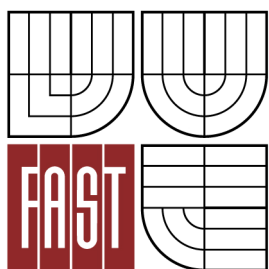




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV TECHNOLOGIE STAVEBNÍCH HMOT A DÍLCŮ

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

LEHČENÉ OMÍTKY MODIFIKOVANÉHO SLOŽENÍ PRO KONEČNOU ÚPRAVU ETICS

LIGHTWEIGHT PLASTERS OF MODIFIED COMPOSITION FOR FINAL SURFACE TREATMENT
OF ETICS

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. ALENA NEUBAUEROVÁ

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

doc. Ing. JIŘÍ BYDŽOVSKÝ, CSc.

BRNO 2014



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

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

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Diplomant	Bc. Alena Neubauerová
Název	Lehčené omítky modifikovaného složení pro konečnou povrchovou úpravu ETICS
Vedoucí diplomové práce	doc. Ing. Jiří Bydžovský, CSc.
Datum zadání diplomové práce	31. 3. 2013
Datum odevzdání diplomové práce	17. 1. 2014

V Brně dne 31. 3. 2013

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

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

Podklady a literatura

Fridrichová, M.; Dvořák, K.; Fridrich, R. Omítky. 1. vyd. Brno: ERA group, 2004, 98 s. ISBN 80-7366-004-0.

Tichý, F.; Mužík, V. Zateplování budov. Díl 2., Vícevrstvé konstrukce obvodových plášťů – izolační obklady a omítky. 1. vyd. Praha: Stav-Inform, 1992, 60 s.

Bodnářová, L. Kompozitní materiály ve stavebnictví. Akademické nakladatelství CERM, s.r.o. Brno, 2002. 122 s.

Šauman, Z. Maltoviny I, PC – DIR Brno s.r.o, 1993.

Svoboda L. a kol. Stavební hmoty. Jaga Bratislava, 2004. 471 s. ISBN 80-8076-007-1.

ČSN 73 2901 Provádění vnějších tepelně izolačních kompozitních systémů (ETICS)

ETAG 004, Řídící pokyn pro evropská technická schválení, Vnější kontaktní tepelně izolační systémy s omítkou; ČSN EN 998-1; ČSN EN 13914-1; ČSN EN 1015-10; ČSN EN 1015-11; www.stomix.cz; www.sciencedirect.com

Zásady pro zpracování

Nedílnou součástí vnějších tepelně izolačních kontaktních systémů (ozn. ETICS) jsou lehčené omítky na nejrůznější materiálové bázi. Přesto, že se jedná o poměrně tenkovrstvou povrchovou úpravu, její význam je pro správnou funkčnost ETICS v dané konstrukci velmi podstatný a to nejen z hlediska životnosti a trvanlivosti. Při výrobě lehčených omítek se naskýtá možnost modifikace jejich složení surovinami z alternativních zdrojů, čímž lze částečně řešit otázku životního prostředí formou materiálového využití odpadů a dále pak zvýšení konkurenceschopnosti těchto omítek na trhu. Cílem práce je vývoj a zkoušení lehčených omítek určených pro povrchovou úpravu ETICS, jejichž složení bylo modifikováno alternativními surovinami z různých zdrojů. V rámci vypracování diplomové práce jsou požadovány následující výstupy:

1. Zjištění základních informací o běžně komerčně vyráběných lehčených omítkách určených pro konečnou povrchovou úpravu ETICS – postup jejich produkce, suroviny (pojivo, plnivo atd.), parametry (čerstvé směsi i zatvrdlé omítky), využití atd.
2. Teoretický průzkum tuzemských i zahraničních publikací zaměřených na již probíhající výzkum v oblasti modifikace složení a jejího vlivu na parametry lehčených omítek.
3. Výběr potenciálně vhodných alternativních surovin pro aplikaci do výrobní směsi lehčených omítek s ohledem na modifikaci jejich složení.
4. Soubor výsledků laboratorních testů vlastností navržených směsí omítek (konzistence, objemová hmotnost čerstvé směsi i zatvrdlé omítky, pevnost v tlaku a tahu za ohybu atd.) včetně diskuze výstupů a vyvození patřičných závěrů s možným dopadem na provozní podmínky výroby, případně další následující výzkum.

Předepsané přílohy

.....

doc. Ing. Jiří Bydžovský, CSc.

Vedoucí diplomové práce

Abstrakt

Diplomová práce je zaměřena na ověření parametrů tenkovrstvých lehčených minerálních omítek s modifikovaným složením. Jsou využity alternativní suroviny, a to expandovaný perlit Vapex, kalcinovaná křemelina Celite a odpadní pomleté zářivkové sklo. V teoretické části jsou shrnuty poznatky z dokončených výzkumů, zabývajících se problematikou náhrady plniva lehčenou složkou. V experimentální části je testována zpracovatelnost čerstvé směsi, fyzikálně-mechanické, sorpční a tepelně-technické charakteristiky. Je porovnán estetický vzhled povrchu a shrnuty výsledky měření.

Abstract

The diploma thesis is focused on the verification of the parameters of thin lightweight mineral plasters with modified composition. As alternative raw materials are used expanded perlite Vapex, calcined diatomite Celite and powder waste glass of fluorescent lamps. In the theoretical part is summarized knowledge from completed studies dealing with the issue of compensation porous filler component. In the experimental part is tested consistency of fresh mixture, physical-mechanical, sorption and thermal insulating characteristics. It is compared the appearance of the surface and summarized the results of measuring.

Klíčová slova:

Minerální omítka, modifikační surovina, lehčená omítka, expandovaný perlit, kalcinovaná křemelina, zářivkové sklo, konzistence, sorpce, difuze, tepelná vodivost, fyzikálně-mechanické vlastnosti.

Keywords:

Mineral plasters, material modification, lightweight plaster, expanded perlite, calcined diatomite, glass of fluorescent lamps, consistency, sorption, diffusion, thermal conductivity, physical and mechanical characteristics.

Bibliografická citace VŠKP

NEUBAUEROVÁ, Alena. *Lehčené omítky modifikovaného složení pro konečnou povrchovou úpravu ETICS*. Brno, 2014. 89 s. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav technologie stavebních hmot a dílců. Vedoucí práce doc. Ing. Jiří Bydžovský, CSc.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracovala samostatně a že jsem uvedla všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 9. 1. 2014

.....

podpis autora

Bc. Alena Neubauerová

Poděkování

Chtěla bych poděkovat vedoucímu této diplomové práce doc. Ing. Jiřímu Bydžovskému, CSc. a také Ing. Tomáši Melicharovi, Ph.D. za metodické vedení, cenné rady a připomínky k práci. Dále bych chtěla poděkovat pracovníkům Ústavu technologie stavebních hmot a dílců za pomoc při experimentální části.

Obsah

Úvod	11
Cíl práce.....	12
I. Teoretická část.....	13
1 Rozdělení omítek.....	13
1.1 Rozdělení omítek podle použití ve stavbě	13
1.1.1 Vnitřní (interiérové) omítky	14
1.1.2 Vnější (exteriérové) omítky	14
1.2 Rozdělení technologie provádění	14
1.2.1 Omítky pro ruční nanášení.....	14
1.2.2 Omítky pro strojní nanášení.....	15
1.3 Rozdělení omítek podle místa přípravy	15
1.3.1 Omítky připravované v „in situ“	15
1.3.2 Průmyslově vyráběné omítkové směsi	15
1.4 Rozdělení omítek podle aplikačního postupu	15
1.4.1 Jednovrstvý omítkový systém.....	16
1.4.2 Vícevrstvý omítkový systém	16
2 Složení omítek	16
2.1 Pojiva.....	17
2.1.1 Vápno.....	17
2.1.2 Cement	18
2.1.3 Síranová pojiva – sádra.....	19
2.1.4 Akryláty	20
2.1.5 Silikony.....	20
2.2 Plniva.....	21
2.2.1 Drobné kamenivo.....	21
2.2.2 Moučka	22
2.3 Aditiva.....	22
3 ETICS – vnější kontaktní zateplovací systém.....	23
3.1 Skladba	23
3.1.1 Příprava podkladu	24
3.1.2 Osazení pomocných prvků	25

3.1.3 Lepení tepelné izolace	25
3.1.4 Kotvení hmoždinkami	26
3.1.5 Základní vrstva	27
3.1.6 Penetrační vrstva.....	27
3.1.7 Finální povrchová vrstva	27
4 Rozdělení omítek pro ETICS.....	28
4.1 Rozdělení omítek podle materiálu	28
4.1.1 Silikonová omítka.....	28
4.1.2 Akrylátová omítka	28
4.1.3 Minerální omítka	29
4.1.4 Silikátová omítka.....	29
4.1.5 Silikon-silikátová omítka.....	29
4.2 Rozdělení omítek podle struktury	29
4.2.1 Zatíraná omítka.....	29
4.2.2 Rýhovaná omítka.....	29
4.2.3 Mramorová (mozaiková) omítka	30
5 Vlastnosti omítek pro ETICS	30
5.1 Paropropustnost omítek.....	31
5.2 Nasákavost omítek	31
5.3 Schopnost samočištění omítek	31
5.4 Odolnost proti mikroorganizmům.....	32
5.5 Vlastnosti omítek u ETICS	32
6 Výzkum v oblasti modifikace složení omítek	34
6.1 Částečná náhrada písku polyuretanovou pěnou	34
6.2 Úplná náhrada plniva polyuretanovou pěnou	35
6.3 Náhrada cementu metakaolinem	36
6.4 Omítka s granulovanou gumou z pneumatik	37
6.5 Omítka s přídavkem korku.....	38
6.6 Omítka s přídavkem polyamidových vláken.....	39
6.7 Omítka z expandovaného perlitu	40
6.8 Omítka s expandovaným vermikulitem a polypropylenovými vlákny	42
6.9 Omítka s pěnovým polystyrenem.....	42

II. Experimentální část.....	44
7 Metodika práce	44
8 Použité suroviny.....	46
8.1 Výchozí suroviny	46
8.1.1 Carolith	46
8.1.2 Omyacarb.....	46
8.1.3 Sand PR 32	46
8.1.4 Koncentrát M12	46
8.2 Alternativní suroviny	47
8.2.1 Vapex - expandovaný hydrofobizovaný perlit	47
8.2.2 Kalcinovaná křemelina - Celite	47
8.2.3 Odpadní sklo ze zářivek.....	48
9 Popis prováděných zkoušek u omítek.....	49
9.1 Konzistence čerstvé malty.....	49
9.2 Objemová hmotnost čerstvé malty.....	50
9.3 Objemová hmotnost suché zatvrdlé malty	51
9.4 Pevnost v tahu ohybem a v tlaku.....	51
9.4.1 Stanovení pevnosti zatvrdlých malt v tahu ohybem	52
9.4.2 Stanovení pevnosti zatvrdlých malt v tlaku.....	52
9.5 Koeficient kapilární absorpce vody	53
9.6 Propustnost vodních par	54
9.7 Dynamický modul pružnosti	56
9.8 Součinitel tepelné vodivosti	57
10 Návrh receptur.....	58
11 Výsledky prováděných zkoušek	59
11.1 Zkoušky na čerstvé směsi.....	59
11.1.1 Stanovení optimálního množství vody a konzistence.....	59
11.2 Zkoušky zatvrdlé omítky.....	63
11.2.1 Vizuální hodnocení vzhledu povrchu	63
11.2.2 Určení objemových hmotností.....	70
11.2.3 Stanovení pevností a dynamického modulu pružnosti	71
11.2.4 Stanovení kapilární absorpce	72
11.2.5 Stanovení difúze vodních par	73
11.2.6 Stanovení součinitele tepelné vodivosti.....	74

13 Výběr optimální receptury metodou kvantitativního párového srovnávání	75
Diskuze výsledků.....	78
Závěr	81
Použité zdroje.....	82
Seznam obrázků.....	86
Seznam tabulek.....	88
Seznam zkratek a symbolů	88

Úvod

Nedílnou součástí vnějších kontaktních zateplovacích systémů jsou omítky nejrůznějšího materiálového složení. Přesto, že se jedná o poměrně tenkovrstvou povrchovou úpravu, její význam je pro správnou funkčnost ETICS v dané konstrukci velmi podstatný z důvodu životnosti celé konstrukce. Tenkovrstvé omítky se dělí na minerální, akrylátové, silikonové, silikátové a kombinované. Omítky se nanášejí natažením pomocí hladítka v jedné nebo ve dvou vrstvách na vrstvu se síťovinou. Omítkové směsi obsahují suroviny světlé barvy, což umožňuje jejich probarvení v celém objemu, popř. se mohou natřít barevným nátěrem.

Omítka tvoří funkční část stavby a plní estetickou funkci. Povrchová úprava nejen zlepšuje technické vlastnosti obvodových konstrukcí, ale především dotváří vzhled stavby a vtiskuje jí definitivní podobu. V současné době dochází k odklonu od tradičních technologií. V důsledku požadavku na rychlost provádění omítek se přešlo postupem času na prefabrikaci a k průmyslové výrobě suchých pytlovaných směsí. Výrobci systému ETICS nyní zajišťují kompletní dodávku všech součástí zateplovacího systému včetně finálních omítkových směsí.

V současné době je trend využívání nejrůznějších typů alternativních surovin, což výrazně přispívá k šetření primárních surovinových zdrojů a tím tedy i ochraně životního prostředí. Při výrobě lehčených omítek se naskytá možnost modifikace jejich složení druhotnými surovinami připravenými úpravou odpadů a dále pak zvýšení konkurenceschopnosti těchto omítek na trhu. Je proto důležité hledat nové možnosti využití těchto surovin a tím i následné zlepšení vlastností omítek. Touto problematikou se zabývá tato diplomová práce.

Cíl práce

Cílem této předkládané diplomové práce je studium parametrů tenkovrstvých omítek modifikovaného složení za použití alternativních surovin. Konkrétně se jedná o omítky minerálního složení určené pro konečnou úpravu povrchu kontaktního zateplovacího systému ETICS. Je věnována pozornost materiálům na různé bázi z hlediska toho, zda se jedná o aktivní nebo inertní surovinu ve spojitosti s pojivem omítky.

Z hlediska naplnění cílů práce je nejprve třeba se zaměřit na souhrn teoretických poznatků o současně vyráběných omítkách a jejich vlastnostech, systému ETICS a o výzkumech na téma modifikace suroviny u lehčených omítek s využitím odborné literatury a jiných dostupných informačních zdrojů.

Záměrem diplomové práce je posouzení parametrů a zhodnocení závislosti substituce jednotlivých složek na analyzovaných vlastnostech. Je třeba věnovat pozornost zpracovatelnosti čerstvé směsi, fyzikálně-mechanickým, sorpčním a tepelně-technickým charakteristikám. Konkrétně je pro posouzení modifikace složení omítek třeba klást důraz na konzistenci omítkové směsi po namíchání a po 90-ti minutách, pevnosti v tahu za ohybu a v tlaku, dynamické moduly pružnosti, koeficienty kapilární absorpce, propustnosti pro vodní páru a součinitele tepelné vodivosti na zkušebních tělesech uložených při relativní vlhkosti vzduchu a po vysušení v sušárně. Tyto vlastnosti jsou srovnány s deklarovanými požadovanými hodnotami, zadanými od výrobce.

Protože omítka je poslední ukončovací vrstvou skladby zdiva, je nutné dodržet estetickou funkci, je proto hodnocen vzhled a případné množství trhlin u receptur.

Dosažení cílů je také podmíněno výběrem optimální receptury a závěrečného zhodnocení všech učiněných poznatků a zjištění, včetně ekonomického a ekologického hlediska.

I. Teoretická část

1 Rozdělení omítek

Povrchové úpravy tvoří lícni plochu konstrukce. Ochraňují stavbu před účinky povětrnosti, mechanickým poškozením, zlepšují technické vlastnosti konstrukce, jako je tepelně-izolační a hlukově-izolační odolnost a ochrana proti vlhkosti. Mají také estetický význam, což umožňuje výběr struktury, materiálu a barvy povrchové úpravy.

Omítky se dělí podle několika kritérií:

- podle použití ve stavbě – interiérové, exteriérové;
- podle technologie provádění – omítky nanášené ručně, omítky prováděné strojně;
- podle místa přípravy – omítky připravované v „in situ“, průmyslově vyráběné omítkové směsi;
- podle počtu vrstev – jednovrstvé, dvouvrstvé (spodní vrstva jádrová o tloušťce 15 mm a horní vrstva štuková 3 – 5 mm) a vícevrstvé;
- podle materiálu
 - tradiční omítky – vápenná, cementová, vápeno-cementová, sádrová, vápeno-sádrová
 - současné omítky – minerální, silikátové, silikonové, akrylátové
 - speciální druhy omítek – sanační, tepelně-izolační, akustické, protipožární;
- podle struktury povrchu – hladké, nezatřené, rýhované, zatírané, škrábané. [5]

1.1 Rozdělení omítek podle použití ve stavbě

Vzhledem k odlišným podmínkám venkovního a vnitřního prostředí staveb jsou vyráběny dva typy omítek, které se liší svými parametry – fyzikálně mechanickými, estetickými atd. Z tohoto důvodu se liší surovinové složení, resp. materiálová báze interiérových a exteriérových omítek.

1.1.1 Vnitřní (interiérové) omítky

Interiérové omítky mají splňovat nižší požadavky na pevnost, musí však být schopny přenést zatížení speciálními povrchovými úpravami, jako jsou tapety, speciální malby, apod. Důležité kritérium pro vnitřní omítku je estetický vzhled.

1.1.2 Vnější (exteriérové) omítky

Exteriérové omítky musí být odolné proti klimatickým vlivům, zejména působení vlhkosti (déšť, sníh a mráz). Ochrana proti dešti je řešena hydrofobizačními přísadami, vnější omítky by měly být vodoodpudivé. Kvůli vyššímu mechanickému zatížení by měly vykazovat vyšší pevnosti.

Oba typy omítek se liší v dávkování a v druhu použitého pojiva. V současnosti je nejvíce využívanou povrchovou úpravou do interiéru vápenná a vápenato-sádrová omítka. Vnější omítky obsahují nejčastěji cemento-vápenné pojivo, nikdy nesmí obsahovat sádrové, protože na povětrnosti rychle degradují. [3]

1.2 Rozdělení technologie provádění

Při výběru způsobu nanášení je třeba zohlednit několik parametrů, a to velikost omítané plochy, přístupnost ke konstrukci a podmínky při provádění. Díky rychlosti a ceně provádění se v České republice rozšířilo omítání pomocí strojního zařízení.

1.2.1 Omítky pro ruční nanášení

Mezi ručně nanášené řadíme všechny typy omítek připravovaných na staveništi a dále tímto záměrem průmyslově vyráběné omítkové směsi. Ty jsou nejčastěji ve formě již zkompletované směsi, ke které se pouze přimísí voda. Ruční nanášení se provádí pomocí hladítek.

1.2.2 Omítky pro strojní nanášení

U strojního nanášení je třeba sledovat skladbu zrnitostní křivky plniva, protože při dopravě cisternami může docházet k roztřídění plniva. Dále je třeba zvolit vhodné přísady pro zlepšení její přidržitosti k podkladu. Díky strojní aplikaci se snižuje cenová náročnost omítek.

Strojní nanášení lze použít pro všechny typy omítek s maximálním zrnem do 2 mm, výjimečně i pro omítky s maximálním zrnem 3 mm, přičemž tato zrnitost je vhodná spíše pro nanášení omítek jádrových a jednovrstvých. Hlavní výhodou strojní aplikace je rychlost realizace a kvalita provedení práce. Omítka putuje z mísícího stroje, umístěného na staveništi do strojní omítačky. Na konstrukci se nanese vrstva omítky a potom se v celé ploše uhladí do potřebné tloušťky. [1]

1.3 Rozdělení omítek podle místa přípravy

1.3.1 Omítky připravované v „in situ“

Jedná se o tradiční způsob přípravy omítky ze základních součástí přímo na stavbě ručně nebo s využitím míchaček. V současné době se tento způsob využívá výjimečně a to jen pro práce svépomocí.

1.3.2 Průmyslově vyráběné omítkové směsi

V současnosti je to již standardní způsob využití moderních omítek. Ty jsou dodávány v tekuté formě nebo jako práškové pytlované. Hlavními výhodami již připravených omítkových směsí je široká nabídka produktů, garance předepsaných vlastností za podmínek technologické kázně při provádění a také zvýšená rychlost aplikace omítky.

1.4 Rozdělení omítek podle aplikačního postupu

Vícevrstvé systémy jsou využity pro omítání konstrukcí s nerovným podkladem, kdy je třeba vyrovnat větší nerovnosti konstrukce a tím vylepšit estetický charakter. Naproti tomu pro konstrukce vyrobené z přesných prvků, jako jsou například prefabrikované

železobetonové panely nebo monolitické desky, můžeme zvolit jednovrstvý systém. Pro tuto variantu by bylo vhodné použít např. sádrovou omítku.

1.4.1 Jednovrstvý omítkový systém

Je tvořen pouze jednou vrstvou, která je nanášena na podkladní zdivo. Pro zvýšení přídržnosti je vhodné opatřit podklad penetrací nebo adhezním můstkem. Po aplikaci se omítka ošetří nátěrem nebo malbou.

1.4.2 Vícevrstvý omítkový systém

Je to klasický způsob provádění omítky ze tří vrstev.

