

PŘEDPJATÉ BETONOVÉ DÍLCE ZE SAMOZHUTŇUJÍCÍHO BETONU BEZ BĚŽNÉ BETONÁŘSKÉ VÝZTUŽE ZESÍLENÉ ROZPTÝLENOU OCELOVOU VÝZTUŽÍ

PRESTRESSED CONCRETE UNITS FROM SELF-COMPACTING
 CONCRETE WITHOUT COMMON REINFORCEMENT STRENGTHENED
 BY STEEL FIBRE REINFORCEMENT

CLAUS-PETER STROBACH,
 VOJTĚCH PETŘÍK,
 JENS PETER GRUNERT,
 HELMUT KURTH

Článek se nejprve zabývá technologickými aspekty a materiálovými parametry samozhutňujících betonů a vláknobetonů. Jsou uvedeny výsledky zkoušek různých druhů vláken a zkušebních těles a dále čtyř předpjatých vláknobetonových vazníků skutečných velikostí zatěžovaných na mez únosnosti. Současně jsou analyzovány vlivy vnějšího prostředí. Výsledky prokazují proveditelnost, hospodárnost a další výhody předpjatých vláknobetonových konstrukčních prvků.

Technological aspects and material parameters of self-compacting and fibre reinforced concretes are discussed. Test results of various types of fibres and structural performance of experimental specimens are presented. Four prestressed fibre reinforced girders of real dimensions were tested up to ultimate load state. Influence of environmental conditions was analysed, too. Feasibility, economy and other advantages of prestressed fibre reinforced girders have been proved.

Firma Max Bögl vyvinula společně s Technickou Universitou v Braunschweigu, Německo, předpjaté betonové dílce ze samozhutňujícího betonu (SCC – Self-compacting Concrete) s příměsí ocelových drátků. Cílem projektu bylo vyloučit betonářskou výztuž, a tím zjednodušit technologii výroby. Vývoj probíhal ve spolupráci s Oddělením betonových a zděných konstrukcí Institutu pro stavební materiály, nosné konstrukce a požární ochranu (iBMB – Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz). Výpočty a zkoušky provedené v iBMB byla potvrzena únosnost prvků vyrobených touto inovativní a úspornou metodou. V Německu byly prefabrikované dílce

z předpjatého samozhutňujícího drátkobetonu poprvé použity ve velkém stavebním projektu počátkem roku 2004, pro další rozsáhlý projekt je již uděleno potřebné povolení.

SAMOZHUTŇUJÍCÍ BETON

SCC se v čerstvém stavu vyznačuje speciálními vlastnostmi jako vynikající tekutostí a schopností samoodvzdušnění. Při jeho aplikaci není další zhutňování, např. ponomými vibrátory, zapotřebí. SCC dokonale vyplní prostor kolem výztuže a sám se vlivem vlastní tíhy znižuje [9]. V Japonsku se ve stavební praxi používá od roku 1991 a v poslední době získává na významu také v Německu. Již překonaná norma DIN 1045/1988 [1] neumožňuje použití SCC, neboť jeho konzistence neodpovídá předepsaným třídám, množstvím jemných příměsí ve směsi překračuje dané hodnoty a doporučené hutnění odpadá. Nová DIN 1045/2001 [2] tato omezení částečně upravila ve prospěch SCC, konkrétní ustanovení nicméně neobsahuje. Z těchto důvodů byla již v červnu 2001 uveřejněna směrnice [3] DAfStb (*Deutscher Ausschuss für Stahlbeton* – Výbor pro železobeton Německého normalizačního institutu) jako příslušný doplněk k DIN 1045/1988. Předpokládá se, že tato směrnice bude v roce 2005 schválena jako závazná stavební norma. Do té doby podléhá použití SCC speciálnímu schvalovacímu procesu, který je nutný pro všechny normami neregulované materiály či technologie.

Během procesu schvalování speciální normy pro SCC byly ověřeny jeho pevnostní a deformační charakteristiky, např. modul pružnosti, chování při dotvarování a smršťování a také soudržnost s předpínací a betonářskou ocelí. Při porovnání uvedených vlastností SCC s vlastnostmi betonu podle DIN [2] nebyly prokázány žádné rozdíly.

