

5 Závěr

Na základě shrnutí výsledků této bakalářské práce lze vyvodit tyto závěry:

- Byly navrženy čtyři sady vzorků s ohledem na stejnou zpracovatelnost s obsahem mikromleté mramorové moučky 25 hm. %, 50 hm. %, 75 hm. % a 100 hm. %.
- Při zachování stejné zpracovatelnosti se měnil vodní součinitel v/c .
- Se zvyšujícím se obsahem mikromleté mramorové moučky rostl potřebný vodní součinitel v/c .
- Smrštění vzorků rostlo v závislosti na zvyšujícím se obsahu mikromleté mramorové moučky.
- Obsah mikromleté mramorové moučky ve směsi má vliv na pórovitost materiálu. Při vyšším obsahu moučky je nutné zvýšit vodní součinitel, což zapříčiňuje vyšší pórovitost.
- Pevnost v tahu za ohybu a pevnost v tlaku byla nejvyšší u vzorků s nejmenším obsahem mikromleté mramorové moučky.
- Pevnost v tlaku byla u vzorků s 25 hm. % mikromleté mramorové moučky více než dvojnásobná oproti pevnosti v tlaku vzorků se 100 hm. % mikromleté mramorové moučky.
- Dynamický modul pružnosti z měření základní vlastní frekvence podélného kmitání je v rámci odchylek shodný s dynamickým modulem z měření základní vlastní frekvence příčného kmitání.
- U zjišťovaných mechanických vlastností nedestruktivní metodou byly menší směrodatné odchylky, než při použití destruktivních metod zkoušení vzorků.
- Trend u všech zjišťovaných mechanických vlastností byl rostoucí v závislosti na snižování obsahu mikromleté mramorové moučky.
- Směsi nabývají po 7 dnech vždy více než 50 % z hodnot mechanických vlastností po 28 dnech.
- Z výpočtového dokumentu byla zjištěna požadovaná pevnost v tlaku materiálu tak, aby z něj mohly být zhotoveny překlady pro otvory se světlostí maximálně 1,5 m.

V navazujícím zkoumání tohoto cementového kompozitu bude dále nutno věnovat se většímu množství poměrů plniv, soudržnosti kompozitu s betonářskou výztuží, mikrostruktuře materiálu, chování materiálu a jeho odolnosti na vnější vlivy prostředí. Dále bude vymyšleno a zkoumáno řešení stropní konstrukce stavebního systému.

6 Seznam zdrojů

ALIABDO, Ali A., Abd Elmoaty M. ABD ELMOATY a Esraa M. AUDA, 2014. Re-use of waste marble dust in the production of cement and concrete. *Construction and Building Materials* [online]. 1., roč. 50, s. 28–41 [vid. 5. červen 2015]. ISSN 09500618. Dostupné z: doi:10.1016/j.conbuildmat.2013.09.005

ARUNTAŞ, Hüseyin Yılmaz, Metin GÜRÜ, Mustafa DAYI a İlker TEKIN, 2010. Utilization of waste marble dust as an additive in cement production. *Materials & Design* [online]. 9., roč. 31, č. 8, s. 4039–4042 [vid. 17. duben 2016]. ISSN 02613069. Dostupné z: doi:10.1016/j.matdes.2010.03.036

AUKOUR, F. J., 2011. Incorporation of Marble Sludge in Industrial Building.pdf. 3(1). *Marble and Beige Marble Industry Report (MBMIR)*.

AUKOUR, Fakher J, 2009. Incorporation of Marble Sludge in Industrial Building.pdf. roč. 3, č. 1, s. 58–65.

BÍLÝ, Petr, 2015. Návrh a posouzení prvku na ohyb a smyk - podklady ke cvičení NNK, BK01. FSv, ČVUT v Praze [online]. Dostupné z: <http://people.fsv.cvut.cz/~bilypet1/vyuka.htm>

BINICI, Hanifi, Hasan KAPLAN a Salih YILMAZ, 2007. Influence of marble and limestone dusts as additives on some mechanical properties of concrete. *Academic Journals* [online]. roč. 2 (9), s. 372–379 [vid. 15. duben 2016]. Dostupné z: <http://www.academicjournals.org/journal/SRE/article-full-text-pdf/A54BEE313523>

CORINALDESI, Valeria, Giacomo MORICONI a Tarun R. NAIK, 2010. Characterization of marble powder for its use in mortar and concrete. *Construction and Building Materials* [online]. 1., roč. 24, č. 1, s. 113–117 [vid. 21. březen 2016]. ISSN 09500618. Dostupné z: doi:10.1016/j.conbuildmat.2009.08.013

ČSN 73 1372, 2012. Nedestruktivní zkoušení betonu - Rezonanční metoda zkoušení betonu. *Praha: Český normalizační institut*.

