

VŠB – Technická univerzita Ostrava  
Fakulta stavební  
Katedra stavebních hmot a diagnostiky staveb



Vlastnosti a použití vybraného sortimentu románských  
cementů

Properties and Applications of Selected Range of Roman  
Cements

Student:

Vojtěch Odstrčil

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Jana Daňková, Ph.D.

Ostrava 2017

VŠB - Technická univerzita Ostrava  
Fakulta stavební  
Katedra stavebních hmot a diagnostiky staveb

## Zadání bakalářské práce

Student: **Vojtěch Odstrčil**  
Studijní program: B3607 Stavební inženýrství  
Studijní obor: 3647R019 Stavební hmoty a diagnostika staveb  
Téma: **Vlastnosti a použití vybraného sortimentu románských cementů**  
**Properties and Applications of Selected Range of Roman Cements**  
Jazyk vypracování: čeština

### Zásady pro vypracování:

Románský cement je znovuobjevené historické stavivo, které je možno úspěšně aplikovat do různých stavebních konstrukcí. V současné době se v ČR nevyrábí, na trhu jsou k dispozici materiály vyráběné v EU. Cílem práce je ověření základních vlastností malt vyrobených z románského cementu od různých dodavatelů (ověření sortimentu). Vybrané vzorky malt budou testovány ve vztahu k jejich trvanlivosti.

Doporučená struktura práce:

1. Úvod.
2. Teoretická část: Literární rešerše, produkty a jejich technický popis.
3. Experimentální část: Laboratorní zkoušky.
4. Závěr.

### Seznam doporučené odborné literatury:

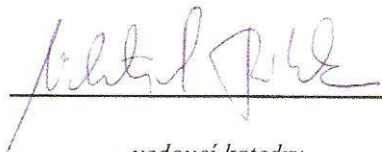
HOŠEK J. a LOSOS L.: *Historické omítky*. Praha: Grada Publishing a.s., 2007, s.167. ISBN 8024713950.  
Kolektiv autorů: *Románský cement - historie, vlastnosti a možnosti použití*. Zpravodaj STOP, svazek 13, č.4. Praha: STOP, 2011, s.60. ISSN 1212-4168.  
ČSN EN 196 Metody zkoušení cementu, sada norem v platném znění.  
ČSN EN 1015 Zkušební metody malt pro zdivo, sada norem v platném znění.  
a další odborné články, normy a technická dokumentace dle pokynů vedoucího práce.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Jana Daňková, Ph.D.**

Datum zadání: 31.10.2016

Datum odevzdání: 02.05.2017

  
vedoucí katedry



  
prof. Ing. Radim Čajka, CSc.  
děkan fakulty

### Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě ..... 6. 1. 2017 .....

.....  .....

podpis studenta

Prohlašuji:

- byl jsem seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- Souhlasím s tím, že údaje o bakalářské práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě ..... 6. 1. 2017 .....

## **Anotace**

Bakalářská práce se zabývá románským cementem jakožto znovu objeveným hydraulickým pojivem. V teoretické části je popsán vývoj a zpracování románských cementů. Dále je vysvětlen postup a princip zkoušek prováděných na zhotovených vzorcích. Praktická část se zabývá vyhodnocením zkušebních metod s důrazem na fyzikálně – mechanické vlastnosti a trvanlivost.

## **Klíčová slova**

Románský cement, hydraulické pojivo, malta, pevnost, mrazuvzdornost, nasákavost.

## **Annotation**

This thesis deals with roman cement as rediscover hydraulic binder. In the heoretical part is described the development and processing of Roman cement. The following text explains the proces and principle of tests conducted on samples. The practical part deals with the evaluation of test methods with the accent is on physical - mechanical properties and durability.

## **Keywords**

Roman cement, hydraulic binder, mortar, strength, frost resistance, water absorption.

# **Obsah**

1 Úvod.....	8
2 Teoretická část .....	9
2.1 Historie.....	9
2.2 Výroba Románského cementu .....	11
2.3 Metodika navrhování opravných malt .....	11
2.3.1 Štuková výzdoba.....	11
Požadavky při opravě štukových děl na památkově chráněných objektech.....	12
2.3.2 Průzkum a diagnostika malt.....	12
Materiálové složení.....	12
2.3.3 Metody pro zjištění materiálového složení.....	13
2.3.4 Návrh opravné malty .....	14
Vlastnosti doplňku .....	14
2.3.5 Postup při opravách malt .....	14
2.4 Popis testovaných materiálů .....	15
2.4.1 Prompt románský cement z Grenoblu od firmy Vicat.....	15
2.4.2 Hasit BELIT – Feinschlämme (jemná odlévací malta) .....	19
2.5 Porovnání produktů z hlediska nákladů.....	19
3 Praktická část .....	21
3.1 Chemický rozbor.....	21
3.2 Termická analýza.....	22
3.3 Stanovení množství vody v záměsi.....	24
3.3.1 Dávkování pojiva Vicat .....	25
3.4 Příprava a zkoušení vlastností čerstvé malty .....	26
3.5 Pevnost a objemová hmotnost zatvrdlých malt .....	28
3.5.1 Pevnost v tahu.....	29
3.5.2 Pevnost v tlaku.....	31
3.6 Modul pružnosti.....	34
3.7 Stanovení nasákavosti.....	35
3.8 Stanovení koeficientu kapilární absorpce vody .....	37
3.9 Odolnost proti povětrnostním vlivům.....	38
3.9.1 Mrazuvzdornost .....	39

3.9.2 Vliv venkovního prostředí .....	40
4 Závěr .....	43
5 Seznamy .....	44
Literatura.....	44
Technické normy .....	44
Internetové zdroje .....	45
Obrázky.....	46
Tabulky .....	46
6 Seznam příloh .....	48

# 1 Úvod

Jak již z názvu vyplývá, práce se zabývá porovnáváním sortimentu románských cementů na našem trhu.

Toto téma jsem si vybral, protože mě více zajímají historické budovy než novodobá výstavba, a jak se v průběhu práce dozvíme, románský cement se používá hlavně v restaurátorství. V praxi jsem se s touto problematikou nesešel, i když k restaurátorské činnosti mám blízko, a proto mě téma upoutalo a zajímá mě bližší využití románských cementů.

Bakalářská práce je rozdělena na dvě části. Teoretická část pojednává o historii románských cementů, jejich výrobě a použití. Nejčastější využití tohoto stavebního materiálu je v restaurátorské praxi, proto se blíže podíváme na metodiku těchto oprav. Část praktická je věnována zkoušení mechanických a fyzikálních. Laboratorními zkouškami bylo zjišťováno složení zkoušených materiálů.

V experimentální části práce jsou srovnány dva typy výrobků na bázi románského cementu, které jsou dostupné na našem trhu. Prvním typem výrobku je průmyslově vyráběná suchá maltová směs na bázi románského cementu, s deklarovaným složením a vlastnostmi. Druhým typem výrobku je malta, kde bylo jako pojivo použito románského cementu. Jednou z nejdůležitějších částí práce je návrh a ověření receptur malt, kdy byl použit přírodní románský cement jako jejich pojivová součást.

Práce ve svém závěru porovnává hodnoty vybraných fyzikálních a mechanických vlastností zkoušených výrobků. Avšak také upozorňuje na technologické aspekty při aplikaci románských cementů.



## 2 Teoretická část

### 2.1 Historie

Románský cement je specifické pojivo, o které se odborníci z řad restaurátorů, historiků a umělců v posledních letech začínají opět více zajímat. Jedná se o materiál s příznivými environmentálními charakteristikami. Výroba románského cementu je ekonomičtější, než výroba portlandského cementu. Nižší teploty výpalu znamenají menší spotřebu energie při výrobě. I přesto že byl vývojově překonán portlandským cementem, má neocenitelné vlastnosti, jako je malá smrštitelnost, dobrá trvanlivost a další.

Vývoj materiálů na bázi hydraulických pojiv můžeme sledovat již od roku 1000 před naším letopočtem. Fénicičané stavěli vodní cisterny, které dokládají dokonalou znalost malt a jejich propracovanost. Dalšími v řadě byli Římané. Poté hydraulická pojiva mírně upadají a velkého rozmachu se dočkají až v západní Evropě během 17. a 18. století za průmyslového rozvoje měst[1].

Románské cementy patří do skupiny přírodních hydraulických pojiv, které se začaly vyrábět v 19. století. Patentovat si ho nechal již v roce 1796 James Parker (proto je známý také jako Parkerův cement) a vyráběl se pálením vápence obsahujícího jíly z ostrova Sheppey v Anglii. Odtud tedy přízvisko přírodní. Velmi rychle se rozšířil po Evropě a dostal se také do USA. Úspěch tohoto materiálu spočíval hlavně v přirozeném složení, které lze člověkem jen těžko napodobit a dále byla výhodná krátká doba tuhnutí, bez potřeby hašení (asi 10 až 20 minut), vysoká odolnost a trvanlivost, což umožňovalo montáž prvků na fasády (Obrázek 1) a jeho barva, která dokonale imitovala vzhled kamene[2].



Obrázek 1: Příklad použití románského cementu pro realizaci omítek a dekoračních prvků fasád [16]

Navzdory označení románský (římský) jsou vlastnosti tohoto pojiva odlišné od původního používaného v antickém Římě, ale ve své době ho hodně připomínal. Největšího rozmachu dosahovalo jeho využití ve Francii, kde se ho ještě na začátku 20. století vyrábělo dvakrát více než jinde ve světě. Dodnes se stále jeho výroba zdokonaluje, ale název zůstává[1].

Na našem území se objevuje výroba románského cementu až v 70. letech 19. století. Na území Rakouska-Uherska však vznikaly první cementárny již v letech 40. První tak vznikla v roce 1842 v Tyrolsku a postupně se výroba rozšířila, až v monarchii působilo několik desítek cementáren a románský cement se tak stal nejoblíbenějším a nejpoužívanějším stavebním materiálem. Společenské poměry, průmyslová revoluce a období kapitalismu ke konci 19. století vytvořily pro naše země v rámci habsburské monarchie dominantní hospodářské postavení[1].

První cementárna u nás vznikla v Praze v roce 1871. Napomohl tomu nebývalý stavební rozvoj. Při budování městských center se hojně využíval styl bohatý na dekorativní prvky. Tento materiál tak doplňoval trojici – kamení, vápno a sádra. Splňoval tak požadavek rychlé a levné zdobnosti. V Polsku, od Krakova na jih až k Jaderskému moři se dokonce dokonale zachovala celá řada objektů provedených v technologii románského cementu[2].

Další velkou proměnou je kvalifikovaná pracovní síla. V českých zemích bylo stavebnictví pro většinu pracovníků pouze sezónní zaměstnání. Jen několik málo dílen se dokázalo uživit i přes zimní období. Odborníci z řad zedníků a štukatérů často mířili za lepším výdělkem do Dolních Rakous a Saska. Tato situace přiměla investory, zvednou mzdové náklady, aby přilákali kvalifikované pracovníky, navzdory probíhající hospodářské krizi[1].

Počátek 20. století románskému cementu nepřeje. Je vytlačován méně náročným portlandským cementem a také nástupem funkcionalistického stylu v architektuře, který preferuje tvarovou jednoduchost. Poslední továrna tak zaniká v roce 1945 v Tlumačově.

Unikátní vlastnosti románských cementů byly zjištěny teprve nedávno v rámci výzkumných projektů ROCEM a ROCARE financovaných z fondů EU. V dnešní době je proto využívají restaurátoři na obnovu architektury z 19. a 20. století, nejčastěji pro štukovou výzdobu a fasádní omítku[2].

## 2.2 Výroba Románského cementu

Surovinou pro výrobu románského cementu je vápenec. Ten by měl obsahovat 15-40 % jílových minerálů, které jsou bohaté na oxidy křemíku, hliníku a železa. Oxid železitý zapříčiňuje charakteristické a žádané zbarvení do okrové až červeno-hnědé barvy. Celkové složení suroviny před výpalem je totožné se směsí pro portlandský cement. Rozdíly se objevují, až při samotném výpalu. Portlandský cement se vypaluje na bod slinutí tj. cca 1400 °C. Kdežto teplota výpalu u románského cementu je v širokém pásmu 600-1200 °C a v žádném případě nejde na mez slinutí. Tím se zapříčiní i odlišné mineralogické složení suroviny po výpalu.

Hlavní fázi zde tvoří tvz. belit, dicalcium silikát přibližně 40-50 %. Hlinitanová složka je další velmi důležitá část, která především ovlivňuje rychlé počáteční tuhnutí. Kámen vzniklý po výpalu se mele na jemný prášek, který za přítomnosti vody velmi rychle tuhne[2].

## 2.3 Metodika navrhování opravných malt

V kapitole 2.3 je podrobněji zmíněna problematika štukatérských stavebních prací z toho důvodu, že románský cement byl a v současnosti opět je, vhodným materiálem pro realizaci těchto stavebních prací. Následuje popis, o jakou techniku se jedná, dále cíle dnešní památkové péče, přístup k porušené štukové výzdobě a hledání vhodného opravného materiálu a postupu.

