

# SPECIFIKA Z TECHNOLOGIE VLÁKNOBETONU ■ SPECIFICS OF FIBRE CONCRETE TECHNOLOGY

Jan Vodička, Vladimír Veselý, Jiří Krátký

Článek popisuje obecná specifika při navrhování vláknobetonových směsí a výrobě čerstvého vláknobetonu. Dále uvádí některé příklady dávkování vláken, která se využívají v současnosti při výrobě vláknobetonu. ■ The article describes general specifics of fibre concrete mixture design and specifics of production of fresh fibre concrete. It shows some examples of fibre dosage nowadays used in fibre concrete production.

Kompozitní materiály obecně jsou materiály vyžadující odpovědný přístup jak z pohledu návrhu, tak i jejich výroby a zkoušení, neboť jejich vlastnosti jsou dány nejen vlastnostmi jednotlivých komponentů, ale i vzájemným poměrem jejich dávkování na jednotku objemu (1 m<sup>3</sup>).

Kompozit s cementovou matricí, mezi které patří běžný beton, je znám prakticky od první poloviny 19. století, kdy byl vývoj hydraulických pojiv završen výrobou portlandského cementu (J. Aspdin přihlásil roku 1824 patent „Zlepšení ve výrobě umělého kamene“ a roku 1825 založil továrnu, v níž vyráběl pojivo pod obchodním názvem „Portlandský cement“ [1]). I když uplynulo více než 180 let od jeho vzniku, sdílí technická veřejnost stále jeho složitost i možnosti přetvářet jeho modifikace dalšími novými vyvíjenými komponenty, které ovlivňují nejen vlastnosti kompozitu, ale i výrazné části jeho technologie výroby, zpracování a ošetřování do doby jeho zralosti.

Jedním z nových komponentů cementových kompozit jsou vlákna, která zásadním způsobem mohou ovlivnit vlastnosti kompozit nejen v oblasti technologie (návrh, výroba, zpracování, zkoušení), ale též v oblasti jejich využití.

Jako složka by vlákna měla být rozptýlena ve struktuře rovnoměrně, stejně jako jsou např. rozptýlena zrna hrubé frakce kameniva v běžném betonu. Rovnoměrné rozptýlení vláken vede k efektu prostorového působení vláken ve struktuře kompozitu a ke ztužení celé jeho struktury. Vlákna proto nelze považovat v klasickém pojetí za výztuž, ale pouze za ztužující prvek struktury. Termín vláknobeton je tak charakteristickým názvem pro tento kompozitní materiál.

Vláknobeton a běžný beton je nutné považovat za dva samostatné konstrukční materiály, i když mají mnoho společného. Jejich rozlišení je dáno jejich rozdílnými vlastnostmi a možnými způsoby využití v praxi.

Vláknobeton lze díky specifickým vlastnostem, získaným právě přidáním různých typů a druhů vláken (syntetická, ocelová, skleněná atd.), využít pro dosažení dalších požadovaných parametrů u betonových prvků s ohledem na jejich použití v konstrukci. Vlákna zlepšují odolnost betonu proti vzniku trhlin a to jak v počátečním stadiu (smršťovací trhliny), tak i po zatížení konstrukce, dále zlepšují odolnost betonu proti mechanickému namáhání (mechanické opotřebení, obrus apod.), tepelnému namáhání (v případě požáru) a zvyšují odolnost betonu v tahu, a to i po vzniku trhlin, kdy se uplatní duktilita tohoto kompozita. Právě zvýšení odolnosti betonu v tahu přidáním vhodného typu vláken a jejich dostatečného množství umožňuje jeho výhodné využití jako konstrukčního materiálu v konstrukcích z prostého, vyztuženého i předpjatého vláknobetonu.

Termín konstrukční vláknobeton je možné užít pouze v případě, že jeho charakteristické vlastnosti se začínají odlišovat od vlastností běžného betonu. Toho lze dosáhnout tzv. minimální dávkou vláken. Podmínkou však zůstává, aby i při této minimální dávce vláken byl vláknobeton homogenním materiálem.

Vláknobeton i přes další požadavky na něj kladené zůstává i nadále kompozitem s cementovou matricí, a je tudíž rozumné i reálné ponechat dobrou shodu při návrhu směsi, výrobě a ošetřování vláknobetonu do doby jeho zralosti, pokud možno, shodně s vyráběným běžným betonem. Toto platí i o zkouškách prokazujících vlastnosti čerstvého vláknobetonu a vlastnosti potřebné pro navrhování vláknobetonových konstrukcí.

