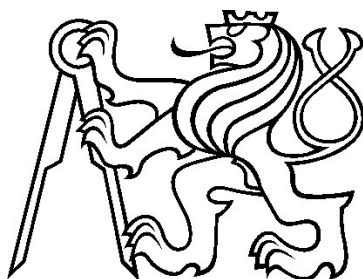


ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
Fakulta stavební



DIPLOMOVÁ PRÁCE

2017

Bc. Barbora Šumberová



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební
Thákurova 7, 166 29 Praha 6

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Šumberová Jméno: Barbora Osobní číslo: 380777

Zadávací katedra: Katedra materiálového inženýrství a chemie

Studijní program: Stavební inženýrství

Studijní obor: Materiálové inženýrství

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce: Hydrofilní omítkový systém pro vysoušení a desalinizaci zdiva

Název diplomové práce anglicky: Hydrophilic plaster system for masonry drying and desalination

Pokyny pro vypracování:

Seznam doporučené literatury:

Jméno vedoucího diplomové práce: prof. Ing. Zbyšek Pavlík. Ph.D.

Datum zadání diplomové práce: 5.10.2016

Termín odevzdání diplomové práce: 8.1.2017

Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku

Podpis vedoucího práce

Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutně uvést v diplomové práci a při citování postupovat v souladu s metodickou příručkou ČVUT „Jak psát vysokoškolské závěrečné práce“ a metodickým pokynem ČVUT „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.

8.10.2016

Datum převzetí zadání

Podpis studenta(ky)

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci Hydrofilní omítkový systém pro vysoušení a desalinizaci zdiva jsem vypracovala samostatně, za odborného vedení vedoucího mojí práce pana prof. Ing. Zbyška Pavlíka, Ph.D. a s použitím podkladů, ze kterých jsem čerpala, a které jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

V Praze dne 8. 1. 2017

.....

Bc. Barbora Šumberová

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
Fakulta stavební



HYDROFILNÍ OMÍTKOVÝ SYSTÉM PRO VYSOUŠENÍ A DESALINIZACI ZDIVA

HYDROPHILIC PLASTER SYSTEM FOR MASONRY
DRYING AND DESALINATION

Autor: Bc. Barbora Šumberová

Studijní obor: Materiálové inženýrství

Vedoucí práce: prof. Ing. Zbyšek Pavlík, Ph.D.

Poděkování

Chci na tomto místě poděkovat především vedoucímu své práce panu prof. Ing. Zbyšku Pavlíkovi, Ph.D. za všechny cenné rady, připomínky a hlavně kvalitní a milé odborné vedení, které mě mnoho naučilo. Dále patří mé poděkování paní prof. Ing. Mileně Pavlíkové, Ph.D. za pomoc při hledání vhodných materiálů a zkoumání vzorků na optickém mikroskopu.

Mé další poděkování patří paní Ing. Martině Záleské, panu Ing. Jaroslavovi Pokornému a panu Ing. Janu Fořtovi, Ph.D., kteří mi byli nápomocni a kdykoliv ochotni poradit při odborném měření materiálu, především co se týče analýzy solí a rtuťové porozimetrie, a dali mi spousty cenných rad.

Děkuji také panu Ing. Janu Kočímu, Ph.D. a panu Ing. Lukáši Fialovi, Ph.D. za zapůjčení mnoha odborných publikací a poskytnutí cenných rad během zpracování výsledků.

Anotace

Rekonstrukce starých či historicky významných zděných domů s jedinečnými interiéry je stále populárnější záležitostí, přičemž se hledají i nové způsoby využití, například suterénních prostor. Nejen při změně způsobu užívání objektů však často narážíme na problémy způsobené vysokou vlhkostí a s tím souvisejícím zasolením zdiva. Přestože v současné době existuje celá řada metod a postupů umožňujících efektivně odstranit či eliminovat příčiny vysoké vlhkosti zdiva a dalších stavebních konstrukcí, problém odsolování a vysoké salinity zůstává nedořešen. Běžně aplikované sanační omítky sice umožňují akumulovat anorganické soli ze zdiva ve své vysoce porézní struktuře, nicméně tím se problém zasolení přesouvá pouze do povrchové vrstvy konstrukce. Hygroskopicitata solí navíc zvyšuje možnost adsorpce plynné vlhkosti, která ve svém důsledku vede k vlhnutí již sanované konstrukce. Běžně se tedy stává, že po různých „opravách“ je objekt v daleko horším stavu než předtím a problémy způsobené vlhkostí a zasolením se dostanou i do míst, kde původně vůbec nebyly.

V své práci se zabývám vývojem nového systému na odvlhčení a odsolení zdiva pomocí hydrofilních celulózových vláken, přidaných do běžné průmyslově vyráběné omítky. Dále se věnuji problematice vlhkosti a zasolení zděných konstrukcí, porovnání jednotlivých, v současnosti nejčastěji používaných, sanačních systémů omítkového typu a hydrofilních vláken, zejména celulózových. První výsledky získané v rámci vývoje nového materiálu obsahujícího hydrofilní příměs jsou velmi slibné, například parametry transportu kapalné vlhkosti nově vyvinutého materiálu jsou několikanásobně vyšší v porovnání s hodnotami zjištěnými pro referenční omítkovou směs.

Klíčová slova

Sanační omítky, odvlhčování zdiva, odsolení zdiva, hydrofilní vlákna, celulóza.

Annotation

Reconstruction of old and historical masonry buildings with unique interiors became increasingly popular issue, whereas new ways for utilization of the basement space are searched. In these buildings, the durability and functional problems related to excessive moisture content and salinity are common. Although there is currently a number of methods and procedures for effective removal or elimination of the causes of high moisture content in walls and other structures, the problem of desalination and high salinity remains unsolved.

Commonly applied restoration plasters may enable to accumulate inorganic salts from the masonry in their highly porous structure. However, the problem of salinity is moved only into the surface layer of the structure. Moreover, the hygroscopicity of the salts increases the possibility of adsorption of gaseous moisture, which leads to the shift of the moisture level in already renovated construction. A common problem is that after the various "repair works", the object is in far worse condition than before, and the problems induced by moisture and salinity get to places where previously were not observed.

In my work, development of a new system for moisture removal and desalination of masonry by using hydrophilic cellulose fibers added to the commercially produced plaster is described. The problem of moisture and salinity of masonry structures is studied together with comparison of the currently most used renovation plaster systems. Presently commercially available hydrophilic fibers are analyzed, whereas specific attention is paid to cellulose fibers. First results acquired within the development of a new material with hydrophilic admixture are very promising, such as parameters describing the transport of liquid moisture of newly developed material are much higher in comparison with values obtained for the reference plaster mixture.

Key words

Renovation plasters, moisture removal and control, masonry desalination, hydrophilic fibers, cellulose.

Obsah

Anotace	5
Klíčová slova	5
Annotation	6
Key words	6
1. Úvod	11
2. Vlastnosti omítek a jejich zkoušení	13
2.1. Základní fyzikální vlastnosti	13
2.1.1. Objemová hmotnost, hustota	13
2.1.2. Pórovitost	14
2.2. Vlhkostní vlastnosti	16
2.2.1. Přímé metody měření obsahu vlhkosti	18
2.2.2. Nepřímé metody měření obsahu vlhkosti.....	18
2.2.3. Transport vlhkosti v materiálu	20
2.3. Mechanické vlastnosti	24
2.3.1. Pevnost v tahu za ohybu	25
2.3.2. Pevnost v tlaku	25
2.3.3. Odtrhová zkouška.....	26
2.4. Tepelné vlastnosti	26
2.4.1. Tepelně fyzikální veličiny.....	27
2.4.2. Tepelně technické vlastnosti.....	27
2.5. Ostatní vlastnosti malt a omítek	29
3. Omítky	29
3.1. Rozdělení omítek	30
3.1.1. Omítky – dle záměru výroby	30
3.1.2. Omítky – dle způsobu výroby	30

3.1.3.	Omítky – dle vlastností a/nebo použití	30
3.1.4.	Omítky – dělení dle funkce.....	31
3.1.5.	Omítky – rozdělení dle objemové hmotnosti a tepelného odporu	33
3.1.6.	Omítky – rozdělení podle pevnosti v tlaku.....	33
3.2.	Omítky dle typu pojiva	34
3.2.1.	Vápenné omítky	34
3.2.2.	Cementové omítky	34
3.2.3.	Sádrové omítky.....	35
3.2.4.	Akrylátové omítky	35
3.2.5.	Silikonové omítky	35
4.	Degradace omítek, stavebních materiálů	35
4.1.	Fyzikální degradace	36
4.2.	Chemická degradace	36
4.3.	Degradace omítek teplotou	36
4.4.	Degradace omítek atmosférickými vlivy	37
4.5.	Biologická degradace omítek	38
4.5.1.	Biodegradace omítek – bakterie	38
4.5.2.	Biodegradace omítek – řasy	39
4.5.3.	Biodegradace omítek - houby	39
4.5.4.	Biodegradace omítek – vyšší rostliny a živočichové.....	40
5.	Vlhkost a zasolení zdiva.....	40
5.1.	Atmosférická (srážková) voda	42
5.2.	Podpovrchová voda	42
5.3.	Kondenzovaná vlhkost	42
5.4.	Poruchy instalací TZB	43
5.5.	Provozní vlhkost	43

5.6.	Technologická vlhkost	44
5.7.	Hygroskopická vlhkost	44
6.	Přímé a nepřímé hydroizolační metody	46
7.	Odsolení zdiva	49
7.1.	Měření obsahu solí v konstrukci	51
7.2.	Měření obsahu solí v materiálech.....	51
7.2.1.	Měření vlhkostních profilů a profilů koncentrace solí	51
7.3.	Odsolování zdiva	52
8.	Sanační omítkové systémy	53
8.1.	Obětované omítky	53
8.2.	Absorpční omítky	53
8.3.	Sanační omítky	54
9.	Experimentální část	55
9.1.	Cíl práce.....	55
9.2.	Použité materiály	55
9.2.1.	Omítka	55
9.2.2.	Vlákna	57
9.2.2.1.	<i>Hydrofilní vlákna</i>	57
9.3.	Měřené veličiny.....	60
9.3.1.	Zkouška rozlitím	60
9.3.2.	Zkoušení základních fyzikálních vlastností	61
9.3.3.	Zkoušení mechanických vlastností	63
9.3.4.	Zkoušení vlhkostních vlastností.....	64
9.3.5.	Zkoušení transportu solí.....	67
9.3.6.	Zkoušení tepelných vlastností	67
9.4.	Návrh směsi.....	68

10.	Chybová analýza – chyby měření	71
11.	Výsledky a diskuze	73
11.1.	Základní fyzikální vlastnosti	73
11.1.1.	MIP – metoda rtuťové porozimetrie	73
11.2.	Mechanické vlastnosti	76
11.3.	Vlhkostní vlastnosti	77
11.3.1.	Transport kapalné vlhkosti	77
11.3.2.	Difuze vodní páry	81
11.4.	Tepelné vlastnosti	83
11.5.	Transport solí	83
11.6.	Snímky z optického mikroskopu	86
12.	Závěr	88
	Citovaná literatura	89

1. Úvod

„Nestačí budovu pouze jakž takž postavit, nýbrž jest třeba postavit ji tak, aby byla trvalá a zdravá, nekazila se následkem závad v provedení neb později vzniklých a neohrožovala zdraví a životů obyvatel [1].“ Takto začíná úvod z knížky Vladimíra Kadlece z roku 1938, která pojednává mimo jiné i o problému vlhkosti ve stavebních konstrukcích. Je tedy zřejmé, že řešení zdravotní nezávadnosti staveb, určité hygieny a komfortu vnitřního prostředí, neřešíme jen dnes, ale touto problematikou se zabývali i naši předci. A ti také dobře věděli, že kromě výše zmíněných parametrů ovlivňuje vlhkost i mechanické vlastnosti staveb. V podstatě ve stejnou dobu, když se začaly stavět podsklepené budovy, se objevily i první hydroizolace.

Ve středověku se jako ochrana proti vzlínající vodě používal přírodní asphalt, který se získával těžbou například z Albánie či okolí Mrtvého moře. Z místa těžby byly také odvozeny názvy těchto materiálů, řecké slovo „asfaltos“ označuje oblast v Albánii a například slovo „bitumenum“ značí hebrejsky oblast poblíž Mrtvého moře. Na konci 17. století se pro hydroizolační aplikace používaly například kamenouhelné dehty a v první polovině 19. století se do nátěrů s dehtem začala přidávat hydroizolační lepenka, která se vytvářela in-situ. Ve dvacátém století nastal velký rozvoj průmyslově vyráběných asfaltových pásů vzniklých z ropy. Kromě těchto primárních hydroizolačních opatření se již na počátku 20. století hojně využívaly speciální těsnící omítky, které se časem vyvinuly v sanační omítky tak, jak je známe dnes.

Těsnící omítky sloužily jako doplňkový izolační systém k povlakovým hydroizolacím. Jejich princip spočíval v tom, že obsahují hydrofobizační či těsnící přísady, které zabrání pronikání kapalně vlhkosti do konstrukce nebo z ní ven. Jako těsnící přísady bylo do omítek přidáváno například vodní sklo, dusičnan vápenatý, barnatý, hořečnatý, boritan barnatý, hydroxid draselný nebo chroman draselný. Některé z těchto látek zvyšovaly účinnost vodního skla a další měly vliv na pevnost a hutnost směsi. Dále byl používán hovězí lůj a kosterní tuk jako hydrofobizátory.

Na přelomu 70. a 80. let 20. století se objevily sanační omítky, které si získaly velkou oblibu a hojně se dnes používají. Tento typ omítek je doporučován aplikovat na zasolené a vlhké zdivo, a to jak z exteriérové, tak z interiérové strany a má za úkol zabránit vzniku solných výkvětů na povrchu stěn. Směrnice WTA 2-2-91 definuje sanační omítky jako suché maltové

směsi vybraných vlastností [2]. Základním principem u těchto druhů omítek je vyšší pórovitost (nad 42%), aby byla možná krystalizace solí uvnitř pórů a dále transport plynné vlhkosti. Póry jsou však hydrofobizované, a tím pádem zabraňují transportu vlhkosti kapalné. Tím, že je kapalná vlhkost odpuzována se zabrání jejímu prostupu až k povrchu a díky tomu nevzniknou nevzhledné mapy a výkvěty od solí, které by tam voda zanesla.

Ovšem toto řešení nám stejně vlhké zdivo nevysuší a problém s krystalizací solí pouze přeneseme hlouběji do omítky. V místě, kde se omítka stýká se zdivem, se hromadí kapalná vlhkost, protože difúzní schopnost materiálu není až tak veliká, aby dokázala všechnu vodu odnést k povrchu omítky, kde by se odpařila. Tato vlhkost se kapilárním vzlínáním transportuje do vyšších částí konstrukce a nese s sebou anorganické soli a problém s jejich krystalizací a také zvýšenou vlhkostí v omítce přenáší i do míst, kde je zdivo poměrně suché a nezasolené [1], [3], [4].

2. Vlastnosti omítek a jejich zkoušení

Abychom se v jednotlivých druzích omítek lépe orientovali, je nezbytné znát jejich materiálové vlastnosti, dle kterých můžeme různé druhy materiálů mezi sebou porovnávat. Tyto vlastnosti je vhodné rozdělit do několika podskupin, a to na základní fyzikální, mechanické, tepelné a vlhkostní. Veškeré parametry potřebné pro charakteristiku stavebních materiálů získáme měřením, experimentálním zkoušením či výpočtem na základě již známých charakteristik.

Omítky se zkouší dle norem pro malty, a to jak v čerstvém, tak ve ztvrdlém stavu. Všechny tyto zkoušky se řídí normami ČSN EN nebo WTA.

2.1. Základní fyzikální vlastnosti

Základní fyzikální vlastnosti materiálu získáme pouze změřením rozměrů a zjištěním hmotnosti vzorku, tedy gravimetrickou metodou. Jedná se například o objemovou hmotnost a hustotu, pórovitost, vlhkost a zrnitost. Na těchto základních vlastnostech závisí pak i další vlastnosti, k jejichž zjištění ale už potřebujeme znát další určité parametry.

2.1.1. Objemová hmotnost, hustota

Objemová hmotnost i hustota se určuje z rozměrů tělesa a jeho hmotnosti a jednotky obou jsou kg/m^3 . Rozdíl mezi těmito dvěma vlastnostmi spočívá v zahrnutí dutin a pórů do výpočtu. Objemová hmotnost se počítá včetně všech dutin a pórů, kdežto hustota počítá jen s objemem látky bez pórů a dutin. Proto se tyto hodnoty, obzvláště u materiálů s vysokým procentem pórovitosti, mohou velmi lišit.

Objem vzorků pravidelného tvaru získáme změřením jeho rozměrů délkovým měřidlem, ale pokud máme látku nepravidelného tvaru, nebyla by tato metoda přesná, a proto musíme zvolit jiné. Jedná se především o metody, kdy se vzorek ponoří do kapaliny a měří se její vytlačený objem, další metodou je například Archimédovo vážení, kdy nejdříve stanovíme hmotnost suchého vzorku, poté plně nasyceného a nakonec hmotnost plně nasyceného vzorku ponořeného do kapaliny. Pro tuto metodu musíme také znát hustotu kapaliny. Výsledný objem se vypočítá ze vztahu (1)

$$V = \frac{m_v - m_a}{\rho_l}, \quad (1)$$

kde V [m³] je objem vzorku, m_v [kg] hmotnost vodou nasyceného vzorku, m_a [kg] je hmotnost vodou nasyceného vzorku ponořeného do kapaliny a ρ_l [kg/m³] je hustota kapaliny.

Pokud známe objem materiálu a jeho hmotnost, snadno spočítáme objemovou hmotnost podle vztahu (2)

$$\rho_V = \frac{m}{V}, \quad (2)$$

kde ρ_V [kg/m³] je objemová hmotnost materiálu, m [kg] je hmotnost a V [m³] jeho objem.