- Adhezní vrstva na podkladní zdivo – tvoří na podkladu hrubý povrch, který zlepšuje přilnavost omítky a zadržuje vodu v omítce díky snížené pórovitosti.
Funkci adhezní vrstvy tvoří nejčastěji cementový postřík ze směsi cementu a písku.
- Jádrová (hrubá) omítka – vrstva určená k dokonalému vyrovnání podkladu.
- Štuková omítka – poslední pohledová vrstva omítky nanášené pouze v malých tloušťkách. Na štukovou omítku se nanáší již jen finální nátěr. [1]

2 Složení omítek

Omítky jsou kompozitní materiály, které zpravidla obsahují pojivo, plnivo, případně aditiva a výztuž. Dle účelu použití jsou nejčastěji používána pojiva na bázi sádry, vápna, cementu, akrylátů a silikonu. Plnivo je tvořeno drobným kamenivem různého původu. Pro dosažení specifických vlastností mohou být použity v omítkách příměsi – např. pigmenty pro dosažení požadovaného odstínu bez použití finálního nátěru, hydrofobní přísady z důvodu zajištění vodoodpudivosti. K omezení trhlin v problematických detailech (styk konstrukčních prvků rozdílné materiálové báze – např. železobeton a cihelné zdivo) lze využít doplňkové prvky, tj. nejružnější lišty, profily, příp. armovací tkaninu.

2.1 Pojiva

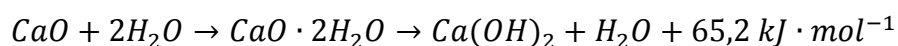
Jsou to látky anorganického nebo organického původu, které umožňují spojení plniv ve větší celky. Z anorganických pojiv se využívá vápno, cement a sádra. Mimo tyto maltoviny se v průmyslové výrobě můžeme setkat i s některými dalšími pojivy, která mohou být organického i anorganického původu.

2.1.1 Vápno

Základní složka v omítkových směsích.

2.1.1.1 Vápno vzdušné

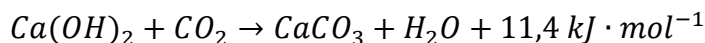
Vzdušná maltovina, která po zatvrdnutí zajišťuje určitou pevnost, ale hlavně dobrou zpracovatelnost a plasticitu při nanášení omítky. Poskytuje zatvrdlé omítce porézní strukturu, která ovlivňuje rychlost vysychání po navlhnutí nebo po náporovém dešti nebo prostupnost pro vodní páru. Vzdušné vápno se vyrábí tepelným rozkladem velmi čistého uhličitanu vápenatého (vápence) a jeho složení po výpalu odpovídá téměř čistému oxidu vápenatému CaO . Vypálené vzdušné vápno se ve výrobě dále upravuje buď jen mechanicky, tzn. drcením, mletím a tříděním na deklarovanou jemnost, anebo fyzikálně-chemicky při průmyslovém hašení. Při něm dochází k přeměně oxidu vápenatého na hydroxid vápenatý.



Po vyhašení se produkt označuje jako vápenný hydrát a ten se poté upravuje mletím a tříděním. K výrobě omítkových směsí lze použít jak vápenný hydrát, tak i vzdušné vápno, to však pouze po dokonalém rozhašení. Pro suché omítkové směsi průmyslově vyráběné se používá tedy pouze vápenný hydrát a pro omítkové maltové směsi připravované v in situ lze použít jak vápenný hydrát, tak vápennou kaši ze vzdušného vápna.

Vápno lze vypalovat jako ostře nebo měkce pálené, pro omítky mohou být použita pouze měkce pálená vápna, která zamezí objemové nestálosti ztvrdlých omítek.

Během tuhnutí a tvrdnutí dojde nejdříve k vysychání a poté k vlastní přeměně hydroxidu na karbonát vápenatý. Karbonatace hydroxidu vápenatého oxidem uhličitým probíhá podle následující rovnice:



2.1.1.2 Vápno hydraulické

Hydraulické vápno z hlediska chemicko-mineralogického složení představuje jakýsi přechod mezi vzdušným vápnem a portlandským cementem. Od vzdušného vápna se liší tím, že obsahuje navíc hydraulické součásti, jakou jsou oxid křemičitý, hlinitý a železitý. Ve srovnání s cementem však obsahuje vyšší podíl oxidu vápenatého a nižší množství hydraulických oxidů. Z hlediska mineralogického složení sestává z volného CaO, belitu ($2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$), trikalciualuminátu ($3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$) a brownmilleritu ($4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$). Nikdy neobsahuje slínkový minerál portlandského cementu, a to alit ($3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$).

V současnosti se hydraulická vápna do omítkových směsí již nepoužívají.

2.1.2 Cement

Maltovina vzniklá výpalem anorganických surovin alespoň na mez slinutí a jejím následným rozemletím s přidavkem přísad. Portlandský cement se vyrábí výpalem surovinové moučky připravené z vápenců s zvýšeným obsahem hydraulických oxidů a zemin. Moučka sestává ze čtyř základních oxidů, a to CaO, SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃. Pro jejich stanovení se používají vzorce jako je stupeň syčení S_S, hydraulický modul M_H, silikátový modul M_S a hlinitanový modul M_A.

$$S_S = \frac{100 \cdot \text{CaO}}{2,8\text{SiO}_2 + 1,18\text{Al}_2\text{O}_3 + 0,65\text{Fe}_2\text{O}_3}$$

$$M_H = \frac{\text{CaO}}{\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3}$$

$$M_S = \frac{\text{SiO}_2}{\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3}$$

$$M_A = \frac{Al_2O_3}{Fe_2O_3}$$

U dobrých cementů se stupeň sycení pohybuje nad hodnotou 94 % ve slínku a hydraulický modul v rozmezí 1,9 – 2,2. Výpalem surovinové moučky se získá produkt, nazývaný portlandský slínek. Ten po stránce mineralogické sestává ze čtyř slínkových minerálů v přibližném zastoupení 65 % alitu ($3CaO \cdot SiO_2$), 20 % belitu ($2CaO \cdot SiO_2$), 8 % trikalciumaluminátu ($3CaO \cdot Al_2O_3$) a 7 % brownmilleritu ($4CaO \cdot Al_2O_3 \cdot Fe_2O_3$).

Slínek se dále drtí a mele na požadovanou jemnost vždy s přídavkem do 5 % sádrovce, který slouží jako regulátor tuhnutí. Poté se mohou přidávat další látky zlepšující fyzikálně-chemické vlastnosti cementu. Nejčastěji jsou to latentně hydraulické složky, a to nejčastěji vysokopecní strusky. Dále mohou být přimíseny pucolány, ponejvíce zastoupené vysokoteplotním popílkem nebo mikromletým vápencem. Portlandský cement je rozdělen do čtyř tříd. K výrobě omítkových směsí se nejčastěji používají třídy CEM II B/S 32,5 a CEM I 42,5.

Zvláštním druhem cementu je cement bílý, který je výhradně používám pro výrobu průmyslově vyráběných omítkových směsí pro fasádní a štukové omítky. Při výrobě bílého cementu je nutno eliminovat množství oxidu železitého, které způsobuje u běžného cementu šedé zabarvení. Bílý cement díky absenci oxidů železa neobsahuje brownmillerit, díky čemuž je zvýšen podíl trikalciumaluminátu a ten má nejvyšší hydratační rychlost. Jeho zvýšený obsah má za důsledek větší náchylnost ke hrudkovatění.

Dalším druhem cementu je hlinitanový cement, ten se však pro výrobu omítkových směsí nepoužívá.

2.1.3 Síranová pojiva – sádra

Jsou to látky na bázi síranu vápenatého bezvodého nebo půlhydrátu. Tato pojiva se získávají tepelným zpracováním síranu vápenatého dihydrát $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ (sádrovec).

Sádra kvůli svému charakteru vzdušné maltoviny je určena pouze k použití do interiérů. Zatvrdlá sádra ochotně přijímá kapalnou vodu a vlivem takto dosažené vlhkosti významně klesá její pevnost.

Produkty sádry:

- α - a β - půlhydráty (hemihydráty) sloužící jako rychletuhnoucí sádra,
- CaSO_4 III, tzv. anhydrit III
- CaSO_4 II, tzv. anhydrit II (přírodní anhydrit)
- CaSO_4 I, tzv. anhydrit I sloužící jako pomalutuhnoucí sádra

2.1.4 Akryláty

Akrylátová pojiva se řadí do skupiny vodných polymerních disperzí, které představují hydrosoly tvořené vodou, polymerem a nepolymerní látkou. Polymerem bývá akrylátová pryskyřice (polymethylmetakrylát), která splňuje požadavek nízké viskozity, dobré zpracovatelnosti a výborné odolnosti proti atmosférickým vlivům. Nepolymerními látkami mohou být emulgátory, změkčovadla, ochranné koloidy a další. Změkčovadla slouží při převodu na vodnou disperzi ke snížení viskozity, zvýšení rozpustnosti a snížení pevnosti. Emulgátory zajistí stejnoměrné rozptýlení polymeru ve vodě a ochranné koloidy zabezpečí stabilizaci vzniklé disperze.

Akryláty mají výbornou přídržnost k podkladu, jsou flexibilní, odolávají vodě, mrazu, kyselinám, solím, ropným produktům, olejům a tukům, ale mají poměrně vysoký difuzní odpor pro vodní páru. Jsou velmi dobře probarvitelné.

2.1.5 Silikony

Jsou to makromolekulární látky na bázi uhlíku. Jejich siloxanový skelet způsobuje zlepšení některých důležitých vlastností proti klasickým plastickým látkám.

Silikony pro omítkové směsi se používají ve formě vodné polymerní disperze. Použitým polymerem je silikonát rozpustný ve vodě, který přejde účinkem vzdušného CO_2 na polysiloxan, což je ve vodě nerozpustná pryskyřice. Nepolymerní složkou disperze jsou emulgátory, změkčovadla, ochranné koloidy a jiné.

Silikonové disperze představují v současné době nejušlechtlejší pojiva do omítek. Mají výborné přídržnosti k podkladu, jsou tepelně odolné, vodoodpudivé a mají na rozdíl od

akrylátů nízkou hodnotu difuzního odporu pro vodní páru. Silikony lze také velmi dobře probarvovat. [1]

2.2 Plniva

Plniva se mísí s pojivy na maltu z důvodu zvětšení objemu vyrobené hmoty a získání lepších vlastností, např. snížení množství záměsové vody a následnému snížení smršťování.

Jsou to látky organického a anorganického původu, při vytvrzování chemicky inertní, které tvoří pevnou kostru omítky. V oblasti výroby omítkových směsí se nejčastěji využívají plniva anorganická, jako jsou šterky, drtě, písky a fillery.

2.2.1 Drobné kamenivo

Podle technické definice je to směs zrn z kamenů přírodních nebo umělých od cca 0,1 do 4 mm. Písky s převládající velikostí zrn do 0,25 mm jsou jemnozrné, v intervalu 0,5 až 1,5 mm hovoříme o píscích středně zrnitých a nad tímto intervalem o hrubozrných píscích. Při výrobě omítkových směsí se nejčastěji používají písky jemnozrné pro omítky štukové a středně zrnité pro omítky jádrové.

Po chemicko-mineralogické stránce jde o písky křemičité, tj. dle geologického ložiska s převažujícím podílem křemene nebo živců. Písky do omítek jádrových se kombinují a skládají jak z písku kopaného, tak i těženého. Je nutno kontrolovat množství jílovin, protože čím vyšší množství se v písku nachází, tím vyšší množství záměsové vody je třeba ke směsi dodat a tím více omítky inklinují k tvorbě smršťovacích trhlin.

Surovinovým zdrojem drcených písků jsou nejčastěji vápence a dolomity. U písků vyšších frakcí je třeba kontrolovat zrnitost, protože u písků s optimální křivkou zrnitosti se snižuje potřebné množství záměsové vody. Dále hrozí, že při transportu volně ložené omítkové směsi se špatně zvolenou křivkou zrnitosti dojde k rozmísení plniva a poté k problémům při nanášení a při nerovnoměrném schnutí omítky na podkladu.

Dalším důležitým parametrem je typ použitého písku. Písky přírodní se vyznačují oblémi zrny, která mají hladký povrch, díky čemuž se s omítkou lépe pracuje. Písky drcené

mají horší tvarový index, jsou protáhlá, nepravidelná a mají drsnější povrch, tzn. vyšší měrný povrch a tím i vyšší množství záměsové vody k dosažení stejné zpracovatelnosti. Avšak je třeba zdůraznit i to, že přírodní písky mají větší tvrdost, a tudíž i silné abrazivní účinky na životnost šnekových čerpadel.

2.2.2 Moučka

Jsou to odprašky po drcení, mletí a třídění kameniva. Na jedné straně přispívá ke zvýšení plastičnosti malty a zvětšení objemu pojivého tmelu, na druhé straně díky vysokému měrnému povrchu vyžaduje značné množství záměsové vody, a tím zvyšuje riziko tvorby smršťovacích trhlin při vysychání. Tento negativní efekt nastává především u mouček, které jsou tvořeny jílovinami. Pokud jde o moučky tvořené prachem po drcení a mletí hornin, je tento negativní dopad méně škodlivý. (9)

2.3 Aditiva

Jsou to látky přidávané v malém množství desetin až celých procent. Pomocí nich se zušlechťují nebo pozměňují požadované vlastnosti omítkových směsí. Podle účelu je lze rozdělit na:

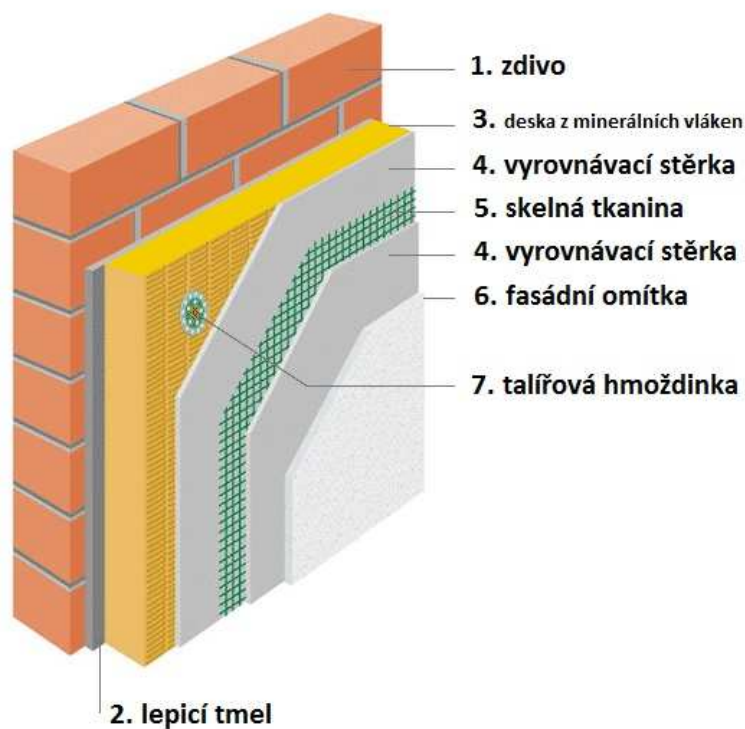
- látky ovlivňující rychlost vytvrzování, tzv. urychlovací a zpomalovací přísady;
- látky zvyšující tekutost malty, tzv. ztekucovače (plastifikátory);
- látky zlepšující přídržnost omítky k podkladu, tzv. adhezivní přísady;
- látky zvyšující zádrž vody a plastičnost malty, tzv. retenční přísady;
- látky zajišťující vodonepropustnost, tzv. hydrofobizátory;
- látky zlepšující fyzikálně a mechanicky objemovou stálost malty při vysychání, tzv. disperzní výztuže (vlákna);
- látky měnící pórový systém omítek, tzv. provzdušňovací a odpěňovací přísady;
- látky sloužící k probarvení matrice omítky, tzv. pigmenty;
- látky sloužící k vyztužení, tzv. výztužné profily – armovací tkanina;
- ostatní aditiva. [1]

3 ETICS – vnější kontaktní zateplovací systém

3.1 Skladba

Vnější kontaktní zateplovací systém představuje v dnešní době nejpoužívanější způsob zateplení stavebních konstrukcí, který komplexně řeší problematiku zvýšení tepelné izolačních schopností stavební konstrukce a dále její ochranu před povětrnostními vlivy, přičemž oba tyto faktory nejenom snižují tepelné ztráty konstrukce prostupem tepla, ale také zvyšují životnost stavební konstrukce jako celku.

Provádění ETICS obecně vychází z požadavků ČSN 73 2901: Provádění vnějších tepelně izolačních kompozitních systémů (ETICS).



Obr. č. 1 Skladba zateplovacího systému ETICS [11]

Technologie provádění zateplovacího systému lze rozdělit do následujících fází:

- příprava podkladu;
- osazení pomocných prvků;
- lepení desek tepelné izolace;
- kotvení hmoždinkami;
- provádění základní vrstvy;
- provádění finální povrchové úpravy;
- kontrola provádění.

Klimatické podmínky při provádění ETICS

Při provádění by měly být splněny následující podmínky:

- teplota vzduchu po dobu provádění a po dobu potřebnou k vyztužení jednotlivých vrstev nesmí být nižší než 5 °C a vyšší než 30 °C;
- povrchová teplota podkladu a aplikovaných součástí nesmí být nižší než 5°C;
- do komponentů není povoleno přidávat žádné chemické přísady zlepšující odolnost vůči mrazu;
- po dobu provádění a během zrání musí být zajištěna ochrana proti dešti;
- musí být chráněna základní vrstva, penetrační nátěr a povrchová vrstva před přímým slunečním zářením;
- neprovádět montáž zateplovacího systému během silného větru.

3.1.1 Příprava podkladu

Prvním krokem je stavební průzkum a příprava podkladu, která je spojena často se sanací povrchu. Díky aplikaci ETICS dojde ke zvýšení životnosti konstrukce. Vhodným pokladem je povrch vyztužený, bez prachu, mastnot, výkvětů, odlupujících se míst, biotického napadení a aktivních trhlin v ploše. Průměrná soudržnost podkladu by měla dosahovat nejméně 200 kPa a nejnižší hodnota by neměla klesnout pod 80 kPa.

Rovinnost je dána dle požadavků ČSN 73 2901 a liší se dle způsobu upevnění izolační vrstvy. Při kotvení pouze za pomoci lepicí hmoty je maximální odchylka od rovinnosti 10 mm na 1 m, při kotvení s lepicí hmotou a hmoždinkami je maximální odchylka 20 mm na 1 m.

Pokud je nalezeno biotické napadení, je nutné provést mechanické očištění povrchu kartáči nebo tlakovou vodou. Poté se provede ošetření protiplísňovým prostředkem nebo přípravkem.

Před aplikací zateplovacího systému musí být splněny následující požadavky:

- v objektu musí být dokončeny všechny mokré procesy (zdění, omítky a potěry);
- podklad musí být dostatečně vyschlý;
- průvzdušné neaktivní trhliny musí být utěsněny;
- dilatační spáry v podkladu musí být zasanovány.

3.1.2 Osazení pomocných prvků

Ještě před zahájením vlastního zateplování je třeba osadit podle dokumentace pomocné prvky, jako jsou hromosvody, oplechování, dešťové svody a ukončovací profily.

Při řešení těchto detailů musí být zohledněna tloušťka zateplovacího systému a hmotnost připevňovaného prvku.

Prvním krokem je založení zapalovacího systému v požadované výšce. Upevňování izolantu k podkladu se provádí vždy od založení směrem vzhůru.

3.1.3 Lepení tepelné izolace

Desky izolantu se lepí na konstrukci pomocí lepících hmot. Tloušťka a druh izolace je určen podle projektové dokumentace. Nejčastěji jsou používány desky 0,5 x 1 m, které se dle potřeby upravují řezáním.

Lepící hmota se ručně nebo strojně nanáší buď na celou plochu desky, nebo v pásech po obvodě a uprostřed desky pomocí terčů. Lepení se provádění s ohledem na druh použitého materiálu tepelné izolace:

- desky z pěnového polystyrenu lze spojovat pouze pomocí lepící hmoty, kdy musí být minimálně 40 % povrchu spojeno pevně s podkladem;
- desky z minerální vlny s podélnou orientací vláken je možné spojovat s podkladem pouze pomocí lepící hmoty, přičemž musí být spojeny po celé ploše;

- desky z minerální vlny s příčnou orientací vláken je vždy nutné spojit po celé ploše povrchu s podkladem;
- desky k sobě musí být osazeny takovým způsobem, aby byla dodržena rovinnost tepelně izolační vrstvy. U nároží se desky lepí v řadách na vazbu. Desky tepelné izolace nesmí překrývat dilatační spáru.

3.1.4 Kotvení hmoždinkami

Kotvení se používá v kombinaci s lepením kvůli zvýšení soudržnosti vrstvy tepelné izolace s podkladem. V případě ETICS s použitím minerální vlny je kotvení hmoždinkami předepsáno ČSN 73 2901.

Hmoždinky se osazují jeden až tři dny od lepení desek tepelné izolace, před provedením výztužné vrstvy, aby nedošlo k narušení rovinnosti a posunu tepelně izolačních desek. Druh, počet a hloubka kotvení je dáno v projektové dokumentaci.

Při osazování hmoždinek musí být obecně dodrženy tyto zásady:

- průměr vrtáku používaného při osazování hmoždinek musí odpovídat průměru dle dokumentace;
- hmoždinka musí být orientována osou kolmo na podklad;
- při osazování hmoždinek do minerální vlny se s vrtáním začne až po propíchnutí desky vrtákem, hloubka provedeného vrtu musí být o 10 mm delší než je předepsaná kotevní délka;
- nejmenší vzdálenost osazení hmoždinky od okrajů stěny, podhledu nebo dilatačních spár je 100 mm;
- talíř hmoždinky nesmí narušovat rovinnost základní vrstvy;
- špatně osazená, zdeformovaná nebo jinak poškozená hmoždinka se musí nahradit hmoždinkou novou;
- množství hmoždinek je minimálně 4 ks na 1 m² nebo dle dokumentace.

3.1.5 Základní vrstva

Zahájení provádění výztužné vrstvy se provádí po jednom až třech dnech po dokončení lepení izolační vrstvy a po kotvení hmoždinkami. Základní vrstva musí být provedena do 14 dní po dokončení vrstvy tepelné izolace.

