



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV TECHNOLOGIE STAVEBNÍCH HMOT A DÍLCŮ

INSTITUTE OF TECHNOLOGY OF BUILDING MATERIALS AND COMPONENTS

**STUDIUM PŘÍPRAVY A VLASTNOSTÍ
HISTORICKÝCH OMÍTKOVÝCH SMĚSÍ**

STUDY OF PREPARATION AND PROPERTIES OF HISTORIC MORTARS

DIPLOMOVÁ PRÁCE

DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Jana Majerová

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

prof. Ing. MARCELA FRIDRICHOVÁ, CSc.

BRNO 2018



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	N3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu	Navazující magisterský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3607T020 Stavebně materiálové inženýrství
Pracoviště	Ústav technologie stavebních hmot a dílců

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Student	Bc. Jana Majerová
Název	Studium přípravy a vlastností historických omítkových směsí
Vedoucí práce	prof. Ing. Marcela Fridrichová, CSc.
Datum zadání	31. 3. 2017
Datum odevzdání	12. 1. 2018

V Brně dne 31. 3. 2017

prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA
Vedoucí ústavu

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

PODKLADY A LITERATURA

Online databáze SCOPUS, ELSEVIER, WEB OF SCIENCE.

České technické normy.

ROVNANÍKOVÁ, P. Termická analýza jako nástroj pro návrh složení historických malt a omítek. 2010. ISBN: 978-80-7395-259-4.

HOŠEK, J., LOSOS, L. Historické omítky, Granda Publishing, Praha, 2007, ISBN 978-80-247-1395-3.

SCHULZE, W., TISCHER, W., LACH, V., ETTTEL, P., Necementové malty a betony, SNTL, Praha, 1990.

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

Pro citlivou opravu historických památek je třeba respektovat i podmínky dodržení původních anebo velmi blízkých stavebních materiálů. Tato podmínka se nejvíce dotýká použitého pojiva pro omítky a zdící malty, z nichž je třeba vyloučit Portlandský cement jako typ moderní maltoviny. Za tímto účelem bude proveden:

- návrh hydraulického pojiva na bázi vzdušného vápna a vhodného pucolánu,
- sestavení základní receptury pro přípravu historické omítky a zdící malty,
- stanovení základních technologických vlastností,
- na základě dosažených vlastností provedení optimalizace receptury.

Rozsah práce cca 80 stran formátu A4 včetně příloh.

STRUKTURA 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).

prof. Ing. Marcela Fridrichová, CSc.
Vedoucí diplomové práce

ABSTRAKT

Diplomová práca sa zaoberá štúdiom prípravy a vlastnosťami historických omietok. V teoretickej časti je zhrnutý historický vývoj mált a ich surovinové zloženie. Experimentálna časť je zameraná na návrh receptúry historizujúcej malty. Práca nadväzuje na doterajší výskum prebiehajúci na ÚTHD FAST VUT v Brne, z ktorého pochádza referenčná receptúra historizujúcej malty. Tá je v experimente modifikovaná prídavkom sadry. V prvej etape experimentálnej časti sú posúdené základné technologické a orientačne aj aplikačné vlastnosti. Druhá etapa experimentu je zameraná na priebeh hydratácie spojiva v rôznych prostrediach a následné stanovenie fázového zloženia pomocou RTG – difrakčnej analýzy. Hlavným cieľom práce je stanovenie optimálneho množstva sadry a optimalizácia receptúry historizujúcej malty.

KLÚČOVÉ SLOVÁ

Historická omietka, metakaolín, vápno, sadra, puzolán, ettringit.

ABSTRACT

The diploma thesis is concerned with study of preparation and properties of historic mortars. In theoretical part, there is summarized the historic progress of mortars and their material composition. The experimental part is focused on proposition of mortar mixes. The diploma thesis referring to actual research on Institute of Technology of Building Materials and Components, FCE VUT in Brno. The base mix of historical mortar came from this research. In experiment, there is the base mix of historical mortar modified with gypsum. In the first phase of the experimental part the basic technological and application properties are assessed. The second phase of the experimental part is focused on the course of hydration of the binder in different environments and subsequent determination of the phase composition by X-ray diffraction analysis. The aim of the thesis is to determine the optimal amount of gypsum and to optimize the recipe of historical mortar.

KEY WORDS

Historic mortar, metakaolin, lime, gypsum, pozzolan, ettringite

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE VŠKP

Bc. Jana Majerová *Studium přípravy a vlastností historických omítkových směsí*. Brno, 2018. 78 s.
Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav technologie stavebních hmot
a dílců. Vedoucí práce prof. Ing. Marcela Fridrichová, CSc.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracoval(a) samostatně a že jsem uvedl(a) všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 11. 1. 2018

Bc. Jana Majerová
autor práce

POĎAKOVANIE

Ďakujem vedúcej práce prof. Ing. Marcele Fridrichovej, CSc. za jej cenné rady a odbornú pomoc pri spracovaní tejto práce. Ďalej by som sa chcela poďakovať Ing. Dominikovi Gazdičovi, Ph.D. za jeho pomoc pri realizovaní experimentálnej časti diplomovej práce, pracovníkom ÚTHD VUT FAST v Brne a pracovníkom centra AdMaS. V neposlednom rade ďakujem svojej rodine za podporu počas celého štúdia.

OBSAH

ÚVOD	10
1 Rozdelenie omietok	12
2 Požiadavky na omietky	13
3 Historické omietky	14
3.1 Historický vývoj omietok	14
3.2 Suroviny pre výrobu omietok	19
3.2.1 Spojivá	19
3.2.2 Plnivá	19
3.2.3 Prísady	19
3.2.4 Pigmenty	20
3.3 Historické omietky podľa použitého spojiva	21
3.3.1 Hlinené omietky	21
3.3.2 Vápenné malty	22
3.3.3 Malty s hydraulickým spojivom	23
3.3.4 Sadrové omietky	23
5 Cieľ práce	31
6 Metodika práce	31
7 POSTUP PRÁCE	32
7.1 Technologické vlastnosti mált	32
7.2 Aplikačné vlastnosti mált	33
7.3 Sledovanie hydratačného procesu spojív	33
7.4 POUŽITÉ SUROVINY A PRÍSTROJE	33
7.4.1 Suroviny	33
7.4.2 Prístroje	37
8 VYHODNOTENIE VÝSLEDKOV	38
8.1 Technologické vlastnosti mált	38
8.1.1 Návrh receptúr suchých maltových zmesí	38
8.1.2 Sypná hmotnosť a granulometrický rozbor suchej maltovej zmesi	38
8.1.3 Množstvo zámesovej vody	41
8.1.4 Objemová hmotnosť čerstvej malty	42

8.1.5	Objemová hmotnosť a pevnosti zatvrdnutej malty	43
8.2	Aplikačné vlastnosti.....	45
8.3	Sledovanie hydratačného procesu spojív.....	47
8.3.1	Prostredie L/20.....	67
8.3.2	Prostredie C/5.....	67
8.3.3	Prostredie C/40	67
8.3.4	Prostredie V/5.....	68
8.3.5	Prostredie V/40	68
9	Diskusia výsledkov	69
	ZÁVER.....	70
	ZOZNAM POUŽITEJ LITERATÚRY.....	71
	ZOZNAM OBRÁZKOV	75
	ZOZNAM TABULIEK.....	78

ÚVOD

Neodmysliteľnou súčasťou stavieb sú omietky, ktoré nielen chránia konštrukciu pred atmosférickými vplyvmi, ale majú aj estetickú a historickú funkciu. Preto je vhodné zvoliť citlivý prístup k oprave historických stavieb a pamiatok, ktorý by sa mal riadiť pravidlami stanovenými v Benátskej charte z roku 1964. Medzi týmito pravidlami je zahrnutá aj starostlivosť, konzervácia a oprava historických omietok. Pri príprave nových historizujúcich omietok je potrebné dbať na to, aby boli používané materiály, ktoré sa svojimi vlastnosťami čo najviac podobajú tým pôvodným. To znamená, že v prípade historických stavieb je nutné vylúčiť portlandský cement, ktorý je považovaný za modernú maltovinu. Priblížiť sa pôvodnému zloženiu historickej malty nie je jednoduché, pretože postupom času a vývojom zanikli mnohé technologické postupy používané v minulosti. Taktiež suroviny maltových zmesí sú odlišné ako v minulosti.

Znakom dnešnej doby je aj veľmi rýchly vývoj a snaha o obmedzenie mokrých procesov na stavbách. Z tohto dôvodu sa investuje aj do výskumu výroby univerzálnych priemyselne vyrábaných maltových zmesí vhodných pre použitie pri oprave historických mált a omietok, čo je cieľom aj tejto práce.

V teoretickej časti diplomovej práce je stručne zhrnutý historický vývoj omietok, prehľad surovín používaných pri výrobe omietok, súčasný stav výskumu v oblasti historických omietok a prehľad niektorých vybraných suchých maltových zmesí určených na prípravu omietok historických stavieb, dostupných na našom trhu.

Experimentálna časť práce je zameraná na prípravu univerzálnej historizujúcej maltovej zmesi, založenej na vápennom hydráte a metakaolíne, modifikovanej sadrou. Za referenčnú zmes bola zvolená zmes z predchádzajúceho výskumu prebiehajúceho na ÚTHD FAST VUT v Brne. V prvej etape experimentálnej časti práce budú navrhnuté rôzne receptúry, v ktorých bude časť referenčnej zmesi nahradená sadrou. Bude sledovaný vplyv prídavku sadry na niektoré vybrané technologické a aplikačné vlastnosti historizujúcej malty. V druhej etape experimentálnej časti diplomovej práce budú sledované hydratačné procesy spojiva v rôznych prostrediach, budú realizované odbery v priebehu hydratácie a ich analýza pomocou RTG difrakčnej analýzy. Tým bude možné

zistiť fázové zloženie vzoriek a na základe toho predpokladať správanie spojiva v dlhodobom časovom horizonte a určiť optimálnu dávku sadry.

V závere budú zhrnuté dosiahnuté výsledky a optimalizovaná navrhnutá receptúra historizujúcej maltovej zmesi.

I. TEORETICKÁ ČASŤ

Omietka je jedným z najstarších druhov povrchovej úpravy stien. Jedná sa o vrchnú kryciu vrstvu konštrukcie, ktorá vytvára hladký povrch, zlepšuje technické vlastnosti konštrukcie, jej odolnosť voči pôsobeniu vlhkosti a má tiež estetickú funkciu. Ďalšími funkciami omietok je ochrana konštrukcie proti oderu, proti pôsobeniu biologických vplyvov, omietka tiež dopĺňa tepelne izolačné vlastnosti konštrukcie a v neposlednom rade dotvára celkový vzhľad konštrukcie. V prípade exteriérových omietok je dôležitá aj funkcia ochrany pred pôsobením klimatických faktorov. Materiálom pre omietanie je malta, ktorá sa väčšinou skladá z plniva, jedného alebo viacerých druhov spojiva, prípadne potrebných prísad a prímiesí. Omietky môžu byť jednovrstvové, alebo viacvrstvové, interiérové alebo exteriérové.

1 Rozdelenie omietok

Omietky je možné rozdeliť podľa rôznych kritérií. Norma ČSN EN 998-1[12] rozdeľuje malty pre vnútorné/vonkajšie omietky takto:

Podľa zámeru výroby:

- Návrhové malty podľa voľby výrobcu
- Predpisové malty

Podľa spôsobu výroby:

- Priemyselne vyrábané malty
- Malty čiastočne pripravené priemyselne
- Malty pripravené na stavbe

Podľa vlastností a/alebo použitia:

- obyčajné malty pre vnútorné/vonkajšie omietky
- ľahké malty pre vnútorné/vonkajšie omietky
- farebné malty pro vonkajšie omietky
- malty pre jednovrstvové vonkajšie omietky
- sanačné malty pre vnútorné/vonkajšie omietky
- Tepelno-izolačné malty pre vnútorné/vonkajšie omietky

Pri riešení otázky obnovy historických omietok je najpodstatnejšie ich zloženie, druh spojiva, plnivo, prípadne použité prísady a prímеси.

Podľa druhu spojiva sa malty delia na:

- vápenné
- vápno-cementové
- cementové
- sadrové (vápno-sadrové)
- hlinené
- silikónové
- disperzné (akrilátové)
- silikátové

Podľa použitého plniva sa omietky delia na:

- s riečnym pieskom
- s kopaným pieskom
- so zmiešaným plnivom (zmes oboch druhov piesku, zmes piesku s drvenou horninou)
- s druhotnými odpadnými hmotami (tehelná drvina, popolček, struska, slama)

2 Požiadavky na omietky

Norma ČSN EN 998-1[12] ďalej definuje požiadavky na čerstvé a zatvrdnuté malty. Základnými požiadavkami na čerstvé malty sú hlavne doba spracovateľnosti a obsah vzduchu v čerstvej malte.

Požiadavky na zatvrdnutú maltu uvedené v tejto norme sú:

- Objemová hmotnosť v suchom stave [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$]
- Pevnosť v tlaku
- Prídržnosť [$\text{N}\cdot\text{mm}^{-2}$] a spôsob odtrhnutia
- Súdržnosť po cykloch ošetrenia [$\text{N}\cdot\text{mm}^{-2}$] a spôsob odtrhnutia
- Kapilárna absorpcia vody (pre malty určené na vonkajšie stavebné prvky)
- Penetrácia vody po skúške kapilárnej absorpcie vody [mm]

- Priepustnosť vody na príslušných podkladoch po cykloch ošetrovania [ml/cm^2 po 48 hodinách)
- Koeficient priepustnosti vodnej pary μ (pre malty určené na vonkajšie stavebné prvky)
- Tepelná vodivosť stredná hodnota $\lambda_{10,\text{dry,mat}}$ [$\text{W/m}\cdot\text{K}^\circ\text{C}$] (pre malty určené na použitie pri stavebných prvkoch s požiadavkou na tepelnú izoláciu)

3 Historické omietky

Za historické omietky považujeme omietky, ktoré sa používali v minulosti pri výstavbe dnes už historických objektov. Sú to predovšetkým omietky bezcementové, pretože cement, tak ako ho poznáme dnes, bol v omietkach používaný až od 19. storočia. Spojivom boli spočiatku rôzne hliny, neskôr to bolo vápno a sadra a ich kombinácie.

3.1 Historický vývoj omietok

Už pri prvých hrázených a vypletaných stavbách sa objavujú akési náznaky omietok, akýchsi hlinených a ílových vrstiev, ktorých úlohou bolo spevniť a upraviť povrch steny.

Najstaršie omietky pochádzajú z obdobia okolo 7. až 6. tisícročia pred Kristom. Prvé sadrové a sadro-vápenné omietky pochádzajú z čias starovekého Egypta. Vápenné omietky sa v Egypte objavujú až v neskorších obdobiach. Väčšinou sa jednalo o jednovrstvové omietky. Viacvrstvové vápenné omietky sa objavujú v 2. až 1. tisícročí pred Kristom v antickom Grécku. [17, 19, 27]

Omietanie stavieb hojne používali aj naši predkovia na území Veľkej Moravy. Tieto techniky boli prevzaté z antického stavebníctva. Na viacerých stavbách postavených v období veľkomoravskej ríše bolo objavených dokonca niekoľko druhov ložných mált a omietok. Tie boli tvorené veľmi jemným pieskom a vápenným spojivom. Niektoré omietky boli hladené, neskôr na ne boli nanášané nástenné maľby. [19]

V období otonskej a románskej architektúry vznikali na území Čiech a Slovenska predovšetkým rotundy. V tomto období sú jasne viditeľné dva hlavné smery povrchových úprav stavieb, ktoré boli ovplyvnené buď východnou, alebo západnou kresťanskou sférou. Stavby postavené z pravidelných opukových kvádrov väčšinou neboli omietané, len sa

podrezala a upravila škára. U svetských stavieb z románskeho obdobia sa pravdepodobne len roztrela prebytočná ložná malta a pomocou murárskej lyžice sa naznačili ložné a styčné škáry. Omietky z románskeho obdobia sú prevažne jednovrstvové, nahadzované a hladené dreveným nástrojom tak, aby kopírovali povrch muriva, prípadne dorovnali väčšie viditeľné nerovnosti. V exteriéri neskoro románskych stavieb je možné pozorovať, že primárna bola kamenárska práca, omietkarská práca bola vedľajšia a nebola taká podstatná. V interiéri to bolo presne naopak. Omietky boli veľmi dôležité, pretože tvorili podklad pre nástenné maľby. V tomto období bol primárnym stavebným materiálom kameň. Druhým, no dalo by sa povedať, že podradným materiálom boli tehly. Tie sa na našom území používali len výnimočne, naopak na južnom Slovensku boli vďaka nedostatku kameňa a veľkému bohatstvu sprašových hĺn pomerne časté. Povrch tehlových stavieb bol vždy omietaný. [19]

V období gotiky pretrvával naďalej románsky spôsob povrchových úprav profánnych stavieb. Začiatkom 14. storočia boli u hradných sídiel i chrámových stavieb bežné jednovrstvové omietky. Tieto omietky boli nahadzované nahrubo, často bez ďalšej úpravy povrchu, prípadne len hrubo zarovnané murárskou lyžicou. V omietkach je možné nájsť nedohasené kúsky vápna. Keďže hlavným účelom gotických omietok bolo prekrytie hrubých nedostatkov lomového kameňa, pridával sa do týchto omietok väčší podiel hrubšej frakcie kameniva, pričom platila zásada: hrúbka omietky môže byť maximálne trojnásobok najväčšieho zrna plniva. [19] S väčším podielom hrubších častíc sa zhoršovala spracovateľnosť omietok. Tento nedostatok sa riešil pridávaním vody, alebo veľmi riedkej vápennej kaše. To malo za následok stekanie omietky na múre a vytváranie charakteristických „plastických záclon“. V období vrcholnej gotiky prichádza do módy iluzionizmus – napodobovanie kamenného muriva maľbou, alebo plastickou omietkou. Príkladom tejto techniky omietania je napríklad hrad Žebrák alebo gotické meštianske domy v Prahe. Rozšírenejšou však bola imitácia maľbou. Do popredia sa dostávali aj nástenné maľby, najmä technika „secco“, čo je maľba na suchú omietku, ktorá vyžadovala kvalitný a hladký jemný podklad. Podkladom pre túto techniku boli jednovrstvové omietky plnené prírodnými vláknitými materiálmi, hladené železnými nástrojmi a opatrené vápenným pačokom. Náročnejšie vyhotovenia nástenných malieb vyžadovali aj precíznejšie a kvalitnejšie vyhotovenie podkladovej vrstvy. Preto sa používali viacvrstvové

omietky, ktoré sa skladali z hrubého nosného jadra a jemnejšej štukovej vrstvy, prípadne ešte úplne jemného vápenného intonaku. U zrubových nadstavieb mestských domov boli používané vonkajšie i vnútorné hlinené omietky plnené nasekanou slamou, burinou, alebo zvieracími chlpmi. Výhodou hlinených omietok je väčšia plasticita, ktorá bola zvyšovaná prídavkom hovädzej krvi. Na vonkajšie hlinené omietky bol ešte nanášaný náter z vápenného pačoku a mlieka, ktorý zvyšoval odolnosť omietky voči zrážkam a mal tiež estetickú funkciu. [19]



Obr. 1: Úprava pasparty gotickej stavby, Český Krumlov [13]

Obdobie neskorej gotiky je charakteristické návratom ľudí a ich ideí k prírode a zhoršením ekonomických podmienok v dôsledku husitských vojen. Do popredia sa tak dostávajú tehly a tehlové prefabrikáty, najmä vďaka ich dobrej dostupnosti a nižšej cene. Na stavbách sa objavujú škrabané omietky, tzv. kratzputze, ktoré sa dnes už bohužiaľ nezachovali. Maľba stále zostáva dôležitú úlohu na fasádach meštianskych domov a zámkov. Omietka na týchto stavbách je dvojvrstvová, pozostávajúca z hrubozrnného jadra a štukovej vrstvy, ktorú bolo možné hladíť. Na menej významných stavbách boli používané archaické techniky omietania a hlinené omietky. [19]

V prvej polovici 16. storočia sa naplno prejavuje jednoduchosť aj v podobe jednovrstvových a škrabaných omietok. Bežná hrubozrnná omietka bola opatrená zatieraným vápenným líčkom, alebo uhladená tak, že sa na jej povrch dostalo vápenné spojivo. Do zavädnutej omietky sa potom preškrabával buď kvádrový raster, alebo

jednoduché geometrické ornamenty. Pre dosiahnutie väčšieho kontrastu, najmä u väčších plôch, sa omietka buď dofarbovala tehelnými črepami, farebným kopaným, alebo žíhaným pieskom, popolom a spálenou slamou, alebo sa dodatočne natierala rôznymi pigmentmi. Takéto české jednovrstvové sgrafito postupne prechádzalo do pravého sgrafita. Pravé sgrafito sa skladá z viacvrstvových omietok, ktoré často obsahujú hydraulické prísady vo forme sopečných produktov (puzolány), tufov, kremičitej drviny (tehly, črepy). Na zafarbenie spodnej vrstvy omietky sa používalo drevené uhlie. Charakteristickými pre toto obdobie sú aj gletované omietky – dvojvrstvové omietky s hladkým povrchom. V interiéri sa stáva stále obľúbenejšia nástenná plastická výzdoba. Do takýchto hmôt sa začala pridávať sadra a vláknité prírodné materiály (slama, burina, zvieracie chlpy a srst), čo zabraňovalo vzniku trhliniek pri tuhnutí. [19]



Obr. 2: Práca na jednovrstvovom sgrafite, hrad Bauska v Lotyšsku [15]

V období baroka prichádza na naše územie druhá generácia vlašských stavbárov, ktorá so sebou prináša nové typy omietok, akými sú napríklad plastické štukové omietky nanášané a modelované, natierané omietky (imitujúce kameň – tzv. badigeon), omietky imitujúce mramor, skalné povrchy a morské dno. Kameň je v tejto dobe považovaný za trvanlivý materiál, ktorý je ale nutné omietať a zdobiť. Všetky plastické prvky na fasádach budov sú kamenné, vo vnútri je aplikovaná štuková výzdoba. V 18. storočí sa dostáva sadro-vápenná štika aj do exteriéru, najprv ako ručne modelovaná, neskôr v podobe rôznych odliatkov. V interiéri sa objavujú plošné štukové reliéfy zo sadro-vápennej, hladenej, voskovanej a natieranej omietky. Všetky tieto omietky boli imitáciou mramoru.

