



ECC TENSILE TESTING METHOD

J. Pekař *, P. Kabele*, P. Padevět*

Summary: *The main purpose of this paper is to introduce mechanical properties of Engineered Cementitious Composites (ECC) and to describe the tensile testing method used at the Faculty of Civil Engineering, CTU in Prague. The manufacturing process is described in detail as well as the tensile test and the analysis of measured quantities.*

1. Úvod

Cementové kompozity s řízenými vlastnostmi (ECC – Engineered Cementitious Composites) jsou poměrně novým materiálem. Tento materiál patří to třídy cementových kompozitů s tahovým zpevněním (v anglické literatuře se používá označení SHCC - Strain Hardening Cementitious Composites nebo také HPFRCC – High Performance Fiber Reinforced Cementitious Composites). Spektrum využití ECC materiálů je velmi obsáhlé a stále se rozšiřuje. Díky svým mechanickým vlastnostem našly uplatnění v pozemním i dopravním stavitelství.

Kompozit je tvořen cementovou maticí vyztuženou rozptýlenými krátkými PVA vlákny. Tato vlákna jsou dlouhá 12 mm a jejich průměr je 40 μ m. Matrice materiálu je tvořena cementem, jemným pískem a popílkem, dále jsou přidávány další tekuté složky jako superplastifikátor, provzdušňovací a protismršťovací přísady. Skladba ECC kompozitu je navržena tak, aby materiál vykazoval velmi vysokou duktilitu v tahu, jež umožňuje absorbovat velké tahové deformace, cca až do poměrného přetvoření 5% (Li 2003). Těchto vlastností je dosaženo díky vzniku velkého množství rozptýlených trhlin, jež jsou přemostěny vlákny. Šířka těchto trhlin je v řádech desítek μ m. ECC vykazují deformační zpevnění a to i přes poměrně malý obsah vláken ~2% (objemu).

Vysoké nároky, jež jsou kladeny na vlastnosti kompozitů, vedou k nutnosti dostatečně přesně popsat chování tohoto materiálu. Komise HFC organizace RILEM (<http://tchfc.engin.umich.edu/>) v současné době pracuje mimo jiné na návrhu standardní metody pro určování tahových vlastností kompozitů třídy SHCC. Za tímto účelem jsou prováděny srovnávací zkoušky (round robin tests), jejichž cílem je porovnat metodiku výroby vzorků a jejich zkoušení používanou různými laboratořemi a určit, jaký vliv má na naměřené charakteristiky materiálu. V tomto článku prezentujeme výsledky získané v rámci této aktivity na Stavební fakultě ČVUT v Praze.

* Ing. Jaroslav Pekař , Doc.Ing.Petr Kabele Ph.D., Ing. Pavel Padevět Ph.D : Katedra mechaniky , fakulta stavební , ČVUT v Praze, Thákurova 7, 166 29 Praha 6 - Dejvice; Tel: (+420) 224 354 498, email jaroslav.pekar@fsv.cvut.cz

2. Výroba ECC

K experimentům byl všemi zúčastněnými laboratořemi použit stejný materiál, který je komerčně dostupný ve formě suché směsi pod označením ECC-KAJIMA od firmy Futase. V tomto materiálu jsou použita PVA vlákna Kuralon II REC 15 (Mixing manual 2006). Součástí balení je vlastní směs suchých složek (Obr. 1), superplastifikátor, přísada redukující smršťování a provzdušňující přísada. Postup výrobního procesu je pevně dán výrobcem a je nutné dodržet zejména dané koncentrace jednotlivých přísad. Postup výroby je možné rozdělit do několika fází:

- 1) Umístění suché směsi do míchačky
- 2) Přidání vody a naředěných přísad - (Obr. 5)
- 3) Mixování po dobu 10 minut (první 2 minuty 20 ot/min, zbývající 40 ot/min)
- 4) Kontrola kvality směsi - (Obr. 6), (Obr. 7)
- 5) Odlévání zkušebních těles - (Obr. 8)



(Obr. 1 - Suchá směs)

Při přípravě směsi je důležité důsledně dodržovat dobu míchání a otáčky míchačky. Tyto parametry mají zásadní vliv na kvalitu a zpracovatelnost směsi. Kontrola kvality vyrobené směsi je prováděna pomocí standardních postupů.



(Obr. 2 - Superplastifikátor)



(Obr. 3 - Přísada proti smršťování)



(Obr. 4 - Provzdušňovadlo)

Měří se velikost rozlití směsi z normovaného kužele (Obr. 6). Průměr rozlití tohoto kužele by měl být v intervalu 550 ± 100 mm. Pokud je rozlitá plocha větší, je nutné snížit množství přidávaného plastifikátoru a naopak. Obsah vzduchu ve vyrobené směsi by se měl pohybovat v rozmezí $10 \pm 3\%$ (Obr. 7). Je-li obsah vzduchu větší, je nutné snížit množství přidávaného provzdušňovače.