Před prováděním základní vrstvy je nutné provést kontrolu rovinnosti povrchu. Poté se připevní pomocí stěrkové hmoty ukončovací, nárožní a dilatační lišty a zesilující vyztužení ze síťoviny. Vyztužení se provádí vtlačáním výztužné síťoviny do nanesené vrstvy stěrkové hmoty a zahladí se.

Výztužná vrstva se provádí celoplošně v tloušťce 2 až 6 mm, podle požadavků dokumentace. Minimální krytí síťoviny stěrkou musí být 1 mm (0,5 mm v místě přesahu síťoviny).

3.1.6 Penetrační vrstva

Penetrace se provádí z důvodu sjednocení savosti výztužné vrstvy, zvyšuje přidržnost vrstvy následující. Nanášení penetrace se provádí malířskými válečky, a to nejdříve jeden den po provedení předchozí vrstvy.

3.1.7 Finální povrchová vrstva

Jako finální povrchová vrstva ETICS může být použita omítka nebo obklad. Časový odstup mezi prováděním výztužné vrstvy a povrchových úprav vyplývá z předpisu výrobce a dokumentace ETICS. [41]

Provádění omítek se provádí vždy kontinuálně, aby nedošlo ke změně barevného odstínu nebo reliéfu povrchu. Omítka se nanáší na suchou neznečištěnou základní vrstvu ručně nebo strojně. Nejčastěji používanou úpravou jsou tenkovrstvé probarvené omítky s velikostí zrna 1 až 4 mm. Dělí dle struktury:

- rýhované (drásané) - omítka se vytváří po krátkém zaschnutí krouživými tahy hladítkem, reliéf je tvořen trasami uvolněných zrn;

- škrábané (roztírané) - omítka je tvořena rozvrstvenými vystupujícími zrny, která byla ihned po natažení zatřena krouživými pohyby hladítka;
- vyhlazené omítky - se nanáší ve dvou krocích - provedení první vrstvy jako u škrábané struktury a poté nanesení vyhlazovací omítky (cca po 48 hodinách). [4]

4 Rozdělení omítek pro ETICS

Strukturální omítky se dělí na minerální, akrylátové, silikonové, silikátové a silikon-silikátové.

4.1 Rozdělení omítek podle materiálu

4.1.1 Silikonová omítka

Omítka se zrnem 1,5; 2,0 nebo 2,5 mm. Je vysoce odolná proti znečištění, je pružná, odolná proti proražení, má dlouhodobou odolnost vůči UV záření, nízkou nasákavost a vysokou paropropustnost. Je odolná proti plísním, řasám a houbám, umožňuje strojové zpracování a probarvení. Má samočisticí schopnost povrchu. Skládá se ze směsného pojiva silikonové a styren-akrylátové polymerní disperze a minerálních plniv. [12]

4.1.2 Akrylátová omítka

Omítka se zrnem 1,5 nebo 2,5 mm. Je vysoce odolná proti znečištění, je pružná, odolná proti proražení a tvorbě trhlin, má vysokou stálobarevnost, nízkou nasákavost a vysokou paropropustnost. Je odolná proti řasám, houbám a plísním. Skládá se ze syntetické disperze (styren-akrylátová polymerní disperze), minerálního plniva, vody, konzervačních prostředků, přísad zlepšujících trvanlivost (fungicidní a algicidní přísady), zpracovatelnost a stálobarevnost.

4.1.3 Minerální omítka

Omítka se zrnem 2,5 nebo 3,5 mm. Je paropropustná a hydrofobní, odolává mechanickému poškození a povětrnostním vlivům. Skládá se z anorganických pojiv (portlandský cement bílý, hydroxid vápenatý, hydroxid vápenato-hořečnatý), kameniva, chemických zušlechťujících látek. [12] [16]

4.1.4 Silikátová omítka

Omítka se zrnem 1,5; 2,0; 2,5; 3,0 a 3,5 mm. Je paropropustná a hydrofobní, odolává mechanickému poškození a povětrnostním vlivům. Je odolná vůči UV záření, řasám, houbám a plísním. Má samočisticí schopnost a vytváří silnou vazbu s minerálním podkladem. Skládá se z polymerní disperze, draselného vodního skla, minerálních plniv a přísad zlepšujících vlastnosti (fungicidní a algicidní přísady).

4.1.5 Silikon-silikátová omítka

Omítka se zrnem 1,5; 2,0; 3,0 mm. Je paropropustná a hydrofobní, s dobrou mechanickou odolností. Je odolná vůči houbám, řasám a mechům. Skládá se ze směsného pojiva polymerní silikonové disperze a draselného vodního skla, minerálních plniv a přísad zlepšujících vlastnosti. [12]

4.2 Rozdělení omítek podle struktury

4.2.1 Zatíraná omítka

Struktura je po nanesení rovnoměrná (zrno vedle zrna). Velikost zrna může být 1,0; 1,5; 2,0 a 2,5 mm.

4.2.2 Rýhovaná omítka

Struktura je po nanesení rýhovaná. Rýha může být vytvořena vodorovně, svisle nebo točená dle tahu hladítka. Velikost zrna může být 2,0 a 3,0 mm. [7]

4.2.3 Mramorová (mozaiková) omítka

Struktura omítky je hladká. Využívá se směsi více barev zrn a tím dochází k mramorování. Velikost zrna od 0,6 do 1,8 mm.



Obr. č. 2 Struktury omítek [7]

5 Vlastnosti omítek pro ETICS

Obecně u omítek rozlišujeme vlastnosti u čerstvé a zatvrdlé formy omítky. U čerstvě namíchané směsi pozorujeme hlavně konzistenci, resp. zpracovatelnost a plasticitu pro dostatečnou dobu možné aplikace na konstrukci. Dále sledujeme přílnavost omítky v čerstvém stavu ke zdivu. Na omítkové systémy jsou kladeny určité požadavky na mechanické vlastnosti, je u nich podstatné, aby plnily funkci dostatečné přídržnosti k podkladu. Musí splňovat požadavky na propustnost vodní páry a u exteriérových omítek minimální absorpci vody. U tepelně-izolačních omítek se sleduje i součinitel tepelné vodivosti.

5.1 Paropropustnost omítek

V konstrukci dochází k difúzi vodní páry za předpokladu, že konstrukce odděluje dvě prostředí s různými tlaky vodní páry. V důsledku toho dochází k pohybu vlhkosti podle zákona difúze, a to od místa s větším tlakem k místu s nižším tlakem vodní páry. Pro zjištění paropropustnost se používá faktor difuzního odporu μ [-], která udává kolikrát je příslušný materiál méně propustný pro vodní páru než pro vzduch. Další veličinou je ekvivalentní difúzní tloušťka vrstvy s_d , která udává, jaká by měla být tloušťka vzduchové vrstvy, aby měla stejný difúzní odpor jako vrstva zjišťovaného materiálu. [11]

Nejlepší paropropustnost mají minerální a silikon-silikátové omítky.

5.2 Nasákavost omítek

Vlhkost má vliv na zvyšování hodnoty součinitele tepelné vodivosti λ . Ten roste s přibývajícím vlhkostí a tím zhoršuje tepelně – izolační vlastnosti materiálu. Dále jsou zhoršeny mechanické vlastnosti, kdy může docházet k nabývání objemu zmrzlé vody v omítce a jejímu následnému popraskání. Je tedy vhodné, aby omítka nenasakovala vodu.

Nejmenší nasákavost mají silikonové a silikon-silikátové omítky.

5.3 Schopnost samočištění omítek

Je to vlastnost omítky zbavovat se nečistot přirozeným způsobem, například při zvlhčení povrchu deštěm.

K samočištění dochází také tehdy, pokud omítka obsahuje oxid titaničitý TiO_2 . Při využití tohoto oxidu dochází k fotokatalytické mineralizaci, při níž dojde po dopadu slunečního záření postupně k přeměně organických sloučenin na konečné anorganické produkty a to CO_2 , vodu a minerální kyseliny. Díky tomuto procesu jsou plochy s přídavkem TiO_2 samosterilizující a především ekologické. [13]

5.4 Odolnost proti mikroorganismům

Důležitý parametr z hlediska hygienického, vizuálního, ale i z důvodu životnosti. Omítka by měla odolávat mechům, řasám, houbám a plísním. Dosáhneme toho s použitím fungicidních přísad při míchání.

Nejlepší odolnost proti mikroorganismům mají omítky silikátové.

5.5 Vlastnosti omítek u ETICS

Podle dokumentu ETAG004, který řeší požadavky na vnější kontaktní tepelně izolační systémy, jsou testovány tyto vlastnosti:

- kapilární nasákavost;
- vodotěsnost;
- odolnost proti rázu a perfotest;
- propustnost vodních par;
- soudržnost s podkladem;
- posuv celé konstrukce;
- zatížení větrem;
- tepelný odpor;
- zkouška pásu tahem (určuje náchylnost omítky k tvoření trhlin). [40]

Tab. č. 1 Přehled vlastností vybraných lehčených minerálních omítek na českém trhu [11] [12] [14] [15] [16]
[17] [18] [19] [20] [21]

Druh omítky	Pevnost v tlaku	Pevnost v tahu za ohybu	Přidržitost k betonu	Kapilární absorpce vody	Objemová hmotnost	Faktor difúzního odporu	Reakce na oheň	Součinitel tepelné vodivosti
	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[kg/(m ² ·min ^{0,5})]	[kg/m ³]	[-]	[třída]	[W/(m·K)]
KVK rýhovaná omítka 0712 - 0713 KO	1,5 - 5		>0,18	0,2	1250	10	A1	0,47
KVK zatíraná omítka 0721 - 0723 KO	1,5 - 5		>0,18	0,4	1450	14	A1	0,47
Capatect MK Reibputz	2,7	1,3		0,1	1600	17		
Capatect Reibputz Plus	3	1,5			1700	15		
Ceresit CT 35			>0,25		1400 - 1500	<30		0,54
Faser Sockelputz 623			>0,6		1200 - 1400	20	A1	
Cemix rýhovaná omítka 058	6		>0,3	0,2	1350 - 1550	20	A1	0,57
Cemix rýhovaná omítka 048	6		>0,3	>0,2	1550 - 1750	20	A1	0,74
Baumit Duo Top			>0,3		1800	125		0,70
Baumit Granopor Top			>0,3		1800	110 - 140		0,70
Baumit Nanopor Top			>0,3		1800	20 - 30		0,70
Baumit Style Top			>0,3		1800	110 - 140		0,70
Knauf Kbelorit Struktural	2,5		>0,2			<25		
BASF Prince Color MRP			>0,7		1780	11	A1	0,45
BASF Prince Color MSP			>0,7		1650	<15	A1	0,61
Rasakoll Minerale	8,5	3,5	>0,9	<0,2	1300	<20	A1	0,44
Silox 100; 120; 150; 180	>0,3		>1,2	0,15	1800		C	0,46
StoMiral K	3,2	1,9		0,2	1400	<20	A1	0,83
STOMIX Betadekor SD			>0,95	0,2		45	A1	0,70
STOMIX Betadekor SF			>0,95	0,2		45	A1	0,70

Pozn.: hodnoty, které nejsou v tabulce uvedeny, výrobce neuvádí

6 Výzkum v oblasti modifikace složení omítek

6.1 Částečná náhrada písku polyuretanovou pěnou

Ve studii Gadea, Rodríguez, Cempose, Garabita a Caldróna byla řešena problematika využití tuhého odpadu z polyuretanové pěny k výrobě lehčených malt. Byl nahrazen křemičitý písek odpadem z tuhé polyuretanové pěny. Omítkovou směs tvořil cement smíchaný s různým množstvím polyuretanu, kameniva a vody. Tuhá polyuretanová pěna se mlela na frakci pod 4 mm. Polyuretanová pěna nahrazovala písek v objemu 25, 50, 75 a 100 %, což je viditelné v tabulce. Omítka s přídavkem PUR pěny měla nižší objemovou hmotnost a mechanické vlastnosti, ale zároveň vyšší propustnost, tepelný odpor a množství vzduchu.

Bylo vyhodnoceno, že je možné použít tyto omítky jako lehčené omítkové směsi s využitím průmyslových odpadních materiálů. [22]

Tab. č. 2 Dávkování surovin a výsledné parametry omítky vyrobené z PUR pěny [22]

Receptura	Objem pěny nahrazující písek	w/c	Množství surovin na m ³				Objemová hmotnost	Množství vzduchu
			Cement	Voda	Písek	PUR Pěna		
			[kg]				[kg/m ³]	[%]
I-0	0	0,82	436,2	357,8	1310	0	2104	4,8
I-25	25	0,74	506,6	374,7	1141	3,7	2026	5,1
I-50	50	0,68	598,3	406,7	898,4	8,6	1912	7,6
I-75	75	0,64	733,3	469,3	550,5	15,9	1769	9,0
I-100	100	0,62	910,7	561,9	0	26,4	1499	13,0
II-0	0	0,75	443,7	332,8	1332,5	0	2109	3,5
II-25	25	0,72	508,0	367,0	1136,4	3,6	2015	4,2
II-50	50	0,70	571,8	400,4	858,6	8,2	1839	6,6
II-75	75	0,67	725,1	485,8	544,4	15,7	1771	8,1
II-100	100	0,61	677,3	413,2	0	19,5	1110	11,9



Obr. č. 3 Polyuretanová pěna [22]

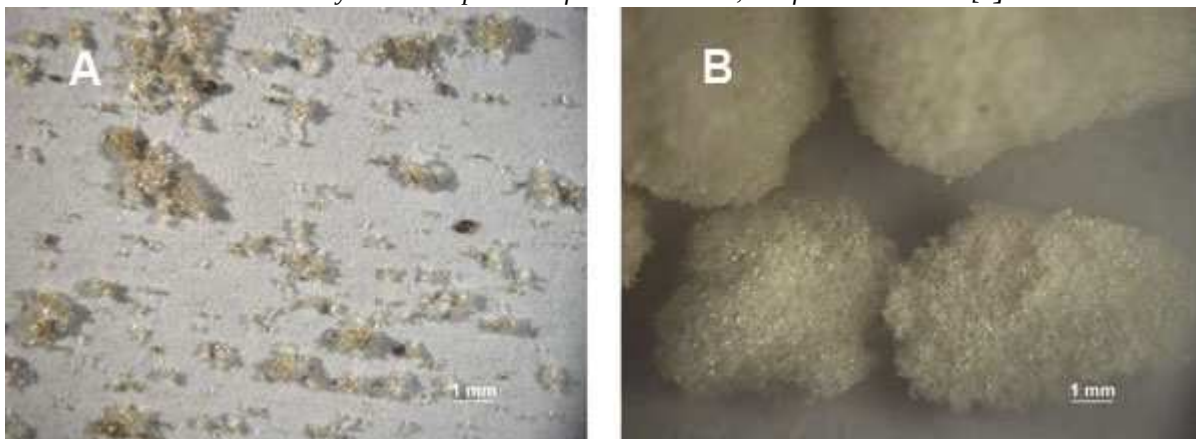
6.2 Úplná náhrada plniva polyuretanovou pěnou

Výzkum Václavíka a Daxnera byl zaměřen na využití PUR pěny jako druhotné suroviny do malt na omítání a do lehkých betonových směsí. Byla použita polyuretanová pěna objemové hmotnosti $60 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$. Vstupním materiálem byla polyuretanová drť ve frakcích 0/1 mm a 0/4 mm, jak je vidět na obrázku. Byly pozorovány dvě směsi, lišící se zrnitostí drtě. Receptura 1 obsahovala zrna s maximální velikostí 1 mm a druhá směs maximálně 4 mm. Bylo provedeno pozorování pomocí UV záření, kdy bylo zjištěno, že drť je v zatvrdlé směsi rozdělena rovnoměrně, nedocházelo k vytváření shluků. [9]

Tab. č. 3 Fyzikálně mechanické vlastnosti tepelně izolační omítky z PUR pěny [9]

Parametr	Jednotka	Naměřená hodnota
Objemová hmotnost zatvrdlé malty	$[\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}]$	350
Zrnitost	[mm]	1/4
Pevnost v tlaku	[MPa]	1
Přidržnost malty k podkladu	[MPa]	0,05
Faktor difuze vodních par	[-]	5,5
Spotřeba záměsové vody	$[\text{l}/\text{kg}_{\text{směsi}}]$	0,5 - 0,8
Součinitel tepelné vodivosti	$[\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})]$	0,06
Reakce na oheň	[-]	B
Pórovitost	[%]	65 - 70
Součinitel kapilární absorpce vody v hydrofobizované maltě	$[\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{min}^{0,5})]$	0,4

Obr. č. 4 Polyuretanová pěna A – frakce 0 – 1 mm, B – frakce 0 – 4 mm [9]



6.3 Náhrada cementu metakaolinem

V projektu řešeném Zachem, Helou, Hroudovou a Sedlmajerem se zkoumala omítková směs složená z expandovaného obsidiánu, vápenného hydrátu a metakaolinu nebo jemně mletého elektrárenského popílku. Použitím metakaolinu a popílku došlo k výraznému zlepšení mechanických vlastností při zachování velmi dobrých tepelně izolačních vlastností. V následujících tabulkách jsou výsledné hodnoty fyzikálně mechanických vlastností a dávkování surovin v jednotlivých poměrech. Jako optimální se jevila receptura č. 3, kde byl použit metakaolin a popílek v poměru 75:25. [23]

Tab. č. 4 Dávkování surovin do omítky s metakaolinem (množství na 1 m³) [23]

Receptura	Lehké kamenivo na bázi obsidiánu	Vápenný hydrát	Cement	Metakaolin	Popílek	Metycelulóza	Provozdušovací přířada (Tylovis)	Voda
	[kg]							
1	97,4	150	-	-	50	0,9	0,75	373
2	97,4	150	-	12,5	37,5	0,9	0,75	353
3	97,4	150	-	37,5	12,5	0,9	0,75	360
4	97,4	150	-	50	-	0,9	0,75	425
5	97,4	150	-	25	25	0,9	0,75	375
6	97,4	150	50	-	-	0,9	0,75	330

Tab. č. 5 Fyzikálně mechanické vlastnosti omítky s metakaolinem [23]

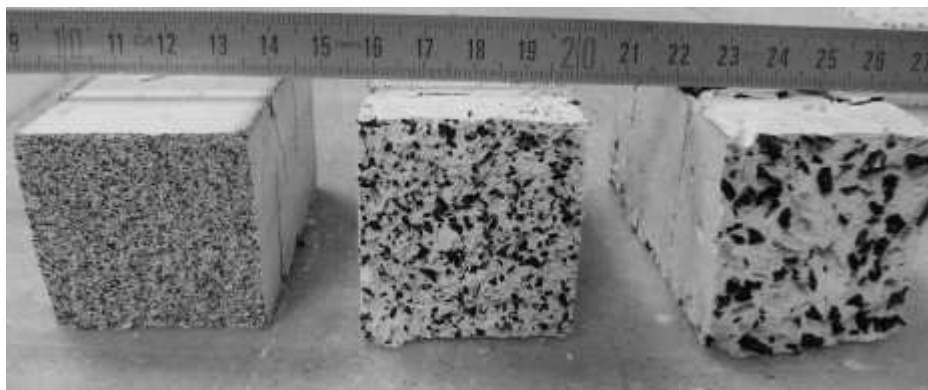
Receptura	Objemová hmotnost *	Součinitel tepelné vodivosti *	Pevnost v tahu za ohybu	Pevnost v tlaku	Koeficient kapilární absorpce
	[kg/m ³]	[W/(m·K)]	[MPa]	[MPa]	[kg/m ²]
1	427	0,09	0,54	0,94	26,05
2	391	0,08	0,47	0,85	29,55
3	358	0,08	0,52	1,1	30,68
4	369	0,09	0,34	0,8	19,05
5	334	0,08	0,24	0,56	23,90
6	406	0,09	0,31	0,37	31,15

Pozn.: * hodnoty ve vysušeném stavu

6.4 Omítka s granulovanou gumou z pneumatik

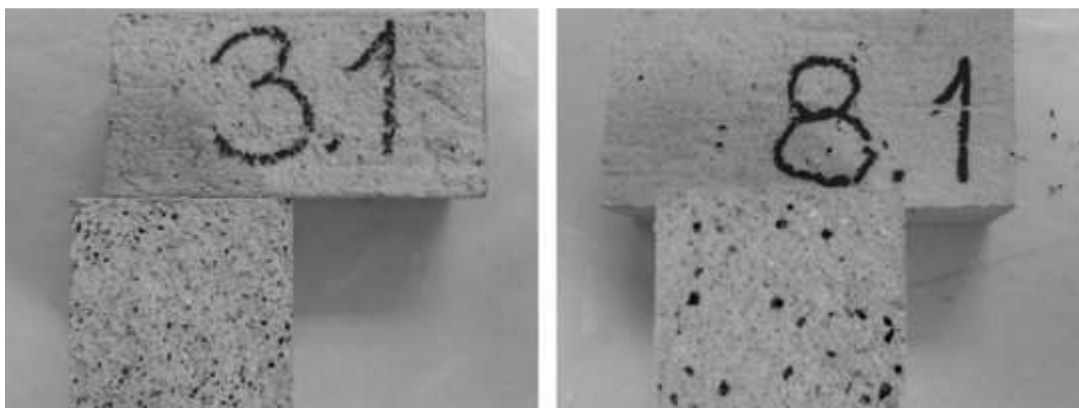
Práce Herrera, Mayora a Hernández-Olivarese řeší využití starých pneumatik, které jsou nadrceny na různé frakce (0 – 0,6 mm; 0,5 – 2,5 mm; 2,5 – 4 mm) do sádrové omítky. Na obrázku níže jsou tři tělesa s těmito třemi frakcemi granulátu. Cílem bylo zužitkovat opotřebované pneumatiky, podrtit je na granulovaný prášek a využít jeho elastických vlastností, nízké objemové hmotnosti a chemické stability.

