

DEFINITIVNÍ OSTĚNÍ TUNELU KLIMKOVICE PERMANENT LINING OF THE KLIMKOVICE TUNNEL

VLADISLAV JOHN, LUBOMÍR KOSÍK

Článek popisuje zásady a postupy při návrhu právě realizovaného sekundárního ostění tunelu Klimkovice. Podrobně popisuje způsob výpočtu sekundárního ostění a optimalizaci návrhu s využitím zkušeností získaných při ražbě tunelu a z vyhodnocení měření chování primárního ostění a horninového masivu v průběhu ražby.

This paper describes the principles and methods applied in the design of the secondary lining of the Klimkovice Tunnel which is now under construction. In details, it presents the calculation method of the secondary lining and optimization of the design, using experience gained in tunnelling, as well as from the evaluation of the measurement of the primary lining and the rock massif during the process of the tunnelling.

Tunel Klimkovice je dálniční tunel kategorie T9,5 budovaný na dálnici D47, která propojí ostravskou aglomeraci se sítí dálničních a rychlostních komunikací České republiky. U obce Klimkovice je dálnice kategorie D28/120 vedena dvěma cca 1080 m dlouhými jednosměrnými tunelovými rourami. Tunel A pro směr z Brna do Ostravy má délku 1 076,82 m, tunel B pro směr z Ostravy do Brna 1 088,09 m. Tunely jsou z menší části stavěné jako hloubené v otevřených stavebních jámách s následným přesypáním, ve většině délky jsou však ražené ve skalním masivu. Hloubené části mají délku 165,83 m a 46,17 m u tunelu A, 166,4 m a 46,4 m u tunelu B. Přibližně v polovině délky tunelu je navržen nouzový záliv, kde je tunelový profil rozšířen o 2,25 m. V tunelu je navrženo pět záchranných únikových chodeb – tunelových spojek, které budou propojovat obě tunelové roury.

GEOTECHNICKÉ PODMÍNKY

Skalní podloží je v celé délce tunelu tvořeno sedimentárními horninami flyšového vývoje, nejčastěji se jedná o břidličnaté odlučné jílovce a prachovce. Velmi častý je i výskyt souvrství budovaných drobovými pískovci a drobami. Směr sklonu vrstev je poměrně jednotný a ko-

lisá jen málo kolem směru 280°. Dalším významným prvkem masivu jsou příčné nespojitosti. Směr jejich sklonu je kolmý ke směru vrstev a jejich sklon je cca 70° až 90°.

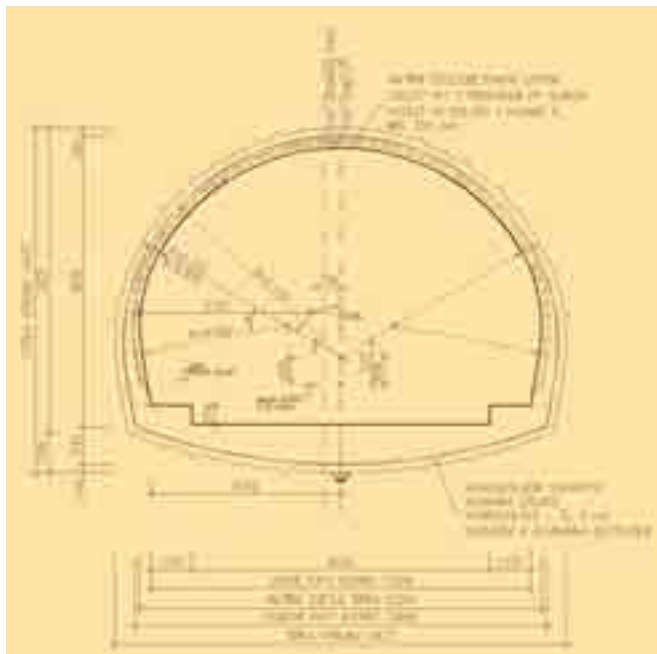
DEFINITIVNÍ OSTĚNÍ

Nosná konstrukce ražených tunelových úseků je navržena jako dvouplášťová, s mezilehlou prstencovou hydroizolací bez rubové odvodňovací drenáže.

Primární ostění jako dočasná nosná kon-

strukce zajišťuje stabilitu výrubu po celou dobu výstavby tunelu. Během předpokládané celkové životnosti tunelu je uvažováno s degradací primárního ostění v závislosti na korozivních účincích vody v horninovém prostředí. Je uvažováno, že sekundární ostění plně přejímá zatížení od horninového masivu. Mezilehlá prstencová hydroizolace mezi primárním a sekundárním ostěním je navržena jako tlaková. Nosná konstrukce tunelové roury je symetrická k svislé tunelové ose, je tloušť-

Obr. 1
Základní geometrie definitivního ostění
Fig. 1
Basic geometry of permanent lining



