

Závěr

Práce je součástí projektu, který se zabývá modifikacemi povrchů polymerní a skleněné vláknité výztuže za účelem dosažení jejich lepší smáčivosti. Cílem bylo porovnat povrchové vlastnosti plazmaticky upravovaných vláken oproti původnímu stavu a dále zkoumat vliv těchto změn na jejich mechanické vlastnosti – na tahovou únosnost a soudržnost s cementovou matricí. Upravovány byly dva typy vláken. Vlákná BeneSteel 55 (\varnothing 0,48 mm) jsou vyrobena ze směsi polymerů polypropylenu (PP) a polyetylénu (PE) a vlákna Concrix ES (\varnothing 0,5 mm) vyrobena z polyolefinu (PO).

Provedeny byly modifikace vláken v nízkotlakém plazmatickém výboji v kyslíkové atmosféře. Lišily se pouze v časových úsecích, jimiž byla vlákna modifikována (5 až 480 s). Takto upravené jednotlivé skupiny vláken byly dále vzájemně porovnávány pro odhalení vlivu modifikací na morfologii povrchu a jejich mechanické vlastnosti.

Jako první byla zkoumána hmotností bilance vláken před a po povrchových úpravách plazmatem. Výsledky prokázaly úbytek hmotnosti v závislosti na délce povrchové modifikace. V některých případech vlákna ztratila až několik jednotek procent ze své původní hmotnosti. Příčinou je narušení povrchu vláken, které bylo prokázáno na mikroskopických snímcích pořízených elektronovou mikroskopií.

Změna smáčivosti bylo ověřena měřeními kontaktních úhlů pomocí přímé optické horizontální soustavy. Již po 5 sekundách působení plazmatu byla naměřena o polovinu lepší smáčivost, než jaké dosahují referenční vlákna. V případě vláken Concrix ovšem docházelo k degradaci smáčivosti v čase. Po 30 dnech od provedení modifikací se smáčivost vracela k referenčním hodnotám.

Míra vlivu povrchového poškození modifikovaných vláken na jejich mechanické vlastnosti byla prokazována pomocí tahových zkoušek. Ukázalo se, že doba plazmatických modifikací je nepřímě úměrná tahové únosnosti vláken. Tahová nosnost nejdéle upravovaných vláken klesla až o několik desítek procent. Ovšem vlákna vystavená plazmatu po dobu menší než 120 sekund snížení tahové únosnosti nevykazovala.

Pro následné experimenty byla vybrána vlákna modifikovaná plazmatem po dobu 30 sekund. Vlákná vykazovala dobré zlepšení smáčivosti a zároveň minimální ztrátu mechanických vlastností.

Skutečný význam modifikované smáčivosti na soudržnost mezi vlákny a cementovou matricí byl zkoumán prostřednictvím pull-out testů. Modifikovaná a referenční vlákna byla kotvena ve vzorcích z cementové pasty, ze kterých byla po 28 dnech vytahována za volný konec. Vlákna modifikovaná plazmatem po dobu 30 sekund vykazovala až o několik desítek procent vyšší soudržnost s cementovou pastou než vlákna referenční. Zatímco všechna referenční vlákna byla ze vzorků vytažena, některá upravená vlákna byla přetržena.

Dále se testovala pevnost v tahu za ohybu betonových trámců vyztužených danými vlákny. Experiment byl destruktivní čtyř-bodový a ve všech případech prokázal pružno-plastické chování se zpevněním. Vzorky obsahující modifikovaná vlákna však nedosáhly výrazně lepších výsledků než vzorky referenční. Mez pružnosti zůstala ve všech případech téměř identická. Změny byly zaznamenány až v plastické odezvě, kdy modifikovaná vlákna zabraňovala v otevírání vzniklé trhliny účinněji než vlákna referenční.

