

Betón s rozptýlenými ocelovými vlákny pre tunelové segmenty

J.Dojčák

Bekaert Hlohovec a.s.

Celosvetovo č.1 pre banské a tunelové aplikácie

better together



Cestné tunely



Metrá, podzemné dráhy



Železničné tunely



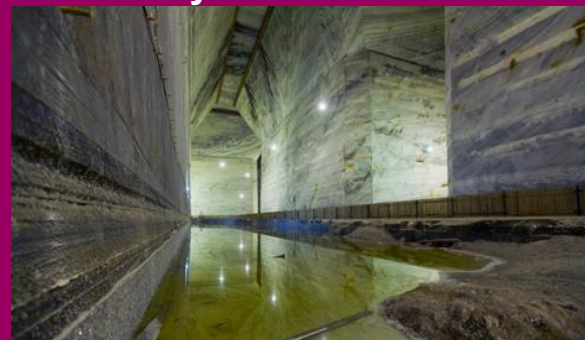
- Striekaný betón
- Sekundárne ostenie
- TBM segmenty
- Požiarna odolnosť



Banské stavby



Galérie hydroelektrární



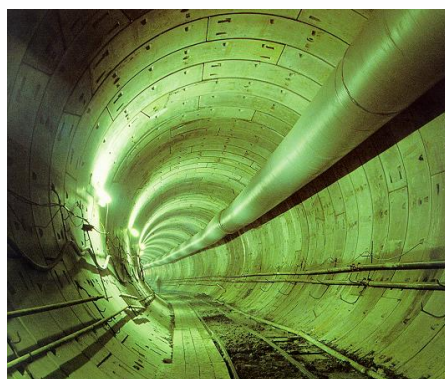
Podzemné úpravovne vody, kanály

Hlavný trend pre prefabrikované betónové tunelové segmenty

Využívajú sa stále
viac TBM stroje



Dimenzačné a
stavebné metódy
sú dobre známe
pre dodávateľov

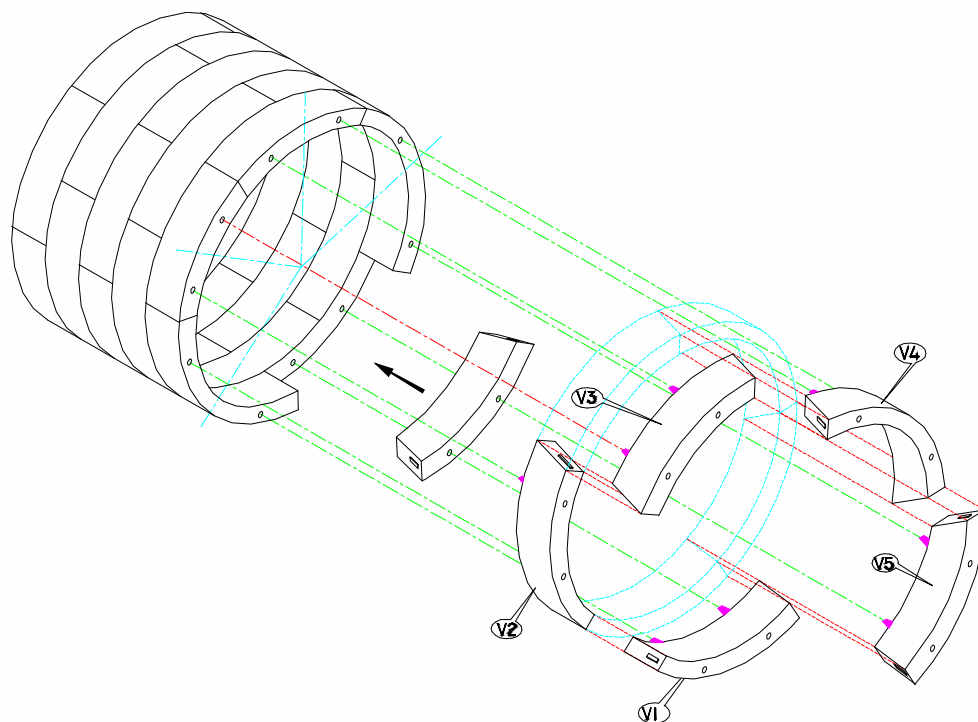


Niektoré nové
inovácie
v technológii
kompletizácie
segmentov



Betón s rozptýlenými oceľovými vláknami pre tunelové segmenty

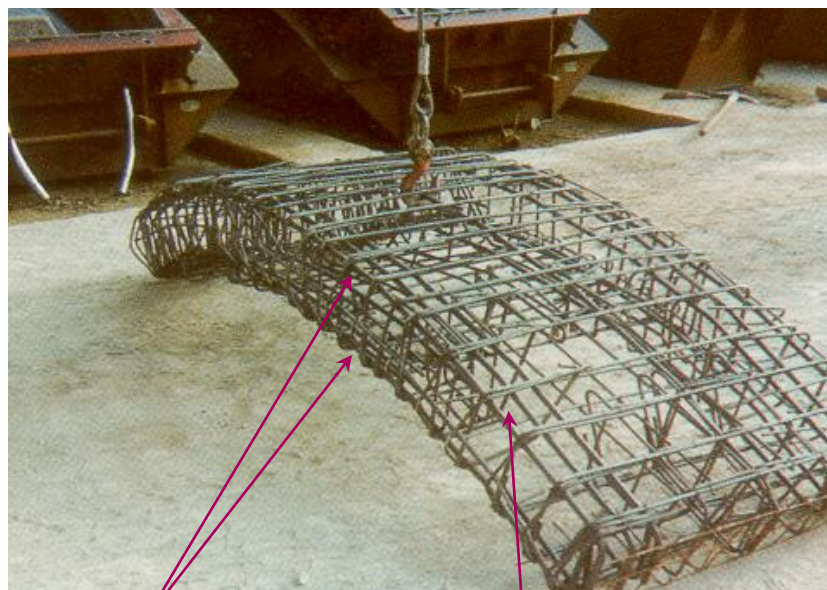