Obr. 2
Samonosná ocelová forma
Fig. 2
Self-supporting steel mould





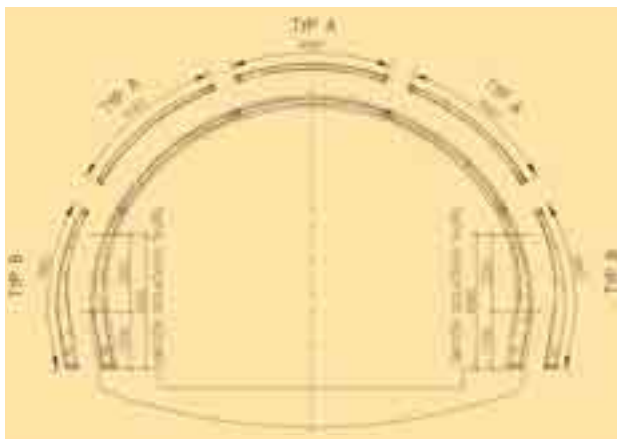
Obr. 3 Výpočetní model křížení základního profilu a tunelové spojky
 Fig. 3 Calculation model of the crossing of the basic section and the tunnel junction

a z líce 50 mm. Betonáž probíhá po dilatačních celcích délky 12 m do posuvné samonosné ocelové formy (forma je využívána i pro betonáž hloubených tunelů) (obr. 2).

STATICKÝ VÝPOČET DEFINITIVNÍHO OSTĚNÍ RAŽENÝCH ÚSEKŮ

Výpočet deformací a vnitřních sil definitivního ostění byl proveden ve výpočetním systému ESA PT firmy SCIA ve verzi 5.20. Jedná se o program využívající deformační variantu metody konečných prvků. Sekundární ostění tunelu je reprezentováno výpočetním modelem tvořeným 2D skořepinovými prvky. Obecná prostorová úloha je redukována na plošný problém,

ky 350 mm v záklenku, směrem k patám se ostění zvětšuje a v patách klenby dosahuje hodnoty 584 mm. Protiklenba má proměnlivou tloušťku 570 až 1200 mm (obr. 1). Definitivní ostění je železobetonové z betonu C 30/37 s požadavkem na stupeň vlivu prostředí XC3, XD1 a XF1. Pro vyztužení je využita ocel 10 505 (R), s krytím výztuže z rubu (do hory) 40 mm



Obr. 4 Schéma sestavení příhradových nosníků
 Fig. 4 Diagram of the construction of trusses

Obr. 5 Posuvný vozík pro instalaci výztuže
 Fig. 5 Mobile truck for the reinforcement installation



kde tloušťka ostění má povahu fyzikální konstanty. Prostorově zakřivený 2D prvek je definován na obecně zakřivené ploše vnořené do 3D prostoru.

Pro účely posouzení ostění v místě křížení základního profilu popř. nouzového zálivu a tunelových spojek jsou provedeny prostorové modely průniku, kterými je ověřena únosnost ostění oslaběného poměrně velkým otvorem pro tunelovou spojku (obr. 3).

Model konstrukce – podpory, podloží

Stanovení přesného modelu konstrukce, tj. podepření a určení chování konstrukce je jedním z nejdůležitějších parametrů statického výpočtu. Předpokládá se, že horninový masiv a obezdívka podzemní konstrukce spolupracují aktivně a pasivně. Převládající svislé zatížení tlačí vrchol klenby podzemní konstrukce směrem do výrubu tak, že se konstrukce na bocích deformuje směrem do horniny (opře se o líc výrubu) a hornina se začne této deformaci bránit vznikem pasivního odporu horniny. Ostění se tedy dělí na dvě oblasti. V první působí aktivní horninový tlak a konstrukce se deformuje do výrubu. Ve druhé je rub zatlačován do horniny – jedná se tedy o pásmo pasivního odporu.

Konstrukce je ve výpočtu podepřena po obvodu klenby plošným podepřením, jehož parametry jsou stanoveny iteracním výpočtem modulem SOILIN. Pomocí 2D modelu podloží jsou reprezentovány přetvárné vlastnosti celého masivu povrchovým modelem. Jeho fyzikální vlastnosti jsou vyjádřeny parametry interakce, které jsou přiřazeny prvkům konstrukce ve styku s horninovým okolím a ve výpočtu samotném ovlivňují matici tuhosti.

Parametry interakce si lze představit jako charakteristiky pružných – pseudoelastických vazeb, případně plošných pérových konstant měnících se podle aktuálního stavu řešené soustavy. Parametry interakce jsou závislé na průběhu a úrovni přitížení, na geometrii a na geomechanických vlastnostech horniny v okolí tunelu. Protože dochází k vzájemnému ovlivňování kontaktního napětí, sedání a parametrů interakce, výpočet probíhá iteracním způsobem s postupným vylučováním podpor působících v tahu. V každém kroku jsou na konstrukci aplikována zatížení a program testuje, zda podepření splňuje zadané podmínky, tj. nepůsobí v tahu. Pro další běh jsou podepře-

ní působící v tahu vyloučena. Výpočty probíhají pro každou kombinaci zatížení zvlášť (viz dále v textu).

