

VLÁKNOBETONY – BLÝSKÁ SE NA LEPŠÍ ČASY? ■

FIBER CONCRETE – IMPROVEMENT IS COMING UP

Alena Kohoutková

Rozsáhlý výzkum v oblasti kompozitních materiálů s cementovou matricí posledních několika desetiletí zdůrazňuje pozitiva těchto materiálů a transfer získaných výsledků z akademické sféry do oblasti průmyslu snad konečně našel odezvu v praktických aplikacích. Viditelný pokrok v technologických postupech při výrobě betonů s rozptýlenou výztuží a nabídka vláken různých typů a vlastností na trhu způsobily, že k dosud nejhojnějším aplikacím vláknobetonu, v průmyslových podlahách, mostovkách a letištních plochách, přibývají další. Pro své výhodné vlastnosti se vláknobeton i u nás stále častěji uplatňuje v prefabrikátech, předpjatých konstrukcích, mostních konstrukcích a dalších betonových výrobcích nejrůznější povahy a rozšiřují spektrum aplikací vláknobetonů v každodenní stavební praxi. ■ *Research findings in the last decades clearly establish that ductility of certain structural concrete members can be greatly enhanced with the use of fibers. In addition, fibers generally favour improvements in first cracks and ultimate member strength, impact resistance, and shear resistance. If properly designed, fibers can add to member structural performance even when used together with conventional steel rebars. Some highlights of these experimental results are summarized.*

Vláknobeton je souhrnným názvem pro velice širokou a různorodou skupinu kompozitních materiálů na bázi betonu či cementu s náhodně rozptýlenými vlákny v matrici. Obsažený vláknitý materiál zvyšuje jeho strukturní integritu. Vlákna či mikrovlákna jsou v betonu či pastě rovnoměrně rozptýlena a náhodně orientována. Podle druhu materiálu lze vlákna zatřídit do čtyř základních skupin lišící se modulem pružnosti: **ocelová, skleněná, syntetická** (většinou polymerní) a **vlákna přírodního původu**. Struktura a vlastnosti výsledného vláknobetonu se změní, změní-li se beton (matrice), materiál vláken, jejich geometrie, množství, rozmístění a orientace. Tolik základní definice.

Myšlenka použití vláken ve funkci vyztužení malty není nijak nová, vlákna byla užívána už ve starověku. Koňské žíně, sláma, rákosí, peří, dřevo sloužily ke ztužení hliněných cihel. Od počátku 20. století byla do betonu používána azbestová vlákna. Když vznikl koncept kompozitního materiálu v 50. letech 20. století, beton vyztužený vlákny se stal jedním z aktuálních témat. Potřeba najít náhradu za azbest (osinek) po prokázání jeho karcinogenních účinků vedla ke zkoušení nových materiálů. A od té doby se výzkum nových vláken nezastavil.

Vláknobeton se u nás dostal do povědomí širší technické veřejnosti až v 90. letech minulého století, kdy se, se vstupem zahraničních firem na náš trh, začaly v širokém měřítku realizovat betonové podlahy průmyslových hal bez klasického vyztužení, ale s příměsí drátků. Světově označovaný SFRC (steel fibre reinforced concrete – beton vyztužený ocelovými vlákny) se u nás vžil pod názvem drátkobeton.

Ve skutečnosti se pod tímto názvem u nás vyskytoval už od 60. let. Mezi hlavní průkopníky můžeme jmenovat Ing. Karola Komloše, DrSc. (VÚIZ Bratislava) nebo Prof. Ing. Jindřicha Cigánka, CSc. (VŠB–TU Ostrava), který zorganizoval první konferenci o drátkobetonech u nás s názvem Beton vyztužený disperguovanými vlákny již koncem 70. let a také pracovníky Katedry betonových kon-

strukcí a mostů Fakulty stavební ČVUT v Praze, kteří zpracovali první výzkumnou zprávu na téma drátkobetonů v roce 1972. Pracovníci katedry betonových a zděných konstrukcí se i nadále zabývají výzkumem tohoto kompozitu v rámci mnoha projektů a také jeho praktickým uplatněním v širokém spektru činností počínaje technologií výroby, zkoušením vlastností materiálu, experimentálním ověřováním přes simulace chování prvků a konstrukcí až po zavádění praktických aplikací do výroby. V posledních letech se věnují také oblasti navrhování a normotvorné činnosti, která je základem přijetí vláknobetonu mezi projektanty a jeho širšího uplatnění v praxi. Mezi úspěšné akce, které byly věnovány vláknobetonu, lze považovat mezinárodní konference FC07 a FC09, které budou v příštích letech pokračovat. Poslední konference byla zaměřena na současný vývoj v navrhování, experimentálním výzkumu a aplikacích vláknobetonu.

