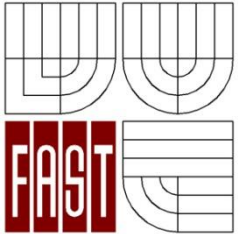




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV CHEMIE

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF CHEMISTRY

PLASTIFIKÁTORY NAHRAZUJÍCÍ VÁPNO VE VÁPENOCEMENTOVÝCH OMÍTKÁCH

PLASTICIZERS REPLACING LIME IN CEMENT-LIME MORTARS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

JAN KAJSRLÍK

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Mgr. MARTIN VYŠVAŘIL, Ph.D.

BRNO 2016



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	B3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu	Bakalářský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3607R020 Stavebně materiálové inženýrství
Pracoviště	Ústav chemie

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student	Jan Kajsrlík
Název	Plastifikátory nahrazující vápno ve vápenocementových omítkách
Vedoucí bakalářské práce	Mgr. Martin Vyšvařil, Ph.D.
Datum zadání bakalářské práce	30. 11. 2015
Datum odevzdání bakalářské práce	27. 5. 2016

V Brně dne 30. 11. 2015

.....

doc. Ing. Jitka Malá, Ph.D.
Vedoucí ústavu

.....

prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc.,
MBA
Děkan Fakulty stavební VUT

Podklady a literatura

- Chroust, F. Omítky. Praha, 1959. SNTL.
- Hanuš, V. et al. Vliv současných chemických příměsí a přísad na výsledné vlastnosti betonu [online]. 2012 [cit. 2014-11-20]. Dostupné z: http://concrete.fsv.cvut.cz/~vrba/Publikace/FRVS_2012_prisady_primesi.pdf
- Dransfield, J. Advanced Concrete Technology Set. 1st. edition. Burlington: Elsevier, 2003. 1920 p. ISBN 0-7506-5103-2. Chapter 4: Admixtures for concrete, mortar and grout, p. 4/3–4/36.
- Izaguirre, A. et al. Ageing of lime mortars with admixtures: Durability and strength assessment. Cement and Concrete Research, 2010, Vol. 10, p. 1081–1095.
- Seabra, M.P. et al. Admixtures effect on fresh state properties of aerial lime based mortars. Construction and Building Materials, 2009, Vol. 23, p. 1147–1153.

Zásady pro vypracování

Při zpracování tématu bakalářské práce se zaměřte na možnou náhradu vápna ve vápenocementových omítkách organickými přísadami (zejména syntetickými), na jejich vliv na vlastnosti omítek s důrazem na zpracovatelnost čerstvé směsi, pevnost, porozitu či mrazuvzdornost výsledné omítky. Z literární rešerše domácí i zahraniční literatury uveďte používané organické přísady nahrazující vápno v omítkách, popište jejich složení, charakterizujte je a srovnajte jejich vliv na výsledné vlastnosti omítek (uveďte klady a zápory). V experimentální části práce vyrobte vzorky vápenocementových omítek s přídavkem organické přísady nahrazující vápno, stanovte jejich vlastnosti (pevnost, obj. hm., porozita, nasákavost) a srovnajte s vlastnostmi vzorků bez přídavku organické přísady. Výsledky zpracujte do přehledných tabulek a grafů. V závěru práce zhodnoťte dosažené výsledky. Uveďte seznam použité literatury. Rozsah bakalářské práce - 40 až 50 stran.

Struktura bakalářské/diplomové práce

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část VŠKP zpracovaná podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchování vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchování vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).
2. Přílohy textové části VŠKP zpracované podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchování vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchování vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (nepovinná součást VŠKP v případě, že přílohy nejsou součástí textové části VŠKP, ale textovou část doplňují).

.....

Mgr. Martin Vyšvařil, Ph.D.

Vedoucí bakalářské práce

Abstrakt:

Tato práce se zabývá možností náhrady vápna ve vápenocementových omítkových maltách. S ohledem na komerčně prodávané přípravky zkoumá, jakými organickými látkami je možné nahradit vlastnosti vápna. Sleduje se jejich vliv na objemovou hmotnost, pevnost v tahu za ohybu a tlaku, hodnocena je také nasákavost, mrazuvzdornost a koeficient kapilární absorpce. Ty pak porovnává s vlastnostmi referenční vápenocementové malty.

Klíčová slova:

vápno, cement, omítka, malta, plastifikátor, provzdušňovací přísady, retenční přísady, náhrada vápna

Abstract:

This bachelor thesis deals with the possibility of replacing lime in lime-cement plaster mortars. Considering commercially sold products, it explores the ways of replacing lime qualities by organic materials. Their influence on density, beam test and compression strength are researched; absorption capacity, frost resistance, capillary absorption coefficient are also assessed. Finally the organic materials are compared with the qualities of the lime-cement mortar.

Key words:

Lime, cement, plaster, mortar, plasticizer, air-entraining agents, retention additives, lime replacement

Bibliografická citace VŠKP

Jan Kajsrlík *Plastifikátory nahrazující vápno ve vápenocementových omítkách*.
Brno, 2016. 42 s., příl. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně,
Fakulta stavební, Ústav chemie. Vedoucí práce Mgr. Martin Vyšvařil, Ph.D.

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 27.5.2016

.....

podpis autora

Jan Kajsrlík

Poděkování:

Děkuji vedoucímu bakalářské práce Mgr. Martinu Vyšvařilovi, Ph.D. za odborné vedení, cenné rady a připomínky k mé práci. Děkuji také zaměstnancům ústavu chemie za pomoc při vyhotovení některých zkoušek, dále pak rodině a přítelkyni za podporu a shovívavost.

Obsah

1 Úvod.....	1
2 Teorie.....	1
2.1 Historie omítek.....	1
2.2 Materiály v omítkách.....	2
2.2.1 Pojiva.....	2
2.2.1.3 Ostatní pojiva.....	9
2.2.2 Plniva.....	11
2.2.3 Voda.....	12
2.3 Požadavky na omítky.....	12
2.4 Rozdělení omítek.....	13
2.6 Přísady v omítkách.....	15
2.7 Náhrada vápna v omítkách.....	15
3 Praktická část.....	18
3.1 Vlastnosti použitých přísad dle výrobce.....	18
3.2 Postup výroby vzorků.....	19
3.3 Prováděné zkoušky.....	20
Objemová hmotnost.....	20
Pevnost v tahu za ohybu.....	21
Pevnost v tlaku.....	22
Nasákavost.....	23
Mrazuvzdornost.....	25
Kapilární vzlínavost.....	26
3.4 Výsledky a diskuze.....	27
4. Závěr.....	32
5 Seznam použité literatury.....	34

6 Seznam obrázků	35
7 Seznam grafů.....	35
8 Seznam tabulek	35
9 Seznam rovnic a vzorců.....	36

1 Úvod

Hlavním cílem této práce je porovnat dostupné přísady do malt, které částečně nebo úplně nahrazují přítomnost vápna v omítkových směsích. Porovnáním fyzikálně mechanických a mikrostrukturních vlastností vápenocementových malt s různými vápno nahrazujícími přísadami lze zhodnotit vhodnost použití dané přísady do malty.

Snaha o částečné vyloučení vápna z omítkových malt je podpořena ekonomicko-ekologickou stránkou výroby vápna. Vápno je nejdražší surovinou, která se do omítek přidává, a to z pohledu použitého množství a faktu, že při jeho výrobě se spotřebovává mnoho energie a uvolňuje se značné množství CO₂ do ovzduší. Vápno v omítkách přispívá v čerstvém stavu hlavně ke zpracovatelnosti, ať už délkou zpracovatelnosti, tak konzistencí malty při nanášení. Při tvrdnutí pak pozitivně ovlivňuje vznik trhlinek a ve ztvrdlém stavu dodává omítce lepší schopnost dýchat. Použitými látkami v této práci tak budou maltové plastifikátory a přísady, které pomáhají vytvoření mikropórů ve struktuře malty.

2 Teorie

2.1 Historie omítek

Počátky využívání omítek, jakožto povrchové úpravy povrchů lidských obydlí, jsou datovány již do doby přibližně 4500 př. n. l., kde jsou nalezeny důkazy o potírání stěn jakousi sádrovou vrstvou, která byla ještě zbarvena a uhlazována pomocí kamenů. V období starověku, tedy v dobách, kdy byly v Evropě dvěma nejvyspělejšími civilizacemi starověké Řecko a Řím, se dokonce psaly knihy přímo o architektuře a z dochovaných staveb je zřejmé, že již tehdy dosahovaly kvality používaných omítek dnešním jednodušším omítkám. Důvod, proč se tyto omítky dochovaly vlastně dodnes je jednoduchý, nepřipouštěli používání nekvalitního materiálu, a proto používali kvalitní vápno a jako plnivo mramorový písek. Suché podnebí mělo jistě také svůj vliv na jejich dochování. V této době byla jednou z největších říší také ta byzantská, kde se

spolu s vápnem používala cihelná moučka jako plnivo. Byla to pevná omítka používaná v důležitějších stavbách a například v Turecku je využívána dodnes. Pro stavby menšího významu užívali zase maltu s řezanou slámou. [1]

2.2 Materiály v omítkách

Omítka je povrchová úprava svislých, ale také vodorovných prvků většiny staveb s výjimkou režného zdiva, kde není omítka aplikována. Omítka je tvořená z omítkové malty, která je svým složením v podstatě shodná s klasickou zdící maltou, jen jsou na ní kladeny odlišné požadavky. Nanášení lze dělat ručně, nebo strojně a povrch se upravuje většinou filcovým hladítkem. Povrch se upravuje u jednovrstvých omítek, nebo u štukových finálních omítek. [2]

Zásadním rozdílem mezi maltou a betonem je v použitém plnivu, kde u malt je použito drobné kamenivo frakce 0-4 mm, kdežto u betonu musí být použity minimálně dvě frakce, hrubé a jemné kamenivo. Jako pojivo je zde využíváno jakéhokoli anorganického práškového pojiva, jako jsou maltoviny na bázi síranu vápenatého (CaSO_4), portlandského slínku, vzdušného (CaO) nebo hydraulického vápna. Dalšími možnými pojivy pak může být vodní sklo, akryláty, silikony, ale i obyčejná hlína. Omítka může být namíchána na stavbě z potřebných surovin, nebo lze použít pytlované omítkové směsi, které mají deklarované vlastnosti. [2]

2.2.1 Pojiva

Mají schopnost po rozmísení s vodou tuhnout, tvrdnout a spojovat tak zrna plniva do větších kompaktních těles. Tuhnutí může nastávat i ve vodě (hydraulická pojiva), nebo pouze na vzduchu (vzdušná pojiva).

