

SLEDOVÁNÍ VLIVU ZPŮSOBU VYZTUŽENÍ NA OHYBOVOU PEVNOST VLÁKNOCEMENTOVÝCH DESEK

MONITORING OF INFLUENCE OF REINFORCEMENT KIND ON BENDING STRENGTH OF FIBRE CEMENT SLABS

Dalibor Kocáb¹
Ondřej Pospíchal²
Barbara Kucharczyková³

Abstract

This article deals with the evaluation of the influence of kind of reinforcement placed in the cement slabs on their final bending strength.

Stiff-plastic cement slabs of thickness of 10 mm with different types of reinforcement were used for the experiment. Overall, there were 7 types of reinforcements – two slabs were reinforced only with dispersed nonmetallic fibres and the other five slabs were reinforced with a dispersed reinforcement combined with a surface nonmetallic reinforcement. The specimens were tested by the three point bending test.

The outcome of the experiment is primarily in the form of graphic and tabular assessment of the influence of used reinforcement on the cement slabs bending strength.

Keywords

Fibre cement slab, kind of reinforcement, bending strength, nonmetallic fibres

1 ÚVOD

Pevnost v tahu ohybem cementových desek nejvíce ovlivňuje způsob jejich vyztužení. Pomocí třebodového ohybu byla ověřována vhodnost použitého vyztužení desek z jemnozrnné cementové malty. Pro potřeby zkoušek bylo k dispozici 7 zkušebních vzorků s různým vyztužením pomocí nekovových rozptýlených vláken kombinovaných s plošnými tkaninami či sítěmi.

Experiment byl zaměřen na porovnání dvou druhů použité rozptýlené výztuže – zejména jaký vliv mají nekovová vlákna na pevnost v tahu ohybem. Bylo také zjišťováno, která plošná nekovová výztuž (přidaná k rozptýleným vláknům) má na pevnost pozitivnější účinky.

2 VŠEOBECNÉ ÚDAJE

Ke zjišťování vlivu vyztužení byly použity tuhé tenké desky vyrobené z jemnozrnné cementové malty o tloušťce 10 mm, jejichž návrh, výrobu a ošetřování zajišťovali pracovníci VUSTAH Brno. Jednalo se o 7 typů vyztužení – dvě desky byly vyztuženy pouze pomocí rozptýlených nekovových vláken, zbylých pět desek bylo vyztuženo pomocí rozptýlené výztuže kombinované s plošnou nekovovou výztuží (tkaniny, síť a rohože).

Složení cementové matrice je uvedeno v *Tab. 1*, v *Tab. 2* je pak uvedena podrobná specifikace vyrobených desek, včetně způsobu vyztužení. Pro experimenty byla k dispozici vždy jedna deska daného vyztužení s rozměry 500x500 mm. Všechny 7 zkušebních vzorků bylo odzkoušeno před tímto experimentem pomocí nedestruktivních metod (TPT a ultrazvuková impulsní metoda, část výsledků viz [2]), poté byly z každé desky řezáním připraveny 4 zkušební vzorky šířky 80 mm a délky 320 mm. Zkušební tělesa pro zjišťování pevnosti v tahu ohybem byla z cementové desky odebrána ze všech čtyř okrajů tak, aby střed desky zůstal zachován pro další plánované experimenty.

¹ Dalibor Kocáb, Ing., Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav stavebního zkušebnictví, Veveří 331/95, 602 00 Brno, 541 147 811, kocab.d@fce.vutbr.cz

² Ondřej Pospíchal, Ing., Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav stavebního zkušebnictví, Veveří 331/95, 602 00 Brno, 541 147 811, pospichal.o@fce.vutbr.cz

³ Barbara Kucharczyková, Ing., Ph.D., Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav stavebního zkušebnictví, Veveří 331/95, 602 00 Brno, 541 147 527, kucharczykova.b@fce.vutbr.cz

Tab. 1: Složení základní cementové matrice

| Složky | Objemové zastoupení složek |
|-----------------------|----------------------------|
| Portlandský cement | 55% |
| Jemnozrný písek | 42% |
| Jemnozrné plnivo | 3% |
| Plastifikační přísada | 1,5% |
| Odpěňovací přísada | 0,15% |

Pozn.: Všechny složky byly dávkovány hmotnostně. Dávkování PVA vlákna a vody bylo upraveno vzhledem k dosažení srovnatelné konzistence. Plošná výztuž byla vždy situována nejbližší lícové (hladké) strany zkušební desky.