Naproti tomu hustotu matrice pouze výpočtem dokážeme stanovit jen u kapalin a hutných materiálů bez pórů, což ovšem není případ omítek. Proto existují různé metody, jak zjistit hustotu materiálu bez zahrnutí pórů. Jedná se především o pyknometrické metody, a to buď pomocí pyknometrů – nádobek se zátkou a s kapalinou, která nereaguje s měřeným vzorkem. Modernější, rychlejší a přesnější je metoda héliového pyknometru, kde je do malého vzorku (vysušeného, vytemperovaného na laboratorní teplotu a rozdrčeného - většinou) v ocelové komoře o známém objemu vpouštěno hélium o určitém tlaku. Jelikož se předpokládá, že hélium se chová dle stavové rovnice ideálního plynu, tak je možné určit látkové množství He v referenční komoře. Pak se otevře ventil do měřicí komory a s pomocí měření poměru tlaků a objemů přístroj dopočítá hustotu matrice materiálu [5], [6], [7].

2.1.2. Pórovitost

Když známe objemovou hmotnost látky a zároveň hustotu její matrice, snadno zjistíme její pórovitost. Ta vyjadřuje procentuální objem pórů k celkovému objemu materiálu a spočítá se dle vztahu (3)

$$\psi = 1 - \frac{\rho_V}{\rho}, \quad (3)$$

kde ψ [-] je pórovitost, ρ_V [kg/m³] je objemová hmotnost materiálu a ρ [kg/m³] jeho hustota.

Pórovitost značně ovlivňuje další vlastnosti materiálu, jako jsou například tepelné nebo mechanické, a to především díky distribuci velikosti pórů. K jejímu zjištění existuje

mnoho metod, jako je například obrazová analýza, adsorpce dusíku, NMR zobrazování či MIP (Mercury Intrusion Porosimetry = metoda rtuťové porozimetrie), která je u určení distribuce pórů ve stavebních materiálech nejpoužívanější [5], [6], [7].

O pórovitosti materiálu mluvíme jako o otevřené či uzavřené. Otevřená je ta, kde jsou póry spojené s povrchem materiálu. Takové póry vznikají únikem plynů z materiálu, napěněním, odpařováním nebo provzdušněním. Naproti tomu uzavřená pórovitost značí póry nespojené s povrchem, tyto póry se neúčastní transportních procesů s okolním prostředím.

Dle velikosti dělíme póry na:

- submikroskopické (ultrakapilární) $r < 10^{-9}$ m,
 - voda se zde nemůže pohybovat,
- kapilární $r = 10^{-9} - 10^{-3}$ m,
 - voda a plyny se chovají jako v soustavě kapilár, tyto póry můžeme ještě rozdělit na:
 - kapilární mikropóry $r = 2 \cdot 10^{-9} - 2 \cdot 10^{-6}$ m,
 - kapilární přechodové póry $r = 2 \cdot 10^{-6} - 60 \cdot 10^{-6}$ m,
 - kapilární makropóry $r = 60 \cdot 10^{-6} - 2 \cdot 10^{-3}$ m,
- makropóry $r > 10^{-3}$ m,
 - již se neuplatňují kapilární síly, ale převládá vliv gravitace.

Při rozhodování o sanaci zdiva, je znalost jeho pórovitosti klíčová, protože díky tomuto poznatku víme, kolik vody se může do konstrukce dostat.

Z důvodu složitosti a proměnlivosti tvaru pórů je vhodné pórovitost popsat pomocí distribuční křivky, kterou získáme z metody rtuťové porozimetrie, mikroskopie či dalších následujících metod [5], [6], [7].

2.1.2.1. Metoda rtuťové porozimetrie (MIP)

Experiment vychází z Washburnovy rovnice (4), která udává vztah závislosti velikosti póru a do ní vpouštěné nesmáčivé kapaliny pod určitým tlakem

$$d_p = - \frac{4\gamma \cos\theta}{p}, \quad (4)$$

kde d_p [nm] je poloměr póru, γ [N/m] je povrchové napětí kapaliny, ϑ [°] kontaktní úhel nesmáčivé kapaliny, p [Pa] tlak, pod kterým proniká do póru kapalina.

Z rovnice je patrné, že čím menší průměr póru, tím bude kapalina působit větším tlakem, aby ho penetrovala. Pokud tuto závislost zderivujeme, tak získáme distribuční křivku velikosti pórů. Pro MIP je možné využít jakoukoliv nesmáčivou kapalinu, ale v praxi se používá výhradně rtuť, a to kvůli svému vysokému povrchovému napětí (při laboratorní teplotě 480 mN/m), vysokému kontaktnímu úhlu (pro silikátové materiály 130°) a je stálá i při vysokých teplotách.

Měření probíhá tak, že se vzorek vloží do přístroje do skleněné nádoby, poté je v nádobě vytvořeno vakuum a následně se celá nádoba naplní rtutí a zvyšuje se tlak tak, aby rtuť penetrovala i do menších pórů. Přístroj má konstrukčně oddělené dvě pracovní stanice – jednu pro podtlak a druhou pro přetlak (tlak nižší a vyšší než atmosférický tlak). Měřenými hodnotami jsou tlak a objem rtuti, které jsou průběžně zaznamenávány. Výstupem z tohoto experimentu je kumulativní a distribuční křivka velikosti pórů. Během měření dochází k různým zkreslením, například tím, že do větších pórů nateče rtuť sama a do všech menších pórů stejně rtuť nepronikne. Díky těmto vlivům je výsledná porozita nižší, než její skutečná hodnota. Vhodné je tedy MIP kombinovat s adsorpčním měřením [5], [6], [7].

2.1.2.2. Adsorpce plynu (dusíku)

Tato metoda se používá především pro látky s póry o velikosti menší než 50 nm. Jako plyn se při tomto experimentu nejčastěji používá kapalný dusík (- 196 °C).

2.2. Vlhkostní vlastnosti

Mezi základní vlastnosti nejen omítek, ale i ostatních materiálů, patří vlhkost. Ta nám závisí především na pórovitosti. Vlhkost je nutné sledovat, protože výrazně ovlivňuje další vlastnosti, a to od základních fyzikálních, přes mechanické, až po tepelné či vlhkostní. Můžeme buďto sledovat a vyjádřit, jaké množství vlhkosti materiál obsahuje, nebo naopak jaký na něj má vlhkost dopad [7].

Omítky, tak jako každý pórovitý materiál, obsahují téměř vždy určitou vlhkost. Jednat se může o vodu volnou vyplňující velké póry a dutiny, dále o fyzikálně (pomocí van der

Waalsových sil) či chemicky (voda je součástí krystalické mřížky) vázanou, kapilární, která vyplňuje kapiláry a malé póry, nebo adsorbovanou (když se přichytí k povrchu jiné látky). Když mluvíme o vlhkosti materiálu, setkáváme se s pojmy hmotnostní (5) či objemová (6) vlhkost. Hmotnostní nám určuje hmotnostní poměr vody k pevné fázi suchého materiálu a objemová objemový poměr.

$$w_h = \frac{(m_w - m_d)}{m_d} 100 \text{ hm. \%} = \frac{m_k}{m_d} 100 \text{ hm. \%}, \quad (5)$$

kde je w_h [%] hmotnostní vlhkost, m_w [kg] hmotnost vlhkého materiálu, m_d [kg] hmotnost suchého materiálu, m_k [kg] hmotnost kapaliny. Hmotnostní vlhkost může být pro materiály s nízkou objemovou hmotností vyšší než 100 hm. %.

$$w_V = \frac{V_V}{V_d} 100 \text{ obj. \%} = \frac{(m_w - m_d)}{\rho_w \cdot V_d} 100 \text{ obj. \%} = \frac{w_h \cdot \rho_d}{\rho_w} 100 \text{ obj. \%}, \quad (6)$$

kde je w_V [%] objemová vlhkost, V_V [m³] objem volné vody, V_d [m³] objem suchého materiálu, ρ_w [kg/m³] hustota vody, ρ_k [kg/m³] objemová hmotnost suchého materiálu. Objemová hmotnost se na rozdíl od hmotnostní vždy pohybuje v rozmezí 0 – 100 obj. %.

Jak objemová, tak hmotnostní vlhkost, se může vyskytovat v kombinaci s těmito dalšími pojmy.

Kritická vlhkost w_{cr} [%] – maximální vlhkost materiálu, který je zabudován v konstrukci. Pokud se tato mez překročí, materiál mění své vlastnosti a není vhodné ho dále používat. Okamžitá vlhkost w_{exp} [%] – je stanovena ke konkrétnímu místu, času a dalším okolnostem při odběru vzorků. Praktická vlhkost w_p [%] – jedná se o hodnotu vypočtenou při odběru vzorků z konstrukce, která pravděpodobně nebude během užívání konstrukce překročena, pokud se nebudou příliš měnit parametry okolního prostředí. Normová vlhkost w_n [%] – určuje se dle ČSN 73 0540-3, podle vlhkostního součinitele materiálu Z_{w0} a koeficientů podmínek působení. Charakteristická vlhkost w_k [%] – vlhkost, kterou určujeme při smluvené teplotě $t_a=20$ °C a vlhkosti vzduchu $\phi_a=80$ % a jde o sorpční vlhkost, tedy tu, kterou materiály přijmou z okolního vzduchu. Sorpční vlhkost materiálu w_{sb} [%] – v původně vysušeném materiálu se při uložení v prostředí s danými parametry vzduchu (vlhkost, teplota) ustálí vlhkost, které říkáme sorpční.

Kromě těchto pojmů se také často setkáváme s výrazem stupeň nasycení (7), který nám říká, jaký je poměr hmotnostní vlhkosti materiálu a hmotnostní vlhkosti v materiálu při plném nasycení

$$r = \frac{w_h}{w_{sat}} 100\%, \quad (7)$$

kde je r [%] stupeň nasycení, w_h hmotnostní vlhkost a w_{sat} hmotnostní vlhkost při plném nasycení.

Zjistit přesnou hodnotu vlhkosti v materiálu je poměrně obtížné a jediná zaručená metoda je gravimetrická. Tu ale není někdy možné provést. Proto existuje i mnoho jiných metod měření vlhkosti, které dělíme následovně. [8]

2.2.1. Přímé metody měření obsahu vlhkosti

Zde zjišťujeme obsah vody na základě odstranění vlhkosti pomocí vysušení či extrakce a ze známé hmotnosti vlhkého a suchého vzorku množství vody dopočítáme. Jedná se o nejpřesnější metody měření vlhkosti. Mezi nejčastěji používané metody patří gravimetrická, extrakční, azeotropická destilace.

2.2.1.1. Gravimetrická metoda

Vzorek se zváží ve vlhkém stavu a následně vysuší a znovu zváží. Výpočet obsahu vlhkosti probíhá dle vztahů (5) a (6). Vzorek je možné vysušit pomocí horkého suchého vzduchu ve speciální komoře s vysoušecím činidlem. Pomocí této metody se často kalibrují ostatní měření vlhkosti.

2.2.1.2. Extrakční metoda

Obsah vody v materiálu se zjišťuje za pomoci titrace (kvantitativní analýzy), kdy pomocí vyluhování odstraníme vodu z materiálu do vhodného rozpouštědla.

2.2.2. Nepřímé metody měření obsahu vlhkosti

Pro určení obsahu vlhkosti měříme veličinu, která je na množství vody ve vzorku závislá a vlhkost materiálu dopočítáme. Existuje velké množství těchto metod, zde uvádím jen přehled těch nejpoužívanějších. Získanou hodnotu musíme brát pouze jako orientační, protože všechna tato měření jsou zatížena určitou chybou, tudíž nezískáme přesnou hodnotu. Tyto metody se používají například pro zjištění vhodných částí konstrukce pro odebrání vzorku ke zjištění vlhkosti přímými metodami.

2.2.2.1. Odporová metoda

Princip této metody spočívá v tom, že se změnou obsahu vody v materiálu se mění i jeho elektrické vlastnosti – elektrický odpor. Běžně se měrný elektrický odpor suchého porézního materiálu pohybuje v rozsahu $10^8 - 10^{13} \Omega\text{m}$ a přítomnost vody ho může snížit až na $10^{-4} \Omega\text{m}$. Vliv na změnu elektrických vlastností má i teplota, kterou musíme zohlednit. Tato metoda je nepoužitelná při vyšším obsahu solí a přesná není ani při měření vysokých odporů (velmi malý obsah vody). Použití je vhodné pro odhad vlhkosti především dřevěných a betonových konstrukcí, dále při sledování vysychání konstrukce a určení hranice mezi zavlhlým a suchým materiálem.

2.2.2.2. Dielektrické metody

Metody spočívají v analýze měřeného vlhkého materiálu (dielektrika), jehož chování definujeme elektrickou vodivostí a permitivitou (vlastnost, která udává, kolikrát je intenzita elektrického pole ve vzorku menší, než ve vakuu). Tyto vlastnosti závisí na složení a struktuře zkoumaného materiálu, frekvenci jeho elektrického pole, teplotě a tlaku. Díky tomu, že permitivita čisté vody při 20 °C je okolo 80 a většiny suchých stavebních materiálu mezi 2 a 6, tak lze dopočítat, kolik vzorky obsahují vody. Tyto metody vykazují nízkou přesnost při měření nízké vlhkosti, proto na toto použití nejsou vhodné. Dielektrické metody můžeme rozdělit na kapacitní (frekvence mezi 100 kHz a 100 MHz), kde je největší nevýhodou velká závislost na iontů solí a je možná vlhkost měřit do zhruba 4 cm tloušťky konstrukce, a mikrovlnné metody (frekvence 1 – 100 GHz). Mezi mikrovlnné metody patří metoda TDR (time domain reflectometry), která vysílá elektromagnetické pulsy a následně měří amplitudu odražených vln v časovém intervalu mezi vysláním pulzu a detekcí jeho odrazu. Princip metody TDR je popsán vztahem mezi rychlostí propagace elektromagnetické vlny a permitivitou materiálu (8)

$$\varepsilon_r = \frac{c \cdot t_p}{2L}, \quad (8)$$

kde $\varepsilon_r [-]$ je relativní permitivita porézního materiálu, c [m/s] rychlost světla ve vakuu, t_p [s] čas průchodu čidly sond a L [m] délka čidla sondy.

2.2.2.3. Radiometrické metody

Tyto metody jsou založeny na absorpci radioaktivního záření v materiálu, protože voda ovlivňuje absorpci rychlých neutronů nebo γ záření.

2.2.2.4. Chemické metody

Chemické metody mají princip buď založený na chemické reakci vody s materiálem s chemickým činidlem, nebo na generování plynů (CaC_2 , LiAlH_4 , CaH_2) v důsledku reakce vody a činidla.

2.2.2.5. Ultrazvuková metoda

Rychlost šíření ultrazvukových vln závisí nelineárně na obsahu vody, což tvoří základní princip této metody. Je možné ji provádět pouze v klimatizační komoře kvůli nutnosti zavedení tepelné kompenzace, protože rychlost šíření UZ vln závisí i na teplotě [4], [5], [6], [7].

2.2.3. Transport vlhkosti v materiálu

Vlhkost, a to jak ve formě plynné či kapalné, může materiálem procházet. Jedná se o tři způsoby transportu vlhkosti, která závisí právě na tom, zda se voda nachází ve skupenství kapalném nebo plynném. Abychom mohli posoudit v jakém skupenství voda v materiálu je, poslouží nám k tomu Knudsenovo číslo K_n , které závisí na velikosti molekuly a průměru póru. Vypočítá se dle vztahu (9).

$$K_n = \frac{\lambda}{d}, \quad \lambda = \frac{k_B T}{2^{5/2} \pi R_m^2 p}, \quad (9)$$

kde K_n [-] je Knudsenovo číslo, λ [m] střední volná cesta molekul vodní páry, d [m] průměr póru, $k_B = 1,38 \cdot 10^{-23}$ Boltzmannova konstanta, πR_m^2 [m] kolizní průřez molekuly, p [Pa] tlak.

Molekula vodní páry je až pětkrát menší, než molekula vody. Pokud je $K_n \gg 1$, tak nelze s jistotou říci v jakém skupenství je voda v pórech a transport probíhá pomocí izolovaných molekul vody. Tomuto transportu se říká efuze, neboli Knudsenova difuze. Pokud $K_n \ll 1$, pak probíhá transport vodní páry jako v kruhových kapilárách.

2.2.3.1. Sorpce vodní páry

Jedná se o přijímání vlhkosti pohlcováním vodní páry. Sorpci můžeme rozdělit na absorpci (=vstřebávání jedné látky druhou), což je například difuze, nebo na adsorpci (=přichycení látky k povrchu jiné látky). Tento způsob transportu vlhkosti v materiálu je možný díky van der Waalsovým silám, což jsou nejslabší vazebné interakce mezi molekulami a nenabitými atomy, které působí nezávisle na velikosti náboje.

Pokud chceme popsat akumulaci plynné vlhkosti v materiálu, použijeme k tomu sorpční izotermu, která nám ukazuje závislost obsahu vlhkosti v materiálu na relativní vlhkosti prostředí.

Fáze sorpčního procesu můžeme popsat následovně:

- 1) nastává povrchová adsorpce při nižších hodnotách relativní vlhkosti – relativní vlhkost narůstá v čase,
- 2) druhou fází je multimolekulární absorpce, kdy se navazují další vrstvičky vody,
- 3) poslední fáze je kapilární kondenzace, relativní vlhkost je vyšší než 40%, spojí se molekuly vody a vzniká volná voda.

2.2.3.2. Difuze vodní páry

Jedná se o schopnost pronikání molekul plynů, par a kapalin do porézního systému materiálu, ke které dochází, pokud materiál odděluje dvě prostředí, mezi nimiž je rozdíl částečných tlaků vodní páry. Difuze může probíhat v kapilárách, které mají průměr větší než 10^{-7} m.

Pokud měříme difuzi vodní páry v materiálu, používáme k jejímu hodnocení následující veličiny.

