

---

## **Využití cihelného recyklátu k výrobě vláknobetonu**

Jaroslav Výborný, Jan Vodička, Hana Hanzlová

### **Summary:**

*The main objective in this project is “Waste utilization, recycled material in the building industry”, partial task: Research of technologies for waste processing to form of derivative resources.*

*The report “The use of crushed brick recycling for production of concrete with fibers” has presented the results of initial tests of density, compressive strength, flexural strength, tensile splitting strength obtained on corresponding samples of concretes with fibers.*

### **1. Úvod**

Využití stavebních recyklátů (SR) nebo přesněji stavebních demoličních odpadů (SDO) je po více než 10 let v ČR vedeno jednak aktivitami podnikatelských subjektů, zpracovávajících SDO, jednak „Asociací pro rozvoj recyklace stavebních materiálů v ČR (ARSM)“, Podle této Asociace produkce výroby recyklátů z inertních materiálních stavebních odpadů v poslední době vzrůstá. Při posledním šetření v roce 2004 (za rok 2003) bylo zjištěno, že 35 firem, které skutečně samy recyklují stavební odpady, vlastní celkem 58 drtičů s maximální výkonností 25 až 160t za hodinu a cca 65 třídičů. (Poznámka : Stavební firmy, vlastníci malá recyklační zařízení s výkonem do 10t/hod nebyly do této statistiky zahrnuty.) Celková roční kapacita všech recyklačních linek v ČR je cca 6 500 tisíc tun, tj. cca o 30% vyšší, než je produkce.

Z hlediska množství zpracovaných stavebních odpadů v recyklačních linkách v uplynulých pěti letech zaujímá první místo vždy cihelná suť – 1391,6 tisíc tun v roce 2003. Následuje betonová suť (1254,6 tisíc tun),

---

**Jaroslav Výborný, Doc., Ing., CSc.**

ČVUT v Praze, Fakulta stavební, Katedra stavebních hmot,

Thákurova 7, 16629 Praha 6 – Dejvice

tel. : 224 354 447, fax : 224 354 446, e-mail : [vyborny@fs.cvut.cz](mailto:vyborny@fs.cvut.cz)

**Jan Vodička, Doc., Ing., CSc., Hana Hanzlová, Ing., CSc.**

ČVUT v Praze, Fakulta stavební, Katedra betonových konstrukcí a mostů

tel. : 224 354 622, fax : 233 335 797, e-mail : [jan.vodicka@fs.cvut.cz](mailto:jan.vodicka@fs.cvut.cz)

tel. : 224 354 634, fax : 233 335 797, e-mail : [hana.hanzlova@fs.cvut.cz](mailto:hana.hanzlova@fs.cvut.cz)

pak asfaltové směsi bez dehtu (516,4 tisíc tun) a na posledním místě je směsný stavební odpad (59,0 tisíc tun). Celkové množství minerální suti zpracované v roce 2003 činí tedy 3221,6 tisíc tun. Podle [1] lze reálně předpokládat, že celkové množství inertních SDO zahrnujících základní skupiny dle kategorie odpadů :

- 17 0100 Beton, cihly, tašky a keramika
- 17 0300 Asfaltové směsi, dehet a výrobky z dehtu
- 17 0500 Zemina, kamení a vytěžená hlušina

bude dosahovat ročních hodnot cca 12 milionů tun, z čehož uvedené tři skupiny odpadů vhodné pro recyklace a následné využití ve stavební výrobě budou v součtu dosahovat 5 až 6 milionů tun ročně. Do konce roku 2005 se jako reálný jeví nárůst množství recyklovaných inertních SDO skupin 17 0100 a 17 0300 na hodnotu 3,3 až 3,8 mil. tun.

Pro zavedení výroby cihlobetonu do běžné praxe je nutno přesně specifikovat vlastnosti vstupních složek a dávkování záměsové vody, cementu, příměsí i přísad. Stříkané nebo čerpatelné vláknocihlobetony mohou být vhodné i v dopravním stavitelství, a to pro vrstvy vozovek (podle rakouských zkušeností), zpevňování svahů, ale také ve vodním stavitelství pro zpevňování korun hrází, a v neposlední řadě i v pozemním stavitelství pro vrstvy podlah průmyslových a víceúčelových hal. Obecně tedy pro konstrukce, u kterých požadujeme omezení vzniku a výskytu trhlin.