### 2.3.1 Štuková výzdoba

Štuk stojí na pomezí tradičního sochařství, architektury a malířství. Dříve se pojmem štuk označovala lehce tvarovatelná hmota nebo jakýkoliv tmel. Největšího rozmachu dosáhlo štukatérství v renesanci, kde zcela vychází z antické tradice a již se jedná o dekorační techniku. Tato práce je výjimečnou technikou a materiálovým složením. Vychází z antické techniky bílého štku, která používá speciální bílá pojiva a plniva bez následné aplikace barevných povrchových úprav, čímž se liší od následujících období. K tomu se využívaly drtě krystalického vápence nebo mramoru. Z antiky vychází také nanášení štukové omítky. Buď se modelovaly přímo z ruky postupným vrstvením, nebo se modelovaly a lepily v kompozici navržené v prostoru. Další možností bylo vytlačování štku do forem, který se dále osazoval pomocí trnů a hřebů. V průběhu 16. století se štuk šíří pouze jako dekorativní technika z Itálie na sever.

Dnes štuk definujeme jako druh omítky, kterou je možno docílit rozmanitý účinek hmatový, tzn. plastický, strukturální a optický, tzn. barevná rovnováha, lesk [3].

## **Požadavky při opravě štukových děl na památkově chráněných objektech**

Nejdůležitějším požadavkem je samozřejmě zachování hodnoty památky. Je nutné shrnout a důkladně popsat prováděné opravy v širším kontextu hodnot památky. Každý objekt je jedinečný svým vzhledem, účelem a působením na okolí. Všechny tyto vlastnosti se musí odrazit v návrhu, aby související pojetí opravy bylo kompatibilní ve vztahu s originálem. Oprava by měla být šetrná, v případě špatného vlivu na stav by měl jít zásah v budoucnu odstranit. Nejprve je proto nutné stanovit vlastnosti originálu, popis jeho stavu, míru poškození a další charakteristiky. K tomu se přidává požadavek na funkčnost objektu, trvanlivost vzhledem ke klimatu a jiným vlivům, případně ochranná funkce památky.

Materiálové vlastnosti by se měly co nejvíce podobat originálu ve složení a v různých podmínkách. Tzn. je pozorována mikrostruktura, porozita, nasákavost vodou, pevnost, elasticita a teplotní roztažnost [3]. Dále se zohledňuje zpracovatelnost malty, aplikační podmínky, dosažení požadovaného výtvarného efektu a vliv podmínek na zrání. V situacích, které znemožňují použití jen tradičních materiálů, je sledován vývoj a použitelnost novodobých materiálů a důležitou součástí je i snaha přiblížení se k originálu v daném kontextu památky.

### **2.3.2 Průzkum a diagnostika malt**

K zjištění vlastností a důkladné charakteristice původních malt se používá stavebně technický průzkum s přispěním restaurátorského hlediska. Restaurátorský průzkum přináší informace o identifikaci originálu, míru poškození a nutnosti oprav a zařazení do kontextu stavebního vývoje objektu. Pro upřesnění se provádí detailnější přírodovědecký průzkum, který určí materiálové složení a fyzikálně-mechanické vlastnosti originální malty. Tento průzkum je však omezen možností odběru vzorků vzhledem ke stavu památky. Na základě těchto výsledků lze navrhnout možnou sanaci a složení opravné malty s příbuznými vlastnostmi.

### **Materiálové složení**

V charakteristice materiálového složení malty sledujeme hlavní i vedlejší složky, tzn. pojiva, kameniva i přísady. Pojivo a kamenivo jsou klíčové pro charakter

mikrostruktury a ukazuje také na přibližné množství vody. Přesné množství vody nelze určit, ale obecně platí, že vyšší obsah vody znamená menší pevnost a větší porozitu, což platí zejména u malt s vápenným pojivem. Vyšší obsah vody má negativní účinek na průběh tuhnutí a tvrdnutí. Typ pojiva a jeho množství zásadně utváří vlastnosti a chování malty.

U kameniva si všímáme také tvaru a hrubosti povrchu. Většina historických malt byla tradičně doplňována přísadami organického původu. K modifikaci malt se používaly látky na bázi polysacharidů, proteinů i lipidů (oleje) a jejich účinek byl ve zlepšení vlastností čerstvých malt. Ovlivňoval ale také vlastnosti zatvrdlých malt (skladbu pórů, nasákavost). Přidávání olejů mohlo být i nebezpečné, zvyšuje totiž porozitu a může docházet i k chemické reakci zmýdelnění, což negativně působí na pevnost v zatvrdlém stavu. Z přísad anorganického původu je známa sádra, která krátí dobu tuhnutí a vylepšuje zpracovatelnost. Další její přínos spočívá v menším smršťování malty a tím k redukci trhlin při tvrdnutí [3].

### **2.3.3 Metody pro zjištění materiálového složení**

Komplexní materiálovou charakteristiku historických štukových malt lze uskutečnit pomocí několika analytických technik. Zde uveďme některé z nich: mikroskopická analýza výbrusů vzorků, rentgenová difrakce, termická analýza, infračervená spektroskopie, síťový rozbor. Tyto techniky je nutné vzájemně kombinovat a vyhodnocovat.

#### **Mikroskopie vzorků malt**

Jedná se o optickou mikroskopii v nepolarizovaném i polarizovaném světle na vzorku. Vzorek musí být leštěný výbrus a může se použít pro všechny typy mikroskopických analýz. Tato metoda je schopna poskytnout detailní informaci o mineralogickém složení pojiva i kameniva a dokáže určit poměr a zastoupení jednotlivých složek malty. Lze sledovat i mikrostrukturu, pórovitost a identifikovat degradační produkty vzniklé korozí malty.

#### **Rentgenová difrakční analýza**

Používá se pro upřesnění výsledků z mikroskopických analýz a poskytuje informaci o mineralogickém složení malt. Vzorek se analyzuje ve formě prášku.

#### **Termická analýza**

V této analýze je nutné nejprve stanovit chemické složení vzorku. Používá se pro upřesnění receptury, protože dokáže identifikovat i slabě krystalické nebo amorfni fáze,

keré jiné metody nezachytí. Vzorek se analyzuje ve formě prášku nebo úlomku, jeho množství je velmi malé, a proto je nutné dbát na reprezentativnost vzorku.

### **Sítový rozbor**

Cílem této metody je určit granulometrii kameniva použitého v maltě. Analýza se provádí proséváním na sadě sít s velikostí vycházející z normy ČSN EN 1015-1 [6] a určuje velikost frakcí kameniva. Vzorek se analyzuje v sypkém stavu.

### **2.3.4 Návrh opravné malty**

Nejdůležitějším se jeví kompatibilita navrhované opravné malty s originálem, a to ve složení, vlastnostech a vzhledu, ale i trvanlivost a odolnost opravy v daných podmínkách. V případě moderní malty, ať už na bázi portlandských cementů či organických pojiv, se může vyskytnout problém související s jejich vlastnostmi, protože jsou často méně porézní a více pevné než původní stavební materiál.

### **Vlastnosti doplňku**

Opět platí, že by se měly vlastnosti co nejvíce blížit originálu. Větší důraz než na porozitu je kladen spíše na shodu v nasákavosti. Pevnost by se neměla lišit o více než 10 % a nutné je zařadit i požadavek na dobrou adhezi k podkladu, která má vliv na životnost. Modul pružnosti a elasticita, souvisí s pevností materiálu v tlaku, ale jako důležitější se jeví vlhkostní roztažnost, aby nedocházelo k vysychání. I přes tato všechna opatření, lze opravnou směs ve výsledku modifikovat v případě, že by jinak nevyhovovala typu aplikace, umělecko-řemeslnému zpracování nebo barvě. Samozřejmě je také nevhodné použít sádku nebo dolomitické vápno do exteriérových podmínek bez přihlédnutí na dané klima a atmosféru [3].

### **2.3.5 Postup při opravách malt**

Jednotlivé kroky opravy vycházejí z typu prováděné opravy, ze zpracování materiálu, dosažení aplikačních i zpracovatelských vlastností a lze je popsat v těchto bodech:

- Příprava malty, která odpovídá originálu, případně se vlastnostmi co nejvíce originálu přibližuje. Obsah vody je zatím jen orientační.
- Ověření aplikačních a zpracovatelských vlastností a na základě toho modifikace množství vody.

- Další úpravy receptury v případě použití moderních materiálů a malty, která neodpovídá zcela originálu.

- Opět provedení testů opravné směsi a srovnání doplňku s originálem, porovnání jeho kompatibility v dílčích charakteristikách.

Výše popsané postupy se v dnešní památkové péči běžně používají. Jsou zárukou správného postupu oprav štukových děl. Znovu objevené technologie románských cementů se velice hodí k restaurátorským činnostem.

## **2.4 Popis testovaných materiálů**

Tato práce se zabývá sortimentem dostupných románských cementů na našem trhu. Nabídka není nikterak široká, zaměříme se na srovnání dvou druhů. Jedním ze vzorků je románský cement Prompt od firmy Vicat ve formě pojiva, druhý vzorek Hasit BELIT – Feinschlämme je již suchá maltová směs. Při porovnávání obou testovaných materiálů musíme na tyto odlišnosti dávat pozor.

### **2.4.1 Prompt románský cement z Grenoblu od firmy Vicat**

Prompt přírodní cement z Grenoblu je skutečný románský cement, protože má všechny charakteristiky tohoto cementu [4]:

- Využití pouze jediné základní suroviny ve formě jílového vápence
- Výpal v peci při teplotě nižší než je teplota slinutí
- Pomalé ochlazení
- Snadné mletí
- Hydraulické vlastnosti
- Rychlé tuhnutí a tvrdnutí
- Žluto-hnědá barva

Kromě těchto vlastností je shoda i ve výrobě, jedná se o stále stejný postup, který již 150 let čerpá z historické tradice a to je nejlepší známka kvalitního výrobku. (viz příloha č. 2)

### **Chemické a mineralogické složení materiálů**

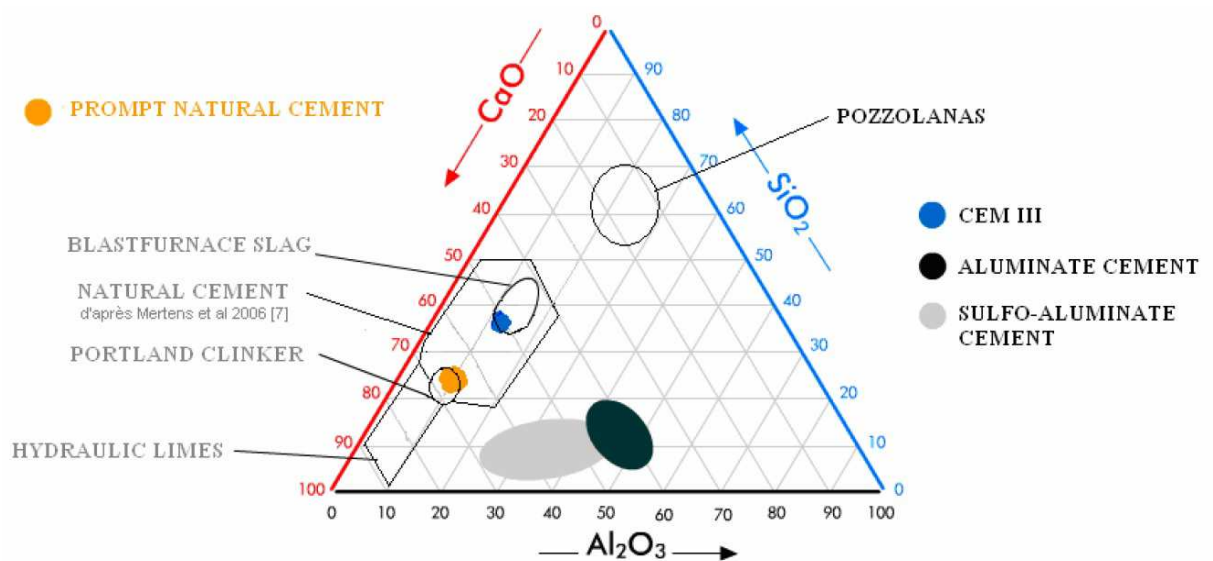
Vhodné složení Promptu přírodního cementu je výsledkem používání stále stejné suroviny pro výpal. Žíla této slinkové horniny se nachází ve spodní části křídového pohoří Chartreuského masivu (viz mapa v příloze č. 1). Tato žíla má výhodné konstantní chemické složení (Obrázek 2).