Součinitel difuze D [m^2/s] vyjadřuje schopnost materiálu propouštět vodní páru. Tato veličina závisí na pórovitosti, vlhkosti, teplotě a rozdílu relativních vlhkostí, což lze vidět v následujících vztazích (10), (11). Čím máme vyšší vlhkost materiálu, tím je součinitel difuze vodní páry nižší.

$$D = \frac{\delta \cdot R \cdot T}{M}, \quad (10)$$

$$\delta = \frac{\Delta m \cdot d}{S \cdot \tau \cdot \Delta p_p}, \quad (11)$$

kde D [m^2/s] je součinitel difuze vodní páry, δ [s] součinitel propustnosti pro vodní páru, R [J/mol.K] univerzální plynová konstanta, T [K] teplota, M [kg/mol] molární hmotnost vodní páry, Δm [g] množství vodní páry prodifundované vzorkem, d [m] tloušťka vzorku, S [m^2] plocha vzorku, τ [s] časový interval korespondující s Δm , Δp_p [Pa] rozdíl parciálních tlaků vodní páry změřených nad a pod povrchem vzorku.

Faktor difuzního odporu μ [-] udává, kolikrát je transport vodní páry materiálem pomalejší v porovnání s transportem vodní páry ve vzduchu. Je definován vztahem (12)

$$\mu = \frac{D_{vzduch}}{D} = \frac{1}{N \cdot \delta}, \quad (12)$$

kde D_{vzduch} [m^2/s] je součinitel difuze vodní páry ve vzduchu, D [m^2/s] součinitel difuze vodní páry ve vzorku, N [1/s] přibližná hodnota difuzního odporu vzduchu, δ [s] součinitel propustnosti pro vodní páru.

Ekvivalentní difuzní tloušťka materiálu r_d [m] se používá k vyjádření difuzních vlastností materiálů určených pro povrchové úpravy, jako jsou omítky, nátěrové systémy. Popisuje, jakou tloušťku by musela mít vrstva vzduchu, aby měla stejný difuzní odpor jako zkoumaný materiál. Vypočítá se ze vztahu (13)

$$r_d = \mu d, \quad (13)$$

r_d [m] je ekvivalentní difuzní tloušťka materiálu, μ [-] faktor difuzního odporu, d [m] tloušťka vzorku.

Difuzní odpor materiálu R_d [m/s] vyjadřuje, jak moc brání materiál, či celá konstrukce prostupu vodní páry pomocí difuze. Tato hodnota se využívá například ke stanovení zkondenzované vodní páry ve skladbě střechy. Vypočítá se ze vztahu (14)

$$R_d = \mu d N = r_d N. \quad (14)$$

Všechny výše uvedené hodnoty získáme měřením miskovou metodou, kterou popisuje norma ČSN EN ISO 12572 [9]. Tato metoda je nejčastěji používanou a jsou na ni vytvořeny normy ve většině vyspělých zemí světa. Podle výše zmíněné normy by mělo měření proběhnout při třech různých poměrech relativních vlhkostí, a to 0/50 %, 0/85 % a 50/93 %. [5] V praxi se tyto hodnoty ale běžně upravují dle podmínek a potřeb pro daný materiál. Celý princip měření vychází z toho, že pokud na každé straně vzorku budeme mít jinou relativní vlhkost vzduchu, tak skrz vzorek bude procházet vodní pára až do vyrovnání relativních vlhkostí.

Miskovou metodu můžeme provádět ve dvou uspořádáních, konkrétně v nastavení „wet cup“ a „dry cup“. Po celou dobu měření je nutné zajistit stálou teplotu a relativní vlhkost nad a pod vzorkem, čehož docílíme použitím klimatizační komory. V té udržujeme konstantní

teplotu 21 °C a relativní vlhkost 50 ± 2 %. Nejdříve si připravíme misky a v případě „dry cupu“ na dno umístíme vysoušedlo (silika – gel) a v případě „wet cupu“ na dno nalijeme vodu nebo solný roztok, který nesmí být v kontaktu s měřeným materiálem. Vysušený vzorek umístíme se zaepoxidovanými stranami do misky, po stranách jej připevníme a zároveň utěsníme technickou plastelínou. Takto připravené vzorky se zváží a poté vloží do klimatizační komory. Dále se pravidelně zváží a zaznamenávají se úbytky, nebo přírůstky hmotnosti v čase až do ustálení, což podle typu materiálu může trvat až několik týdnů.

2.2.3.3. Vlhkostní vodivost

Mluvíme-li o vlhkostní vodivosti, myslíme tím pohyb kapalné vody v materiálu. Nejlépe tento pohyb můžeme vyjádřit pomocí sorptivity S [$m/s^{1/2}$]. Ta se vypočítá z následujícího vztahu (15)

$$I = S \cdot t^{1/2} , \quad (15)$$

kde I [m] je kumulativní absorpce vody a t [s] čas odpovídající této absorpci.

Vodivost kapalné vlhkosti v materiálu závisí na tom, zda je materiál smáčivý a na množství a druhů pórů. Čím má materiál větší póry, tím nasákává vodu rychleji, ale tím méně voda v materiálu vzlíná. Díky kapilárním pórům je nasávání vlhkosti výrazně silnější, než u větších pórů.

Pokud chceme změřit množství transportu kapalné vlhkosti do materiálu, lze použít manuální nebo automatickou metodu měření. Vysušený vzorek (krychle či trámeček) se po stranách zaizoluje vodotěsně i parotěsně, nejlépe epoxidovou pryskyřicí. Takto připravený vzorek se zváží a změří v suchém stavu a poté se dá do vody tak, aby byl maximálně ponořen 0,5cm. Po určitých časových intervalech se vzorek zváží a sleduje se přírůstek hmotnosti měřeného vzorku. Popis tohoto experimentu vychází z Fickova zákona, který popisuje transport kapalné vlhkosti a dle Kumaranova vztahu získáme průměrnou hodnotu součinitele vlhkostní vodivosti a také ze základního vztahu pro sorptivitu a kumulativní absorpci vody (15).

Kapilární vzlínání vlhkosti je v konstrukci nežádané a může se vyskytnout například vlivem vzlínající zeminí vlhkosti. Pokud je například průměr póru ve zdivu okolo 10^{-5} m, tak voda dovzlíná až do výšky okolo 1,5 m nad terénem. [4] Nejvyšší výška, kam se až voda může

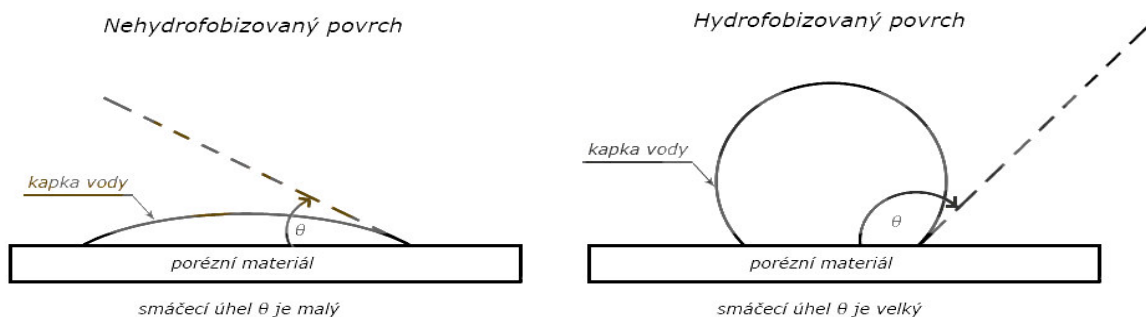
v kapilárách dostat, se spočítá dle vztahu (16). Jelikož při vzlínání vlhkosti nastává i její odpařování, tak je skutečná výška vzlínání vlhkosti o něco nižší, než ta výpočtová.

$$h = \frac{2 \cdot \sigma \cdot \cos \theta}{r \cdot \rho \cdot g}, \quad (16)$$

kde h [m] je maximální výška vzlínání vlhkosti v kapilárách, σ [N/m] povrchové napětí kapaliny, θ [°] úhel smáčení mezi kapalinou a stěnou kapiláry, r [m] poloměr kapiláry, ρ [kg/m³] měrná hmotnost kapaliny, g (9,81m/s²) je tíhové zrychlení.

Úhel smáčení je pro smáčivé materiály mezi 0 a 90° a čím je nižší, tím je materiál více smáčen. Naopak pokud je smáčecí úhel vyšší než 90°, jedná se o zápornou výšku vzlínání, které se říká kapilární deprese, neboli hydrofobita. Pro vodu se \cos smáčecího úhlu blíží hodnotě 1, takže pro vodu lze výpočet zjednodušit následovně (17)

$$h = \frac{0,149}{r} [\text{cm}]. \quad (17)$$



Obr. 1 Příklady úhlů smáčení

2.3. Mechanické vlastnosti

Mechanické vlastnosti nás u většiny materiálů zajímají ze všech vlastností nejvíce, a to především u materiálů, které přenášejí v konstrukci nějaká mechanická zatížení. U omítek, obzvlášť u těch speciálních, pro nás mechanické vlastnosti nejsou tak důležité jako například u betonu, nebo oceli, ale rozhodně je nemůžeme opomíjet. Tyto vlastnosti udávají, jaký je vztah mezi mechanickým namáháním a odporem materiálu. Pokud hovoříme o mechanickém

namáhání, kdy si zkoušený vzorek zachová svou celistvost, pak se jedná o mechanické vlastnosti přetvárné (deformační). Pokud se materiál při zatěžování poruší, jedná se již o vlastnosti pevnostní.

Pevnostní charakteristiky se zkouší na ztvrdlých omítkách dle stejných norem jako ztvrdlé malty. Zkušební tělesa mají rozměry 40 x 40 x 160 mm. Nejdříve se formy vymažou olejem, poté se naplní do půlky, zhutní a posléze se naplní až po okraj formy, opět se zhutní a odstraní se pomocí špachtle či pravítka přebytečná omítka.

Pevnostní zkoušky se provádějí po 28 dnech dle ČSN EN 1015 -11 [10]. Zkouší se pevnost v tahu za ohybu a tlaku. Dle ČSN 72 2452 čl. 12 se na těchto vzorcích zkouší i pevnost vzorku zatěžovaného mrazem (zkouška mrazuvzdornosti), kdy po určitých zmrazovacích cyklech prováděných na vzorku nesmí hodnota jeho pevnosti klesnout o více než 25% oproti referenčním vzorkům bez mrazového namáhání. [11] Dalším důležitým ukazatelem mechanických vlastností u malt a omítek je jejich přídržnost k podkladu. Z tohoto důvodu se provádí odtrhová zkouška dle ČSN EN 1012 – 12.

2.3.1. Pevnost v tahu za ohybu

Trámeček o rozměrech 40 x 40 x 160 mm se při zkoušce tahu za ohybu položí kolmo ve směru hutnění do speciálního lisu (přístroj MTS 500), kde je vzdálenost podpór 100 mm a shora je vzorek zatěžován rovnoměrnou rychlostí 50 ± 10 N/s až do porušení a následného zlomení [5]. Při doražení mezní únosnosti je zaznamenána nejvyšší dosažená síla při porušení a poté se ze vztahu (18) vypočte pevnost v tahu za ohybu R_f [MPa].

$$R_f = \frac{3}{2} \frac{Fl}{bh^2}, \quad (18)$$

kde R_f [MPa] je pevnost v tahu za ohybu, F [N] maximální dosažená síla při porušení tělesa, l [mm] vzdálenost podpór (100 mm), b [mm] šířka tělesa, v [mm] výška tělesa v poloze při zkoušce. [10]

2.3.2. Pevnost v tlaku

Další mechanickou vlastností, kterou zkoušíme nejen u omítek, je pevnost v tlaku. Ke zkoušce ve zkušebním lisu použijeme zbylé poloviny ze zkoušky v tahu za ohybu a provedeme zkoušku dle ČSN EN 1015 – 11. Vzorky se opět uloží kolmo na směr hutnění mezi protilehlé destičky o ploše 40 x 40 mm, které budou vyvozovat tlak. Na přístroji se spustí rovnoměrné

zatěžování trvající minimálně 30 s a zaznamená se největší síla, která je nutná pro porušení vzorku. Pevnost v tlaku se spočítá dle následujícího vztahu (19)

$$R_m = \frac{F_c}{A}, \quad (19)$$

kde R_m [MPa] je pevnost v tlaku, F_c [N] maximální síla při porušení vzorku v tlaku, A [mm²] plocha vymezená tlačnými destičkami (1600 mm²). [10]

2.3.3. Odrhová zkouška

Odrhová zkouška říká, jaká minimální síla je potřebná k odtržení materiálu od podkladu ve směru kolmém na podklad. Na povrch zkoušeného materiálu se nalepí speciální terčík a pomocí zkušebního zařízení je vyvozováno tahové napětí. Zkouška probíhá až do úplného odtržení materiálu od podkladu a zaznamenává se naměřená tahová síla. Celý průběh zkoušky probíhá dle ČSN 74 4505 (2012) a její vyhodnocení probíhá dle vztahu (20)

$$R = \frac{F}{A}, \quad (20)$$

kde R [MPa] je pevnost v tahu povrchových vrstev, F [N] hodnota síly při odtržení, A [mm²] plocha odtržení [5], [6].

2.4. Tepelné vlastnosti

Teplo se materiály může šířit několika způsoby, a to vedením (kondukcí), prouděním (konvekcí) či sáláním (radiací). V pevných látkách se uplatňuje zejména vedení tepla, kdy si částice látky mezi sebou předávají energii kinetických energií, a ta se přenáší z míst s vyšší teplotou do míst s nižší teplotou [6]. Teplo je ovšem možné vést i v plynných a kapalných látkách. Naproti tomu přenos tepla prouděním probíhá jen v kapalinách a plynech. Ovšem proudění i vedení tepla vyžaduje látkové prostředí. Třetí druh přenosu tepla, tedy radiace, nepotřebuje látkové prostředí a teplo je přenášeno elektromagnetickým zářením.

To, jak materiál vede teplo, záleží na mnoha jeho vlastnostech, jako je pórovitost, objemová hmotnost, struktura nebo teplota. Tyto vlastnosti jsou také transportem tepla ovlivňovány, stejně tak jako pevnost, tvrdost a jiné další. Z důvodu velkého množství parametrů, které můžeme o tepelných vlastnostech materiálu naměřit, je dělíme do několika následujících skupin [5], [6], [7].

2.4.1. Tepelně fyzikální veličiny

Pod tepelně fyzikální veličiny patří ty parametry, které posuzují materiál a jeho teplotní vlastnosti z pohledu fyziky.

2.4.1.1. *Součinitel tepelné vodivosti*

Tento parametr popisuje, jak materiál vede teplo, když není v materiálu stejná teplota. Součinitelem tepelné vodivosti λ [W/mK] udává tepelný výkon, který projde plochou homogenního materiálu o ploše 1 m^2 do vzdálenosti 1 m při teplotním rozdílu 1 K . Je to tedy schopnost materiálu vést teplo. Ovlivňuje ho teplota, pórovitost a struktura materiálu. Součinitel tepelné vodivosti vzduchu λ_{vzduch} je $0,025 \text{ W/mK}$. Je tedy jasné, že čím více pórů bude materiál mít, tím hůře povede teplo a tím více bude tepelně izolační. Pro klasické omítky se λ pohybuje mezi $0,5$ a $1 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$.

Měření součinitele tepelné vodivosti probíhá pomocí metod stacionárních, kdy je měření prováděno za stálého tepelného výkonu a nestacionárních, kdy se tepelný výkon během měření mění [6] [7].

2.4.1.2. *Tepelná kapacita c*

Tepelná kapacita c materiálu udává množství tepla, které je nutné dodat 1 kg (m^3) materiálu, aby se ohřál o 1 K . Dělíme ji na měrnou, kdy je množství tepla vztaženo na 1 kg látky [J/kgK] a na objemovou, kdy se množství tepla vztahuje k m^3 látky [$\text{J/m}^3\text{K}$]. Pro měření tepelné kapacity se používá například směšovací nebo neadiabatická metoda [5], [6], [7].

2.4.1.3. *Teplotní lineární délková roztažnost*

Během změny teploty materiálů dochází ke změně jeho délek a objemu. Jak moc se materiál mění vlivem teploty, nám říká součinitel teplotní délkové roztažnosti α [$1/\text{K}$]. Při zvýšení teploty se objem materiálu zvětšuje a naopak při jejím poklesu se materiál zmenšuje a dochází k jeho objemové kontrakci [7].

2.4.2. Tepelně technické vlastnosti

Tyto hodnoty materiálů či stavebních konstrukcí lze zjistit pouze tehdy, kdy známe jejich tepelně fyzikální vlastnosti.

2.4.2.1. Tepelná jímavost materiálů

Tepelná jímavost materiálů b [W^2s/m^4K^2] udává schopnost materiálu přijímat nebo uvolňovat teplo. Čím je jeho hodnota vyšší, tím materiál hůře přijímá i uvolňuje teplo [7]. Je dána vztahem (21)

$$b = \lambda \cdot c \cdot \rho_v , \quad (21)$$

kde λ [W/mK] je součinitel tepelné vodivosti, c [J/kgK] měrná tepelná kapacita a ρ_v [kg/m^3] objemová hmotnost [6].

2.4.2.2. Součinitel teplotní vodivosti

Tento součinitel říká, jak je materiál schopný vyrovnávat rozdílné teploty při neustálém vedení tepla, pokud je v materiálu definovaná vlhkost. Vypočítá se ze vztahu (22) a čím je jeho hodnota vyšší, tím materiál rychleji vyrovnává teploty.

$$a = \frac{\lambda}{c \cdot \rho_v} , \quad (22)$$

kde a [m^2/s] je součinitel teplotní vodivosti.

2.4.2.3. Tepelný odpor vrstvy materiálu

Tepelný odpor posuzujeme pro jednotlivé vrstvy materiálu a jedná se o poměr tloušťky materiálu a jeho součinitele tepelné vodivosti. Čím vyšší je hodnota tepelného odporu, tím více je materiál tepelně izolační. Tepelný odpor se vypočte ze vztahu (23)

$$R = \frac{d}{\lambda} , \quad (23)$$

kde R [m^2K/W] je tepelný odpor vrstvy materiálu, d [m] tloušťka vrstvy materiálu kolmá na směr tepelného toku, λ [W/mK] součinitel tepelné vodivosti.

2.4.2.4. *Součinitel prostupu tepla*

Tato hodnota se používá pro celou část konstrukce, tedy ne pouze pro jednotlivé vrstvy. Značí se U a její jednotky jsou $[W/m^2K]$. Spočítá se tak, že se sečtou tepelné odpory jednotlivých vrstev konstrukce a k tomu i tepelné odpory při přestupu tepla na stranách interiéru a exteriéru a získanou hodnotou vydělíme číslo 1 [7].

