

ZDOKONALENÉ NÁVRHOVÉ METODY PRO DRÁTKOBETON A NOVÁ METODOLOGIE OKAMŽITÉ KONTROLY KVALITY DESIGN METHODOLOGIES FOR STEEL-FIBRE-REINFORCED CONCRETE AND A NEW METHODOLOGY FOR A REAL TIME QUALITY CONTROL

TEXT Anne Hoekstra

Drátkobeton je materiál, který pokročil od menších aplikací až k použití v konstrukcích. Rozvoj v používání drátkobetonu je mimo jiné umožněn neustálým zdokonalováním vlastností drátků. V oblasti předpisů pro navrhování vývoj pokročil od návrhových doporučení ke stavebním normám s lineárními metodami pro návrh nebo navrhováním metodou lomových čar. Může se zdát, že jediné, co se zatím nezměnilo, je způsob kontroly kvality drátkobetonu. Tento článek chce ukázat současný vývoj v návrhových nástrojích, které umožňují návrh nelineárními metodami, a novou pokročilou metodu kontroly kvality v reálném čase.

Steel-fibre-reinforced concrete (SFRC) is a composite material which has developed over the years from small-scale applications to being used in large structures. The widening of the use of the steel-fibre-reinforced concrete reflects, apart from other factors, a continuing improvement of the properties of the steel fibres. Whilst in regards to standards, the development went from recommendations into building codes the way of designing – linear elastic design methods or yield line theory –, the way of quality control seemed to remain unchanged from the past. This paper shall emphasize the recent development in a design tool that enables a non-linear design methodology and a new advanced way of real time quality control.

Drátkobeton je kompozitní materiál, který má určitou tahovou pevnost i po vzniku trhliny. V posledním desetiletí se tento materiál stále více využívá pro konstrukční aplikace, např. základové desky, segmenty tunelových ostění, předpjaté trámy, nebo dokonce zdvihané desky. Podle konkrétní aplikace mohou být vlákna jediným vyztužením nebo jsou kombinována s klasickou betonářskou výztuží.

Pro výpočet odolnosti drátkobetonových konstrukcí se obvykle používalo teorie plasticity. Dnes už jsou v softwarech zabudované nelineární návrhové metody, které umožňují velmi přesný výpočet příspěvku drátků k celkové únosnosti. Optimalizované návrhové metody a vzrůstající používání drátkobetonu v konstrukčních aplikacích zvyšují potřebu kontroly jeho kvality. Zkoušky trámů jsou jednou z možností pro ověření chování drátkobetonových prvků, ale pro jejich náročnost a rozptýlené výsledky nejsou vždy vhodné. Proto byly vyvinuty alternativní metody, které jsou založené na kombinaci počátečního zkoušení

trámů a kontroly výrobního procesu. Jedním z hlavních záměrů tohoto článku je představit jedno z možných řešení pro měření typu, množství a rozmístění vláken v celém obsahu autodomíchávače.

Vývoj materiálu

Drátky zvyšují duktilitu betonu tím, že přemostují trhlinu a přenášejí tahová napětí v zónách s trhlinami. Vylepšené působení drátků se projevilo v záměru zahrnout drátkobeton do Eurododu 2 a vznikajících národních norem mezi konstrukčními materiály. Chování drátkobetonu ovlivňuje mnoho různých parametrů: tahová pevnost, tvar a duktilita drátků a dávkování a kvalita betonu. Např. drátky Dramix skupiny 4D a 5D jsou navrženy speciálně pro vyztužení konstrukčních prvků. Hlavní rozdíl mezi skupinou 4D/5D a skupinou 3D je ve výrazně lepším chování v mezním stavu použitelnosti (4D) a mezním stavu únosnosti (5D). Klíčem k vylepšenému chování jsou speciální typ kotvení (násobný koncový hák), vyšší pevnost (až 2 200 MPa) a vyšší

tažnost drátků (až 7% protažení). Pevnost v tahu drátku se musí zvyšovat souběžně s pevností jeho ukotvení. Pouze tak může drátek odolávat silám, které na něj působí. (obr. 1 a 2)

Vývoj norem a směrnic

Drátkobeton byl v posledních 40 letech předmětem mnoha výzkumů a spolu s rozšiřováním poznatků byly postupně vyvíjeny normy a směrnice týkající se tohoto materiálu (obr. 3).

Na začátku 80. let byly pro zkoušení drátkobetonu zavedeny a široce používány normy JSCE-SF4 a ASTM C1018. Chování drátkobetonu bylo popsáno jako „ohybová houževnatost“ a reprezentovalo disipaci energie. V současnosti je v Evropě pro zkoušení ponejvíce využívána EN 14651, která je široce přijímaná i mimo Evropu. Chování drátkobetonu za ohybu je vyjádřeno přímo v napětích po vzniku trhlin pro příslušné rozevření trhliny.

