

PRŮMYSLOVÉ PODLAHY Z BETONU VYZTUŽENÉHO SYNTETICKÝMI VLÁKNY INDUSTRIAL FLOORS MADE OF SYNTHETIC FIBRE REINFORCED CONCRETE

TEODOR BENEŠ

Syntetická výztužná vlákna do betonu. Výsledky projektu ověřujícího parametry vláknobetonu s vlákny BeneSteel. Doporučení pro návrh podlahové desky na zemním podloží.

Synthetic fibre reinforcement for concrete. BeneSteel fibre reinforced concrete parameters validation project results. Recommendation for floor slabs on grade.

Hlavní předností vláknobetonu oproti prostému betonu je jeho schopnost zabránit nepřípustnému křehkému lomu prvku a zajistit jeho reziduální únosnost v případě přetížení. Protože vláknobeton již jsou nejčastějším materiálem pro zhotovení průmyslových podlah, není potřeba dále vzdvíhovat jejich nesporné technologické přednosti.

Pro vláknobetonu používané pro průmyslové podlahy platí doporučení minimálního objemového procenta vyztužení (0,25 %), maximální přípustné vzdálenosti mezi vlákny $s = 0,45 l$ a určité úrovně reziduální pevnosti vláknobetonu po vzniku trhlin. V českém stavebnictví je zatím dominantní používání ocelových vláken. Některá z nich výše doporučená kritéria splňují při dávce 20 kg/m³, jiné typy, např. ve tvaru krátkých pomačkaných pásků, v této dávce poskytují velmi nízkou reziduální pevnost vláknobetonu.

Obr. 1 Výztužná vlákna BeneSteel 80/55
Fig. 1 Fibre reinforcement BeneSteel 80/55



V posledních letech se v zahraničí, zvláště v USA, široce uplatňují nové typy syntetických výztužných vláken. Během uplynulého roku byla u nás realizována řada průmyslových podlah z vláknobetonu se syntetickými vlákny patřícími do této nové skupiny vláken.

SYNTETICKÁ VÝZTUŽNÁ VLÁKNA DO BETONU

Polyolefinová vlákna BeneSteel jsou vlákna se zadanými parametry, speciálně vyvinutá pro používání v betonu. Vlákno je tvarováno tak, aby co nejlépe vyhovovalo požadavkům na snadné vmíchání, obalení se cementovým tmelem a zakotvení ve zralém betonu. Je podélně i příčně profilováno, spirálovitě zakrouceno a ukončení řezem umožňuje rozštěpení konce pro lepší zakotvení.

Vlákna BeneSteel byla během vývoje ověřována z hlediska jejich technologičnosti při výrobě a ukládání vláknobetonu a z hlediska jejich účinnosti ve vláknobetonu.

Rychlost a rovnoměrnost vmíchávání vláken přímým vsypáváním byla ověřena v různých typech míchaček ve výrobních betonů s velmi dobrými výsledky. Protože však běžná praxe preferuje vsypávání vláken do domíchávače před jeho zalitím betonovou směsí, byl ověřen i tento způsob. Vmíchávání probíhalo bezproblémově a prakticky u všech realizací průmyslových podlah, které následovaly byl tento

Pevnost v tahu minimálně	660 MPa
Objemová hmotnost	0,92 g/cm ³
Odolnost proti alkáliím	Vynikající
Délka	55 mm
Ekvivalentní průměr d	0,68 mm
Počet kusů v 1 kg	54 000 ks
Štíhlostní poměr l/d	80

Tab. 1 Technické parametry vláken BeneSteel 80/55

Tab. 1 BeneSteel 80/55 technical data

způsob použití. Realizace průmyslových podlah potvrdily bezproblémové ukládání směsi, velmi snadné čerpání i na velké vzdálenosti a hutnění vibračními latěmi.