2.5. Ostatní vlastnosti malt a omítek

Mezi další vlastnosti stavebních materiálů patří například akustické parametry, které popisují, jak daný materiál odráží či pohlcuje zvukové vlny. Dále se jedná o vlastnosti radioaktivní, jakým způsobem korodují či o požární vlastnosti. Ty pro nás ale u omítek nejsou tak podstatné.

3. Omítky

Omítkami nazýváme povrchovou vrstvu stěn z malty nebo jiných materiálů. Omítky fungují jednak jako ochranný štít konstrukce chránící stěny před vnějšími vlivy (vlhkost, mráz, slunce, atd.) a mechanickým poškozením, ale mají také estetickou funkci a utváří definitivní vzhled jak exteriéru, tak interiéru. Základní požadavky na omítky jsou přídržnost, otěruvzdornost, pevnost v tlaku, propustnost vodní páry a odolnost vůči povětrnostním podmínkám. Omítku musíme určit již ve fázi projektu, a to proto, aby všechny části konstrukce efektivně spolupůsobily jako jeden systém. Tato vrchní vrstva konstrukce je sice aplikována až při poslední fázi výstavby, ale pokud nebude dodržen správný technologický postup a vhodný výběr materiálů, může dojít k poškození nosných prvků konstrukce.

Omítka se ve stavebnictví objevuje již od samého počátku. V každém historickém období nesla specifické umělecké i technologické znaky dané doby. Vždy totiž patřila k nejviditelnější části konstrukce a podle toho také vypadala. Vzpomeňme si například na starověké hliněné omítky či renesanční vyškrabávaná sgrafita.

Omítka je definována jako malta, tedy směs pojiva, plniva a vody určená k aplikaci na stěny. Rozdíl mezi maltou a betonem je v použitém kamenivu. Do malty přidáváme jako plnivo pouze drobné kamenivo do frakce 4 mm [12], [13].

3.1. Rozdělení omítek

Omítky můžeme dělit podle mnoha kritérií, jako je místo výroby, pojivová složka, pevnost nebo dle různých vlastností a použití. Dle ČSN EN 998 – 1 a je dělení omítek pro vnitřní a vnější použití následující. [14]

3.1.1. Omítky – dle záměru výroby

- Návrhové malty podle volby výrobce

Jedná se o maltu navrženou výrobcem a vyrobenou pro určité vlastnosti, které se ověřují požadovanými zkouškami. Jedná se například o pytlované omítky, jež před aplikací smícháme s vodou, nebo o již hotové omítkové směsi dovezené na stavbu těsně před aplikací.

- Předpisové malty

Předpisové omítky (malty) mají předpis dle požadovaných vlastností, ale míchání probíhá až na staveništi dle návodu, ve kterém je poměr písku, pojiva, vody a různých přísad a příměsí.

3.1.2. Omítky – dle způsobu výroby

- Průmyslově vyráběné malty
- Malty zčásti připravené průmyslově
- Staveništní malty

3.1.3. Omítky – dle vlastností a/nebo použití

- Obyčejná malta pro vnitřní / vnější omítky
- Lehká malta pro vnitřní / vnější omítky
- Barevná malta pro vnější omítky
- Malta pro jednovrstvé vnější omítky
- Sanační malta pro vnitřní / vnější omítky
- Tepelněizolační malta pro vnitřní / vnější omítky

Malty pro vnitřní / vnější omítky nedosahují svých vlastností, pokud po nanesení nezatvrdnou. Užité vlastnosti malty pro vnitřní / vnější omítky závisí na druhu použitého materiálu, na tloušťce vrstev a způsobu nanesení. Kromě toho ovlivňuje malty pro vnitřní / vnější omítky povrch konstrukce.

Oblastní rozdíly ve stavební praxi, klimatické podmínky a různé složky malt pro vnitřní a vnější omítky neumožňují předepsat normalizované dávkování směsi pro předpisovou maltu, které by bylo použitelné v celé Evropě. Proto specifikace dávkování takové směsi (receptura) a oblast použití by měly vycházet z praxe a zkušeností získaných v místě použití [12], [15], [16], [14].

Další dělení omítek nejsou předepsána normou, ale jsou velmi používaná. Jedná se o tato rozdělení.

3.1.4. Omítky – dělení dle funkce

Dělení dle funkce se vyskytuje u vícevrstvého systému i jednovrstvého systému. U vícevrstvého používáme podhoz, jádrovou a štukovou omítku, u jednovrstvého používáme jen jedinou omítku, pod kterou se dává spojovací můstek. Jednotlivé vrstvy omítky můžeme vidět na Obr.2.

- Postřík (podhoz, špric)

Jedná se o vrstvu spojující podklad s dalšími omítkovými vrstvami. Je nutné, aby tato podkladní vrstva měla větší pevnost než následující vrstva, protože má klíčový vliv na přídržnost materiálů. Její povrch musí být hrubozrnný, aby k němu lépe přilnula další vrstva. Obvykle se používá cementový postřík tvořený cementem a pískem, občas i s přídavkem hašeného vápna. V poslední době se těší čím dál větší popularitě různé speciální disperzní soustavy zastávající funkci adhezního můstku.

- Jádrová omítka

Tato vrstva slouží především k vyrovnání podkladu. Dále plní tepelně izolační funkci, nebo další přídavné funkce jako je difuze vodních par či zadržení solí ve svém pórovém systému, což se týká sanačních omítek.

- Štuková (jemná) omítka

Této vrstvě se často říká u vnějších omítek dekorativní nebo fasádní. Jedná se o poslední vrstvu před aplikací nátěru. Její hlavní funkcí je vyrovnání předešlých vrstev. Štuková omítka musí být vždy povrchově ošetřena.

- Strukturální omítka

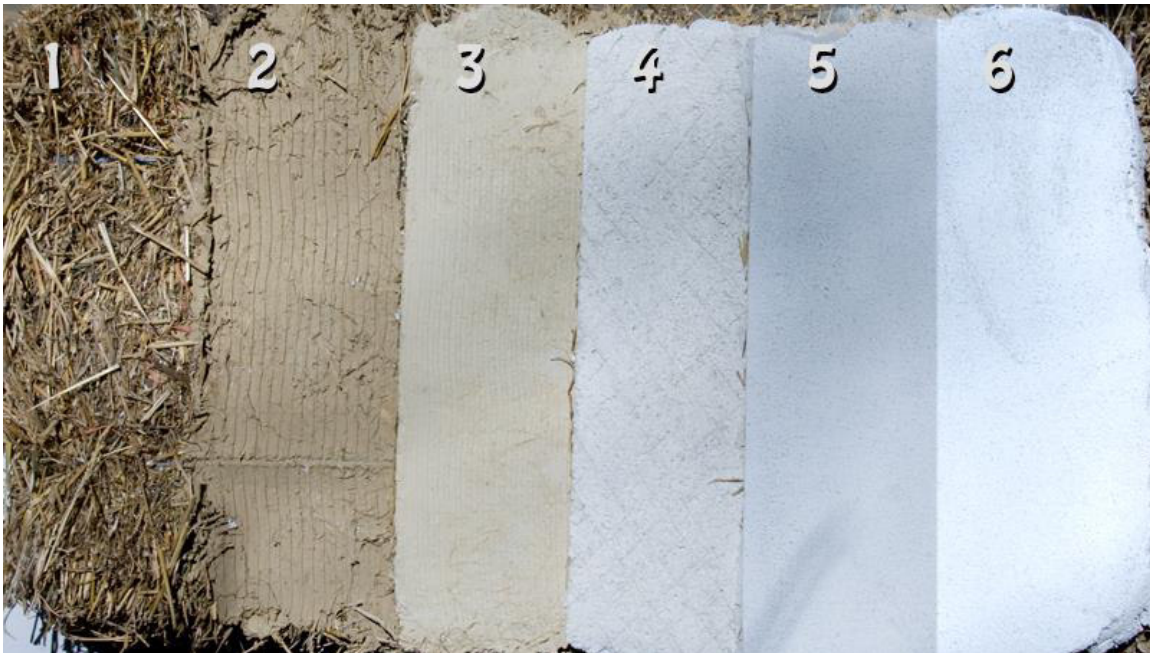
Pokud chceme vytvořit zajímavou strukturu, dáme jako poslední vrstvu tuto omítku, která má písek o větší zrnitosti a po správné aplikaci je na ní vidět požadovaná struktura.

- Jednovrstvá omítka

Tuto omítku aplikujeme buď přímo na podklad, nebo na penetrační vrstvu a plní funkci jádrové i štukové omítky. Pokud máme jádrovou omítku o jemnější zrnitosti, je možné ji použít jako jednovrstvou.

- Stěrková omítka

Stěrková omítka je velmi jemnozrná a používá se jako poslední vrstva, pokud je vyžadován velmi hladký obklad, který je často potřeba zbrousit. Nanáší se pouze v tenké vrstvě [7], [13], [16], [17].



Obr. 2 Vrstvy omítky na balíku slámy – 1 – sláma, 2 – podhoz, 3 – první vrstva jádrové omítky, 4 – druhá vrstva jádrové omítky, 5. – štuková omítka, 6. - nátěr

3.1.5. Omítky – rozdělení dle objemové hmotnosti a tepelného odporu

- Těžké omítky

Objemová hmotnost dosahuje hodnot nad 2300 kg/m³. Tyto omítky se používají pro speciální aplikace, například jako povrchová vrstva těžkých betonů pro radioaktivní stínění.

- Obyčejné omítky (GP)

Do této skupiny patří omítky pro běžné použití s objemovou hmotností do 2300 kg/m³ [16].

- Lehké omítky – tepelně izolační (LW)

Písek se u lehčených omítek nahrazuje EPS a perlitem, objemová hmotnost je do 1300 kg/m³ a součinitel tepelné vodivosti $\lambda < 0,37$ W/mK.

- Vysoce tepelně izolační (T2)

Jedná se o omítky ještě více vylehčené, než předchozí (LW). Objemová hmotnost dosahuje maximálně 800 kg/m³ a součinitel tepelné vodivosti $\lambda < 0,2$ W/mK.

- Mimořádně vysoce tepelně izolační (T1)

Tyto omítky se používají pro speciální aplikace u nízkoenergetických a pasivních domů. Jejich objemová hmotnost je do 400 kg/m³ a součinitel tepelné vodivosti $\lambda < 0,1$ W/mK [16].

3.1.6. Omítky – rozdělení podle pevnosti v tlaku

- CS I – pevnost v tlaku 0,4 – 2,5 MPa
- CS II – pevnost v tlaku 1,5 – 5,0 MPa
- CS III – pevnost v tlaku 3,5 – 7,5 MPa
- CS IV – pevnost v tlaku > 6 MPa [16]

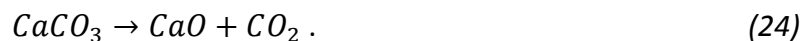
Dělení omítek může být skutečně různé, další možností dělení je dle typu použitému pojiva, které je hlavním nositelem vlastností omítky.

3.2. Omítky dle typu pojiva

Pojivo po smíchání s vodou reaguje a pomalu tuhne a tvrdne, až dosáhne určitých pevností a drží ostatní zrna a jiné látky pohromadě. Pojiva mohou být jak anorganická, tak organická, ale ve stavebnictví výrazně převažují pojiva anorganická. Dále můžeme pojiva dělit na vzdušná a hydraulická, která dokáží tvrdnout i pod vodou.

3.2.1. Vápenné omítky

Vápenné omítky mají jako pojivovou složku vápno, které se získává tepelným rozkladem vápence ($CaCO_3$). Dle výroby dělíme vápno na vzdušné a hydraulické. Vzdušné vápno vzniká pálením namletého vápence v elektrických pecích při teplotě 900 – 1100 °C. Tomuto procesu se říká dekarbonatace a je vyjádřena vztahem (24)



Výhodou vzdušného vápna je vysoká propustnost pro vodní páru a rychlé vysychání, což je požadováno zvláště při aplikaci omítek na starší zdivo.

Naproti tomu hydraulické vápno se liší chemickým složením, tedy že kromě oxidu vápenatého obsahuje i hydraulické složky, jako je například oxid křemičitý nebo hlinitý. Hydraulické vápno se získává z jílovitých vápenců výpalem na teplotu pod 1250° C. V současné době se však hydraulická vápna téměř nevyrábí, i když by se jejich aplikace hodila především na památkově chráněné objekty [7] [17].

3.2.2. Cementové omítky

U těchto omítek tvoří hlavní pojivovou složku cement, který se získá vysokoteplotním výpalem jílovitých vápenců v rotační peci při teplotě mezi 1300 a 1400 °C. Je tedy dosaženo meze slinutí. Následně se slínek nechá vychladnout, pak se rozemele, přidá se k němu energo sádrovec jako regulátor tuhnutí. Výhodou cementu je rychlý nárůst pevnosti a vysoká pevnost. Omítky s cementovým pojivem se používají především jako postřík pod vápenné omítky. Je důležité, aby se tento podhoz nedostal pod omítku se síranovým pojivem, což by vedlo k objemovým změnám vlivem vytvoření sekundárního ettringitu, a tím pádem i ke mechanickému poškození omítky [7], [17].

3.2.3. Sádrové omítky

Sádrové omítky obsahují sádku, neboli síranové pojivo, kde je hlavní složkou síran vápenatý $CaSO_4$. Sádka vzniká ze sádkovce (přírodní původ) nebo energosádkovce. Sádka se řadí mezi vzdušná pojiva a není tedy vhodné její použití v exteriéru. Výhodou jejich použití je velmi rychlé tvrdnutí, hladký povrch výsledné omítky a zrovnoměrnění relativní vlhkosti v interiérech [7], [17].

3.2.4. Akrylátové omítky

Omítky s akrylátovým pojivem jsou vhodné pro exteriérové aplikace, protože jsou odolné vodě, mrazu, solím i kyselinám a lze je dobře probarvovat. Tato pojiva vznikají smícháním vody, polymeru a dalšími nepolymerními látkami. Jako polymer se používá akrylátová pryskyřice [17].

3.2.5. Silikonové omítky

Jedná se také o omítky s polymery, ovšem zde jako polymer slouží silikonát. Ten zlepšuje přídržnost omítky, tepelnou odolnost, odolnost proti vodě a také je lze velmi dobře probarvovat [17].

Toto rozdělení dle pojiv však neplatí takto striktně, běžně se totiž omítky dělí na vápenné, vápenocementové, vápenosádkové, sádkové a speciální. To, jaké mají omítky pojivo, ovlivňuje jejich vlastnosti, způsob použití i reakce na vodu, soli či jiné degradační činitele.

4. Degradace omítek, stavebních materiálů

Degradační procesy probíhají bez výjimky ve všech stavebních materiálech, ovšem nejvíce se projeví na těch, které byly nekvalitně provedeny, či nějak poškozeny. Omítky, a i většina jiných materiálů používaných ve stavebnictví, jsou složeny z více složek. Je tedy nutné brát i v potaz nejen degradaci celého heterogenního systému, ale právě i jednotlivých částí, kde každá z nich může reagovat úplně jinak. Degradaci materiálů dělíme na fyzikální, chemickou a biologickou, ale jen zcela zřídka se vyskytuje pouze jeden typ degradace, nejčastější je současný výskyt kombinace alespoň dvou z nich.

4.1. Fyzikální degradace

Pokud mluvíme o fyzikálních degradačních procesech, jedná se o vystavení konstrukce či materiálu mechanickému působení, tedy silám a tlakům, dále pak vibracím či otěrům. Degradačně působí zatížení změnou teploty, působení vody a solných roztoků. U materiálu či jeho složek dochází ke změně makro struktury a celistvosti.

4.2. Chemická degradace

Chemická degradace na rozdíl od té fyzikální zasahuje přímo do krystalové mřížky a mění chemické složení materiálu. Takovéto narušení se projeví například změnami viditelnými, jako je změna barvy a objemu, nebo naopak změnou, která není na první pohled viditelná, a to především rozpustností látek ve vodě. Princip chemické degradace, neboli koroze, nemusí být vždy negativní, lze ho využít například při ochraně památek, kdy se dodává do malt, omítek či kamenů vápenná voda, nebo nanodisperze $Ca(OH)_2$ v CH_3CH_2OH , a tak se dosahuje, aby látka přešla na hydroxid či uhličitán vápenatý (proces karbonatace).

Když se bavíme o degradaci stavebních materiálů, nemluví se o ní většinou jako o fyzikální či chemické, ale dle jednotlivých působících vlivů a jejich účinků. Mezi hlavní faktory způsobující změny nejen v omítkách, je teplota, vlhkost, atmosférické vlivy, soli a biologičtí činitelé [18].

4.3. Degradace omítek teplotou

To, jaký má teplota vliv na omítku, je dáno tím, jakou mají barvu, neboli schopnost absorbovat záření o různých vlnových délkách a také tím, jaký mají koeficient délkové teplotní roztažnosti α [1/K], dle kterého je zřejmé, jak moc velkou tvarovou změnou omítky reagují na absorbované teplo. Teplo se skrz omítku šíří postupně přes jednotlivé části matrice směrem od povrchu ke středu a díky tomu a různému barevnému odstínu povrchu se dosáhne mezi jednotlivými složkami teplotního gradientu, který může být řádově v desítkách stupňů Celsia. Nejvíce tepla absorbují tmavé barvy, jako je černá, hnědá či tmavě šedá, ale například i tmavě červená.

Aby se zabránilo použití úplně nevhodných barev použitých na fasádě, které se mohou v létě ohřát až na 70 °C (u tmavých barev), byla již před lety zavedena stupnice HBW

(Hellbezugswert), která nám určuje koeficient světelné odrazivosti. Jedná se o procentuální množství, kolik světla z dopadajícího záření na fasádu se odrazí zpět. Tento koeficient však uvažuje jen o viditelném spektru, ovšem nikoliv infračerveném záření, které má vyšší podíl z celkové energie, než viditelné spektrum. Z tohoto důvodu se přešlo k měření odrazivosti všech části dopadajícího světelného záření (UV, viditelné, IČ), se kterým uvažuje stupnice TSR (Total Solar Resistane).