Kvůli přídavku gumy se snižují pevnosti v tlaku a v tahu za ohybu oproti referenční záměsi. Objemová hmotnost se snížila, nejmenší objemovou hmotnost měla receptura s nejjemnějšími částicemi. Přídavek gumy zajistil zlepšení tepelně izolačních vlastností omítky, nejmenší frakce měla nejnižší koeficient tepelné vodivosti. Guma jako elastický materiál má akustickou izolační schopnost, tlumí vibrace. Optimální recepturou byla stanovena ta, která obsahovala 30 nebo 40 % gumy, představovala nejlepší vztah mezi objemovou hmotností, pevnostmi, tepelným a akustickým chováním. [24]



Obr. č. 5 Sada zkušebních vzorků s přidavkem gumového granulátu [24]

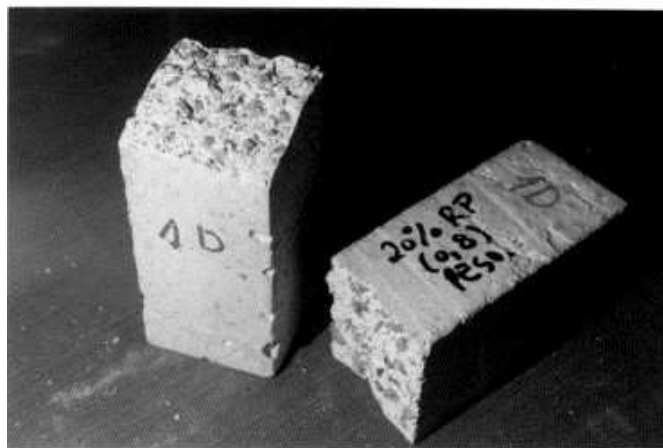
Ve studii Serny, Del Ría, Paloma a Gonzálese byl do sádrové omítky přimísen granulát o velikosti gumových částic 0 – 1 mm, 1 – 2 mm, 2 – 4 mm. Byly zjištěny stejné parametry jako u předchozího výzkumu. Bylo obtížné dosáhnout rovnoměrného rozložení gumových částic v celém objemu směsi, navíc je obtížné zajistit, aby u povrchu nebyly černé částice gumy. [25]



Obr. č. 6 Sada zkušebních vzorků s přidavkem gumového granulátu [25]

6.5 Omítka s přidavkem korku

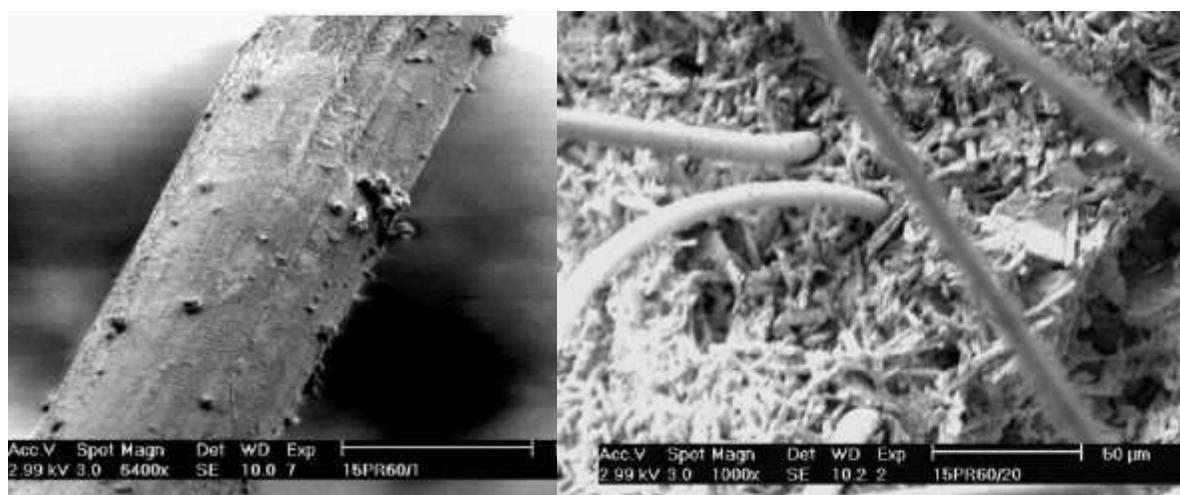
Výzkum Hernández-Olivasese, Bollatiho, Del Ría a Parge-Landy se zabýval omítkovými kompozity s drceným korkem. Byla zjištěna dobrá interakce mezi sádrovou maticí a korkovými granulemi. Po přidavku korku se sníží objemová hmotnost, zlepší se akustický absorpční koeficient a tepelná vodivost vzorku. Pro zvýšení pevností byla do receptury dodána krátká skleněná vlákna. Toho bylo docíleno, ale bylo obtížné zabránit shlukování vláken. [27]



Obr. č. 7 Korková omítka [27]

6.6 Omítka s přidavkem polyamidových vláken

Při zkoumání Eva, Gomina, Gmouha, Samdiho, Moussy a Orange byl zkoušen různý objem polyamidových vláken s průměry 15 a 40 μm a délce 1; 2; 6 a 12 mm se sádrovou matricí. Na obrázcích je patrná struktura sádky a z ní vyčnívající polyamidová vlákna.



Obr. č. 8 Struktura sádrové matrice a polyamidových vláken [26]

Přítomnost vláken však zamezila hydrataci zrn sádky nacházející se v blízkosti vláken. To mělo za následek špatnou soudržnost mezi matricí a vláknem a došlo k snížení modulů pružnosti a pevností. Velký vliv na vlastnosti vzorku měl také průměr a délka vlákna. [26]

6.7 Omítka z expandovaného perlitu

Cílem studie Topca a Isikdaga bylo zjištění účinků perlitu na mechanické vlastnosti a tepelné vodivosti. Ve směsích bylo částečně nahrazeno přírodní kamenivo expandovaným perlitem. V tabulkách je patrné dávkování surovin a výsledné fyzikálně mechanické vlastnosti. Perlit má porézní strukturu, nasákavost expandovaného perlitu je až 300 % a vykazuje pucolánovou aktivitu.

V experimentální části bylo testováno šest směsí s různým poměrem modifikované složky. Protože by mohl perlit kvůli porézní struktuře nasávat vodu a nedošlo by k dokonalé hydrataci cementu, bylo nutné ho namočit na 30 min do vody, aby mohl absorbovat vodu.

Tab. č. 6 Dávkování surovin do omítky

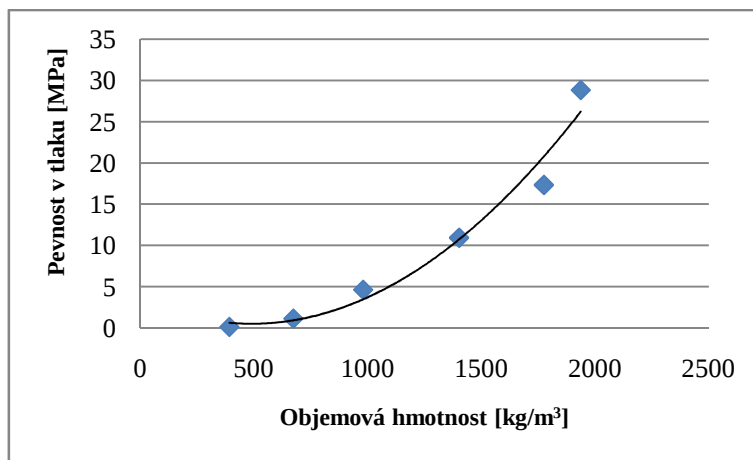
Množství surovin na 1 m ³	0	20	40	60	80	100
Cement [kg]	317	337	326	301	297	295
Vody [kg]	175	185	179	166	163	162
Vodní součinitel [-]	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55
Přírodní písek 0-4 mm [kg]	1517	1288	937	581	286	0
Expandovaný perlit 2-4 mm [kg]	0	17	33	47	61	76
Superplastifikátor [kg]	4,8	5,1	1,5	0	0	0
Provzdušňující příměsi [kg]	1	1	1	0,9	0,9	0,9

Tab. č. 7 Fyzikálně mechanické vlastnosti omítek

Množství perlitu [%]	0	20	40	60	80	100
Pevnost v tlaku [MPa]	28,8	17,3	10,9	4,6	1,1	0,1
Modul pružnosti [GPa]	19,5	12,8	9,4	3,3	-	-
Součinitel tepelné vodivosti na vysušených vzorcích [W/(m·K)]	0,60	0,57	0,53	0,35	0,21	0,13
Nasákavost [%]	6,40	9,80	13,30	19,80	33,90	79,30
Objemová hmotnost suché omítky [kg/m³]	1833	1677	1316	909	613	354
Objemová hmotnost čerstvé směsi [kg/m³]	2015	1870	1549	1196	939	696

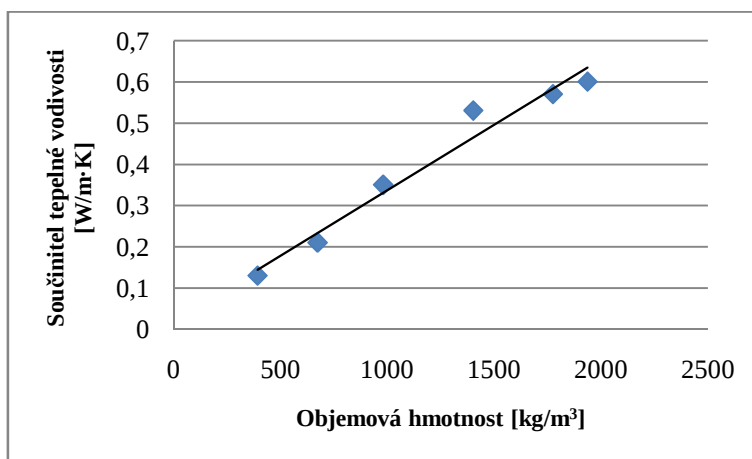
U receptur došlo ke snížení objemových hmotností, pevností, snížení koeficientu tepelné vodivosti. Bylo dosaženo minimální objemové hmotnosti ve vysušeném stavu 354

kg/m^3 . Došlo podle předpokladu ke zvýšení koeficientu absorpce vody. 30 % perlitu bylo zvoleno jako optimální množství při zhodnocení všech požadovaných parametrů.



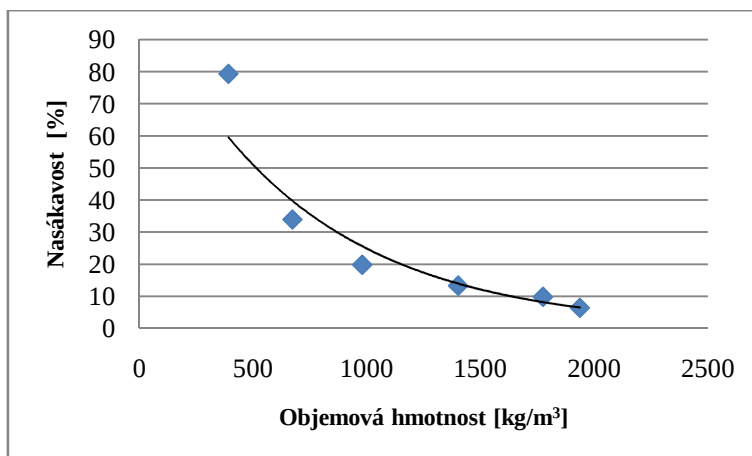
Obr. č. 9 Závislost pevnosti v tlaku na objemové hmotnosti [28]

Při stanovení pevnosti v tlaku bylo zjištěno, že s přibývajícím poměrem perlitu ve směsi se snižovaly pevnosti v tlaku exponenciálně, jak je patrné z grafu. Např. u směsi s 20 % expandovaného perlitu byla pevnost nižší přibližně o 40 % než u referenční záměsi. Bylo to způsobeno vyšším množstvím vody, potřebným k absorpci do struktury perlitu a také nižší pevností perlitu oproti původnímu kamenivu.



Obr. č. 10 Závislost součinitele tepelné vodivosti na objemové hmotnosti [28]

U stanovení tepelných vodivostí došlo podle předpokladu k snižování součinitele tepelné vodivosti se snižující se objemovou hmotností směsi. Pórovitost je jedním z faktorů, které ovlivňují tepelnou vodivost, a to vzhledem k nízké tepelné vodivosti vzduchu.



Obr. č. 11 Závislost nasákavosti na objemové hmotnosti [28]

Jak je zřejmé z grafu, tak absorpce vody ve směsi, obsahující 80 % expandovaného perlitu je více než dvakrát vyšší v porovnání s přidavkem 40 % perlitu. Při modifikaci písku perlitem se zvýšila i poréznost malty a tím došlo ke zvýšení absorpce vody. Vzhledem k tomu, že absorpce má vliv na životnost konstrukce, protože většina agresivních látek je přepravována do omítky vodou, jsou nutná určitá opatření, jakým je dodatečný nátěr povrchu nebo hydrofobizační přísada. [28] [30]

6.8 Omítka s expandovaným vermikulitem a polypropylenovými vlákny

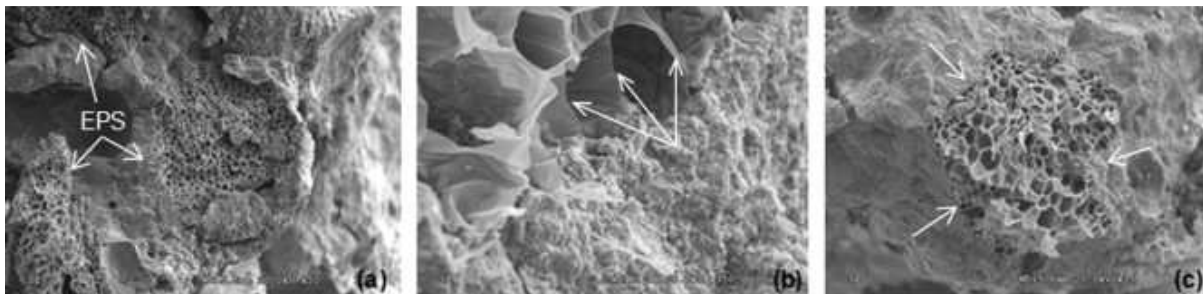
V tomto výzkumu Gancela, Del Coz Diaze, Sutcua, Koksala, Alvareze-Rabanala, Martineze-Barrera a Brostowa bylo přidáno k sádře lehké kamenivo vermikulit a kvůli zvýšení mechanických vlastností polypropylenová vlákna. Vermikulit byl dodán v poměru 10 a 20 % a polypropylenová vlákna s průměrem 22 μm a délkou 12 mm.

Vermikulit ve směsi snižoval pevnost, zatímco PP vlákna je zvyšovala. Tepelná vodivost se snižovala se zvyšujícím se obsahem vermikulitu. [29]

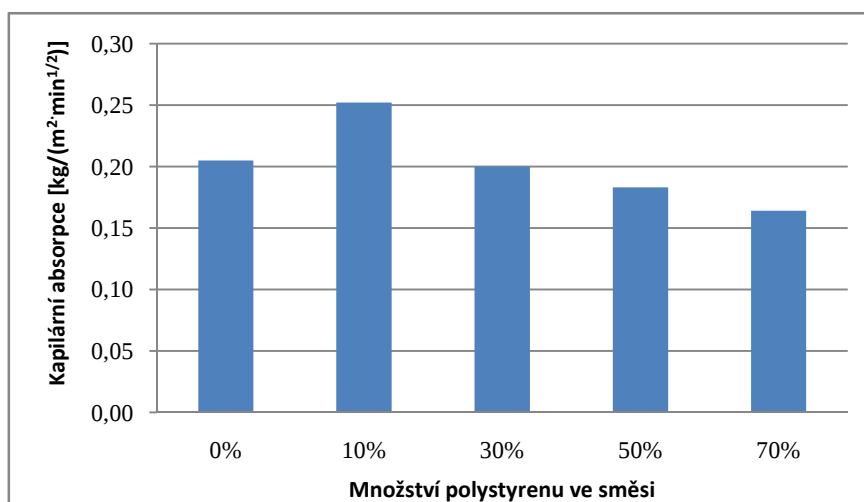
6.9 Omítka s pěnovým polystyrenem

Pro tuto studii, kterou se zabývali Ferrándiz-Masa García-Alcocel, byl použit Portlandský cement CEM I 52,5R, křemičitý písek, voda, stabilizační přísada, plastifikační

přísada a provzdušňovací přísada. Polystyren byl ve třech formách, jako komerční pěnový polystyren, pre-pěnový polystyren a recyklovaný polystyren. Byl dávkován v 0; 10; 30; 50; 70 %. Na obrázcích je viditelná otevřená struktura pěnového polystyrenu.



Obr. č. 12 Struktura zobrazená v elektronovém mikroskopu [31]



Obr. č. 13 Vliv kapilární absorpce na množství polystyrenu [31]

Na základě stanovení kapilární absorpce bylo zjištěno, že přítomnost polystyrenu zlepšuje vlastnosti omítky z hlediska nasákavosti. Polystyren zlepšuje tepelné vlastnosti systému. Omítky s polystyrenem zlepšují trvanlivost po zmrazovacích cyklech, protože pěnový polystyren absorbuje tlak při zvětšování objemu ledu ve struktuře a nedojde tedy k potrhání povrchu omítky. [31]

II. Experimentální část

7 Metodika práce

Výzkum byl prováděn ve spolupráci se společností STOMIX. Experimentální část diplomové práce byla členěna do několika etap. Nejprve byly na základě zjištěných informací a poznatků z dostupných zdrojů vybrány jednak výchozí a dále také alternativní suroviny pro modifikaci složení omítky. Jako výchozí referenční omítková směs byla vybrána omítka BETADEKOR SF.

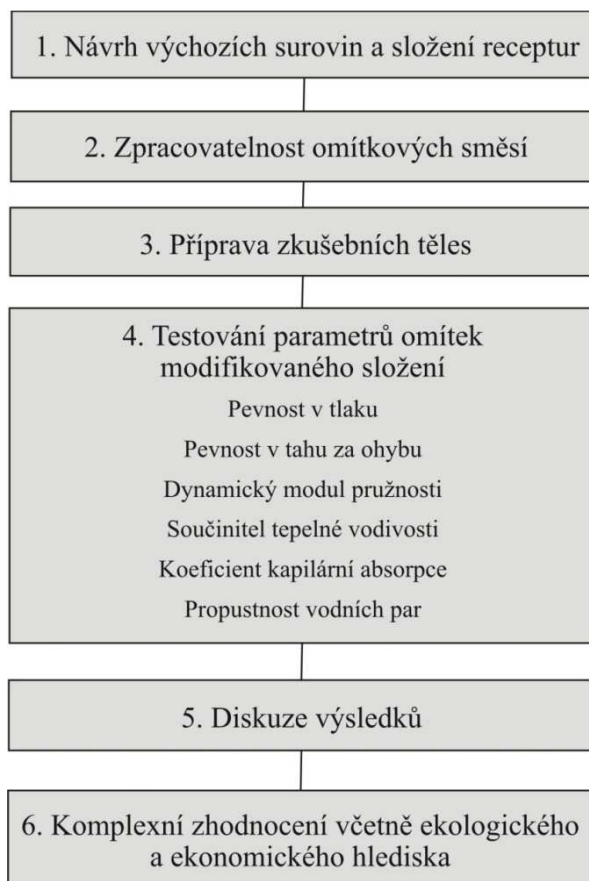
Referenční receptura obsahovala základní složky – pojivo M12, příměs Omyacarb a plnivo Carolith frakce 0 – 0,2; 0,2 – 0,5 a 0,5 – 1 mm. Alternativními surovinami byl Celite 385, Celite 209, Vapex frakce 0 – 1 mm, recyklované zářivkové sklo a křemičitý písek Sand PR 32. V receptuře byl modifikován Carolith frakce 0 – 0,2 za jednu z alternativních surovin (Celite 385 a 209, Vapex, zářivkové sklo) v množství 1, 2, 3 a 5 %. Dále byl ve všech recepturách částečně substituován Carolith frakce 0,2 – 0,5 mm křemičitým pískem Sand PR 32.

Dále bylo třeba se soustředit na zpracovatelnost omítky, která je velmi podstatná s ohledem na dostatečnou dobu pro aplikaci, bezproblémové nanesení na podklad, dosažení požadované struktury a dále také na fyzikálně-mechanické parametry. Bylo tedy provedeno stanovení konzistence referenční receptury a při provádění zkoušek konzistence u modifikovaných receptur byla optimalizována dávka vody tak, aby byla dosažena požadovaná konzistence. Pro zjištění změny konzistence v závislosti na čase od namíchání jednotlivých složek byla sledována i hodnota rozlití po 90 minutách. Ve třetí fázi byla zhotovena zkušební tělesa pro následující testy a stanovení:

- objemová hmotnost v čerstvém a zatvrdlém stavu;
- pevnost v tahu ohybem a v tlaku;
- dynamický modul pružnosti;
- koeficient kapilární absorpce vody;
- součinitel tepelné vodivosti;
- faktor difuzního odporu;

- vizuální hodnocení struktury povrchu a případných trhlin.

Následovalo vyhodnocení výsledků včetně porovnání závislostí jednotlivých parametrů.



Obr. č. 13 Metodika práce

8 Použité suroviny

8.1 Výchozí suroviny

8.1.1 Carolith

Je to mramorová drť v různých frakcích. Jedná se o modifikaci CaCO_3 v krystalické formě, obsahující více než 95 % kalcitu. Mramor vzniká rekrystalizací vápenců vlivem vysokého tlaku a teploty v zemské kůře. Používá se pro výrobu teracové dlažby, schodišťových desek, hřbitovních prvků, litého teraca. [13]

8.1.2 Omyacarb

Jedná se o čistě bílou mramorovou moučku získanou při drcení, mletí a třídění krystalického vápence. Mramorový prach se používá jako brusivo v brusných pastách, plnidlo při výrobě lesklého papíru (tzv. křídový papír), na výrobu umělého mramoru a keramiky, přidává se do barev a tmelů a používá se ve stavebnictví. [13]

8.1.3 Sand PR 32

Jedná se o velmi jemný křemičitý písek, používaný jako přísada do malt a omítek. Je jemný a po vyschnutí má velkou tvrdost a soudržnost. [13]

8.1.4 Koncentrát M12

Jedná se o pojivovou složku na silikátové bázi.