Tab. 2: Seznam vzorků předaných ke zkouškám

| Datum výroby | Označení | Disperzní výztuž | Plošná výztuž | Vodní souč. (v/c) | Rozlítí (cm) |
|--------------|----------|--------------------------|------------------|-------------------|--------------|
| 1. 7. 2010 | V1 | ARG vlákno 12 mm (3,0 %) | | 0,34 | 25,0 |
| 24. 6. 2010 | V2 | PVA vlákno 8 mm (1,5 %) | | 0,34 | 21,0 |
| 2. 7. 2010 | SKCO-2 | ARG vlákno 12 mm (3,0 %) | ARG síť 10x10 mm | 0,30 | 22,0 |
| 25. 6. 2010 | SKCO-6 | PVA vlákno 8 mm (1,5 %) | ARG rohož | 0,34 | 22,0 |
| 30. 6. 2010 | SKCO-10 | PVA vlákno 8 mm (1,5 %) | uhlíková tkanina | 0,33 | 19,0 |
| 28. 6. 2010 | SKCO-12 | ARG vlákno 12 mm (3,0 %) | PVA síť 15x15 mm | 0,30 | 22,5 |
| 29. 6. 2010 | SKCO-14 | PVA vlákno 8 mm (1,5 %) | PVA síť 15x15 mm | 0,34 | 22,5 |

Pozn.: Všechny zkušební desky bez výztuže i s výztuží nebyly uloženy v „ideálních“ vlhkostních podmínkách, ale byly po odformování ponechány ve výrobní hale, aby zrály ve stejných podmínkách jako skutečné výrobky.

3 METODIKA ZKOUŠEK

Všechny zkušební vzorky byly odzkoušeny v laboratořích Ústavu stavebního zkušebnictví Fakulty stavební VUT v Brně. Na každém zkušebním tělese byly nejdříve určeny jeho rozměry. Poté byla deska umístěna do zkušební lisu ZWICK (viz Obr. 1 až Obr. 4), ve kterém byla podrobena tahovému namáhání třibodovým ohybem. Deska byla na podpory umístěna hrubým povrchem směrem dolů.



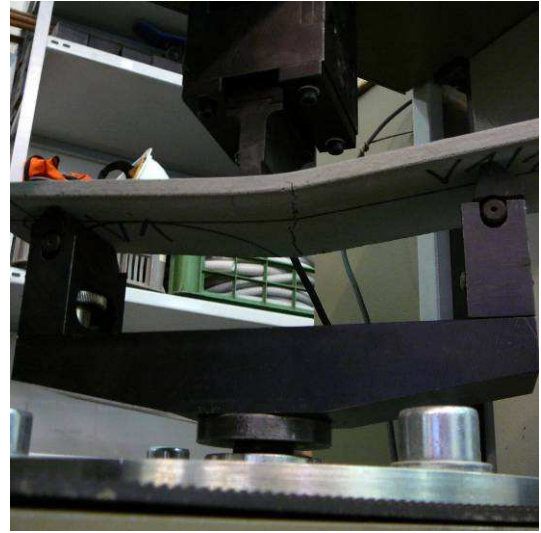
Obr. 1: Vzorek SKCO-14_4 umístěný v lisu ZWICK před zkouškou pevnosti v tahu ohybem