Nové trendy v dimenzovaní tunelových segmentov



Dimenzačný postup pre tunelové segmenty: Pôsobiace sily

Oddebnenie	Skladovanie	Transport & inštalácia	Prevádzka	
				Ohyb
				Ťah
				Tlak
				Rázy
				Zmrašťovanie & Teplotné vplyvy

Klasický armokoš tunelových segmentov



Horná a dolná sieť

Strmienková výstuž privarená k sieťam

**Množstvo prútovej
výstuže:
60 až 120 kg/m³**

*Výstuž musí odolávať
silám pri:*

- Oddebňovaní
- Ukladaní na sklade
- Transporte
- Inštalácii
- Prevádzke

Betón s rozptýlenými oceľovými vláknami pre tunelové segmenty

Hlavné problémy s klasickými armokošmi

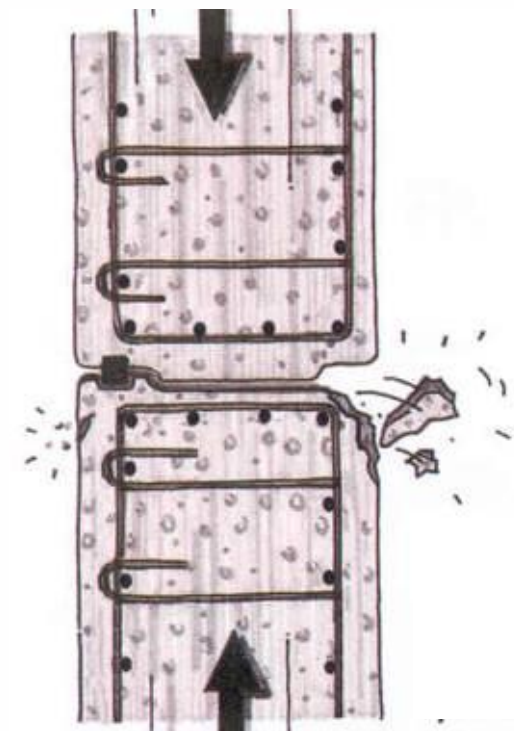
- Výroba je časovo náročná s vysokými pracovnými nákladmi
- Potreba veľkého skladovacieho priestoru a špeciálne zariadenie na manipuláciu
- Technologicky obtiažne polohovanie výstuže vo formách je rozhodujúce pre výslednú kvalitu segmentov



