

Příprava výstavby tunelu na silnici A3

**Ing. Matouš Hilar, Ph.D., D2 Consult Prague, s.r.o.
Zelený pruh 95/97, 140 00, Praha 4, Česká republika**

Construction of twin bore tunnel on the road A3 started in 2007. During the preliminary design phases both TBM and Sprayed Concrete Lining (SCL) methods were considered for construction, and a comparison between the designs is included. The differences in construction methodology including planning, and program are discussed.

Úvod

Tunel na silnici A3 se nachází na jihu Anglie v hrabství Surrey. Rychlostní komunikace A3 spojuje Londýn s Portsmouthem a v oblasti Hindhead dochází k častým dopravním zácpám, které budou výstavbou nového tunelu odstraněny. Navržený tunel má dvě dvoupruhové roury a propojky po 100m, délka tunelu je 1,83m, ražba bude probíhat především v měkkých pískovcích.

Vzhledem k délce a příčnému řezu tunelu byly během přípravy podrobně posouzeny dvě možnosti výstavby tunelu: mechanizovaná ražba s využitím TBM a konvenční ražba s ostěním ze stříkaného betonu (obdoba NRTM). Po detailním porovnání uvedených metod výstavby byla zvolena konvenční ražba, která byla zahájena začátkem roku 2007, tunel by měl být otevřen v roce 2011.

Příspěvek se zabývá přípravou výstavby, kromě základních parametrů tunelu (směrové a sklonové poměry, příčný řez, geologické poměry, třídy výstroje, atd.) je důkladněji popsáno numerické modelování provedené metodou konečných diferencí v programu FLAC a faktory ovlivňující výsledný výběr metody ražby.

Příprava projektu

Příprava projektu probíhala od roku 1983. Výzvou projektu byla vyváženost mezi ekologickými vlivy a ekonomickým přínosem uživatelů. Nalezení správné rovnováhy mezi těmito protichůdnými požadavky trvalo přes 20 let. Prakticky celý projekt leží v oblasti přírodní rezervace, která v daném případě může být narušena pouze v případě státních ekonomických či bezpečnostních zájmů, pokud neexistuje žádná jiná alternativa. V průběhu přípravy bylo zvažováno neobvykle rozsáhlé množství různých variant. Z počátku převažovaly ekonomické aspekty, s postupem času byly stále více upřednostňovány ekologické aspekty. Klíčovým prvkem byl návrh tunelu pod ekologicky citlivými oblastmi a uzavření původní silnice v dané oblasti.

Geologické poměry

Geologie oblasti se skládá z jemnozrnných sedimentů při povrchu a 90m mocné vrstvy pískovců, ve které bude probíhat ražba tunelu. V jižní části se vyskytují v prostoru tunelu středně ulehlé prachovité a jílovité písky s pískovci. Většina tunelu je v měkkých až středně pevných pískovcích s občasnými vložkami jemnozrnných písků. Jednoosá pevnost v tlaku se pohybuje od 2 do 5 MPa, pískovec je rozrušen šesti druhy diskontinuit. Tunel je umístěn nad hladinou podzemní vody, která v některých úsecích může zasahovat maximálně 1 m nad úroveň spodní klenby.

Numerické výpočty

Numerické výpočty byly provedeny pomocí metody konečných diferencí (program FLAC). Výpočty byly provedeny ve 2D a ve 3D. Původní výpočty byly provedeny pro konvenční ražbu s ostěním ze stříkaného betonu (OSB), dodatečné výpočty byly provedeny i pro ražbu pomocí TBM se segmentovým ostěním z prefabrikovaného betonu. Nadloží v uvažovaných profilech bylo 45m a 67m, v jednom případě byl celý tunel ve vrstvě LHA, v druhém případě do profilu tunelu ve dně zasahovala vrstva LHB. Vrstvy UHA/B a UHC/D jsou nad tunelem.