SCC se skládá, kromě klasických složek cementu, kameniva a vody, z přísad vysoce účinných plastifikátorů a jemných

příměsí. Vysoký obsah velice jemně mletých příměsí způsobuje, že směs dobře drží vodu, neomezuje se její pohyblivost a nedochází k segregaci hrubého kameniva.

SCC se hodí pro výrobu prefabrikátů [4] především z těchto důvodů:

- dodatečné úpravy povrchu prefabrikátů po odformování nejsou zpravidla nutné, neboť počet neprobetonovaných hnízd, popř. vzduchových bublin je zanedbatelný,
- probarvení betonu je zřetelně rovnoměrnější, SCC je možno doporučit v případech, kdy je požadována vysoká kvalita povrchů pohledových betonů,
- snížení hladiny hluku a vibrací při betonáři, neboť mechanické hutnění není nutné.

BETON S ROZPTÝLENOU VÝZTUŽÍ

Vláknobeton je zastřešujícím názvem pro kompozitní materiály na bázi betonu s náhodně rozptýlenými vlákny v matrici. Nejčastěji používaným ocelovým vláknem se říká drátky a beton s rozptýlenými drátky se pak nazývá drátkobeton.

Navrhování konstrukcí z drátkobetonu a technologie jeho výroby není v Německu dosud dána normou nebo směrnicí. DBV (*Deutscher Betonverein* – Německý betonářský spolek) sice zveřejnil řadu návodů (tzv. *Merkblatt*) k výpočtu drátkobetonových konstrukcí či jeho použití (např. [6]), tyto návody ale nemají charakter normy a jsou chápány pouze jako doporučení. Proto by měla každá konstrukce, ve které drátkobeton plní nosnou funkci (redukuje staticky nutnou výztuž), mít buď obecně platné typové povolení (*Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung*) či povolení udělené pro speciální případ (*Zustimmung im Einzelfall*). Tato povolení jsou udělována buď Zemským stavebním úřadem (*Oberste Baubehörde*) nebo Německým ústavem pro stavební techniku (*Deutsches Institut für Bautechnik* – DIBt).

DAfStb v současné době připravuje

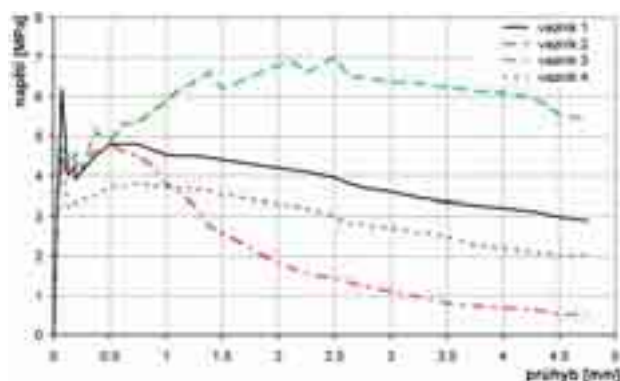
směrnici (*Richtlinie*) [5], která bude po uvedení do stavební praxe sloužit uživatelům jako pomůcka pro navrhování libovolných konstrukcí z drátkobetonu. Tato směrnice bude mít charakter normy.

Zkušební zkušenosti ukazují, že použitím drátkobetonu je možné do značné míry zlepšit užité vlastnosti konstrukce či konstrukčního prvku. Míra zvýšení únosnosti je ovšem závislá na mnoha faktorech. Např. u poddajně uložených nosných deskových konstrukcí lze použitím drátkobetonu s objemových podílem drátků běžným v praxi zvýšit únosnost velmi efektivně [10], v případě prutových prvků je zvýšení únosnosti v ohybu obecně též možné, velmi pozoruhodné je však zvýšení smykové únosnosti.

Protože běžné drátkobetonové výrobky vykazují quasi-plastické chování, jinými slovy po dosažení pevnosti v tahu při vzniku trhliny je funkce $\sigma(\epsilon)$ pozvolna klesající (tension softening), je ve většině případů staticky určitých, převážně na ohyb namáhaných systémů, nutné část tahových namáhání převzít betonářskou výztuží nebo předpětím. I tak je však možné použitím drátkobetonu redukovat staticky nutnou výztuž v porovnání s čistě železobetonovou konstrukcí, přičemž intenzita této redukce je funkcí výšky tažené části průřezu, třídy drátkobetonu (schopnosti přenášet v trhlíně tahová napětí) a staticky nutného stupně vyztužení původní železobetonové konstrukce. Při použití drátkobetonu ve staticky mnohonásobně neurčitých konstrukcích, jako např. v poddajně uložených deskách, kde lze uvážit přerozdělení napětí, je ovšem možné betonářskou výztuž zcela vyloučit, popřípadě ji použít pouze lokálně.

