



SLOVENSKÁ TECHNICKÁ UNIVERZITA V BRATISLAVE
Stavebná fakulta

Ing. Adam Uhlík

Autoreferát dizertačnej práce

Ovplyvňovanie rýchlosti tuhnutia kompozitov pre 3D tlač domov

na získanie akademického titulu:	„philosophiae doctor“, v skratke „PhD“
v doktorandskom študijnom programe:	3659 Technológia stavieb
v študijnom odbore:	35.Stavebníctvo
Forma štúdia:	denná
Miesto a dátum:	Bratislava, 31.7.2023



Dizertačná práca bola vypracovaná na:

Katedre materiálového inžinierstva a fyziky, Stavebná fakulta STU v Bratislave

Predkladateľ:

Ing. Adam Uhlík
Katedra materiálového inžinierstva a fyziky
Stavebná fakulta STU v Bratislave
Radlinského 11, 810 05 Bratislava

Školiteľ:

prof. Ing. Stanislav Unčík, PhD.
Katedra materiálového inžinierstva a fyziky
Stavebná fakulta STU v Bratislave
Radlinského 11, 810 05 Bratislava

Autoreferát bol rozoslaný:

Obhajoba dizertačnej práce sa bude konať dňa.....o.....h na Katedre materiálového inžinierstva a fyziky Stavebnej fakulty STU v Bratislave, Radlinského 11, 810 05 Bratislava

.....
prof. Ing. Stanislav Unčík, PhD.
Dekan stavebnej fakulty

Obsah

1.Úvod.....	4
2. Ciele práce.....	4
3.Experimentálna časť.....	4
3.1 Metodika práce.....	4
3.1.1 Materiály – používané.....	4
3.1.1.1 Spojivo – Portlandský cement.....	5
3.1.1.2 Plnivo - Kamenivo.....	5
3.1.1.3 Voda.....	5
3.1.1.4 Prísady.....	5
3.1.1.5 Polypropylénové vlákna.....	6
3.1.2 Príprava skúšobných vzoriek a laboratórne skúšky.....	7
3.1.2.1 Váženie zložiek.....	7
3.1.2.2 Miešanie.....	7
3.1.2.3 Stanovenie vývoju tuhnutia.....	7
3.1.2.4 Skúška rozliatia – stanovenie konzistencie.....	8
3.1.2.5 Príprava vzoriek – valčekov a trámčov.....	8
3.1.2.6 Objemová hmotnosť.....	9
3.1.2.7 Pevnosť v ťahu pri ohybe.....	9
3.1.2.8 Pevnosť v tlaku.....	9
3.1.2.9 Zmrašťovanie.....	10
3.2 Zmesi modifikované prísadami.....	11
3.2.1 Vplyv použitých prísad na priebeh tuhnutia modifikovaných cementových pást.....	11
3.2.2 Vplyv prísad na zmenu konzistencie cementových mált.....	12
3.2.3 Vplyv prísad na pevnosti v tlaku modifikovaných cementových mált.....	14
3.3 Zmesi modifikované prísadami s modifikované vláknami.....	17
3.3.1 Vplyv vlákien na zmenu konzistencie cementových mált s prísadami.....	18
3.3.2 Vplyv vlákien na pevnosti v tlaku cementových mált s prísadami na vzorkách valčekov.....	18
3.3.3 Vplyv vlákien na pevnosti v ťahu pri ohybe cementových mált s prísadami na vzorkách trámčov.....	19
3.3.4 Vplyv vlákien na pevnosti v tlaku cementových mált s prísadami na vzorkách trámčov.....	19
3.3.5 Vplyv vlákien na zmrašťovanie cementových mált s prísadami na vzorkách trámčov.....	20
4.Diskusia.....	22
5.Prínosy pre prax.....	24
6.Záver.....	25
Zoznam vybranej literatúry:.....	25
Zoznam publikačnej činnosti.....	27

1. Úvod

Stavebníctvo dnes čelí mnohým vážnym problémom, napríklad: nízka pracovná efektívnosť, vysoká štatistická miera mimoriadnych udalostí na stavbách alebo komplikácie pri vykonávaní kontroly stavebných procesov. Okrem toho je stavebný priemysel jedným z hlavných spotrebiteľov neobnoviteľných prírodných zdrojov [2]. Je to sektor, ktorý má dlhoročnú tradíciu nízkej produktivity a zakrpatených technologických schopností v porovnaní s vývojom v iných priemyselných odvetviach, ktoré sa väčšinou automatizovali a zdigitalizovali ich výrobný proces. Dôvody týchto problémov sú hlavne v konzervatívnom pohľade na stavebné konštrukcie a jedinečnosti každej budovy. Avšak adaptívne technológie otvorili nové príležitosti pre mnohé dynamicky sa rozvíjajúcich odvetvia priemyselnej výroby. Automatizácia stavebných procesov môže mať za následok zníženie pracovnej sily, ktorá zvyšuje bezpečnosť na stavenisku, taktiež v niektorých prípadoch môže skrátiť čas výstavby a taktiež má potenciál znížiť výrobné náklady. Okrem toho rozvoj informačného modelovania budov a využitie digitálnych technológií zefektívňujú automatizáciu a výrobný proces v stavebníctve. Aditívna výroba, známa tiež ako 3D tlač pozdvihla vďaka jej všestrannosti takúto technológiu na inú úroveň a preto si nachádza svoje uplatnenie aj v stavebníctve. Je to počítačom riadené postupné vrstvenie materiálov na vytvorenie trojrozmerných tvarov. 3D tlač v stavebníctve má výhody plnej automatizácie procesu, rýchlejšieho času výstavby, nízkych nákladov na pracovnú silu a menšieho stavebného odpadu v porovnaní s tradičnou technológiou výstavby. Predchádzajúce štúdie ukázali, že výstavba pomocou technológie 3D tlače môže v niektorých prípadoch znížiť produkciu odpadu stavby o 30-60%, o 50 - 80% znížiť náklady na prácu a ušetriť 50 - 70% výrobného času [1].

Materiál používaný pre takúto technológiu je 3D tlačený betónový kompozit, je špeciálny typ betónu, ktorý je možné nanášať prostredníctvom 3D tlačiarne vrstvu po vrstve bez akejkoľvek podpory debnenia. Jeho dôležité technické vlastnosti a technologické parametre vrátane spracovateľnosti, času tuhnutia a mechanických vlastností, je možné optimalizovať pomocou vhodného výberu zloženia materiálov a nastavenia parametrov tlače. K dnešnému dňu bolo veľa stavebných konštrukcií úspešne vytlačených pomocou technológie 3D tlače a preto 3D tlačený betónový kompozit má veľký potenciál v praktických aplikáciách pre budúce použitie v stavebníctve, ako napr. cenovo dostupná výstavba v rozvojových krajinách alebo v našich zemepisných šírkach ako technológia pre rýchla a dôstojnú radovú zástavbu pre sociálne znevýhodnené skupiny.

2. Ciele práce

Cieľom dizertačnej práce bolo overiť vplyv vybraných prísad a polypropylénových vlákien na reologické a fyzikálne vlastnosti cementových kompozitov pre 3D tlač v stavebníctve. Overiť sa mal predovšetkým vplyv urýchľovacej prísady Beradur E2 v rôznej kombinácii s plastifikátormi a ďalšími prísadami.

Hlavným cieľom bolo overiť možnosť ovplyvňovania rýchlosti tuhnutia a tvrdnutia týchto kompozitov uvedenými prísadami a získať potrebné dáta pre možnosť modifikovania reálnych zmesí v závislosti od aktuálnych podmienok (veľkosť tlačeného objektu, rozsah tlače, potrebná rýchlosť postupu tlače a pod.)

Ďalším cieľom bolo získať informácie o vplyve uvedených prísad v rôznej kombinácii na pevnostné charakteristiky a ďalšie vlastnosti daných kompozitov.

V práci sa mal overiť aj vplyv polypropylénového vlákna na zmrašťovanie kompozitov a možnosť prevencie vzniku trhlin pri realizácii 3D tlače s použitím materiálov na danej báze.

3. Experimentálna časť

3.1 Metodika práce

V metodike práce sú popísané používané materiály a skúšobné metódy pomocou ktorých sa overovali vplyvy vybraných prísad a polypropylénových vlákien.

3.1.1 Materiály – používané

3.1.1.1 Spojivo – Portlandský cement

Portlandský cement CEM I 42.5 R sa používal ako spojivo pri všetkých skúšaných materiáloch. Ide o cement z Rohožníckej cementárne, ktorý sa vyznačuje dobrou spracovateľnosťou, rýchlym nárastom pevností a dosahuje vysoké počiatkové aj koncové pevnosti [4]. Počas fázy tuhnutia sa preukazuje vysokým vývinom hydratačného tepla. V neposlednom rade vykazuje dobrú zlučiteľnosť s ostatnými používanými prísadami. Jeho fyzikálne a mechanické vlastnosti sú znázornené v tabuľke

3.1

Tabuľka 3.1: Vlastnosti cementu [3]

Vlastnosti	CEM I 42.5 R
Pevnosť v tlaku po 2 dňoch (MPa)	28-34
Pevnosť v tlaku po 28 dňoch (MPa)	56-62
Slinok	95-100%
Doplňujúce zložky	0 - 5 %
Začiatok tuhnutia (min.)	165 +-30
Objemová stálosť (mm)	0,8
Obsah SO ₃ (% hmotn.)	2,9 +-0,2
Obsah Cl (% hmotn.)	0,06

3.1.1.2 Plnivo - Kamenivo

Kamenivo drobnej frakcie 0/1 – piesok bol používaný ako plnivo vo všetkých skúšaných materiáloch. Piesok pochádzal z ťažobne Šaštín, ide o kremenný piesok, ktorého hlavnú časť tvorí zložka kremeň až do 98%. Zvyšok sú železo a alkálie [5]. Jeho hlavné využitie v stavebníctve je pre budovanie budov, ciest a využíva sa ako kamenivo do mált a betónu. Základné vlastnosti kremičitého piesku sú uvedené v tabuľke 3.2.

Tabuľka 3.2: Základné vlastnosti kremičitého piesku [5]

Vlastnosti	Kremičitý piesok
Celkový obsah síry	≤1 % S
Obsah chloridov	≤0,01% Cl
Obsah uhličitanov	< 2 %
Obsah organických látok	neobsahuje
Objemová hmotnosť	2,43±0,4 Mg/m ³
Nasiakavosť	2,5±0,5%

3.1.1.3 Voda

Vodu, ktorú bola použitá do zámesí materiálov, bola pitná - nezávadová voda z Bratislavského vodovodu. Tým pádom splňala potrebné parametre a je vhodná pre použitie do betónov a mált [6].

3.1.1.4 Prísady

V rámci experimentov do zmesí materiálov boli použité rôzne druhy prísad v tekutej aj práškovej forme na zlepšenie vlastností materiálov. Jednotlivé použité prísady sú popísané nižšie:

a) Casucol FIX 1 (ďalej iba „Casucol“ respektíve v skratke „C“) Prísada na zlepšenie spracovateľnosti čerstvej zmesi, vhodne modifikuje reologické vlastnosti a spomaľuje hydratáciu cementu je bielej farby v práškovej forme. Hlavná zložka je škrob [8].

b) Walocel MKX25000 (ďalej iba „Walocel“ respektíve v skratke „W“) Prísada na predĺženie doby spracovateľnosti a otvoreného času miešania, taktiež spomaľuje tuhnutie a zvyšuje zadržiavanie vody. Je bielej farby, nemá žiadny zápach a je taktiež v práškovej forme. Prísada je na báze hydroxymetylovej celulózy označovanej aj ako HEMC [7].

Tabuľka 3.3: Základné vlastnosti Walocelu MKX25000 [7]

Vlastnosti	Walocel MKX25000
Forma	Prášková
Rozpustnosť	Rozpustný vo vode
Viskozita	25 000 mPa • s
pH	Neutrálne
Obsah vlhkosti	Max. 7%

*Vysvetlivka k tabuľke - Viskozita: 2%roztok vo vode

c) **Berament HT28** (ďalej iba „Berament“ respektíve v skratke „B“) Prísada – Superplastifikátor, ktorý významne vplýva na dostatočne dlhý čas spracovateľnosti až na hodinu /hodinu a pol bez zásadného vplyvu na priebeh tuhnutia a tvrdnutia. Výrazne redukuje množstvo zámesovej vody a zaručuje vysokú tekutosť čerstvej zmesi-betónu bez segregácie. Umožňuje čerpanie betónu na dlhé vzdialenosti. Využíva sa na rôzne typy betónov napríklad: transportbetónov, vodotestných betónov, pohľadových betónov ale aj do železobetónových konštrukcií. Základné vlastnosti kremičitého piesku sú uvedené v tabuľke 3.4 [9].

Tabuľka 3.4: Základné vlastnosti superplastifikátora Berament HT28 [9]

Vlastnosti	Berament HT28
Objemová hmotnosť	1 080 g/ml
Rozpustnosť	Vo vode - miešateľná v každom pomere
pH	6.0 +- 1.0
Obsah chloridov	Max.0.05 % hmotnosti
Obsah alkálii	Max.0.05 % hmotnosti
Odporúčané dávkovanie	0.55– 0.75% hmotnosti celého roztoku

d) **Beradur E2** (ďalej iba „Beradur“ respektíve v skratke „B“) Urýchľovač tvrdnutia, vo forme vodného roztoku, farba číra až nažltkastá. Rozpustnosť vo vode -miešanie v každom pomere, pH pri +20oC 6,0+-1,0. Prísada ovplyvňuje rýchlosť hydratácie cementových častíc, má za následok aj rýchly nárast pevností čerstvých mált a betónov. Prísada je na báze vodného roztoku anorganických solí obsahuje maximálne 0,05% hm chloridov ďalej obsahuje dekahydrát dusičnanu pentavápenatodraselného, kyselina dusičná, amónno-vápenatá soľ. Používa sa pri výrobe všetkých druhov mált a betónov ako je napríklad transportbetón, prefabrikovaný betón ale aj predpätý betón [10].

Tabuľka 3.5: Základné vlastnosti vysoko účinného urýchľovača Beraduru E2 [10]

Vlastnosti	Beradur E2
pH	6
Objemová hmotnosť	1400 g/l
Obsah chloridov	Max. 0,05 % hm.
Obsah alkálii	Max. 5,0 % hm.
Odporúčané dávkovanie	0,4 – 1,0 % hm.

3.1.1.5 Polypropylénové vlákna

(ďalej iba „vlákna“ respektíve v skratke „vl.“ Alebo „PE vlákna“) Polypropylénové vlákna s dĺžkou 12mm používajú v materiáloch ako „výstuž“ na obmedzenie porúch a zamedzenie vzniku zmršťovacích trhlin. Taktiež na zvýšenie pevnosti a zvýšenie odolnosti povrchu materiálu. Vlákna sú vhodné na použitie do mált, omietok a betónov a sú vyrobené zo syntetickej živice. Odporúčané dávkovanie je 1kg na 1m³ betónu alebo malty. Má však len orientačný charakter a optimálny pomer závisí od typu, druhu a použitia materiálu [11].

3.1.2 Príprava skúšobných vzoriek a laboratórne skúšky

3.1.2.1 Váženie zložiek

V prvej fáze prípravy skúšobných vzoriek sa dané pomery jednotlivých zložiek materiálu navážili. Cement a kamenivo boli navážené pomocou laboratórnej váhy značky Nimex, ktorá má rozmedzie váženia až do 1000g. Voda sa merala/vážila dvoma spôsobmi za pomocou odmerných valcov rôznych veľkostí a objemov, ale aj pre za pomoci digitálnej váhy. Na meranie potrebného množstva jednotlivých prísad a vlákien a vody bola použitá malá digitálna váha značky Siguro, ktorá má presnosť 0,01g.