8.2 Alternativní suroviny

8.2.1 Vapex - expandovaný hydrofobizovaný perlit

Perlitem nazýváme kyselé vulkanické ryolitické sklo, které je složeno z amorfního křemičitanu hlinitého sopečného původu. Textura připomínající perličky, vznikla vnitřním pnutím při chladnutí vulkanického skla s obsahem vázané vody 2 až 3 % (max. 5 %). Expandovaný perlit vzniká fluidním způsobem ve vzhledu po dvoustupňovém výpalu. V prvním kroku se sníží celkový obsah vody a poté dojde k roztrhání struktury zrn a expandaci.

Vhodné využití perlitu je při provádění tepelně izolačních omítek, ale i u sanačních omítek, snižujících vlhkost zdiva.

Expandovaný perlit je sklovitý, bílé barvy, velmi jemně pórovitý. Má velmi nízkou objemovou hmotnost mezi 70 až 450 kg·m⁻³, avšak vysokou nasákavost u jemných zrn až 300 % hmotnostně. Materiál Vapex je expandovaný částečně hydrofobizovaný perlit, tzn. je vodoodpudivý a používá se jako sorbent nepolárních látek a směsí polárních a nepolárních látek. [1] [2]

Z důvodu částečné hydrofobizace je nutné k němu do směsi navíc přidat 0,1 % oleátu sodného a 0,2 % stearanu zinečnatého.

8.2.2 Kalcinovaná křemelina - Celite

Křemelina (diatomit) čili rozsívková nezpevněná zemina, resp. hornina vznikla z křemičitých schránek jednobuněčných ve vodě žijících řas, zvaných rozsivky. Stěny skořápek rozsivek jsou složeny z téměř amorfni kyseliny křemičité a bývají prostoupeny mikroskopickými póry.

Jedná se o jemnozrnný, práškovitý až jílovitý sediment. Má bílou, nazelenalou, šedou nebo hnědavou barvu. Vysoce kvalitní křemelina obsahuje až 90 % SiO₂, čehož se využívá jako pucolánová přísada do maltovin. Má vysokou pórovitost a objemová hmotnost se pohybuje mezi 300 až 500 kg·m⁻³.

Obchodní křemelina Celite je nejčastěji využívána jako filtr pro potravinářství, chemický průmysl, strojírenství, farmacii a další. Do receptur byl zvolen Celite 385 a Celite 209. [2] [13]

8.2.3 Odpadní sklo ze zářivek

Křemenné sklo je velmi čistý SiO_2 ve skelném stavu, bez příměsí chemicky velmi málo stabilního sodíku a vápníku. Vyrábí se tavením v elektrické peci při teplotě nad 1610°C . Díky své vysoké odolnosti se využívá v různých chemických aparaturách, které odolávají vysokým teplotám a agresivním chemikáliím. Zářivky, vyráběné z křemenného skla, jsou nízkotlaké rtuťové výbojky, tvoří je dlouhá skleněná trubice se žhavicími elektrodami, naplněná rtuťovými parami a argonem. Trubice zářivek jsou opatřeny na vnitřní straně jednou až třemi vrstvami luminoforu. Tato látka absorbuje ultrafialové záření a sama září ve viditelné oblasti spektra. Luminofory obsahují kovy vzácných zemin, např. yttrium a europium. [13]

Zářivkové sklo bylo namleto ve vibračním mlýnu a prosáto přes síto 0,2 mm.



Obr. č. 14 Podrcené zářivkové sklo

9 Popis prováděných zkoušek u omítek

9.1 Konzistence čerstvé malty

Byla stanovena konzistence čerstvé malty s využitím střešacího stolku. Bylo postupováno podle normy ČSN EN 1015 – 3/A2 Zkušební metody pro zdivo – část 3.

Podstata zkoušky:

Hodnota rozlití se stanoví změřením průměru rozlitého zkušební vzorku čerstvé malty umístěné na předepsané desce střešacího stolku pomocí předepsaného kovového kužele po předepsaném počtu svislých pádů, při nichž se deska střešacího stolku zvedá a pak volně padá z předepsané výšky.

Postup zkoušení:

Před každou zkouškou se deska a vnitřní povrch včetně okraje kovového kužele očistí vlhkou tkaninou a otřou se do sucha. Kovový kužel se umístí do středu desky střešacího stolku a naplní se maltou ve dvou vrstvách. Každá vrstva se rozprostře nejméně 10 lehkými údery dusadla tak, aby byl kovový kužel rovnoměrně naplněn. Během plnění se kužel přitlačuje rukou k desce.

Přebytečná malta se setře pomocí špachtle a volná plocha desky se pečlivě otře, aby byla čistá a suchá, přičemž se pečlivě dbá na odstranění vody kolem spodního okraje kužele. Asi po 15 s se kužel lehce zvedne kolmo vzhůru a malta se na desce střešacího stolku rozlije 15 nárazy s frekvencí jednoho zdvihu za jednu sekundu.

Průměr koláče malty se změří ve dvou na sebe kolmých směrech pomocí vhodného měřidla. Výsledek se udává s přesností na 1 mm. [32]



Obr. č. 15 Strásací stolek na stanovení konzistence

9.2 Objemová hmotnost čerstvé malty

Byla stanovena objemová hmotnost čerstvé malty. Bylo postupováno podle normy ČSN EN 1015 – 6 Zkušební metody pro zdivo – část 6.

Podstata zkoušky:

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

Postup zkoušky:

Nádoba se plní ve dvou vrstvách, nejprve do poloviny nádoby, kde se deseti rázy z výšky kolem 3 cm zhutní dopadem na tuhou podložku. Následně se doplní celá až po okraj a zhutní se stejným způsobem. Naplněná nádoba se zváží s přesností 1 g a provede se výpočet. Výsledná průměrná hodnota je uváděna se zaokrouhlením na $10 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$.

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

ρ_m ... objemová hmotnost malty [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$]

m_2 ... hmotnost naplněné nádoby [g]

m_1 ... hmotnost nádoby [g]

V_v ... objem nádoby [l] [33]

9.3 Objemová hmotnost suché zatvrdlé malty

Byla stanovena objemová hmotnost suché zatvrdlé malty. Bylo postupováno podle normy ČSN EN 1015 – 10 Zkušební metody pro zdivo – část 10.

Podstata zkoušky:

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

Postup zkoušky:

Zkušební těleso se vysuší v sušárně do ustálené hmotnosti při $(105 \pm 5)^\circ\text{C}$ a poté se zváží a změří. Výsledná průměrná hodnota je uváděna se zaokrouhlením na $10 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$.

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

ρ ... objemová hmotnost suché zatvrdlé malty [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$]

$m_{s,dry}$... hmotnost vysušeného zkušebního vzorku [kg]

V_s ... objem zkušebního vzorku [m^3] [34]

9.4 Pevnost v tahu ohybem a v tlaku

Byly stanoveny pevnosti v tahu ohybem a v tlaku. Bylo postupováno podle normy ČSN EN 1015 – 11 Zkušební metody pro zdivo – část 11.

9.4.1 Stanovení pevnosti zatvrdlých malt v tahu ohybem

Podstata zkoušky:

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

Postup zkoušky:

Zkouší se na třech normových kvádrech o rozměrech 40 x 40 x 160 mm po 28 dnech od zhotovení. Kvádr se uloží do lisu na dva podpěrné válečky s roztečí $(100 \pm 0,5)$ mm. Kvádr se umísťuje do lisu kolmo ke směru, na který byl hutněn a je konstantně zatěžován dalším válečkem. Výsledná hodnota se u jednotlivých zkušebních těles zaokrouhluje na 0,05 MPa. Konečný průměrný výsledek je uváděn se zaokrouhlením na 0,1 MPa.

$$f = 1,5 \frac{F \cdot l}{b \cdot d^2}$$

f ... pevnost v tahu za ohybu [MPa]

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

b ... šířka zkušební tělesa [mm]

l ... vzdálenost os podpěrných válců [mm]

d ... výška zkušební tělesa [mm]

9.4.2 Stanovení pevnosti zatvrdlých malt v tlaku

Postup zkoušky:

Pro zkoušení pevnosti v tlaku se použijí dva zlomky kvádrů ze stanovení pevnosti v tahu ohybem. Kolmo ke směru zhutnění se kvádr vloží do lisovacího zařízení. Poté je konstantně zatěžován. Dílčí hodnoty se zaokrouhlí na 0,05 MPa. Konečný průměrný výsledek je uváděn se zaokrouhlením na 0,1 MPa. [35]

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

f_c ... pevnost v tlaku [MPa]

F_c ... maximální dosažené zatížení [N]

A ... plocha tlačných desek [mm²]

9.5 Koeficient kapilární absorpce vody

Byl stanoven koeficient kapilární absorpce vody. Bylo postupováno podle normy ČSN EN 1015 – 18 Zkušební metody pro zdivo – část 18.

Podstata zkoušky:

U trámečků se po vysušení do stálé hmotnosti jedna plocha zkušebního tělesa ponoří do hloubky 5 až 10 mm na určenou dobu a stanovuje se zvyšování hmotnosti po 10 minutách a po 90 minutách.

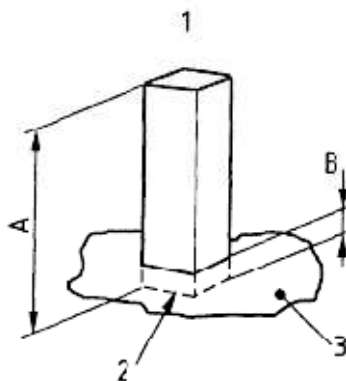
Postup zkoušky:

Zkušební trámce 40 x 40 x 160 mm jsou vhodně uložena při relativní vlhkosti vzduchu $(65 \pm 5) \%$ po dobu 21 dnů. Poté se vysuší do ustálené hmotnosti. Čtyři podélné strany se opatří těsnící hmotou a zkušební tělesa se pak rozlomí na dvě poloviny. Tělesa se umístí do misky s výškou hladiny 5 mm až 10 mm lomovou plochou dolů. Mezi dno a zkušební těleso se vloží podložky. Po celou dobu se udržuje stálá hladina vody a pustí se stopky.

Po 10 minutách se tělesa vyjmou z vody, rychle se otřou vlhkou tkaninou, zváží se (M_1) a ihned se vloží zpět do misky. Stejný postup se provede po 90 minutách (M_2).

Podle vzorce se vypočítá hodnota kapilární absorpce C v $\text{kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{min}^{-0,5}$ [36]

$$C = 0,1 \cdot (M_2 - M_1)$$



Obr. č. 16 Náskres uložení vzorku do zkušební misky [36]

1 ... zkušební těleso

3 ... hladina vody

2 ... lomová plocha trámečku

B ... ponoření 5 – 10 mm



Obr. č. 17 Zachycení průběhu zkoušky kapilární absorpce

9.6 Propustnost vodních par

Byla stanovena propustnost vodních par zatvrdlými maltami pro vnitřní a vnější omítky. Bylo postupováno podle normy ČSN EN 1015 – 19 Zkušební metody pro zdivo – část 19.

Podstata zkoušky:

Zkušební tělesa se přitmelí k otevřenému ústí kruhových misek, v nichž se udržuje konstantní tlak vodních par pomocí nasyceného roztoku solí. Miska se umístí do prostoru s kontrolovanou teplotou a konstantním tlakem vodní páry. Rychlost přenosu vlhkosti se stanoví podle změny hmotnosti misek.

Postup zkoušky:

Zkušební tělesa se připraví z malty nanesené na podložku z pórobetonu, na kterou se před přípravou položí dvě vrstvy bavlněné tkaniny. Připraví se pět zkušebních těles. Po stanovené době se zkušební tělesa oddělí od podložky a uloží se po dobu zbývajících 28 dnů. Pak se vyříznou kruhová tělesa na průměr vhodný pro rozměry zkušebních misek. Vzorky se přitmelí tmelícím prostředkem. Pro rozsah hygroskopicity se tlak vodních par v nádobce vytvoří použitím nasyceného roztoku dusičnanu draselného. Vždy musí být mezi vzorkem a povrchem roztoku vzduchová vrstva.

Zkušební misky se po časových intervalech váží. Z grafu pro každý rozsah hygroskopicity se určí tok vodní páry ($\Delta G/\Delta t$) a vypočítá se průnik páry Λ v $\text{kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{Pa}^{-1}$.



Obr. č. 18 Vzorky uložené v miskách na stanovení propustnosti vodních par

$$\Lambda = \frac{1}{A \cdot \frac{\Delta p}{\Delta G} - R_A}$$

A ... plocha otevřeného ústí zkušební misky

Δ_p ... rozdíl tlaku vodní páry mezi okolním vzduchem a roztokem soli

Δ_G/Δ_t ... tok vodní páry

Λ ... průnik vodní páry

R_A ... odpor vodní páry vzduchové vrstvy mezi zkušebním tělesem a roztokem soli [37]

9.7 Dynamický modul pružnosti

Byl stanoven dynamický modul pružnosti zatvrdlých malt. Bylo postupováno podle normy ČSN 73 1371 Nedestruktivní zkoušení betonu – Ultrazvuková impulzová metoda zkoušení betonu.

Podstata zkoušky:

Zkouší se modul pružnosti omítky pomocí zjištění rychlosti šíření impulsu ultrazvukových podélných vln. Jsou odvozeny vztahy mezi rychlostí šíření vln a fyzikálně-mechanickými vlastnostmi omítek. Je nutné uplatnit korelační koeficient, protože norma je zaměřena na vzorky z betonu nebo lehčeného betonu.

Postup zkoušky:

Nejdříve se na vzorek nanese vazelína, která zajistí dostatečné akustické spojení se sondami – budičem a snímačem. Ty jsou umístěny na protilehlých stranách, tzn., dochází k přímému prozvučování. Stanoví se doba průchodu ultrazvukových vln, dopočítá se rychlost šíření vln a poté dynamický modul pružnosti omítek v MPa. [38]

$$v = \frac{l}{t}$$

$$E_{CU} = D \cdot v^2 \cdot (1 + \vartheta) \cdot \frac{(1 - 2\vartheta)}{(1 - \vartheta)}$$

l ... délka měřicí základny

t ... čas šíření ultrazvukové vlny

E_{CU} ... dynamický modul pružnosti

D ... objemová hmotnost

v ... impulzová rychlost podélného UZ vlnění

ϑ ... Poissonův součinitel

9.8 Součinitel tepelné vodivosti

Byl stanoven součinitel tepelné vodivosti. Bylo postupováno podle normy ČSN EN 993-14 Stanovení součinitele tepelné vodivosti metodou topného drátu (paralelní uspořádání).

Podstata zkoušky:

Měření součinitele se provádí pomocí soustavy, složené ze zkušební sondy a zkušebního vzorku. Po přiložení sondy na vzorek a po vytemperování je zjištěn součinitel tepelné vodivosti.

Postup zkoušky:

Vzorek se nejdříve nechá vytemperovat na teplotu laboratoře. Poté je na něj položena sonda, ve které se nachází topný drát. Výsledek zkoušky se objeví na displeji přístroje. Je nutné provádět měření u jednoho vzorku min. třikrát. Mezi jednotlivými měřeními je alespoň pěti-minutová přestávka. Zkouška byla provedena na přístroji Shotherm QTM-P. [39]



Obr. č. 19 Zkušební zařízení na měření součinitele tepelné vodivosti

10 Návrh receptur

V recepturách částečně nahradilo plnivo Carolith 0 – 0,2 mm zářivkové sklo, Celite 385, Vapex a Celite 209 v objemu 1, 2, 3 a 5 % z celkové hmotnosti a došlo k částečné modifikaci Carolithu 0,2 – 0,5 za křemičitý písek Sand PR 32. Jako referenční receptura byla zvolena Betadekor SF od Stomix s.r.o.

Tab. č. 8 Receptury omítkových směsí 1. část

Složka	0-Ref	1-S1	2-S2	3-S3	4-S5	5-C1	6-C2	7-C3	8-C5
	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
Koncentrát M12	24,56	24,56	24,56	24,56	24,56	24,56	24,56	24,56	24,56
Filler OMYACARB 40 VA	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8
CAROLITH 0-0,2 mm *	16,25	15,25	14,25	13,25	11,25	15,25	14,25	13,25	11,25
CAROLITH 0,2-0,5 mm**	37,1	31,1	31,1	31,1	31,1	31,1	31,1	31,1	31,1
CAROLITH 0,5-1,0 mm	19,29	19,29	19,29	19,29	19,29	19,29	19,29	19,29	19,29
Zářivkové sklo	0	1	2	3	5	0	0	0	0
Celite 385	0	0	0	0	0	1	2	3	5
Celite 209	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Vapex 0/1 mm	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sand PR 32	0	6	6	6	6	6	6	6	6
SUMA	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Tab. č. 9 Receptury omítkových směsí 2. část

Složka	0-Ref	9-V1	10-V2	11-V3	12-V5	13-C12	14-C22	15-C32	16-C52
	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
Koncentrát M12	24,56	24,56	24,56	24,56	24,56	24,56	24,56	24,56	24,56
Filler OMYACARB 40 VA	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8
CAROLITH 0-0,2 mm *	16,25	15,25	14,25	13,25	11,25	15,25	14,25	13,25	11,25
CAROLITH 0,2-0,5 mm**	37,1	31,1	31,1	31,1	31,1	31,1	31,1	31,1	31,1
CAROLITH 0,5-1,0 mm	19,29	19,29	19,29	19,29	19,29	19,29	19,29	19,29	19,29
Zářivkové sklo	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Celite 385	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Celite 209	0	0	0	0	0	1	2	3	5
Vapex 0/1 mm	0	1	2	3	5	0	0	0	0
Sand PR 32	0	6	6	6	6	6	6	6	6
SUMA	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Pozn.: * proměnná složka – náhrada sklem, Celitem a Vapexem

** proměnná složka – náhrada pískem Sand PR 32

11 Výsledky prováděných zkoušek

V následující kapitole bude řešena zpracovatelnost omítkových směsí, budou provedeny laboratorní zkoušky a porovnání s požadovanými hodnotami od výrobce.

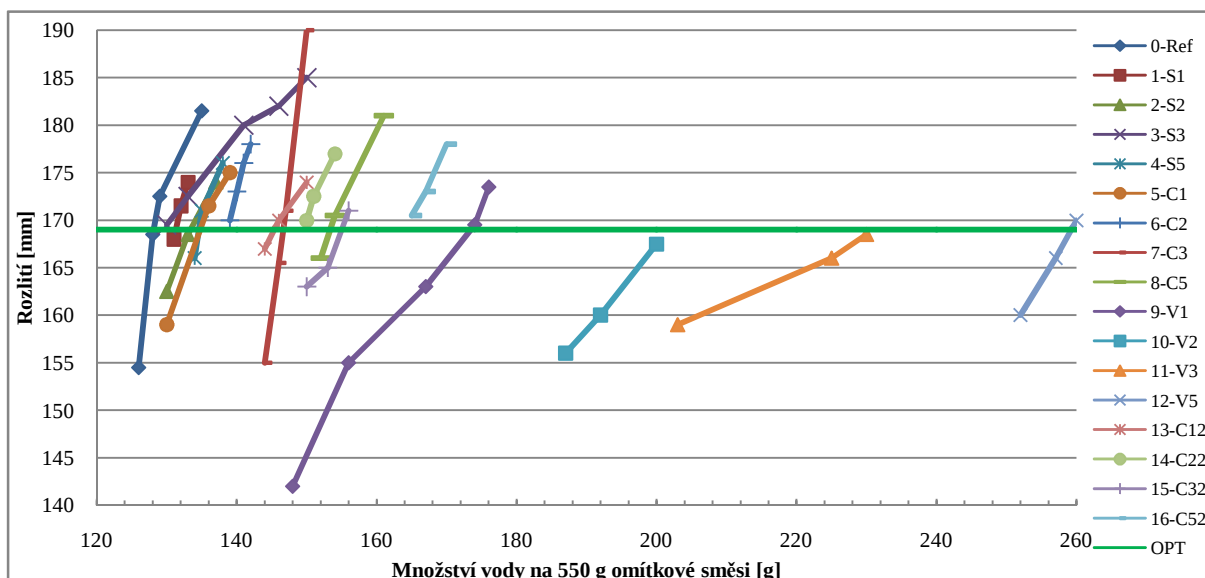
11.1 Zkoušky na čerstvé směsi

11.1.1 Stanovení optimálního množství vody a konzistence

Pro stanovení optimálního množství vody byla zvolena metoda střešacího stolku podle normy ČSN EN 1015 – 3. Bylo zkoušeno různé množství vody v recepturách do té doby, než bylo dosaženo požadované konzistence (169 ± 3 mm). Poté bylo měřeno rozlití po 90-ti minutách, kvůli zjištění zpracovatelnosti po ovaďnutí omítkové směsi. Pro každou recepturu byla provedena nejméně tři stanovení.

