

DRAŽŠÍ NÁVRH - LEVNĚJŠÍ REALIZACE

MORE EXPENSIVE DESIGN - LESS EXPENSIVE STRUCTURE

JANA MARGOLDOVÁ, VLADIMÍR ČERVENKA

Obr. 1 Portál železničního tunelu

Fig. 1 Railway tunnel face

Obr. 2 Tunel – výpočetní model

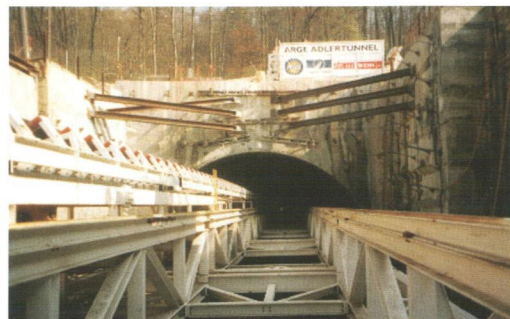
Fig. 2 Tunnel – FE model

Obr. 3 Porovnání únosnosti 8 typů příčných řezů tunelového ostění v montážním a konečném stadiu, pro symetrické a nesymetrické zatížení

Fig. 3 Comparison of limit loads for 8 variants of tunnel lining cross sections

Každý problém má obvykle několik možných řešení, jednoduché či složitější, levné nebo dražší, klasické = osvědčené nebo naopak nové = neznámé. Způsob, který se zvolí pro řešení určité dané situace, závisí obvykle na jeho ceně a zkušenostech s jeho předchozími užitím. To platí i pro přístup k výpočtům betonových konstrukcí. V tomto článku je popsáno použití nelineární analýzy při projektování železobetonové prefabrikované konstrukce ostění železničního tunelu (obr. 1) švýcarskou projektovou firmou Aegerter & Bosshardt. Jedná se o složitou, staticky neurčitou úlohu, ve které bylo třeba zohlednit interakci betonové konstrukce a geologického prostředí a nelineární chování materiálu (vznik trhlin). Skladbu kruhové konstrukce tunelového ostění ukazuje obr. 2. Návrh postupu výstavby počítal s tím, že po vybrání horniny bude osazeno prefabrikované ostění po celém obvodu tunelu a po technologické přestávce bude dobetonována vnitřní monolitická vrstva. Trasa tunelu prochází oblastí s pestrá a po délce tunelu proměnnou skladbou horninového prostředí. Nejvíce problémů zde působí nasádkavé sádrovce, které svým rozpínáním, vlivem vlhkosti, zatěžují konstrukci tunelového ostění vysokými tlaky. Žíla sádrovců probíhá místy symetricky pod dnem tunelu, místy však zatěžuje tunel nesymetricky zprava.

Cílem výpočtů bylo: 1 – porovnání odolnosti dvou navrhovaných variant příčného řezu tunelovým ostěním, tj. s konstantním poloměrem vnitřní kružnice ostění $r = 5,375$ m a s proměnným poloměrem $r = 5,225$ – $5,375$ m (tloušťka prefabrikovaných tybinků ve spodní třetině byla větší než tloušťka složeného ostění horního oblouku), 2 – prověření odolnosti obou variant průřezu v montážním i konečném stavu, 3 – optimalizace

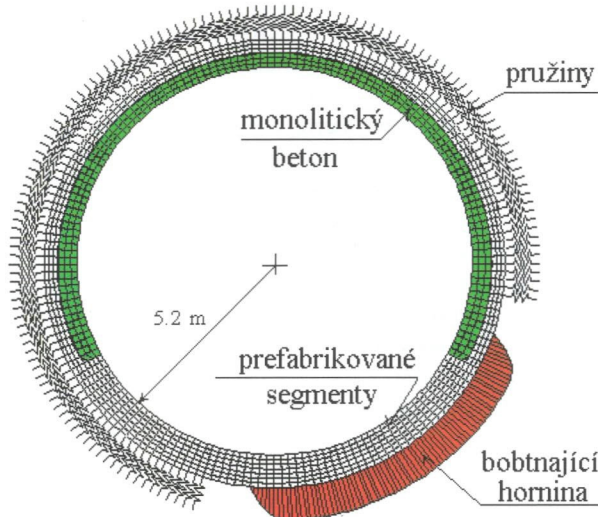


Obr. 1

skladby tybinků s požadavkem na snížení množství styčnickové výztuže a tím snížení pracnosti při výstavbě.