2.2.1.1 Historie zpracovávání pojiv na bázi vápna a cementu

S vápencem, jakožto surovinou, ze které se vápno vyrábí, se člověk setkal již v pravěku, kdy se z této suroviny vyráběly různé nástroje. Ve starověku pak vápenec sloužil jako hnojivo. V této době už se začínáme bavit o jeho využití pro výrobu vápna jako takového. Starověké civilizace vápenec vypalovali a vápno používali do malt, jako například při stavbě Velké čínské zdi, v Egyptě

a poté i ve středomoří ve starověkém Řecku a Římě, kde byli znalci v tomto oboru váženými členy společnosti. V Mezopotámii pak vápno používali dokonce k výrobě vápenopískových cihel, byť pouze sušených za pomoci slunce. Na americkém kontinentu se první zmínky o používání vápna datují do 7. stol. n. l. První písemné návody na vypalování vápna jsou z druhého století před naším letopočtema přesná chemická reakce byla zjištěna až v roce 1760 J. Blackem. Na našem území můžeme uvést 9. století, kdy se zde stavěly kostely a světské budovy za pomoci právě vápenné mlaty. Od této doby se na území Velkomoravské říše stavělo tímto způsobem čím dál častěji a první zmínka o vápence je z 10. století. Rozmach ve výrobě vápna nastal za doby Karla IV., kdy se z Prahy vyváželo takzvané Pasta di Praga, jednalo se o hydraulické vápno a říká se o něm, že bylo použito i v Benátkách. Zprvu se páliło v polních pecích, ve kterých trval výpal i s chladnutím až 32 hodin, které vystřídalý primitivní šachtové pece s vlastním tahem, v 19. století pak pece kruhové až nakonec pece šachtové, či rotační. [3]

Historická výroba cementu

Vápno se používalo kontinuálně od nalezení jeho použití, s cementem tomu tak však nebylo. Cement patří mezi hydraulická pojiva, která mají schopnost tuhnut, tvrdnout a nabývat pevnosti i pod vodou bez přístupu vzduchu a starověcí Římané vyráběli tzv. římský cement ze směsi vyhašeného vápna s hlínou, či sopečným popelem. Na další dlouhá staletí se však znalost podobného hydraulického pojiva zcela vytratila, nejspíše to bylo kvůli stěhování národů v 8. století. Snaha znovu vynalézt takováto pojiva je po dlouhé době až z 18. století, kdy se zjistilo, že hydraulickou schopnost má vypálený vápenec nikoliv čistý, ale znečištěný jíly, které obsahují minerály, zaručující budoucí vlastnosti cementu jako takového. Patent na výrobu novodobého cementu si nechal zaregistrovat v roce 1824 britský zedník Joseph Aspdin a nazýval jej portlandským cementem. Avšak dnes víme, že se tehdejší portlandský cement podobal spíše tomu římskému, protože v této době nemohlo dojít k úplnému slinutí vlivem tehdejší nedostatečné vypalovací teploty. Již koncem 19. století byla v Anglii spuštěna první rotační pec, kterou vynalezl Angličan F. Ransom. I v dnešní době je pec rotační mnohem využívanější variantou než pec šachtová

a od začátku 20. století se pak už jen zdokonalovala znalost o nejlepším složení surovinové moučky pro výpal cementu. [3]

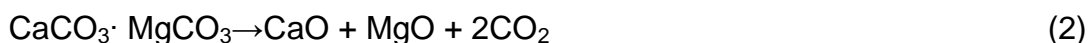
2.2.1.2 Vápno

Vzdušné vápno

Vzdušné vápno je, jak již z názvu vyplývá, vzdušná maltovina a tuhne a tvrdne tedy pouze za přístupu vzduchu. Vzdušné vápno vzniká výpalem uhličitanu vápenatého s co nejvyšší čistotou při teplotě již od 600°C do 1100°C. Proces dekarbonatace uhličitanu vápenatého ukazuje rovnice 1.



a je při ní spotřebováno 177 kJ. Dalším druhem vápna je pak vápno dolomitické, kde je hlavní složkou uhličitan hořečnatovápennatý, neboli dolomit. Chemickou reakci výpalu dolomitu znázorňuje rovnice 2.



Spotřeba tepla se při této reakci pohybuje okolo 277 kJ. Vzdušné vápno je pak prodáváno v pěti základních druzích, kde tři jsou bílá vápna s minimálním množstvím CaO 70%, 80% a 90%, a maximálním množstvím MgO 5%. Dolomitická vápna pak s minimálním množstvím CaO 85%, 80% a minimálně 30%, respektive 5% MgO. Žádné prodávané vzdušné vápno nesmí mít více, jak 2% SO₃. [4]

Při výpalu pak vznikají dva druhy vápna, takzvané měkce a ostře pálené. Měkce pálené je více reaktivní, a proto vhodnější pro klasické použití do malt. Vzniká pozvolnějším výpalem na nižší teplotu přibližně 800–900 °C a je při jeho výrobě důležité rychlé zchlazení, aby teplem, které by bylo nad rámec výpalu struktura CaO nezkonsolidovala a nevytvořilo se tak ostře pálené vápno, které je méně reaktivní a je vhodné pro výrobu v autoklávu, tedy vápenopískových a pórobetonových tvárnic. Měkce pálené vápno má pórovitost až 50% a má oproti ostře pálenému poloviční objemovou hmotnost, 1500 kg/m³. Měkce pálené pak také vykazuje lepší vnitřní měrný povrch, lepší

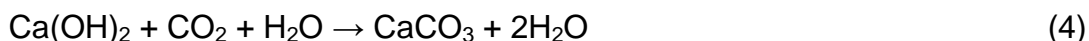
plasticitu, vydatnost a reaktivitu. Pálení vápna probíhá většinou v šachtových (mohou zde být kusy vápence i 180 mm velké), nebo rotačních pecí (velikost maximálně 25 mm). [4]

Před použitím se vápno ještě musí vyhasit, a tím vzniká vápenný hydrát nebo vápenná kaše, podle způsobu hašení. Rovnice 3 popisuje vznik vápenného hydrátu hašením páleného vápna.



Hašení tedy může být mokré a suché, mokrým hašením vznikne kaše, která se připravuje na staveništi v hasnici a je při něm spotřebováno 240 až 320 litrů vody na 100 kg CaO. Modernější způsob je tzv. suchý a probíhá v hydrátoru, kde nevzniká kaše, nýbrž práškový vápenný hydrát. Prášek z hydrátoru vychází proto, že je použito pouze přibližně 70 litrů vody, aby všechna voda zreagovala na Ca(OH)₂ a malé množství se odpařilo. [4]

Po rozmísení s vodou za přístupu CO₂ pak vápno tuhne, tvrdne a nabývá určitých pevností (rovnice 4).



Proces karbonatace probíhá poměrně pomalu směrem od líce omítky ke zdivu, na které je omítky nanášena a závisí na relativní vlhkosti vzduchu, na teplotě a hlavně na koncentraci oxidu uhličitého CO₂ ve vzduchu. Při tloušťce omítky okolo 30 mm může tento proces trvat až dva měsíce. [4]

Hydraulické vápno

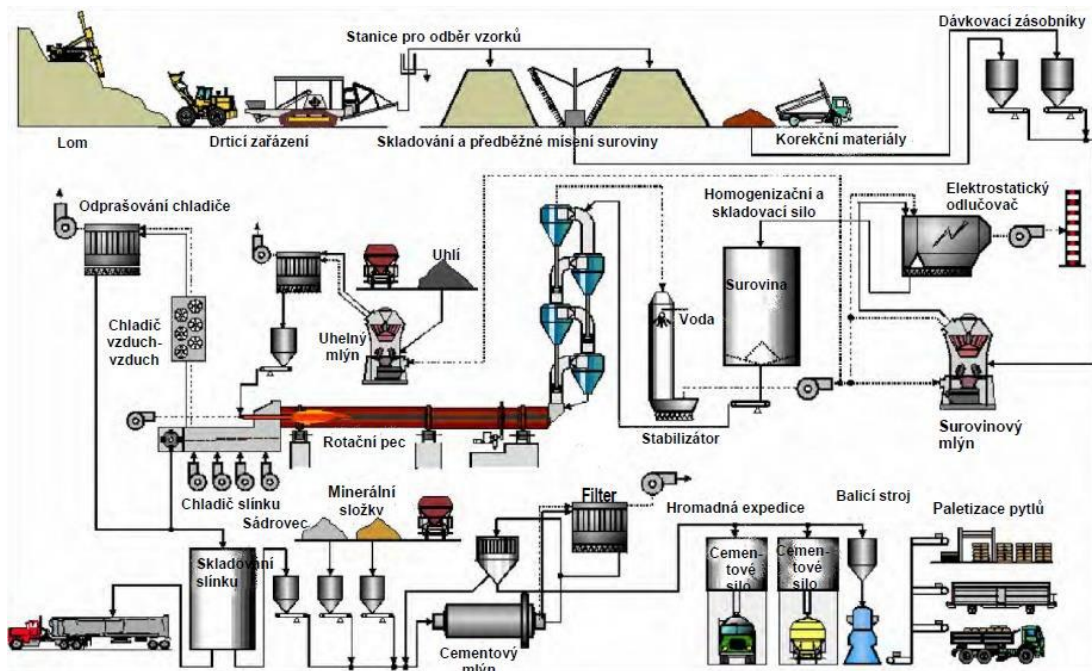
Hydraulické vápno se svým složením více podobá cementu, vyrábí se proto z více znečištěných vápenců, tzv. jílových vápenců, které obsahují Al₂O₃, SiO₂ a Fe₂O₃. Díky nim ve vypálené směsi vznikají stejné minerály, jako v portlandském slínku. Po výpalu na teplotu 1250 °C se surovina rozhašuje na prach, výjimkou jsou silně hydraulická vápna, kde je modul hydraulicity

$$Mn = \left(\frac{CaO}{SiO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3} \right) \quad (5)$$