Obr. 2: Vzorek SKCO-14_4 umístěný v lisu ZWICK po zkoušce pevnosti v tahu ohybem

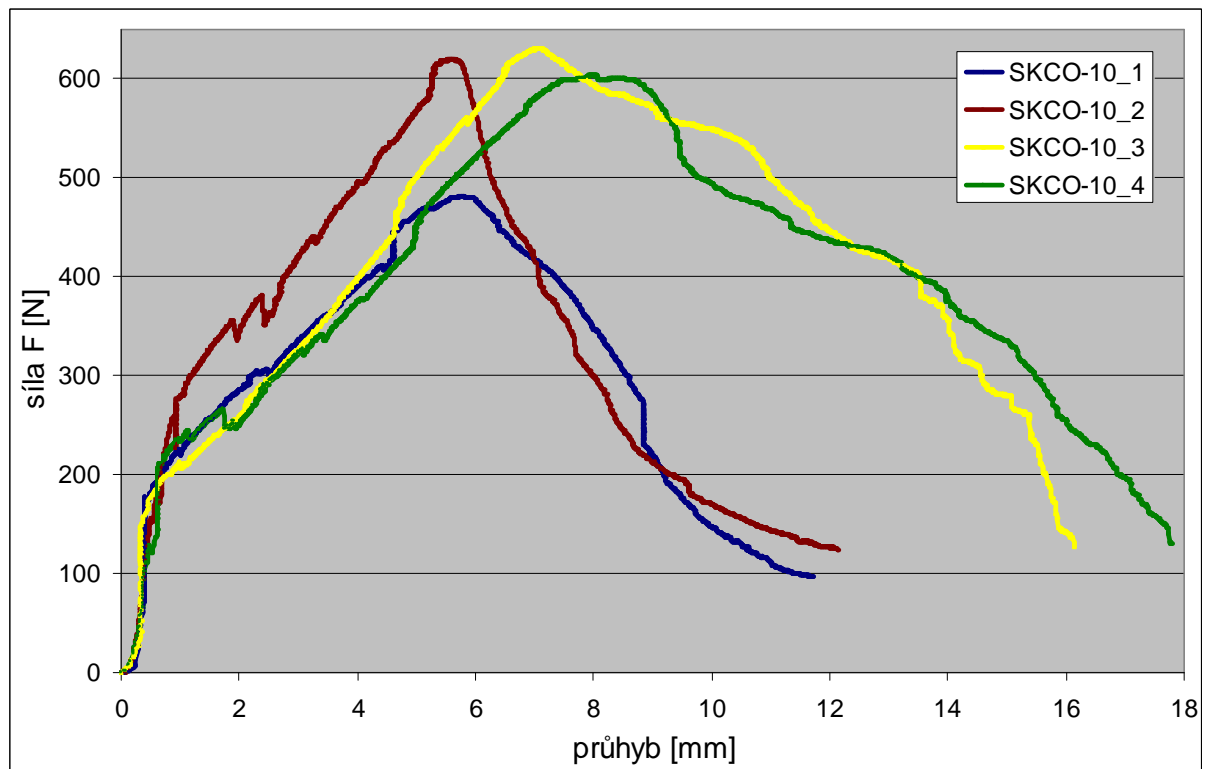


Obr. 2: Vzorek V1_1 umístěný v lisu ZWICK během zkoušky pevnosti v tahu ohybem

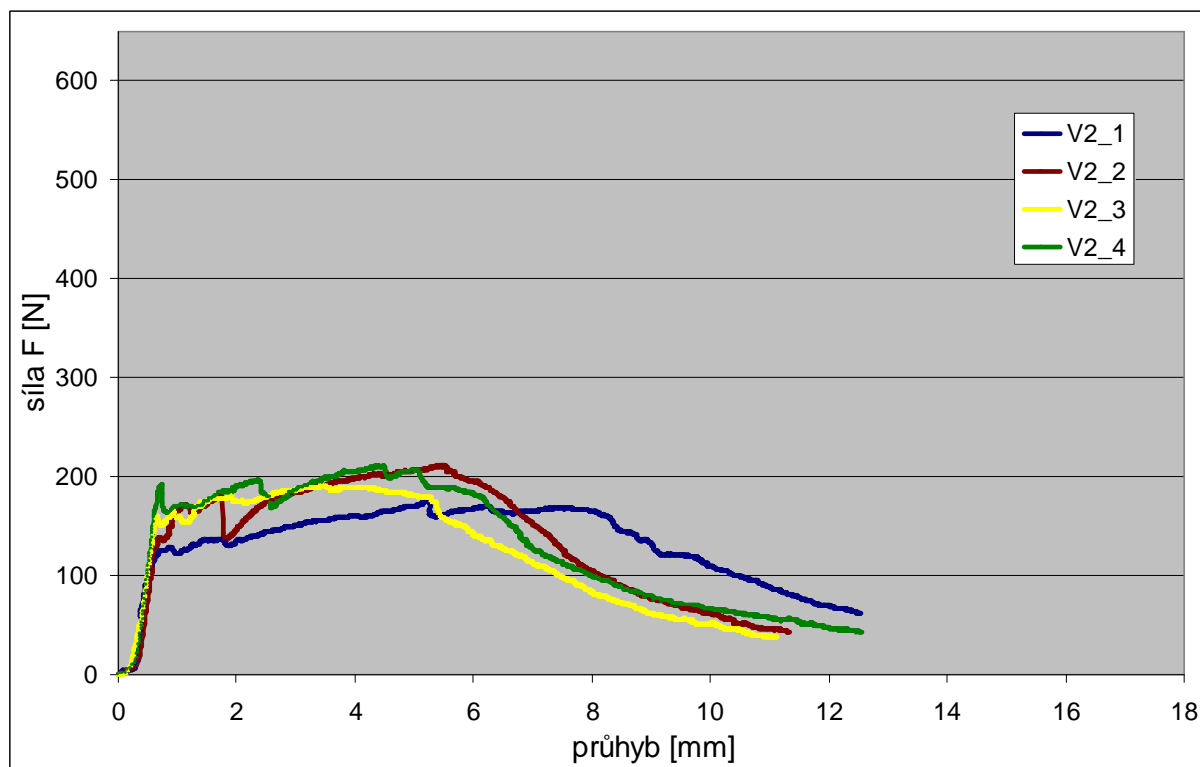


Obr. 4: Vzorek V1_1 po zkoušce pevnosti v tahu ohybem; detail nestandardního porušení

Vzdálenost podpor byla 200 mm a během zatěžování byla snímána působící síla a pokles příčnicku, na němž je umístěno břemeno vyvolující sílu. Hodnota poklesu příčnicku je totožná s celkovým průhybem zkoušené desky. Naměřená data byla použita k vynesení pracovního diagramu