

VLÁKNOBETON A NORMY PRO NAVRHOVÁNÍ ■ FIBRE CONCRETE AND DESIGN STANDARDS

Iva Broukalová

Vývoj norem pro zkoušení vláknobetonu a návrh vláknobetonových konstrukcí nestačí tempu rozvoje vláknobetonu v praktických aplikacích. Článek shrnuje současný stav v tvorbě norem a doporučení normy prozatím nahrazující. ■ *Progression in standardisation of fibre concrete testing and design methods for fibre concrete structures does not meet the progress in practical applications of fibre concrete. The paper summarizes state of the art in preparing of standards and recommendations that supply the shortage of codes.*

Při navrhování vláknobetonových prvků nemá projektant oporu v normě tak, jako tomu je při navrhování betonových a železobetonových konstrukcí. Stanovení jednoduchých doporučení a předpisů podobných normovým je na překážku velká variabilita ve vlastnostech a chování vláknobetonů. Rozšíření používání tohoto materiálu se snaží napomáhat výrobci vláken (především drátků) doporučeními výpočetních postupů pro návrh.

Tvorba a příprava norem je složitější, a proto trvá déle. Ale pracuje se na ní jak v Evropské unii, tak za oceánem.

SOUČASNÝ STAV V PŘÍPRAVĚ NOREM PRO VLÁKNOBETON V EVROPSKÉ UNII

Je důležité ustanovit teoretický základ pro výpočet drátkobetonových konstrukcí podle mezních stavů únosnosti i použitelnosti, aby se návrhem zajistilo optimální chování konstrukce. Navrhování a metody zkoušení tradičních železobetonových konstrukcí nedávají možnost racionálního a optimálního návrhu, protože chování po dosažení pevnosti v tahu je primárně ovlivněno vlákny a většina metod navrhování uvažuje pouze chování před dosažením této pevnosti (např. modul pružnosti a pevnost v tlaku). Klíčovým požadavkem na normy o vláknobetonu je změření chování po vzniku trhlin, duktility a jejich zavedení do výpočtu.

V Evropě se základem pro přípravu normových předpisů pro zkoušení vláknobetonu a navrhování vláknobetonových prvků a konstrukcí stal výzkumný program, který probíhal na přelomu tisíciletí na několika evropských univerzitách a vědeckých pracovištích pod vedením profesorky Vandewalle. Výsledky byly použity pro vypracování dokumentů technické komise RILEM TC 162-TDF „Test and Design Methods for Steel Fiber Reinforced Concrete“ (Zkušební a návrhové metody pro drátkobeton). Technická komise vydala postupně doporučení pro zkoušení drátkobetonu v tahu, tlaku a tahu za ohybu.

ZÁVĚRY TECHNICKÉ KOMISE RILEM

Závěrečná doporučení technické komise RILEM TC 162-TDF: Test and Design Methods for Steel Fiber Reinforced Concrete vyšla v roce 2003. Komise navrhuje dvě možné formulace chování pro drátkobeton po vzniku trhlin:

- na základě závislosti $\sigma - \varepsilon$ (pracovní diagram materiálu),
- na základě závislosti $\sigma - w$ (vztah napětí – rozevření trhliny).

Návrh drátkobetonu na základě pracovního diagramu má stejné principy jako návrh klasických betonových konstrukcí v Eurokódu 2 a je určen především pro návrh konstrukč-

ních drátkobetonů na silová namáhání. Pravidla jsou stanovena pro drátkobeton do třídy C50/60 a nejsou zamýšlena pro stříkaný beton.

V návrhu na základě závislosti $\sigma - w$ (napětí – rozevření trhliny) jsou uplatněny principy lomové mechaniky a přístup známý jako model fiktivní trhliny.

Materiálové charakteristiky jsou odvozovány ze zkoušky v třibodovém ohybu na trámci se zářezem. Ve zkoušce je zaznamenávána buď závislost síla – průhyb nebo závislost síla – rozevření trhliny. Materiálové parametry jsou definovány velikostí plochy pod křivkou zaznamenanou při zkoušce a únosnostmi dosaženými pro dané (definované) průhyby resp. daná rozevření trhliny. Materiál je pak charakterizován mezi úměrností a dvěma hodnotami ekvivalentních pevností.

Metodika je použitelná pro drátkobeton a vláknobeton, které vykazují změkčení. Příručka obsahuje doporučení pro návrh na kombinaci normálových sil, momentů a posouvajících sil prvků s rozptýlenou i podélnou betonářskou výztuží a výpočet účinků smršťování a teplotních změn pro desky na pružném podkladu.