$M_h < 3$, zde je surovina už velice podobná cementu a rozhašování se neprovádí. Takovýto produkt lze získat pod názvem románský cement. [4]

2.2.1.2 Cement

Cement je dle definice normy EN 197-1 (72 2101) hydraulické pojivo, které je po smíchání s vodou schopné tuhnout, tvrdnout a nabývat určitých pevností a to i bez přístupu vzduchu díky hydratačním reakcím a procesům. Výroba cementu začíná natěžením suroviny, která obsahuje 4 základní oxidy, a to oxid vápenatý CaO , oxid křemičitý SiO_2 , oxid hlinitý Al_2O_3 a oxid železitý Fe_2O_3 , přičemž hlavními nežádoucími surovinami jsou alkálie, chloridy, SO_3 a oxid hořečnatý MgO . Hlavní složkou je tedy vápenec, kterého ve směsi připadá okolo 75% a zbytek jsou jíly, hlíny nebo břidlice obsahující zbylé potřebné oxidy. Většinou je však nutné samotné množství oxidů, které se nacházelo v prvotní surovině, upravit přidáním samotných oxidů v podobě křemičitého písku, bauxitu či vápence. Vzniklá směs se namele a je pak nazývána surovinovou moučkou, která se může pálit za sucha, polosucha v podobě sbalků, nebo za mokra, výpalem surovinového kalu. Výpal probíhá při teplotě 1450°C a vypálenou surovinou je slínek, který se mele a vzniká portlandský cement (obrázek 1). [5]



Obrázek 1. Schéma výroby cementu

Cement se vyrábí v pěti druzích, viz tabulka 1 a třech pevnostech. Pevnostní třídy jsou 32,5, 42,5, 52,5 a dříve využívaná třída 22,5. Třída udává deklarovanou pevnost po 28 dnech zrání (ČSN EN 196-1) a může být doplněna o písmeno R, které značí, že je cement rychlovrstný a má tak zrychlený nárůst počátečních pevností.

Tabulka 1. Druhy cementů na bázi portlandského slínku		
třída	název	vlastnosti
CEM I	Portlandský cement	Čistý slínek, strmý nárůst pevností, velké hydratační teplo
CEM II	Portlandský cement směsný	různé příměsi ovlivňující výsledné vlastnosti, jako odolnost vůči agresivním prostředím, vodotěsnost, tahová pevnost
CEM III	Vysokopecní cement	Pomalý nárůst pevností, malé hyd. teplo, odolný vůči agresivnímu prostředí
CEM IV	Pucolánový cement	Snáší slané a uhlíkaté vody, pomalý nárůst pevností
CEM V	Směsný cement	Jedná se o nejlevnější variantu vhodnou například na potěry

Ze čtyř základních oxidů obsahujících surovinovou směs se výpalem stávají takzvané slínkové minerály alit, belit, trikalciumaluminát a celit. [5]

Alit, neboli trikalciumsilikát, zkráceným vzorcem C_3A , je minerál s chemickým složením $3CaO \cdot SiO_2$ a příměsemi v podobě MgO a Al_2O_3 . Je nejdůležitějším slínkovým minerálem a v tuhnutí směsi se stará hlavně o náběh počátečních ale i konečných pevností, avšak není příliš odolný vůči agresivnímu prostředí. Vzniká při teplotě nad $1250\text{ }^\circ\text{C}$ a vyvíjí hydratační teplo $TH = 500\text{ kJ/kg}$. Množství alitu se ve výsledné směsi v minulosti udávalo přibližně 60%, dnes zhruba 65%. [5]

Belit, nazývaný dikalciumsilikát, zkráceným vzorcem C_2A a chemickým složením $2CaO \cdot SiO_2$, je obsahem ve slínku hned po alitu se zastoupením přibližně 20%. Má nízké počáteční pevnosti, ale ty dlouhodobé jsou velmi podobné alitu. Má zhruba poloviční hydratační teplo, tj. asi $TH = 250\text{ kJ/kg}$ a hůře se mele. [5]

Trikalciumaluminát, C_3A má chemické složení $3CaO \cdot Al_2O_3$. Obsah ve slínku je v rozmezí 8 a 9%. Bývá znečištěn alkáliemi, MgO a skelnou fází, velmi rychle nabývá pevností, ale také je po čase ztrácí. Má vysoké hydratační teplo, $TH =$ okolo 860 kJ/kg , a i díky němu je zrající beton třeba ošetřovat. [5]

Celit, nazývaný též Brownmillerit, chemickým složením $4\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$, zkráceně C_4AF . Jeho přítomnost pozitivně ovlivňuje odolnost cementového kamene vůči agresivnímu prostředí, proto se jím také nahrazuje čist C_3A , pro zlepšení těchto vlastností, ale nevýhodou je, že nabývá pouze nízkých pevností. Jeho obsah ve směsi je asi 10% a má nepatrně nižší hydratační teplo než alit, přesněji $\text{TH} = 420 \text{ kJ/kg}$. [5]

2.2.1.3 Ostatní pojiva

Hlinitanový cement

Vyrábí se výpalem bauxitu (Al_2O_3) a vápence (CaCO_3) do slinutí. Tento cement byl vynalezen a patentován J. Biedem na počátku 20. století. Jeho nejzásadnější kladnou vlastností byl nárůst pevností, kdy již po prvním dni zrání vykazoval větší pevnosti, než některé portlandské cementy po 28 dnech a zároveň díky velkému hydratačnímu teplu mohl být použit při betonování v lehkých mrazech. S tím samozřejmě souvisí, že v létě musel být důkladně ošetřován kropením. V 30. až 60. letech jej bylo hojně využíváno na betonování tenkostěnných konstrukcí, základů pod průmyslové stroje, ale také vojenským bunkrům. Mineralogicky se jedná o kalciumaluminát, tedy zkráceně CA, který má po rozmísení s vodou tři hydratační fáze s tím, že poslední nastává až po několika desetiletích. Tato poslední fáze má zhruba o 40% menší objem než dvě předešlé a je důvodem naprostého porušení cementového kamene, který má za následek destrukci konstrukce. Další nevýhodou je jeho cena, která je až desetinásobná oproti portlandskému cementu, z tohoto důvodu se hlinitanový cement do omítkových směsí nepoužívá, ale přesto se tento cement vyrábí pro své žáruvzdorné vlastnosti. [2]

Pojiva na bázi síranu vápenatého

Vznikají pálením sádrovce, neboli dihydrátu síranu vápenatého ($\text{CaSO}_4\cdot 2\text{H}_2\text{O}$), nebo v poslední době odsiřováním elektrárenských zplodin. Pojiva na bázi síranu vápenatého mají stejná chemická složení, pouze se liší množstvím vody

v něm chemicky vázané. Jsou to α nebo β hemihydrát ($\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$) a modifikace anhydritu (CaSO_4) I-III. Obě formy hemihydrátu síranu vápenatého se nijak neliší chemickým složením ani krystalografií, ale vlastnostmi a způsobem výroby ano. Beta sádra vzniká za teploty $150\text{ }^\circ\text{C}$ za normálního atmosférického tlaku a unikající pára narušuje její strukturu, a díky tomu vyžaduje vysoký vodní součinitel a dosahuje nízkých finálních pevností okolo 8 MPa. Ve stavebnictví se používá pro aplikaci sádrových omítek a ve směsi s alfa sádrou na výrobu forem pro sanitární keramiku. Alfa sádra je podstatně dražší, protože se vyrábí při teplotě $130\text{ }^\circ\text{C}$ za zvýšeného tlaku v takzvaných autoklávech. Voda ze struktury uniká v kapalně formě a nenarušuje tak její strukturu, proto je při hydrataci nutný vodní součinitel mnohem nižší a výsledné pevnosti mohou dosahovat až 40 MPa. Obě tyto sádry velmi rychle tuhnou a tvrdnou, často se k nim proto přidávají zpomalovače tuhnutí a tvrdnutí. Ochoťně také přijímají vodu v kapalném skupenství, která však velmi snižuje jejich pevnost, na rozdíl od páry, kterou snáší velmi dobře a i v nasyceném prostředí jí přijmou pouze 1,5%. [2]

Anhydrit se vyrábí pálením sádrovce za teploty $600\text{ }^\circ\text{C}$, nebo mletím přírodního anhydritu, k oběma se však musí během mletí přidat vnitřní budič, jinak by tato jinak nerozpustná sloučenina po rozmísení s vodou neztuhla a neztvrdla. První fáze anhydritu, anhydrit III je nevýznamný a ve stavebnictví se nevyužívá. Pevnost těchto síranových pojiv se pohybuje okolo 25 MPa. Použití nachází jako pojivo v samonivelačních maltových směsích nebo v dnešní době moderním vyléváním anhydritových podlah. [2, 6]