MP 975°C	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O
9.28 %	18.09 %	7.24 %	3.2 %	53.07 %	3.84 %	3.24 %	1.16 %	0.28 %

C <sub>3</sub> S	C <sub>2</sub> S	C <sub>3</sub> A	C <sub>4</sub> AF	C <sub>12</sub> A <sub>7</sub>	C <sub>4</sub> A <sub>3</sub> S	Periclase	Free lime	Calcite	Sulfates	Others, incl. amorphous phases
5 - 15 %	40 - 60 %	6 ± 2 %	9 ± 2 %	3 ± 1 %	3 ± 1 %	4 ± 1 %	2 ± 2 %	10 - 15 %	3 ± 1 %	10 - 15 %

Obrázek 2: Chemické složení horniny pro přípravu Promptu přírodního cementu [4]

Sedmdesát dva karbonátových fází (ze 78) se shoduje se surovinou pro přípravu Portlandského slinku. Proto při porovnání s dřívějšími románskými cementy má nižší podíl jílových fází a je relativně bohatý na CaO (Obrázek 3).



Obrázek 3: Fázový diagram s vyznačením zařazení Promptu přírodního cementu [4]

Originalita Promptu tedy není ve složení vstupní suroviny, ale spíše v nízké teplotě výpalu v širokém spektru teplot od 600 do 1200°C. Teplota 1200 °C je teplota o něco vyšší než u hydraulických malt. Výsledkem tohoto procesu je široký rozsah minerálů, které jsou úplně jiné než ty, které vznikají u moderních portlandských cementů, ale shodné s těmi, které vznikají u přírodních hydraulických malt, ačkoli s jiným poměrem složek.

Stručný scénář transformace suroviny při výpalu [4]:

- Část kamene neohřátá na teplotu potřebnou k transformaci se prostě zbaví vody.
- Další část kamene, která se transformuje, získá amorfni nebo krystalickou strukturu. Včetně aluminátů (Tetrakalcium aluminoforit  $C_4AF$ , Trikalcium aluminát  $C_3A$ , Dodekalkalcium hepta-aluminát  $C_{12}A_7$ , kalcium sulphoaluminát hydrát  $C_4A_3S$ ) zodpovědných za rychlé tuhnutí a počáteční pevnosti, a také silikátů v podobě belitu ( $C_2S$ ), který zvyšuje odolnost po několik měsíců.

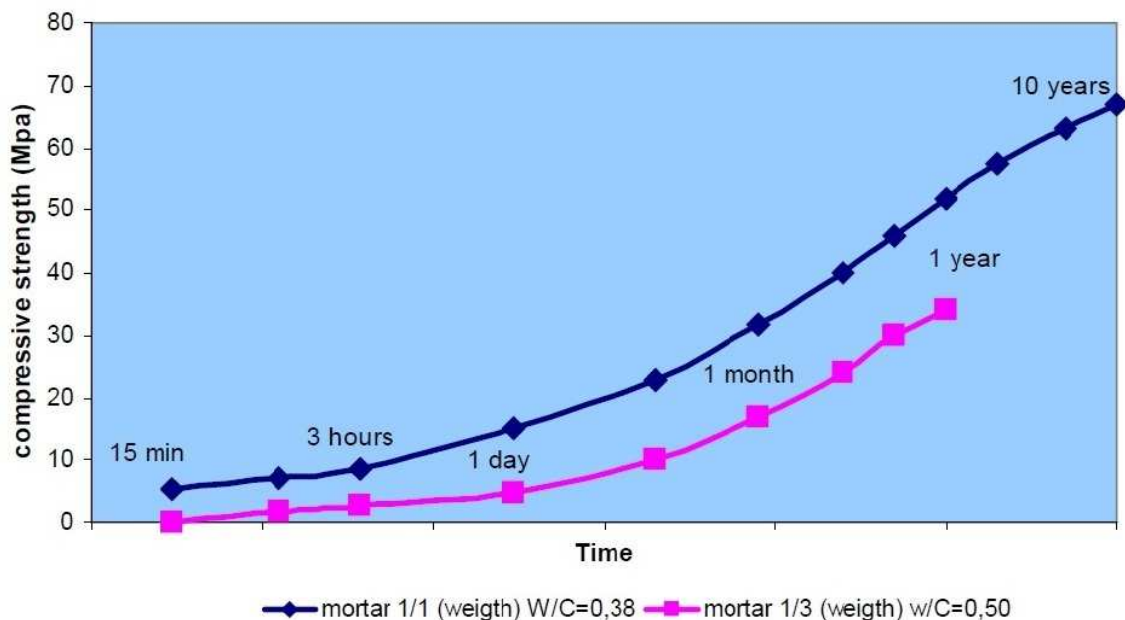


- Při částečném natavení vsázky vznikne i malá část alitu ( $C_3S$ ), protože tento minerál se začíná formovat kolem  $1200^{\circ}C$ . Jde jen o lokální místa, kde k tomuto natavování dochází. Tento silikátový minerál je velice známý z cementářské praxe pro svoje hydraulické vlastnosti. Výslednému produktu přidává další pevnost po několika týdnech.

Tento poslední bod je velice důležitý, protože lokálnímu natavování se nedá vyhnout při výpalu v peci. Minerály formované v kapalně fázi nesmí narušit přírodní cement při hydrataci. Například surový materiál bohatší na jílu bude formovat více aluminátových minerálů, jejichž hydratace vede k vážným problémům s trvanlivostí.

Toto spalování při nízké teplotě má jednoznačně nižší tepelnou bilanci v řádu o 70 % a emise  $CO_2$  z dekarbonizace o 80 % v porovnání s CEM I. Obě tyto skutečnosti jsou velice důležité při aplikování do ekologických staveb.

Hydratace probíhá tak, že první zreaguje aluminátová fáze, která je zodpovědná za rychlé tuhnutí (řádově 2 až 3 minuty) a za počáteční náběhy pevnosti. Když je belit hydratován začíná druhá fáze budování pevnosti, což může trvat i několik měsíců, jak je znázorněno na (Obrázek 4).



Obrázek 4: Budování pevnosti malt na bázi románského cementu PROMT [4]

## Malty na bázi románského cementu PROMT - Současný stav poznání

Studie starých románských cementů ukázala, že některé z nich byly bohaté na jemnozrnné kamenivo. Tyto malty měly určitou pevnost a velice dobrou odolnost. S cílem pochopit tuto výjimečnou trvanlivost, byly testovány jemné malty. Písek byl nahrazen jemně mletým vápencem, který má zrnitost porovnatelnou s cementem. Zpomalovač tuhnutí se používá v poměru 6 % z hmotnosti cementu. Tím se získá doba tuhnutí okolo 30 minut při teplotě 20°C. Absorpce, porosita a prostupnost pro vodní páry se měřily po šesti měsících uložení ve vlhkém prostředí následovaného sedmi dny sušící fáze při relativní vlhkosti 50 %. Podle předpokladů vyšly vysoké hodnoty pevnosti, modulu pružnosti a smršťování [4].

Kapilární absorpce vody po 3 a 24 hodinách byla nízká v porovnání s maltou s hrubší zrnitostí kameniva, ale překvapivě byly vyšší hodnoty absorpce vody do ustálené hmotnosti, kapilární absorpce a prostupnost pro vodní páry. To ukazuje velice zajímavé chování pro tenhle typ malty. Při zkoušce absorpce vody je nutné, aby byly vlhčeny všechny strany zkoušeného tělesa a to po dobu nejméně čtyř dnů pro dosažení vysokých hodnot. To znamená, že tato malta nebude náchylná na kratší smáčecí cykly (jako je několika hodinový déšť a podobně) a přitom si zachovává dobrou propustnost pro vodní páry. Toto jsou nezbytné vlastnosti pro fasádní použití a přispívají k vysoké trvanlivosti jemných malt na bázi přírodních románských cementů. Sloučením pevnosti a propustnosti dostaneme příhodné chování výsledného produktu, a když k tomu přidáme vysoký modul pružnosti, vysvětluje to časté použití pro tenkovrstvé štukování [4].

### **Použití Promtu přírodního cementu**

Podle charakteristik uvedených výše je jasné, že složení Promtu je blízké historickým maltám. Hlavním cílem je respektování požadavku na paropropustnost a s ní související dobrá odolnost proti vnějším vlivům. Historické stavby z cihelného zdiva mají a měly často problém s vlhkostí ve zdech, ale díky otevřené struktuře fasády se tato vlhkost dá odvádět ven ze stavby.

V 19. a na počátku 20. století se přírodní cementy používaly jako náhrada za kámen, při současném zajištění podobného efektu. Na fasády se připevňovaly odlévané kusové prvky nebo se štuková výzdoba vytvářela přímo na staveništi.

Pro zjednodušení použité terminologie bude v této práci dále přírodní cement a z něj vyrobená malta označena jako Vicat.

## 2.4.2 Hasit BELIT – Feinschlämme (jemná odlévací malta)

Druhým testovaným materiálem je jemná odlévací malta Hasit BELIT, která má tyto deklarované vlastnosti [5]:

- Rychle tuhnoucí
- Vysoká adheze na minerálních podkladech
- Malé smrštění
- Vysoká odolnost vůči sulfátovým a chloridovým solím v tuhém stavu
- Vysoká kapilární aktivita
- Mrazuvzdorný
- Vysoká odolnost proti povětrnostním vlivům

### Oblast použití:

Hasit BELIT se používá jako náhradní malta za historická románská vápna v památkové péči a v nové výstavbě. Je to jemná štuková stěrka, imitující kámen a hmota pro odlévání štukové výzdoby. Je vhodná například do silikonových forem nebo dvoudílných forem, či jako jemná štuková stěrka při výrobě fasádních profilů. Další použití je k částečnému nebo plošnému, vždy však k tenkovrstvému přeštukování malty BELIT Gussmörtel, sloužící pro odlévání do velkých odlévacích forem.

Název "BELIT" je odvozen od mineralogického označení pro kalcium-disilikát, základní pojící fázi všech hydraulických vápen. Pojivo používané u produktů BELIT, je vypalované při teplotě 1100°C v šachtových pecích a svým složením odpovídá historicky známému „románskému cementu“. Ten se používal kolem roku 1900 napříč Evropou a USA, pro práce na venkovní výzdobě (fasády, sochy a památky) [5].

Hlavní pojivové složky BELITu tvoří románský cement a přírodní hydraulická vápna. Plnivem je vápencová drť s kulatými zrny. Ve složení nenajdeme portlandský cement, organické podíly a dispersní pryskyřice. Jedinou přísadou je zpomalovač tuhnutí [5].

Pro zjednodušení použité terminologie bude dále v této práci označen jako Belit.

## 2.5 Porovnání produktů z hlediska nákladů

Další důležitou kapitolou je srovnání zkoušených materiálů z ekonomického hlediska. Budeme zde uvádět ceny, za které byly nakoupeny materiály pro potřeby mé

bakalářské práce. Vše uvedeno v Kč bez DPH a berme na vědomí, že při potřebě většího objemu materiálu je možné dosáhnout jiných nákupních podmínek.

V tabulce (Tabulka 1) jsou uvedeny ceny zakoupeného materiálu s přepočtem na jednotkovou cenu za kilogram. Tyto částky nejsou zcela objektivní pro porovnání výše nákladů pro jednotlivé výrobky. Belit je uveden s kompletní cenou (tedy není potřeba nic přidávat, jen vodu) a Vicat má více částí, které ovlivňují konečné výdaje. Velmi vysoká hodnota vychází u zpomalovače tuhnutí Tempo (přípravek na přírodní bázi, kyselina citronová), ale používá se ho 6 – 7 % z hmotnosti Vicatu, proto v konečné ceně není tou největší položkou.

**Tabulka 1: Porovnání cen zakoupených materiálů**

Produkt	Cena za balení	Množství v balení [kg]	Cena za kg
Belit Feinschlamm 0-0,04mm	1130,50	20	56,525
Románský cement - Vicat	824,75	25	32,99
Zpomalovač tuhnutí Tempo	39,00	0,08	487,5
Jemně mletý vápenec	44,25	30	1,475

Po přepočítání produktu Vicat na zkoušené záměsi tj.: 1:1 a 1:3 s jemně mletým vápencem dostaneme tyto hodnoty (Tabulka 2), z nichž jasně vidíme cenový rozdíl zkoušených materiálů.

**Tabulka 2: Přepočítané ceny**

Produkt	Cena za kg
Belit	56,53
Vicat 1:1	18,99
Vicat 1:3	10,23

Výsledky v tabulce nám ukazují, že Belit je v porovnání s Vicatem mnohem dražší, proto je jejich použití vždy závislé na rozsahu a okolnostech jednotlivých opravných prací.

## **3 Praktická část**

Experimentální část práce se zabývá praktickým srovnáním dvou materiálů, které splňují standardy románského cementu u nás na trhu, a které jsou vhodné pro restaurátorskou činnost. Cílem práce je ověření vlastností a jejich srovnání ve stejných podmínkách a prostředí. Postupovalo se podle českých harmonizovaných technických norem a předpisů k nim náležejícím. Ze zadání zejména podle ČSN EN 1015 Zkušební metody malt pro zdivo [6-13]. Další významnou částí je zájem o srovnání a porovnání vlastností připravených malt z hlediska trvanlivosti.

Hlavní postupy spočívaly v určení složení vstupních materiálů, zjištění mechanicko-fyzikálních vlastností, a to vše v laboratořích VŠB – TU Ostrava, FAST.