Na povrchu ověřovacích podlah byly použity všechny obvyklé metody – hlazení rotačními hladíčkami, povrchové vsypy i pryskyřičné stěrky s velmi dobrými výsledky.

OVĚŘENÍ ÚČINNOSTI VLÁKEN BENESTEEL

V únoru 2003 byl ukončen projekt, jehož cílem bylo ověřit parametry vláknobetonu s BeneSteel a vhodnost jeho použití do průmyslových podlah.

Obr. 2 Lití a vibrování vláknobetonu na plochy pro otáčení kamionů

Fig. 2 Pouring and vibrating of fibre reinforced concrete truck parking area



Zkušební tělesa byla vyrobena v akreditované zkušební laboratoři Betotech, s. r. o., v Ostravě. Pro zkoušky byla zvolena betonová směs vyrobená podle běžné receptury B25 S3 dodávaná pro průmyslové podlahy. Vlákna byla do směsi přidávána ve třech úrovních dávkování a to 2,3 kg/m³ (0,25 % obj.), 4,6 kg/m³ (0,5 % obj.) a 6,9 kg/m³ (0,75 % obj.). Receptura úmyslně nebyla pro zvyšující se dávku vláken upravována. Nejnižší dávka vláken 2,3 kg/m³ vyhovuje výše uvedeným požadavkům na vláknitou výztuž pro průmyslové podlahy.

Směsi byly vyrobeny v provozní míchačce o objemu 1,5 m³ a po jejich přepravě do laboratoře byly stanoveny hodnoty zpracovatelnosti sednutím kužele (Abrams), obsahu technologického vzduchu a rovnoměrnosti vyztužení vláknou vymývací zkouškou. Ze směsi byly vyrobeny tři kusy zkušebních krychlí o hraně 150 mm z každé receptury s vláknou a kontrolní záměsí bez vláken. Dále byly vyrobeny trávce o rozměru 150 x 150 x 700 mm, po šesti kusech ze směsí s vláknou a třech kusech z kontrolní záměsí bez vláken.

Pevnostní zkoušky vláknobetonu

Zkoušky pevnosti v tlaku na krychlích byly provedeny ve zkušební laboratoři Betotech, s. r. o., v Ostravě. Potvrdily, že pro dávku vláken BeneSteel 2,3 kg/m³ dochází ke zvýšení pevnosti v tlaku o cca 10 %. Zvýšení pevnosti v tlaku bylo v menší míře zachováno i u dávkování 4,6 kg/m³. Při nejvyšší ověřované dávce 6,9 kg/m³ došlo k poklesu pevnosti v tlaku, což potvrdilo předpoklad, že při této úrovni dávkování je nutná úprava receptury směsi, především v granulometrii plniva a množství a typu plastifikátoru.

Hlavní přínos vláken BeneSteel byl očekáván ve změně charakteru chování zkušebního trávce po vzniku ohybové trhliny. Zkoušky v tahu za ohybu trávce čtyřbodovým zatěžováním za režimu konstantního nárůstu průhybu trávce byly provedeny v akreditované zkušební laboratoři Fakulty stavební ČVUT v Praze. Soubor po šesti kusech trávce vláknobetonu velkého rozměru a získané výsledky zkoušek provedených s velkou erudicí představují významný příspěvek k prohloubení znalosti o vláknobetonu u nás.

Výsledky měření jsou podrobněji uvedeny v [1]. Prokazují, že vlákna BeneSteel zajišťují schopnost vláknobetonu přenášet reziduální napětí zvyšující se se stoupající

dávku vláken. Charakter pracovních diagramů vláknobetonu s BeneSteel potvrzuje, že po překonání napětí na mezi pevnosti v tahu za ohybu dochází k aktivaci vláken a průřez je schopen přenášet značné reziduální napětí. Porovnání hodnot ekvivalentní pevnosti při limitním průhybu 1/150 rozpětí trávce ukazuje, že vláknobeton s dávkou 2,3 kg/m³ vláken BeneSteel dosahuje hodnoty uvedené pro ocelové drátky se štíhlostním poměrem $\lambda = 45$ a délce 50 mm v dávce 20 kg/m³.