Anhydrit I, spíše známý pod názvem pomalutuhnoucí sádra, se vyrábí výpalem na $800\text{ }^\circ\text{C}$ a při jeho mletí se nemusí na rozdíl od Anhydritu II přidávat budící přísada, jelikož při teplotě $800\text{ }^\circ\text{C}$ se část sádrovce rozloží na CaO, který působí jako vnitřní budič a zbylý oxid sírový SO_3 se odkouří. Pro vysoké výrobní náklady se tato sádra příliš neprodukuje. [2]

2.2.2 Plniva

Plniva jsou látky chemicky neaktivní, neboli inertní, původu anorganického, ale i organického, které ve struktuře malt a betonů plní funkci nosného skeletu, pevně spojeného pomocí pojiv, které po rozmísení s vodou zrna plniv obalí a následnými hydratačními spojí v pevnou hmotu. Pojiva sama o sobě pevnost mají, ale jsou několikanásobně dražší, nežli plniva a proto je používáme i z ekonomického hlediska. Dalším problémem u malt bez použití plniv by byl příliš velký vodní součinitel, který by při vysychání znamenal vyšší riziko vzniku smršťovacích trhlin. V omítkách štukových pak plní funkci i estetickou. Anorganické přírodní kamenivo rozdělujeme na těžené, nebo drcené. Rozdíl spočívá ve způsobu úpravy, kdy těžené kamenivo se upravuje například pouze promýváním, kdežto drcené se musí na požadovanou frakci nadrtit. Anorganická plniva můžeme dále rozdělit na přírodní nebo uměle vyrobená. Umělým plnivem je například recyklovaná betonová drť, ta se však používá spíše do betonových směsí ve větších frakcích, které se do omítek nepoužívají, nebo perlit, který se používá pro zhotovování sanačních a lehčených omítek. Podle velikosti zrna dále dělíme plniva na štěrky, drtě, písky a fillery. [2]

Pro přípravu omítkových malt nejčastěji používáme přírodní kameniva, a to hlavně písky, které definujeme zrnitostí 0,1 mm–4 mm. Podrobněji viz tabulka 2. Původem je pak dále rozdělujeme na písky říční, kopané, morénové nebo sopečné. Umělé, připravené drcením, se používají částečně při výrobě suchých maltových omítkových směsí, neboli SMOS. Zvláště u kopaných písku je třeba dávat si pozor na množství jílových částic (< 0,063 mm), které negativně mění potřebný vodní součinitel. Důležitým faktorem při návrhu složení plniv je křivka zrnitosti, která zajišťuje optimální zastoupení frakcí, které vede ke snížení množství potřebné záměsové vody. Křivky zrnitosti lze počítat například dle Fullera, či EMPY. [2]

$$y = \left(\frac{d}{D_{max}}\right)^n \cdot 100 [\%] \quad (6)$$

$$y = 20 \left(\frac{d}{D_{max}} + 4\sqrt{\frac{d}{D_{max}}}\right) [\%] \quad (7)$$

Tabulka 2. Rozdělení písků dle zrnitosti		
název	frakce [mm]	použití
jemně zrnitý	0,1 – 0,25	štukové omítky
středně zrnitý	0,25 – 1,6	jádrové omítky
hrubě zrnitý	1,6 - 4	zdící malty

2.2.3 Voda

Voda používaná jako záměsová pro maltové a omítkové směsi by měla splňovat určité parametry. K záměsím nelze použít vodu z jakéhokoli zdroje, zvláště pro malty s přísadou cementu, pucolánu nebo hydraulických složek. Nevhodná je voda s nadměrným obsahem organických látek, jejichž přítomnost nepříznivě ovlivňuje hydratační reakce křemičitanů a hlinitanů. Ve vyšších koncentracích mohou způsobit až úplné zastavení hydratačních reakcí. Jsou nevhodné vody z oblastí s humózními půdami, z nichž se vyluhují především tzv. huminové látky kyselého charakteru, které ovlivňují zejména hydraulické reakce. Tyto vody se vyznačují žlutým až hnědým zbarvením. [7]

Pro přípravu maltových směsí je vhodná voda, která splňuje požadavky pro přípravu prostého betonu, uvedené v normě ČSN EN 1008. Bez provádění chemického rozboru lze použít vodu pitnou, která požadavkům zcela vyhovuje.

2.3 Požadavky na omítky

zpracovatelnost: - omítky musejí vykazovat určitou konzistenci, aby bylo možné s nimi pracovat, nanášet je a dále je upravovat;

plasticita: - při ručním, tak i strojním omítání je důležité, aby směs držela na svislém povrchu, ale i na stropech. Tuto vlastnost omítkovým maltám dává právě vápno, nebo jeho náhrady;

- vodoodpudivost: - tato vlastnost je důležitá hlavně u omítek vnějších, které jsou povětrnostním vlivům vystaveny;
- prostupnost vodních par: - důležitá vlastnost, která zaručuje, že stavba „dýchá“ a nevytváří tak prostředí pro vznik plísní;
- objemová stálost: - důležité je zamezení vzniku smršťovacích trhlin z důvodů použití nadměrného množství vody;
- zdravotní nezávadnost: - nesmí obsahovat škodlivé látky, které by se mohly uvolňovat do interiéru.

2.4 Rozdělení omítek

a) podle místa výroby na:

- připravované na místě, neboli „in situ“
- průmyslově vyráběné suché maltové omítkové směsi

b) podle umístění omítky:

- omítky pro vnitřní použití
- omítky pro vnější, exteriérové, použití

c) podle počtu vrstev nanášené omítky:

- jednovrstvé omítky
- vícevrstvá omítky

d) podle způsobu nanášení:

- ručně nanášené
- strojně nanášené

e) podle jejich speciálních vlastností

- sanační
- tepelně izolační

- barytové omítky
- protipožární
- protihlukové
- magnetické

a) Omítkové malty připravované na místě se v dnešní době uplatňují spíše v malém měřítku při rodinné výstavbě. Není zde kladen důraz na rychlost a finanční nákladnost je zde nižší, než u těch strojně nanášených. Hlavní úspora je v použitém materiálu, který je samostatně levnější než pytlované směsi. Další výhodou suchých směsí je fakt, že výrobce po správném použití dle návodu deklaruje jejich vlastnosti. [2]

b) Vnitřní a vnější omítky se liší především jejich odolností proti povětrnostním vlivům, z tohoto důvodu bývá u těch venkovních omítek zvýšené množství cementu, které by v interiéru zhoršovalo pohodu bydlení menší propustností par. Na vnější omítky je kladen menší důraz v ohledu zrnitosti plniv, která by například u vnitřních štukových omítek neměla přesáhnout 1,6 mm. U vnitřních omítek můžeme jako pojivo použít i síranová pojiva, neboli, sádro, kterou ale pro svoji nízkou odolnost vůči vodě, nemůžeme použít do exteriéru. [2]

c) Jednovrstvé omítky jsou dnes moderní a jejich výhodou je rychlost provádění oproti vícevrstevným omítkám. Starší zdící systémy nepoužíval příliš přesné zdící materiály a povrch stěn tak nebyl příliš rovný, musel se tedy nejprve dorovnat pomocí levnější jádrové omítky. Až na tuto omítku se mohla aplikovat omítková štuková. Dnes používané tvárnice na přesné zdění umožňují, díky téměř rovnému povrchu, aplikaci pouze jedné slabší vrstvy omítky. Vícevrstvé systémy mají nejběžněji tři vrstvy, kterými jsou, adhezní můstek, jádrová omítková a svrchní pohledový štuk. [2]

d) U strojně nanášených omítek může nastat několik komplikací. Důležitá je volba plniva, protože materiály s tvrdostí dle Mohse > 6 vedou k nadměrnému opotřebování strojů. Proto se zde mnohdy používají například mleté vápence. Dalším faktorem je křivka zrnitosti plniv. Proměnná zrnitost, která může být

způsobena dopravou na staveniště, má vliv na potřebné množství záměsové vody, která by musela být často regulována, jinak by docházelo k nerovnoměrnému schnutí omítek. Omítky připravované pro ruční omítání se mohou mísit například v míchačkách. [2]

e) Sanační omítky používáme u budov s problematikou přílišné vlhkosti konstrukce. Je požadována vysoká propustnost vodních par, pórovitost a nízká kapilární vztlakovost. Jako plnivo může být použit perlit. [8]

Barytové omítky jsou používány hlavně ve zdravotnictví, kde slouží k odstínění ionizujícího záření. [8]

2.6 Přísady v omítkách

Přísady jsou látky, které se do betonů a malt přidávají v malém množství, v řádu desetin procent až procent, za účelem vylepšení či úpravy některé z jejich vlastností. Použití přísad do maltových směsí se vzdušnými i hydraulickými pojivy je známo již z dob, před naším letopočtem. Vlastnosti byly upravovány nejčastěji rostlinnými tuky, živočišnými tuky a klíhy, krví a mlékem. Požadováno bylo především zvýšení pevností, plasticity malty, zrychlení či zpomalení tuhnutí a vodoodpudivost. Některé z uvedených přísad upravovaly i více než jednu z těchto vlastností. [2]

Dnes tyto látky rozdělujeme na látky upravující dobu počátku tuhnutí a tvrdnutí, přídržnost k podkladu ztvrdlé i čerstvé malty, retenci vody a plastičnost (ztekucovače, neboli plastifikátory), disperzní výztuže zabraňující objemovým změnám, provzdušňovače, odpěňovače, pigmenty a ostatní přísady.