Kvůli rozdílné barevnosti a koeficientům teplotní roztažnosti vzniká na rozhraní jednotlivých částí omítky pnutí, které má za následek vznik trhlin, což způsobuje ztrátu pevnosti, přídržnosti a růst pórovitosti, a to snižuje odolnost proti pronikající vlhkosti a s ní přinášeným solím.

Kromě degradace omítek běžnou teplotou, kterou dosáhne materiál v létě na jižní fasádě, je samozřejmě i významné zatížení vysokými teplotami při požáru nebo u žárovzdorných konstrukcí. Jako protipožární omítku je vhodné použít takovou, kde se klasický křemičitý písek nahradí kamenivem, které má větší tepelnou odolnost. Při 300 °C dochází k praskání křemičitého kameniva a při 573 °C k přeměně α -křemene na β -křemen, což je doprovázeno objemovou expanzí. Proto je vhodné použít jako plnivo do omítky perlit či vermikulit, který odolá i vysokým teplotám.

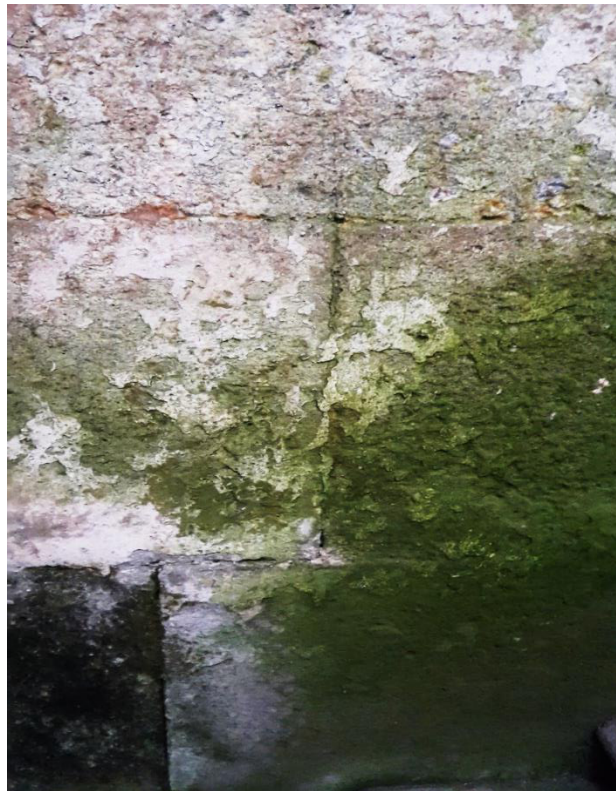
Vysoké teploty ale nemění jen kamenivo, ale i pojivovou složku. Jako pojivo pro speciální protipožární aplikace je vhodné použít hlinitanový cement či sádru. Do sádry je vhodné přidat vlákna kvůli eliminaci objemových změn při uvolňování chemicky vázané vody [1], [19], [20].

4.4. Degradace omítek atmosférickými vlivy

Vzduch se skládá z dusíku, kyslíku a dalších látek, které zastupuje argon, oxid uhličitý, oxidy síry a dusíku, vodní pára a částice pevných látek, jejichž největší výskyt je v okolí průmyslových oblastí. Reakcí vody (deště) a plyných exhalátů vznikají roztoky anorganických kyselin, které se při reakci hydroxidem vápenatým mění na soli, takže dochází k objemovým změnám doprovázeným velkými krystalizačními tlaky. Atmosférické vlivy způsobují také vyšší rozpustnost matrice omítky ve vodě.

4.5. Biologická degradace omítek

Výskyt biologické degradace je závislý především na vlhkosti a pohybu vzduchu. Tento druh porušení materiálu je často zaměňován za fyzikální nebo chemickou degradaci, protože často není lehké poznat, zda se jedná skutečně o vliv živých organismů. Negativní vliv nejen na omítky mohou mít organismy na úrovni mikroskopické, jako jsou bakterie, řasy, plísňe či houby, tak i vyšší rostliny a živočichové. Biologickou degradaci omítky můžeme vidět na Obr. 3.



Obr. 3 Biologická degradace omítky

4.5.1. Biodegradace omítek – bakterie

Bakterie rostou nejvíce při vlhkosti nad 10 % a ideální teplotní rozmezí je pro ně mezi 5 a 35 °C. Dělíme je dle zdroje jejich živin (převážně uhlík, dusík a minerální prvky) na autotrofní, heterotrofní, chemotrofní a dle života s kyslíkem či bez na aerobní a anaerobní. Autotrofní bakterie jsou ty, které získávají uhlík z oxidu uhličitého, heterotrofní si uhlík berou z organických látek, jako jsou lipidy, cukry a proteiny. Chemotrofní bakterie získají energii pomocí oxidace anorganických a organických látek a fototrofní si berou energii ze slunečního

záření. Nebezpečí pro omítky představují bakterie proto, že na sebe vážou vlhkost a produkují soli. Nejvíce se na degradaci stavebních materiálů podílejí chemotrofní a autotrofní.

4.5.2. Biodegradace omítek – řasy

Řasy k životu potřebují především dostatečnou vlhkost a minerální látky. U většiny řas je k životu důležité i světlo, ale jsou druhy, které ho k růstu nepotřebují. Dobře snášejí výkyvy teplot i velký rozptyl pH od 3,5 až do 9. Prostředí s pH okolo 12 pro řasy není vhodné. Největším problémem pro stavební materiály je to, že řasy produkují CO_2 , které zvyšuje rozpustnost uhličitanů. Materiál mohou narušovat i expanzními tlaky, a tím zvyšovat pórovitost a množství trhlin. Další schopnost řas je zadržování vody, což vystavuje omítku neustálému působení zvýšené vlhkosti.

4.5.3. Biodegradace omítek - houby

Houby už nesnesou takové výkyvy teplot jako řasy a bakterie, ideální je pro ně prostředí o teplotách mezi 20 – 30 °C, dostatečná vlhkost, alespoň malé množství minerálních látek a slabě kyselé pH. Houby dobře vážou vodu, dovedou rychle prorůst konstrukcí viz. Obr. 4, šířit patogeny a produkovat kyseliny, jako je šťavelová vinná a octová. Omítky jsou narušovány jak mechanicky, tak chemickým rozkladem.



Obr. 4 Napadení omítky houbami

4.5.4. Biodegradace omítek – vyšší rostliny a živočichové

Mezi nejznámější vyšší rostliny narušující omítky patří popínavé rostliny, které sice působí příznivě jako ochrana fasády před vnějšími vlivy a také odebírají vodu z konstrukce, ovšem jejich tkáň vrůstají do povrchu fasády a dochází k jejímu mechanickému poškození. Náletové rostliny se degradace omítek netýkají.

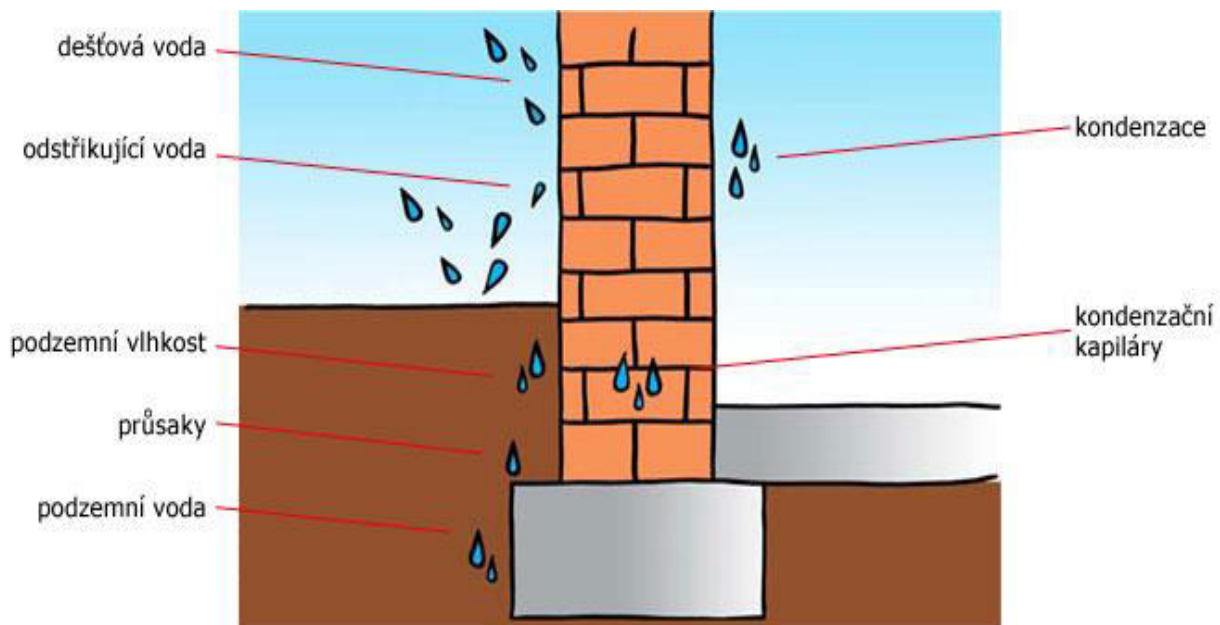
Ze zvířat působí nepěkně na omítky například pavouci, kteří je znečišťují svými pavučinami. Největší biodegradaci ze zvířecí říše představují ptáci, kteří do omítky klovou, vykusují části obsahující vápník a znečišťují ji svým kyselým trusem, který pomáhá při rozpouštění uhličitanových složek. Ptačí trus obsahuje také různé soli, které v konstrukci mohou krystalizovat.

Největší degradace omítek a tím vznik i spousty jiných poruch, je vlivem vlhkosti a solí, kterým se budeme podrobněji věnovat v následující kapitole [1], [5], [17], [18], [19].

5. Vlhkost a zasolení zdiva

Protože téměř všechny stavební materiály jsou porézní, proniká do nich velmi snadno plynná či kapalná vlhkost. Pokud je v okolí konstrukce více vlhkosti, než v ní, tak stavební materiály začnou vodu z okolí pohlcovat, a tím dochází k ovlivnění jejich vlastností a k postupné degradaci.

Nejvíce je účinkům vlhkosti vystavena spodní stavba, která je, obzvláště u starších zděných budov, v přímém kontaktu s podpovrchovou vodou. Ta je pak vlivem kapilárních sil v pórech o velikostech 10^{-3} až 10^{-9} (kapilární a mikropóry) transportována do vyšších částí stavby [21]. Hlavní zdroje vlhkosti ve spodní stavbě jsou shrnuty v následujícím textu. Na Obr. 5 a Obr. 6 můžeme vidět některé zdroje vody.



Obr. 5 Zdroje vody



Obr. 6 Zdroje vlhkosti v konstrukci

5.1. Atmosférická (srážková) voda

Jedná se o vlhkost, která se dostává do konstrukce převážně přes soklovou oblast. Srážková voda nám ohrožuje budovu odstříkující dešťovou vodou, která stéká ze střechy (obzvláště v místech, kde chybí funkční okapy) nebo pokud je terén v okolí objektu špatně upraven, dochází obzvláště během přívalových dešťů ke stékání vody z terénu do konstrukce.

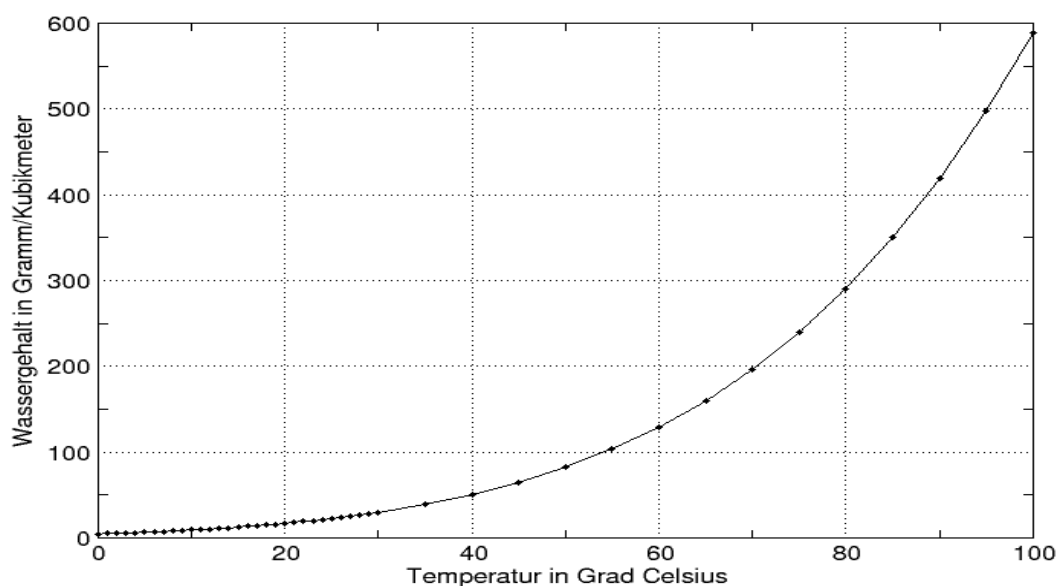
5.2. Podpovrchová voda

Podpovrchová voda patří mezi dominantní zdroj vlhkosti v konstrukci. Patří sem například zemní vlhkost, která je však pro stavby nejméně nebezpečná. Jedná se o přirozenou vlhkost horninového prostředí, kde není vodou tvořena spojitá hladina. Dalším druhem podpovrchové vody je voda volně stékající po plochách podzemních konstrukcí, která působí na konstrukci velice malým hydrostatickým tlakem o velikosti max. 0,001 MPa, což odpovídá 10 cm vodního sloupce. Nejčastějším problémem podpovrchové vody je vzlínající voda, kde míra vzlínání závisí na typu základové půdy. Všeobecně je nejhorší vliv vlhkosti při zakládání přisuzován jemnozrnným zeminám (typ F). Jedná se například o štěrkovité nebo písčité hlíny a jíly. Vzlínající vlhkost se dostává do konstrukce skrz póry ve stavebních materiálech pomocí kapilárních sil či difuze. Posledním druhem podpovrchové vody je voda tlaková, která se vyskytuje buď v trvalé, nebo dočasné formě. O trvalou formu se jedná při zakládání objektu pod HPV a o dočasnou při špatně provedeném odvodnění násypu. Tato voda působí na konstrukci hydrostatickým tlakem a okolo objektu tvoří spojitou hladinu [3], [4], [22], [23].

5.3. Kondenzovaná vlhkost

Vzduch v budovách obsahuje vždy nějakou plynnou vlhkost. Jejím zdrojem jsou například lidé a zvířata (vodní páru vydechují) nebo například různé domácí práce jako je žehlení, praní či vaření. Ve chvíli, kdy vodní pára překročí rosný bod (vzduch je plně nasycen vodními parami), začne se její část měnit do kapalného stavu. Tomuto přechodu se říká kondenzace. Ta se vytváří především v místě tepelných mostů, tedy v místech s větším tepelným tokem. Toto místo se nejčastěji vyskytuje na styku dvou různých materiálů nebo prostředí. Závislost nasycení vodní páry na teplotě okolního prostředí je znázorněna na Obr. 7 [22].

Saettigungsmenge von Wasserdampf in der Luft



Obr. 7 Závislost nasycení vodní páry [g/m³] na teplotě vzduchu [°C] [24]

5.4. Poruchy instalací TZB

Voda se může do objektu dostat i při poškození vnitřních rozvodů vody, topení či kanalizace. U starších domů hrozí průnik vody také nezakrytým komínovým průduchem. Poškození tímto typem vlhkosti se nemusí projevit ihned, ale může být důsledkem dlouhodobějšího působení vlhkosti z jen lehce poškozeného potrubí.

5.5. Provozní vlhkost

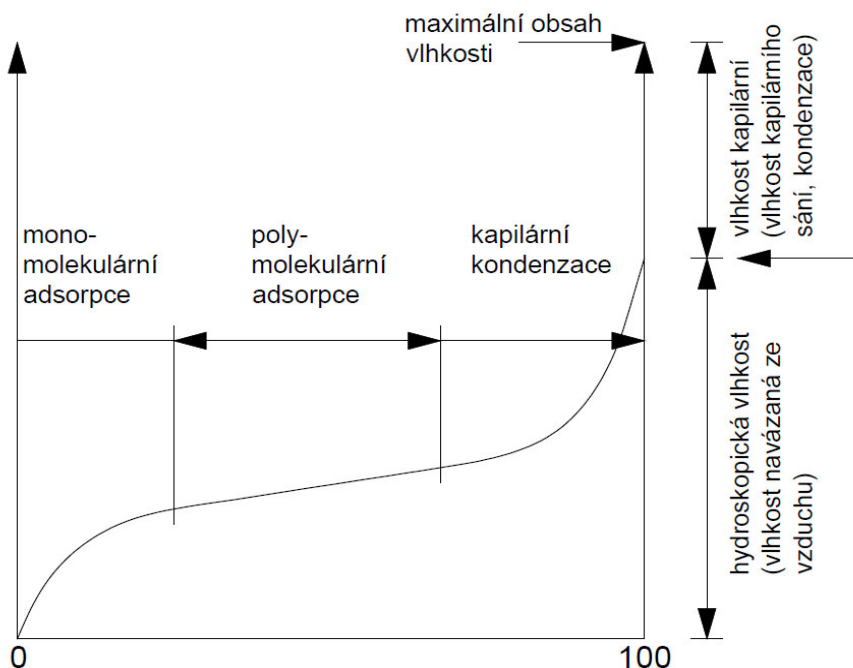
Provozní vlhkost se týká prostor uvnitř objektu, kde je zvýšený výskyt vylhkosti. Jedná se převážně o mokrémi proozy, jako jsou koupelny, umývárny, bazény, průmyslové haly apod. Vzduch v těchto provozech je dost často plně nasycen vodními parami a snadno dochází ke kondenzaci na površích i uvnitř stavebních materiálů.

5.6. Technologická vlhkost

Tento druh vlhkosti vzniká působením mokrých procesů, jako je například omítání či betonování při rekonstrukci. Voda se při mokrém procesu odpařuje do ovzduší a opět dochází k její kondenzaci například na stěnách a stropích.

