

HODNOCENÍ VLASTNOSTÍ VLÁKNOCEMENTOVÝCH KOMPOZITŮ

Wail Khazal, Josef Knězek, Ludvík Lederer, Vladan Prachař

*Stručné shrnutí vývoje cementových kompozitů s nekovovou vláknovou výztuží. Další očekávaný rozvoj cementových kompozitů vyztužených disperzní vláknovou výztuží. Působení technického výboru TC 208-HFC (High Performance Fibre Reinforced Cementitious Composite) v rámci organizace RILEM. Současný stav výzkumu vláknových kompozitů na bázi cementových matric pro tenkostěnné stavební prvky v ČR. Úroveň normalizace hodnocení vlastností cementových kompozitů s vláknovou výztuží. **Působnost akreditované zkušební laboratoře č. 1130.3 ZL KKM při VUSTAH Brno.***

Vláknocementové kompozity dříve a nyní

Předkládané pojednání je věnováno problematice kompozitů na bázi portlandského cementu a nekovové vláknové výztuže.

Bude tomu již 100 let, kdy byla zahájena průmyslová výroba různých typů azbestocementových výrobků. Jejich užití na zastřešení budov výrazně poznamenalo určité období stavebnictví. V pozdějším období byly v omezené míře a přechodně používány na opláštění dočasných staveb i pro dělicí příčky velkoformátové tenkostěnné desky vyráběné kombinací přírodních organických a anorganických vláken s matricí na bázi cementu pod názvem lignát. Sedmdesátá a začátek osmdesátých let minulého století byl u nás charakteristický výrobou a používáním speciálních typů velkoformátových desek se zvýšenou požární odolností, kdy bylo ze zdravotních důvodů postupně potlačováno používání azbestu a hledány cesty k vytvoření uspokojivých technických vlastností užitím jiných vláknových výztuží. Konec osmdesátých let je v našem stavebnictví charakteristický jednak zaváděním nového sortimentu cementových kompozitních deskovin na stávajících výrobních linkách typu Hatchek při kombinovaném využívání přírodních organických a polymerních vláken, jednak úsilím o zavedení výroby kompozitních vláknocementových výrobků na bázi alkalivzdorných skleněných vláken, jako důsledek rozvoje těchto technologií v Evropě i jako odezva vysokého potenciálu výroby skleněných vláken u nás.

Existující alkalivzdorná skleněná vlákna – i přes toto označování – nejsou absolutně alkalivzdorná v prostředí portlandského cementu a dlouhý vývoj cementových kompozitů na jejich bázi již od 70-tých let je poznamenán úsilím o potlačení alkality v prostředí matrice, ať již užitím aktivních silikátových složek, nebo užitím vhodných polymerních disperzí při utváření jejich skladby. Vlastnosti kompozitů z portlandského cementu a alkalivzdorných skleněných vláken vykazují při dlouhodobé expozici na povětrnosti významné kvalitativní změny, kdy jejich výchozí kvazikřehké chování se mění na křehké při významném poklesu výchozích úrovní

pevností. V současnosti jsou v technické praxi využívány dvě kvalitativní úrovně alkalivzdorných skleněných vláken, kdy při hodnocení pevnosti v tahu pramenů skleněných vláken aplikovaných v cementové matrici je metodou hodnocení SIC (Strand in Cement) garantována buď úroveň 400 nebo 500 MPa. Uvedeného rozlišení je však dosažení vhodnějším typem povrchové úpravy skleněných vláken, kdy vyšší úroveň je spojena i s příznivějším dlouhodobým chováním výsledného kompozitu při mechanickém namáhání.

Rozvoj technologií výroby cementových kompozitů s alkalivzdornými skleněnými vlákny, kdy podíl vláknové výztuže se pohybuje zpravidla v rozpětí cca 1,5 až 4 % objemových je spojen s řešením úlohy technicky efektivního rovnoměrného rozptýlení vláknových složek ve výsledném objemu kompozitu, jak je tvarován do konečné podoby ve výsledném produktu. Obtížnost řešení této úlohy obrací pozornost části odborné sféry na řešení vláknocementových kompozitů užitím orientované vláknové výztuže – ve formě sítí z pramenů elementárních vláken a v posledních létech i specifických prostorových struktur z kompletních rovingů (svazků pramenů) a pramenů elementárních alkalivzdorných skleněných vláken.