První návrhová směrnice Dramix Design Guideline, která byla publikována v roce 1995, obsahovala první základní pravidla pro navrhování

drátkobetonových konstrukcí. Tento dokument byl výsledkem spolupráce mezi společnostmi Bekaert, belgickými univerzitami KULeuven a UGent a belgickým stavebním výzkumným ústavem WTCB.

Podrobnější výzkum provedla skupina mezinárodních univerzit sdružených pod hlavičkou RILEM (RILEM TC 162-TDF, 2003) [5]. Tato spolupráce vyústila ve vypracování zkušebních a návrhových metod plně podložených teorií a experimenty. V roce 2008 byly drátky zahrnuty mezi konstrukční prvky pro přenášení smykových sil v betonových prvcích v americké normě ACI 318 a národní návrhové směrnice a/nebo normy postupně zveřejňovaly i další země (např. Německo, Švédsko a Itálie), často jako přílohu k EN 1992-1-1.

Nového mezníku bylo dosaženo v roce 2014 zveřejněním konečné verze Model Code 2010, aktuální směrnice pro navrhování betonu, kde jsou ocelová vlákna plně začleňována. Tato směrnice byla také podnětem pro založení pracovní skupiny

TC 250/SC2/WG1/TG2 (CEN), která pracuje na integraci ocelových vláken do budoucí EN 1992-1-1.

Návrhové přístupy a vývoj softwaru

V existujících normách jsou jako základ pro návrh uváděny konstituční vztahy pro drátkobeton. Výsledky zkoušek jsou použity pro odvození odolnosti průřezu na základě pracovního diagramu. Takto lze spočítat odolnost jakéhokoliv průřezu.

Softwarové nástroje dosud dokázaly určit odolnost průřezu v ohybu, smyku, protlačení, ale výpočet šířky trhlin dořešen nebyl. Dnes jsou pro navrhování k dispozici nástroje vylepšené.

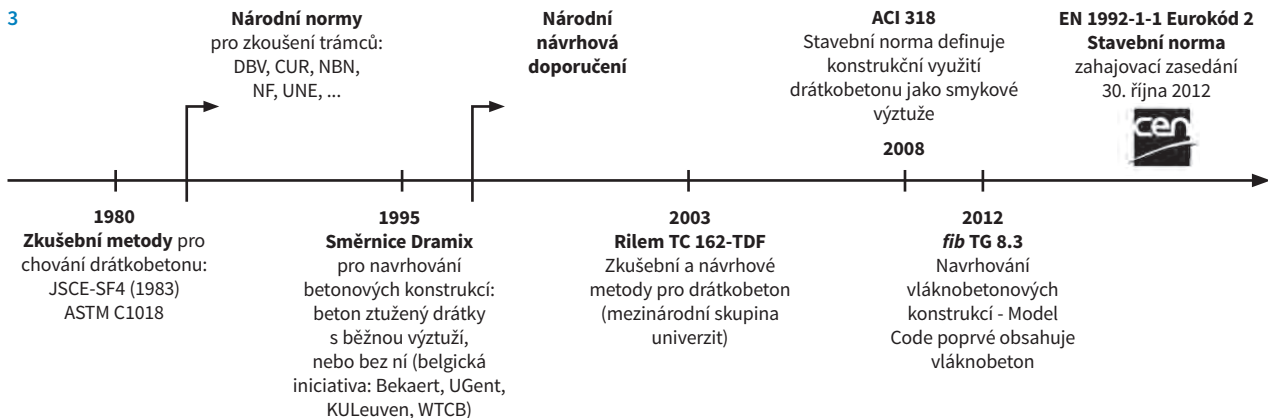
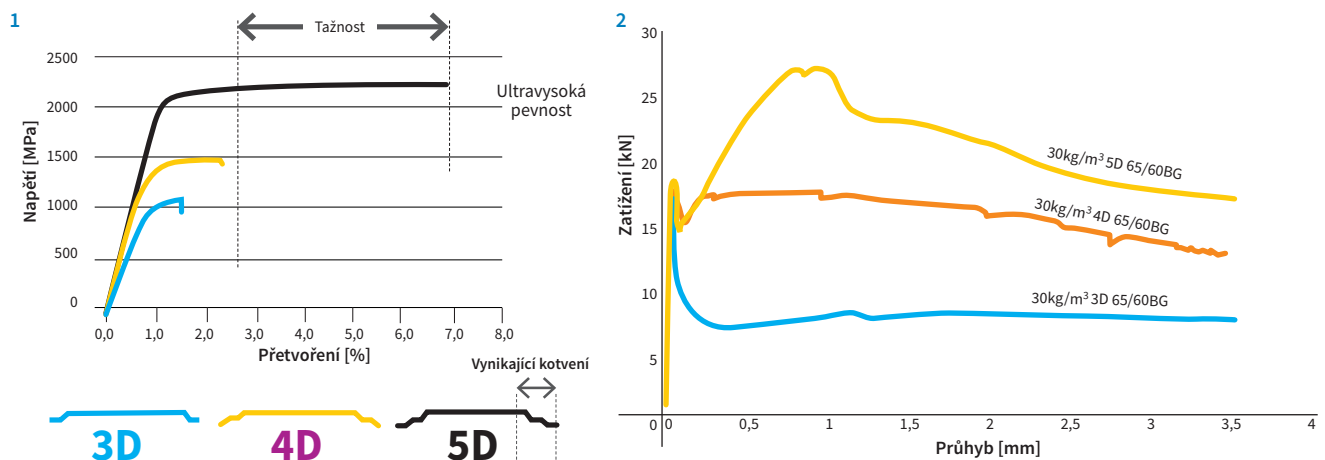
Ohybová únosnost