5.7. Hygroskopická vlhkost

Jedná se o vlhkost, kterou porézní materiály přijímají z okolního vlhkého vzduchu. Ve chvíli, kdy materiál dosáhne maximální rovnovážné sorpční vlhkosti, vzniká v materiálu hygroskopická vlhkost. V případě, že materiál obsahuje anorganické soli, je hygroskopická vlhkost materiálu výrazně vyšší. Soli se dostanou do zdiva především z dalších materiálů na stěně (malta, omítka), dále z tvrdé podzemní vody, díky kyselým deštům nebo jako nečistoty z okolí. Čím více těchto vlivů na zdivo působí. To, jak vlhkost v materiálu závisí na okolní vlhkosti prostředí, popisuje sorpční izoterma. Ta ukazuje, že sorpční proces se skládá z několika fází. Nejdříve nastává povrchová adsorpce při nižší relativní vlhkosti a poté, když se relativní vlhkost dostane nad 40 %, tak dochází ke kapilární kondenzaci u pórů o rozměru 2 – 50 nm. Sorpční izoterma i s popsáním fází je na Obr. 8.



Obr. 8 Sorpční izoterma podle teorie multimolekulární adsorpce, na ose y je hmotnostní vlhkost a na ose x relativní vlhkost vzduchu

Pokud se v objektu objeví větší množství vlhkosti, je nutné provést stavebně technický průzkum, aby se zhodnotil stav jednotlivých částí konstrukce a materiálů. Stavebně technický průzkum je buď primární, neboli zběžný kdy se jedná jen o vizuální inspekci a určení míst, které potřebují detailní (sekundární) průzkum. Ten už zkoumá rozsah poškození a návrh sanace detailně. Zaměřuje se například na průsaky vody, pevnost nosných částí konstrukce nebo rozsah trhlin. Pokud je stavba ve vážném stavu, přistupuje se ještě k dodatečnému průzkumu.

Průzkum konstrukce se dělí na nedestruktivní, částečně destruktivní nebo plně destruktivní. Pro zjištění stavu budovy a materiálů z hlediska vlhkosti se používají metody nedestruktivní nebo částečného porušení. Nedestruktivní metody jsou výrazně rychlejší a levnější, ale jejich vypovídající hodnota je jen orientační a při nějakém větším problému je stejně nutné následně zvolit metodu částečného porušení a odebrat z konstrukce vzorek. Nedestruktivní metody jsou velmi používané a jedná se o kapacitní nebo odporové metody, kdy na základě závislosti relativní permitivity a obsahu vlhkosti v materiálu stanoví skutečná vlhkost v materiálu. Ta je klasifikovaná dle ČSN P 73 03610 a podle hodnoty vlhkosti v materiálu dle tabulky se následně určí, zda je potřeba navrhnout sanační opatření, případně jaké. Tato klasifikace vlhkosti zde je uvedena v Tabulce 1 [3], [4], [22], [23].

Tabulka 1 Klasifikace vlhkosti dle ČSN P 73 03610 [25], [26]

Hmotnostní vlhkost	Klasifikace vlhkosti
$w < 3 \%$	velmi nízká vlhkost
$3 \% < w < 5 \%$	nízká vlhkost
$5 \% < w < 7,5 \%$	zvýšená vlhkost
$7,5 \% < w < 10 \%$	vysoká vlhkost
$w > 10 \%$	velmi vysoká vlhkost

6. Přímé a nepřímé hydroizolační metody

Proti vlhkosti je tedy nutné se bránit u stávajících zděných objektů přímými či nepřímými sanačními metodami a velmi vhodné je použít i metody doplňkové. Mezi přímé sanační metody patří metody mechanické, kdy vkládáme dodatečnou hydroizolaci do proříznuté spáry ve zdivu jak je vidět na Obr. 9 (elektrickou řetězovou pilou, lanovou pilou s diamantovým hrotem, nebo kotoučovou pilou).



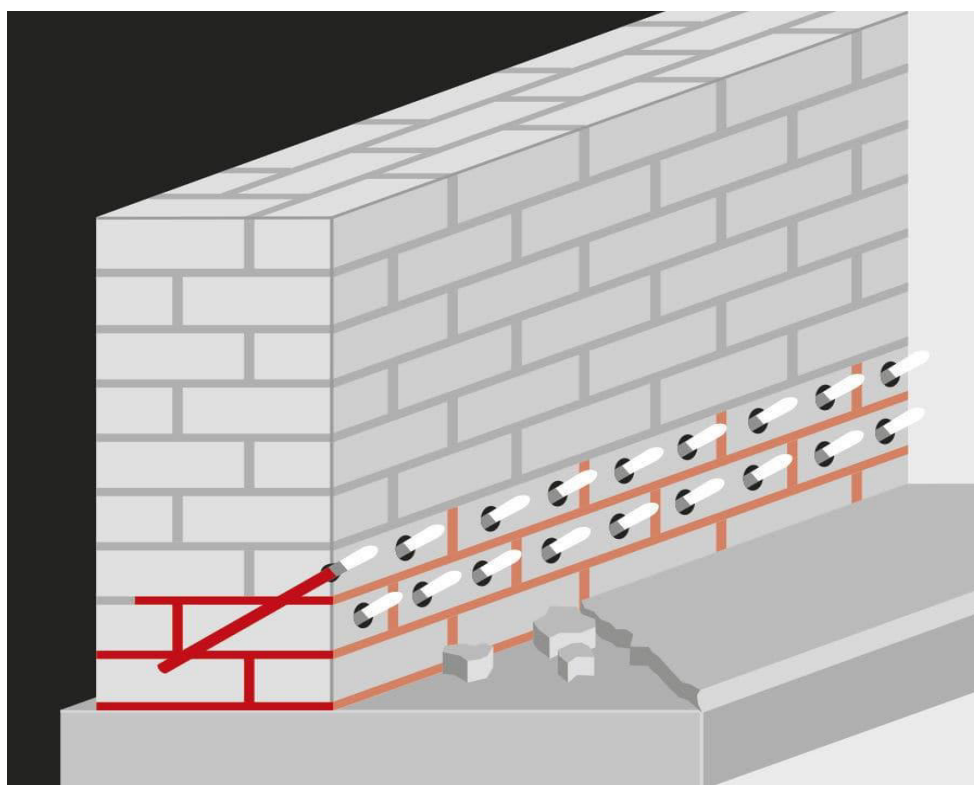
Obr. 9 Prořezávání spáry ve zdivu

Další z mechanických metod je technologie zarážení plechů, která pochází z Rakouska. U této nejefektivnější metody se vlnitý plech tloušťky 5 mm zaráží pomocí pneumatického kladiva přímo do ložné spáry ve zdivu. Dříve se místo zarážení plechů používalo přidání břidlice, která zamezila vzlínání vody. Toto hydroizolační opatření můžeme vidět například v klášteře v Plasech, který je založen na vodě, a můžeme ho vidět na Obr. 10.



Obr. 10 Břidlice jako hydroizolace v ložné spáře ve zdivu

Mezi přímé opatření patří také chemická sanace. Její podstatou je vytvoření hydroizolační clony ve zdivu pomocí injektáže chemické látky, která zamezí kapilárnímu vzlínání vlhkosti. Injektáž se dá provádět buď tlakově viz. Obr. 11, injektážními ventily, nebo beztlakově, kdy se pomocí infuze s hadicí vkládá do zdiva zmrzlá kapsle.



Obr. 11 Provádění tlakové injektáže

K přímým sanačním metodám řadíme ještě elektrofyzikální metodu, kde jako jediný osvědčený způsob lze uvést metodu aktivní elektroosmózy, která je na Obr. 12. Na zdivo se připevní grafitové mřížové elektrody, které jsou zapojeny do řídicí jednotky, a skrz ně je do zdiva vysílán elektrický proud, který vodu odpuzuje. Tuto metodu však nelze použít v místech, kde hrozí výskyt bludných elektrických proudů, kde je příliš vysoké nebo nízké pH či příliš tlusté zdivo.



Obr. 12 Umístění grafitové mřížkové elektrody na zdivo - metoda aktivní elektroosmózy

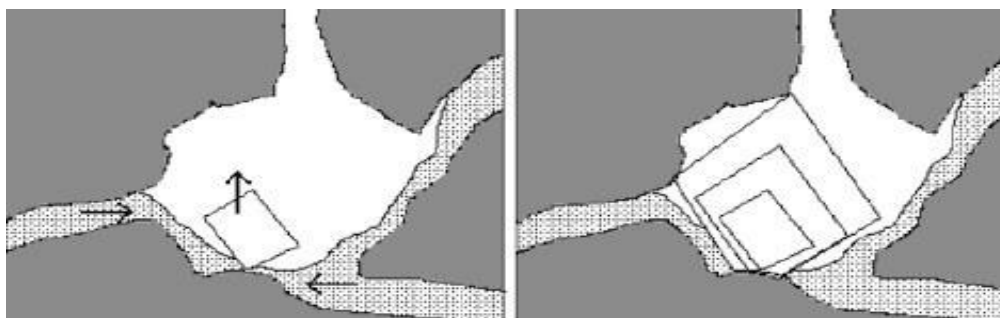
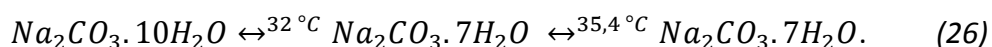
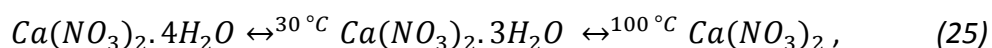
Poslední přímou sanační metodou je metoda vzduchoizolační, kdy odvádíme vodní páru z konstrukce pomocí proudění vzduchu. Tato metoda je vhodná pouze do 7 hm. % vlhkosti.

Každou z přímých metod je vhodné kombinovat s nepřímými metodami (změna režimu větrání, vytvoření drenáže,...), a také s doplňkovými metodami, jako jsou například sanační omítky

7. Odsolení zdiva

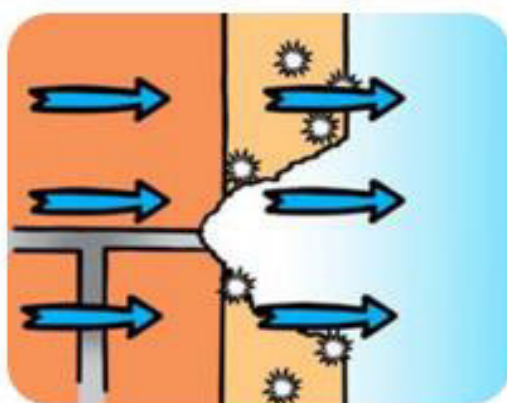
Samotná vlhkost v konstrukci není takovým problémem, ovšem ve vodě jsou rozpuštěny soli, které se díky transportu vlhkosti skrz konstrukci dostanou i do omítky. Voda s sebou odnáší soli z půdy, okolí i z pojiva. Mezi zdroje solí patří ty, které už byly původně součástí stavebních materiálů, dále soli, které se dostaly do konstrukce z terénu, další skupinou jsou soli jako produkt chemické koroze při atmosférické degradaci materiálů, soli mají také biologický původ a poslední skupinu tvoří soli, které se do konstrukce dostaly spolu s nějakou přestavbou či sanací například při použití vodního skla. Nejvíce rozšířenými solemi působícími na stavební materiály jsou sírany, dusičnany a chloridy [3], [4], [23].

Problém se solemi vzniká především díky krystalizaci (Obr. 13) a hydrataci solí. Krystalizace nastává ve chvíli, kdy se voda z materiálu odpařuje, tím vzniká vyšší koncentrace solí a přebytečná sůl začne krystalizovat. Po vyplnění pórů a dutin ovšem krystalizace probíhá dál a vzhledem k obrovským krystalizačním tlakům dochází k poškození materiálu nejen mechanicky, ale zároveň se mění i jeho chemické složení. Oproti tomu hydratace se projevuje u solí, které mohou vázat vodu do své krystalové mřížky. Vzniklým produktům se pak říká hydráty. Tento proces je opět doprovázen výraznými objemovými změnami doprovázenými krystalizačními tlaky. Krystalizace i hydratace solí je závislá na teplotě a vlhkosti. Nejčastější hydratace solí ve stavebních materiálech jsou popsány vztahy (25) a (26)

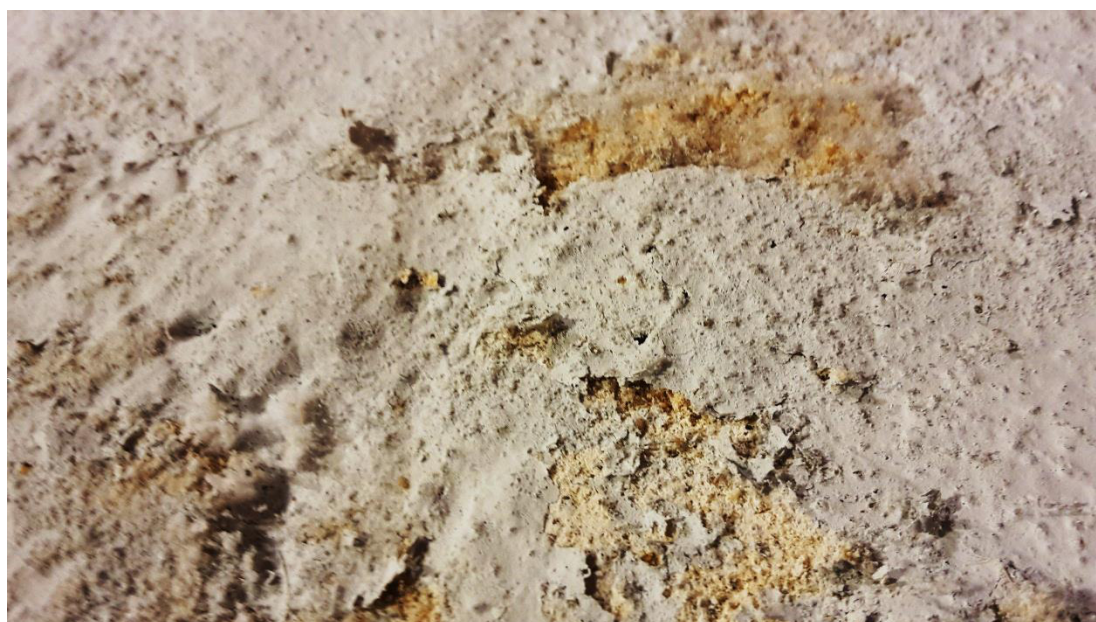


Obr. 13 Nárůst krystalů soli uvnitř póru

To, že je v omítce přítomno příliš mnoho solí, se projeví buď na povrchu, nebo uvnitř. Na povrchu se objeví typické solné výkvěty, kterým se říká eflorescence a dochází k pomalejšímu odpařování vody z konstrukce vlivem zaplnění pórového systému krystalky solí. Uvnitř omítky se vyskytuje jev zvaný subflorescence, což znamená, že největší objemové změny se vyskytují uvnitř omítkové vrstvy a na povrchu nejsou tolik znatelné, což je zrádné, protože omítka se rozpadá zevnitř, ztrácí soudržnost a rozpadají se její jednotlivé vrstvy (Obr. 14 - 15) [3], [4], [23].



Obr. 14 Krystalizace solí uvnitř omítky. Krystalizační tlaky poškozují omítku a způsobují její rozpad.



Obr. 15 Degradace omítky solemi - rozpad jednotlivých vrstev

7.1. Měření obsahu solí v konstrukci

Pokud chceme zjistit stav konstrukce z hlediska jejího zasolení, je důležité identifikovat nejen druh solí a jejich koncentraci, ale také jejich výskyt v konstrukci, to znamená, že zjistíme tzv. výškový a hloubkový profil zasolení. Bohužel v současné době neznáme přesná kritéria při určení obsahu solí a celá takováto analýza je velmi složitá. Z postiženého místa se odeberou vzorky a na těch se v laboratoři provede stejná analýza, jako na jednotlivých vzorcích materiálu.

7.2. Měření obsahu solí v materiálech

Určení obsahu solí a jejich přesun v materiálu je obdobný jako u samotné vlhkosti. Většinou je vhodné měření vlhkosti a solí provádět současně. Pokud chceme znát rychlost a množství přenášených solí, použijeme sorpční experiment, ze kterého získáme absorpční koeficient pro nám známý roztok [5].

7.2.1. Měření vlhkostních profilů a profilů koncentrace solí

Tento experiment se provádí podobně jako zjištění nasákavosti. Používá se trámeček o rozměrech 160 x 40 x 10 mm. Vysušený zorek je po obvodových stranách zaizolován, zvážen a je ponořen spodní volnou stranou do roztoku solí o známé koncentraci, horní strana vzorku je také nezaizolovaná a není v kontaktu s roztokem. Po určitém časovém intervalu se vzorek s nádoby z roztokem vyndá, rozřeže na kousky po cca 2 cm a v každém jednotlivém dílku je stanoven obsah solí i vlhkosti pomocí gravimetrické metody (obsah vlhkosti) a chemické analýzy (obsah solí).

Kromě chemické analýzy je možné obsah solí měřit potenciometrií, chromatografií a infračervenou spektroskopií. Při potenciometrii měříme napětí na článku sestaveného ze dvou elektrod, jedné měrné a druhé srovnávací, u které známe její elektrodový potenciál. Z naměřeného rozdílu mezi elektrodami se zjistí obsah solí. Iontová chromatografie je vhodná pro zjištění koncentrace různých druhů iontů v roztoku. Princip této metody spočívá v tom, že mezi pohyblivou a nepohyblivou fází se rovnovážně distribuují jednotlivé složky. Díky oddělení složek se budou jednotlivé části pohybovat skrz chromatografické lože různou rychlostí. Poslední metodou je IČ spektroskopie [5], [27], [28].

7.3. Odsolování zdiva

Existuje mnoho klasifikací zasolení zdiva, které určují, jaký je další postup při sanaci. V Čechách se nejčastěji používá klasifikace stupně zasolení dle ČSN P 73 0610 (Tabulka 2). Dle tabulek se následně určí, zda je potřeba provést nějaké opatření proti zasolení zdiva.