Obr. 1 Závislost napětí – průhyb použitých drátkobetonů

Fig. 1 Stress – deflection relation of used types of fibre reinforced concrete



Rosenbusch [7] také prokázal, že použitím drátkobetonu lze velmi efektivně docílit zvýšení smykové únosnosti natolik, že je v mnoha případech možné smykovou výztuž zcela vynechat.

Tyto skutečnosti byly pro firmu Max Bögl podnětem, aby ve spolupráci s iBMB vyvinula předpjaté prefabrikované vazníky z SCC s příměsí ocelových vláken bez konvenční smykové výztuže. Zkoušky na TU Delft [8] ukázaly, že objemový podíl drátků v matrici může v případě samozhutňujících betonů dosahovat až 140 kg/m³, aniž by SCC ztratila na zpracovatelnosti a schopnosti samozhutnění. Optimální množství přidávaných ocelových vláken je z hlediska praktických technologických možností kolem 40 kg/m³.

MATERIÁL A PŘEDBĚŽNÉ ZKOUŠKY

Firma Max Bögl získala v roce 2002 osvědčení DIBt (č. 73.51-1770) platné pro samozhutňující beton bez rozptýlené ocelové výztuže. Příměsí 40 kg/m³ ocelových drátků do tohoto SCC byl získán výchozí materiál pro výrobu prefabrikovaných vazníků.

Aby bylo možno zjistit, jak nejučinněji nahradit smykovou výztuž předpjatých prefabrikovaných vazníků ocelovými drátky, byly zkušební vazníky vyráběny s různými typy vláken, jejich přehled a příslušné pevnosti v tahu uvádí tab. 1. V případě vazníku č. 4 byla použita směs dvou typů ocelových drátků.

Současně s betonáží předpjatých vazníků probíhala výroba zkušebních trámečků pro stanovení tahové pevnosti po dosažení meze vzniku trhlin. Zkoušky trámečků byly provedeny na základě návodu DBV „Drátkobeton“ [6]. Porovnání výsledků zkoušek čtyřbodovým ohybem je zobrazeno na obr. 1.

ZKUŠEBNÍ TĚLESA

Při volbě geometrie a předpětí zkušeb-

	Štířlost/délka [-]/[mm]	Pevnost [MPa]
zkušební vazník 1	48/50	1500
zkušební vazník 2	80/60	1200
zkušební vazník 3	80/60	2400
zkušební vazník 4	48/50	1500
	73/55	2200

Tab. 1 Použité ocelové drátky s jejich rozměry a pevnostmi

Tab. 1 Sizes and strengths of used fibres

ních těles se vycházelo z předpjatého vazníku průřezu tvaru I, osvědčeného v praxi, který v podporových oblastech přechází do tvaru T. Ve čtvrtinách rozpětí a u podpor je průřez oslaben kruhovými instalačními prostupy. Veškerá smyková výztuž (tráminky) a měkká výztuž v kotevních oblastech předpínacích prvků byla vynechána a byl použit popsaný SCC s rozptýlenými drátky. Tím byla značně zjednodušena technologie výroby čtyř zkušebních vazníků a podstatně sníženy výrobní náklady.

Předpětí bylo vneseno na předpínací lince přímou předpínací výztuží v horním a spodním pásu vazníku. Umístění předpínacích prvků ve spodním pásu a jeho průřez byly optimalizovány tak, aby bylo dosaženo takové geometrie a vedení předpětí, při kterém nedochází k „prosívání“ či shlukování drátků a segregaci betonu. Obrázek 2 ukazuje zjednodušené schéma zkušebních vazníků.

Současně bylo v iBMB provedeno posouzení tohoto konstrukčního prvku z předpjatého drátkobetonu z hlediska DBV – návodu „Drátkobeton“ [6]. Výpočetní analýzy potvrdily, že je možné veškerou smykovou výztuž vynechat.