## **2. Poznatky z užití recyklované cihelné drtě pro výrobu cihlobetonu z literatury [2]**

Z desítek receptur vzorků cihlobetonu, odzkoušených na VUT v Brně, FAST, Ústavu technologie stavebních dílců (Novotný B., Beckerová L., Pytlík P. a další) vyplývá zejména, že:

- je možné běžně vyrábět z cihelného recyklátu 0/16, cementu a vody cihlobeton s průměrnou pevností v tlaku 13 MPa ,
- použitím podílu cihelné drtě ve směsi kameniva nad 30% se získá cihlobeton v kategorii lehkých betonů s objemovou hmotností menší než 2000 kg/m<sup>3</sup>,
- optimální podíl drtě 4/8 je 50%, zbývajících 50% se doplní přírodní drtí téže frakce, při dávce cementu 350 kg/m<sup>3</sup> hotového cihlobetonu,

- statický modul pružnosti cihlobetonu srovnatelné pevnosti v tlaku s obyčejným betonem je o 30%-50% nižší než u obyčejného betonu,
- zjištěné rozdíly v hodnotách smrštění na vzduchu a nabývání pod vodou jsou, v porovnání s obyčejným betonem srovnatelné pevnosti v tlaku, větší o cca 10% až 20%,
- ověřování vzlínivosti a nasákavosti ukázalo, že cihlobetony (a malty z cihelného recyklátu) nejsou dostatečně mrazuvzdorné, takže nemohou být, ve stavu nasycení vodou, vystaveny vlivu záporných teplot bez rizika poškození. Proto nechráněné cihlobetony jsou vhodné pro prvky a konstrukce, které nejsou přímo vystaveny klimatickým účinkům.

### 3. Experimentální práce [3]

Dílčím cílem probíhajících experimentů bylo stanovit receptury cihlobetonů, které by zajišťovaly vyšší pevnostní třídu laboratorních vzorků a porovnat jejich základní mechanicko-fyzikální vlastnosti s obyčejným betonem.

První sérií experimentálního výzkumu byla výroba 12 malých zkušebních těles 40x40x160mm s recepturami A a B uvedenými v Tab.1. Tato série měla informativně prokázat, že cihelné drti lze použít k výrobě betonu a přidáním syntetických vláken potom příznivě ovlivnit pevnostní charakteristiky vyrobeného cihlobetonu.

Druhá série experimentů byla provedena na vzorcích normových velikostí. Na základě naměřených hodnot pevností první série (viz Tab.2) byly receptury upraveny (receptury C1,C2 – pískobeton s vlákny a bez vláken, D1,D2 – cihlobeton s vlákny a bez vláken) – viz Tab. 3. Podle nich bylo zhotoveno 6 velkých zkušebních trámek 100x100x400mm z obyčejného pískobetonu – 3 bez vláken a 3 s vlákny FORTA FERRO a 6 trámek z cihlobetonu - 3 bez vláken a 3 s vlákny FORTA FERRO.

Protože se prokázala dobrá shoda v zrnitosti cihlové drtě a těžného kameniva frakce 0/4 s přidáním drcené frakce kameniva 4/8 v množství rovném zbytku cihlové drtě na síť 4 (Obr. 1), bylo rozhodnuto, že v rámci této druhé série budou sledovány vlastnosti jemnozrného betonu s přírodním kamenivem a vlastnosti cihlobetonu, kde inertní složkou bude pouze cihelná drť. Smyslem experimentu je jejich porovnání.

Tab. 1 Receptury vzorků A a B

<b>Složení kompozitu</b>	<b>A [kg/m<sup>3</sup>]</b>	<b>B[kg/m<sup>3</sup>]</b>
čistá cihelná drť 0/8	600	600
přírodní těžžený písek 0/4	900	900
CEM II/B – S 32,5R	350	450
plastifikátor STACHEMENT 2002 (karboxyleter – 1% z CEM)	35	45
záměsová voda	200	260
vlákna FORTA FERRO	9,1	9,1