desek, příklad rozdílnosti pracovních diagramů různých desek je zobrazen v grafech na Obr. 5 a Obr. 6.



Obr. 5: Pracovní diagramy desek s výztuží: PVA vlákno 8 mm + uhlíková tkanina

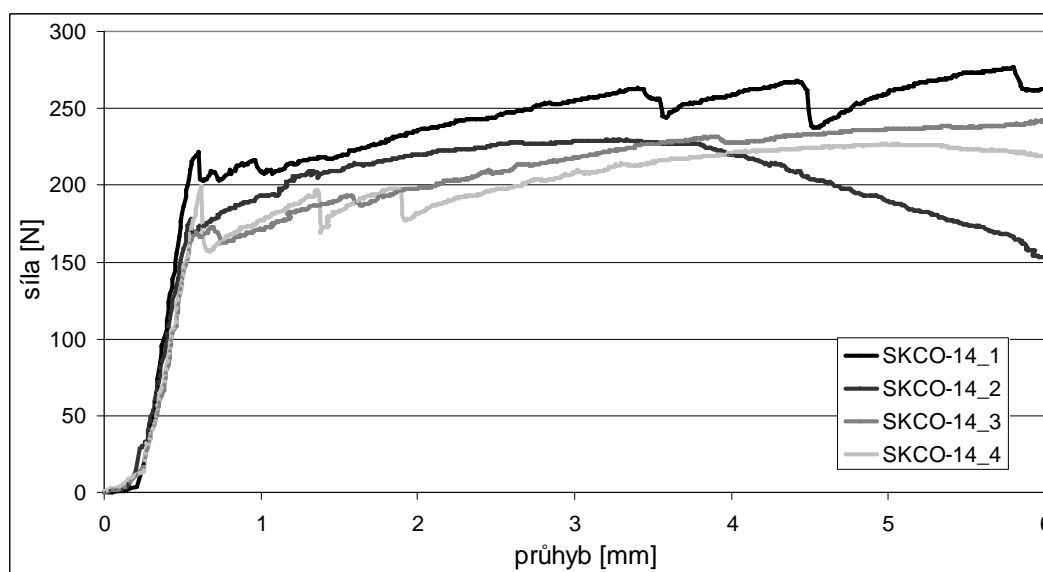


Obr. 6: Pracovní diagramy desek s výztuží: PVA vlákno 8 mm

4 DOSAŽENÉ VÝSLEDKY

Z pracovních diagramů je zřejmé, že maximální sílu není možné použít do výpočtu výsledné hodnoty pevnosti. U většiny zkušebních vzorků docházelo k masivnímu vzniku trhlin a jejich rozšiřování ještě předtím, než bylo dosaženo maximální hranice zatížení. Tato skutečnost je dobře patrná na Obr. 6.