Nezanedbatelnou výhodou absence konvenční smykové výztuže je skutečnost, že otvory pro instalační rozvody lze do vazníků vrtat dodatečně, tzn. že do již osazených vazníků je možné provrtat



Obr. 2 Zkušební vazníky v pohledu a v řezu
Fig. 2 Experimental girders - view and cross-section



Obr. 3 Vazník po odformování. Prostory pro instalační rozvody mohou být vrtány dodatečně

Fig. 3 Finished girder, holes in the web can be drilled later

Obr. 4 Zkušební vazník zatížený pražci (dlouhodobé zatížení)

Fig. 4 Long-time loading of the experimental girder by sleepers

otvory i v místech odlišných od původní dispozice umístění instalačních rozvodů, aniž by došlo k podstatnému snížení únosnosti. Stavební konstrukce z dílců provedených touto inovativní technologií lze tak i po jejich dokončení pružně přizpůsobit potřebám nových uživatelů. Významnou předností je i vynikající kvalita povrchu pohledového betonu (obr. 3).

ZKOUŠKY POUŽITELNOSTI

Ke zjištění dlouhodobého chování vazníku při jeho použití v konstrukci byly dva ze čtyř zkušebních vazníků osazeny do zkušebního zařízení, ve kterém se již více než rok sleduje jejich chování. Dlouhodobé zatížení (obr. 4) realizované pražci odpovídá 1,4 násobku předpokládaného užitého zatížení. U žádného ze zkušebních vazníků nebyly zatím zjištěny ohybové ani smykové trhliny.

Zkušební vazníky jsou uloženy tak, že vždy jedna polovina je vystavena povětrnostním vlivům a druhá je chráněna. Cílem je zjistit, do jaké míry se projeví koroze nepozinkovaných ocelových drátků. Zatím ani po roční expozici nebyly zjištěny jakékoliv projevy koroze ocelových vláken.

ZKOUŠKY ÚNOSNOSTI

Na základě zkoušek únosnosti dvou ze čtyř zkušebních vazníků mělo být prokázáno, že požadovaná únosnost ve smyku je zajištěna i bez přítomnosti konvenční smykové výztuže. Proto bylo zvoleno takové uspořádání zkoušky, při kterém dojde k selhání vlivem smyku. Uspořádání zkoušky je patrné z obrázku 5.

První ohybové trhliny se objevily upro-

Obr. 5 Uspořádání zkoušky únosnosti
 Fig. 5 Arrangement of loading test



Obr. 6 Široké smykové trhliny v oblasti prostupů při dosažení meze porušení

Fig. 6 Wide shear cracks in the web region weakened by holes at ultimate load state



Obr. 7 Lomová plocha zkušebního vazníku

Fig. 7 Fracture surface of experimental girder

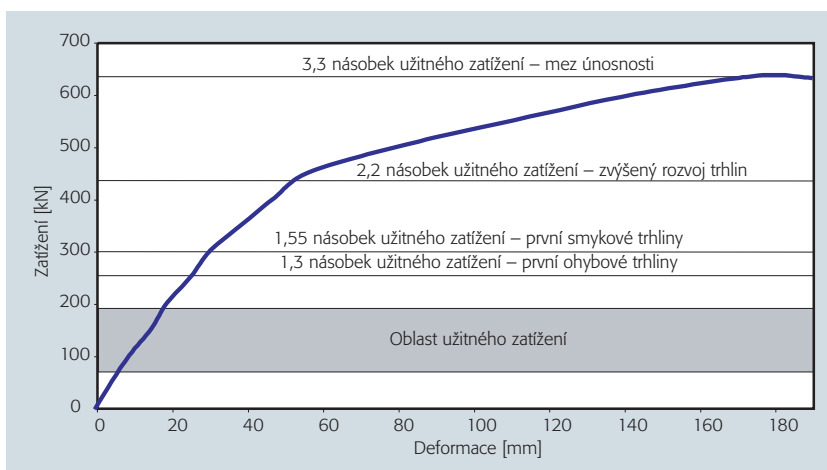


Obr. 8 Diagram zatížení – deformace ve středě nosníku

Fig. 8 Load – midspan deflection diagram

střed rozpětí při dosažení 1,3 násobku užitého zatížení. Při 1,55 násobku došlo v oblasti prostupů na konci nosníku ke vzniku prvních smykových trhlin, které se za zvyšujícího se zatížení počaly silně rozevírat (obr. 6). Přítomnost drátků křížujících tyto trhliny zajistila pozvolné (duktilní) selhání dílce při dosažení meze únosnosti.

