

NELINEÁRNÍ ANALÝZA NEVYZTUŽENÉHO BETONOVÉHO DEFINITIVNÍHO OSTĚNÍ

NONLINEAR ANALYSIS OF THE PLAIN CONCRETE FINAL LINING

MICHAL SEDLÁČEK, RADOMÍR PUKL

Primárně vytyčeným cílem práce bylo zjistit, do jaké míry lze pomocí numerického modelování úspěšně vystihnout chování betonové konstrukce definitivního tunelového ostění.

The main goal of the task described in this paper is to show possibilities of the nonlinear numerical modeling in investigation of behavior of plain concrete tunnel lining.

Navrhování podzemních staveb patří mezi jednu z nejnáročnějších inženýrských aktivit. Jejich řešení vyžaduje dostatečné odborné znalosti a současně praktické zkušenosti, na jejichž základě je možné stanovit předpoklady pro bezpečný návrh.

Tyto předpoklady by se měly v maximální možné míře přibližovat skutečnému stavu řešeného problému.

Z tohoto důvodu je nutné hledat nové přístupy, které umožní s dostatečnou přesností vystihnout a předpovědět chování betonové konstrukce definitivního ostění a vykazují akceptovatelnou shodu se skutečností. Jednou z možných cest je počítačová simulace založená na metodě konečných prvků s využitím nelineárního materiálového modelu chování betonu.

POSTUP ŘEŠENÍ

Nevyztužené definitivní ostění tunelu Libouchec bylo modelováno nelineární metodou konečných prvků a získané výsledky byly porovnány s hodnotami naměřenými na realizované konstrukci.

Nejprve byl sestaven numerický model definitivního ostění tunelu se zavedením materiálové nelinearity, který posloužil pro výpočet poměrných přetvoření v modelu konstrukce. Následně byly změřeny hodnoty poměrného přetvoření na skutečné konstrukci definitivního ostění tunelu. Hodnoty poměrných přetvoření od předpokládaných zatížení konstrukce získané výpočtem byly porovnány s odpovídajícími hodnotami získanými měřeními in situ.

Numerický model

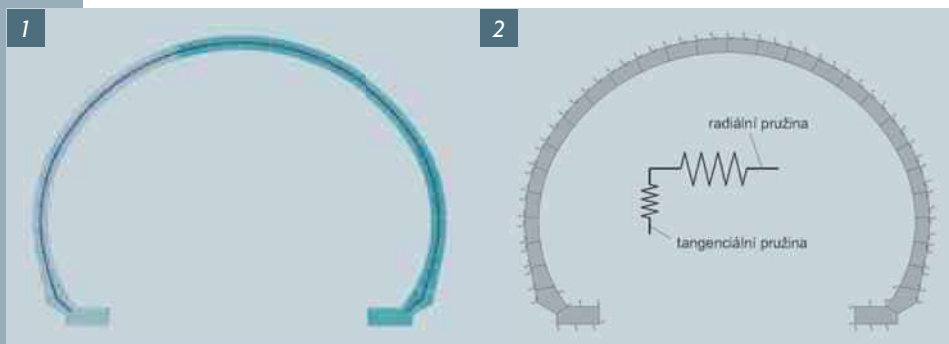
Pro modelování ostění byl zvolen komerčně dostupný software ATENA 2D. Pro řešení skutečné prostorové napjatosti a deformace ostění tunelu byl použit dvojrozměrný model rovinné deformace, který dobře vystihuje chování průřezů ve střední části tunelu, kde je zabráněno poměrné deformaci ve směru podélné osy tunelu.

Specifikem podzemních konstrukcí je jejich aktivní a pasivní spolupráce s horninovým masivem. Ostění se vlivem působení zatížení deformuje a působí na líc výrubu. Tím dochází k aktivaci pasivního odporu horniny. Tento jev výrazně ovlivňuje únosnost ostění, a proto je nezbytné pasivní odpor horniny ve statickém výpočtu uvažovat. Horninové prostředí je ve výpočetním modelu simulováno za pomoci radiálních a tangenciálních pružin (obr. 2).

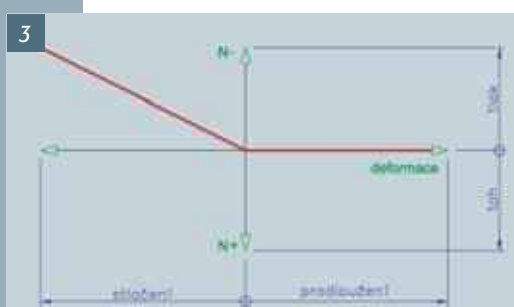
Radiální pružiny jsou definovány tak, aby působily pouze v tlaku; při vlastním výpočtu dojde k vyloučení tažených oblastí styku ostění s horninovým prostředím. Tangenciální pružiny simulují tření na plášti definitivního ostění a jsou definovány jako pružný materiál. Pracovní diagramy jednotlivých pružin jsou patrné z obr. 3.