Po roce 1990 se tedy otevřelo širší pole pro aplikace vláknobetonů. Název vláknobeton se stal obecným názvem pro všechny kompozity s betonovou matricí. Podle typu vlákna lze v některých případech také vytvářet názvy vláknobetonů, např. sklovláknobeton, tj. betonová matrice se skleněnými vlákny. Podobně zůstává aktuální i označení drátkobeton pro případ užití drátků neboli ocelových vláken různých tvarů a délek. Za běžný vláknobeton se považuje materiál srovnatelných pevností s běžným betonem.

Je obtížné popsat všechny možné přednosti v konkrétních případech aplikací vláknobetonů. V běžných vláknobetonech omezují vlákna vznik mikrotrhlin způsobený autogenním smršťováním a trhlin od smršťování při vysychání, snižují permeabilitu betonu, a tím i krvácení betonu. Některé typy vláken zvyšují houževnatost, tím odolnost proti nárazu, proti abrazi a obecně zvyšují schopnost odolávat roztržení nebo rozbití betonu a vylepšují tak trvanlivost a použitelnost prvků. Ovlivňují pevnost a modul pružnosti. Pevnost v tlaku se může vlivem vláken i snížit, ale vždy se zvyšuje pevnost v tahu. Zvýšená pevnost v tahu a schopnost vláken působit i po vzniku trhliny zvyšuje deformační schopnosti (označované jako duktilita) materiálu při působení vláknobetonového prvku v tahu, ohybu, smyku nebo při kombinovaném namáhání. Obvykle se množství vláken přidávaných do směsi měří objemovým procentem v celkovém objemu kompozitu (0,1 až 3 %). Tvarový součinitel (štíhlost vláken), na kterém závisí pozitivní vlastnosti výsledného materiálu, se stanoví jako podíl délky vlákna a jeho průměru (vlákna s nekruhovým průměrem ekvivalentního průměru). Zakotvení vlákna v matrici je ovlivněno také jeho tvarem a u drátků koncovou úpravou.

Z hlediska objemu výroby běžných vláknobetonů mají hlavní využití ocelová a polypropylénová vlákna. Významnou předností polypropylénových vláken je zvýšení koheze směsi už při poměrně malých dávkách, zlepšení čerpateľnosti betonu na dlouhé vzdálenosti, zvýšení mrazuvzdornosti výsledného materiálu, odolnosti proti odprýsknutí za požáru a nárazuvzdornosti stříkaného ostění. Jako vhodný příklad úspěšného využití všech těchto příznivých vlastností lze uvést výrobu segmentů ostění tunelů na stavbě

rychlostní železnice spojující Londýn s tunelem pod kanálem La Manche.

Použití **vláknobetonu v konstrukcích** závisí na mnoha okolnostech. Dlouholetý laboratorní výzkum prokázal, že zejména ocelová vlákna vedou ke zlepšení výkonu a efektivity výsledného materiálu. Nosné betonové prvky namáhané ohybem, smykem, kroucením a tlakem vykazují při použití vhodného vláknobetonu větší únosnost a větší deformační kapacitu oproti betonu bez vláken. Mezní hodnoty efektivnějšího působení nosného prvku závisí na vlastnostech vláknobetonu, ale také na přítomnosti běžné betonářské prutové výztuže. **Synergický efekt kombinace výztuže prutové a rozptýlené** je zřejmý i v případě polypropylénových vláken. Při kombinaci podélné ocelové výztuže a vláknobetonu jsou přínosy vláknobetonu často výraznější. Potvrdily to výsledky experimentálního výzkumu, kdy se prokázalo, že přítomnost vláken může pozitivně ovlivnit typ porušení prvku ve prospěch žádoucího typu v důsledku větší deformační kapacity vláknobetonového prvku. Přítomnost vláken je mimořádně účinná v případech složitých konstrukčních detailů, kdy konvenční výztuž je obtížně proveditelná, případně je potřeba ji úplně vynechat. Ocelová vlákna mohou v určitých případech úplně nahradit smykovou výztuž (třmínky) nebo omezit výztuž v místech, kde její kumulace ohrožuje zdárné probetonování prvku. Pozitivní účinky přítomnosti vláken v betonu jsou prokázány i v případech seismického namáhání.

