

DRÁTKOBETON PRO PODZEMNÍ STAVBY

Václav Ráček¹ – Jan Vodička² – Jiří Krátky³ – Matouš Hilar⁴

ABSTRAKT

V příspěvku bude uveden příklad návrhu drátkobetonu pro prefabrikované segmentové ostění tunelu. Bude ukázán přístup k návrhu složení drátkobetonu a objemy jeho hlavních složek. Bude poukázáno na výsledky průkazných zkoušek pevnostních charakteristik, na základě kterých lze prvky navrhovat. Hlavní pozornost příspěvku bude věnována zkoušce segmentů v Prefě Senec pro pražské Metro. Porovnání bude mezi zkouškou klenáku vyrobeného z drátkobetonu a klasického železobetonového, který se používá pro výstavbu pražského Metra.

1 ÚVOD

Příspěvek je informačního charakteru o přípravě, postupu a výrobě drátkobetonového segmentu ostění tunelové trouby Metra v Praze.

Není žádnou novinkou, že tunelová ostění jsou již řadu let realizovaná segmenty s aplikací drátkobetonu.

K možné realizaci této technologie v České republice bylo využito příležitosti pokračující výstavby Metra v Praze. Zkoušky, při kterých klasické železobetonové segmenty vyráběné pro Metro, byly nahrazeny segmenty drátkobetonovými, byly realizovány jako možná alternativa k současné výrobě železobetonových segmentů, která se uskutečňuje v prefě Doprastavu v Senci ve Slovenské republice.

V příspěvku jsou kromě několika vybraných informací z přípravy technologie a výroby drátkobetonu uvedeny i některé výsledky zkoušky testovaného uzavíracího segmentu kruhového ostění, takzvaného klenáku a to ve variantě klenáku z drátkobetonu a klenáku s klasickým vyztužením betonářskou ocelí.

2 CO LZE ZÍSKAT UŽITÍM KONSTRUKČNÍHO DRÁTKOBETONU PŘI VÝROBĚ SEGMENTŮ

Jak již bylo uvedeno v úvodu, ve světě je již realizována řada praktických aplikací tunelového ostění z drátkobetonu. Je tedy nesporné, že uplatnění drátkobetonu přináší řadu výhod a to nejen v podobě okamžitých ekonomických úspor, ale též v podobě očekávaného vlivu konstrukčního drátkobetonu na spolehlivost a trvanlivost konstrukcí, i když prokazování tohoto je záležitostí dlouhodobou.

Při pohledu na zkoušky, které byly uskutečněny u nás, o kterých pojednává tento příspěvek, je možné již nyní uvést následující okamžité přínosy, které aplikací konstrukčního drátkobetonu na segmenty tunelového ostění lze získat.

Již z uvedených obrázků z přípravy technologie a výroby segmentů, je zřejmá úspora pracnosti na přípravě a výrobě výtuzných košů segmentu v případě, že na segmenty bude

¹ Ing., Fakulta stavební ČVUT v Praze, Katedra betonových a zděných konstrukcí, Thákurova 7, 166 29 Praha 6, tel.: (+420) 224 354 661, e-mail: vaclav.racek@fsv.cvut.cz

² Doc. Ing. CSc., Fakulta stavební ČVUT v Praze, Katedra betonových a zděných konstrukcí, Thákurova 7, 166 29 Praha 6, tel.: (+420) 224 354 622, e-mail: jan.vodicka@fsv.cvut.cz

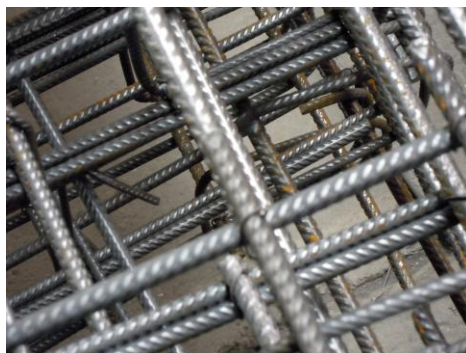
³ Doc. Ing. CSc., Fakulta stavební ČVUT v Praze, Katedra betonových a zděných konstrukcí, Thákurova 7, 166 29 Praha 6, tel.: (+420) 224 354 627, e-mail: jiri.kratky@fsv.cvut.cz