ČSN EN 1015-3, 2000. Zkušební metody malt pro zdivo - Část 3: Stanovení konzistence čerstvé malty (s použitím střešacího stolku). *Praha: Český normalizační institut*.

ČSN EN 1991, 2003. Eurokód 1: Zatížení konstrukcí - Část 1-1 až 1-5. *Praha: Český normalizační institut*.

ČSN EN 1992-1-1, 2011. Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí - Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby. *Praha: Český normalizační institut*.

ČSN EN 206, 2014. Beton – Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda. *Praha: Český normalizační institut*.

ERGÜN, Ali, 2011. Effects of the usage of diatomite and waste marble powder as partial replacement of cement on the mechanical properties of concrete. *Construction and Building Materials* [online]. 2., roč. 25, č. 2, s. 806–812 [vid. 17. duben 2016]. ISSN 09500618. Dostupné z: doi:10.1016/j.conbuildmat.2010.07.002

GENCEL, Osman, Cengiz OZEL, Fuat KOKSAL, Ertugrul ERDOGMUS, Gonzalo MARTÍNEZ-BARRERA a Witold BROSTOW, 2012. Properties of concrete paving blocks made with waste marble. *Journal of Cleaner Production* [online]. 1., roč. 21, č. 1, s. 62–70 [vid. 21. březen 2016]. ISSN 09596526. Dostupné z: doi:10.1016/j.jclepro.2011.08.023

GESOĞLU, Mehmet, Erhan GÜNEYISI, Mustafa E. KOCABAĞ, Veysel BAYRAM a Kasım MERMERDAŞ, 2012. Fresh and hardened characteristics of self compacting concretes made with combined use of marble powder, limestone filler, and fly ash. *Construction and Building Materials* [online]. 12., roč. 37, s. 160–170 [vid. 17. duben 2016]. ISSN 09500618. Dostupné z: doi:10.1016/j.conbuildmat.2012.07.092

HEBHOUB, H., H. AOUN, M. BELACHIA, H. HOUARI a E. GHORBEL, 2011. Use of waste marble aggregates in concrete. *Construction and Building Materials* [online]. 3., roč. 25, č. 3, s. 1167–1171 [vid. 21. březen 2016]. ISSN 09500618. Dostupné z: doi:10.1016/j.conbuildmat.2010.09.037

HUNGER, M a H J H BROUWERS, 2008. Natural Stone Waste Powders Applied to SCC Mix Design. *Buildings*. roč. 14, č. 2, s. 131–140. ISSN 3-4.

KORE, Sudarshan D. a A.K. VYAS, 2016. Impact of marble waste as coarse aggregate on properties of lean cement concrete. *Case Studies in Construction Materials* [online]. 6., roč. 4, s. 85–92 [vid. 10. únor 2016]. ISSN 22145095. Dostupné z: doi:10.1016/j.cscm.2016.01.002

KOTECKÝ, Vojtěch, 2000. Potenciál alternativ k těžbě stavebního kamene, štěrkopísků a vápenců v České republice. *Hnutí DUHA*.

MASHALY, A O, B N SHALABY a M A EL-HEFNAWI, 2012. Characterization of The Marble Sludge of The Shaq El Thoaban Industrial Zone, Egypt and Its Compatibility for Various Recycling Applications. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*. roč. 6, č. 3, s. 153–161. ISSN 1991-8178.

MOLNAR, Luminita Monica a Daniela Lucia MANEA, 2016. New Types of Plastering Mortars Based on Marble Powder Slime. *Procedia Technology* [online]. roč. 22, s. 251–258 [vid. 26. březen 2016]. ISSN 22120173. Dostupné z: doi:10.1016/j.protcy.2016.01.076

OMAR, Omar M., Ghada D. ABD ELHAMEED, Mohamed A. SHERIF a Hassan A. MOHAMADIEN, 2012. Influence of limestone waste as partial replacement material for sand and marble powder in concrete properties. *HBRC Journal* [online]. 12., roč. 8, č. 3, s. 193–203 [vid. 26. březen 2016]. ISSN 16874048. Dostupné z: doi:10.1016/j.hbrcj.2012.10.005

PROŠEK, Zdeněk, 2016. Využití recyklovaných materiálů na bázi kamenných odprašků ve stavebnictví. *FSv, ČVUT v Praze*. Písemná práce k odborné rozpravě.

