



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV TECHNOLOGIE STAVEBNÍCH HMOT A
DÍLCŮ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF TECHNOLOGY OF BUILDING MATERIALS AND
COMPONENTS

MOŽNOSTI VYUŽITÍ ALTERNATIVNÍCH POJIV PŘI VÝROBĚ TEPELNĚ IZOLAČNÍCH A SANAČNÍCH OMÍTEK S VELMI NÍZKOU OBJEMOVOU HMOTNOSTÍ

POSSIBILITY OF UTILIZATION OF ALTERNATIVE BINDERS OF INSULATION PLASTERS WITH
LOW DENSITY PRODUCTION

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

LUKÁŠ VANĚK

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. JIŘÍ ZACH, Ph.D.



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	B3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu	Bakalářský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3607R020 Stavebně materiálové inženýrství
Pracoviště	Ústav technologie stavebních hmot a dílců

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student	Lukáš Vaněk
Název	Možnosti využití alternativních poжив při výrobě tepelně izolačních a sanačních omítek s velmi nízkou objemovou hmotností
Vedoucí bakalářské práce	Ing. Jiří Zach, Ph.D.
Datum zadání bakalářské práce	30. 11. 2011
Datum odevzdání bakalářské práce	25. 5. 2012
V Brně dne 30. 11. 2011	

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

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

Podklady a literatura

- [1] Pytlík, P, Vlastnosti a užití stavebních výrobků, VUTIUM, Brno 1998
- [2] Matoušek, M., Lehké stavební látky II, SNTL, Praha 1985
- [3] Šťastník, S., ZACH, J., Stavební akustika a zvukoizolační materiály, CERM, Brno 2002
- [4] Šťastník, S., Zach, J., Zkoušení izolačních materiálů, CERM, Brno 2002
- [5] Fridrichová, M., Dvořák, K., Omítky, Brno, Vydavatelství ERA. 2005

Zásady pro vypracování

Práce se bude zabývat možností využití alternativních pojiv s latentně hydraulickými vlastnostmi, jako je například metakaolin a elektrárenský popílek, při výrobě tepelně izolačních omítek s velmi nízkou objemovou hmotností, které by bylo možné využít při zateplování a sanaci vlhkosti stavebních objektů. Cílem práce bude zmapování možných alternativních surovinových zdrojů a návrh jejich využití při výrobě lehkých tepelně izolačních omítek.

Předepsané přílohy

Licenční smlouva o zveřejňování vysokoškolských kvalifikačních prací, rozsah práce cca 40 stran včetně tabulek a grafů.

.....
Ing. Jiří Zach, Ph.D.
Vedoucí bakalářské práce

ABSTRAKT

Bakalářská práce se zabývá možností využití alternativních pojiv s latentně hydraulickými vlastnostmi, jakými jsou metakaolin a elektrárenský popílek, při výrobě tepelně izolačních omítek s velmi nízkou objemovou hmotností, které by bylo možné využít při zateplování a sanaci vlhkosti stavebních objektů. V praktické části práce byly zkoušeny receptury s odlišným druhem pojiva v konstantních dávkách, na nichž byly stanoveny vlastnosti čerstvé a zatvrdlé malty podle platných ČSN.

ABSTRACT

This bachelor thesis deals with the possibility of using alternative binders with latent hydraulic properties, such as metakaolin and fly ash in the manufacture of thermal insulation plaster with very low density, which could be used for thermal insulation and moisture sanitation of buildings. In the practical part of this thesis were tested recipes with a different kind of binder in constant doses, which established the properties of fresh and hardened mortar according to applicable CSN.

KLÍČOVÁ SLOVA

Tepelně izolační omítky, latentně hydraulické vlastnosti, alternativní pojiva, velmi nízká objemová hmotnost, součinitel tepelné vodivosti, zateplování konstrukcí, sanace vlhkosti

KEYWORDS

Thermal insulating plasters, latent hydraulic properties, alternative binders, very low density, thermal conductivity, insulation of constructions, remediation of moisture

Bibliografická citace VŠKP

VANĚK, Lukáš. *Možnosti využití alternativních pojiv při výrobě tepelně izolačních a sanačních omítek s velmi nízkou objemovou hmotností*. Brno 2012. 47s. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav technologie stavebních hmot a dílců. Vedoucí bakalářské práce Ing. Jiří Zach, Ph.D.

Prohlášení:

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

V Brně dne 25. 5. 2012

.....
podpis autora

Poděkování

Zde bych rád poděkoval vedoucímu mé bakalářské práce Ing. Jiřímu Zachovi Ph.D., za vedení, věnovaný čas a poskytnuté rady při zpracování.

Obsah:

Úvod	9
I. Teoretická část.....	10
1. Specifikace malt	10
1.1 Suché maltové směsi	11
1.2 Provádění omítek.....	13
2. Základní složky omítek	13
2.1 Pojiva.....	13
2.1.1 Organická pojiva.....	14
2.1.1.1 Akryláty	14
2.1.1.2 Silikony.....	14
2.1.2 Anorganická pojiva – vzdušná	14
2.1.2.1 Sádra a sádrová pojiva.....	15
2.1.2.2 Vzdušné vápno	15
2.1.3 Pojiva hydraulická	16
2.1.3.1 Hydraulické vápno.....	17
2.1.3.2 Cement.....	17
2.1.4 Latentně hydraulická pojiva	18
2.1.4.1 Vysokopeční struska.....	18
2.2 Plniva.....	18
2.2.1 Písek	19
2.2.2 Moučka	19
2.2.3 Lehké kamenivo	19
2.2.3.1 Keramzit	19
2.2.3.2 Vermikulit.....	20
2.2.3.3 Expandovaný perlit.....	20
2.2.3.4 Expandovaný obsidián.....	20
2.2.3.5 EPS	20
2.2.3.6 PUR	21
3. Alternativní pojiva.....	21
3.1 Pucolány	21
3.1.1 Metakaolin.....	22
3.1.2 Popílek.....	22
4. Sanační omítkové systémy	24
4.1 Složení a zásady použití sanačních omítek dle WTA.....	25
4.2 Základní vrstvy sanačních omítek	26

5. Tepelně izolační omítky	27
6. Tepelná ochrana budov.....	29
II. Praktická část:	30
1. Postup řešení.....	30
2. Provedení průzkumu trhu	31
3. Návrh vstupních surovin.....	33
4. Metody provedených zkoušek v čerstvém a zatvrdlém stavu	34
4.1 ČSN EN 1015 : Zkušební metody malt pro zdivo – část 6 : Stanovení objemové hmotnosti čerstvé malty.....	34
4.2 ČSN EN 1015 : Zkušební metody malt pro zdivo – část 3 : Stanovení konzistence čerstvé malty (s použitím střešacího stolku).	35
4.3 ČSN EN 1015 : Zkušební metody malt pro zdivo – část 7 : Stanovení obsahu vzduchu v čerstvé maltě (tlaková metoda).	35
4.4 ČSN EN 1015 : Zkušební metody malt pro zdivo – část 10 : Stanovení objemové hmotnosti suché zatvrdlé malty.	36
4.5 ČSN EN 1015 : Zkušební metody malt pro zdivo – část 11 : Stanovení pevnosti zatvrdlých malt v tahu za ohybu a v tlaku	36
4.5.1 Postup stanovení pevnosti v tahu za ohybu	36
4.5.2 Postup stanovení pevnosti v tlaku	37
4.6 ČSN EN 1015 : Zkušební metody malt pro zdivo – část 12 : Stanovení přídržnosti zatvrdlých malt pro vnitřní a vnější omítky k podkladu.....	37
4.7 ČSN 72 7012: Stanovení součinitele tepelné vodivosti materiálů v ustáleném teplotním stavu - Metoda desky	38
4.8 ČSN EN 993-15: Stanovení součinitele tepelné vodivosti metodou topného drátu (paralelní uspořádání).....	39
5. Provedení laboratorních zkoušek a měření.....	40
5.1 Objemová hmotnost.....	40
5.2 Mechanické vlastnosti	41
5.3 Součinitel tepelné vodivosti λ	43
6. Závěr.....	45
7. Seznam použité literatury a zdrojů	46
7.1 Skripta, knihy, publikace	46
7.2 Použité normy a webové stránky.....	46
7.3 Seznam tabulek.....	47
7.4 Seznam obrázků.....	47
7.5 Seznam grafů	47

Úvod

Současným trendem, nejen ve stavebnictví, je hledání a zkoušení alternativních surovin, které by byly vhodné pro výrobu stavebních hmot a dílců. V praktické části této práce byly navrženy záměsi na pojivové bázi možných alternativních materiálů, které by bylo možno považovat za substituci cementu při výrobě lehkých omítkových směsí. Hlavními zkoušenými surovinami byly metakaolin a popílek, které jsou předmětem výzkumu řady institucí a u nichž jsou v mnoha ohledech známy pozitivní vlastnosti při výrobě kompozitních materiálů.

Omítky slouží k vyrovnání nerovností svislých a vodorovných konstrukcí, k ochraně zdiva a jako finální úprava povrchu nebo jako podklad pro konečnou úpravu povrchu zdi. [2]

Nejstarším typem omítek byly omítky jednovrstvé. Jednalo se vesměs o hladké, lžící roztírané hliněné a vápenné omítky, které podkladní konstrukce nevyrovnávaly, ale jen sledovaly jejich nerovnosti. Dvouvrstvé a vícevrstvé omítky se prosadily až v období renesance. Tyto omítky umožňují vyrovnání nerovností a přípravu rovných ploch s hladkým nebo strukturním povrchem. První vrstvu, která je v přímém kontaktu se zdivem, tvoří jádrová omítka, která se nanáší v tloušťce cca 1,5 cm. Pokud je nezbytné, aby tloušťka omítky byla větší než 2 cm, nanáší se jádrová omítka ve dvou či více vrstvách. Na srovnanou a uhlazenou omítku se nanáší tenká vrstva lícni štukové omítky, která může být probarvená a sloužit tak jako konečná úprava povrchu. [2]

V historii se svislé i vodorovné konstrukce omítaly hliněnými, vápennými i sádrovými omítkami. Postup, příprava a provádění omítek se od současných technologických postupů ruční aplikace omítek principiálně nelišil. Největší rozdíl byl ve stavebním materiálu omítaných staveb, kterým mohly být cihly pálené i nepálené, kámen, dřevo či jejich kombinace. [4]

Při zateplování a sanaci historických objektů se velmi často potýkáme se skutečností, že vzhledem ke geometrické složitosti fasády nelze pro zateplení použít vnější tepelně izolační systém. Vnější zateplení objektu je také velmi často vyloučeno z důvodu památkové ochrany zateplovaneho objektu. V těchto případech je jedinou alternativou provedení opravy a sanace původních omítek materiály, které jsou kompatibilní s materiály původními, z nichž je konstrukce postavena a vykazují velmi dobré tepelně izolační vlastnosti. [29]

I. Teoretická část

1. Specifikace malt

Malty pro vnitřní a vnější omítky jsou definovány ČSN EN 998-1 ed.2. [12]

Definice malt pro vnější a vnitřní omítky: směs jednoho nebo více anorganických pojiv, kameniv, vody a někdy příměsí anebo přísad používaná pro vnitřní a vnější omítky.

Rozdělení omítek:

- **Druhy malt pro vnější / vnitřní omítky podle záměru výroby:**
 - *Návrhová malta podle volby výrobce:* malta, kde výrobce volí složení a výrobní postup tak, aby byly zajištěny předepsané vlastnosti.
 - *Předpisová malta:* malta, která je vyráběna ve stanoveném poměru složek a jejíž vlastnosti se posuzují podle použitého poměru složek (záměr receptury).

- **Druhy malt pro vnější / vnitřní omítky podle způsobu výroby**
 - *Průmyslově vyráběná malta:* malta, která je dávkována a zamísena průmyslově. Může se jednat o „maltu suchou“ předem zamísenou, ke které je potřeba přidat pouze vodu, nebo o „maltu vlhkou“, jež je dodávána přímo k použití.
 - *Malta z části připravená průmyslově:*
 - *Předem dávkovaná malta:* malta, kde jsou složky dávkovány průmyslově, poté je dodávána na staveniště, kde je zamíchána dle pokynů a podmínek výrobce.
 - *Předem zamísená malta z vápna a písku:* malta, jejíž složky jsou plně dávkovány a zamíseny průmyslově, a která se dodává na staveniště, kde se doplní o další složky specifikované nebo dodané výrobním závodem (např. cement)
 - *Staveništní malta:* malta, která je z jednotlivých složek dávkována a zamíchána na staveništi.

- **Druhy malt pro vnější / vnitřní omítky podle vlastností anebo použití**
 - *Obyčejná malta:* Malta, pro niž nejsou předepsány speciální vlastnosti. Může být předpisová nebo návrhová
 - *Lehká malta:* Návrhová malta, jejíž objemová hmotnost v suchém stavu je menší než předepsaná hodnota.
 - *Barevná malta:* Návrhová malta speciálně zbarvená.