Vláknobeton pro **nenosné prvky** se používá zpravidla tam, kde hlavní funkce původní prutové výztuže sloužila k získání duktility, k omezení vzniku trhlin, případně výztuž byla určena na základě konstrukčních zásad ke zvýšení odolnosti a trvanlivosti prvku. Vláknobeton se používá pro prefabrikované roury včetně tlakových všude tam, kde je vyloučeno ohrožení lidských životů, v železniční dopravě pro výrobu pražců, kde hlavní problém spočívá v únavě způsobené cyklickým namáháním a vlákna tvoří doplňkovou výztuž k běžné betonářské nebo předpjaté výztuži, a úspěšně v podzemních stavbách jako stříkaný beton. Vývoj doplňkového sortimentu v oblasti mostního stavitelství v podobě mostních říms se syntetickými vlákny, které tvoří součást pohledového líce mostu, představuje úspěšný příklad aplikace vláknobetonu dovedené do úrovně standardního výrobku oceněné v inovační soutěži.

V oblasti **nosných konstrukcí** je nejčastější použití v panelech užívaných v průmyslové výstavbě. Další aplikací je užití stříkaného drátkobetonu na ostění, které se často využívá při stavbách tunelů v zemích severní Evropy, kde horninové prostředí dosahuje vysoké kvality. Velkou výhodou drátkobetonového stříkaného ostění je kvalita nástřiku, kdy nedochází k výskytům dutin nevystříkaných za pruty výztuže. Mezi další výhody patří odstranění armovacích prací, omezení smršťovacích trhlin, a tím zvýšení vodonepropustnosti. Velice slibnou oblastí drátkobetonu prostého nebo v kombinaci s konvenční výztuží v podzemních stavbách je výroba segmentů prefabrikovaného tunelového ostění. Užívá se často kombinace drátků s polypropylénovými vlákny. Využití drátkobetonu při realizaci prefabrikovaných segmentů má řadu výhod: vyšší odolnost vůči agresivitě prostředí (odpadá nebezpečí koroze výztuže), vyšší požární odolnost (zajištěná vlivem polypropylenových vláken), delší životnost (až 120 let), snížení nebezpečí poškození hran segmentů při manipulaci (doprava, osazování), nižší nároky na opravy při výstavbě a na údržbu během doby životnosti, jednodušší a rychlejší výroba (odpadá výroba, příprava a osaze-

ní výztuže), nižší potřeba prostoru při výrobě (menší plochy potřebné pro skladování výztuže), významná úspora oceli (až 60 kg/m³), úspora energie a omezení produkce CO₂ (méně oceli) a také nižší nároky na lidské zdroje (odpadá příprava výztuže).

Další výrobky, jako fasádní panely, nosníky, vazníky, TT nosníky nebo střešní prvky velkých rozpětí, jsou charakteristické malou tloušťkou stěn a otevřeným průřezem.

Výzkum je orientován hlavně na ověření zlepšených mechanických vlastností, dosažení homogenity z hlediska rozmístění vláken, vyšší únosnosti, požární odolnosti a trvanlivosti a chování je ověřováno dlouhodobě na prototypch ve skutečném měřítku, včetně předpjatých prvků.

Před zavedením vláknobetonu do výrobního procesu je vždy uskutečněno ekonomické vyhodnocení posuzující přínosy vláknobetonu. Použití vláknové výztuže jako částečné nebo plné náhrady klasické výztuže je výhodné jen tam, kde jsou vyšší náklady na materiál kompenzovány snížením pracnosti, odstraněním nedostatků brzdících rychlejší nebo kvalitnější produkci, a které vede v důsledku zavedení vláknobetonu k dalším úsporám, např. k omezení velkých ploch nutných pro skladování původní prutové výztuže. Další úspora ve snížení pracnosti nastane při výrobě prvků, kde dochází ke snížení množství potřebného betonu. Prvky z vláknobetonu jsou subtilnější, čímž se sníží přepravní náklady a náklady na energeticky náročné materiály, jako jsou klasická betonářská výztuž a cement. Obecně platí, že ocelová vlákna, přispívají ke zvýšení únosnosti a polymerní vlákna např. polypropylénová, k vyšší požární odolnosti, oba typy zvyšují houževnatost materiálu.