Vzniká tzv. marmorino – štika plnená mramorovou múčkou, lazúrová, alebo farbená v celej hmote, ktorá postupne prechádza do „stucco lustro“ – štika farbená kazeínovými farbami, na povrchu následne zažehlená voskovým mydlom. Tieto techniky viedli až k vzniku umelého mramoru, ktorý pozostával zo sadry, jemného anorganického plniva, pigmentu priamo zapracovaného do hmoty a vody. Takto pripravené cesto sa rezalo drôtom, po čom nasledovalo hrubé a jemné brúsenie a nakoniec leštenie tvrdými kameňmi. Pre celé obdobie baroka sú charakteristické dvojvrstvé omietky, ktoré sa skladajú z hrubšieho jadra, jemnejšej vrstvy vápenného štku, vápenného líčka a farebného náteru. Vyskytuje sa aj výstavba pevností, pri ktorých sa hojne používajú hydraulické maltoviny. Pevnosti sú väčšinou bez omietok, omietky sa vyskytujú len v oblasti brán. [19, 27]

Klasicistické omietky sú dvojvrstvé hladké omietky, ozdobné prvky sú tvorené nízkym reliéfom. V tomto období je bežné používanie hydraulických materiálov – sadrové a sadro-vápenné omietky. Toto však často viedlo k poruchám omietok. Bolo to spôsobené tým, že ako jadrová vrstva sa používala vápenná omietka a na ňu sa nanášala drahšia hydraulická štuková vrstva. V dôsledku rozdielnych fyzikálnych parametrov jednotlivých vrstiev (tepelná rozťažnosť, paropriepustnosť) dochádzalo k rozdeľovaniu týchto vrstiev. V období rokoka a neoklasicizmu je kladený najväčší dôraz na presnosť. Preto sa odstupuje od ručného nahadzovania omietok a omietky sa ňaťahujú do laty. [19]

V období secesie bolo už úplne bežné používanie polo- až celohydraulických omietok a na výzdobu fasád sa používali keramické prvky. Po 1. svetovej vojne začali kaolínové závody v Horní Bříze využívať odpady z plavenia kaolínu pri výrobe suchých omietkových zmesí na báze cementu, nazývaných tiež „brizolit“. Brizolit sa stal veľmi rýchlo populárny a bol používaný na fasádach rôznych budov. [19]

3.2 Suroviny pre výrobu omietok

3.2.1 Spojivá

Ako spojivo v maltách pre omietanie sa v minulosti používali tieto materiály:

- íly
- hasené vzdušné vápno vo forme vápennej kaše, vápenný hydrát, hydraulické vápno
- hydraulické spojivá
- cementy
- sadra

3.2.2 Plnivá

Najvhodnejším plnivom je kamenivo s plynulou krivkou zrnitosti, najlepšie bez ílových častíc, ktoré síce zlepšujú plasticitu a spracovateľnosť čerstvej malty, no majú negatívny vplyv na trvanlivosť omietok. Preto sa ako plnivo do historických mált najčastejšie používali:

- piesok – najčastejšie kopaný v blízkosti stavby, alebo riečny
- drviny a múčky z mramoru a dolomitu, travertínu, dodávajúce omietkam špecifické sfarbenie

3.2.3 Prísady

Typické pre historické malty sú prídavky rôznych prísad, prevažne organického pôvodu. Niektoré z nich sú uvedené v tab. 1 spolu s ich súčasnou modernou náhradou.

Tab. 1: Prísady do mált používané v minulosti a ich súčasná náhrada [19]

Typ prísady	Prírodné látky používané v minulosti	Syntetické látky používané v súčasnosti
Prísady urýchľujúce tuhnutie	vaječné bielky, krv, cukor	Ca ₂ Cl, trietanolamin
Prísady spomaľujúce tuhnutie	borax, melasa, cukor	kyselina vínna, jej soli, lignín
Plastifikačné prísady	mlieko, vaječné bielky, rastlinné a živočíšne tuky	lignosulfonáty, akrylové latexy, melamínaldehydy
Prevzdušňovacie prísady	slad, pivo, moč	lignosulfonáty, Ba(OH) ₂
Tesniace činidlá	bitúmen, vosky, živočíšne tuky s tanínom	stearáty, silikóny
Adhezívne prísady	kazeín, glej, kolofónia, želatína	akrylová živica, latex, epoxidy
Spevňovacie prísady	melasa, sirup, vlákna	cement, polyuretány
Stužovacie činidlá	krv, kazeín, tvaroh, želatína	silicagel, akrylové kopolyméry

Medzi prísady možno zahrnúť aj rôzne vlákna rastlinného aj živočíšneho pôvodu. Tieto vlákna nemohli byť masťné, preto sa pred použitím museli mineralizovať vo vápennom mlieku.

3.2.4 Pigmenty

Jednou z dôležitých vlastností všetkých omietok je ich farebnosť. Tá sa dá docieľiť pridaním rôznych oxidov do omietky. Pigmenty sa môžu pridávať buď do čerstvej malty, alebo sa môžu nanášať vo forme náteru na zatvrdnutú omietku.

Biela farba sa v čerstvej zmesi dala dosiahnuť prídavkom vápna, vápenca, kriedy, alebo bielej hlinky do čerstvej malty, alebo potom pridaním alabastrovej, zinkovej a barytovej bieloby do náterov.

Pre dosiahnutie okrovej farby sa do čerstvej malty pridávali prírodné hlinky, ktoré obsahovali oxidy železa. Do náterov sa pridávali sulfid arzenitý, sulfid kademnatý, chróman olovnatý a chróman bárnatý, čím sa dosiahla žltá farba náteru.

Červenú farbu omietky bolo možné dosiahnuť buď pridaním mletých tehál, červeného okru a železitej červene do čerstvej malty, alebo prídavkom umelo vytváraných červení obsahujúcich oxid železitý a sulfidy, do náterov.

Modrú farbu omietky spôsobil prídavok zlúčenín kobaltu, bária, polodrahokamu ultramarínu, alebo azuritu.

Čiernu farbu omietok zaručilo prídanie kostnej čerňi, oxidu manganičitého (burel), alebo oxidu kobalnatého. [19]

3.3 Historické omietky podľa použitého spojiva

3.3.1 Hlinené omietky

Hlina zmiešaná s vodou sa oddávna používala na vyplňanie medzier a škár a aj na spájanie lomových kameňov. Pred viac než 5000 rokmi sa hlinené blato používalo aj ako izolačná vrstva. Od stredoveku sa začínajú objavovať hlinené omietky s prídavkom vápna, pričom veľmi dôležitú úlohu hrá práve pomer hliny, piesku a vápna. Takto pripravené omietky často obsahovali nevypálené kusy vápenca a veľký podiel ílových častíc. To bolo spôsobené primitívnymi postupmi výpalu vápna v milieroch a lievikovitých peciach. Toto vápno síce bolo z dnešného pohľadu nekvalitné, no vďaka obsahu hydraulických oxidov sa vyznačovalo latentne hydraulickými vlastnosťami, čo spôsobovalo vyššiu pevnosť omietok. Íly v omietkach pochádzali buď z kameniva, ktoré bolo silne znečistené hlinou, alebo sa pridávali zámerne. Z technologického hľadiska boli pre prípravu omietok najvhodnejšie íly obsahujúce montmorillonit. Pre montmorillonit je však charakteristické, že v prítomnosti vlhkosti napúča a tým zväčšuje svoj objem. Preto pri cyklickom navlhnutí a vysúšaní omietky dochádzalo ku vzniku trhlín. Kaolinitické íly sa síce vyznačujú horšou spracovateľnosťou, ale sú odolnejšie voči pôsobeniu atmosférických vplyvov. Aj dnes sa pri reštaurovaní historických stavieb používa metakaolín. [19, 27]

K tvrdnutiu hlinených omietok dochádzalo uvoľňovaním vody z vrstevnatých minerálov, pri omietkach obsahujúcich vápno zas karbonatáciou vápna.

Na omietanie dedinských stavieb sa používali hlinené omietky plnené zvieracími chlpmi a prírodnými vláknami s prídavkom piesku a vápna.

Výskumy dokazujú, že najmladšie hlinené omietky boli dvojvrstvové, pričom jadrová vrstva bola zhotovená z hlinenej malty a ako vrchná vrstva bola použitá malta vápenná. Hlinené omietky sa vyznačujú aj pomerne bohatou farebnosťou (žltá, modrá, zelená). V súčasnej dobe je trendom návrat hlinených omietok do procesu výroby v rámci obnovy interiérov historických stavieb.

Hlavnými nevýhodami týchto omietok bola krátka životnosť v dôsledku napúčania v prítomnosti vody a veľmi malá odolnosť voči mrazu. [26]

3.3.2 Vápenné malty

Vápnno je považované za najstaršie spojivo, ktoré bolo spolu s pieskom a kamennou drvinou používané na prípravu mált na omietanie. Keďže úplne čisté vápence sa v prírode prakticky nevyskytujú, často obsahujú aj oxidy kremíka, hliníka a železa, čo ako už bolo vyššie uvedené, spôsobuje hydraulické vlastnosti vápna, ktoré boli v minulosti ešte podporené obsahom popola z dreveného uhlia, ktoré sa používalo pri výpale. Podľa teploty výpalu sa rozlišujú dva druhy vápna. Mätko pálené vápno, ktoré sa vypaľuje na nižšiu teplotu a ostro pálené vápno, ktoré sa vypaľované pri teplotách nad 1100 °C. Na prípravu mált je vhodnejšie mätko pálené vápno, ktoré je reaktívnejšie. Zásadný vplyv na vlastnosti vápenných mált má aj spôsob hasenia vypáleného vápna. V minulosti sa vápno určené na prípravu mált na omietky hasilo suchým spôsobom. Častejším a používanejším spôsobom hasenia bolo hasenie na vápennú kašu. Obsah vápna v stredovekých maltách bol premenlivý, záležalo na tom, či to bola ložná malta, alebo malta určená na omietanie. Stredoveké vápenné omietky boli spočiatku jednovrstvové. Najmä v období gotiky boli plnené netriedenými pieskami hrubšej zrnitosti. Dvojvrstvové omietky sa skladali z kotviacej vrstvy, ktorá obsahovala hrubý netriedený piesok a z vrchnej vrstvy, ktorá bola jemnozrnná a používal sa do nej len triedený piesok s maximálnou veľkosťou zrna 2 mm. Baroková architektúra, charakterizovaná bohatými ozdobami, si vyžadovala kvalitné vápna s hydraulickými vlastnosťami. Plnivom bol praný riečny piesok, vďaka čomu bola malta lepšie spracovateľná a zvyšovalo to aj životnosť hotovej omietky. Postupným zdokonaľovaním technológie výroby vápna, najmä zavádzanie kruhových, šachtových a rotačných pecí, sa zlepšovala kvalita vápna a rovnomernosť výpalu.

V 70. rokoch minulého storočia bol pri obnove zámku v Červené Lhotě použitý špeciálny druh vápna – uhličitanové vápno. Uhličitanové vápno bolo vyrábané spoločným pomletím vzdušného vápna s vápencom, ktorý znížil reaktivitu vápna, tým spomalil hydratačný proces a obmedzil vznik trhlín. [19]

Čo sa týka technológie samotnej prípravy malty, jednalo sa o malty pripravované na stavbách homogenizáciou odležanej vápennej kaše a piesku. Vápenná kaša sa nechávala odležať niekoľko dní až týždňov. Platilo, že čím významnejšia stavba, tým sa vápenná kaša nechávala dlhšie odležať v jame.

3.3.3 Malty s hydraulickým spojivom

Hydraulické vápno sa získavalo spracovávaním vápenca, ktorý obsahoval vyšší podiel hydraulických oxidov (Al_2O_3 , Fe_2O_3 a SiO_2) a výpalom pod medzu slinutia (900 – 1100 °C). Už starí Rimania vypaľovali vápenec spolu so sopečnou horninou (puzolánom), čím vznikalo spojivo tuhnúce pod vodou, ktoré používali na stavbu aquaduktov. Naše územie sa preslávilo Staromestským vápnom, známym tiež ako „Pasta di Praga“, ktoré bolo veľmi cenené a vyvážené do celej Európy. Na výrobu tohto vápna sa používali prírodné hydraulické podolské a branické vápence. [19]

V prvej polovici 19. storočia sa k nám z Rakúska dovážalo Kufsteinské vápno. Základnou surovinou pre výrobu tohto vápna boli slinkové vápence z Tirolska. Toto vápno bolo použité aj pri obnove omietok na budove Národného divadla v Prahe.

Snaha zlepšiť hydraulické vápna viedla až k objavu cementu, ktorý si našiel svoje uplatnenie predovšetkým v technológií betónu. Dnes sa pri výrobe cementu používa sadrovec ako regulátor tuhnutia. V minulosti však rýchlosť tuhnutia nebola upravovaná, čo z cementu urobilo nevhodné spojivo na prípravu omietok. Svoju úlohu zohrala aj vysoká cena cementu. Od prvej polovice 20. storočia sa začínajú používať vápenno-cementové malty.

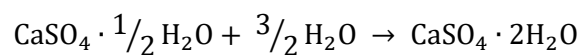
3.3.4 Sadrové omietky

Používanie sadry ako spojiva pri príprave omietok je známe už z čias Egypta (3000 pred n.l.). Na našom území nebolo používanie sadrových omietok až také rozšírené. Bolo to spôsobené nielen malým počtom ložísk prírodného sadrovca na našom území, ale aj

nižšou odolnosťou sadrových omietok voči poveternosti. Od 11. storočia sa používajú pri štukatérskych prácach na fasádach sadro-vápenné malty označované aj ako „parížska zmes“. Známe sú aj ďalšie špeciálne druhy sadry:

- Pariánska sadra – sadrovec vypaľovaný s boraxom a rozrábaná s vínnym kameňom, ktorý pôsobil ako spomaľovač tuhnutia
- Schottova sadra – sadrovec vypaľovaný s vápnom v pomere 7:3
- Keenova sadra – sadrovec vypaľovaný s kamencom (500 – 600 °C), má vysokú pevnosť a používa sa na dekoračné účely
- De Wyldeho sadra – anhydrit (CaSO₄) pálený s vodným sklom pri teplote 200 °C

Tvrdenie sadrových omietok nastáva spätnou hydratáciou hemihydrátu síranu vápenatého na dihydrát:



Medzi hlavné výhody sadrových omietok patria regulácia vlhkosti vzduchu v interiéri, nepraskajú a nevznikajú trhliny ani pri väčších hrúbkach omietky, majú pH veľmi blízke ľudskej pokožke a pri aplikácii nedráždia pokožku. Ich nevýhodou je vyššia cena a to, že nie každý murár ich vie správne aplikovať. [26]

4 SÚČASNÝ STAV

Pri náhrade a obnove historických omietok platí, že použité materiály by mali byť čo najpodobnejšie tým pôvodným. Samotnému návrhu zloženia omietky preto predchádza rozsiahla analýza omietky pôvodnej. Prieskum a analýza pôvodnej malty zahŕňa analýzu chemického a mineralogického zloženia spojiva (chemická analýza, termomechanická analýza, RTG difrakčná analýza), analýzu mineralogického zloženia kameniva (RTG difrakčná analýza), granulometrie kameniva (sitový rozbor, sedimentačná analýza, laserová analýza), pomer miešania zložiek, prípadne prítomnosť ďalších zložiek, napr. vlákien. [17]

Dnes sa na prípravu vápenných mált používajú veľmi čisté vápna. Aby sa vápenné malty čo najviac priblížili maltám pôvodným, často sa modifikujú puzolánovými a hydraulickými prímiesami. Preto sa v priebehu posledných 15 rokov objavuje čoraz viac

výskumov zameraných práve na prípravu historizujúcich mált s použitím rôznych puzolánových a hydraulických prísad. Najčastejšie používanými puzolánmi sú metakaolín, tras. Z výskumov vyplýva, že prídavok puzolánov do vápenných mált má výrazný vplyv na pevnosť v tlaku, mrazuvzdornosť a zmršťovanie malty, avšak významnú rolu pri tom zohráva prostredie, v ktorom je malta uložená (vlhkosť, obsah CO₂). [25]

Ďalším predmetom skúmania sú rôzne prísady, napríklad prísada ľanového oleja pre zlepšenie mrazuvzdornosti mált [24]

Dnešný rýchly spôsob života sa odrazil aj v stavebníctve a to najmä snahou čo najrýchlejšej výstavby a obmedzení mokrých procesov na stavbe, používaním prefabrikovaných konštrukčných prvkov a suchých maltových a omietkových zmesí. Tento trend sa nevyhol ani oblasti historických budov a pamiatok. Preto takmer každý výrobca stavebných hmôt ponúka aj zmesi vhodné na prípravu omietok pre historické objekty. Ide o obyčajné, ale aj sanačné zmesi, ktoré sú väčšinou založené na vápennom spojive, s prídavkom trasu, alebo iných puzolánových prímiesí. Môžu obsahovať aj prísady ovplyvňujúce spracovateľnosť omietky.

Firma LB Cemix, s.r.o. prináša na trh pamiatkarsky program výrobkov, ktorý zahŕňa vápenný pamiatkarsky prednástrek, vápennú pamiatkarska omietka ručnú, vápennú pamiatkarska omietka strojovú, vápenný pamiatkarsky štuk, vápenný pamiatkarsky štuk hrubý a vápennú pamiatkarska maltu murovaciu a škárovaciu. Všetko sú to zmesi obsahujúce vápenné a puzolánové spojivo. Vápenná pamiatkarska omietka ručná s označením 124 je vápenná ručná jadrová omietka na vonkajšie aj vnútorné použitie, obsahujúca kamenivo, puzolánové spojivo, vápenný hydrát a prísady zlepšujúce spracovateľnosť a úžitkové vlastnosti malty. Niektoré vlastnosti a technické parametre definované výrobcom sú uvedené v tabuľke 2. [34]

Tab. 2: Vybrané vlastnosti a technické parametre Vápenej omietky ručnej firmy Cemix [34]

Vlastnosť	Hodnota
Zrinitosť [mm]	0 – 2
Množstvo zámesovej vody na 1 kg suchej zmesi [l/kg]	0,18 – 0,22
Prípustná hrúbka vrstvy [mm]	10 – 20
Pevnosť v tlaku po 28 dňoch (kategória CS II) [N·mm ⁻²]	1,5 – 5,0
Prídržnosť – spôsob odtrhnutia (FP) [N·mm ⁻²]	min. 0,1 (FP: B)
Faktor difúzneho odporu vodnej pary μ	max. 15
Trvanlivosť – počet cyklov (skúška mrazuvzdornosti malty podľa ČSN 73 2579)	min. 10
Objemová hmotnosť zatvrdnutej malty [kg·m ⁻³]	1400 – 1600
Súčiniteľ tepelnej vodivosti λ [W·m ⁻¹ ·K ⁻¹]	max. 0,61 (tabuľková hodnota)
Doba spracovateľnosti	min. 2 hod.

Spoločnosť HASIT má v ponuke čisto vápennú omietku Hasolan Vápenná omietka, pozostávajúcu z prírodného hydraulického vápna zodpovedajúceho požiadavkám normy ČSN EN 459-1 a z vápencového lomového piesku. Ďalším produktom tejto firmy je omietka RÖFIX Hydraulkalk 965 Minerálna prírodná jadrová omietka na báze vápna. Táto omietková zmes obsahuje prírodné hydraulické vápno NHL (podľa ČSN EN 459-1), vzdušné vápno a prany triedený ťažený piesok. Krivka zrnitosti sa dá nastaviť podľa analýzy originálnej historickej omietky. Niektoré vybrané vlastnosti omietkovej zmesi RÖFIX Hydraulkalk 965 sú uvedené v tabuľke 3. [29]

Tab. 3: Niektoré vybrané vlastnosti omietkovej zmesi RÖFIX Hydraulkalk 965 uvádzané výrobcom [29]

Vlastnosť	Hodnota
Zrinitosť [mm]	0 – 4
Množstvo zámesovej vody na 1 kg suchej zmesi [l/kg]	0,21
Prípustná hrúbka vrstvy [mm]	min. 15
Pevnosť v tlaku po 28 dňoch [N·mm ⁻²]	2
Pevnosť v ťahu pri ohybe po 28 dňoch [N·mm ⁻²]	0,6
Prídržnosť [N·mm ⁻²]	≥ 0,08
Faktor difúzneho odporu vodnej pary μ	12 – 15
Objemová hmotnosť zatvrdnutej malty [kg·m ⁻³]	cca 1450
Súčiniteľ tepelnej vodivosti λ [W·m ⁻¹ ·K ⁻¹]	cca 0,93

Firma Baumit ponúka sanačné omietkové systémy určené pre sanáciu historických budov Baumit Sanova založené na báze trasu a hydraulického vápna, ktoré je možné doplniť historickými omietkovými systémami Baumit NHL, ktoré sú založené na prírodnom hydraulickom vápne NHL (podľa EN 459-1), vápennom hydráte, vápenných pieskoch a prísad zlepšujúcich spracovateľnosť (celulóza, mydlový prášok). Niektoré vybrané vlastnosti omietky Baumit NHL ručná omietka uvádzané výrobcom sú zobrazené v tabuľke 4. [3]

Tab. 4: Vybrané vlastnosti omietky "Baumit NHL ručná omietka" uvádzané výrobcom [3]

Vlastnosť	Hodnota
Zrinitosť [mm]	0 – 4
Množstvo zámesovej vody na 1 kg suchej zmesi [l/kg]	0,22
prípustná hrúbka vrstvy [mm]	min. 15
Pevnosť v tlaku (kategória CS I) [N·mm ⁻²]	2,0
Objemová hmotnosť zatvrdnutej malty [kg·m ⁻³]	1650
Pevnosť v ťahu pri ohybe po 28 dňoch [N·mm ⁻²]	cca 1,0

Medzi tuzemských výrobcov omietok a mált určených na obnovu pamiatok patrí firma PREMIX servis, s.r.o., ktorá sa zaoberá hlavne výrobou suchých maltových a omietkových zmesí určených pre rekonštrukciu stavieb. V ponuke firmy sa nachádzajú vápenné omietkové systémy FASO V (tradičné vápenné) a Z-SAN (sanačné). Produkt s označením FASO 20V je čisto vápenná jadrová omietka s prírodnými plnivami, ktorá

neobsahuje cement, sadru, ani polymérne prísady. Niektoré vybrané vlastnosti čisto vápennej omietky FASO 20V sú uvedené v tabuľke 5.

Tab. 5: Vybrané vlastnosti vápennej omietky FASO 20V, uvádzané výrobcom

Vlastnosť	Hodnota
Zrnitosť [mm]	0 – 2 alebo 0 – 4
Množstvo zámesovej vody na 1 kg suchej zmesi [l/kg]	0,18 – 0,20
Pevnosť v tlaku po 28 dňoch (CS I) [N·mm ⁻²]	min. 1,4
Pevnosť v ťahu pri ohybe po 28 dňoch [N·mm ⁻²]	min 0,2
Prídržnosť – spôsob odtrhnutia (FP) [N·mm ⁻²]	min. 0,15 (FP: A)
Faktor difúzneho odporu vodnej pary μ	>0,8
Objemová hmotnosť zatvrdnutej malty [kg·m ⁻³]	1630 ± 50
Súčiniteľ tepelnej vodivosti λ [W·m ⁻¹ ·K ⁻¹]	0,9
Doba spracovateľnosti	90 min

Firma Remmers má vo svojej ponuke produkt Historic Kalkspatzenmörtel. Jedná sa o dvojkomponentovú maltovú zmes na báze bieleho vápenného hydrátu, ktorý je vyrobený hasením za sucha podľa zachovaných historických postupov a teda obsahuje aj hrudky vápna. Kamenivom sú prané piesky strednej a jemnej zrnitosti. Zmes ďalej obsahuje prísadu čistej tehlovej múčky. Historic Kalkspatzenmörtel neobsahuje cement ani hydraulické vápno a dá sa použiť ako na škárovanie, tak aj ako maltu na omietky. Aby sa omietka čo najviac priblížila a prispôsobila omietke historickej, je možné túto zmes zmiešať s bežnými miestnymi surovinami.