Vkládáním výztuže betonářské nebo předpjaté do prvků z vláknobetonového kompozita lze využít širší měrou vlastností kompozita a získat tak konstrukce subtilnější, spolehlivější a při dobře vytipované aplikaci pro užití vláknobetonu i konstrukce s ekonomickým efektem.

## DEFINICE VLÁKNOBETONU

Pro technické vymezení pojmu vláknobeton lze využít například definici tohoto kompozitního materiálu uváděnou v dokumentu Technické podmínky 1: Vlákno-beton – Část 1 Zkoušení vláknobetonu [2], kde je uvedeno: „Vláknobeton je konstrukční stavební kompozitní materiál, který má základní strukturu výchozího prostého betonu, avšak doplněnou vlákny, která ztužují strukturu kompozitu. Vlákna mohou být různého původu (materiálu), tvarů a rozměru. Vlákna musí tvořit v objemové jednotce vláknobetonu takový podíl (objemový stupeň ztužení vláknem), aby vznikl homogenní vláknobeton, který umožní zlepšit alespoň některou z fyzikálně mechanických vlastností původního prostého betonu. Vlákno-beton může být vyráběn na staveništi, ve výrobně konstrukčních vláknobetonových prvků nebo dodáván jako transportbeton přímo z centrální výroby vláknobetonu.“

## POUŽÍVANÁ VLÁKNA

Vlákna používaná pro výrobu vláknobetonu lze dělit podle materiálu použitého pro jejich výrobu např. dle [3] na:

- ocelová vlákna
- polymerová vlákna
- skleněná
- ostatní

Vhodnost vláken je obecně prokázána dle [4], pokud vyhoví požadavku:

- ocelová vlákna vyhoví ČSN EN 14889-1 Vlákna do betonu – Část 1: Ocelová vlákna – Definice, specifikace a shoda [5],
- polymerová vlákna vyhoví ČSN EN 14889-2 Vlákna do betonu – Část 2: Polymerová vlákna – Definice, specifikace a shoda [6].

Pro ostatní typy vláken je vhodnost obecně prokázána, splňují-li požadavky vydaných technických norem, na něž je vydáno v ČR stavebně technické osvědčení.

Vlákna, na která bude vydána evropská technická norma, jsou obecně vhodná pro použití do vláknobetonu od data platnosti této evropské normy.

**Ocelová vlákna** se dle [5] dělí dle použitého základního materiálu pro jejich výrobu do skupin :

- Skupina I – za studena tažený drát
- Skupina II – vlákna stříhaná z plechu
- Skupina III – vlákna oddělovaná z taveniny
- Skupina IV – vlákna protahovaná z drátu taženého za studena
- Skupina V – vlákna frézovaná z ocelových bloků

Dle tvaru se vlákna dělí na přímá a tvarovaná a výrobce musí deklarovat jejich tvar. Jsou-li vlákna dodávána s povrchovou úpravou, musí výrobce deklarovat druh povrchové úpravy a její množství v g/m<sup>2</sup>.

**Polymerová vlákna** dle [6] jsou vlákna zhotovovaná z polymerních materiálů jakými jsou např. polypropylen, polyethylen, polyester, nylon, PVA, polyakryl, aramid a jejich směsi.

Výrobce či dodavatel musí deklarovat základní polymery nebo jejich směsi, způsob tvarování (vlákna přímá nebo tvarovaná), druh a velikost vláknového svazu a případnou povrchovou úpravu.

Polymerová vlákna jsou klasifikována podle fyzického tvaru do tříd:

- Třída Ia – mikroválkna s průměrem < 0,3 mm; jednovlákná (monofilamentická)
- Třída Ib – mikroválkna s průměrem < 0,3 mm; vláknitá (fibrilovaná)
- Třída II – makroválkna s průměrem > 0,3 mm.

Skelná vlákna dle [3] mají být zásadně odolná proti alkáliím.

### HOMOGENITA VLÁKNOBETONU

Každá konstrukce s aplikací vláknobetonu musí být stejně spolehlivá jako jsou konstrukce s aplikací běžného betonu. Spolehlivost konstrukcí se prokazuje výpočtem podle návrhových metod, z nichž v současné době používána je Metoda navrhování podle mezních stavů, dnes také tzv. metodika dílčích součinitelů spolehlivosti.

