



Doc. Ing. Karel Trtík, CSc.  
ČVUT Fakulta stavební  
Katedra betonových  
konstrukcí a mostů

**Vyztužení betonu náhodně rozptýlenými vlákny - drátkobeton jako konstrukční materiál - pevnostní charakteristiky v porovnání s prostým betonem - předpoklady úspěšného návrhu a výroby betonu s vlákny.**

## 1. Vláknobetony, historie a charakteristika

Prvé zmínky o využití vláken jakožto prostředku pro vyztužení betonu lze nalézt v technické literatuře z dvacátých let. Tato užití vláknobetonů mají většinou charakter jednorázových aplikací. Přesto lze již i v těchto příkladech nalézt velice racionální dodržení zásad formulovaných jako doporučení v období vcelku nedávném.

Obecně lze za důvod, proč jsou do betonové směsi přidávána vlákna, označit snahu pro vyztužení struktury betonu. Vyztužení náhodně rozptýlenými vlákny je jen relativně stejnoměrné ve všech místech a všech směrech. Tato okolnost je současně také důvodem menší efektivity využití výtuzných prvků. Z veškeré výtuzže, která se ve struktuře betonu nachází, je vždy využita jen ta část, která se nachází v oblasti, kde dochází ke vzniku tahových napětí. Navíc účinnost vlákna je ovlivněna i jeho orientací vzhledem ke směru působícího napětí.

Jako suroviny pro výrobu vláken lze použít prakticky každého materiálu s vyšší tahovou pevností nežli vykazuje beton v okolí vlákn a materiálu, jehož životnost v prostředí cementového kamene je dostatečná. V praxi je používáno nejvíce vláken kovových vzhledem k tomu, že splňují veškeré výše uvedené podmínky. V posledních letech se používá v mnoha případech vláken polypropylenových, jejichž tahová pevnost je podstatně nižší, ve srovnání s vláknem kovovým. Vliv na pevnost výsledného betonu je tudíž znatelně nižší. Byly činěny pokusy i s vlákny azbestovými, která však nevyhovují z důvodů zdravotních. Předností skleněných vláken je snadná výroba, postačující pevnost a přijatelná cena. Jejich nevýhodou je nestálost v alkalickém prostředí betonu. Toto prostředí způsobuje rychlou degradaci materiálu vlákna, pokud není vhodnou úpravou tomuto působení zabráněno. Takováto úprava však zvyšuje cenu skleněných vláken a je tudíž příčinou poměrně malého dosavadního uplatnění. Byly činěny i pokusy s využitím vláken přírodních, jako například kokosových vláken.

## 2. Typy vláknobetonů a možnosti jejich praktického užití

Vláknobetony lze obecně rozdělit jednak podle druhu použitého vlákna, jednak podle funkce, která je tomuto betonu přisouzena. Ta může být v podstatě dvojitá. Prvá přisuzuje takto vyztuženému materiálu funkci nosnou, t.j. využívá jej jakožto konstrukčního materiálu. V tomto případě je v současné době v převážné většině případů používáno vláknobetonů s ocelovými vlákny, neboli takzvaných drátkobetonů. Druhým typem jsou betony jejichž hlavní funkcí je izolace a ochrana. Konstrukce z tohoto materiálu vytvořená má sice určitou funkci statickou, avšak napětí v jednotlivých bodech konstrukce vznikající jsou minimální nebo malá. Hlavní důraz se klade na životnost konstrukce, respektive na její neporušenost trhlinkami. U těchto konstrukcí může být s úspěchem použito např. vláken polypropylenových. Zásadní rozhodnutí o způsobu využití vlákno betonu má samozřejmě dopad nejen na volbu použitého vlákna, ale i na ostatní vstupní charakteristiky betonové směsi, jako např. druh a množství použitého cementu, zrnění kameniva a velikost jeho maximálního zrna atp..

## 3. Charakteristické vlastnosti drátkobetonů s možnostmi využití jako konstrukčních materiálů

Základní očekávanou vlastností vláknobetonu je zvýšení jeho pevnosti v porovnání s prostým betonem. Pokud se týká pevnosti v tlaku, je možné podle druhu a množství vláken nárůst

pevnosti odhadnout cca 10% pevnosti betonu bez vláken. U pevnosti tahové lze hovořit o nárůstu cca 100%. Je-li struktura betonu vystavena účinku rázu, lze hovořit o zvýšení pevnosti řádově tisíci procentním. Veškeré uvedené hodnoty vycházejí z předpokladu užití ocelových vláken.