- *Malta pro jednovrstvé vnější omítky*: Návrhová malta, která se nanáší v jedné vrstvě a splňuje všechny funkce vícevrstvého vnějšího omítkového systému, a která je obvykle speciálně zbarvená.
- *Sanační malta*: Návrhová malta, která se používá pro vlhké zdivo obsahující ve vodě rozpustné soli.
- *Tepelněizolační malta*: Návrhová malta s určitými tepelně izolačními vlastnostmi.

Vlastnosti malt dle ČSN 998-1.

Odlišné oblasti použití a prostředí vyžadují malty s odlišnými vlastnostmi a užitnými hodnotami. Pro tyto účely musí omítky v zatvrdlém stavu vykazovat vlastnosti dle ČSN 998-1. [12] Hlavními jsou pevnost v tlaku, kapilární absorpce a tepelná vodivost dle tab. 1.

Tabulka 1: Vlastnosti zatvrdlé malty [12]

Vlastnosti	Kategorie	Hodnoty
Rozsah pevnosti v tlaku po 28 dnech	CS I	0,4 N/mm ² až 2,5 N/mm ²
	CS II	1,5 N/mm ² až 5,0 N/mm ²
	CS III	3,5 N/mm ² až 7,5 N/mm ²
	CS IV	≥ 6 N/mm ²
Kapilární absorpce vody	W0	Není předepsána
	W1	$C \leq 0,40 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{min}^{0,5}$
	W2	$C \leq 0,20 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{min}^{0,5}$
Tepelná vodivost	T1	≤ 0,1 W/m.K
	T2	≤ 0,2 W/m.K

1.1 Suché maltové směsi

Suché maltové směsi jsou definovány v ČSN EN 998-1 jako průmyslově vyráběné malty. V současné době ve stavebnictví převažují oproti klasické výrobě přímo na stavbě. V ČR existuje řada výrobců a samozřejmě i dovážených produktů.

Hlavní výhodou suchých maltových směsí je dodržení standardní kvality, jak čerstvé malty (zpracovatelnost, přilnavost k podkladu, retence vody), tak malty zatvrdlé (pevnost, přídržnost apod.). Jinak řečeno, malty připravené ze suchých maltových směsí splňují požadavky příslušných norem na daný druh malty. Výhodou suchých směsí je také úspora místa na staveništi, menší pracnost a urychlení procesu omítání či zdění. [2]

Suché maltové směsi se vyrábí v širokém sortimentu pro různé druhy použití.

Jsou rozděleny na:

- maltové směsi pro zdění,
- maltové směsi pro omítání,
- maltové směsi pro potěry,
- maltové směsi speciální. [2]

Suché maltové směsi pro omítání jsou vyráběny jako štukové, vrchní, jádrové, speciální. Tyto směsi se ve většině případů vyrábí jako dva druhy, a to jako malty pro ruční omítání a jako malty pro strojní omítání.

Do skupiny speciálních suchých maltových směsí pro omítání patří hlavně:

- sanační maltové směsi,
- maltové směsi pro trvale vlhké prostředí,
- malty vodotěsné,
- malty pro pokrývače. [2]

Dle použitého pojiva se maltové směsi dělí na:

- vápenné,
- vápenocementové,
- cementové,
- na bázi hydraulického vápna,
- silikátové,
- sádrové a anhydritové. [2]

Hlavními složkami suchých maltových směsí je sušené kamenivo, drtě a písky dle předem daného granulometrického složení. Objem jednotlivých frakcí se řídí typem malty. Další složkou je minerální pojivo nebo směs pojiv. Nejvíce používaná je směs vápenného hydrátu a portlandského cementu. Množství a druh pojiva je zase určeno druhem malty. Kromě těchto dvou základních složek jsou v maltových směsích obsaženy přísady upravující např. zpracovatelnost, zvýšení retence vody, zvýšení přilnavosti k podkladu nebo hydrofobizační účinek. [2]

1.2 Provádění omítek

Navrhování, příprava a provádění omítek se řídí dále dle ČSN EN 13914 – 1 a ČSN EN 13914 – 2. Tyto normy určují požadavky a doporučení pro navrhování, přípravu a provádění vnějších a vnitřních omítek při použití cementu, vápna nebo jiných minerálních pojiv. Zahrnuje omítání starých i nových podkladů a údržbu i opravu stávajících prací. [23][24]

2. Základní složky omítek

Omítky jsou složeny z pojiva, plniva, přísad, příměsí a záměsové vody. Fyzikálně mechanické vlastnosti omítek závisejí na druhu a kvalitě hlavních složek - pojiva a plniva. Úlohu plniva určitě nelze podceňovat, nicméně charakter omítek je od počátku provádění povrchových úprav určován složkou, která zajišťuje plastičnost, přilnavost ke zdivu, pevnost a také trvanlivost – tedy pojivem. [8]

2.1 Pojiva

Pojivem jsou organické a anorganické látky, tvořící po rozmíchání s vhodnou kapalinou plastické pasty, které po určité době ztvrdnou a vytvoří pevné hmoty. V případě malt se jedná o pojiva, které se nazývají maltoviny. Ve stavebnictví se nejvíce používají pojiva anorganická. [1]

Organická pojiva:

- Mezi nejvíce používaná organická pojiva můžeme zařadit akryláty a silikony.

Anorganická pojiva:

- Vzdušná pojiva,
- Hydraulická pojiva,
- Latentně hydraulické pojiva.

2.1.1 Organická pojiva

2.1.1.1 Akryláty

Akrylátová pojiva jsou zařazena ve skupině vodných polymerních disperzí, které představují hydrosoly tvořené třemi základními složkami. A to vodou, polymerem a nepolymerními látkami. V případě akrylátových pojiv je polymerem akrylátová pryskyřice, chemicky polymethylmetakrylát, která splňuje požadavek nízké viskozity, dobré zpracovatelnosti a výborné odolnosti vůči atmosférickým vlivům. Mezi nepolymerní látky se zahrnují emulgátory, změkčovadla, ochranné koloidy, a další. Akrylátová pojiva mají velmi dobrou přídržnost k podkladu, jsou flexibilní, dobře odolávají vodě, ovšem mají poměrně vysoký difuzní odpor pro vodní páru. Dále dobře odolávají mrazu, kyselinám, solím, ropným produktům, minerálním olejům i ostatním tukům. Pro výrobu fasádních omítek je důležité, že je lze velmi dobře probarvovat. [4]

2.1.1.2 Silikony

Silikony jsou velmi podobné makromolekulárním látkám na bázi uhlíku. Jejich základní siloxanový skelet však způsobuje výrazné zlepšení některých důležitých vlastností oproti klasickým plastickým látkám. Pro potřebu využití silikonů jako pojiva do omítek se používají tyto polymery stejně jako předchozí ve formě vodných polymerních disperzí. Použitým polymerem je v tomto případě silikonát rozpustný ve vodě, který přejde účinkem vzdušného CO₂ na polysiloxan, což je ve vodě nerozpustná pryskyřice. Nepolymerní složky disperze jsou v podstatě stejně členěné a plní stejné funkce jako u disperzí akrylátových. Silikonové disperze představují velmi ušlechtilá pojiva pro omítky. Mimo vynikající přídržnosti k podkladu a dalších pozitivních vlastností stejných jako u akrylátů jsou velmi dobře tepelně odolné, zcela vodoodpudivé a vyznačují se velmi dobrými, tj. nízkými hodnotami difuzního odporu pro vodní páru. Tato posledně jmenovaná vlastnost je velmi důležitá zejména tehdy, je-li nutné, aby byly omítky vodoodpudivé, a přitom výborně dýchaly. Stejně jako předchozí pojivo, lze i silikony výborně probarvovat. [4]

2.1.2 Anorganická pojiva – vzdušná

K tuhnutí a tvrdnutí vzdušných pojiv dochází pouze na vzduchu. Ve vodném prostředí jsou nestálá. Patří zde: síranová pojiva (sádra), vzdušné vápno.

2.1.2.1 Sádra a sádrová pojiva

Sádra je anorganické práškové pojivo, které se získává tepelným způsobem ze sádrovce $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, částečným nebo úplným odvodněním nebo připravená z přírodního anhydritu CaSO_4 . [1]

Sádra má schopnost hydratovat (tuhnout) různou rychlostí podle toho, jakým způsobem byla připravena. Zatvrdlé výrobky mají dobrou zvukovou izolačnost a malou tepelnou vodivost. Nedostatkem je citlivost na vlhkost a pokles pevností ve vlhkém prostředí. [1]

○ *Rychle tuhnoucí sádra*

- skládá se hlavně z půlhydrátu $\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2} \text{H}_2\text{O}$ (α i β) a menšího množství anhydritu CaSO_4 III (α i β). Vzniká při teplotách do 150°C . Používá se pro suché omítkové směsi, sádrokartonové desky, obklady apod. [1]

○ *Pomalou tuhnoucí sádra*

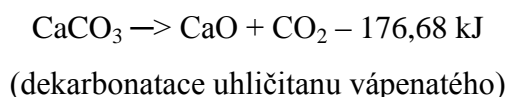
- získává se výpalem sádrovce nad 800°C . Tvoří jí anhydrit CaSO_4 I a II (asi 80%), volné CaO (2-4%) a půlhydrát (cca 15%). Tuhnutí této sádry má počátek po 2-5ti hodinách a končí mezi 9-12 hod. Pevnost v tlaku po 28 dnech je až 30 MPa. V ČR se nevyrábí. [1]

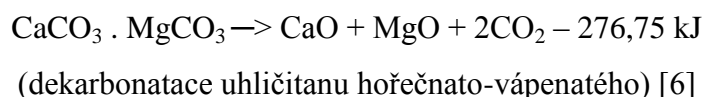
V současné době se pro výrobu sádry hojně využívá energosádrovec, který se získává mokřým nebo suchým způsobem, jako druhotný produkt z tepelných elektráren.

2.1.2.2 Vzdušné vápno

Vzdušné vápno je technický název pro CaO s různým obsahem MgO vyráběného pálením poměrně čistých vysokoprocentních vápenců nebo dolomitických vápenců pod mez slinutí, při teplotách mezi 1000 - 1250°C . [1]

Výroba vzdušného vápna probíhá ve dvou stupních. Nejprve se pálením rozemletých vápenců, dolomitických vápenců nebo dolomitů připraví pálené (nehašené) vápno. Dekarbonatace probíhá již od teploty 600°C , ale pro urychlení procesu se v kontinuálně pracujících šachtových pecích využívá vyšších teplot. [6]



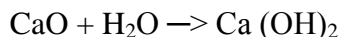


Různými teplotami výpalu vznikají vápna s odlišnými vlastnostmi. **Tvrdě** pálené vápno vzniká při vyšší teplotě i rychlosti výpalu. Má vyšší podíl hutnější a méně reaktivní struktury. [6] Pro výrobu omítkových směsí je vhodnější použití **měkce** páleného vápna, jelikož je reaktivnější, pórovitější, má nižší objemovou hmotnost, větší měrný povrch, vyšší aktivitu a vydatnost, než vápna tvrdě pálená. [2] Viz. Tab. 2.

Tabulka 2: Vlastnosti vzdušného vápna [6]

Teplota výpalu	900 °C	1300 °C
Pórovitost	53%	34%
Objemové smrštění	10%	22%
Objemová hmotnost	1200 kg.m ⁻³	1700 kg.m ⁻³

Ve druhé fázi se pálené vápno hašením převádí na hydroxid vápenatý, dle níže uvedené rovnice.



Hašení vápna:

Mokrě: se provádí skrápěním vrstvy páleného vápna vodou v ploché otevřené nádobě, která se nazývá hasnice. Vápenné mléko se po ukončení reakce přepouští přes síto a vzniká vápenná kaše. V dnešní době již ale převládá druhý způsob a to hašení **suché:** uskutečňuje se ve speciálním mísícím zařízení zvaném hydrátor. Výsledný produkt je práškový vápenný hydrát. [6]

2.1.3 Pojiva hydraulická

Hydraulická pojiva po částečném zatuhnutí na vzduchu dokážou tuhnout a tvrdnout i pod vodou. Tuto vlastnost získají tehdy, jestliže jsou zde kromě CaO obsaženy ještě oxidy SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, které při výpalu reagují s CaO a vznikají nové modifikace minerálního charakteru – slínkové minerály. Nazývají se hydraulické oxidy. Jsou obsaženy buď v základní surovině, nebo se k surovině, přidávají přísady, které obsahují tyto oxidy. Hydraulická pojiva

dosahují vyšších pevností a tvrdnou rychleji, než pojiva vzdušná. Do této skupiny patří cement a hydraulické vápno. [1]

2.1.3.1 Hydraulické vápno

Hydraulické vápno se vyrábí pálením vápenců, dolomitických vápenců nebo vápnitých slínů pod teplotou slinutí (max.1250°C), které obsahují hydraulické součásti. Další možností je semletím vzdušného vápna s určitým množstvím hydraulických přísad, aby pojivu daly hydraulické vlastnosti. [1]

Hydraulické vápno musí obsahovat minimálně 10% hydraulických složek (SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3).