Využití vlastností vláknobetonu, především jeho tahové pevnosti a ductility, je podmíněno tím, že výpočtem navrhované konstrukce budou opravdu homogenní. Zajistit toto je právě úkolem technologie v krocích návrhu směsi, výroby a realizace vláknobetonové konstrukce.

Vlastnosti vláken, jako složky čerstvého vláknobetonu, která přidáním do cementové matrice vytváří vláknobeton s charakteristickými vlastnostmi, mohou být natolik rozdílné, že ovlivní

Obr. 1 Foto několika druhů a typů vláken

Fig. 1 Photo of several types of fibres



nejen technologii výroby vláknobetonu, ale též i výrazně jeho vlastnosti. Dosáhnout homogenity vláknobetonu i v případech rozdílných vlastností vláken a navíc i rozdílnou změnou jejich dávky na jednotku objemu je možné pouze za předpokladu, že každý vláknobeton projde procesem návrhu, a že složení každého vláknobetonu bude navíc ověřeno zkouškou, která prokáže, že při výrobě, dopravě a zpracování bude zajištěna jeho homogenita.

Jak je vidět z obrázku vláken (obr. 1), která jsou vzorkem vláken dnes užívaných pro výrobu vláknobetonu, je jejich rozmanitost natolik velká, že nelze stanovit jednotné zásady v rámci celé technologie výroby čerstvého vláknobetonu. Některé z typů vláken lze prostě jako složku při výrobě čerstvého vláknobetonu pouze nadávkovat a dopad do technologického procesu bude minimální. Některé typy naopak ovlivní celou technologii včetně návrhu složení vláknobetonové směsi.

Mezi vlákna, která technologii změní takřka ve všech krocích, tj. od návrhu až po zpracování, patří vlákna ocelová. Jejich vliv začíná efektem nakypření směsi kameniva ocelovými vlákny, které je nutné nejen správně stanovit, ale též jej eliminovat při návrhu složení vláknobetonové směsi. Hlavními parametry ovlivňujícími nakypření jsou tvar ocelového vlákna, jeho délka, poměr mezi délkou a tloušťkou  $L/d$  a především hmotnostní dávka vláken na jednotku objemu.

Obdobný vliv ocelových vláken je třeba očekávat při zpracování čerstvého vláknobetonu. Pro vlákna stejného tvaru obecně platí, čím vyšší je poměr  $L/d$ , tím je horší zpracovatelnost betonu. Pokud jsou ocelová vlákna stejného tvaru a mají stejný poměr  $L/d$ , rozhoduje o zpracovatelnosti délka. Kratší vlákna mají lepší zpracovatelnost.

Vláknobeton se navrhuje s cílem dosáhnout vhodných vlastností pro vytipovanou konstrukci. Nelze proto provádět jejich výběr pouze z pohledu dosažení snadnější technologie, ale vždy podle vlivu vláken na dosažení požadovaných vlastností vláknobetonu.

Ocelová vlákna větších délek a vyšších pevností se využívají pro získání výrazně vyšších charakteristik vláknobetonu. Při jejich vyšších dávkách, které mohou být v rozmezí 80 až 100 kg/m<sup>3</sup> vláknobetonu, lze získat maximální charakteristiky, hlavně základní pevnostní charakteristiky v tahu a duktilitu, které jsou jakýmsi optimem pro vláknobeton. Hranice je v tomto případě dána možnostmi výroby a zpracováním čerstvého vláknobetonu. K tomuto efektu rovněž přispěje použití ocelových vláken s vyšší pevností v tahu. Běžně dodávaná ocelová vlákna mají pevnosti v tahu 400 a 1 450 N/mm<sup>2</sup>, vysokopevnostní vlákna pak překračují pevnosti 2 000 N/mm<sup>2</sup>.

Při návrhu složení vláknobetonu s ocelovými vlákny (drátky) je třeba rovněž vzít v úvahu působení ocelových vláken na zrna kameniva v tom smyslu, že je oddalují a brání jejich vzájemnému skloubení (setřesení) při zpracování čerstvého betonu (ukládání a hutnění v konstrukci). Tento nepříznivý vliv, který je označován jako nakypření o objem  $V_n$  v objemové jednotce, může být značně proměnný [10]. Drátky působí především na zrna hrubých frakcí kameniva a platí, že čím větší zrno kameniva a vyšší dávka drátků, tím dochází k vyššímu nakypření. Experimentálně bylo měřeno nakypření směsi drátky zkouškou objemové hmotnosti kameniva v setřeseném stavu a výsledky ukázaly, že při dávce drátků 1 % z objemu došlo u frakce kameniva  $D_{max} = 22$  mm k nakypření řádově o procenta, zatímco při stejné dávce

drátků v kombinaci pouze s drobným kamenivem  $D_{max} = 4$  mm k nakypření prakticky nedošlo [10].