Pro matematický model bylo nutné určit ty vstupní hodnoty, které mají zásadní vliv na sledované veličiny, zhodnotit doposud působící zatěžovací stavy a pokusit se o jejich výstižnou aplikaci v numerickém modelu.

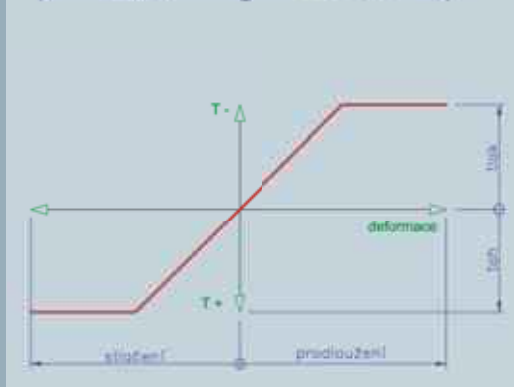
Při numerickém řešení byly monitorovány hodnoty poměrných přetvoření odpovídající tenzometrickým měřeními na skutečné konstrukci.



Obr. 1 Numerický model
Fig. 1 Numerical model of tunnel lining



Obr. 2 Zavedení radiálních a tangenciálních pružin do výpočtového modelu
Fig. 2 Radial and tangential springs in the numerical model



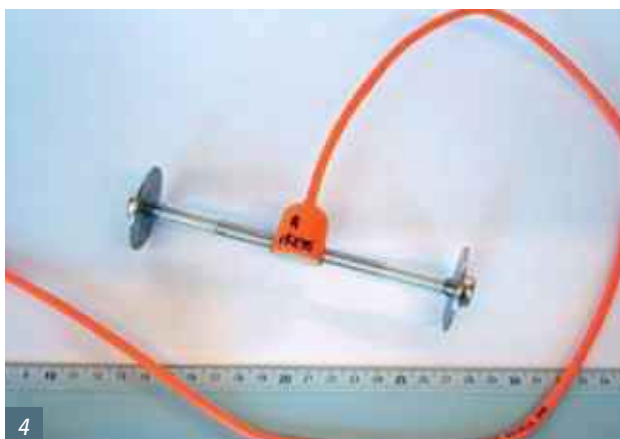
Obr. 3 Pracovní diagram radiální a tangenciální pružiny
Fig. 3 Force-deformation diagram for radial and tangential springs

Obr. 4 Vibrační strunový tenzometr TES/5,5/T
Fig. 4 Vibrating wire embedment strain gauge TES/5,5/T

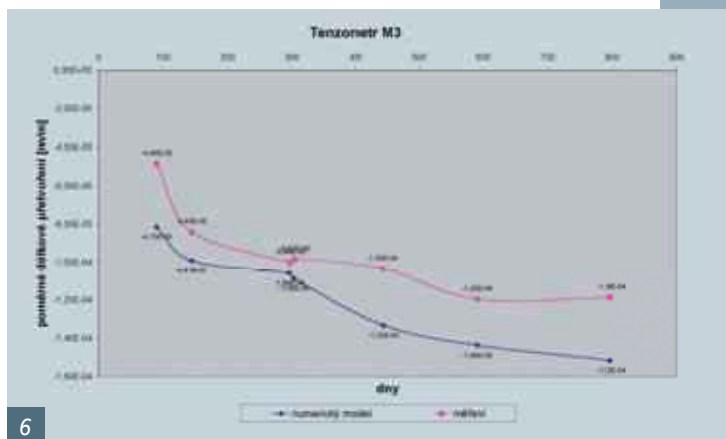
Obr. 5 Umístění tenzometrů v definitivním ostění tunelu
Fig. 5 Location of strain gauges in the final tunnel lining

Obr. 6 Porovnání naměřených hodnot s numerickým modelem
Fig. 6 Comparison of measured values with numerical modeling

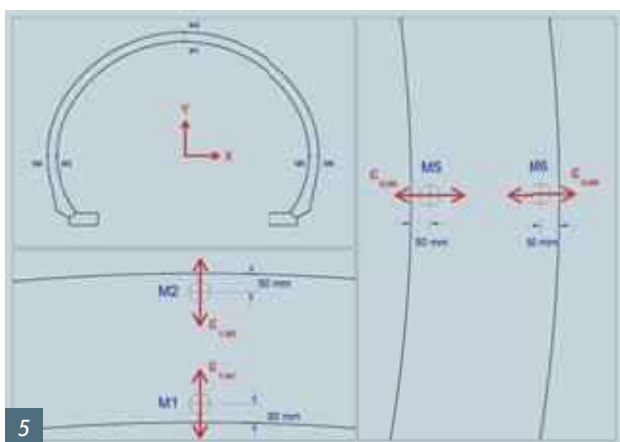
Obr. 7 Predikce přetvoření po 10 letech
Fig. 7 Prediction of strain development in 10 years