(Obr. 5 - Přilítí vody a přísad)



(Obr. 6 - Měření kužele rozlití)

Pro odlévání zkušebních těles bylo použito dřevěné bednění tvořené jednotlivými rámečky o rozměrech 300x80x15mm (Obr. 8). Takto připravená tělesa byla obalena folií a uskladněna při pokojové teplotě. Odbedňování proběhlo po dvou dnech. Poté byly jednotlivé destičky (zabalené do folie) uskladněny při teplotě 20°C a vlhkosti 34% po dobu 24 dní.



(Obr. 7 - Určování obsahu vzduchu)



(Obr. 8 - Bednění s odlitou směsí)

Po 24 dnech byly z odlitých destiček nařezány zkušební vzorky, jež jsou použity pro tahovou zkoušku. Velikost vzorků byla upravena odřezáním povrchových vrstev tak, jak je naznačeno v (Obr. 9).

3. Tahová zkouška ECC

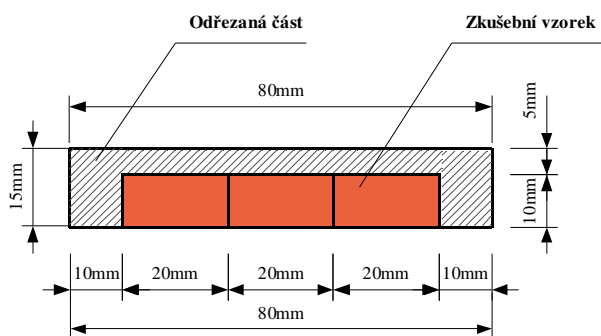
Při zkoušce ECC v tahu je zjišťována zejména makroskopická duktilita materiálu (tažnost, schopnost absorbovat větší deformace). U ECC je základním předpokladem duktilního chování vznik rozptýlených trhlin.

Pro tahovou zkoušku jsou použity vzorky o rozměrech: $w=10\text{ mm}$, $h=20\text{ mm}$, $l=300\text{ mm}$ (Obr. 10).

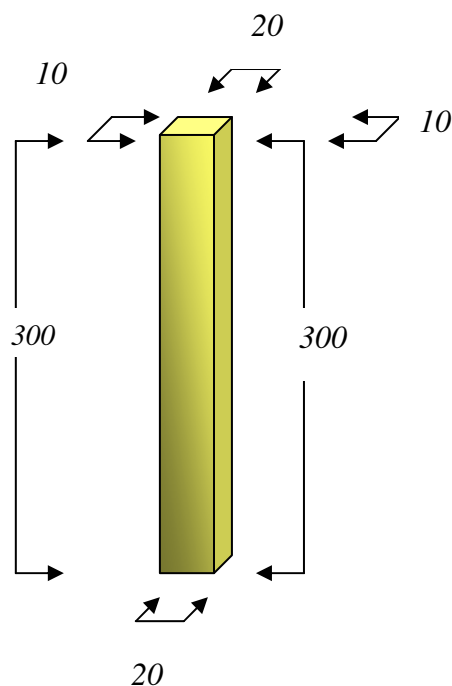
Zkoušky jsou prováděny na přístroji

Aliance RT 30 od firmy MTS s 30kN siloměrem. Při zkoušce je vzorek osazen jedním extenzometrem propojeným s počítačem (Obr. 11). Je použit co nejdelší extenzometr (145,9 mm), aby bylo možné zachytit deformaci na co největší oblasti vzorku. Průběh zkoušky je řízen posunem tak, aby mohla být popsána i oblast deformace po dosažení max. tahové pevnosti. Rychlost posunu zatěžovacího ramene byla empiricky určena při testování zkušebních vzorků a její hodnota je 0,25 mm/min.