Drátky se dávkuje v rozmezí cca 0,5 % objemového vyztužení, to je v dávce, při které lze již registrovat popisované nakypření, a v dávce cca 1 až 1,3 % objemového vyztužení, při které je ještě reálné vyrobit a zpracovat čerstvý homogenní vláknobeton. Dávky drátků v tomto rozmezí jsou zárukou, že dojde k tvorbě struktury vláknobetonu a vyrobený vláknobeton bude mít požadované charakteristiky.

Příklady, kdy je běžně užito k výrobě vláknobetonu nižších dávek ocelových vláken než dávek minimálních, jsou vláknobeton v podlahách průmyslových hal. I při péči věnované betonáži podlahy nelze dosáhnout homogenity vláknobetonu. To prokazuje řada expertních posouzení podlah narušených trhlinami, např. z provedených fyzických rozborů vzorků odebraných z podlah. Hlavní podíl na této nehomogenitě vláknobetonu má právě dávka užitých ocelových vláken, která zde bývá zpravidla jen volena bez respektování zásad návrhu konstrukčního vláknobetonového kompozita. Nižšími dávkami ocelových vláken, kolem 20 kg/m<sup>3</sup> betonu, nelze dosáhnout popsaného efektu ve struktuře vláknobetonu, protože dochází k segregaci nejen kameniva, ale též i ocelových vláken. Tím je vláknobeton nehomogenní, tj. jako konstrukční materiál, reprezentující vlastnosti vláknobetonu, nepoužitelný (obr. 2).

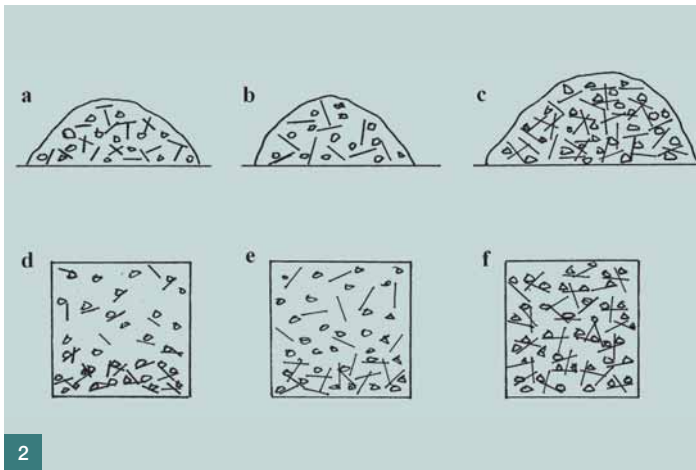
Jedním z hlavních důvodů k výrobě vláknobetonů s nižšími dávkami vláken bývá jeho konečná cena. Důvodem může být i skutečnost, že nízké dávky ocelových vláken zjednodušují technologii vláknobetonu při návrhu složení směsi, výrobě i jejím zpracování.

## VÝROBA VLÁKNOBETONU

Jistý podíl na nedostatečné homogenitě, a to i u dobře navrženého vláknobetonu, může mít vlastní výroba čerstvého vláknobetonu, popřípadě i jeho zpracování. Vlákna, která předurčují charakteristiky vláknobetonu jako jeho hlavní složka, musí být při výrobě dávkována v pořadí, které si vynucuje sám typ užitého vlákna. Rozmanitost typů vláken vyžaduje respektovat doporučené hlavní zásady, které byly stanoveny na základě dlouhodobých zkušeností z ověřování výroby vláknobetonů. Některá syntetická vlákna lze dávkovat do suchých směsí a naopak všechny typy ocelových vláken je třeba dávkovat jako poslední složku směsi vláknobetonu.

S ohledem na rozmanitost stávajících strojních zařízení pro výrobu běžného betonu, která by měla být použita i pro výrobu vláknobetonu, je nezbytné vždy předem prokázat, že strojní zařízení a stanovený postup dávkování vláken při výrobě čerstvého vláknobetonu vede k dosažení potřebné homogenity směsi. Cesta k výrobě homogenního vláknobetonu, která se ukazuje být spolehlivou, je přes využití strojních zařízení užívaných na betonárnách, tj. přes míchačky s nuceným oběhem.