Seznam obrázků

Obrázek 1 - Lidské vlasy v historické vápenné omítce [10].....	10
Obrázek 2 – Vliv vláknité výztuže na kompaktnost tažené části železobetonového prvku [14].....	11
Obrázek 3 – Schéma výroby vláken z taveniny:.....	15
Obrázek 4 – Viditelné póry v ITZ zóně vláknitého kompozitu [29].	16
Obrázek 5 – Schéma změny povrchu vláken po plazmatické úpravě [39].	20
Obrázek 6 – Směry působení povrchových napětí [43].	20
Obrázek 7 – Kontaktní úhly [39].	21
Obrázek 8 – Těleso smáčené kapalinou zobrazené optickou metodou.	22
Obrázek 9 – Princip Wilhelmyho metody [43].	22
Obrázek 10 – Schéma přípravy vláken pro metodu Straw [42].	23
Obrázek 11 – Schéma válce metody Packed cell [39].	24
Obrázek 12 – Vlákna BeneSteel 55.	25
Obrázek 13 – Vlákna Concris ES.	26
Obrázek 14 – Směs pro výrobu betonu před přidáním záměsové vody.	28
Obrázek 15 – Probíhající povrchová úprava vláken na přístroji Tesla.	29
Obrázek 16 – Komora přístroje Tesla s připravenými vlákny.	30
Obrázek 17 – Pokovování vláken.	32
Obrázek 18 – Optická soustava pro měření kontaktních úhlů.	33
Obrázek 19 – Zkouška pevnosti v tahu.	34
Obrázek 20 – Vzorek s vláknem a probíhající zkouška Pull-out testu.	35
Obrázek 21 – Procentuální ztráta hmotnosti vláken.	38
Obrázek 22 – Struktura referenčního vlákna BeneSteel.	39
Obrázek 23 – Struktura vlákna BeneSteel po 30s úpravě plazmatem.	40
Obrázek 24 – Struktura vlákna BeneSteel po 480s úpravě plazmatem.	40
Obrázek 25 – Struktura referenčního vlákna Concris.	41
Obrázek 26 – Struktura vlákna Concris po 30s úpravě plazmatem.	41
Obrázek 27 – Struktura vlákna Concris po 480s úpravě plazmatem.	42
Obrázek 28 – Proměnlivost kontaktních úhlů vláken BeneSteel v čase.	43
Obrázek 29 – Proměnlivost kontaktních úhlů vláken Concris v čase.	44

Obrázek 30 – Porovnání kontaktních úhlů vláken BeneSteel, referenční vlákno (vlevo) a modifikovaná vlákna 30 sec (uprostřed), 480 sec (vpravo).	44
Obrázek 31 – Porovnání kontaktních úhlů vláken Concrix, referenční vlákno (vlevo) a modifikovaná vlákna 30 sec (uprostřed), 480 sec (vpravo).	44
Obrázek 32 – Porovnání průměrných hodnot pevnosti v tahu vláken BeneSteel a Concrix.....	46
Obrázek 33 – Závislost síly a posunu získaná při vytahování referenčních vláken BeneSteel z cementové matrice.	47
Obrázek 34 - Závislost síly a posunu získaná při vytahování plazmaticky modifikovaných vláken BeneSteel z cementové matrice.	48
Obrázek 35 - Závislost síly a posunu získaná při vytahování referenčních vláken Concrix z cementové matrice.	48
Obrázek 36 - Závislost síly a posunu získaná při vytahování plazmaticky modifikovaných vláken Concrix z cementové matrice.....	49
Obrázek 37 – Průměrné síly potřebné pro vytažení/přetržení vlákna.....	49
Obrázek 38 – Závislost síly a posunu zatěžovaných těles s referenčními vlákny BeneSteel.	50
Obrázek 39 – Závislost síly a posunu zatěžovaných těles s modifikovanými vlákny BeneSteel.	51
Obrázek 40 – Porovnání průměrných hodnot závislosti síly a posunu zatěžovaných těles s referenčními a modifikovanými vlákny BeneSteel.	51
Obrázek 41 – Závislost síly a posunu zatěžovaných těles s referenčními vlákny Concrix.	52
Obrázek 42 – Závislost síly a posunu zatěžovaných těles s modifikovanými vlákny Concrix.....	52
Obrázek 43 – Porovnání průměrných hodnot závislosti síly a posunu zatěžovaných těles s referenčními a modifikovanými vlákny Concrix.	53
Obrázek 44 – Průměrné síly při ohybových testech.	54

