

4 Výsledky řešení a diskuse

V první části experimentální části této práce bylo ověřeno pozitivní chování betonové matrice s přidáním mikromletých částic v podobě mikromletého vápence a redukce spotřeby záměsové vody s pomocí plastifikátoru. Je zde ukázán pozitivní vliv na porozitu, objemovou hmotnost, pevnosti v tahu za ohybu i tlakové pevnosti. Výsledkem této kapitoly byl návrh betonové matrice připravené na vyztužení uhlíkovou mikrovýztuží.

Druhou částí experimentální části této práce je ověření možnosti vyztužení betonových prvků pomocí rozptýlené výztuže z uhlíkových mikrovláken. Je zde potvrzena soudržnost betonové matrice s uhlíkovými vlákny a její pozitivní vlivy na mechanické chování betonového kompozitu. Mechanické vlastnosti vyztuženého betonového kompozitu výrazně převyšují chování prostého betonu. Zlepšené vlastnosti jsou především pevnosti v tahu za ohybu a tlakové pevnosti, které svým charakterem nejvýrazněji ovlivňují chování betonových konstrukcí. V této bakalářské práci je dokázáno, že při použití běžného betonu cca C 20/25, charakteristické tlakové pevnosti okolo 23 MPa, lze zvýšit pevnost v tahu za ohybu až na polovinu hodnoty pevnosti tlakové. Lze tedy říci, že přidáním uhlíkové mikrovýztuže se zlepšil poměr TAH ZA OHYBU : TLAK na poměr 1 : 2. Je však nutné tento princip ověřit na kvalitnějších vysoko-pevnostních betonech, kde by byly výsledky obou pevností zajímavější.

Poslední částí bylo ověření možné modifikace konzistence betonové směsi z konzistence S1, na konzistenci S4 při zachování její pevnosti v tahu za ohybu a tlakové pevnosti. Tato směs má samonivelační schopnosti se zachováním všech mechanických vlastností, až na změnu objemu od vysychání (smrštění). Nalezla by tedy uplatnění v místech, kde je špatné, nebo nemožné vyztužení ocelovou výztuží. Díky své velice dobré zpracovatelnosti by našla uplatnění i v sochařství a u tenkostěnných konstrukcí, kde je zapotřebí vysokých mechanických odolností a skvělé konzistence z důvodu betonáže špatně dostupných míst. Také u samonivelačních podkladních betonů by tato směs našla své místo z důvodu své vyšší tahové pevnosti a nižší náchylnosti na rozevírání trhlin při teplotních změnách. Díky rozptýlené uhlíkové výztuži by tato směs našla své použití i na dynamicky zatížených konstrukcích jako jsou železniční pražce, podkladní desky pod těžké stroje a mostní konstrukce.

5 Závěr

Cílem práce byl návrh metodiky pro rozptýlení uhlíkových mikrovláken v betonové matici a jejich následný vliv na chování a mechanické vlastnosti. Dalším aspektem této práce bylo ověření vlivu jednotlivých složek betonové směsi na rozptýlení uhlíkovými mikrovláknami a jejich co nejefektivnějšího návrhu pro zlepšení jejich rozptýlení a soudržnosti s betonovou maticí.

Současná problematika vyztužování betonových konstrukcí pomocí uhlíkových mikrovláken se prozatím nezdá jako příliš efektivní. Důvodem je jejich vysoká energetická náročnost při výrobě a jejich vysoká nákladnost. K praktickému využití betonů vyztužených pomocí uhlíkových mikrovláken je potřeba dalšího zkoušení a ověřování jejich reálného chování na skutečných konstrukcích. Avšak v budoucnosti by mohly takto vyztužené betony najít uplatnění především u vysokopevnostních a ultra-vysokopevnostních betonů nebo při dalších speciálních aplikacích. Pokud by i u vysokopevnostních a ultra-vysokopevnostních betonů uhlíková mikrovýztuž zvýšila tahové pevnosti až na dvojnásobnou hodnotu, blížil by se už tento materiál spíše mechanickým vlastnostem litiny nebo měkčím kovům. Takto modifikovaný beton by tyto kovy mohl nahradit i z důvodu jeho daleko menší hmotnosti, tvarové rozmanitosti a nižší energetické náročnosti při zachování stejných mechanických vlastností.

