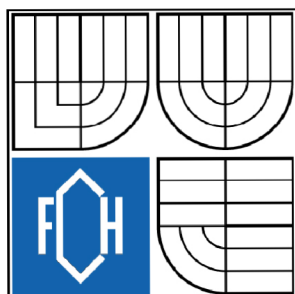


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA CHEMICKÁ  
ÚSTAV CHEMIE MATERIÁLŮ

FACULTY OF CHEMISTRY  
INSTITUTE OF MATERIALS SCIENCE

## METODY HODNOCENÍ KVALITY VÁPENNÝCH OMÍTEK

Methods of assessing the quality of lime plasters

### BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

Veronika Krásná

VEDOUCÍ PRÁCE  
SUPERVISOR

Ing. Tomáš Opravil, Ph.D.

BRNO 2011



Vysoké učení technické v Brně  
**Fakulta chemická**  
Purkyňova 464/118, 61200 Brno 12

## Zadání bakalářské práce

Číslo bakalářské práce:	<b>FCH-BAK0615/2010</b>	Akademický rok: <b>2010/2011</b>
Ústav:	Ústav chemie materiálů	
Student(ka):	<b>Veronika Krásná</b>	
Studijní program:	Chemie a chemické technologie (B2801)	
Studijní obor:	Chemie, technologie a vlastnosti materiálů (2808R016)	
Vedoucí práce	<b>Ing. Tomáš Opravil, Ph.D.</b>	
Konzultanti:		

### Název bakalářské práce:

Metody hodnocení kvality vápenných omítek

### Zadání bakalářské práce:

Práce bude studovat návrh vhodného souboru testů pro hodnocení kvality vápenných omítek. Ke zkouškám budou použity běžně dodávané komerční suché omítkové směsi. Výstupem bude návrh posloupnosti testů a jejich vyhodnocování.

### Termín odevzdání bakalářské práce: 6.5.2011

Bakalářská práce se odevzdává ve třech exemplářích na sekretariát ústavu a v elektronické formě vedoucímu bakalářské práce. Toto zadání je přílohou bakalářské práce.

-----  
Veronika Krásná  
Student(ka)

-----  
Ing. Tomáš Opravil, Ph.D.  
Vedoucí práce

-----  
prof. RNDr. Josef Jančář, CSc.  
Ředitel ústavu

V Brně, dne 31.1.2011

-----  
prof. Ing. Jaromír Havlica, DrSc.  
Děkan fakulty

## **ABSTRAKT**

Tato bakalářská práce studuje metody hodnocení kvality vápenných omítek. Cílem práce je vytvořit a otestovat metodický soubor základních jednoduchých zkoušek pro testování vápenných omítek. K testování se bude užívat destruktivních i nedestruktivních metod. Stanovována bude pevnost v tlaku a v tahu ohybem, fázové složení XRD práškovou difrakcí, množství přítomného portlanditu a vápence metodou TG-DTA a rozliv pomocí setřásacího stolku. Pro měření jsou použity běžně dostupné komerční omítkové směsi.

## **ABSTRACT**

This thesis examines the methods for assessing the quality of lime plaster. The goal is to create and test a set of basic methodological simple test for testing of lime plaster. The test will use destructive and nondestructive methods. Determining the compressive and bending strength, phase composition, XRD powder diffraction, and the amount of lime stone present portlandite by TG-DTA and overflow with shake table. Measurements are used widely available commercial plaster mixture.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Vápno, omítka, portlandský cement, sádra, kontrola, kvalita omítek.

## **KEY WORDS**

Lime, plaster, portland cement, gypsum, control, quality of plasters.

KRÁSNÁ, V.; Metody hodnocení kvality vápenných omítek. Brno, 2011. 40s. Bakalářská práce na Fakultě chemické Vysokého učení technického v Brně, Ústav chemie materiálů. Vedoucí bakalářské práce Ing. Tomáš Opravil, Ph.D.

## **PROHLÁŠENÍ**

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracovala samostatně a že všechny použité literární zdroje jsem správně a úplně citovala. Bakalářská práce je z hlediska obsahu majetkem Fakulty chemické VUT v Brně a může být využita ke komerčním účelům jen se souhlasem vedoucího bakalářské práce a děkana FCH VUT.

.....

podpis studenta

# OBSAH

<b>1</b>	<b>ÚVOD</b> .....	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>TEORETICKÁ ČÁST</b> .....	<b>6</b>
2.1	HISTORIE .....	6
2.2	VÝVOJ VÁPENNÝCH OMÍTEK .....	7
2.3	ROZDĚLENÍ VÁPENNÝCH OMÍTEK .....	8
2.3.1	<i>Vzdušná pojiva</i> .....	9
2.3.2	<i>Hydraulická pojiva</i> .....	11
2.3.3	<i>Vápenné omítky s přídavkem cementu</i> .....	12
2.3.4	<i>Organická pojiva</i> .....	13
2.4	NANÁŠENÍ OMÍTEK .....	14
2.4.1	<i>Roztírané spárovací malty</i> .....	14
2.4.2	<i>Nahazované omítky</i> .....	15
2.4.3	<i>Natahované omítky</i> .....	16
2.4.4	<i>Nátěrové omítky</i> .....	16
2.5	DEGRADACE OMÍTEK .....	17
2.5.1	<i>Degradace vápenných omítek</i> .....	17
<b>3</b>	<b>EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST</b> .....	<b>19</b>
3.1	POUŽITÉ SUROVINY .....	19
3.2	VYSVĚTLIVKY K TABULKÁM .....	19
3.3	PŘÍPRAVA ZKUŠEBNÍCH VZORKŮ .....	20
3.3.1	<i>Příprava testovacích směsí</i> .....	20
3.4	TESTOVACÍ A LABORATORNÍ PŘÍSTROJE .....	22
3.4.1	<i>Mechanické testování – pevnostní testy</i> .....	22
3.4.2	<i>Laboratorní míchačka</i> .....	22
3.4.3	<i>Setřásací strojek</i> .....	23
3.5	TG-DTA ANALÝZA .....	23
3.5.1	<i>Příklady využití DTA a TG pro studium minerálů</i> .....	24
3.6	TERMICKÁ ANALÝZA S DETEKČÍ UVOLNĚNÝCH PLYNŮ (EGA) .....	25
3.7	RENTGENOVÁ DIFRAKČNÍ ANALÝZA .....	25
<b>4</b>	<b>VÝSLEDKY A DISKUZE</b> .....	<b>27</b>
4.1	HODNOCENÍ REOLOGICKÝCH VLASTNOSTÍ ČERSTVÉ SMĚSI .....	27
4.2	HODNOCENÍ MECHANICKÝCH VLASTNOSTÍ .....	27
4.3	HODNOCENÍ SLOŽENÍ .....	28
4.3.1	<i>Výsledky termogravimetrického měření</i> .....	29
4.3.2	<i>XRD prášková analýza</i> .....	34
<b>5</b>	<b>ZÁVĚR</b> .....	<b>39</b>
<b>6</b>	<b>POUŽITÁ LITERATURA</b> .....	<b>40</b>

## ÚVOD

Současný trh nabízí nesčetné množství suchých omítkových směsí. V České republice je přibližně 15 producentů omítek, např. Cemix, Stomix, Salith a jiné. Nemalé množství těchto materiálů je exportováno ze zahraničí.

Zde však platí, že kvalita i složení jednotlivých suchých omítkových směsí nemusí být vždy valná, ba dokonce leckdy nemusí odpovídat ani složení směsi udané výrobcem. Nejčastějším problémem bývá deklarace čistě vápenné omítky, která ve skutečnosti obsahuje malé množství portlandského cementu pro zlepšení mechanických vlastností.

Vápenných omítek se běžně využívá ke strojovému i ručnímu omítání staveb. Mírně upravené omítky jsou užívány k restaurování. Složení těchto omítek se volí tak, aby byly co nejpodobnější původním materiálům. Z tohoto důvodu není vhodné užívat omítek s přídavkem cementu s výjimkou památek z 20. století, kde byl portlandský či směsné cementy použity do omítek, již při stavbě.

Vápenné omítky mají příznivý dopad na životní prostředí. CO<sub>2</sub>, který vzniká při výpalu je při tvrdnutí (karbonataci) opět absorbován čímž se liší od omítek cementových. Cementové omítky mají jen částečnou návratnost CO<sub>2</sub>.

Tato bakalářská práce se bude zabývat jednoduchým souborem testů. Bude měřena pevnost v tlaku a pevnost v tahu za ohybu. Dále budou zkoumány reologické vlastnosti čerstvé směsi. V praxi se pro zjišťování reologických vlastností používá Abramsova kužele, v této práci je použit setřásací stolek.

Abychom mohli určit, jaký typ omítky máme k dispozici, musíme znát typ pojiva, které obsahuje. Pojivo určuje její technologické vlastnosti, zajišťuje přilnavost ke zdivu, určuje pevnost a plasticitu a také pevnost omítky. Pojivo může být vzdušné, hydraulické nebo organické. Dalším faktorem určujícím pevnost, tvrdost a strukturu povrchu omítky je plnivo, kterým je nejčastěji písek z křemenců a pískovců. Používají se písky s obsahem živců, které mají nízký podíl hlinitých příměsí. Pevnost, propustnost a trvanlivost omítky závisí od rozložení velikosti zrn přidaného písku.

Z toho důvodu se tato práce zabývá možnostmi testování takovýchto směsí, testovány jsou omítky po 28 dnech zrání. Cílem práce je otestovat několik typů vápenných omítek. Práce se bude zabývat testováním chemického a fázového složení omítek, mechanickými vlastnostmi zatuhlých omítek a okrajově i reologií čerstvých směsí.

# TEORETICKÁ ČÁST

## Historie

Omítky lze nalézt již na stavbách z dávných dob. Vedle hliněných omítek jsou nejstaršími známými omítkami omítky vápenné. Již 7500 př. n. l. používali lidé na území Jordánska vápno ve směsi s nevypáleným drceným vápencem k nátěrům stěn, podlah a okolí ohnišť ve svých obydlích.

V Čechách byly vápenné nátěry nalezeny na hliněných stavbách z doby kamenné. Byly nalezeny také zbytky vápenných pecí. Při stavbě církevních objektů bylo vápno v omítkách použito již v 9. století. Z historických záznamů z roku 999 n. l. lze vyčíst, že první vápenku na českém území vlastnil břevnovský klášter.<sup>1</sup>

Dalším příkladem omítané stavby je kostel na Pohansku pocházející z 9. Století n. l. Na dochovaném zdivu jižního nároží se vyskytuje silná vrstva omítky, která se svým složením výrazně liší od malty lomového zdiva stavby. Omítka byla připravena z prosévaného jemného písku s vysokým obsahem vápenného pojiva, ve své struktuře je hutná a bílá. Také bazilika v Mikulčicích měla stěny omítnuté z obou stran. Vnitřní omítka byla vyhlazena a pravděpodobně dále pokryta malbou.<sup>2</sup>

V Egyptě byly vápennými nebo sádrovými omítkami opatřeny stěny v hrobkách a jejich povrch byl následně dekorován malbami. Římané užívali směsi z vápna a písku k vytvoření vrstvy, na kterou byla nanášena jemná vrstva ze sádry, vápna, písku a mramorové moučky. Pro docílení rychlejšího ztvrdnutí vrstvy a vyšší pevnosti byly do této vrstvy přidávány látky pucolánového charakteru. Mramorová moučka byla používána do pádu Římské říše.

V Evropě se ve středověku používaly dekorativní omítky. Již od 13. století se pro exteriéry i interiéry používaly omítky sádrové. Jako výztuž se používaly zvířecí chlupy či vlasy. Hlavním pojivem však v tomto období bylo vápno. Ke zlepšení plasticity malt a regulaci tuhnutí byly používány slad, moč, pivo, mléko a vejce. V tomto období každé větší město mělo vlastní vápenku, která využívala místních zdrojů vápence.

V 16. století se na fasádách začala používat sgrafitová technika představená umělci z Německa a Itálie. Vrstvy vápenných omítek dvou barev byly na sobě a proškrábnutím vrchní vrstvy se objevila barva vrstvy dolní. V této době bylo poprvé cíleně vyrobeno jednosložkové hydraulické vápno.

U nás se vápenická výroba rozvinula v 18. století. Na území dnešní Prahy bylo několik vápenek vyrábějících kvalitní vápno. Jsou dochovány dokumenty o výrobě branického, podolského, zlíčovského a radlického vápna. Proslulé bylo vápno vyráběné na Starém Městě. Toto vápno se vyváželo do Itálie jako „pasta di Praga“, později bylo vyváženo také do Anglie. Tato vápna byla pálena z vápenců s poměrně vysokým obsahem hydraulických složek. V Čechách se též používalo kufsteinské z Tyrol, které bylo vysoce hydraulické. Bylo použito na mnoha významných stavbách v Praze a omítky z něj jsou mnohde zachovány dodnes.

V 18. století se lidé začali zajímat o obnovu exteriérových omítek. Používal se olejový tmel tvořený směsí vápna a oleju z dehtu nebo lněných semínek.

V roce 1818 bylo představeno umělé hydraulické vápno vyráběné ze směsí křídly a jílových hlín, které byly rozmělněny na hroudy velikosti pěsti. Mlýn měl kruhový tvar o průměru asi 2 metry a byl poháněn dvěma koňmi. Postupně byly přidávány 4 díly křídly a jeden díl jílu. Hodinu a půl se směs homogenizovala, po té se sušila a páčila uhlím nebo dřevěnými štěpkami.

Pokud byly páleny vysokoprocentní vápence a jíly, dosahoval produkt lepších vlastností. Nejlepší pro výrobu hydraulického vápna jsou jemné a měkké jíly. Bylo navrženo dvojí pálení vápna. Nejprve bylo vypáleno vápno, to ve formě prášku bylo hydratováno a hydrát byl smíchán s hnědými nebo zelenými jíly nebo cihlářskou hlínou. Z této směsi byly tvořeny kuličky, které byly následně vypáleny v peci.

Běžná dobrá vápna a čistá nebo téměř čistá vápna snesou až 20% podíl jílu v surovině. Hydraulické vlastnosti mají i vápna obsahující pouze 6 % jílu. Pokud je podíl jílu v surovině 33 – 40 % tak se vápna z nich vyrobená nehasí, ale jsou mleta a pokud zvlhnou, tvoří velmi rychle zatvrdlou pastu, která je stálá i pod vodou.