Předpokladem úspěšné technické aplikace je garantovatelnost zabezpečení polohy takového typu výztuže ve výsledném produktu. Pro tento směr se začíná prosazovat především v SRN termín „textilbeton“. Takto vytvářené struktury z alkalivzdorných skleněných vláken jsou přímou analogií prostorových ocelových výztuží ze sféry železobetonu. Struktury tohoto typu však nejsou v současnosti vybavovány povrchovou úpravou v úrovni SIC 500 MPa a proto z dlouhodobého hlediska mohou výsledné produkty vykazovat po dlouhodobé expozici na povětrnosti křehké chování. Pokud tento vývojový směr bude úspěšný a realizován na cementové matrici s výrazně potlačenou alkalitou, pak lze v budoucnu očekávat i možnost vytvoření podmínek i pro užití čedičových vláken, surovinově neporovnatelně snáze dostupných.

Specifické místo zauímají cementové kompozity vyztužované vysoce jakostními uhlíkovými vlákny, které se v provedení disperzního vyztužování prakticky uplatnily především v Japonsku.

Souběžně s rozvojem užití alkalivzdorných skleněných vláken se však ve světě – především v USA a Japonsku – intenzivně rozvíjí výzkum a úspěšné aplikace polymerních vláken, v první řadě na bázi polyvinylalkoholu (PVA-vláken) ale i vláken aramidových a intenzivní další rozvoj nových typů stále a úspěšně pokračuje. PVA-vlákná vykazují dobrou odolnost v alkalickém prostředí cementových matric a svou hydrofilní charakteristikou vytváří dobré předpoklady pro realizaci kompozitů s disperzní vláknovou výztuží. Intenzivní výzkum potenciálu PVA vláken vyústil v posledních létech k jejich úspěšné aplikaci při úpravě charakteru jejich rozhraní s cementovou matricí vhodnou povrchovou úpravou. Devadesátá léta přináší nové varianty vysoce jakostní polymerních vláken na bázi polyetylénu (PE), polypropylenu (PP) a dalších. Jejich aplikace v cementových matricích jsou již zpravidla charakteristické vyřešením garantované úrovně vysokého deformačního zpevnění v tahu, kdy pro nově koncipované kompozity – ať již jemnozrné či v provedení velmi blízkém klasickým betonovým směsím. Pro jednotlivá technická řešení se postupně užívají zkratky jako ECC (Engineered Cementitious Composites), v posledním desetiletí pak bylo dosaženo dalšího zlepšení vlastností dosažením kvalitativní

úrovně označované zkráceně HSFRC (High Strength Fibre Reinforced Concrete), HPFRCC (High Performance Fiber Reinforced Cementitious Composites) či UHSFRC (Ultra High Strength Fibre Reinforced Concrete). S rozvojem dispersního vyztužování cementových kompozitů vysoce jakostními vlákny na bázi PVA či PE a dalších se - především v USA - úspěšně aplikují i vysoce jakostní polymerní vlákna (např. aramidová) ve formě orientované výztuže (sítě), používané pro řešení specifických stavebních prvků. Příklady vláken používaných v současnosti pro disperzní vyztužování cementových matic uvádí tabulka 1.

Tab.1 : Příklady vláken pro vyztužování cementových matic

Název		ρ kg m ⁻³	E_t GPa	σ_t MPa	$\epsilon_{\sigma t}$ -	T_d °C
Skleněné vlákno	typu AR	2680	70	2500	0,036	
C-vlákno MITSUBISHI	K13710	2120	640	2600	0,042	
	K13A10	2150	790	2600	0,036	
PE-vlákno	Spektra 1000	970	172	3000	0,027	100
	Dyneema SK76			3700		
PP-vlákno	Fibra-SHIELD	910	3,4	600	0,05	160
Aramidové vlákno	Kevlar 49	1450	135	2900	0,028	450

ρ - měrná hmotnost, E_t - modul pružnosti v tahu, σ_t - pevnost v tahu,
 $\epsilon_{\sigma t}$ - poměrná deformace na mezi pevnosti v tahu, T_d - teplotní degradace

Další rozvoj cementových kompozitů vyztužených disperzní vláknovou výztuží

Zásadní význam oboru vláknových kompozitů na cementové bázi pro další rozvoj stavebnictví je dokladován spojeným úsilím špičkové světové komunity.