2.7 Náhrada vápna v omítkách

Vápno je v omítkových směsích tou nejdražší surovinou, proto máme v dnešní době tendenci jeho množství v omítkách snižovat. Musíme však nahradit jeho vlastnosti, za které je v omítkových maltách odpovědné, zejména vysokou přilnavost při nanášení, retenci vody a s tím i plasticitu omítek, zamezení vzniku trhlin a v malém množství také pórovitost. [9]

Adhezivní přísady používané v maltách jsou ve většině případů polymerní prášky a to, polyvinylacetátové a polyvinylversátové. Vyrábí se radikálovou polymerací a jsou používány pro výrobu lepidel, známé jsou také pod pojmem latex. Tyto prášky vedou k vytvoření pružného gelu, který podporuje přilnavost malt k povrchu. V menší míře však kladně ovlivňují i retenci vody. [2,10]

Retenční přísady používáme, aby malta lépe zadržovala vodu, což vede k zahuštění směsi a menší náchylnosti ke ztékání malty z povrchu konstrukce a snížení náchylnosti k vysychání. Používány jsou zde v drtivé většině deriváty celulózy. Dále pak například škroby, či bentonity. Deriváty celulózy mají velmi široký rozsah použití jako lepidla nebo zahušťovadla v potravinářském, či kosmetickém průmyslu. Mezi ony deriváty patří například metylcelulóza, karboxymethylcelulóza a hydroxyethylcelulóza. [2, 11]

Pro zvýšení pórovitosti a menší náchylnosti ke smršťování a lepší zpracovatelnosti se používají anionogenní tenzidy. Jsou to látky snižující povrchové napětí vody a umožňuje tím snadnější vznik uzavřených pórů ve struktuře malty. Póry by měly být velké 25 až 300 μm , Díky těmto tenzidům je malta kyprá a přibližuje se vlastnostmi klasické vápenocementové maltě. [9]

Některé komerčně vyráběné produkty vedené jako vápno nahrazující ve svém složení uvádějí ligninsulfonany, které jsou typicky používané jako ztekucovače neboli plastifikátory do betonových směsí.

Plastifikátory jsou nejpoužívanějšími přísadami do betonů, tvoří 80 – 90% trhu s přísadami. Principem působení je uchycení plastifikátoru na zrna cementu, která mají za normálních podmínek kladný nebo záporný náboj. Tento náboj změní v celé směsi na kladný nebo záporný a tím pádem jsou zrna cementu odpuzována a lépe se ve směsi pohybovala. To zajistí, že se zrna neshlukují, a váží na sebe méně vody, která pak napomáhá vyšší tekutosti.

Výše zmíněné plastifikátory na bázi lignosulfonanů jsou levné, protože se vyrábí z odpadu v papírenském průmyslu. Pozitivně začínají

na směs působit už po přidání 0,2 % hmotnosti cementu, nicméně mají i lehce retardační a provzdušňující účinek a jsou náchylné k předávkování.

Další používané plastifikátory jsou nejčastěji na bázi naftalenu, melaminu, modifikovaných polykarboxilátů, nebo akrylových polymerů. [12]

3 Praktická část

V praktické části jsou porovnány tři komerčně vyráběné prostředky, u kterých výrobce uvádí, že nahrazují, ať už částečně tak i úplně, vápno v omítkových směsích svojí provzdušňovací, stabilizační a plastifikační schopností. Prvním výrobkem je prostředek s obchodním názvem Polyfor od společnosti FORCHEM, s.r.o., Otrokovice, druhým je prostředek Malplast od firmy BALCHEM, s.r.o, Kuřim a třetím je prostředek PMP od firmy Den Bravena. s., Úvalno.

Vyrobena bylo celkově 18 vzorků vápenocementových malt velikosti 4 × 4 × 16 cm od každé směsi, 6 z každé směsi se použilo na určení pevnosti v tlaku, v tahu za ohybu a objemové hmotnosti po 7 a 28 dnech. Další 3 byly použity na stanovení nasákavosti po 28 dnech a zbylých 9 na stanovení mrazuvzdornosti. Stanovení kapilární vzlínivosti pak bylo provedeno na jedné polovině vzorku po zkoušce pevností v tahu za ohybu.

3.1 Vlastnosti použitých přísad dle výrobce

Polyfor:

- dle výrobce se jedná o směs blíže neupřesněných organických polymerních látek (výrobce nechtěl sdělit složení výrobku),
- vytvořením vzduchových pórů přispívá k lepšímu odpařování vlhkosti, snižuje možnost vzniku trhlin v omítkce,
- zlepšuje přídržnost k podkladu asi o 60% vzhledem ke klasické vápenocementové maltě,
- zabraňuje vnikání srážkové vody omítkou do zdiva,
- zlepšuje tepelně izolační vlastnosti malty o 15–20%,
- průměrný obsah vzduchových pórů v maltě je 12–15%,
- zabraňuje výkvětům solí (působí proti korozi),
- mrazuvzdornost malty je minimálně o 100% vyšší než u klasické vápenocementové malty,

- je zvláště vhodný do perlitových malt.

Malplast:

- směs obsahuje plastifikátor na bázi lignosulfonanu, nespecifikovaný práškový provzdušňovač a derivát sodné soli,
- plastifikuje maltu,
- prodlužuje trvanlivost malt,
- slouží jako nemrznoucí přísada (pouze do -2°!),
- minimalizuje vznik solných výkvětů,
- snižuje náklady,
- zabraňuje trhlinám,
- provzdušňuje, zvyšuje mrazuvzdornost.

Power mix:

- plastifikační přísada na bázi alkyl deriváty benzensulfonanu sodného,
- snižuje výslednou cenu malty až o 30%,
- provzdušňuje, zvyšuje mrazuvzdornost,
- slouží jako nemrznoucí přísada (pouze do -2°!),
- minimalizuje vznik solných výkvětů,
- zabraňuje trhlinám,
- plastifikuje

3.2 Postup výroby vzorků

Při zhotovování těles bylo postupováno podle normy ČSN EN 1015-2.

Jako suroviny byly použity: cement CEM I/42,5R z Českomoravský cement a. s., závod Mokrý, vápenný hydrát $\text{Ca}(\text{OH})_2$ z Carmeuse Czech Republic s.r.o.,

kopaný písek vysušený o zrnitosti 0–4 mm, voda z městského vodovodního řadu a tři organické vápno nahrazující přísady, ty byly důkladně rozmíchány v záměsové vodě. Množství záměsové vody bylo stanoveno pomocí stříšovacího stolku s ohledem na shodnou konzistenci jednotlivých směsí o rozlivu 170 ± 10 mm. Po 48 hodinách od zhotovení byly trámečky odformovány a uloženy v laboratorních podmínkách.

Tabulka 3. Dávkování surovin pro zkušební zámesi [g]				
surovina	VC	VCP	VCM	VCX
vápno	70	40	40	40
cement	30	60	60	60
písek	300	300	300	300
voda	92,3	60	70	85,2
polyfor	-	1	-	-
malplast	-	-	1	-
power mix	-	-	-	0,024

3.3 Prováděné zkoušky

Objemová hmotnost

Objemová hmotnost byla stanovena podle normy ČSN EN 1015-10, po 7 a 28 dnech od výroby vzorků. Trámečky byly změřeny s přesností na 0,1 mm pomocí digitálního posuvného měřidla a zváženy s přesností na 0,1 g. Ze získaných dat byla stanovena objemová hmotnost s přesností na $10 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$. Hodnoty byly zprůměrovány pro každou směs a následně graficky porovnány.

Vzorec použitý ve výpočtu:

$$OH = \frac{m}{b \cdot l \cdot h} [\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}] \quad (8)$$

Kde: m... hmotnost [kg]

b... šířka [m]

h... výška [m]

l... délka [m]

Pevnost v tahu za ohybu

Pevnost v tahu za ohybu byla stanovena dle normy ČSN EN 1015-11, po 7 a 28 dnech od výroby trámečků. Byl použit tříbodový ohyb. Hodnoty při porušení trámečků se zaznamenaly s přesností na 0,001 kN. Po vypočítání pevností v tahu za ohybu jednotlivých trámečků se hodnoty zprůměrovaly pro jednotlivé záměsi. Zbytky trámečků byly následně použity při zkoušce pevnosti v tlaku.

Vzorec použitý ve výpočtu:

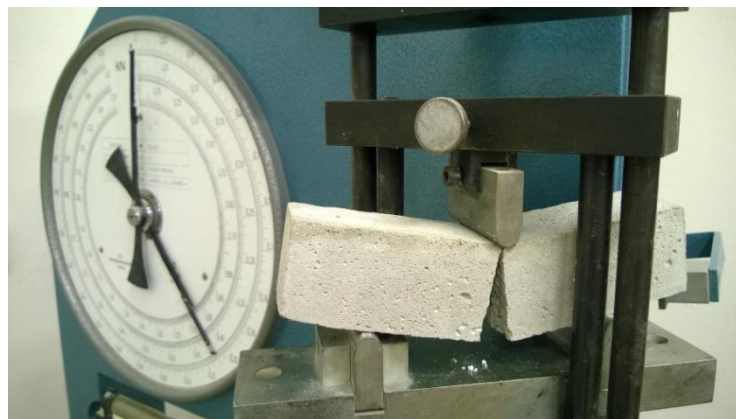
$$R_f = \frac{3 \cdot F_f \cdot l}{2 \cdot b \cdot h^2} \text{ [MPa]} \quad (9)$$

Kde: F_f ... síla při porušení [N]

l ... vzdálenost podpor [mm]

b ... šířka [mm]

h ... výška [mm]



Obrázek 2. Lis pro stanovení pevnosti v tahu za ohybu



Obrázek 3. Lis pro stanovení pevnosti v tahu za ohybu

Pevnost v tlaku

Pevnost v tlaku byla stanovena dle normy ČSN EN 1015-11, po 7 a 28 dnech od výroby trámečků. Naměřené hodnoty sil při porušení jednotlivých trámečků byly zaneseny s přesností na 0,01 kN do tabulky a byly vypočítány jednotlivé pevnosti s přesností na 0,1 MPa. Hodnoty byly zprůměrovány pro jednotlivé záměsi a následně byl vytvořen graf.