Zatížení

Zatížení sekundárního ostění je stanoveno dle zásad ČSN 73 0035. Pro zatížení konstrukce sekundárního ostění je uvažováno zatížení vlastní tíhou, tíhou výplňových vrstev a vozovky, zatížení horninovým tlakem, hydrostatickým tlakem, účinky smršťování konstrukce, teplotními účinky – nerovnoměrné oteplení v létě a nerovnoměrné ochlazení v zimě.

Horninový tlak je stanoven na základě rozborů výpočtů primárního ostění programem PLAXIS a zadán jako radiální složka kontaktního napětí mezi primárním ostěním a horninou po ukliďnění deformací primárního ostění. Hodnoty získané matematickým modelováním jsou upraveny tak, aby byly eliminovány singularity ve výpočtu a jevy poplatné numerickému modelu konstrukce. Protože je navržena plášťová hydroizolace, dojde s určitým časovým odstupem k obnově původní úrovně hladiny podzemní vody. Do výpočtu je z tohoto důvodu zavedeno zatížení hydrostatickým tlakem, které v daném posuzovaném profilu působí v kombinaci s příslušným horninovým tlakem.

Do výpočtu sekundárního ostění jsou zahrnuty objemové změny, resp. přetvoření betonu, vyvolané chemickými a fyzikálními pochody související s průběhem hydratace cementu a vystupování vody, označované jako smršťování betonu. Vzhledem ke značné složitosti problematiky smršťování a množství faktorů, které smršťování ovlivňují, je provedeno vyčíslení poměrného přetvoření od smršťování několika způsoby včetně přesného výpočtu uvedeného v ČSN 73 1201.

Posouzení sekundárního ostění

Sekundární ostění je posuzováno jako železobetonová konstrukce dle ČSN 73 1201 Navrhování betonových konstrukcí. Posudek pro 1. mezní stav dle zásad mezních stavů je proveden metodou mezních přetvoření. Konstrukce je posouzena kromě finálního stádia působení také ve stavu těsně po odbednění,

kdy ostění staré jeden den s vlastnostmi betonu C 12/15 nese pouze svoji vlastní tíhu. Dále je posouzen i mezní stav přetvoření konstrukce s uvažováním vlivu smršťování a dotvarování. Jako rozhodující však byl pro celý návrh posudek mezního stavu šířky trhlin z důvodů existence agresivního prostředí, v němž se bude konstrukce sekundárního ostění po celou dobu své životnosti nacházet.

NAVŘENÉ VYZTUŽENÍ

V protiklenbě definitivního ostění je navrženo vyztužení vázanou výztuží, s využitím v předstihu připravených svařovaných armokošů urychlujících postup výstavby. Po betonáži protiklenby následuje montáž samonosných příhradových nosníků čtvercového průřezu. Ty jsou svařovány z betonářské výztuže a plní jednak funkci montážní – slouží k vyvážení výztuže klenby a v konečném stavu působí jako součást výztuže sekundárního ostění. Příhradové nosníky jsou složeny a sešroubovány z pěti dílců (obr. 4). Výztuž klenby je navržena ze sítě KARI s okem sítě 100 x 100 mm s příložkami z vázané výztuže. Sítě jsou připevňovány na samonosné příhradové oblouky. Instalace výztuže je prováděna z posuvného vozíku (obr. 5).

OPTIMALIZACE NÁVRHU

Na základě zpřesněných podkladů a informací získaných při výstavbě, zejména při ražbě a budování primárního ostění (obr. 6) byla provedena zpětná analýza některých zatěžovacích stavů sekundárního ostění, na jejímž základě bylo možno zre-

dukovat množství výztuže v ostění, zejména množství volně vázané výztuže a KARI sítě. Zpětná analýza spočívala ve vyhodnocení dat získaných při ražbě tunelu, zejména deformací primárního ostění a dat zachycujících chování horninového masivu.

ÚDAJE O STAVBĚ

Stavba	Dálnice D47, stavba 4707 Blávec-Ostrava, Rudná
Objekt	SO 601 Tunel Klimkovice
Investor	Ředitelství silnic a dálnic ČR, závod Brno
Zhotovitelé stavby	Sdružení D4707: Skanska DS, a. s., Strabag, a. s., Metrostav, a. s., Subterra, a. s.
Zhotovitelé SO 601 Tunel Klimkovice	Metrostav, a. s., Subterra, a. s.
Zhotovitel RD SO 601 Tunel Klimkovice	Amberg Engineering Brno, a. s.

Ing. Vladislav John
Metrostav, a. s.
Koželužská 2246, 180 00 Praha 8
tel.: 266 709 215, fax: 266 709 193
e-mail: vladislav.john@metrostav.cz
www.metrostav.cz

Ing. Lubomír Kosík
Amberg Engineering Brno, a. s.
Ptašinského 10, 602 00 Brno
tel.: 541 432 631, fax: 541 235 177
e-mail: lkosik@amberg.cz, www.amberg.cz

Autoři článku jsou členy „Pracovní skupiny pro navrhování a statiku podzemních staveb“ při Českém tunelářském komitétu, www.ita-aites.cz



Obr. 6 Čelba raženého tunelu a primárního ostění

Fig. 6 Face of the tunnelling and primary lining