Podle jejich obsahu se dělí:

- slabě hydraulická – obsah 10-15% hydraulických složek.
- silně hydraulická – obsah více než 15% hydraulických složek. [1]

2.1.3.2 Cement

Cement je práškové hydraulické anorganické pojivo, které obsahuje zejména jemně mletý portlandský slínek. Po smíchání s vodou vytváří kaši, která tuhne a tvrdne na vzduchu i pod vodou. Po zatvrdnutí si zachovává svou pevnost také ve vodním prostředí. [26]

Portlandský cement je vyráběn společným mletím portlandského slínku, regulátoru tuhnutí a dalších složek nebo přísad, které jsou schopny ulehčit výrobu nebo upravovat vlastnosti cementu.

Jedinou hlavní složkou portlandského cementu je portlandský slínek, který se vyrábí pálením nejméně na mez slinutí přesně připravené surovinové směsi obsahující prvky, obvykle vyjádřené jako oxidy CaO , SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 a malá množství jiných látek. Portlandský slínek je hydraulická látka, která musí sestávat nejméně ze dvou třetin hmotnosti z křemičitanů vápenatých. Ve zbytku jsou obsaženy slínkové fáze tvořené sloučeninami zejména hliníku a železa. [26]

Cementy jsou nejvíce používaným pojivem lehkých omítkových směsí. Jsou vyráběny v souladu s harmonizovanou Českou normou ČSN EN 197-1 "Cement - Část 1: Složení, specifikace a kritéria shody cementů pro obecné použití".

2.1.4 Latentně hydraulická pojiva

Latentně hydraulické látky samy dokáží o sobě netuhnou ani netvrdnou, ale stačí, aby byly aktivovány vhodnou přísadou k tomu, aby těchto schopností nabyly. Podmínkou chemické reakce je alkalické prostředí vytvořené v roztoku jinými chemickými sloučeninami, které nesou název „budiče hydraulicity“. Typickým zástupcem je vysokopecní struska. [26]

2.1.4.1 Vysokopecní struska

Strusky jsou pevné nekovové doprovodné výrobky hutní výroby, které vznikají roztavením hlušin rudy, přidavku struskotvorných látek a minerálních podílů z pevných paliv. Pro stavební účely se používají zejména strusky vysokopecní. Vznikají při redukci surového železa ve vysokých pecích. Vysokopecní strusky vytékají při odpichu 1400 – 1500 °C a jejich chemické složení se pohybuje podle Tab. 3. [3]

Tabulka 3: Chemické složení běžných vysokopecních strusek [3]

Složení oxidů	Obsah v % (rozmezí)	Obsah v % (průměrně)
SiO ₂	21-40	38
Al ₂ O ₃	5-14,5	10
FeO	0,2-2,8	1
MnO	0,2-10,5	2
CaO	29-48	42
MgO	1-15	6
F ₂ O ₅	Stopy-1	Stopy
S ²⁻	0.5-3,8	1

2.2 Plniva

Plniva jsou látky organického či anorganického původu. V zatvrdlém stavu působí jako skelet malt a dalších kompozitních materiálů. V průmyslu výroby stavebních hmot jsou dominantně používána plniva anorganická, která jsou dle zrnitosti obvykle označována jako šterky, drtě, písky a fillery. Pro výrobu omítkových směsí jsou pak jednoznačně převažujícím plnivem písky, vápencové moučky a lehká kameniva. [4]

2.2.1 Písek

Písek je směs zrn z kamenů přírodních nebo umělých od cca 0,1 až do 4 mm. Písky s převládající velikostí zrn do 0,25 mm jsou označovány jako jemnozrné, pokud jejich převážná část spadá do velikostního intervalu 0,5 až 1,6mm, tak jsou to písky středně zrnité, a nad tímto intervalem se pohybují o písky hrubozrné. Ve výrobě omítkových směsí se nejčastěji používají písky jemnozrné pro omítky štukové a středně zrnité pro omítky jádrové. [4]

Podle původu se písky rozdělují na přírodní (říční, kopané, morénové, mořské, sopečné) a na písky uměle připravované drcením, mletím a tříděním z hornin nebo jiných hmot, např. cihel či betonových sutí. [4]

Písky do omítek jádrových se kombinují a skládají se z písku kopaného i těžného. K průmyslové výrobě suchých omítkových směsí jsou dle dané lokality používány písky přírodní i uměle připravované. Surovinovým zdrojem drcených písků jsou nejčastěji vápence a dolomity. [4]

2.2.2 Moučka

Moučka nejčastěji představuje odprašky po drcení, mletí a třídění kameniva. Na jedné straně přispívá ke zvýšení plastičnosti malty a zvětšení objemu pojivého tmelu, ale na druhé straně díky vysokému měrnému povrchu vyžaduje značné množství záměsové vody, a tím zvyšuje riziko tvorby smršťovacích trhlin při vysychání. Tento negativní efekt je zvláště silný u mouček, které jsou převážně tvořeny jílovinami. [4]

2.2.3 Lehké kamenivo

Tepelně izolační a sanační omítkové směsi se vyznačují velmi malými objemovými hmotnostmi za současné nízké hodnoty součinitele tepelné vodivosti. Aby této vlastnosti dosáhly, používají se při jejich přípravě lehká kameniva s co možná nejnižší objemovou hmotností. Níže jsou vybrány nejvíce používaná lehká kameniva.

2.2.3.1 Keramzit

Keramzit je uměle vytvořené kamenivo zakulaceného tvaru, které má vhodné chemické a mineralogické složení. Vyrábí se ze snadno tavitelných hlín výpalem na 1100-1200°C. Jednou z možných surovin jsou cypřišové jílovce, které využívá výrobní závod ve Vintířově.

Kamenivo má široké uplatnění a je dodáváno v několika dílčích frakcích. V ČR se prodává pod obchodním názvem Liapor. [3]

2.2.3.2 Vermikulit

Vermikulit je zástupcem slíd schopných průmyslového expandování. Expanze slíd probíhá při teplotách 800-900°C a objem se zvětšuje 5-20x. Objemová hmotnost se pohybuje v rozmezí 60-200 kg.m⁻³ a díky ní má vermikulit nízký součinitel tepelné vodivosti. [3]

2.2.3.3 Expandovaný perlit

Expandovaný perlit se vyrábí tepelným zpracováním hornin sopečného původu, jehož chemické složení a vlastnosti jsou podobné sklu. Při teplotách 950–1200°C upravená surovina expanduje a objem zrna se zvětší až 10x na výsledný produkt. Tím je jemně zrnitý, pórovitý materiál šedobílé barvy ve formě drobných dutých kuliček. Expandovaný perlit je chemicky inertní, nehořlavý, odolný mrazu a objemově stálý. Má sypanou hmotnost od 60 do 120 kg.m⁻³ a velmi nízký součinitel tepelné vodivosti λ . [27]

2.2.3.4 Expandovaný obsidián

Expandovaný obsidián je vyráběn speciálním tepelným procesem, který přeměňuje vulkanické horniny na lehké minerální kamenivo. Objemová hmotnost se pohybuje v rozmezí 80–300 kg.m⁻³, disponuje vynikajícími tepelně izolačními vlastnosti, součinitel tepelné vodivosti $\lambda = 0,0465 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$, je přirozeně hydrofobní, ale otevřený pro difúzi vodních par. Snižuje hodnotu vodního součinitele v záměsích. [25]

2.2.3.5 EPS

Základní surovinou pro výrobu, je zpěňovatelný polystyren ve formě perlí, obsahující zpravidla 6-7 % pentanu jako nadouvadla. Tyto perle se vyrábějí suspenzní polymerací monomeru polystyrenu a jsou výrobcům dodávány ve velikostech od 0,3 do 2,8 mm. Při expanzi perel dochází ke zvýšení původního objemu 20 – 50x a vzniká buněčná struktura. Objemová hmotnost se pohybuje v rozmezí 10 – 35 kg.m⁻³. Součinitel tepelné vodivosti dosahuje hodnot 0,035 – 0,039 W.m⁻¹.K⁻¹. Expandovaný polystyren vykazuje velmi vysokou pórovitost, není rozpustný ve vodě ani nenabobtnává. [9]

2.2.3.6 PUR

Polyuretanová pěna je nenasákavá a tudíž i hydroizolační. Její hlavní přednost spočívá v mimořádně tepelně izolačních vlastnostech díky nízké objemové hmotnosti, pohybující se mezi 30 - 50 kg.m⁻³. Součinitel tepelné vodivosti se pohybuje v závislosti na jejich typu mezi 0,02 až 0,03 W.m⁻¹.K⁻¹. Tato hmota je odolná vůči agresivním prostředím, zředěným kyselinám a alkáliím, minerálním olejům a rozpouštědlům. [28]

3. Alternativní pojiva

Alternativní suroviny jsou hledány a zkoušeny z mnoha důvodů. Jedním z hlavních je snížení spotřeby cementu. V příštích letech je snaha o snížení slínkového faktoru cementu a používání většího procentuálního množství příměsí při jeho výrobě. S výrobou cementu také úzce souvisí velké množství produkce CO₂ a tím zatěžování životního prostředí.

3.1 Pucolány

Již ve starověku se do vápenných malt používaly tzv. pucolány, např., keramické střepy upravené mletím nebo drcením, pálené jíly, drcené sklo a strusky. Jsou to hlinitokřemičité či křemičité materiály, které nemají prakticky žádné schopnosti se vázat, ale s hydroxidem vápenatým v přítomnosti vody reagují na sloučeniny, které se vyznačují velmi dobrými pojivými vlastnostmi a navíc jsou stálé ve vodním prostředí. [5]

Pucolány jsou cíleně připravovány pálením jílových surovin montmorillonitického nebo kaolinitického typu při nízkých teplotách a následně jemně mlety. Nejčastěji se používá kaolín, který pálením při 600°C přechází na silně porézní amorfni metakaolin. V současné době je, vzhledem k velké produkci tohoto odpadu, zkoumán popel z rýžových slupek a slámy v zemích s velkou produkcí rýže.

Významnou součástí anorganického zbytku po spalování paliv rostlinného původu je amorfni SiO₂. [5]

V současné době jsou zkoumány vlastnosti cíleně páleného kaolinu, jehož majoritní součástí je jílový minerál kaolinit, Al₂O₃.2SiO₂.2H₂O. Tento minerál zahřátím na teplotu 600°C s izotermní výdrží 1 až 4 hodiny uvolňuje vodu. Odvodněním kaolinitu se získá metakaolinit o složení Al₂O₃.2SiO₂, který má pórovitou strukturu a je rentgenoamorfni. [5]

3.1.1 Metakaolin

Metakaolin je materiál s pucolánovou aktivitou a širokým uplatněním v mnoha odvětvích průmyslu. Metakaolin zvyšuje pevnost betonu v tlaku a mírně zvyšuje také pevnost v tahu za ohybu. Je chemicky a tepelně odolný, žáruvzdorný, ekologicky nezávadný s nízkým obsahem škodlivin a těžkých kovů. [7]

Kaolin, pro výrobu, je nejvíce zastoupen v jílových minerálech. Kaolin je vytvořený změnou různých druhů krystalických a amorfních skel jako živec a sopečný popel. Za normálních podmínek je chemicky stabilní. Měrný povrch (metoda N₂ BET) čistého kaolínu se pohybuje od 15,000 m².kg⁻¹. [5]

Po zahřátí na 700°C kaolin ztrácí až 14% hydroxylové vody a tím dojde k přeměně na metakaolin, kdy se původně vrstevnaté uspořádání změní na amorfní formu. [5]

Výroba prvních metakaolinu v České republice má již desetiletou tradici. Surovinové zdroje pro výrobu metakaolinu jsou u nás poměrně široké. V současnosti jsou v komerčních metakaolinech využívány plavené a jemně tříděné kaolininy, popř. i upravené jílovce (metalupky). Několik tuzemských výrobců již dnes poskytuje různé mineralogicky a technologicky odlišné typy materiálu. Metakaolin není druhotná surovina, ale cíleně vyráběný produkt. [7]



Obrázek 1: Metakaolin [30]

3.1.2 Popílek

Popílký jsou nerostné zplodiny ze spalování tuhých paliv, které jsou spalovány nejčastěji v jemně mletém stavu a vznikají malé kuličky křemičitanového skla. Odpadají ve

velkém množství v moderních tepelných elektrárnách, kde se získávají v usazovacích, komorách, cyklonech a elektrostatických filtrech. [3]

Popílky jsou druhotnou surovinou, která má pucolánové a další příznivé vlastnosti. Zde se využívá hlavně poměrně malá objemová hmotnost, která se pohybuje při volném sypaní mezi 550 – 900 kg.m⁻³. Částice popílků, pokud vznikly z taveniny dostatečně tekuté, mají tvar kuliček zpravidla o průměru 0,001 – 0,1 mm - specifický povrch podle Blaina 200 – 300 m².kg⁻¹. Kuličky jsou plné nebo duté, průhledné nebo neprůhledné. Jejich sklovina je obvykle barvy nažloutlé nebo našedlé. Kulovité sklovité částice sestávající převážně z SiO₂ a Al₂O₃ obsahující nejméně 25% aktivního SiO₂, který zajišťuje pucolánovou aktivitu. [3]