Výsledky zkoušek obou vazníků jsou téměř identické. Pouze zatížení na mezi únosnosti se liší, což je způsobeno odlišnou pevností drátkobetonu v tahu po vzniku trhliny (obr. 1). Za povšimnutí stojí rovnoměrné rozdělení drátků v matici, patrné z obr. 7. Obr. 8 uvádí závislost deformace zkušebního vazníku uprostřed rozpětí na působícím zatížení. Je zřejmé, že se vazníky v oblasti užitého zatížení chovají lineárně pružně. První ohybové trhliny se počaly objevovat až při značně vyšší intenzitě zatížení, smykové trhliny pak ještě později. Teprve při dosažení 2,2 násobku užitého zatížení (při pokračující tvorbě trhlin) lze zaznamenat značné snížení tuhosti vazníku. Při této hladině zatížení se trhliny ve stojině průřezu prodloužily až do tlačného pásu. Další nárůst zatížení byl doprovázen rychlým nárůstem deformací, což svědčí o značné duktilitě systému při vysokých intenzitách zatížení. Meze únosnosti bylo dosaženo poté, co smyková trhlina protнула tlačnou oblast.



Literatura:

- | | |
|--|--|
| <p>[1] DIN 1045 Beton- und Stahlbeton, Bemessung und Ausführung. Juli 1988</p> <p>[2] DIN 1045-1 Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton, Juli 2001</p> <p>[3] DAfStb- Richtlinie „Selbstverdichtender“ Beton. Schlussentwurf, September 2003</p> <p>[4] Claußen T.: Selbstverdichtender Beton für die Fertigteilindustrie. Beton+Fertigteiltechnik, Heft 4, S. 32–35, 2003</p> <p>[5] DAfStb- Richtlinie „Stahlfaserbeton“. Entwurf, September 2004</p> <p>[6] Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein (DBV): Merkblatt Stahlfaserbeton. Fassung Oktober 2001</p> <p>[7] Rosenbusch J.: Zur Querkrafttragfähigkeit von Balken aus stahlfaser-</p> | <p>verstärktem Stahlbeton, Dissertation an der TU Braunschweig, 2003</p> <p>[8] Walraven J. C., Grünewald S.: Normung, Forschung und Anwendung des Stahlfaserbetons in den Niederlanden, Braunschweiger Bauseminar 2002, Schriftenreihe des iBMB der TU Braunschweig, Heft 164, S. 47–62, 2002</p> <p>[9] Teutsch M.: Selbstverdichtender und Ultrahochfester Beton-Baustoffe und Konstruktion der Zukunft?, Braunschweiger Bauseminar 2003, Schriftenreihe des iBMB der TU Braunschweig, Heft 169, Seite 91–100, 2003</p> <p>[10] Petřík V.: Materiálové modely a výpočtové analýzy vláknobetonových konstrukcí, Disertační práce, ČVUT Praha, 2004</p> |
|--|--|

Obr. 9 Vaznice během zkoušky únosnosti v iBMB

Fig. 9 Roof beams – load test in iBMB



Obr. 10 Papírna Leuna ve stádiu rozestavěnosti

Fig. 10 Paper-mill Leuna under construction



Použití

Zkouškami bylo prokázáno, že při namáhání vyvolaném vlastní tíhou a užitným zatížením v prvku žádné trhliny nevznikají. K selhání dochází teprve při dosažení jeho 3,3 násobku, čímž byly prokázány značné rezervy únosnosti konstrukčních prvků z předpjatého drátkobetonu. Velmi pozitivní výsledky zkoušek vedly k prvnímu použití vazníků a vaznic vyrobených touto technologií v Německu při stavbě papírny v Leuně. Únosnost vaznic byla ověřena ve spolupráci s iBMB TU Braunschweig. Uspořádání zkoušky je zřejmé z obr. 9. Maximální průhyb vaznice při dosažení meze únosnosti činil 1/30 rozpětí.

