PROBLÉMY NAPJATOSTI V HORNINOVÉM PROSTŘEDÍ

Doc. Ing. Ivan Trávníček, CSc., Ing. Jaromír Karhánek, CSc.,
Stavební fakulta VUT Brno

V příspěvku je nastíněna problematika stanovení napjatostních stavů horninového prostředí; v druhé části práce je uveden přehled metod k zjišťování napěťo-deformačních změn v horninovém masivu s uvedením jejich výhod a nevýhod.

1. Úvod

Stanovení napjatosti v horninovém masivu patří k důležitým úlohám v inženýrsko-geologické praxi v souvislosti s výstavbou velkých podzemních prostor, se kterými se setkáváme při výstavbě přečerpávacích enektráren.

2. Pojem stavu napjatosti z teoretického hlediska

Pod tímto pojmem rozumíme intenzitu síly působící na kruhový bod tělesa, vyjadřující se velikostí silových vektorů působících na jednotku plochy. Veličina určující stav napjatosti v bodě tělesa je tedy tenzorem napětí, druhého řádu /1/ se šesti složkami, s platností Bolzmannova axiomu, resp. v Cosseratově kontinuu má tenzor napětí devět složek - v lineárním i nelineárním případě, který se dá zapsat ve tvaru matice:

$$T_\sigma = \begin{Vmatrix} \sigma_x & \tau_{xy} & \tau_{xz} \\ \tau_{yx} & \sigma_y & \tau_{yz} \\ \tau_{zx} & \tau_{zy} & \sigma_z \end{Vmatrix}$$

Tenzor napětí má dvě složky tenzorového charakteru, a to invariantní veličinu (nezávislou na volbě souřadnicového systému), definovanou jako střední normální napětí σ_s , způsobující pouze změnu objemu tělesa. Druhou složkou tenzorového charakteru je deviátor napětí - určuje se maticí, uspořádanou jen ze složek napětí, způsobujících změnu tvaru tělesa.

Obecný tenzor napětí je tedy součtem objemového tenzoru a deviátor napětí, takže platí

$$T_\sigma = T_{\sigma_0} + D_\sigma$$

Soubor napětí v jednotlivých bodech tělesa tvoří pole napjatosti (pole napětí).

Jestliže je napětí ve všech bodech a směrech pole, resp. tělese stejné, mluvíme o homogenním izotropním materiálu. V daném prostředí, hovoříme-li o horninovém masivu, uvedené podmínky nemohou platit, vzhledem k různorodovosti jeho geologické stavby.

3. Napjatost horninového masivu - fenomenologický přístup

Z fenomenologického hlediska považujeme horninový masiv ze celek, složený z mnoha částí (tzv. kvazihomogenních celků), které jsou ve vzájemném stavu (interakci) a v určitém daném systému, jak silovém, tak i strukturním. Jsou výsledkem působení různých sil, proměnných v prostoru a čase, které probíhaly v zemské kůře (2).

4. Stavy napjatosti

Horninový masiv složený z horninových sledů je z hlediska statického v rovnovážném stavu napjatosti tzv. primární napjatosti. V některé odborné literatuře se napjatost v horninovém masivu ještě nenarušeném tunelovou stavbou označuje jako geostatická napjatost, anebo primární (původní) napjatost /3, 4/. První termín je spíše všeobecný, druhým (primární) je poukazováno na vztah k tzv. sekundární napjatosti, která vznikne okolo otevřeného výrubu v masivu napjatém "primárně".

Geostatická napjatost horninového masivu je dána polem napětí, v kterém každý bod má určitý tenzor napětí /5/. Tyto pole můžeme klasifikovat z různých hledisek (klasifikace tzv. přirozených polí podle genetického hlediska, podle silového působení (objemové, plošné, z hlediska mechaniky).

Napětí z nichž se geostatická napětí skládají, mohou mít různé příčiny: gravitační, reziduální, tektonická a vliv bobtnání.

Primární napjatost je skutečná napjatost působící v horninovém masivu narušeném tunelovou stavbou resp. lidským faktorem.

Sekundární napjatost je způsobena zásahem lidské činnosti do původního prostředí a vytváří celou řadu problémů, daných jednak tvarem a podmínkami vlastního prostředí, jednak technologií

použitou při ražbě /6/.

Terciérní stav napjatosti je stav daný reakcí mezi horninovým prostředím a způsobem a druhem vystrojení výrubu /6/.