Pokud se týká pucolánových vlastností, zkouší a určuje se obvykle podle množství vápna, které je popílek schopen během určité doby na sebe vázat. Novější způsob posuzování pucolanity popílku spočívá pak ve srovnání snížení alkality roztoku hydroxidu vápenatého s teoretickou maximálně možnou hodnotou určenou titračně. [3]

Z nenormových požadavků pro popílky určené pro výrobu maltovin a neautoklávovaných betonů obvyklejších i lehkých se někdy ještě uvádí vysoký obsah SiO₂ (větší než 40%) a malý obsah MgO (menší než 2%). Popílek je ve své podstatě odpadní surovinou a jako každý odpadní materiál může vykazovat proměnlivé chemické, mineralogické a granulometrické složení závislé na technickém řešení spalování, způsobu odlučování, druhu spalovaného uhlí a typu topeniště. Vyráběné popílky musí být pravidelně kontrolovány. Vhodnost použití do stavebních malt určuje norma ČSN 72 2072-2. [3]

Tabulka 4: Chemické složení vybraných popílků v ČR [3]

%	ZŽ	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃
Hodonín	0,7-1,4	40-52	19-29	8-16	3-15	1-3	0,4-1,9
Handlová	1,5-5,1	50-57	22-24	9-14	3-6	1-3	0,6-1,4
Záluží	1,8-1,9	51-56	27-30	6-8	3-6	1-2	0,1-0,6
Ervěnice	6,7-14,3	44-55	25-27	5-10	2-4	0,9-1,4	0,5-1,1
Třebovice	2,7	48	27	12	5	2	1,2
Oslavany	2,7-3,2	52	22	9	4	3	0,2-0,4

Tabulka 5: Vhodnost použití popílku do stavebních malt dle ČSN 72 2072-2 [13]

	Název zkoušky	Jednotka	Jakostní požadavky		Četnost zkoušení ³⁾
			Minimální hodnota	Maximální hodnota	
Chemické zkoušky	Stanovení ztráty sušením	% hmotnostní	-	2 ¹⁾	1krát týdně
	Stanovení ztráty žíháním	% hmotnostní	-	10 ¹⁾	1krát týdně
	Stanovení obsahu celkové síry jako SO ₃	% hmotnostní	-	5 ¹⁾	1krát měsíčně
Fyzikální zkoušky	Stanovení zkrácení počátku tuhnutí směsi popílku s cementem	minuta	-	20 ¹⁾	1krát měsíčně
	Stanovení prodloužení konce tuhnutí směsi popílku s cementem	minuta	-	180 ¹⁾	1krát měsíčně
	Stanovení indexu aktivity – doporučená zkouška	%	75 ¹⁾ Popř. 85 ²⁾	-	1krát měsíčně
¹⁾ Limitní hodnoty ²⁾ Směsné hodnoty ³⁾ Četnost zkoušení lze dohodnout mezi odběratelem a dodavatelem					

4. Sanační omítkové systémy

Průzkum stavebních památek shromažďuje informace o stavu objektu a příčinách jeho poškození. Získaný soubor informací je pak podkladem pro zpracování projektu opravy, rekonstrukce, renovace apod. Důležitou součástí průzkumu je analýza historických omítek a malt. Cílem analýzy je stanovit složení malty (poměr mísení, druh pojiva, počet nanesených vrstev) a také popsat její současný stav (salinita, vlhkost, pórovitost, hydrofobita). Ze složení omítky lze dále usuzovat možnost její přípravy a případně navrhnout složení nové omítky vhodné pro její doplnění či náhradu. [2]

Sanační omítkové systémy slouží k omítání vlhkého nebo zasoleného zdiva. Soli poškozující stavební omítky se ukládají v omítce a tím se povrch omítky před nimi chrání. Vysoká propustnost sanačního systému pro vodní páru vytváří příznivé podmínky pro vysychání zdiva. Sanační omítky nejsou tedy neprodyšné těsnící uzavřené omítky. Vlastnosti sanačních malt jsou popsány směrnici WTA 2-9-04/D. [2]

Sanační omítky řeší problém mokrých skvrn a výkvětů v soklové části fasád, případně ve sklepních, suterénních a přízemních prostorech. Nelze je však v žádném případě považovat za odvlhčovací omítky, protože zdivo zůstává i nadále vlhké a zasolené a v uzavřených prostorech se udržuje vysoká relativní vlhkost vzduchu. Jinými slovy sanační omítky neodstraňují příčinu, ale pouze některé z jejích důsledků. Proto by měly být sanační omítky zásadně součástí komplexu nebo souboru sanačních opatření, která by zamezila nebo alespoň podstatně omezila průnik vody do zdiva. [4]

Pro sanační omítku je velmi podstatný objem celkové otevřené pórovitosti a kapilární nasákavost zatvrdlé malty. Správné sladění těchto dvou vlastností tvoří základ funkčnosti sanačních omítkových systémů. Otevřená pórovitost je důležitá zejména pro difúzní vlastnosti a pro schopnost ukládat vodou rozpustné soli. Nízká kapilární nasákavost zabraňuje vodě v kapalné formě pronikat otevřeným pórovým systémem na povrch omítky, díky tomu nedojde k vyplavení solí a tvorbě výkvětů, které poškozují omítku. Vysoká hodnota kapilární nasákavosti je naopak výhodná u podkladní omítky, protože umožňuje odvod kapalné vody společně s rozpuštěnými solemi ze zdiva do omítky. [4]

4.1 Složení a zásady použití sanačních omítek dle WTA

- Plnivo: písky, drtě apod. se volí pouze hutné. Granulometrické složení se volí tak, aby umožňovalo dosažení žádoucího typu a stupně pórovitosti.
- Pojivo: hydraulické tzn. hydraulické vápno, cement.
- Přísady: pomocné látky upravující přilnavost, zpracovatelnost, retenci vody a hydrofobitu.

Kdy lze sanační omítky použít: [2]

- Pokud nelze účinně aplikovat jiný druh zaizolování zdiva a omezit kontakt zdiva s vlhkostí.
- V situacích, kdy i při dodatečném izolování a vytvoření zábran proti vzlínání vlhkosti do zdiva, zůstává zdivo i nadále vlhké a doba vysychání může být až desítky měsíců.
- Pokud kromě vlhkosti je ve zdivu i velký podíl solí, které degradují samotné zdivo.
- Lze použít v soklových částech objektu a v místech, které jsou smáčené odstříkující vodou.

4.2 Základní vrstvy sanačních omítek

Omítkový systém WTA je založen na možnosti vytvářet souvrství omítek specifických vlastností podle aktuálního stavu konstrukce. Pro tyto účely předpis WTA 2-9-04/D rozeznává 3 typy omítek:

- podhoz,
- podkladní omítku WTA,
- sanační omítku WTA.

Podhoz: Má u systémů sanačních omítek zajistit adhezi (přilnavost) k podkladu. Musí být odolný proti působení solí. Obvykle se nenanáší normálním způsobem, ale síťovitě tj. nepokrývá celý povrch omítaného zdiva. Pokud je stupeň zakrytí podhozem pod 50% celkové omítané plochy, nejsou na podhoz kladeny žádné speciální mechanicko-fyzikální požadavky.[2]

Podkladní omítku WTA: slouží k vyrovnání hrubých nerovností podkladu (= vyrovnávací omítku) anebo jako akumulární vrstva pro jímání solí při obzvlášť vysokém zasolení podkladu (= pórovitá jádrová omítku). [2]

Sanační omítku WTA: Zajišťuje to nejpodstatnější, a sice že finální povrch zůstane vizuálně suchý, bez výkvětů solí a poruch. Současně konstrukci neuzavře, umožní difúzi vodních par z konstrukce. Tím nedojde ke zvyšování osmotických tlaků a vytlačování vlhkosti výše, jak by tomu bylo při uzavření neprodyšnou vrstvou. [2]

Tabulka 6: Požadavky na sanační omítku WTA dle směrnice 2-9-04/D [10]

Vlastnost	Požadavky DIN EN 998-1	Požadavky WTA 2-9-04/D	Zkušební postup
Čerstvá malta			
Konzistence čerstvé malty (rozliti v mm)	-	170 ± 5 (směrná hodnota výrobce)	DIN EN 1015-3
Hmotnost čerstvé malty v kg/m ³	Deklarované rozmezí hodnot	Deklarované rozmezí hodnot	DIN EN 1015-6
Obsah vzduchových pórů v ob. - %	Deklarované rozmezí hodnot	> 25	DIN EN 1015-7 Postup A
Schopnost zadržovat vodu v %	-	> 85	DIN 18555-7
Doba zpracovatelnosti v min	> udávaná hodnota	-	DIN EN 1015-9
Zatvrdlá malta			

Objem. hmot. suché malty v obj. - %	Deklarované rozmezí hodnot	<1400 (směrná hodnota)	DIN EN 1015-10
Pevnost v tahu za ohybu v N/mm ²	-	Deklarované rozmezí hodnot	DIN EN 1015-11
Pevnost v tlaku v N/mm ²	CS II	1,5 do 5,0	DIN EN 1015-11
Podíl pevností	-	<3	-
Přídržnost v N/mm ²	≥ Udávaná hodnota	-	DIN EN 1015-12
Způsob porušení	Uvést ¹⁾	-	
Kapilární absorpce vody v kg/m ² .min ^{0,5} odzkoušeno na hranolech	≥ 0,3	-	DIN EN 1015-18
Kapilární absorpce vody v kg/m ² .min ^{0,5} odzkoušeno na hranolech	-	≥ 0,3	DIN V 18550
Hloubka průniku (penetrace) vody v mm	≤ 5	-	DIN EN 1015-18
	-	< 5	Kap.6.3.7
Koeficient propustnosti vodní páry (μ)	≤ 15	-	DIN EN 1015-19
	-	< 12	DIN 52615
Pórovitost v obj. - %	-	> 40	Kap. 6.3.9
Odolnost proti solím	-	Odolává	Kap. 6.3.10
Součinitel tepelné vodivosti W/mK	Tabulková hodnota	-	DIN EN 1745
Reakce na oheň (třída)	Třída ³⁾	-	DIN EN 13501-1
Trvanlivost	Uvést ⁴⁾	-	DIN EN 998-1
Vlastnosti při strojním zpracování			
Obsah vzduchových pórů v obj. - %	-	Deklarované rozmezí	DIN EN 1015-17 Postup A
Objem. hmotn. čerstvé malty v kg/m ³	-	Deklarované rozmezí	DIN EN 1015-16
Pórovitost vyrovnávací omítky v obj. - %	-	> 35	
Pórovitost porézní omítky v obj.-%	-	>45	

- 1) Způsob porušení / zlomu
- A- ztráta adheze mezi omítkovou maltou a podkladem
 - B- ztráta koheze v maltě
 - C- ztráta koheze v podkladu
- 2) Součinitel tepelné vodivosti
- Tabulková hodnota (P=50% u P=90%) dle EB1745:2001
- 3) Reakce na oheň
- Automaticky třída hořlavosti A1
- 4) Trvanlivost
- Neexistuje žádná zkušební metoda

5. Tepelně izolační omítky

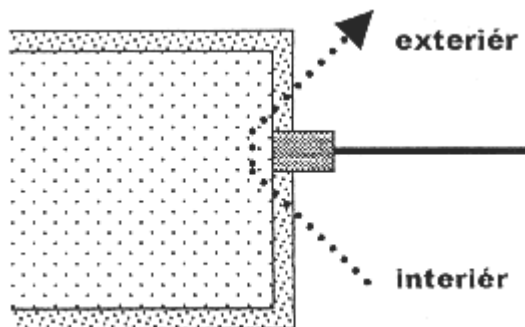
Každá tepelně izolační omítky musí mít kromě nízké hodnoty součinitele tepelné vodivosti i vysokou paropropustnost pro vodní páru a vysokou pórovitost. Dále by měla také

umožňovat snadné a rychlé omítání, a pokud možno netvořit smršťovací trhliny během vysychání. Omítka musí být velmi lehká a také musí mít vhodnou granulometrii, aby bylo možné nanášet ji ve velkých vrstvách. [4]

Tepelně izolační omítky se dělí na: [6]

- malty tepelněizolační $\lambda \leq 0,4 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$
- malty vysoce tepelněizolační $\lambda \leq 0,25 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$
- malty mimořádně tepelněizolační $\lambda \leq 0,14 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$

Výhodami tepelně izolačních omítek je nejen to, že tyto omítky zvyšují celkový tepelný odpor zdiva, ale i to, že omítky prodlouží životnost obvodových stěn, protože zabraňují promrzání a omezují vliv teplotních změn. Tepelně izolační omítky lze většinou použít jak do exteriéru, tak interiéru a lze je provést i dodatečně. Další možností je využití tepelně izolačních omítek pro zamezení tepelných mostů ve stavebních konstrukcích. Níže naznačeným způsobem lze například eliminovat tepelné mosty v oblasti osazení okenních rámu apod. viz obr: 2 [4]



Obrázek 2: Schéma úniku tepla kolem okenního rámu [4]