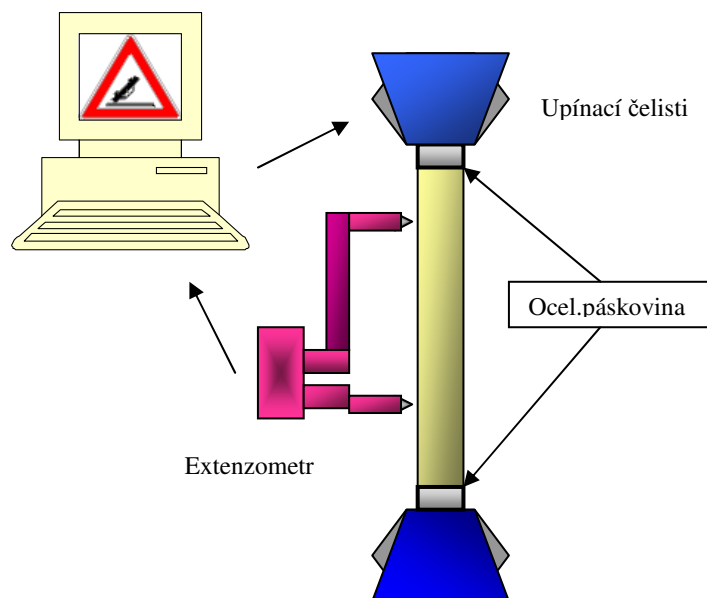
Po nastavení všech potřebných parametrů v řídicím programu (volba zkušební metody, velikost posunu hlavy zatěžovacího válce aj.) je vzorek usazen do upínacích čelistí zkušebního stroje. Upnutí působí jako dvojité vetknutí. Je nutné zajistit, aby byly čelisti natočeny v rovině vzorku a nezpůsobovaly kroucení a ohyb vzorku.



(Obr. 9 - Řezání vzorků)



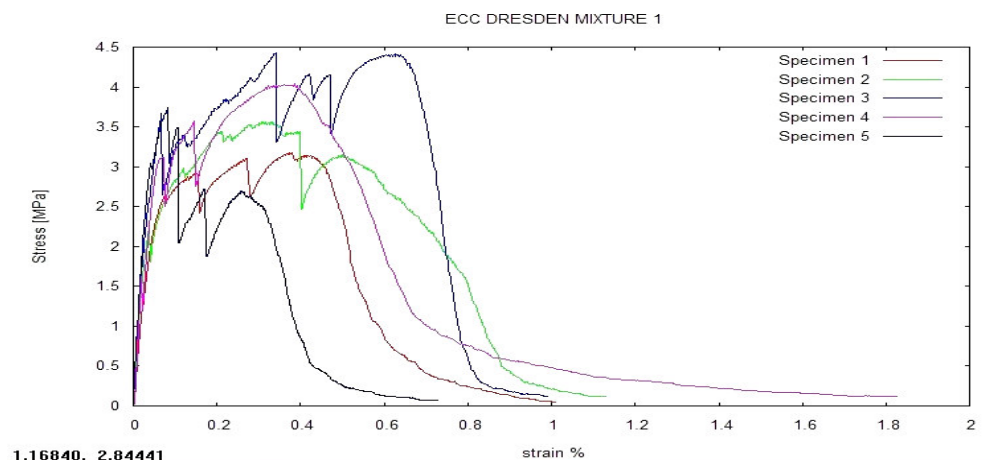
(Obr. 10 - Zkušební vzorek)



(Obr. 11 - Schéma testovací sestavy)

4. Analýza měřených dat

V průběhu zkoušky jsou zaznamenávány následující údaje : posun hlavy zatěžovacího válce [m], deformace [-] - pomocí extenzometru připevněného na vzorku, síla [N] působící na vzorek a doba trvání zkoušky [s] . Při testování je pořizována foto-dokumentace, která zaznamenává vznik, vývoj a počet trhlin při maximálním zatížení vzorku. Výstupní údaje jsou ukládány a je možné je graficky zobrazit popřípadě exportovat pro další použití. Hlavním výstupem zkoušky je graf (σ - ϵ) (Obr. 12), kde σ [MPa] je tahové napětí a ϵ je poměrná deformace [-].



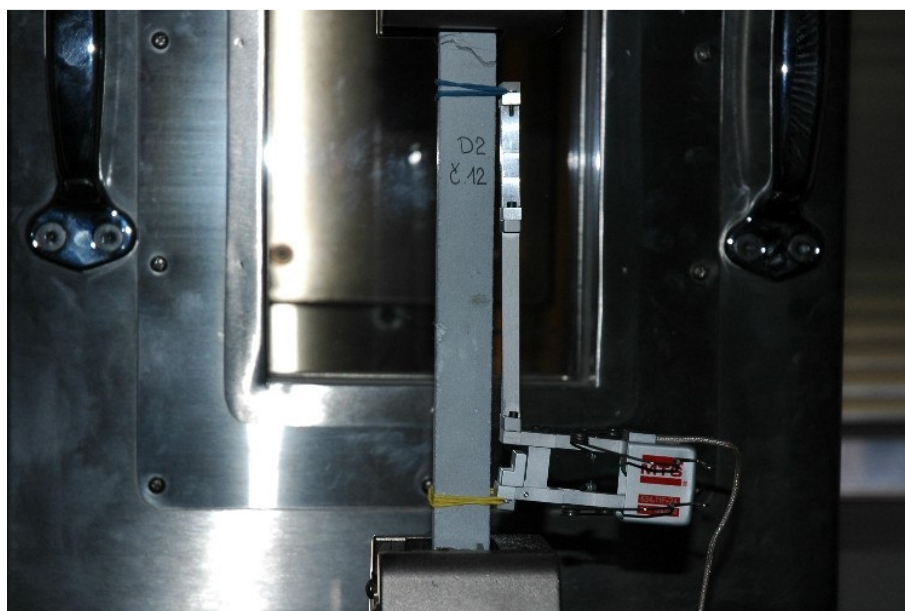
(Obr. 12 - Zkušební diagram σ - ϵ)