Výroba vláknobetonu uskutečňovaná dosud ve většině případů (hlavně s vlákny ocelovými) pomocí autodomíchávačů není optimální cestou. I když je splněna hlavní zásada pro užití ocelových vláken – ocelová vlákna dávkovat jako poslední složku, lze dosáhnout homogenity vláknobetonu obtížně za cenu prodloužení času míchání, protože autodomíchávač nemá výkonnost míchačky s nuceným oběhem. To dokazuje řada měření, kterými lze určit hmotnost drátků ve zvolené jednotce objemu čerstvého vláknobetonu vypuštěného z autodomíchávače. Zvolená místa pro odběr vzorků, tj. na začátku, zhruba uprostřed a na konci vypouště-



Obr. 2 Porovnání nesprávného a správného návrhu složení směsi. Čerstvě vyrobený vláknobeton s ocelovými vlákny – a) příliš krátká vlákna, b) nižší než minimální hmotnostní dávka, c) správný návrh směsi. Zpracovaný vláknobeton – d) a e) dochází k segregaci kameniva a drátků, f) vláknobeton je homogenní  
 ■ Fig. 2 Comparison of correct and wrong design of the mixture composition. Fresh fibre concrete with steel fibres, a) too short fibres, b) amount of fibres lower than minimal, c) correct design of mixture. Worked (treated) fibre concrete with steel fibres – d) and e) segregation of fibres occurs, f) homogeneous mixture

Obr. 3 Ruční dávkování do míchačky ■ Fig. 3 Manual dosing to mixing device

Obr. 4 Dávkování pomocí dopravního pásu ■ Fig. 4 Dosing by conveyor belt

Obr. 5 Příklad dávkovacího zařízení ■ Fig. 5 Example of dosing device

Obr. 6 Dávkování ocelových vláken pomocí korečkového výtahu ■ Fig. 6 Dosing of steel fibres by bucket conveyor

Obr. 7 Pneumatické dávkování ■ Fig. 7 Pneumatic dosage

Obr. 8 Vznik suchých ježků v důsledku nevhodného dávkování drátků ■ Fig. 8 Balling of fibres as a result of improper dosage of fibres

ného objemu z autodomíhávače ukazují rozdílné výsledky měřených hmotnostních dávek ocelových vláken. Uvážíme-li, že průměrné hmotnosti dávek ocelových vláken na objemovou jednotku v těchto případech výroby vláknobetonu pro podlahy průmyslových hal jsou hluboce pod minimální hodnotou dávky ocelových vláken (jak je popsáno výše) pro konstrukční vláknobeton, je dosažení homogenity vláknobetonu iluzí. Tím zůstávají iluzí i charakteristiky aplikovaných vláknobetonů, pokud jde o vliv drátků na ztužení struktury cementového kompozita.

#### POZNÁMKA AUTORŮ

Vláknobeton aplikovaný do podlah průmyslových hal od 90. let minulého století nelze ve většině případů považovat za konstrukční vláknobeton. Přestože podlahy jsou z pohledu návrhu, a můžeme říci do jisté míry i realizace, složitými konstrukcemi, v případě porušení nezpůsobí kolaps celé konstrukce s následky na zdraví a životech lidí.

Všem dosud provedeným aplikacím však lze přisoudit několik pozitiv. Do podvědomí technické veřejnosti se dostal termín drátkobeton (termín pro kompozit s ocelovými vlákny) jako kompozit, který může být aplikován i bez betonářské výztuže (prutů, sítí nebo rohoží). Poměrně rozsáhlé aplikace drátkobetonu do podlah vedly ke vzniku nových výrobců drátků, nových typů vláken, a tím i bohatšímu sortimentu vláken, který dnes umožňuje správně zvolit vhodný typ vláken pro požadovanou aplikaci vláknobetonu při návrhu vláknobetonové konstrukce.

#### SOUČASNÝ STAV MOŽNOSTÍ DÁVKOVÁNÍ VLÁKEN

Obrázky 3 až 7 ukazují několik v současnosti užívaných způsobů dávkování vláken při výrobě vláknobetonu.