Únosnost drátkobetonového průřezu v ohybu lze spočítat pro průřez zatížený momentem nebo kombinací momentu a normálové síly na základě následujících předpokladů:

- rovinný průřez zůstane rovinný,
- průběh napětí odpovídá průběhu přetvoření.

1 Tahová pevnost a přetvoření různých typů drátků **2** Záznamy ohybových zkoušek s dávkou 30 kg drátků/m³; drátky typu 3D a 4D s tahovým změkčením, drátky typu 5D s tahovým zpevněním **3** Vývoj zkušebních a návrhových norem pro drátkobeton od roku 1980

1 Yield strength and strain capacity of steel fibres of different types **2** Results of bending tests on SFRC with a dosage of 30 kg/m³; using steel fibres of 3D and 4D types with strain-softening behaviour, and 5D steel fibres with strain-hardening behaviour **3** Evolution of SFRC testing and standards for structural design from 1980



Pro výpočet ohybové kapacity průřezu je třeba stanovit statickou rovnováhu. Obr. 5 schematicky znázorňuje vztah mezi napětím a přetvořením.

Ohybovou kapacitu drátkobetonového průřezu nebo průřezu s kombinovanou výztuží lze vypočítat např. s výpočtním nástrojem Dramix Pro Moment Capacity.

Únosnost ve smyku a v protlačení

Účinek ocelových vláken na únosnost ve smyku a v protlačení je zohledněn dalším členem ve vztahu pro výpočet únosnosti. Ocelová vlákna působí jako smyková výztuž v celém průřezu, přičemž smyková odolnost prvku se zvyšuje v závislosti na účinnosti použitých drátků, což může vést k významné redukci nebo úplné eliminaci konvenční smykové výztuže. Publikace [3] zohledňuje zvýšenou smykovou únosnost drátkobetonu zavedením dalšího členu $V_{Rd,cf}$ do rovnic pro konvenční výpočet smykové únosnosti:

$$V_{Rd,c}^f = V_{Rd,c} + V_{Rd,cf} \quad (1)$$

(bez konvenční smykové výztuže) a

$$V_{Rd,s}^f = V_{Rd,s} + V_{Rd,cf} \leq V_{Rd,max} \quad (2)$$

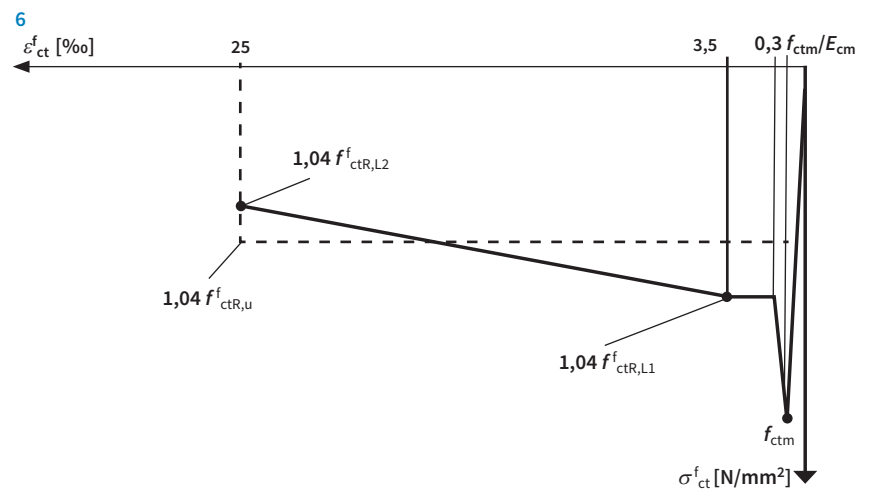
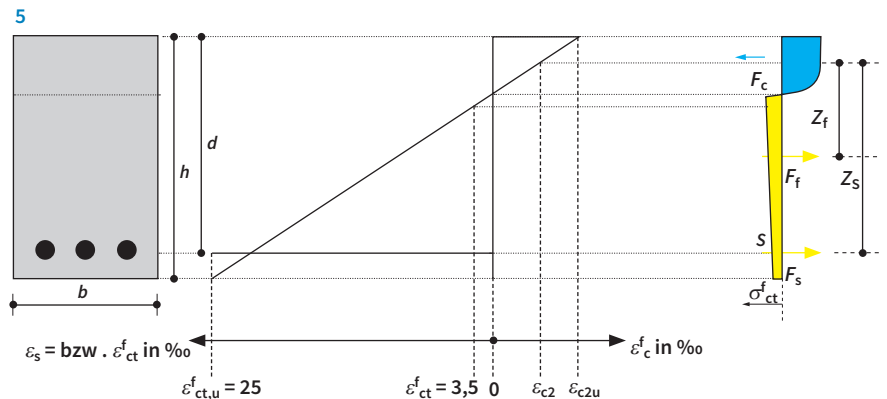
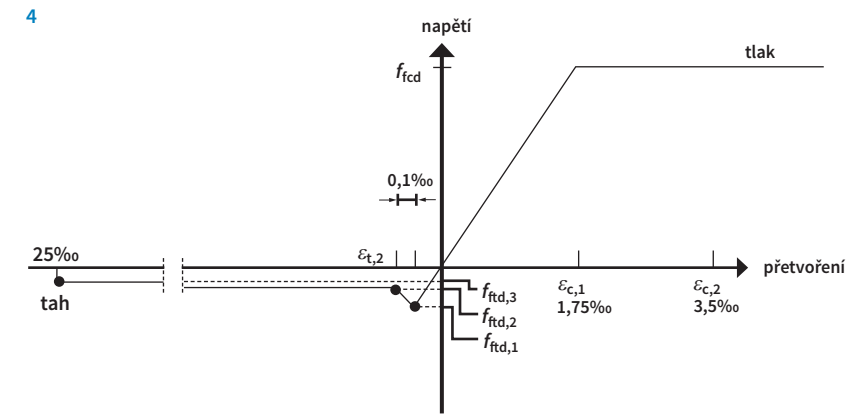
(s konvenční smykovou výztuží),