### **3.1 Chemický rozbor**

Chemický rozbor byl prováděn spektrometrickou metodou za pomoci přístroje Spektrometr Niton XL3T GOLDD (Obrázek 5). Tento přístroj funguje na principu rentgenofluorescenční analýzy (XRF).



**Obrázek 5: Spektrometr Niton XL3T GOLDD**

Rentgenová lampa vysílá gama záření dopadající na měřený vzorek, které vyvráží atomy elektronů a uvolňuje druhotné záření. Odražené záření se vrací zpět do přístroje, který je schopen změřit energii dopadajících elektronů a určit jejich množství. Díky výkonnému systému je schopen přesně vypočítat koncentrace jednotlivých prvků, protože pro každý prvek je typická určitá energie a tím i naměřené impulsy. Naměřené výsledky se ukládají do paměti přístroje a lze s nimi dále pracovat v PC viz (Tabulka 3).

**Tabulka 3: Procentuelní zastoupení prvků zkoušených malt**

Název	Fe	Ca	K	Al	Si	S	Mg
VICAT	1,797	39,88	0,92	5,429	8,134	1,826	1,791
BELIT	1,554	40,315	0,813	4,446	7,083	1,382	1,475

Naměřené hodnoty se stanovovaly na vzorcích odebraných přímo ze zakoupených balení. Belit je směs, tj. pojivo i plnivo, zatímco Vicat je pouze pojivo. Přesto vycházejí hodnoty s malými rozdíly, což může být způsobeno tím, že přístroj neukazuje hodnotu sloučenin, ale pouze základních prvků. Tabulka je pro nás v tomto případě jen orientační.

### **3.2 Termická analýza**

Termická analýza je metoda, při níž jsou analyzovány změny složení a vlastností studovaného materiálu při tepelném zatížení. Je to destruktivní zkouška, pro kterou stačí velice malé množství vzorku (miligramy až gramy). Při tepelném namáhání je sledována jeho hmotnost na citlivých mikrováhách. K měření byl použit přístroj SDT Q600 - diferenční skenovací kalorimetr (Obrázek 6).

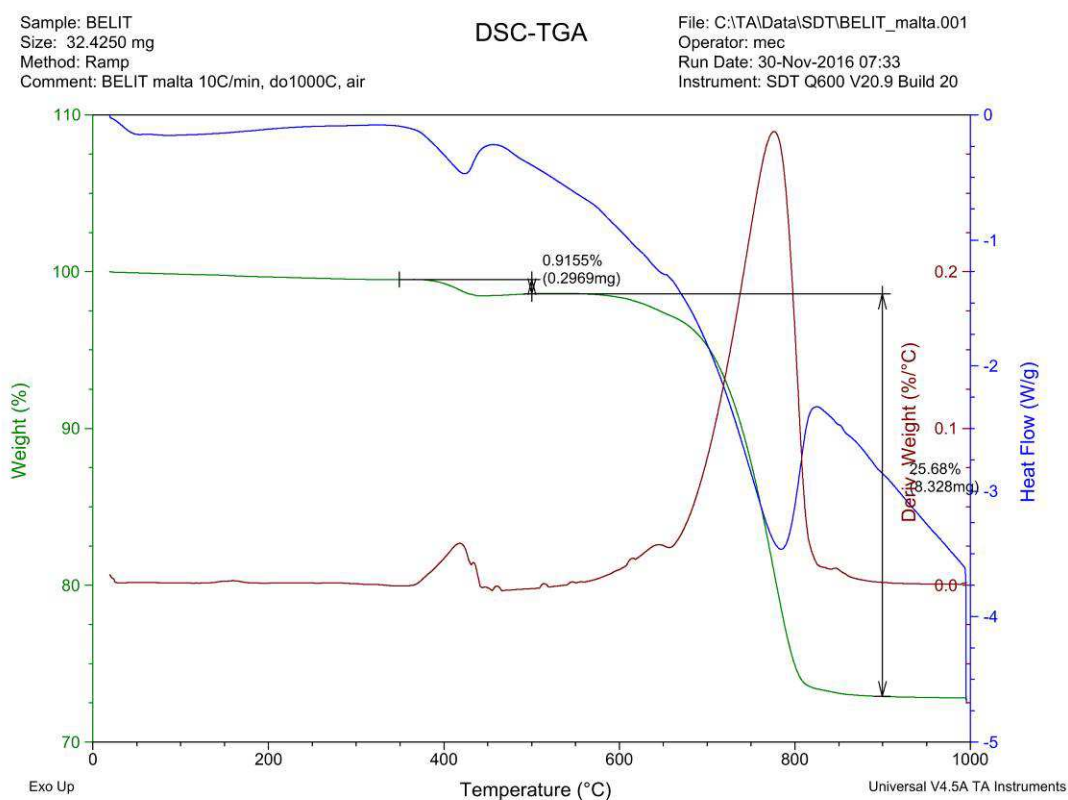


**Obrázek 6: SDT Q600 - diferenční skenovací kalorimetr**

Nejprve se vzorek umístí do korundových kelímků, poté se zahřívá 10°C za minutu (v našem případě měřeno do 1000°C), současně se tedy měří skutečná teplota a změna hmotnosti vzorku. Přístroj vyhodnotí měřená data, z kterých je možno usuzovat na jeho složení, obsah vlhkosti, obsah organické a anorganické hmoty.

Ze zkoušených vzorků byly získány dva grafy (viz Obrázek 7 a 8) se třemi křivkami, kde:

- TG křivka (zelená) určuje hmotnostní změny v závislosti na teplotě
- DTG křivka (červená) je derivací TG křivky, a proto je doplňující pro určení míry rychlosti změny v čase
- DSC křivka (modrá) vyjadřuje tepelný tok.

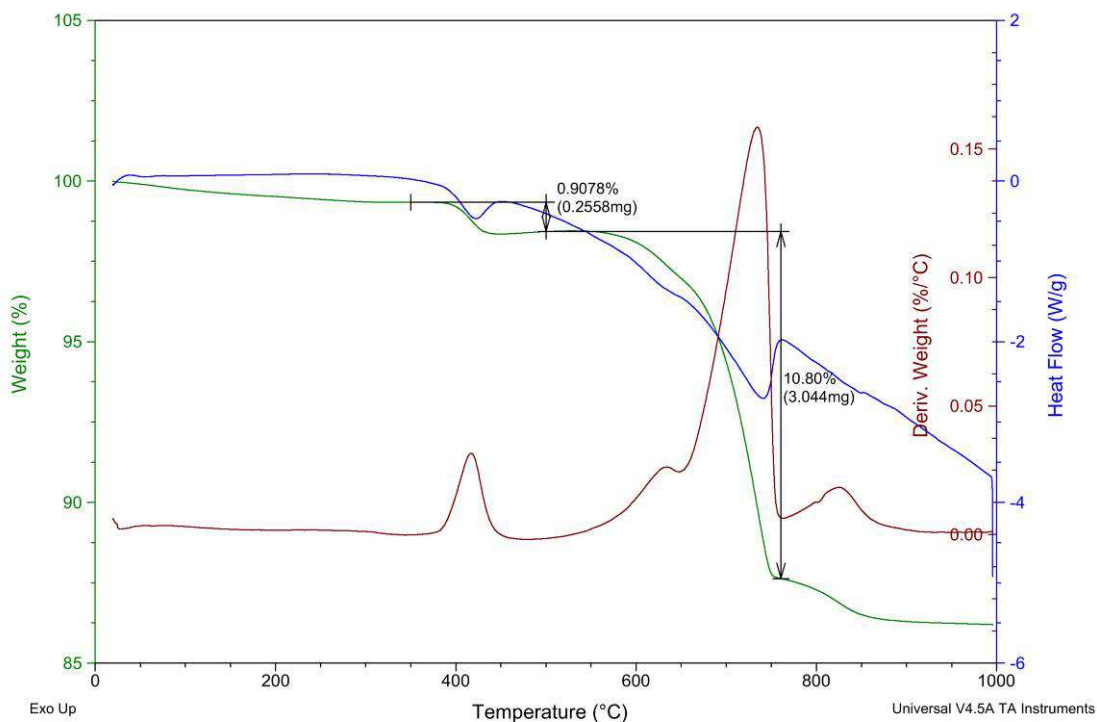


**Obrázek 7: Záznam z termální analýzy pro suchou směs Belit**

Sample: Vicat\_cem  
Size: 28.1790 mg  
Method: Ramp  
Comment: Vicat cement 10C/min, do1000C, air

### DSC-TGA

File: C:\TA\Data\SDT\Vicat\_cem.001  
Operator: mec  
Run Date: 20-Mar-2017 10:14  
Instrument: SDT Q600 V20.9 Build 20



Obrázek 8: Záznam z termální analýzy suchého pojiva Vicat

V grafech jsou vyznačeny úbytky hmotnosti při rozkladu hydroxidu vápenatého ( $Ca(OH)_2$ ) a uhličitanu vápenatého ( $CaCO_3$ ), což je nejvýraznější proces přeměny, který lze pozorovat. Oba vzorky jsou bohaté na tyto sloučeniny. U Belitu je vyšší rozklad vápence, čímž jsme si ověřili, že plnivem je jemně mletý vápenec, jak je uvedeno v technickém listě [5].

### 3.3 Stanovení množství vody v záměsi

Zkušební směsi byly vždy míchány společně, aby bylo dosaženo co nejpodobnějších podmínek a nedošlo k chybě vlivem prostředí (vlhkost, teplota).

V technických listech, před samotným mícháním, bylo zjištěno přibližné množství vody potřebné k přípravě zkušebních vzorků. Zkušební záměsi byly namíchány tak, aby výsledná konzistence určená na strásacím stolku [8] byla přibližně stejná.

Vzhledem k větší technologické náročnosti u míchání malty Vicat byla stanovena referenční záměs nejdříve na této maltě a k ní se později vytvořila záměs malty Belit o podobné konzistenci. Celkově se konzistenci snažíme dát na hodnotu v rozmezí 140 – 200 mm, což odpovídá plastické konzistenci dle ČSN EN 1015-6 [9].



### 3.3.1 Dávkování pojiva Vicat

Vzhledem k charakteru pojiva Vicat bylo prvním úkolem určit možnosti zpomalovače tuhnutí Tempo, který je potřebný u Románského cementu Vicat. Dávkování je uvedeno přímo na lahvičce zpomalovače, ale mírně se liší s hodnotami uvedenými v technickém listě. Namíchaly se zkušební záměsi, na kterých se pozorovalo chování malt a doba tuhnutí:

- Pozorované chování bez zpomalovače tuhnutí: záměs tuhne téměř okamžitě, je špatná zpracovatelnost a dochází k prudkému uvolnění tepla. Do pěti minut je vzorek absolutně tuhý, do deseti minut tvrdý.
- Dalším zkušebním vzorkem byl zpomalovač dávkovaný podle předpisu na lahvičce: záměs tuhne také rychle, objevují se zase vysoké teploty hydratace, ale netvrdne a uchovává si tuhou konzistenci, pastu lze i po 15 minutách znovu rozmíchat.
- Poslední záměs se zdvojnásobenou dávkou zpomalovače je o poznání tekutější, nechá-li se po míchání v klidu, tak rychle ztuhne stejně jako předešlých zkoušených záměsích.

Jako plnivo do směsi byl použit jemně mletý vápenec [17] z důvodu přiblížení se složení maltové směsi k maltě Belit, která obsahuje také toto plnivo. Dávkování a poměry pojiva a plniva byly voleny ve třech variantách 1:1, 1:2 a 1:3.

Po sedmi dnech od výroby zkušebních těles (viz podkapitola míchání) se provedla zkouška pevnosti v tahu i tlaku, aby se zjistila orientační pevnost (viz Tabulka 4). Takto se vyloučila záměs 1:2 z důvodu výrazně nižších pevností než u 1:1 a vyšší ekonomické náročnosti než je tomu u malty s poměrem 1:3, která měla přibližně stejnou pevnost.

Tabulka 4: Pevnost zkušebních malt po sedmi dnech

Název	Pevnost v tahu [MPa]	Pevnost v tlaku [MPa]
Belit	2,6	10,7
Vicat 1:3	0,9	3,2
Vicat 1:2	0,8	2,6
Vicat 1:1	1,3	7,4

### 3.4 Příprava a zkoušení vlastností čerstvé malty

Připravíme si všechny testované vzorky, vodu, přísady a příměsi. Po zjištění poměru vody se provede zkouška konzistence, obsahu vzduchu a objemová hmotnost čerstvé malty.

Jako první je nutné zjistit poměr přidané vody. Vodní součinitel je poměr vody a pojiva. Pro Vicat nebyl problém tento součinitel určit, protože je to suchá pojivová směs. Pro Belit to ovšem nejde, protože se jedná o připravenou směs (pojivo, plnivo, zpomalovač tuhnutí) s neznámým poměrem jednotlivých složek. Kvůli porovnání množství vody přidané do záměsí byly vzorky Vicat upraveny přidáním ostatních složek (viz tabulka 6).