Seznam tabulek

Tabulka 1 – Přehled vláken používaných do betonu [17].	12
Tabulka 2 – Srovnání parametrů vláken [44, 45].	26
Tabulka 3 – Složení betonové směsi.....	28
Tabulka 4 – Parametry procesů plazmatických úprav [11].	30
Tabulka 5 – Hmotnostní úbytky vláken.....	38
Tabulka 6 – Průměrné hodnoty kontaktních úhlů vláken.	45

Seznam literatury

- [1] HÁJEK, Petr. Význam betonu a betonových konstrukcí z hlediska kritérií udržitelné výstavby. In: *Časopis stavebnictví* [online]. EXPO DATA spol. s s.r.o., 2007 [vid. 2016-05-05]. Dostupné z: http://www.casopisstavebnictvi.cz/vyznam-betonu-a-betonovych-konstrukci-z-hlediska-kriterii-udrzitelne-vystavby_N467
- [2] TATNALL, Peter C. Fiber-reinforced concrete. In: *Significance of Tests and Properties of Concrete and Concrete-Making Materials*. ASTM International, 2006.
- [3] DI PRISCO, Marco; PLIZZARI, Giovanni; VANDEWALLE, Lucie. Fibre reinforced concrete: new design perspectives. *Materials and Structures*, 2009, 42.9: 1261-1281.
- [4] TAGNIT-HAMOU, A.; VANHOVE, Y.; PETROV, N. Microstructural analysis of the bond mechanism between polyolefin fibers and cement pastes. *Cement and concrete research*, 2005, 35.2: 364-370.
- [5] ELSAKA, Shaymaa E. Influence of chemical surface treatments on adhesion of fiber posts to composite resin core materials. *Dental Materials*, 2013, 29.5: 550-558.
- [6] LE TROËDEC, M., et al. Influence of chemical treatments on adhesion properties of hemp fibres. *Journal of colloid and interface science*, 2011, 356.1: 303-310.
- [7] JIŘIČKOVÁ, Milena, Zbyšek Pavlík a Jiří Hošek. *Materiálové inženýrství I*. V Praze: České vysoké učení technické, 2009. ISBN 978-80-01-04263-2
- [8] KOHOUTKOVÁ, Alena. Vláknobetony – blýská se na lepší časy?. In: *Beton* [online]. BETON TKS, s.r.o., 2010 [vid. 2016-05-05]. Dostupné z: <http://www.betontks.cz/sites/default/files/2010-2-03.pdf>
- [9] IUCOLANO, F.; LIGUORI, B.; COLELLA, C. Fibre-reinforced lime-based mortars: a possible resource for ancient masonry restoration. *Construction and Building Materials*, 2013, 38: 785-789.
- [10] KENNEDY, Craig J., et al. Studies of hair for use in lime plaster: Implications for conservation and new work. *Polymer Degradation and Stability*, 2013, 98.4: 894-898.