⁴ Doc. Ing. PhD., Fakulta stavební ČVUT v Praze, Katedra geotechniky, Thákurova 7, 166 29 Praha 6, tel.: (+420) 224 354 909, e-mail: matous.hilar@fsv.cvut.cz

aplikován konstrukční drátkobeton. Tuto úsporu je však třeba kompenzovat zvýšenými technologickými nároky na výrobu čerstvého konstrukčního drátkobetonu. Dávkování drátků a prodloužená doba míchání však ne zcela eliminují náklady na přípravu a výrobu výztužných košů.



Obr. 1.: Výztužné koše



Obr. 2.: Detail

Při uvažování hmotnosti betonářské výztuže, vyjádřené cca 110 kg/m^3 objemu segmentu, se ukazuje další úspora ve spotřebě oceli, uvážíme-li, že dávky drátků postačí v hmotnostech do 80 kg/m^3 . Tato úspora oceli je v současnosti eliminována cenami betonářské výztuže a drátků za 1 kg.

Tab. 1.: Porovnání cen výztuže za 1 kg

Betonářská výztuž	~ 20,- Kč
Ocelové drátky	~ 30,- Kč

Umístění betonářské výztuže v železobetonovém segmentu je cílené k namáhání segmentu v tunelovém ostění. U drátkobetonových segmentů čelí tomuto namáhání drátkobeton svými charakteristikami podmíněnými hmotnostní dávkou drátků. Síly, které působí na segmenty při montáži ostění, tj. při jejich zatlačování do definitivní polohy ostění, se však ukazují jako rozhodující na namáhání segmentu. Síly působí buď na krycí vrstvy betonářské výztuže železobetonového segmentu nebo na odolnější drátkobeton segmentu drátkobetonového. Tato skutečnost může způsobit častější poškození styčných spár segmentů s betonářskou výztuží, což má přímý vliv na těsnost spár a trvanlivost konstrukce. K mechanickému poškození spár u segmentů s betonářskou výztuží může dojít už při manipulaci se segmenty. Příklad uvedených poškození u železobetonových segmentů na několika dalších obrázcích.



Obr. 3,4.: Porušení krycích vrstev segmentu na styčných spárách



Obr. 5,6.: Porušení segmentu v místech injektážních otvorů

3 KONSTRUKČNÍ DRÁTKOBETON PRO SEGMENTY TUNELOVÉHO OSTĚNÍ

Základem návrhu složení drátkobetonové směsi byla receptura prfey pevnostní třídy betonu C60/67 užívaná při současné výrobě segmentu.

Návrh složení drátkobetonové směsi tak spočíval:

- ve vytipování vhodného typu drátků
- v návrhu hmotností dávky drátků
- v úpravě složení užívané receptury, respektující vliv hmotností dávky drátků na strukturu drátkobetonu

Vytipované typy drátků k experimentálním zkouškám byly drátky:

- Dramix RC-80/60-BN firmy Bekaert
- Tri-Treg 60/1,05, firmy Tritreg Třinec

Důvodem pro tyto typy drátků byly nejen ekonomické, ale též technologické.

Hmotnostní dávka drátků byla stanovena pro první krok návrhu na 70 kg/m^3 podle zkušenosti navrhovatelů s cílem dosažení pevnostních charakteristik drátkobetonů pokrývající namáhání segmentů ostění.

Z důvodu ekonomických požadavků investora na snížení hmotnostní dávky drátků na 50 kg/m^3 byly realizovány nejen průkazní zkoušky z původně navrženou dávkou drátků 70 kg/m^3 , ale i s touto sníženou dávkou drátků. S dávkou 50 kg/m^3 drátků byly realizovány zkoušky i výroba segmentu z drátkobetonu pouze při užití drátků DRAMIX.

Úprava receptury byla provedena podle výsledků laboratorních zkoušek ukazujících na vliv rozptýlených drátků ve struktuře drátkobetonu.