Komise dále konstatuje, že metodika návrhu musí

- být dostatečně jednoduchá, aby ji mohli využít inženýři pro praktické aplikace,
- být kompatibilní se současnými návrhovými metodami pro železobetonové konstrukce,
- optimálně využít chování vláknobetonů po vzniku trhlin.

Ze zprávy technické komise RILEM TC 162-TDF budou dále vycházet pracovní skupiny *fib*. Mezinárodní betonářská organizace *fib* připravuje aktualizaci Model Codu 1990 (vyšlo v roce 1993), který byl vlastně základem pro Eurokód 2. Mezi inovacemi nového Model Codu mají být nové konstrukční materiály.

V rámci pracovních skupin *fib* pracují dvě skupiny – TG 8.3 Fibre reinforced concrete (Vláknobeton) a TG 8.6 Ultra high performance fibre reinforced concrete (Vysokohodnotný vláknobeton), které mají společně připravit články rozšiřující současný Model Code 90 o materiál vláknobeton.

Současný rozvoj vláknobetonu a nedostatek předpisů vede ke vzniku jednotlivých národních komisí zabývajících se tímto materiálem. Například v Británii nabízí Technical Report 34(1) (TR 34) národní betonářské společnosti průvodce návrhem drátkobetonových podlah.

I Česká republika chystá komisi, která by měla spolupracovat s mezinárodními orgány a pomoci u nás zavést normové předpisy pro zkoušení a navrhování vláknobetonů.

PŘÍPRAVA NORMOVÝCH PŘEDPISŮ PRO NAVRHOVÁNÍ VLÁKNOBETONU V ČESKÉ REPUBLICE

Na přípravě předpisů pro návrh vláknobetonu pracuje již delší dobu kolektiv složený z odborníků Katedry betonových a zděných konstrukcí Fakulty stavební ČVUT v Praze.

Jako první úkol si pracovní skupina stanovila odvození pracovního diagramu ze zkoušek a určení zkoušek, které by pro to byly vhodné. Předpokládá se, že pro každý typ vláknobetonu (podle různých vláken, obsahu dalších složek směsi a různého obsahu vláken) bude nutné určit

materiálové charakteristiky pro návrh. Proto byly zkoušky voleny co nejjednodušší – zkoušky pevnosti v tlaku na krychlích a válcích, zkoušky v příčném tahu a zkoušky v tahu za ohybu. Ohybové zkoušky se doporučuje provádět na trámci 150 × 150 × 700 mm bez zářezu; taková zkouška totiž poskytne nejen údaje o pevnostech, ale i hodnotnější statistické údaje než zkoušky na tělese se zářezem.

Výsledkem dosavadní práce jsou vydané technické podmínky TP FC 1-1 Vláknobeton – Část 1 Zkoušení vláknobetonu, vyhodnocení destruktivních zkoušek a stanovení charakteristického pracovního diagramu vláknobetonu pro navrhování vláknobetonových konstrukcí. Příručka poskytuje v ČR první návod na zkoušení vláknobetonu a transformaci v laboratoři naměřených hodnot do parametrů pro návrh konstrukcí.

Po vytvoření této první pomůcky jako základního předpisu pro návrh se skupina zaměřila na metodiku navrhování a pracuje na TP FC 2-1 Technické podmínky 2: Navrhování vláknobetonových konstrukcí Část 1.

SOUČASNÝ STAV V PŘÍPRAVĚ NOREM PRO VLÁKNOBETON VE SVĚTĚ

Situace jinde ve světě je zřejmě obdobná. Japonská betonářská společnost vydala normu pro zkoušky v ohybu a určení ekvivalentní pevnosti v tahu za ohybu pro návrh.

Ve Spojených státech se vláknobetonem zabývá komise ACI 544. Výsledky práce uveřejňuje ve zprávách o vláknobetonu (Report on Fiber Reinforced Concrete). Poslední revize této zprávy vyšla v roce 2009. Zprávy popisují stav rozvoje vyztužování cementové matrice různými druhy vláken (ocelovými, skleněnými, syntetickými a přírodními), technologii přípravy směsi a návrh směsi, ukládání, povrchové úpravy a možné aplikace.