Nedokonalá výstuž

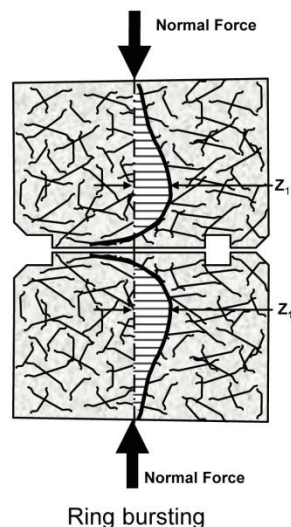
- Minimálna hrúbka krytia betónu pre zabezpečenie eliminácie korózie výstuže v kombinácii so zaťažovaním
- Lokálne hrany komplikovaných tvarov vedú k poškodzovaniu
- Nechránené hrany

Olamovanie hrán spojov s nechráneným (nevystuženým) profilom

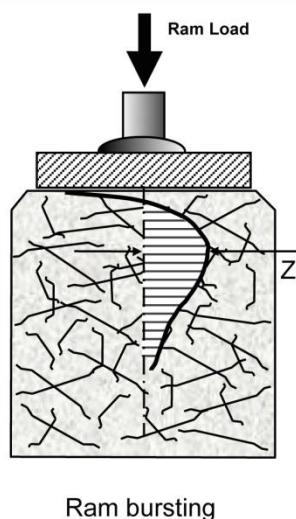


Sily pri zatláčaní segmentu

Praskanie a poškodzovanie segmentov sa vyskytuje u dvoch rozdielnych typov zaťažovania:



Koncentrované
sily pri tlačení
segmentu do
polohy v prstenci



Počas inštalácie
pri vyvodzovaní
zaťaženia
tlačného
cylindra na
hranu spoja
segmentu

Nedokonalá výstuž

Opravy musia byť realizované tak, aby zabezpečili požadovanú životnosť



Opravy



**Aká je časová
garancia na takýto
typ opráv?**

Betón s rozptýlenými oceľovými vláknami pre tunelové segmenty

Betón vystužený ocel'ovými vláknami (SFRC)



Betón s rozptýlenými ocel'ovými vláknami pre tunelové segmenty

Výhody ocelových vláken Dramix v tunelových segmentoch

Technické výhody

- Vysoká rázová odolnosť
- Viacosová výstuž
- Bez poškodení na hranách a rohoch pri inštalačnom zaťažení
- Vyššia životnosť po požiari v porovnaní s prúťovou výstužou
- Požiarna odolnosť v kombinácii s mikro PP vláknami
- **ZVÝŠENIE DOBY ŽIVOTNOSTI**

Ekonomické výhody

- Zvýšenie výrobnnej produktivity a časové úspory
- Zníženie nákladov na opravy poškodených segmentov
- Eliminácia potreby skladovacích priestorov pre vyrobené armokoše
- Využitie automatického dávkovania a homogenizácie výstuže s priamym ovládaním vo veľine betonárky

Návrh riešenia fy Bekaert: Dramix RC-80/60-BN alebo CN špeciálne vyvinutý pre prefabrikované segmenty

Vlákná Dramix® sú vyrábané zo špičkovej kvality za studena ťahaného drotu pre zabezpečenie vysokej pevnosti v ťahu a stabilne malých rozmerových tolerancií. CE značka systém 1



Dramix®
STAALDRAADVEZELS VOOR BETON

Lepenie vlákien do zväzkov garantuje rýchle a ľahké miešanie s homogénnou distribúciou vlákien v betóne

RC-80/60-BN

Dĺžka = 60 mm

Priemer = 0.75 mm

L/d = 80

Rm = 1225 MPa

Min. dávkovanie CE:

10 kg/m³

Vláknó s ohnutými koncami, ktoré sa pomaly vyťahujú a deformujú počas ťahovej skúšky z betónu sa hodnotí ako najlepší tvar pre kotvenie v betóne.