Tab. 2 Pevnosti zkušebních těles vzorků A a B

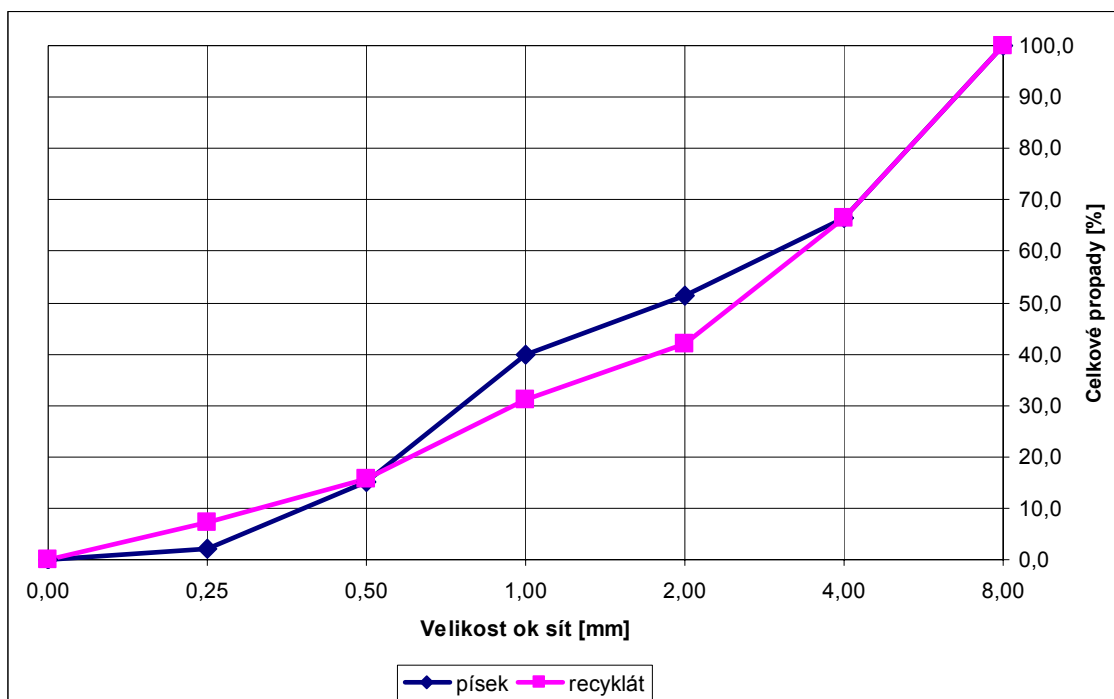
<b>Vlastnost</b> (průměr ze tří vzorků)	<b>A</b>		<b>B</b>	
	s vlákny	bez vláken	s vlákny	bez vláken
objemová hmotnost [kg/m <sup>3</sup> ]	2118	2120	2227	2227
pevnost v tlaku [MPa]	27.60	20.82	39.92	41.06
pevnost v tahu za ohybu [MPa]	7.27	2.65	9.55	4.70

Charakteristiky jednotlivých vstupních složek :

- a) čistá cihelná drť (pálená svisle děrovaná cihla)
  - prosévací zkouška => viz. čára zrnitosti Obr. 1
  - sypná hmotnost v setřeseném stavu  $\rho_{t,k} = 1275 \text{ kg/m}^3$
  - objemová hmotnost  $\rho_{v,k} = 1770 \text{ kg/m}^3$
  - nasákavost 35%
- b) štěrkopísek frakce 0/8 (Ostrožská Nová ves)
  - čára zrnitosti – viz Obr. 1
  - sypná hmotnost v setřeseném stavu  $\rho_{t,k} = 1885 \text{ kg/m}^3$
  - objemová hmotnost  $\rho_{v,k} = 2568 \text{ kg/m}^3$
- c) portlandský struskový cement CEM II/B - S 32,5 R
- d) vlákna FORTA FERRO – 1% objemu

Tab. 3 Receptury vzorků C1a C2, D1 a D2

Složení kompozitu	pískobeton		cihlobeton	
	C1 (s vlákny) [kg/m <sup>3</sup> ]	C2 (bez vláken) [kg/m <sup>3</sup> ]	D1 (s vlákny) [kg/m <sup>3</sup> ]	D2 (bez vláken) [kg/m <sup>3</sup> ]
čistá cihelná drť 0/4	-	-	795	795
čistá cihelná drť 4/8	-	-	401	401
přírodní těžžený písek 0/4	1224	1224	-	-
přírodní těžžený písek 4/8	617	617	-	-
CEM II/B – S 32,5R	424	424	424	424
záměsová voda	246	246	417	417
vlákna FORTA FERRO	9,1		9,1	



Obr. 1 Čáry zrnitosti pískobetonu a cihlobetonu

#### 4. Fotodokumentace



Obr. 2 Vyrobená tělesa z písko-  
betonu a cihlobetonu



Obr. 3 Zkouška pevnosti cihlo-  
betonu v tlaku



Obr. 4 Zkouška vláknocihlobetonu  
v tahu za ohybu



Obr. 5 Zkouška cihlobetonu  
v příčném tahu



Obr. 6 Homogenita těles z písko-  
betonu (bez vláken)



Obr. 7 Homogenita těles z cihlo-  
betonu (bez vláken)





Obr. 8 Homogenita těles z vláknopískobetonu



Obr. 9 Homogenita těles z vláknocihlobetonu

## 5. Výsledky experimentů

Výsledky testování základních mechanicko-fyzikálních vlastností obyčejného betonu a cihlobetonu s vlákny a bez vláken jsou uvedeny v tabulce 4 a porovnávací tabulce 5.