Další skupinou kompozitů s cementovou maticí, kde se vyskytují vlákna zpravidla ve velkých objemech a mají v nich nezastupitelnou funkci, jsou ultravysokohodnotné betony s vlákny (UHPFRC), které pro svou vysokou pevnost v tlaku (nad 150 MPa) a v tahu za ohybu (nad 15 MPa) a další definované vynikající vlastnosti jsou předurčeny k užití všude tam, kde je potřeba snížit rozměry, a tím hmotnost a vyloučit nebo omezit betonářskou výztuž. Zvláště výhodné jsou v kombinaci s předpětím. U prefabrikátů z těchto materiálů lze prodloužit životnost až na 200 let. Zvýšení trvanlivosti a snížení objemu výroby betonu v důsledku zmenšení hmotnosti konstrukcí přispívá k zásadám trvale udržitelného životního prostředí. Přednosti ultravysokohodnotného betonu lze tedy vidět v jednodušším betonování vlivem snížení stupně vyztužení, v obecném zeštíhlení konstrukcí, tím i snížení zatížení navazujících konstrukcí, např. založení, a ve výrazně vyšší odolnosti díky lepší mikrostruktuře betonu (vyšší vodotěsnost, odolnost proti mrazu, abrazi, a chlouridům, omezená rychlost karbonatce a sulfatace apod.), a tím i ve vyšší životnosti. Využití ultravysokohodnotných betonů s vlákny podobných vlastností se nabíjí dále všude tam, kde jsou povrchy vystaveny atmosférickým vlivům a účinku solí, a tam, kde je třeba eliminovat vznik a rozvoj trhlin od objemových změn. Přitom lze dosáhnout dokonalého estetického účinku jak různými barevnými odstíny, tak různými texturami povrchů od nejdrsnějšího k velmi jemným nebo s prokreslenými otvory. Vysoká trvanlivost podporuje také možnost větší členitosti fasádních prvků bez nebezpečí, že bude ohrožena životnost budovy nevhodným detailem náchylným ke korozi.

Jiným typem vysokohodnotného kompozitu s cementovou maticí a vlákny jsou materiály ECC (Engineered Cementitious Composites) nebo HPSFCC česky nazývané materi-

ály s inženýrsky řízenými vlastnostmi. Jsou to malty vyztužené zpravidla 2 % sekaných vláken z PVA (polyvinylalkohol). Vlákná se vyznačují velmi vysokým modulem pružnosti. Materiál byl objeven už v roce 1992 a nyní je předmětem výzkumu v mnoha zemích světa (USA, Japonsko, Čína, Korea, Austrálie, Dánsko a Česká republika). Vyznačuje se zpevněním po vzniku násobných mikrotrhlin a jeho deformační kapacita se zvýší až 500krát oproti běžnému betonu. Pracovní diagram výsledného kompozitu se více podobá kovům než keramickým materiálům. Pevnosti v tlaku dosahují až 70 MPa a pevnosti v tahu za ohybu se pohybují mezi 10 a 15 MPa. Materiál může být různým způsobem optimalizován a inženýrsky modifikován tak, aby vyhověl konkrétním požadavkům vybrané konstrukce. Většinu aplikací najdeme v opravách a rekonstrukcích stavebních konstrukcí, ale materiál může být také extrudován v podobě rour a dutých pilířů. Existují i varianty se sníženou objemovou hmotností při vysokých pevnostech a užitných vlastnostech, kompozit lze také stříkat anebo použít ve formě samozhutnitelného betonu.

Stavební výroba je velice citlivá v otázce cen materiálu. Zavedení kvalitního vláknobetonu nebo dokonce vysokohodnotného betonu do běžného navrhování monolitických konstrukcí nebo prefabrikátů tedy musí přinést podstatná vylepšení v působení prvku nebo jeho celkového výkonu. Systematická materiálová optimalizace vedoucí k užití minimálního množství nákladného materiálu při zisku maximálního vylepšení v působení konstrukce je přímou cestou k celkovým úsporám nákladů na stavbu.

Díky rozmanitosti struktury kompozitu s cementovou matricí, do které lze dnes vkládat vlákna ze širokého sortimentu, je možné optimalizovat a řídit vlastnosti vláknobetonu pro uplatnění v konstrukci přímo na míru, každý vláknobeton tak může být unikátní.

Příspěvek vznikl za podpory projektu GACR 103/09/1788

Prof. Ing. Alena Kohoutková, CSc.

Fakulta stavební ČVUT v Praze

Thákurova 7, 166 29 Praha 6

tel.: 224 353 740, fax: 233 335 797

e-mail: akohout@fsv.cvut.cz

<http://concrete.fsv.cvut.cz/~kohoutkova>



*Nevyrábíme
ale formujeme beton!*

RECKLI Strukturální matrice pro všechny oblasti betonových staveb

Jak pro prefabrikáty, tak pro monolitní stavby.

Vyžádejte si náš katalog a obrázkové publikace s referencemi.



RECKLI GmbH

Eschstraße 30 · 44629 Herne · Telefon +49 2323 1706-0 · Telefax +49 2323 1706-50 · www.reckli.de · info@reckli.de
Zastoupení v Praze · Mgr. Iveta Heczková · www.reckli.cz · iheczkova@reckli.com