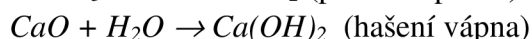
Na přelomu 19. a 20. století bylo k dispozici vzdušné vápno, hydraulické vápno, portlandský cement, sádra, De Wyldeho sádrovina, Keenova sádrovina, pariánská sádrovina a Sorelova hořečnatá maltovina jako pojiva. Všechna tato pojiva byla používána k tvorbě povrchových vrstev omítek. Často docházelo ke kombinaci těchto pojiv do omítek, např. modifikace vápenných omítek cementem nebo sádrou. Speciální druhy sádrovin vyznačujících se vyšší odolností vůči vodě byly používány i na venkovní štukové výzdoby.

V meziválečném období se již běžně používaly vápenocementové omítky. Na sokly byly používány omítky z tvrdé cementové malty, nejčastěji ve formě pemrlovaného betonu. Vápenné omítky se v této době používaly hlavně na venkovských stavbách. Po válce se již používaly nastavované vápenocementové malty pro omítání, které se v 80. letech začaly vyrábět jako suché prefabrikované směsi.<sup>3</sup>

## Vývoj vápenných omítek

Vápno je nejstarším pojivem používaným ve směsi s pískem a kamennou drtí k přípravě malt pro omítání staveb. Zjištěním, že vápenec lze rozdrtit a smícháním s vodou se mění na kaši, která následně tvrdne, rozšířilo nejen technologické možnosti stavění, ale umožnilo i konstrukční změny. Kámen tak přestal být limitujícím stavebním prvkem. Tento fakt lze doložit řadou dodnes zachovalých staveb (např. Velká čínská zeď).

Proces přeměny vápence na práškové vápno a pak znovu na pevnou hmotu lze zjednodušeně popsat těmito chemickými rovnicemi:

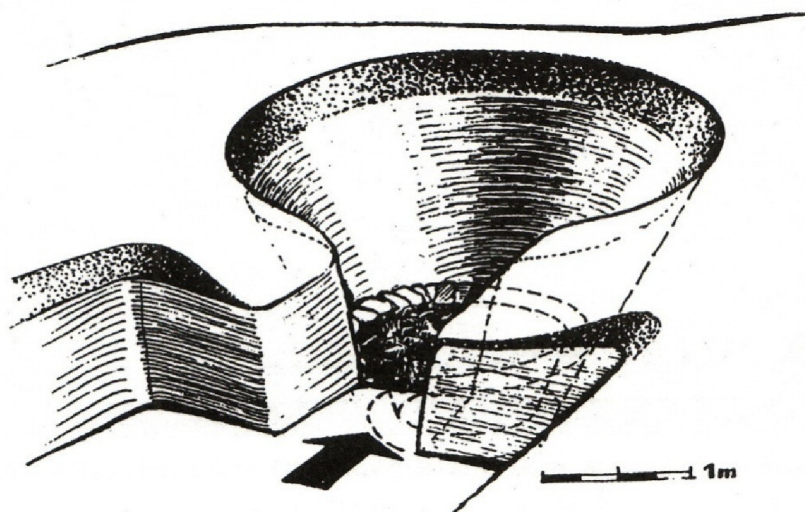


Je téměř nemožné nalézt v přírodě čistý vápenec. Struktura tohoto minerálu je tvořena vedle kalcitu a dolomitu i jinými složkami obsahujícími oxidy křemíku, železa, hliníku aj.

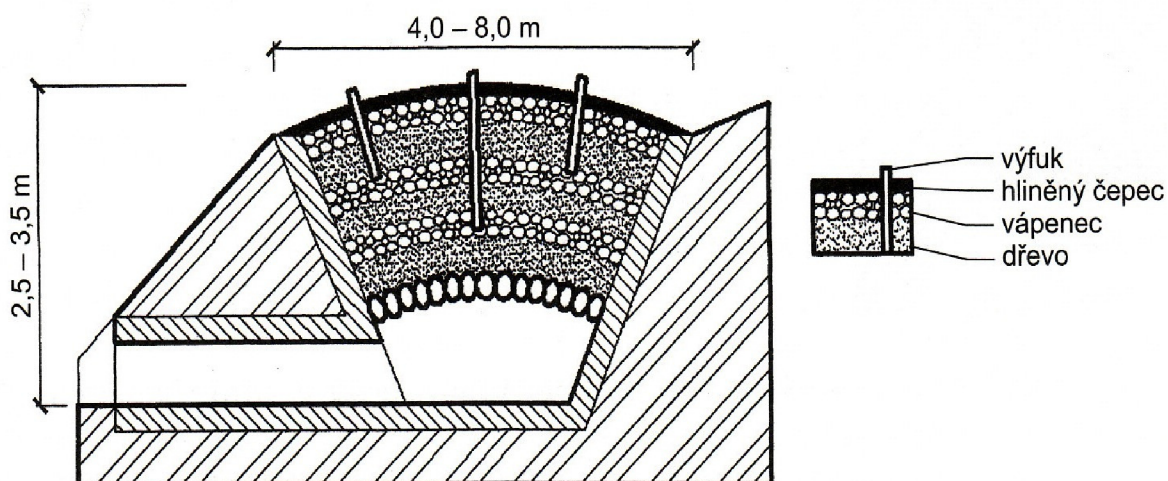
Hydraulické vlastnosti získávalo vápno primitivní technologií pálení vápence ve středověku (doprovodné složky, přísady jílovitých minerálů). Míra hydraulicity byla přímo úměrná obsahu především reaktivního  $SiO_2$ ,  $Al_2O_3$ ,  $Fe_2O_3$ .

Jak nejstarší technologie výroby vápna milířováním, tak pozdější výroba v zahloubených trychtýřovitých pecích (Obrázek 1) byla založena na kladení drceného vápence ve vrstvách střídaných s palivem (Obrázek 2). Soustava milíř-vápenná pec byla utěšňována drny a teprve potom zapálena. Vnitřní teplota dosahovala 1000 °C, unikající plyny měly teplotu přibližně 600 °C. Pálení vápence trvalo jeden týden a po sejmutí jílového bylo možné přistoupit k odebírání vápna."





Obrázek 1: Šachtová vápenická pec



Obrázek 2: Schéma milíře na pálení vápna

### Rozdělení vápenných omítek

Hlavním kritériem pro rozdělení na základní druhy omítek je typ pojiva. Pojivo také zvětší částí určuje technologické vlastnosti. Pojivo zajišťuje především přilnavost (přidrženost ke zdivu) a pevnost omítky a zároveň také plastičnost a trvanlivost. Z technologického hlediska rozlišujeme dva hlavní typy minerálního pojiva. Celkově se pojivo dělí na skupiny tři: vzdušná, hydraulická a organická. Rozdělení omítek dle plniva souvisí s požadovanými stavebně fyzikálními vlastnostmi a tedy jejich použitím. Plnivo spoluurčuje pevnost, tvrdost a strukturu povrchu omítek stejnou měrou jako typ pojiva. Nejčastějším plnivem je písek z pískovců a křemenců. Dříve se používaly kopané písky s vysokým obsahem jílu. Dnes se používají písky s nízkým obsahem živců, které dále větrají, a s nízkým podílem hlinitých směsí. Rozložení velikosti zrn v písku výrazně ovlivňuje propustnost, pevnost a trvanlivost omítky.

Tabulka 1: Základní typy omítek dle pojiva

Typ pojiva	Typ omítky	Převládající druh pojiva	Oblast použití
minerální	vápenná	vápno, hydraulické vápno	vnitřní omítky, restaurování
	vápnocementová	vápno, cement (obvyklý poměr 2 : 1)	běžné omítky, speciální (např. sanační, spárovací, protipožární, akustické, atd.)
	cementová	cement, vápno v malém množství pro lepší zpracování	
	sádrová (vápenosádrová)	sádra (event. vápno)	vnitřní a protipožární omítky
	hliněná	jíl	tenkovrstvé omítky, vysprávký
organická	silikonová	silikonová disperze	vnitřní omítky, zdravé bydlení, ekologické, restaurování
	disperzní (akrylátová)	akrylátová disperze	
	silikátová	vodní sklo, disperze	

## Vzdušná pojiva

Umožňují zatvrdnutí omítky na vzduchu. V běžných podmínkách vytvářejí trvanlivou povrchovou úpravu, ale malta se vzdušným pojivem ztrácí své vlastnosti působením vody (vápno, sádra, jíl).<sup>4</sup> Vzdušné vápno sestává převážně z oxidu nebo hydroxidu vápenatého, tuhne i tvrdne pouze na vzduchu. Jako surovina pro výrobu vzdušného vápna slouží čistý vápenec, dolomitický vápenec slouží pro výrobu dolomitického vápna. Vápenec je hornina, která sestává převážně z kalcitu, což je z chemického hlediska uhličitán vápenatý ( $\text{CaCO}_3$ ). Čisté vápence, v nichž se obsah kalcitu blíží 100 % se v přírodě téměř nevyskytují. Obvykle jsou více nebo méně znečištěny jílovými minerály nebo dolomitem ( $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$ ). Obsah jílových minerálů určuje využití vápenců pro výrobu vzdušného nebo hydraulického vápna, resp. portlandského cementu. Mimo jiné určuje vlastnosti vápna jeho mikrostruktura, která závisí na teplotě výpalu a ovlivňuje jeho aktivitu, rychlost hašení vápna, vydatnost a plasticitu. Pro použití vápna jako stavebního pojiva se musí pálené vápno nechat reagovat s vodou. Kvalita vápna se posuzuje především podle rychlosti hydratační reakce a množství vybaveného tepla.<sup>5</sup>

## Hydroxid vápenatý používaný ve stavebnictví

Ve stavebnictví se pro různé technologické aplikace používá hydroxid vápenatý ve čtyřech formách: - Vápenný hydrát, obsahující až 97 %  $\text{Ca(OH)}_2$ , dodávaný v pytlích nebo volně ložený, používá se na stavbách, ale také pro výrobu prefabrikovaných maltových směsí.

- Vápenná kaše je cca 50 % hmot. suspenze  $\text{Ca(OH)}_2$ , vyrobená hašením vápna na stavbách v přebytku vody, používá se na výrobu malt.
- Vápenné mléko je cca 5-10 % hmot. suspenze  $\text{Ca(OH)}_2$ , zředěná vápenná kaše, používá se k nátěrům.

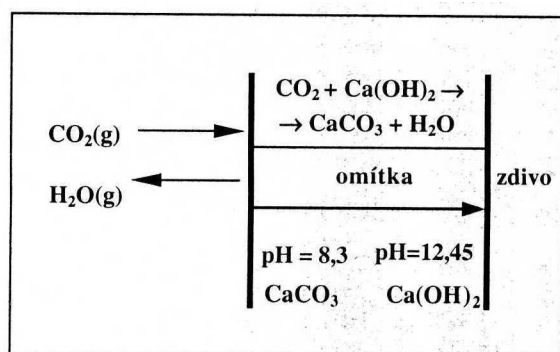
- Vápenná voda je nasycený roztok  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , čirá kapalina nad vápennou kaší, uplatňuje se v některých speciálních zpevňovacích technologiích vápenných omítek.

$\text{Ca}^{2+} + 2 \text{OH}^-$ roztok hydroxidu vápenatého = vápenná voda
$\text{Ca}(\text{OH})_2$ suspenze ve vodě = vápenná kaše (cca 50 % sušiny)

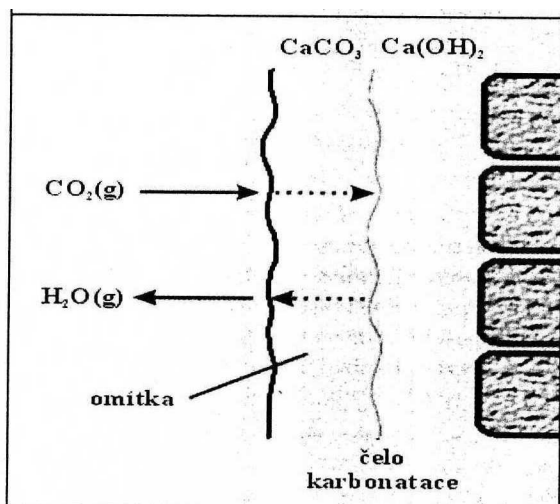
Obrázek 3: Schéma vápenné kaše a vápenné vody

### Vytváření pevné struktury vápenných malt

Zpevňovací proces vzdušného vápna se nazývá karbonatace, při níž vzniká nerozpustný uhličitán vápenatý. Proces karbonatace vápna je pomalý a je závislý na koncentraci oxidu uhličitého v okolním vzduchu (na jeho parciálním tlaku), na relativní vlhkosti vzduchu (RH) a na teplotě. Je-li  $\text{RH} < 50 \%$  nebo  $\text{RH} > 95 \%$ , probíhá reakce velmi pomalu. Karbonatace může nastat ještě před použitím vápna do maltové směsi a tím dochází k jeho znehodnocení. Proto je nutné skladovat hašené vápno ve formě kaše pod dostatečnou vrstvou vody a suchý vápenný hydrát chránit dobře těsnícím obalem. Vzdušná vápna nejsou definovaná pevností v tlaku, ale obsahem sumy  $\text{CaO} + \text{MgO}$ .



Obrázek 4: Karbonatace vápenné omítky



Obrázek 5: Schéma karbonatace vápenné omítky

## Hydraulická pojiva

Jsou trvale odolná vůči působení vody. Malta s hydraulickým pojivem je schopná tvrdnout i pod vodou. Hydraulické vápno se vyrábí přidáním přísad do vápence, a to většinou před jeho vypálením. V dnešní době je nahrazováno cementem.<sup>6</sup>

Hydraulické vápno stojí svými vlastnostmi mezi vzdušným vápnem a portlandským cementem. Podle chemického a mineralogického složení se někdy chová více jako vápno, někdy více jako portlandský cement. Hydraulické vápno je charakterizováno hydraulickým modulem, tj. poměrem obsahu oxidu vápenatého k obsahu hydraulických oxidů, vyjádřeného vztahem:

$$H_M = \frac{CaO}{SiO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3}$$

Podle hydraulického modulu se hydraulická vápna dělí na silně, středně a slabě hydraulická. Hašení hydraulických vápen musí probíhat tak, aby se vyhasilo pouze volné vápno, hydraulické složky musí přijímat vodu teprve až při tvrdnutí malty, neboť tam je třeba, aby se vytvořily příslušné produkty, které vedou k tvorbě pevné struktury.