4 PRŮKAZNÍ ZKOUŠKY A JEJICH CHARAKTERISTIKY

Charakteristiky drátkobetonu podle navržených receptur byly stanoveny na základě výsledků zkoušek provedených v souladu s TP FC – část 1, tj. pevnosti v tlaku na krychlích o hraně 150 mm a tahové pevnosti odvozené z výsledků zkoušek ohybem na trámčích 150/150/700 mm se čtyřbodovým uspořádáním zatížení z takzvaného diagramu odolnosti (F/δ). Tabulka 2 obsahuje výsledky vybraných charakteristických pevností pouze pro dávkování drátků DRAMIX v dávkách 50 a 70 kg/m^3 .

Tab. 2.: Porovnání vlivu drátků DRAMIX na pevnostní charakteristiky drátkobetonu.
Pevnosti jsou uvedeny v průměrných hodnotách.

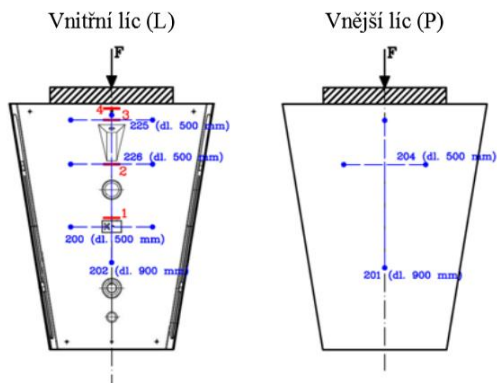
Napětí	Dávkování	50 kg/m ³	70 kg/m ³
Tlak (MPa)	průměrná krychelná pevnost $f_{fc,cm,cub}$	67,3 MPa	80,7 MPa (120 %)
	směrodatná odchylka s_c	2,85 MPa	4,67 MPa (165 %)
	charakteristický rozptyl $\Delta_{fc,cub}$	4,3 MPa	8,8 MPa (205%)
	charakteristická krychelná pevnost $f_{fc,ck,cub}$	63,0 MPa	71,9 MPa (114%)
Tah (MPa)	¹⁾ na mezi vzniku makrotrhliny - charakteristická pevnost	4,61 MPa	6,24 MPa (135%)
	a) v tahu za ohybu $f_{fc,tk,fl,cr}$		
	b) odvozená v dostředném tahu $f_{fc,tk,cr}$	3,18 MPa	4,31 MPa (135%)
	²⁾ na dohodnuté mezi průhybu ($\delta_{t,3,5}$) – charakteristická ekvivalentní pevnost v dostředném tahu $f_{fc,tk,eq}$	1,28 MPa	0,67 MPa (52%)
³⁾ Označení pevnostní třídy drátkobetonu FC $f_{fc,ck,cyl}/f_{fc,ck,cub} - f_{fc,tk,cr}/f_{fc,tk,eq}$		FC 55/60 – 3,1/1,2	FC 60/67 – 4,3/0,6

Poznámky: 1) Za předpokladu kvazipružného chování
2) Za předpokladu plastizování drátkobetonu
3) Zvýšení charakteristické ekvivalentní pevnosti lze dosáhnout snížením hodnoty mezního průhybu

5 ZKOUŠKY SEGMENTU, TZV. KLENÁKU

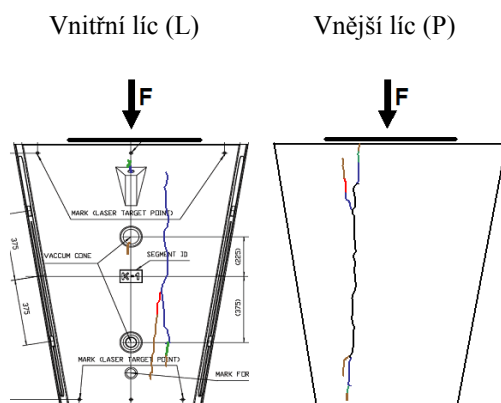
Pro informaci o provedených zkouškách jsou uvedeny obrázky ukazující způsob zatížení segmentu s hmotnostní dávkou 50kg/m³ a segmentu s klasickou betonářskou výztuží, který je vyráběn pro pražské Metro.

