



## BETON VYZTUŽENÝ ROZPTÝLENOU VÝZTUŽÍ. POLYMEROVÁ MAKROVLÁKNA.

Zpracovali: Dr. Ing. Petr Vítek (Metrostav a.s.), prof. Ing. Jan L. Vítek, CSc., FEng. (Metrostav a.s. a Fakulta stavební VUT v Praze)

### Souhrn

Polymerová makrovlákna se na rozdíl od mikrovláken využívají pro obdobný účel jako vlákna ocelová. Polymer má však proti oceli zcela jiné mechanicko-fyzikální vlastnosti. Cílem výzkumu je zjistit materiálové charakteristiky betonu vyztuženého makrovláknem, dále přednosti a nevýhody jejich využití. Proto byly realizovány testy, kde se ověřila možnost výroby betonové směsi s makrovláknem, proces míchání v reálných podmínkách v průmyslové betonárně, proces dopravy a ukládání směsi. Vyroběné vzorky byly podrobeny sérii testů mechanicko-fyzikálních vlastností na laboratorních zkušebních tělesech.

### Oblast použití

Beton vyztužený polymerovými makrovláknem lze využívat jako alternativu drátkobetonu. Výzkum se soustřeďuje na beton využitelný pro nosné konstrukce, zejména ost ní tunel zhotovené monoliticky, a to jak ve formě betonu ukládaného na staveništi, tak v prefabrikaci – segmentové ost ní pro tunely budované technologií TBM.

### Metodika a postup ešení

Polymerová makrovlákna mají oproti ocelovým drátkům zásadně rozdílný modul pružnosti  $E = 3,6$  GPa (tj. cca 1/60 hodnoty  $E$  pro ocel), výrazně nižší objemovou hmotnost  $\rho = 910$  kg·m<sup>-3</sup> (tj. cca 1/8 hodnoty  $\rho$  pro ocel) a i nižší pevnost  $f = 470$  MPa (tj. cca 1/3 hodnoty pevnosti ocelových drátků).

Dávkování pro experimenty bylo proto stanoveno na 5, 6,5, 8 a 12 kg/m<sup>3</sup>. Při 5 kg/m<sup>3</sup> množství vláken odpovídá drátkům stejných rozměrů i dávkování 40 kg/m<sup>3</sup>. Pro dosažení srovnatelné únosnosti je zapotřebí do směsi zamíchat v těší množství vláken, což vede k technologickým problémům.

Ověření míchání betonové směsi proběhlo ve standardní betonárně, ve které je míchán drátkobeton pro výrobu segmentů. Makrovlákna byla vysypávána přímo do míchačky, což je zřejmě pro vyšší hodnoty dávkování nutnost. Vysypávání makrovláken do

kameniva by neumožňovalo prodloužování doby potěbnou na promísení směsi. Rovněž se prokázalo, že proces míchání neznehodnocuje vlákna, nedochází ke ztrátě jejich tuhosti a k lámání.

Beton byl ukládán bádíí. Při vyšším dávkování docházelo k uvíznutí směsi ve výpustní štrbině. Z toho vyplývá potřeba bádíí pro beton s makrovláknem upravit, což je technicky možné.



Obr. 1 Betonová směs s makrovláknem.

Pro každé dávkování byla vyrobena série vzorků pro zjištění základních charakteristik – pevnosti v tlaku, modulu pružnosti a pracovního diagramu v tahu za ohybu (tedy bodový ohyb).

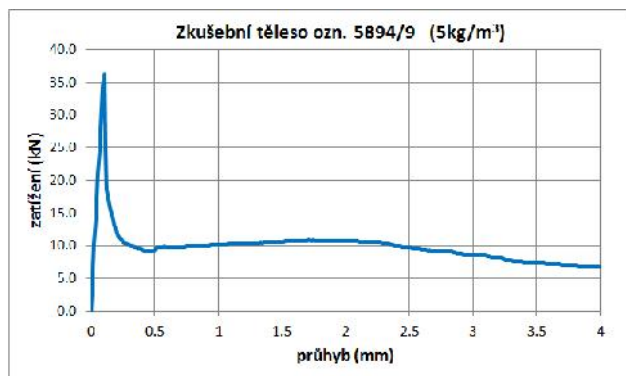
### Výsledky

Proces výroby a zpracování betonové směsi s makrovláknem prokázal, že technologie výroby je reálná za předpokladu dostatečně výkonného míchacího centra upraveného pro dávkování makrovláken.