3.1.2.2 Miešanie

Na miešanie zmesi sa používala laboratórna automatická miešačka. Miešanie jednotlivých materiálov prebiehalo podľa normového postupu STN EN 196 [55]. Navážené zložky materiálu sa postupne pridávali do navlhčenej nádoby miešačky. Ako prvé sa pridalo potrebné množstvo vody, následne po pár sekundách bolo pridané navážene množstvo cementu a prísad. Takto naplnenú nádobu sa následne umiestnila do miešačky obr. 7.5. Nasledovalo zapnutie miešačky na nízku rýchlosť (140-otáčok/min) po dobu 30 sekúnd, po dobu ďalších 30 sekúnd na nízkej rýchlosti sa začalo pridávať potrebné množstvo piesku. Po uplynutí týchto 60 sekúnd na pomalejšej rýchlosti sa miešačka prepla na rýchlu rýchlosť (285-otáčok/min) na dobu 60 sekúnd. Po 120 sekundách miešania zmesi sa miešačka vypla a nasledovala 90 sekundová pauza počas ktorej sa nádoba z miešačky vybrala a dôkladne bola zoškriabaná cementová hmota so stien nádoby. Počas posledných desiatich sekúnd pauzy sa nádoba vložila naspäť do miešačky a po uplynutí celého časového intervalu pauzy sa miešačka znovu zapla na rýchlu rýchlosť po dobu 60 sekúnd. Po tomto poslednom miešaní bola zmes hotová. Tento postup platil pri cementových maltách, pri výrobe cementových bol postup nasledovný: 90 sekúnd miešanie na nízkej rýchlosti následne 15 sekúnd pauza na zoškriabanie zo stien nádoby a po tejto pauze znovu 9 sekúnd na nízkej rýchlosti. Pasty boli používané iba pri skúškach stanovenie rýchlosti tuhnutia, pri nich nebolo použité plnivo -piesok.

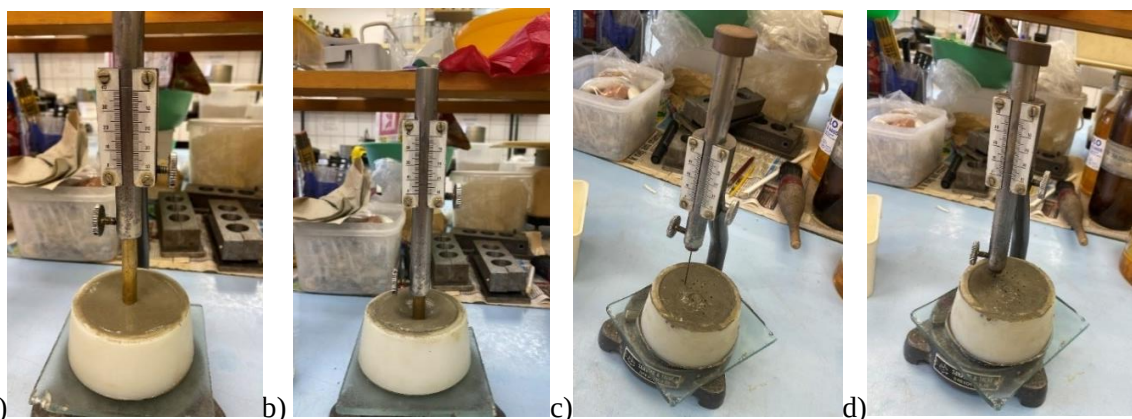
3.1.2.3 Stanovenie vývoju tuhnutia

Na stanovenie začiatku, priebehu a konca tuhnutia cementových pást bol použitý Vicatov prístroj - obrázok 3.1. Merania prebiehali na rôznych typoch vzoriek pást, ich zloženie je uvedené v tabuľke 3.6. Na toto meranie bolo potrebné ako súčasť Vicatovho prístroja aj Vicatov prstenec, podložku – skličko, špeciálna oceľová ihla, hustomerný valček a vrchné závažie. Princíp skúšky je nasledovný a prebiehal podľa normy STN EN 196-3 Stanovenie času tuhnutia a objemovej stálosti [13].

- a) Určenie normalizovanej hustoty: Na určenie cementovej pasty normalizovanej hustoty bolo potrebné určiť správnu dávku vody, tá bola určovaná subjektívnym pocitom vhodného množstva vody do základu cementovej pasty čo predstavovalo 500g cementu a dané množstvo používaných prísad. Po zamiešaní bola cementová pasta naplnená do Vicatovho prstenca, ktorý bol postavený na sklenenej podložke a následne sa zarovnal jeho povrch. Bol vložený pod Vicatov prístroj, hustomerný valček sa uvoľnil tak aby vnikol do pasty max 6 mm (+2 mm) od sklenenej podložky. Ak bol hustomerný valček vniknutý v paste menej ako 6 mm (+2 mm) od sklenenej podložky pridala sa voda, ak vnikol viac celá zmes sa zamiešala nanovo s menšou dávkou vody. Ak bolo vniknutie hustomerného valčeka v rozmedzí 6 mm (+2 mm) od sklenenej podložky cementová pasta bola pripravená a naplnený prstenec sa prikryl navlhčenou handrou a nechal sa odstáť.
- b) Stanovenie začiatku tuhnutia: Podľa požiadaviek normy STN EN 197-1. Po určitom čase cca po hodine sa naplnený prstenec s cementovou pastou znovu položil pod Vicatov prístroj, kde už nebol hustomerný valček ale špeciálna oceľová ihla. Ihla sa opatrne spustí tak, aby sa dotýkala povrchu cementovej pasty a zaistí sa. Následne sa odistí a zvisle vniká sa do cementovej pasty po dobu 30 sekúnd. Ak ihla prepadne až na sklenenú podložku zmes ešte nezačala tuhnúť, ak sa však zastaví v paste tak už nastal začiatok tuhnutia. Vtedy keď už ihla ďalej nevniká sa na stupnici odčíta hĺbka vniknutia od sklenenej podložky. Odčítaná hodnota sa uvedie do protokolu o skúške spolu s časom, ktorý uplynul od vsypania cementu do vody. Od tohto momentu tento postup opakujeme každých 10 minút a odčítavame hĺbku vniknutia. Miesto vpichnutia musí byť každý krát inde približne však 10mm vzdialené od posledného vpichu a 8mm od okraja.

- c) Stanovenie konca tuhnutia: Koniec tuhnutia cementovej pasty nastane vtedy ak už oceľová ihla po uvoľnení po dobu 30 sekúnd nevnikne do cementovej pasty a ani nezanechá otláčok na povrchu skúšaného telesa. Následne tento čas konca tuhnutia sa zapíše do protokolu a vypočíta sa časový interval od vsypania cementu do vody a od začiatku tuhnutia cementovej pasty až po koniec tuhnutia.

Tento postup bol použitý pri všetkých skúšaných zmesiach cementových pastách. Začiatok tuhnutia pri triede cementu 42,5 by mal byť ≥ 60 min, v našom prípade bol po pridávaní prísad upravovaný.



Obrázok 3.1: a) Vicat prístroj-hustomerný valček zaistený na povrchu pasty, b) Normalizovaná hustota pasty - hustomerný valček, vníkol 0,6mm, c) Vicatov prístroj- Ihla zaistená na povrchu pasty, d) Začiatok tuhnutia cementovej pasty

3.1.2.4 Skúška rozliatia – stanovenie konzistencie

Skúšku spracovateľnosti - rozliatia na určenie konzistencie materiálu bola vykonaná na Haegermannovom stolíku, Norma STN EN 206+A2. Ten sa najprv položil na rovnomernú plochu a vrchný disk stolíka sa navlhčil, taktiež sa navlhčil zrezaný kužeľový tvar formy, ktorý sa položil presne na stred disku. Následne sa zrezaná forma pridržala na strede a položil sa na ňu menší zrezaný kúžeľ otočený naopak. Následne sa kúžeľová forma naplnila cementovou kašou zhruba do polovice objemu. Naplnená časť sa ubila 10 ľahkými údermi pomocou ubíjadla, po tomto kroku sa doplnila cementovou kašou druhá polovica zrezaného kužeľa a znova sa 10 krát ubila ubíjadlom. Odstránil sa menší zrezaný kúžeľ otočený naopak a povrch cementovej kaše sa zarovnal do hladkej roviny vo výške vrchnej hrany zrezaného kužeľa. Po zarovnaní sa odstránila forma (zrezaný kúžeľ). Následne sa cementová kaša na disku Haegermannovho stolíka pomocou 15-tich otočení kľuky strasie. Na strasenej cementovej kaši sa zmeria rozliatie v dvoch smeroch v „x“ a „y“ osi pomocou pravítka a hodnoty rozliatia sa zapíšu do protokolu, „x“ a „y“ hodnoty sa spriemerujú. Takýto postup bol robený na všetkých cementových kašiach v časoch 5 min. od zamiešania a následne 20 min., 40 min. a 60 min. od zamiešania cementovej kaše.

3.1.2.5 Príprava vzoriek – valčekov a trámecov

Pred ďalšími skúškami bolo potrebné z cementovej kaše a cementovej pasty spraviť vzorky. Preto sa z každej zmesi spravili valčeky s rozmermi 30 x 30 milimetrov. Na vytvorenie valčekov boli použité oceľové formy (jedna forma je na výrobu 3 valčekov), ktoré sa najprv vyčistili a naolejovali. Následne sa do nich vložila čerstvá zmes a formy sa položili na vibračný stolík kde počas 2 minút vibrovania bola dopĺňaná čerstvá zmes podľa potreby aby boli formy čo najviac naplnené. Po vibrovaní bol zarovnaný povrch formy a tie sa nechali 24 hodín prikryté pod vlhkou handričkou. Po 24 hodinách sa vzorky odformovali a formy očistili a znova naolejovali. Z ďalších zmesí sa vyrobilo po 9 valčekov (to sú 3 formy) na zisťovanie 1,7 a 28 dňových pevností v tlaku. Zo zvyšných zmesí sa vyrábalo iba 6 valčekov (to sú 2 formy) na potreby 7 a 28 dňových pevností v tlaku. Taktiež so zmesí sa vyrábali aj trámce o rozmeroch 40 x 40 x 160 milimetrov na potreby pevnosti v tlaku a v ťahu pri ohybe kde bol postup uloženia do formy, zhutnenia na vibračnom stolíku a odformovania rovnaký ako pri valčekoch. Séria trámecov bola vyrobená zo 4 rôznych zmesí každá zmes po 3 trámce, spolu teda bolo vyrobených 12 trámecov. Následne sa vyrobila ďalšia séria trámecov s rovnakým postupom avšak odlišoval sa druh oceľových foriem do ktorých sa

pridávali „terčíky“. Tie sa vyrobili zo 4 rôznych zmesí od každej po 3 trámce, spolu sa vyrobilo 12 trámecov, avšak 2 trámce z tejto série sa museli vynechať a neskúšať ich nakoľko sa poškodili pri odformovaní.

3.1.2.6 Objemová hmotnosť

Objemovú hmotnosť sa merala na zatvrdnutých vzorkách valčekov a trámecov pred skúškami pevnosti v tlaku a v ťahu pri ohybe (vzorky boli predtým uložené vo vlhkom prostredí). Najprv sa pomocou digitálneho posuvného meradla zmerali rozmery (výška a dĺžka) každého valčeka a trámca. Následne sa každá vzorka odvážila pomocou digitálnej váhy značky Siguro, ktorá má presnosť 0,01g. Namerané a navážené hodnoty boli zapísané ku jednotlivým vzorkám a následne sa vypočítali pomocou vzorca:

$$\rho = m / V$$

- ρ - objemová hmotnosť [kg / m³]
 - m – hmotnosť vzorky [kg]
 - V - objem vzorky [m³]
- (3.1.1)

3.1.2.7 Pevnosť v ťahu pri ohybe

Táto skúška pevnosti ťahu pri ohybe sa vykonávala iba pri trámcoch po 28 dňoch. Trámce boli po celú dobu od odformovania v nádobe s vlhkým prostredím. Trámce mali rozmery 40 x 40 x 160 mm. Skúška sa vykonávala na hydraulickom lise kde lis na stred trámecov pôsobil silou, ktorú zaznamenal v (N – newtonoch). Vzorky trámecov sa vkladali do lisu na podpery - medzi podperami bola dĺžka 100 milimetrov. Maximálna sila, ktorá mala za následok rozlomenie trámca bola zaznamenaná. Táto hodnota maximálnej sily bola použitá na potreby výpočtu pevnosti v ťahu pri ohybe podľa vzorca:

$$f_f = \frac{3}{2} * \frac{F \cdot l}{b \cdot h^2}$$

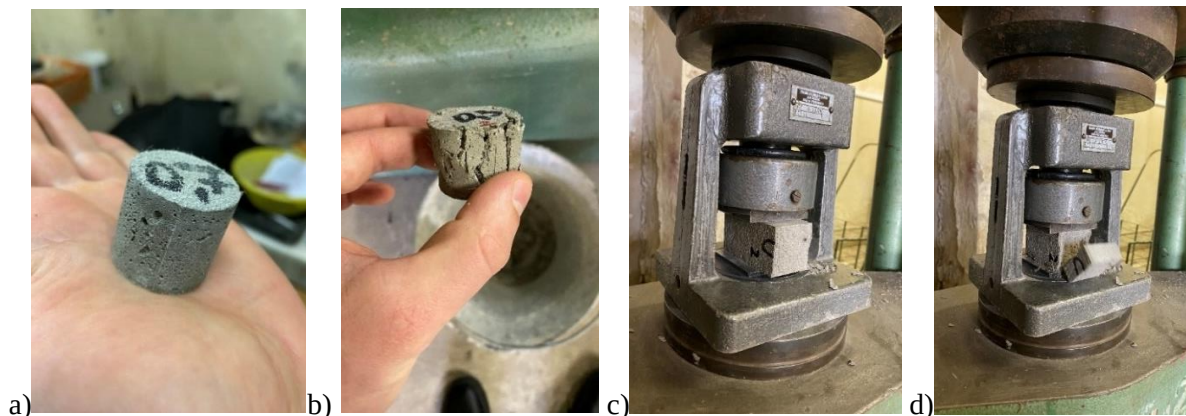
- f_f – pevnosť v ťahu pri ohybe [MPa]
 - F - maximálna sila porušenia trámca [kN]
 - l – osová vzdialenosť podpier – pre naše potreby: 100 [mm]
 - b – šírka vzorky – pre naše potreby: 40 [mm]
 - h – hrúbka vzorky v bode zlomu – pre naše potreby: 40 [mm]
- (3.1.2) [14]

3.1.2.8 Pevnosť v tlaku

Pevnosti v tlaku boli na väčšine vzoriek merané po 1,7 a 28 dňoch, v niektorých prípadoch iba po 7 a 28 dňoch a napríklad pri trámcoch iba po 28 dňoch. Pred každým meraním pevnosti v tlaku sa vzorky vybrali z nádoby s vlhkým prostredím a boli dôkladne očistené a povrchy zarovnané (valčeky). Následne sa skúška pevnosti v tlaku vykonala na hydraulickom lise, do ktorého boli vzorky jedna po druhej vkladané. Po spustení lis vyvíjal na vzorky tlakovú silu, ktorú nám hydraulický lis nameral v (N – newtonoch). Pri trámcoch sa najprv merali pevnosti v ťahu pri ohybe a následne sa merali pevnosti v tlaku. Maximálna tlaková sila, ktorá mala za následok porušenie vzorky bola zaznamenaná. Táto hodnota maximálnej sily bola použitá na potreby výpočtu pevnosti v tlaku podľa vzorca:

$$f_c = F / A_c$$

- f_c – pevnosť v tlaku [MPa]
 - F – maximálna sila porušenia vzorky [N]
 - A_c - plocha prierezu vzorky, kde pôsobila sila [mm²]
- (3.1.3)



Obrázok 3.2: a) Neporušená vzorka valčeka s PE vláknami, b) Porušenie vzorky valčeka s PE vláknami, d) Neporušená vzorka trámca vložená do lisu, d) Porušenie vzorky trámca pri pevnosti v tlaku