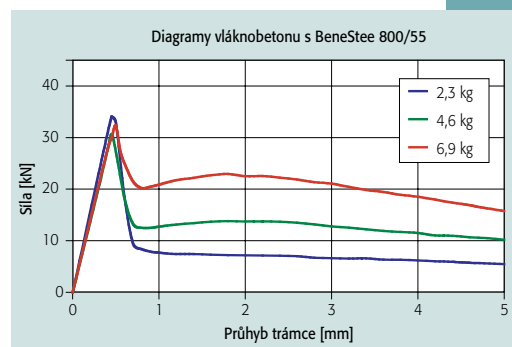
Uvedené výsledky opravňují ke konstatování, že ověřovaná vlákna jsou schopna účinně zajišťovat reziduální únosnost vláknobetonového prvku.

Připustíme-li ve vláknobetonovém prvku vznik trhlin, lze, stejně jako je tomu u vláknobetonu s ocelovými vlákny, využít při návrhu reziduálních pevností vláknobetonu po vzniku trhlin. V tomto případě je vhodné postupovat způsobem uvedeným v [2].

POZNÁMKY K NÁVRHU VLÁKNOBETONOVÝCH PODLAHOVÝCH DESEK

V naprosté většině případů jak realizátor podlahy, tak především investor přehlídí, že tzv. výpočet desky, který získal od dodavatele ocelových vláken předpokládá vznik trhlin v povrchu desky. Tvrzení, že trhliny vznikají pouze ve spodním povrchu desky není pravdivé. Že trhliny vyvolané tahovým napětím vznikají i u horního povrchu, ukazuje průběh napětí v desce na zemním podloží zatížené svislými dynamickými účinky vysokozdvizného vozíku podle ČSN 73 0035 vypočtený metodou konečných prvků (obr. 4).

Trhliny v povrchu desky narušují nejen estetickou hodnotu podlahy, ale přede-



Obr. 3 Pracovní diagram vláknobetonu s vlákny BeneSteel 80/55

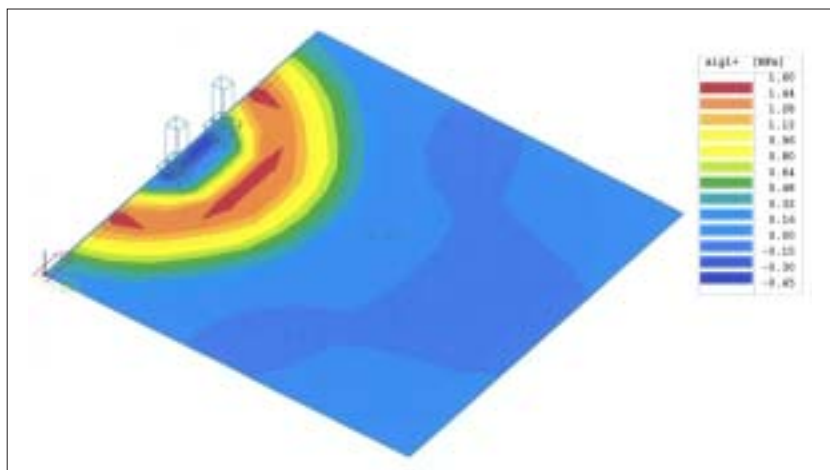
Fig. 3 Force-deflection diagram of BeneSteel 80/55 fibre reinforced concrete

vším její uživatelské parametry. Vznikem trhlin dojde ve vymezené oblasti desky k poklesu její tuhosti, redistribuci napětí a nárůstu průhybů desky. Uvážíme-li velkou variabilitu zatěžovacích stavů a především obvyklé namáhání desky pojezdem zatížených vysokozdvizných vozíků, ukazuje se při simulaci vzniku zplastizovaných oblastí desky (oblastí s trhlinami) vypočtených MKP, že se tyto oblasti propojují a zvětšují. Deska je protkána sítí trhlin, tuhost desky klesá a dochází k jejím nerovnoměrným poklesům a případnému narušení stability regálů.