Project	Year	Tunnel Length	Extrados Diameter	Segment			Numbers of Elements	Compressive Strength	Flexural Strength		Steel Fibers		Conventional Rebar Cage	Ram Loads		Soil/Rock Parameters	Contractor	Segment Manufacturer	Specifying Engineer
				Thickness	Length	Width			Design	Actual	Type	Dose		Design	Actual				
Subway Extension: Contract 34 Germany	1990 - 1995	7,872 ft (2,400 m)	23.8 ft (7.27 m)	15.5 in (400 mm)	10 ft (3.0 m)	—	7 + key	8000 psi (C40/50 Mpa)			ZC 50/50	100 lb/yd³ (50 kg/m³)	None			Marble with 50 m overburden			
Water Tunnel South Africa	1992 - 1995	62,520 ft (19,000 m)	15.0 ft (4.6 m)	10 in (250 mm)	9.5 ft (2.6 m)	—	5 + key	8000 psi (C40/50 Mpa)			ZC 50/50	80 lb/yd³ (35 kg/m³)	105 lb/yd³ (52 kg/m³)			Weak mudstone and sands			
Metro Subway Tunnel Italy	1992	9,840 ft (3,000 m)	21 ft (6.4 m)	12 in (300 mm)	—	—	—	—			ZC 50/50	67 lb/yd³ (40 kg/m³)	150 lb/yd³ (108 kg/m³)			Volcanogenic soils, with tuff and pozzolan			
Airport Baggage Tunnel United Kingdom	1994	4,592 ft (1,400 m)	14.7 ft (4.5 m)	6 in (150 mm)	6 ft (1.8 m)	3.3 ft (1 m)	7 + key	8000 psi (C40/50 Mpa)			ZC 60/30	50 lb/yd³ (30 kg/m³)	None			London clay			
Jubilee Subway Line United Kingdom	1995	6,560 ft (2,000 m)	14.4 ft (4.4 m)	8 in (200 mm)	9.2 ft (2.5 m)	3.3 ft (1 m)	6 + 2 keys	8000 psi (C40/50 Mpa)			ZC 60/30	50 lb/yd³ (30 kg/m³)	None						
Cigar Lake Uranium Mine Canada	1996 & 2005	2,824 ft (860 m)	13.8 ft (4.2 m)	12 in (300 mm)	9 ft (2.4 m)	—	5 + key	17,400 psi (120 Mpa)			RC 90/60BN	94 lb/yd³ (50 kg/m³)	None			Hard rock	Camco	Conforce	Parsons/URS Corporation
Gas Tunnel Switzerland	2000	17,065 ft (5,203 m)	14.1 ft (4.3 m)	10 in (250 mm)	6.8 ft (2.1 m)	4.9 ft (1.5 m)	6 + key	8000 psi (C40/50 Mpa)			RC 85/60BN	67 lb/yd³ (40 kg/m³)	None			Hard rock, strong dry formation of Melange 55% and 15% flyash (encountered water up to 50 l/sec)			
Water Tunnel Ecuador	2000	30,540 ft (9,300 m)	13.1 ft (4.0 m)	8 in (200 mm)	10 ft (3.0 m)	—	4 (hexagonal)	8000 psi (C40/50 Mpa)			RC 90/60BN	50 lb/yd³ (30 kg/m³)	None						
CTRL Railroad Tunnel United Kingdom	2000 - 2004	92,000 ft (28,000 m)	22.4 ft (6.84 m) & 26.7 ft (8.15 m)	14 in (350 mm)	7.5 ft (2.3 m) & 8.8 ft (2.7 m)	—	9 + key	8,700 psi (60 Mpa)			RC 90/60BN	50 lb/yd³ (30 kg/m³)	None			London Clay-Gravel-Sands			
Oltenberg Rail Tunnel (Hydro) Switzerland	2000	1,110 ft (340 m)	39.4 ft (12.04 m)	12 in (300 mm)	—	5.6 ft (1.7 m)	7	—			RC 85/60BN	100 lb/yd³ (50 kg/m³)	None			Moraine below ground water			
Heathrow Express Extension United Kingdom	2005	10,500 ft (3,200 m)	18.6 ft (5.7 m)	8.5 in (220 mm)	—	3.3 ft (1 m)	10	11,800 psi (80 Mpa)			RC 90/60BP	50 lb/yd³ (30 kg/m³)	None			London clay		Morgan Est.	Morgan, Wind, & Balch-and Monistau
Heathrow Mobility Extension United Kingdom	2005	10,500 ft (3,200 m)	15.0 ft (4.5 m)	6 in (150 mm)	—	3.3 ft (1 m)	—	11,800 psi (80 Mpa)			RC 90/60BP	50 lb/yd³ (30 kg/m³)	None			London clay		Morgan Est.	Morgan, Wind, & Balch-and Monistau
Big Walnut Sewer USA	2005	15,840 ft (4,830 m)	12.0 ft (3.66 m)	10 in (250 mm)	7 ft (2.1 m)	5 ft (1.5 m)	5 + key	8000 psi (C40/50 Mpa)	590 psi	900 psi	RC 90/60BN	50 lb/yd³ (30 kg/m³)	75 lb/yd³ (45 kg/m³)			Glacial deposits	McNally/Kiewit JV	McNally	Hatch Mott MacDonald (contractor design)
San Vicente Water Tunnel USA	2005	58,060 ft (17,707 m)	13 ft (4.0 m)	7 in (177 mm)	6.8 ft (2.1 m)	5 ft (1.5 m)	6	8000 psi (C40/50 Mpa)			RC 90/60BN	50 lb/yd³ (30 kg/m³)	None			varying geology ranging from extremely hard granitic rock near the ends, to loosely cemented conglomerates in between.	Traylor/Shea JV	Traylor/Shea/ Ghazal JV	Halcrow (contractor design)