Tyto skutečnosti jsou sice významné, avšak ještě významnější dopad má přítomnost vláken ve struktuře betonu na přetvárné vlastnosti materiálu. Zatímco prostý beton se poruší (v podstatě křehce) při mezním tlakovém přetvoření okolo tří promile, vláknobeton přenesení podstatně vyšší poměrná přetvoření, aniž by došlo k úplnému porušení celistvosti jeho struktury. Materiál, ač prostoupen trhlinami, je stále, v důsledku spojení osnovou výtuzných vláken, schopen přenášet účinky zatížení. Tato schopnost sice pozvolna klesá, ale teprve při velkých hodnotách přetvoření dochází k úplné destrukci materiálu. Celková energie pohlcená materiálem je tudíž podstatně vyšší než u betonu prostého.

## 4. Předpoklady úspěšného návrhu a výroby betonu s vlákny

Základním předpokladem úspěšné výroby vláknobetonu je znalost vlivu vláken na vlastnosti nejen výsledného betonu, ale i vláknobetonové směsi. Vlákna, a to zejména kovová, představují ve směsi kameniva, cementu, vody a eventuálních přísad prvek, který maximálně ztěžuje skloubení jednotlivých komponentů v kompaktní celek. Jinými slovy, jejich přítomnost ztěžuje jak proces míchání, tak i proces zpracování betonové směsi. Pokud se k této skutečnosti nepřihlídně, je výsledkem beton s mimofádně malou hutností a tudíž s nižší tlakovou pevností než by byl beton řádně zhutněný a bez vláken. Je zajímavé, že tahové pevnosti mohou dosáhnout i u takového betonu poměrně příznivých hodnot. Beton však zásadně nevyhovuje z hlediska trvanlivosti a estetického vzhledu.

Beton s rozptýlenou výtuzí nelze vyrábět tak, že bychom recepturu běžně a úspěšně vyráběného betonu prostého pouze rozšířili o vlákna. Takovýto "technologický" postup je spolehlivým úvodem k problémům, vedoucím k nezaslouženému zatracení materiálu.

## 5. Současná situace v produkci vláknobetonů v ČR a její prognóza

Současná situace v produkci vláknobetonů není stále ještě taková, jakou by si tento materiál zasloužil. Přesto se však objevují první aplikace realizované zahraničními dodavateli. Rovněž zástupci prováděcích firem a investorů se vracejí ze zahraničních návštěv okouzlení možnostmi, které tento materiál ve specifických podmínkách dává.

Lze konstatovat, že oproti době nedávno minulé se v ČR úplně změnila situace na trhu se stavebními hmotami, na kterém není problémem získat jakýkoliv druh vlákna a v jakémkoliv množství. Rovněž situace ve výrobních podnicích se zlepšuje a o technologické inovace je zájem.

Z těchto důvodů lze v poměrně krátké době očekávat významné rozšíření objemu produkce betonu vyztužených náhodně rozptýlenými vlákny. Lze očekávat, že prvními oblastmi užití těchto betonů budou zejména:

- betony vystavené účinkům dynamického a rázového zatížení (jako např. základy pod stroji vyvozuujícími tato zatížení)
- podlahy průmyslových provozoven a to zejména těch, na kterých je předpokládán provoz těžké mechanizace. Vzhledem k omezení účinků smršťování betonu lze navíc zmenšit počet dilatačních spar. Rozptýlená výtuz působí příznivě také na životnost podlah v okolí dilatačních spar, která bývá mnohdy limitujícím faktorem životnosti celé konstrukce podlahy.
- ve velké většině případů, kde je při výrobě konstrukce užíváno stříkaného betonu
- ve všech konstrukcích, nebo jejich částech, kde lze s výhodou využít:



Ing. Jan Vodička, CSc.  
ČVUT Fakulta stavební  
Katedra betonových  
konstrukcí a mostů

- vyšší odolnosti proti vzniku trhlin a po jejich vzniku jejich menšího rozevření
- podstatně vyšší schopnosti materiálu akumulovat vnější energii
- schopnosti tohoto materiálu vést k zjednodušení armovacích prací (např. náhrada třmínkové výztuže nebo obtížně proveditelné výztuže subtilních a současně geometricky složitých částech konstrukcí).