Tab.1 Vstupní parametry numerického výpočtu

Parametr	Označní	UHA/B	UHC/D	LHA	LHB (první 2m)	LHB (zbytek)
Objemová tíha	γ (kN/m ³)	19.0	21.0	21.5	22.0	22.0
Poissonovo číslo	ν	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
Koeficient bočního tlaku	K_0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Youngův modul	E (MPa)	200	dle přetvoření	dle přetvoření	dle přetvoření	140
Objemový modul	K (MPa)	111	dle přetvoření	dle přetvoření	dle přetvoření	77
Smykový modul	G (MPa)	83	dle přetvoření	dle přetvoření	dle přetvoření	58
Úhel vnitřního tření	ϕ (°)	35	43	44	39	39
Soudržnost	c (kPa)	0	45	50	31	31

Vstupní parametry výpočtů jsou uvedeny v tab.1. K výpočtu byl použit model s tuhostí závislou na velikosti přetvoření (obr.1). Byla použita následující závislost:

$$G(\varepsilon_a) = \alpha p' \left(\frac{600}{2.4} \right) \left(1 - \frac{55}{2.4} \right) \ln(10) \varepsilon_a 10^{\frac{-55}{2.4} \varepsilon_a}$$

$$\varepsilon_a = \frac{\sqrt{J'_2}}{\sqrt{0.48}}$$

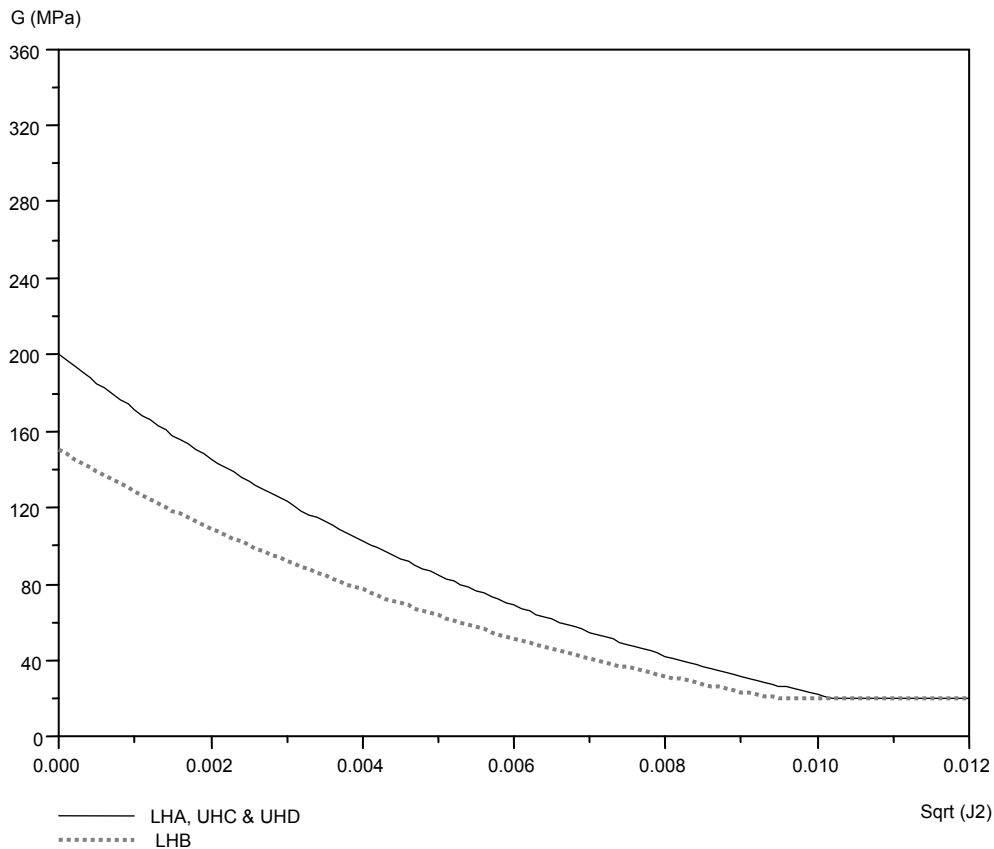
kde je

J'_2 druhý invariant deviatorického přetvoření

p' střední efektivní napětí

α koeficient zohledňující obsah písku (0,8 pro LHA a UHC/D; 0,6 pro ULHB)