3.1.2.9 Zmrašťovanie

Zmrašťovania prebiehala na Graff-Kaufmannovom meracom prístroji. Skúšané boli trámce, ktoré boli vytvorené so 4 rôznych zmesí: referenčnú zmes a 3 zmesi s rôznym percentuálnym pomerom pridaných vlákien. Trámce mali po oboch stranách meracie kontakty, ktoré sa vkladali do foriem oceľových trámcov pred naplnením zmesou. Túto skúška bola potrebná z dôvodu, že zmrašťovanie je veľmi nežiadúca vlastnosť cementových zmesí a dôležité bolo zistiť ako pridanie rôznych percentuálnych pomerov vlákien vplyva na túto vlastnosť. Meracie vzorky boli po celý čas v tom istom laboratóriu s relatívnou vlhkosťou vzduchu okolo 50% aby sa predišlo negatívnym zmenám vlhkosti vzduchu. Samotné prvé meranie skúšky prebiehalo hneď po odformovaní a následne skoro každý deň celý prvý týždeň od zamiešania. Následné týždne sporadicky s odstupom pár dní. Pred každým meraním sa vzorky odvážili na digitálnej váhe značky Kern, typ : 440-49A, ktorá má presnosť 0,1g [15]. Váženie jednotlivých vzoriek bolo dôležité z dôvodu zistenia úbytku hmotnosti jednotlivých vzoriek v procese vysychania v čase, to pomohlo pri lepšom pochopení závislosti medzi jednotlivým zmrašťovaním a úbytkom hmotnosti. Pomocou hmotnostných hodnôt jednotlivých vzoriek sa následne, vypočítal podľa vzorca úbytok hmotnosti v %,:

$$\Delta m = \frac{m_0 - m_t}{m_0} * 100$$

- Δm – úbytok hmotnosti [%]
- m_0 - hmotnosť vzorky v prvý deň [g]
- m_t – hmotnosť vzorky v časovom horizonte [g]

(3.1.4)

Po vážení vzoriek sme si museli Graff-Kaufmannov merací prístroj, ktorým sme merali zmrašťovanie nakalibrovať, za pomoci porovnávacieho etalónu. Ten sme vložili do prístroja, oba terčíky na prístroji sme spojili s kontaktami etalónu a digitálne meradlo sme vynulovali. Po tomto kroku sme etalón s prístroja opatrne vytiahli a vkladali naše vzorky. Tak isto ako aj pri etalóne sme trámec vložili do prístroja a jeho terčíky sme spojili s oboma kontaktami na trámci. Každý trámec sme merali z dvoch strán, ktoré sme následne spriemerovali – meranie bolo presné na 0,001 milimetra. Namerané hodnoty sme zapísali do protokolu a výsledne zmrašťovanie sme vypočítali na základe vzorca:

$$z = \frac{\Delta l_0 - \Delta l_t}{l_e} * 1000$$

- z – zmrašťovanie [%]
- Δl_0 – rozdiel dĺžky od etalónu v začiatočnom meraní [mm]
- Δl_t – rozdiel dĺžky od etalónu v čase t [mm]
- l_e – dĺžka porovnávacieho etalónu, – pre naše potreby 160 [mm]

(3.1.5)

3.2 Zmesi modifikované prísadami

3.2.1 Vplyv použitých prísad na priebeh tuhnutia modifikovaných cementových pást

Zloženie pást - Vyhotovali sa jednotlivé cementové pasty s normálnou hustotou a skúmal sa vplyv urýchľovacej prísady Beradur E2 v rôznych percentuálnych pomeroch 0,2%, 0,4%, 0,6%, a 0,8% v porovnaní s referenčnou pastou- tá je v tabuľke 7.6 uvedená len cement + voda v/c 0,7. Následne sa tieto pasty (taktiež s normálnou hustotou) zamiešali ešte raz ale aj so superplastifikačnou prísadou Berament HT28 (tam bola referenčná pasta charakterizovaná ako cement + voda v/c 0,7 + Berament HT28). Zloženie pást je znázornené v tabuľke 3.6. Ako je možné vidieť z tabuľky 7.6 vyplýva, že vplyv Beramentu HT28 v druhej „referenčnej paste“ sa zásadne neprejavil vzhľadom na dávku vody (153 ml) v porovnaní s prvou „referenčnou pastou“ kde dávka vody bola (155 ml).

Tabuľka 3.6: Zloženie cementových pást s prísadami Berament HT28 a Beradur E2

Zložka	Dávka zložky									
Cement	500g	500g	500g	500g	500g	500g	500g	500g	500g	500g
Voda	155ml	155ml	157ml	157ml	155ml	153ml	152ml	150ml	140ml	138ml
Berament HT28	-	-	-	-	-	0,5%	0,5%	0,5%	0,5%	0,5%
Beradur E2	-	0,2%	0,4%	0,6%	0,8%	-	0,2%	0,4%	0,6%	0,8%

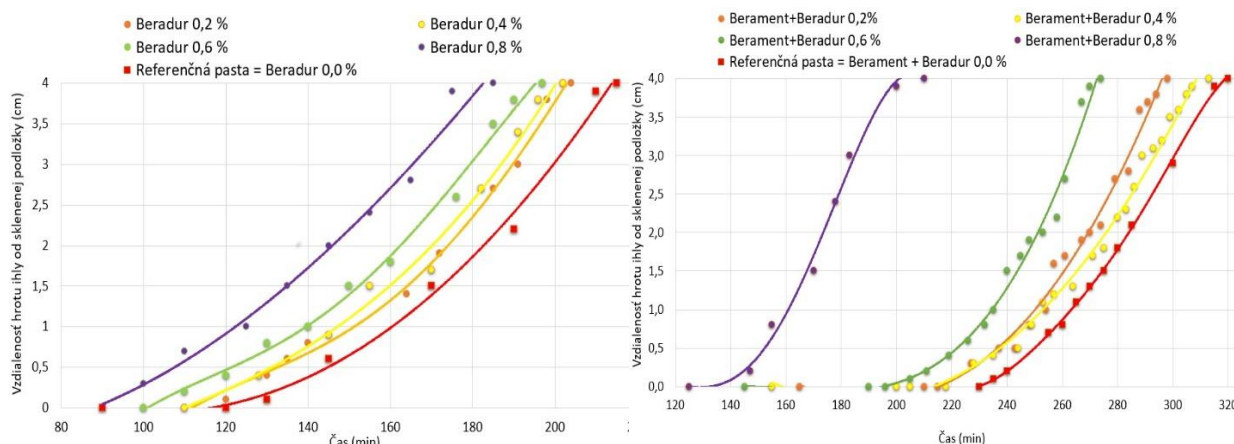
Aby sa overil vplyv aj iných prísad na stanovenie priebehu tuhnutia vytvorili sa ďalšie cementové pasty s normálnou hustotou aj s prísadou Casucol FIX 1 a Walocel MKX25000. Zloženie cementových pást je uvedené v tabuľke 7.7. Dávka Casucol FIX 1 0,03% a dávka Walocelu MKX25000 0,15%.

Tabuľka 3.7: Zloženie cementových pást s prísadami Berament HT28, Beradur E2, Casucol a Walocel

Zložka	Dávka zložky						
Cement	500g	500g	500g	500g	500g	500g	500g
Voda	155ml	171ml	173ml	174ml	175ml	172ml	173ml
Berament HT28	-	0,5%	0,5%	0,5%	0,5%	-	0,5%
Beradur E2	-	0,2%	0,4%	0,6%	0,8%	-	-
Casucol FIX 1	-	0,03%	0,03%	0,03%	0,03%	0,03%	0,03%
Walocel MKX25000	-	0,15%	0,15%	0,15%	0,15%	0,15%	0,15%

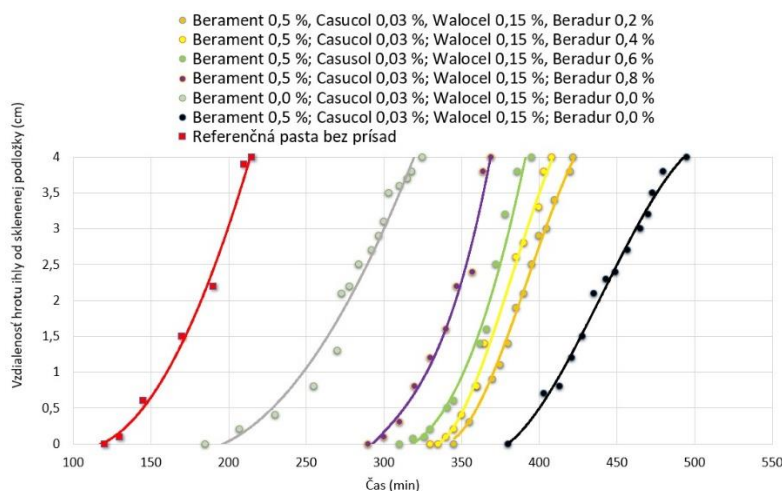
Dosiahnuté výsledky

Pasty z tabuľky 3.6: Na grafe 3.1 referenčná pasta s 0,0% dávkou urýchľovacej prísady mala najpomalšie tuhnutie - začala tuhnúť približne pri 130 minútach a skončila približne pri 215 minútach. Po pridaní prísady Beradur E2 je jasne vidieť, že nastal skrátenie čas tuhnutia zmesi, to v podstate priamo korelovalo s pridaným množstvom prísady. **Pasty z tabuľky 3.6:** V grafe 3.2 je vidieť, že po pridaní superplastifikačnej prísady Berament HT28 do referenčnej pasty nastal začiatok tuhnutia z pôvodných 130 minút až po 230 minútach. Tak isto sa posunul koniec tuhnutia, ktorý nastal až po 320 minútach. V ostatných pastách, ktoré obsahovali kombináciu Beraduru (v rôznych dávkach) aj superplastifikára Beramentu (v dávke 0,5%) sa ich fáza tuhnutia od začiatku po koniec sa výrazne skrátila. Doba tuhnutia sa skracovala s nárastom dávky Beraduru. Pri najvyššej dávke Beraduru 0,8% spolu so superplastifikátorom Berament HT28 bolo pozorované najvýraznejšie skrátenie času tuhnutia - celý proces tuhnutia trval len niečo vyše 60 minút. **Pasty z tabuľky 3.7:** Na grafe 3.3 cementová pasta iba s prísadami Casucol a Walocel, mala len o niečo neskorší nárast začiatku tuhnutia ako referenčná pasta bez prísad. Po pridaní k Walocelu a Casucolu aj superplastifikačnú prísadu Berament bol pozorovaný najneskorší začiatok tuhnutia (až viac ako 400min) a aj koniec tuhnutia (skoro 500min) spomedzi všetkých pást. Po pridávaní urýchľovača Beradur do kombinácie k týmto pastám boli namerané výrazne skrátené časy celého procesu tuhnutia.



Graf 3.1: Na ľavej strane: Vývoj tuhnutia referenčnej pasty a pást s rôznou dávkou urýchľovacej prísady Beradur E2 bez použitia iných prísad

Graf 3.2: Na pravej strane: Vývoj tuhnutia referenčnej pasty s Beramentom HT28 a pást s rôznou dávkou urýchľovacej prísady Beradur E2 spolu so superplastifikačnou prísadou Berament HT28



Graf 3.3: Vývoj tuhnutia referenčnej pasty a pást s použitím prísad Casucol FLX 1 a Walocel MKX25000 s rôznou dávkou urýchľovacej prísady Beradur E2 a s použitím superplastifikačnej prísady Berament HT28.

3.2.2 Vplyv prísad na zmenu konzistencie cementových mált

Zloženie mált - V tejto fáze výskumu boli zvolené 2 hlavné druhy mált. Jedna obsahovala iba prísady Berament HT28 a Beradur E2 - tam bol zvolený v/c 0,7 (168ml) ale aj v/c 0,5 (120ml) Ďalšia obsahovala prísady Berament HT28 a Beradur E2 ale aj prísady Casucol a Walocel - tam bol zvolený iba v/c 0,7 (168ml). Ich zloženie je vidieť v tabuľke 3.8.

Tabuľka 3.8: Zloženie zmesí na sledovanie zmeny konzistencie

Zložka	Dávka zložky									
Cement	240g	240g	240g	240g	240g	240g	240g	240g	240g	240g
Piesok	720g	720g	720g	720g	720g	720g	720g	720g	720g	720g
Voda	168 ml /120ml	168 ml /120ml	168 ml /120ml	168 ml /120ml	168 ml /120ml	168 ml	168ml	168ml	168ml	168ml
Berament HT28	0,5%	0,5%	0,5%	0,5%	0,5%	0,5%	0,5%	0,5%	0,5%	0,5%
Beradur E2	-	0,2%	0,4%	0,6%	0,8%	-	0,2%	0,4%	0,6%	0,8%
Casucol FIX 1	-	-	-	-	-	0,03%	0,03%	0,03%	0,03%	0,03%
Walocel MKX25000	-	-	-	-	-	0,15%	0,15%	0,15%	0,15%	0,15%

V oboch druhoch mált sa menila dávka urýchľovača Beradur E2 v rôznych percentuálnych pomeroch - ostatné prísady boli v rovnakých dávkach. Referenčná malta obsahovala pri jednom druhu malty cement, piesok a vodu (v/c 0,7 - 168ml alebo v/c 0,5 - 120ml) a iba prísadu Berament HT28. Pri druhom druhu malty obsahovala referenčná malta cement, piesok a vodu (v/c 0,7 - 168ml) a prísady Berament HT28, Casucol FIX 1 a Walocel MKX2500. Pre lepšie pochopenie, z referenčných mált bola vždy vynechaná iba urýchľovacia prísada Beradur E2 ako je vidieť v tabuľke 3.8 (stĺpec „1.“ a „6.“).

Pri maltách iba s prísadami Berament HT28 a Beradur E2 sa pri oboch vodných súčiniteľoch (v/c 0,7 aj v/c 0,5) ešte zredukovala voda na základe toho koľko vody obsahovali dané prísady Berament HT28 a Beradur E2 (tab. 7.9). Pri maltách s prísadami Berament HT28 a Beradur E2 a aj Casucol a Walocel bol taktiež v/c 0,7 zredukovaný v jednej skúšobnej sérii o množstvo vody, ktorú obsahovali prísady Berament a Beradur. V druhej skúšobnej sérii mált s prísadami Berament HT28 a Beradur E2 a aj Casucol a Walocel sa v/c neredukoval o množstvo vody v prísadách.