Je povinností autorů sdělit betonářské veřejnosti, že na katedře betonových konstrukcí a mostů Stavební fakulty ČVUT v Praze lze získat potřebné informace, které mohou zájemce o užití nebo přípravou výrobu tohoto materiálu zajímat.

#### Ing. Jan Vodička, CSc.

Absolvent stavební fakulty ČVUT, směr konstruktivně-dopravní zaměření betonové konstrukce. Od roku 1966 působí na katedře betonových konstrukcí a mostů stavební fakulty ČVUT. Zabývá se především problematikou technologie betonu a vláknobetonů.

#### Doc. Ing. Karel Trtík, CSc.

Absolvent stavební fakulty ČVUT, směr konstruktivně-dopravní zaměření betonové konstrukce. V letech 1966 - 1973 statik v ZPI Armabeton Praha, od roku 1973 na katedře betonových konstrukcí a mostů ČVUT. Zabývá se především problematikou technologie betonu a vláknobetonů.

## MOŽNOSTI RECYKLACE CIHELNÉ STAVEBNÍ SUTI

**Likvidace stavební suti - druhové třídění - zpracování cihelné suti drcením - cihlobeton - suť jako plnivo lehkých betonů a malt - suť jako zásep vedení sítí - recyklace suti v dopravním stavitelství.**

Stavební suť jako vedlejší produkt stavebních procesů se stává stále naléhavějším problémem z hlediska její likvidace. V dosavadním pojetí technologie demoličních, adaptačních a rekonstrukčních prací je tvořena směsí zbytků použitých stavebních materiálů a jejich obalů (1,5).

Základní podmínkou pro nové využití na co nejvyšší kvalitativní úrovni je její druhové rozřídění. Ponejvíce se jedná o železné i barevné kovy, dřevo, celou škálu plastů, sklo, izolační hmoty, různé pojené betony, keramiku apod. Prakticky je ověřeno, že znovu využitelný podíl těchto hmot činí běžně 80 až 100% (5).

Podstatnou částí této suti je v případě objektů s cihelným zdívkem právě suť cihelná. Není velkým problémem ji separovat a to jak z hlediska použité technologie demolice, tak i z důvodů jejího běžně značného objemu. Tato situace nastává zejména při opravách a adaptacích zděných objektů, jejichž hlavní část tvoří zejména obytné domy našich měst.

Situaci tu navíc často komplikuje obtížná dostupnost opravovaných objektů z hlediska běžně zavedených technologických postupů, velké nároky na potřebná skládkovací místa a neobnovitelnost primárních zdrojů kameniva, jejichž dobývání stejně jako skládkování je zpravidla spojeno s devastací krajiny.

Svým charakterem je stavební cihelná suť vhodná pro zpracování drcením. Získaná drť je pak použitelná jako lehké kamenivo, např. tepelně izolační násypový materiál, nebo jako plnivo stavebních směsí, náhradou za přírodní kamenivo (6).

Dosavadní praktické zkušenosti ukazují na poněkud zhoršenou zpracovatelnost takto vyrobeného cihlobetonu a nižší výsledné pevnosti (4), v závislosti na podílu cihelné drti v použitém kamenivu, ve srovnání s běžným cementovým betonem.

S ohledem na vysokou absorpční schopnost tohoto materiálu je nutno podle povahy aplikace recyklatu věnovat pozornost i obsahu nežádoucích látek, absorbovaných během minulého užívání objektu, které by se mohly vyluhovat vodou a následně zapříčinit hygienickou závadnost nebo narušit hydratační proces.

Technické možnosti drcení cihelné suti sahají od velkých drtíren po centralizované zpracování (7), které běžně známe z kamenolomů a úpraven rud, o výkonech řádově stovek m<sup>3</sup>/hod., přes střední, často mobilní zařízení s výkony okolo 10 m<sup>3</sup>/hod. (2,8), až po malá zařízení na úrovni tzv. malé mechanizace, schopná zpracovat cca 2 m<sup>3</sup>/hod.

Při volbě drtícího systému je třeba zohlednit účel, pro který bude získaný materiál znovu použit, stejně jako rozložení a vydatnost zdrojů cihelné suti. Nerespektování těchto parametrů vede často k neefektivní výrobě drti nevhodných parametrů, při zbytečně velkých výdajích energie.