Spoločnosť Sarket ponúka komplexný vápenný systém výrobkov pre ochranu pamiatok. KHP klasická vápenná ručná omietka je suchá maltová zmes obsahujúca vápno a puzolánové spojivo, určená predovšetkým pre historické a pamiatkové objekty. Vybrané vlastnosti maltovej zmesi uvádza tabuľka 6. [33]

Tab. 6: Vybrané vlastnosti suchej maltovej zmesi KHP klasická vápenná omietka, uvádzané výrobcom [33]

Vlastnosť	Hodnota
Zrornosť [mm]	0 – 2
Množstvo zámesovej vody na 1 kg suchej zmesi [l/kg]	0,18
Prídržnosť [N·mm ⁻²]	≥0,12
Faktor difúzneho odporu vodnej pary μ	>0,8
Objemová hmotnosť zatvrdnutej malty [kg·m ⁻³]	1600 - 1700
Súčiniteľ tepelnej vodivosti λ [W·m ⁻¹ ·K ⁻¹] (tabuľková stredná hodnota; P=50 %)	0,67
Doba spracovateľnosti	cca 2 hod

Spoločnosť Krkonošské vápenky Kunčice, a.s. je známym výrobcom stavebných hmôt zameraný najmä na výrobu suchých omietkových a maltových zmesí, stavebnej chémie, mletých vápencov, mletých dolomitov a drveného a triedeného kameniva. Spoločnosť taktiež prináša materiály určené na opravu a obnovu historických stavieb a pamiatok. Tento systém zahŕňa rôzne sanačné a renovačné omietky pre ručné i strojové spracovanie, medzi ktoré patrí aj KVK Tradičná vápenná omietka. Táto omietková zmes je navrhnutá podľa tradičnej českej receptúry na báze vápna a jej vybrané vlastnosti sú uvedené v tabuľke 7. [21]

Tab. 7: Vybrané vlastnosti suchej omietkovej zmesi KVK Tradičná vápenná omietka, uvádzané výrobcom [21]

Vlastnosť	Hodnota
Zrornosť [mm]	0 – 25
Množstvo zámesovej vody na 1 kg suchej zmesi [l/kg]	0,23
Pevnosť v tlaku po 28 dňoch (CS II) [N·mm ⁻²]	1,5 – 5,0
Prídržnosť – spôsob odtrhnutia (FP) [N·mm ⁻²]	min. 0,18 (FP: A)
Faktor difúzneho odporu vodnej pary μ	max. 12
Objemová hmotnosť zatvrdnutej malty [kg·m ⁻³]	1750
Súčiniteľ tepelnej vodivosti λ [W·m ⁻¹ ·K ⁻¹] (tabuľková hodnota; P = 50 %)	0,47
Doba spracovateľnosti	min. 3 hod

Spoločnosť Lhoist – BCB Balthazard & Cotte Batiment, Francúzsko v spolupráci s odborníkmi pamiatkovej ochrany Francúzskej republiky na konci 60. rokov minulého storočia uskutočnila veľký prieskum a rozbor historických omietok z celej Európy a na základe tohto výskumu vyvinula priemyselne vyrábané spojivo Tradical® PF 80 (Tradical 80), ktorého 85 % zloženia tvorí biele vzdušné hasené vápno (CL 90, EN 459) a zvyšných 15 % tvoria hydraulické spojivá a prísady vo forme rastlinných koloidov a tenzidov do (0,8 %). S použitím tohto spojiva je možné pripraviť malty, ktoré sa svojimi vlastnosťami čo najviac približujú maltám historickým. Vybrané vlastnosti spojiva uvádza tabuľka 8. [35]

Tab. 8: Vybrané vlastnosti spojiva Tradical PF 80

Vlastnosť	Hodnota
Zrnitosť [mm]	≤ 0,09
Pevnosť v tlaku po 28 dňoch [N·mm ⁻²]	≥ 1,0
Pevnosť v ťahu pri ohybe [N·mm ⁻²]	≥ 0,3
Faktor difúzneho odporu vodnej pary μ	≤ 16
Objemová hmotnosť suchej zmesi [kg·m ⁻³]	570 ± 20
Súčiniteľ tepelnej vodivosti λ [W·m ⁻¹ ·K ⁻¹]	≤ 0,18

Suché maltové zmesi Exzellent sú produktami spoločnosti MC-Bauchemie. Sú to hotové suché maltové zmesi bez obsahu cementu s o špeciálnymi zušľachťujúcimi prísadami., ktorých základom je vápenný hydrát.

II. PRAKTICKÁ ČASŤ

5 Cieľ práce

V nadväznosti na predchádzajúcu etapu výskumu a vývoja historizujúcich omietok a mált na ÚTHD FAST Brno je cieľom práce vývoj suchej priemyselne vyrábanej zmesi na prípravu univerzálnej historizujúcej malty použiteľnej ako omietky aj ako malty na murovanie.

6 Metodika práce

Súčasnú stavebnú hmotu typu mált, betónov a omietkových zmesí sú, čo sa týka použitého spojiva, takmer bez výnimky koncipované na báze portlandského cementu. Keďže portlandský cement je spojivo moderné, masovo používané len približne posledných sto rokov, nie je možné ho odporučiť a použiť pri rekonštrukcii historických materiálov, pri rešpektovaní ich vlastností a zloženia. Preto sa v dnešnej dobe hľadajú také kombinácie materiálov, ktoré by historické spojivá čo najvierohodnejšie substituovali. V našich krajinách bolo oddávna najpoužívanejším spojivom vápno, čo prirodzene vyplynulo zo silných krasových oblastí, ktorými sa naše územia vyznačujú. Na rozdiel od súčasnosti, keď sa pre výpal vzdušného vápna používajú tie najčistejšie pasáže vápencov, bol v minulosti s ohľadom na absenciu súčasného chemicko-analytického zázemia vypaľovaný prakticky každý vápenec, ktorý bol k dispozícii. Preto sa vtedajšie vápna veľmi často vyznačovali prítomnosťou tzv. hydraulických oxidov (SiO_2 , Al_2O_3 a Fe_2O_3), ktoré z nich robili prírodné hydraulické vápna. Tieto vápna sa obvykle vyznačovali popri dostatočnej plasticite aj pomerne dobrými pevnosťami, lepšími než majú súčasné vzdušné vápna. Pre špeciálne práce bola používaná sadra, ktorá sa často pridávala aj do vápenných mált kvôli zrýchleniu procesu tuhnutia vápenných mált, prípadne kvôli dosiahnutiu vyšších pevností.

V nadväznosti na vyššie uvedené fakty bolo v predchádzajúcej etape prác navrhnutých niekoľko východiskových receptúr univerzálnej historizujúcej malty, od ktorých sa odvinula terajšia etapa vývoja. Ten spočíval v prevzatí predchádzajúcej etape optimalizovanej receptúry historizujúcej malty ako referenčnej vzorky. Ďalej bol skúšaný vplyv prídavku sadry k tejto referenčnej zmesi na základné technologické a aplikačné

vlastnosti vzniknutej malty aj na fázové zloženie samotného spojiva za podmienky rôzne zvoleného prostredia hydratácie. Takto boli pripravené tri vzorky suchej zmesi, z ktorých prvá predstavovala referenčnú vzorku optimalizovanej historizujúcej malty na báze vápenného hydrátu a puzolánu prevzatej z predchádzajúcej etapy vývoja, a ďalej dve nové vzorky, v ktorých bolo raz 5 % a druhýkrát 10 % referenčnej zmesi nahradenej stavebnou sadrou. Pripravované maltové zmesi boli podrobené stanoveniu základných technologických vlastností a orientačne tiež vlastnostiam aplikačným. Okrem toho bolo ich spojivo podrobené sledovaniu hydratačných procesov v priebehu 28 dní pri podmienkach:

- Expozícia v laboratórnom prostredí, ďalej označované ako L/20
- Expozícia vo vode nasýtenej CO₂ pri teplote 5 °C, ďalej označované ako C/5
- Expozícia vo vode nasýtenej CO₂ pri teplote 40 °C, ďalej označované ako C/40
- Uloženie vo vode pri teplote 5 °C, ďalej označované ako V/5
- Uloženie vo vode pri teplote 40 °C, ďalej označované ako V/40

7 POSTUP PRÁCE

7.1 Technologické vlastnosti mált

Vstupné suroviny pre prípravu historizujúcich mált boli najprv nadávkované podľa navrhnutých receptúr v množstve cca 1500 g. Po dokonalej homogenizácii suchej zmesi v laboratórnej miešačke bola časť vzniknutej vzorky odobraná k stanoveniu sypnej objemovej hmotnosti a k stanoveniu granulometrie sitovým rozborom podľa ČSN EN 1015-1.

Zo zvyšnej časti bola po zamiešaní s vodou vytvorená malta. Množstvo zámesovej vody bolo zvolené tak, aby všetky tri vzorky vykazovali konštantnú konzistenciu odpovedajúcu rozliatiu kužela na priemer koláča 175 ± 10 mm, vid' ČSN EN 1015 - 3. Rozmiešaná malta bola z časti použitá na stanovenie objemovej hmotnosti čerstvej malty a z časti boli zhotovené skúšobné telesá s rozmermi 40×40×160 mm. Formy so skúšobnými telesami boli nasledujúcich 24 hodín voľne ponechané v laboratórnom prostredí. Potom boli skúšobné telesá odformované a exponované v laboratórnom prostredí pri konštantnej teplote 20 °C. Po siedmich a ďalej po 28 dňoch hydratácie boli

vzorky odobrané k stanoveniu pevnosti v ťahu za ohybu, pevnosti v tlaku a objemovej hmotnosti.

7.2 Aplikačné vlastnosti mált

Pripravené vzorky čerstvých mált boli špachtľou nanesené na polystyrénový podklad s rozmermi 200×200 mm. Pri nanášaní bola posudzovaná spracovateľnosť čerstvých mált a po 7 dňoch uloženia v laboratórnom prostredí odolnosť malty proti zmršťovaniu, resp. potenciálna tvorba trhlín.

7.3 Sledovanie hydratačného procesu spojív

Vstupné suroviny, ktoré tvoria vlastné spojivo, tj. Vápenný hydrát, puzolán na báze metakaolínu a stavebná sadra, boli podľa navrhnutých receptúr nadávkované samostatne bez použitia kameniva. Nadávkované vzorky spojiva boli po dôkladnej homogenizácii zmiešaním s vodou prevedené na pasty s vodným súčiniteľom, zodpovedajúcim normálnej konzistencií podľa Vicata. Potom z nich boli vytvorené skúšobné mikrotelieska, ktoré boli po 24 hodinách uložené do vyššie popísaných hydratačných prostredí. Odtiaľ boli odoberané po 1, 3, 7, 14, 21 a 28 dňoch expozície k stanoveniu fázového zloženia metódou RTG – difrakčnej analýzy. Pri odberu boli vzorky rozdružené na požadovanú jemnosť v laboratórnom planétovom mlyne a súčasne bola prerušená ich ďalšia možná hydratácia násobným premytím v izopropylalkohole.

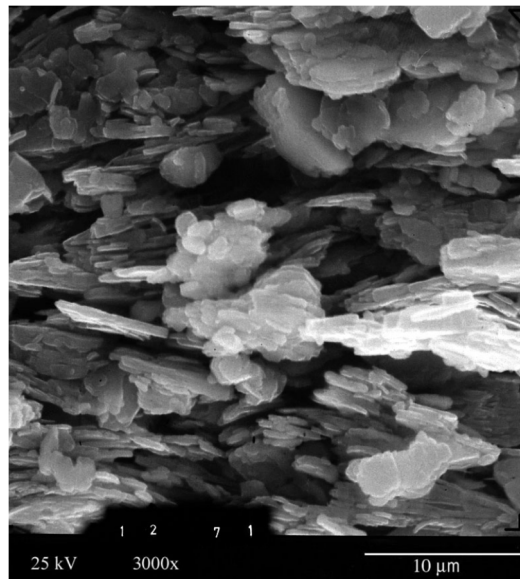
7.4 POUŽITÉ SUROVINY A PRÍSTROJE

7.4.1 Suroviny

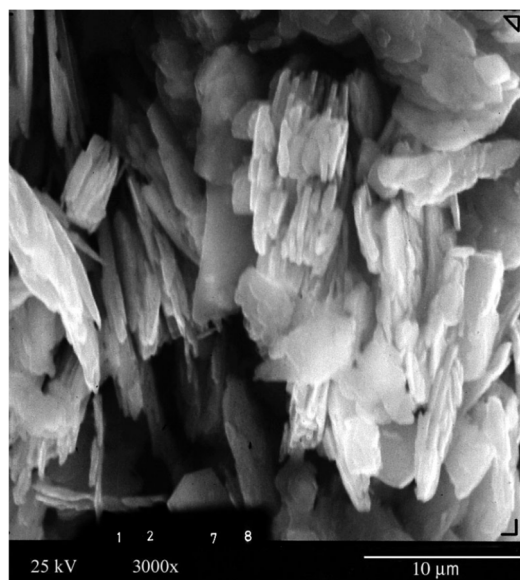
METAKAOLÍN

Metakaolín ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$) je veľmi reaktívny puzolán, ktorý vzniká kalcináciou kaolínu, kaolinitických ílov, lupkov a ďalších vhodných surovín, ktoré obsahujú minerál kaolinit ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). Kalcinácia prebieha pri teplotách 600 – 900 °C, pričom ako najoptimálnejšie sa javia teploty v intervale 725 – 850 °C. Tieto teploty sú dostatočné na to, aby došlo k dehydroxilácii kaolinitu, kedy vzniká veľmi reaktívna amorfná defektná štruktúra s pentakoordinovanými atómami Al(V), a zároveň sú tieto teploty prinízke na to, aby dochádzalo ku vzniku kryštalickej fáze. Pri teplotách nad 900 °C už dochádza k postupnej premene na mullit ($3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$) a cristobalit, čo vedie k strate puzolánových vlastností. Po výpale nastáva granulometrická úprava metakaolínu. [26]

Metakaolín reaguje s $\text{Ca}(\text{OH})_2$ za vzniku C-S-H a C-A-H gélov vrátane C_4AH_{13} , C_2ASH_8 a C_3AH_6 . [25]



Obr. 3: Mikroštruktúra kaolinitu [26]



Obr. 4: Mikroštruktúra metakaolinitu [26]

Metakaolín našiel svoje uplatnenie ako prímies do betónu (strievané betóny, vysoko pevnostné betóny, ľahčené betóny), je jednou z hlavných surovín pre výrobu geopolymérov, ďalej sa používa do maltových zmesí, izolačných systémov, ako náhrada mikrosiliky v niektorých vybraných aplikáciách, ako plnivo kompozitných materiálov a plastických izolačných hmôt. Použitie metakaolínu vo vyššie uvedených prípadoch môže viesť k zníženiu pórovitosti, čo má vplyv na množstvo ďalších vlastností ako napríklad na

zvýšenie pevnosti, zníženie nasiakavosti a tým aj zvýšenie odolnosti hmoty voči pôsobeniu mrazu a chemických látok, ďalej k nárastu teplotnej vodivosti, zníženiu vzniku výkvetov a potlačenie alkalicko-kremičitej reakcie. [5]

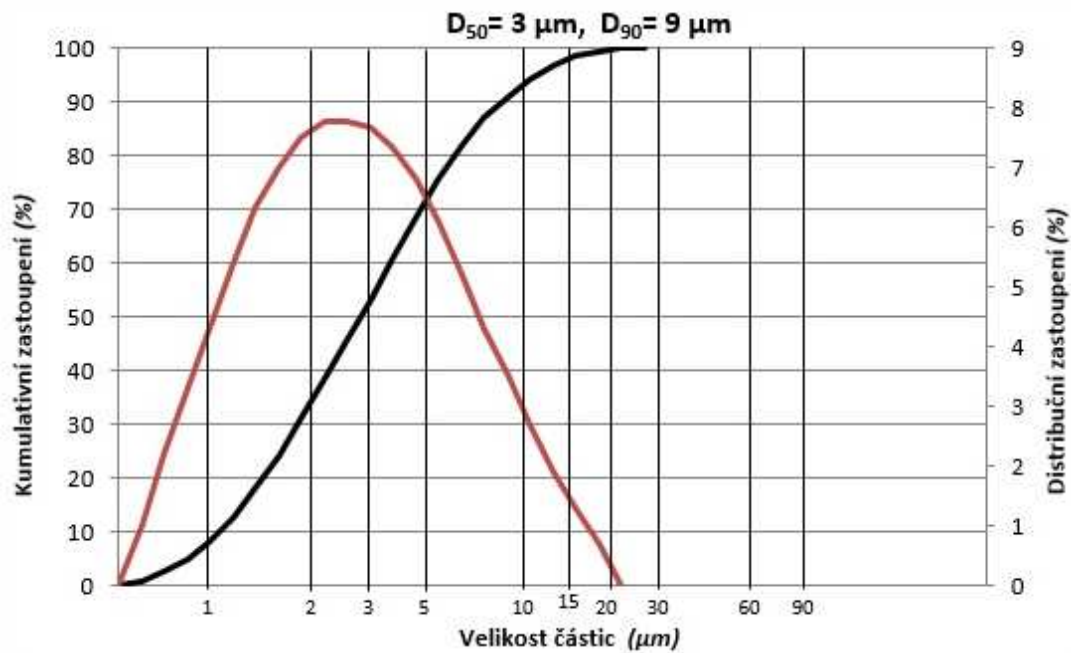
V experimente bol použitý metakaolín Mefisto K05 firmy České lupkové závody a.s. Je to metakaolín veľmi jemný prášok ružovkastej farby, získavaný riadenými procesmi tepelnej a granulometrickej úpravy plavených kaolínov a ílovcov stabilného chemického zloženia.

Tab. 9: Chemické zloženie metakaolínu Mefisto K05[5]

Oxid	Al ₂ O ₃	SiO ₂	K ₂ O	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	MgO	CaO
Typická hodnota [%]	38,50	58,70	0,85	0,72	0,50	0,38	0,20
Garantovaná hodnota [%]	min. 37,0	max. 61,0	max. 2,4	max. 0,9	max. 0,8	max. 0,4	max. 0,2

Tab. 10: Fyzikálne vlastnosti metakaolínu Mefisto K05 [5]

Vlastnosť	Typická hodnota	Garantovaná hodnota
Strata žíhaním [%]	1,67	0,3 - 3,5
Vlhkosť [%]	0,50	-
Merný povrch [m ² .g ⁻¹]	10,20	-
Puzolánová aktivita [°C]	4,50	min. 4,0
Stupeň biely [°C]	73,00	-



Obr. 5: Typická krivka rozdelenia veľkosti častíc metakaolínu Mefisto K05 [5]

VÁPENNÝ HYDRÁT

V experimente bol použitý vápenný hydrát CL 90-S. Je to vápenný hydrát bielej farby určený ako spojivo pre prípravu mált na murovanie, alebo mált na omietanie so sypnou hmotnosť $425 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$.

SADRA

Sadra použitá v experimente bola normálne tuhnúca stavebná sadra.

PLNIVO

Ako plnivo do mált bol použitý piesok frakcie 0 – 4 mm z pieskovne Bratčice. Pre historizujúce malty bola navrhnutá frakcia kameniva 0 – 2 mm, preto bola frakcia 2 – 4 mm odstránená preosiatím cez normové sito s veľkosťou oka 2 mm. Keďže bolo kamenivo dlhodobo uskladnené v laboratóriu, bolo dostatočne suché a nebolo potrebné ho vysúšať.

7.4.2 Prístroje

V experimentálnej časti diplomovej práce boli použité nasledujúce prístroje:

- Laboratórna miešačka – podľa normy ČSN EN 196-1
- Laboratórne váhy Radwag PS 4500/C/2 s presnosťou váženia 0,1 g
- Rozlievací stolík – na stanovenie konzistencie čerstvej malty podľa normy ČSN EN 1015-3
- Vicatov prístroj s penetračným valčekom
- Sada normových sít
- Ocelové trojformy na výrobu skúšobných vzoriek 40×40×160 mm
- Skúšobný prístroj na stanovenie pevnosti v ťahu za ohybu a pevnosti v tlaku
- Laboratórna sušiareň Binder FD 53
- Prístroj SodaStream
- XRD Empyrean

8 VYHODNOTENIE VÝSLEDKOV

8.1 Technologické vlastnosti mált

8.1.1 Návrh receptúr suchých maltových zmesí

Z predchádzajúcej etapy prác [22] bola ako referenčná prevzatá vzorka 3. V nadväznosti na predchádzajúce značenie boli nové vzorky označené ako vzorka 3/5 a vzorka 3/10. Receptúry navrhnutých vzoriek sú uvedené v tabuľke 8.

Tab. 11: Navrhnuté receptúry historizujúcej malty

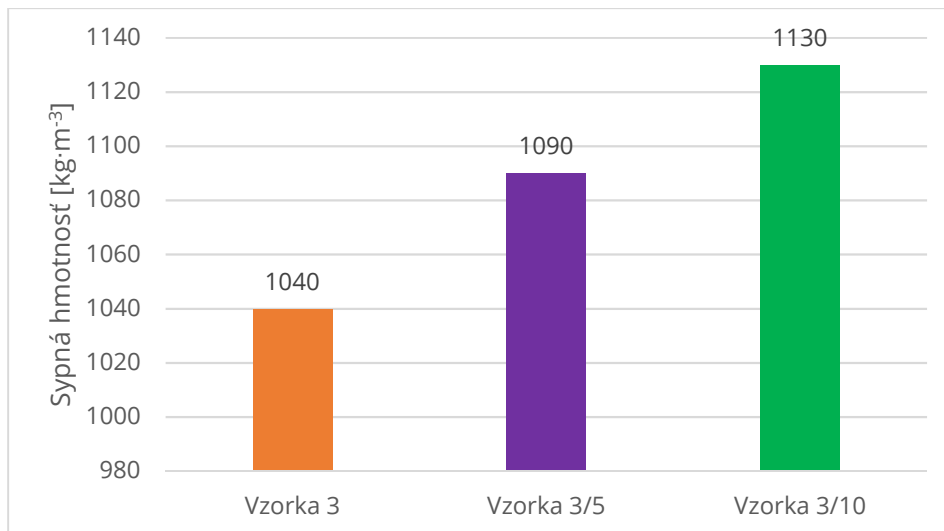
Surovina	Obsah danej suroviny v zmesi [%]		
	Vzorka 3	Vzorka 3/5	Vzorka 3/10
DTK 0 - 2 mm Bratčice	82	77,9	73,8
Metakaolín Mefisto K05	10	9,5	9
Vápenný hydrát	8	7,6	7,2
Sádra	0	5	10

8.1.2 Sypná hmotnosť a granulometrický rozbor suchej maltovej zmesi

Sypná hmotnosť jednotlivých vzoriek suchej maltovej zmesi je uvedená v tabuľke 9 a v grafe na obr. 6.

Tab. 12: Sypná hmotnosť suchých maltových zmesí

Označenie vzorky	Sypná hmotnosť [kg·m ⁻³]
Vzorka 3	1040
Vzorka 3/5	1090
Vzorka 3/10	1130



Obr. 6: Sypná hmotnosť suchých maltových zmesí

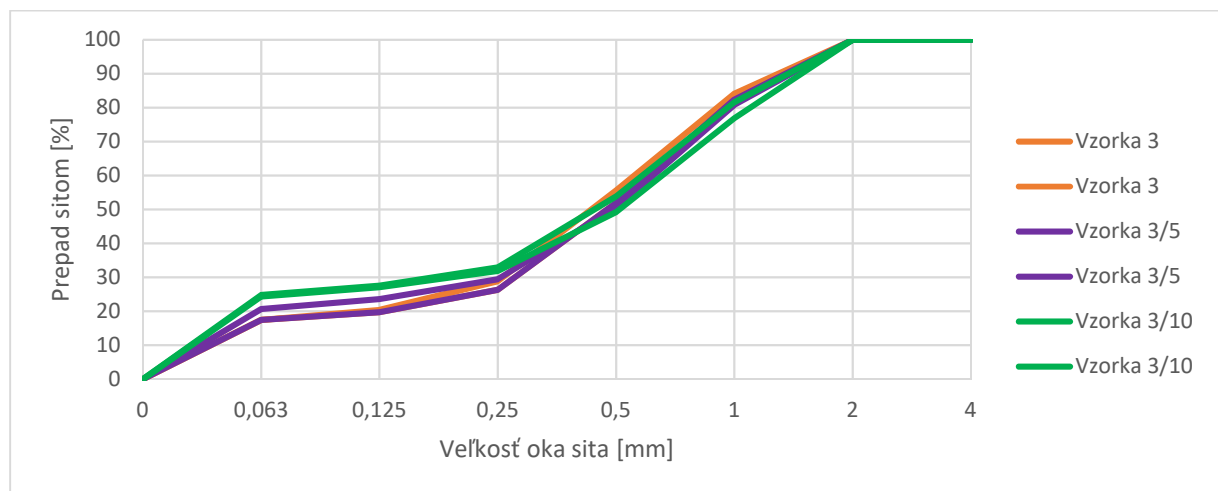
Z výsledkov uvedených v tabuľke vyplýva:

- So zvyšujúcim sa obsahom stavebne sadry sa zvyšovala aj sypná hmotnosť suchej maltovej zmesi. Popísaná závislosť je daná podstatne vyššou objemovou hmotnosťou sadry v porovnaní s vápenným hydrátom a predovšetkým v porovnaní s metakaolínom.
- Najnižšiu hodnotu sypnej hmotnosti vykázala referenčná vzorka, naopak najvyššiu hodnotu vzorka 3/10 s 10 % sadry. Dá sa predpokladať, že pri rovnakej konzistencii vzoriek bude najvyšší podiel zámesovej vody vyžadovať najľahšia vzorka 3.