Tepelně izolační omítky lze použít především na teplotně méně exponované části budov, pro izolaci zádveří, schodišť a únikových cest uvnitř budovy. Ve srovnání s dodatečným zateplovacím systémem na bázi pěnového polystyrénu či minerální plsti je při stejné tloušťce vrstvy účinnost tepelně izolačních omítek obvykle poloviční. Jejich tloušťka je navíc omezena na max. 50-60 mm. [6]

Při zateplování stěn uvnitř objektu se mohou dobře uplatnit sádrové tepelně izolační omítky, které je možno zpracovávat strojně i ručně. [6]

6. Tepelná ochrana budov

Stavební konstrukce musí vykazovat tepelně izolační vlastnosti, které zaručují jejich bezproblémové a bezpečné užívání. Jedná se především o vlastnosti v oblasti šíření tepla a vlhkosti, které jsou definovány v ČSN 73 05 40 – 2. [22]

Pro bezpečné fungování staveb by mělo být zamezeno kondenzaci vlhkosti na vnitřním povrchu stavebních konstrukcí (dle ČSN 73 05 40 – 2 by mělo být zabráněno vzestupu vlhkostí při povrchu konstrukce na její kritickou úroveň). [22]

V daném případě se jedná především o problematiku tepelných mostů, což jsou místa ve stavební konstrukci, která vykazují výrazně horší tepelně izolační vlastnosti než její přiléhající oblasti. Kromě zvýšeného úniku tepla dochází na vnitřním povrchu ke snížení povrchové teploty. Teplota může poklesnout až na úroveň, kdy začíná kondenzovat voda. To má za následek zvlhnutí povrchu konstrukcí, vznikání a rozšíření plísní. Tento efekt je v současné době ještě větší, protože se při rekonstrukcích využívá služeb velmi kvalitním nepropustných oken, které mají za následek zvýšení relativní vzdušné vlhkosti. [4]

II. Praktická část:

1. Postup řešení

Praktická část je rozdělena následujícím způsobem do jednotlivých částí:

- průzkum trhu,
- vhodný výběr vstupních surovin,
- návrh složení zkušebních záměsí,
- zhotovení zkušebních těles,
- provedení laboratorních zkoušek a měření,
- vyhodnocení měření a diskuze výsledků.

Příprava zkušebních vzorků probíhala následně. V první fázi byly, po dobu 15 s, smíchány suché složky. Následovalo přidávání záměsové vody a míchání 180 s. Výsledná záměs byla použita pro stanovení níže popsaných vlastností čerstvé malty. Poté byly vyrobeny tyto zkušební tělesa:

- 4 x trojforma (kvádry 40 x 40 x 160 mm),
- 1 x forma (deska 300 x 300 x 50 mm),
- 1 x nanesení povrchu dlažby na přídržnost.

Zatvrdlé vzorky byly po odformování uloženy do laboratorního prostředí. V pravidelných intervalech 14, 28 a 90 dnů bylo provedeno měření a vyhodnocení vlastností zatvrdlé malty.

Tabulka 7: Souhrn provedených zkoušek

Čerstvá malta	Zatvrdlá malta
<ul style="list-style-type: none">• Stanovení objemové hmotnosti čerstvé malty dle ČSN EN 1015-6• Stanovení konzistence čerstvé malty dle ČSN EN 1015-3• Stanovení obsahu vzduchu v čerstvé maltě ČSN EN 1015-7	<ul style="list-style-type: none">• Stanovení objemové hmotnosti suché zatvrdlé malty dle ČSN EN 1015-3• Stanovení pevností zatvrdlých malt v tahu za ohybu a v tlaku dle ČSN EN 1015-11• Stanovení tepelné vodivosti λ metodou topného drátu dle ČSN EN 993-15 a metodou desky dle ČSN 72 70 12 - 3• Stanovení přídržnosti zatvrdlých malt pro vnitřní a vnější omítky k podkladu dle ČSN EN 1015-12

2. Provedení průzkumu trhu

V rámci experimentální části bakalářské práce byl proveden průzkum současné nabídky trhu s tepelně izolačními a sanačními omítkovými směsmi. Od 18ti různých výrobců bylo vybráno 20 sanačních a 20 tepelně izolačních omítek. Na základě dostupných informací byly vybrány nejdůležitější technologické vlastnosti a také cenové zhodnocení viz tab. 8. a 9.

Tabulka 8: Přehled vlastností vybraných tepelně izolačních omítek na trhu

Obchodní název omítky	Objemová hmotnost	Součinitel tepelné vodivosti	Pevnost v tlaku	Kapilární absorpce vody	Faktor difúzního odporu	Přidržnost	Cena 1m ² /tl. 1 cm
	ρ [kg.m ⁻³]	λ [W.m ⁻¹ .K ⁻¹]	f_c [N.mm ⁻²]	c [kg.m ⁻² .min ^{0.5}]	μ [-]	[N.mm ⁻²]	[Kč] Bez Dph
Cemix - Supertherm TO extra 077	300-400	0,1 (T1)	0,4-2,5	0,4	12	0,1	66
Cemix - Supertherm TO 057	450-550	0,2 (T2)	1,5-5,0	0,4	15	0,1	63
Hasit - Wärmedämmputz 850	240-300	0,07 (T1)	0,4	W1	15	0,1	62
Hasit - Wärmedämmputz 852	450-550	0,12 (T2)	0,4	W1	15	0,1	50
Baumit - ThermoExtra	*	0,09 (T1)	0,5	*	8	*	93
Baumit - ThermoPutz	430	0,1 (T2)	1,5	W0	15	0,08	49
Weber - Terralít	580	0,125 (T2)	1,5-5,0	W1	15	0,2	47
KM Beta - TO 502	300-500	0,12 (T2)	1,5-5,0	0,4	15	0,2	67
Daxner	300-350	0,081 (T1)	0,4	W1	5,5	0,04	46
SATSYS - ThermoUM Xtra	340	0,08 (T1)	1,6	W1	8	0,35	171
SATSYS - ThermoUM	360	0,09 (T1)	1,6	W1	8	0,35	133
Porotherm TO	400	0,13 (T2)	1,5	*	*	*	70
Maxit therm 74 M	700	0,1 (T2)	0,4	W1	20	0,08	94
Maxit therm 75 Dämmputz	*	0,07 (T1)	*	W1	20	0,08	90
Sakret WDP	*	0,07 (T1)	0,4	W1	15	0,08	99
Sakret THP	700	0,13 (T2)	1,5	W0	20	0,08	51
Salith Thermo Comfort	420	0,09 (T1)	0,4-2,5	0,208	7	0,35	100
KVK - 0691 K	1050	0,13 (T2)	0,4-2,5	0,4	15	0,18	53
KVK - 0690	1050	0,13 (T2)	0,4-2,5	0,4	10	0,18	53
Perlit s r.o. - TI omítka	775	0,15 (T2)	5,2	W1	*	0,17	52

Tabulka 9: Přehled vlastností vybraných sanačních omítek na trhu

Obchodní název omítky	Objemová hmotnost	Součinitel tepelné vodivosti	Pevnost v tlaku	Kapilární absorpce vody	Faktor difúzního odporu	Přidrženost	Pórovitost	Cena 1m ² / tl. 1 cm
	ρ [kg.m ⁻³]	λ [W.m ⁻¹ .K ⁻¹]	f_c [N.mm ⁻²]	c [kg.m ⁻² .min ^{0,5}]	μ [-]	[N.mm ⁻²]	[%]	[Kč] Bez Dph
Weber.san	1400	0,42	1,5	W0	12	0,25	40	43
Weber.san super	*	0,36	3,5	W2	12	0,3	40	137
SATSYS - Thermosan	400	0,09	1,6	0,208	9,4	0,35	*	171
Daxner - sanační malta R	550-600	0,1	1,5	0,3	10	0,2	40	38
Hasit - Sanier Wandputz 210	1100-1300	0,47	1,5	0,3	12	0,3	40	120
Hasit - SanierPutz 208	1200-1400	0,39	3,5	1	18	0,3	45	78
Knauf - Kbelosan J	1300	0,47	1,5	0,3	12	0,2	40	124
Premix - Z-SAN 20	1350	*	2,5 - 3,5	0,4	12	0,4	40	144
Cemix - SO WTA 024	1100-1400	0,41	1,5-5,0	0,3	12	0,2	40	102
Cemix - SO 054	1000-1200	0,33	1,5-5,0	0,3	12	0,2	40	82
Baumit - SanovaPutz W	1150	0,4	2,5	W1	12	0,15	40	195
Baumit - Sanova Mono Trass H	*	0,25	2	W1	15	0,15	55	87
BASF - Sano 02	1300	0,3	3	1	12	0,1	50	98
BASF - Sano 03	1500	0,3	3	1	12	0,4	47	79
KVK - O210 K	1200	0,42	1,5-5,0	0,3	12	0,18	40	95
KVK - O245	500	0,09	1,5-5,0	W1	10	0,15	*	250
Sika - Mur	1300	*	3,5	W1	15	0,6	30	149
Sakret - SAP	1400	*	1,5-5,0	W1	15	0,2	40	98
Ceresit - CR 62	890	0,18	1,5	W1	15	0,3	40	304
Ceresit - CR 61	1300	0,47	3,5	W0	13	0,3	45	201

* Pozn. Ve výše uvedených tabulkách průzkumu trhu, jsou místy vynechány hodnoty. Důvodem bylo nezjištění nebo neuvedení daných garantovaných vlastností v technických listech výrobců.

Při průzkumu trhu v České republice v oblasti tepelně izolačních omítek byly zjišťovány základní parametry důležité pro jejich užité vlastnosti. Objemové hmotnosti se pohybovaly od 240 – 1050 kg.m⁻³. Součinitel tepelné vodivosti λ se nejčastěji pohyboval T1 a

T2, čili od 0,07 do 0,2 W.m⁻¹.K⁻¹. Mezi pevnostmi v tlaku převažovaly hodnoty mezi 0,4 až 5 N.mm⁻². Nejčastějšími vstupními surovinami tepelně izolačních omítek jsou hydraulická pojiva cement a vápno, lehké plniva, kde převažuje EPS. Součástí směsí jsou také speciální přísady, které jednotliví výrobci neudávají.

Obdobné vlastnosti byly zjištěny i u sanačních omítek. Nejdůležitějšími parametry jsou objemová hmotnost v rozmezí od 400 do 1500 kg.m⁻³, součinitel tepelné vodivosti λ od 0,09 do 0,47 W.m⁻¹.K⁻¹ a pevnost v tlaku nejčastěji v rozmezí 1,5 - 5 N.mm⁻². U sanačních omítek je významná také pórovitost. Bylo zjištěno rozmezí 30-55 %.

3. Návrh vstupních surovin

Při návrhu vhodných surovin byla vybrána pojiva s latentně hydraulickými vlastnostmi. Jednalo se o metakaolin a elektrárenský popílek. Porovnání těchto dvou materiálů s cementem bylo jedním z hlavních bodů zájmu této práce. Metakaolin byl zvolen typ Mefisto L05 z Českých lupkových závodů Nové Strašecí a popílek společnosti DASTIT TECHNOLOGY s.r.o. z Plzně.

Při výběru kameniva bylo zjištěno, že se v současné době dominantně používá perlit. Pro záměsí bylo ale, jako možná alternativa, díky lepším vlastnostem, vybráno kamenivo na bázi expandovaného obsidiánu s názvem Thermosilit.

Cement pocházel z cementárny Mokrá u Brna a vápenný hydrát z vápenky Čertovy schody. Výrobce methylcelulozy byla Německá firma SE Tylose GmbH & Co.KG-Wiesbaden.

Tabulka 10: Vstupní suroviny

Kamenivo – Thermosilit
Vápenný hydrát – Čerták
Methylceluloza Tylose MH 60010 P4
Tylovis LO 19
Metakaolin – Mefisto L05
Popílek DASTIT
Cement – CEM I 42,5 Mokrá
Voda z vodovodního řádu

Tabulka 11: Složení záměsí na 100 l

Jednotlivé složky receptur	Označení záměsí			
	Z1	Z2	Z3	Z4
Kamenivo Thermosilit [l]	100	100	100	100
Vápenný hydrát Čerták [kg]	15	15	15	15
Metakaolin Mefisto L05 [kg]	5	2,5	-	-
Methylcelulóza Tylose MH 60010 P4 [kg]	0,09	0,09	0,09	0,09
Cement CEM I 42,5 Mokrá [kg]	-	-	5	-
Popílek Dastit [kg]	-	2,5	-	5
Tylovis LO 19 [kg]	0,075	0,075	0,075	0,075
Voda (vodovodní řád) [l]	42,5	37,5	33	37,3

4. Metody provedených zkoušek v čerstvém a zatvrdlém stavu

Zkoušení namíchaných záměsí bylo prováděno podle platných Českých státních norem. Nejprve byly provedeny zkoušky v čerstvém stavu. Zde se stanovovala objemová hmotnost, konzistence a obsah vzduchu v čerstvé maltě. Po 14, 28 a 90ti dnech od namíchání se na zatvrdlých vzorcích zkoušely pevnosti v tahu za ohybu a tlaku, dále pak přídržnost, objemová hmotnost a tepelná vodivost.