Pokud je hydraulický modul  $H_M$  v rozmezí 1,7 – 3,0, pak se jedná o vápna silně hydraulická. Tato vápna není nutné hasit, stačí je pomlít.

Hydraulický modul v rozmezí 3 – 6 značí středně hydraulická. Při suchém hašení se nerozpadají na prášek a je nutno je před použitím domílat.

Slabě hydraulická vápna mají hydraulický modul v rozmezí 6 – 9. Při suchém hašení se snadno rozpadnou na prach a není nutné je dále mlít.

Vápna s hydraulickým modulem vyšším než 9 jsou už považována za vápna vzdušná, přestože mají jistý podíl hydraulických oxidů.

Hydraulická vápna se hasí pouze průmyslově a dodávají se na trh v práškové podobě. Mají mnohem menší plastifikační schopnost než vápna vzdušná. Malty s hydraulickým vápnem vykazují vyšší pevnosti v porovnání s maltami vyrobenými pouze se vzdušným vápnem.

## **Vytváření pevné struktury omítek z hydraulického vápna**

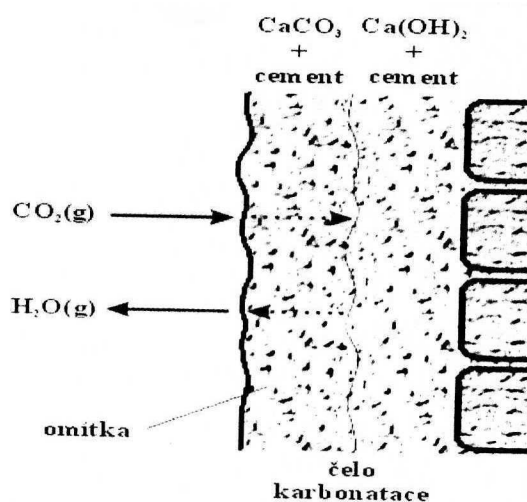
Vápenné omítky vyrobené z hydraulického vápna vytvářejí pevnou strukturu tak, že v první fázi se omítka zpevní odsátím přebytečného množství vody a současně reagují bezvodé křemičitany a hlinitany vápenaté s vodou za tvorby hydratovaných sloučenin, tyto sloučenin jsou příčinou vyšších pevností hydraulických omítek. Jsou i příčinou vyšší odolnosti proti působení vody a proti působení kyselých plynů. Lze proto předpokládat, že omítky na bázi hydraulického vápna mají perspektivu mít delší životnost.

## **Vápenné omítky s přídavkem cementu**

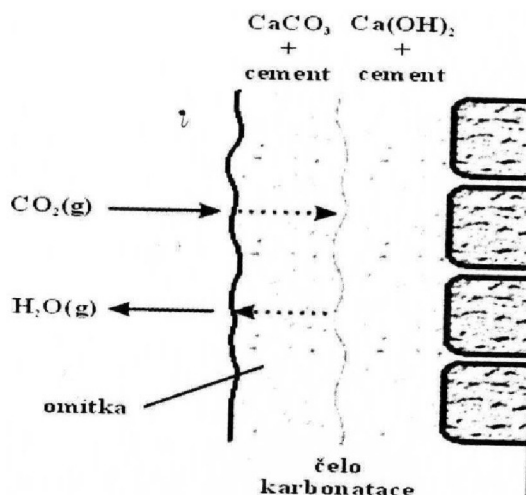
Portlandský cement je velmi reaktivní, s vodou začne okamžitě reagovat a po 10 minutách se reakce zastaví na dobu asi 1,5 až 2,5 hodiny. Na povrchu zrn cementu se díky přítomnosti sádrovce v cementu vytvoří obal z tzv. ettringitu, který zabrání styku dalších molekul vody s cementem. Teprve postupnou difúzí vody tímto obalem začne reakce cementu s vodou za tvorby hydratovaných křemičitanů a hlinitanů vápenatých a hydroxidu vápenatého. Hydroxid vápenatý, který je umístěn ve vápenocementové maltě mezi hydratačními produkty cementu reaguje se vzdušným oxidem uhličitým za vzniku uhličitanu vápenatého. Také hydroxid vápenatý vzniklý hydratací cementu takto reaguje.

Při rozboru starých omítek se obvykle nachází určitá koncentrace hydraulických složek, a to vede techniky k tomu, že požadují povolení aplikace vápenocementových malt pro omítání. Pracovníci památkové péče ve snaze vyjít vstříc požadavku techniků a dostat svému přesvědčení o nutnosti vápenné technologie, povolují přidat do vápenné směsi malé množství cementu, neboť u nás není hydraulické vápno běžně dostupné. I malá množství cementu jsou ve vápenných omítkách škodlivá. Zrna cementu se vyskytují v maltě samostatně, nevytvoří souvislou síť hydraulických produktů a difundují v pórovém systému vápenné malty k povrchu, zanáší jej, a tím se snižuje propustnost pro plyny, oxid uhličitý má vytvořenu zábranu v pronikání do hmoty omítky. Poměr mísení vápna a cementu v maltách označených „s velmi malým množstvím cementu“ je 1:1. Je-li množství cementu 1:2, k oddělování zrn cementu nedochází. Zrna jsou vázána hydratačními produkty. Přídavek velmi malého množství cementu do vápenné malty v podstatě pevnost nezvýší, ale zvýší se odpor proti difúzi CO<sub>2</sub> do omítky.

Vápenocementové omítky působí na historických stavbách poněkud nepřirozeně a tvrdě. Proto je oprávněným požadavkem, aby se při opravách historických staveb nepoužívaly s výjimkou památek z 20. století, kde byl portlandský či směsné cementy použity do omítek, umělého kamene, perlového betonu již při stavbě.



Obrázek 6: Schéma tvrdnutí vápenocementové omítky



Obrázek 7: Schéma tvrdnutí vápenné omítky s velmi malým množstvím cementu

## Organická pojiva

Dříve se používalo výstužného materiálu ve formě přírodních rostlinných vláken, zvířecí chlupy, sláma, pazdeří, který zvláště v omítkách s obsahem jílu eliminoval částečné smrštění, tedy tvorbu trhlin. Dnes jsou vláknité přírodní materiály v omítkách nahrazovány především polypropylenovými vlákny, která jsou stálá v zásaditém prostředí čerstvých maltových směsí.<sup>7</sup>

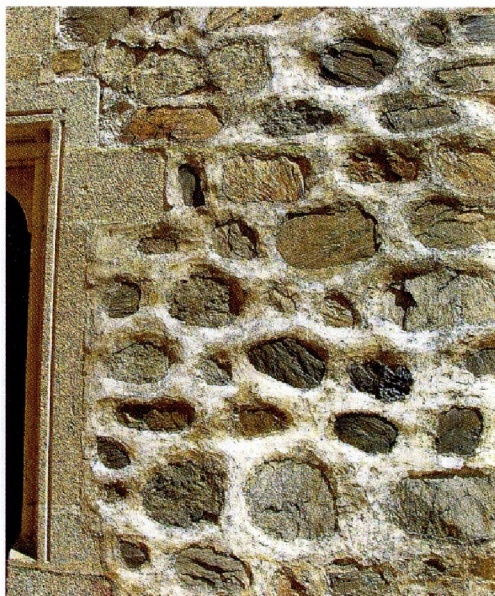
Mezi pojiva získaná ze zvířat patří tzv. zvířecí klíž. Ten se získává hydrolyzou kolagenu z existujících forem, tj. kůže, nervů a zvířecích kostí. Dalším pojivem ze zvířat je kasein, ten tvoří téměř 80 % bílkovin v kravském mléce. Je hydrofobní a tudíž nerozpustný ve vodě.<sup>8</sup>

## Nanášení omítek

Při ručním i strojním omítání musíme jednotlivé vrstvy nanášet stejnoměrně. Každou další vrstvu omítky nanášíme až po důkladném vyschnutí předchozí vrstvy, optimální je pravidlo 1 mm omítky = 1 den na vysychání. Běžná omítka má tloušťku 15-20 mm. Podhoz, plnicí funkci adheziva ke zdivu, musí být před omítnutím další vrstvy dostatečně vytvrdlý, s omítáním můžeme začít obvykle po 12 hodinách od „našpicování“ zdiva. U vícevrstvých omítek musíme dodržet pravidlo snižování pevnosti jednotlivých vrstev směrem ke zdivu. Podkladem pro omítku nesmí být materiál s nižší pevností v tlaku. Kvalita provedení zůstává ve většině případů i přes rozvoj technologií a za použití strojního omítání rozhodujícím faktorem, na kterém závisí úspěšný výsledek. Téměř všechny případy poruch na nově omítnutých fasádách lze přičíst na vrub elementárnímu nedodržení technologických předpisů výrobců zdících prvků nebo omítek. Nejčastějším projevem nesprávně provedené omítky je vznik trhlin. Obecně platí, že moderní zdící materiály mají většinou vyšší kvalitativní požadavky na druh a provádění omítkových systémů, a proto je nutné se vždy pečlivě řídit doporučením výrobce zdiva.<sup>9</sup>

## Roztírané spárovací malty

Nejstarší známou úpravou kamenného zdiva je stažení malty ve spárách. Při zdění na plnou spáru malta byla vymačkávána usazovanými kameny před líc zdiva. Stažení vytlačené spárovací malty dřevem lze považovat za korekci zdění a výpověď o dovednosti řemeslníka. Při průzkumech bylo zjištěno, že neupravené spáry s vyteklou maltou nebo maltou, která nedosahovala do líce, náleží základovému zdivu. To umožňuje dodatečně posoudit umístění stavby v původním terénu. Roztíráním ložné malty na líci zdiva se vyrovnávaly prohlubně mezi tvarovými rozdíly kamenů (Obrázek 8). Šířka pásů malty převyšuje šířku spár a povrchy kamenů jsou vidět jen zčásti.

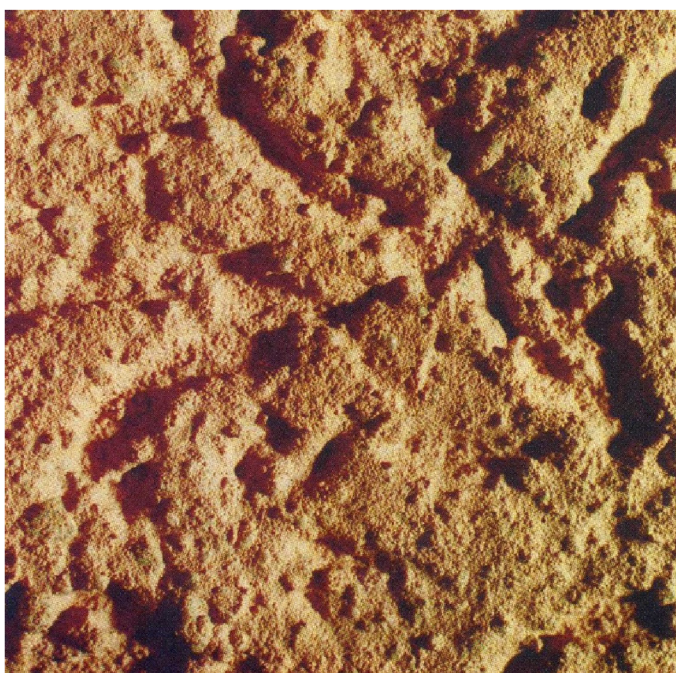


Obrázek 8: Renovovaná roztíraná malta na kamenném zdivu (hrad Točnick)

## Nahazované omítky

Malta vhodné konzistence s vyšším podílem vápna nahozená na zdivo bez jakékoli další úpravy vytváří vysoce drsnou plastickou strukturu hrubých omítek. Jednoduchou techniku nahazování doprovází i větší zrna, někdy i s drobným kamenivem, dává vzniknout po ztvrdnutí hrubé nebo také ostré omítky. Nejstarší odkryté hrubé omítky obsahují i nevyhašené shluky vápna a nevypálené pecky vápence.

Malta řidší konzistence připravená z vápenné kaše a prosetého písku nahozená na zdivo po ztvrdnutí vytváří osobitý povrchový reliéf se „slzami“. Mluvíme o **stékavé omítce**. Je doložena na řadě pozdně gotických staveb (Obrázek 9).



Obrázek 9: *Stékavá omítka*

Dvouvrstvá **přitažená omítka** je nejstarším typem hladké povrchové úpravy zdiva. Na kotvící tenčí vrstvě hrubé omítky vyrovnávající spáry mezi kameny a nerovnosti zdiva se nahazovala jemnější malta a zatlačovala se současným uhlazováním listem lžíce naplocho.

Technika provádění **utahovaných omítek** se od přitahovaných omítek liší pouze pečlivostí zpracování malty, čímž se docílilo lepší rovnosti ploch. Vyhlazený povrch však stále ještě přiznává nerovnosti podkladu, i když stopy po tazích lžíce nejsou téměř znatelné.

**Hlazená** nebo také **kletovaná omítka** je jemnozrnná dvouvrstvá omítka. Prováděla se ustáleným, dodnes uplatňovaným postupem, dvoufázově. Po nanesení jemné malty se její povrch zhutnil hladítky tak, aby došlo k částečnému odmíšení vody do povrchové zóny za současného zaprašování povrchu vápnem, mramorovou moučkou nebo křídou se důkladně vyhlazovalo kovovými hladítky.



**Vypichovaná omítka** známá z pozdně gotického období napodobovala kamenné zdivo vpichováním konce proutěného koštěti nebo nasekáváním kladívkem, tzv. „pekováním“, za účelem úpravy podkladu pro lepší zakotvení povrchové omítky.

**Omítka odsávaná** nebo také **kráterovaná** je typem povrchových úprav na vesnických stavbách. Provádí se tak, že se hladítko zatlačuje do zavlhlého povrchu a v určitém přesně vymezeném okamžiku se prudce odtrhuje. Vyžaduje speciálně připravenou maltu s rychle tvrdnoucí přísadou (většinou sádrou), aby si vzniklé ostré hroty a hlubší krátery podržely tvar.

Z historicky doložených technik uvedeme např. vytlačování ornamentů dřevěnými formami do zavadlého povrchu omítek. Za nejceněnější dochovaný příklad této omítky lze považovat omítku v kapli sv. Kříže na hradu Karlštejn, kde je štukový povrch plasticky puncován drobným heraldickým ornamentem a pokryt zlacenou fólií.