Granulometria vzoriek suchej maltovej zmesi, stanovená pomocou sitového rozboru, je v tabelárnej podobe uvedená v tabuľke 10 a v grafickej podobe ako krivka zrnitosti v grafe na obr. 7.

Tab. 13: Granulometria vzorky suchej maltovej zmesi

Veľkosť oka	Zostatok na site [%]					
	Vzorka 3		Vzorka 3/5		Vzorka 3/10	
	1. šarža	2. šarža	1. šarža	2. šarža	1. šarža	2. šarža
4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1	15,84	17,64	17,37	19,11	18,35	23,07
0,5	28,50	30,38	29,14	30,28	27,74	27,70
0,25	26,81	25,60	22,85	21,14	21,00	17,30
0,125	8,43	6,62	7,16	5,90	5,35	4,83
0,063	2,96	2,29	2,69	2,86	2,73	2,78
0	17,46	17,46	20,79	20,72	24,83	24,32
celkom	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00



Obr. 7: Krivka zrnitosti vzoriek suchej maltovej zmesi

Z výsledkov sitového rozboru vyplýva:

- So zvyšujúcim sa prídavkom sadry výrazne vzrastal podiel jemnozrnných častíc s veľkosťou do 0,063 mm a opačne, klesal podiel častí do veľkosti 0,25 mm. Podiel častíc v intervale 1 až 2 mm možno vzhľadom k tomu, že sa jedná o prírodné netriedené kamenivo, u ktorého môže i niekoľko veľkých zrn ovplyvniť konečnú hodnotu, označiť za kolísavý. Uvedená zmena granulometrie do 0,25 mm potom bola vyvolaná zvýšením obsahu jemnozrnných častíc prídavkom sadry na úkor podielu pôvodnej suchej malty.

- Vplyvom zmenenej granulometrie novo navrhnutých vzoriek smerom do jemnozrnejších oblastí možno očakávať zvýšenie podielu zámesovej vody na prípravu mált rovnakej konzistencie.
- Žiadna zo skúšobných vzoriek neobsahovala zrná väčšie ako 2 mm. Z pohľadu vplyvu granulometrie na použiteľnosť mált sa dá povedať, že všetky skúšobné malty je možné použiť nielen pre murovanie, ale aj pre omietanie muriva.

8.1.3 Množstvo zámesovej vody

Množstvo zámesovej vody, potrebné pre dosiahnutie konštantnej konzistencie všetkých troch skúšobných vzoriek, bolo vyjadrené pomocou vodného súčiniteľa $w = v/s.m.$, kde:

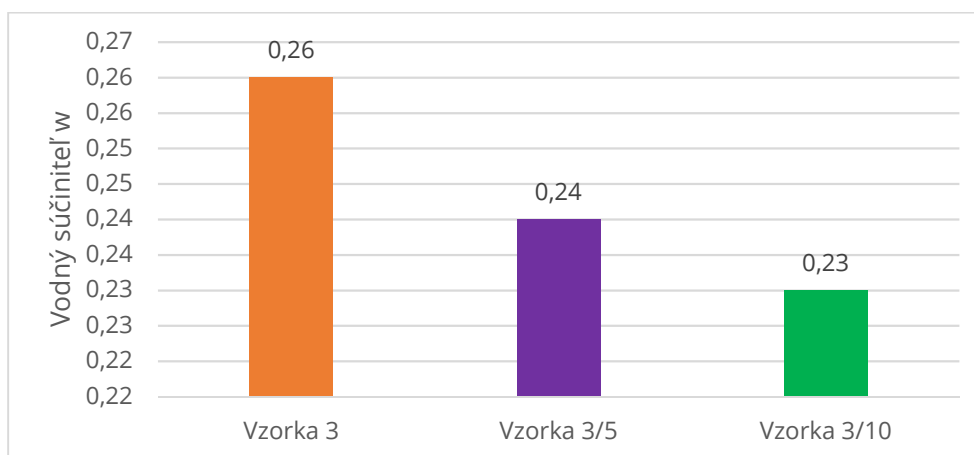
v ... množstvo vody [kg]

$s.m.$... množstvo suchej maltovej zmesi [kg]

Výsledky stanovenia sú uvedené v tab. 11 a formou grafickej závislosti na obr. 8.

Tab. 14: Množstvo zámesovej vody na maltu konštantnej konzistencie

Označenie vzorky	Rozliatie koláča [mm]	Vodný súčiniteľ [%]
Vzorka 3	180×180	0,26
Vzorka 3/5	170×175	0,24
Vzorka 3/10	170×170	0,23



Obr. 8: Množstvo zámesovej vody na maltu konštantnej konzistencie

Na základe dosiahnutých výsledkov možno konštatovať:

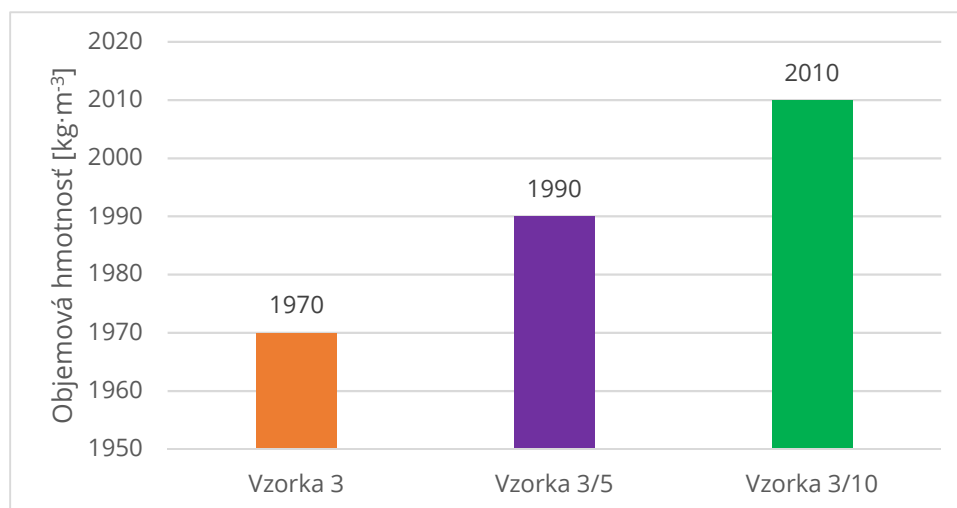
- V súlade s vyššie uvedenými predpokladmi bola najvyššia hodnota vodného súčiniteľa stanovená pre referenčnú vzorku 3, ktorá sa jednak vyznačovala najnižšou sypanou objemovou hmotnosťou a súčasne aj najvyšším podielom jemnozrnných častíc.
- Na základe priebehu vodných súčiniteľov sa dá predpokladať, že nutný vyšší podiel zámesovej vody u referenčnej vzorky 3 bude mať vplyv na zníženie pevností a na zníženie objemovej hmotnosti čerstvej malty

8.1.4 Objemová hmotnosť čerstvej malty

Výsledky stanovenia objemovej hmotnosti čerstvej malty sú uvedené v tabuľke 12 a v grafe na obr. 9.

Tab. 15: Objemová hmotnosť čerstvej malty

Označenie vzorky	Objemová hmotnosť [kg·m ⁻³]
Vzorka 3	1970
Vzorka 3/5	1990
Vzorka 3/10	2010



Obr. 9: Objemová hmotnosť čerstvej maltovej zmesi

Na základe dosiahnutých výsledkov možno povedať:

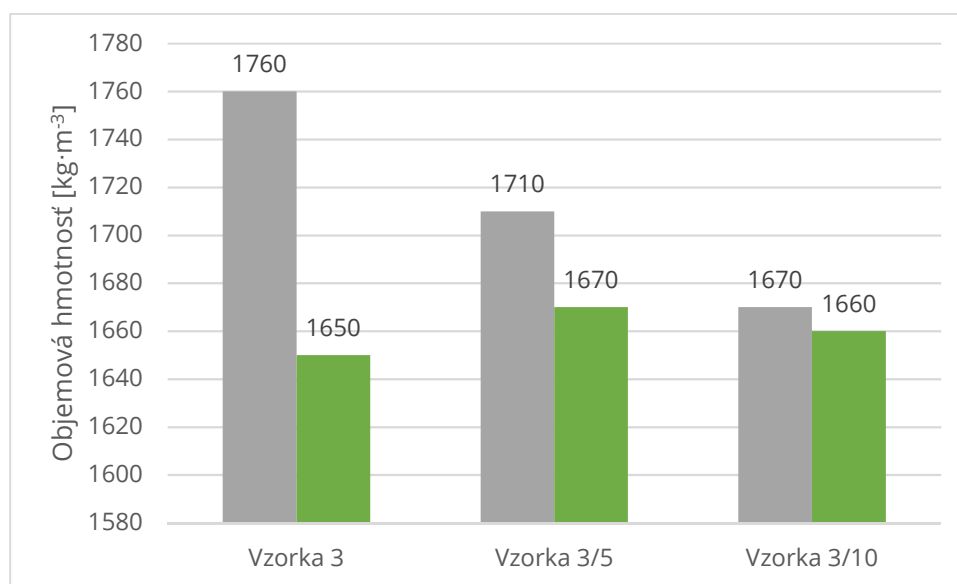
- Objemové hmotnosti vzoriek čerstvej malty pravidelne narastali s prídavkom sadry, a to podľa vyššie uvedeného predpokladu, so znižujúcou sa hodnotou vodného súčiniteľa.

8.1.5 Objemová hmotnosť a pevnosti zatvrdnutej malty

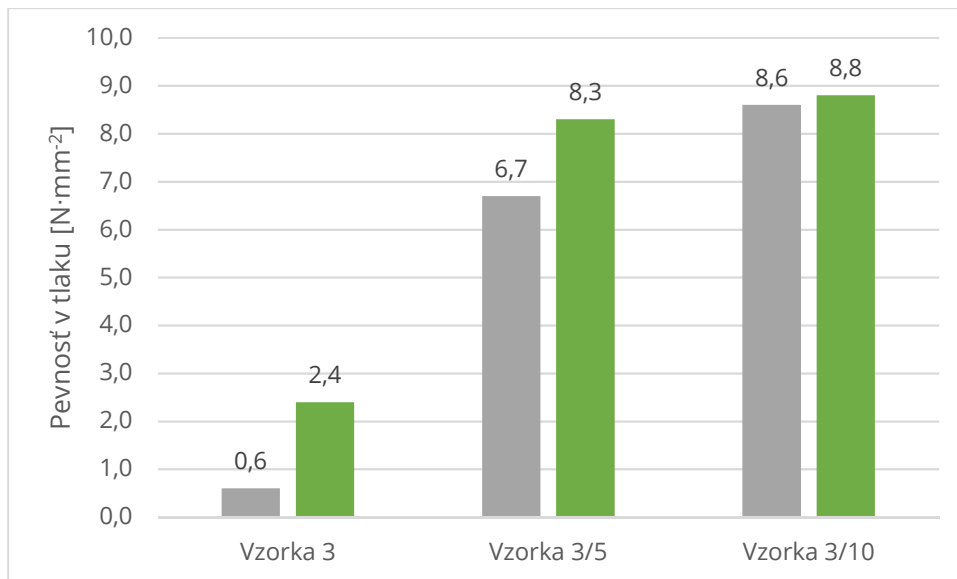
Stanovenie objemovej hmotnosti a pevností zatvrdnutej malty v čase hydratácie 7 a 28 dní je tabelárne vyjadrené v tabuľke 13 a graficky zobrazené v grafoch na obrázkoch 10 až 12.

Tab. 16: Technologické vlastnosti zatvrdnutej malty

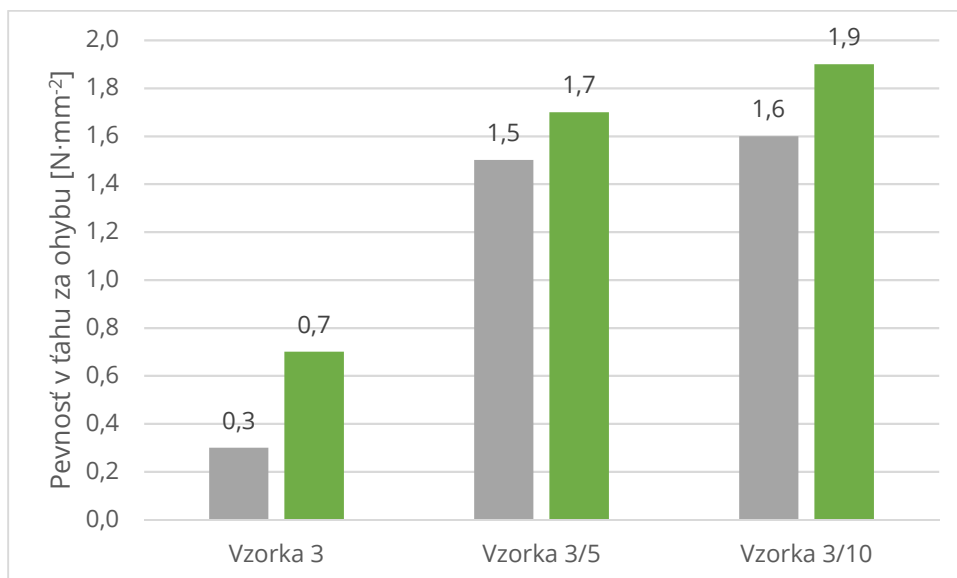
Označenie vzorky	Objemová hmotnosť		Pevnosť v tlaku		Pevnosť v ťahu za ohybu	
	7 dní	28 dní	7 dní	28 dní	7 dní	28 dní
Vzorka 3	1760	1650	0,6	2,4	0,3	0,7
Vzorka 3/5	1710	1670	6,7	8,3	1,5	1,7
Vzorka 3/10	1670	1660	8,6	8,8	1,6	1,9



Obr. 10: Objemová hmotnosť zatvrdnutej malty po: ■ 7 a ■ 28 dňoch



Obr. 11: Pevnosť v tlaku zatvrdnutej malty po: ■ 7 a ■ 28 dňoch



Obr. 12: Pevnosť v ťahu za ohybu zatvrdnutej malty po: ■ 7 a ■ 28 dňoch

Dosiahnuté výsledky možno vyhodnotiť nasledovne:

- Objemová hmotnosť zatvrdnutých mált v čase hydratácie 7 dní bola vždy vyššia ako objemová hmotnosť príslušnej čerstvej malty. Ďalej bolo pozorované, že objemová hmotnosť klesala aj v závislosti na zvyšujúcom sa obsahu sadry. Dôvodom bolo intenzívnejšie vysychanie zámesovej vody, viazané na pôvodnú sadru. V čase hydratácie do 28 dní došlo naopak k intenzívnejšiemu vysychaniu vzorky referenčnej i vzorky 3/5 s nižším obsahom sadry. Týmto sa objemové

hmotnosti všetkých troch vzoriek v sledovanom čase uloženia 28 dní prakticky vyrovnali.

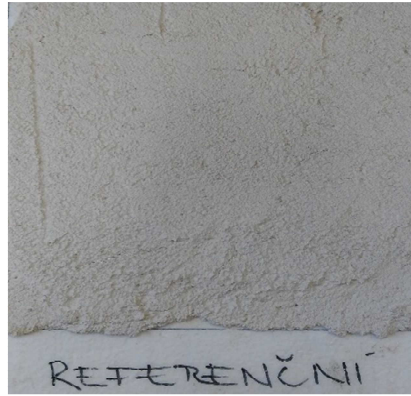
- Pevnosti v tlaku i pevnosti v ťahu za ohybu vzoriek obsahujúcich sadru boli na rozdiel od referenčnej vzorky 3 už po 7 dňoch hydratácie pomerne vysoké. Zatiaľ čo však ich zvýšenie v čase hydratácie 28 dní bolo len nevýrazné, pomerne značne narástla tlaková i ohybová pevnosť vzorky referenčnej. Možno konštatovať, že dobré počiatočné pevnosti vzoriek obsahujúcich sadru boli dané hydratáciou sadry na sadrovec a zrejme i určitým zvýšením hutnosti vzorky predpokladanou tvorbou primárneho ettringitu. Ďalej však možno predpokladať, že s časom uloženia budú za prítomnosti dostatočného množstva vody postupne prebiehať puzolánové reakcie medzi metakaolínom a vápenným hydrátom, a v dôsledku vzniknutého C-S-H systému pevnosti viac porastú u referenčnej vzorky 3.

8.2 Aplikačné vlastnosti

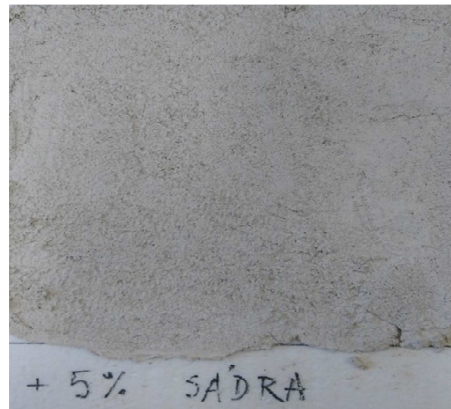
Na záver experimentu boli vzorky mált aplikované na polystyrénový podklad, vid' vyššie, pričom bola posudzovaná schopnosť nanášania a po 7 dňoch uložení prípadná tvorba trhlín. Výsledný povrch zatvrdnutých mált je viditeľný na obrázkoch 13 až 16.



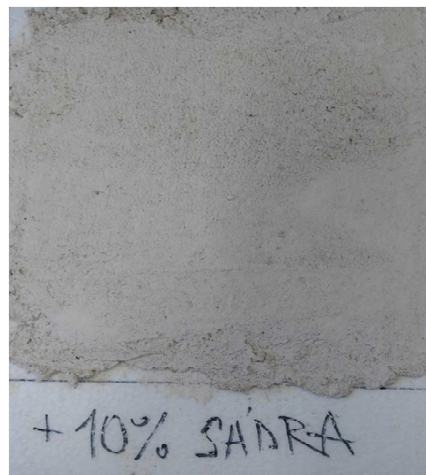
Obr. 13: Zatvrdnutý povrch mált pri skúške aplikačných vlastností



Obr. 14: Povrch zatvrdnutej malty pripravenej zo vzorky 3



Obr. 15: Povrch zatvrdnutej malty pripravenej zo vzorky 3/5



Obr. 16: Povrch zatvrdnutej malty pripravenej zo vzorky 3/10

Na základe dosiahnutých výsledkov možno konštatovať:

- Spracovateľnosť pomocou hladenia bola pri vzorke 3 a vzorke 3/5 výborná, malty vytvárali súvislý a hladký povrch bez porúch. Dobrú spracovateľnosť vykazovala aj

vzorka 3/10, avšak v tomto prípade už proces vyhladzovania nebol taký jednoduchý, pretože sa malta trhala.

- Odolnosť mált proti zmršťovaniu a tvorbe trhlín bola dobrá pri vzorke 3/5 a pri vzorke 3/10, v prípade vzorky 3 boli v nepatrnej miere pozorovateľné mikroskopické trhlinky.

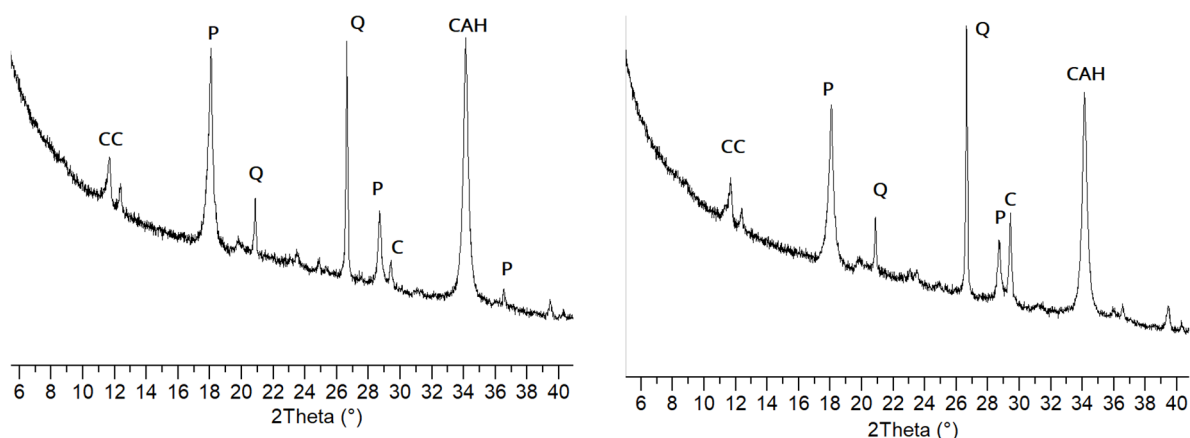
8.3 Sledovanie hydratačného procesu spojív

V röntgenogramoch všetkých vzoriek boli identifikované reziduá inertných minerálov z metakaolínu, a to kaolinitu $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ($d_{hkl}=7,24 \text{ \AA}$) (K) a kremeňa SiO_2 ($d_{hkl}=3,34 \text{ \AA}$) (Q).