Hodnocení stupně zasolení	Sírany [% hm.]	Sírany [mg/g]	Chloridy [% hm.]	Chloridy [mg/g]	Dusičnany [% hm.]	Dusičnany [mg/g]
Nízký	< 0,5	< 5,0	< 0,075	< 0,75	< 0,1	< 1,0
Střední	0,5 – 2,0	5,0 – 20,0	0,075 – 0,20	0,75 – 2,0	0,1 – 0,25	2,0 – 2,5
Vysoký	2,0 – 5,0	20,0 – 50,0	0,20 – 0,50	2,0 – 5,0	0,25 – 0,50	2,5 – 5,0
Velmi vysoký	> 5,0	> 50,0	> 0,5	> 5,0	> 0,50	> 5,0

Tabulka 2 Limitní hodnoty solí ve zdivu dle ČSN P 73 0610

Opatření, která jsou vhodná pro použití pro snížení destruktivního vlivu solí, jsou redukce obsahu solí a použití speciálních materiálů odolných vůči působení solí.

Redukci obsahu solí nazýváme odsolování či desalinizace. Nejjednodušším způsobem snížení koncentrace solí je jejich mechanické odstranění, to znamená například odstranění omítky, povrchu kamenů či zdiva, ovšem tím pomůžeme jen dočasně a neodstraníme příčinu a soli z vnitřku konstrukce. V případech skutečně velkého zasolení zdiva je možné nějaké jeho části úplně vyměnit

Další možností jak redukovat obsah solí je za pomoci nasákových materiálů, které do sebe vtáhnou vodu i se solemi. Jedná se o hydrofilní materiály jako je buničina, kaolín, či bentonit. Před nanesením obkladu je vhodné podklad navlhčit, aby se soli rozpustily a přešly do formy roztoku, který pak hydrofilní materiál vtáhne do sebe. Důležité je, aby použitý obklad byl z materiálu, který je odolný solím, sám není zdrojem žádných solí, má dobrou absorpční schopnost, dobrou přilnavost a samozřejmě důležitá je i cenová dostupnost.

Kromě využití kapilárních sil a difuze v předchozím případě je možné i využití metody elektroosmózy, která se používá pro vysušení zdiva, ovšem s vodou uniká pryč z materiálu i sůl.

V poslední době se rozvíjí další metody, jako například hydroizolační injektáž či vymývání solí ze stavebních materiálů pomocí vakua a tlakové vody. Další možností je použití sanačních omítkových systémů či obětovaných omítek [4], [17], [21].

8. Sanační omítkové systémy

Potřeba rekonstrukce zděných objektů a snaha o prodloužení jejich životnosti vedla v posledních desetiletích k velkému rozvoji v oblasti omítkových sanačních systémů. Přidáním různých přísad a příměsí lze docílit omítky s výrazně vyšší odolností proti vlhkosti a zasolení, než byla ta, která byla na objektu původně použita. Také byly pomocí úprav vlastností vyvinuty omítky takové, které působí jako samostatný sanační systém. Ten je ovšem naplno účinný jen při kombinaci dalších hydroizolačních opatření a také při správné aplikaci, která vyžaduje nahození omítky minimálně o metr výše, než je postižená oblast.

8.1. Obětované omítky

Obětované omítky slouží pouze krátkodobě, a to v horizontu několika týdnů, maximálně měsíců. Jedná se o velice porézní omítky s vysokým obsahem kapilárních pórů, s nízkou pevností a velkou nasákavostí. Tento typ sanačního opatření se aplikuje na velmi vlhké a zasolené zdivo a vlivem vyrovnávání koncentrací mezi omítkou a zdivem do sebe omítky dokáže navázat velké množství vlhkosti a solí. Omítky se po krátké době odstraní a tento proces je možné opakovat několikrát za sebou. Tento druh sanace nijak nebrání vzniku solných map a výkvětů a jeho nevýhodou je značná pracnost a nutnost časté aplikace. K trvalému řešení vlhkosti a zasolení zděné konstrukce však tato metoda vhodná není [17].

8.2. Absorpční omítky

Absorpční omítky jsou volbou mezi variantami obětované a sanační omítky. Tento typ omítky má delší životnost než omítky obětované, protože má vyšší pevnost. Její pórovitost je však stále velmi vysoká, a to nad 60 %. Omítky vynikají vysokou odolností proti krystalizačnímu

tlaku solí díky svému pórovému systému. Ovšem není zde nijak zamezeno vzniku solných výkvětů na jejím povrchu. Dle zatížení omítky vlhkostí a solemi se její životnost odhaduje řádově až na několik let [3].

8.3. Sanační omítky

Jak je již uvedeno v úvodu této práce, tak hlavním úkolem sanačních omítek je zabránění vzniku solných výkvětů na povrchu omítky. Toho je dosaženo vyšší pórovitostí a hydrofobizací pórů. Tento systém má vyšší pevnost, a tím i životnost, která se odhaduje okolo deseti let, ale v odsolování a odvlhčování zdiva efektivní účinnost bohužel nemá [29].

Z výše uvedených poznatků je jasné, že zatím nebylo vyvinuto doplňkové sanační opatření omítkového typu, které by efektivně odvádělo vodu i soli ven z konstrukce. Z tohoto důvodu bylo cílem mé diplomové práce vytvořit takovou omítkovou směs, která bude plně funkční při odsolování a odvlhčování zdiva. Toho jsem se rozhodla docílit opačným postupem, než bylo dosud běžné – použít hydrofilní omítku místo klasické sanační, která má vždy hydrofobizované póry. Z důvodu ušetření nákladů a jednoduchosti výroby se zabývám vytvořením nového materiálu tím, že modifikuji vlastnosti běžně dostupné průmyslově vyráběné omítky.

9. Experimentální část

9.1. Cíl práce

Cílem mé práce je navrhnout nový omítkový systém, který bude funkční při odvlhčení a odsolení, a to za pomoci hydrofilních vláken. Dále vlastnosti a chování nové omítky testuji a dosažené výsledky porovnávám s referenční vápenocementovou omítkou. Kladu především důraz na nalezení optimálního řešení pro komerčně vyrobenou omítku a nalezení vhodného dávkování celulózy do ní.

9.2. Použité materiály

Ve své práci vycházím z toho, že modifikuji již hotovou suchou omítkovou směs kvůli co nejnižší technologické i finanční zátěži nové omítky.

9.2.1. Omítka

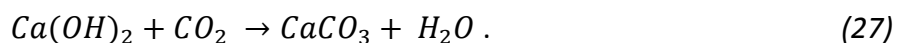
Jako základ své směsi jsem hledala vhodnou omítku, která je běžně volně k dostání. Rozhodla jsem se pro omítku Baumit Manu 1 (Obr. 16).



Obr. 16 Omítka Baumit Manu 1

Baumit Manu 1 je vápenocementová pytlovaná omítka, s maximálním zrnem kameniva 1 mm. Poměr vody k suché směsi udávaný výrobcem je 0,22 a maximální tloušťka nanesené jedné vrstvy je 20 mm. Jedná se o jemnou jádrovou omítku pod finální štuk, která je dobře paropropustná. Složení omítky je vápenný hydrát, cement, písek a různé další přísady. Doporučená doba míchání je 3-5 minut.

Vápenný hydrát se říká hašenému vápnu. To získáme kontrolovaným dávkováním vody při hašení z páleného vápna. Hašené vápno po čase v kontaktu se vzduchem karbonatuje, tedy tvoří uhličitan vápenatý, což je popsáno rovnicí (27)



Tím je dokončen celý vápenný cyklus, který lze ve zkratce popsat tak, že z přírodní suroviny (vápence), která obsahuje především kalcit ($CaCO_3$) se výpalem při 1050 °C až 1250 °C získá pálené vápno. Po přidání vody k pálenému vápnu získáme vápenný hydrát, který po čase zkarbonatuje a získáme opět uhličitan vápenatý.

To, jak je vápenný hydrát jemný a jaký má obsah CaO má vliv na kvalitu celé omítky. Obecně platí, že čím vyšší obsah CaO, tím kvalitnější omítka. A čím jemnější hydrát, tím je dosaženo lepší vaznosti a plasticity výsledné malty.

Další složkou omítky Baumit Manu 1 je cement. Jedná se o hydraulické pojivo vyrobené z jílu či nečistých vápenců pálením při teplotě 1450 °C. Při tomto výpalu ve vysoké peci vznikají slídkové minerály C_3S , C_3A , C_2S a C_4AF . Nejreaktivnější jsou C_3S a C_3A , který vzniká až při teplotě výpalu nad 1300 °C.

Cementy pro obecné použití v současné době klasifikujeme do těchto pěti tříd:

- CEM I – portlandský cement,
- CEM II – portlandský cement směsný,
- CEM III – vysokopecní cement,
- CEM IV – pucolánový cement,
- CEM V – směsný cement.

Nejrozšířenější jsou CEM I a CEM II. Tedy portlandský cement a portlandský cement směsný, které známe již od roku 1824, kdy si portlandský cement nechal patentovat Joseph Aspdin. Jméno portlandský daly cementu vápencové útesy anglického ostrova Portland.

9.2.2. Vlákna

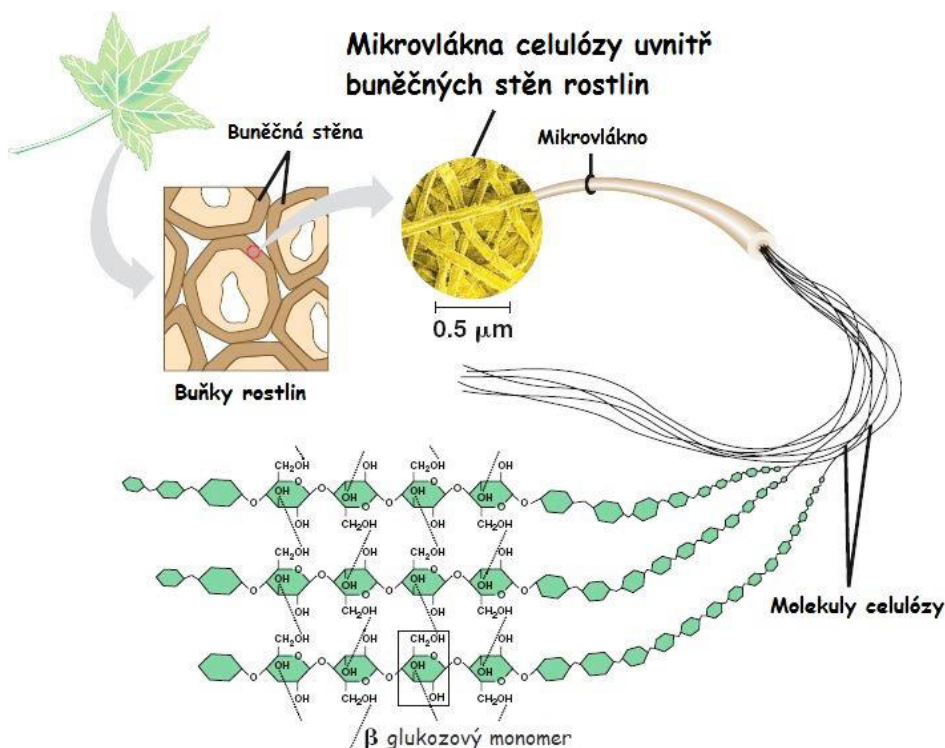
Vlákna se běžně dávají do cementových kompozitů především z důvodů eliminace objemových změn a vzniku smršťovacích trhlin nebo kvůli lepšímu rozložení tahového namáhání prvku. Do omítek se používají vlákna ne z důvodu zvýšení únosnosti, ale například zlepšení plasticity a eliminace objemových změn. Tato vlákna mohou být jak syntetická, tak přírodní. Nejčastěji se do omítek přidávají polypropylenová vlákna

9.2.2.1. Hydrofilní vlákna

O hydrofilní funkci materiálu rozhoduje přítomnost hydrofilní skupiny v jeho makromolekule, která ovlivňuje velikost smáčecího úhlu. Mezi hydrofilní skupiny patří (-OH, -NH₃⁺, -COOH, -NH⁻), které jsou schopny na sebe vázat molekuly vody. Mezi nejznámější vlákna disponující schopností vázat vodu patří bavlna, len, konopí, juta, vlna, hedvábí a celulóza. Pomocí speciální aviváže je například možné udělat hydrofilní vlákno i z původně hydrofobního polypropylenu.

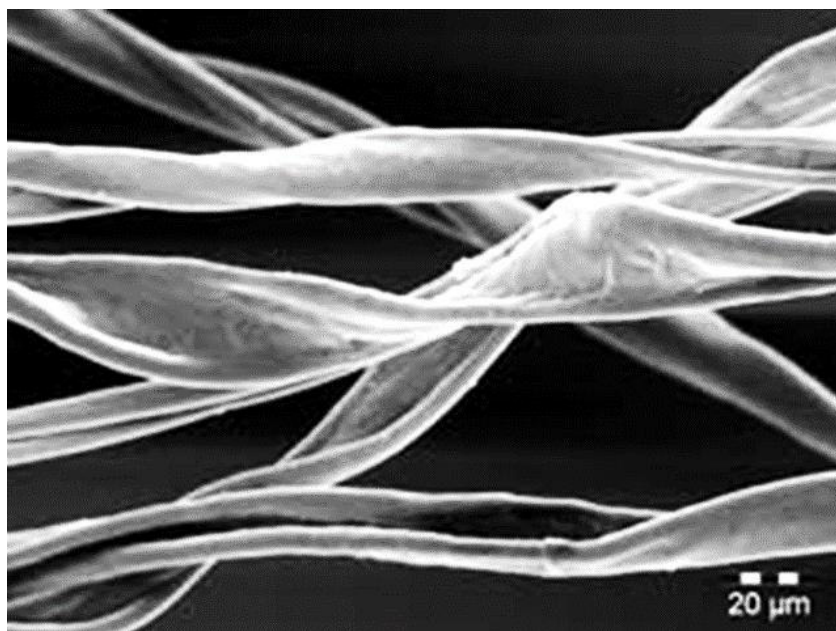
9.2.2.1.1. Celulóza

Celulóza je materiál, který je základní stavební jednotkou většiny rostlinných buněčných stěn (Obr. 17).



Obr. 17 Celulóza

Ve dřevě tvoří celulóza hlavní složku (50 %), zbylé části jsou tvořeny přibližně ve stejném poměru hemicelulózou a ligninem. Průmyslově jsou tato vlákna nejčastěji získávána ze starého papíru či přímo z určitých typů dřevin. Aby celulóza nepodléhala biokorozi, ošetřuje se kyselinou boritou, nebo boraxem. Fyzikálně-mechanické vlastnosti má srovnatelné se syntetickými vlákny – pevnost v tahu se pohybuje okolo 2 GPa a modul pružnosti dosahuje hodnot až 134 GPa. Díky velkému měrnému povrchu a svému složení má celulóza výbornou absorpční schopnost (Obr. 18). Jedinou její nevýhodou pro aplikaci do omítek je fakt, že surová celulóza je lepkavá, proto jsem hledala výrobce, který nabízí celulózu v nelepkavé úpravě.

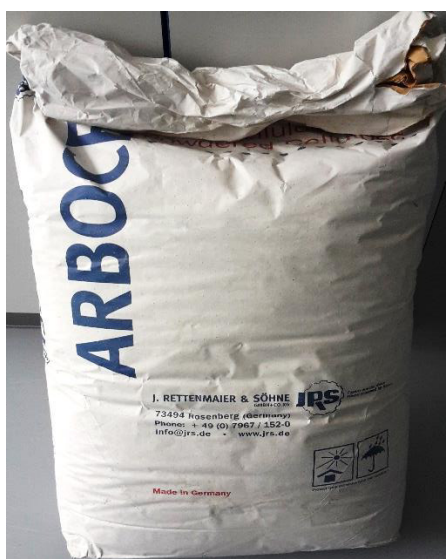


Obr. 18 Vlákna celulózy – detail

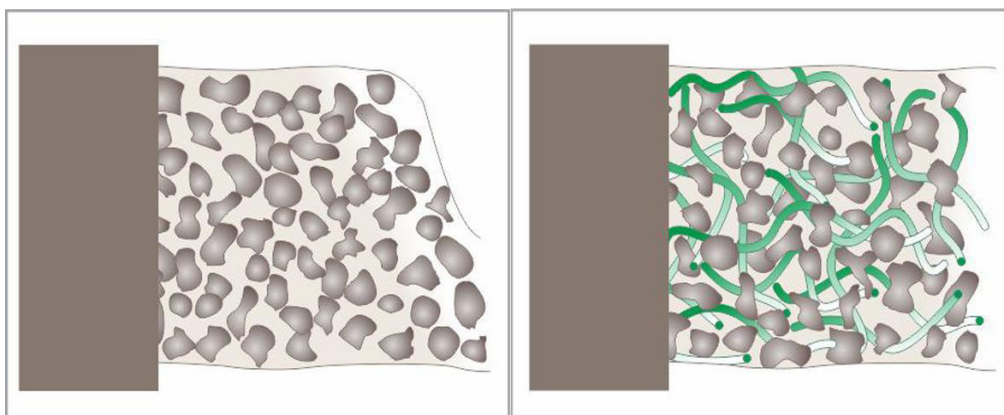
9.2.2.1.2. Arbocel

Pro potřeby své práce jsem hledala materiál, který je zdravotně nezávadný a z obnovitelného zdroje. Důležitá byla také velikost částic mezi 10^{-9} a 10^{-3} m, která nám zajišťuje homogennější strukturu a schopnost materiálu být součástí i mikro a kapilárních pórů. Nakonec jsem se rozhodla pro celulózová vlákna, která jsou známá svými absorpčními vlastnostmi a schopností transportovat různé látky a vyskytují se v rozměrech okolo 0,5 μm .