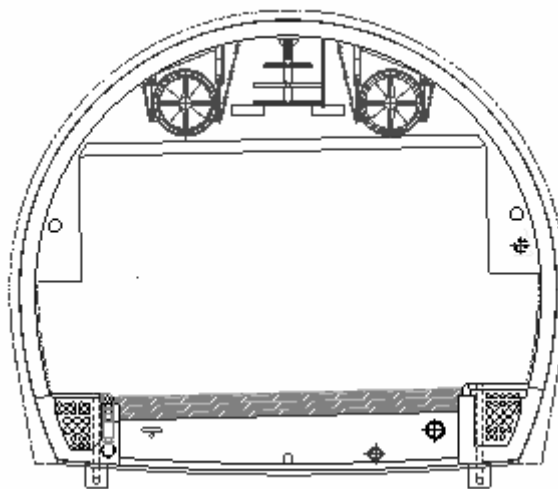
ε_a osové přetvoření



Obr.1 Graf závislosti smykového modulu na přetvoření

Uspořádání

Horizontální uspořádání bylo odvozeno od požadavků na trasování silnic a od omezení z hlediska životního prostředí. Většina tunelu je v oblouku s minimálním poloměrem 1050m. Vertikální uspořádání bylo ovlivněno především geologickými poměry se snahou minimalizace délky tunelu skrz písky na jižní straně, aby byl tunel nad hladinou podzemní vody.



Obr.2 Příčný řez tunelu při ražbě pomocí OSB

Příčný řez

Tunel se skládá ze dvou dvoupruhových tubusů s propojkami po 100m. Každý tubus má dva pruhy šířky 3,65m s krajnicemi šířky 1,2m na obou stranách. Tunel má podkovovitý tvar (obr.2) s vnitřním průměrem 10,6m a profilem ražeb 11,6m (plocha výrubu 96m²).

Ražba a primární výstroj

Přítomnost vrstev písku, v jednom místě až 2m mocných, vedla k rozhodnutí o konvenční ražbě s ostěním ze stříkaného betonu (OSB) s pravidelným zastříkáváním čelby. Standardní postupy Nové rakouské tunelovací metody (NRTM) jako je pravidelné kotvení nebyly shledány vhodnými vzhledem k vrstvám písku a jejich velmi nízkou soudržností negativně ovlivňující efektivnost kotvení.

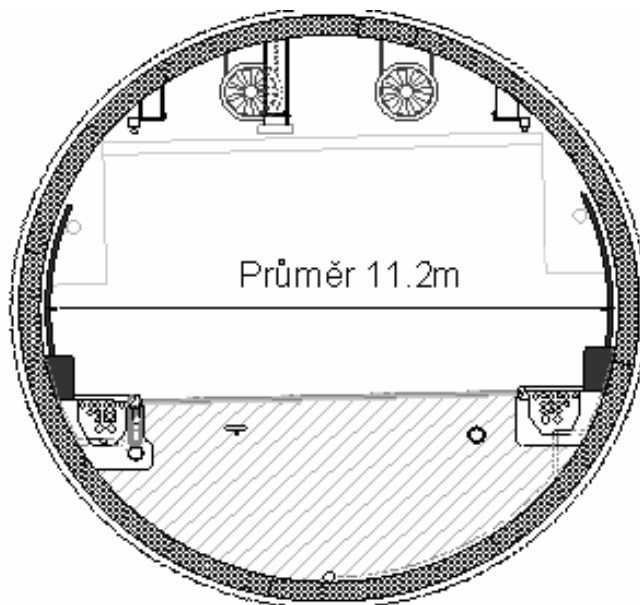
Čtyři základní třídy primární výstroje byly navrženy pro základní profil tunelu s drobnými obměnami v místech propojek a nouzových výklenků. Jeden hlavní typ výstroje byl navržen do prostředí pískovců, zbylé tři typy byly navrženy do písků a přechodů písků a pískovců.