Vzorec použitý ve výpočtu:

$$R_c = \frac{F_c}{A} [\text{MPa}] \quad (10)$$

Kde: F_c ... síla při porušení [N]

A... tlačná plocha (16000mm²) [mm²]



Obrázek 4. Lis pro stanovení pevnosti v tlaku

Nasákavost

Vybraná zkušební tělesa byla nejprve na 24 hodin ponořena do vody tak, aby mohla voda do trámečků volně vnikat rovnoměrně ze všech stran. Po uplynutí této doby byla odstraněna povrchová voda a trámečky byly zváženy s přesností na 0,1 g. Poté se trámečky umístily do sušárny, kde se sušily do konstantní hmotnosti při teplotě 80 ± 5 °C. Z průměrné hodnoty nasákavostí byl vytvořen graf.

Vzorec použitý ve výpočtu:

$$N = \frac{m_n - m_s}{m_n} \cdot 100 [\%] \quad (11)$$

Kde: m_n ... hmotnost nasáklého trámečku [g]

m_s ... hmotnost vysušeného trámečku [g]



Obr. 5 Vzorky umístěné v sušárně



Obr. 6 Vzorky uložené ve vodě

Mrazuvzdornost

Stanovení mrazuvzdornosti bylo prováděno dle normy ČSN 72 2452. Principem je střídání zmrazovacích a rozmrazovacích cyklů na nasáklých trámečkách. Společně s touto zkouškou bylo dále zjišťováno:

- stanovení vizuální změny
- stanovení objemové hmotnosti malty
- stanovení pevnosti v tahu za ohybu
- stanovení součinitele mrazuvzdornosti

Pro tuto zkoušku bylo použito celkem 9 trámečků od každé zkoušené malty, 6 pro samotnou mrazuvzdornost a 3 jako referenční. Samotná zkouška započala ponořením trámečků na 24 hodin do vodní lázně o teplotě $20^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$ tak, aby byl umožněn přístup vody ze všech stran, po této době se přistoupilo ke zmrazovacím cyklům. Jeden zmrazovací cyklus znamená minimálně 4 hodiny zmrazování při teplotě $-20^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$ a následným rozmrazováním po dobu minimálně 2 hodiny. Po 15 cyklech se u těles opět vypočítala objemová hmotnost a vzorky se podrobily zkoušce pevnosti v tahu za ohybu. Zkouška mrazuvzdornosti se ukončila:

- po uplynutí 15 zmrazovacích cyklů, nebo
- byla-li tělesa zjevně porušena.

Vyhodnocení zkoušky mrazuvzdornosti:

Pro daný počet zmrazovacích cyklů a po ukončení zmrazování se získaly následující hodnoty:

- pevnosti v tahu za ohybu a také pevnosti v tlaku zkoušených trámečků i referenčních trámečků
- součinitel mrazuvzdornosti malty (poměr pevností v tahu za ohybu zmrazovaných ku referenčním).

Kapilární vzlínavost

Z těles byly získány vzorky o velikosti cca $3 \times 4 \times 4$ cm a jejich obvod, kromě spodní a horní hrany byl opatřen parotěsnou zábranou, na horní povrch byl připevněn závěs, který byl napojen na váhy a díky němuž mohl být měřen hmotnostní přírůstek nasáklé vody bez vyjmutí tělesa. Tělesa byla ponořena 1 mm do vody. Hmotnosti jsou zaznamenávány pomocí počítačového programu, který vytváří tabulku s hodnotami. Hodnoty slouží k vypočítání vlhkostního absorpčního koeficientu A_a a vlhkostní vodivosti K .

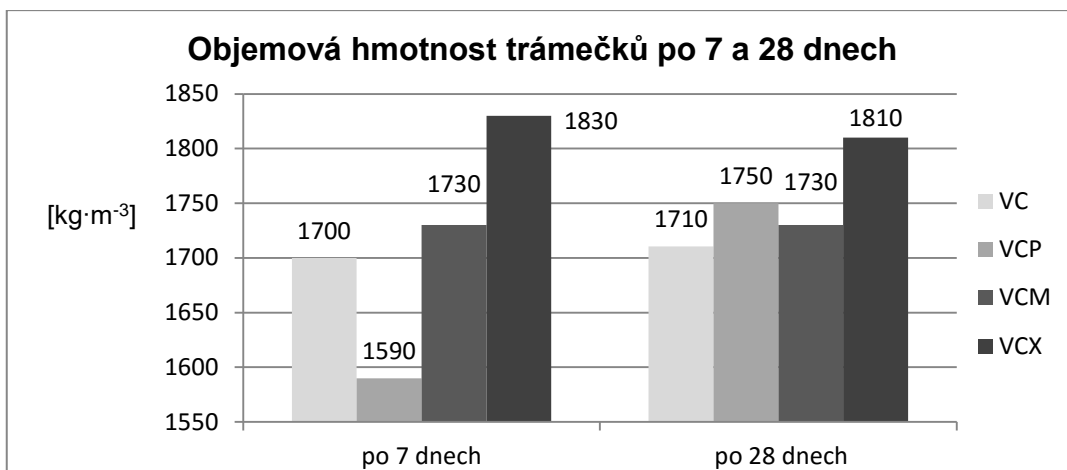


Obr. 7. aparatura ke sledování kapilární vzlínivosti

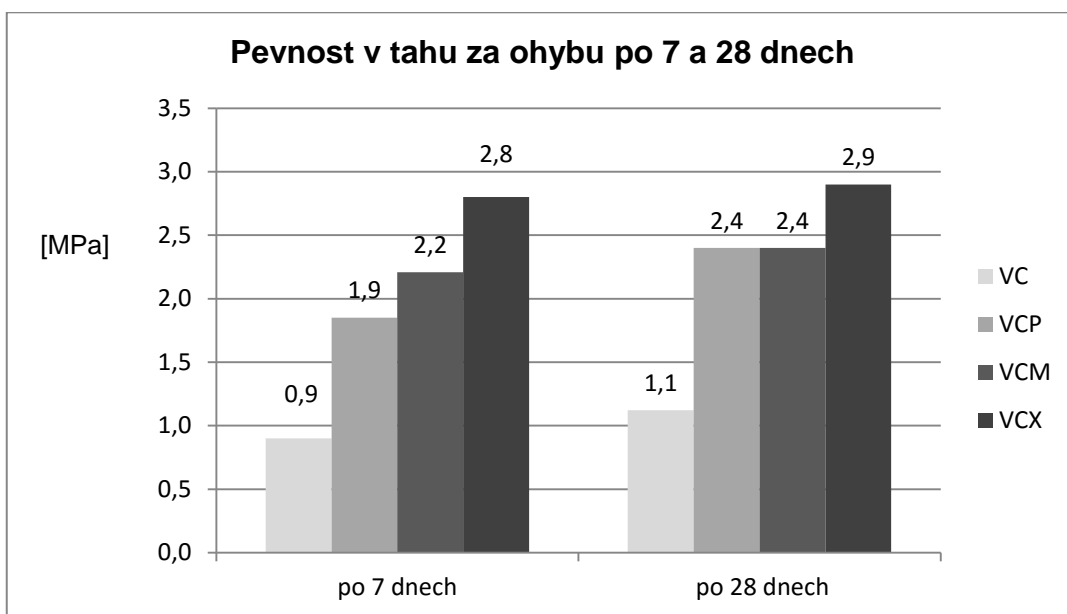
3.4 Výsledky a diskuze

Tabulka 3. pevnost v tahu za ohybu, v tlaku a objemová hmotnost po 7 dnech								
Vzorek číslo		OH [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$]		Rf [MPa]		Rc1 [MPa]	Rc2 [MPa]	Rc [MPa]
VC	19	1695	1700	0,89	0,9	3,08	3,18	3,2
	20	1695		0,89		3,09	3,18	
	21	1709		0,96		3,28	3,29	
VCP	4	1575	1590	1,86	1,9	4,76	5,04	5,3
	5	1584		1,93		5,54	5,60	
	6	1596		1,76		5,60	5,34	
VCM	1	1784	1730	2,40	2,2	8,24	8,68	8,0
	17	1696		2,20		8,47	7,88	
	18	1695		2,03		7,44	7,57	
VCX	4	1824	1830	2,70	2,8	9,09	9,72	9,8
	13	1837		3,01		9,55	10,84	
	16	1819		2,76		10,01	9,65	