Tab. č. 10 Množství vody potřebné k dosažení optimální konzistence

Receptura	Množství vody [%]	Rozlití [mm]	Receptura	Množství vody [%]	Rozlití [mm]
0-REF	22,9	154,5	8-C5	27,6	166,0
	23,3	168,5		28,0	170,5
	23,5	172,5		29,3	181,0
	24,5	181,5	9-V1	26,9	142,0
1-S1	23,8	168,0		28,4	155,0
	24,0	171,5		30,4	163,0
	24,2	174,0		31,6	169,5
2-S2	23,6	162,5		32,0	173,5
	24,2	168,5	10-V2	34,0	156,0
	24,9	174,0		34,9	160,0
3-S3	23,6	169,5		36,4	167,5
	24,2	172,5	11-V3	36,9	159,0
	25,6	180,0		40,9	166,0
	26,5	182,0		41,8	168,5
	27,3	185,0	12-V5	45,8	160,0
4-S5	24,4	166,0		46,7	166,0
	24,5	171,0		47,3	170,0
	25,1	176,0	13-C12	26,2	167,0
5-C1	23,6	159,0		26,5	170,0
	24,7	171,5		27,3	174,0
	25,3	175,0	14-C22	27,3	170,0
6-C2	25,3	170,0		27,5	172,5
	25,5	173,0		28,0	177,0
	25,6	176,0	15-C32	27,3	163,0
	25,8	178,0		27,8	165,0
7-C3	26,2	155,0		28,4	171,0
	26,5	165,5	16-C52	30,0	170,5
	26,7	171,0		30,4	173,0
	27,3	190,0		30,9	178,0

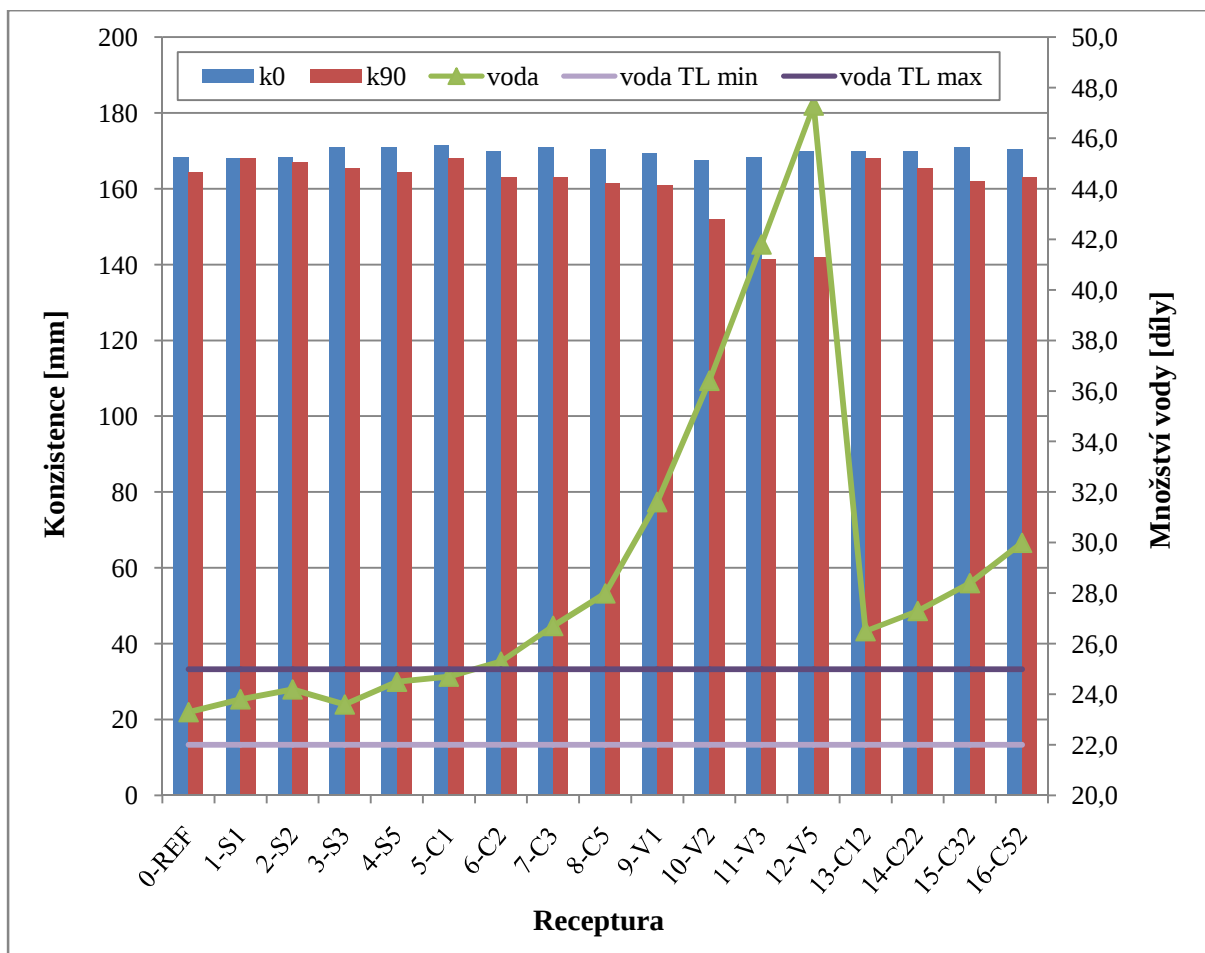


Obr. č. 20 Závislost množství dávkované vody na rozliti – regresní křivky

V grafu jsou zřejmé téměř lineární závislosti přidavku vody na velikosti rozliti koláče, tzn., pokud byla přidávána voda, rostlo shodně rozliti. Zelenou čarou je značeno optimální rozliti, kterému se bylo třeba přiblížit.

Tab. č. 11 Rozliti a změna rozliti po 90 minutách

Receptura	Konzistence po namíchání [mm]	Konzistence po 90-ti minutách [mm]	Změna rozliti [mm]
0-REF	168,5	164,5	-4,0
1-S1	168,0	168,0	0,0
2-S2	168,5	167,0	-1,5
3-S3	171,0	165,5	-5,5
4-S5	171,0	164,5	-6,5
5-C1	171,5	168,0	-3,5
6-C2	170,0	163,0	-7,0
7-C3	171,0	163,0	-8,0
8-C5	170,5	161,5	-9,0
9-V1	169,5	161,0	-8,5
10-V2	167,5	152,0	-15,5
11-V3	168,5	141,5	-27,0
12-V5	170,0	142,0	-28,0
13-C12	170,0	168,0	-2,0
14-C22	170,0	165,5	-4,5
15-C32	171,0	162,0	-9,0
16-C52	170,5	163,0	-7,5



Obr. č. 21 Rozlití směsi po přípravě a po devadesáti minutách, množství přidané vody

Hodnoty rozlití ihned po přípravě a po 90-ti minutách by měly být co nejvíce podobné. Je to z důvodu dobré zpracovatelnosti i po delší době. Nejhůře dopadly receptury s přídavkem Vapexu, u záměsi 10 – V2 došlo k poklesu o 9,3 %, u 11 – V3 o 16 % a u 12 – V5 došlo k poklesu o 16,5 %. Důvodem je vyšší vodní součinitel a nasákavost Vapexu.

Jak je patrné z křivky v grafu, nebyly zcela splněny požadavky výrobce na max. množství vody ve směsi, a to 22 až 25 hmotnostních dílů. Konzistence u vzorků s přídavkem Vapexu a Celitu 209 a vzorků s 2, 3 a 5 % Celitu 385 byla mimo rozmezí dané referenční recepturou. Žádný ze vzorků nebyl pod minimální hranicí 22 dílů.

Tab. č. 12 Deklarované hodnoty od výrobce

f_c [MPa]	λ_s, λ_w [W/(m·K)]	voda [dílů]	c [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{min}^{-0,5}$]	μ [-]
6	0,7	22 - 25	0,2	45

11.2 Zkoušky zatvrdlé omítky

V následující tabulce jsou shrnuty výsledky měření fyzikálně-mechanických vlastností. Při zkoušení jsou použity počty zkušebních těles v souladu s požadavky příslušných technických norem a jedná se o průměrné hodnoty z měření. Jsou jednotlivě rozebrány a zobrazeny do grafů.

Tab. č. 13 Souhrn výsledných parametrů

Receptura	Objemová hmotnost čerstvé omítky	Objemová hmotnost zatvrdlé omítky po vysušení	Pevnost v tlaku	Pevnost v tahu za ohybu	Dynamický modul pružnosti	Koeficient kapilární absorpce	Faktor difuzního odporu	Součinitel tepelné vodivosti	Součinitel tepelné vodivosti po vysušení
	OH_ξ [kg.m ⁻³]	OH_z [kg.m ⁻³]	f_c [MPa]	f_b [MPa]	E_{cu} [GPa]	c [kg.m ⁻² .min ^{-0,5}]	μ [-]	λ_s [W/(m.K)]	λ_w [W/(m.K)]
0-REF	1610	1260	6,4	3,1	6,1	0,11	11,5	0,5267	0,4253
1-S1	1560	1250	6,5	3,1	5,3	0,15	10,5	0,6094	0,4334
2-S2	1570	1270	6,2	2,8	5,4	0,13	11,0	0,5988	0,4185
3-S3	1590	1290	6,0	2,6	5,5	0,12	11,5	0,5891	0,4033
4-S5	1600	1290	6,4	2,8	6,1	0,14	11,9	0,5733	0,3889
5-C1	1610	1250	6,2	2,9	5,3	0,13	10,5	0,6357	0,5039
6-C2	1620	1260	6,0	2,6	5,3	0,15	11,0	0,6230	0,4983
7-C3	1640	1260	5,8	2,3	5,4	0,22	11,7	0,6102	0,4957
8-C5	1670	1300	5,9	1,9	6,0	0,18	12,6	0,5402	0,4945
9-V1	1490	1110	3,4	1,6	3,4	0,21	10,5	0,4614	0,3316
10-V2	1350	900	2,4	1,3	2,2	0,26	9,3	0,3428	0,2317
11-V3	1200	810	1,3	0,9	1,2	0,42	8,1	0,2335	0,1765
12-V5	960	630	0,7	0,6	0,4	0,33	7,8	0,1664	0,1173
13-C12	1640	1300	6,1	3,0	5,1	0,20	11,2	0,5926	0,4865
14-C22	1670	1310	6,5	3,1	5,2	0,21	11,4	0,5374	0,4722
15-C32	1700	1320	7,0	3,2	5,4	0,21	11,8	0,4588	0,4573
16-C52	1760	1360	7,8	3,7	5,9	0,28	12,1	0,4700	0,4159

11.2.1 Vizuální hodnocení vzhledu povrchu

U vzorků byl posuzován estetický vzhled, pórovitost a nerovnosti na povrchu. U žádné receptury nevznikly trhlinky.

11.2.1.1 Vizuální hodnocení textury vzorků



Obr. č. 22 Textura vzorku 0-REF



Obr. č. 23 Textura vzorku 1-S1



Obr. č. 24 Textura vzorku 2-S2



Obr. č. 25 Textura vzorku 3-S3



Obr. č. 26 Textura vzorku 4-S5



Obr. č. 27 Textura vzorku 5-C1



Obr. č. 28 Textura vzorku 6-C2



Obr. č. 29 Textura vzorku 7-C3



Obr. č. 30 Textura vzorku 8-C5



Obr. č.31 Textura vzorku 9-V1



Obr. č. 32 Textura vzorku 10-V2



Obr. č. 33 Textura vzorku 11-V3



Obr. č. 34 Textura vzorku 12-V5



Obr. č. 35 Textura vzorku 13-C12



Obr. č. 36 Textura vzorku 14-C22



Obr. č. 37 Textura vzorku 15-C32



Obr. č. 38 Textura vzorku 16-C52

11.2.1.2 Vizuální hodnocení povrchu vzorků



Obr. č. 39 Povrch vzorku 0-REF



Obr. č. 40 Povrch vzorku 1-S1



Obr. č. 41 Povrch vzorku 2-S2



Obr. č. 42 Povrch vzorku 3-S3



Obr. č. 43 Povrch vzorku 4-S5



Obr. č. 44 Povrch vzorku 5-C1



Obr. č. 45 Povrch vzorku 6-C2



Obr. č. 46 Povrch vzorku 7-C3



Obr. č. 47 Povrch vzorku 8-C5



Obr. č. 48 Povrch vzorku 9-V1



Obr. č. 49 Povrch vzorku 10-V2



Obr. č. 50 Povrch vzorku 11-V3



Obr. č. 51 Povrch vzorku 12-V5



Obr. č. 52 Povrch vzorku 13-C12



Obr. č. 53 Povrch vzorku 14-C22



Obr. č. 54 Povrch vzorku 15-C32

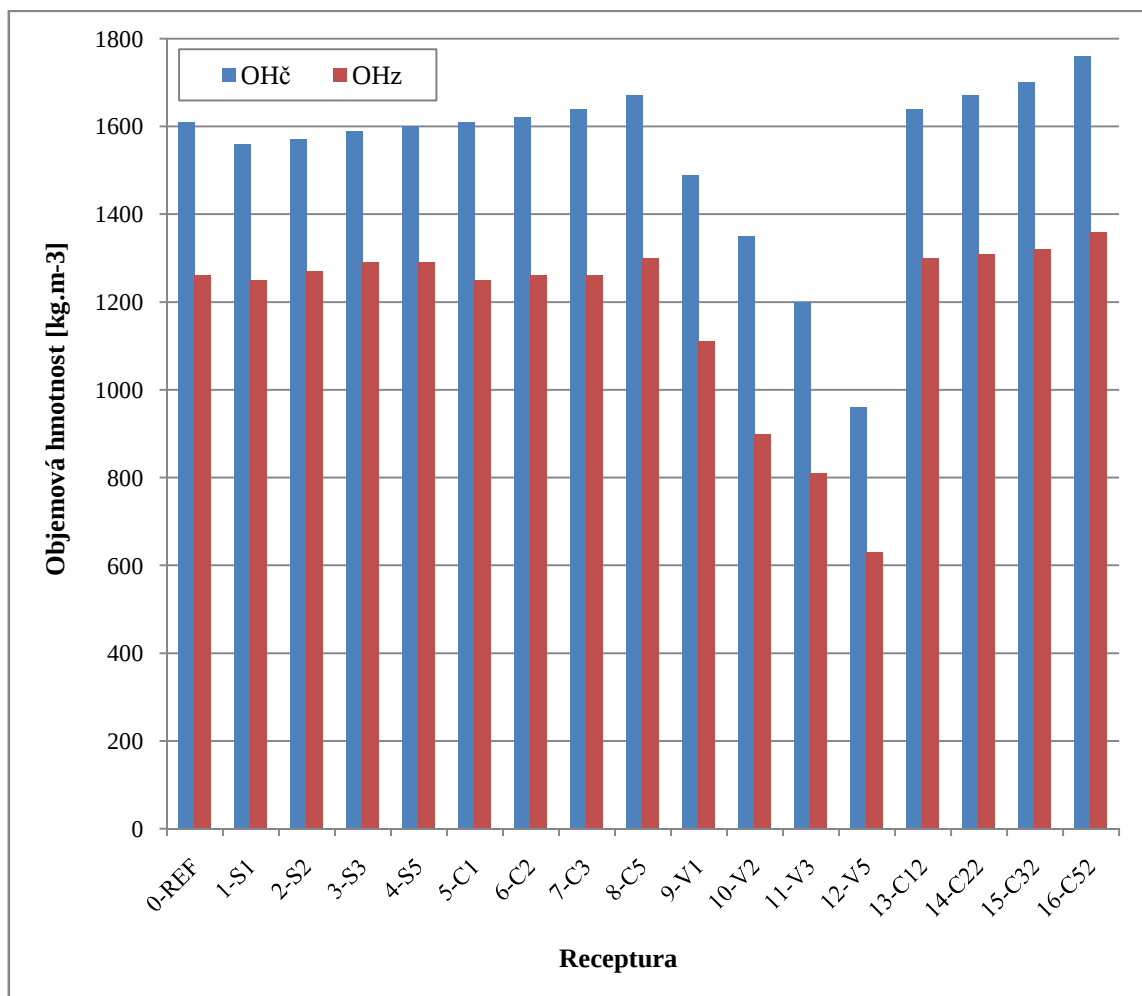


Obr. č. 55 Povrch vzorku 16-C52

Pozn.: všechny vzorky měly bílou barvu, případné odchylky barev byly způsobeny světelnými podmínkami při fotografování.

11.2.2 Určení objemových hmotností

Bylo třeba určit objemovou hmotnost čerstvé malty a suché zatvrdlé malty. Zatvrdlá malta byla vysušena při $(105 \pm 5) ^\circ\text{C}$.

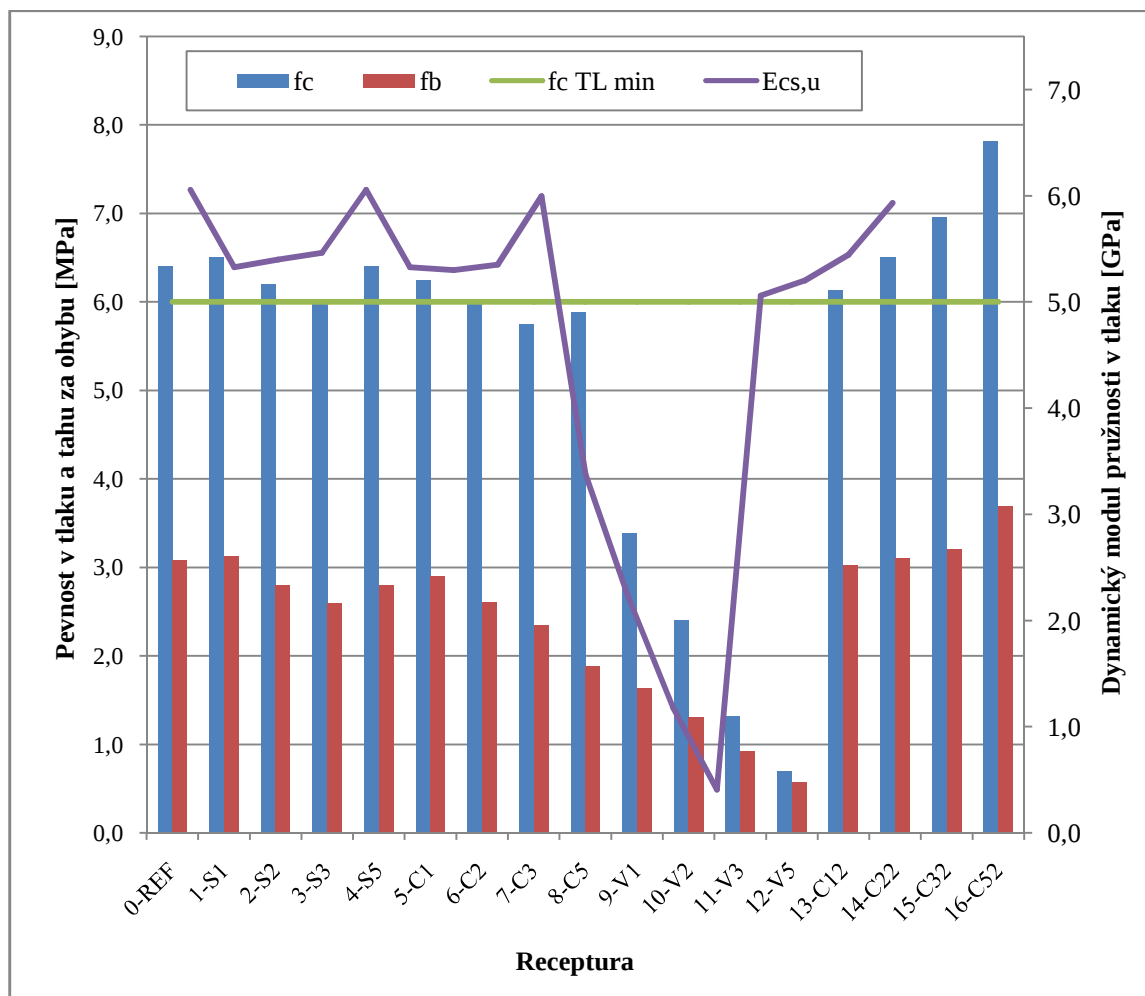


Obr. č. 56 Objemová hmotnost v čerstvém stavu a v zatvrdlém stavu po vysušení

Objemové hmotnosti s přibývajícím množstvím alternativní suroviny stoupaly, pouze u Vapexu došlo ke snížení až na hodnotu $630 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$. Tato omítka byla velmi křehká, náchylná na poškození a tím pádem nevhodná jako konečná povrchová úprava pro zateplovací systémy. U referenční receptury byla naměřena objemová hmotnost $1260 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ v suchém zatvrdlém stavu.

11.2.3 Stanovení pevností a dynamického modulu pružnosti

Vzorky byly testovány na pevnost v tahu za ohybu, v tlaku a ultrazvukovou impulzovou metodou na dynamický modul pružnosti.