kde $V_{Rd,c}$ je návrhová únosnost ve smyku prvku bez smykové výztuže definovaná v ČSN EN 1992-1-1, $V_{Rd,s}$ návrhová hodnota posouvající síly, kterou může převzít smyková výztuž na mezi kluzu, jak je definováno v ČSN EN 1992-1-1, kde $V_{Rd,cf}$ vyjadřuje příspěvek vláken ke smykové únosnosti, $V_{Rd,max}$ návrhová hodnota maximální posouvající síly, kterou prvek může přenést, omezená rozdrcením tlakových diagonál, jak je definováno v ČSN EN 1992-1-1.

Pro výpočet únosnosti průřezu ve smyku nebo protlačení lze kromě jiných použít nástroj Dramix Pro Shear Capacity.

Výpočet šířky trhlin

Návrh z hlediska vzniku a rozvoje trhlin odpovídá metodě pro železobeton uvedené v EN 1992-1-1 [4]. Německá příručka pro navrhování drátkobetonu DAStb-Richtlinie upravuje vztahy z [4] o vliv tahové pevnosti drátkobetonu po vzniku trhliny. To se provádí zave-



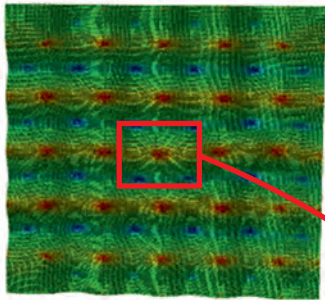
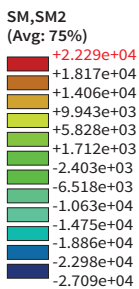
dením součinitele α_f jako poměru pevnosti v tahu po vzniku trhliny ku pevnosti v tahu v okamžiku vzniku první trhliny. Podstatou je, že v důsledku zvyšující se pevnosti po vzniku trhliny se síla působící při vzniku trhliny snižuje. Vzhledem k tomu přenáší podélná výztuž do betonu pouze menší sílu. Napětí v betonářské výztuži, stejně jako požadovaná přenášeční délka, jsou menší.

$$W_k = S_{r,max} \cdot (\epsilon_{sm}^f - \epsilon_{cm}), \quad (3)$$

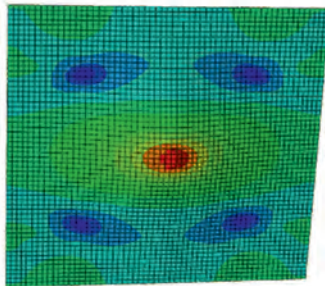
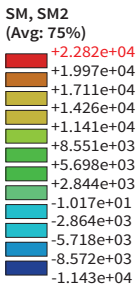
$$S_{r,max} = (1 - \alpha_f) \cdot \frac{d_s}{3,6 \cdot \rho_{p,eff}} \leq (1 - \alpha_f) \cdot \frac{\sigma_s \cdot d_s}{3,6 \cdot f_{ct,eff}} \quad (4)$$

$$\epsilon_{sm}^f - \epsilon_{cm} = \frac{(1 - \alpha_f) \cdot (\sigma_s - 0,4 \cdot \frac{f_{ct,eff}}{\rho_{p,eff}})}{E_s} \geq 0,6 \cdot (1 - \alpha_f) \cdot \frac{\sigma_s}{E_s}, \quad (5)$$

kde w_k je šířka trhlin, $S_{r,max}$ maximální vzdálenost trhlin stanovená podle vztahu (4), $\epsilon_{sm}^f - \epsilon_{cm}$ se vypočítá ze vztahu (5), α_f je poměr pevnosti v tahu po vzniku trhliny ku pevnosti v tahu v okamžiku vzniku první trhliny, σ_s napětí v tahové výztuži stanovené v průřezu porušeném trhlinou, $f_{ct,eff}$ střední hodnota pevnosti betonu v tahu v okamžiku prvního očekávaného vzniku trhlin, $\rho_{p,eff}$ se uvažuje stejně jako v ČSN EN 1992-1-1 a E_s je modul pružnosti betonářské výztuže.