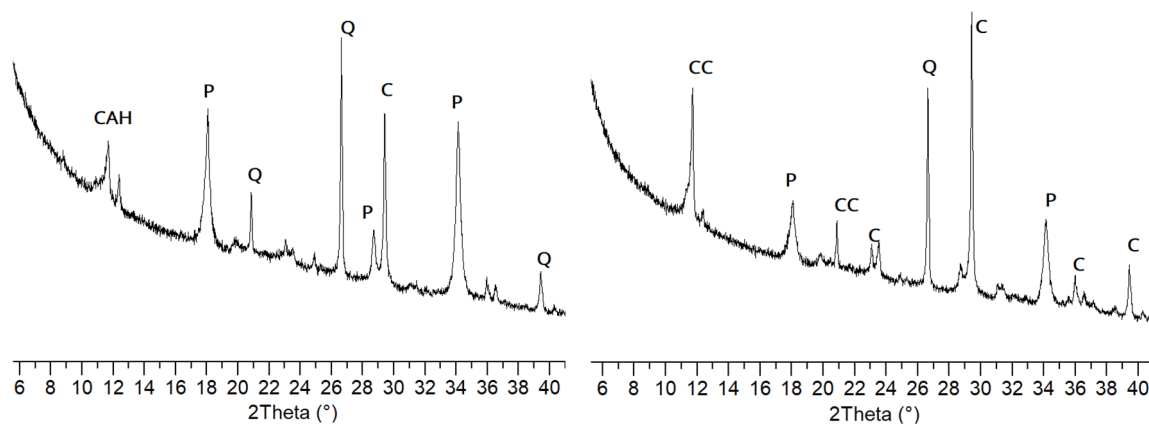
Z nových hydratačných produktov boli ďalej vo vzorkách identifikované minerály:

- Gehlenit oktahydrát, C_2AH_8 ($d_{hkl} = 12,58; 4,183 \text{ \AA}$) (G)
- C-A-H fáza typu C_2AH_8 ($d_{hkl} = 10,7; 3,58 \text{ \AA}$) (CAH)
- Karbonátový komplex, $\text{C}_3\text{A} \cdot \text{CaCO}_3 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ ($d_{hkl} = 7,6; 3,8 \text{ \AA}$) (KK)
- Sadrovec, $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ($d_{hkl} = 7,56; 4,27 \text{ \AA}$) (S)
- Ettringit, $\text{C}_3\text{A} \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 32\text{H}_2\text{O}$ ($d_{hkl} = 9,8; 5,7 \text{ \AA}$) (E)
- Monosulfát, $\text{C}_3\text{A} \cdot \text{CaSO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ ($d_{hkl} = 8,93; 4,46 \text{ \AA}$) (M)
- Vaterit, CaCO_3 ($d_{hkl} = 3,56 \text{ \AA}$) (V)
- Aragonit, CaCO_3 ($d_{hkl} = 3,396 \text{ \AA}$) (A).
- Kalcit, CaCO_3 , ($d_{hkl} = 3,031 \text{ \AA}$) (C)

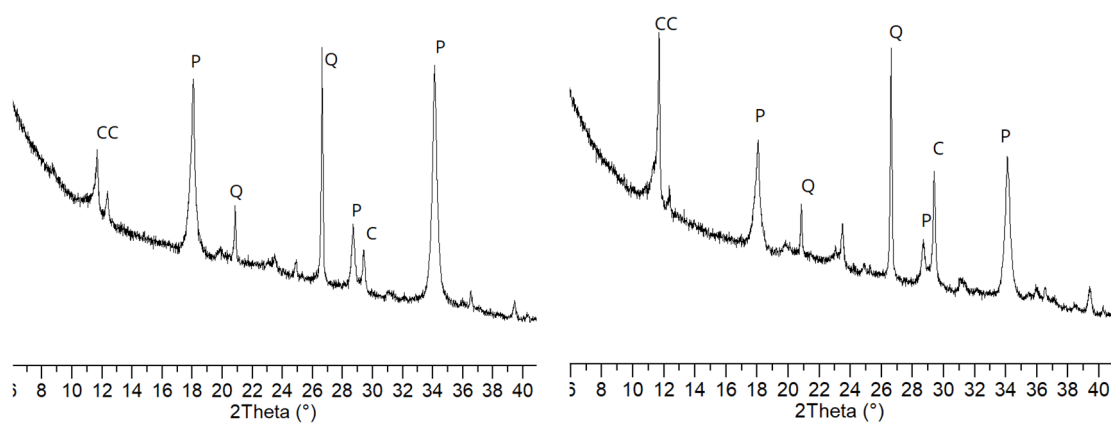
Röntgenogramy vzoriek sú uvedené na obr. až



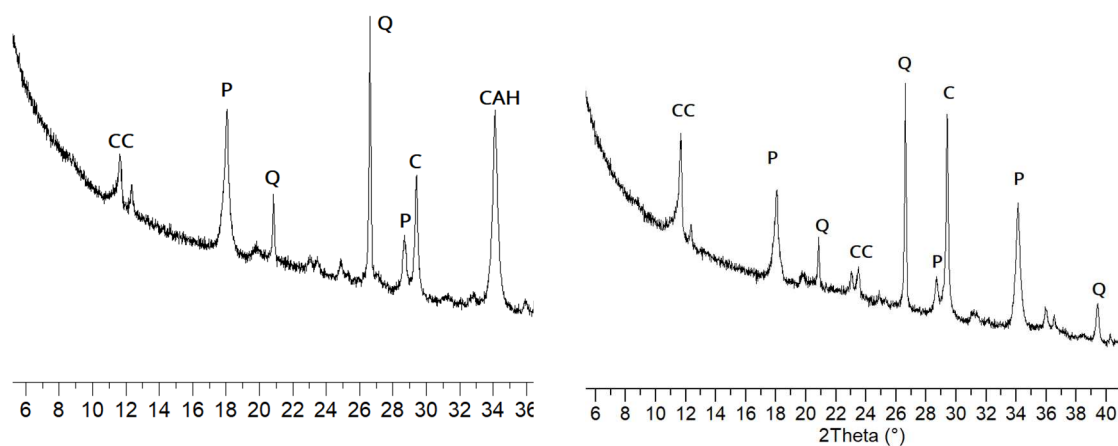
Obr. 17: Vľavo vzorka 3, prostredie L/20, 1. deň; vpravo vzorka 3, prostredie L/20, 3. deň



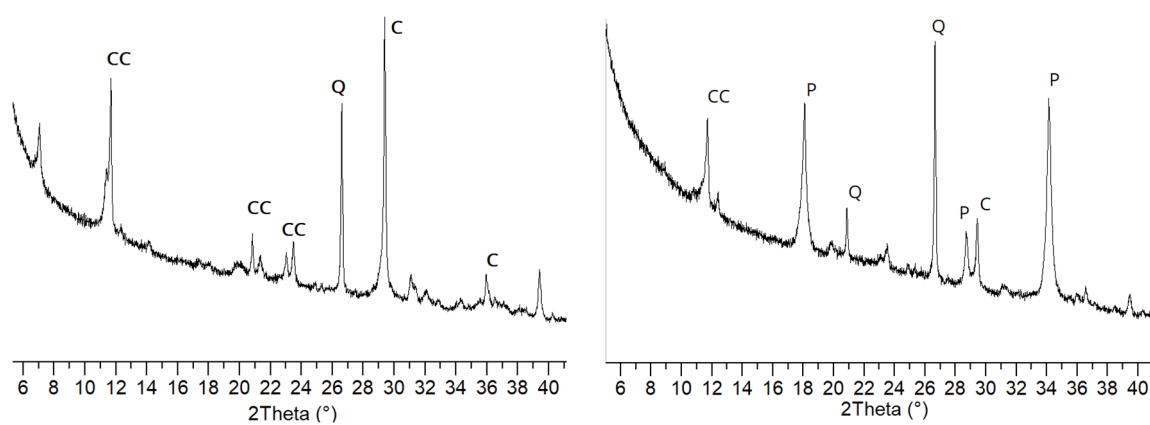
Obr. 18: Vľavo vzorka 3, prostredie C/5 3. deň; vpravo vzorka 3, prostredie C/40, 3. deň



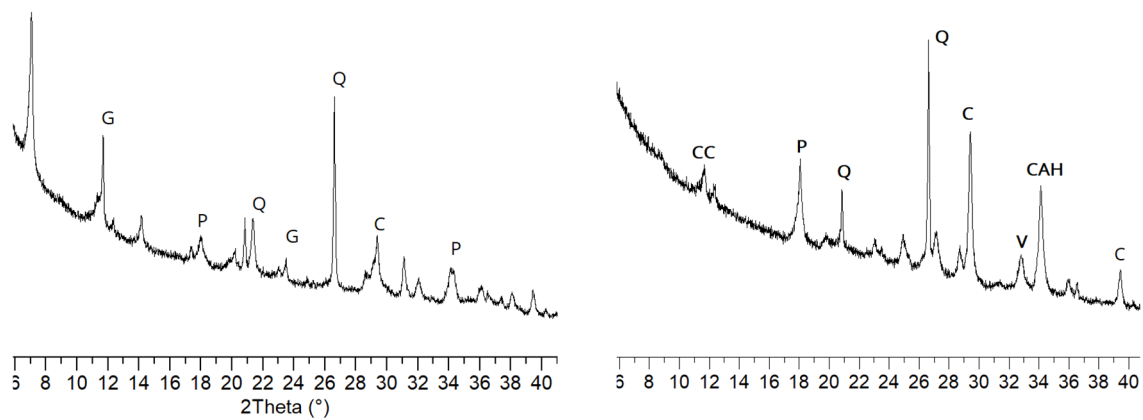
Obr. 19: Vľavo vzorka 3, prostredie V/5, 3. deň; vpravo vzorka 3, prostredie V/40, 3. deň



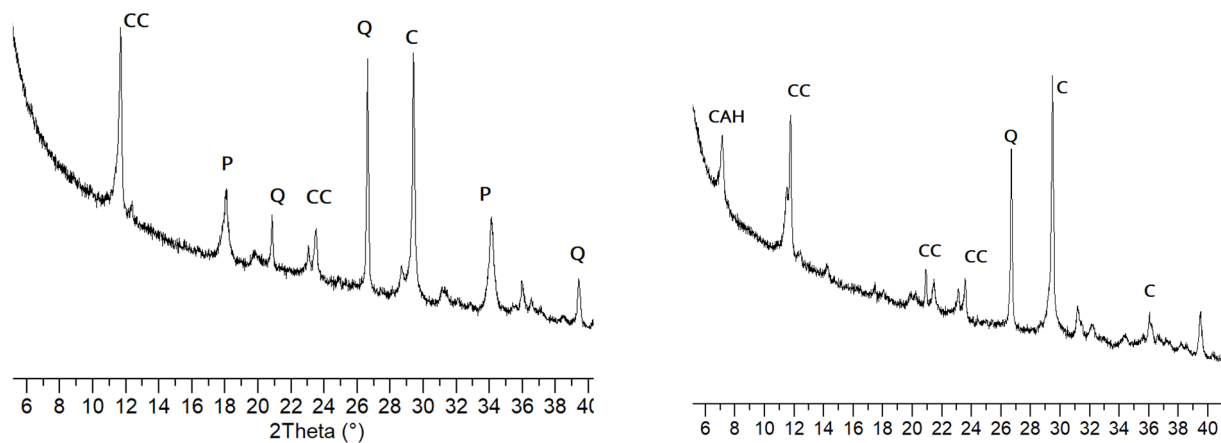
Obr. 20: Vľavo vzorka 3, prostredie L/20, 7. deň; vpravo vzorka 3, prostredie C/5, 7. deň



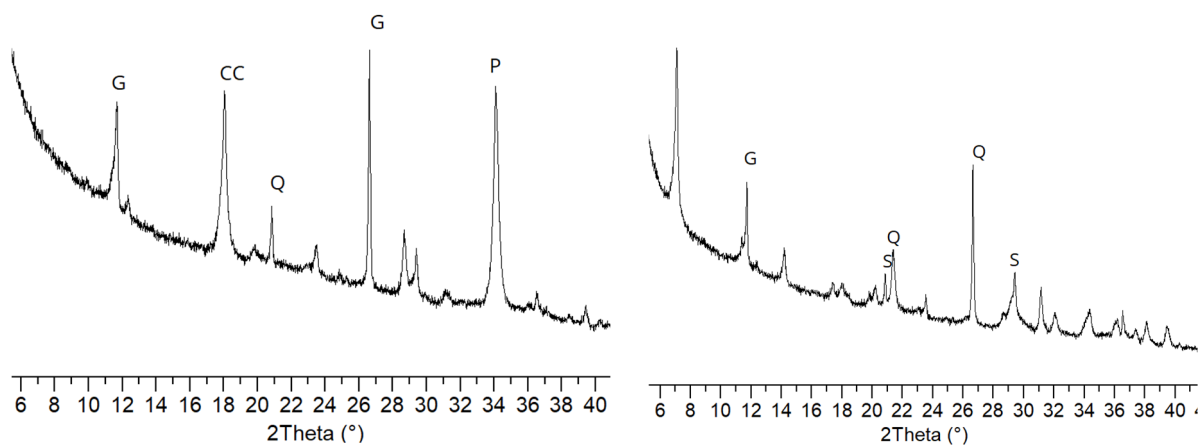
Obr. 21: Vľavo vzorka 3, prostredie C/40, 7. deň; vpravo vzorka 3, prostredie V/5, 7. deň



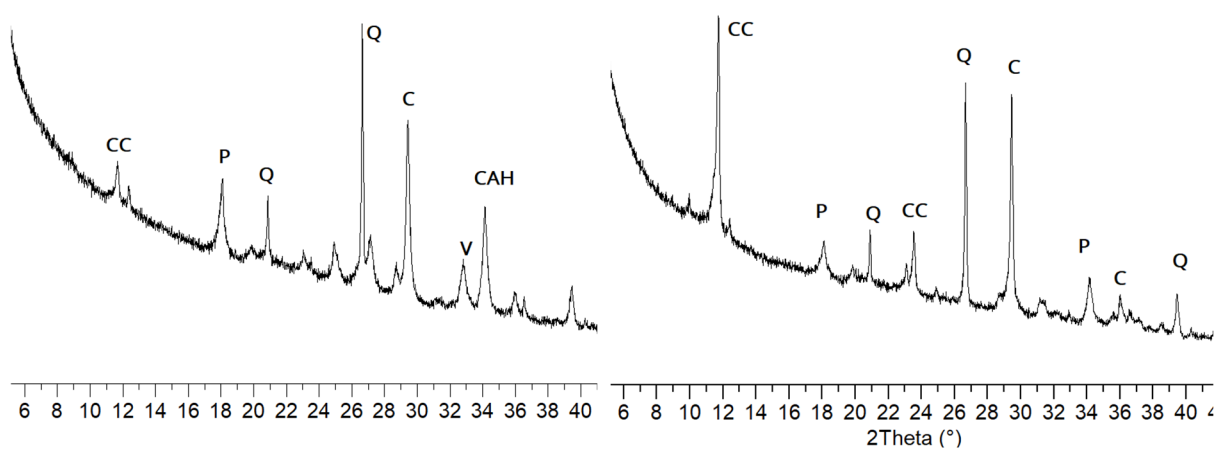
Obr. 22: Vľavo vzorka 3, prostredie V/40, 7. deň; vpravo vzorka 3, prostredie L/20, 14. deň



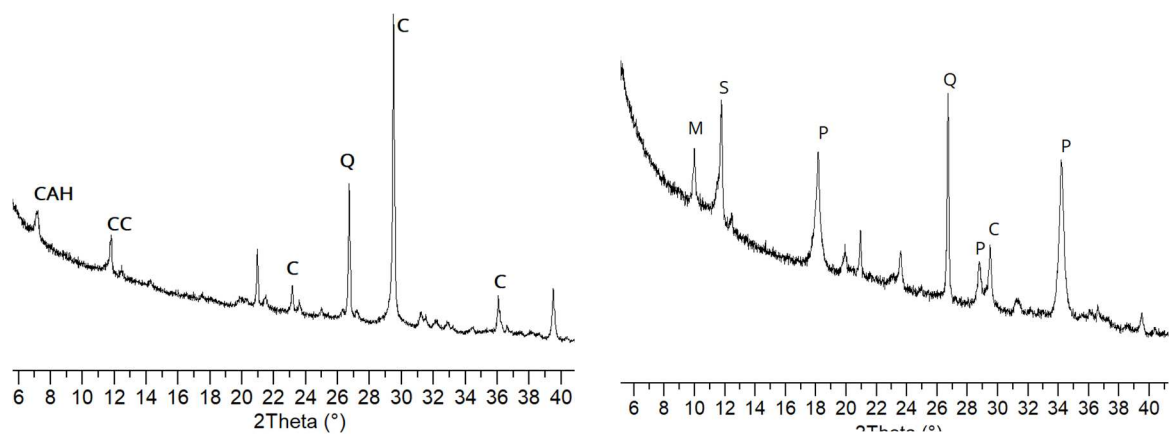
Obr. 23: Vľavo vzorka 3, prostredie C/5, 14. deň; vpravo vzorka 3, prostredie C/40, 14. deň



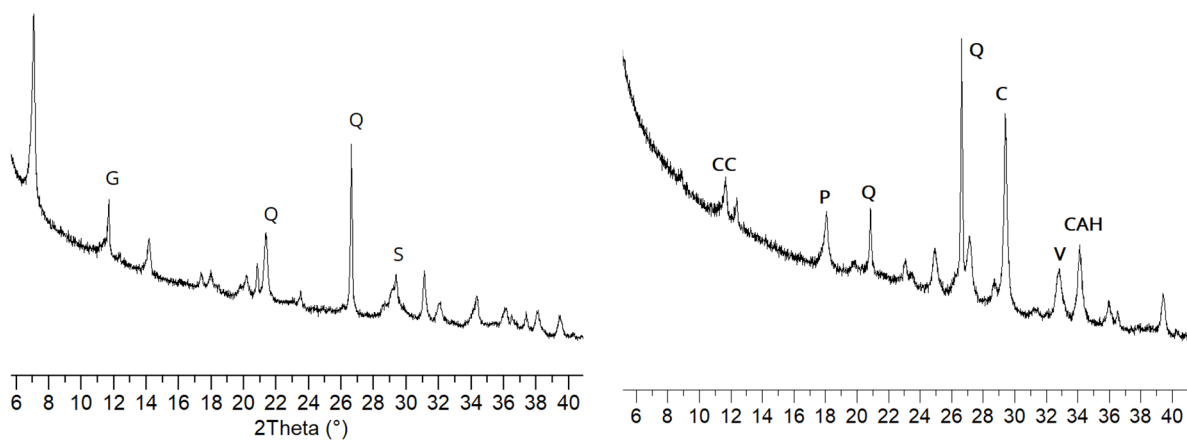
Obr. 24: Vľavo vzorka 3, prostredie V/5, 14. deň; vpravo vzorka 3, prostredie V/40, 14. deň



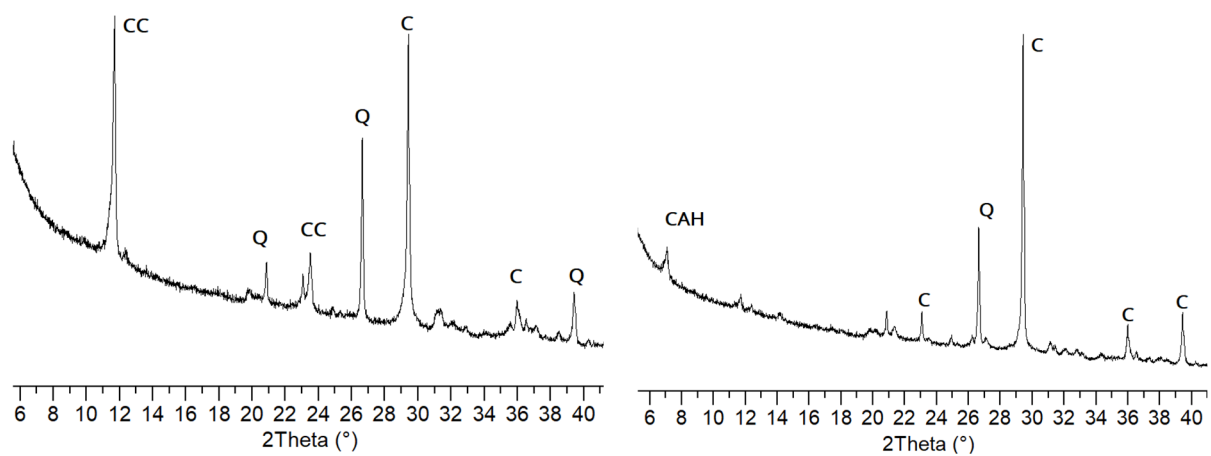
Obr. 25: Vľavo vzorka 3, prostredie L/20, 21. deň; vpravo vzorka 3, prostredie C/5, 21. deň



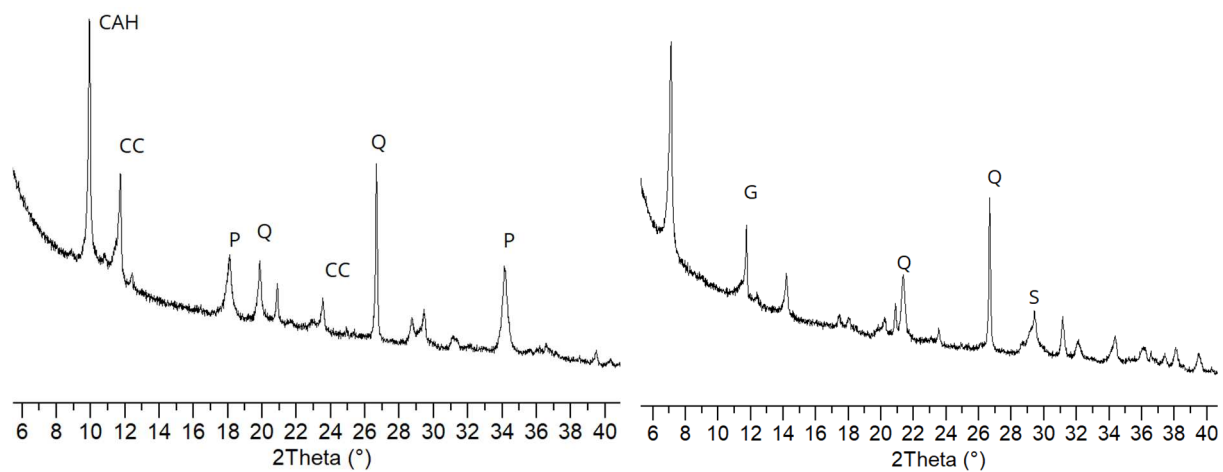
Obr. 26: Vľavo vzorka 3, prostredie C/40, 21. deň, vpravo vzorka 3, prostredie V/5, 21. deň



Obr. 27: Vľavo vzorka 3, prostredie V/40, 21. deň; vpravo vzorka 3, prostredie L/20, 28. deň

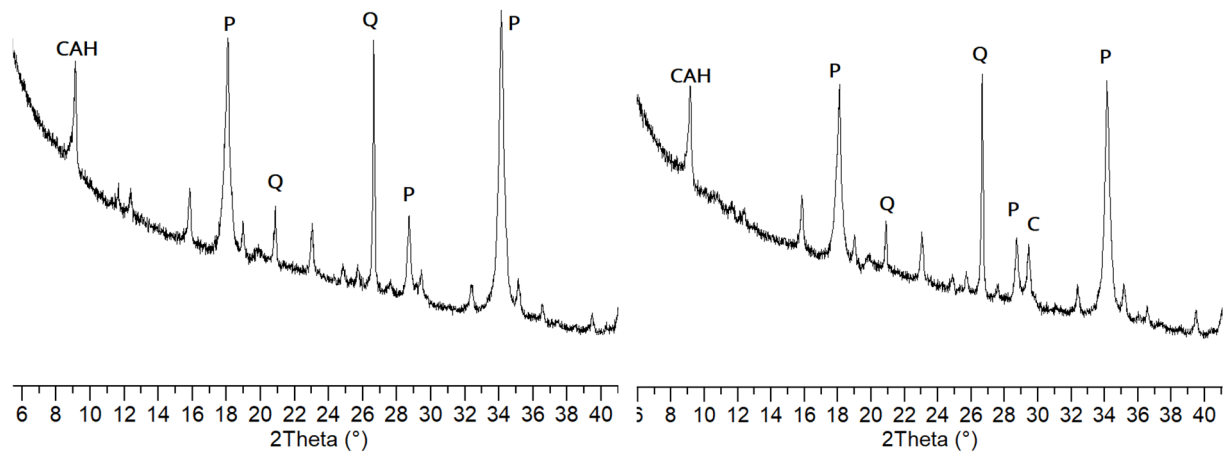


Obr. 28: Vľavo vzorka 3, prostredie C/40, 28. deň; vpravo vzorka 3, prostredie C/40, 28. deň

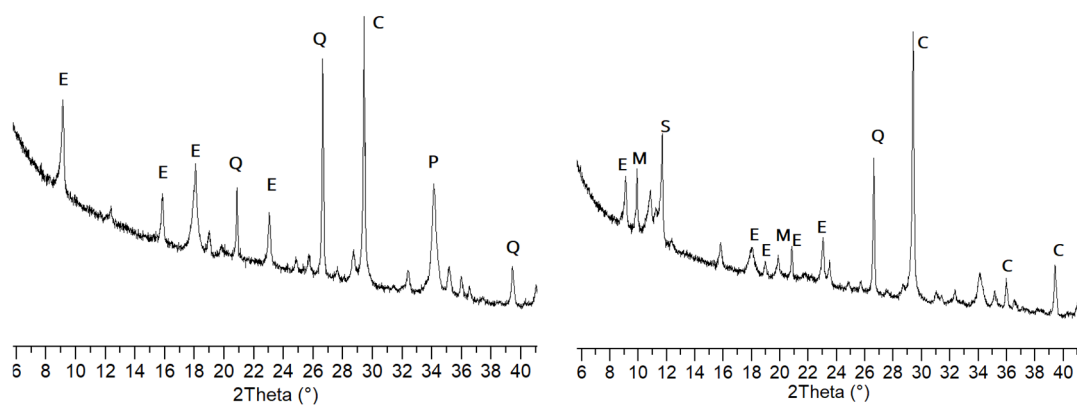


Obr. 29: Vľavo vzorka 3, prostredie V/5, 28. deň; vpravo vzorka 3, prostredie V/40, 28. deň

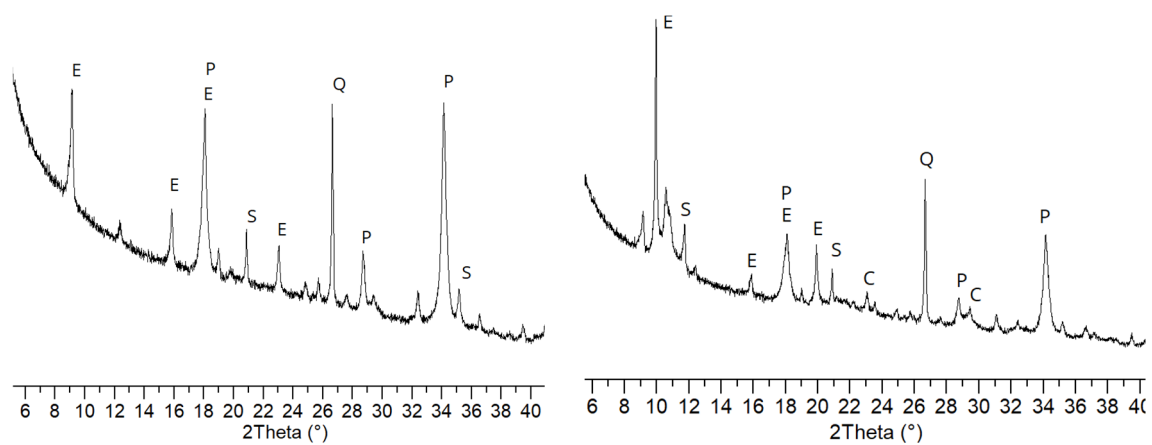
Obr. 17 - 29: Röntgenogramy vzorky 3 hydratovanej v zvolených prostrediach uloženia po čase hydratácie 1 až 28 dní.