4.1 ČSN EN 1015 : Zkušební metody malt pro zdivo – část 6 : Stanovení objemové hmotnosti čerstvé malty.

Podstata a postup zkoušky:

Objemová hmotnost je definována jako podíl hmotnosti malty a objemu měřicí nádoby.

Nádoba se plní ve dvou vrstvách, nejprve do poloviny, kde se deseti rázy z výšky kolem tří centimetrů nechá spadnout na tuhou podložku. Následně se doplní celá až po okraj a zhutní se stejným způsobem. Naplněná nádoba se zváží s přesností na 1g a provede se výpočet. Výsledná průměrná hodnota výpočtu je uváděna zaokrouhlením na 10 kg.m⁻³. [15]

Výpočet objemové hmotnosti čerstvé malty ρ_m [kg.m⁻³]

$$\rho_m = \frac{m_2 - m_1}{V_v}$$

ρ_m ... objemová hmotnost malty [kg.m⁻³]

m_1 ... hmotnost nádoby [g]

m_2 ... hmotnost naplněné nádoby [g]

V_v ... objem nádoby [l]

4.2 ČSN EN 1015 : Zkušební metody malt pro zdivo – část 3 : Stanovení konzistence čerstvé malty (s použitím střešacího stolku).

Podstata a postup zkoušky:

Konzistence čerstvé malty se určuje rozlitím a změřením průměru rozlitého koláče vzorku malty.

Před zkouškou se celý kovový kužel a deska střešacího stolku očistí vlhkým hadrem. Kužel je umístěn do středu desky střešacího stolku, při plnění se musí pevně tlačit k desce. Plní se ve dvou vrstvách a obě se lehce hutní 10 krát předepsaným dusadlem. Kužel se spolu s deskou stř. stolku zvedne a spustí. Tento postup se opakuje 15x, frekvencí stoupání a pádu kolem 1 s. Poté se malta rozlije na desce. Nakonec je změřen průměr rozlití zkušební malty ve dvou kolmých směrech s přesností 1 mm. [14]

4.3 ČSN EN 1015 : Zkušební metody malt pro zdivo – část 7 : Stanovení obsahu vzduchu v čerstvé maltě (tlaková metoda).

Podstata a postup zkoušky:

Malta se umístí do předepsané měřicí nádoby. Nad povrch malty se přivede voda a tlakovým vzduchem působí na vzduch rozptýlený v pórech malty. Hladina vody poklesne a charakterizuje objem vzduchu, vytlačený z malty.

Nádoba se zcela naplní maltou asi ve čtyřech přibližně stejných vrstvách, z nich každá se zhutní 10ti krátkými údery dusadla. Poté se přebytečná malta odstraní a povrch zarovná s horním okrajem nádoby. Vnější část nádoby se očistí a připevní se víko pomocí svorek. Vyrovnávací ventil se uzavře. Ventilem A se pod víko a nad maltu naplní vodou při otevřeném ventilu B, dokud se nevytlačí všechn vzduch (vytékající voda nesmí obsahovat vzduchové bublinky). Do vzduchové komory se natlačí vzduch. Oba ventily A i B se uzavřou a otevře se vyrovnávací ventil mezi vzduchovou komorou a nádobou na vzorek. Z kalibrovaného tlakoměru se odečte obsah vzduchu s přesností 0,1 %. [16]

Vyhodnocení:

Obsah vzduchu se vypočte jako průměrná hodnota ze dvou měření a zaokrouhlí se na 0,5 %. Dva jednotlivé výsledky se nesmí lišit o více než 10%. V opačném případě se zkouška opakuje opět na dvou zkušebních vzorcích odebraných z upraveného základního vzorku malty.

4.4 ČSN EN 1015 : Zkušební metody malt pro zdivo – část 10 : Stanovení objemové hmotnosti suché zatvrdlé malty.

Podstata a postup zkoušky:

Objemová hmotnost je definována jako podíl hmotnosti vysušeného vzorku a objemu tělesa ponořeného ve vodě.

Vzorek se připraví vysušením při $(105 \pm 5^\circ\text{C})$ a poté je zvážen a změřen.

Výsledná průměrná hodnota výpočtu se udává zaokrouhlena na $10 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$. [17]

Výpočet objemové hmotnosti suché zatvrdlé malty ρ [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$]

$$\rho = \frac{m_{s,dry}}{V_s}$$

ρ ... objemová hmotnost suché zatvrdlé malty [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$]
 $m_{s,dry}$... hmotnost vysušeného zkušební vzorku [kg]
 V_s ... objem zkušební vzorku [m^3]

4.5 ČSN EN 1015 : Zkušební metody malt pro zdivo – část 11 : Stanovení pevnosti zatvrdlých malt v tahu za ohybu a v tlaku

Podstata zkoušek:

Pevnost malty v tahu za ohybu se stanovuje tříbodovým zatěžováním do porušení normového zkušební vzorku. Na dvou zlomcích, které vznikly při zkoušení pevnosti v tahu za ohybu, se stanovuje pevnost v tlaku. [18]

4.5.1 Postup stanovení pevnosti v tahu za ohybu

Zkouší se na třech normových kvádrech o rozměrech $40 \times 40 \times 160$ mm po 28 dnech od zhotovení. Kvádr se uloží do lisu na dva podpěrné válečky dlouhé 45 - 50 mm s průměrem $(10 \pm 0,5)$ mm, které mají mezi sebou délku $(100,0 \pm 0,5)$ mm. Kvádr se umísťuje do lisu kolmo ke směru, na který byl hutněn a je konstantně zatěžován třetím válečkem rychlostí 10 - 50 N/s. Vzorek musí být porušen mezi 30 - 90 s. Výsledná hodnota se u jednotlivých zkušebních těles zaokrouhluje na $0,05 \text{ N}\cdot\text{mm}^{-2}$. Konečný průměr výsledků se udává zaokrouhlen na $0,1 \text{ N}\cdot\text{mm}^{-2}$. [18]

Výpočet pevnosti v tahu za ohybu f [$\text{N}\cdot\text{mm}^{-2}$]

$$f = 1,5 \cdot \frac{Fl}{bd^2}$$

f ... pevnost v tahu za ohybu [$\text{N}\cdot\text{mm}^{-2}$]

F ... max. zatížení zkušebního tělesa [N]

b ... šířka zkušebního tělesa [mm]

l ... vzdálenost os podpěrných válců [mm]

d ... výška zkušebního tělesa [mm]

4.5.2 Postup stanovení pevnosti v tlaku

Pro zkoušku se použijí dva zlomky trámečku ze stanovení pevnosti v tahu za ohybu. Kolmo ke směru zhuštění se kvádr vloží do lisovacího zařízení, kde musí splnit přesah ($16 \pm 0,1$) mm přes hranu uložených nebo tlačných destiček. Poté je konstantně zatěžován rychlostí 50 - 500 N/s. Vzorek musí být porušen mezi 30 - 90 s. Jednotlivé hodnoty se zaokrouhlí na $0,05 \text{ N}\cdot\text{mm}^{-2}$. Výsledná průměrná hodnota se udává zaokrouhlena na $0,1 \text{ N}\cdot\text{mm}^{-2}$. [18]

Výpočet pevnosti v tlaku f_c [$\text{N}\cdot\text{mm}^{-2}$]

$$f_c = \frac{F_c}{A}$$

f_c ... pevnost v tlaku [$\text{N}\cdot\text{mm}^{-2}$]

F_c ... maximální dosažené zatížení [N]

A ... plocha tlačných desek [mm^2]

4.6 ČSN EN 1015 : Zkušební metody malt pro zdivo – část 12 : Stanovení přídržnosti zatvrdlých malt pro vnitřní a vnější omítky k podkladu

Podstata a postup zkoušky:

Přídržnost se stanovuje jako maximální napětí v tahu, vyvozené zatížením působícím kolmo k povrchu malty pro vnitřní a vnější omítky, nanesené na podkladu. Tahové zatížení se vyvozuje prostřednictvím odtahového terče, přilepeného na zkoušenou kruhovou plochu povrchu malty. Zjištěná přídržnost se vyjádří jako podíl vyvozeného zatížení a zkoušené plochy.

Kruhové terče se přilepí centricky na zkušební kruhové plochy. Pomocí zkušebního stroje se vyvodí tahové zatížení kolmo na zkoušenou plochu pomocí kruhových terčů. Rychlost zatížení je od $0,003 \text{ N}/(\text{mm}^2\cdot\text{s})$ až do $0,100 \text{ N}/(\text{mm}^2\cdot\text{s})$. K porušení by mělo dojít

mezi 20 s až 60 s. Vypočítají se jednotlivé hodnoty přídržnosti s přesností 0,05 N/mm². Průměrná hodnota se vyjádří z pěti výsledků stanovení zaokrouhlená na 0,1 N/mm². [19]

Výpočet přídržnosti f_u [N/mm²]

$$f_u = \frac{F_u}{A}$$

f_u ... přídržnost [N/mm²]

F_u ... vyvozené zatížení při porušení [N]

A ... kruhová zkušební plocha [mm²]

4.7 ČSN 72 7012: Stanovení součinitele tepelné vodivosti materiálů v ustáleném teplotním stavu - Metoda desky

Podstata a postup zkoušky dle ČSN 72 7012-3: Metoda měřidla tepelného toku [20]

Metoda předpokládá navození ustáleného teplotního stavu před počátkem měření. Principem stanovení hodnoty součinitele tepelné vodivosti je sledování hustoty tepelného toku pomocí měřidel (diferenční termočlánky). Vyvozené napětí na měřících hustoty tepelného toku, je úměrné hodnotě součinitele tepelné vodivosti zkoušeného vzorku. [9]

Výpočet a vyhodnocení:

Měření se provádí na sadě min. 3 čtvercových vzorků o hraně 250 – 500 mm a tloušťce 25 – 50 mm, při střední teplotě $10 \pm 1^\circ\text{C}$ a rozdílu teplot 5 K až 15 K. Výsledek se uvádí jako průměrná hodnota tří výsledků.

Hustota tepelného toku q_d

$$q_d = U \cdot k_m$$

U ... průměrná hodnota napětí na obou měřidlech hustoty tepelného toku [V]

k_m ... kalibrační konstanta [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$]

Součinitel tepelné vodivosti λ_{sam}

$$\lambda_{sam} = \frac{U \cdot k_m \cdot d_m}{\Theta_{hd} - \Theta_{cd}}$$

d_m ... průměrná hodnota tloušťky zkušební vzorku [m]

Θ_{hd} ... výpočtová hodnota povrchové teploty teplé strany zkušební vzorku [$^\circ\text{C}$]

Θ_{cd} ... výpočtová hodnota povrchové teploty chladné strany zkušební vzorku [$^\circ\text{C}$]

Pro měření v laboratoři byl využit komerční přístroj Holometrix lambda 2300.

4.8 ČSN EN 993-15: Stanovení součinitele tepelné vodivosti metodou topného drátu (paralelní uspořádání)

Podstata a postup zkoušky:

Měření se provádí na vzorcích, jejichž rozměry jsou 200 x 100 x 50 mm. Měřicí soustava je složena ze dvou ohraničených poloprostorů - zkušební sondy a zkušební vzorku. Tato metoda je nepřímá, neboť je nutné určit tepelnou charakteristiku zkušební sondy kalibrací. Této metody využívají měřicí přístroje Shotherm japonské firmy Shova Denco. [9]

Stanovení hodnoty součinitele tepelné vodivosti λ [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$]

$$\lambda = \frac{l^2 \cdot R_m}{4 \cdot \pi} \cdot \frac{\ln\left(\frac{\tau_2}{\tau_1}\right)}{\Delta t_2 - \Delta t_1}$$

I ... topný proud [A]

R_m ... elektrický odpor na délkovou jednotku topného drátu [$\Omega\cdot\text{m}^{-1}$]

τ_1, τ_2 ... časy od zapojení topného okruhu [min.]

$\Delta t_1, \Delta t_2$... zvýšení teploty topného drátu po zapojení okruhu v časech τ_1, τ_2 [$^{\circ}\text{C}$]

Tyto přístroje lze kalibrovat dvěma referenčními materiály, u kterých jsou známy hodnoty tepelné vodivosti λ_1 a λ_2 , protože vlastnosti zkušební sondy jsou při měřeních konstantní. [21]

$$b = \frac{\lambda_2 - \lambda_1}{x_2 - x_1}$$
$$a = \lambda_1 - b \cdot \lambda_2$$

K výpočtu je potřeba hodnota regulárního ohřevu x .

$$x = \frac{\ln\left(\frac{\tau_2}{\tau_1}\right)}{\Delta\theta_2 - \Delta\theta_1}$$

Výsledná hodnota součinitele tepelné vodivosti λ se určí dle ze vztahu:

$$\lambda = a + b \cdot x$$

5. Provedení laboratorních zkoušek a měření

Níže uvedené výsledky měření, byly stanoveny na vzorcích čerstvé malty, která byla použita pro výrobu zkušebních těles. Výsledné hodnoty a závislosti zatvrdlé malty jsou zde uvedeny po 28 dnech zrání.