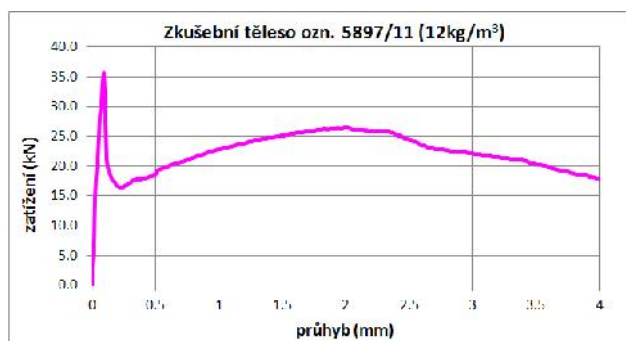
Dávkování	kg/m <sup>3</sup>	5.0	6.5	8.0	12.0
Objemová hmotnost čerstvého betonu	kg/m <sup>3</sup>	2244	2290	2330	2290
Modul pružnosti	GPa	27.3	28.2	29.0	26.0
Krychelná pevnost (tlak)	MPa	63.7	66.2	72.4	61.3
Válcová pevnost (tlak)	MPa	54.1	58.9	63.6	49.2
Pevnost v tahu za ohybu	MPa	7.2	7.5	7.8	6.2

Tab. 1 Materiálové charakteristiky.

Výsledky zkoušek mechanicko-fyzikálních vlastností jsou p ehledn zobrazeny v tabulce 1.



Obr. 2 Pracovní diagram pro dávkování  $5\text{kg/m}^3$ .



Obr. 3 Pracovní diagram pro dávkování  $12\text{kg/m}^3$ .

Tlaková pevnost betonu s makrovlákny p ibližn odpovídá pevnosti drátkobetonu. Z tab. 1 je patrný pokles pevnosti pro dávkování makrovláken  $12\text{kg/m}^3$ . D vodem je patrn nedostate né zhutn ní sm si vlivem p íliš velkého množství vláken ve sm si. Totéž potvrzuje i pr b h objemové hmotnosti v závislosti na dávkování vláken. Zajímavé jsou rovn ž výsledky modul pružnosti. Projevuje se u nich stejný trend jako u pevnosti a objemové hmotnosti, a navíc jejich hodnoty jsou velmi nízké. Drátkobeton stejného složení má moduly pohybující se kolem 35 GPa. D vodem je patrn nižší modul vláken, která p sobí tém jako dutiny ve struktu e betonové matrice.

Experimentáln zjišt né pracovní diagramy betonu vyztuženého makrovlákny jasn ukazují závislost na dávkování vláken. Pro ilustraci jsou uvedeny závislosti zatížení-pr hyb zjišt né zkouškou 4 bodovým ohybem. Po dosažení mezní únosnosti betonu, kdy dojde ke vzniku trhliny, dochází k poklesu únosnosti na cca 10 až 17 kN. Tato hodnota je závislá na dávkování, avšak nikoli p ímo úm rn . Po vzniku trhliny v betonu se ješt pln neaktivují vlákna. Vzhledem k jejich malému modulu pružnosti je t eba další deformace trámce, resp. rozší ení trhliny, aby se makrovlákna mohla pln aktivovat. Proto dochází k dalšímu zpevn ní až na hodnoty 11 až 26 kN p í pr hybu cca 2 mm. Tyto hodnoty jsou již úm rné dávkování.

## Záv r

Mechanicko-fyzikální vlastnosti makrovláken jsou zcela odlišné od vlastností ocelových drátk a to má vliv na výsledky experiment . Dávkování  $12\text{kg/m}^3$  lze považovat za mezní z hlediska technologického - odpovídá množství  $104\text{kg/m}^3$  ocelových drátk stejné geometrie.

Nízká tuhost (malý modul pružnosti) z ejm zp sobuje náhlý pokles únosnosti po vzniku trhliny. Následn pak s rostoucím rozev ením trhliny dochází k aktivaci nap tí ve vláknech a p í vyšším dávkování nastává zpevn ní. Dále bylo zjišt no, že makrovlákna selhávají jejich p etržením, zatímco drátky se obvykle z betonu spíše vytahují. Tím lze vysv tlit rozdíl v pracovních diagramech trám c s makrovlákny a trám c z drátkobetonu, který není úm rný tuhosti disperzního vyztužení.

Náhlý pokles únosnosti je ur itou závadou p í aplikaci pro konstrukce tunelového ost ní. Beton vyztužený ocelovými drátky má velkou výhodu v tom, že drátky zabra ují rozvírání trhlin a nap . oproti betonu vyztuženého klasickou výztuží je duktiln jší. Pracovní diagramy betonu s makrovlákny ukazují, že tento beton vyžaduje pro aktivaci drátk ur ité rozev ení trhliny a to je v rozporu s požadavkem na vodonepropustnost ost ní.

Zkoušky na trámcích jsou sice nejjednodušší a nejlevn jší, avšak nejsou reprezentativní pro v tší konstrukce. Proto je t eba p sobení makrovláken ov it i na jiných modelech. Dále v rámci pokra ování výzkumné innosti bude vhodné se zam ít též na pull-out testy, aby se zjistil pracovní diagram soudržnosti vlákna a charakter porušení – vytažení / p etržení vlákna.

## Literatura

- [1] Technický list výrobce makrovláken – [www.fibreistrice.com](http://www.fibreistrice.com)