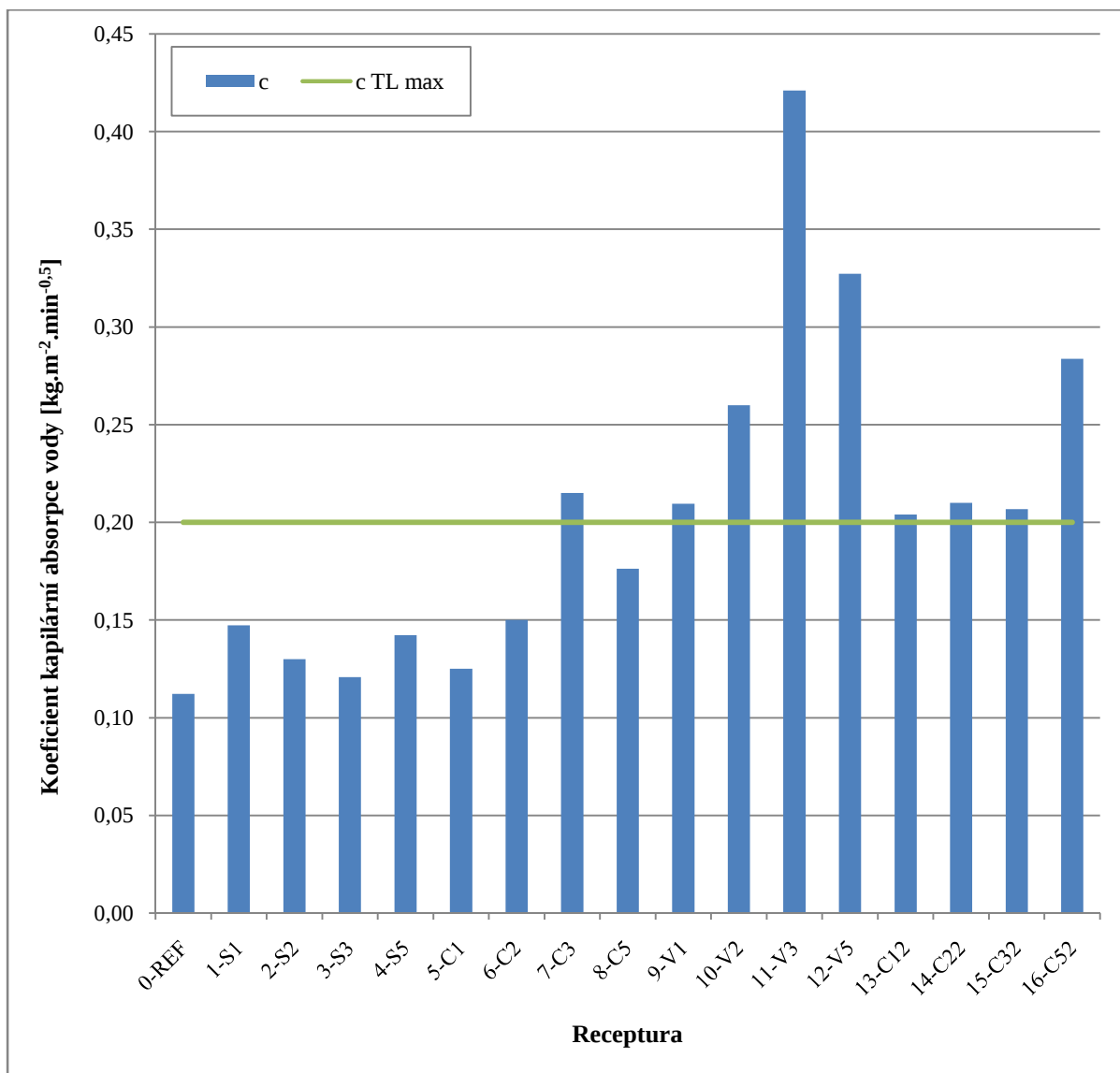


Obr. č. 57 Stanovení pevností a dynamického modulu pružnosti

Z grafu je zřejmé, že receptura s Celitem 209 a se zářivkovým sklem splňuje požadavek stanovený referenční recepturou na min. pevnost v tlaku 6 MPa. Toto kritérium dále splňují vzorky: 0-REF, 5-C1 a 6-C2. Z hlediska pevností i hodnot modulů pružnosti nevyhovují směsi s Vapexem, což je způsobeno vysokým vodním součinitelem, díky kterému se vytvořila struktura s velkými póry, a tím došlo k poklesu pevnosti matrice.

11.2.4 Stanovení kapilární absorpce

Byl stanoven koeficient kapilární absorpce po rozlomení vzorků a uložení do vody. Jako limitní byla určena hodnota $0,2 \text{ kg.m}^{-2}.\text{min}^{-0,5}$. Tento parametr se sleduje u omítek především proto, že omítky jsou konečnou vrstvou konstrukce a jsou vystaveny povětrnostním účinkům, zejména dešti a sněhu. Stanovuje se proto kapilární absorpce kapalně vody.

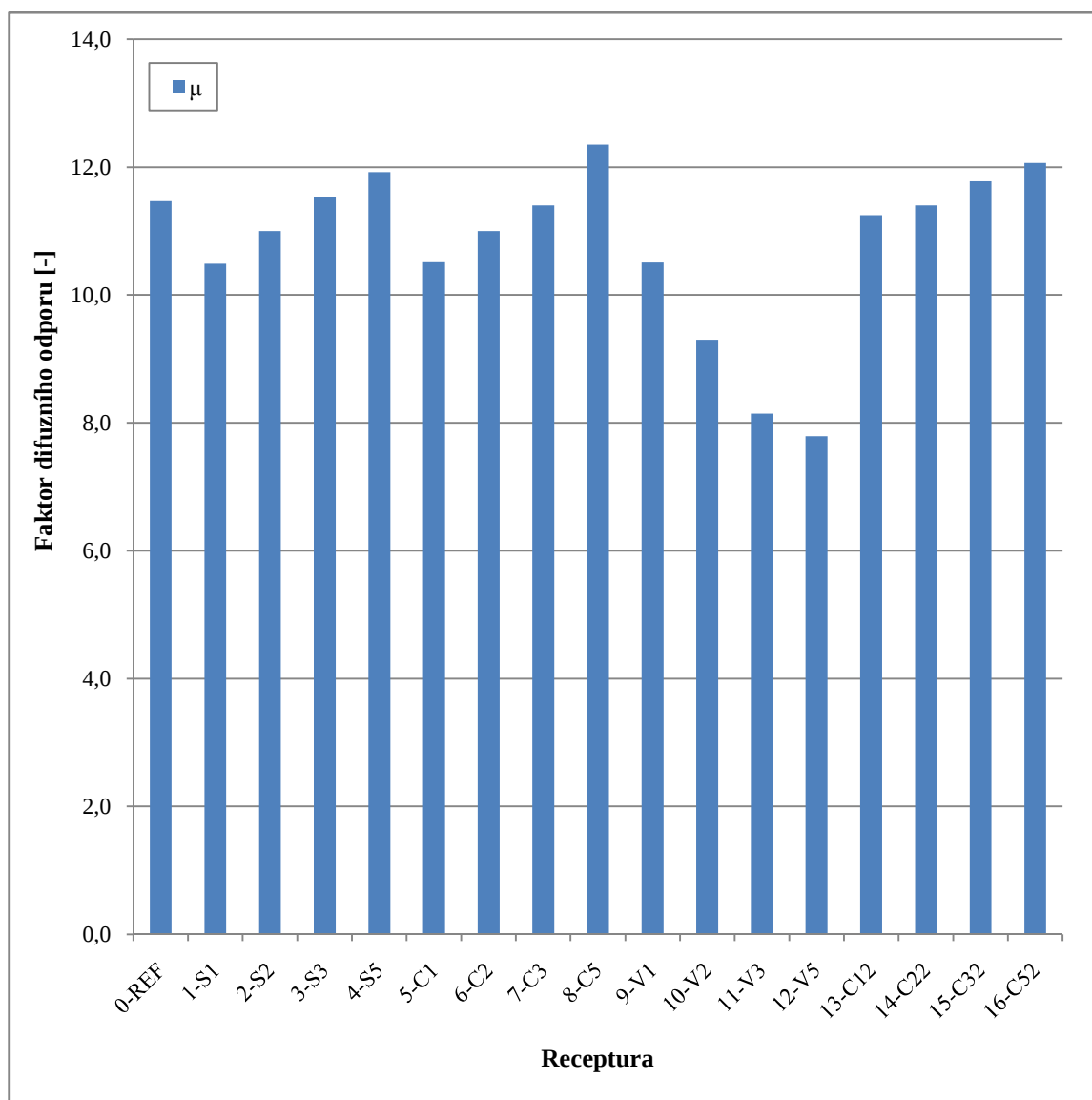


Obr. č. 58 Koeficient kapilární absorpce

Deklarované hodnotě nevyhověly vzorky s přídavkem Vapexu a Celitu 209 a také vzorek 7-C3. Receptura 11-V3 dokonce překročila hodnotu dvakrát.

11.2.5 Stanovení difúze vodních par

Byly stanoveny propustnosti vodních par podle normy ČSN EN 1015 – 19. U omítek je řešeno kvůli pronikání vody ve formě páry ven z objektu. Cílem je zajistit takové omítky, aby nepropouštěly kapalnou vodu do stavby a naopak propustily co nejvíce vodních par do exteriéru.

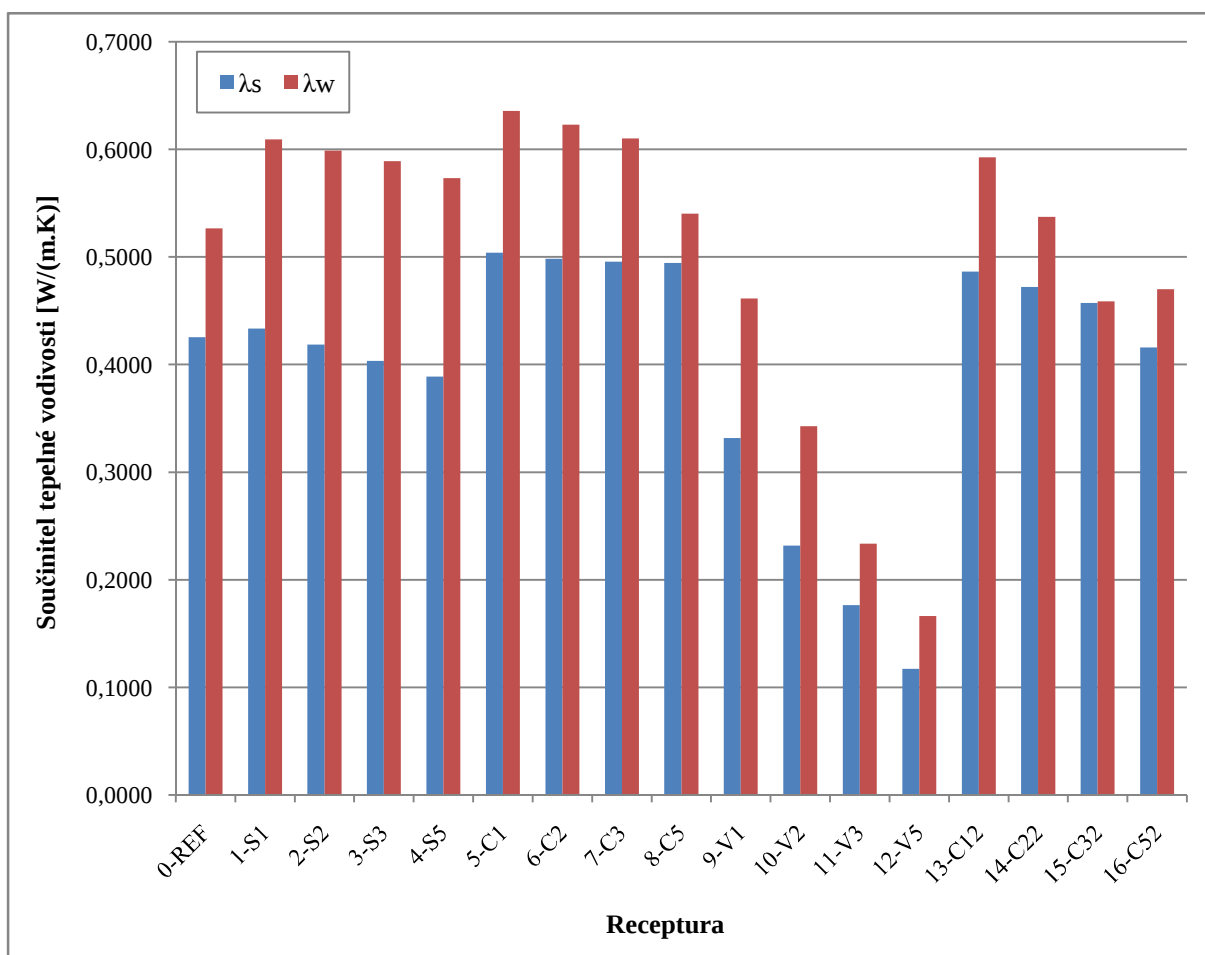


Obr. č. 59 Stanovení faktoru difuzního odporu

Po stanovení difuzního odporu bylo zjištěno, že všechny receptury jsou vhodné k použití jako omítka, splňují totiž požadavek určený technickým listem na hodnotu faktoru difuzního odporu pod 45.

11.2.6 Stanovení součinitele tepelné vodivosti

Byly stanoveny hodnoty součinitelů tepelné vodivosti při relativní vlhkosti a po vysušení v sušárně na $(105 \pm 5) ^\circ\text{C}$. Protože jsou omítky součástí zateplovacího systému, je od nich očekávána tepelně-izolační schopnost, měly by tedy mít nízký součinitel tepelné vodivosti.



Obr. č. 60 Stanovení součinitelů tepelné vodivosti

Požadavku $0,7 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ na tepelně-technické vlastnosti vyhovují všechny receptury. Velmi nízkou hodnotou oproti referenční záměsi disponuje omítková směs s Vapexem 12-V5 ve vysušeném stavu $0,1173 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$.

13 Výběr optimální receptury metodou kvantitativního párového srovnávání

Výsledky jednotlivých zkoušek a hodnocení byly zpracovány do tabulky a vyhodnoceny pomocí optimalizační metody kvantitativního párového srovnávání. Bylo porovnáváno 17 receptur a 10 kritérií, pomocí Sattiho matice byla určena váha jednotlivého kritéria. Výsledky jsou shrnuty v následujících tabulkách. [6]

Tab. č. 14 Souhrn kritérií a hodnot

Kriterium	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	Změna konzistence po 90-ti minutách	Množství vody	Pevnost v tlaku f_c	Objemová hmotnost suché zatvrdlé malty	Dynamický modul pružnosti E_{cu}	Koeficient kapilární absorpce c	Faktor difuzního odporu μ	Součinitele tepelné vodivosti λ_w	Vzhled textury *	Vzhled povrchu *	Bezpečnost modifikační suroviny**	Cena modifikační suroviny ***
REC	[mm]	[dlů]	[MPa]	[kg·m ⁻³]	[GPa]	[kg·m ⁻² ·min ^{-0,5}]	[-]	[W/(m·K)]	[-]	[-]	[-]	[Kč/kg]
0-REF	4,0	23,3	6,4	1260	6,1	0,11	11,5	0,5267	1	1	1	0
1-S1	0,0	23,8	6,5	1250	5,3	0,15	10,5	0,6094	1	1	2	0
2-S2	1,5	24,2	6,2	1270	5,4	0,13	11,0	0,5988	2	1	2	0
3-S3	5,5	23,6	6,0	1290	5,5	0,12	11,5	0,5891	1	1	2	0
4-S5	6,5	24,5	6,4	1290	6,1	0,14	11,9	0,5733	2	1	2	0
5-C1	3,5	24,7	6,2	1250	5,3	0,13	10,5	0,6357	1	1	1	15
6-C2	7,0	25,3	6,0	1260	5,3	0,15	11,0	0,6230	1	1	1	15
7-C3	8,0	26,7	5,8	1260	5,4	0,22	11,4	0,6102	1	2	1	15
8-C5	9,0	28,0	5,9	1300	6,0	0,18	12,4	0,5402	2	2	1	15
9-V1	8,5	31,6	3,4	1110	3,4	0,21	10,5	0,4614	1	1	1	62
10-V2	15,5	36,4	2,4	900	2,2	0,26	9,3	0,3428	2	2	1	62
11-V3	27,0	41,8	1,3	810	1,2	0,42	8,1	0,2335	2	3	1	62
12-V5	28,0	47,3	0,7	630	0,4	0,33	7,8	0,1664	3	3	1	62
13-C12	2,0	26,5	6,1	1300	5,1	0,20	11,2	0,5926	2	1	1	15
14-C22	4,5	27,3	6,5	1310	5,2	0,21	11,4	0,5374	2	1	1	15
15-C32	9,0	28,4	7,0	1320	5,4	0,21	11,8	0,4588	1	2	1	15
16-C52	7,5	30,0	7,8	1360	5,9	0,28	12,1	0,4700	1	1	1	15

Pozn.: * posouzení vzhledu v rozmezí 1 – 3 (1 – nejlepší); ** 1 – ostatní suroviny, 2 – nebezpečný odpad; *** cena byla odhadnuta podle zahraničních prodejců

$$S_i = \prod_{j=1}^n s_{ij}$$

$$R_{ij} = (s_{ij})^{\frac{1}{n}}$$

$$f_i = \frac{R_{ij}}{\sum_{i=1}^n R_{ij}}$$

Tab. č. 15 Kvantitativní párové srovnávání kritérií

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	S	R	F
1	1	1/3	2	5	2	1/5	1/5	1/6	5	1/2	1/3	1/3	0,11	0,803	0,0521
2	3	1	1/7	2	1/3	1/5	1/5	1/7	5	1/4	1/3	1/2	0,00	0,538	0,0349
3	1/2	7	1	6	3	1/2	1/2	1/3	7	3	3	2	110,25	1,600	0,1038
4	1/5	1/2	1/6	1	1/2	1/2	1/2	2	6	1/3	1/2	1/2	0,01	0,620	0,0402
5	1/2	3	1/3	2	1	1/2	1/2	1/3	7	1/3	1/2	1/2	0,19	0,849	0,0550
6	5	5	2	2	2	1	2	1/2	8	3	5	4	4800,00	2,334	0,1514
7	5	5	2	2	2	1/2	1	4	8	2	3	2	6400,00	2,402	0,1558
8	6	7	3	1/2	3	2	1/4	1	8	4	4	3	12096,00	2,560	0,1660
9	1/5	1/5	1/7	1/6	1/7	1/8	1/8	1/8	1	1/7	1/2	1/2	0,00	0,181	0,0117
10	2	4	1/3	3	3	1/3	1/2	1/4	7	1	1/3	1/3	7,00	1,215	0,0788
11	3	3	1/3	2	2	1/5	1/3	1/4	2	3	1	1/2	3,20	1,123	0,0728
12	3	2	1/2	2	2	1/4	1/2	1/3	2	3	2	1	6,00	1,196	0,0776
													Suma	15,422	1,0000

$$b_{ij} = MAX = \frac{a_{ij} - MINa_{ij}}{MAXa_{ij} - MINa_{ij}}$$

$$b_{ij} = MIN = \frac{MAXa_{ij} - a_{ij}}{MAXa_{ij} - MINa_{ij}}$$

Tab. č. 16 Výsledný souhrn hodnot kvantitativního párového srovnávání

	1. MIN	2. MIN	3. MAX	4. MIN	5. MAX	6. MIN	7. MIN	8. MIN	9. MIN	10. MIN	11. MIN	12. MIN	SUMA
0-REF	4,462	3,490	8,331	0,550	5,505	15,135	3,048	3,856	1,174	7,877	7,284	7,757	68,47
1-S1	5,205	3,417	8,478	7,365	4,732	13,182	6,434	0,930	1,174	7,877	0,000	7,757	66,55
2-S2	4,926	3,359	8,039	7,231	4,829	14,159	4,741	1,305	0,587	7,877	0,000	7,757	64,81
3-S3	4,183	3,447	7,747	7,030	4,925	14,647	3,048	1,648	1,174	7,877	0,000	7,757	63,48
4-S5	3,997	3,316	8,331	0,385	5,505	13,670	1,693	2,207	0,587	7,877	0,000	7,757	55,33
5-C1	4,555	3,287	8,039	0,325	4,732	14,159	6,434	0,000	1,174	7,877	7,284	5,880	63,75
6-C2	3,904	3,199	7,747	0,295	4,732	13,182	4,741	0,449	1,174	7,877	7,284	5,880	60,47
7-C3	3,718	2,996	7,454	0,295	4,829	9,765	3,386	0,902	1,174	3,939	7,284	5,880	51,62
8-C5	3,532	2,807	7,601	0,177	5,408	11,717	0,000	3,378	0,587	3,939	7,284	5,880	52,31
9-V1	3,625	2,283	3,946	0,738	2,897	10,253	6,434	6,166	1,174	7,877	7,284	0,000	52,68
10-V2	2,324	1,585	2,485	1,359	1,738	7,812	12,056	10,361	0,587	3,939	7,284	0,000	51,53
11-V3	0,186	0,800	0,877	1,625	0,773	0,000	14,561	14,227	0,587	0,000	7,284	0,000	40,92
12-V5	0,000	0,000	0,000	2,156	0,000	4,394	15,577	16,601	0,000	0,000	7,284	0,000	46,01
13-C12	4,833	3,025	7,893	0,177	4,539	10,741	4,064	1,525	0,587	7,877	7,284	5,880	58,42
14-C22	4,369	2,908	8,478	0,148	4,636	10,253	3,386	3,477	0,587	7,877	7,284	5,880	59,28
15-C32	3,532	2,748	9,208	0,118	4,829	10,253	2,032	6,258	1,174	3,939	7,284	5,880	57,26
16-C52	3,811	2,516	10,378	0,000	5,312	6,835	1,016	5,861	1,174	7,877	7,284	5,880	57,94

V optimalizační matici byla zohledněna kritéria posuzující vlastnosti receptur. Byl zvolen požadavek, zda je vhodné u kritéria uvažovat minimum nebo maximum. Nejvhodnější směs je ta, která dosáhla největšího součtu součinů transformovaných hodnot a vah.

Na základě výpočtů se jeví jako optimální tyto tři receptury: 1- S1, 2-S2, 3-S3, tzn. omítkové směsi s přísadkou mletého zářivkového skla a receptura 5-C1 s Celitem 385. Vzhledem k tomu, že je tato metoda subjektivní, byla zvolena limitní hodnota vhodnosti použití na 57,0.

Diskuze výsledků

Cílem diplomové práce bylo ověřit možnost modifikace suroviny u minerálních omítek a následné zkoušení vlastností těchto upravených směsí.

V teoretické části byly shrnuty informace o rozdělení a složení omítek, dále o kontaktním zateplovacím systému ETICS a omítkách vhodných pro tento systém. Hlavním bodem práce byl teoretický průzkum literatury na již probíhající výzkum v oblasti modifikace složení omítek.