V rámci organizace RILEM, technického výboru TC 208-HFC (High Performance Fibre Reinforced Cementitious Composite) je soustředěn špičkový světový vědecký potenciál, který bude v období červen 2004 až květen 2009 řešit stěžejní soudobé problémy tohoto tématu. TC organizuje každoroční mezinárodní setkání (meetings) – doposud ve Varena, Italy (2004), Honolulu, Hawaii (2005) a Alexandroupolis, Grece (2006).

Na jednání v Honolulu byly ustaveny následující pracovní skupiny:

- TG A: Standards for materials and testing
- TG B: Durability
- TG C: Processing and application methods
- TG D: Design assumptions
- TG E: Seismic design, sudar and torsion
- TG F: Special considerations

Výsledky a závěry pracovních skupin v rámci tohoto jednání byly projednány ve 3 podvýborech:

- SC 1: Charakterization of mechanical properties
- SC 2: Durability
- SC 3: Structural design and performance

Z hlediska současných přístupů k hodnocení vlastností vláknových kompozitů se zúčastnění specialisté shodli na 5-ti kvalifikačních okruzích:

1. Vlastnosti nezbytné pro navrhování
 - 1.1. Všeobecné: Compressive Strength, Tensile Yield Strength, Tensile Strength, Compressive Stress-Strain Curve, Ultimative tensile strain (strain just efore localization of cracking), Tensile Stress-strain curve, Young's modulus, Poisson's Ratio, (Shear Modulus).
 - 1.2. Specifické: Thermal Characteristics, Shrinkage, Crčel, S-N Curve for dative design, Vycliv behavior for seismic design, maximum crack width, Sudar
2. Výsledky zkoušek přímo aplikovatelné při navrhování konstrukcí
Jednosměrný tah a tlak, ohybová zkouška a inverzní analýza, smyková zkouška.
3. Faktory ovlivňující výsledek zkoušek.
Geometrie zkušebního tělesa, velikost zkušebního tělesa (ve vztahu k délce vláken), stáří a podmínky zrání, okrajové podmínky (uložení, ukotvení), rychlost deformace, směr odlévání, počet navrstvení, statické či cyklické zatěžování, přítomnost zářezu (s nebo bez zářezu), kontrola deformace nebo zatížení.

4. Faktory ovlivňující materiál

Proporce směsi (včetně objemového podílu vláken), typ vláken (průměr, délka, tvar profilu apod.), přísady a příměsi, typ a maximální velikost výplní, podmínky míchání a rozptýlení vláken, obsah vzduchu.

5. Ohybová zkouška a inverzní analýza.

6. Inverzní analýza při FEM (finit-element Metod), zatěžování moment versus model křivky zakřivení (Curvature Curce Model), model nelineárního kloubového uložení (Nonlinear Hinde Model).

Závěrem k výše uvedeným charakteristikám je účelné připomenout – z hlediska hodnocení úrovně a podmínek spolupůsobení vláken s cementovou matricí – nezbytnost dalších specifických zkoušek, jako jsou v případě vláken s omezenou odolností vůči alkalickému prostředí dříve citovaná metoda SIC, či obecně v případě jakýchkoliv vláken metoda pull-out (dosud stále nenormovaná).