Obr. 10 dokumentuje použití vaznic a vazníků v praxi. Vazníky mají rozpětí cca 25 m a vaznice rozpětí cca 10 m. Ve vaznicích bylo provedeno několik prostupů pro instalační rozvody, přičemž některé z nich měly značné rozměry.

Po úspěšné realizaci stavebního projektu v Leuně bude tento systém použit

při realizaci dalšího velkém projektu ve městě Salzgitter.

ZÁVĚR

Provedenými zkouškami a výpočty v iBMB bylo prokázáno, že je možné u popsanych předpjatých betonových dílců ze samozhutňujícího betonu (SCC) zesílených rozptýlenou ocelovou výztuží upustit od použití konvenční smykové výztuže a výztuže k zachycení příčných sil v kotevních oblastech. Byla rovněž prokázána značná duktilita systému při velmi vysokých intenzitách zatížení. Absence konvenční výztuže a její náhrada rozptýlenými drátky umožňuje vrtat prostupy pro rozvod instalací do vazníků dodatečně, aniž by byla podstatně snížena jejich únosnost. Tím je umožněno flexibilní využití stavební konstrukce i po jejím zhotovení. Ani po roční expozici částí dílců povětrnostním vlivům nebyly zjištěny stopy koroze ocelových drátků, která bývá v případě drátkobetonů velmi často diskutována.

Uvedené výsledky byly získány v rámci řešení grantového projektu č. 103/05/2226 GAČR.

*Ing. Claus-Peter Strobach
 Max Bögl Bauunternehmung GmbH Co KG
 Neumarkt, Německo*

*Ing. Vojtěch Petřík, PhD
 CEMEX Deutschland AG
 (původně Readymix AG)
 Chr.-Ritter-von-Langheinrichstr. 7, 95448 Bayreuth, Německo
 e-mail: vojtech.petrik@cemex.de*

*Ing. Jens Peter Grunert
 iBMB TU-Branschweig
 Branschweig, Německo*

*Prof. Dr-Ing. Helmut Kurth, MBA
 Ingenieurbüro Kurth
 Ködnitz-Fölschnitz, Německo
 e-mail: dr.kurth@t-online.de*

Článek byl lektorován

RECENZE KNIHY



KONŠTRUKCIE BUDOV Z MONOLITICKÉHO BETÓNU

Slovenské Vydavateľstvo Eurostav, spol. s r. o., (Nová ul. 3, 831 03 Bratislava) uvedlo v březnu tohoto roku na trh zajímavou knihu **Konštrukcie budov z monolitického betónu** autorů Doc. Ing. Ivana Jurička, PhD., Prof. Ing. Adolfa Bajzy, PhD. a Doc. Ing. Jána Cesnaka, PhD. ze Stavebné fakulty STU v Bratislavě.

Publikace navazuje na výrazný posun ve zprůmyslnění výstavby těchto budov, ke kterému u nás došlo po roce 1990. Na rozdíl od většiny doposud vydaných prací je zaměřena na prezentaci poznatků nezbytných zejména pro úspěšnou realizaci budov z monolitického betonu. Je proto cenným přínosem pro odbornou veřejnost. Zabývá se složkami, výrobou a zpracováním čerstvého betonu, přípravou a ukládáním ocelové výztuže, moderními způsoby bednění a odbedňování konstrukcí, základními konstrukčními prvky budov ze železobetonu, pracovním lešením a stavebními stroji a mechanismy užívanými při výstavbě takových budov. Uvádí dále i stanovy Slovenské asociace výrobců transportbetonu, prezentaci významných budov z monolitického betonu a registr vhodných realizačních firem a dodavatelů.

Kniha, vyznačující se i bohatou fotodokumentací a kvalitou tisku, je užitečným pomocníkem zejména odborníkům zabývajícím se výstavbou objektů ze železobetonu, vhodným doplňkem znalostí projektantů a statiků a vítanou učebnicí pro studenty vysokých a odborných stavebních škol. Svým obsahem a skladbou informací dobře poslouží i investorům a marketingovým pracovníkům.

Prof. Ing. František Musil, CSc.