

# APLIKACE PŘEDJATÉHO VLÁKNOBETONU ■ THE USE OF PRESTRESSED FIBRE REINFORCED CONCRETE

Vojtěch Petřík, Norbert Philipp

Firma Max Bögl vyvinula předpjaté betonové dílce ze samozhutnitelného vláknobetonu a vysokohodnotného vláknobetonu s ocelovými vlákny s cílem zefektivnit technologii prefabrikované výroby eliminací měkké výztuže. Únosnost předpjatých vláknobetonových prvků byla potvrzena zkouškami a ověřena následnými výpočty. V Německu byly prefabrikované dílce z předpjatého samozhutnitelného vláknobetonu použity ve velkém stavebním projektu počátkem roku 2004 a v dalších letech byla aplikace mnohokrát úspěšně zopakována. ■ Firm Max Bögl developed pre-stressed concrete members from self-compacting fibre concrete and high performance fibre concrete with steel fibres aiming to effective technology of production by elimination of mild reinforcement. The load-bearing capacity of pre-stressed fibre concrete elements was proved by tests and verified by subsequent analysis. In Germany precast elements from pre-stressed self-compacting fibre concrete were used in a large structural project in the beginning of 2004, in the following years the application was repeated for several times.

## PŘEDPJATÉ BETONOVÉ DÍLCE ZE SAMOZHUTNITELNÉHO VLÁKNOBETONU

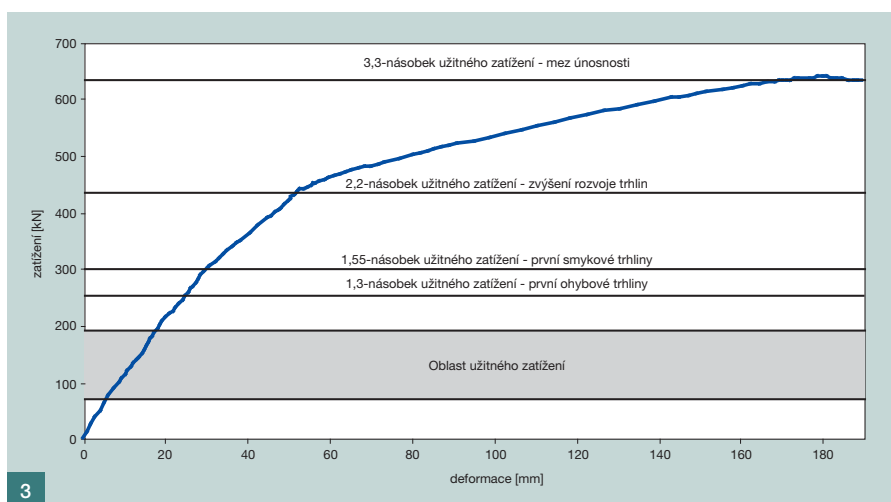
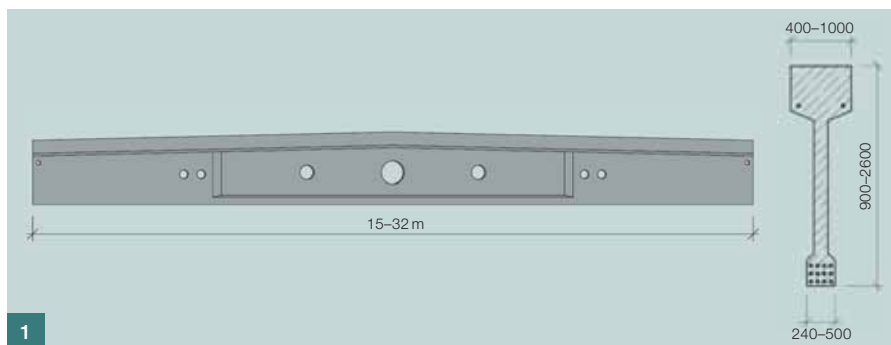
### Samozhutnitelný vláknobeton

Samozhutnitelný beton (SCC) se v čerstvém stavu vyznačuje speciálními vlastnostmi jako vynikající tekutostí a schopností samoodvzdušnění. Při jeho aplikaci není další zhuťování, např. ponornými vibrátory, zapotřebí.