Byly stanoveny receptury směsí, kdy referenční recepturou byla minerální omítková směs Betadekor SF od Stomix s.r.o. Ve spolupráci s firmou a na základě průzkumu byly vybrány alternativní suroviny. V recepturách nahradilo plnivo Carolith 0 – 0,2 mm mleté zářivkové sklo, Celite 385, Vapex a Celite 209 v objemu 1, 2, 3 a 5 % z celkové hmotnosti a došlo k částečné modifikaci Carolithu 0,2 – 0,5 za křemičitý písek Sand PR 32. U složek bylo nutné rozlišovat, zda šlo o aktivní nebo inertní plnivo. Z nahrazovaných surovin byla kalcinovaná křemelina a expandovaný perlit aktivní složkou, a proto mohlo dojít k pucolánové reakci a tím i zvýšení pevností a modulu pružnosti.

V experimentální části bylo nejdříve nutné stanovit optimální množství vody u čerstvé směsi pro jednotlivé receptury a docílit požadované **konzistence** (169 ± 3) mm. Podle technického listu referenční receptury mělo být množství vody mezi 22 – 25 díly, i s malým zvětšením množství vody se zvyšovalo rozlití. Tento požadavek od výrobce nesplnily vzorky z Vapexu a Celitu 209 a vzorky s 2, 3 a 5 % Celitu 385. U Vapexu 12-V5 stouplо množství vody na dvojnásobek, a to na 47,3 dílů. Poté bylo zkoušeno rozlití po 90-ti minutách, kdy se zjišťovala zpracovatelnost po ovaдnutí směsi kvůli delší době možnosti aplikace omítky na konstrukci. Nejhůře dopadly receptury s přídavkem Vapexu, u záměsi 10 – V2 došlo k poklesu o 9,3 %, u 11 – V3 o 16 % a u 12 – V5 došlo k poklesu o 16,5 %. Důvodem je vyšší vodní součinitel a nasákavost Vapexu.

Na zatvrdlých vzorcích se nejdříve kontroloval **vzhled povrchu a textury**. Bylo zvoleno známkování 1 až 3, kdy nejhorší známku 3 obdržely směsi s Vapexem 11-V3 a 12-V5. Jejich povrch byl porézni a dutiny měly velký průměr, což korespondovalo s hodnotami

objemových hmotností. Všechny receptury měly bílou barvu, což splňuje estetický požadavek na omítky. Množství modifikované suroviny tedy nemá vliv na konečné vlastnosti povrchu.

Protože byla práce zaměřena na lehčené omítky, bylo žádoucí dosáhnout nízké objemové hmotnosti. **Objemová hmotnost** s přibývajícím množstvím alternativní suroviny stoupala, pouze u Vapexu došlo ke snižování. Omítka s Vapexem byla ale velmi křehká, náchylná na poškození a tím pádem nevhodná jako konečná povrchová úprava pro zateplovací systémy.

Další požadovanou vlastností povrchové úpravy byla její **pevnost**. Receptury s Celitem 209 a se zářivkovým sklem splňovaly deklarovanou hodnotu pevnosti v tlaku 6 MPa. Toto kritérium dále splňovaly vzorky 5-C1 a 6-C2. Z hlediska pevností i hodnot modulů pružnosti nevyhovovaly směsi s Vapexem, což bylo způsobeno vysokým vodním součinitelem, díky kterému se vytvořila struktura s velkými póry, a tím došlo k poklesu pevnosti matrice. Pevnosti korespondovaly s objemovými hmotnostmi u receptur s Vapexem a Celitem 209, u zářivkového skla a Celitu 385 hodnoty kolísaly.

U **koeficientu kapilární absorpce** byla stanovena limitní hodnota $0,2 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{min}^{0,5})$. Tento parametr se sleduje u omítek především proto, že jsou omítky konečnou vrstvou zdiva a jsou vystaveny povětrnostním účinkům, zejména dešti a sněhu. Stanovuje se proto kapilární absorpce kapalné vody. Deklarované hodnotě nevyhověly vzorky s přídavkem Vapexu a Celitu 209 a také vzorek 7-C3. U Vapexu i přes použití hydrofobní přísady vzorky také nevyhověly, receptura 11-V3 dokonce překročila deklarovanou hodnotu dvakrát.

Po stanovení **faktoru difuzního odporu** bylo zjištěno, že všechny receptury jsou vhodné pro použití jako omítka, splňují totiž požadavek na hodnotu difuzního odporu pod 45. Omítkové směsi s Vapexem měly nejnižší hodnoty, což bylo pro tento typ omítek výhodné.

Omítky jako součást zateplovacího systému musí mít tepelně-izolační schopnost. Deklarovanou hodnotu $0,7 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ na **součinitel tepelné vodivosti** splňují všechny receptury. Velmi nízkou hodnotou oproti referenční záměsi disponovala omítková směs s Vapexem 12-V5 ve vysušeném stavu $0,1173 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$. U všech receptur došlo ke snižování hodnoty součinitele tepelné vodivosti se zvyšujícím se množstvím modifikované složky.

Největší rozdíl mezi součinitelem tepelné vodivosti před a po vysušení měla záměs s Celitem 385.

Výsledky z již dokončeného výzkumu, využívající expandovaný perlit korespondují s výsledky receptur využívající Vapex. U receptury s úplnou náhradou perlitem bylo dosaženo velmi nízkého součinitele tepelné vodivosti $0,13 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$, ale byla určena nasákavost 79,3%.

PUR pěna se podle dřívějších výzkumů jeví jako zajímavá volba při náhradě surovin v omítkách. V porovnání s výsledky měla podle množství náhrady pěnou omítka velmi malou objemovou hmotnost, u úplné modifikace je to $350 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$. Pevnost v tlaku byla velmi nízká, pohybovala se v rozmezí hodnot jako u receptur s použitím Vapexu. Také součinitel kapilární absorpce byl dvojnásobný, než byla deklarovaná hodnota od výrobce.

Pro určení optimální receptury byla zvolena optimalizační metoda kvantitativního párového srovnávání. Bylo zvoleno 12 kritérií, které byly mezi sebou navzájem porovnány a určena váha jednotlivých kritérií a poté dopočítán součet součinů transformovaných hodnot a vah. Na základě výpočtů se jeví jako optimální receptury 1-S1, 2-S2, 3-S3, tzn. omítkové směsi s přídavkem mletého zářivkového skla a receptura 5-C1 s Celitem 385. Vzhledem k tomu, že byla tato metoda subjektivní, bylo nutno počítat s jistou chybou ve výsledku. Byla zvolena limitní hodnota vhodnosti použití na 57,0.

Při zhodnocení všech sledovaných parametrů bylo vyhodnoceno jako nejlepší řešení použití mletého zářivkového skla v množství 1, 2 nebo 3 % z celkové hmotnosti směsi. Receptury s nízkým přídavkem Celitu 385 byly také vhodným řešením modifikovaného složení omítkových směsí. Naopak využití Vapexu jako alternativní suroviny se jeví jako problematické ve všech zkoušených parametrech kromě tepelné vodivosti a velmi nízké objemové hmotnosti.

Závěr

V rámci diplomové práce byla řešena problematika využití alternativních surovin jako modifikace jemné složky plniva u omítkových směsí. Jednalo se o tenkovrstvé minerální omítky pro ETICS, kde modifikačním materiálem bylo odpadní zářivkové sklo, kalcinovaná křemelina Celite a expandovaný perlit Vapex.

Na vzorcích byly zkoušeny reologické vlastnosti, fyzikálně-mechanické, sorpční a tepelně-technické parametry, byl posouzen vzhled povrchu a tyto charakteristiky byly porovnány s deklarovanými požadavky od výrobce. Z výsledků měření lze říci, že bylo vhodné použít některou z testovaných surovin do receptury.

Jako nejvhodnější se jevilo použít omítku s přídavkem odpadního zářivkového skla v množství 1, 2 nebo 3 % z hmotnosti směsi. Ve vztahu k ekonomické stránce by bylo použití zářivkového skla vhodné díky téměř nulové ceně alternativní suroviny. Z hlediska ekologického by byl tento krok vhodným řešením k zamezení skládkování tohoto nebezpečného odpadu. Jako další vhodná volba se jevila směs s 5 % Celitu 385. Vzhledem k subjektivnímu posouzení metodou kvantitativního párového srovnávání lze použít i další receptury, kromě omítkových směsí modifikovaných Vapexem. U těchto receptur došlo k výraznějšímu zhoršení fyzikálně-mechanických vlastností, vzhledu a struktury zatvrdlé omítky a ke zvýšení hodnoty kapilární absorpce, a to i přes použití hydrofobizační přísady, která měla za úkol absorpci snižovat.

V rámci zpracované diplomové práce bylo cílem posouzení parametrů, zhodnocení závislosti substituce jednotlivých složek na analyzovaných vlastnostech a teoretický průzkum již dokončených výzkumů na toto téma. Vzhledem k výsledkům zkoušek a jejich shrnutí je patrné, že byly splněny veškeré stanovené cíle.

Použité zdroje

- [1] FRIDRICHOVÁ, M., K. DVOŘÁK a R. FRIDRICH. *Omítky*. 1. vyd. Brno: ERA group spol. s.r.o., 2004. ISBN 80-7366-004-0.
- [2] DROCHYTKA, R. a P. MATULOVÁ. *Lehké stavební látky*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., 2006.
- [3] BLAHA, M. *Omítky: druhy, provádění, opravy*. 1. vyd. Praha: Grada, 2004, 97 s. Profi. ISBN 80-247-0898-1.
- [4] ZACH, J. *Speciální izolace*. Brno: Akademické nakladatelství CERM s.r.o., 2006.
- [5] HÁJEK, V. A KOL. *Pozemní stavitelství I pro 1. ročník SPŠ stavebních*. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1986.
- [6] PYTLÍK, P. *Vlastnosti a užití stavebních výrobků*. 1. vyd. Brno: VUTIUM, 1998. ISBN 80-214-1123-6.
- [7] *Katalog výrobků Extherm: Certifikovaný zateplovací systém* [online]. 2013 [cit. 2013-10-26]. Dostupné z: <http://www.extherm.cz/>
- [8] *Katalog Stomix: Produktový katalog* [online]. 2013 [cit. 2013-10-26]. Dostupné z: www.stomix.cz
- [9] Časopis stavebnictví: časopis stavebních inženýrů, techniků a podnikatelů. *Plnivo na bázi polyuretanové pěny do izolačních malt a lehkých betonů* [online]. 2010, č. 9 [cit. 2013-11-13]. Dostupné z: www.casopisstavebnictvi.cz
- [10] Výrobky světelné techniky jako zdroje odpadů s obsahem rtuti. [online]. 2001, č. 3 [cit. 2013-11-13]. Dostupné z: http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=23865
- [11] [online]. [cit. 26.10.2013]. Dostupné z: <http://www.izolace-info.cz/>
- [12] [online]. [cit. 26.10.2013]. Dostupné z: www.cemix.cz

- [13] [online]. [cit. 13.11.2013]. Dostupné z: www.wikipedia.cz
- [14] [online]. [cit. 4.12.2013]. Dostupné z: www.stomix.cz
- [15] [online]. [cit. 4.12.2013]. Dostupné z: www.cemix.cz
- [16] [online]. [cit. 4.12.2013]. Dostupné z: www.knauf.cz
- [17] [online]. [cit. 4.12.2013]. Dostupné z: www.basf-cc.cz
- [18] [online]. [cit. 4.12.2013]. Dostupné z: www.kvk.cz
- [19] [online]. [cit. 4.12.2013]. Dostupné z: www.hasit.cz
- [20] [online]. [cit. 4.12.2013]. Dostupné z: www.baumit.cz
- [21] [online]. [cit. 4.12.2013]. Dostupné z: www.sanaceizolace.cz
- [22] GADEA, J., A RODRÍGUEZ, P.L. CAMPOS, J. GARABITO a V. CALDERÓN. *Lightweight mortar made with recycled polyurethane foam*. [online]. 2010 [cit. 2013-12-04]. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0958946510001034>
- [23] ZACH, J., R. HELA, J. HROUDOVÁ a M. SEDLMAJER. *Vývoj nových izolačních a sanačních omítek*. [online]. 2013 [cit. 2013-12-04]. Dostupné z: <http://stavitel.ihned.cz/c1-60356250-vyvoj-novych-izolacnich-a-sanacnich-omitek>
- [24] HERRERO, S., P. MAYOR a F. HERNÁNDEZ - OLIVARES. *Influence of proportion and particle size gradation of rubber from end-of-life tires on mechanical, thermal and acoustic properties of plaster-rubber mortars*. [online]. 2012 [cit. 2013-12-04]. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0261306912008928>
- [25] SERNA, A., M. DEL RÍO, J. G. PALOMO a M. GONZÁLEZ. *Improvement of gypsum plaster strain capacity by the addition of rubber particles from recycled tyres*. [online]. 2012 [cit. 2013-12-04]. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061812002954>

- [26] EVE, S., M. GOMINA, A. GMOUH, A. SAMDI, R. MOUSSA a R. ORANGE. *Microstructural and mechanical behaviour of polyamide fibre-reinforced plaster composites*. [online]. 2002 [cit. 2013-12-04]. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0955221902000146>
- [27] HERNÁNDEZ - OLIVARES, F., M. R. BOLLATI, M. DEL RIO a B. PARGE - LANDA. *Development of cork-gypsum composites for building applications* [online]. 1999 [cit. 2013-12-04]. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061899000215>
- [28] SENGUL, O., S. AZIZI, F. KARAOSMANOGLU a M. ALI TASDEMIR. *Effect of expanded perlite on the mechanical properties and thermal conductivity of lightweight concrete*. [online]. 2011 [cit. 2013-12-04]. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778810004056>
- [29] GANCEL, O., J. J. DEL COZ DIAZ, M. SUTCU, F. KOKSAL, F.P. ALVAREZ RABANAL, G. MARTINEZ - BARRERA a W. BROSTOW. *Properties of gypsum composites containing vermiculite and polypropylene fibers: Numerical and experimental results*. [online]. 2013 [cit. 2013-12-04]. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778813007548>
- [30] BEKIR TOPÇU, I. a IŞIKDAĞ. *Effect of expanded perlite aggregate on the properties of lightweight concrete*. [online]. 2008 [cit. 2013-12-04]. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0924013607009685>
- [31] FERRÁNDIZ - MAS, V. a E. GARCÍA - ALCOCEL. *Durability of expanded polystyrene mortars*. [online]. 2013 [cit. 2013-12-04]. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061813003528>
- [32] ČSN EN 1015 – 3/A2. *Stanovení konzistence čerstvé malty (s použitím střešacího stolu)*. 2004.
- [33] ČSN EN 1015 – 6. *Stanovení objemové hmotnosti čerstvé malty*. 1999.
- [34] ČSN EN 1015 – 10. *Stanovení objemové hmotnosti suché zatvrdlé malty*. 2000.

- [35] ČSN EN 1015 – 11. *Stanovení pevnosti zatvrdlých malt v tahu za ohybu a v tlaku*. 2000.
- [36] ČSN EN 1015 – 18. *Stanovení koeficientu kapilární absorpce vody v zatvrdlé maltě*. 2003.
- [37] ČSN EN 1015 – 19. *Stanovení propustnosti vodních par zatvrdlými maltami pro vnitřní a vnější omítky*. 1999.
- [38] ČSN 73 1371 - Z1. *Nedestruktivní zkoušení betonu - Ultrazvuková impulzová metoda zkoušení betonu*. 2003.
- [39] ČSN EN 993-14. *Stanovení součinitele tepelné vodivosti metodou topného drátu (paralelní uspořádání)*. 2000.
- [40] ETAG 004 *Řídící pokyn pro evropská technická schválení: Vnější kontaktní tepelně izolační systémy s omítkou*. In: Brusel, 2000.
- [41] ČSN 73 2901 *Provádění vnějších tepelně izolačních kompozitních systémů (ETICS)*. 2005.

Seznam obrázků

Obr. č. 1 Skladba zateplovacího systému ETICS [1]	23
Obr. č. 2 Struktury omítek [7]	30
Obr. č. 3 Polyuretanová pěna [22]	35
Obr. č. 4 Polyuretanová pěna A – frakce 0 – 1 mm, B – frakce 0 – 4 mm [9]	36
Obr. č. 5 Sada zkušebních vzorků s přídavkem gumového granulátu [24]	38
Obr. č. 6 Sada zkušebních vzorků s přídavkem gumového granulátu [25]	38
Obr. č. 7 Korková omítka [27]	39
Obr. č. 8 Struktura sádrové matrice a polyamidových vláken [26]	39
Obr. č. 9 Závislost pevnosti v tlaku na objemové hmotnosti [28]	41
Obr. č. 10 Závislost součinitele tepelné vodivosti na objemové hmotnosti [28]	41
Obr. č. 11 Závislost nasákavosti na objemové hmotnosti [28]	42
Obr. č. 12 Struktura zobrazená v elektronovém mikroskopu [31]	43
Obr. č. 13 Metodika práce	45
Obr. č. 14 Podrcené zářivkové sklo	48
Obr. č. 15 Střásací stůl na stanovení konzistence	50
Obr. č. 16 Náčrt uložení vzorku do zkušební misky [36]	54
Obr. č. 17 Zachycení průběhu zkoušky kapilární absorpce	54
Obr. č. 18 Vzorky uložené v miskách na stanovení propustnosti vodních par	55
Obr. č. 19 Zkušební zařízení na měření součinitele tepelné vodivosti	58
Obr. č. 20 Závislost množství dávkované vody na rozliti – regresní křivky	61
Obr. č. 21 Rozliti směsi po přípravě a po devadesáti minutách, množství přidané vody	62
Obr. č. 22 Textura vzorku 0-REF	64
Obr. č. 23 Textura vzorku 1-S1	64
Obr. č. 24 Textura vzorku 2-S2	64
Obr. č. 25 Textura vzorku 3-S3	64
Obr. č. 26 Textura vzorku 4-S5	64
Obr. č. 27 Textura vzorku 5-C1	64
Obr. č. 28 Textura vzorku 6-C2	65
Obr. č. 29 Textura vzorku 7-C3	65
Obr. č. 30 Textura vzorku 8-C5	65

Obr. č. 31 Textura vzorku 9-V1	65
Obr. č. 32 Textura vzorku 10-V2	65
Obr. č. 33 Textura vzorku 11-V3	65
Obr. č. 34 Textura vzorku 12-V5	66
Obr. č. 35 Textura vzorku 13-C12	66
Obr. č. 36 Textura vzorku 14-C22	66
Obr. č. 37 Textura vzorku 15-C32	66
Obr. č. 38 Textura vzorku 16-C52	66
Obr. č. 39 Povrch vzorku 0-REF	67
Obr. č. 40 Povrch vzorku 1-S1	67
Obr. č. 41 Povrch vzorku 2-S2	67
Obr. č. 42 Povrch vzorku 3-S3	67
Obr. č. 43 Povrch vzorku 4-S5	67
Obr. č. 44 Povrch vzorku 5-C1	67
Obr. č. 45 Povrch vzorku 6-C2	68
Obr. č. 46 Povrch vzorku 7-C3	68
Obr. č. 47 Povrch vzorku 8-C5	68
Obr. č. 48 Povrch vzorku 9-V1	68
Obr. č. 49 Povrch vzorku 10-V2	68
Obr. č. 50 Povrch vzorku 11-V3	68
Obr. č. 51 Povrch vzorku 12-V5	69
Obr. č. 52 Povrch vzorku 13-C12	69
Obr. č. 53 Povrch vzorku 14-C22	69
Obr. č. 54 Povrch vzorku 15-C32	69
Obr. č. 55 Povrch vzorku 16-C52	69
Obr. č. 56 Objemová hmotnost v čerstvém stavu a v zatvrdlém stavu po vysušení	70
Obr. č. 57 Stanovení pevností a dynamického modulu pružnosti	71
Obr. č. 58 Koeficient kapilární absorpce	72
Obr. č. 59 Stanovení faktoru difuzního odporu	73
Obr. č. 60 Stanovení součinitelů tepelné vodivosti	74

Seznam tabulek

Tab. č. 1 Přehled vlastností vybraných lehčených minerálních omítek na českém trhu [11] [12] [14] [15] [16] [17] [18] [19] [20] [21]	33
Tab. č. 2 Dávkování surovin a výsledné parametry omítky vyrobené z PUR pěny [22]	34
Tab. č. 3 Fyzikálně mechanické vlastnosti tepelně izolační omítky z PUR pěny [9]	35
Tab. č. 4 Dávkování surovin do omítky s metakaolinem (množství na 1 m ³) [23]	36
Tab. č. 5 Fyzikálně mechanické vlastnosti omítky s metakaolinem [23]	36
Tab. č. 6 Dávkování surovin do omítky	40
Tab. č. 7 Fyzikálně mechanické vlastnosti omítek	40
Tab. č. 8 Receptury omítkových směsí 1. část	58
Tab. č. 9 Receptury omítkových směsí 2. část	59
Tab. č. 10 Množství vody potřebné k dosažení optimální konzistence	60
Tab. č. 11 Rozlití a změna rozlití po 90 minutách	61
Tab. č. 12 Deklarované hodnoty od výrobce	62
Tab. č. 13 Souhrn výsledných parametrů	63
Tab. č. 14 Souhrn kritérií a hodnot	75
Tab. č. 15 Kvantitativní párové srovnávání kritérií	76
Tab. č. 16 Výsledný souhrn hodnot kvantitativního párového srovnávání	77

Seznam zkratk a symbolů

min. – minimální, minimálně

max. – maximální, maximálně

min – minuta

např. – například

příp. – případně

tj. – to je

apod. – a podobně

tzn. – to znamená

hmotn. – hmotnostní

č. – číslo

ČSN – Česká technická norma

EN - Evropská norma

ETICS (external thermal insulation composite system) – vnější kontaktní zateplovací systém

PUR – polyuretan

PP – polypropylen

UV – ultrafialové záření

UZ – ultrazvuk

REC – receptura

E_{cu} – modul pružnosti zjištěný pomocí ultrazvukové metody

obr. – obrázek

tab. – tabulka