Na kvalitativně nejvyšším stupni je v řadě případů velmi vhodné použití cihelné drti jako plniva stavebních směsí, zejména lehkých betonů a zdících malt, jejichž výsledné např. pevnostní charakteristiky je možno z technologického hlediska dobře regulovat mícháním cihelné drti s přírodním nebo drceným kamenivem. Dalším stupněm je použití pro tepelně izolační vrstvy v objektech a jako poslední se jeví použití při zemních pracích a na zásep vedení inženýrských sítí, kde lze často cihelnou suť použít téměř bez úprav.

Z hlediska dopadů na životní prostředí je nutno při recyklaci cihelné suti uvažovat nejen s úsporou primárních zdrojů kameniva a omezením skládkovacích nároků, ale a to v městských aglomeracích především, s omezením rozsahu těžké nákladní dopravy, která spolu s manipulací tvoří až 90% stavební činnosti a jako taková má i rozhodující podíl

v negativních dopadech na okolí stavebního procesu.

Zahraniční prameny uvádějí zejména příklady recyklace betonových suti (2, 3, 4), kde se takřka ideálně jeví procesy recyklace bitumenových i cementobetonových vrstev vozovek, bezprostředně znovu používaných ke stavbě nových vrstev komunikace. Je zde možno zřetelně demonstrovat pozitivní zpracování stavební suti přímo v místě jejího vzniku (2, 9).

Je zřejmé, že nelze úplně negovat negativní dopady stavebního procesu na jeho okolí, ale technickými prostředky lze dosáhnout optimální využitelnosti recyklatu. Tohoto cíle je možné dosáhnout jen precizní technologickou přípravou stavby a kázní při realizaci tak, aby bylo maximum materiálu použito zpět na co nejvyšší kvalitativní úrovni, pro což bude zřejmě nutno optimalizovat tuto úlohu i v širším měřítku, jako např. při řešení dopravních úloh apod.

Recyklaty ze stavebních suti se postupně stanou běžně používaným stavivem a oběh stavebních hmot se částečně uzavře a oddělí od okolí, ku prospěchu životního prostředí a potažmo i naší populace. Nelze dát obecný návod pro nasazení recyklační technologie, ale v komplexním řešení stavebního procesu je vždy třeba hledat kvalitativně nejvyšší možnosti použití cihelných a dalších stavebních suti při co nejmenších nárocích na jejich úpravu, dopravu a manipulaci s nimi.



Ing. Vítězslav Vacek  
Chladicí věže a. s. Praha,  
divize REKO

#### LITERATURA

- (1) Pejchota, Z., Voves, B (1989): "Recyklace stavebních hmot", Stavivo 1/1989, Vol. 67, pp. 33-34
- (2) Kasal, J. (1991): "Systém zpracování stavebních odpadů v SRN, možnosti využití mobilních úpravnických zařízení", Sborník přednášek ze semináře "Zpracování stavebních odpadů - RECYCLING", Přerov 6.2.1991
- (3) Vargová, I. (1987): "Znovužívání betonu v USA", Zpravodaj OBIS VTEI SSŽ - 1/87, pp. 8-9
- (4) Kumar, V., Roy, B., N., Sai, A., S., R., (1988): "Brick - ballast and recycled aggregate concrete", Indian Concrete Journal 2/88, Vol. 62, pp. 85-87
- (5) "Recyklace na skládkách", Věda a technika v zahraničí 25/1989, Vol. 19, p. 95
- (6) Matoušek, M. (1985): "Lehké stavební látky", VUT Brno 1985
- (7) Molnár, L. (1991): "Recyklace stavební suti", materiály pro průběžné oponentní řízení resortního úkolu RVT MÚ hl. m. Prahy
- (8) Hyman, S., Voborský, J. (1986): "Progresivní řešení využití stavební suti při demoličních pracích", Pozemní stavby 3-1986, Vol. 34, pp. 129-131
- (9) Hyman, S., Šustáček, J., Medek, V. (1985): "Využití suti z demolice", zpráva pro závěrečné oponentní řízení úkolu VVÚ PS Praha

#### Ing. Vítězslav Vacek

V roce 1988 absolvoval obor pozemní stavby se specializací technologie staveb na stavební fakultě ČVUT Praha. Do roku 1993 pracoval na oddělení technologie betonu KÚ ČVUT Praha. Nyní je zaměstnán jako stavbyvedoucí divize rekonstrukcí Chladicí věže a. s. Praha.