Mezi dokumenty vydávanými komisí ACI můžeme jmenovat „Měření vlastností vláknobetonu“ (Measurement of Properties of Fiber Reinforced Concrete). Tento dokument shrnuje existující postupy přípravy zkušebních těles a diskutuje zkoušení, zpracovatelnost, ohybovou pevnost, houževnatost, energetické charakteristiky a navrhuje některé nové zkoušky. Hodnotí možnosti použití zkoušek obsahu vzduchu, objemové hmotnosti, pevnosti v tlaku a příčném tahu, mrazuvzdornosti, smršťování, dotvarování, modulu pružnosti, pórovitosti, odolnosti proti opotřebení a obrusnosti pro vláknobeton.

Dalším dokumentem je Průvodce – specifikace, návrh, míchání, ukládání a úprava povrchu drátkobetonu (Guide for Specifying, Proportioning, Mixing, Placing, and Finishing Steel Fiber Reinforced Concrete).

EXISTUJÍCÍ NORMY

V předchozích odstavcích byly zmíněny vznikající normové předpisy a doporučení, která mají normy prozatím suplovat. Některé normy pro vláknobeton již existují; zmiňme se o nich alespoň v krátkém přehledu.

V systému evropských norem existují normy pro stříkaný beton (u nás s označením ČSN EN 14488). Části 3, 5 a 7 obsahují ustanovení, která se týkají vláknobetonu. Norma definuje, jak mají vypadat ohybové zkoušky a jak stanovit obsah vláken ve vláknobetonu.

Další normy se týkají specifikace vlivu vláken na ohybové pevnosti a zkoušení vláken (ČSN EN 14845-2 (723433) Zkušební metody pro vlákna do betonu, ČSN EN 14889-2 Vlák-

Literatura:

- [1] RILEM TC 162-TDF: Final recommendation of RILEM TC 162-TDF: Test and design methods for steel fibre reinforced concrete sigma-epsilon-design method
- [2] Vandewalle L.: Design Method for Steel Fibre Reinforced Concrete proposed by RILEM TC 162-TDF
- [3] Prisco M., Plizzari G., Vandewalle L.: Fibre reinforced concrete: new design perspectives, in Materials and Structures (2009)
- [4] <http://fib.epfl.ch/>
- [5] <http://www.rilem.net/>
- [6] Kolektiv autorů: TP FC 1-1 Vláknobeton – Část 1 Zkoušení vláknobetonu Vyhodnocení destruktivních zkoušek a stanovení charakteristického pracovního diagramu vláknobetonu pro navrhování vláknobetonových konstrukcí
- [7] ACI Committee 544: State-of-the-Art report on Fiber Reinforced Concrete, ACI Manual of Concrete Practice, 1990, Part 5, 22 pp.
- [8] ACI 544-1R-96: Design Considerations for Steel Fiber Reinforced Concrete
- [9] ACI 544-1R-96: Report on Fiber Reinforced Concrete

na do betonu; část 1 pro ocelová vlákna a část 2 pro polymerová vlákna).

Dále existují produktové normy výrobců drátku nebo jednotlivých prvků. Velmi dobře propracované jsou manuály pro návrh drátkobetonů firmy Bekaert pro drátky Dramix, které sestavili odborníci z belgických univerzit spolu s odborníky firmy. Příručka se opírá o Eurocode 2 a upravuje ho pro posouzení drátkobetonových konstrukcí. I další výrobci mají svá doporučení a pomůcky, zejména pro navrhování podlah.

ZÁVĚR

V předchozích odstavcích byly zmíněny existující normy pro vláknobeton, vznikající normové předpisy a doporučení, která mají normy prozatím nahrazovat. To, že zatím neexistuje norma pro navrhování konstrukcí z vláknobetonu, neznamená, že by dnes nebylo možné navrhnout kvalitní konstrukce nebo prvky z vláknobetonu. Velmi účelné je v případě materiálu se silně nelineárním chováním, jako je vláknobeton, využívat možností nelineárních výpočtů (numerické simulace se správně vybraným materiálovým modelem). Připomeňme zde, že Eurokód 2 použití nelineární analýzy připouští pro posouzení mezního stavu únosnosti i použitelnosti. Navrhování vláknobetonových prvků je obecně složitější než návrh z klasického betonu. Ale i se současnými znalostmi a nástroji je návrh konstrukce z vláknobetonu možný, o čemž svědčí mnohé příspěvky v tomto čísle časopisu.

Příspěvek vznikl za podpory VZ MSM 6840770001 a projektu GA ČR 103/09/1788.

Ing. Iva Broukalová, Ph.D.
Katedra betonových a zděných konstrukcí
Fakulta stavební ČVUT v Praze
Thákurova 7, 166 29 Praha 6
e-mail: iva.broukalova@fsv.cvut.cz
<http://concrete.fsv.cvut.cz/>



Text článku byl posouzen odborným lektorem.