanovenie primárneho napäťového stavu, výber najvhodnejšieho materiálového zákona, stanovenie potrebných fyzikálno-mechanických vlastností dotknutých horninových typov,
- zhotovenie výpočtového modelu – geometria kaverny, výber kritérií medzného stavu, interakcia uskladňovaného média so soľným a okolitým masívom,
- prevedenie parametrických štúdií pre stanovenie vplyvu zmeny jednotlivých vstupných parametrov výpočtového modelu na výstupné parametre navrhovaných soľných kavern,
- návrh parametrov soľných kavern – priemer kavern, hĺbka uloženia kavern, hrúbka stropných a počvových ochranných lávok, hrúbka medzikomorových pilierov, stanovenie minimálneho a maximálneho pracovného tlaku v komorách,
- výstavba kavern – prevádzanie geotechnického monitoringu (meranie tvaru komôr, prevádzanie povrchových nivelačných meraní),
- prevádzka,
- dlhodobé merania – povrchové nivelačné merania.

Z titulu špecifických vlastností kamennej soli je potrebné pri dimenzovaní parametrov lúhovaných kavern dodržiavať nasledujúce kritéria:

- v okolí kaverny nesmú vznikáť žiadne ťahové napätia, pretože kamenná soľ má veľmi nízku ťahovú pevnosť,

¹ Ing. Pavol Vavrek, PhD., Katedra dobývania ložísk a geotechniky, Fakulta BERG, Technická univerzita v Košiciach, Park Komenského 19, 040 01 Košice, Slovensko

(Recenzovaná a revidovaná verzia dodaná dňa 3.9.2004)

- napätia na medzi porušenia stanovené triaxiálnymi skúškami nesmú byť prekročené,
- pre nižšie hodnoty napätí (hlavných a šmykových) sa odporúča používať Mohrovu podmienku medzného stavu, pre vyššie hodnoty napätí sa odporúča používať Von Misesové kritérium porušenia,
- pri dimenzovaní soľných kavern je potrebné zohľadniť závislosť pevnostných vlastností kamennej soli na čase a teplote,
- zóny plastického pretvorenia môžu vznikáť len v oblasti soľných polôh v blízkom okolí vylúhovaných komôr. Pri vysokých valcových kavernách ($d < h$) nesmú plastické zóny v strednej časti prekročiť dvojnásobok priemeru kaverny, u plochých kavern ($d > h$) zóny plastického pretvorenia vznikajúce v oblasti stropu a počvy nesmú prekročiť dvojnásobok výšky kaverny,
- počas prevádzky kaverny nesmie dôjsť k prekročeniu hraničnej deformácie kaverny. Hraničná hodnota efektívneho pretvorenia kaverny je závislá hlavne na rýchlosti tečenia, veľkosti zaťaženia a teplote,
- počas prevádzky kaverny nesmie dôjsť k prekročeniu hraničnej hodnoty zmeny objemu kaverny.

Ložisko Zbudza

Na základe dohody medzi F BERG TU v Košiciach a Solivarmi, a.s. Prešov, katedra dobývania ložísk a geotechniky vypracovala stabilné riešenie zásobníkov ropy Zbudza. Pri riešení sa vychádzalo zo základnej požiadavky na zaistenie stability komôr pre ich sekundárne využívanie na podzemné uskladňovanie ropy. Riešenie bolo vykonané pre každý vrt (P-2, P-3, P-4, P-6, P-7 a P-8) samostatne.

Metodika a postup riešenia

Pod stabilitou komory (Ďurove a kol., 1999) rozumieme jej statické a priestorové zachovanie (neporušenie) v podstate v pôvodných kontúrach po vylúhovaní, s jej dokonalou odizolovanosťou od okolitého horninového prostredia pomocou medzikomorových, stropného a počvového piliera. Nebezpečný stav z hľadiska stability, ktorý bol pri matematickom modelovaní skúmaný, je stav kedy na obvode (v strope, počve resp. bokoch) podzemného diela navrhnutých rozmerov začnú vznikať ťahové napätia.