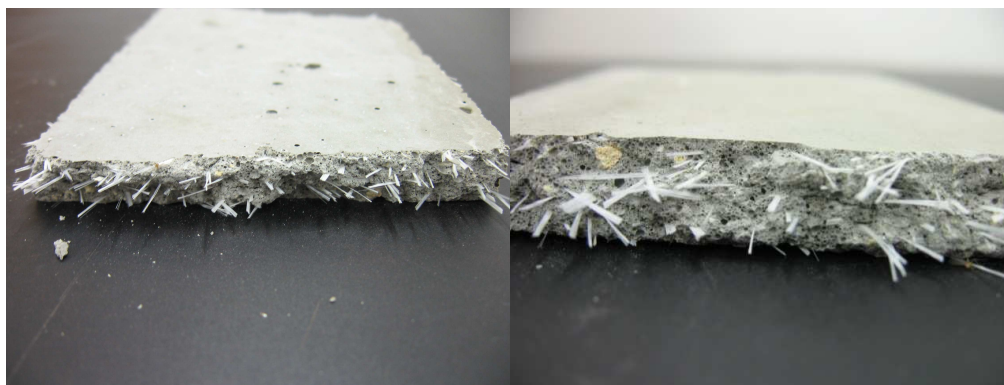
Stav výzkumu vláknových kompozitů pro tenkostěnné prvky v ČR

V rámci komplexního projektu MŠMT „Centrum integrovaného výzkumu anorganických kompozitů“ řeší v letech 2006 až 2009 DAKO Brno, s.r.o. ve spolupráci s VUSTAH dílčí program orientovaný na vytvoření nové varianty vysoce jakostního anorganického vláknového kompozitu pro tenkostěnné prvky.

Očekávané výsledky řešení jsou orientivány na vytvoření nové skladby cementového kompozitu s výrazně potlačenou permeabilitou, opírající se o užití specifických přísad a komponent. Vlastnosti matrice vytvoří příznivé podmínky pro dlouhodobou pozitivní synergii s užitou vláknovou výztuží.

Hlavní aplikační směry nekovové výztuže budou položeny na užití orientované vláknové výztuže různých proveniencí ve formě sítí, jmenovitě na bázi alkalivzdorných skleněných vláken, aramidových a polypropylenových vláken.

O dosažených výsledcích bude technická veřejnost průběžně informována.



Stav normalizace hodnocení vlastností cementových kompozitů s vláknovou výztuží, akreditovaná zkušební laboratoř č. 1130.3 Zkušební laboratoř kameniva a kompozitních materiálů – ZL KKM při VUSTAH Brno.