Užití SCC v prefabrikované výrobě je výhodné z následujících 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 tedy výhodné aplikovat v případech, kdy je požadována vysoká kvalita povrchů pohledových betonů.
- Snížení hladiny hluku a vibrací při betonáži, neboť mechanické hutnění není nutné.

Použitím vláknobetonů je možné do značné míry zlepšit užitné vlastnosti konstrukce či konstrukčního prvku. Materiálové parametry vláknobeto-



nu lze s výhodou uplatnit při průkazech podle teorie mezních stavů únosnosti i použitelnosti. Velmi účinně lze při návrhu konstrukčních prvků využít vláknobeton ke zvýšení jejich smykové únosnosti.

Efektivní přenos smykových namáhání umožnil vývoj a aplikace předpjatých prefabrikovaných vazníků ze SCC s příměsí ocelových vláken (tedy ze samozhutnitelného vláknobetonu) bez konvenční smykové výztuže. Optimální

množství přidávaných ocelových vláken je z hlediska praktických technologických možností kolem  $40 \text{ kg/m}^3$ , bylo však prokázáno, že objemový podíl drátku v matici může dosahovat až  $140 \text{ kg/m}^3$ , aniž by SCC ztratil na zpracovatelnosti a schopnosti samozhutnění.

### Prefabrikované předpjaté vazníky

Volba geometrie a předpětí vláknobetonového prefabrikovaného prvku vychá-



Obr. 1 Příklad geometrie vazníku

■ Fig. 1 Example of the girder geometry

Obr. 2 Dlouhodobá zkouška vazníku

■ Fig. 2 Long-term testing of the girder

Obr. 3 Záznam zatěžovací zkoušky

■ Fig. 3 Record of the loading test

Obr. 4 Aplikace předpjatých vazníků

■ Fig. 4 Application of pre-stressed girders

Obr. 5 Příhradový vazník z UHPFRC

■ Fig. 5 Truss girder from UHPFRC

Obr. 6 Příhradových vazníků ve zkušební

zařízení ■ Fig. 6 Truss girder in a testing device



zí z osvědčeného předpjatého vazníku s I průřezem, který v podporových oblastech přechází do tvaru T (obr. 1). Ve čtvrtinách rozpětí a u podpor je průřez oslaben kruhovými instalačními prostory. Veškerá smyková výztuž (třmínky) a měkká výztuž v kotevní oblasti předpínacích prvků je díky aplikaci samozhutnitelného vláknobetonu eliminována.

Předpětí je realizováno na předpínací lince přímou předpínací výztuží v horní a spodní pásnici vazníku. Tvar spodní pásnice včetně umístění předpínacích lan byl optimalizován tak, aby se při betonáži předešlo eventuálnímu shlukování drátků nebo segregaci betonu.

Nezanedbatelnou výhodou absence konvenční smykové výztuže je možnost velmi flexibilního umístění otvorů pro instalační rozvody, možné je i jejich dodatečné vrtání. Stavební konstrukce z dílců provedených touto inovativní technologií lze i po jejich dokončení pružně přizpůsobit potřebám nových uživatelů. Nezanedbatelnou předností je i vynikající kvalita povrchu pohledového betonu.

Zkušební vazníky vyrobené z předpjatého samozhutnitelného vláknobetonu, které jsou již šest let volně vystavené účinkům povětrnostních podmínek (obr. 2), vykazují trvale vynikající kvalitu povrchu, kromě bočních povrchů dodatečně vrtaných otvorů se neobjevují žádné projevy koroze ocelových vláken.

### Únosnost předpjatých vazníků

Na základě experimentů provedených na zkušebních tělesech v měřítku 1 : 1 bylo prokázáno, že požadovaná únosnost ve smyku je zajištěna i bez přítomnosti konvenční smykové výztuže. První ohybové trhliny se objevily uprostřed rozpětí při dosažení 1,3 násobku užitečného 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 rozvírat. Významnější nelineární odezva prvku provázená deformačním změkčením byla zaznamenána na úrovni rovnající se přibližně dvojnásobku běžného užitečného zatížení (obr. 3). Přítomnost

drátků, procházejících rozevřajícími se trhlinami, zajistila pozvolné (duktilní) selhání dílce při dosažení meze únosnosti.