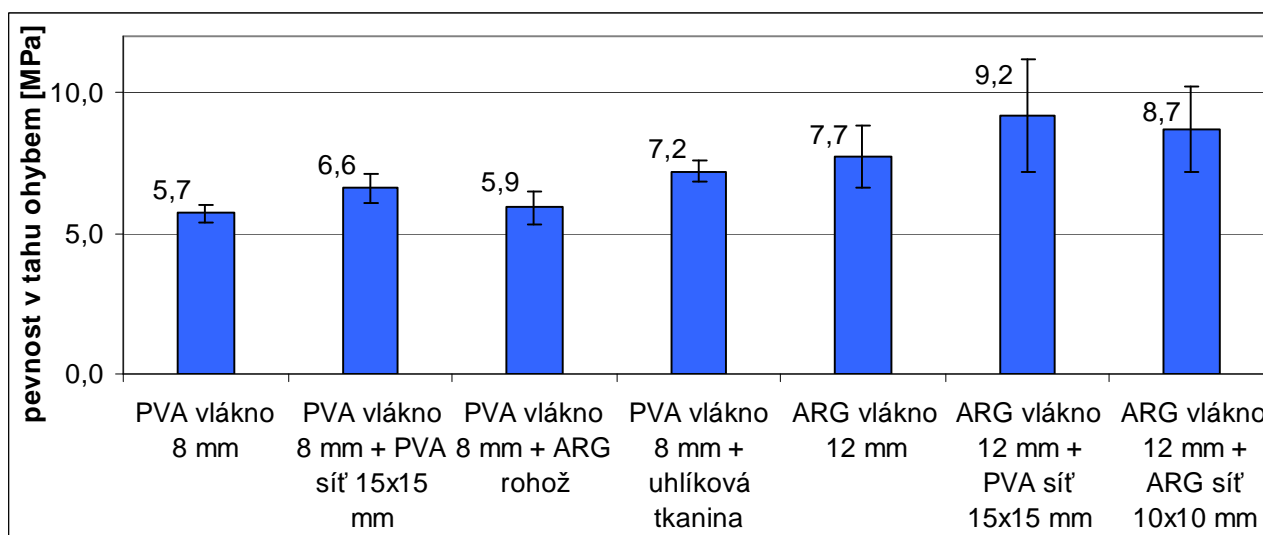
Z pracovních diagramů byla proto odečtena působící síla při vzniku prvních trhlin a následného výrazného nárůstu průhybu při menším navýšení zatížení (označena indexem f_m – „mez kluzu“). Tato síla byla následně použita pro výpočet pevnosti v tahu ohybem. Příklad pracovního diagramu bez sestupné větve, ze kterého byla síla odečítána, se nachází na Obr. 7. Veškerá naměřená data a výsledné hodnoty jsou zobrazeny v Tab. 3. Srovnání průměrných hodnot pevnosti v tahu ohybem včetně směrodatných odchylek je zobrazeno v grafu na Obr. 8.



Obr. 7: Příklad pracovního diagramu (deska SKCO-14), ze kterého byla odečítána síla pro výpočet pevnosti