Z naměřených hodnot můžeme určit napětí při kterém došlo ke vzniku a rozvoji trhlin, tahovou pevnost materiálu i deformační kapacitu každého vzorku viz.(Tab.1).

(Tab.1 - Výsledky zkoušky směs KAJIMA ECC)

				DRESDEN ECC - MIXTURE 1			Crosshead movement
Specimen	Cross-section	kind	amount	stress at first crack	tensile strength	strain capacity	strain capacity
	[mm ²]			[Mpa]	[Mpa]	[%]	[%]
1	200	Displacement control.	15	2.91	3.17	unable to determine	0.42
2	197			3.67	4.43	0.4	0.49
3	197			2.23	3.56	0.55	0.62
4	193			1.62	3.9	unable to determine	0.38
5	194			2.99	3.68	0.29	0.26
6	196			2.45	2.91	unable to determine	0.73
7	198			3.25	4.72	0.23	0.66
8	196			2.99	3.66	unable to determine	0.42
9	191			unable to determine	3.23	unable to determine	1.37
10	200			4.15	4.52	unable to determine	1.87
11	194			3.69	3.93	0.56	0.56
12	196			1.8	2	0.33	0.33
13	201			unable to determine	1.92	unable to determine	x
14	193			2.42	2.88	unable to determine	0.71
15	196			1.65	2.33	0.27	x
Average				2.76	3.39	0.38	0.68

V tabulce 1 jsou vedle naměřených hodnot napětí a deformací uvedeny také výsledky "unable to determine". U těchto vzorků nebylo možné **přesně** určit zejména deformační kapacitu. Toto je dáno hlavně délkou extenzometru (145,9 mm) (Obr. 13). Délka vzorku mezi čelistmi je totiž přibližně 200 mm a v mnoha případech docházelo ke vzniku trhlin mimo měřenou oblast extenzometru. Deformační kapacita byla i přesto spočítána pomocí známého posunu hlavy zatěžovacího válce (Crosshead movement strain capacity). Tato hodnota je však pouze



(Obr. 13 - Zkušební vzorek s extenzometrem)

orientační a slouží k hrubému odhadu deformace.

Naměřené hodnoty deformací (Tab. 1) se výrazně liší od předpokládaných hodnot ~5% viz. **Úvod**. Jedním (nikoliv jediným) z možných vysvětlení je velikost zkušebních vzorků. V průběhu odlévání směsi do bednění a při zrání těles může docházet ke vzniku nespojitostí

v materiálu. Nespojivosti jsou tvořeny malými vzduchovými kapsami, které oslabují matici kompozitu. Tyto "kapsy" jsou pak iniciátory vzniku trhlin v průběhu zatěžování a výrazně snižují celkovou deformační kapacitu materiálu. Při poměrně malé průřezové ploše vzorku cca. 200mm² nedochází k dostatečnému přemostění trhlin pomocí vláken a redistribuci napětí do neoslabené části kompozitu. Naopak tahová pevnost a napětí při vzniku trhlin (Tab. 1) dosahují průměrných hodnot pro daný typ ECC.

5. Závěr

V současné době neexistuje jednotný postup, který by určoval jakým způsobem správně zjišťovat vlastnosti ECC. Z výše uvedeného vyplývá, že je třeba hledat testovací metody, které budou schopny dostatečně přesně a spolehlivě popsat chování tohoto materiálu tak, aby bylo možné vhodně využívat jeho vlastností zejména ve stavební praxi.

6. Poděkování

Tato práce vznikla za podpory grantu GAČR 103/05/0896.

7. Literatura

Victor C. Li (2003) On Engineered Cementitious Composites (ECC) *Journal of Advanced Concrete Technology Vol.1, No.3, 215-230*

Mixing manual of ECC Dry Mix for Casting (2006) *Kajima Technical Research Institute*