Další nárůst zatížení byl doprovázen rychlým nárůstem deformací, což svědčí o značné duktilitě systému při vysokých intenzitách zatížení. Mezní únosnosti bylo dosaženo poté, co smyková trhlina protнула tlačnou oblast.

### Použití předpjatých vazníků

Poprvé byly prefabrikované vaznice a vazníky z předpjatého betonu použity v Německu v roce 2004 při stavbě papírny v Leuně. Vazníky mají rozpětí cca 25 m a vaznice rozpětí cca 10 m. Ve vaznicích bylo dodatečně vyvrtáno několik prostupů pro instalační rozvody, přičemž některé z nich měly značné rozměry.

Konstrukční systém, sestávající z prefabrikovaných vaznic a vazníků, byl v dalších letech několikrát úspěšně použit, např. ve městě Salzgitter (obr. 4). V tomto případě bylo rozpětí nosníků 19 m při výšce průřezu 850 mm.

## PŘEDPJATÉ PŘÍHRADOVÉ VAZNÍKY Z VYSOKOHODNOTNÝCH VLÁKNOBETONŮ

### Vysokohodnotné betony s rozptýlenou výztuží

Vysokohodnotné betony s mimořádně vysokými pevnostmi (Ultra High Performance Concrete – UHPC) reprezentují v současnosti nejvyšší stupeň vývoje technologie betonu. Nízký vodní součinitel, vysoká hutnost a optimalizovaná mikrostruktura umožňují dosažení pevnosti v tlaku přes 200 MPa, nízké permeability a vysoké odolnosti vůči chemicky agresivnímu prostředí při zachování vynikající zpracovatelnosti. Ztrátu duktility a tendenci vysokohodnotných betonů ke křehkému porušení lze eliminovat cílenou příměsí nejčastěji ocelových vláken, díky kterým lze výrazně zlepšit chování UHPC i v konstrukčních prvcích namáhaných tahem.

Vysokohodnotné betony vyztužené rovnoměrně rozptýlenými vlákny (Ultra High Performance Fibre Reinforced Concrete – UHPFRC) lze využít v širokém spektru konstrukčních systémů. Příkladem mohou být aplikace v mostních stavbách i konstrukcích pozemního stavitelství. Zejména v oblasti prefabrikovaných dílců z předpjatého betonu mohou být dosavadní aplikační meze použitím UHPFRC výrazně rozšířeny.

### Příhradové vazníky z UHPFRC

Ve spolupráci s univerzitou v Lipsku vyvinula firma Max Bögl modulárně koncipovaný příhradový vazník z prefabrikovaných UHPFRC-dílců (obr. 5). Na základě detailních studií a analýz bylo prokázáno, že tyto modulární příhradové vazníky mohou být realizovány při rozpětích 50 až 100 m při současném snížení nákladů ve srovnání s ocelovými či dřevěnými konstrukcemi obdobného charakteru.

Příhradový vazník se skládá z jednotlivých prefabrikovaných dílců: horní a dolní pás, uzlové elementy, diagonály a svislice. Z dílců lze díky modulární koncepci pomocí speciálně vyvinutých montážních postupů sestavit příhradový vazník přímo na staveništi. Pro předpětí dolního a horního pásu v podélném směru se používá volných kabelů. Svislice a diagonály jsou montovány k uzlovým elementům horního a dolního pásu přes suchou kontaktní spáru, což vyžaduje vysokou přesnost výroby. Kontaktní plochy prvků

jsou broušeny s přesností až 0,1 mm. K montáži svislic jsou používány předpínací tyče.

Jednotlivé díly příhradového vazníku jsou vyráběny z betonů s pevností v tlaku 130 až 200 MPa a v závislosti na své délce předem předpjaty. Objemový podíl ocelových vláken je specifikován statickými požadavky v každém konkrétním případě zvlášť. Nejčastěji jsou používána vysokopevnostní ocelová vlákna. Díky poměrně vysokým pevnostem UHPFRC v tahu a definovaným pevnostem v tahu po vzniku trhliny lze zcela eliminovat měkkou betonářskou výztuž.