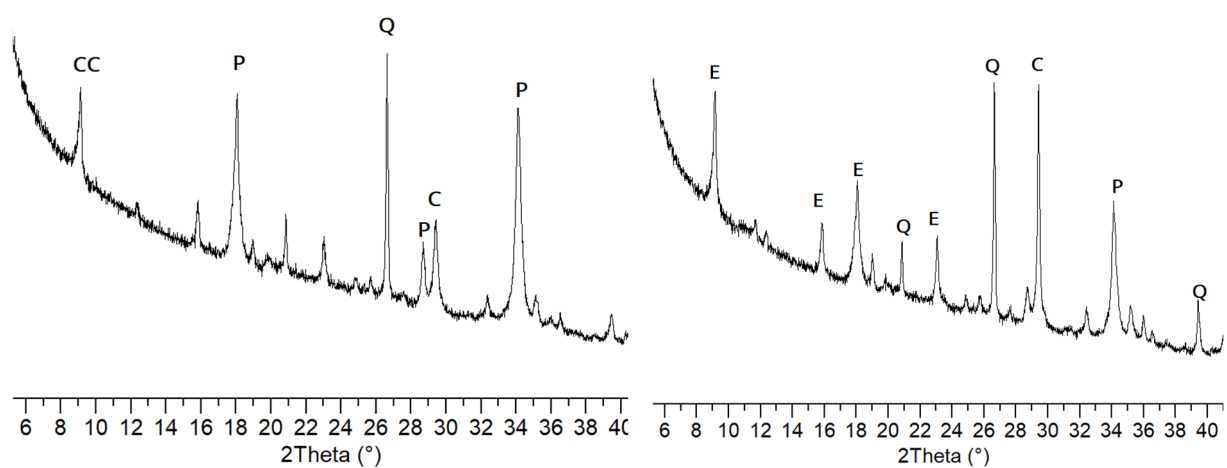
Obr. 30: Vľavo vzorka 3/5, prostredie L/20, 1. deň; vpravo vzorka 3/5, prostredie L/20, 3. deň



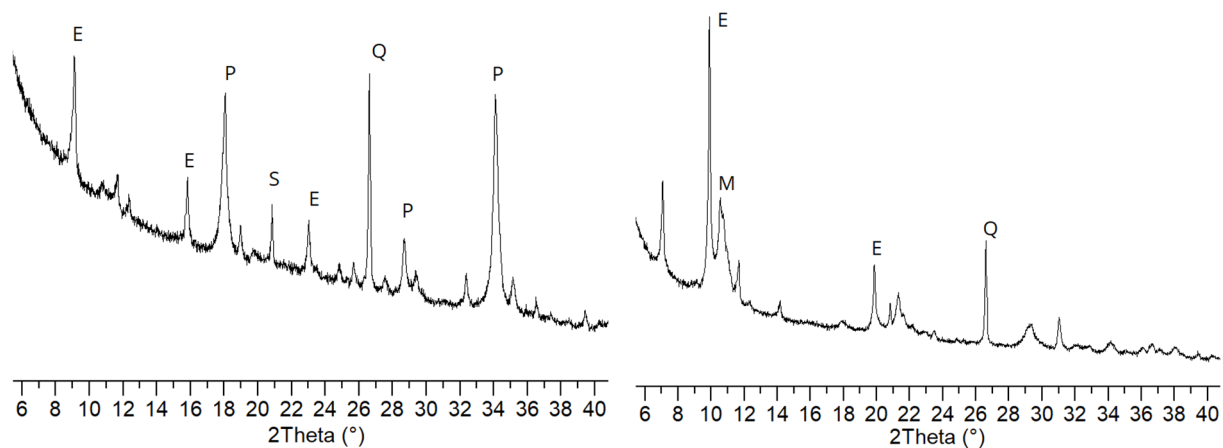
Obr. 31: Vľavo vzorka 3/5, prostredie C/5, 3. deň; vpravo vzorka 3/5, prostredie C/40, 3.deň



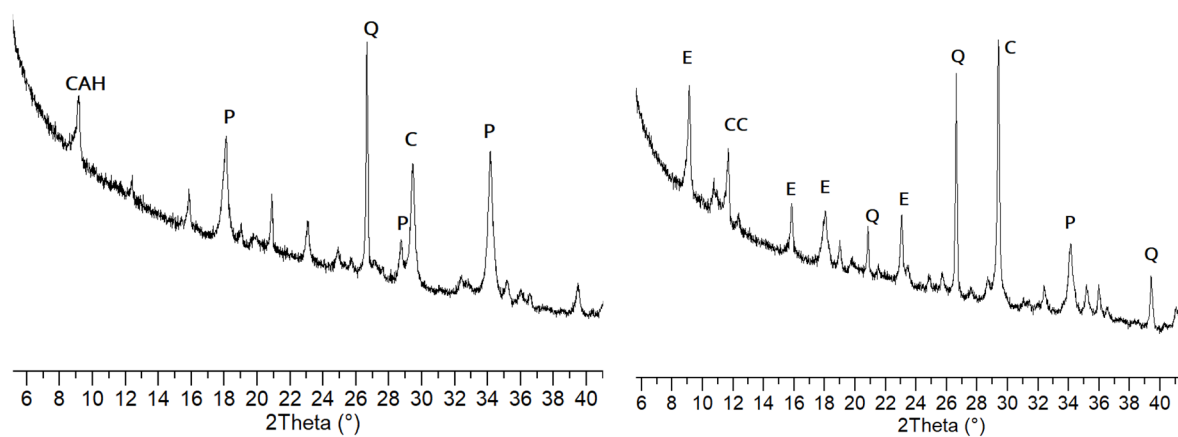
Obr. 32: Vľavo vzorka 3/5, prostredie V/5, 3. deň; vpravo vzorka 3/5, prostredie V/40, 3. deň



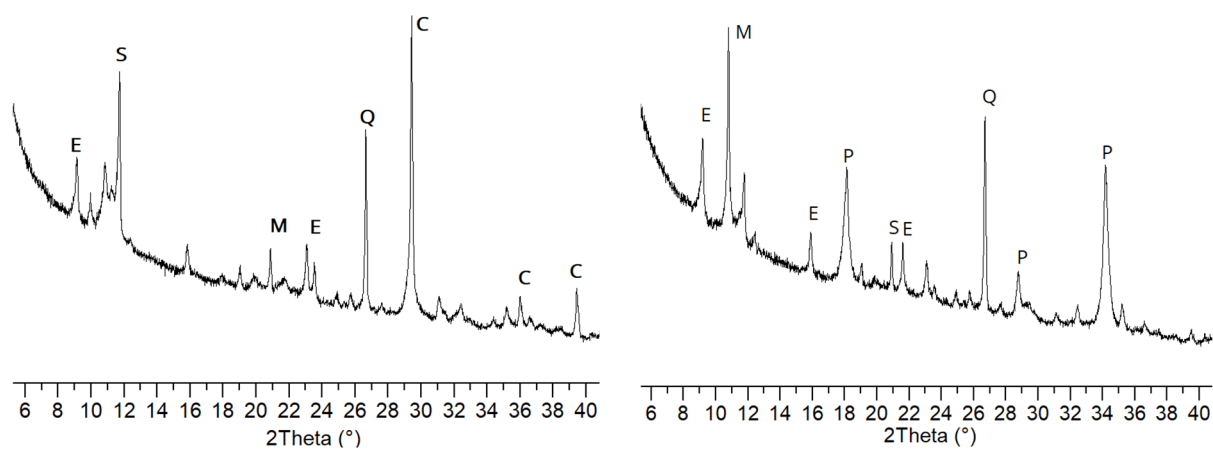
Obr. 33: Vľavo vzorka 3/5, prostredie L/20, 7. deň; vpravo vzorka 3/5, prostredie C/5, 7. deň



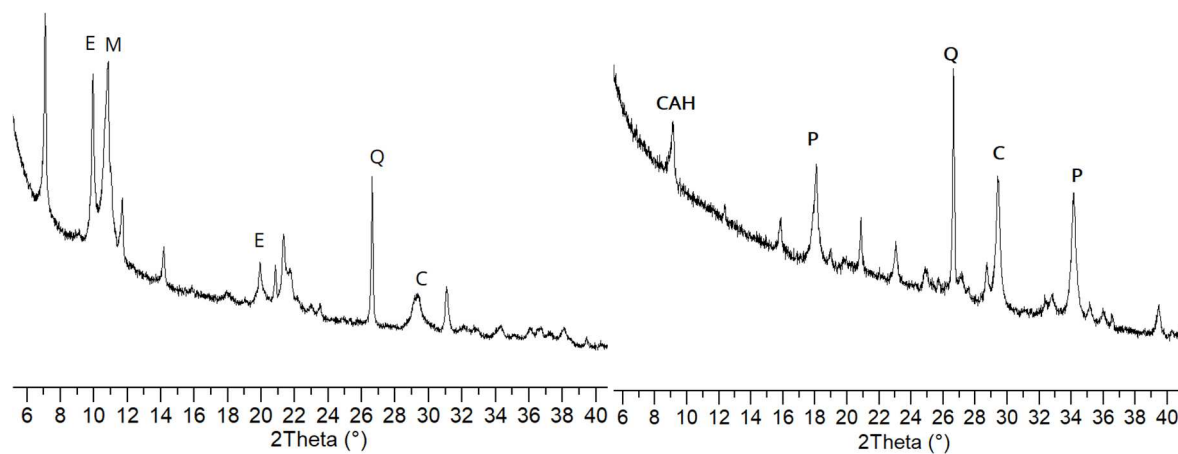
Obr. 34: Vľavo vzorka 3/5, prostredie V/5, 7. deň; vpravo vzorka 3/5, prostredie V/40, 7. deň



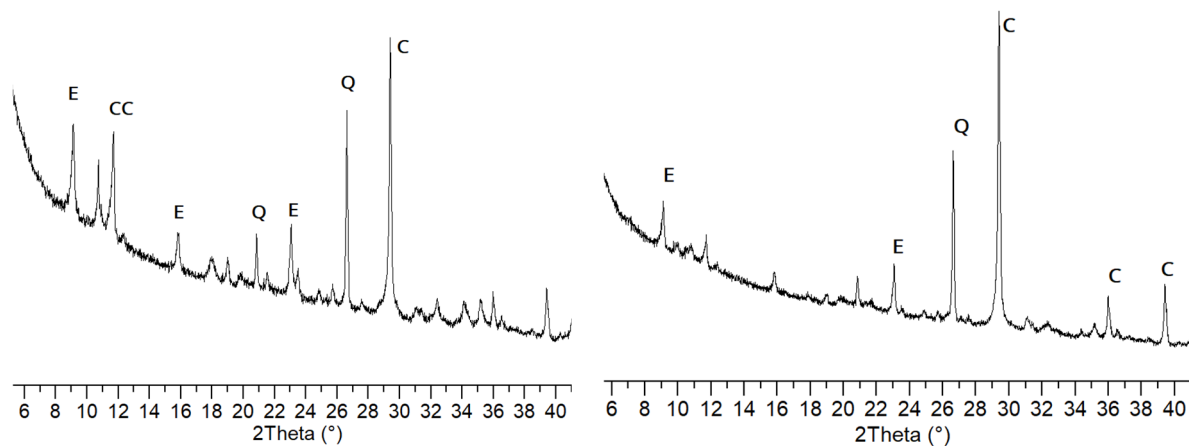
Obr. 35: Vľavo vzorka 3/5, prostredie L/20, 14. deň; vpravo vzorka 3/5, prostredie C/5, 14. deň



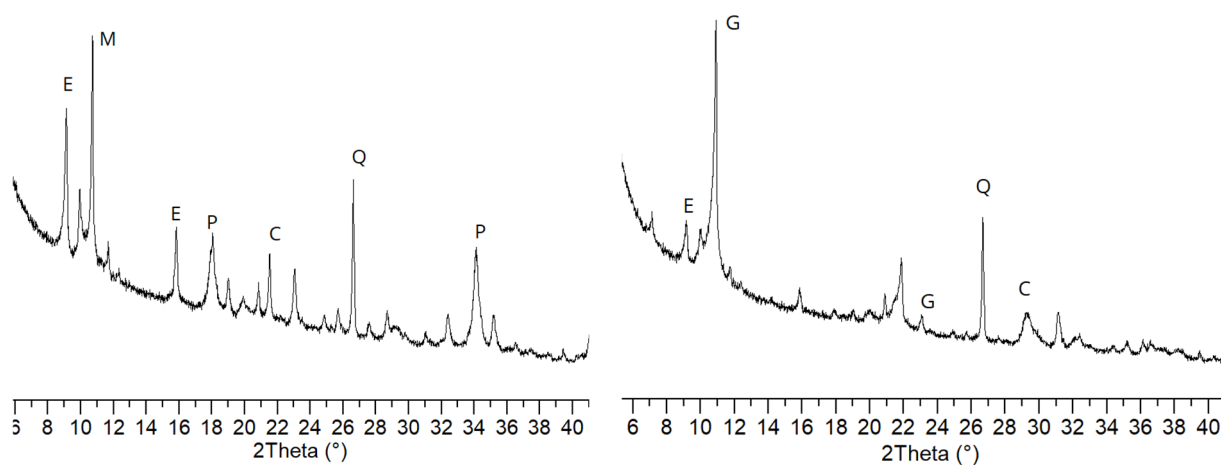
Obr. 36: Vľavo vzorka 3/5, prostredie C/40, 14. deň; vpravo vzorka 3/5, prostredie V/5, 14.deň



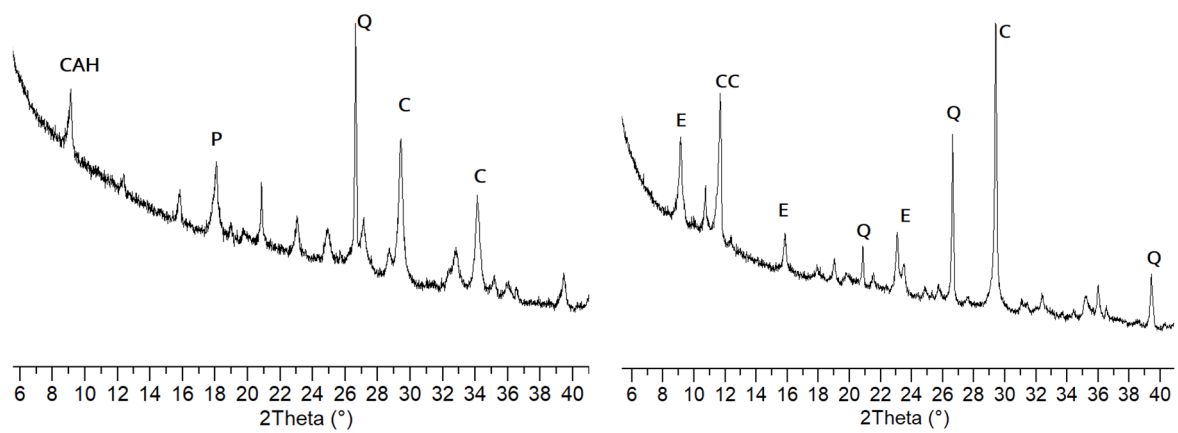
Obr. 37: Vľavo vzorka 3/5, prostredie V/40, 14. deň; vpravo vzorka 3/5, prostredie L/20, 21. deň



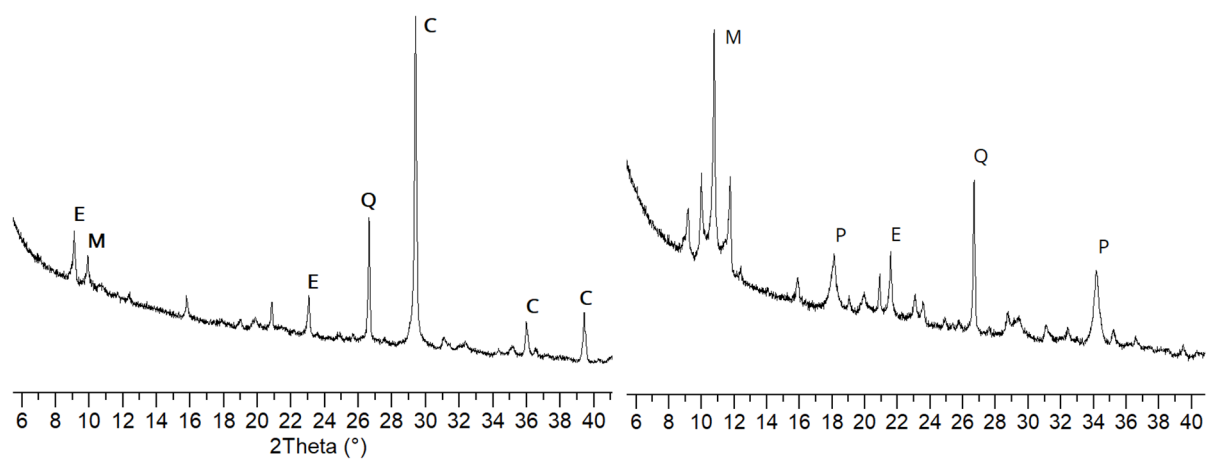
Obr. 38: Vľavo vzorka 3/5, prostredie C/5, 21. deň; vpravo vzorka 3/5, prostredie C/40, 21. deň



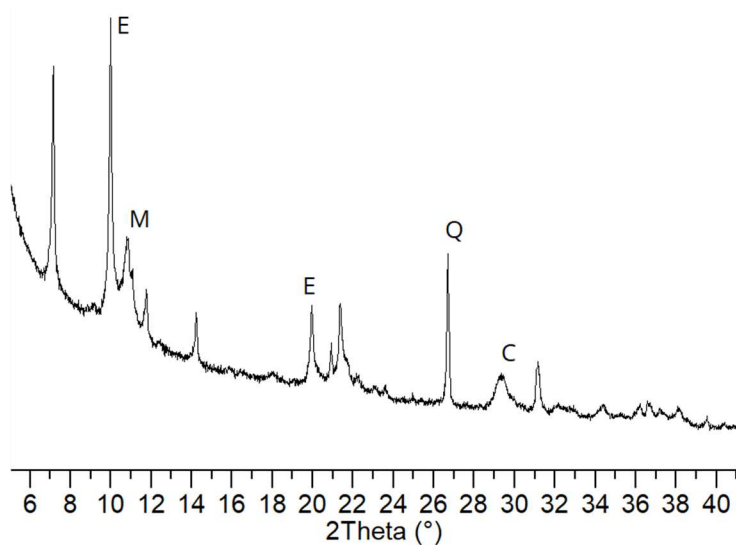
Obr. 39: Vľavo vzorka 3/5 prostredie V/5, 21. deň; vpravo vzorka 3/5, prostredie V/40, 21. deň



Obr. 40: Vľavo vzorka 3/5, prostredie L/20, 28. deň, vpravo vzorka 3/5, prostredie C/5, 28. deň

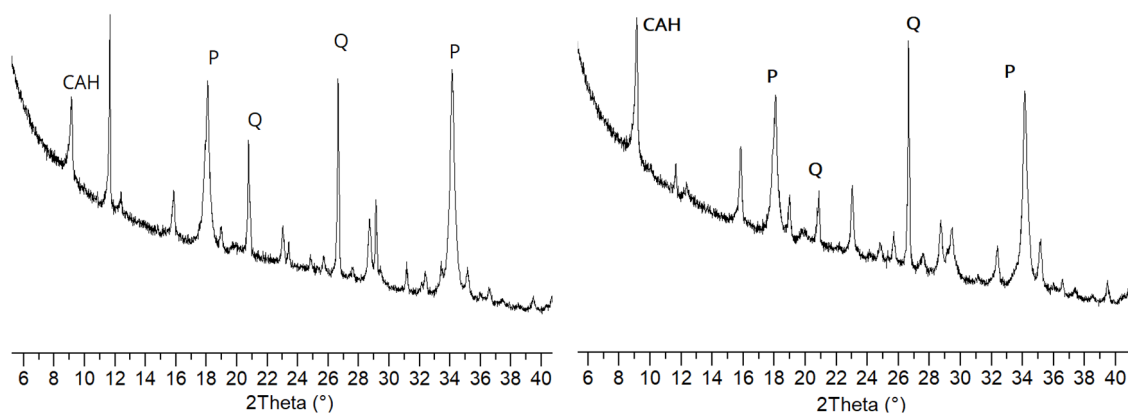


Obr. 41: Vľavo vzorka 3/5, prostredie C/40, 28. deň; vpravo vzorka 3/5, prostredie V/5, 28. deň

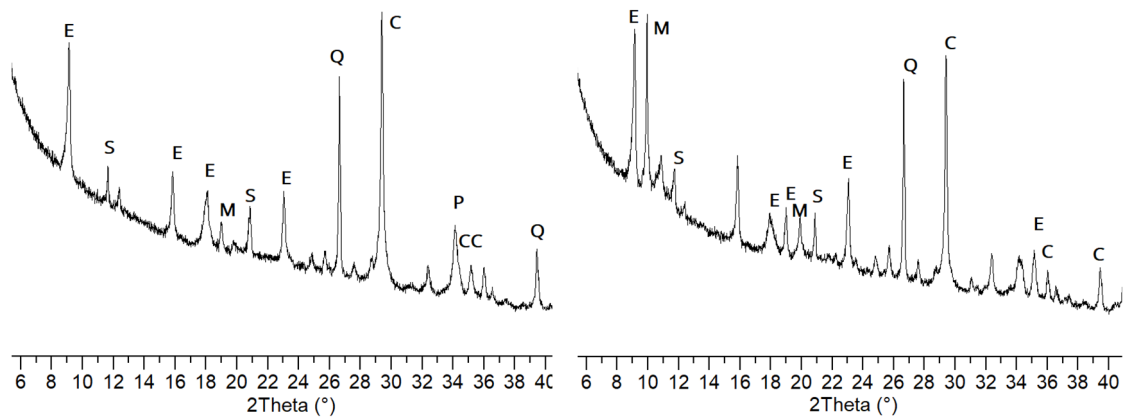


Obr. 42: Vzorka 3/5, prostredie V/40, 28.deň

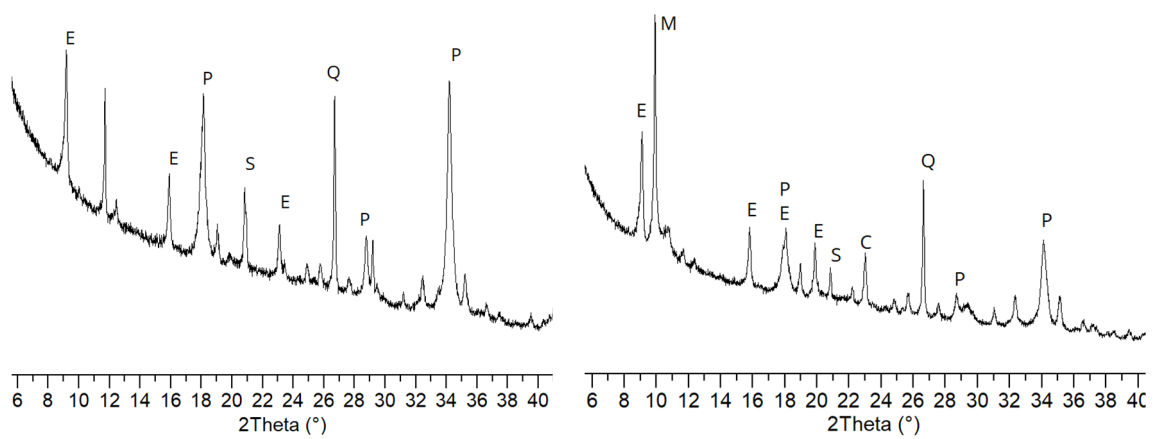
Obr. 30 - 42: Röntgenogramy vzorky 3/5 hydratovanej v zvolených prostrediach uloženia po čase hydratácie 1 až 28 dní.