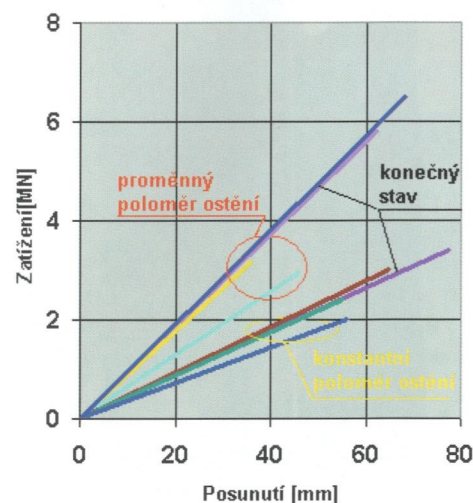
Zadaná úloha byla řešena nelineární numerickou analýzou pomocí metody konečných prvků programem SBETA-ATENA. Pro oba případy zatížení, symetrický i nesymetrický, byly sestaveny geometrické modely příčného řezu konstrukce pro montážní stadium, tj. pouze prefabrikované ostění, a pro výsledný stav, tj. prefabrikovanou a monolitickou vrstvu. Geometrické modely byly sestaveny pro obě varianty s konstantním i proměnným vnitřním poloměrem ostění, tj. celkem 8 různých modelů. Okolní horninové prostředí, které podpirá tunelové ostění proti tlaku sádrovců, bylo ve výpočtech simulováno kontaktními pružinami. Pružiny působily pouze v tlaku. V místech s tahovým namáháním byly automaticky vypnuty a výpočet dále neovlivňovaly. Tlak rozpínajících sádrovců byl simulován rovnoměrným tlakem na ostění s parabolickými náběhy na okrajích. Z porovnání výsledků simulací chování jednotlivých typů ostění vyplynulo (obr. 3), že výrazně vyšší odolnost tlaku rozpínajících sádrovců vykazuje ostění s proměnným poloměrem, tj. ve spodní třetině zesílené. Únosnost montážního stavu