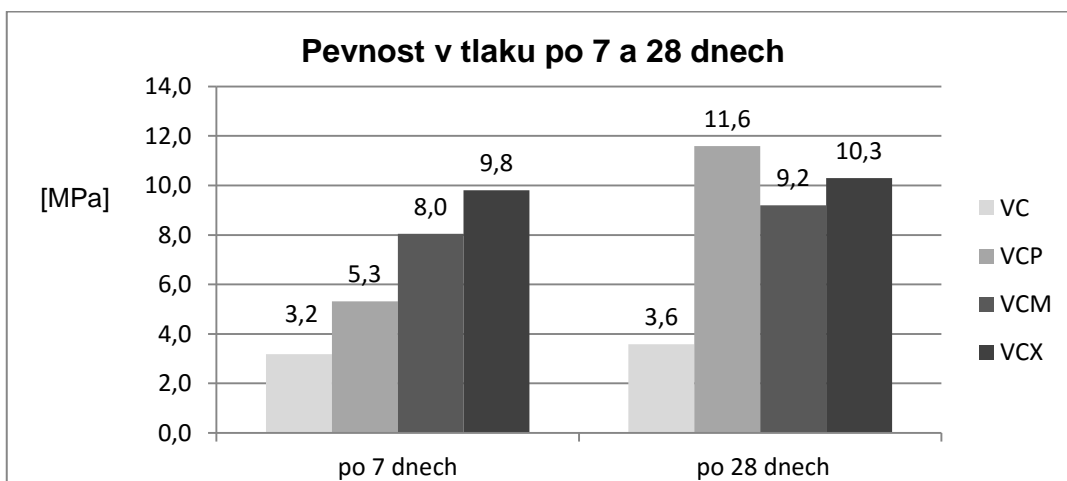
Tabulka 4. pevnost v tahu za ohybu, v tlaku a objemová hmotnost po 28 dnech								
Vzorek číslo		OH [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$]		Rf [MPa]		Rc1 [MPa]	Rc2 [MPa]	Rc [MPa]
VC	5	1702	1710	1,18	1,1	3,69	3,54	3,6
	9	1734		1,07		3,34	3,40	
	17	1696		1,11		3,72	3,83	
VCP	1	1689	1750	2,57	2,4	9,27	9,54	11,6
	11	1825		2,27		13,29	13,24	
	12	1736		2,50		12,01	12,16	
VCM	2	1776	1730	2,53	2,4	9,30	9,98	9,2
	8	1712		2,43		8,24	9,33	
	11	1705		2,26		8,59	9,72	
VCX	5	1835	1810	3,56	2,9	11,35	13,43	10,3
	8	1811		2,14		11,53	8,58	
	14	1787		2,88		8,47	8,49	



Graf 1.



Graf 2.



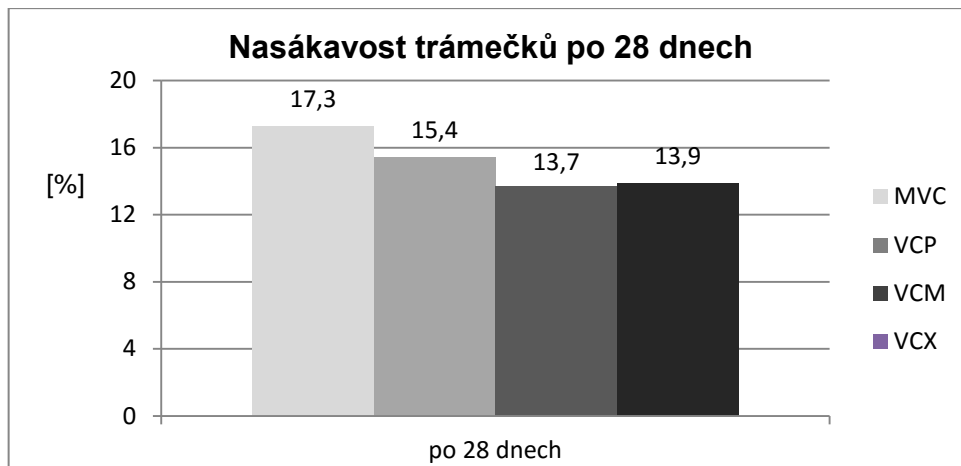
Graf 3.

Objemová hmotnost byla u referenční směsi nejnižší a pohybovala se okolo 1700 kg/m³. S přidávanými přísadami se tato hodnota mírně zvýšila na rozmezí 1730 až 1810 kg/m³.

Pevnosti v tahu za ohybu vykazovaly výraznější známky zlepšení směsí s přísadami oproti referenčním vzorkům. Hodnoty po 7 a 28 dnech se příliš nelišily, ale referenční vzorky vykazovaly zhruba poloviční pevnost, než směsi s polyforem a malplastem, které měly zhruba 2,4 MPa. Power mix pak vykazoval pevnost až 2,9 MPa.

Pevnosti tlakové po 7 dnech nabývaly postupně hodnot od 3,2 MPa do 9,8 MPa. Nejhorší dopadla referenční malta, nejlépe opět směs s přísadou power mix. U 28 denních pevností vykazoval nejlepší hodnotu přípravek polyfon s 11,6 MPa. Pevnosti ostatních vylepšených směsí se pohybovaly okolo 10 MPa a referenční malta pouze 3,6 MPa.

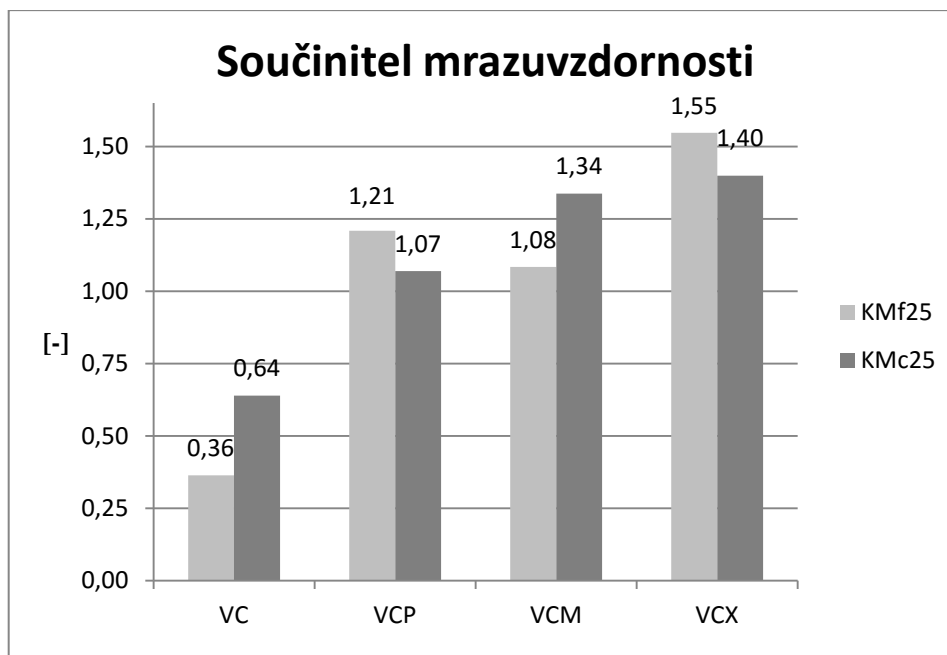
Tabulka 5. nasákavost po 28 dnech			
Vzorek		nasákavost po 24 hodinách	
VC	6	17,46	17,3
	13	17,11	
	18	17,27	
VCP	2	16,57	15,4
	3	15,38	
	15	14,14	
VCM	3	13,59	13,7
	11	13,75	
	12	13,71	
VCX	1	14,34	13,9
	17	13,92	
	6	13,44	



Graf 4.

Nasákavost malt měřená po 28 dnech dopadla podle očekávání nejlépe pro dvojici power mix a malplast s hodnotami lehce pod 14 %, směs s polyfonem měla nasákavost zhruba o 1,5 % vyšší a referenční malta měla nasákavost nejvyšší.

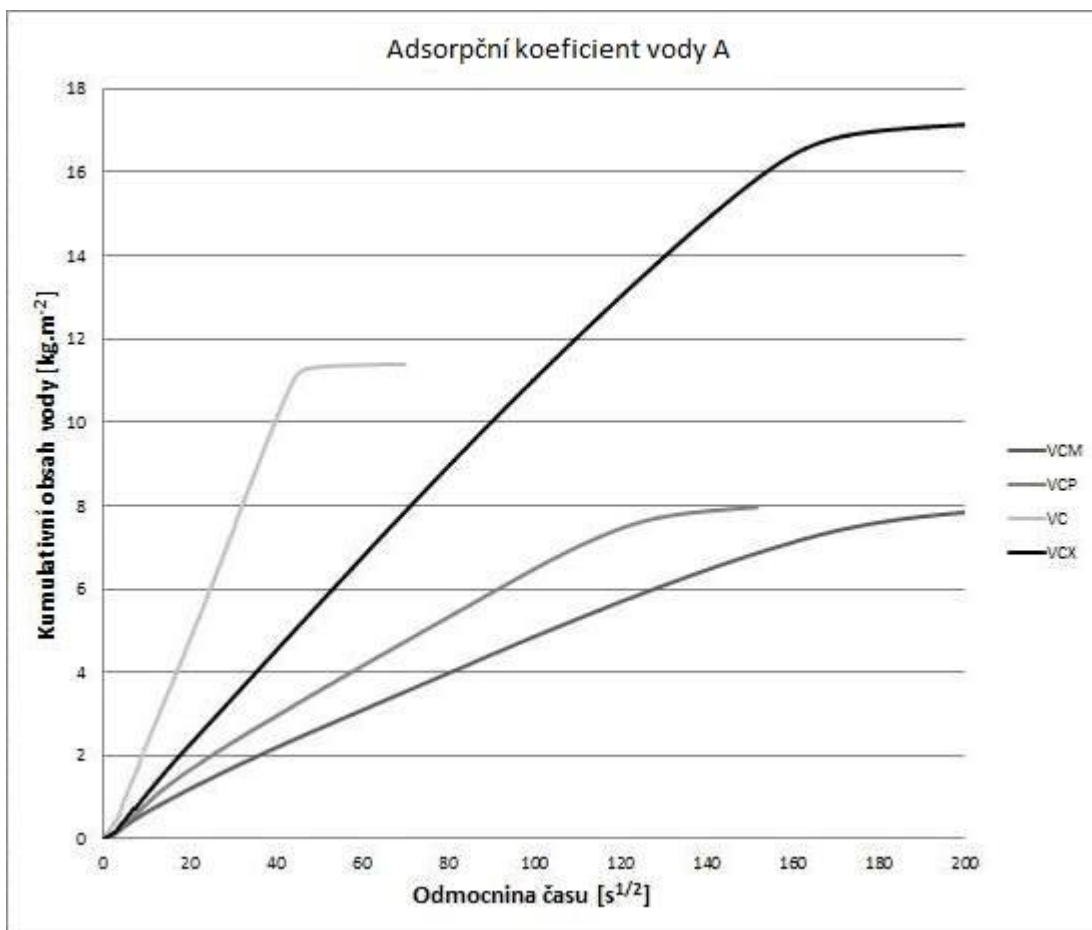
Tabulka 6. mrazuvzdornost											
	11 cyklů			15 cyklů			referenční			součinitel mrazuvzdornosti	
	OH	Rf	Rc	OH	Rf	Rc	OH	Rf	Rc	KM _{f25}	KM _{c25}
VC	1950	0,4	2,3	1930	0,3	1,9	1710	1,1	3,6	0,36	0,64
VCP	výdrž bez většího poškození			1930	2,9	12,4	1750	2,4	11,6	1,21	1,07
VCM				1950	2,6	12,3	1730	2,4	9,2	1,08	1,34
VCX				2030	5,6	17,8	1850	3,62	12,72	1,55	1,40



Graf 5.