Proto také např. lit [3] doporučuje provádět návrh průmyslových podlah jako desek na zemním podloží podle druhé skupiny mezních stavů a při provozních zatíženích podle ČSN 73 0035 nepřipustit vznik trhlin.

Obr. 4 Tahová napětí v horním povrchu desky na zemním podloží

Fig. 4 Tensile strength at the upper surface of the board



Beton s vlákny BeneSteel má vlastnosti umožňující použít jej na rozdíl od prostého betonu v ohýbaných konstrukcích typu průmyslových podlah. Návrh podlahové desky na zemním podloží z vláknobetonu BeneSteel umožňuje využít tahovou pevnost vláknobetonu. Jedná se o tzv. prostý vláknobeton [2], který je kvalitativně jiným materiálem než prostý beton. Výsledky

ověřovacího projektu navíc prokázaly, že při základní dávce vláken BeneSteel, tj. 2,3 kg/m³ a běžném neupraveném složení betonové směsi dochází k nárůstu jak tlakové, tak tahové pevnosti oproti prostému betonu.

Napětí podlahové desky na jejím povrchu lze určit pomocí výpočetních programů na bázi metody konečných prvků při

pružném výpočtu. Při bezpečném a hospodárném návrhu desky jsou ve výpočtu uvažovány hodnoty pro prostý beton podle ČSN 73 1201 a součinitele působení vláknobetonu v souladu s [2]. Pro stavební praxi je významné rovněž to, že návrh je proveden podle platných norem a Směrnice pro navrhování drátkobetonových konstrukcí.

Literatura:

- [1] Beneš T, Vařeka B.: Vlákniťa výtzuž pro průmyslové podlahy, Sb. konfer. Betonářské dny 2003, ČBS, Pardubice, prosinec 2003
 [2] Směrnice pro navrhování drátkobeto-

nových konstrukcí, Krátký J., Trtík K., Vodička J.: Drátkobetonové konstrukce, ČKAIT, ČBZ Praha 1999

- [3] Bradáč J., Procházka J., Krátký J.: Průmyslové betonové podlahy, Stavební ročenka 1999, ČSSI ČKAT 1998

Ing. Teodor Beneš, CSc.

Sklocement Beneš, s. r. o.

Korunní 22, Ostrava

tel.: 596 620 750, fax: 596 620 757

e-mail: teodor.benes@sklocement.cz

www.sklocement.cz

Dokončení článku ze strany 13

tmele a tím jeho velmi dobrou adhezi ke kamenivu a výtzuži. Dosažené dvacetiosmi- resp. devadesátidenní pevnosti v tlaku u HPC přesahovaly 140 MPa. Pro výstavbu ocelobetonových konstrukcí byly jako výplň ocelových trubek a profilů HEA úspěšně použity HPC bez vláken o pevnostech 110 až 130 MPa. Je třeba zdůraznit socioekonomický a ekologický

dopad těchto vysokohodnotných dlouhodobě stálějších betonů.

MOŽNOSTI DALŠÍHO VÝVOJE

Některé vybrané druhy HPC bude vhodné upravit další příměsí nebo chemickou přísadou modifikující některé požadované vlastnosti (konzistenci, ohnivzdornost, kyselínovzdornost aj.) pro konkrétní podmínky uložení. Je třeba sledovat kompatibilitnost jednotlivých složek směsi a jejich vliv na smrštění a tvorbu mikrotrhlinek

v kompozitu. Je studována možnost nahrazení relativně nákladných křemičitých úletů mikromletým popílkem resp. meta-kaolinem. Pro některé účely bude výhodné připravovat pytlované pojivové směsi s cílem vyloučit možnou chybu personálu při přípravě vícesložkových betonů. Složení HPC pro konkrétní účely bude možno optimalizovat detailnějším studiem kinetiky reakcí jednotlivých složek příslušného betonu.