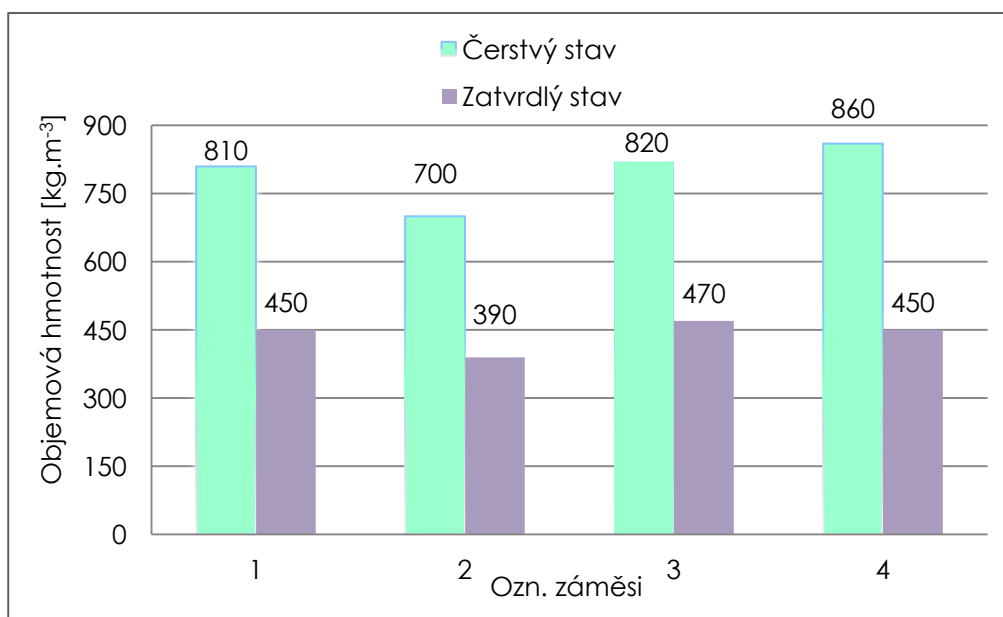
5.1 Objemová hmotnost

Objemová hmotnost v čerstvém stavu byla zkoušena ihned po namíchání podle výše uvedených normových postupů. V čerstvém stavu byla také stanovena konzistence a obsah vzduchu. Objemová hmotnost v zatvrdlém stavu byla zkoušena po 28 dnech zrání a to vždy na sadě tří kvádrů o rozměrech 40x40x160 mm.

Tabulka 12: Výsledné hodnoty objemových hmotností, rozliti a obsahu vzduchu

Záměs č.	Objemová hmotnost ρ_v [kg.m ⁻³]			Rozliti [mm]	Obsah vzduchu [%]
	Čerstvý stav	Zatvrdlý stav po 28 dnech	Zatvrdlý stav po 28 dnech (vysušené)		
1	810	450	370	140	25
2	700	390	330	140	40
3	820	470	410	140	40
4	860	450	430	140	28

Graf 1: Objemové hmotnosti



Z naměřených hodnot objemových hmotností v čerstvém a zatvrdlém stavu vyplývá, že nejmenší objemové hmotnosti byly dosaženy u záměsi č. 2. V této receptuře byl metakaolin s popílkem v poměru 1:1. Naopak nejvyšší objemová hmotnost v zatvrdlém stavu byla stanovena u záměsi č. 3, kde byl jako pojivo zvolen cement. Nutno poznamenat, že u všech receptur byla dávka pojiva konstantní.

5.2 Mechanické vlastnosti

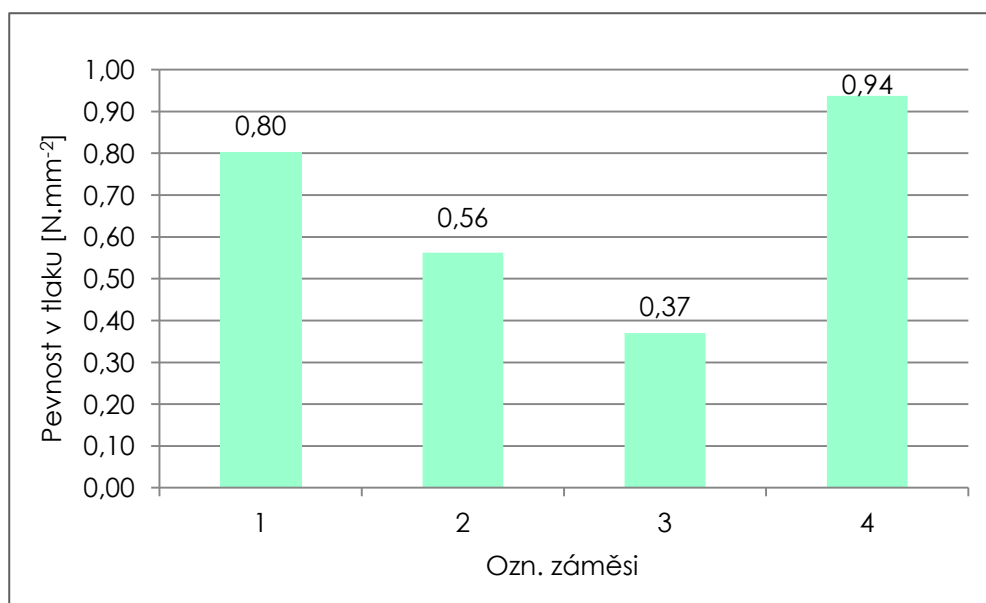
Po 28 dnech v laboratorních podmínkách, byly zkoušeny nejprve pevnosti v tahu za ohybu a to na kvádrech 40x40x160 mm. Na dvou rozlomených částech byly následně stanoveny pevnosti v tlaku. Přídržnost k podkladu se zkoušela na terčích o průměru 50 mm, které byly vytvořeny z nanesené zatvrdlé směsi na povrchu dlažby.

Tabulka 13: Pevnosti v tlaku, v tahu za ohybu a přídržnost

Záměs č.	Pevnost v tlaku f_c [N.mm ⁻²]	Pevnost v tahu za ohybu f [N.mm ⁻²]	Přídržnost f_u [N.mm ⁻²]
1	0,80	0,34	0,10
2	0,56	0,24	0,07
3	0,37	0,31	0,08
4	0,94	0,54	0,09

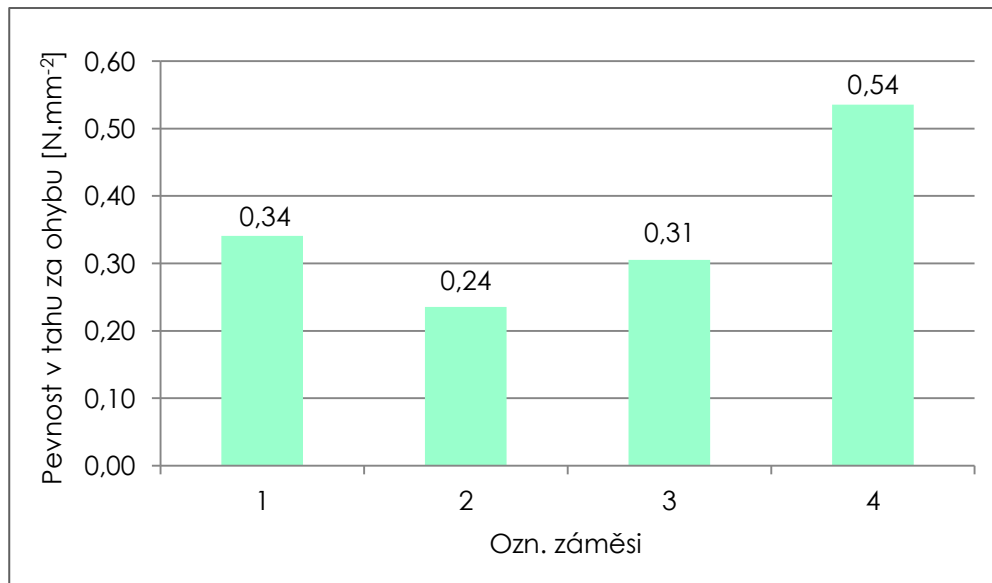
Pozn. Dle výše uvedených norem, se pevnosti v tahu za ohybu, tlaku a přídržnost zaokrouhlují na 0,1 N.mm⁻². Vzhledem k velmi malým rozdílům výsledných hodnot, jsou v tabulce 12, výsledky uváděny se zaokrouhlením na 0,01 N.mm⁻², aby byly více vypovídající.

Graf 2: Pevnost v tlaku



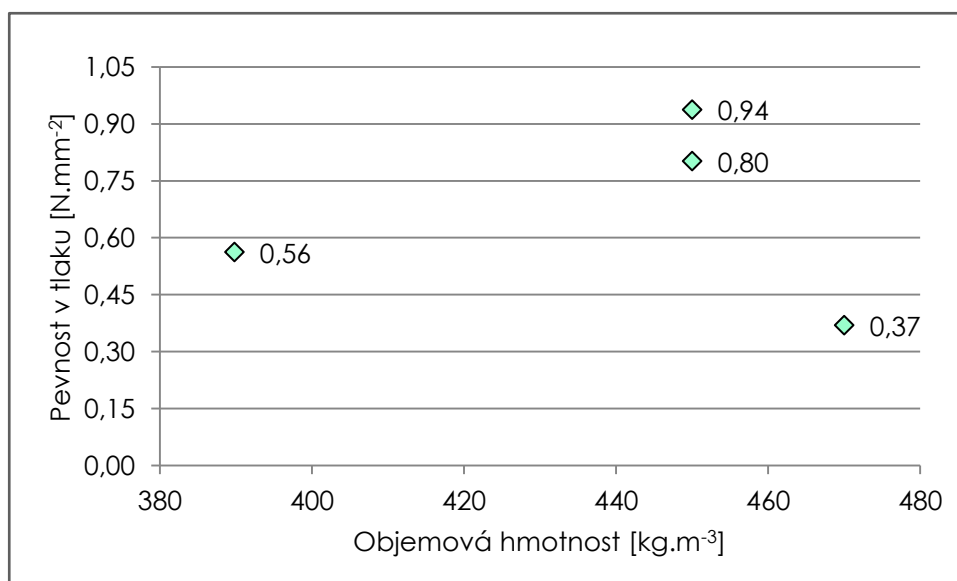
Nejvyšší pevnosti v tlaku bylo dosaženo pojivem popílku v záměsi č. 4. Podobně vysoká hodnota byla naměřena u záměsi č. 1 s metakaolinem. Záměs č. 3 s cementem vykazovala výrazně nižší hodnoty.

Graf 3: Pevnost v tahu za ohybu



Obdobně jako u pevností v tlaku, tak i hodnoty pevnosti v tahu za ohybu byly naměřeny nejvyšší u záměsí č. 4. a č. 1. Lze tedy konstatovat, že popílek i metakaolin dokázali mít relativně vysoké pevnosti v tlaku i tahu za ohybu, než v současnosti nejvíce používaný cement. Popílek má v tomto ohledu výsledky zvláště pozitivní. Stejně záměsi, tedy 1. a 4., dosahovaly také nejvyšší přídržnosti.

Graf 4: Závislost pevnosti v tlaku na objemové hmotnosti



V grafu 4. je možno pozorovat daleko vyšší pevnosti v tlaku záměsí s metakaolinem a popílkem, za poměrně přijatelných objemových hmotností. Ve srovnání s cementem, jehož záměs má vyšší objemovou hmotnost a o více než 100 % nižší pevnosti v tlaku než alternativní pojiva popílku a metakaolinu.

5.3 Součinitel tepelné vodivosti λ

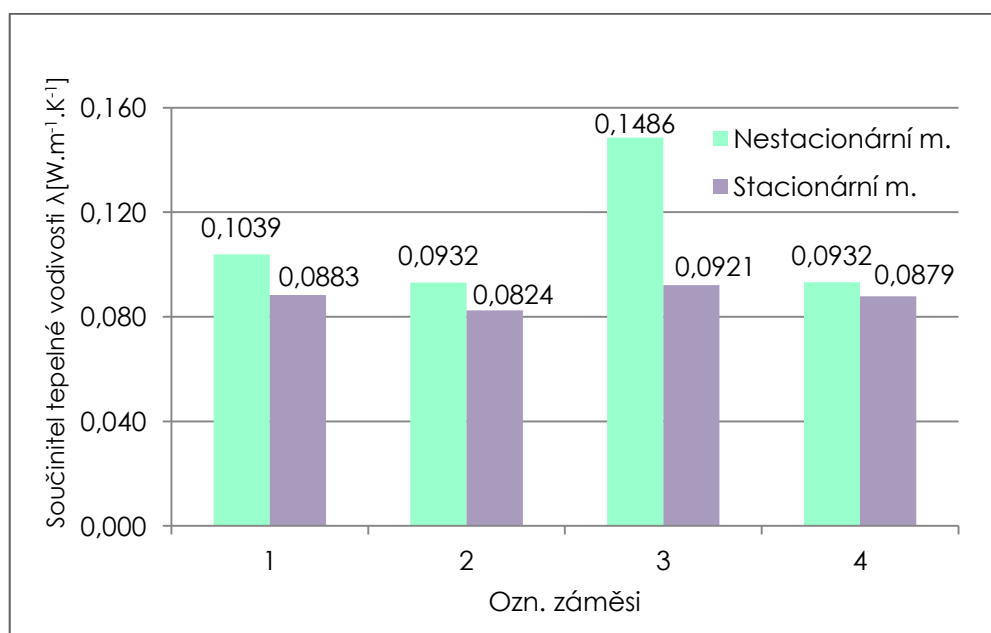
Stanovení součinitele tepelné vodivosti λ bylo prováděno dvěma různými způsoby. Prvním z nich byla nestacionární metoda, prováděna vždy na sadě tří vzorků 40x40x160 mm. Stacionární metoda desky byla druhým zvoleným způsobem měření na vzorcích 300x300x50 mm. Všechny zkušební tělesa byly ve stáří 28 dnů od zhotovení.