- [11] Kennedy CJ, Revie WA, Troalen L, Wade M, Wess TJ. Studies of hair for use in lime plaster: Implications for conservation and new work. *Polym Degrad Stab.* duben 2013;98(4):894–8.
- [12] DE ANDRADE SILVA, Flávio; MOBASHER, Barzin; TOLEDO FILHO, Romildo Dias. Cracking mechanisms in durable sisal fiber reinforced cement composites. *Cement and Concrete Composites*, 2009, 31.10: 721-730.
- [13] LUŇÁČEK Martin, Petr Suchánek a Robert Bader. Použití bikomponentních vláken Concrix v tunelech.
- [14] KABELE, Petr. *Multiscale modeling of strain-hardening fiber-reinforced cementitious composites*. [přednáška]. Tokyo: University of Tokyo, April 30. and May 10, 2010.
- [15] HUBERTO VÁ, Michaela a Rudolf Hela. Využití vláken v technologii lehkých samozhutnitelných betonů. *Materiály pro stavbu* [online]. Zář, 2006. [vid. 2016-14-01]. Dostupné z:
http://www.liapor.cz/liapor_tisk/2006/beton/materialy_pro_stavbu_9.pdf
- [16] BARTOŠ, Jan a Jan Trejbal. Možnosti modifikace povrchu PET mikrovláken za účelem dosažení lepší soudržnosti s cementovou matricí. Praha: 2014
- [17] BARTOŠ, Jan a Jan Trejbal. Možnosti modifikace povrchu PET mikrovláken za účelem dosažení lepší soudržnosti s cementovou matricí. Praha: 2014
- [18] WEI, Bin; CAO, Hailin; SONG, Shenhua. Environmental resistance and mechanical performance of basalt and glass fibers. *Materials Science and Engineering: A*, 2010, 527.18: 4708-4715.
- [19] NOVOSAD, Petr a Rudolf Hela. Průsvitný beton – Litracon. In: ABS-portal [online]. Jaga Media, s.r.o., 2014. [vid. 2016-28-04]. Dostupné z: <http://www.asb-portal.cz/stavebnictvi/materialy-a-vyroby/beton/prusvitny-beton-litracon>
- [20] BRÜCKNER, Bernhard. *Praktická příručka o osvědčených postupech pro prevenci a minimalizaci rizik azbestu při práci (potencionálně) zahrnující kontakt s azbestem: pro zaměstnavatele, zaměstnance a inspektory práce*. [online]. Praha: Státní zdravotní ústav, 2007. ISBN 978-80-7071-282-5 [vid. 2016-28-04].
-

Dostupné z: http://www.szu.cz/uploads/documents/czpz/edice/plne_znani/brozury/AZBEST.verze_pro_web_SZU.pdf

- [21] DI BELLA, G., et al. Effects of natural fibres reinforcement in lime plasters (kenaf and sisal vs. Polypropylene). *Construction and Building Materials*, 2014, 58: 159-165.
- [22] DUCHÁČEK, Vratislav. *Polymery – výroba, vlastnosti, zpracování, použití*. 2. vyd. Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, Praha 2006, 280 s. ISBN 80-7080-617-6
- [23] HUSÁREK, Josef. Makromolekulární látky, syntetické polymery. In: *Inovace profesní přípravy budoucích učitelů chemie* [online]. [vid. 2016-28-04]. Dostupné z: http://ucitelchemie.upol.cz/materialy/studijni_texty/vyukova_temata/plasty_text.pdf
- [24] MCMURRY, John. *Organická chemie*. Brno: Vutium, 2007, 1260 s. ISBN 978-80-214-3291-8
- [25] WANG, G. J., et al. Surface modification and characterizations of basalt fibers with non-thermal plasma. *Surface and Coatings Technology*, 2007, 201.15: 6565-6568.
- [26] MACHOVIC, Vladimír, et al. Effect of aging of PET fibre on the mechanical properties of PET fibre reinforced cement composite. *Journal of Ceramics-Silikaty*, 2008, 52.3: 172-182.
- [27] AGARWAL, Bhagwan D a Lawrence J BROUTMAN. *Vláknové kompozity*. Praha: Nakladatelství techn. lit., 1987, 294 s.
- [28] TREJBAL, Jan, et al. Wettability enhancement of polymeric and glass micro fiber reinforcement by plasma treatment. In: *Nanocon 2015*. Ostrava: Tanger Ltd., 2015. p 315-321. ISBN 978-80-87294-63-5
- [29] KOPECKÝ, L., et al. Surface modification of PET fibers to improve mechanical properties of cement composites. - Proc. 33rd ICCMA, San Francisco. USA, April 17-20, 2011.
- [30] ČSN 73 1328. *Stanovení soudržnosti oceli s betonem*. Praha: Český normalizační institut, 1971.
-

