EAN '94

32th Conference of Experimental Stress Analysis
32. konference o experimentální analýze napětí
30. 5. - 2. 6. 1994 VŠST Liberec Czech Republic

DETERMINATION OF THE STRESS STATE CHANGES IN ROCK MASS BY MEANS OF COUPLED MODELLING METHOD

URČENÍ ZMĚN NAPJATOSTI HORNINOVÉHO MASIVU METODOU KOMBINOVANÉHO MODELOVÁNÍ

Skořepová J., Procházka P., Vencovský M.

Modelling in geotechnics enables one to investigate the changes of stress state and deformations during variable processes of underground constructions. The coupling of the mathematical and physical methods was used to study behaviour of tunnel heading and distribution of stresses in the neighbourhood of tunnel in consequence of the progressive excavation. Very good results were achieved by this interaction of experimental and mathematical lines.

Studium reálných napěťových a deformačních změn v horninovém masivu a řešení stability podzemních děl v návaznosti na různé typy stavebních aktivit má význam jak pro podpovrchové stavebnictví, tak pro hlubinné a povrchové dobývání nerostných surovin. Existuje mnoho numerických metod, které se úspěšně využívají při řešení těchto úloh, většinou však při značném zjednodušení řešeného problému. Matematické formulace se jen velmi těžko vyrovnávají se zohledněním fyzikálně nelineárních zákonů, které se v masivu během konstrukce podzemního díla vyvíjejí a je nutné je určit ze znalostí materiálu nebo z experimentů prováděných in situ nebo na fyzikálních modelech. Proto spojení numerického měření s experimentem, kdy experiment může buď potvrzovat předpoklady a výsledky numerických metod, nebo naopak výsledky experimentu jsou využity jako vstupní údaje pro realizaci numerické metody, se jeví jako velice prospěšné a vedou ke zpřesnění získaných výsledků.

Metoda kombinovaného modelování, tj. spojení experimentálního modelování s matematickým byla využita pro studium chování tunelové čelby a bezprostředního okolí tunelu během jeho ražby. Pro možnost porovnání a otestování na fyzikálních modelech naměřených napětích s matematickým modelovým řešením a také zjednodušeným teoretickým výpočtem odvozeným Kirshem pro kruhový otvor v lineárně pružném homogenním prostředí, byly modely koncipovány co nejjednodušší. Tunel byl volen také kruhového průřezu a uvažováno izotropní horninové prostředí.

Na sérii fyzikálních modelů byly na základě tenzometrických měření určovány změny napjatostí v různé vzdálenosti před postupující tunelovou čelbou a také rozložení napětí a vznik oblastí odlehčení a přitížení v rovině kolmé k ose otevřeného tunelu. Při řešení byly také uvažovány změny rozložení napětí v důsledku různé mocnosti nadloží. Fyzikálně mechanické vlastnosti ekvivalentních materiálů (tab.I), které v modelu substituovaly horninové prostředí, byly určeny podle zákonů fyzikální a geometrické podobnosti tak, aby v měřítku modelu odpovídaly středně pevným pískovcům. Byla použita směs bentonitu, písku a tuku v poměru 67:30:3. Tunely nebyly vystrojeny, takže bylo možné sledovat i uvolňování masivu v okolí líce tunelů.

Pro odpovídající mechanické a přetvárné vlastnosti prostředí bylo realizováno matematické řešení na základě lineárního výpočtu metodou konečných prvků s rovinným lineárním rozdělením posunů a alternativně se zahrnutím zobecněného Mohr-Coulombova zákona. V matematickém modelu byl zanedbán vliv třetího rozměru (ve směru ražby), který v případě reálného tunelu, stejně jako i tunelu ve fyzikálním modelu, se významně uplatňuje na přerozdělování napjatosti.