V ostatních zemích jde vývoj této technologie mnohem rychleji kupředu. U nás je tento vývoj prozatím na počátku reálného zkoušení a návrhu. Je to zapříčiněno především konzervativním pohledem na nové technologie a vysokou cenu uhlíkových mikrovláken.

6 Citovaná literatura

- [1] Internet, „EBETON,“ [Online]. Available: <http://www.ebeton.cz/pojmy/polymerova-vlakna-do-betonu>. [Přístup získán 2 Duben 2016].
- [2] Internet, „Motvoz, staráme se o budoucnost,“ [Online]. Available: <http://www.motvoz.cz/produkt-63/>. [Přístup získán 14 Duben 2016].
- [3] Internet, „Karanwal Infra Tech Materials Private Limited,“ [Online]. Available: <http://www.kimpl.in/fibre>. [Přístup získán 16 Duben 2016].
- [4] Michniak. R., „Možnosti využití rozptýlené výztuže pro konstrukční betony,“ Brno, 2013.
- [5] Internet, „Anorganická pojiva,“ [Online]. Available: <http://geologie.vsb.cz/loziska/suroviny/> [Přístup získán 18 Duben 2016].
- [6] Pavlíková M., „Chemie anorganických pojiv II,“ Praha, 2006.
- [7] Pavlíková. M., Interviewee, *Osobní konzultace*. [Interview]. 13 Duben 2016.
- [8] Internet, „Cement chemistry,“ [Online]. Available: <http://www.theconcreteportal.com/> [Přístup získán 11 Duben 2016].
- [9] Fiala C., „Vliv vláken na smršťování a dotvarování samozhutitelného betonu,“ Praha, 2006.
- [10] Števula M., *Přednáška-betony speciálních vlastností*, Praha, 2016.
- [11] Pavlíková. M et all., *Materiálové inženýrství I*, Praha, 2008.
- [12] Hela R., „Příměsí do betonu,“ Brno, 2015.
- [13] Internet, „EBETON,“ [Online]. Available: <http://www.ebeton.cz/pojmy/pisek>. [Přístup získán 1 Duben 2016].
- [14] Mikhailova O., *Studium možností efektivního využívání a aktivace aktivních příměsí do betonu*, Brno, 2014.
- [15] Českomoravský beton, *Průvodce technologa BETON*, Praha, 2013.
- [16] Huňka P., Interviewee, *Osobní konzultace*. [Interview]. 14 Duben 2016.
- [17] Sborník, „International Symposium Kessel,“ Germany, Berlin, 2004.
- [18] Havrda J., *Povrchové modifikace uhlíkových mikrovláken a jejich vliv na soudržnost s cementovou maticí*, Praha: Rozpracované, 2016.

- [19] Internet, „*POND5*,“ [Online]. Available: <https://www.pond5.com/stock-footage/8852388/carbon-nanotube-structure.html>. [Přístup získán Duben 11 2016].
- [20] SangKeun A., E. B. Jeon et al., *Investigation of mechanical/dynamic properties of carbon fibre reinforced polymer concrete for low noise railway slab*, Republic of Korea, 2015.
- [21] Mechtcherine V., Barhum R., *Effect of short, dispersed glass and carbon fibres on the behaviour of textile-reinforced concrete under tensile loading*, Dresden, Germany, 2002.
- [22] Shu X., R. K. Graham et al., *Hybrid effects of carbon fibres on mechanical properties of Portland cement mortar*, Knoxville, USA, 2015.
- [23] Havlíček P., Šmilauer V., „*Micromechanical Analysis of Cement Paste with Carbon Nanotubes*,“ Praha, 2012.
- [24] Interent, „Den Braven a.s., „*Technický list 07.92 Plastifikátor betonů*,“ 9 Duben 2003. [Online]. Available: <http://www.denbraven.cz/dokument-produkt/197>. [Přístup získán 14 Březen 2016].
- [25] ČSN EN 206-1, „*Změna Z3. Beton Část 1: Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda*, Praha: Svaz výrobců betonu ČR, 2009.
- [26] Ministerstvo dopravy, „*vysokohodnotné betony pro mosty PK*, Praha: PONTEX spol s r.o., 2010.
- [27] Myšičková L., *Vlastnosti, zkoušení a využití UHPC v konstrukcích*, Brno, 2012.
- [28] Internet, „*EBETON*,“ [Online]. Available: <http://www.ebeton.cz/pojmy/pevnost-betonu-v-tahu-za-ohybu-zkouska>. [Přístup získán 2 Květen 2016].