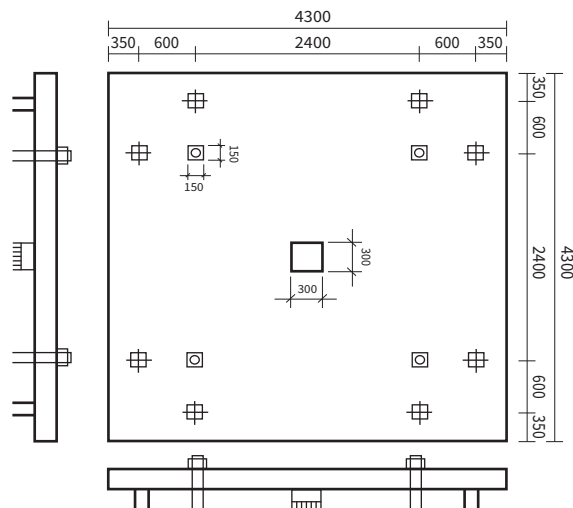
Design calc.
Non-linear FEM



Full scale
specimen

$$\delta = \frac{22820 - 22290}{22290} = +2,38 \%$$

7



Použití drátků může významně snížit požadované množství betonářské výztuže. Definováním normalizovaného poměru α_f odvozeného z 28denních pevností a jeho následným vynásobením $f_{ct,eff}$ je vliv drátků v betonu zohledněn ve stáří betonu běžně uvažovaném při navrhování.

Pro výpočet střední hodnoty šířky trhlin za zvolených podmínek lze použít např. nástroj Dramix Pro Combi Slab.

Vývoj softwaru

V současnosti jsou pro drátkobeton k dispozici softwarové nástroje založené na programech Microsoft Excel pro konstrukční prvky jako podlaha, deska na pilotách, základová deska; tyto softwarové nástroje jsou dále rozvíjeny.

Ve spolupráci společností Scia a Bekaert bylo dosaženo nového milníku v oblasti integrace drátkobetonu do softwarových nástrojů. Drátkobeton je integrován do výpočtu metodou konečných prvků, která umožňuje navrhnout beton vyztužený pouze drátky nebo s kombinovanou výztuží metodou lineárně pružnou i nelineární. Tato novinka poskytuje projektantovi možnost rychlého návrhu prvku pouze s drátky nebo prvku s kombinací drátků a tradiční betonářské výztuže. Metodika nelineárního návrhu je dána v EN 1992-1-1 a je vhodná pro návrh drátkobetonu, protože vystihuje jeho chování. (obr. 6)

Nelineární navrhování je komplexní a podrobná metoda návrhu, která popisuje celkové chování betonového prvku s ohledem na změnu tuhosti v každém deformačním stavu a pro každé rozvětvení trhliny u jakéhokoli povrchu betonového prvku, což umožňuje simulovat skutečné chování materiálu v různých stadiích trhliny. Tento způsob návrhu vyžaduje důkladné ověření a prokázání správnosti výsledků stanovených danou metodikou. Na obr. 7 je znázorněno srovnání výsledků zkoušky ve skutečném měřítku a nelineárního softwarového výpočtu; deska byla odpovídajícím způsobem zatížena a byly sledovány a vyhodnoceny napětí a trhliny. Pouhých 2,38% rozdílu mezi výsledky prokazují extrémně vysokou shodu mezi zkouškou a výpočtem, optimalizací problému a dobrý popis skutečného chování materiálu.

Systém řízení kvality pro drátkobeton

Lze rozlišit dva hlavní přístupy ke kontrole kvality drátkobetonu:

- přímé ověření zbytkové pevnosti pomocí zkoušek,
- nepřímé ověření zbytkové pevnosti řízením procesu výroby.

Ověření reziduální pevnosti pomocí zkoušek trámců

Jedním ze způsobů, jak zkontrolovat reziduální pevnost dodávaného drát-

kobetonu, je zkouška trámce. In situ je vyroben definovaný počet vzorků v definované frekvenci odběru vzorků. Reziduální pevnost se stanoví v laboratoři později, obvykle ve stáří 28 dnů (obr. 8). Výsledky zkoušek pak mohou být porovnány se stanovenými limity a tolerancemi.