SADEK, Dina M., Mohamed M. EL-ATTAR a Haitham A. ALI, 2016. Reusing of marble and granite powders in self-compacting concrete for sustainable development. *Journal of Cleaner Production* [online]. 5., roč. 121, s. 19–32 [vid. 7. březen 2016]. ISSN 09596526. Dostupné z: doi:10.1016/j.jclepro.2016.02.044

TENNICH, Mohsen, Abderrazek KALLEL a Mongi BEN OUEZDOU, 2015. Incorporation of fillers from marble and tile wastes in the composition of self-compacting concretes. *Construction and Building Materials* [online]. 8., roč. 91, s. 65–70 [vid. 25. březen 2016]. ISSN 09500618. Dostupné z: doi:10.1016/j.conbuildmat.2015.04.052

TOPIČ, Jaroslav, Zdeněk PROŠEK, Pavel TESÁREK, Václav NEŽERKA a Tomáš PLACHÝ, 2014. Cement based composite with PVA: Development of mechanical properties. In: *EAN 2014 - 52nd International Conference on Experimental Stress Analysis* [online]. B.m.: Vyzkumny a zkusebni ustav Plzen. ISBN 9788023103776. Dostupné z: <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84906258363&partnerID=tZOtx3y1>

VARDHAN, Kirti, Shweta GOYAL, Rafat SIDDIQUE a Malkit SINGH, 2015. Mechanical properties and microstructural analysis of cement mortar incorporating marble powder as partial replacement of cement. *Construction and Building Materials* [online]. 10., roč. 96, s. 615–621 [vid. 26. březen 2016]. ISSN 09500618. Dostupné z: doi:10.1016/j.conbuildmat.2015.08.071

VAVRUŠKA, Otakar, 2002. Současnost a perspektiva těžby a úpravy nerudných surovin II. *VŠB -Technická univerzita Ostrava*. s. 354.