Tab. 4 Základní mechanicko-fyzikální vlastnosti zkoumaných betonů na normových tělesech 100x100x400 mm

vlastnost (průměr ze tří měření na vzorcích 100x100x400mm)	pískobeton		cihlobeton		
	C1 s vlákny	C2 bez vláken	D1 s vlákny		D2 bez vláken
			série S3	série S4	
objemová hmotnost [kg/m <sup>3</sup> ]	2299	2279	1948		1940
pevnost v tlaku [MPa]	38,2	40,2	28,8	29,3	27,6
pevnost v tahu za ohybu [MPa]	4,83	4,64	4,13	4,77	3,59
pevnost v příčném tahu [MPa]	4,83	4,60	3,37	4,06	3,20

Pozn.: Hodnoty objemových hmotností a pevností, které jsou uvedené v Tab. 4 jsou průměrem ze tří měření.

Tab. 5 Základní mechanicko-fyzikální vlastnosti vláknobetonů na malých zkušebních tělesech 40x40x160 mm

vlastnost (průměr ze tří měření na vzorcích 100x100x400mm)	pískobeton		cihlobeton	
	s vlákny		s vlákny	
objemová hmotnost [kg/m <sup>3</sup> ]	2348		1984	
pevnost v tlaku [MPa] (průměr ze 6 polovin vzorků)	40,62		30,18	
pevnost v tahu za ohybu [MPa]	4,17		3,90	

## 6. Diskuse k výsledkům

První série:

1. Jednoznačně prokázaný příznivý vliv syntetických vláken na tahovou pevnost.
2. Množství cihelné drtě, které je zahrnuto do receptury, musí být zohledněno při teoretickém návrhu receptury.
3. Výsledky ovlivňuje velikost vzorků.
4. Výsledky ovlivňuje rozdílná doba zpracování čerstvého betonu a betonu s vlákny ve zkušebních formách trámů.

Druhá série:

1. Příznivý vliv vláken na tahovou pevnost obou druhů zkoušených betonů je patrný z výsledků zkoušek.
2. Vliv vláken na tahovou pevnost betonů se snižuje u betonů s vyššími pevnostmi.
3. Pevnost cihlobetonu je prokázána nižší než v případě jemnozrnného betonu, což je dáno charakterem interní složky, tj. cihelné drtě.
4. Pevnost cihlobetonu je dostatečná pro jeho využití v nenáročných nosných konstrukcích.
5. Dodržením technologického postupu výroby lze získat homogenní strukturu i u cihlobetonu jak bez vláken, tak s vlákny.
6. Vláknobetonová výztuž rozptýlená ve struktuře cihlobetonu mění charakter klasického porušení zkušebních těles.
7. Cihlobeton lze vyrábět i bez drahých přísad



## 7. Závěr

První výsledky betonů s využitím drcené cihelné sutě, které jsou hlavním obsahem článku, ukazují, že výroba tzv. cihlobetonu je v praxi reálná, a to i bez použití plastifikátoru. Aplikace cihlobetonu, především potom aplikace betonů, u nichž inertní složka bude složena z přírodního kameniva a drcené cihelné sutě umožní regulovat charakteristiky betonů volbou hmotnostních poměrů těchto složek. To zvýší atraktivnost tohoto kompozita, neboť regulace jeho vlastností nebude záviset na změně hmotnostní dávky cementu, který je energeticky nejnáročnější složkou při výrobě betonu. Na základě získaných poznatků budou vytvořeny např. zvláštní požadavky na přípravu čerstvých směsí pro výrobu nových konstrukčních prvků z cihelného, betonového a jiného kompozitního recyklátu s přihlédnutím k odlišnostem jejich zpracování (např. zvýšenou nasákavost ovlivňující jejich konzistenci a výsledné pevnosti) a ošetřování. Nové vědecké poznatky budou podkladem pro tvorbu zatím neexistujících norem a předpisů (v podoboru Recyklace stavebních objektů) a patentových přihlášek.

## 8. Acknowledgement

Příspěvek byl vypracován za podpory výzkumného záměru 04 Udržitelná výstavba MSM 6840770005.

## Literatura

- [1] VÝBORNÝ, J., ŠKOPÁN, M., KULÍSEK, K., 2005 : Využití stavebních recyklátů v betonu – současný stav a trendy. Sborník ze 3. konference „Speciální betony“, Malenovice 2005, ČVUT v Praze a SEKURKON Ostrava, ISBN 80-86604-22-5, str. 91-97
- [2] VÝBORNÝ, J., 2000 : Recyklace betonu. Časopis Beton, roč. 3, číslo 3/2000, ISV nakladatelství, Praha, ISSN 1212-0154, str. 5-11 odborné přílohy
- [3] VÝBORNÝ, J., VODIČKA, J., HANZLOVÁ, H., KOLÁŘ, K., 2005 : Porovnání základních mechanicko-fyzikálních vlastností obyčejného betonu a cihlobetonu bez vláken a s vlákny. Sborník ze 3. konference „Speciální betony“, Malenovice 2005, ČVUT v Praze a SEKURKON Ostrava, ISBN 80-86604-22-5, str. 98-105.