### **Natahované omítky**

Provádění finální štukové vrstvy na podkladní omítce bylo dovršením snah dosáhnout dokonale stejnorodý rovinný povrch na fasádě staveb. **Natahované omítky se štukovou vrstvou** se technicky prováděly ve dvou etapách. V první etapě prací se na zdivo aplikoval podhoz s následným provedením jádrové omítky včetně vytažení a vyhlazení koutů a fabionů. V druhé etapě se pak natahovala štuková vrstva v tloušťce do max. 10 mm. Časový odstup od provedení jádrové omítky a štukování byl druhým důležitým faktorem kvality provedení. Pro tuto činnost byli vybíráni zvláště zruční řemeslníci – štukatéři. Tato činnost není mezi řadovými omítkáři obvyklá ani dnes.

### **Nátěrové omítky**

Nejjednodušší úpravou rezného zdiva historických objektů bylo prosté bílení většinou používané při úpravách vedlejších objektů středověkých a renesančních městských staveb. Omítky s povrchovým zatřením vápenného kalu do dřevěným hladítkem srovnaného jádra byly rozšířenou jednoduchou úpravou fasád. Vápenný kal odloučený na povrchu rozmíšeného vápna s vodou byl aplikován po částečném zatumnutí jádrové omítky přibližně po 6 hodinách, když se omítka dotykem již nedeformovala, ale nebyla ještě příliš vyschlá.

Téměř výhradní finální úpravou lidových staveb byla vápenná líčka – několikanásobné nátěry vápenným mlékem obsahujícím přibližně 2 % lněného oleje nebo fermeže, aby měl nátěr na fasádě větší pružnost a odolnost vůči dešťové vodě (Obrázek 10).



Obrázek 10: Venkovská stavba s vápenným líčkem

## Degradace omítek

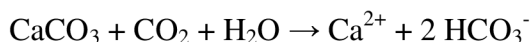
Degradaci omítek lze podle druhu působení rozdělit do tří skupin na:

- Degradace fyzikální – mechanické vlivy, vysoké a nízké teploty a jejich změny, vlhkostní změny, krystalizační tlaky.
- Degradace chemická – plynné agresivní látky z ovzduší, aerosoly roztoků kyselin, zásad a solí, organické látky.
- Degradace biologická – mechanické působení kořenů rostlin, chemické působení produktů životních pochodů živočichů, působení mikroorganismů.

## Degradace vápenných omítek

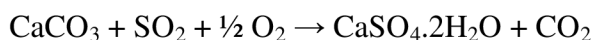
Hlavním produktem tvrdnutí v pojivu vápenných malt je uhličitán vápenatý. Tato sloučenina je téměř nerozpustná ve vodě, její rozpustnost je 1,4 mg ve 100 g vody při 25 °C. Odolnost proti působení kyselých plynů z ovzduší a proti působení kyselin a zásad je však velmi malá. Dochází k rozkladu pojiva, obvykle za vzniku rozpustnějších sloučenin, a k následnému vymývání produktů rozkladu z omítky dešťovou vodou. Dochází tak k ochuzování omítky o pojivo a jejímu následnému rozpadu. K rozkladu uhličitánu vápenatého může dojít při uvedených reakcích:

- s agresivním oxidem uhličitým, který může obsahovat např. dešťová voda, proběhne reakce, která produkuje rozpustný hydrogenuhličitán vápenatý dle rovnice:



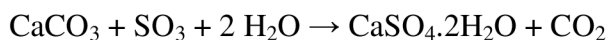
Reakce je vratná, za vhodných podmínek dojde k rozkladu rozpustného hydrogenuhličitánu. Za určitých podmínek může dojít k vyplavení hydrogenuhličitánu a následně k rozpadu omítky. V přírodě tato reakce probíhá ve vápencových a dolomitových pohořích je podstatou krasových jevů.

- S oxidem siřičitým za přítomnosti vlhkosti se rozkládá uhličitán vápenatý za vzniku siřičitanu vápenatého, který se následnou reakcí oxiduje na síran vápenatý dle rovnice:

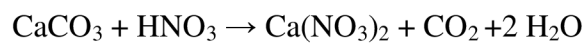


Vytvořený sádrovec má velký molární objem a za vhodných podmínek může vykristalizovat do velkých krystalů, které vyvolají tlakem na stěny pórů napětí ve hmotě omítky, které se může projevit jejím poškozením.

Podobný výsledek nastane při reakci s oxidem sírovým, který reaguje s vodou na kyselinu sírovou. Ta rozkládá uhličitán vápenatý dle rovnice:



- S oxidy dusíku v přítomnosti vody, kdy vzniká převážně kyselina dusičná, která reaguje s uhličitánem vápenatým dle rovnice:



Vzniká však rozpustný dusičnan vápenatý, který může být z omítky vyplaven dešťovou vodou.

## EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

Experimentální část popisuje metody, suroviny a přístroje, které byly použity pro přípravu a analýzu vzorků.

### Použité suroviny

Omítková směs A

Omítková směs B

Omítková směs C

Omítková směs D

Omítková směs E

Destilovaná voda,

### Vysvětlivky k tabulkám

A,B,C,D,E označení jednotlivých směsí

NZ normální zrání při laboratorní teplotě

v/c vodní součinitel, podíl vody v mililitrech ke hmotnosti pojiva v gramech

$\sigma_{Po}$  pevnost vzorku v ohybu MPa

$\sigma_{Pd}$  pevnost vzorku v tlaku MPa

$\rho$  objemová hmotnost vzorku v  $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$

p.ú. poměr účinnosti 
$$\text{p.ú.} = \frac{\text{tlak(MPa)} \cdot 100}{\rho (\text{kg} \cdot \text{m}^{-3})}$$

l vzdálenost v mm

## **Příprava zkušebních vzorků**

Formy pro zhotovení zkušebních trámčů musí být vyrobeny z oceli minimální tvrdosti podle Brinella  $HB = 140$  tak, aby v nich mohla být vyrobena současně tři zkušební tělesa. Ke kovové podložce musí být formy pevně přichyceny, aby nedošlo k případnému unikání vody mezi formou a podložkou.

Prášková směs byla smíchána s vodou a homogenizována pomocí míchačky. Směs byla vsypána do připravené formy a zarovnána. Po jednom dni byly vzorky vyjmuty z formy a ponechány dalších 27 dní k ztvrdnutí. Tvrdnutí probíhalo za laboratorní teploty bez dalších vnějších zásahů. Od každé směsi byly připraveny tři trámečky o rozměrech  $40 \times 40 \times 160$  mm. Vzorky byly použity na zkoušku pro pevnost v ohybu a v tlaku.



Obrázek 11: *Forma pro přípravu zkušebních trámečků  $40 \times 40 \times 160$  mm*

## **Příprava testovacích směsí**

Pro experimentální část bylo testováno 5 druhů vápenných omítek. Nejprve byla do míchačky vsypána směs a pak přilévána voda do požadované konzistence. Každá směs byla promíchávána po dobu nejméně 2 minut. Vzniklá směs byla vpravena do formy a vznikly tak tři trámečky o velikosti  $40 \times 40 \times 160$  mm.

Tabulka 2: Složení testovacích směsí

Omítka	$m_{\text{omítka}}$ [g]	$V_{\text{voda}}$ [ml]	v/c	p. ú.
A	1 500	350	0,23	0,07
B	1 500	350	0,23	0,10
C	1 500	355	0,24	0,17
D	2 000	350	0,18	0,08
E	1 200	220	0,18	0,08



Obrázek 12: Zkušební trámečky



Obrázek 13: Zatvrdnutá omítková směs

## Testovací a laboratorní přístroje

Připravené vzorky byly podrobeny několika zkouškám. Byla sledována jejich pevnost v tlaku a v tahu za ohybu a bylo měřeno smrštění.

### Mechanické testování – pevnostní testy

Lis pro zkoušku zkušebních těles s lamačkou BS-310 je zkušební zařízení pro pevnostní zkoušky zkušebních těles o rozměrech 40×40×160 mm podle EN 196, ISO 679 a dalších norem. Pracoviště se skládá z lisu BS-310, lamačky BS-10, skříně s hydraulickým agregátem a řídicího počítače s ovládacím panelem. Naměřené výsledky jsou tisknuty na tiskárně a uloženy na disk. Mohou sloužit jako vstupní data pro databáze, tabulkové procesory, atd. Uvedení lisu BS-310 do provozu zajišťuje firma Beton System. Zástupce firmy Beton System musí být přizván k atestaci zařízení prováděné Státní metrologickou inspekcí.



Obrázek 14: Lis pro zkoušku cementových zkušebních těles s lamačkou BS-310

### Laboratorní míchačka

Směsi se připravují v míchačce předepsané normou ČSN 72 2117. Ta se skládá z míchací nádoby z nerezavějící oceli o objemu asi 4,7 l, která je zespoda opatřena úchytkami, jimiž ji lze pevně připevnit ke stojanu míchačky. Druhou částí míchačky je míchací metla. Metla se pomocí elektrického pohonu otáčí kolem své osy a současně protichůdným pohybem kolem stěn míchací nádoby. Poměr počtu otáček obou pohybů nesmí poskytovat celé číslo a musí být udržován v mezích uvedených v následující tabulce.<sup>10</sup>

Tabulka 3: Meze otáček laboratorní míchačky.

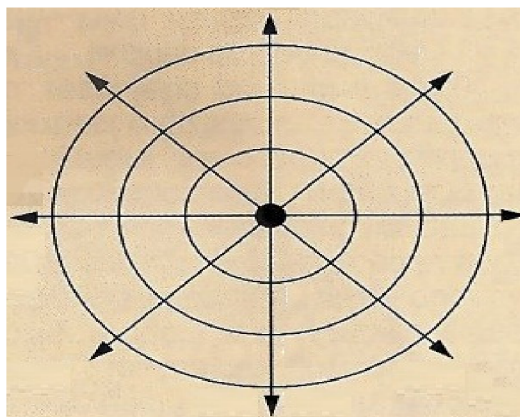
Rychlost otáčení	Otáčky míchací metly	
	kolem osy nádoby (ot/min)	kolem stěn nádoby (ot/min)
při nízké rychlosti	140 ± 5	62 ± 5
při vysoké rychlosti	285 ± 10	125 ± 10

## Setřásací strojek

Na střed setřásacího strojku byl umístěn komolý kužel. Do tohoto kužele byla vpravena čerstvá omítková směs a kužel byl odejmut. Poté bylo 20× otočeno klikou (Obrázek 15) a na osách byla odečtena vzdálenost protilehlých stran vzniklého koláče v rámci 4 os. Rozměry v rámci os se následně sečetli a výsledkem byl jejich aritmetický průměr.



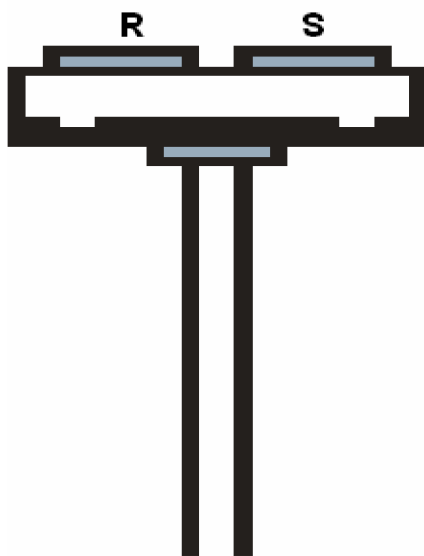
Obrázek 15: Setřásací stroj



Obrázek 16: Rozložení os na setřásacím stroji

## TG-DTA analýza

Simultánní termická analýza. Moderní termoanalyzátoři velmi často umožňují simultánní měření záznamů TG a DTA. Takové měření se nazývá simultánní termická analýza (STA). Konstrukci přístrojů pro termickou analýzu znázorňuje obrázek níže. Na vahadle termogravimetru je umístěn vzorek i referenční látka, přičemž současně se měří rozdíl teplot mezi vzorkem a referenční látkou. Někdy bývají vahadla dvě, jedno pro vzorek a druhé pro referenční látku. Takové experimentální uspořádání umožňuje eliminovat vliv vibrací na termogravimetrický záznam.



Obrázek 17: Zjednodušená konstrukce přístroje pro simultánní termickou analýzu.



Simultánní měření DTA a TG záznamů poskytuje možnost identifikovat, zda je určit děj provázen změnou hmotnosti. Např. pokud se vzorek taví, na DTA záznamu se tavení projeví jako endotermický pík. Endotermický pák vzniká i při rozkladu vzorku za vzniku plynných zplodin, které ze vzorku unikají. Při tavení se však hmotnost vzorku nemění, ale při tepelném rozkladu ano. Porovnáním simultánně naměřených DTA a TG záznamů tak můžeme rozlišit fázové přechody v kondenzované fázi, tj. tavení, rekrystalizace anebo tuhnutí, probíhající změny hmotnosti, od fázových přeměn mezi kondenzovanou a plynnou fází (vypařování, sublimace) a rozkladných reakcí.

Při vyhodnocování termoanalytických záznamů získáme informace o kvalitě a často i kvantitě minerálu obsažených ve studovaném vzorku. Zjistíme, v jakém teplotním intervalu probíhají procesy ve vzorku, můžeme rozlišit fázové přechody od kinetických dějů.

DTA křivka slouží hlavně na kvalitativní vyhodnocení dějů probíhajících ve vzorku. Všimáme si píků na křivce, polohy jejich maxim a také toho, zda probíhající děje jsou exo- nebo endotermické. Plocha píku je přímo úměrná hmotnosti termoaktivní složky ve vzorku, takže pomocí stanovení plochy píku je možné stanovit i obsah dané složky ve směsi.

TG křivka slouží hlavně na kvantitativní vyhodnocení změn hmotnosti složky. Pomocí DTG křivky pohodlně stanovíme teplotní rozsahy, v kterých jednotlivé kroky probíhají. Při identifikaci děje, který ve vzorku probíhá, použijeme tabulku níže.