4 Pracovní diagram drátkobetonu (návrhové hodnoty pevnosti) 5 Statická rovnováha ohýbaného průřezu 6 Pracovní diagram pro nelineární výpočet uvedený v [3] 7 Porovnání zkoušky ve skutečném měřítku a nelineárního výpočtu drátkobetonu v programu Scia

4 Stress-strain diagram of steel-fibre-reinforced concrete (based on design values of strength)

5 Static equilibrium of the cross section under bending

6 Stress-strain diagram for a non-linear analysis as proposed in [3]

7 Comparison of the full scale test results on SFRC with those predicted by the Scia non-linear design methodology

kobetonu, je zkouška trámce. In situ je vyroben definovaný počet vzorků v definované frekvenci odběru vzorků. Reziduální pevnost se stanoví v laboratoři později, obvykle ve stáří 28 dnů (obr. 8). Výsledky zkoušek pak mohou být porovnány se stanovenými limity a tolerancemi.

V příkladu prezentovaném na obr. 8 bylo z autodomíhávače pro každou z pěti sérií náhodně odebrán beton pro devět trámců. Reziduální pevnost v ohybu byla stanovena v souladu s EN 14651. Při porovnání jednotlivých hodnot f_{R4} (kroužek) se stanovenými minimálními hodnotami (přerušovaná čára) všechny vzorky vyhovují specifikovanému minimu (v tomto případě) 1,5 N/mm. Alternativně by mohly být průměrné hodnoty každé série (plná tečka) porovnány se specifikovanou průměrnou hodnotou (plná

čára). V takovém případě by série 5 nesplnila požadavek (v tomto případě) 2,5 N/mm a byla by vyžadována nápravná opatření.

Ověření reziduální pevnosti založené na kontrole výrobního procesu

Dalším způsobem, jak zajistit, aby reziduální pevnost dodávaného drátkobetonu odpovídala specifikované reziduální pevnosti, je kombinace počátečních zkoušek požadovaného typu drátkobetonu (ITT – initial type testing) a kontroly výrobního procesu.

Tento koncept je již uveden v [3], což je národní příloha k EN 1992-1-1 na úrovni normy pro navrhování a provádění drátkobetonových konstrukcí. Koncepte kontroly výrobního procesu předpokládá, že pro stejný návrh směsi se reziduální pevnost nezmění, pokud jsou použity stejné složky, záměs je správně namíchána, pevnost v tlaku je ve stanovených mezích a pokud je použito správné množství správného typu drátků, které jsou rovnoměrně rozptýlené. Od této chvíle se konkrétní složení směsi a její složky již nemění a pozornost se zaměří na řízení procesu od kontroly složek drátkobetonu k dodání na stavbu. Správný typ vlákna lze snad-



9

no identifikovat pomocí dodacích papírů a štítků kvality. Správné dávkování může být zajištěno pomocí automatických dávkovacích systémů nebo počítačového počtu požadovaných balení. Nakonec musí být ověřeno, že drátky jsou v betonu rozptýlené rovnoměrně. K ověření rovnoměrného rozptýlení drátků vláken lze použít rozplavovací testy. Publikace [3] předepisuje odebrat tři vzorky z celého množství betonu, každý o objemu asi 10 l. Jednotlivé vzorky by neměly obsahovat méně než 80% specifikované dávky drátků, průměr by neměl být menší než 85% specifikovaných hodnot. V tab. 1 jsou uvedeny výsledky rozplavovací zkoušky získané ze šesti různých plně naložených autodomíchávačů. Všechny výsledky odpoví-

dají limitu pro průměrné hodnoty (-15%). Třetí vzorek vozidla 1 však nesplňuje daný limit (-20%). V tomto případě lze v okamžiku zjištění výsledků vozidla 1 zahájit nápravná opatření.

Metody pro stanovení rovnoměrnosti rozptýlení drátků v čerstvé směsi

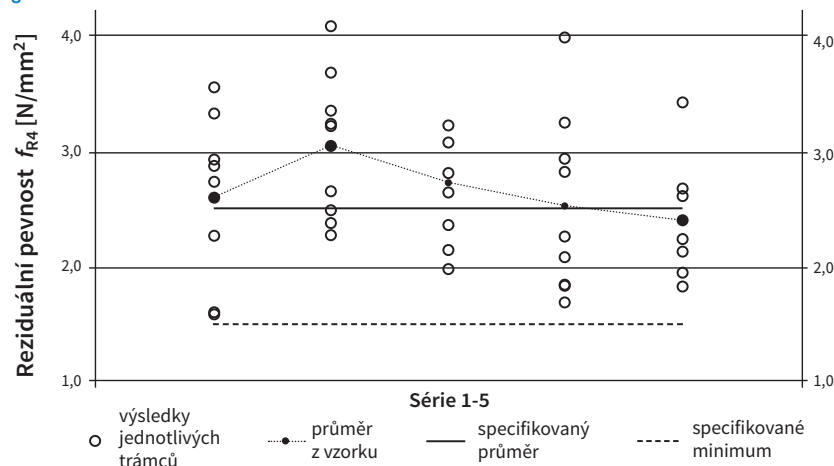
Pro kvalitu drátkobetonu platí, že rozhodující je rovnoměrnost rozptýlení drátků. V čerstvém betonu ji lze stanovit pomocí rozplavovací zkoušky, která je zavedenou a snadno proveditelnou metodou pro stanovení množství a rozmístění drátků. Výsledky mohou být k dispozici během několika hodin. Zkouška je implementována v normách, jako jsou EN 206-1 / EN 14721 a [3]. Vzhledem k tomu, že je tato metodika zavedena a uplatňována již dlouho, další podrobnosti nejsou v tomto článku uváděny.