Prezentace zkoušek, které provádíme v laboratoři ZL KKM

Název zkušební postupu	Identifikace zkušební postupu	Název normy
Předmět zkoušky: Sklovláknobeton		
Stanovení nasákavosti vodou a objemové hmotnosti v suchém stavu	ČSN EN 1170-6	Prefabrikované betonové výrobky - Zkušební metoda pro sklovláknobeton - Část 6: Stanovení nasákavosti vodou a objemové hmotnosti v suchém stavu
Stanovení délkových změn vlivem vlhkosti	ČSN EN 1170-7	Prefabrikované betonové výrobky - Zkušební metoda pro sklovláknobeton - Část 7: Stanovení délkových změn vlivem vlhkosti
Stanovení nepropustnosti vody	PZN - VUSTAH 0200 05 2005	Fyzikální vlastnosti sklovláknobetonových výrobků Nepropustnost vody
Stanovení působení střídavého nasákání vodou a vysoušení	PZN - VUSTAH 0200 06 2005	Fyzikální vlastnosti sklovláknobetonových výrobků Působení střídavého nasákání vodou a vysoušení
Stanovení vlivu uložení ve vodě 60°C	PZN - VUSTAH 0200 07 2005	Fyzikální vlastnosti sklovláknobetonových výrobků Vliv uložení ve vodě 60°C
Stanovení mrazuvzdornosti	PZN - VUSTAH 0200 08 2005	Fyzikální vlastnosti sklovláknobetonových výrobků Mrazuvzdornost
Stanovení objemové hmotnosti hydrostatickým vážením	PZN - VUSTAH 0200 09 2005	Fyzikální vlastnosti sklovláknobetonových výrobků Objemová hmotnost hydrostatickým vážením
Stanovení pevnosti v tahu za ohybu	PZN - VUSTAH 0200 10 2005	Fyzikální vlastnosti sklovláknobetonových výrobků Stanovení pevnosti v tahu za ohybu
Předmět zkoušky: Přírodní a umělé kamenivo		
Stanovení zrnitosti – Sítový rozbor	ČSN EN 933-1	Zkoušení geometrických vlastností kameniva - Část 1: Stanovení zrnitosti - Sítový rozbor
Stanovení tvaru zrn – Tvarový index	ČSN EN 933-4	Zkoušení geometrických vlastností kameniva - Část 4: Stanovení tvaru zrn - Tvarový index
Stanovení sypané hmotnosti a mezerovitosti volně sypaného kameniva	ČSN EN 1097-3	Zkoušení mechanických a fyzikálních vlastností kameniva - Část 3: Stanovení sypané hmotnosti a mezerovitosti volně sypaného kameniva
Stanovení vlhkosti sušením v sušárně	ČSN EN 1097-5	Zkoušení mechanických a fyzikálních vlastností kameniva - Část 5: Stanovení vlhkosti sušením v sušárně
Stanovení odolnosti proti zmrazování a rozmrazování	ČSN EN 1367-1	Zkoušení odolnosti kameniva vůči teplotě a zvětrávání - Část 1: Stanovení odolnosti proti zmrazování a rozmrazování
Stanovení obsahu humusovitých částic	ČSN EN 1744-1	Zkoušení chemických vlastností kameniva - Část 1: Chemický rozbor - Stanovení obsahu humusovitých částic
Zkouška trvanlivosti kameniva síranem sodným	ČSN 72 1176	Zkouška trvanlivosti a odolnosti kameniva proti mrazu
Stanovení rozlišných částic kameniva	ČSN 72 1180	Stanovení rozlišných částic kameniva
Zkouška ztrátou sušením – Stanovení míry nevhodných jemných částic (Míra zahlinění)	ČSN 72 1187	Zkoušení jemných částic pro asfaltové směsi - Zkouška ztrátou sušením
Stanovení nasákavosti kameniva	PZN - VUSTAH 0200 11 2006	Fyzikální vlastnosti kameniva Stanovení nasákavosti kameniva
Odběr vzorků kameniva	ČSN EN 932-1	Zkoušení všeobecných vlastností kameniva Část 1: Metody odběru vzorků

Neakreditované zkoušky

Název zkušebního postupu	Identifikace zkušební postupu	Název normy
Předmět zkoušky: Sklovláknobeton – kabelové žlaby		
Stanovení rozměrů a únosnosti kabelového žlabu	PN VUSTAH 0211:2006	UNICRET MIX KABELOVÉ ŽLABY UNI 121
Předmět zkoušky: Přírodní a umělé kamenivo		
Stanovení měrné hmotnosti fileru – Pyknometrická zkouška	ČSN EN 1097-7	Zkoušení mechanických a fyzikálních vlastností kameniva - Část 7: Stanovení měrné hmotnosti fileru - Pyknometrická zkouška



Závěr

Používání nekovových alkalivzdorných vláken pro disperzní vyztužování kompozitních materiálů na bázi portlandského cementu má nepochybnou budoucnost. Je pouze otázkou času, kdy i v podmínkách ČR bude dosaženo plného technického využití dosažený poznatků tohoto oboru.

Tento příspěvek byl zpracován za podpory projektu MŠMT ČR re.č. 1M06005 a grantového projektu GAČR reg. č. 103/06/1474.

Literatura

Kyung K.H., Meyer C.: Arami Fiber Mesh as Reinforcement of Concrete Panels Subjected to High Strain Rates, Proceedings of 1st International Conference Textile Reinforced Concrete (ICTRC), Aachen, September 6/7, 2006, pp 351 -358

RNDr. Wail KHAZAL, tel. +420 543 529 299, e-mail: khazal@vustah.cz

Ing. Josef KNĚZEK, CSc., tel. +420 543 529 275, e-mail: knezek@vustah.cz

Ing. Ludvík LEDERER, tel. +420 543 212 142, e-mail: info@dakobrnno.com

Ing. Vladan PRACHAR, tel. +420 543 529 299, e-mail: prachar@vustah.cz