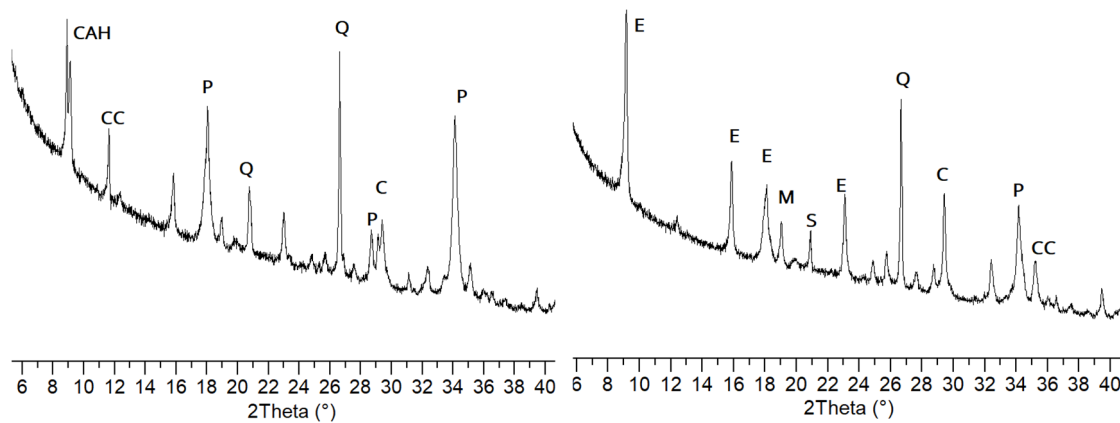
Obr. 43: Vľavo vzorka 3/10, prostredie L/20, 1. deň; vpravo vzorka 3/10, prostredie L/20, 3. deň



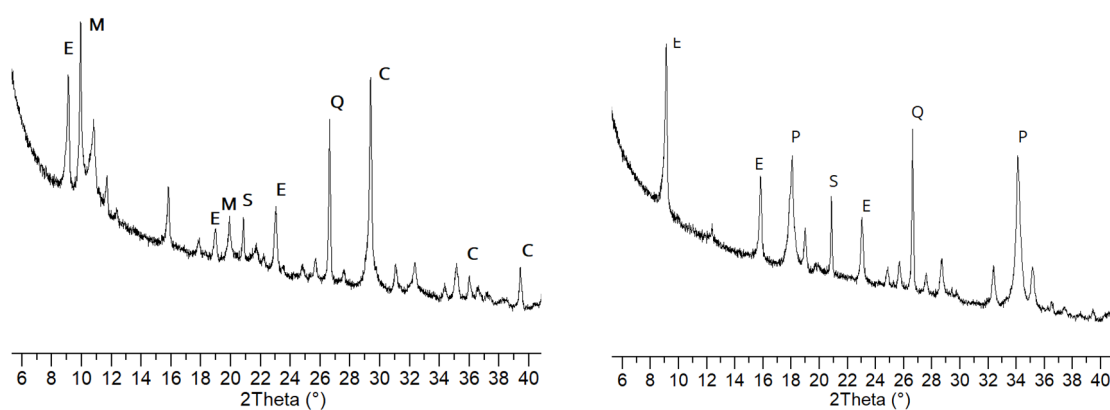
Obr. 44: Vľavo vzorka 3/10, prostredie C/5, 3. deň; vpravo vzorka 3/10, prostredie C/40, 3. deň



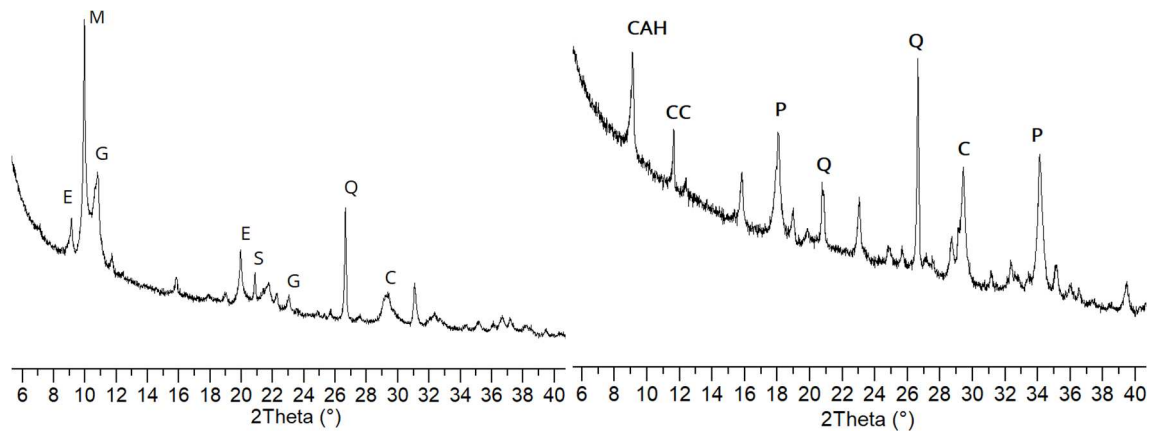
Obr. 45: Vľavo vzorka 3/10, prostredie V/5, 3. deň; vpravo vzorka 3/10, prostredie V/40, 3. deň



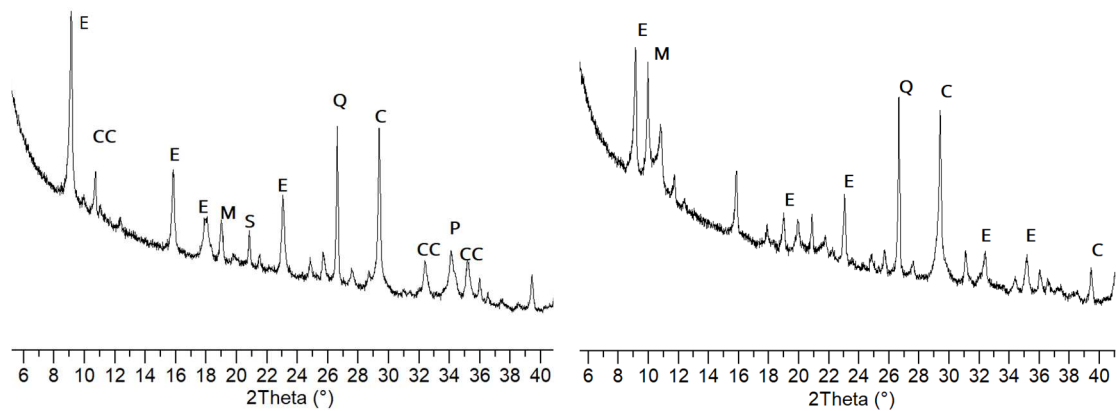
Obr. 46: Vľavo vzorka 3/10, prostredie L/20, 7. deň; vpravo vzorka 3/10, prostredie C/5, 7. deň



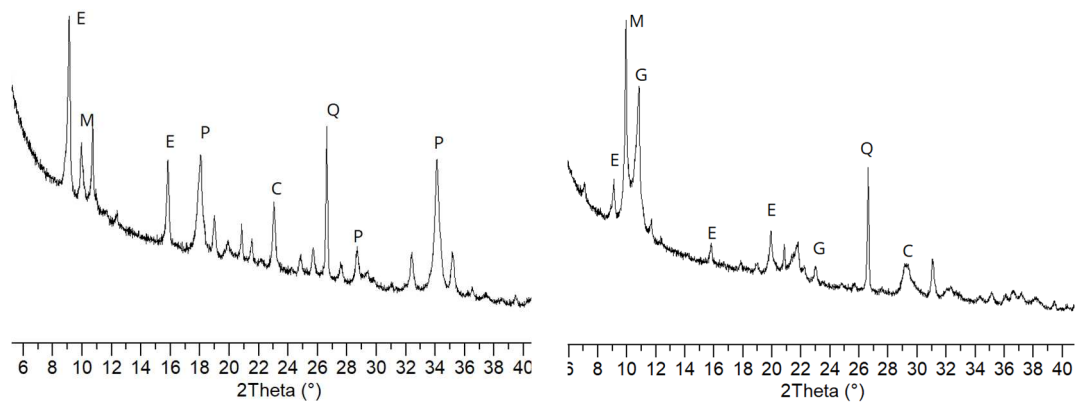
Obr. 47: Vľavo vzorka 3/10, prostredie C/40, 7. deň; vpravo vzorka 3/10, prostredie V/5, 7. deň



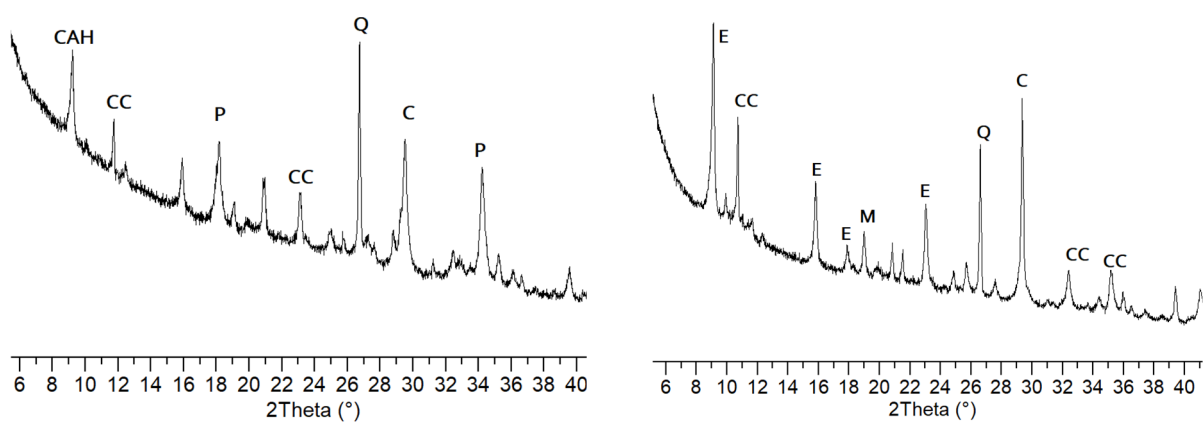
Obr. 48: Vľavo vzorka 3/10, prostredie V/40, 7. deň; vpravo vzorka 3/10, prostredie L/20, 14.deň



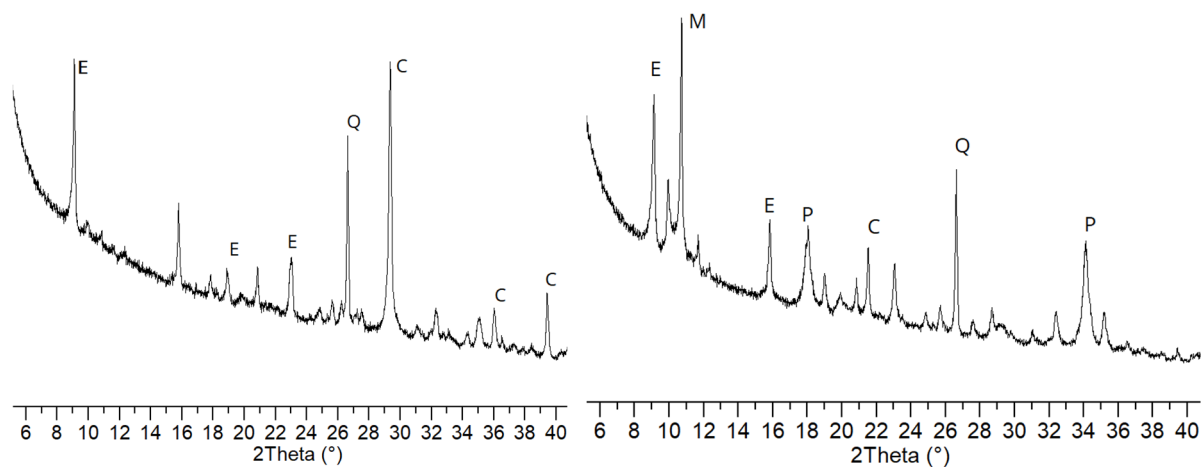
Obr. 49: Vľavo vzorka 3/10, prostredie C/5, 14. deň; vpravo vzorka 3/10, prostredie C/40, 14.deň



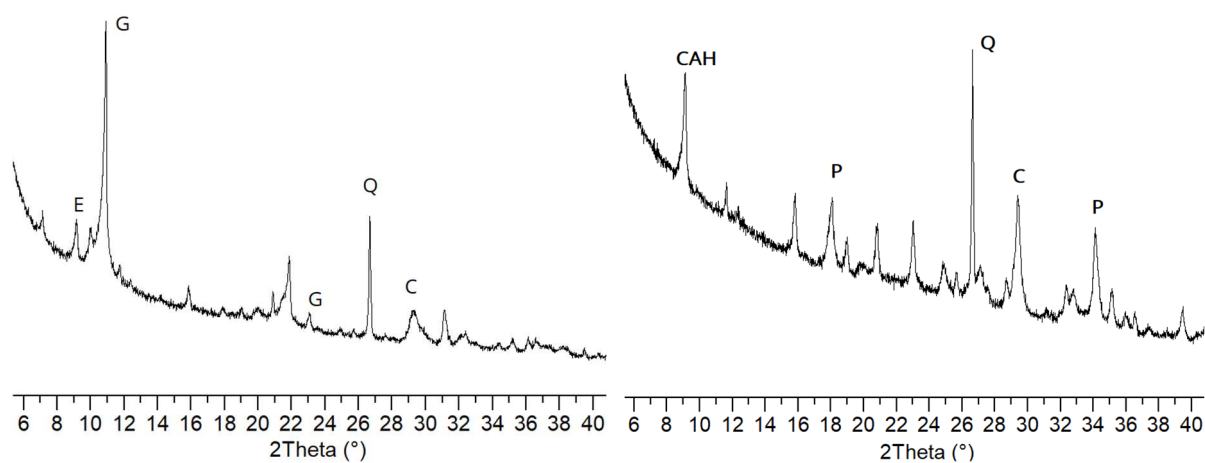
Obr. 50: Vľavo vzorka 3/10, prostredie V/5, 14.deň; vpravo vzorka 3/10, prostredie V/40, 14. deň



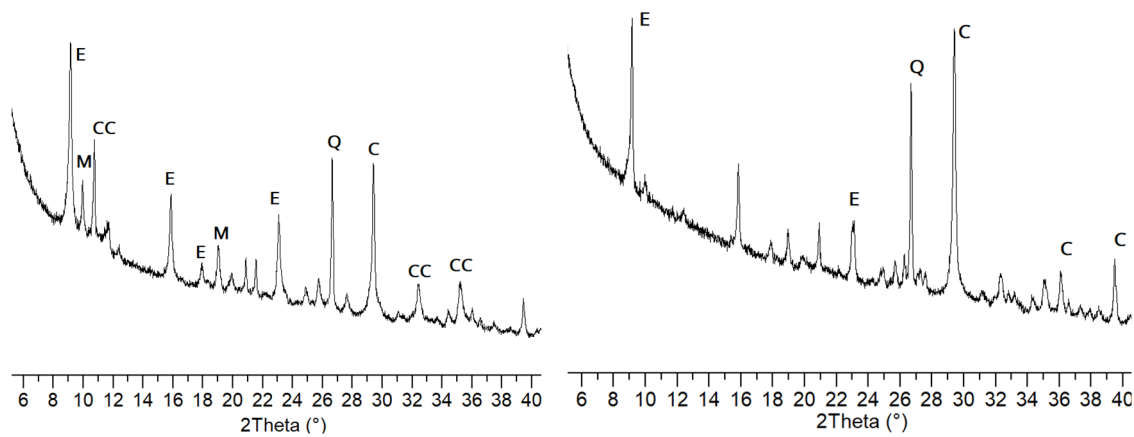
Obr. 51: Vľavo vzorka 3/10, prostredie L/20, 21. deň; vpravo vzorka 3/10, prostredie C/5, 21. deň



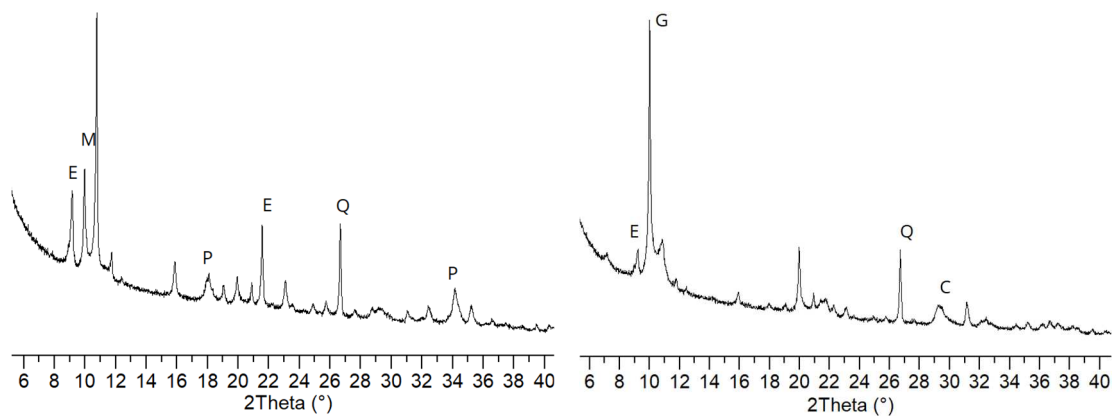
Obr. 52: Vľavo vzorka 3/10, prostredie C/40, 21. deň; vpravo vzorka 3/10, prostredie V/5, 21. deň



Obr. 53: Vľavo vzorka 3/10, prostredie V/40, 21. deň; vpravo vzorka 3/10, prostredie L/20, 28. deň



Obr. 54: Vľavo vzorka 3/10, prostredie C/5, 28. deň; vpravo vzorka 3/10, prostredie C/40, 28. deň



Obr. 55: Vľavo vzorka 3/10, prostredie V/5, 28. deň; vpravo vzorka 3/10, prostredie V/40, 28. deň

Obr. 43 - 44: Röntgenogramy vzorky 3/10 hydratovanej v zvolených prostrediach loženia po čase hydratácie 1 až 28 dní

8.3.1 Prostredie L/20

Pri referenčnej vzorke 3 sa okamžite s rozkladom metakaolinitu, vzniknutého C-A-H systému a portlanditu, resp. uhličitanu vápenatého, stanovil karbonátový komplex. S časom uloženia sa jeho množstvo zvyšovalo len minimálne. Okrem neho vzorka obsahovala spočiatku vysoký podiel portlanditu, ktorý časom pechádzal na kalcit.

Pri uložení vzorky 3/5 v tomto prostredí bol už po jednom dni hydratácie identifikovaný významný obsah ettringitu. V ranom hydratačnom štádiu vzorka ďalej obsahovala portlandit, ktorý s časom uloženia sčasti prechádzal na kalcit.

Fázové zloženie vzorky 3/10 bolo prakticky podobné ako u vzorky 3/5. Jediný rozdiel spočíval v identifikácii sadrovca, ktorého obsah v čase uloženia klesal.

8.3.2 Prostredie C/5

Rovnako ako v laboratórnom prostredí aj pri týchto podmienkach bol vo vzorke 3 spozorovaný malý podiel C-A-H fáze, ktorý sa postupne transformoval do karbonátového komplexu. Ďalej bol identifikovaný portlandit, ktorého obsah postupne klesal v dôsledku transformácie na kalcit.

Vo vzorke 3/5 bol v tomto prostredí už bezprostredne po rozmiešaní s vodou identifikovaný ettringit. Spočiatku ešte pomerne značný obsah portlanditu rýchlo skarbonátoval na kalcit. Sporadicky bola zaznamenaná prítomnosť monosulfátu, sadrovca a C-A-H fáze.

Fázové zloženie vzorky 3/10 bolo počas celého priebehu hydratácie prakticky rovnaké ako u predošlej vzorky. Jediný rozdiel spočíval v ranom hydratačnom štádiu, kedy bol vo vzorke identifikovaný väčší podiel sadrovca.

8.3.3 Prostredie C/40

U vzorky 3 bola pri uložení v tomto prostredí vedľa karbonátového komplexu, kalcitu a do prvých 3 dní hydratácie prítomného portlanditu, identifikovaná iba prítomnosť C-A-H fází.

Pri uložení vzorky 3/5 v tomto prostredí bol vo vzorke identifikovaný ettringit, monosulfát, sadrovec a C-A-H fáza, ktorých množstvo sa s časom uloženia trochu znižoval. Zo začiatku prítomný portlandit sa v priebehu prvých troch dní premenil na kalcit.

Vzorka 3/10 sa od predchádzajúcej líšila vyšším podielom ettringitu, ktorý sa s časom hydratácie prakticky nemenil.

8.3.4 Prostredie V/5

Fázové zloženie vzorky 3 sa veľmi podobalo uloženiu v laboratórnom prostredí. Na začiatku viditeľná C-A-H fáza sa postupne transformovala do karbonátového komplexu. Jedine obsah portlanditu bol vysoký počas celého sledovaného obdobia, naopak obsah kalcitu bol veľmi nízky.

Vo vzorke 3/5 bol v tomto uložení zo začiatku identifikovaný ettringit, portlandit, eventuálne sadrovec. S ubiehajúcim časom uloženia bol vo vzorke identifikovaný monosulfát a C-A-H fáza, sadrovec bol identifikovaný len sporadicky. S ubiehajúcim časom dochádzalo k čiastočnej karbonatácii portlanditu na kalcit.

Fázové zloženie a priebeh hydratačného procesu vzorky 3/10 bol takmer zhodný so vzorkou 3/5.

8.3.5 Prostredie V/40

Pri uložení v tomto prostredí bol u vzorky 3 z nových hydratačných fáz prítomný karbonátový komplex, portlandit a malé množstvo kalcitu. Približne od 14 dňa hydratácie bol identifikovaný minerál gehlenit oktahydrát, výrazne poklesol obsah karbonátového komplexu, obsah portlanditu a kalcitu sa blížil k nule.

Vo vzorke 3/5 spočiatku prítomný ettringit sa pri tomto uložení veľmi skoro transformoval do monosulfátu. Od 7 dní uloženia bola vo vzorku zrejma prítomnosť gehlenit oktahydrátu. Popri uvedených fáz bolo identifikované malé množstvo sadrovca. Prítomný portlandit s plynúcim časom hydratácie prechádzal na kalcit.

Vzorka 3/10 sa od predchádzajúcej čiastočne líšila iba kvantitatívne, a to zvýšeným obsahom monosulfátu a naopak nižším obsahom C-A-H fáze.