Mrazuvzdornost opět ukázala výhodu použití vápno nahrazujících přísad, koeficient mrazuvzdornosti se u nich pohyboval od 1 do 1,55. Vápenocementová malta byla s koeficienty 0,36 a 0,64 téměř o polovinu horší. Malty s přísadami

Tabulka 7. vlhkostní vodivost kapa a absorpční koeficient vody A					
vzorek	l určeno z grafu	t určeno z grafu	absorpční koeficient vody A [kg.m ⁻² .s ^{-1/2}]	w [kg.m ⁻³]	κ [m ² .s ⁻¹]
VC	10,0402	40	0,2510	292,2	7,3796·10 ⁻⁷
VCP	5,98487	127,5931	0,0469	206,3	0,5171·10 ⁻⁷
VCM	5,9611	91,04937	0,0655	203,7	1,0330·10 ⁻⁷
VCX	16,006	153,964	0,1040	232,8	1,9950·10 ⁻⁷



Graf 6.

Adsorpční kvocient vody udává množství adsorbované vody za jednotku času. Nejrychleji adsorbuje referenční vápenocementová malta, Malty s přidanými příměsemi byly v tomto ohledu lepší a nepřijímaly vodu tak rychle. Nejlépe dopadl malplast. Druhým aspektem této zkoušky je však také množství neadsorbované vody, kde přísada power mix byla dvakrát horší, než směs s malplastem a dokonce i referenční směs tak byla v tomto ohledu lepší, než power mix.

4. Závěr

Cílem této práce bylo provést literární rešerši využití možných přísad, hlavně organického původu, které dokáží svými vlastnostmi nahradit ve vápenocementových omítkových maltách vápno. Na trhu je hned několik produktů, které částečně nebo úplně vápno nahrazují svými retenčními, provzdušňujícími a plastifikačními vlastnostmi. Výrobci si pečlivě hlídají výrobní

tajemství svých vápno nahrazujících produktů, avšak nejčastěji se používají směsi derivátů celulózy a tenzidů.

V praktické části byly porovnávány čtyři maltové směsi, tři vápenocementové, se sníženým podílem vápna a přidaným aditivem, a referenční vápenocementová malta. Zkoušeny byly pevnosti po 7 a 28 dnech, objemová hmotnost ve stejných intervalech, nasákavost, mrazuvzdornost a koeficient kapilární absorpce, všechny po 28 dnech.

Při zhotovování zkoušených maltových směsí, bylo již na první pohled patrné, že všechny tři zkoušené produkty dodávali čerstvé maltě plastické chovní, jaké je například vidět při používání plastifikátorů do betonových směsí.

Pokud bychom hledali nejlepší z těchto tří produktů, záleželo by na preferencích. Ve většině zkoušených vlastností byl nejlepším power mix, ten ale měl vysoký adsorpční koeficient a nehodil by se na vlhkostí namáhané omítky. V jeho prospěch by hrála i výsledná cena, jelikož jeho dávka byla 40x nižší, než u malplastu. Nejstabilnějšími výsledky se pak prezentoval malplast, který bych považoval za nejlepší kompromis mezi zkoušenými přísadami. Produkt polyfor byl ve většině případů výrazně lepší než referenční vzorek, ale nedosahoval kvalit prvních dvou produktů.

Výsledky mohou být ovlivněny vyšším obsahem cementu v maltách s přísadami. Patrné je to u stanovení mrazuvzdornosti malt, kdy u vzorků vystavených vodnímu prostředí docházelo, nehledě k mrazicím cyklům, ke zvyšování pevností v tahu za ohybu i v tlaku oproti referenčním vzorkům uloženým v suchém prostředí. Pro lepší zhodnocení vlivu vápno nahrazujících přísad na vlastnosti vápenocementových malt by bylo nutné získané výsledky srovnat s výsledky malt s konstantním obsahem cementu a snižující se dávkou vápna. Toto srovnání je plánováno do budoucna.

5 Seznam použité literatury

- [1] CHROUST, František, Ilja KVASNIČKA a Rajisa KVASNIČKOVÁ. Omítky. 2., upr. vyd. Praha: SNTL, 1959. Odborné příručky pro stavebnictví.
- [2] FRIDRICHOVÁ, Marcela, Karel DVOŘÁK a Rudolf FRIDRICH. Omítky. Brno: ERA group, 2004. Stavíme. Stavba. ISBN 80-7366-004-0.
- [3] Láník, Jaroslav - Cikrt, Miloš
Dvě tisíciletí vápenictví a cementárenství v českých zemích. Láník, Jaroslav - Cikrt, Miloš. Praha : Svaz výrobců cementu a vápna Čech, Moravy a Slezska, 2001. 204 s., fot. ISBN:-
- [4] SVOBODA, Luboš. Stavební hmoty [online]. 3. vydání. Praha: Jaga, 2013, 950 s. [cit. 15.2.2015]. ISBN 978-80-260-4972-2.
- [5] FRIDRICHOVÁ, Marcela, Karel DVOŘÁK, Dominik GAZDIČ a Iveta HÁJKOVÁ. BJ16 - Maltoviny: modul M02. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, 2014. Studijní opory pro studijní programy s prezenční formou studia. ISBN 978-80-214-4973-2.
- [6] www.anhydrit-podlahy.cz
- [7] ROVNANÍKOVÁ, P. Omítky. Praha: Společnost pro technologie ochrany památek, 2002. ISBN 80-86657-00-0. 89 s.
- [8] <https://cs.wikipedia.org/wiki/Om%C3%ADtka>
- [9] Marcela Fridrichová, FAST VUT Brno Veveří 331/95
602 00 Brno, emailová korespondence, 17.04.2015
- [10] http://147.33.74.135/knihy/uid_isbn-80-7080-617-6/pdf/077.pdf
- [11] KOMÁREK, Jaroslav, Miroslav ŠRÁMEK a Jaroslav MRÁZEK. Deriváty celulózy. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1966. Makromolekulární látky.

[12] HANUŠ Vít et al: *Vliv současných chemických příměsí a přísad na výsledné vlastnosti betonu*, Výstup grantu FRVŠ 1381/2012/G1, ČVUT Praha 2012, dostupné:FRVS_2012_prisady_primesi.pdf

6 Seznam obrázků

Obrázek 1. Schéma výroby cementu	7
Obrázek 2. Lis pro stanovení pevnosti v tahu za ohybu	21
Obrázek 3. Lis pro stanovení pevnosti v tahu za ohybu	22
Obrázek 4. Lis pro stanovení pevnosti v tlaku	23
Obr. 5 Vzorky umístěné v sušárně	24
Obr. 6 Vzorky uložené ve vodě	24
Obr. 7 Aparatura ke sledování kapilární vztlínivosti	26

7 Seznam grafů

Graf 1. Porovnání objemových hmotností	28
Graf 2. Porovnání pevností v tahu za ohybu	28
Graf 3. Porovnání pevností v tlaku	28
Graf 4. Porovnání nasákavosti vzorků	30
Graf 5. Porovnání mrazuvzdornosti	31
Graf 6. Porovnání koeficientu kapilární adsorpce	32

8 Seznam tabulek

Tabulka 1. Druhy vyráběných cementů na bázi portlandského slínku	8
Tabulka 2. Rozdělení písků dle zrnitosti	12
Tabulka 3. Dávkování surovin pro zkušební záměsi [g]	20

Tabulka 3. pevnost v tahu za ohybu, v tlaku a objemová hmotnost po 7 dnech	27
Tabulka 4. pevnost v tahu za ohybu, v tlaku a objemová hmotnost po 28 dnech	27
Tabulka 5. nasákavost po 28 dnech	29
Tabulka 6. mrazuvzdornost	30
Tabulka 7. vlhkostní vodivost kapa a adsorpční koeficient vody A	31

9 Seznam rovnic a vzorců

1. Chemická rovnice karbonatace vápence	4
2. Chemická rovnice karbonatace dolomitického vápence	4
3. Suché hašení vápna	5
4. Tuhnutí a tvrdnutí vápenného hydrátu.	5
5. Modul hydraulicity hydraulického vápna	5
6. Výpočet zrnitostní křivky dle Fullera	11
7. Výpočet zrnitostní křivky dle EMPA 2	11
8. Výpočet objemové hmotnosti	20
9. Výpočet pevnosti v tlaku za ohybu	21
10. Výpočet pevnosti v tlaku	22
11. Výpočet nasákavosti	24