Tabulka 4: *Stručný přehled některých fyzikálních a chemických procesů identifikovatelných na základě DTA a TG měření*

<b>Fyzikální procesy</b>	<b>DTA – tepelné zabarvení děje</b>	<b>TG – změna hmotnosti</b>
Krystalizace	Exotermický	Beze změny
Tavení	Endotermický	Beze změny
Odpařování	Endotermický	Úbytek
Sublimace	Endotermický	Úbytek
Adsorpce	Exotermický	Nárůst
Desorpce	Endotermický	Úbytek
Rekrystalizace	Endotermický	Beze změny
<b>Chemické procesy</b>	<b>DTA – tepelné zabarvení děje</b>	<b>TG – změna hmotnosti</b>
Chemisorpce	Exotermický	Nárůst
Dehydratace	Endotermický	Úbytek
Termický rozklad	Endotermický	Úbytek
Oxidace	Exotermický	Nárůst
Oxidační rozklad	Exotermický	Úbytek/Nárůst

### **Příklady využití DTA a TG pro studium minerálů**

#### **Uhličitany (karbonáty):**

Kalcit se rozkládá endotermicky za uvolňování  $\text{CO}_2$  a tvorby  $\text{CaO}$  při vysokých teplotách okolo  $900\text{ }^\circ\text{C}$ . Termický rozklad dolomitu vykazuje dva exotermické procesy, při nižších teplotách dochází k uvolnění  $\text{CO}_2$  ze složky  $\text{MgCO}_3$  a při vyšších teplotách potom k uvolnění  $\text{CO}_2$  ze složky  $\text{CaCO}_3$ .

## Sírany (sulfáty):

Bezvodé sírany jako baryt, anglesit a anhydrit jsou termicky stabilní do 1000 °C a nevykazují žádné změny, jejich termická aktivita se projevuje až nad touto teplotou. Sířany obsahující krystalickou vodu velmi často poskytují komplikované termogramy. Typickým příkladem je sádrovec, který dehydratuje ve dvou krocích.<sup>11</sup>

## Termická analýza s detekcí uvolněných plynů (EGA)

Termická analýza s detekcí uvolněných plynů (EGA – Efluenční plynová analýza) určuje plynné složky, stanovuje i chemické složení plynných směsí. Používá v kombinaci s různými spektrometry či chromatografy. V sestavě na obrázku 18 je plynová cela umístěna v FT-IR analyzátoru. Do cely je vzorek plynu přiváděn vyhřívanou kapilárou z pece TG. DTA analyzátoru. Nesporně velkou výhodou této metody je, že umožňuje měřit emise vznikající při tepelném zatěžování v TG-DTA analyzátoru v čase.



Obrázek 18: Uspořádání termické analýzy (zleva monitor, IR- analyzátor Thermo Nicolet iS10, TG-DTA TA Instruments SDT Q600, propojené vyhřívanou kapilárou

## Rentgenová difrakční analýza

Rentgenová analýza je analytická metoda, která se používá pro stanovení mineralogického složení látek, které mají krystalický charakter. Metoda spočívá v dopadu rentgenového záření na krystal. Díky dokola se opakující krystalové struktuře dochází k rozptylu záření a následné interferenci neboli difrakci. V práškovém vzorku jsou jednotlivé krystality orientovány náhodně. Vzhledem k jejich nekonečnému počtu ve vzorku jsou vždy orientovány tak, že jejich soubor rovin (hkl) splňuje pro dopadající záření difrakční podmínku pro úhel  $\theta$  z Braggovy rovnice:

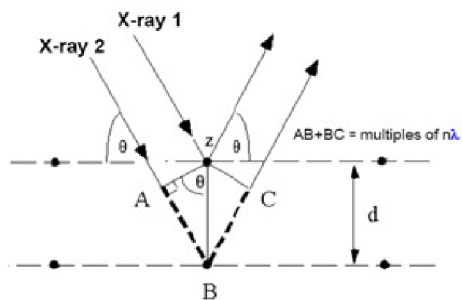
$$n \cdot \lambda = 2d_{hkl} \cdot \sin \theta$$

$\lambda$  vlnová délka rentgenového záření

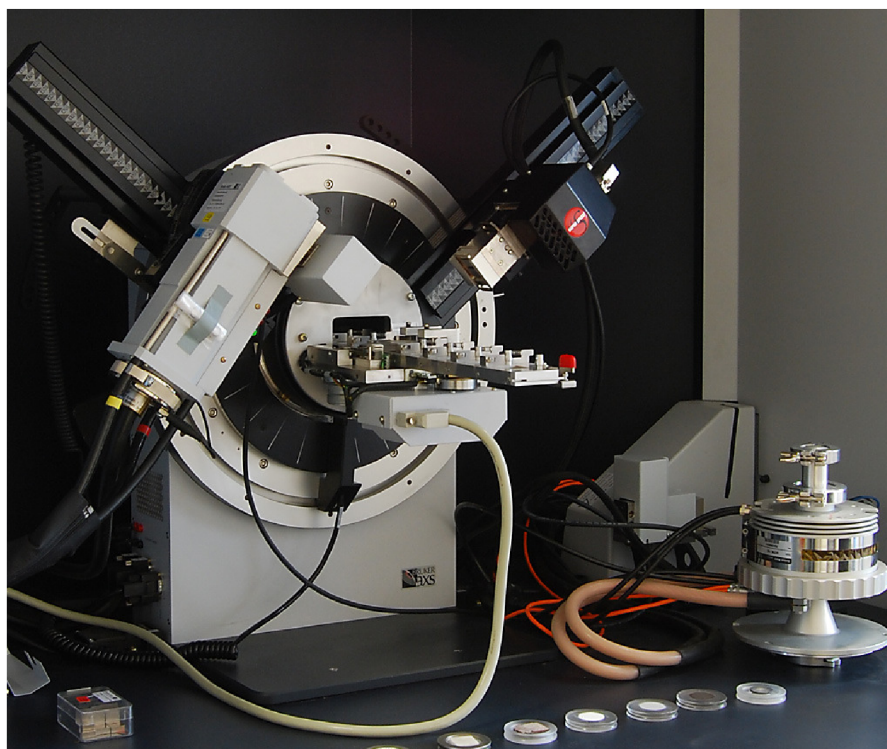
$n$  celé číslo

$d_{hkl}$  vzdálenost dvou sousedních rovin v krystalu

$\theta$  úhel difrakce rentgenového záření



Obrázek 19: Schéma rentgenové difrakce



Obrázek 20: Rentgenový difraktometr firmy Bruker SMART APEX2

## VÝSLEDKY A DISKUZE

V následujících podkapitolách jsou popsány a vyhodnoceny naměřená data a zjištěné skutečnosti.

### Hodnocení reologických vlastností čerstvé směsi

Byla připravena čerstvá směs omítky, tato byla vpravena do kužele umístěného ve středu kruhu. Po odstranění kužele bylo učiněno 20 otáček a byla zaznamenána vzdálenost směsi na 4 osách. Vzdálenosti u jednotlivých směsí byly zprůměrovány a jsou uvedeny v tabulce níže.

Tabulka 5: Rozliv čerstvých omítkových směsí

Omítka	A	B	C	D	E
l [mm]	106,25	97,25	97	97	106

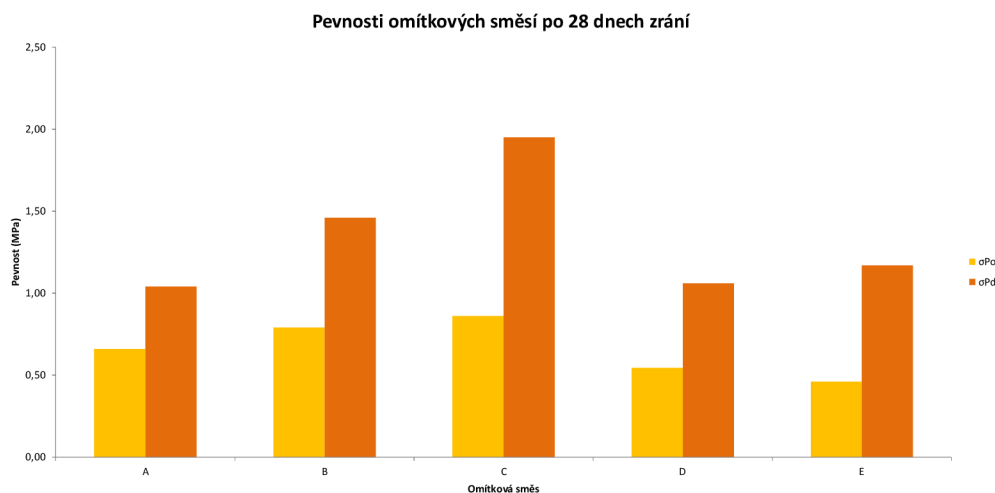
Je vidět, že všechny omítkové směsi měly rozliv od 97 do 107 mm, což odpovídá nízkému vodnímu součiniteli, s jakým byly směsi připravovány. Nízký vodní součinitel je u omítkových směsí žádoucí, neboť přílišná řídkost směsí by představovala obtížnou aplikaci omítek na zdivo.

### Hodnocení mechanických vlastností

Připravené trámečky o rozměrech 40×40×160 mm byly testovány na zařízení Lis pro zkoušku cementových zkušebních těles s lamačkou BS-310. Byla změřena pevnost v tahu za ohybu a pevnost v tlaku. Naměřené hodnoty jsou uvedeny v tabulce níže. Z hodnot byl vytvořen graf.

Tabulka 6: Pevnosti omítkových směsí po 28 dnech zrání

Pevnost [MPa]		
	$\sigma_{Po}$	$\sigma_{Pd}$
A	0,66	1,04
B	0,79	1,46
C	0,86	1,95
D	0,55	1,06
E	0,46	1,17



Obrázek 21: Graf pevností omítek po 28 dnech zrání

Pevnost v tahu za ohybu se pohybuje v rozmezí od 0,2 do 0,9 MPa. Pevnost v tlaku od 0,9 do 2 MPa.

Tabulka 7: Velikost smrštění omítek po 28 dnech zrání

Smrštění			
	l [mm]	l [mm]	l [mm/m]
<b>A</b>	157,24	2,76	17,55
<b>B</b>	159,24	0,76	4,75
<b>C</b>	159,59	0,41	2,57
<b>D</b>	159,42	0,58	3,66
<b>E</b>	159,16	0,84	5,27

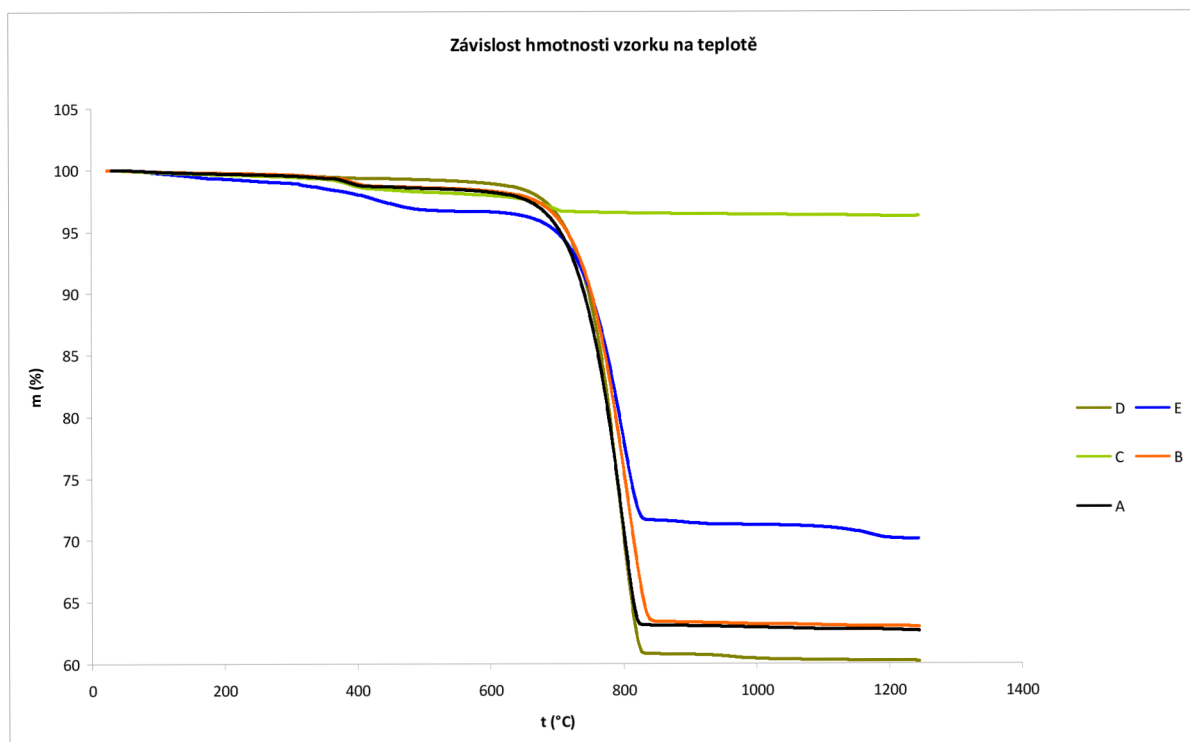
Rozsah smrštění vyrobených trámečků byl okolo 4 mm/m. U omítky A však bylo naměřeno 17,55 mm/m, což mohlo být způsobeno použitím nevhodných aditiv do omítky.

### Hodnocení složení

Složení omítkových směsí je určováno pomocí grafů vzniklých z naměřených dat TG-DTA a EGA analýzy a RTG práškovou difrakcí.

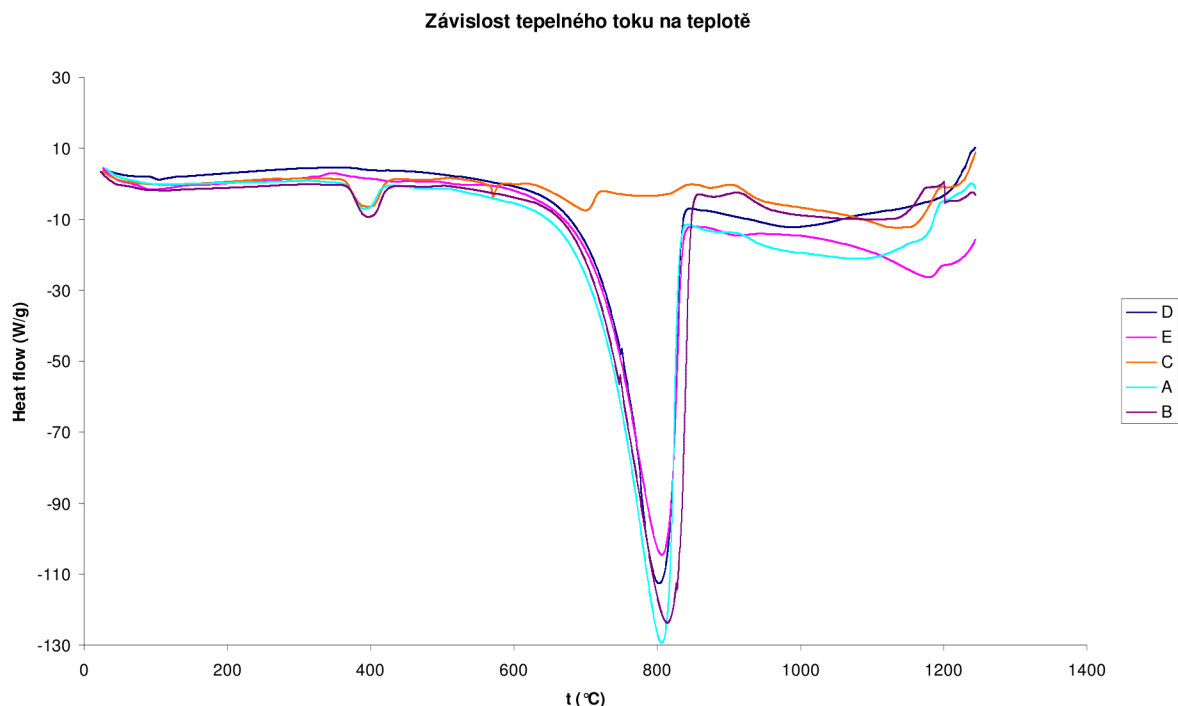
## Výsledky termogravimetrického měření

Byla sledována hmotnost vzorku v závislosti na teplotě. Výsledky tohoto měření jsou zaznamenány v grafu níže.