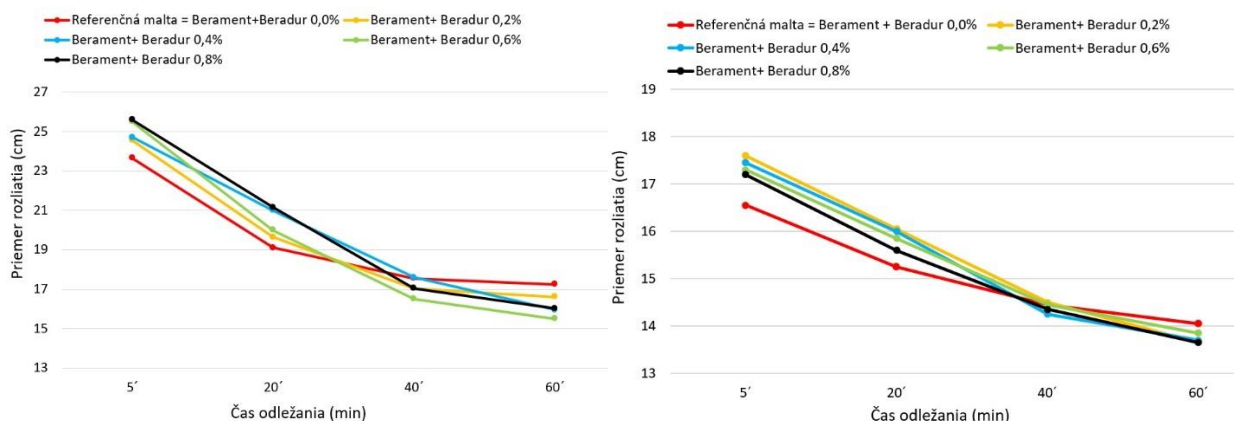
Tabuľka 3.9: Redukovaný v/c na základe množstva vody v prísadách Berament a Beradur

Berament HT 28		Beradur E2		Znížený v/c 0,7 / 0,5 o vodu v prísadách
Dávka prísady	Množstvo vody v prísade	Dávka prísady	Množstvo vody v prísade	
0,5%	0,72 ml	0,2%	0,216 ml	167,06 ml / 119,06ml
		0,4%	0,432 ml	166,85 ml / 118,85 ml
		0,6%	0,648 ml	166,63 ml / 118,63ml
		0,8%	0,864 ml	166,42ml / 118,42ml

Dosiahnuté výsledky

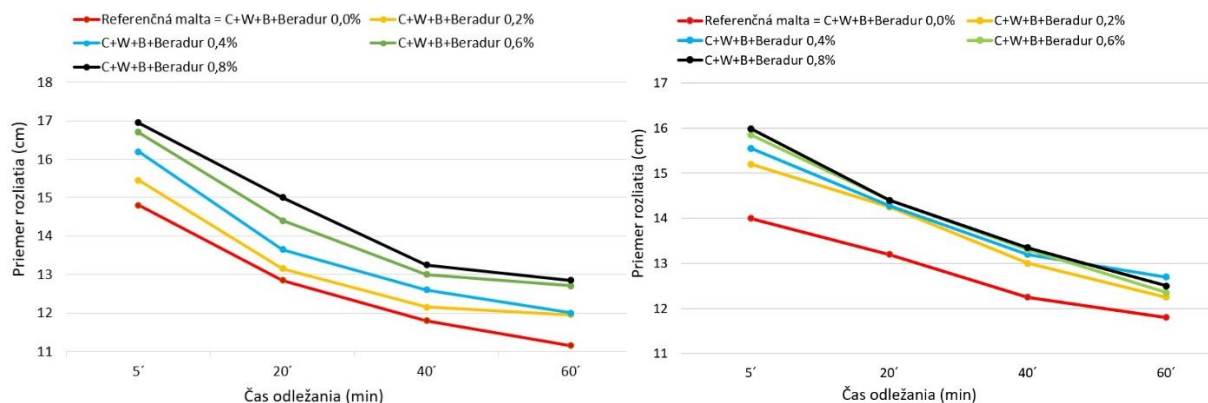
a) Výsledky pre malty iba s prísadami Berament HT28 v dávke 0,5 % a Beradur E2 v dávkach 0,2 ; 0,4 ; 0,6 ; 0,8. Na grafoch 3.4 a 3.5 je možné pozorovať priemery rozliatia v časoch od 5 minút od zamiešania až po časy 20,40 a 60 minút. V týchto maltách bol znížený v/c o vodu v prísadách ako je možné sledovať v tabuľke 3.9. Po pridaní urýchľovacej prísady Beradur E2 do referenčnej malty sa zväčšili priemery rozliatia. Taktiež sa potvrdilo, že priemery rozliatia sa mierne zväčšovali s väčším množstvom pridanej prísady Beradur E2. Postupne v čase odležania malty tuhli a konzistencia sa menila čím sa priemery rozliatia zmenšovali pri všetkých maltách. Referenčná malta vykazovala pomalšie a menšie zmeny konzistencie a spracovateľnosti ako malty s urýchľovacou prísadou – avšak nie zásadne. Je možné zhodnotiť, že po pridaní dávok urýchľovacej prísady Beradur E2 sa mierne zrýchlila zmena konzistencie mált.

b) Výsledky pre malty s prísadami Berament HT28 v dávke 0,5 % a Beradur E2 v dávkach 0,2 ; 0,4 ; 0,6 ; 0,8. aj s prísadami Casucol FIX 1 v dávke 0,03% a Walocel MKX25000 v dávke 0,15%. Na grafoch 3.6 a 3.7 sú znázornené priemery rozliatia v časoch od 5 minút od zamiešania až po časy 20,40 a 60 minút. týchto maltách bol v jednej zámesi v/c 0,7. V druhej zámesi bol znížený v/c 0,7 o vodu prísadách (hodnoty zníženého v/c v tabuľke 3.9). Po pridaní prísad Casucol a Walocel (graf 3.6 a 3.7) do predchádzajúcich mált iba s Beramentom a Beradurom (graf 3.4 a 3.5) je vidieť, že počiatočné priemery rozliatia čerstvých mált sa výrazne zmenšovali. Taktiež to bolo aj pri referenčnej malte kde zníženie bolo z 23,65 cm (graf. 3.4) na 14,8 cm (graf. 3.6). Pri týchto maltách sa tiež prejavil vplyv urýchľovača Beradur E2 a s jeho narastajúcou dávkou sa zväčšovali počiatočné priemery rozliatia, následná strata spracovateľnosti však dávkovaním urýchľovača nebola významne ovplyvnená. Zníženie v/c o vodu v prísadách sa mierne prejavilo, malty s v/c 0,7 (graf 3.6) vykazovali mierne väčšie rozliatia a mierne väčšiu stratu spracovateľnosti ako malty s v/c 0,7 zníženom o množstvo vody v prísadách (graf 3.7). Na označenia jednotlivých zmesí/mált v grafoch sú používané skratky - začiatkové písmená použitých prísad (C,W,B a B) prvé písmeno B označuje vždy Berament HT28 a druhé písmeno B označuje vždy Beradur E2 v dávkach 0,2 ; 0,4 ; 0,6 ; 0,8. Referenčná malta je skratka (RM).



Graf 3.4: Na ľavej strane: Graficky znázornené priemery rozliatia málť v čase iba s prísadami Berament HT28 a Beradur E2 a v/c 0,7 znížený o vodu v prísadách

Graf 3.5: Na pravej strane: Graficky znázornené priemery rozliatia málť v čase iba s prísadami Berament HT28 a Beradur E2 a v/c 0,5 znížený o vodu v prísadách



Graf 3.6: Na ľavej strane: Graficky znázornené priemery rozliatia málť s prísadami Berament HT28 a Beradur E2 a aj s prísadami Casucol FIX 1 a Walocel MKX25000, a v/c 0,7

Graf 3.7: Na pravej strane: Graficky znázornené priemery rozliatia málť s prísadami Berament HT28 a Beradur E2 a aj s prísadami Casucol FIX 1 a Walocel MKX25000, a v/c 0,7 znížený o vodu v prísadách

3.2.3 Vplyv prísad na pevnosti v tlaku modifikovaných cementových málť

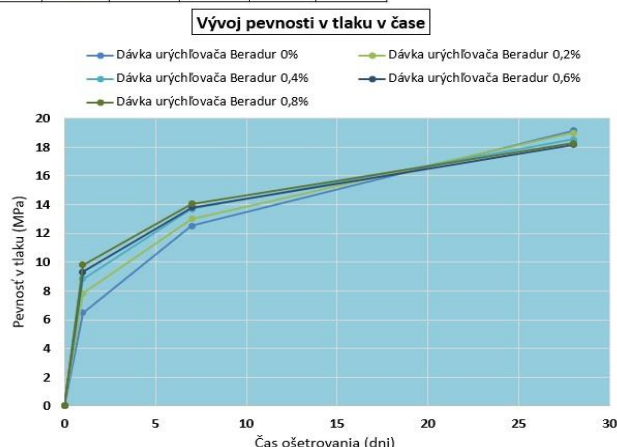
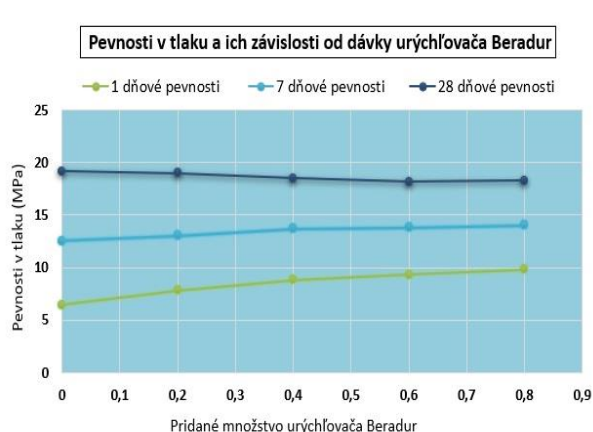
Dosiahnuté výsledky - Merania boli robené na rovnakých málťach, na ktorých sa overovali aj zmeny konzistencie (tabuľka 3.8). Z každej zmesi malty sa robili po 3 valčeky na nich sa na hydraulickom lise zmerali maximálne tlakové sily, pomocou nich sa vypočítala pevnosť v tlaku. Pevnosti v tlaku málť po 1, 7 a 28 dňoch tvrdnutia je možné vidieť v tabuľkách 3.10, 3.12 a 3.13, výsledky reprezentujú priemerné hodnoty z troch meraní. V tabuľke 3.11 sú výsledky iba po 1 a 7 dňoch nakoľko sa nepodarilo spraviť 28 dňové meranie. Poradie tabuliek málť s výsledkami pevnosti v tlaku je rovnaké ako v predchádzajúcej kapitole. Najprv malty s prísadami Berament HT28 v dávke 0,5 % a Beradur E2 v dávkach 0,2 ; 0,4 ; 0,6 ; 0,8. Následne malty s prísadami Berament HT28 v dávke 0,5 % a Beradur E2 v dávkach 0,2 ; 0,4 ; 0,6 ; 0,8. aj s prísadami Casucol FIX 1 v dávke 0,03% a Walocel MKX25000 v dávke 0,15%. Na označenia jednotlivých zmesí v tabuľkách a grafoch sú používané skratky - začiatkové písmená použitých prísad (B a B) prvé písmeno B označuje vždy Berament HT28 a druhé písmeno B označuje vždy Beradur E2 v dávkach 0,2 ; 0,4 ; 0,6 ; 0,8. Referenčná malta je skratka (RM) , vodný súčiniteľ - je použitá skratka (v/c).

V tabuľke 3.10 sú znázornené pevnosti v tlaku po 1,7 a 28 dňoch. Z meraní je zrejmé, že čím je vyššia dávka urýchľovacej prísady Beradur E2 tým bola vyššia aj pevnosť v tlaku. Vplyv urýchľovacej prísady Beradur E2 sa najvýraznejšie prejavil po 1 dni tvrdnutia. Tieto súvislosti sa prejavili iba na vzorkách málť po 1 a 7 dňoch tvrdnutia, 28 dňové pevnosti sa s narastajúcou dávkou prísady znižovali, zaujímavé je

sledovať aj maltu (B + B 0,6) s množstvom Beraduru 0,6, tá mala mierne nižšiu pevnosť v tlaku po 28 dňoch ako malta (B + B 0,8) s dávkou Beraduru 0,8. Referenčná malta mala najnižšie pevnosti v tlaku pri 1 a 7 dňoch ale pri 28 dňoch dosiahla najvyššiu pevnosť spomedzi ostatných mált s prísadami.

Tabuľka 3.10: Pevnosti v tlaku mált iba s prísadami Berament HT28 a Beradur E2 v rôznych dávkach, v/c je 0,7 znížený o vodu v prísadách

Označenie zmesi	Číslo vzorky	Tlaková sila (kN)	Pevnosť v tlaku (MPa)	Priemer pevnosti v tlaku (MPa)	Tlaková sila (kN)	Pevnosť v tlaku (MPa)	Priemer pevnosti v tlaku (MPa)	Tlaková sila (kN)	Pevnosť v tlaku (MPa)	Priemer pevnosti v tlaku (MPa)
		Po 1 dni			Po 7 dňoch			Po 28 dňoch		
RM v/c 0,7	1	4,21	5,96	6,46	8,1	11,46	12,52	14,4	20,38	19,16
	2	6,34	8,97		8,65	12,24		12,1	17,13	
	3	3,15	4,46		9,78	13,84		14,1	19,96	
B+B 0,2	1	2,43	3,44	7,80	12,1	17,13	13,02	14,2	20,10	18,97
	2	8,01	11,34		7,2	10,19		12,1	17,13	
	3	6,10	8,63		8,3	11,75		13,9	19,67	
B+B 0,4	1	6,21	8,79	8,84	8,21	11,62	13,71	12,15	17,20	18,52
	2	6,31	8,93		10,87	15,39		15,9	22,51	
	3	6,21	8,79		9,98	14,13		11,21	15,87	
B+B 0,6	1	6,54	9,26	9,31	9,31	13,18	13,79	12,23	17,31	18,18
	2	6,89	9,75		10,01	14,17		12,3	17,41	
	3	6,30	8,92		9,9	14,01		14	19,82	
B+B 0,8	1	8,20	11,61	9,81	9,65	13,66	14,04	10,98	15,54	18,28
	2	6,80	9,62		9,9	14,01		13,67	19,35	
	3	5,8	8,21		10,21	14,45		14,1	19,96	



Graf 3.8: Na ľavej strane: Pevnosti v tlaku mált s v/c 0,7 po 1, 7 a 28 dňoch a ich závislosti od dávky Beraduru E2

Graf 3.9: Na pravej strane: Grafický znázornenie pevnosti v tlaku mált s v/c 0,7 a ich vývoj v čase

Pri ďalších maltách iba s prísadami Berament HT28 v dávke 0,5 % a Beradur E2 v dávkach 0,2 ; 0,4 ; 0,6 ; 0,8 s v/c 0,5 sa namerali pevnosti v tlaku iba po 1 a 7 dňoch vid' v tabuľke 3.11. S rastúcim množstvom dávky Beraduru E2 1 dňové pevnosti v tlaku narastali - okrem najvyššej dávky prísady 0,8. Pri 7 dňových meraniach boli dosiahnuté najvyššie pevnosti v tlaku pri dávke Beraduru E2 0,2 a 0,6. Rozdiely medzi pevnosťami týchto mált (tab. 3.11) boli väčšie ako to bolo v prípade mált s v/c 0,7 (tab. 3.10).

Tabuľka 3.11: Pevnosti v tlaku zmesi s prísadami Berament a Beradur a vodným súčiniteľom 0,5

Označenie zmesi	Číslo vzorky	Tlaková sila (kN)	Pevnosť v tlaku (MPa)	Priemer pevnosti v tlaku (MPa)	Tlaková sila (kN)	Pevnosť v tlaku (MPa)	Priemer pevnosti v tlaku (MPa)
Po 1 dni				Po 7 dňoch			
RM v/c 0,5	1	6,53	9,24	10,90	14,87	21,05	19,71
	2	8,04	11,38		13,6	19,25	
	3	8,53	12,07		13,3	18,83	
B+B 0,2	1	6,23	8,82	11,27	16,25	23,00	19,55
	2	8,75	12,38		15,55	22,01	
	3	8,90	12,60		9,63	13,63	
B+B 0,4	1	7,50	10,62	11,48	13,96	19,76	18,94
	2	7,86	11,13		12,53	17,74	
	3	8,98	12,71		13,65	19,32	
B+B 0,6	1	7,80	11,04	11,74	13,98	19,79	19,44
	2	8,18	11,58		14,39	20,37	
	3	8,90	12,60		12,83	18,16	
B+B 0,8	1	7,90	11,18	11,69	12,3	17,41	18,82
	2	8,32	11,78		14,69	20,79	
	3	8,56	12,12		12,9	18,26	

Ako ďalšie sú prezentované výsledky na maltách s v/c 0,7 s prísadami Berament HT28 v dávke 0,5 % a Beradur E2 v dávkach 0,2 ; 0,4 ; 0,6 ; 0,8 a aj s prísadami Casucol FIX 1 v dávke 0,03% a Walocel MKX25000 v dávke 0,15%. Nameraných pevností v tlaku po 1, 7 a 28 dňoch sú znázornené v tabuľke 3.12. Prísady Casucol a Walocel v maltách sa mali značný vplyv na pevnosti v tlaku – znižovali ich a najvýraznejšie 1 dňové pevnosti v tlaku ale tiež mierne znižovali aj 7 a 28 dňové pevnosti v tlaku tab. 3.12 oproti maltám bez nich vid' tab. 3.10. Prísada Beradur E2 sa správala rovnako - s vyššou dávkou prísady Beradur E2 sa v podstate priamo úmerne zvyšovali pevnosti v tlaku. Je to napríklad vidieť pri zmesiach s najvyššou dávkou pridanej prísady Beradur E2, kde po 1 a 7 dňoch dosahovali takéto malty najvyššie pevnosti v tlaku. Opačný efekt to malo pri 28 dňových pevnostiach kde s narastajúcou dávkou prísady Beradur E2 pevnosti značne klesali. Pri najvyššej dávke pridanej prísady boli 28 dňové pevnosti najmenšie.