TAB 1. Vlastnosti EM:

Objemová hmotnost ρ (g/cm)	1,53
Pevnost v pr. tlaku σ (MPa)	0,0067
Úhel vnitřního tření φ	43° 30′
Soudržnost c (MPa)	0,0039
Modul E_{def} (MPa)	4,5
Poisson. konst.	0,284

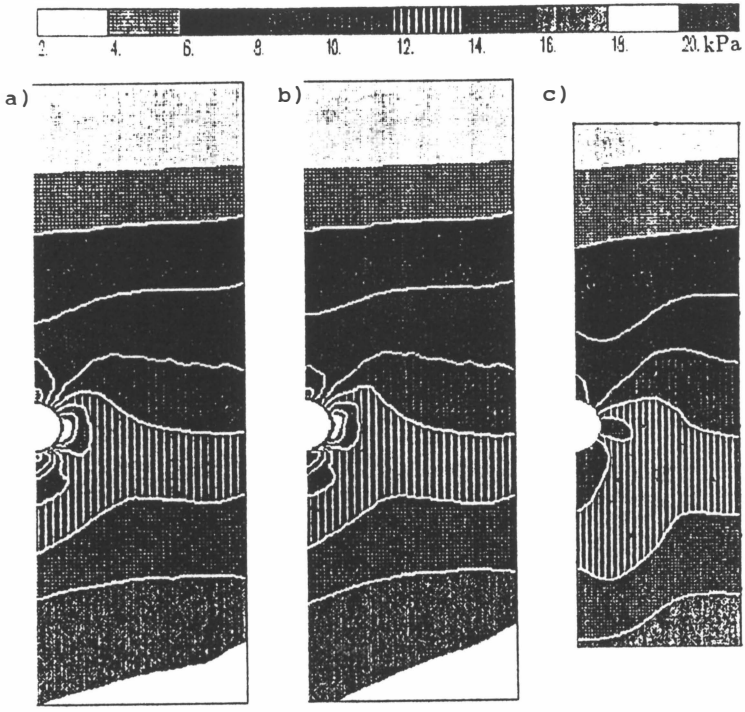
Diskrétní hodnoty vertikálních napětí $\sigma_i^{\mathrm{měř}}$, $(i = 1, \ldots, n)$, které byly naměřeny pomocí tenzometrických snímačů v A_i bodech fyzikálního modelu v rovině kolmé k ose tunelu po vyrubání celé jeho délky, byly konfrontovány s hodnotami napětí vypočtenými metodou matematického modelování pro odpovídající body. Cílem bylo minimalizovat rozdíly mezi z experimentu určenými a vypočtenými hodnotami napětí ve srovnávacích bodech A_i, a to změnou parametrů p_j, které charakterizují horninové prostředí, ale většinou nejsou k dispozici z měření in situ nebo laboratorních zkoušek. Ostatní parametry (viz tab.I) zůstaly shodné s experimentem. Střední odchylka dosažená na odpovídajících si bodech A_i pro sedmou iteraci nelineárního výpočtu

$$\Delta = \sqrt{\sum_{i=1}^{n} \left[\sigma_i^{\mathrm{měř}} - \sigma_i^{(p_i)}\right]^2} = \pm\, 0{,}23\,\mathrm{kPa}\,,$$

což odpovídá 3% původní napjatosti v ose tunelu.

Interakcí obou metod byly dosaženy velmi dobré výsledky. Matematické řešení umožnilo určit hodnoty napětí v bezprostřední blízkosti otvoru, kde z technických důvodů nemohly být umístěny snímače. Fyzikální model naopak svým prostorovým pojetím umožnil sledovat vývoj napětí před tunelovou čelbou a následný rozvoj oblastí odlehčení a přitížení při postupující ražbě tunelu. Získané poznatky prokázaly opodstatněnost využití metody kombinovaného modelování jak pro řešení

konkrétních úloh, tak pro parametrické studie, kde se s výhodou může kombinovat prostorovost experimentálního řešení s operativností, s jakou lze měnit parametry prostředí a s rychlostí, s jakou lze dosáhnout výsledků matematickým řešením.



Obr.1 Rozložení napětí kolem kruhového otvoru
a) matematický model – lineární řešení,
b) matematický model – nelineární řešení,
c) fyzikální model – interpolace provedena jen v prostoru mezi snímači.

Jiřina Skořepová
Ústav struktury a mechaniky hornin AV ČR
V Holešovičkách 41, 182 09 Praha 8
tel: 02/664 101 01 fax: 02/664 101 05