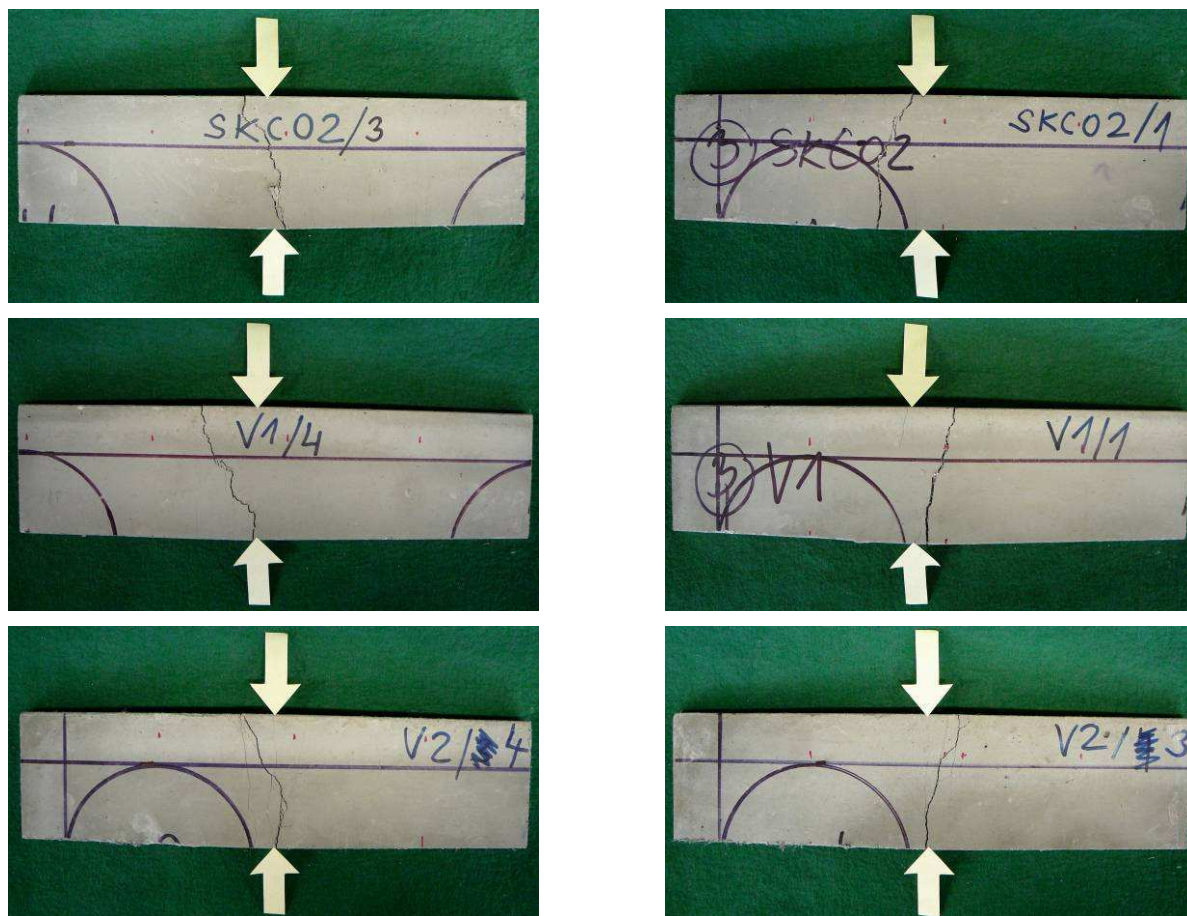
Tab. 3: Naměřená data a jejich vyhodnocení všech zkušebních desek; pro ilustraci je vypočtena pevnost $f_{c,max.F}$ pomocí maximální síly (v době, kdy již deska byla výrazně poškozena trhlinami) ve srovnání s výslednou pevností f_{cf}