Obrázek 22: Grafické znázornění TGA analýzy suchých omítek

Z tohoto grafu lze vyčíst, že omítka C obsahuje jen velmi malé množství vápence. U ostatních omítek je patrný výrazný pokles hmotnosti při teplotě kolem 700 °C zapříčiněný rozkladem kalcitu, uvolněným produktem byl vznikající  $\text{CO}_2$ . Dále lze usuzovat na menší obsah portlanditu v omítkách. Tomu odpovídá malý pokles hmotnosti při teplotě kolem 400 °C kdy hmotnostní rozdíl odpovídá množství odešlé vody z portlanditu. Portlanditu je zde opravdu málo, proto je oprávněná domněnka, že je produktem reakce vzdušné vlhkosti s CaO v omítkových směsích.

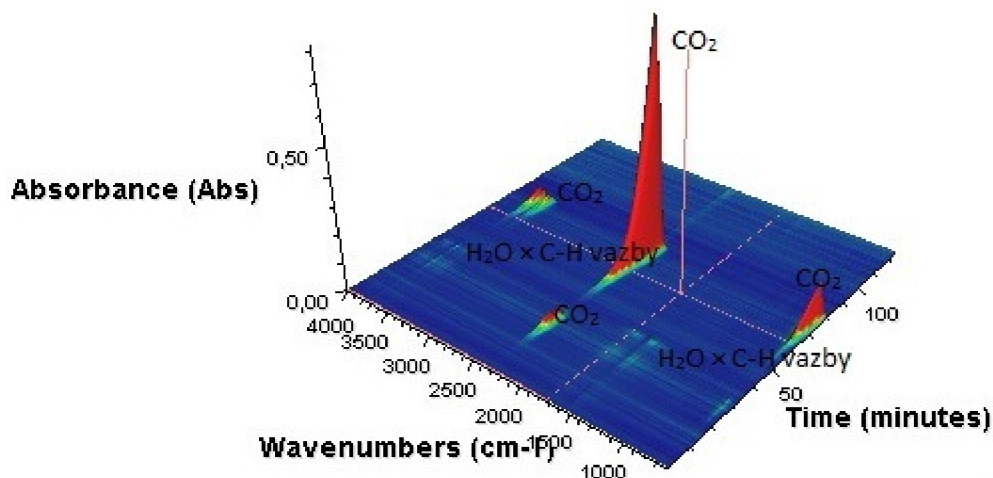


Obrázek 23: Grafické znázornění DTA analýzy suchých omítek

Na tomto grafu lze u omítek A, B, C a D vidět rozklad portlanditu, což se projevilo malým endotermickým píkem při 400°C. Portlandit v systému vzniknul hydratací CaO vzdušnou vlhkostí. Velký endoterm odpovídá energetické náročnosti rozkladu přítomného kalcitu, jeho velikost pak odpovídá množství na obrázku 22.

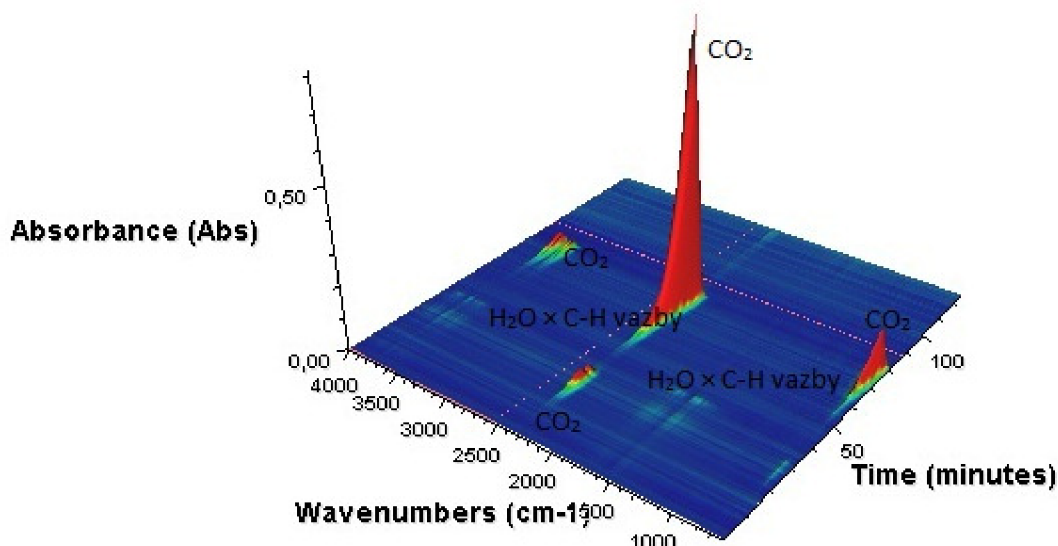
Dále byla vyhodnocována EGA analýza, cílem EGA analýzy bylo zjistit jaké složení mají omítkové směsi. Níže uvedené záznamy FT-IR spekter dokladují jaká plynná složka se při tepelném zatěžování ze systému uvolňovala. Na základě těchto zjištění a za předpokladu znalosti fázového složení (XRD prášková difrakce) lze poměrně velice spolehlivě identifikovat jednotlivé složky suché omítky. Časová osa zde ukazuje i teplotu, neboť víme, že teplotní nárůst (ramp) byl 10 °C/min.

Organickými přísadami v omítkách mohou být např. plastifikátory, urychlvače či zpomalovače tuhnutí, odpěňovače, aj..



Obrázek 24: Grafický záznam EGA analýzy pro vzorek omítky A.

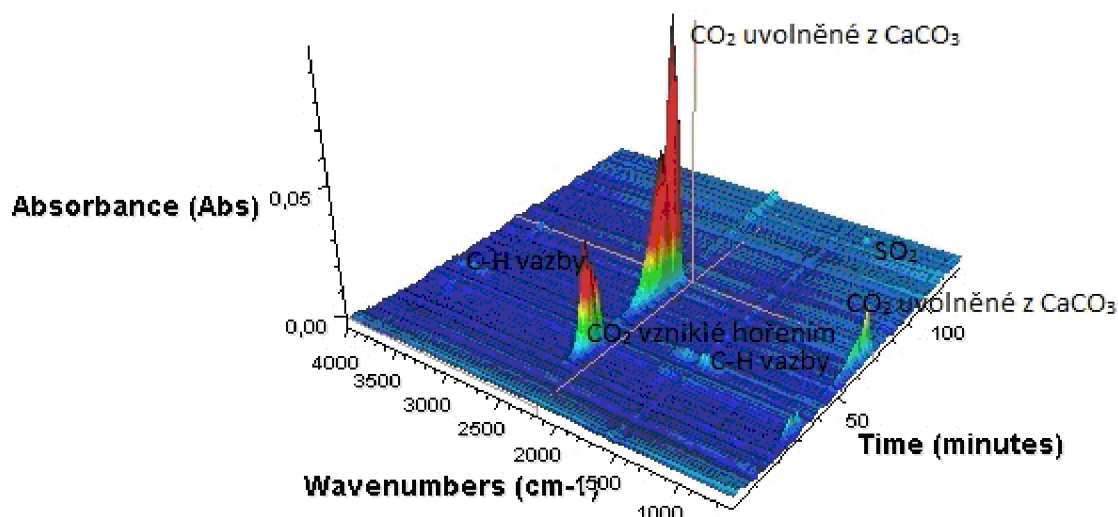
Na tomto grafu lze vidět uvolňování CO<sub>2</sub> a vody, či organických sloučenin (vazby C-H). Organickými sloučeninami v omítkové směsi mohou být např. plastifikátory. K uvolňování CO<sub>2</sub> dochází při dvou teplotách – přibližně 300 °C a 700 °C. Při teplotě 300 °C dochází k vyhoření organických látek. Při teplotě 700 °C dochází k uvolnění CO<sub>2</sub> z kalcinace vápence. Při teplotě okolo 400 °C dochází k rozkladu (vyhoření) organických látek a k dehydroxylaci portlanditu.



Obrázek 25: Grafický záznam EGA analýzy pro vzorek omítky B

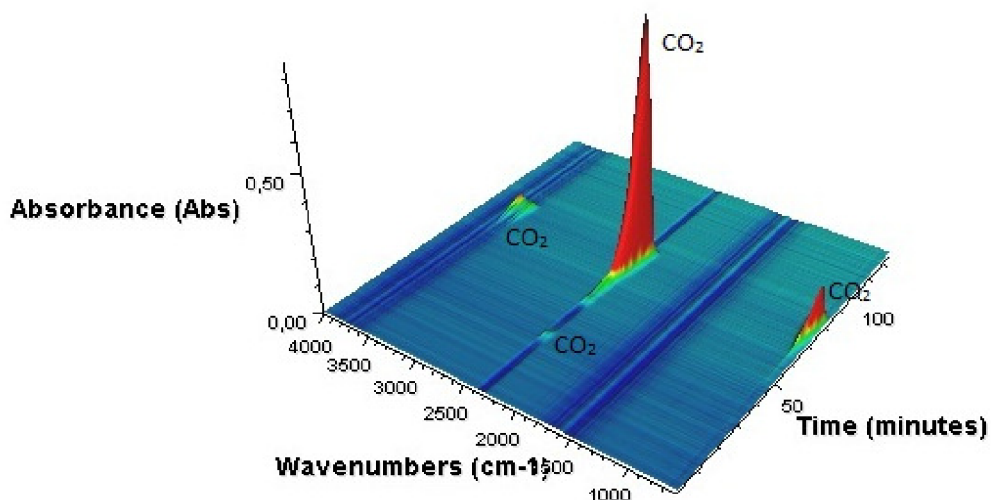


Na tomto grafu lze vidět uvolňování  $\text{CO}_2$  a vody, či organických sloučenin (vazby C-H). Organickými sloučeninami v omítkové směsi mohou být např. plastifikátory. K uvolňování  $\text{CO}_2$  dochází při dvou teplotách – přibližně  $300\text{ }^\circ\text{C}$  a  $700\text{ }^\circ\text{C}$ . Při teplotě  $300\text{ }^\circ\text{C}$  dochází k vyhoření organických látek. Při teplotě  $700\text{ }^\circ\text{C}$  dochází k uvolnění  $\text{CO}_2$  z kalcinace vápence. Při teplotě okolo  $400\text{ }^\circ\text{C}$  dochází k rozkladu (vyhoření) organických látek a k dehydroxylaci portlanditu.



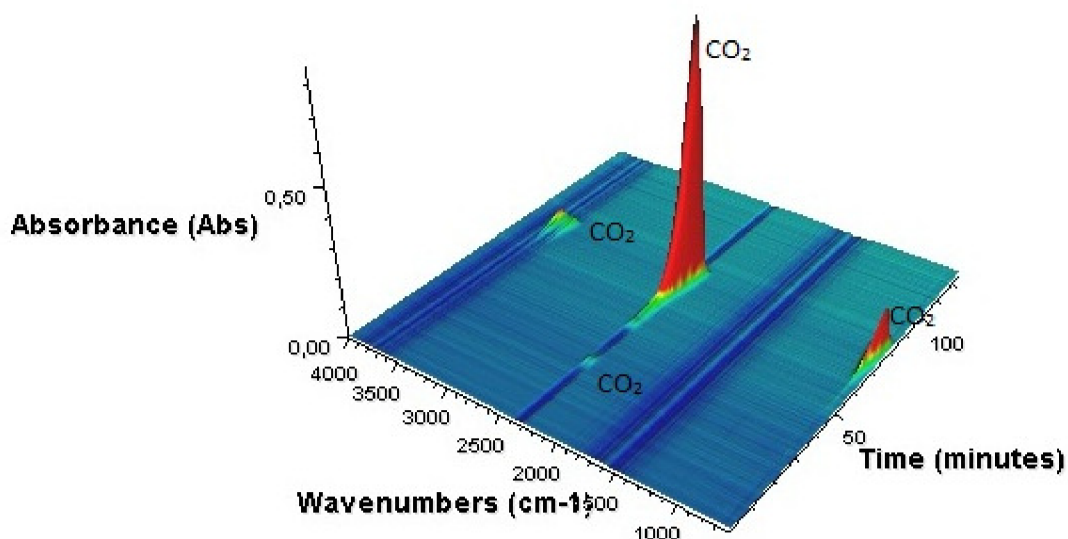
Obrázek 26: Grafický záznam EGA analýzy pro vzorek omítky C

Tato omítka obsahuje jen velmi malé množství vápence což je vidět v rozsahu absorbance, která se od ostatních směsí liší o řád. Uvolňuje se  $\text{CO}_2$ . K uvolňování  $\text{CO}_2$  dochází při dvou teplotách – přibližně  $300\text{ }^\circ\text{C}$  a  $700\text{ }^\circ\text{C}$ . Při teplotě  $300\text{ }^\circ\text{C}$  dochází k hoření organických látek. Při teplotě  $700\text{ }^\circ\text{C}$  dochází k uvolnění  $\text{CO}_2$  z kalcinace vápence. Při teplotě okolo  $400\text{ }^\circ\text{C}$  dochází k rozkladu zbylých organických látek dehydroxilací portlanditu.. Při teplotě okolo  $1150\text{ }^\circ\text{C}$  dochází k uvolňování  $\text{SO}_2$ . Tento oxid pochází z přidavku cementu do suché omítkové směsi, neboť cement obsahuje síran jako retardér tuhnutí.