Tabulka 5: Poměr vody potřebné k hydrataci připravených směsí

Název	Poměr: Voda/Směs
Belit	0,289
Vicat 1:1	0,299
Vicat 1:3	0,299

Suchou připravenou směs podle poměru nasypeme do vody a mícháme přibližně 120 s [7].

Na čerstvé maltě určíme konzistenci pomocí střešacího stolku dle normy ČSN EN 1015-3 [8] a to tak, že kovový kužel i stůl před zkouškou navlhčíme, umístíme kužel do středu stolku, plníme nadvakrát a každou vrstvu zhutníme deseti lehkými rázy dřevěného dusadla. Přebytečná malta se seřízne a očistí se případné zbytky na stolku. Kužel se opatrně zvedne a malta se začíná rozlévat, střešací stůl patnácti zdvihy a nárazy o konstantní síle vytvoří výsledný koláč, který se změří metrem ve dvou na sebe kolmých směrech. Tato zkouška se provádí dvakrát a výsledná hodnota je rovna průměru z těchto dvou hodnot.

Změření obsahu vzduchu se provádí v normované válcové nádobě s víkem opatřeným ventily a tlakoměrem (viz Obrázek 9) dle normy ČSN EN 1015-7 [10]. Nádoba se naplní ve čtyřech vrstvách a každá vrstva se zhutní deseti rázy dřevěného dusadla. Okraje a přebytečná malta se otrou, nasadí se víko a prostor pod víkem se naplní vodou. Po uzavření ventilů se nádoba natlakuje a otevře se vyrovnávací ventil. Tím získáme hodnotu na tlakoměru, kterou zaokrouhlíme 0,1 %. Zase provedeme dvě měření a výslednou hodnotu zprůměrujeme.



Obrázek 9: Nádoza pro stanovení obsahu vzduchu v čerstvé maltě

Objemová hmotnost čerstvé malty se stanoví pomocí měřicí nádoby o známé hmotnosti a objemu ( $m_1, V_v$ ) dle ČSN EN 1015-11 [11]. Ta se plní a zároveň vibruje na vibračním stolku do doby, než obsah přesahuje okraje nádoby. Přebytečné množství se seřízne špachtlí a celá nádoba se zvaží. Dostáváme hodnotu  $m_2$ . Každá záměs se zkouší dvakrát a výsledná objemová hmotnost /1/ se vypočítá jako průměr z těchto hodnot.

$$\rho_m = \frac{m_2 - m_1}{V_v} \text{ [kg/m}^3\text{]} \quad /1/$$

Naměřené výsledky z míchání jsou shrnuty v tabulce (Tabulka 6).

Tabulka 6: Souhrnné hodnoty zkoušek z míchání

Název	Konzistence [mm]	Obsah vzduchu [%]	Objemová hmotnost [kg/m <sup>3</sup> ]
Belit	183/184	5,0	1960
Vicat 1:1	183/180	3,8	1910
Vicat 1:3	178/175	3,5	1940

Mezi vzorky nejsou velké rozdíly, až na obsah vzduchu rozptýlený mezi póry malty, který je nejvyšší u Belitu.

Všechny výsledky zkoušek čerstvé malty vychází u porovnávaných záměsí velmi podobně, což bylo jedním z cílů této práce.

Příprava zkušebních těles probíhá ihned po dokončení předcházejících zkoušek. Čerstvá malta se ukládá do normovaných forem (Obrázek 10), předem vytřených

minerálním olejem, ve dvou vrstvách a ty se zhutní. Takto naplněné formy se překryjí skleněnou tabulkou a uloží se do vlhkostní komory (nebo do jiného prostředí podle typu zkoušky, ke které jsou určeny).



Obrázek 10: Forma pro zhotovení zkušebních těles

Malta Vicat vykazuje zvláštní chování. Při zdánlivě řídké konzistenci namíchané směsi (180/180), hmota rychle tuhne. Po pěti minutách od měření konzistence, je celá směs velice tvarovatelná (připomínající dětskou plastelínu), jak můžeme vidět na (Obrázku 11).



Obrázek 11: Ukázka plastických vlastností malty Vicat

### 3.5 Pevnost a objemová hmotnost zatvrdlých malt

Po uplynutí doby uložení se tělesa vyjmou z normou předepsaného prostředí a ihned se podrobují stanovení pevnosti v tahu a následně v tlaku dle ČSN EN 1015-11 [12].

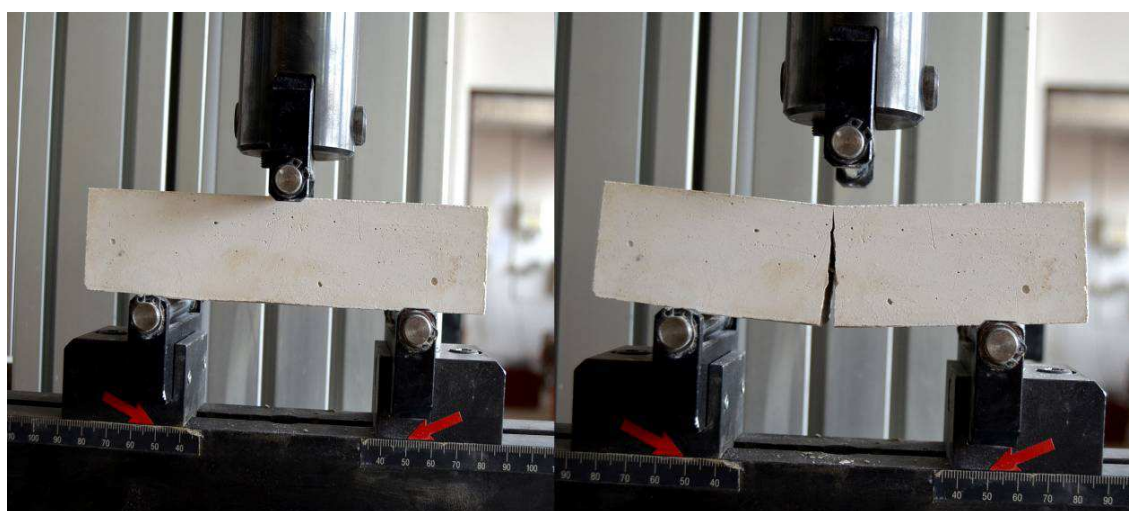
Na první pohled jsou velké rozdíly v barevnosti testovaných malt (Obrázek 12). Belit má výraznější okrovou barvu než je tomu u malt Vicat, které jsou spíše šedo-bílé. Makrostruktura je výrazně pórovitá u všech vzorků. Největší póry dosahují až dvou milimetrů v průměru.



Obrázek 12: Barevnost a makrostruktura zkoušených malt

### 3.5.1 Pevnost v tahu

Pevnost v tahu se určí na základě třibodového namáhání zkušebních vzorků do porušení dle ČSN EN 1015-11 [12]. Tělesa se upevní do lisu kolmo na směr plnění (Obrázek 13).



Obrázek 13: Usazení v lisu pro zkoušku pevnosti v tahu za ohybu

Lis vyvozuje konstantní rychlost zatížení a zaznamenává maximální sílu  $F$  [N]. Ze získaných sil dopočítáme pevnost v tahu za ohybu podle vzorce /2/. Výsledná hodnota je průměrem ze tří zkoušek pro každou záměs shrnuto v (Tabulka 7).

$$f = 1,5 \frac{F \cdot l}{b \cdot d^2} \text{ [MPa]} \quad /2/$$

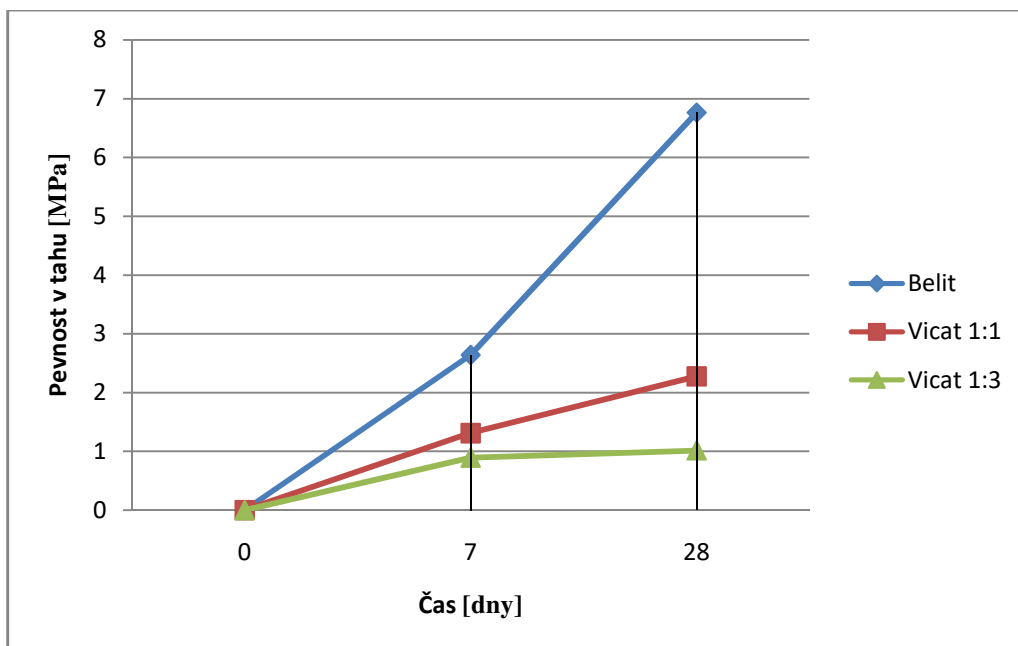
Kde:

- $l$  vzdálenost mezi podporami [mm]
- $b$  šířka zkušebního tělesa [mm]
- $d$  výška zkušebního tělesa [mm]

**Tabulka 7: Pevnost v tahu po 28 dnech**

Název	Síla v tahu [kN]	Pevnost v tahu [MPa]	Průměrná pevnost v tahu [MPa]
Belit	2,949	6,912	<b>6,8</b>
	2,676	6,272	
	3,027	7,095	
Vicat 1:3	0,396	0,928	<b>1,0</b>
	0,54	1,266	
	0,362	0,848	
Vicat 1:1	1,025	2,402	<b>2,3</b>
	1,200	2,813	
	0,686	1,608	

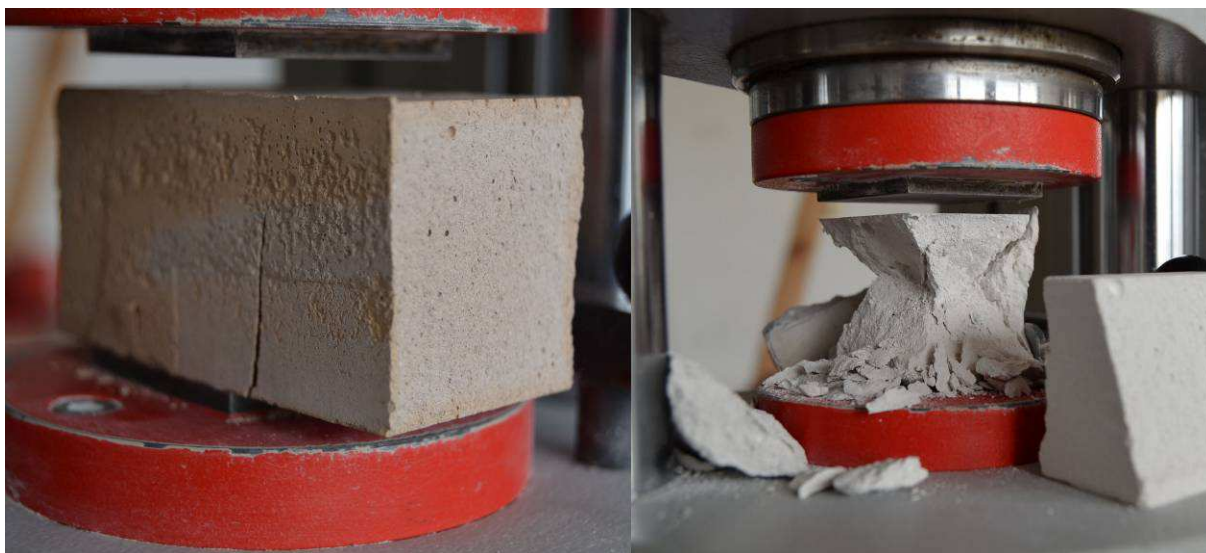
V následujícím grafu (Obrázek 14) je možno vidět výsledky provedené zkoušky v tahu za ohybu. Z porovnávaných vzorků vychází Belit nejlépe, zatímco u Vicatu 1:3 nemůžeme pozorovat žádné výrazné zvýšení pevnosti v čase.