| Vzorek | h [mm] | b [mm] | max. F [N] | $f_{c,max.F}$ [MPa] | F_{mk} [N] | f_{cf} [MPa] | průměr | sm.odch. |
|-----------|--------|--------|------------|---------------------|--------------|----------------|--------|----------|
| V1_1 | 8,4 | 80,1 | 282,39 | 14,99 | 127,00 | 6,74 | 7,7 | 1,1 |
| V1_2 | 9,4 | 79,8 | 335,55 | 14,28 | 185,14 | 7,88 | | |
| V1_3 | 8,6 | 79,9 | 264,02 | 13,40 | 138,84 | 7,05 | | |
| V1_4 | 9,5 | 79,8 | 412,37 | 17,18 | 222,11 | 9,25 | | |
| V2_1 | 9,5 | 79,9 | 175,90 | 7,32 | 126,08 | 5,25 | 5,7 | 0,3 |
| V2_2 | 9,5 | 80,1 | 211,80 | 8,79 | 138,93 | 5,77 | | |
| V2_3 | 10,0 | 80,0 | 190,83 | 7,16 | 159,38 | 5,98 | | |
| V2_4 | 11,0 | 80,0 | 211,44 | 6,55 | 191,83 | 5,95 | | |
| SKCO-2_1 | 9,8 | 80,0 | 380,63 | 14,86 | 260,12 | 10,16 | 8,7 | 1,5 |
| SKCO-2_2 | 9,6 | 79,7 | 384,45 | 15,70 | 211,62 | 8,64 | | |
| SKCO-2_3 | 9,4 | 79,7 | 384,68 | 16,39 | 217,45 | 9,26 | | |
| SKCO-2_4 | 8,9 | 79,9 | 359,22 | 17,03 | 140,92 | 6,68 | | |
| SKCO-6_1 | 8,3 | 79,8 | 213,88 | 11,67 | 93,06 | 5,08 | 5,9 | 0,6 |
| SKCO-6_2 | 9,9 | 80,1 | 323,40 | 12,36 | 148,39 | 5,67 | | |
| SKCO-6_3 | 8,4 | 80,1 | 215,49 | 11,44 | 118,65 | 6,30 | | |
| SKCO-6_4 | 9,3 | 80,0 | 256,26 | 11,11 | 148,20 | 6,43 | | |
| SKCO-10_1 | 9,5 | 80,1 | 481,13 | 19,97 | 177,51 | 7,37 | 7,2 | 0,4 |
| SKCO-10_2 | 10,2 | 79,9 | 620,07 | 22,38 | 197,49 | 7,13 | | |
| SKCO-10_3 | 9,9 | 80,0 | 630,92 | 24,14 | 176,27 | 6,74 | | |
| SKCO-10_4 | 10,1 | 79,9 | 604,03 | 22,23 | 206,99 | 7,62 | | |
| SKCO-12_1 | 9,5 | 79,9 | 389,89 | 16,22 | 208,95 | 8,69 | 9,2 | 2,0 |
| SKCO-12_2 | 10,3 | 79,9 | 467,73 | 16,55 | 339,12 | 12,00 | | |
| SKCO-12_3 | 9,6 | 80,0 | 327,87 | 13,34 | 210,16 | 8,55 | | |
| SKCO-12_4 | 9,1 | 80,0 | 279,52 | 12,66 | 164,30 | 7,44 | | |
| SKCO-14_1 | 10,8 | 79,9 | 281,95 | 9,08 | 221,85 | 7,14 | 6,6 | 0,5 |
| SKCO-14_2 | 10,2 | 79,9 | 229,80 | 8,29 | 177,71 | 6,41 | | |
| SKCO-14_3 | 10,3 | 80,0 | 242,50 | 8,57 | 169,01 | 5,97 | | |
| SKCO-14_4 | 10,4 | 80,0 | 226,79 | 7,86 | 199,07 | 6,90 | | |



Obr. 8: Průměrné hodnoty součinitele vzduchové propustnosti zjištěné metodou TPT včetně směrodatné odchylky (přepočtené na vlhkost 3 %)

Během provádění zkoušek tříbodovým ohybem bylo zjištěno, že asi polovina vzorků vykazovala nestandardní porušení, kdy k tahové trhlině na spodním líci desky nedošlo přímo pod břemenem, tedy v místě největšího momentu. Pozorný čtenář odkaz na tento problém zaregistroval již na Obr. 4, detailněji se s ním může seznámit na Obr. 9.



Obr. 9: Ukázky nejméně standardních porušení zkušebních těles

5 ZÁVĚR

Na základě podrobnějšího vyhodnocení výsledků provedených zkoušek lze konstatovat, že na pevnost v tahu ohybem cementových desek má výraznější vliv použití rozptýlené výztuže než aplikace plošné výztuže (pokud je již deska vyztužena rozptýlenými vlákny).

Vyšších hodnot pevnosti v tahu ohybem dosahovaly desky s ARG vláknem jako rozptýlenou výztuží. PVA vlákna se v tomto ohledu jeví jako méně vhodná. Pevnost v tahu ohybem je při použití ARG vláken vyšší o 35,1 % oproti PVA vláknům. Desky vyztužené ARG vlákny vykazovaly ale také větší rozptyl hodnot.

Přidáním plošné výztuže k rozptýleným vláknům bylo zaznamenáno zvýšení pevnosti, nejednalo se ovšem o výrazný trend. Nejvyšší zaznamenaný nárůst byl o 26,3 % při použití uhlíkové tkaniny.

Poděkování

Tento příspěvek vznikl za podpory projektu Ministerstva školství, mládeže a tělovýchovy č. 1M06005 – projektu CIVAK.

Literatura

- [1] ČSN EN 12390-5. Zkoušení ztvrdlého betonu – Část 5: Pevnost v tahu ohybem zkušebních těles. Praha: ČNI, 2009
- [2] KOCÁB, D.; KUCHARCZYKOVÁ, B.; POSPÍCHAL, O.: Nedestruktivní sledování vlivu způsobu vyztužení na výsledné parametry vláknocementových desek. XV. mezinárodní konference Ekologie a nové stavební hmoty a výrobky. Telč, 2011, v tisku