7 Seznam obrázků

Obrázek 1 – Skládka (odval) u dolu Nosek v Tuchlovicích – vlevo, Severní svah „Buštěhradské haldy“ – vpravo (Štrupl 2012).	8
Obrázek 2 – Deset hlavních celosvětových producentů lomového kamene v roce 2009 (Aukour 2011).	9
Obrázek 3 – Celosvětová produkce těžby běžového mramoru v roce 2009 (Aukour 2011).	10
Obrázek 4 – Ukládání mramorového kalu v okolí továrních linek (Mashaly et al. 2012).	11
Obrázek 5 – Zastoupení jednotlivých frakcí zrn mramorových kalů (Mashaly et al. 2012).	11
Obrázek 6 – Zastoupení CaCO_3 , MgCO_3 a nerozpustných zbytků ve zkoumaných vzorcích mramorového kalu (Mashaly et al. 2012).	12
Obrázek 7 – Pevnost v tlaku v závislosti na stáří vzorků (Binici et al. 2007).	14
Obrázek 8 – Mikroskopická (SEM) analýza cementové pasty (Aliabdo et al. 2014).	16
Obrázek 9 – Výsledky zkoušek pevnosti v tlaku betonu vyrobeného z mramorového prachu jako náhrada cementu (Aliabdo et al. 2014).	16
Obrázek 10 – Výsledky zkoušek pevnosti v tlaku betonu vyrobeného z mramorového prachu jako náhrada písku (Aliabdo et al. 2014).	16
Obrázek 11 – Pevnosti v tlaku směsi S v závislosti na stáří vzorků (Hebhoub et al. 2011).	18
Obrázek 12 – Pevnosti v tahu směsi S v závislosti na stáří vzorků (Hebhoub et al. 2011).	19
Obrázek 13 – Pevnosti v tlaku směsi G v závislosti na stáří vzorků (Hebhoub et al. 2011).	19
Obrázek 14 – Pevnosti v tahu směsi G v závislosti na stáří vzorků (Hebhoub et al. 2011).	19
Obrázek 15 – Pevnosti v tlaku směsi M v závislosti na stáří vzorků (Hebhoub et al. 2011).	20
Obrázek 16 – Pevnosti v tahu směsi M v závislosti na stáří vzorků (Hebhoub et al. 2011).	20
Obrázek 17 – Křivka zrnitosti jednotlivých kameniv a směsi kameniv (Gencel et al. 2012).	21
Obrázek 18 – Nasákavost v závislosti na typu směsi (10 % = 1; 20 % = 2; 30 % = 3; 40 % = 4) (Gencel et al. 2012).	22
Obrázek 19 – Závislost mrazuvzdornosti na nasákavosti (Gencel et al. 2012).	23
Obrázek 20 – Vyrobené vylehčené stavební bloky tloušťky 150 mm (Aukour 2009).	24
Obrázek 21 – Soudržnost výztuže s matricí v závislosti na obsahu mramorového prachu (Aliabdo et al. 2014).	26
Obrázek 22 – Předpoklad obdélníkového rozdělení napětí (ČSN EN 1992-1-1)	28
Obrázek 23 – Křivka zrnitosti cementu (Českomoravský beton, a.s.)	34
Obrázek 24 – Mramorový kal – vlevo, Mikromletá mramorová moučka – vpravo.	35
Obrázek 25 – Křivka zrnitosti mramorového kalu a mikromleté mramorové moučky (Prošek 2016).	35
Obrázek 26 – Drcený odpadní vápenec frakce 0 – 2 mm.	36
Obrázek 27 – Zkouška rozlítím, střešací stroj s formou a dusadlem – vlevo, směs po 20 rázech zkoušky – vpravo.	38
Obrázek 28 – Smrštění po 24 hodinách v závislosti na obsahu mikromleté moučky.	39
Obrázek 29 – Snímky mikrostruktury materiálu (MM50 – vlevo, MM100 – vpravo).	39
Obrázek 30 – Schéma zkoušky tříbodovým ohybem.	40
Obrázek 31 – Pevnost v tahu za ohybu v závislosti na obsahu mikromleté moučky při stáří vzorků 7 a 28 dní.	41
Obrázek 32 – Schéma zkoušky jednoosým tlakem.	42

Obrázek 33 – Pevnost v tlaku v závislosti na obsahu mikromleté moučky při stáří vzorků 7 a 28 dní.....	43
Obrázek 34 – Měřicí sestava Brüel & Kjær (A – piezoelektrický snímač zrychlení, B – rázové kladívko, C – řídicí PC, D – měřicí stanice).....	44
Obrázek 35 – Schéma měření základní vlastní frekvence podélného kmitání vzorku rezonanční metodou (Topič et al. 2014).....	45
Obrázek 36 – Měření základní vlastní frekvence podélného kmitání vzorku rezonanční metodou.	46
Obrázek 37 – Schéma měření základní vlastní frekvence příčného kmitání vzorku rezonanční metodou (Topič et al. 2014).....	46
Obrázek 38 – Měření základní vlastní frekvence příčného kmitání vzorku rezonanční metodou.	46
Obrázek 39 – Schéma měření základní vlastní frekvence kroutivého kmitání vzorku rezonanční metodou (Topič et al. 2014).....	47
Obrázek 40 – Měření základní vlastní frekvence kroutivého kmitání vzorku rezonanční metodou.	47
Obrázek 41 – Dynamický modul pružnosti v závislosti na obsahu mikromleté moučky při stáří vzorků 7 a 28 dní.	49
Obrázek 42 – Dynamický modul pružnosti ve smyku v závislosti na obsahu mikromleté moučky při stáří vzorků 7 a 28 dní.	49
Obrázek 43 – Půdorys přízemí vzorového objektu (Jaromír Hruža).	51
Obrázek 44 – Vizualizace vzorového objektu.....	51
Obrázek 45 – Vizualizace stavebního systému ukázaného na vzorovém objektu.	52

8 Seznam tabulek

Tabulka 1 – Úbytek pevnosti v tlaku po FTC (Gencel et al. 2012).	23
Tabulka 2 – Složení jednotlivých sad vzorků 40 × 40 × 160 mm.....	37
Tabulka 3 – Množství vody, vodní součinitel, hodnoty rozlivu směsí a objemová hmotnost.	37

9 Seznam příloh

Příloha 1 – Výpočtový dokument v programu MS EXCEL – návrh a posouzení vodorovného prvku