CTRL (Channel Tunnel Rail Link)

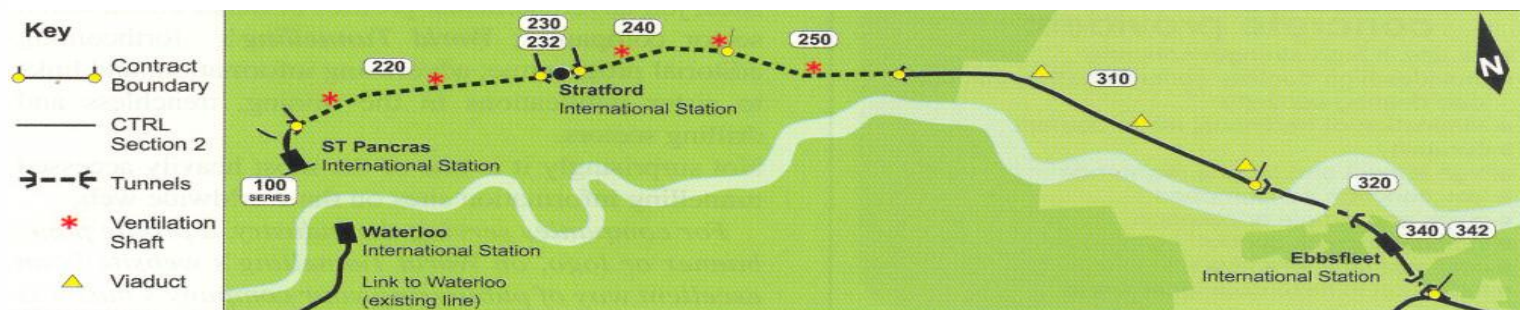
better together



Betón s rozptýlenými ocelovými vlákny pre tunelové segmenty

CTRL - trasa

better together



Main Underground and associated Contract Packages – Section 2 (St Pancras – Southfleet Junction)