- [31] BAREŠ, Richard. *Kompozitní materiály*. Praha: Nakladatelství techn. lit., 1988, 325 s.
- [32] MILITKÝ, Jiří a Jiří Vaníček. Povrchové vlastnosti vláken, tření. Vlastnosti vláken [online]. Duben 17, 2013 [vid. 2016-18-01]. Dostupné z: http://www.kmi.tul.cz/studijni_materialy/data/2013-04-17/08-29-12.pdf
- [33] JANČÁŘ, Josef. *Úvod do materiálového inženýrství polymerních kompozitů*. Brno: Vysoké učení technické, 2003, 194 s. ISBN 80-214-2443-5.
- [34] EHRENSTEIN, Gottfried W. *Polymerní kompozitní materiály*. Praha: Scientia, 2009, 351 s. ISBN 978-80-86960-29-6.
- [35] VARJU, Jozef. Aplikace plazmatu. Plazma [online]. [vid. 2016-18-01]. Dostupné z: <http://physics.mff.cuni.cz/kfpp/s4r/plazma/?p=5>
- [36] STACH, Vojtěch. *Plazma - čtvrté skupenství hmoty*. Praha: Státní pedagogické nakladatelství, 1989, 96 s.
- [37] LIBRA, Martin a Zdeněk KLUIBER. Plazma je všude kolem nás [online]. Leden, 2001. [vid. 2015-18-01]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/svetlo/casopis/tema/plazma-je-vsude-kolem-nas--16959>
- [38] DIENER ELECTRONIC. Plazmová technika. Plazmová technologie úpravy povrchů [online]. Diener electronic GmbH + Co. KG, © 2015 [vid. 2016-18-01]. Dostupné z: <http://www.plasma.de/cz/plasmatechnique/coating.html>
- [39] TREJBAL, Jan. Modifikace povrchu skleněných vláken a jejich aplikace do maltových směsí pro rekonstrukce historických budov. Praha: 2014
- [40] YUAN, Yuehua; LEE, T. Randall. Contact angle and wetting properties. In: *Surface science techniques*. Springer Berlin Heidelberg, 2013. p. 3-34.
- [41] WIENER, Jakub. Smáčení 3 [přednáška]. In: Fakulta textilní TUL [online]. [vid. 2016-12-05]. Dostupné z: http://dirk.kmi.tul.cz/depart/ktc/include/osobni_stranky/vikova.martina/teaching/11smac3.pdf
- [42] TREJBAL, Jan a kol., Přímá optická metoda pro měření velikosti kontaktních úhlů na mikrovláknech, ve sborníku: *Nanomateriály a nanotechnologie ve stavebnictví (2015)*, ed. P. Tesárek, P. Ryparová, FSv ČVUT v Praze, Praha, 90–96.
-

- [43] RULISON Christopher. Contact Angle Determinations by the “Straw” Method and Packed Cell Method: Good Alternatives to Arduous Single Fiber Contact Angle Experiments.
- [44] *Sklocement Beneš* [online]. Sklocement Beneš s.r.o. [vid. 2016-17-01]. Dostupné z: <http://www.sklocement.cz/BeneSteel.pdf>
- [45] *Fiber concrete technology*. [online]. Brugg Contec [vid. 2016-17-01]. Dostupné z: <http://www.bruggcontec.com/English/HomeEN/Concrix/tabid/474/language/en-US/Default.aspx>