9 Diskusia výsledkov

Na základe dosiahnutých výsledkov možno konštatovať:

- V práci bola navrhnutá a odskúšaná univerzálna historizujúca malta. Návrh zloženia vychádzal z predchádzajúcej etapy výskumu, z ktorej bola za základ prevzatá receptúra dosahujúca najlepších výsledkov, označená ako referenčná vzorka 3. pre zlepšenie vlastností tejto historizujúcej malty bola navrhnutá modifikácia prídavkom sadry, ktorá nahradila pôvodnú suchú zmes v množstve 5 % (vzorka 3/5) a 10 % (vzorka 3/10)
- Sledovaním základných technologických vlastností i orientačným sledovaním aplikačných vlasností bolo dokázané, že navrhnutá modifikácia základnej malty sadrou zlepšuje ako pevnosti, tak aj objemovú stálosť aplikovanej malty. Ďalej možno na základe dosiahnutých výsledkov vyhodnotiť i optimálnu dávku priadnej sadry. Optimálne množstvo pridanej sadry je podľa všetkého 5 %, čo zodpovedá výsledkom vzorky 3/5. vyšší prídavok sadry síce zlepšuje pevnosti, avšak len v minimálnej miere. Väčší prídavok sadry naopak zhoršuje spracovateľnosť malty. Súčasne zo sledovania fázového zloženia hydratovaných spojív pri rôznych podmienkach vyplýva, že zvýšený podiel sadry by mohol byť z dlhodobého hľadiska zdrojom potenciálnej nestability zatvrdnutej malty
- Vyššie popísaný priebeh hydratačného procesu možno súhrnne vyhodnotiť tak, že za neprítomnosti sadry vznikajú v priebehu uloženia ako nové kryštalické hydratačné splodiny C-A-H fáze, ktoré sa transformujú čiastočne pri nižších teplotách a viac pri vyšších teplotách, na AFm fáze typu karbonátového komplexu. Pri zvýšenej teplote vzniká vo vodnom prostredí nová hydratačná fáza, označovaná ako gehlenit oktahydrát
- V prítomnosti sadry v suchej zmesi vzniká pravidelne ettringit, ktorý je však už pri teplote 40 °C nestabilný a prechádza do monosulfátu. Vo vodnom prostredí a pri zvýšenej teplote aj pri vzorke modifikovanej sadrou vzniká gehlenit oktahydrát. Transformácia ettringitu do monosulfátu za zvýšených teplôt by mohla mať pri dlhodobej expozícii v tomto prostredí negatívny vplyv na objemovú stálosť a následne na technologické a aplikačné vlastnosti zatvrdnutých mált.

ZÁVER

V súlade so zadaním bola diplomová práca zameraná na pokračovanie vývoja univerzálnej historizujúcej suchej maltovej zmesi, určenej ako pre murovanie, tak aj na omietanie stavieb.

V práci sa vychádzalo z návrhu maltovej zmesi na báze metakaolínu, vápenného hydrátu a bratčického piesku, optimalizovanej v predchádzajúcej etape výskumu. Pre zlepšenie technologických vlastností, hlavne pevností, bol v rámci diplomovej práce realizovaný návrh modifikovať predošlú vzorku stavebnou sadrou. Skúšaná bol ako náhrada 5 %, tak i náhrada 10 % pôvodnej suchej zmesi. Na základe vyhodnotenia uskutočnených technologických a aplikačných skúšok sa dospelo k záveru, že prídavok sadry síce zlepšil pevnosť mált, na druhej strane však nadmerné množstvo sadry zhoršilo ich spracovateľnosť. Zo súčasne uskutočneného sledovania hydratačného procesu spojiva skúšaných troch vzoriek vyplynulo, že u vzoriek so sadrou, primárne vznikajúci ettringit je už pri teplote 40 °C, ktorú bežne dosahujú v letných mesiacoch povrchy omietnutých stien na oslnených stranách, nestabilný, a preto by mal byť obsah sadry v suchej maltovej zmesi čo najnižší.

Záverom uskutočneného vyhodnotenia možno z troch, v práci skúšaných, historizujúcich maltových zmesí vybrať ako najvhodnejšiu vzorku s 5% substitúciou sadry, ktorá dosahovala dobrých technologických i aplikačných vlastností. Tento obsah sadry by nemusel, s ohľadom na tvorbu a potenciálnu nestabilitu vzniknutého ettringitu, vyvolávať zmeny vedúce až k vážnejším poruchám omietky. Pre ďalšie pokračovanie v tomto výskume sa odporúča dlhodobé sledovanie fázových zložení vzoriek uložených vo zvolených prostrediach, predovšetkým v prostrediach so zvýšenou teplotou. Ďalej je tiež dôležité zamerať sa na minimalizáciu, resp. optimalizáciu dávky sadry, pridávanej k základnej maltovej zmesi na báze metakaolínu a vápenného hydrátu.

ZOZNAM POUŽITEJ LITERATÚRY

- [1] ANDREJKOVIČOVÁ, S., VELOSA, A. L., FERRAZ, E., ROCHA, F. Influence of clay minerals addition on mechanical properties of air lime–metakaolin mortars. *Construction and Building Materials* [online]. 2014, 29 august 2014, (65), 132-139 [cit. 2018-01-10]. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2014.04.118. ISSN 0950-0618. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061814004449>
- [2] BAKOLAS, A., MOROPOULOU, A., AGGELAKOPOULOU, E. Properties of lime–metakolin mortars for the restoration of historic masonries. *Applied Clay Science* [online]. 2011, July 2011, (53), 15-19 [cit. 2018-01-10]. DOI: 10.1016/j.clay.2011.04.005. ISSN 0169-1317. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169131711001372>
- [3] Baumit NHL ručná omietka - technický list. *Baumit* [online]. [cit. 2018-01-10]. Dostupné z: http://www2.baumit.com/pimdamsk/pdb/PDBL_Baumit_NHL_rucna_omietka.pdf
- [4] ČERNÝ, R., TYDLITÁT, V., DRCHALOVÁ, J., ROVNANÍKOVÁ, P. Effect of pozzolanic admixtures on mechanical, thermal and hygric properties of lime plasters. *Construction and Building Materials* [online]. 2006, December 2006, (20), 849-857 [cit. 2018-01-10]. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2005.07.002. ISSN 0950-0618. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061805001674>
- [5] ČESKÉ LUPKOVÉ ZÁVODY, A.S. ČLUZ a.s. : žáruvzdorná ostřiva - lupek a kaolín [online]. 2016 [cit. 2018-01-04]. Dostupné z: <http://www.cluz.cz/>
- [6] ČSN EN 1015-1. *Zkušební metody malt pro zdivo – Část 1: Stanovení zrnitosti (sítovým rozbořem)*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 1999. Třídící znak: 722400.
- [7] ČSN EN 1015-3. *Zkušební metody malt pro zdivo – Část 3: Stanovení konzistence čerstvé malty (s použitím stráscacího stolku)*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2000. Třídící znak: 722400.
- [8] ČSN EN 1015-4. *Zkušební metody malt pro zdivo – Část 4: Stanovení konzistence čerstvé malty (s použitím přístroje pro stanovení hodnoty penetrace)*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 1999. Třídící znak: 722400.
- [9] ČSN EN 1015-10. *Zkušební metody malt pro zdivo – Část 10: Stanovení objemové hmotnosti suché zatvrdlé malty*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2000. Třídící znak: 722400.
- [10] ČSN EN 1015-11. *Zkušební metody malt pro zdivo – Část 11: Stanovení pevnosti zatvrdlých malt v tahu za ohybu a v tlaku*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2000. Třídící znak: 722400.
- [11] ČSN EN 1015-4. *Zkušební metody malt pro zdivo – Část 4: Stanovení konzistence čerstvé malty (s použitím přístroje pro stanovení hodnoty penetrace)*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 1999. Třídící znak: 722400.

[12] ČSN EN 998-1ED.3. *Specifikace malt pro zdivo - Část 1: Malta pro vnitřní a vnější omítky*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2017. Třídící znak: 722401.

[13] E1 Omítky a jejich úpravy - gotické. *Ústav památkové péče: FA ČVUT v Praze* [online]. [cit. 2018-01-10]. Dostupné z: http://pamatky-facvut.cz/elektronicka_skripta/content/e1-om%C3%ADtky-jejich-%C3%BApravy-gotick%C3%A9

[14] E2 Omítky a jejich úpravy - renesančné. *Ústav památkové péče: FA ČVUT v Praze* [online]. [cit. 2018-01-10]. Dostupné z: http://pamatky-facvut.cz/elektronicka_skripta/content/e2-om%C3%ADtky-jejich-%C3%BApravy-renesan%C4%8Dn%C3%AD

[15] E3 Omítky a jejich úpravy - barokní a 19. století. *Ústav památkové péče: FA ČVUT v Praze* [online]. [cit. 2018-01-10]. Dostupné z: http://pamatky-facvut.cz/elektronicka_skripta/content/e3-om%C3%ADtky-jejich-%C3%BApravy-barokn%C3%AD-19-stolet%C3%AD

[16] EXZELLENT Historic. *MC-Bauchemie* [online]. [cit. 2018-01-10]. Dostupné z: <http://www.mc-bauchemie.cz/~media/Files/MC-Bauchemie/Products/cs-CZ/Technicke%20listy/Exzellent%20Historic.pdf>

[17] GIRSA, V., MICHONOVÁ, D. *Historické omítky: záchrana, konzervace, obnova (metodika přístupu k historickým omítkám a k jejich záchraně)*. Praha: České vysoké učení technické, 2013.

[18] GRILO, J., SANTOS SILVA, A., FARIA, P., GAMEIRO, A., VEIGA, R., VELOSA, A. Mechanical and mineralogical properties of natural hydraulic lime-metakaolin mortars in different curing conditions. *Construction and Building Materials* [online]. 2014, 3 January 2014, (51), 287-294 [cit. 2018-01-10]. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2013.10.045. ISSN 0950-0618. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061813009665> [2] HOŠEK, J., LOSOS, L. *Historické omítky : průzkumy, sanace, typologie*. Praha: Grada, 2007. ISBN 978-80-247-1395-3.

[19] HOŠEK, J., LOSOS, L. *Historické omítky : průzkumy, sanace, typologie*. Praha: Grada, 2007. ISBN 978-80-247-1395-3.

[20] KOTLÍK, P. *Stavební materiály historických objektů*. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická, 1999. ISBN 8070803479.

[21] KVK TRADIČNÍ VÁPENNÁ OMÍTKA 0265 KU, KO. *KVK* [online]. 2018 [cit. 2018-01-10]. Dostupné z: <https://www.kvk.cz/data/files/0265/0265.pdf>

[22] LIŠOVSKÝ, M., *Vývoj a vlastnosti historické zdící malty*. Brno, 2017. Bakalářská práce. Vysoké učení technické, Fakulta stavební, Ústav technologie stavebních hmot a dílců. Vedoucí práce Prof. Ing. Marcela Fridrichová, CSc.

[23] MOROPOULOU, A., KLAUS, J. Influence of metakaolin on the properties of mortar and concrete: A review. *Applied Clay Science* [online]. 2009, March 2009, (43), 392-400 [cit. 2018-01-10]. DOI: 10.1016/j.clay.2008.11.007. ISSN 0169-1317. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169131708002706>

- [24] NUNES, C., SLÍŽKOVÁ, Z. Freezing and thawing resistance of aerial lime mortar with metakaolin and a traditional water-repellent admixture. *Construction and Building Materials* [online]. 2016, July 2016, (114), 896 - 905 [cit. 2018-01-10]. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2016.04.029. ISSN 0950-0618. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061816305645>
- [25] PAVLÍK, V., UŽÁKOVÁ, M. Effect of curing conditions on the properties of lime, lime-metakaolin and lime-zeolite mortars. *Construction and Building Materials* [online]. 2016, January 2016, (102, Part 1), 14 - 25 [cit. 2018-01-10]. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2015.10.128. ISSN 0950-0618. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061815305596>
- [26] ROVNANÍKOVÁ, P. *Omítky historických staveb: Složení, analýzy, obnova* [online]. 2016. Dostupné z: <http://uchp.icpf.cas.cz/ehlt/oscht/Rovnanikova%20Kalsem%202016.pdf>
- [27] ROVNANÍKOVÁ, P. *Omítky: chemické a technologické vlastnosti*. Praha: Společnost pro technologie ochrany památek - Stop, 2002. ISBN 80-86657-00-0.
- [28] ROVNANÍKOVÁ, P. Termická analýza jako nástroj pro návrh složení historických malt a omítek. 2010. ISBN: 978-80-7395-259- 4.
- [29] RÖFIX 695 Hydraulkalk-Renovierputz. *RÖFIX* [online]. [cit. 2018-01-10]. Dostupné z: http://www.roefix.at/var/fixitgruppe/storage/ilcatalogue/files/pdf/ATDE/Technisches_Merkblatt_TM_R%C3%96FIX_695_Hydraulkalk-Renovierputz_DC0010939.PDF
- [30] SEPULCRE-AGUILAR, A., HERNÁNDEZ-OLIVARES, F. Assessment of phase formation in lime-based mortars with added metakaolin, Portland cement and sepiolite, for grouting of historic masonry. *Cement and Concrete Research* [online]. 2010, January 2010, **40**(1), 66-76 [cit. 2018-01-10]. DOI: 10.1016/j.cemconres.2009.08.028. ISSN 0008-8846. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0008884609002373>
- [31] SCHULZE, W., TISCHER, W., LACH, V., ETTTEL, P., *Necementové malty a betony*, SNTL, Praha, 1990.
- [32] Technický list - Historic Kalkspatzenmörtel. *Remmers s.r.o.* [online]. [cit. 2018-01-10]. Dostupné z: http://www.remmers.cz/editor/image/stranky3_produkty2/tl_0543_historickalkspatzenmorte1.pdf
- [33] Technický list - SAKRET KHP. *SAKRET* [online]. [cit. 2018-01-10]. Dostupné z: http://www.sakret.cz/ke_stazeni/soubor1_184.pdf
- [34] Technický list - Vápenná pamiatkarska omietka ručná. *Cemix* [online]. [cit. 2018-01-10]. Dostupné z: <http://www.cemix.sk/data/files/tl-vapenna-pamiatkarska-omietka-rucna.pdf>
- [35] TRADICAL® PF 80. *PRISMA CONSULT spol. s r.o.* [online]. [cit. 2018-01-10]. Dostupné z: http://www.prismaconsult.cz/fotky1136/fotov/_ps_17TRADICAL-PF-80-04-13.pdf
- [36] VÁLEK, J., HUGHES, J. J., GROOT, C.J.W.P. *Historic Mortars: Characterisation, Assessment and Repair*. London: Springer, 2012. ISBN 978-94-007-4634-3.

[37] VEJMEJKOVÁ, E., KEPPERT, M., KERŠNER, Z., ROVNANÍKOVÁ, P., ČERNÝ, R. Mechanical, fracture-mechanical, hydric, thermal, and durability properties of lime–metakaolin plasters for renovation of historical buildings. *Construction and Building Materials* [online]. 2012, June 2012, (31), 22-28 [cit. 2018-01-10]. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2011.12.084. ISSN 0950-0618. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061811007744>

[38] VIMMROVÁ, A., KEPPERT, M., MICHALKO, O., ČERNÝ, R. Calcined gypsum–lime–metakaolin binders: Design of optimal composition. *Cement and Concrete Composites* [online]. 2014, September 2014, (52), 91-96 [cit. 2018-01-10]. DOI: 10.1016/j.cemconcomp.2014.05.011. ISSN 0958-9465. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0958946514000882?via%3Dihub>

ZOZNAM OBRÁZKOV

Obr. 1: Úprava pasparty gotickej stavby, Český Krumlov [13]	16
Obr. 2: Práca na jednovrstvovom sgrafite, hrad Bauska v Lotyšsku [15].....	17
Obr. 3: Mikroštruktúra kaolinitu [26].....	34
Obr. 4: Mikroštruktúra metakaolinitu [26].....	34
Obr. 5: Typická krivka rozdelenia veľkosti častíc metakaolínu Mefisto K05 [5]	36
Obr. 6: Sytná hmotnosť suchých maltových zmesí.....	39
Obr. 7: Krivka zrnitosti vzoriek suchej maltovej zmesi.....	40
Obr. 8: Množstvo zámesovej vody na maltu konštantnej konzistencie	41
Obr. 9: Objemová hmotnosť čerstvej maltovej zmesi.....	42
Obr. 10: Objemová hmotnosť zatvrdnutej malty po 7 a 28 dňoch	43
Obr. 11: Pevnosť v tlaku zatvrdnutej malty po 7 a 28 dňoch	44
Obr. 12: Pevnosť v ťahu za ohybu zatvrdnutej malty po 7 a 28 dňoch.....	44
<hr/>	
Obr. 13: Zatvrdnutý povrch mált pri skúške aplikačných vlastností	45
Obr. 14: Povrch zatvrdnutej malty pripravenej zo vzorky 3	46
Obr. 15: Povrch zatvrdnutej malty pripravenej zo vzorky 3/5.....	46
Obr. 16: Povrch zatvrdnutej malty pripravenej zo vzorky 3/10	46
Obr. 17: Vľavo vzorka 3, prostredie L/20, 1. deň; vpravo vzorka 3, prostredie L/20, 3. deň	47
Obr. 18: Vľavo vzorka 3, prostredie C/5 3. deň; vpravo vzorka 3,prostredie C/40, 3. deň	48
Obr. 19: Vľavo vzorka 3, prostredie V/5, 3. deň; vpravo vzorka 3, prostredie V/40, 3. deň	48
Obr. 20: Vľavo vzorka 3, prostredie L/20, 7. deň; vpravo vzorka 3, prostredie C/5, 7. deň	49
Obr. 21: Vľavo vzorka 3, prostredie C/40, 7. deň; vpravo vzorka 3, prostredie V/5, 7. deň	49
Obr. 22: Vľavo vzorka 3, prostredie V/40, 7. deň; vpravo vzorka 3, prostredie L/20, 14. deň	50
Obr. 23: Vľavo vzorka 3, prostredie C/5, 14. deň; vpravo vzorka 3, prostredie C/40, 14. deň	50

Obr. 24: Vľavo vzorka 3, prostredie V/5, 14. deň; vpravo vzorka 3, prostredie V/40, 14. deň	51
Obr. 25: Vľavo vzorka 3, prostredie L/20, 21. deň; vpravo vzorka 3, prostredie C/5, 21. deň	51
Obr. 26: Vľavo vzorka 3, prostredie C/40, 21. deň, vpravo vzorka 3, prostredie V/5, 21. deň	52
Obr. 27: Vľavo vzorka 3, prostredie V/40, 21. deň; vpravo vzorka 3, prostredie L/20, 28. deň	52
Obr. 28: Vľavo vzorka 3, prostredie C/40, 28. deň; vpravo vzorka 3, prostredie C/40, 28. deň	53
Obr. 29: Vľavo vzorka 3, prostredie V/5, 28. deň; vpravo vzorka 3, prostredie V/40, 28. deň	53
Obr. 30: Vľavo vzorka 3/5, prostredie L/20, 1. deň; vpravo vzorka 3/5, prostredie L/20, 3. deň	54
Obr. 31: Vľavo vzorka 3/5, prostredie C/5, 3. deň; vpravo vzorka 3/5, prostredie C/40, 3. deň.....	54
Obr. 32: Vľavo vzorka 3/5, prostredie V/5, 3. deň; vpravo vzorka 3/5, prostredie V/40, 3. deň	55
Obr. 33: Vľavo vzorka 3/5, prostredie L/20, 7. deň; vpravo vzorka 3/5, prostredie C/5, 7. deň	55
Obr. 34: Vľavo vzorka 3/5, prostredie V/5, 7. deň; vpravo vzorka 3/5, prostredie V/40, 7. deň	56
Obr. 35: Vľavo vzorka 3/5, prostredie L/20, 14. deň; vpravo vzorka 3/5, prostredie C/5, 14. deň	56
Obr. 36: Vľavo vzorka 3/5, prostredie C/40, 14. deň; vpravo vzorka 3/5, prostredie V/5, 14. deň.....	57
Obr. 37: Vľavo vzorka 3/5, prostredie V/40, 14. deň; vpravo vzorka 3/5, prostredie L/20, 21. deň.....	57
Obr. 38: Vľavo vzorka 3/5, prostredie C/5, 21. deň; vpravo vzorka 3/5, prostredie C/40, 21. deň	58

Obr. 39: Vľavo vzorka 3/5 prostredie V/5, 21. deň; vpravo vzorka 3/5, prostredie V/40, 21. deň	58
Obr. 40: Vľavo vzorka 3/5, prostredie L/20, 28. deň, vpravo vzorka 3/5, prostredie C/5, 28. deň	59
Obr. 41: Vľavo vzorka 3/5, prostredie C/40, 28. deň; vpravo vzorka 3/5, prostredie V/5, 28. deň	59
Obr. 42: Vzorka 3/5, prostredie V/40, 28.deň	60
Obr. 43: Vľavo vzorka 3/10, prostredie L/20, 1. deň; vpravo vzorka 3/10, prostredie L/20, 3. deň.....	60
Obr. 44: Vľavo vzorka 3/10, prostredie C/5, 3. deň; vpravo vzorka 3/10, prostredie C/40, 3. deň	61
Obr. 45: Vľavo vzorka 3/10, prostredie V/5, 3. deň; vpravo vzorka 3/10, prostredie V/40, 3. deň	61
Obr. 46: Vľavo vzorka 3/10, prostredie L/20, 7. deň; vpravo vzorka 3/10, prostredie C/5, 7. deň	62
Obr. 47: Vľavo vzorka 3/10, prostredie C/40, 7. deň; vpravo vzorka 3/10, prostredie V/5, 7. deň	62
Obr. 48: Vľavo vzorka 3/10, prostredie V/40, 7. deň; vpravo vzorka 3/10, prostredie L/20, 14.deň.....	63
Obr. 49: Vľavo vzorka 3/10, prostredie C/5, 14. deň; vpravo vzorka 3/10, prostredie C/40, 14.deň.....	63
Obr. 50: Vľavo vzorka 3/10, prostredie V/5, 14.deň; vpravo vzorka 3/10, prostredie V/40, 14. deň.....	64
Obr. 51: Vľavo vzorka 3/10, prostredie L/20, 21. deň; vpravo vzorka 3/10, prostredie C/5, 21. deň.....	64
Obr. 52: Vľavo vzorka 3/10, prostredie C/40, 21. deň; vpravo vzorka 3/10, prostredie V/5, 21. deň.....	65
Obr. 53: Vľavo vzorka 3/10, prostredie V/40, 21. deň; vpravo vzorka 3/10, prostredie L/20, 28. deň.....	65
Obr. 54: Vľavo vzorka 3/10, prostredie C/5, 28. deň; vpravo vzorka 3/10, prostredie C/40, 28. deň.....	66

Obr. 55: Vľavo vzorka 3/10, prostredie V/5, 28. deň; vpravo vzorka 3/10, prostredie V/40, 28. deň..... 66

ZOZNAM TABULIEK

Tab. 1: Prísady do mált používané v minulosti a ich súčasná náhrada [19]	20
Tab. 2: Vybrané vlastnosti a technické parametre Vápennej omietky ručnej firmy Cemix [34]	26
Tab. 3: Niektoré vybrané vlastnosti omietkovej zmesi RÖFIX Hydraulkalk 965 uvádzané výrobcom [29]	27
Tab. 4: Vybrané vlastnosti omietky "Baumit NHL ručná omietka" uvádzané výrobcom [3]	27
Tab. 5: Vybrané vlastnosti vápennej omietky FASO 20V, uvádzané výrobcom	28
Tab. 6: Vybrané vlastnosti suchej maltovej zmesi KHP klasická vápenná omietka, uvádzané výrobcom [33]	29
Tab. 7: Vybrané vlastnosti suchej omietkovej zmesi KVK Tradičná vápenná omietka, uvádzané výrobcom [21]	29
Tab. 8: Vybrané vlastnosti spojiva Tradical PF 80	30
Tab. 9: Chemické zloženie metakaolínu Mefisto K05[5]	35
Tab. 10: Fyzikálne vlastnosti metakaolínu Mefisto K05 [5]	35
Tab. 11: Navrhnuté receptúry historizujúcej malty	38
Tab. 12: Synná hmotnosť suchých maltových zmesí	38
Tab. 13: Granulometria vzorky suchej maltovej zmesi	40
Tab. 14: Množstvo zámesovej vody na maltu konštantnej konzistencie	41
Tab. 15: Objemová hmotnosť čerstvej malty	42
Tab. 16: Technologické vlastnosti zatvrdnutej malty	43