I když s některými způsoby dávkování vláken autoři tohoto článku nemohou souhlasit, musí být přijaty jako obraz výroby čerstvého vláknobetonu v našich podmínkách. Skutečností bude, že rozšířením pole pro aplikace vláknobetonu do oblastí nosných vláknobetonových konstrukcí vyztužených betonářskou nebo předpínací výztuží řada těchto dnes užívaných způsobů dávkování vláken sama zanikne. Postačí k tomu, že navrhované vláknobetonové konstrukce budou muset využít vlastností vláknobetonu s vysokými dávkami vláken.

Dávkování vláken je možné několika způsoby:

- manuálně
- mechanicky (např. vibrační zařízení, pásový dopravník, korečkový výtah, pneumatický dávkovač) a to buď ve výrobně vláknobetonu (betonárně) přímo do míchačky, nebo na betonárně či stavbě do autodomíhávačů.

Na betonárně je možno použít dávkování ručně přímo do míchačky (obr. 3) pomocí dopravního pásu (obr. 4), pneumaticky nebo dávkovacím zařízením (obr. 5).

Pro dávkování do autodomíhávačů lze použít rovněž několika způsobů:

- ručně z plošiny
- pomocí korečkového výtahu (obr. 6)
- pásovým dopravníkem
- pneumaticky (obr. 7)

Pro všechny metody obecně platí, že dodatečné promíchání drátků s betonovou směsí by mělo trvat přibližně 1 min/m<sup>3</sup> betonu.

Nesprávný způsob dávkování ocelových vláken, či nedostatečná doba jejich promíchání s betonovou směsí mohou vést k rozdílnému počtu vláken v různých místech drátkobe-

#### Literatura:

- [1] Seidlerová I., Dohnálek J.: Dějiny betonového stavitelství v českých zemích do konce 19. století, Praha 1999
- [2] ArcelorMittal: „Pokyny pro dávkování drátků“
- [3] 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)
- [4] Richtlinien Faserbeton (Österreichische Vereinigung für Beton- und Bautechnik, Vídeň, březen 2002)
- [5] PN ČMB 01-2008 Vláknobeton (FC) – Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda
- [6] ČSN EN 14889-1 Vláčna do betonu – Část 1: Ocelová vlákna – Definice, specifikace a shoda
- [7] ČSN EN 14889-2 Vláčna do betonu – Část 2: Polymerová vlákna – Definice, specifikace a shoda
- [8] Vodička J.: Složení drátkobetonové směsi, Stavební listy 5/99, ČKAIT-ČSSI-ABF, str. 20–21
- [9] Vodička J.: Technické problémy při výrobě vláknobetonu, Stavební listy 6/99, ČKAIT-ČSSI-ABF, str. 30–31
- [10] Krátký J., Trtík K., Vodička J.: Drátkobetonové konstrukce, ČKAIT, Ostrovní 8, 110 00 Praha 1, r. 1999, stran 107, IBSN 80-86364-00-3
- [11] Vodička J.: Vláknobeton – technologie a aplikace, in Sborník konference Speciální betony, Sekurkon Praha, r. 2002, str. 50–61, IBSN: 80-86604-004-4

tonové konstrukce, nebo ke vzniku tzv. mokřých, či suchých ježků (obr. 8).

Ke shlukování ocelových vláken do podoby suchých ježků dochází při jejich velmi nešetřném přidávání, kdy je do míchacího zařízení vhozeno jednorázově, v podobě velkého chomáče, značné množství vláken. Ocelová vlákna by měla být ideálně dávkována tak, aby na povrch betonové směsi dopadala ve formě deště jednotlivých vláken.

Nebezpečí vzniku mokřých ježků hrozí v případě, kdy je dávkováno nadměrné množství relativně tenkých vláken a/ nebo při dlouhé době promíchávání drátkobetonu s vysokým podílem velké frakce kameniva.

Článek byl vypracován za podpory grantových projektů GA ČR 103/09/1788 a 103/09/2039.

Doc. Ing. Jan Vodička, CSc.  
e-mail: jan.vodicka@fsv.cvut.cz



Doc. Ing. Jiří Krátký, CSc.  
e-mail: jiri.kratky@fsv.cvut.cz



oba: Katedra betonových  
a zděných konstrukcí  
Fakulta stavební ČVUT v Praze  
Thákurova 7, 166 29 Praha 6  
<http://concrete.fsv.cvut.cz/>

Ing. Vladimír Veselý  
Betontech, s. r. o.  
Beroun 660, Beroun  
tel.: 311 644 063, fax: 311 644 010  
e-mail: vladimir.vesely@cmcem.cz, www. betotech.cz



Text článku byl posouzen odborným lektorem.