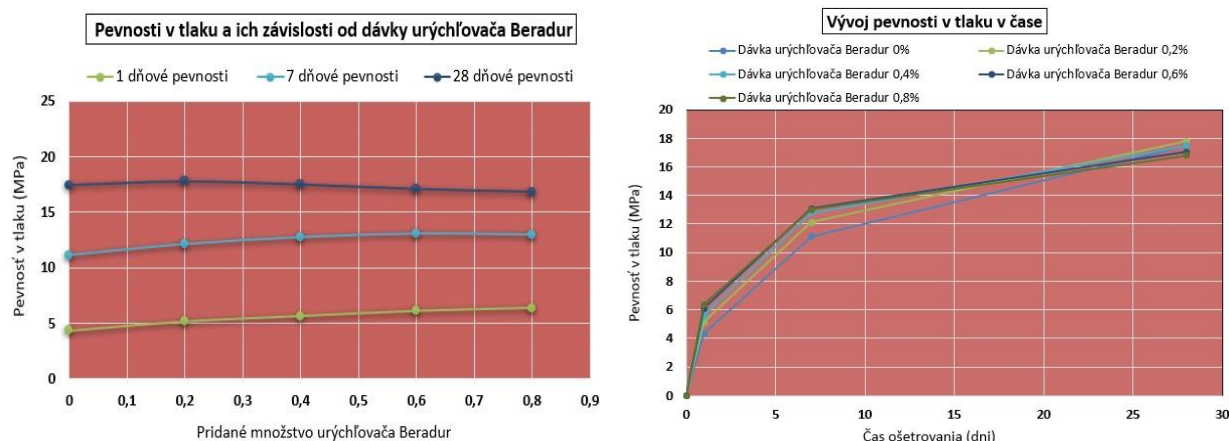
Tabuľka 3.12: Pevnosti v tlaku mált s prísadami Berament a Beradur a aj s prísadami Casucol a Walocel, a v/c 0,7

Označenie zmesi	Číslo vzorky	Tlaková sila (kN)	Pevnosť v tlaku (MPa)	Priemer pevnosti v tlaku (MPa)	Tlaková sila (kN)	Pevnosť v tlaku (MPa)	Priemer pevnosti v tlaku (MPa)	Tlaková sila (kN)	Pevnosť v tlaku (MPa)	Priemer pevnosti v tlaku (MPa)
		Po 1 dni			Po 7 dňoch			Po 28 dňoch		
RM v/c 0,7	1	2,10	2,97	3,22	6,78	9,60	11,12	11,9	16,84	17,46
	2	2,40	3,40		8,99	12,72		12,3	17,41	
	3	2,32	3,28		7,79	11,03		12,8	18,12	
C+W+B+B 0,2	1	2,27	3,21	3,58	8,70	12,31	12,14	12,8	18,12	17,55
	2	2,1	2,97		8,49	12,02		11,5	16,28	
	3	3,21	4,54		8,54	12,09		12,89	18,24	
C+W+B+B 0,4	1	3,4	4,81	3,83	9,50	13,45	12,45	12,4	17,55	17,46
	2	2,01	2,85		8,78	12,43		12,8	18,12	
	3	2,7	3,82		8,11	11,48		11,8	16,70	
C+W+B+B 0,6	1	3,22	4,56	4,87	8,80	12,46	12,83	14,8	20,95	17,36
	2	3,3	4,67		9,30	13,16		11,9	16,84	
	3	3,8	5,38		9,10	12,88		10,1	14,30	
C+W+B+B 0,8	1	4,38	6,20	5,14	8,40	11,89	12,91	10,9	15,43	15,94
	2	4,01	5,68		9,99	14,14		10,9	15,43	
	3	2,51	3,55		8,98	12,71		11,98	16,96	

Ďalšie výsledky pevnosti v tlaku v tabuľke 3.13 sú prezentované na maltách s prísadami Berament HT28 v dávke 0,5 % a Beradur E2 v dávkach 0,2 ; 0,4 ; 0,6 ; 0,8 a aj s prísadami Casucol FIX 1 v dávke 0,03% a Walocel MKX25000 v dávke 0,15%. s v/c 0,7 ktorý bol ale ešte znížený o vodu v prísadách – zníženie v/c o vodu v prísadách bol teda jediný rozdiel týchto mált oproti predchádzajúcim výsledkom z tabuľky 3.12. Pevnosti v tlaku sa namerali po 1,7 a 28 dňoch od zamiešania. Tieto výsledky z tabuľky 3.12 boli v podstate rovnaké ako pri predchádzajúcom meraní v tabuľke 3.13. Prísady Casucol a Walocel znižovali pevnosti v tlaku najvýraznejšie po 1 dni tab. 7.17 oproti maltám bez nich vid' tab. 3.10. Dávka Beraduru E2 sa tiež prejavila s jej narastaním narastali 1 a 7 dňové pevnosti v tlaku s výnimkou dávky Beraduru E2 0,8 po 7 dňoch, kde pevnosti v tlaku boli nižšie ako pri dávke Beraduru 0,6. Po 28 dňoch sa pevnosť v tlaku s narastajúcou dávkou prísady Beradur E2 znižovala pri všetkých maltách. Pri najvyššej dávke Beraduru E2 bola výsledná 28 dňová pevnosť nižšia ako pri referenčnej malteto je možné vidieť na grafe 7.21. Zníženie vodného súčiniteľa 0,7 o vodu v prísadách sa prejavilo zvýšenými pevnosťami v tlaku najvýraznejšie po 1dni ale mierne aj po 7 a 28 dňoch, vid' porovnanie tabuľky 3.13 a tabuľky 3.12.

Tabuľka 3.13: Pevnosti v tlaku mált s prísadami Berament HT28 a Beradur E2 a aj s prísadami Casucol FIX 1 a Walocel MKX25000, a v/c 0,7 znížený o vodu v prísadách

Označenie zmesi	Číslo vzorky	Tlaková sila (kN)	Pevnosť v tlaku (MPa)	Priemer pevnosti v tlaku (MPa)	Tlaková sila (kN)	Pevnosť v tlaku (MPa)	Priemer pevnosti v tlaku (MPa)	Tlaková sila (kN)	Pevnosť v tlaku (MPa)	Priemer pevnosti v tlaku (MPa)
		Po 1 dni			Po 7 dňoch			Po 28 dňoch		
RM v/c 0,7	1	3,29	4,66	4,32	6,89	9,75	11,11	11,45	16,21	17,44
	2	3,66	5,18		8,99	12,72		12,72	18,00	
	3	2,21	3,13		7,67	10,86		12,8	18,12	
C+W+B+B 0,2	1	3,75	5,31	5,14	8,49	12,02	12,12	12,99	18,39	17,80
	2	4,10	5,80		8,6	12,17		11,84	16,76	
	3	3,05	4,32		8,6	12,17		12,9	18,26	
C+W+B+B 0,4	1	4,01	5,68	5,63	8,9	12,60	12,76	12,21	17,28	17,50
	2	3,60	5,10		8,89	12,58		12,44	17,61	
	3	4,32	6,11		9,26	13,11		12,45	17,62	
C+W+B+B 0,6	1	4,34	6,14	6,09	8,36	11,83	13,09	12	16,99	17,06
	2	4,71	6,67		9,76	13,81		12,16	17,21	
	3	3,85	5,45		9,63	13,63		12	16,99	
C+W+B+B 0,8	1	4,09	5,79	6,36	8,55	12,10	13,00	10,9	15,43	16,79
	2	4,69	6,64		9,6	13,59		12,5	17,69	
	3	4,7	6,65		9,4	13,31		12,19	17,25	



Graf 3.10: Na ľavej strane: Pevnosti v tlaku mált s v/c 0,7 po 1,7 a 28 dňoch a ich závislosti od dávky Beraduru E2

Graf 3.11: Na pravej strane: Graficky znázornené pevnosti v tlaku mált s v/c 0,7 a ich vývoj v čase

3.3 Zmesi modifikované prísadami a modifikované vláknami

Zloženie zmesí - Pri maltách modifikovaných prísadami a modifikovaných polypropylénovými vláknami boli zvolené dve hlavné zmesi. Jedna pre skúšobné valčeky tab. 3.14 a druhá pre skúšobné trámce tab. 3.15 ani jedna z nich neobsahovala urýchľovač Beradur E2. Dávky ostatných prísad ako Berament HT28, Casucol FIX1 a Walocel MKX2500 boli rovnaké ako v maltách z predchádzajúcich meraní, v/c bol 0,7. PE vlákna sa do zmesí pridávali v rôznych množstvách, vychádzalo sa z údajov, že je potrebný 1kg vlákien na 1 m³ miešanej zmes. Pri valčekom bolo pridaných 0,3g, 0,5g a 0,7g vlákien v danej zmesi. Referenčnú malta bola bez PE vlákien iba s prísadami Berament HT28, Casucol FIX1 a Walocel MKX2500. Zloženie mált pre valčeky je znázornené v tabuľke 3.14. Pri trámcoch bolo pridaných 0,6g, 1,0g a 1,4g vlákien v danej zmesi. Ich zloženie je znázornené v tabuľke 3.15. Vzorky trámcom boli oproti valčekom väčšie preto bolo potrebné aj väčšie množstvo zámesi na trámce z toho vyplývajú väčšie množstvá cementu piesku, vody a PE vlákien oproti zámesiam pre valčeky. Na skúšobných vzorkách valčekom sa robili skúšky pevnosti v tlaku. Na rovnakom zložení mált ako v tabuľke 3.14 sa robila aj skúška rozliatia/stanovenie konzistencie. Na skúšobných vzorkách trámcoch sa robili skúšky pevnosti v ťahu pri ohybe, pevnosti v tlaku a skúšky zmrašťovania

Tabuľka 3.14: Zloženie zmesí s obsahom PE vlákien pre skúšobné vzorky valčekom

Zložka	Dávka zložky pre skúšobné valčeky			
Cement	240g	240g	240g	240g
Piesok	720g	720g	720g	720g
Voda	168ml	168ml	168ml	168ml
Berament HT28	0,5%	0,5%	0,5%	0,5%
Casucol FIX 1	0,03%	0,03%	0,03%	0,03%
Walocel MKX25000	0,15%	0,15%	0,15%	0,15%
Vlákná	-	0,3g	0,5g	0,7g

Tabuľka 3.15: Zloženie zmesí s obsahom PE vlákien pre skúšobné vzorky trámce

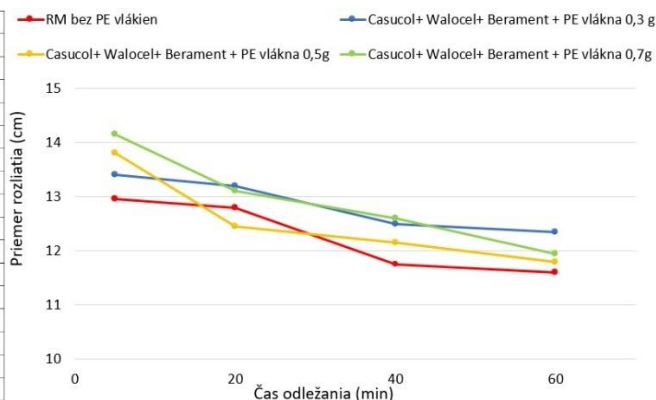
Zložka	Dávka zložky pre skúšobné trámce			
Cement	450g	450g	450g	450g
Piesok	1350g	1350g	1350g	1350g
Voda	315ml	315ml	315ml	315ml
Berament HT28	0,5%	0,5%	0,5%	0,5%
Casucol FIX 1	0,03%	0,03%	0,03%	0,03%
Walocel MKX25000	0,15%	0,15%	0,15%	0,15%
Vlákná	-	0,6g	1,0g	1,4g

3.3.1 Vplyv vlákien na zmenu konzistencie cementových mált s prísadami

Dosiahnuté výsledky - Na maltách s pridanými PE vláknami sa ako prvé skúšali zmeny konzistencie/spracovateľnosti pomocou Hegermanovho striasacieho stolíka. Skúšala sa referenčná malta bez PE vlákien a malty s pridanými PE vláknami v dávkach 0,3g 0,5g a 0,7g. Merania prebiehali po 5, 20, 40 a 60 minútach od zamiešania mált. Namerané hodnoty je možné pozorovať v tabuľke 3.16.

Tabuľka 3.16: Priemery rozliatia mált s PE vláknami

Označenie zmesi	Čas odležania (min)	Priemer rozliatia (cm)
Referenčná malta bez PE vlákien, v/c 0,7	5'	12,95
	20'	12,8
	40'	11,75
	60'	11,6
Malta s prísadami C+W+B+ vlákna 0,3g	5'	13,4
	20'	13,2
	40'	12,5
	60'	12,35
Malta s prísadami C+W+B+ vlákna 0,5g	5'	13,8
	20'	12,45
	40'	12,15
	60'	11,8
Malta s prísadami C+W+B+ vlákna 0,7g	5'	14,15
	20'	13,1
	40'	12,6
	60'	11,95



Graf 3.12: Na pravej strane - priemery rozliatia v čase mált s prísadami Casucol, Walocel, Berament a PE vláknami v dávkach 0,3g 0,5g a 0,7g

3.3.2 Vplyv vlákien na pevnosti v tlaku cementových mált s prísadami na vzorkách valčekov

Dosiahnuté výsledky - Namerané Pevnosti v tlaku na vzorkách valčekov s pridanými prísadami a polypropylénovými vláknami (zloženie viď tab. 7.18 na strane 84) po 7 a 28 dňoch tvrdnutia, sú znázornené v tabuľke 3.17 a 3.18. Z výsledkov pevnosti v tlaku možno konštatovať, že pridané PE vlákna do mált zásadne neovplyvnili pevnosť v tlaku po 7 dňoch. Malty s dávkami PE vlákien 0,3g a 0,7g mali veľmi podobné hodnoty pevnosti v tlaku ako referenčná malta. Iba pri zmesi s dávkou PE vlákien 0,5g boli pozorované nižšie pevnosti. Pri 28 dňových pevnostiach v tlaku je možné pozorovať ako pridané PE vlákna do mált zvýšili 28 dňové pevnosti v tlaku oproti referenčnej malte. Malta s pridanými PE vláknami 0,3g dosahovala najvyššie pevnosti v tlaku, za ňou nasledovala malta s PE vláknami 0,5g a o niečo nižšie pevnosti dosahovala malta s najvyššou dávkou PE pridaných vlákien 0,7g. Najnižšia dávka vlákien 0,3g sa preto javila ako najvhodnejšia.