St Pancras

- 103 – **King's Cross Lands Civil Works**
Contractor: Kier Construction Ltd/
Edmund Nuttall Ltd JV
- 105 – **St Pancras Station**
Contractor: Costain/O'Rourke/Bachy
Soletanche/Emcor Drake & Scull JV
- 135 – **St Pancras Highway & Utility Diversions**
Contractor: Edmund Nuttall Ltd

London Tunnels & Stratford

- 220 – **London Portal** (edge of King's Cross
Railway Lands) to **Stratford Box**
Contractor: Nishimatsu-Cementation
Skanska JV
- 230 – **Stratford Box**
Contractor: Skanska Construction (UK) Ltd
- 240 – **Stratford to Barrington Rd** (Little Ilford,
Newham)

Contractor: Costain Ltd/ Skanska/
Bachy Soletanche Ltd JV

CTRL základné požiadavky zákazníka

better together



• 40 km dĺžka tunela

• 7150 mm vnútorný priemer

• 9+1 segmentov pri 350 mm hrúbke

• Kónické prstence

Betón s rozptýlenými oceľovými vláknami pre tunelové segmenty

CTRL technické požiadavky zákazníka

better together



Betón s rozptýlenými oceľovými vláknami pre tunelové segmenty

Dramix®

CTRL

BEKAERT

better together



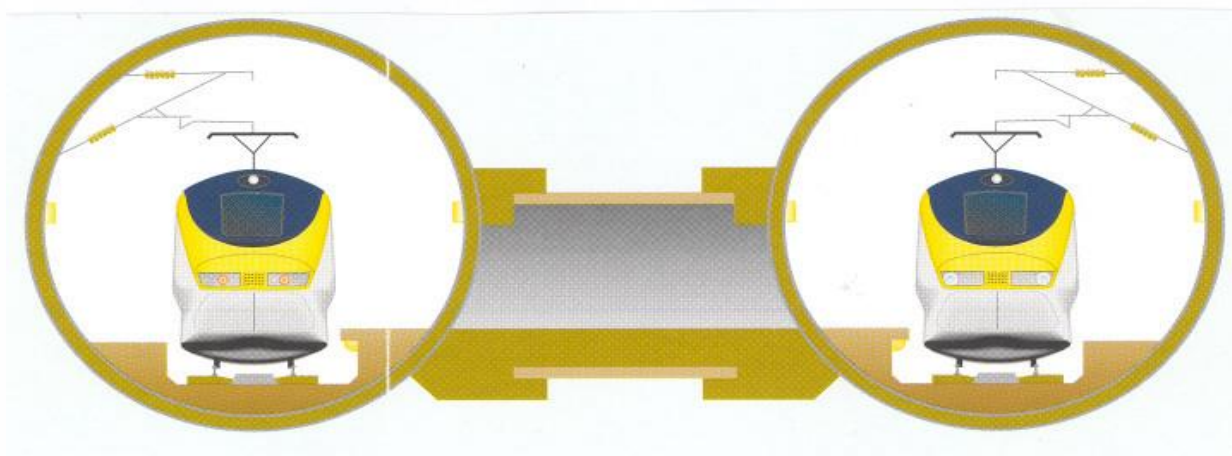
Betón s rozptýlenými ocelovými vlákny pre tunelové segmenty

Dramix®

CTRL

BEKAERT

better together



Betón s rozptýlenými ocelovými vlákny pre tunelové segmenty

- **Zaťaženie horniny**
- **Zaťažovanie pri injektáži**
- **Napätia po deformácii horniny / tolerancia pri výstavbe**
- **Zaťaženia TBM cylindrov na segment pri zabudovaní**
- **Zaťaženia pri oddebňovaní, manipulácii, doprave a skladovaní**