Zisťovanie veľkostí a priebehov napätí, v okolí vytvoreného otvoru v konkrétnych podmienkach horninového masívu, patrí z hľadiska riešenia stabilných úloh medzi rozhodujúce postupy. Všeobecne možno zhrnúť, že vybudovanie stabilných podzemných kavern z hľadiska požadovaného či očakávaného ich tvaru, veľkosti i vzdialenosti medzi nimi, závisí od stavu a kvality okolitého horninového masívu.

Sústava komôr na ložisku Zbudza je založená v pravidelnej rovnostrannej trojuholníkovej sieti, o dĺžke strany 140 m. Tvar stropu komory je elipsa s pomerom horizontálnej a vertikálnej poloosi 1,4. Hrúbka stropnej ochrannej lávky je rovná polomeru komory, hlavne z aspektu veľmi nízkej pevnosti nadložných ílov.

Definovanie matematického modelu horninového prostredia

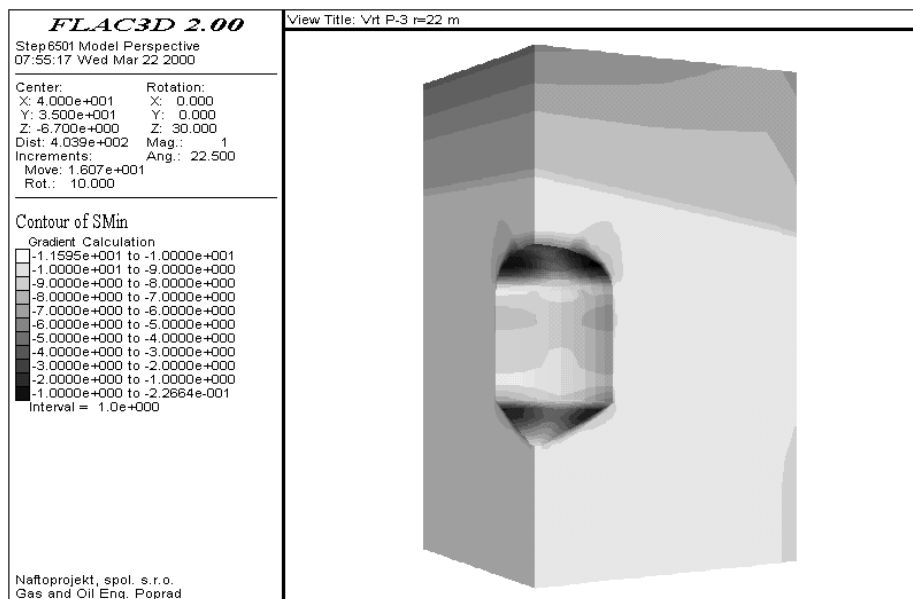
Matematický model horninového prostredia bol definovaný v súlade s rozmiestnením lúhovacích vrtov v lúhovacom poli č. 1. Úloha bola riešená ako dvojsovo symetrická tzn., že riešila sa len jedna štvrtina oblasti v okolí danej komory. Hranice modelu v horizontálnej rovine (v smere osí x a y) siahajú do polovičnej vzdialenosti medzi jednotlivými vrtmi resp. sú dané z geometrie štvrtiny šesťuholníka, ktorý vzniká rovnomerným rozdelením plochy medzi vrtmi v pravidelnej sieti rovnostranných trojuholníkov. Hranice modelu vo vertikálnej rovine boli zvolené vo vzdialenosti 60 m od vrchola stropu resp. od dna počvy komory. Pri definovaní konštitučného modelu pre soľ bol zvolený silový model zohľadňujúci plazivosť a pre ostatné horninové typy bol zvolený pružný model.

Výsledky matematického modelovania

Vychádzajúc z geologických a geomechanických parametrov ložiska a okolitých hornín bolo vykonané posúdenie stability jednotlivých komôr v niekoľkých variantoch. Najdôležitejším výstupom matematického modelovania bol priebeh maximálnych hlavných napätí σ_1 v MPa označovaných ako SMIN (obr. 1) pre predimenzovanú, optimálnu a poddimenzovanú komoru. Na základe výsledkov matematického modelovania vyšli polomery valcovej časti komôr pre jednotlivé vrty v intervale 20 až 30 m. Hrúbky medzikomorových pilierov boli stanovené na úrovni cca 60 m.