Tabuľka 3.17: Na ľavej strane: Pevnosti v tlaku mált s prísadami Casucol, Walocel, Berament a PE vláknami v dávkach 0,3g 0,5g a 0,7g po 7 dňoch

Tabuľka 3.18: Na pravej strane: Pevnosti v tlaku mált s prísadami Casucol, Walocel, Berament a PE vláknami v dávkach 0,3g 0,5g a 0,7g po 28 dňoch

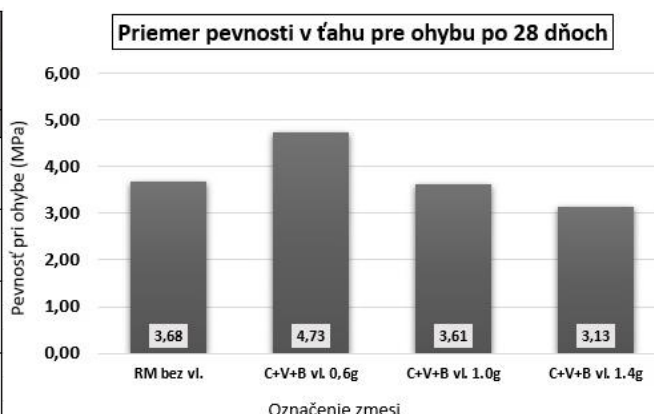
Označenie zmesi	Číslo vzorky	Tlaková sila (kN)	Pevnosť v tlaku (MPa)	Priemer pevnosti v tlaku (MPa)	Označenie zmesi	Číslo vzorky	Tlaková sila (kN)	Pevnosť v tlaku (MPa)	Priemer pevnosti v tlaku (MPa)
		Po 7 dňoch					Po 28 dňoch		
RM bez vl.	1	8,29	11,73	11,84	RM bez vl.	1	10,6	15,00	16,72
	2	8,21	11,62			2	12,2	17,27	
	3	8,60	12,17			3	12,64	17,89	
C+W+B vl. 0,3g	1	7,40	10,47	11,82	C+W+B vl. 0,3g	1	13,88	19,65	19,94
	2	8,51	12,05			2	15,95	22,58	
	3	9,15	12,95			3	12,44	17,61	
C+W+B vl. 0,5g	1	7,53	10,66	9,53	C+W+B vl. 0,5g	1	14,3	20,24	18,37
	2	5,50	7,78			2	11,98	16,96	
	3	7,17	10,15			3	12,65	17,91	
C+W+B vl. 0,7g	1	7,82	11,07	11,75	C+W+B vl. 0,7g	1	12,03	17,03	17,47
	2	7,88	11,15			2	12,4	17,55	
	3	9,20	13,02			3	12,60	17,83	

3.3.3 Vplyv vlákien na pevnosti v ťahu pri ohybe cementových mált s prísadami na vzorkách trámcov

Dosiahnuté výsledky - Skúška pevnosti v tlaku pri ohybe sa vykonala na vzorkách trámcov po 28 dňoch tvrdenia. Do mált sa pridávali PE vlákna v dávkach 0,6g 1,0g a najvyššie pridaná dávka PE vlákien bola 1,4g (zloženie vid'. tab. 3.15). Malty sa porovnávali s referenčnou maltou bez PE vlákien. Výsledné hodnoty týchto pevností v tlaku pri ohybe po 28 dňoch sú znázornené v tabuľke 3.19 a graficky znázornené v grafe 3.13.

Tabuľka 3.19: Pevnosti v ťahu pri ohybe mált s prísadami Casucol, Walocel, Berament a PE vláknami v dávkach 0,6g 1,0g a 1,4g po 28 dňoch

Označenie zmesi	Číslo zmesi	Sila (kN)	Pevnosť pri ohybe (MPa)	Priemer pevnosti pri ohybe (MPa)
				Po 28 dňoch
RM bez vl.	1	1,70	3,98	3,68
	2	1,42	3,33	
	3	1,59	3,73	
C+V+B vl. 0,6g	1	2,00	4,69	4,73
	2	2,23	5,23	
	3	1,82	4,27	
C+V+B vl. 1.0g	1	1,39	3,26	3,61
	2	1,45	3,40	
	3	1,78	4,17	
C+V+B vl. 1.4g	1	1,36	3,19	3,13
	2	1,35	3,16	
	3	1,29	3,02	



Graf 3.13: Pevnosti v ťahu pri ohybe mált s prísadami Casucol, Walocel, Berament a PE vláknami v dávkach 0,6g 1,0g a 1,4g po 28 dňoch

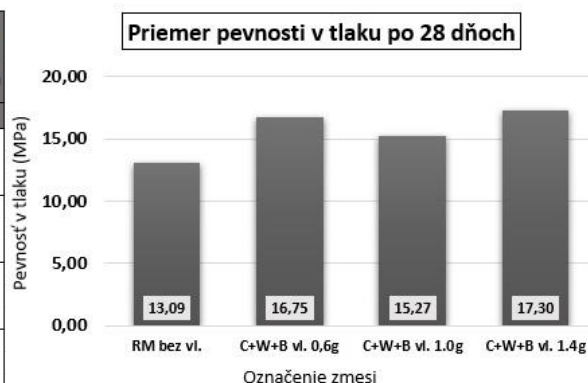
Z nameraných výsledkov vyplýva, že po pridaní najnižšej dávky PE vlákien 0,6g pevnosti v ťahu pri ohybe narastali. Pri dávke PE vlákien 1,0g boli pevnosti v ťahu pri ohybe mierne nižšie ako pri referenčnej malte. Výraznejší pokles nastal pri najvyššej dávke PE vlákien 1,4g kde výsledná pevnosť v ťahu pri ohybe bola iba 3,13MPa oproti referenčnej malte, ktorá mala výslednú pevnosť 3,68MPa. Prímes PE vlákien teda pomerne málo ovplyvnila pevnosť v ťahu pri ohybe po 28 dňoch tvrdenia. Výrazné/vyššie pevnosti v porovnaní s referenčnou maltou dosiahli len vzorky najnižšou dávkou prímеси PE vlákien.

3.3.4 Vplyv vlákien na pevnosti v tlaku cementových mált s prísadami na vzorkách trámcov

Dosiahnuté výsledky - Zámerne sa táto kapitola vložila až po kapitole „Vplyv vlákien na pevnosti v ťahu pri ohybe cementových mált s prísadami“ nakoľko táto skúška pevnosti v tlaku na vzorkách trámcov sa vykonávala až na rozlomených vzorkách trámcov po skúške pevnosti ťahu pri ohybe. Z každej vzorky trámcu vznikli po dve vzorky rozlomených trámcov. Namerané hodnoty sú znázornené v tabuľke 3.20 a grafe 3.14

Tabuľka 3.20: Pevnosti v tlaku mált s prísadami Casucol, Walocel, Berament a PE vláknami v dávkach 0,6g 1,0g a 1,4g po 28 dňoch

Označenie zmesi	Číslo vzorky	1. Tlaková sila (kN)	2. Tlaková sila (kN)	Priemer sil (kN)	Pevnosť v tlaku (MPa)	Priemer pevnosti v tlaku (MPa)
RM bez vl.	1	31,70	34,40	33,05	13,22	13,09
	2	32,40	33,80	33,1	13,24	
	3	29,60	34,50	32,05	12,82	
C+W+B vl. 0,6g	1	39,20	39,60	39,4	15,76	16,75
	2	42,50	42,30	42,4	16,96	
	3	44,10	43,60	43,85	17,54	
C+W+B vl. 1.0g	1	36,00	37,50	36,75	14,70	15,27
	2	36,60	34,40	35,5	14,20	
	3	42,70	41,80	42,25	16,90	
C+W+B vl. 1.4g	1	46,20	46,60	46,4	18,56	17,30
	2	40,10	42,30	41,2	16,48	
	3	41,70	42,60	42,15	16,86	



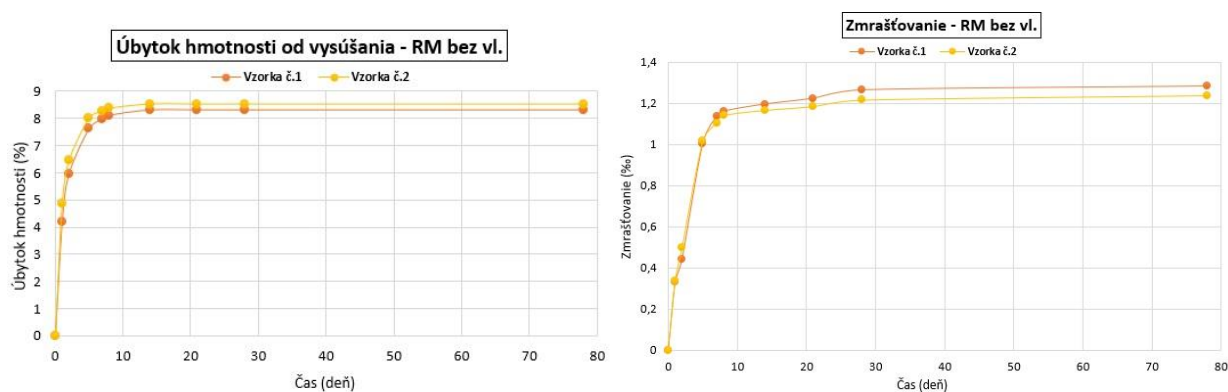
Graf 3.14: Pevnosti v tlaku mált s prísadami Casucol, Walocel, Berament a PE vláknami v dávkach 0,6g 1,0g a 1,4g po 28 dňoch

Z výsledkov pevnosti v tlaku po 28 dňoch v tabuľke 3.20 a v grafe 3.14 je možné sledovať pozitívny vplyv všetkých dávok PE vlákien na pevnosti v tlaku oproti referenčnej malte. Najvýraznejší nárast sa prejavil na malte s najvyšším množstvom pridaných PE vlákien 1,4g čo bolo očakávané. Druhú najvyššiu pevnosť v tlaku preukázala malta s najnižšou dávkou PE vlákien 0,6g. Pevnosti v tlaku malty s dávkou vlákien 1.0g naopak nepreukázal očakávané hodnoty nakoľko zvýšená dávka PE vlákien by mala vplývať aj na zvýšenie pevnosti v tlaku, tá sa ale v porovnaní s maltou s najnižšou dávkou vlákien 0,6g nepreukázala.

3.3.5 Vplyv vlákien na zmrašťovanie cementových mált s prísadami na vzorkách trámcoch

Dosiahnuté výsledky - Skúška prebiehala na vzorkách trámcoch do ktorých boli po oboch stranách vopred vložené sklenené kontakty ich zloženie je v tabuľke 3.15. Merania sa robili počas 78 dní od zamiešania mált, prvé meranie bolo po 24 hodinách od zamiešania následne skoro každý deň počas prvého týždňa. Namerané a prepočítané hodnoty zmrašťovania a úbytkov hmotností sú znázornené na grafoch nižšie, ktoré obsahujú zmrašťovania všetkých 4 zmesí a úbytky ich hmotností. Na poslednom grafe 3.23 je znázornené priemerné zmrašťovanie zmesí s polypropylénovými vláknami.

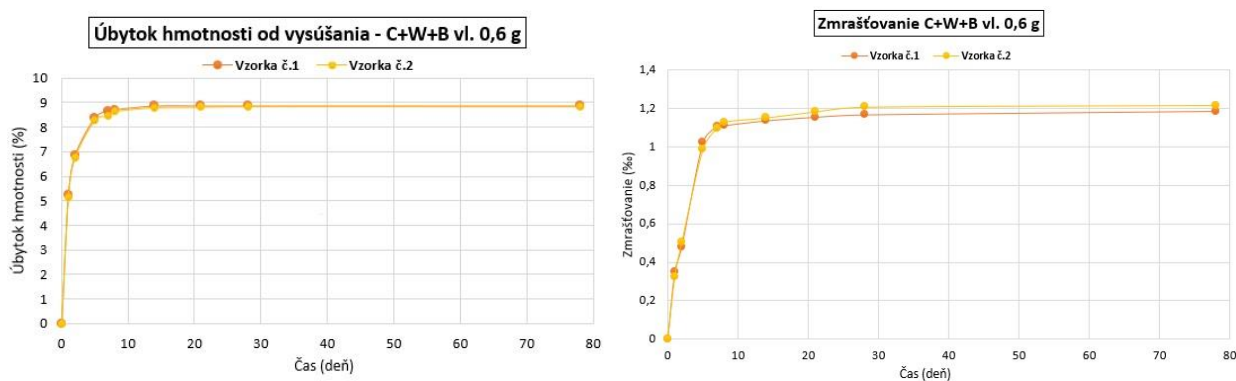
Referenčná zmes bez vlákien - úbytok hmotnosti a zmrašťovanie



Graf 3.15: Na ľavej strane: Úbytky hmotnosti skúšobných trámcoch referenčnej malty

Graf 3.16: Na pravej strane: Zmrašťovanie skúšobných trámcoch referenčnej malty

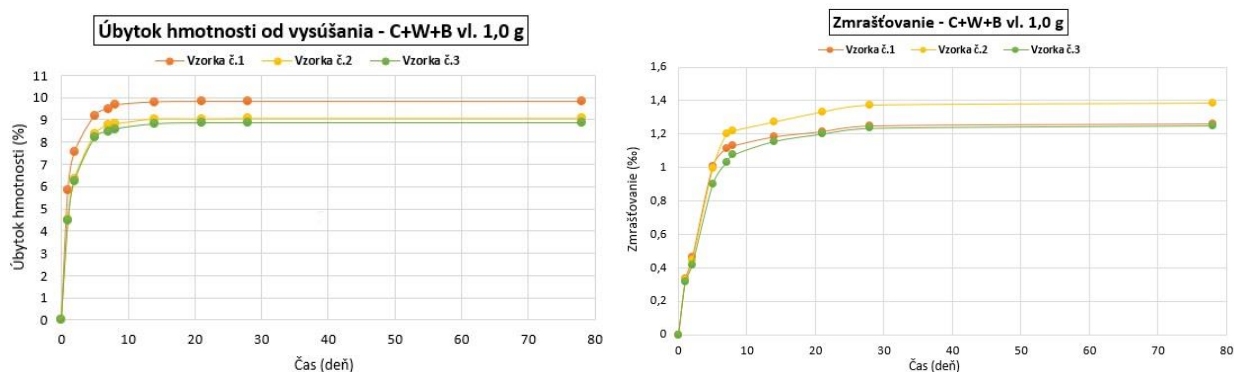
Zmes s pridanými vláknami 0,6 g -úbytok hmotnosti a zmrašťovanie



Graf 3.17: Na ľavej strane: Úbytky hmotností skúšobných trámcoch s pridaným množstvom 0,6g PE vlákien

Graf 3.18: Na pravej strane: Zmrašťovanie skúšobných trámcoch s pridaným množstvom 0,6g PE vlákien

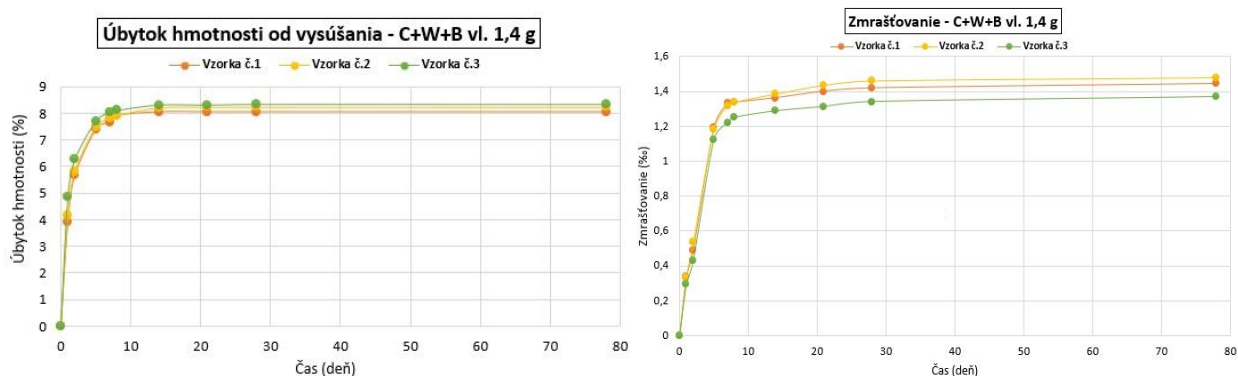
Zmes s pridanými vláknami 1,0 g -úbytok hmotnosti a zmrašťovanie