Ďalšie faktory zohľadnené pri návrhu riešenia:

- **120 ročná životnosť**
- **Vodný tlak 4,2 bar (voda s vyšším obsahom solí)**
- **Požiadavka požiarnej odolnosti**

Dramix®

BEKAERT

CTRL Výroba segmentov

better together



Betón s rozptýlenými ocel'ovými vláknami pre tunelové segmenty

Dramix®

BEKAERT

CTRL Výroba segmentov

better together



Betón s rozptýlenými oceľovými vláknami pre tunelové segmenty

Pozitívne praktické skúsenosti z daného projektu

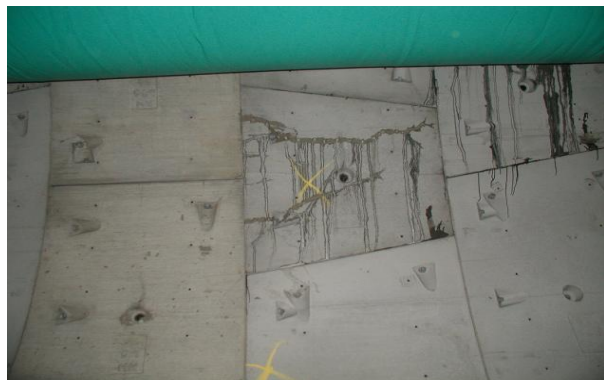
Tab 1: Vyhodnotenia stupňa poškodenia segmentov

Proces výroby			Proces realizácie		
Počet vyrobených segmentov	Zamietnuté	Opravené	Minimálne poškodenie bez potreby opráv	Minimálne poškodenie s opravou	Vačšia oprava
(počet)	(%)	(%)	(%)	(%)	(počet)
260,000	0.8	2.8	2.2	0.3	1

Pozitívne praktické skúsenosti z daného projektu



0,2%



0,7%



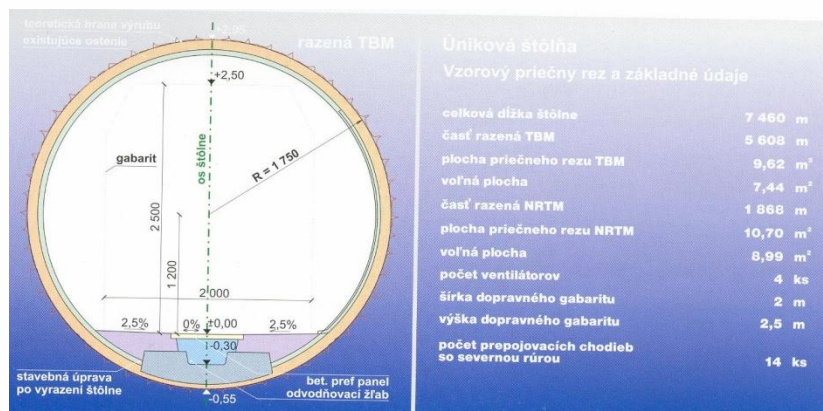
CTRL - Závery

better together

- Najvyššia možná životnosť
- Minimalizované poškodzovanie pri manipulácii
- Limitované napätia v dôsledku rázov
- Splnenie požiadavky minimalizácie opráv
- Úspora celkových nákladov vo výške 10%



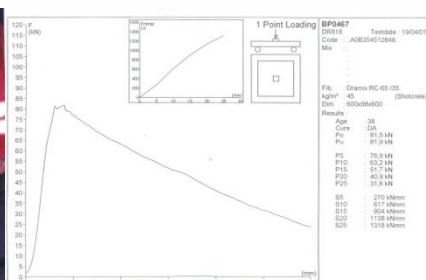
Slovensko: Prieskumná štôľňa Visňové Martin striekaný betón, prefabrikované dnové segmenty