Inovace návrhu

Hlavní inovací navržené výstroje je návrh primárního ostění, které bude současně využito i jako definitivní ostění. To je možné vzhledem k vývoji technologie podzemního stavitelství v posledních letech. Zprvce jsou v současné době již dostupné nealkalické urychlovače, které umožňují aplikaci stříkaného betonu bez poklesu pevnosti během životnosti stavby. Vzhledem k možnosti použití současné vytyčovací techniky je možné provádět velmi přesnou kontrolu geometrie výrubu a ostění, což umožňuje využití stříkaného ostění bez příhradových rámu. U ostění ze stříkaného betonu bez běžné výztuže (sítě, rámy) odpadá nebezpečí koroze výztuže. Jehlování je nutné využít v některých místech vzhledem k vrstvám zeminy. To je prováděno pomocí samozávrtných sklolaminátových kotev u kterých opět odpadá riziko koroze. Stříkaný beton je vyztužen ocelovými vlákny, stříkaný beton byl posuzován jako nevyztužený, což bylo umožněno oblým tvarem ostění.

Možnost mechanizované TBM ražby

Během předběžné přípravy projektu bylo ve Spojeném království vydány směrnice omezující povolené limity NOx během ražeb. Původní návrh předpokládal ražby s využitím dieselové techniky, se kterou však nebylo možné dosáhnout nové limity, které nebylo možné řešit zvýšenou ventilací. Proto byl vypracován alternativní návrh ražeb pomocí EPB TBM, což přineslo jisté výhody. Z hlediska vertikálního uspořádání již nebylo nutné podřizovat uspořádání geologickým poměrům. Jednotný sklon tunelu umožnil vynechání jímky, která byla původně navržena ve středu tunelu. Další výhodou byla možnost využití jednoplášťového segmentového ostění (obr.2). Bylo navrženo ostění z prefabrikovaného betonu s těsnícími pásy a s polypropylenovými vlákny pro zvýšení požární odolnosti. Nevýhody segmentového ostění byla výrazně finančně náročnější realizace rozrážek pro propojky a nouzové výklenky.



Obr.3 Příčný řez tunelu při ražbě pomocí TBM

Z časového hlediska byla lehce výhodnější TBM ražba oproti konvenční ražbě, ale tento rozdíl byl nepatrný vzhledem k plánované ražbě ze čtyř čeleb. U TBM byla předpokládána ražba jedním strojem. Při délce tunelu 2,5km by byl již rozdíl výrazně výraznější, šlo by přibližně o jeden rok. Výsledně se ukázalo připravené modifikované řešení ražeb pomocí OSB z ekonomického hlediska výhodnější.

Závěr

V průběhu další přípravy se ukázalo, že provedení ražeb s využitím OSB je za jistých předpokladů možné, přepracované řešení ražeb pomocí OSB bylo nakonec z ekonomického hlediska výhodnější, a proto bylo zvoleno. Toto řešení vzhledem k rozdílu základní ceny bylo použito i přes skutečnost, že riziko navýšení ceny při OSB ražbách je obecně v porovnání s mechanizovanou ražbou výrazně vyšší.

Pozn.: Autor se podílel na přípravě projektu v rámci svého působení v britské firmě Mott MacDonald Ltd.

Literatura

Ireland, T. (2007): Design of the UK's Hindhead tunnel. Tunnel & Tunnelling International.
 Ireland, T., Rock, T., Hoyland, P. (2007): Planning and design of the A3 Hindhead Tunnel, Surrey, United Kingdom. WTC 2007, Prague.
 Thomas, A., Powell, D., Hilar, M. (2004): Úloha numerického modelování při projektování tunelů. Tunel, roč. 13, č. 1, str. 25-28.