Graf 3.19: Na ľavej strane: Úbytky hmotností skúšobných trámcov s pridaným množstvom 1,0g PE vlákien

Graf 3.20: Na pravej strane: Zmrašťovanie skúšobných trámcov s pridaným množstvom 1,0g PE vlákien

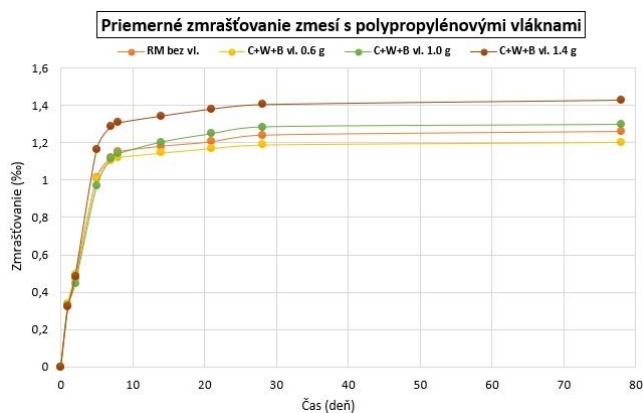
Zmes s pridanými vláknami 1,4 g -úbytok hmotnosti a zmrašťovanie



Graf 3.21: Na ľavej strane: Úbytky hmotností skúšobných trámcov s pridaným množstvom 1,4g PE vlákien

Graf 3.22: Na pravej strane: Zmrašťovanie skúšobných trámcov s pridaným množstvom 1,4g PE vlákien

Priemerné zmrašťovanie zmesí



Graf 3.23: Priemerné zmrašťovanie skúšobných trámcov referenčnej malty bez polypropylénových vlákien a skúšobných trámcov s pridanými polypropylénovými vláknami

Na základe dosiahnutých výsledkov je možné konštatovať, že pridanie polypropylénových vlákien do mált nemalo zásadný vplyv na ich zmrašťovanie. Jediná malta kde bolo pozorované nižšie zmrašťovanie

oproti referenčnej malte bola malta najnižším pridaným množstvom vlákien 0,6g. Počas doby skúšky zmršťovania nebol na vzorkách pozorovaný vznik trhlín. Je pravdepodobné, že väčší vplyv na zmršťovanie by mali PE vlákna počas prvých 24 hodín od zamiešania (ešte v plastickom stave), takéto meranie ale nebolo robené.

4. Diskusia

Prvá časť experimentálnych prác bola zameraná na štúdium priebehu tuhnutia cementových pást pri rôznej kombinácii prísad. Z výsledkov je zrejmé, že použité prísady výrazne ovplyvňovali priebeh tuhnutia cementových pást s normálnou hustotou. Vo všeobecnosti možno konštatovať, prísady Walocel MKX 25000 a Casucol FIX 1 spomaľovali tuhnutie a pri ich aplikácii sa oddialil začiatok tuhnutia cementových pást, ako aj koniec tuhnutia, teda priebeh tuhnutia bol výrazne pomalší. Podobne sa správali aj pasty s použitím superplastifikátora Berament HT28, kde taktiež došlo k oddialeniu začiatku tuhnutia a celkovému spomaleniu tuhnutia. V prípade kombinácie superplastifikátora Berment HT28 a prísad Casucol FIX 1 a Walocel MKX 25000 sa tento efekt ešte zvýraznil.

Použitie urýchľovacej prísady Beradur E2 viedlo k skráteniu začiatku tuhnutia a tiež k celkovému urýchleniu tuhnutia cementových pást a to pri všetkých kombináciách s ďalšími prísadami. Krivky zobrazujúce priebeh tuhnutia majú v prípade pást s urýchľovačom Beradur E2 strmší priebeh, teda časový interval medzi začiatkom tuhnutia a koncom tuhnutia je kratší. S narastaním dávky urýchľovacej prísady Beradur E2 sa tieto tendencie zvýrazňovali.

Z výsledkov priebehu tuhnutia je taktiež zrejmé, že referenčná cementová pasta bez prísad mala pomerne rýchly nárast tuhnutia a to za približne 130 minút od zamiešania (koniec nastal približne za 215 minút). Po pridaní urýchľovacej prísady Beradur E2 sa začiatok tuhnutia výrazne zrýchlil a pri najvyššej dávke pridanej prísady Beradur E2 nastalo tuhnutie už za približne 100 minút od zamiešania, tieto začiatky tuhnutia v podstate priamo korelovali s pridaným množstvom pridanej prísady Beradur E2. Kombinácia cementu, a pridaného superplastifikátora Berament HT28 (v pomere 0,5% Beramentu HT28 k hmotnosti cementu) malo za následok naopak výrazné oneskorenie začiatku tuhnutia, ktorý nastal až približne po 230 minútach od zamiešania. Taktiež aj koniec tuhnutia tejto malty sa značne oddialil, ten nastal až po 320 minútach – z toho je zrejmé, že celkový vývoj tuhnutia bol značne pomalší. Mierne skorší začiatok tuhnutia mala malta iba s prísadami Casucol FIX 1 a Walocel MKX 25000. Pri malte iba s Casucolom v dávke 0,03% z hmotnosti cementu, a Walocelom v dávke 0,15% z hmotnosti cementu nastal začiatok tuhnutia približne po 200 minútach. V spojení tejto malty s prísadami Casucol FIX 1 a Walocel MKX 25000 ale aj s prísadou Berament HT28 v dávke 0,5 % k hmotnosti cementu, nastal začiatok tuhnutia výrazne neskôr a to až po 400 minútach od zamiešania a koniec tuhnutia po približne 500 minútach. K malte s Casucolom Walocelom a Beramentom sa následne pridal aj urýchľovač Beradur E2 v rôznych dávkach (0,2%, 0,4%, 0,6% a 0,8%). To viedlo k skorším začiatkom tuhnutia aj k skrátenému času celého priebehu tuhnutia. Začiatky tuhnutia modifikovaných pást boli priamo úmerné dávke pridaného urýchľovača Beradur E2, čím vyššia dávka tým skorší začiatok tuhnutia. Ďalej bola overovaná malta iba s kombináciou prísad superplastifikátora Berament HT28 a urýchľovača Beradur E2. Toto spojenie preukázalo, že začiatky tuhnutia takýchto mált boli priamo úmerné dávke pridaného urýchľovača Beradur E2, čím vyššia dávka tým skorší začiatok tuhnutia, (avšak tieto začiatky tuhnutia nastali neskôr ako v porovnaní s maltami bez pridaného Beramentu HT28). Druhý efekt, ktorý preukázala pridaná prísada Beradur E2 v spojení s prísadou Berament HT28 bolo skrátenie celkového času vývoju tuhnutia od začiatku po koniec tuhnutia. Najvýraznejšie to bolo pri najvyššej dávke Beraduru E2 0,8, kde celý proces tuhnutia trval len niečo vyše 60 minút. Je možné konštatovať, že po pridaní urýchľovacej prísady Beradur E2 sa začiatok aj koniec tuhnutia urýchlil a skrátil sa čas priebehu tuhnutia.

Veľmi porovnateľné výsledky boli zaznamenané pri vplyve týchto prísad na zmeny konzistencie mált. Začiatočná konzistencia mált je značne ovplyvnená pridanými prísadami a obsahom dávky vody (vodným súčiniteľom). V maltách s pridaným urýchľovačom Beradur E2 bol pozorovaný mierny plastifikačný efekt čo sa prejavilo s väčším priemerom rozliatia takýchto mált na začiatku meraní. Taktiež sa potvrdilo, že priemery rozliatia sa mierne zväčšovali s väčším množstvom pridanej prísady Beradur E2. Postupne v čase odležania malty tuhli a konzistencia sa menila rýchlejšie ako v prípade referenčných mált čo potvrdzuje urýchľovací efekt aj na zmenu konzistencie. Je možné zhodnotiť, že po pridaní dávok urýchľovacej prísady sa mierne zrýchlila zmena konzistencie mált. Zmena spracovateľnosti sa prejavila

výraznejšie u málť s prísadami Casucol FIX 1 a Walocel MKX25000 - pri nich bolo pozorované výrazné zmenšenie priemeru rozliatia na začiatku meraní (po 5 min. od zamiešania) ako pri málťách bez Casucolu a Walocelu.

Ďalšou sledovanou vlastnosťou bola pevnosť v tlaku. Dosiahnuté výsledky pevnosti v tlaku sú v dobrej zhode s výsledkami zmeny konzistencie a priebehmi tuhnutia z hľadiska vývoja pevnosti v čase. Prísady Casucol FIX 1 a Walocel MKX 25000 mierne znižovali celkové pevnosti v tlaku po 1, 7 a aj 28 dňoch oproti málťám bez týchto prísad. V málťách s pridaným urýchľovačom Beradur E2 sa preukázal výraznejší efekt na pevnosti v tlaku. 1 dňová pevnosť po pridaní urýchľovača sa zvyšovala v podstate úmerne k dávke urýchľovača Beraduru, čím vyššia dávka tým mierne vyššia 1 dňová pevnosť v tlaku. Pri 7 dňových pevnostiach v tlaku to spravidla platilo tiež ale rozdiely neboli až také výrazné. Pri 28 dňových pevnostiach v tlaku bol zase pozorovaný opačný efekt a čím bola pridaná vyššia dávka urýchľovača Beraduru E2 tým bola výsledná pevnosť nižšia. Je možné konštatovať, že čím vyššia dávka urýchľovača Beradur E2 bola pridaná do cementových málť tak tým boli vyššie aj výsledné 1 a 7 dňové pevnosti v tlaku. Pri 28 dňových pevnostiach v tlaku bol však efekt presne opačný a čím bola vyššia dávka urýchľovacej prísady Beradur E2 pridaná do málť tak tým boli výsledne pevnosti v tlaku nižšie. Takýto efekt je ale pri urýchľovacích prísadách obvyklý. V podstate všeobecne platí, že zrýchlenie tvrdnutia (zvýšenie krátkodobých pevností) má obvykle za následok dosahovanie nižších pevností po dlhšom čase. Súvisí to zrejme s vývojom štruktúry v počiatočných etapách tuhnutia a tvrdnutia.

Celkovo je možné zhodnotiť, že dosiahnuté namerané hodnoty z prvej časti sú v súlade s predpokladanými výsledkami. Prísady Casucol FIX 1 a Walocel MKX 25000 sa prejavili ako dobré pri zadržiavaní vody čo preukázali skúšky rozliatia keď tieto prísady, predĺžili spracovateľnosť málť a pri ich aplikácii nedochádzalo k zväčšovaniu priemeru rozliatia málť, a spomaľovala sa zmena konzistencie málť. Toto sa preukázalo aj pri sledovaní normálnej hustoty cementových pasty, keď pri aplikácii prísad Casucol FIX 1 a Walocel MKX 25000 sa zvyšovala hodnota normálnej hustoty - teda narastalo množstvo vody potrebnej na dosiahnutie predpísanej konzistencie pást. Tieto výsledky potvrdili schopnosť prísad Casucol FIX 1 a Walocel MKX 25000 zadržiavať v cementových pastách určité množstvo vody a tým redukovať stratu spracovateľnosti kompozitov. Taktiež sa ale po pridaní týchto dvoch prísad (Casucol a Walocel) preukázalo mierne zníženie pevností čo, je možné považovať za negatívny vplyv týchto prísad. Primárnou prísadou skúmanou v tejto časti bol urýchľovač Beradur E2, ktorý sa prejavil miernym plastifikačným efektom, taktiež jeho pridanie do cementový pást výrazne ovplyvnilo vývoje tuhnutia a zrýchlili sa priebehy tuhnutia od začiatku po koniec. Jeden z hlavných účinkov tohto urýchľovača sa preukázal pri počiatočných pevnostiach v tlaku kedy pevnosti v tlaku zvyšoval. Pri 28 dňových pevnostiach v tlaku po pridaní urýchľovača boli naopak pevnosti v tlaku menšie ako pri referenčnej malte – tento jav je však po pridaní urýchľovacích prísad obvyklý a bolo očakávané, že sa preukáže.

Druhá časť experimentálnych prác bola zameraná na vplyv polypropylénových vlákien a ich rôzneho dávkovania do cementových málť. PE vlákna sa pridávali do cementových málť s rovnakými prísadami ako v prvej časti výskumu. Na začiatku sa vykonala skúška rozliatia, dosiahnuté výsledky týchto rozliatí preukázali, že PE vlákna nemajú zásadný vplyv na zmenu konzistencie málť a ani na ich spracovateľnosť. To bolo aj očakávané, pretože polypropylénové vlákna by nemali mať zásadný vplyv na čerstvé zmesi. Tento efekt je vyhovujúci nakoľko čerstvé zmesi a ich spracovateľnosť je veľmi dôležitá pri materiáloch pre takúto 3D technológiu.

V ďalšom kroku sa overovali pevnostné charakteristiky málť s pridanými PE vláknami. Na začiatku pevnosti v tlaku na vzorkách valčekov. Z dosiahnutých výsledkov je možné konštatovať že prímes PE vlákien nemala zásadný vplyv na 7 dňové pevnosti v tlaku. Výsledné hodnoty boli veľmi porovnateľné s výslednými hodnotami referenčnej malty bez pridaných PE vlákien (iba malta s dávkou vlákien 0,5g vykazovala mierne nižšie pevnosti v tlaku). Po 28 dňoch bol však nameraný nárast pevnosti v tlaku pri všetkých dávkach PE vlákien (0,3g, 0,5g aj 0,7g). Najväčší nárast bol nameraný pri najnižšej dávke pridaných PE vlákien (0,3g). Po pridaní vyšších dávok PE vlákien sa pevnosti v tlaku (ako bolo už spomenuté) taktiež zvýšili – ale nie tak výrazne. Preto je možné skonštatovať, že čím väčšia dávka polypropylénových vlákien, tým bola 28 dňová pevnosť v tlaku nižšia, ale stále lepšia ako pri referenčnej zmesi. Je teda pravdepodobné, že keby sa dávka týchto vlákien ešte zvýšila mohla by byť nameraná 28

dňová pevnosť v tlaku ešte nižšia ako pevnosť v tlaku referenčnej malty. V ďalšom pokračovaní experimentov sa overovali pevnosti v tlaku po 28 dňoch na vzorkách trámecov, kde bola dávka PE vlákien upravená a hmotnostne navýšená na potreby vzoriek trámecov. Z nameraných výsledkov je možné skonštatovať, že čím väčšia dávka pridaných polypropylénových vlákien do cementových mált tak tým bola vyššia aj pevnosť v tlaku. Najzreteľnejší nárast pevnosti v tlaku bol zaznamenaný pri najvyššej dávke pridaných vlákien v množstve 1,4g a druhý najvyšší nárast pevností bol pri malte s najnižším množstvom pridaných vlákien 0,6g. Tieto výsledky boli odlišné ako pri pevnostiach v tlaku na vzorkách valčekov kde bola tendencia opačná (zo zvyšujúcou sa dávkou vlákien na 28 dňové pevnosti v tlaku znižovali) to je pravdepodobne možné pripísať rôznemu rozptýleniu dávok PE vlákien vo vzorkách valčekov a vo vzorkách skúšobných trámecov. Pri pevnostiach v ťahu pri ohybe bola najvyššia hodnota nameraná pri malte s najnižšou dávkou polypropylénových vlákien (0,3g). Zvyšujúce sa dávky vlákien mali za následok mierne nižšie pevnosti ťahu v ohybe v porovnaní s referenčnou maltou bez pridaných polypropylénových vlákien.

