

## METODA ZPĚTNÉ ANALÝZY NAPĚTÍ PŘI POSOUZENÍ KONSTRUKCE

Peryáun Nazari, VUT Brno, katedra geotechniky

Metoda zpětné analýzy napětí je avantgardní a stojí na předním místě experimentálních metod v geomechanice. Jedná se o identifikačních problémech geomechaniky ve spojitosti s okrajovými úlohami metody řešení. Dosavadní způsob analýzy při nevratném přetvoření - čas, nerozlišuje pružnou a plastickou složku přetvoření, jehož přírůstek je nelineární. A proto se tento příspěvek zabývá hlavním poznáním a podněty k novému vývoji v experimentální analýze napětí a deformace při výstavbě Strahovského tunelu v Praze, která zahrnuje komplexní metodiku řešení (matematické modelování, fyzikální modely z ekvivalentních materiálů katedry geotechniky s automatickým snímáním a měření in situ).

Přímá měření a pozorování (in situ) v přírodních podmínkách mají čelné místo v tomto článku. Z důvodu nedostatku místa se zabýváme pouze výsledky měření v severním úseku Strahovského tunelu (ražení a hloubení úseku) v Praze. Na obrázku 1 je znázorněno umístění osazení měřidel na konstrukce (ražení průzkumné štoly /PŠ/, pravý opěrový tunel /POT/ a levý opěrový tunel /LOT/). Další vysvětlujeme následovně: dynamometr Geo-Brno-PUDIS strunový, dálkového snímání 200,100,60 /DGBP/; polštář Ge-Brno-PUDIS s dálkovým snímáním /PGBP/ nebo /P/; Měřicí body pro konvergenci /M/; dvojice strunových tenzometrů /DS/; různé strunových tenzometrů /RS/; vodorovné piloty /VP/ - deštníková metoda; svislé piloty /R/ a ketvy /K/.

Smykové prvky v uslové zóně průzkumné štoly byly stanoveny následovně: dvojice smykového prvku, převrácení dvou sad spár, rotace čtyř sad spár a čtyři sady spár (rozpukaná jílovitá bridlice a žilky pyritu). Celkové moduly ve smyku mají rozsah 13 až 61 procent modulů ve smyku neporušené horniny. Z relativních posunů spáry

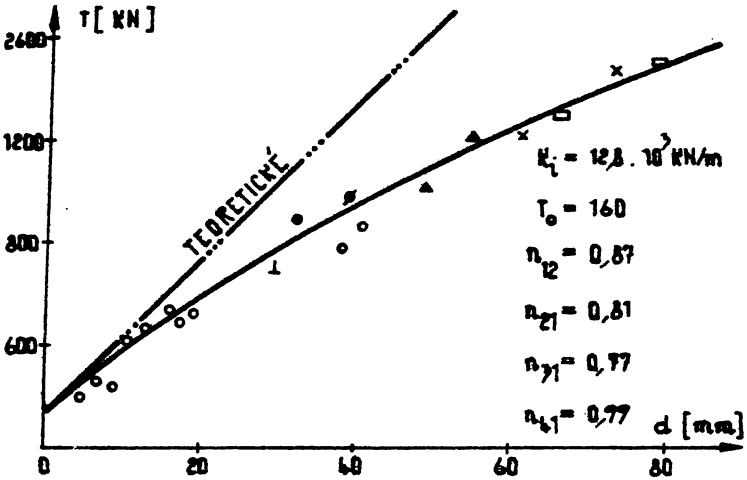
byle zjištěno nelineární napětí pro uzel spáry. Rozdíl lineárních a nelineárních napětí jsou reziduální napětí, která dávají zbytkové síly na uzlech. Vliv tangenciálních posunů na normální posuny, t.j. efekt dilatace, způsobuje problémy konvergence, které byly zvláště vyřešeny. K odstranění možnosti všech smykových prvků (umělým omezením komplexního systému spár) a osazení sady radiálních prvků, které na sebe berou stupně volnosti uzlových zón, bylo zavedeno: stříkání betonu o tloušťce 90 mm, až o pevnosti ve smyku 2,7 MPa a v tahu 1,1 MPa a dále osazení kotvy 2,1 m dlouhé o průměru 26 mm na čtvercové mřížce 1,4 m. Výsledek ukazuje, že při modelování (zpětná analýza) stříkání betonu a kotvy, relativní posun mezi uzly prvku uvnitř uzlové zóny se přiblíží k nule a průběh kontaktního napětí byl rozhodující při chování celkového systému Strahovského tunelu a okolí. Další výsledek měření například radiálního napětí se pohybuje v rozmezí 0,03 až 0,05 MPa na ražení úseku v POT a LOT.