Obrázek 14: Graf rostoucí pevnosti v tahu

### 3.5.2 Pevnost v tlaku

Pevnost v tlaku se provádí na vzniklých polovinách vzorků po zkoušce v tahu dle normy ČSN EN 1015-11 [12]. Každá polovina se vloží do lisu tak, že kolmo na směr plnění a na horní i spodní stranu se umístí čtvercové stykové destičky o délce strany 40 mm. Vyvozovaná rychlost lisu je konstantní a zatěžuje se do porušení vzorku (Obrázek 15).



Obrázek 15: Pevnost v tlaku ukázka rozdílného porušení vzorků vlevo Belit vpravo Vicat

Získaná maximální síla  $F$  [N] se zaznamená. Výpočtem podle vzorce /3/, získáváme pevnost v tlaku. Výsledná pevnost v tlaku se vypočítá jako průměrná hodnota z šesti měření (viz Tabulka 8).

$$f = \frac{F}{A} [MPa] \quad /3/$$

Kde:

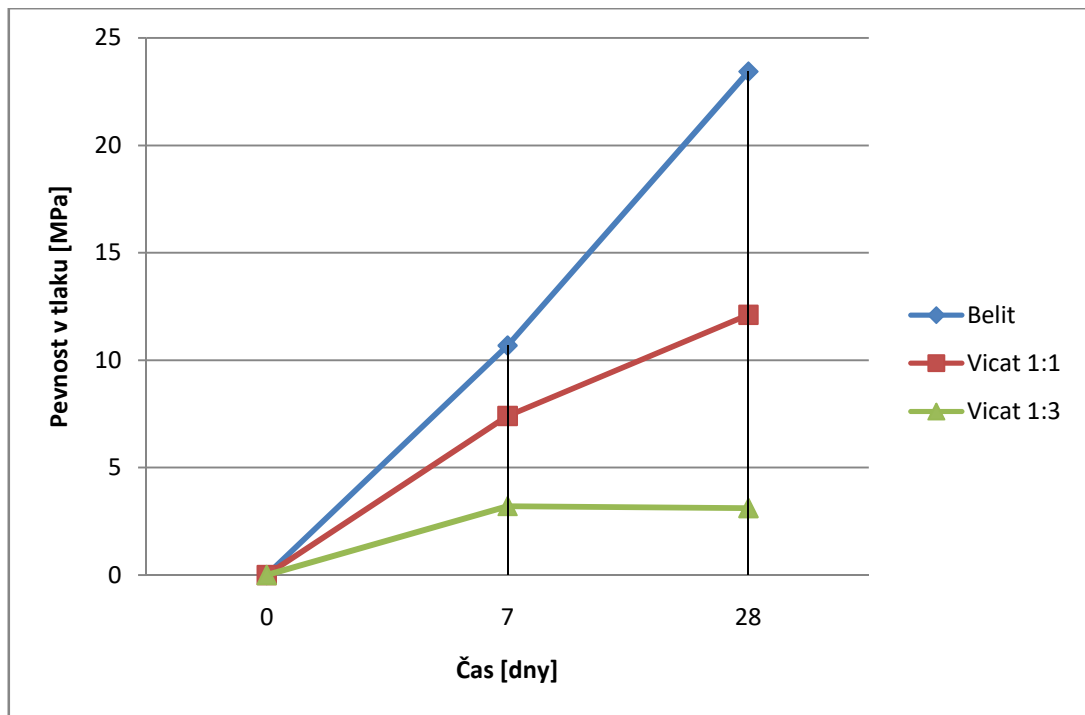
- $A$  je plocha zatěžování [ $mm^2$ ]

Tabulka 8: Pevnost v tlaku po 28 dnech

Název	Síla v tlaku [kN]	Pevnost v tlaku [MPa]	Průměrná pevnost v tlak [MPa]
Belit	35,130	21,956	<b>23,4</b>
	37,920	23,700	
	39,310	24,569	
	40,490	25,306	
	35,090	21,931	
	37,020	23,138	
Vicat 1:3	5,088	3,180	<b>3,1</b>
	4,891	3,057	
	5,140	3,213	
	5,213	3,258	
	4,812	3,008	
	4,765	2,978	
Vicat 1:1	18,980	11,863	<b>12,1</b>
	19,010	11,881	
	20,480	12,800	
	19,620	12,263	
	19,530	12,206	
	18,670	11,669	

Značné rozdíly v pevnosti v tlaku jsou více patrné na následujícím grafu (Obrázek16). Zajímavé je, že Vicat 1:3 nevykazuje téměř žádné zlepšení během doby zrání zatím co zbylé záměsi se chovají podle očekávání.





Obrázek 16: Graf vývoje pevnosti v tlaku v čase

Prostředí bylo voleno podle tabulky v ČSN EN 1015-11 [12], to je dva dny uložení ve formě v prostředí s relativní vlhkostí  $95 \pm 5 \%$  následné odformování a nechání dalších pět dní ve vlhkosní komoře. Na posledních 21 dní se vzorky přesunuly do prostředí s nižší vlhkostí ( $65 \pm 5 \%$ ).

V technické dokumentaci pojiva PROMT od firmy VICAT se píše, že růst pevnosti v čase je pomalejší, než u portlandských cementů. Uvádí přímo hodnotu 6 měsíců. Proto výsledky po 28 dnech nejsou příliš vypovídající, ale pro porovnání zkoumaných malt je to vhodné časové měřítko vycházející ze současných norem.

Stanovení objemové hmotnosti bylo provedeno na vzorcích po 28 dnech. S tím, že se jednotlivá tělesa změřila posuvným metrem a zvažila na laboratorních vahách. Ze získaných veličin byla dopočítána objemová hmotnost pro každou záměs na třech vzorcích. Výslednou hodnotu objemové hmotnosti stanovíme jako jejich průměr a zaokrouhlíme na  $10 \text{ kg/m}^3$ . Naměřené hodnoty a dopočítanou objemovou hmotnost po 28 dnech vidíme v (Tabulce 9). Je z ní patrné, že malty Vicat jsou téměř totožné a Belit se liší přibližně o  $200 \text{ kg/m}^3$ .

Tabulka 9: Naměřené hodnoty a objemová hmotnost po 28 dnech

Název	Hmotnost [g]	š [mm]	v [mm]	l [mm]	Obj. hmot. [kg/m <sup>3</sup> ]	Průměrná obj.hmot.[kg/m <sup>3</sup> ]
Belit	465,36	40,52	40,74	160,26	1759	<b>1760</b>
	469,34	41,22	40,96	160,10	1736	
	467,37	40,44	40,88	159,48	1773	
Vicat 1:3	407,89	40,10	40,82	160,86	1549	<b>1550</b>
	414,70	40,06	41,08	160,20	1573	
	404,28	39,98	41,22	160,98	1524	
Vicat 1:1	414,64	40,10	40,82	160,10	1582	<b>1560</b>
	414,99	40,06	41,08	161,20	1564	
	409,68	40,00	41,22	161,10	1542	

### 3.6 Modul pružnosti

Modul pružnosti je důležitá vlastnost pro stavební materiály. Jeho stanovení určuje, že na materiál s vyšším modulem pružnosti se při stejném zatížení projeví menší deformace. Moduly pružnosti se dělí podle způsobu měření na statický a dynamický.

Statický modul pružnosti se velice obtížně měří na malých vzorcích, jako jsou trámečky 40x40x160 mm, proto je provedena zkouška dynamického modulu pružnosti. Pro stanovení dynamických modulů pružnosti jsou využívány metody ultrazvuková a rezonanční. Námí zvolená ultrazvuková metoda přístrojem PROCEQ PUNDIT PL-200 spočívá v měření dynamického modulu pružnosti v podélném směru. Na zkušební vzorek se přiloží dvě sondy. Jedna vysílá ultrazvukový impuls a druhá funguje jako přijímač. Přístroj ze zadaných rozměrů a váhy je schopen dopočítat výsledný modul. Měření přineslo tyto výsledky (Tabulka 10):

Tabulka 10: Naměřené hodnoty dynamického modulu pružnosti ultrazvukovou metodou

Název	$E_{dyn}$ [GPa]
Belit	<b>10,5</b>
	<b>11,3</b>
	<b>11,8</b>
Vicat 1:1	<b>6,3</b>
	<b>6,3</b>
	<b>6,0</b>
Vicat 1:3	<b>2,8</b>
	<b>2,9</b>
	<b>3,2</b>

Modul pružnosti lze ovlivnit změnou vodního součinitele, množství plniva a pojiva, množství a druhů příměsí a přísad. Hodnoty v tabulce jsou značně orientační, nelze z nich vyvozovat žádné hlubší závěry. Nicméně s jistotou jde říci, že modul pružnosti je vyšší u malty Belit.

### 3.7 Stanovení nasákavosti

Stanovení nasákavosti dle normy ČSN EN 12808-5 [14]. Míchání zkušebních záměsí bylo provedeno podle ČSN EN 1015 [7] a popsáno (viz podkapitola míchání). Jediný výrazný rozdíl oproti předchozímu postupu při výrobě zkušebních těles je v ošetřování a ukládání připravených vzorků.

Označené formy se nedávají do vlhkostní skříně, ale nechávají se ve standardním prostředí o teplotě  $23 \pm 2$  °C a relativní vlhkosti vzduchu  $50 \pm 5$  %. Po uplynutí 24 hodin od míchání se vzorky opatrně vyjmou z formy a dále se nechávají 27 dní zrát ve stejných podmínkách, tj. s teplotou  $23 \pm 2$  °C a relativní vlhkostí vzduchu  $50 \pm 5$  %.

Další krok je utěsnění bočních stěn jednotlivých zkušebních těles, aby se staly pro vodu nepropustné. To se provádí 21 dní od přípravy a byla k tomuto účelu použita dvousložková epoxidová barva na beton (2K-EPOLOK LAS 2636 BE).

Po uplynutí doby uložení se tělesa zváží ( $m_d$ ) a vloží do připravené mělké nádrže s vodou vrchní stranou dolů. Pro zajištění lepšího kontaktu vody s povrchem se pod tělesa vloží distanční podložky (Obrázek 17). Výška hladiny se po celou dobu zkoušky udržuje 5 až 10 mm od spodního okraje zkušebních vzorků (podle potřeby se doplňuje).



Obrázek 17: Zkouška nasákavosti dle ČSN EN 12808-5

Při ponoření všech těles se spouští stopky a měří se 30 minut. To je doba, po které zkušební vzorky vyjmeme z vody, rychle se povrchově osuší a zváží. Tím dostáváme hodnotu hmotnosti  $m_{30}$ .

Vrátíme tělesa zpět do vody a měříme čas 210 minut. Výše popsany postup opakujeme ještě jednou, čímž dostaneme hodnotu  $m_{240}$ .

Výslednou nasákavost zkušebních vzorků po 30 a 240 minutách (v gramech) dostaneme prostým odečtením hodnot hmotností po a před zkouškou, jak ukazuje následující vztah /4/:

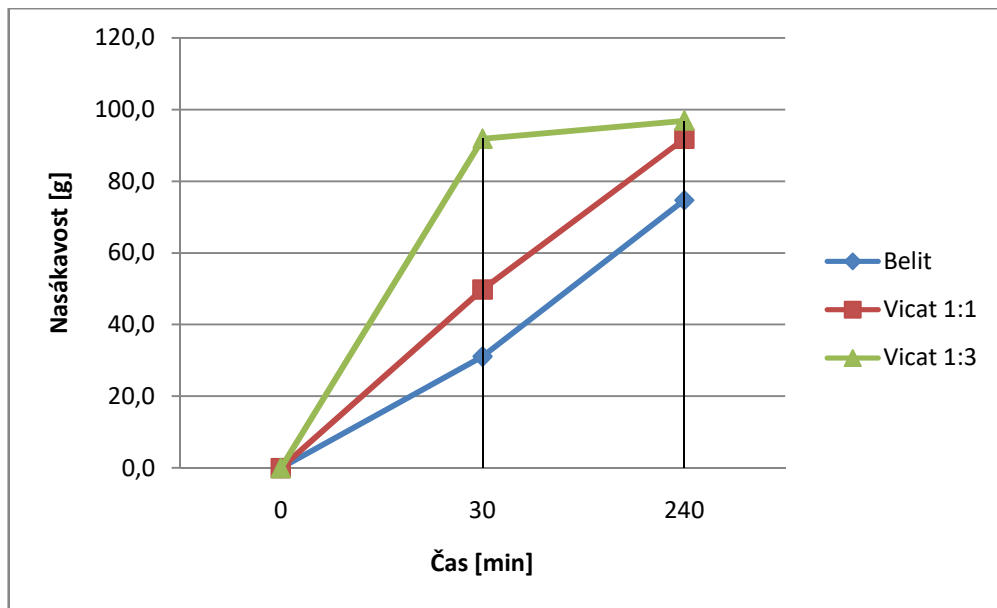
$$W_{m_t} = m_t - m_d \quad /4/$$

Z naměřených hodnot byl vypočítán průměr a vytvořena tabulka (Tabulka 11) ze třech zkoušených vzorků pro každou záměs.