V posledných meraniach sa na vzorkách skúšobných trámecoch s polypropylénovými vláknami vykonali skúšky zmrašťovania. Merania prebiehali od 1 dňa až po 78 deň od zamiešania. Najintenzívnejšie merania (skoro každý deň) prebiehali počas prvého týždňa od zamiešania kedy sa preukázalo najvýraznejšie zmrašťovanie a taktiež aj najväčšie úbytky hmotností. Priebeh zmrašťovania bol v zásade pri všetkých vzorkách rovnaký, iba pri malte s množstvom pridaných PE vlákien 0,6g bolo namerané mierne zmenšenie zmrašťovania. Počas meraní nebol pozorovaný ani vznik trhlín. Z výsledkov je možné povedať, že pridané PE vlákna zásadne neovplyvňujú na celkové zmrašťovanie mált. Treba poznamenať, že prvé meranie zmrašťovanie od vysušovania bolo až po 24 hodinách. Podstatná časť zmrašťovania sa odohrávala na začiatku, veľká časť už v plastickom stave, táto časť zmrašťovania však meraná nebola a dá sa očakávať, že polypropylénové vlákna by mohli byť účinnejšie práve v tejto fáze zmrašťovania a v dôsledku toho by mohli byť nápomocné pri eliminácii zmrašťovacích trhlín v prvých fázach zmrašťovania.

Komplexne je možné povedať, že pridané polypropylénové vlákna nijako zásadne neovplyvnili konzistenciu mált a ani zmrašťovanie, majú dobrý vplyv na 28 dňové pevnosti v tlaku a v správnej dávke zlepšujú 28 dňové pevnosti v ťahu pri ohybe.

5.Prínosy pre prax

Technológia 3D tlače v stavebníctve je nová a stále sa vyvíja, preto ešte neexistuje ucelená štúdia o najvhodnejšom materiáli a jeho jednotlivých fyzikálnych a mechanických vlastnostiach a o vplyvoch jednotlivých prísad na tieto vlastnosti. Predmetom tejto dizertačnej práce bolo hlavne overiť vplyv vybraných prísad a polypropylenových vlákien v rôznych dávkach na vývoj rýchlosti tuhnutia takýchto zmesí, ktorý je kľúčový vo fáze začiatočného vytvrdzovania a následne vo fáze finálneho zatvrdnutia vytlačených zmesí. Pomocou experimentov sa nadobudli poznatky, o vplyve a dávke jednotlivých prísad a PE vlákien (ako bol napríklad urýchľovač Beradur E2 v kombinácii so superplastifikátorom alebo v kombinácii s prísadami na zlepšenie spracovateľnosti Casucol FIX1 a Walocel MKX2500) na reologické a fyzikálne vlastnosti cementových kompozitov, ako je rýchlosť tuhnutia a tvrdnutia, zmena konzistencie, spracovateľnosť alebo pevnostné charakteristiky. Dosiahnuté výsledky hodnotím pozitívne a v značnej miere korelovali s očakávaniami vďaka nim sa preukázali zaujímavé závislosti jednotlivých prísad aj ich kombinácie a dávkovania aj v spojení s polypropylénovými vláknami a ich vplyvy na spracovateľnosť, pevnosti v tlaku a pevnosti v ťahu pri ohybe a v neposlednom rade aj na zmrašťovanie, ktoré sú dobrým podkladom pre ďalší výskum v danej oblasti. V ďalšom výskume by bolo napríklad vhodné sa zamerať na vplyv polypropylénových vlákien na zmrašťovanie zmesí ešte v plastickom stave, čiže v prvých 24 hodinách od zamiešania a taktiež preveriť ich vplyv na pevnostné charakteristiky kde tendencia ovplyvňovania pevnosti pri použití PE vlákien nebola jednoznačná. Zaujímavé by bolo taktiež použitie plniva z recyklovaných materiálov do zmesí pre takúto 3D technológiu v stavebníctve.

Dosiahnuté výsledky z tejto dizertačnej práce môžu byť použité na určenie zloženia zmesi pre praktickú aplikáciu kde môžu byť požadované určité parametre ako napríklad rýchlosť tuhnutia, potreba dosiahnutia určitej konzistencie v reálnom čase alebo tiež určité pevnostné parametre a zmrašťovanie hmoty. Nebolo cieľom vyvinúť konkrétnu zmes, pretože takáto zmes pre konkrétne použitie môže byť

ovplyvnená rôznymi okrajovými podmienkami ale na základe dosiahnutých výsledkov experimentov je možné nastaviť takúto reálnu zmes a jej zloženie na požadované parametre. Cieľom práce bolo aby sa vedelo ako jednotlivé prísady a aké dávky týchto prísad ovplyvňujú a spĺňajú takéto požadované parametre konkrétnej zmesi. Z preukázaných závislostí je možné určenie optimálnej dávky jednotlivých prísad na dosiahnutie potrebných vlastností zmesi z hľadiska rýchlosti nárastu pevnosti a z hľadiska požadovanej pevnosti.

6. Záver

Z dosiahnutých výsledkov nameraných počas experimentov sa preukázalo nasledovné:

- Urýchľovacia prísada Beradur E2 výrazne urýchlila priebeh tuhnutia
- Urýchľovacia prísada Beradur E2 prejavila mierny plastifikačný účinok.
- Urýchľovacia prísada Beradur E2 zvýšila 1 dňové a 7 dňové pevnosti v tlaku a 28 dňové pevnosti znížila
- Prísady Casucol FIX 1 a Walocel MKX 25000 sa prejavili ako vhodné pri zadržiavaní vody a predĺžení spracovateľnosti pri miernej zmene konzistencie
- Prísady Casucol FIX 1 a Walocel MKX 25000 mierne znížili pevnosti v tlaku.
- Aplikácia polypropylénových vlákien neovplyvňovala konzistenciu a spracovateľnosť zmesi. Taktiež polypropylénové vlákna nemajú zásadný vplyv na pevnostné charakteristiky, tendencia ovplyvňovania pevnosti pri aplikácii polypropylénových vlákien nebola jednoznačná niekedy sa zvýšili a inokedy znížili pevnosti.
- Pridanie polypropylénových vlákien neovplyvnilo zásadným spôsobom zmrašťovanie zmesi.

Namerané výsledky sú v zhode s očakávaniami. Nadobudnuté poznatky môžu poslúžiť ďalším výskumom a meraniam v tejto oblasti pre lepšie pochopenie danej problematiky ovplyvňovania rýchlosti tuhnutia materiálu pre 3D technológiu v stavebníctve. Dosiahnuté výsledky a ich význam je v tom že umožňujú voliť určité optimálne dávky týchto prísad pre rôzne aplikácie s rôznymi okrajovými podmienkami tak aby sa dosiahli požadované parametre zmesi pre reálne použitie. Podľa nich je možné navrhnúť zmes, ktorej aplikácia pre reálne použitie by sa ešte pri ďalšom výskume overila a odskúšala.

Zoznam vybranej literatúry:

- [1] O. Demyanenko, E. Sorokina, N. Kopanitsa, Y. Sarkisov, : Mortars for 3D printing, 2017 [Online], Dostupné z: <https://doi.org/10.1051/mateconf/201814302013>
- [2] F. Haghighat, : Sustainable Cities and Society, 2021 [Online], Dostupné z: <https://www.journals.elsevier.com/sustainable-cities-and-society>
- [3] Produktový list, Danucem CEM I 42.5 R, 2023, [Online], Dostupné z <https://www.danucem.com/files/fileManager/p-docs-4/sk-1/cem-i-42-5-r-danucem-rn-a-tz-2021-ok.pdf>
- [4] DANUCEM a CRH Company: Cementáreň Rohožník: 2023, [Online], Dostupné z: <https://www.betonserver.sk/danucem-cementaren-rohoznik>
- [5] Article: Piesky a kamenivo, 2022, [Online], Dostupné z: <https://www.lbminerals.sk/--17-35-stavebne-piesky-sastin>
- [6] Article: Voda do betonu, 2020, [Online], Dostupné z: <http://stavebnikomunita.cz/profiles/blogs/voda-do-betonu>

- [7] Article: WALOCEL™ MKX 25000 PF25 L Cellulose Ether, 2023, [Online], Dostupné z: <https://www.dow.com/en-us/pdp.walocel-mkx-25000-pf-25-l-cellulose-ether.111974z.html?productCatalogFlag=1#overview>
- [8] Product List, 2013, [Online], Dostupné z: https://www.biesterfeld.com/fileadmin/documents/product/Produktliste_AVEBE_Building_Construction_2013.pdf
- [9] Product List, Berament HT28, 2013, [Online], Dostupné z: https://betonracio.sk/wp-content/uploads/product-doc/TL/plast/TL_Berament-HT28_HP17201501_scan.pdf
- [10] Product List, Beradur E2, 2019, [Online], Dostupné z: https://betonracio.sk/wp-content/uploads/product-doc/TL/other-admix/TL_Beradur-E2_U02201901_scan.pdf
- [11] Product List: Polypropylénové vlákna do betónu, 2023 [Online], Dostupné z: https://www.nonstopstavebniny.sk/polypropylenove-vlakna-do-betonu-12-mm-vystuz-900-g/?gclid=EAIAIqobChMIImZmEkoTf_gIVsIpoCR1i0QO5EAQYBSABEgIQqPD_BwE
- [12] Norma: STN EN 196-1 (722100) Metódy skúšania cementu. Časť 1: Stanovenie pevnosti, 2019,
- [13] Pracovný List: Stanovenie času tuhnutia cementovej kaše. 2019 [Online], Dostupné z: https://beevet.eu/Za_kachvane_BEE_VET/Topic-2_WS-4_SK.pdf
- [14] DP, J. Čepčianska, Složení a fyzikálně-mechanické vlastnosti samozhutnitelných těžkých malt, 2020 [Online], Dostupné z: <https://dspace.vutbr.cz/bitstream/handle/11012/195452/final-thesis.pdf?sequence=-1>
- [15] Conrad, Product List: Kern 440-49A, 2023 [Online], Dostupné z: <https://www.conrad.sk/p/kern-440-49a-presna-vaha-max-vazivost-6-kg-rozlisenie-01-g-230-v-na-baterie-napajanie-z-akumulatora-strieborna-754866>
- [16] N. Roussel, Rheological requirements for printable concretes, 2018 [Online], Dostupné z: https://www.researchgate.net/figure/Rheological-requirements-for-printable-concrete-as-a-function-of-input-printing_tbl1_324933161
- [17] M. Chen, L. Li, Y. Zheng, X. Cheng, Rheological and mechanical properties of admixtures modified 3D printing sulphoaluminate cementitious materials 2018 [Online], Dostupné z: https://www.researchgate.net/figure/a-The-deformation-rate-and-b-requirements-of-3D-printing-cement-paste_fig3_327830374
- [18] Y. Zhang, L. Yang, G. Liu, Hardened properties and durability of large-scale 3D printed cement-based materials, 2021 [Online], Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/349200824_Hardened_properties_and_durability_of_large-scale_3D_printed_cement-based_materials
- [19] Z. Li, M. Hojati, Z. Wu, J. Piasente, Fresh and Hardened Properties of Extrusion-Based 3D-Printed Cementitious Materials: A Review, 2020 [Online], Dostupné z: <https://www.mdpi.com/2071-1050/12/14/5628>
- [20] M. Farahbakhsh, Z. K. Rybkowski, U. Zakira, N. Kalantar, I. Onifade, Impact of robotic 3D printing process parameters on interlayer bond strength, 2022 [Online], Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2022.104478>

[21] H. G. Şahin, A. Mardani-Aghabaglou,: Assessment of materials, design parameters and some properties of 3D printing concrete mixtures; a state-of-the-art review, 2022 [Online], Dostupné z <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061821035984>

Zoznam publikačnej činnosti

ADF Vedecké práce v ostatných domácich časopisoch

ADF01

UHLÍK, Adam -BUCH, Mário. Prehľad Technických vlastností a technologických aspektov 3D tlače domov. In *Mladá Veda [elektronický zdroj]*. Roč. 7, č. 2 (2019), online, s. 126-138. ISSN 1339-3189

ADF02

BUCH, Mário - UHLÍK, Adam. Prehľad Modifikovanie cementových kompozitov pre 3D tlač budov. In *Mladá Veda [elektronický zdroj]*. Roč. 8, č. 1 (2020), online, s. 1-16. ISSN 1339-3189

AFD Publikované príspevky na domácich vedeckých konferenciách

AFD01

UHLÍK, Adam. Technical properties of strutures (Materials) realized by 3D-Concrete printing Technology. In *Advances in Architectural, Civil and Environmental Engineering [elektronický zdroj] : 30th Annual PhD Student Conference on Applied Mathematics, Applied Mechanics, Building Technology, Geodesy and Cartography, Landscaping, Theory and Environmental Technology of Buildings, Theory and Structures of Buildings, Theory and Structures of Civil Engineering Works, Water Resources Engineering. October 14th 2020, Bratislava, Slovakia.* 1. vyd. Bratislava : Spektrum STU, 2020, CD-ROM, s. 134-140. ISBN 978-80-227-5052-3

AFD02

UHLÍK, Adam, Aspekty ovplyvňujúce rýchlosť tuhnutia stavebných materiálov pre 3D tlač. In *Advances in Architectural, Civil and Environmental Engineering [elektronický zdroj] : 31th Annual PhD Student Conference on Applied Mathematics, Applied Mechanics, Building Technology, Geodesy and Cartography, Landscaping, Theory and Environmental Technology of Buildings, Theory and Structures of Buildings, Theory and Structures of Civil Engineering Works, Water Resources Engineering. October 13th 2021, Bratislava, Slovakia.* 1. vyd. Bratislava : Spektrum STU, 2021, CD-ROM, s. 131-136. ISBN 978-80-227-5150-6.

AFD03

UHLÍK, Adam, Porovnanie mechanických vlastností cementových zmesí pre 3D tlač v stavebníctve. In *Advances in Architectural, Civil and Environmental Engineering [elektronický zdroj] : 32th Annual PhD Student Conference on Applied Mathematics, Applied Mechanics, Building Technology, Geodesy and Cartography, Landscaping, Theory and Environmental Technology of Buildings, Theory and Structures of Buildings, Theory and Structures of Civil Engineering Works, Water Resources Engineering. October 26th 2022, Bratislava, Slovakia.* 1. vyd. Bratislava : Spektrum STU, 2022, CD-ROM, s. 112-118. ISBN 978-80-227-5251-0.



ADN Vedecké práce v domácích časopisoch registrovaných v databázach Web of Science alebo SCOPUS

ADN01

UHLÍK, Adam -UNČÍK Stanislav -BUCH, Mário., Effecting the rheological properties of composites for 3D printing technology in construction, *In Slovak Journal of Civil Engineering*. -- ISSN 1338-3973. -- Vol. 30, no. 1 (2022), online, s. 49-56 , V3 - Vedecký výstup publikačnej činnosti z časopisu V databázach Web of Science ; DOI, DOI: <https://doi.org/10.2478/sjce-2022-0006>,

ADM Vedecké práce v zahraničných časopisoch registrovaných v databázach Web of Science alebo SCOPUS

ADM01

LITOŠ, Jíří – ŠÁNA, Vladimír - UHLÍK, Adam - KOLÁŘ, Karel – NGUYEN, Markéta., Mechanical and Physical Properties of Cement Composite for 3D Processing, *In Acta Polytechnica. Prague*. ISSN 1805–2363 , Vol. 63 No. 3 (2023)Acta Polytechnica is indexed in databases: Web of Science (ESCI collection) | Scopus| Inspec | DOAJ | EBSCO DOI: <https://doi.org/10.14311/AP.2023.63.0199>

V procese tlače:

AEC Vedecké práce v zahraničných recenzovaných zborníkoch

AEC01

UHLÍK, Adam -Cabanová Terézia., Geosyntetics: Geotextiles as filters, *In The Civil Engineering Journal. Prague*. Vedecký výstup publikačnej činnosti z časopisu The Civil Engineering Journal is indexed in DOAJ, EBSCO, ESCI, EI Compendex databases.