5.1 Uspořádání zkoušky



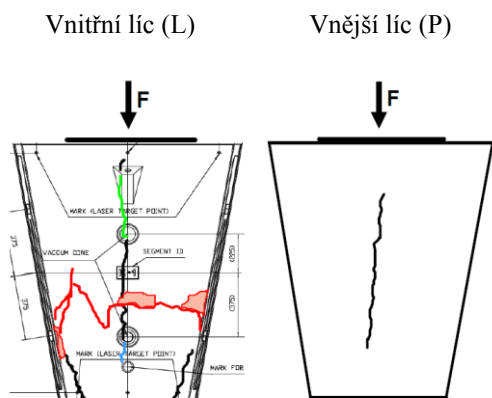
Obrázek 7.: Uspořádání zkoušky včetně rozmístění potenciometrů a tenzometrů

5.2 Drátkobetonový segment



Obrázek 8.: Záznam trhliny při dosažení mezního zatížení – drátkobetonový klenák –
 $F_{f_c,u} = 7200 \text{ kN}$

5.3 Železobetonový segment



Obrázek 9.: Záznam trhliny při dosažení mezního zatížení – železobetonový klenák –
 $F_{f_c,u} = 5860 \text{ kN}$

Doplňující tabulka 3 uvádí velikosti zatěžovacích sil zjištěných ve zkušebních zařízeních, které rozhodují o chování klenáku na mezi vzniku trhlin a jeho únosnosti.

Tabulka 3.: Výsledné porovnání naměřených sil u dvou testovaných klenáků při zkoušce tlakem

Beton	Železobeton	Drátkobeton
Vznik první trhliny při síle F_{cr} [kN]	3300	4200
Max. dosažená síla F_u [kN]	5860	7200

6 ZÁVĚR

Cílem příspěvku je ukázat cestu obecného přístupu k aplikaci konstrukčního drátkobetonu u nosných prefabrikovaných prvků. Vytipovaný segmentový prvek tunelového ostění pražského Metra (klenák), který je předmětem příspěvku ve výsledcích zkoušek ukazuje, že drátkobeton, je-li správně navrženo jeho složení a posouzeny jeho charakteristické vlastnosti, může být přínosem pro vytipované konstrukce a to nejen v oblasti ekonomické, ale i v oblastech spolehlivosti a trvanlivosti konstrukcí.

Poděkování

Tento příspěvek byl vypracován za finanční podpory GAČR 104/10/2023.

Literatura

- [1] Froněk M.: *Ostění tunelů z vláknobetonových segmentů*; ČVUT v Praze, Fakulta stavební, Katedra geotechniky; Bakalářská práce; 5/2011
- [2] Ráček V.: *Použití vláknobetonových segmentů pro ostění tunelů*; ČVUT v Praze, Fakulta stavební, Katedra betonových a zděných konstrukcí; Diplomová práce; 1/2012
- [3] Ráček V.: *Vyhodnocení 1. etapy průkazních zkoušek*; ČVUT v Praze, Fakulta stavební, Katedra betonových a zděných konstrukcí, nepublikováno, Praha 2011
- [4] *TP FC 1-1 Technické podmínky 1: Vláknobeton – Část 1 Zkoušení vláknobetonu – Vyhodnocení destruktivních zkoušek a stanovení charakteristického pracovního diagramu vláknobetonu pro navrhování vláknobetonových konstrukcí*; ČVUT v Praze, Fakulta stavební, Katedra betonových a zděných konstrukcí, Praha 2007
- [5] Vokáč M., Bouška P.: *Experimentální zkoušky segmentů prefabrikovaného ostění metra V.A - Segment K z drátkobetonu*; ČVUT v Praze, Kloknerův ústav; Praha; 21.srpen 2011
- [6] Vokáč M., Bouška P.: *Experimentální zkoušky segmentů prefabrikovaného ostění metra V.A*; ČVUT v Praze, Kloknerův ústav; Praha; 21.červen 2011