**Tabulka 11: Výsledné hodnoty nasákavosti dle ČSN EN 12808-5**

Název	$W_{m_{30}}$ průměrná hodnota [g]	$W_{m_{240}}$ průměrná hodnota [g]
Belit	31,1	74,6
Vicat 1:1	49,8	91,8
Vicat 1:3	91,9	96,9

Vytvořený graf (Obrázek 18) ukazuje nasákavost v čase. Na něm je patrné, že Vicat 1:3 má výrazné počáteční nasáknutí. Vicat 1:1 má pomalejší náběh, ale nakonec se dostane k téměř stejné hodnotě. Belit vychází jako nejméně nasákavý, ať už rychlostí nasáknutí, tak i výslednou kapilární absorpcí viz další kapitola 3.8.



Obrázek 18: Graf vývoje nasákavosti v čase dle ČSN EN 12808-5

### 3.8 Stanovení koeficientu kapilární absorpce vody

Zkouška pro stanovení koeficientu kapilární absorpce vody v zatvrdlé maltě se provádí dle ČSN EN 1015-18 [13].

Příprava zkušebních vzorků probíhala stejně jako u ostatních zkoušek, viz kapitola z míchání. Zhotoveny byly tři trámečky pro každou záměs. Tělesa byla uložena ve vlhkostní skříni na sedm dní s relativní vlhkostí  $95 \pm 5 \%$ . Po dvou dnech od namíchání se vyjmuly z formy. Pro dokončení doby uložení se vzorky na 21 dnů umístily v prostředí s relativní vlhkostí  $65 \pm 5 \%$  a stálou teplotou  $20 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ . Na konci doby uložení je nutné utěsnit delší strany hranolů (byla použita epoxidová barva na beton 2K-EPOLOK LAS 2636 BE) a vzorky přelomit na dvě poloviny.

Před samotnou zkouškou se tělesa vysuší do ustálené hmotnosti. Vysoušení probíhá v sušárně při teplotě  $60 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$ . Hmotnost každého vzorku se zaznamená a tím získáme hodnoty  $M_0$  pro všech 18 vzorků.

Samotná zkouška spočívá v ponoření rozpůlených trámečků do vody. Mezi dno nádoby a tělesa se vloží distanční podložky. Výška vodní hladiny je 5 mm až 10 mm a po celou dobu zkoušky se udržuje stálá. Nádoba se přikryje kvůli zamezení odpařování již nasáklé vody z těles.

Takto uložené vzorky se po 24 hodinách vyjmou z misky, povrchově se otřou vlhkou tkaninou a zváží se  $M_3$ . Dalším krokem je zjištění hloubky průniku vody, proto se tělesa po délce rozlomí a změří se výška nasáklé vody.

Výpočet koeficientu kapilární absorpce se provede podle vzorce /5/:

$$C = 0,625 * (M_3 - M_0) [kg/m^2] \quad /5/$$

Vypočítané hodnoty (Tabulka 12) jsou si velice podobné. Po potřebném zaokrouhlení jsou téměř totožné. V technickém listě pro maltu Vicata se píše, že by tato hodnota měla být okolo  $6,88 \text{ kg/m}^2$  [4], tím pádem se nám naměřené hodnoty výrazně liší. Výrobce malty Belit uvádí benevolentnější hodnotu  $> 2 \text{ kg/m}^2$  [5] kam naše měření spadá. Tělesa po rozlomení byla plně nasáknutá vodou.

Tabulka 12: Výsledný koeficient kapilární absorpce vody dle ČSN EN 1015-18

Název	Cm [kg/m <sup>2</sup> ]
Cm Belit	<b>2,35</b>
Cm 1:1 Vicat	<b>2,95</b>
Cm 1:3 Vicat	<b>3,05</b>

### 3.9 Odolnost proti povětrnostním vlivům

Mrazuvzdornost je jedna ze základních trvanlivostních vlastností stavebních materiálů používaných ve vnějším prostředí. Fasádní prvky vyrobené z hydraulických malt, ať už z románského nebo jiného cementu, by měly mít alespoň částečnou odolnost vůči působení mrazu. V technických listech srovnávaných produktů není hodnota mrazuvzdornosti přesně stanovena. Mrazuvzdornost byla, jako základní trvanlivostní vlastnost, ověřena v souladu se zadáním bakalářské práce.

V této práci se k povětrnostním podmínkám, a s tím spojenou odolností proti mrazu, postavíme dvojím způsobem. Zprvce připravená tělesa po 28 dnech uložíme do mrazáku a budeme pozorovat jejich chování a vlastnosti dle ČSN 72 2452 Zkouška mrazuvzdornosti malty [15]. Zadruhé z každé záměsi dáme tři trámce po 7 dnech od míchání do venkovního prostředí. Snažíme se tímto způsobem simulovat práci v podmínkách staveniště v zimním a přechodném období zima – jaro bez dokonalého vytvrdnutí malty a v podmínkách, kdy je stavební dílo zcela vystaveno povětrnostním vlivům. Vzorky při tomto experimentu byly uloženy na místě exponovaném extrémními výkyvy teplot v tomto sledovaném období, totiž na jih, přibližně ve výšce 6 m nad terénem.

### 3.9.1 Mrazuvzdornost

Při zkoušce mrazuvzdornosti se vychází z české normy pro maltové směsi [15]. Mrazicí zařízení v laboratořích je nastaveno na 25 cyklů s tím, že jeden cyklus trvá 6 hodin. Zkoušená tělesa jsou ještě před zkouškou plně nasycena vodou.

Ochlazování probíhá po dobu cca 4 hodin na teplotu  $-17^{\circ}\text{C}$ . Ohřívání na  $+20^{\circ}\text{C}$  se provádí zaplavením mrazicího prostoru teplou vodou. Je to extrémní zatížení a byly předpokládány výrazné úbytky a poruchy v celistvosti zkoušených vzorků.

Řádně vyzrálá tělesa byla uložena po 28 dnech do mrazicího zařízení. Po uplynutí 25 cyklů byly vzorky vyjmuty ze zkušebního zařízení, výsledek viz (Obrázek 19):



Obrázek 19: Vzorky umístěné ve zkušebním zařízení po 25 cyklech

Vzorky Vicat 1:1 a 1:3 se rozpadly. Zkušební vzorky Belit byly poškozeny, avšak zachovaly si celistvost (viz Obr. 19 a 20).

Detailnější pohled odhalil mírné poškození jednoho vzorku Belitu (Obrázek 20) a z rozpadlých vzorků Vicatu se již těžce rozpoznával původní trámeček (Obrázek 21).



Obrázek 20: Detailní pohled na vzorek Belit po 25 mrazicích cyklech

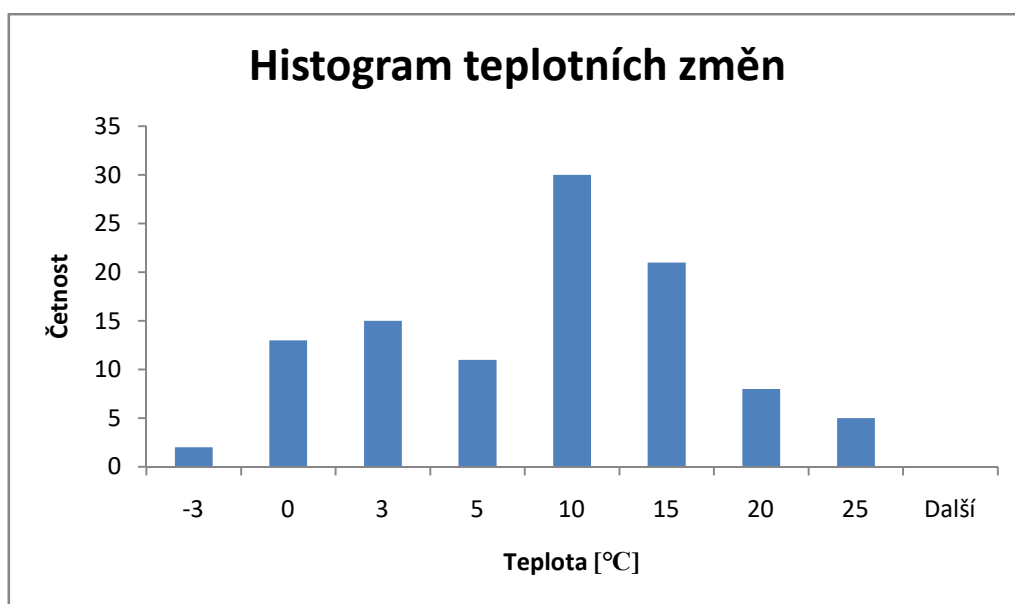


Obrázek 21: Detailní pohled na vzorek Vicat po 25 mrazících cyklech

Zkouška mrazuvzdornosti, podle současné normy [15] není příliš vypovídající pro tento materiál. Vzhledem k značné době dozrávání a nabývání vlastností.

### 3.9.2 Vliv venkovního prostředí

Vzorky byly uloženy po sedmi dnech zrání ve vlhkostní skříni do venkovního prostředí. Od 22. února do 12. dubna 2017 byly vystaveny přímým povětrnostním podmínkám. Nejnižší naměřená teplota tohoto období byla  $-4,1^{\circ}\text{C}$  a nejvyšší  $+23,6^{\circ}\text{C}$  [19]. Ze všech teplot byl vytvořen uvedený histogram (Obrázek 22).



Obrázek 22: Histogram teplot

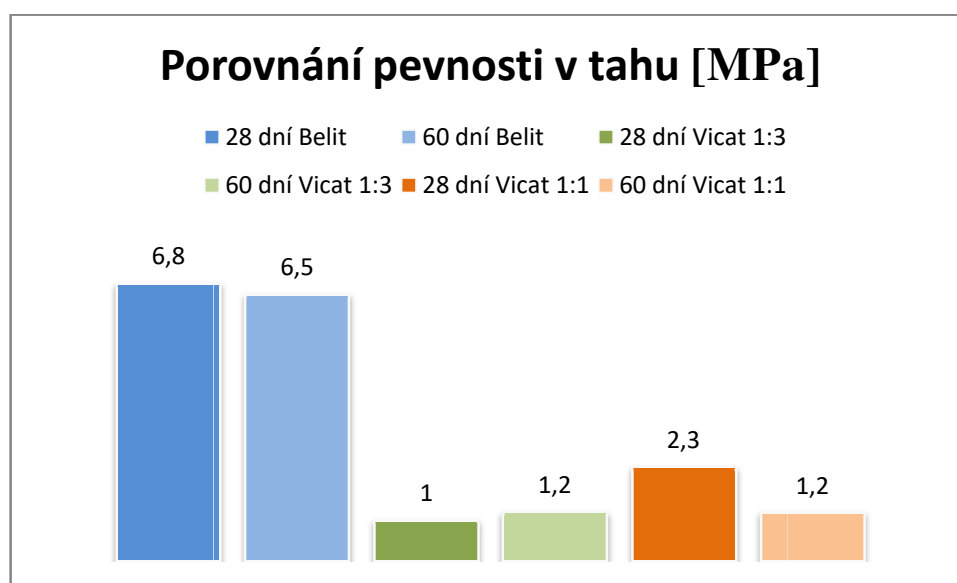
Po šedesáti dnech od namíchání a třiapadesáti dnech expozice, bylo všech devět vzorků podrobena zkoušce pevnosti v tahu a tlaku [12]. Průměrné hodnoty pevností jsou uvedeny v následující tabulce (Tabulka 13):



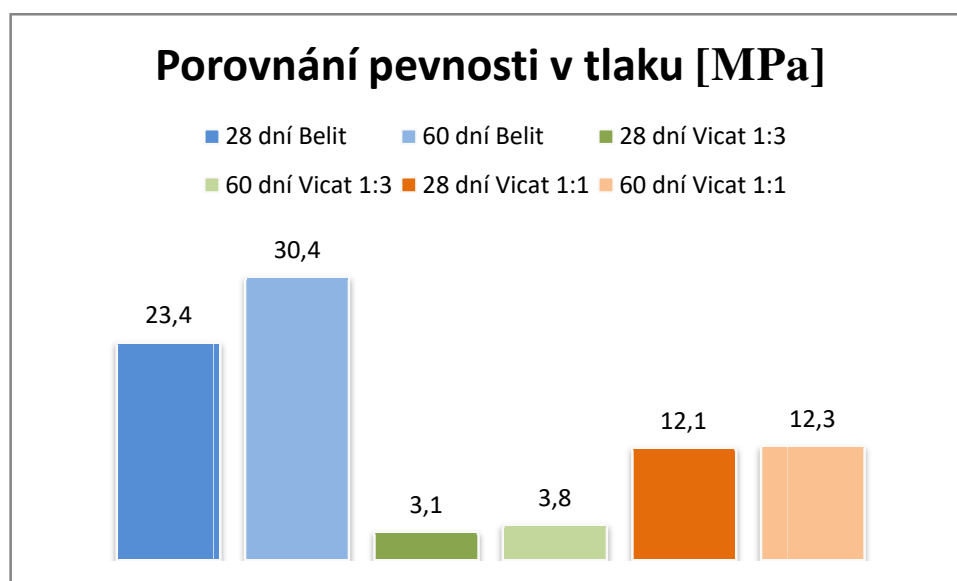
**Tabulka 13: Pevnost v tahu a tlaku po 60 dnech v nestandardním prostředí**

Název	Pevnost v tahu [MPa]	Pevnost v tlaku [MPa]
Belit	6,5	30,4
Vicat 1:3	1,2	3,8
Vicat 1:1	1,2	12,3

Zjištěné pevnosti byly porovnány s pevnostmi po 28 dnech v grafech (Obrázek 23 a 24), pro zjištění vlivu vnějšího prostředí na testované malty. Při vizuální prohlídce exponovaných vzorků nebyly zjištěny žádné defekty ve struktuře a celistvost zkušebních těles byla zachována.