Obrázek 27: Grafický záznam EGA analýzy pro vzorek omítky *D*

Na tomto grafu je vidět pouze uvolňování  $\text{CO}_2$ , což je značí, že omítka obsahuje jako kamenivo pouze vápenec. Dokládá to výrazná emise oxidu uhličitého při teplotě  $700\text{ }^\circ\text{C}$ . Malá emise oxidu uhličitého kolem teploty  $300\text{ }^\circ\text{C}$  je důsledkem vyhoření přítomných organických látek, zde ovšem nebyly detekovány C-H vazby.

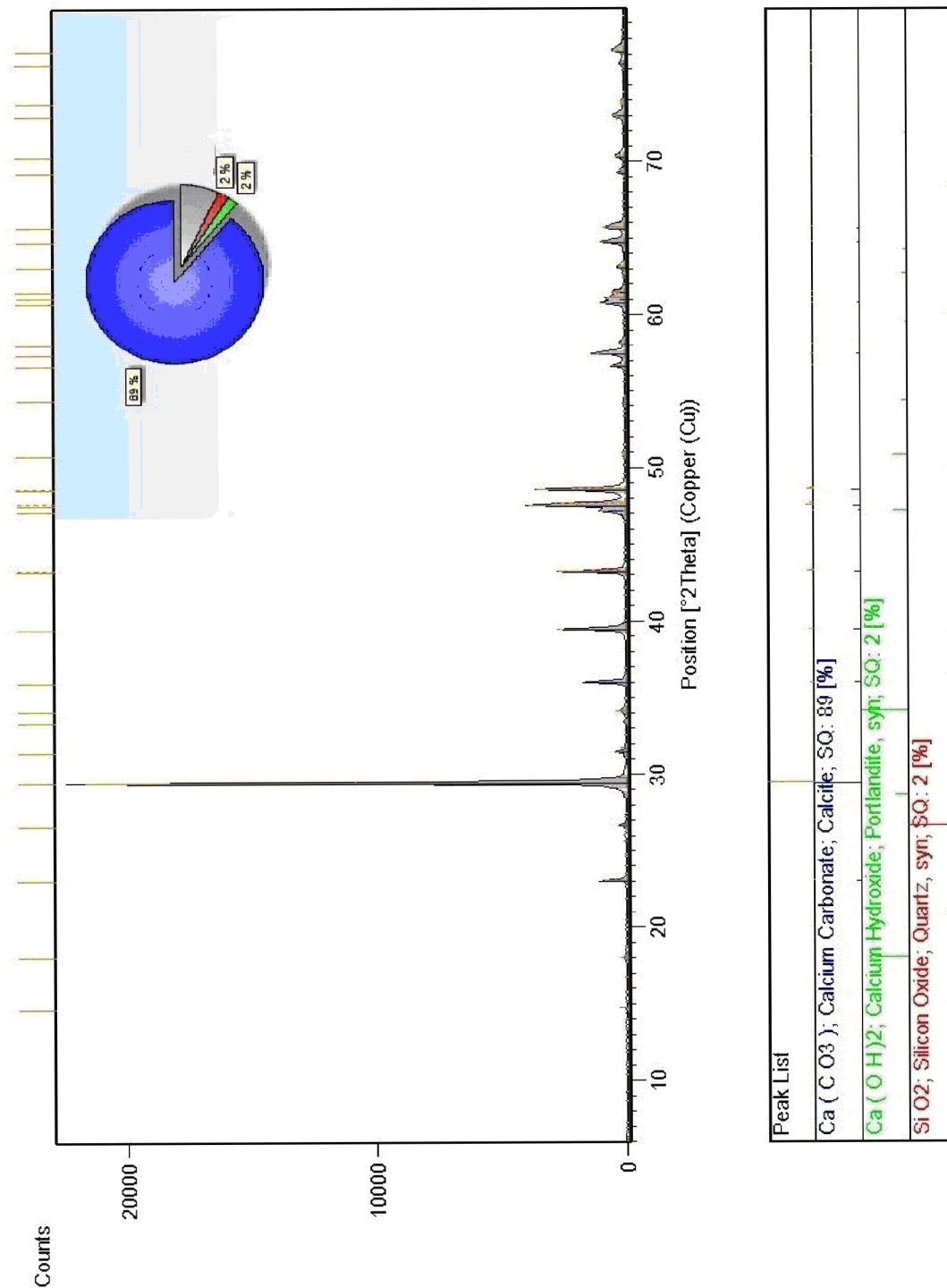


Obrázek 28: Grafický záznam EGA analýzy pro vzorek omítky *E*

Tato omítka je s velkou pravděpodobností velice podobná omítce *E*, což ostatně dokládá obrázek 28, popis lze tedy čerpat z textu nad obrázkem 28.

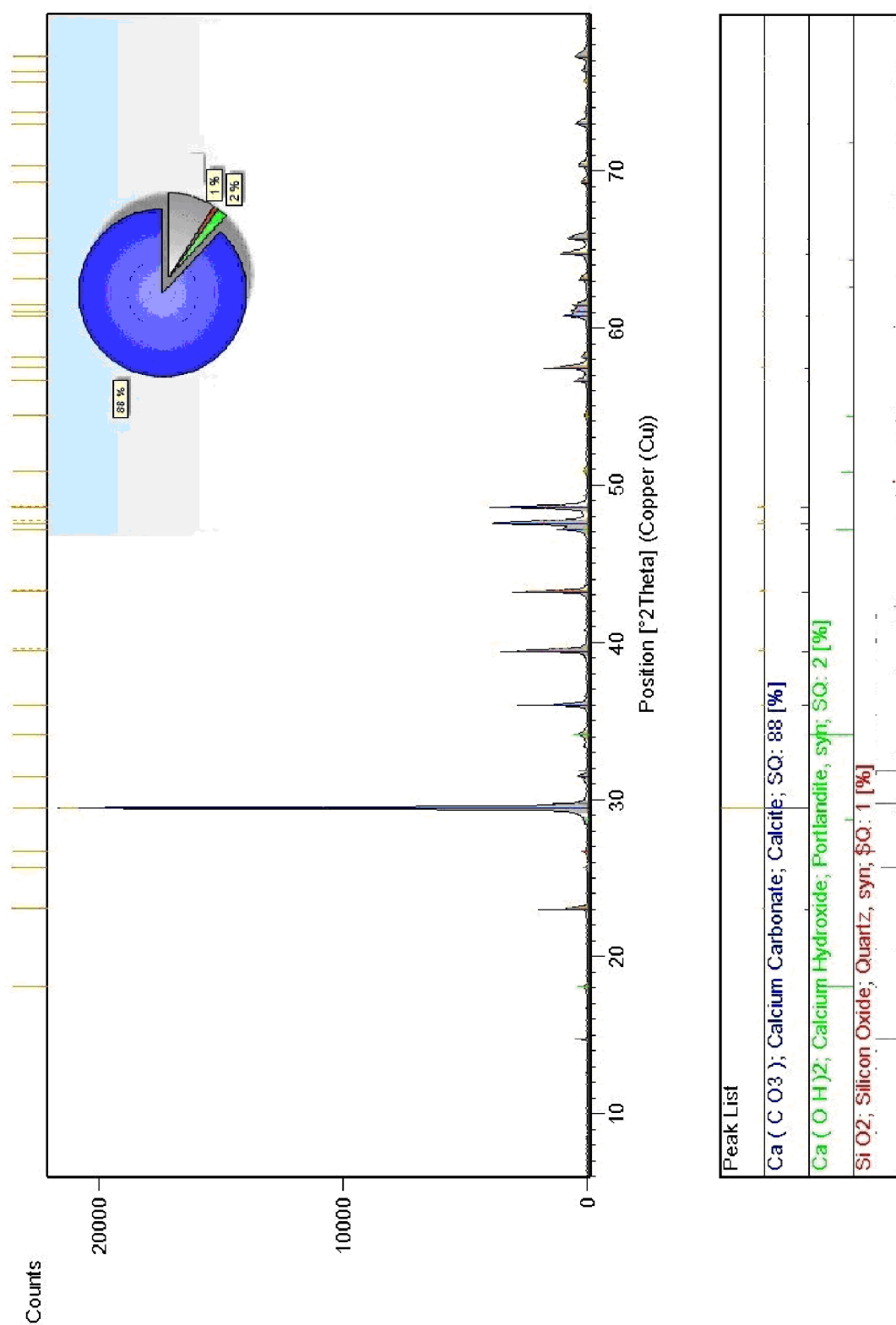
## XRD prášková analýza

Pomocí XRD práškové analýzy bylo určováno fázové složení jednotlivých omítkových směsí. Výsledky dokládají níže uvedené difraktogramy.



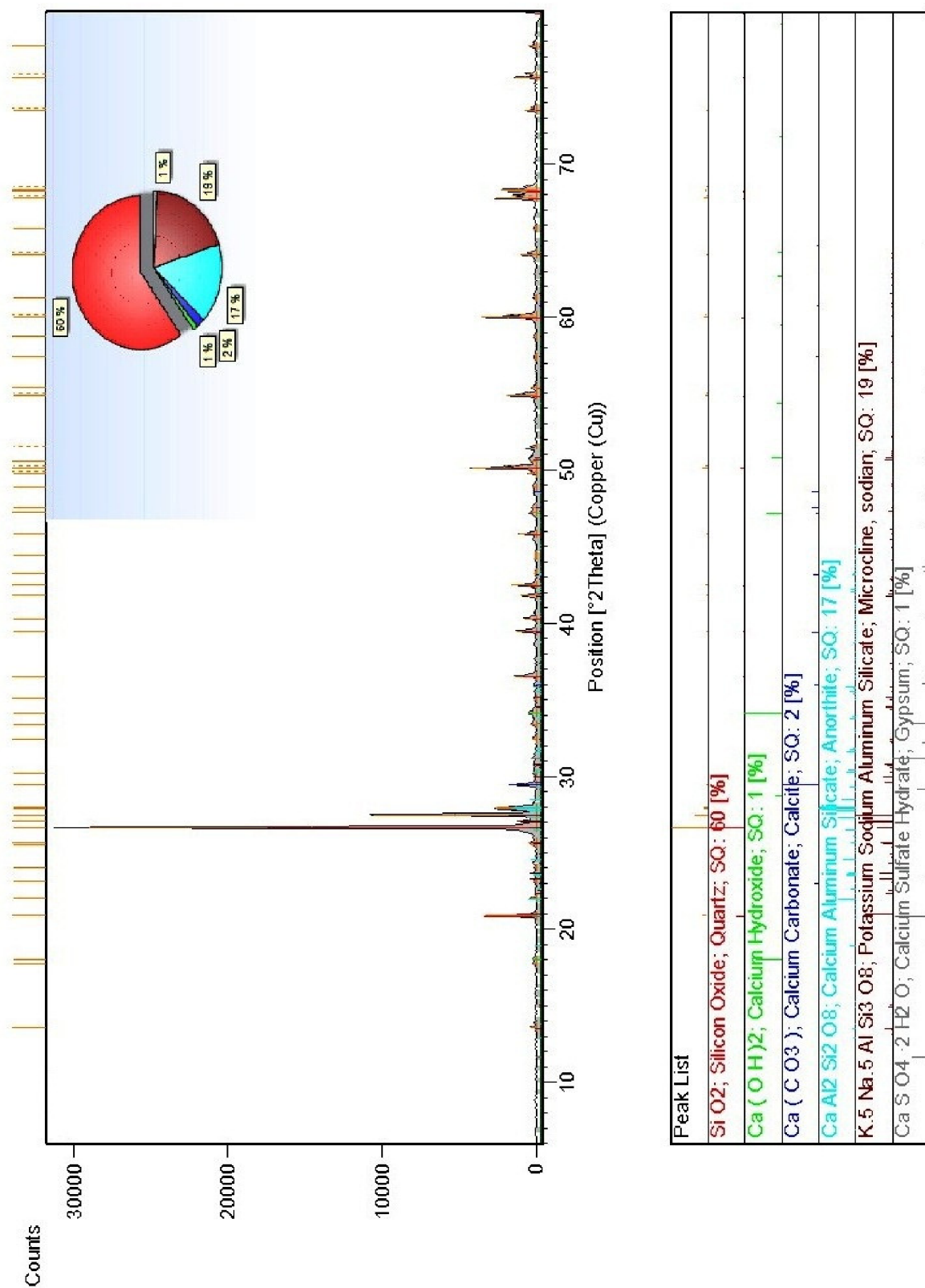
Obrázek 29: Prášková difrakce omítkové směsi A

Z tohoto grafu vyplývá, že omítka A se skládá především z vápence. Dalšími obsaženými složkami jsou  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  a  $\text{SiO}_2$ .