Ložisko Solivary

V rámci riešenia geologickej úlohy „Súčasný stav lúhovacích polí v DP Prešov I. – Solivary, zhodnotenie rizík, návrh ďalšieho využívania z aspektu stability terénu a jeho novej deštrukcie“ bolo na KDLaG vykonané geotechnické posúdenie stability južnej časti DP Prešov I. – Solivary.



Obr. 1 Vrt P3 – priebeh maximálnych hlavných napätí.
Fig. 1 Bore P3 – course of the maximum principal stresses.

Geotechnické vlastnosti horninového prostredia

Použitý software umožňuje voliť medzi viacerými materiálno-konštitučnými modelmi. Vzhľadom na dostupnosť vstupných údajov a charakteristiku horninového prostredia bol použitý Mohr – Coulombov model pre nadložné a podložné horniny. Pre soľné súvrstvie bol použitý tzv. power model, ktorý zohľadňuje reologické chovanie sa soli podľa Nortonovho zákona.

Fyzikálne - mechanické vlastnosti hornín slúžia ako vstupné informácie, ktorých presnosť do značnej miery ovplyvňuje stupeň hodnovernosti výstupných parametrov modelu. Pri voľbe fyzikálno - mechanických vlastností sa vychádzalo zo správy „Stanovenie parametrov dobývania soľného ložiska Prešov“, (Vacek a kol., 1984).

Definovanie matematického modelu horninového prostredia

Matematický model je zostrojený tak, aby čo najvierohodnejšie zachytil modelovanú situáciu. Úloha bola riešená ako nesymetrická tj. ako plne priestorová. Okraje modelu v horizontálnej rovine v smere osi x od východzieho bodu modelu (vrt 127) siahajú od 345m na ľavej strane modelu po 605m na pravej strane modelu. V smere osi y model siaha na vrchnej strane modelu po 405m, na spodnej strane modelu po -545 m. Hranice modelu vo vertikálnom smere siahajú od povrchu cca 265 m n.m. po -395 m n.m.

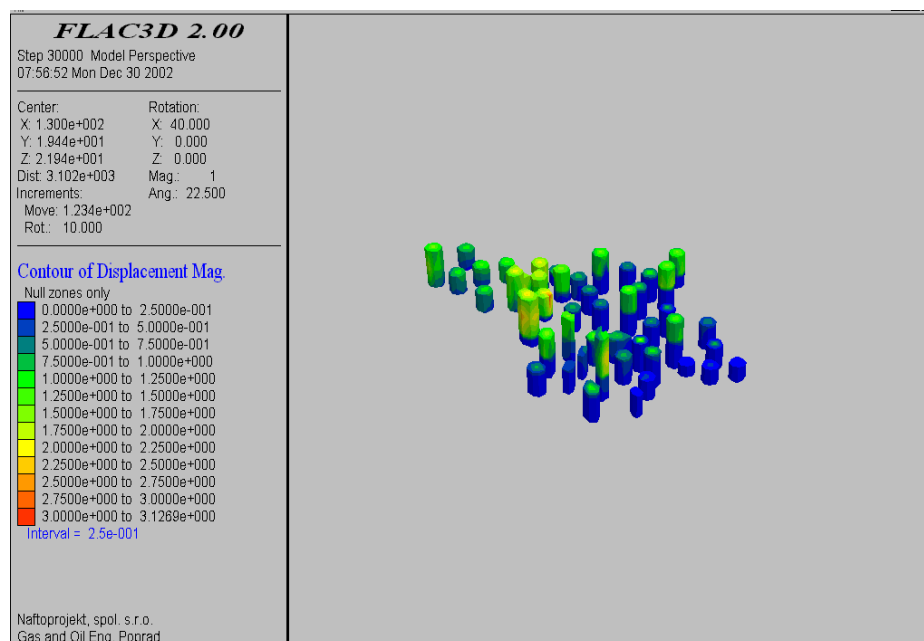
Model je zostrojený tak, že umožňuje okrem posúdenia súčasného stavu lúhovaných komôr odmodelovať aj situáciu, ktorá vznikne po ukončení lúhovania v záujmovej oblasti (zväčšenie polomeru a výšky lúhovaných komôr, tzv. konečný stav).