SFRS, 42 kg/m³, RC 65/35 BN, E = 1000 J

SFRC – dnové segmenty, 25 kg/m³

RC 65/60 BN



Prefabrikované TBM segmenty – pokusný úsek ČR: Metro Praha, Línia A (výroba Doprastav Senec)



Typ vlákna:
RC-80/60-BN

Hrúbka: 250 mm
ID = 5,3 m

Betón:
C50/60

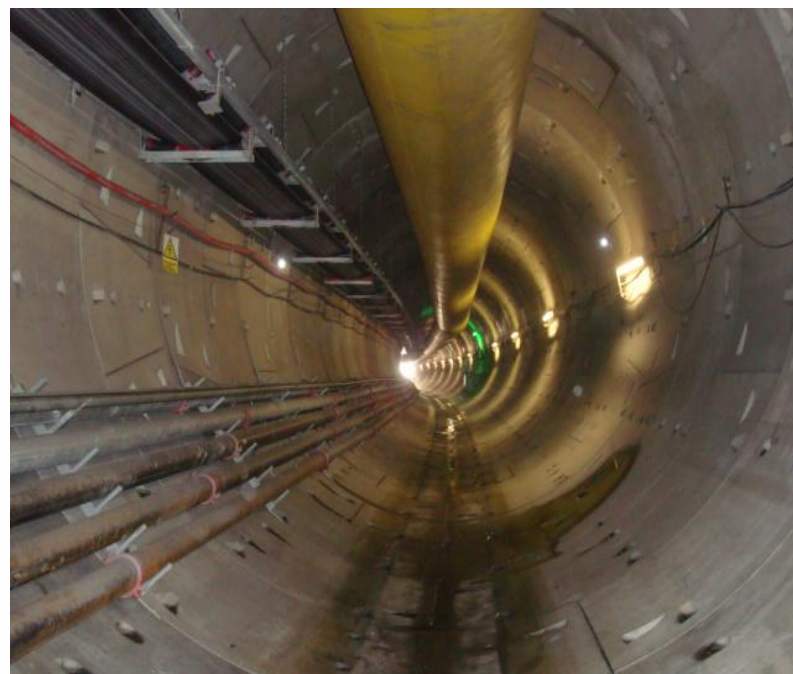
Dávkovanie výstuže:
Bekaert statika: 40 kg/m³
skúšky: 70 - 50 - 40 kg/m³
(vs 105 kg/m³ armokoš)

Rok:
2012

Rozsah projektu:
10 prstencov (15 m) (6
ks /1 prstenec/ L = 1,5 m)

- Kvalita potvrdená skúškami pre MSÚ, MSP (Klocknerov skúšobný ústav Praha)
- Porovnávané 3 typy oceľových vlákien
- Limitovaná veľkosť výroby na stavbe
- Rýchlosť a jednoduchosť výroby
- Bez priesakov

Prefabrikované TBM segmenty ČR: Metro Praha



Všeobecné doporučená pre projekčnú zložku a výrobcu

- **Kritériá kvality musí byť selektované podľa nastavenia špecifikácií v súlade s predpokladmi statického výpočtu a dnes platných noriem pre betóny s ocelovými vláknami už aj v SR, ČR:**
 - Špecifikovať pevnosť v ohybe pri prvej trhline prostého betónu
 - Špecifikovať len fr1, alebo fr1 a fr4 / EN 14651
 - Špecifikovať skúšobný postup
 - Špecifikovať PP vlákna pre požiaru odolnosť a kvalitatívne kritérium odpraskávania betónu (pokiaľ je požiaru odolnosť vyžadovaná)
- **Jednoznačne špecifikovať vlastnosti materiálov a kvalitatívne požiadavky (výroba, kontrola, skúšanie) na výrobcu segmentov**

Dramix pre prefabrikované tunelové segmenty

Globálne riešenie:

- Ľahké používanie
- Časová úspora
- Úspora celkových nákladov
- Zvýšenie životnosti



better together

www.bekaert.com/building

juraj.dojcak@bekaert.com