5. Metody zjišťování napjatosti (výhody a nevýhody)

Pro popis a zjišťování napěťo-deformačních změn v horninovém masivu existuje řada teorií a metodických postupů /7/. Složitost této úlohy je příčinou toho, že nelze dosud jednoznačně prokázat, která metoda nebo metodický postup je nejvýhodnější pro získání objektivních prakticky upotřebitelných výsledků. Ukazují se v zásadě tři cesty řešení.

- Měřicko-výzkumné práce in situ. Jde hlavně o metody založené na měření deformací horninového masicu v okolí podzemního díla v různých směrech, místech a vzdálenostech od okraje díla, které jsou podkladem pro vyhodnocení napětí či napěťových změn. Výhodou této cesty je, že naměřené výsledky jsou zjištěny in situ, tzn. vycházejí z jisté skutečnosti /8,9/. Nevýhodou je časová náročnost, nákladnost a lokální platnost výsledků.
- Experimentální měření na modelech z ekvivalentních materiálů. Předností tohoto řešení kromě názornosti je to, že model umožňuje znázornit i extrémní stavy vyčerpání únosnosti ostění a porušení stability výrubu, takže dodává kvantitativní údaje pro navrhování konstrukcí podzemních objektů na mezní stav únosnosti. Další výhodou je, že se nemusí znát konstituční vztahy, neboť jsou uloženy v materiálu modelů a při modelování se samy automaticky projeví /10/. Rovněž předností tohoto druhu modelování je možnost prostorového řešení problému. Lze říci, že fyzikální modely z ekvivalentních materiálů dávají dobré informace o charakteru porušení, ale méně věrohodné údaje poskytnou při sledování a měření napjatosti. Tato skutečnost vyplývá z toho, že napětí, (tj. síly) se podle elementární fyziky nedají měřit přímo, nýbrž že se na jejich velikosti usuzuje z jejich účinků daných změnou pohybového stavu u těles volných nebo přetvářením a porušováním u těles vázaných. Méně věrohodné údaje fyzikální modely poskytují o velikosti a vývoji deformací. Stavba modelu z ekvivalentních materiálů je rovněž časově nákladná, a proto lze této metody využít pro zcela určitý případ.
- Simulační modely nahrazují skutený masic abstraktním matematickým

modelem. Uplatňují se pro znázornění očekávaného provozního stavu (výpočty dle tzv. II skupiny mezních stavu) a využívají se při předpovědi deformací povrchu vlivem tunelování. Výsledky, které dostáváme, jsou závislé na výstižnosti konstitučních vztahů charakterizujících chování hornin a použitých konstitučních prvků. Tím, že stavba geologického prostředí a charakteristiky hornin jsou obvykle značně rozmanité proto přesné analytické postupy nejsou buď k dispozici a nebo jejich použití je velmi obtížné. V dnešní době používáme k řešení těchto problémů nejčastějí metodu konečných prvků, metodu hraničních prvků, metody zpětné analýzy.

6. Závěr

Příspěvkem jsme chtěli krátce poukázat na širokou problematiku stanovení napjatostních stavů horninových masivů, jejichž charakteristickým znakem je nehomogenita a anizotropie.

Literatura

/1/ Kuba, F.: Teorie pružnosti a vybrané aplikace, SNTL,Praha 1982.
/2/ Sborník konference "Hornická Příbram ve vědě a technice", Příbram 1981.
/3/ Mencl, J.: Zásady výpočtu obmurovek tunelů podzemných dráh, VŠD, Žilina 1968.
/4/ Mencl, J.: Mencl, V.: Štolne a tunely, SVTL, Bratislava 1964.
/5/ Howard,J.: Vercical normal stress in the eath the weight of overburden, Geol. Soc. Amer. Bull.5,1977,pp.651-660.
/6/ Trávníček, I.: et al: Napjatost horninových ma ivů a metody zjišťování, záv. zpráva výzk. úkolu II-4-7/02, Brno 1985.
/7/ Karhánek, J.: "Použití metody AE pro zjišťování nepjatosti hornin, prostředí při výstavbě podzemních děl", kandidátská disert. práce, VUT FAST Brno 1984.
/8/ Škrabiš,A.: Výzkum napěťpvých změn v okolí dlouhých důlních děl, Zpráva č. 117, VUÚ Ostrava-Radvanice 1973.
/9/ Karhánek,J.: Výhody a nevýhody jednotlivých způsobů zjišťování napjatosti, knižnice VUT Brno 1985 (v tisku).
/10/ Kameníček, I.: Vliv tunelovacích soustav na vývin horského tlaku, kandidátská disertační práce VUT Brno, 1967.