**Obrázek 23: Porovnání pevnosti v tahu**



**Obrázek 24: Porovnání pevnosti v tlaku**

Z prvního grafu vyplývá, že delší doba hydratace ve vnějším prostředí nepřinesla zvýšení pevnosti v tahu, pouze u Vicatu 1:3 můžeme pozorovat nepatrné navýšení této hodnoty. A naopak u pevnosti v tlaku jsou všechny naměřené hodnoty po šedesáti dnech vyšší.

Tento pokus dokazuje, že pro zrání je důležitá vlhkost a teplota, která v zimě není dostatečná, proto se nedoporučuje práce s těmito materiály v nepříznivých vnějších podmínkách.

## **4 Závěr**

Bakalářská práce se zabývala srovnáním sortimentu pojiv a malt na bázi románských cementů.

Ze sortimentu byly vybrány dva vzorky, a to Prompt přírodní cement z Grenoblu od firmy Vicat a Belit Feinschlämme od firmy Hasit. Tyto dva testované vzorky byly postupně podrobeny chemické analýze složení a dále byly ověřovány jejich fyzikální a mechanické vlastnosti. Byly provedeny zkoušky trvanlivosti.

Příprava zkušebních těles byla realizována s důrazem na vzájemnou podobnost testovaných malt (použité plnivo a množství vody). Na čerstvé maltě se provedlo stanovení konzistence, objemové hmotnosti a obsahu vzduchu. Po ztvrdnutí vzorků zkušebních malt proběhla zkouška objemové hmotnosti, stanovení pevnosti v tahu za ohybu a v tlaku, nasákavosti, koeficientu kapilární absorpce, zkouška mrazuvzdornosti a byl stanoven dynamický modul pružnosti. Všechny výsledky byly zaznamenány v přehledných tabulkách a grafech.

Cílem práce bylo porovnat vlastnosti dvou vybraných stavebních materiálů, malt na bázi románského cementu. Materiál Belit Feinschlämme, od firmy Hasit vychází, dle provedených laboratorních zkoušek a experimentů jako materiál s lepšími hodnotami fyzikálně – mechanických vlastností a lepší trvanlivostí, než materiál z pojiva Prompt od firmy Vicat. Nedílnou součástí porovnávání testovaných výrobků bylo ekonomické hledisko, kde se jeví jednoznačně výhodnější variantou použití pojiva Prompt.

Testováním malt připravených z pojiva Prompt od firmy Vicat nebylo dosaženo takových hodnot sledovaných vlastností, jak je deklarováno v technické dokumentaci výrobce.

V současné době neexistuje zvláštní norma pro zkoušení vlastností malt a pojiv na bázi románského cementu. Běžně v praxi jsou na tyto stavební materiály aplikovány normy pro zkoušení cementů. Proto nemusí být tyto metody vždy zcela vypovídající a vyvstává otázka, jestli tato pojiva na bázi románského cementu nezařadit do samostatné skupiny stavebních výrobků nebo pro ně zkoušky alespoň upravit.

Výstupem této práce jsou informace, které mohou pomoci při opravách historických objektů, vybrat správný materiál a nedopustit se chyb ve výběru. Další využití této práce tedy spočívá v prohloubení znalostí o zkoumaných materiálech.

## **5 Seznamy**

### **Literatura**

[1] SEIDLEROVÁ, Irena a Jiří DOHNÁLEK. *Dějiny betonového stavitelství*. Praha: Informační centrum ČKAIT, 1999. ISBN 80-86364-01-1.

[2] KOLEKTIV AUTORŮ. *Románský cement - historie, vlastnosti a možnosti použití*. Praha: Společnost pro technologie ochrany památek, seminář STOP, 2011. ISSN 1212-4168.

Dostupné z: <http://www.rocare.eu/page/pdf/extern/Sbornik%20Romansky%20cement%20-%20historie,%20vlastnosti%20a%20moznosti%20pouziti.pdf>

[3] NOVOTNÝ, Jiří a KOLEKTIV. *Vybrané památkové postupy pro zkvalitnění péče o sochařské a stavební památky: Projekt NAKI DF11P01OVV027*. Univerzita Pardubice, Fakulta restaurování, 2015.

Dostupné z: <https://invenio.nusl.cz/record/203537/files/cert-met-01-text.pdf>

[4] *TECHNICAL SPECIFICATIONS: PROMPT NATURAL CEMENT THE ROMAN CEMENT OF GRENOBLE*. Grenoble: CENTRE TECHNIQUE LOUIS VICAT, 2007.

Dostupné z: [http://www.romanportland.net/files/doc/cahier\\_technique\\_cr\\_cnp\\_eng.pdf](http://www.romanportland.net/files/doc/cahier_technique_cr_cnp_eng.pdf)

[5] *Technický list HASIT Belit - Feinschlämme: Jemná odlévací malta*. 2015.

Dostupné

z:

[http://www.hasit.cz/var/fixitgruppe/storage/ilcatalogue/files/pdf/CZCS/Technick%C3%BD\\_list\\_HASIT\\_Belit\\_-](http://www.hasit.cz/var/fixitgruppe/storage/ilcatalogue/files/pdf/CZCS/Technick%C3%BD_list_HASIT_Belit_-)

[\\_Feinschl%C3%A4mme\\_Jemn%C3%A1\\_odl%C3%A9vac%C3%AD\\_malta\\_DC0026690.PDF](http://www.hasit.cz/var/fixitgruppe/storage/ilcatalogue/files/pdf/CZCS/Technick%C3%BD_list_HASIT_Belit_-Feinschl%C3%A4mme_Jemn%C3%A1_odl%C3%A9vac%C3%AD_malta_DC0026690.PDF)

### **Technické normy**

[6] ČSN EN 1015-1 (72 2400). *Zkušební metody malt pro zdivo - Část 1: Stanovení zrnitosti (sítovým rozbořem)*. Praha: Český normalizační institut, 1999.

[7] ČSN EN 1015-2 (72 2400). *Zkušební metody malt pro zdivo - Část 2: Odběr základních vzorků malt a příprava zkušebních malt*. Praha: Český normalizační institut, 1999.

- [8] ČSN EN 1015-3 (72 2400). *Zkušební metody malt pro zdivo - Část 3: Stanovení konzistence čerstvé malty (s použitím střešacího stolku)*. Praha: Český normalizační institut, 2000.
- [9] ČSN EN 1015-6 (72 2400). *Zkušební metody malt pro zdivo - Část 6: Stanovení objemové hmotnosti čerstvé malty*. Praha: Český normalizační institut, 1999.
- [10] ČSN EN 1015-7 (72 2400). *Zkušební metody malt pro zdivo - Část 7: Stanovení obsahu vzduchu v čerstvé maltě*. Praha: Český normalizační institut, 1999.
- [11] ČSN EN 1015-10 (72 2400). *Zkušební metody malt pro zdivo - Část 10: Stanovení objemové hmotnosti suché zatvrdlé malty*. Praha: Český normalizační institut, 2000.
- [12] ČSN EN 1015-11 (72 2400). *Zkušební metody malt pro zdivo - Část 11: Stanovení pevnosti zatvrdlých malt v tahu za ohybu a v tlaku*. Praha: Český normalizační institut, 2000.
- [13] ČSN EN 1015-18 (72 2400). *Zkušební metody malt pro zdivo - Část 18: Stanovení koeficientu kapilární absorpce vody v zatvrdlé maltě*. Praha: Český normalizační institut, 2003.
- [14] ČSN EN 12808-5 (72 2470). *Lepidla a spárovací malty pro keramické obkladové prvky - Část 5: Stanovení nasákavosti*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2009.
- [15] ČSN 72 2452. *Zkouška mrazuvzdornosti malt*. Praha: Český normalizační institut, 2005.

## **Internetové zdroje**

[16] *Katowice: Příklad použití románského cementu pro realizaci omítek a dekoračních prvků fasád* [online]. In: [cit. 2017-04-13].

Dostupné z: <http://www.remmers.cz/editor/filestore/Image/fachplanung/Katowice.jpg>

[17] *Vápenec velmi jemně mletý: VMV-15 / V* [online]. [cit. 2017-04-13].

Dostupné z: [http://www.kotouc.cz/produkt\\_vapenec.php?q=vapenec\\_mlety](http://www.kotouc.cz/produkt_vapenec.php?q=vapenec_mlety)

[18] *SDT Q600 Simultaneous Thermal Analyzer* [online]. In: . [cit. 2017-04-14].

Dostupné z: <http://media.labcompare.com/m/1/product/9818914-400x300.jpg>

[19] *Archiv počasí, klima České republiky* [online]. In: . [cit. 2017-04-14].  
Dostupné z: [http://www.in-pocasi.cz/archiv/archiv.php?historie=22-02-2017&stanice\\_kraj=6&klima\\_kraj=6](http://www.in-pocasi.cz/archiv/archiv.php?historie=22-02-2017&stanice_kraj=6&klima_kraj=6)

## Obrázky

Pokud není uvedeno jinak, autorem obrázků je Vojtěch Odstrčil.

Obrázek 1: Příklad použití románského cementu pro realizaci omítek a dekoračních prvků fasád [16] .....	9
Obrázek 2: Chemické složení horniny pro přípravu Promtu přírodního cementu [4] .....	16
Obrázek 3: Fázový diagram s vyznačením zařazení Promtu přírodního cementu [4] .....	16
Obrázek 4: Budování pevnosti malt na bázi románského cementu PROMT [4] .....	17
Obrázek 5: Spektrometr Niton XL3T GOLDD .....	21
Obrázek 6: SDT Q600 - diferenční skenovací kalorimetr .....	22
Obrázek 7: Záznam z termální analýzy pro suchou směs Belit .....	23
Obrázek 8: Záznam z termální analýzy suchého pojiva Vicat .....	24
Obrázek 9: Nádoba pro stanovení obsahu vzduchu v čerstvé maltě .....	27
Obrázek 10: Forma pro zhotovení zkušebních těles .....	28
Obrázek 11: Ukázka plastických vlastností malty Vicat .....	28
Obrázek 12: Barevnost a makrostruktura zkoušených malt .....	29
Obrázek 13: Usazení v lisu pro zkoušku pevnosti v tahu za ohybu .....	29
Obrázek 14: Graf rostoucí pevnosti v tahu .....	31
Obrázek 15: Pevnost v tlaku ukázka rozdílného porušení vzorků vlevo Belit vpravo Vicat .....	31
Obrázek 16: Graf vývoje pevnosti v tlaku v čase .....	33
Obrázek 17: Zkouška nasákavosti dle ČSN EN 12808-5 .....	35
Obrázek 18: Graf vývoje nasákavosti v čase dle ČSN EN 12808-5 .....	37
Obrázek 19: Vzorky umístěné ve zkušebním zařízení po 25 cyklech .....	39
Obrázek 20: Detailní pohled na vzorek Belit po 25 mrazících cyklech .....	39
Obrázek 21: Detailní pohled na vzorek Vicat po 25 mrazících cyklech .....	40
Obrázek 22: Histogram teplot .....	40
Obrázek 23: Porovnání pevnosti v tahu .....	41
Obrázek 24: Porovnání pevnosti v tlaku .....	41

## Tabulky

Tabulka 1: Porovnání cen zakoupených materiálů .....	20
Tabulka 2: Přepočítané ceny .....	20
Tabulka 3: Procentuelní zastoupení prvků zkoušených malt .....	22
Tabulka 4: Pevnost zkušebních malt po sedmi dnech .....	25
Tabulka 5: Poměr vody potřebné k hydrataci připravených směsí .....	26
Tabulka 6: Souhrnné hodnoty zkoušek z míchání .....	27

Tabulka 7: Pevnost v tahu po 28 dnech .....	30
Tabulka 8: Pevnost v tlaku po 28 dnech .....	32
Tabulka 9: Naměřené hodnoty a objemová hmotnost po 28 dnech.....	34
Tabulka 10: Naměřené hodnoty dynamického modulu pružnosti ultrazvukovou metodou	34
Tabulka 11: Výsledné hodnoty nasákavosti dle ČSN EN 12808-5 .....	36
Tabulka 12: Výsledný koeficient kapilární absorpce vody dle ČSN EN 1015-18 .....	38
Tabulka 13: Pevnost v tahu a tlaku po 60 dnech v nestandardním prostředí.....	41