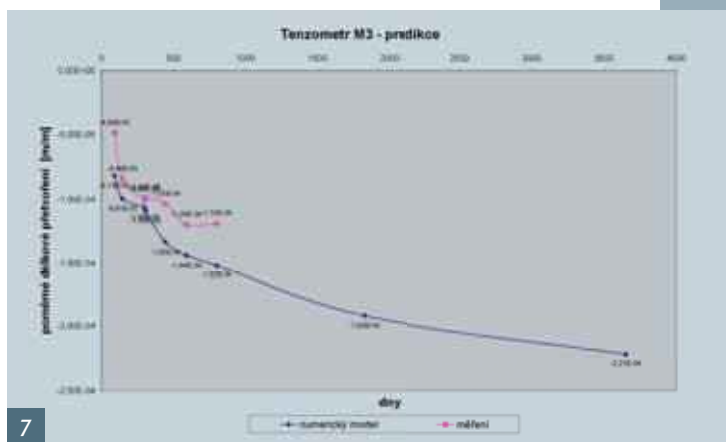
4



6



5



7

Měření na konstrukci

V rámci výzkumného grantu [2] byly instalovány do definitivního ostění tunelu Libušeč strunové tenzometry (obr. 5). Měření namáhání konstrukce probíhá nepřímou metodou pomocí elektronického rozkmitání struny tenzometru, kde snímač speciální aparatury odečítá frekvenci kmitání. Odečtené hodnoty po přepočtení udávají poměrné délkové přetvoření v konstrukci (microstrain [$\mu\text{m}/\text{m}$]). Konstrukce tenzometrů umožňuje též měření teplot.

Výsledky

Naměřené hodnoty přetvoření v definitivním ostění nasvědčují tomu, že primární ostění tunelu stále plní nosnou funkci a definitivní ostění je namáháno pouze vlastní tíhou, klimatickými a objemovými změnami. Z porovnání sledovaných veličin je patrné, že poměrná přetvoření jsou relativně malá, řádově 10^{-4} m/m.

Lze předpokládat, že primární ostění bude svou funkci plnit i několik následujících let. V grafech na obr. 6 a 7 je zobrazena předpověď přetvoření v definitivním ostění po deseti letech od betonáže za předpokladu, že v tomto období ještě nedojde k degradaci primárního ostění a konstrukce definitivního ostění bude namáhána pouze nesilovým zatížením, tzn. smrštěním, dotvarováním a klimatickými změnami teplot.

ZÁVĚR

Na základě provedeného srovnání lze konstatovat, že použitý numerický model definitivního ostění dobře vystihuje skutečné chování realizované konstrukce, a je možné jej úspěšně aplikovat ve stavební praxi.

Numerický model je samozřejmě do

jisté míry zatížen nepřesnostmi, které jsou dány zjednodušením výpočetního modelu oproti reálné konstrukci. Z porovnání uvedených grafů je však vidět velmi dobrá shoda mezi průběhem sledovaných veličin vypočtených numerickým modelem a provedenými měřeními. Numerický model navíc umožňuje extrapolaci sledovaných hodnot a předpověď jejich předpokládaného vývoje v dalším období.

V článku byly úspěšně využity výsledky výzkumného projektu GAČR 103/08/1527 „Globální formát posuzování bezpečnosti železobetonových konstrukcí“.

Ing. Michal Sedláček
Fakulta stavební ČVUT v Praze
Tháškova 7, 166 29 Praha 6
tel.: 731 412 556, fax: 233 335 797
e-mail: michal.sedlacek@fsv.cvut.cz
http://concrete.fsv.cvut.cz/~sedlacek/

Ing. Radomír Pukl, CSc.
Červenka Consulting, s. r. o.
Na Hřebenkách 55, 150 00 Praha 5
e-mail: radomir.pukl@cervenka.cz
www.cervenka.cz

Literatura:

- [1] Sedláček M.: Nelineární analýza betonových konstrukcí podzemních staveb, Disertační práce, 2009
- [2] Vítek J., Šourek P., Polák F.: Zpráva z měření v rámci grantu č. 103/2005/2331
- [3] Červenka V.: Počítačová simulace jako nový nástroj pro modelování betonových konstrukcí, Betonářské dny 2000
- [4] Klepsatel F., Kusý P., Mařík L.: Výstavba tunelů ve skalních horninách, JAGA, 2003