Rozplavovací testy se provádějí poměrně jednoduše, avšak i přes veškeré vynaložené úsilí lze vyhodnotit pouze malý objem drátkobetonu. A navíc jistou dobu trvá, než se zjistí potenciální nutnost nápravných opatření. Je zřejmé, že rozplavování může poskytnout pouze částečný obraz skutečného stavu.

8 Výsledky odběru vzorků in situ 9 Systém EyeD připojený ke skluzu autodomíchávače 10 Výsledky měření přístrojem EyeD: a) rovnoměrné rozptýlení drátků, b) nerovnoměrné rozptýlení drátků způsobené nedostatečně dlouhým mícháním

8 Results of tests carried out on samples taken in-situ 9 The EyeD system attached to the chute of a truck mixer 10 EyeD measurement results: a) a homogeneous fibre distribution, b) an inhomogeneous fibre distribution due to an insufficient mixing time

8

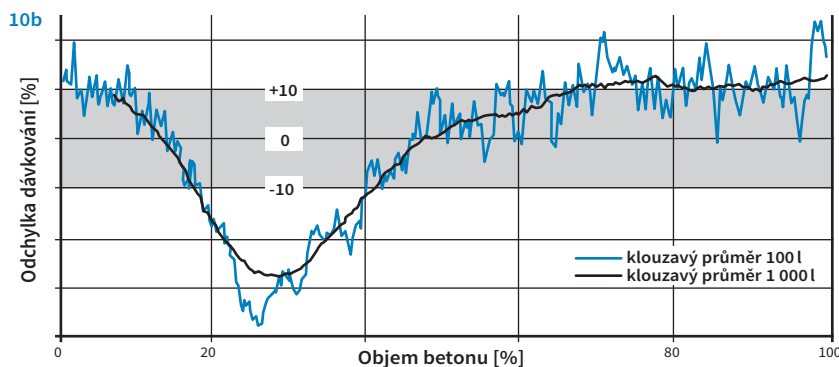
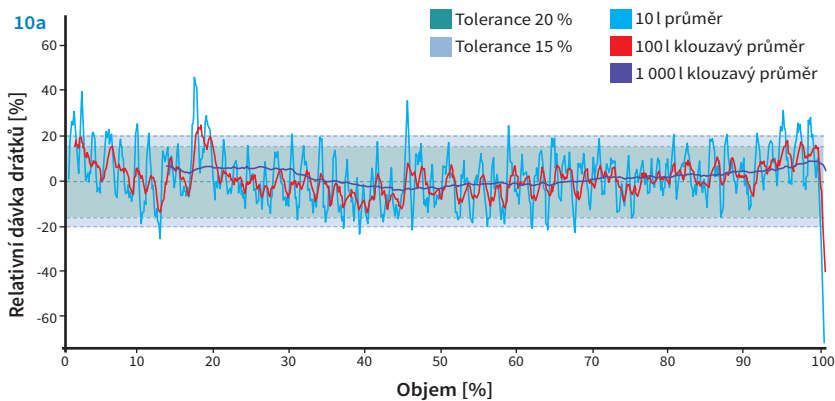


Tab. 1 Výsledky rozplavovacích testů
Tab. 1 Results of the wash-out tests

| Vozidlo | $m_{f,1}$ [%] | $m_{f,2}$ [%] | $m_{f,2}$ [%] | $m_{f,průměr}$ [%] |
|-----------|---------------|---------------|---------------|--------------------|
| vozidlo 1 | 13 | 4 | -26 | -3 |
| vozidlo 2 | 3 | -17 | 26 | 4 |
| vozidlo 3 | 9 | -11 | 0 | -1 |
| vozidlo 4 | -12 | -4 | 1 | -5 |
| vozidlo 5 | 9 | -2 | 10 | 6 |
| vozidlo 6 | 16 | -10 | 6 | 4 |

Literatura:

[1] fib Model Code for Concrete Structures 2010. Lausanne, Switzerland: International Federation for Structural Concrete, 2013.
 [2] EN 14651. Test method for metallic fibre concrete – Measuring the flexural tensile strength (limit of proportionality (LOP), residual). European Committee for Standardization (CEN), 2005.
 [3] DAfStb Richtlinie. Stahlfaserbeton. Berlin, Germany: German Committee for Structural Concrete (DAfStb), 2012.
 [4] EN 1992-1-1. Eurocode 2: Design of concrete structures – Part 1-1: General rules and rules for buildings. European Committee for Standardization (CEN), 2003.
 [5] Rilem TC162-TDF. Test and design methods for steel fibre reinforced concrete. 2003.
 [6] LOSBERG, A. Design Methods for Structurally Reinforced Concrete Pavements. Chalmers University, 1961.
 [7] KENNEDY, G., GOODCHILD, C. H. 2004 Practical Yield Line Design. The Concrete Centre, September 2004.
 [8] VITT, G. Real time quality control system for steel fibre concrete. Bekaert channel. In: Youtube [online]. Dostupné z: www.youtube.com/watch?time_continue=1&v=8vRzTVUPdHY&feature=emb_title