Výsledky matematického modelovania

Matematickým modelovaním sa posudzoval východzí (terajší) a konečný (budúci) stav južnej časti DP Prešov I. – Solivary na základe zmeny priebehu maximálnych hlavných napätí a priemerných posunutí modelovaných variantov. Porovnaním východzieho a konečného variantu možno konštatovať:

- maximálne hlavné tlakové aj ťahové napätia vo vertikálnych rezoch vykazujú pre konečný variant vyššie hodnoty – cca o 3 %,
- v horizontálnych rezoch pre oblasť komôr ($z=36 \dots 120$ m) dochádza k výraznejšiemu nárastu maximálnych hlavných napätí v konečnom variante,
- maximálne hodnoty posunutí vo vertikálnych rezoch vykazujú vyššie hodnoty pre konečný variant od rezu $y=70$ m – cca o 15 %, charakteristickým znakom pre konečný variant je výrazne väčší rozsah deformácií v oblasti luhovaných komôr,
- maximálne hodnoty posunutí v horizontálnych rezoch vykazujú vyššie hodnoty pre konečný variant,
- vertikálne posunutie v oblasti povrchu vykazuje vyššie hodnoty pre konečný variant,

- priemerné posunutia v oblasti komôr sú väčšie pre konečný variant – cca o 14 %,
- rozsah a spôsob predisponovaných zón porušenia je mierne väčší v konečnom variante.



Obr. 2 Priebeh priemerného posunutia v oblasti kavern
 Fig. 2 Course of the displacement magnitude in the caverns area

Záver

Efektívna a bezpečná ťažba soli sa nedá realizovať bez dôkladnej spolupráce geotechnikov s ťažiarimi. Využitím moderných geotechnických prostriedkov sa dajú zvládnuť aj špecifické geotechnické problémy, ktoré sa vyskytujú pri ťažbe soli na rôznych typoch soľných ložiskách.

Podobne ako pre iné metódy riešenia geotechnických úloh, tak aj pre matematické modelovanie platí, že kvalita výstupov (stabilita modelovanej oblasti, veľkosť maximálnych, minimálnych hlavných napätí, šmykových napätí, deformácií apod.) je priamo úmerná kvalite vstupov (pevnostné a pretvárne vlastnosti modelovaných hornín, tektonických porúch, primárny napätový stav apod.). Toto konštatovanie plne platí aj pre geotechnické úlohy riešené na slovenských soľných ložiskách.

Literatúra - References

- [1] Ďurove, J.: Fyzikálne modelovanie sekundárnych napätí v okolí banských diel. In.: Banické listy 13, Zborník BU SAV, Veda 1990, Bratislava.
- [2] Ďurove, J., Maras, M., Vavrek, P., Daňko, J.: Formulácia kritérií pre konštrukciu matematického modelu riešenia stability lúhovacích komôr ložiska Zbudza na základe výsledkov geologického skúmania a geomechanických skúšok hornín ložiskovej výplne a okolia., *Výskumná správa pre Solivary, a.s., Prešov. KDLaG F BERG, TU Košice, jún 1999.*
- [3] Kotuľák a kol.: Súčasný stav lúhovacích polí v DP Prešov I. – Solivary, zhodnotenie rizík, návrh ďalšieho využívania z aspektu stability terénu a jeho možnej deštrukcie., *Záverečná správa, Prešov, 2003.*
- [4] Kulhawy, F., H.: Stress deformation properties of rock and rock discontinuities, 1975.
- [5] Maras, M., Vavrek, P., Ďurove, J., Daňko, J.: Stabilné riešenie podzemných zásobníkov ropy Zbudza., *Záverečná správa výskumnej úlohy pre Solivary, a.s Prešov. F BERG, TU Košice, marec 2000.*
- [6] Vacek, J. a kol.: Stanovení parametru dobývání solného ložiska Prešov., *Ústav pro výzkum rud, Záverečná správa, Praha, 1984.*