Tabulka 14: Součinitel tepelné vodivosti λ

Záměs č.	Součinitel tepelné vodivosti λ [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$]	
	Nestacionární metodou	Stacionární metodou
1	0,1039	0,0883
2	0,0932	0,0824
3	0,1486	0,0921
4	0,0932	0,0879

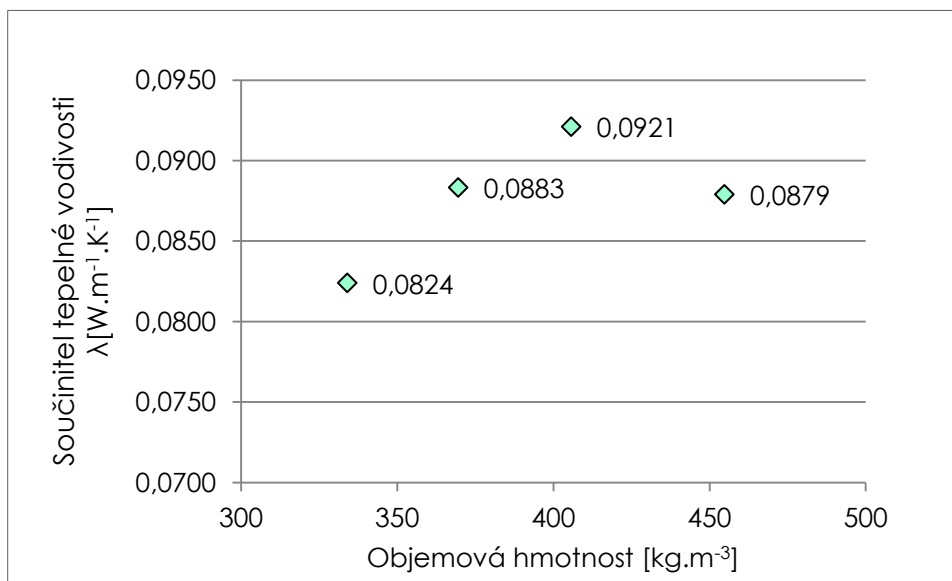
Pozn. Stanovení součinitele tepelné vodivosti stacionární metodou, bylo zkoušeno na vysušených vzorcích a tím pádem je patrný rozdíl výsledných hodnot, ve srovnání s metodou nestacionární, kde vzorky obsahovaly určité množství vlhkosti.

Graf 5: Součinitel tepelné vodivosti λ



Nejnižší hodnoty součinitele tepelné vodivosti byly naměřeny na vzorcích druhé záměsi s metakaolinem a popílkem (1:1). Ovšem i receptury 4 (popílek) a 1 (metakaolin) se lišily pouze v řádech tisícín. Nejvyšší hodnoty byly zaznamenány u cementového pojiva. Zde i v předcházejícím jsou dokázány kladné výsledky měření alternativních pojiv ve srovnání s pojivem cementovým.

Graf 6: Závislost součinitele tepelné vodivosti λ na objemové hmotnosti



Z grafu 6 je patrná závislost součinitele tepelné vodivosti na objemové hmotnosti. Se vzrůstající objemovou hmotností by měl vzrůstat také součinitel tepelné vodivosti. Děje se tak u tří zkoušených záměsí. V záměsi č. 4 s popílkem závislost nebyla potvrzena.

6. Závěr

V současné době se jako hydraulické pojivo lehkých omítkových směsí nejvíce používá cement. V rámci praktické části bakalářské práce byla ověřena možnost náhrady cementu v recepturách lehkých omítkových směsí s vápenným hydrátem pojivy alternativními s latentně hydraulickými vlastnostmi. Jednalo se o jemně mletý elektrárenský popílek a metakaolin. Tato alternativní pojiva byla zvolena na základě předchozího průzkumu a provedené rešerše, která byla provedena v rámci teoretické části bakalářské práce.

Byly navrženy čtyři receptury omítkových směsí s odlišným druhem pojiva, přičemž dávka pojiva byla u všech receptur konstantní. Jednalo se o:

- v receptuře č. 1 - metakaolin,
- v receptuře č. 2 - metakaolin a popílek (1:1),
- v receptuře č. 3 - cement,
- v receptuře č. 4 - popílek.

Výsledky měření prokázaly, že náhradou cementu metakaolinem, popínkem nebo jejich kombinací dojde ke zlepšení klíčových vlastností u lehkých omítkových materiálů v zatvrdlém stavu. Zlepšení bylo dosaženo, jak v případě mechanických, tak i v případě tepelně izolačních vlastností. Dále pak došlo u vzorků s alternativními pojivy i ke snížení objemové hmotnosti v zatvrdlém stavu.

Nejnižší objemová hmotnost ve vysušeném stavu po 28 dnech byla zjištěna u receptury č. 2 (metakaolin+popílek (1:1)), přičemž rozdíl objemové hmotnosti u vzorků této receptury a vzorků receptury č. 3 (s cementem) činil celkem 80 kg.m^{-3} . S objemovou hmotností je úzce spojena i tepelná vodivost. Při dosažených velmi nízkých objemových hmotnostech, se součinitel tepelné vodivosti λ u vzorků s alternativními pojivy, pohyboval v rozmezí $0,082 - 0,088 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$ (měřeno na zcela vysušených vzorcích stacionární metodou). Vzorky s cementovým pojivem vykazovaly hodnotu součinitele tepelné vodivosti $0,092 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$ ve vysušeném stavu.

Největší rozdíl byl zjištěn u mechanických vlastností zkoušených receptur, kde např. pevnosti v tlaku vzorků s metakaolinem či popínkem dosahovaly až o více než 100 % vyšší hodnoty v porovnání s recepturou, v níž byl jako pojivo zvolen cement.

Lze konstatovat, že při výrobě lehkých omítkových směsí pro tepelně izolační a sanační účely je možno, jako plnohodnotnou substituci cementu, metakaolin a popílek využít. Sanační a tepelně izolační omítky s metakaolinem či popínkem jsou vhodné pro využití při sanaci a provádění zateplení památkově chráněných objektů, kde je kladen důraz na provádění omítek z kompatibilních materiálů.

7. Seznam použité literatury a zdrojů

7.1 Skripta, knihy, publikace

- [1] ADÁMEK, J. a KOLEKTIV, *Stavební látky – modul BI01-M02 Maltoviny a kamenivo*, Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, 42 str.
- [2] KOTLÍK, P., *Stavební materiály historických objektů*, Vysoká škola chemicko – technologická v Praze, Praha 1999, 112 str., ISBN 80-7080-347-9
- [3] DROCHYTKA, R., MATULOVÁ, P., *Lehké stavební látky*, Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Brno 2006, 203 str.
- [4] FRIDRICHOVÁ, M., DVOŘÁK, K., FRIDRICH, R., *Omítky*, Brno, Era group spol. s.r.o., 2004. 112 str. ISBN 80-7366-004-0
- [5] *Sborník příspěvků semináře METAKAOLIN 2007*, Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Brno 2007, 137 str. ISBN 978-80-214-3339-7
- [6] SVOBODA, L. a KOLEKTIV, *Stavební hmoty*, Bratislava, Jaga group s.r.o, 2005. 471 str. ISBN 80-8076-007-1
- [7] *Sborník příspěvků semináře METAKAOLIN 2011*, Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Brno 2011, 71 str. ISBN 978-80-214-4256-6
- [8] HOŠEK, J., MUK, J., *Omítky historických staveb*, Praha, Státní pedagogické nakladatelství Praha, Praha 1989 137 str. ISBN 80-04-23349-x
- [9] ZACH, J., *Speciální izolace*, Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Brno 2006, 106 str.
- [10] WTA CZ směrnice 2-9-04/D, Sanační omítkové systémy, Praha
- [11] RAJCHOT, V., *Studium možností využití lehkých izolačních omítek pro zateplování historických budov*, Bakalářská práce, Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Brno 2011

7.2 Použité normy a webové stránky

- [12] ČSN EN 998-1 Specifikace malt pro zdivo – Část 1: Malty pro vnitřní a vnější omítky
- [13] ČSN 72 2072-2 Popílek pro stavební účely – Část 2: Popílek jako příměs při výrobě malt
- [14] ČSN EN 1015 Zkušební metody malt pro zdivo: část-3 Stanovení konzistence čerstvé malty (s použitím střásacího stolku)
- [15] ČSN EN 1015-6: Stanovení objemové hmotnosti čerstvé malty
- [16] ČSN EN 1015-7: Stanovení obsahu vzduchu v čerstvé maltě (tlaková metoda).
- [17] ČSN EN 1015-10: Stanovení objemové hmotnosti suché zatvrdlé malty
- [18] ČSN EN 1015-11: Stanovení pevnosti zatvrdlých malt v tahu za ohybu a v tlaku
- [19] ČSN EN 1015-12: Stanovení přídržnosti zatvrdlých malt pro vnitřní a vnější omítky k podkladu
- [20] ČSN 72 7012-3: Stanovení součinitele tepelné vodivosti materiálů v ustáleném teplotním stavu - Metoda desky - Metoda měřidla tepelného toku
- [21] ČSN EN 993-15: Zkušební metody pro žárovzdorné výrobky tvarové hutné: Stanovení tepelné vodivosti metodou topného drátu (paralelní uspořádání)

- [22] ČSN 73 0540-2: Tepelná ochrana budov část-2: Požadavky
- [23] ČSN EN 13914-1: Navrhování a provádění vnějších a vnitřních omítek: Vnější omítky
- [24] ČSN EN 13914-2: Navrhování a provádění vnějších a vnitřních omítek: Vnitřní omítky
- [25] <http://thermosilit.com/>
- [26] <http://www.heidelbergcement.cz/>
- [27] <http://www.perlitpraha.cz/>
- [28] <http://tvstav.cz/clanek/394-nove-plnivo-do-lehkych-betonu-na-bazi-polyuretanu>
- [29] <http://www.tzbportal.sk/stavebnictvo/vyvoj-pokrocilych-tepelne-izolacnich-omitek-pro-historicke-objekty.html>
- [30] <http://www.meshworld.co.in/concrete.html>

7.3 Seznam tabulek

<i>Tabulka 1: Vlastnosti zatvrdlé malty [12]</i>	11
<i>Tabulka 2: Vlastnosti vzdušného vápna [6]</i>	16
<i>Tabulka 3: Chemické složení běžných vysokopecních strusek [3]</i>	18
<i>Tabulka 4: Chemické složení vybraných popílků v ČR [3]</i>	23
<i>Tabulka 5: Vhodnost použití popílku do stavebních malt dle ČSN 72 2072-2 [13]</i>	24
<i>Tabulka 6: Požadavky na sanační omítku WTA dle směrnice 2-9-04/D [10]</i>	26
<i>Tabulka 7: Souhrn provedených zkoušek</i>	30
<i>Tabulka 8: Přehled vlastností vybraných tepelně izolačních omítek na trhu</i>	31
<i>Tabulka 9: Přehled vlastností vybraných sanačních omítek na trhu</i>	32
<i>Tabulka 10: Vstupní suroviny</i>	33
<i>Tabulka 11: Složení záměsí na 100 l</i>	34
<i>Tabulka 12: Výsledné hodnoty objemových hmotností, rozlití a obsahu vzduchu</i>	40
<i>Tabulka 13: Pevnosti v tlaku, v tahu za ohybu a přídržnost</i>	41
<i>Tabulka 14: Součinitel tepelné vodivosti λ</i>	43

7.4 Seznam obrázků

<i>Obrázek 1: Metakaolin [30]</i>	22
<i>Obrázek 2: Schéma úniku tepla kolem okenního rámu [4]</i>	28

7.5 Seznam grafů

<i>Graf 1: Objemové hmotnosti</i>	40
<i>Graf 2: Pevnost v tlaku</i>	41
<i>Graf 3: Pevnost v tahu za ohybu</i>	42
<i>Graf 4: Závislost pevnosti v tlaku na objemové hmotnosti</i>	42
<i>Graf 5: Součinitel tepelné vodivosti λ</i>	43
<i>Graf 6: Závislost součinitele tepelné vodivosti λ na objemové hmotnosti</i>	44