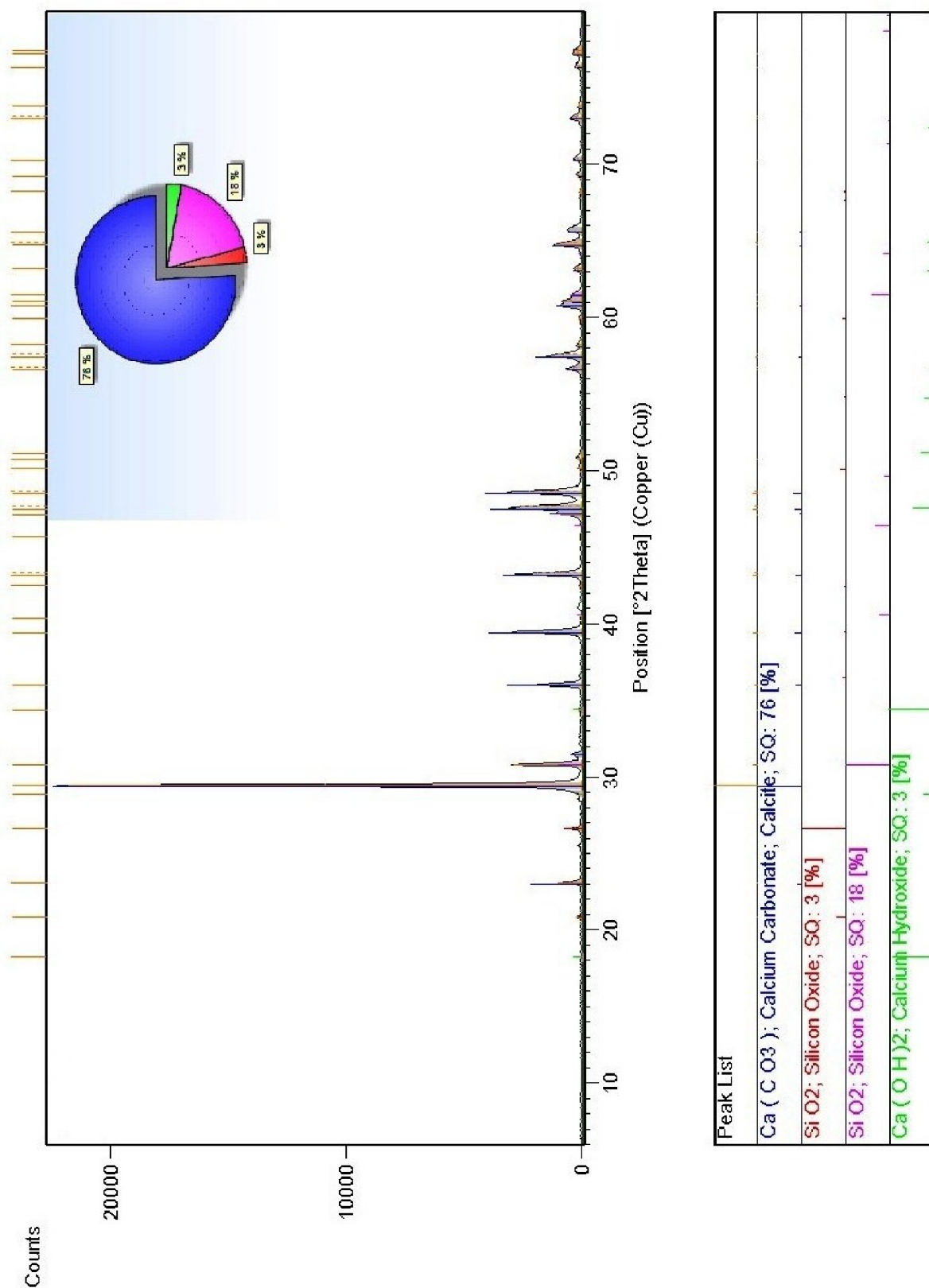
Obrázek 30: Prášková difrakce omítkové směsi B

Z tohoto grafu zjišťujeme, že hlavní složkou omítky B je vápenec. Dalšími složkami jsou  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  a  $\text{SiO}_2$ .



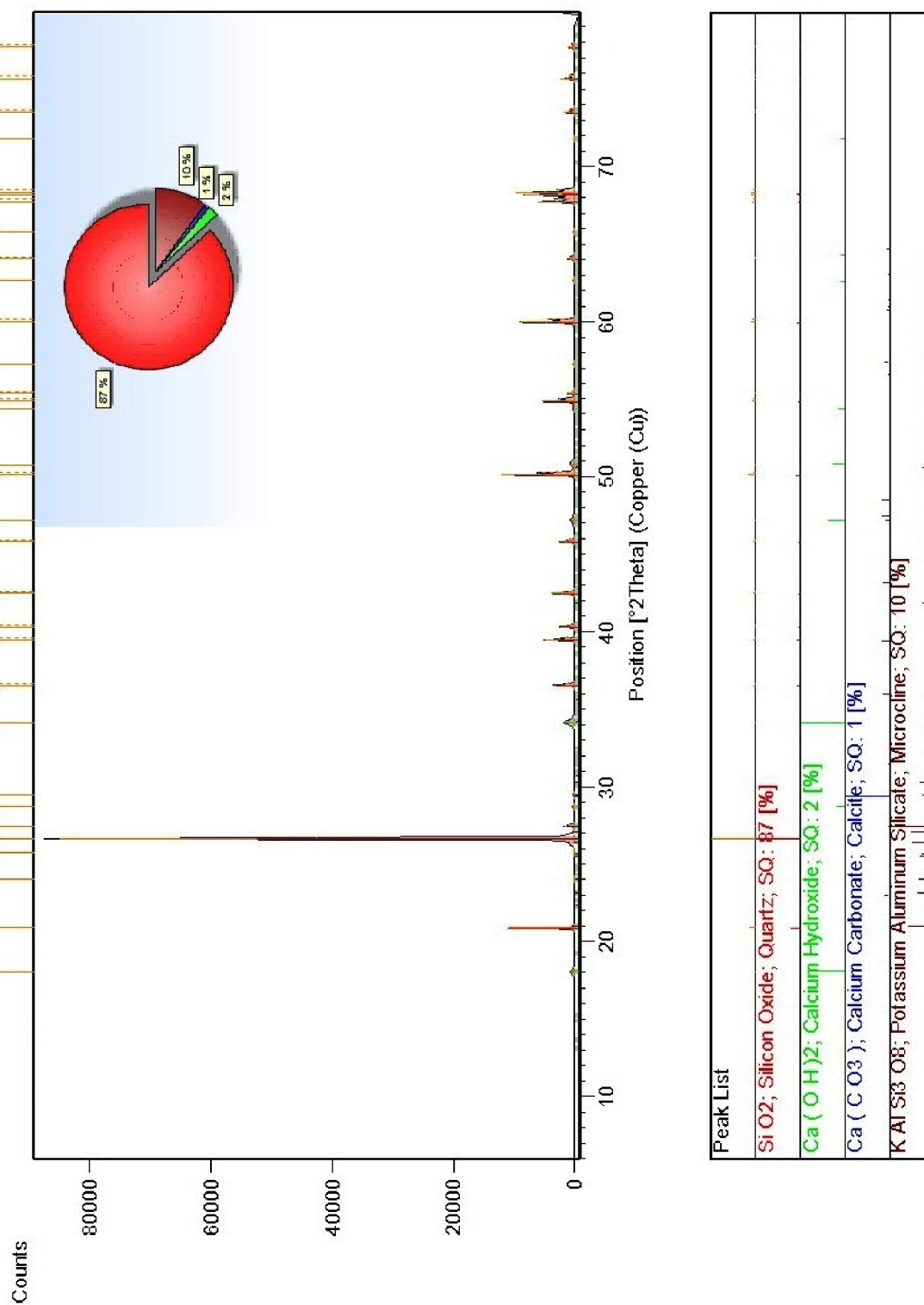
Obrázek 31: *Prášková difrakce omítkové směsi C*

Z tohoto grafu je patrné, že omítka C se více než z poloviny skládá z SiO<sub>2</sub>. Dalšími složkami jsou portlandit, vápenec, CaSO<sub>4</sub> · ½ H<sub>2</sub>O a živce.



Obrázek 32: Prášková difrakce omítkové směsi D

Tento graf ukazuje, že omítka D se z větší části skládá z vápence. Dalšími složkami jsou Ca(OH)<sub>2</sub> a SiO<sub>2</sub>.



Obrázek 33: *Prášková difrakce omítkové směsi E*

Na tomto grafu lze vidět, že omítka E se skládá z SiO<sub>2</sub>, vápence, portlanditu, a živce.

## ZÁVĚR

Cílem této bakalářské práce bylo jednoduchým souborem testů otestovat pět běžně dostupných komerčních omítkových směsí. Tyto testy byly destruktivního i nedestruktivního charakteru.

Mezi destruktivní metody patřilo měření pevnosti v tahu za ohybu a měření pevnosti v tlaku. Nejpevnější omítkou v těchto testech se ukázala omítková směs C, která po 28 dnech zrání vykazovala pevnost 0,86 MPa v tahu za ohybu a 1,95 MPa v tlaku. Ostatní omítky dosahovaly pevností okolo 0,5 MPa v tahu za ohybu a 1,2 MPa v tlaku. Pevnosti omítky C bude mít na svědomí přidaný portlandský cement, který zde byl identifikován.

Mezi použité nedestruktivní metody patřilo mimo jiné zkoumání reologických vlastností čerstvé směsi. Rozliv všech směsí byl v rozmezí od 97 do 107 mm po 20-ti setřesech na setřásacím stolku. Vodní součinitel směsí se pohyboval v rozmezí od 0,18 do 0,24 což odpovídá zjištěným reologickým vlastnostem.

Dále bylo měřeno o kolik mm na 1000 mm se zkušební trámečky smrští po 28 dnech zrání. Naměřené hodnoty mají rozsah 2-18 mm/m. Nejvíce se smrští trámeček z omítkové směsi A, což mohlo být způsobeno použitím nevhodných aditiv do omítky. Ostatní omítky dosahovaly hodnot okolo 4 mm/m.

Další metodou byla TG-DTA-EGA analýza. Z grafu termogravimetrické analýzy je patrný nízký obsah vápence v omítkové směsi C. To značí pokles hmotnosti při 700 °C, který je oproti ostatním omítkám téměř zanedbatelný. V omítce C bylo tedy jako kameniva použito písku. Dále lze usuzovat na menší obsah portlanditu v omítkách. Tomu odpovídá malý pokles hmotnosti při teplotě kolem 400 °C kdy hmotnostní rozdíl odpovídá množství odešlé vody z portlanditu. Portlanditu je zde opravdu málo, proto je oprávněná domněnka, že je produktem reakce vzdušné vlhkosti s CaO

Popsané výsledky TGA analýzy jsou podloženy DTA analýzou, která plně koresponduje s výše uvedenými závěry z TGA analýzy. Velikost zjištěných endotermů odpovídá hmotnostním skutečnostem uvedeným na obrázku 22.

Metoda EGA ukázala, jaké plyny se ze směsí uvolňují v průběhu tepelného zatěžování. Ze všech omítek se uvolňoval CO<sub>2</sub> z přítomného vápence při teplotě okolo 700°C a CO<sub>2</sub> z vyhořívajících organických složek při 300°C. U omítkových směsí D a E to byl jediný plynný produkt tepelného zatížení. U omítky C byl kolem teploty 1100°C detekován oxid siřičitý (SO<sub>2</sub>), který byl do směsi vnesen přídavkem portlandského cementu, kde působí jako retardér tuhnutí. V některých omítkách byly dále detekovány vazby C-H v plynné fázi, to velice pravděpodobně vznikly rozkladem některé z přidaných modifikujících látek (plastifikátor, odpěňovadlo, aj.)

Poslední využitou metodou byla RTG prášková difrakce. Pomocí práškové difrakce bylo zjištěno mineralogické složení daných směsí. Hlavní složkou omítek A, B a D byl vápenec, doplňujícími složkami písek (SiO<sub>2</sub>) a portlandit. Omítková směs E obsahovala především písek a vápenec jako kamenivo, doplňujícími složkami pak byl portlandit a živce, které byly patrně vytěženy společně s vápencem. Omítková směs C se skládá z písku, živců, vápence, portlanditu a sádry, která zde byla vnesena přídavkem cementu, společně se slinkovými minerály, které nebyly vyhodnocovány.

Na základě výše popsaných zjištění můžeme tvrdit, že jedna z testovaných omítek (C) obsahuje cement i když je deklarovaná jako vápenná, ostatní čtyři omítky byly pojeny opravdu pouze vápnem. Jako kameniva bylo u omítky C použito písku, u omítky E bylo použito směsi písku a vápence. Ostatní testované omítky měly kamenivo z vápence o různých frakcích.



## Použitá literatura

---

<sup>1</sup>ROVNANÍKOVÁ, Pavla. *Omítky : Chemické a technologické vlastnosti*. Kněžves u Prahy : Unitisk, 2002. 89 s.

<sup>2</sup>HOŠEK, Jiří; LOSOS, Ludvík. *HISTORICKÉ OMÍTKY : PRŮZKUMY, SANACE, TYPOLOGIE*. Praha : Grada Publishing, a.s., 2007. 168 s.

<sup>3</sup>ROVNANÍKOVÁ, Pavla. *Omítky : Chemické a technologické vlastnosti*. Kněžves u Prahy : Unitisk, 2002. 89 s.

<sup>4</sup>BLAHA, Martin. *Omítky*. Praha : Grada Publishing, a.s., 2004. 100 s.

<sup>5</sup>ROVNANÍKOVÁ, Pavla. *Omítky : Chemické a technologické vlastnosti*. Kněžves u Prahy : Unitisk, 2002. 89 s.

<sup>6</sup>BLAHA, Martin. *Omítky*. Praha : Grada Publishing, a.s., 2004. 100 s.

<sup>7</sup>ROVNANÍKOVÁ, Pavla. *Omítky : Chemické a technologické vlastnosti*. Kněžves u Prahy : Unitisk, 2002. 89 s.

<sup>8</sup> VENDRELL, M.; GIRALDEZ, P.; MERINO, L. Traditional organic next term additives improve previous term limen next term mortars: New old materials for restoration and building natural stone fabrics . *ScienceDirect* [online]. 31. 3. 2011, 8, [cit. 2011-05-01]. Dostupný z WWW: <[http://www.sciencedirect.com/science?\\_ob=ArticleURL&\\_udi=B6V2G-52HB0CC-2&\\_user=640830&\\_coverDate=08%2F31%2F2011&\\_alid=1737300225&\\_rdoc=10&\\_fmt=high&\\_orig=search&\\_origin=search&\\_zone=rslt\\_list\\_item&\\_cdi=5702&\\_st=13&\\_docanchor=&view=c&\\_ct=276&\\_acct=C000032308&\\_version=1&\\_urlVersion=0&\\_userid=640830&md5=3f9408138f558b08a3d58bac0e5345ba&searchtype=a#s0020](http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleURL&_udi=B6V2G-52HB0CC-2&_user=640830&_coverDate=08%2F31%2F2011&_alid=1737300225&_rdoc=10&_fmt=high&_orig=search&_origin=search&_zone=rslt_list_item&_cdi=5702&_st=13&_docanchor=&view=c&_ct=276&_acct=C000032308&_version=1&_urlVersion=0&_userid=640830&md5=3f9408138f558b08a3d58bac0e5345ba&searchtype=a#s0020)>.

<sup>9</sup>BLAHA, Martin. *Omítky*. Praha : Grada Publishing, a.s., 2004. 100 s.

<sup>10</sup>BRANDSTILLEROVÁ, Marie ; VAVŘÍN, František. *Maltoviny : Návod do cvičení*. Brno

<sup>11</sup>P. Šimon, E. Smrčková, Š. Svetík, A. Chochulová: 5. *Letná škola termickej analýzy a kalorimetrie – učebné texty*. STU, Bratislava 2007.