7 Seznam obrázků

Obrázek 1: Fibrilovaná polypropylenová vlákna (vlevo) [2], monofilamentická polypropylenová vlákna (vpravo) [3].	4
Obrázek 2: Výroba cementu [5].	6
Obrázek 3: Snímky ze SEM mikroskopu C-S-H gelu [8].	7
Obrázek 4: Snímky ze SEM mikroskopu znázorňující mikrostrukturu mikromletého vápence [14].	11
Obrázek 5: Paralelní orientace atomů ke střednicové ose uhlíkové nanotrubičky [19].	16
Obrázek 6: Styk mikro a makro uhlíkové rozptýlené výztuže s cementovou matricí [22].	18
Obrázek 7: Zkušební těleso bez optimalizování množství cementu, vody a mikroplniva.	20
Obrázek 8: Makrofotografie povrchu neoptimalizovaného zkušební tělesa.	20
Obrázek 9: Povrch uhlíkového vlákna před aplikací a po aplikaci studené plazmatické úpravy.	22
Obrázek 10: Graf závislosti dynamického modulu pružnosti na čase.	27
Obrázek 11: Schéma čtyřbodového tahu za ohybu [28].	28
Obrázek 12: Zkouška čtyř-bodového tahu za ohybu.	29
Obrázek 13: Pevnost v tahu za ohybu po 28 dnech u referenčních matric.	29
Obrázek 14: Tlaková zkouška.	31
Obrázek 15: Tlaková pevnost referenčních matric.	31
Obrázek 16: Nastříhaná uhlíková vlákna $l = 10 \pm 1,5$ mm.	35
Obrázek 17: Neoddělená uhlíková vlákna v nádobě.	37
Obrázek 18: Oddělená uhlíková vlákna.	37
Obrázek 19: Rozdíl mezi oddělenými a neoddělenými vlákny.	38
Obrázek 20: Zkouška rozlité na setřásacím stolku směsi RVP2.	40
Obrázek 21: Porovnání pórovitosti vyztužené a nevyztužené matrice RVP1.	41
Obrázek 22: Struktura nevyztužené matrice RVP1-N (vlevo) a struktura vyztužené matrice RVP1-V (vpravo).	41
Obrázek 23: Hodnoty průměrných pevností v tahu za ohybu vyztužené a nevyztužené matrice.	43
Obrázek 24: Porovnání tlakové pevnosti u vyztužené a nevyztužené matrice RVP1.	44
Obrázek 25: Porovnání objemových hmotností vyztužených betonových matric.	47
Obrázek 26: Makrostruktura směsi RVP1-V.	48
Obrázek 27: Makrostruktura směsi RVP2-V.	48

Obrázek 28: Makrostruktura směsi RVP3-V	49
Obrázek 29: Pevnost v tahu za ohybu vyztužených matic.	50
Obrázek 30: Tlaková pevnost vyztužených matic.	51

8 Seznam tabulek

Tabulka 1: Složení nevyztužených referenčních betonových matric.....	24
Tabulka 2: Konzistence referenčních betonových matric.	25
Tabulka 3: Porovnání objemových hmotností a pórovitosti referenčních matric.	34
Tabulka 4: Složení modifikované směsi RVP.....	39
Tabulka 5: Procentuální srovnání přidaných složek směsi.	39
Tabulka 6: Pevnost v tahu za ohybu vyztužené a nevyztužené matrice RVP1.....	42
Tabulka 7: Srovnání objemových hmotností a pevností v tahu za ohybu vyztužených matric.....	50