Chování kotev "zatížení - posun" ze zkoušek in situ severního portálu Strahovského tunelu (viz zakotvení pilotové stěny - obr. 1 a 2) ukazuje hyperbolický průběh posunu měřeného na hlavě kotvy k zatížení. Na obrázku 2 v uvedeném diagramu teoretická čára odpovídá pružné deformaci volné části předpínacího prutu kotvy. Její sklon představuje teoretickou tuhost kotvy, označené  $K_k$ . Přičemž teoretická tuhost kotvy je rovna poměru modul pružnosti oceli násobený průřezovou plochou předpínacího prutu k délce volné kotevní délky. Parametr "a" představuje obrácenou hodnotu počáteční tangenciální tuhosti  $K_1$  a  $T_0$  je počáteční zatížení používané pro uložení předpínacího prutu. Na druhé straně - "b" - je obrácená hodnota zatížení kotev pro nekonečný posun, t.j. asymptota hyperboly, označujeme  $T_n$ . Tangenciální tuhost odpovídající návrhovému dovolenému zatížení kotvy označujeme pro provozní zatížení  $K_p$  a pro trvalé zatížení  $K_k$ . Jelikož experiment ukazuje, že tuhost při odtěžování - zatěžování  $K_n$ , závisí na úrovni zatížení, při kterém se cyklus odtěžování-zatě-

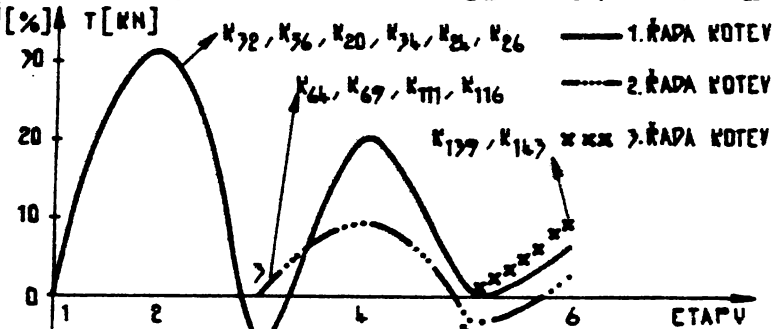


### SÍLY V KOTVÁCH :

KOTVA Č.	K <sub>72</sub>	K <sub>77</sub>	K <sub>56</sub>	K <sub>112</sub>	K <sub>177</sub>	K <sub>10</sub>	K <sub>66</sub>	K <sub>99</sub>	K <sub>36</sub>	K <sub>24</sub>	K <sub>26</sub>	K <sub>111</sub>	K <sub>116</sub>	K <sub>69</sub>
PŘEJ. KN	690	690	660	690	665	665	690	690	690	770	1200	690	690	777
OZN.	○	○	⊥	○	●	⊥	○	○	○	x	□	○	○	△



### OPR. 2 ZAKOTVENÍ PILOTOVÉ STĚNY A HYPERBOLICKÉ APROXIMACE DIAGRAM T - d



### OPR. 3. VÝVOJ ZATÍŽENÍ KOTEV BĚHEM STAVBY, PROCENTEM JEJICH PŮVODNÍ HODNOTY

kování provádí, byla přijata průměrná hodnota  $K_u$  pro každou skoušku. Parametry uvedené v diagramu jsou následující:  $n_{12}$  je poměr  $K_1$  ke  $K_t$ ,  $n_{21}$  je poměr  $K_p$  ke  $K_1$ ,  $n_{31}$  je poměr  $K_k$  ke  $K_1$ ,  $n_{41}$  je poměr  $K_u$  ke  $K_1$ . Z uvedených parametrů vyplývá, že počáteční tangenciální tuhost se může podstatně lišit od teoretické tuhosti. Ve všech případech  $n_{12}$  jsou menší než 1, to znamená, že  $K_1$  je nižší než  $K_t$ . Je-li  $K_1$  větší než  $K_t$ , pak jsou obtíže s kontrolou délky a přesunem smyku podél volné délky. Při koeficientu  $n_{21}$  a  $n_{31}$  ukazují oba dva případy značný rozdíl mezi průměrnou tangenciální tuhostí pro provozní i trvalé zatížení a  $K_1$ . Z diagramu obr. 3 vyplývá, že světšení předpětí kotev zlepšuje celkovou účinnost, t.j. zmenšení posunu piletové stěny a seminy. Dále ukazuje, že vývoj zatížení kotev během stavby je vyjádřen v procentech jeho původní hodnoty.

V závěru můžeme konstatovat, že polní zatěžovací skoušky ukazují, že mechanické chování zemních kotev je vysoce nelineární a lze přibližně je znázornit hyperbolickým modelem typu používaného pro nelineární analýzu semín - t. j. spětná analýza napětí při posouzení konstrukce. Měření in situ umožňuje jednoduché kvantifikování neshod mezi skutečnou a teoretickou tuhostí kotev a spolehlivé interpretace polních měření ve spětných analýzách.

#### Literatura:

- Kameníček, I., Nazari, F.: Projekt kontrolních měření při výstavbě Strahovského tunelu 1986-1990, PÚDIS Výroční správa, Praha 1985
- Nazari, F.: Kontaktní napětí a síly, cyklus přednášek Modely, konstrukce a podleží, Depraveprojekt, Brno 1988
- Nazari, F.: Kontaktní napětí při posouzení podzemní konstrukce, EAN 1988, 26. celostátní konference ČSVTS Belany, 1988