### Užitné vlastnosti vazníků z UHPFRC

Provedené zkoušky příhradových vazníků prokázaly vysokou únosnost. I při zatížení překračujícím pětinasobek běžného provozního zatížení nebyly zjištěny žádné významné plastické deformace, nosník vykazoval téměř lineární pružnou odezvu. Vazník ve zkušebnímu zařízení je znázorněn na obr. 6.

Modulární koncepce příhradových vazníků umožňuje flexibilní transport, vyžaduje však racionální a vysoce přesnou výrobu jednotlivých dílů. Výhodou je také možnost snadné demontáže a opětovná použitelnost jednotlivých dílců vazníku. Aplikace UHPFRC s vysokou pevností v tlaku umožňuje minimalizaci rozměrů příčných řezů jednotlivých prvků (obr. 6). Např. pro rozpětí 60 m lze použít vazníky s celkovou hmotností méně než 45 t.

### ZÁVĚR

Provedenými zkouškami a výpočty bylo prokázáno, že je možné u obou výše popsaných konstrukčních systémů z předpjatého vláknobetonu eliminovat konvenční betonářskou výztuž. Prokázala se rovněž značná duktilita systému při velmi vysokých intenzitách zatížení. Absence konvenční výztuže a její náhrada rozptýlenými drátky umožňuje v plnostěnných vaznicích vrtat dodatečné prostupy pro rozvod instalací, aniž by byla podstatně snížena jejich únosnost. Tím je umožněno flexibilní využití stavební konstrukce i po jejím zhotovení.

Ani po šestileté expozici povětrnostním vlivům nebyly zjištěny stopy koroze ocelových drátků, která bývá v případě drátkobetonů velmi často diskutována. Využitím vlastností vysokohodnotného vláknobetonu lze navrhovat velmi subtilní konstrukce i na velká rozpětí.

### Literatura:

- [1] *Claußen T.*: Selbstverdichtender Beton für die Fertigteileindustrie, Beton + Fertigteiltechnik, Heft 4, s. 32–35, 2003
- [2] *Rosenbusch J.*: Zur Querkrafttragfähigkeit von Balken aus stahlfaserverstärktem Stahlbeton. Dissertation an der TU Braunschweig, 2003
- [3] *Teutsch M.*: Selbstverdichtender und Ultrahochfester Beton. Baustoffe und Konstruktion der Zukunft?, Braunschweiger Bauseminar 2003, Schriftenreihe des iMBM der TU Braunschweig, Heft 169, s. 91–100, 2003
- [4] *Petřík V.*: Materiálové modely a výpočtové analýzy vláknobetonových konstrukcí, Disertační práce, ČVUT Praha
- [5] *Strobach C.-P., Petřík V., Grunert J.-P.*: Předpjaté betonové dílce ze samozhutnitelného betonu bez běžné výztuže, zesílené rozptýlenou výztuží, Beton TKS 5/2005
- [6] *Tue N. V., Knitl J., Henze S., Bögl S.*: New precast structures made of ultra high performance concrete- concepts, implementation, prospects, Proc. Ulmer Betontage 2009

Jednotlivé prefabrikované komponenty modulárního příhradového vazníku lze efektivně vyrábět s vysokou opakovatelností a lze je po demontáži opakovaně použít. Uvedenými příklady aplikací vláknobetonů lze doložit vysoký potenciál kompozitních materiálů.

Uvedený příspěvek vznikl za podpory grantového projektu č. 103/09/2097 GAČR. Poděkování patří Dipl.-Ing. Norbertu Philippovi (Max Bögl Bauunternehmung) za přínosné diskuse a významnou podporu při vzniku tohoto příspěvku.

Ing. Vojtěch Petřík, Ph.D.

OSVVP ČSSI

Komornická 15, 160 00 Praha 6

Helika, a. s.

Beranových 65, 199 21 Praha

tel.: 733 690 218

fax: 281 097 200

e-mail: vojtech.petrik@helika.cz



Dipl. -Ing. Norbert Philipp

Max Bögl

Postfach 11 20, 92301 Neumarkt

tel./fax: +499 181 909 102 13

e-mail: nophilipp@max-boegl.de

www.max-boegl.de



Text článku byl posouzen odborným lektorem.