Literatura:

- [1] Aitcin, P.-C. : High-Performance Concrete. E & FN SPON, London, 1998
 [2] Brandštetr J., Lukáš J., Krátký J., Hanáková Z.: Mikrokamenivo jako složka betonů vysokých užitných vlastností, *Silika*, 13 (2003), č. 1–2, s. 40–45
 [3] Aitcin P.-C.: Betony zítřka – zboží běžné spotřeby nebo speciální produkt? *Silikáty* 12, č. 5–6, s. 174–176
 [4] Krátký J., Brandštetr J., Lukáš J.: Kompozity ultravysokých pevností s vláknovou výtzuží, Sb. konfer. *Nové stavební hmoty a výrobky*, s. 37–40, VÚSTAH Brno, 2002
 [5] Richard P., Cheyresy M.H.: Reactive powder concretes with high ductility and 200 – 800 MPa compressive strengths, *ACI Spec. Publ.* 144, s. 507–518, Detroit 1994
 [6] Brandštetr J.: Betony extrémně vysokých pevností na bázi jemnozrných reaktivních složek, *Minerální suroviny*, 1999, č. 1, s. 24–31

- [7] Spiratos N., Jolicoeur C.: Trends in Concrete Chemical Admixtures for the 21st Century, *Proc. of the Sixth CANMET-ACI Intern. Conf. on Superplasticizers and Other Chemical Admixtures in Concrete* (Malhotra V.M., Ed.), s. 1–16, ACI spec. Publ. 195. Washington 2000
 [8] Hošek J., Kolář K.: Samozhutnitelný beton, *Beton a zdívo*, 2000, č. 2, s. 18–23
 [9] Mazurová M., Marková A., Vítek J.L.: První velkoobjemová aplikace samozhutnitelného betonu v České republice, *Beton a zdívo* 2000, č. 3, s. 2–4
 [10] Melcher J., Karmazínová M.: Zatěžovací zkoušky tlačných ocelobetonových sloupů vyplněných betonem vysoké pevnosti, *Závěrečná zpráva*, VUT Brno, 2002
 [11] Parsley M. A., Yura J. A., Jirsa J. O.: Push-Out Behavior of Rectangular Concrete-Filled Steel Tubes, *Composite and Hybrid Systems*, s. 87–108, ACI Spec. Publ. SP-196, Farmington Hills, 2000

Ing. Josef Lukáš

e-mail: okm@ostrava.cz, tel.: 596 127 003

Prof. Ing. Jiří Brandštetr, DrSc.

e-mail: brandstetr@fch.vutbr.cz,

tel.: 541 149 365

Ing. Josef Krátký

e-mail: kratky@fch.vutbr.cz, tel.: 541 141 111

všichni:

Chemická fakulta VUT v Brně

Katedra chemie materiálů

Purkyňova 118, Brno-Královo pole

Prof. Ing. Jindřich Melcher, DrSc.

e-mail: melcher.j@fce.vutbr.cz, tel.: 549 245 212

Ing. Marcela Karmazínová, CSc.

e-mail: karmazinova.m@fce.vutbr.cz,

tel.: 541 147 310

Ing. Tomáš Vymazal, Ph.D.

e-mail: vymazal.t@sce.vutbr.cz, tel.: 541 147 818

všichni:

Stavební fakulta VUT v Brně

Ústav kovových a dřevěných konstrukcí

Veveří 95, 662 37 Brno

Ing. Vlastimil Bílek, Ph.D.

e-mail: bilek@zpsv.cz, tel.: 545 214 581

ŽPSV Uherský Ostrov