Obr. 2

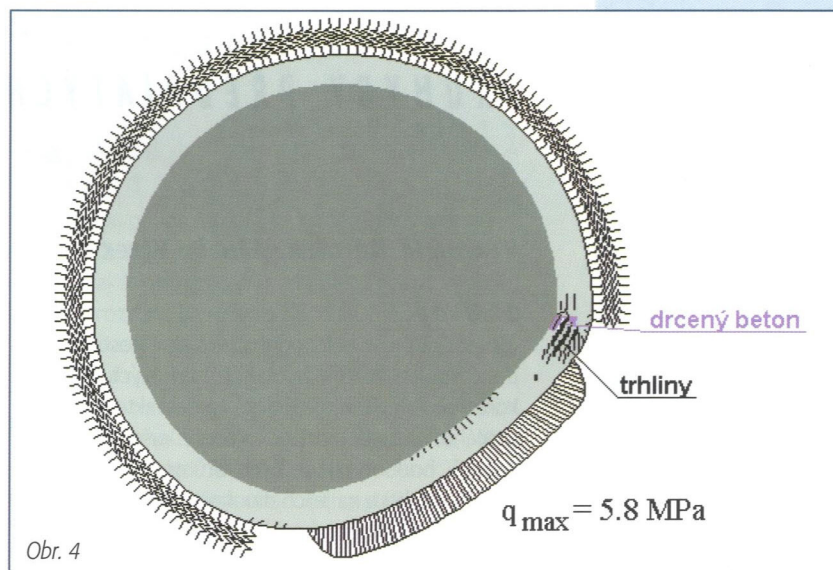


Obr. 3

Únosnosti profilů



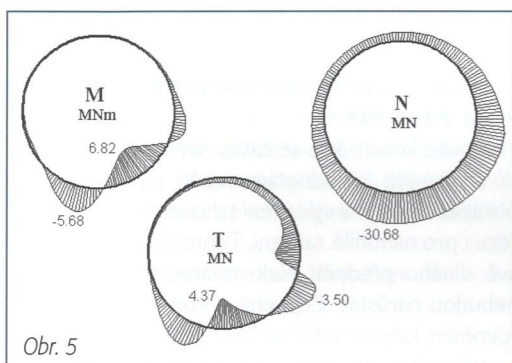
tohoto typu ostění je poloviční vzhledem ke konečnému stavu konstrukce. Ostění s konstantním poloměrem, nezesílené, vykazovalo měkčí odezvu a rozdíl montážního a konečného stavu byl méně výrazný. Vliv směru zatížení (symetrické x nesymetrické) pro určitý typ ostění se projevil ve výsledné hodnotě zatížení při porušení. Na obrázcích 4 – 7 jsou grafické výsledky výpočtu tunelového ostění. Vzhledem k omezenému místu jsou zde uvedeny pouze informativně výsledky jedné z řešených alternativ, tj. nesymetricky zatížené varianty s proměnným, zesíleným průřezem v konečném stavu. Porušení konstrukce ostění trhlinami a drcením betonu je na obr. 4. Průběhy vnitřních sil v konstrukci (M, N, T) jsou vykresleny na obr. 5. Na obr. 6a) a 6b) jsou vyneseny detailní hodnoty napětí a přetvoření v jednotlivých prvcích řezu tunelovým ostěním. Na obr. 7 je ukázán



Obr. 4

Obr. 4 Způsob porušení tunelového ostění (varianta s proměnným vnitřním poloměrem ostění, nesymetricky zatížená, konečný stav)

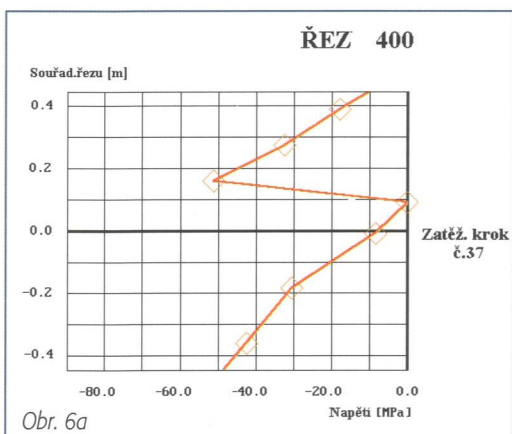
Fig. 4 Failure of tunnel lining (case with variable lining thickness, asymmetrical loading)



Obr. 5

Obr. 5 Průběh vnitřních sil v nesymetricky zatíženém ostění

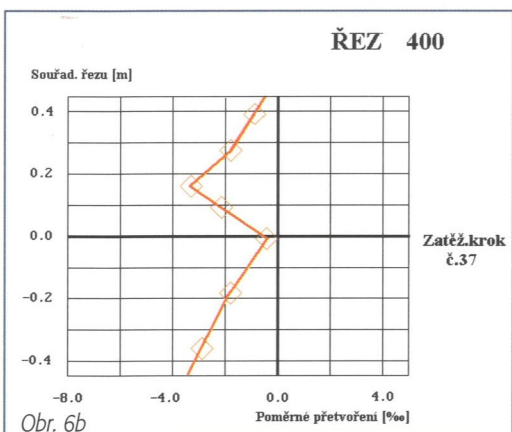
Fig. 5 Distribution of internal forces in asymmetrical loaded lining



Obr. 6a

Obr. 6 a, 6b Rozdělení napětí a přetvoření na řezu ostěním

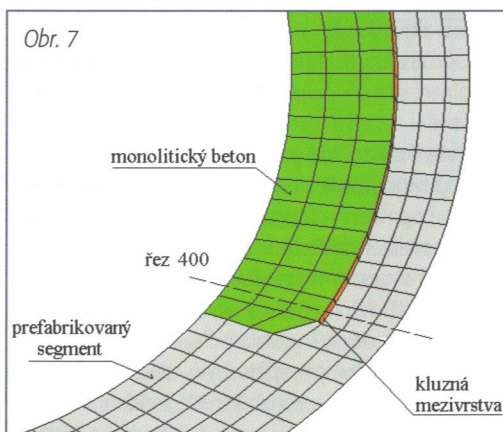
Fig. 6 a, 6b Distribution of stresses and strains in lining cross section



Obr. 6b

Obr. 7 Detail prokluzu vrstev ostění na deformované síti KP

Fig. 7 Detail of interface sliding in deformed FE mesh



Obr. 7