Nový systém řízení kvality pro drátkobeton – kontrola kvality v reálném čase

Ve stavebním průmyslu jsou výrobní procesy optimalizovány a výroba i provádění jsou kontrolovány inteligentními systémy. V tomto kontextu lze zkoušky trámů nebo rozplavovací testy stěží zahrnout do inteligentního procesu řízení. Rozlišovací schopnost těchto testů je malá a nelze získat okamžité výsledky. Automatizovaný systém řízení kvality v reálném čase by byl ideálním řešením jak z hlediska integrace procesů, tak z hlediska zajištění kvality.

Společnost Bekaert vyvinula měřicí zařízení EyeD, které:

- umožňuje kontrolu kvality drátkobetonu v reálném čase,
- lze nakonfigurovat tak, aby byl určen typ drátků, jejich množství a rozmístění,
- může být napojeno na procesy výroby a kontroly kvality,
- pracuje ponejvíce automaticky,
- umožňuje vzdálený přístup k výsledkům.

Zařízení je propojeno s autodomícháčem (obr. 9) pomocí nastavitelného rozhraní a mělo by být kompatibilní se všemi hlavními typy autodomícháčů.

Proud betonu je průběžně sledován pomocí běžných ultrazvukových senzorů a speciálně vyvinutých senzorů rychlosti. Změny elektromagnetické odezvy drátků jsou měřeny a vyneseny do grafu jako odchylka od střední hodnoty. Výsledky jsou přístupné okamžitě po ukončení vykládky. Kontrolu výsledků lze provést pomocí jakéhokoli zařízení podporujícího wifi přímo na staveništi. Zařízení je navíc vybaveno modulem GSM, který přenáší data na centrální server a je přístupný z jakéhokoli zařízení připojeného k internetu. EyeD poskytuje okamžitá kvalitní data v reálném čase a případná nápravná opatření mohou být provedena bez prodlení.

Výsledky měření

Pomocí zařízení EyeD již bylo kontrolováno více než 100 autodomícháčů. Graf na obr. 10a ukazuje typický příklad homogenní směsi (vyjádřeno v relativních hodnotách pro dávku drátků i pro objem betonu).

Naměřená data mohou být zpracována tak, aby odpovídala různým velikostem vzorku. Klouzavé průměry např. 100 litrů a 1 000 litrů umožňují lepší interpretaci rozptýlení drátků. Graf na obr. 10b ukazuje nedostatečné roz-

ptýlení drátků, kdy byly drátky dávkovány přímo do autodomícháče pomocí dopravního pásu, avšak nebyla splněna doba dodatečného míchání po přidání drátků a nebylo provedeno ani přemíchání drátkobetonu před jeho ukládáním.

Interpretace výsledků

Systém EyeD umožňuje úplný a podrobný monitoring rozmístění drátků v celém nákladu autodomícháče a je tedy možné posoudit homogenitu celého objemu betonu. Lze identifikovat vrcholy a trendy záznamu. Na základě dosud provedených měření pomocí systému EyeD se zdá, že klouzavý průměr 100 litrů a klouzavý průměr 1 000 litrů umožňují vhodnější posouzení homogenity než posouzení pomocí rozplavovacích testů.

Souhrn

Systém EyeD umožňuje úplné stanovení typu, množství a rozptýlení drátků v drátkobetonu. Měřicí zařízení se připojuje ke skluzu autodomícháče, takže je možné vyhodnotit celý náklad. Výsledky jsou dodány téměř okamžitě, jakmile je dokončeno vyložení autodomícháče. K výsledkům je možný přístup přes wifi nebo internet, je tedy možné okamžitě zjednat nápravu, když naměřené hodnoty neodpovídají specifikovaným limitům.

Závěry

Drátkobeton je materiál, který pokročil od menších aplikací až k použití v konstrukcích jako beton pouze s rozptýlenou výztuží nebo s výztuží kombinovanou. Pokyny a doporučení pro jeho navrhování a používání se promítly do národních norem a kódů, v příští verzi Eurokódu 2 má být drátkobeton specifikován jako konstrukční materiál. V současné chvíli se pracuje na zlepšování metod a nástrojů pro navrhování a také se bude dále rozvíjet inteligentní kontrola kvality.



Anne Hoekstra
N.V. Bekaert S.A.
anne.hoekstra@bekaert.com

Redakce děkuje doc. Ing. Ivě Broukalové, Ph.D. za překlad článku.