Celulózová vlákna v nelepivé úpravě získávaná z dřevní buničiny vyrábí společnost Kremer Pigmente GmbH & Co. KG (Spolková republika Německo, dále jen Kremer), pod obchodním názvem Arbocel PWC 500 (Obr. 19). Jedná se o přírodní, ve vodě nerozpustný produkt bílé nebo světle šedé barvy. Arbocel se vyrábí ve formě vláken nebo gelu dle typu požadované aplikace. Běžně se používá například jako příměs pro vyztužení malt a omítek (max. 0,4 obj. %). Tato příměs dokáže eliminovat mikrotrhliny, snižuje stékání směsi (Obr. 20) a prodlužuje zpracovatelnost. Přidání většího množství těchto vláken do omítkových směsí a tím modifikace dalších vlastností původního materiálu nebylo ještě nikým aplikováno a vyzkoušeno.



Obr. 19 20kg pytel Arbocelu PWC 500



Obr. 20 V levé části je omítka bez přidání Arbocelu – na povrchu špatně drží tvar a stéká dolů, vpravo je omítka s přídavkem Arbocelu, díky kterému si drží na stěně svůj tvar, konstantní tloušťku a nestéká

Další využití nalézají vlákna Arbocel například jako výplň do panelů automobilů - funkce akustické izolace. Arbocel se skutečně používá téměř ve všech oblastech průmyslu, dokonce i v živočišné zemědělské výrobě na osušení čerstvě narozených prasátek, aby nenastydla a nezemřela hned po narození (Obr. 21).



Obr. 21 Sušení čerstvě narozených prasátek pomocí Arbocelu

9.3. Měřené veličiny

V této části práce přehledně uvádím veškeré použité měřící metody, kterým byla nově vyvinutá omítková směs vystavena. Jedná se o zkoušky jak čerstvé, tak ztvrdlé malty dle norem ČSN EN či směrnic WTA.

9.3.1. Zkouška rozlitím

U čerstvé omítky (malty) jsem zkoumala pouze konzistenci. Tu jsem zkoušela dle ČSN EN 1015-3. Po zamíchání směsi jsem navlhčila střešací stůlek, do jeho středu jsem položila kovovou formu ve tvaru komolého kužele a shora jsem ji po dvou vrstvách plnila připravenou směsí. Každou vrstvu jsem zhutnila 10 údery dusadla a po naplnění formy jsem zarovnal směs do stejné roviny jako formu. Poté jsem formu opatrně zvedla a střešací stůlek jsem 15 krát zdvihla a nechala spadnout během přibližně 15 sekund. Zdvihání probíhalo při neměnné frekvenci. Poté jsem délkovým měřidlem změřila průměr rozlité malty ve dvou kolmých směrech a z těchto dvou měření udělala průměr (měření s přesností na 1 mm), (Obr. 22). Pokud měla malta rozliv minimálně 160 mm, byla směs vyhodnocena jako vhodná pro další navazující experimenty [7].



Obr. 22 Zkouška rozlítím

9.3.2. Zkoušení základních fyzikálních vlastností

Následující zkoušky už se týkají zkoušení ztvrdlé malty minimálně po 28 dnech. Pro zkoušení základních fyzikálních vlastností jsem použila trámečky o rozměrech 40 x 40 x 160 mm. Vzorky jsem po uplynutí 28 dní umístila do sušící komory, kde byla teplota 60 °C a po ustálení hmotnosti ještě do sušící komory o teplotě 105 °C. Po vysušení vzorku jsem ho zvažila a změřila, z čehož jsem určila jeho objemovou hmotnost.

Vzorek jsem poté rozbila kladivem na malé kousky a umístila do váženky, kterou jsem ještě nechala pár dní v sušící komoře na 105 °C. Následně jsem provedla měření hustoty matrice pomocí héliového pyknometru Pycnomatic ATC (Thermo) s integrovanou funkcí kontroly teploty (Obr. 23).



Obr. 23 Héliový pyknometr Pycnomatic ATC (Thermo)

Několik kousků vzorku se umístí do speciální nádoby (Obr. 24), zváží a dá se do pyknometru. Vzorek je potřeba v pyknometru dobře uzavřít, dále pustit do přístroje hélium a nastavit na bombě s héliem požadovaný tlak (2–3 bary). Nastaví se pyknometr a spustí měření a výsledkem je hodnota hustoty matrice vzorku ρ_{mat} [kg/m³]. Z již známé hodnoty hustoty matrice a objemové hmotnosti se snadno spočítá pórovitost.



Obr. 24 Vzorek umístěný v nádobce určené pro použití v héliovém pyknometru

Jelikož je pro mě důležitá i znalost rozdělení pórů dle velikosti, zbylé vysušené úlomky vzorků jsem použila pro metodu rtuťové porozimetrie (MIP), která byla provedena přístrojem Pascal 140+440 (Thermo).

9.3.2.1. Metoda rtuťové porozimetrie (MIP)

Poslední sadu namíchaných směsí jsem vyzkoušela metodou rtuťové porozimetrie, abych zjistila kumulativní a distribuční křivku velikosti pórů. Výsledné grafy byly zpracovány z 55 naměřených hodnot pro každý vzorek. Jednalo se o průměr pórů [μm], specifický objem [cm^3/g] a relativní objem [cm^3/g]. Z průměrů pórů a specifického objemu se sestaví

kumulativní křivka velikosti pórů a z průměru pórů a relativního objemu se sestaví distribuční křivka pórů.

9.3.3. Zkoušení mechanických vlastností

Mechanické vlastnosti omítek jsem opět zkoušela na trámečcích o rozměrech 40 x 40 x 160 mm dle normy ČSN EN 1015-11. Vzorky se zkoušely ve stáří 28 dnů, z čehož první týden byly skladovány při relativní vlhkosti $95 \pm 5 \%$ a zbylých 21 dní při vlhkosti $55 \pm 5 \%$.

Nejdříve jsem na vzorcích zkoušela pevnost v tahu za ohybu (Obr. 25). Ta se zkouší na speciálním lisu typu MTS 500, kde vložím vzorek kolmo na směr hutnění mezi třibodový systém. Vzorek byl rovnoměrně zatěžován a byla zaznamenána síla potřebná k jeho porušení. Z hodnoty maximálního zatížení na trámeček v době porušení a známých rozměrů vzorku dle vztahu (18) jsem vypočítala pevnost v tahu za ohybu.

Na fragmentech vzorků pro měření pevnosti v tahu za ohybu jsem dále dělala zkoušku pevnosti v tlaku (Obr. 26). Ta probíhala na lisu typu FP 100. Do lisu se opět uloží vzorek kolmo na směr hutnění mezi protilehlé tlačené destičky. Při porušení vzorku se zaznamená maximální síla potřebná k porušení a dle vztahu (19) se spočítá pevnost v tlaku.



Obr. 25 Zkouška pevnosti v tahu za ohybu



Obr. 26 Zkouška pevnosti v tlaku

Po zkouškách pevnosti v tahu za ohybu a v tlaku jsem ještě potřebovala provést odtrhovou zkoušku, abych věděla, jak materiál přilne k podkladu a zda bude jeho přídržnost srovnatelná s běžnou omítkou.

9.3.4. Zkoušení vlhkostních vlastností

Vlhkostní vlastnosti pro mě byly jedny z nejdůležitějších. Zkoumala jsem jak transport kapalně vlhkosti na krychlích o hraně 70 mm (Obr. 27) a plynně vlhkosti neboli vodní páry na vzorcích o kruhovém průměru 100 mm a výšce 25 mm.



Obr. 27 Připravené vzorky pro měření absorpčního koeficientu – krychle o straně 70 mm

9.3.4.1. Difuze vodní páry

Difuzi vodní páry jsem měřila miskovou metodou, tedy metodami wet cup a dry cup dle ČSN EN ISO 12572. Vzorky jsem po 28 dnech po stranách zaizolovala epoxidovou pryskyřicí, po jejímž zaschnutí jsem dala vzorky vysušit do sušící komory na 60 °C do ustálení vlhkosti. Dále jsem nechala vzorky vychladnout v exsikátoru. Nejdříve jsem dělala metodu wet cup. Připravila jsem si nasycený roztok K₂SO₄, který jsem nalila do připravených speciálních misek zhruba do 2/3 výšky. Poté jsem na okraj misky položila vzorek a po stranách utěsnila plastelínou (Obr. 28). Následně jsem vzorky umístila do klimatizační komory, kde byla konstantní teplota 21° C a relativní vlhkost 50 ± 2%. Je důležité, aby při přenášení vzorku se nám roztok nedotkl vzorku. Vzorky se v pravidelných intervalech váží a sleduje se úbytek hmotnosti v čase až do ustálení.



Obr. 28 Připravené vzorky pro zkoušení transportu plynné vlhkosti

Po ukončení experimentu jsem dala opět vzorky do sušící komory o teplotě 60 °C, kde se vysušily až na původní hmotnost před provedením wet cup experimentu. Opět jsem si připravila misky, ale místo solného roztoku silica gel, protože následovala zkouška dry cup (Obr. 29). Ta probíhala stejně jako v předchozím případě, jen se měřil přírůstek hmotnosti.



Obr. 29 Misky připravené na dry cup experiment - naplněné silica gelem

Z naměřených veličin a známé vlhkosti prostředí nad vzorkem (50 %) a pod vzorkem (při wet cup 95 %, při dry cup 5 %) jsem stanovila součinitel difuze D [m^2/s], faktor difuzního odporu μ [-], difuzní odpor materiálu R_d [ms^{-1}] a ekvivalentní difuzní tloušťka materiálu r_d [m].

9.3.4.2. Transport kapalné vlhkosti

Transport kapalné vlhkosti jsem měřila na krychlích o hraně 70 mm. Po jejich 28 denním ošetřování ve vlhkém prostředí jsem vzorky po stranách zaizolovala epoxidovou pryskyřicí ve dvojitě vrstvě (strana, co nebyla v bedně a její protější strana zůstaly volné (Obr. 30).



Obr. 30 Izolování vzorků epoxidovou pryskyřicí

Následně jsem dala vzorky do sušící komory na 60 °C, kde jsem je nechala až do ustálení vlhkosti. Poté jsem je ještě nechala den vychladnout v exsikátoru. Vzorek jsem zvažila

a změřila v suchém stavu. Do kádinky jsem si nalila destilovanou vodu tak, aby byl vzorek ponořený maximálně 0,5 cm. Připravila jsem si stopky a vzorek jsem vždy ponořila na určitý časový interval do kádinky s vodou tou stranou, se kterou nebyl v kontaktu s bedněním. Poté jsem ho zvážila a opět položila do vody. První minutu jsem vzorek vážila každých deset sekund, další minutu každých 30 sekund, následných osm minut jsem vážila vzorek po minutových intervalech a posledních deset minut po dvou minutách. Celé měření jedné kostky tedy trvalo 20 minut. Ze závislosti nárůstu hmotnosti na plochu v čase jsem sestavila graf a získala hodnoty pro absorpční koeficient pro vodu A [$\text{kg}/\text{m}^2\text{s}^{1/2}$], součinitele vlhkostní vodivosti κ [m^2/s] a kapilární obsah nasycené vlhkosti w_{cap} [kg/m^3].

9.3.5. Zkoušení transportu solí

Protože se snažím vytvořit takový materiál, který bude ze zdiva odvádět nejen vlhkost, ale i soli, je pro mě velice důležité, zda se tak skutečně děje. Tento jev jsem zkoumala na dvou sadách cihel, které byly ponořeny v plně nasyceném roztoku Cl^- . Cihly byly z pěti stran zaizolované epoxidovou pryskyřicí. Vycházela jsem z předpokladu, že když bude upravená omítka nasákávat chloridy, bude nasákávat i ostatní soli. První sada cihel byla ponořena v roztoku 90 dní a ihned poté na ní byla nanese omítka. Druhá sada cihel byla namočená v roztoku po dobu 45 dnů, dalších 45 dnů byly cihly nechány ve vzduchově uzavřeném igelitovém sáčku a následně na ně byla také nanese omítka.

Z omítek na cihlách se postupně odebíraly vzorky po 7, 21 a 35 dnech a zkoumal se v nich přítomný obsah solí. Odebraný vzorek se dal do váženky a nechal se vysušit v sušící komoře při teplotě 105°C . Po ustálení hmotnosti vzorku s přesností na $\pm 0,01$ g se vzorek zvážil a přidalo se k němu 100, nebo 200 ml destilované vody, tak aby byl zcela ponořený. Váženka s vodou a vzorkem se uzavřela pomocí víčka a parafilmu a dala se na třepačku. Po dostatečném promíchání byl stanovený obsah chloridů pomocí iontově selektivní metody, která se provádí přístrojem inoLab pH/ION 740. Z měření jsem získala množství chloridů v miligramech na litr, a to jsem si přepočítala na koncentraci solí ve vzorku v mg/g .

9.3.6. Zkoušení tepelných vlastností

Z tepelných vlastností jsem zkoumala jeden tepelně fyzikální parametr, a to součinitel tepelné vodivosti. Jeho hodnota je i pro omítky velmi důležitá, protože nám říká, jak materiál vede teplo, což je významné především u vnějších omítek, které jsou vystaveny značnému teplotnímu namáhání. Dále, díky vzrůstajícímu trendu nízkoenergetických budov a sledování

energetické náročnosti objektu, se také jedná o důležitou hodnotu. Sledovanou veličinu jsem měřila nestacionární metodou (tepelný tok se mění během doby měření) pomocí přístroje ISOMET 2104 (Applied Precision, Ltd.). Experiment je s pomocí tohoto přístroje poměrně rychlý, měření jednoho vzorku trvalo oko 15 minut. Přístroj pracuje na principu vysílání impulsů tepelného toku do materiálu a na základě časové závislosti jeho odrazu určí potřebné parametry.

Je nutné, aby vzorek určený ke zkoušení tepelných vlastností byl vysušený, protože vlhkost velmi výrazně ovlivňuje výsledky měření. Voda má totiž až 25krát větší tepelnou vodivost než vzduch.

Tyto vlastnosti byly zkoušeny na krychlích o hraně 70 mm, které byly po stáří 28 dnů vysušeny v sušící skříni nejprve při teplotě 60° C a následně při teplotě 105°C až do ustálení hmotnosti. Poté se nechaly vychladnout v exsikátoru.

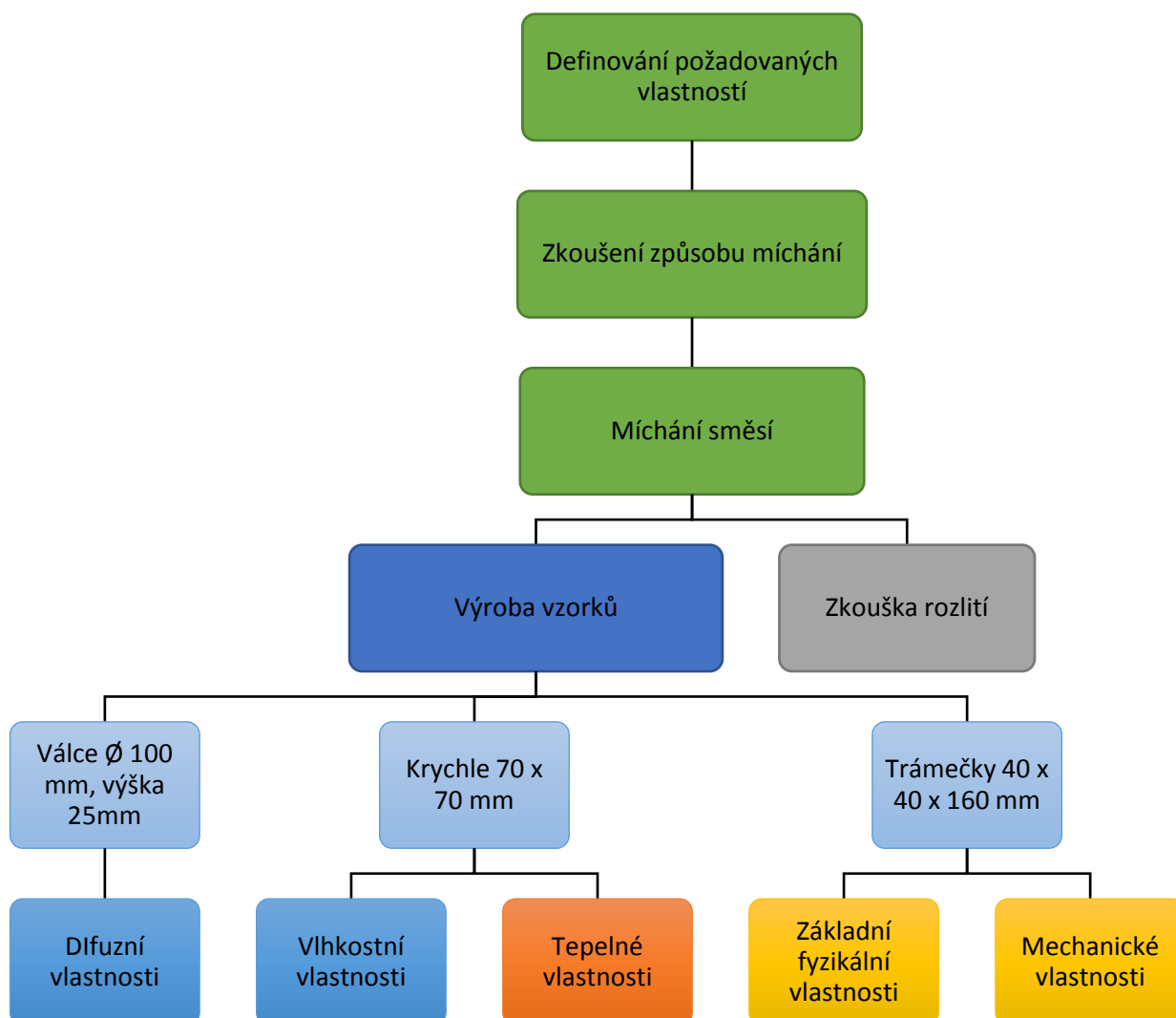
Měření pomocí isometu probíhá tak, že vzorek umístíme mimo jakýkoliv zdroj tepla či vibrací a položíme ho jednou stranou na stůl nebo jinou podložku a na protější stěnu krychle položíme plošnou měřící sondu.

9.4. Návrh směsi

Při návrhu směsi jsem si nejprve stanovila základní požadavky na výslednou omítku, které byly následující:

- vysoká pórovitost,
- velká difuzní schopnost,
- vysoký absorpční koeficient vody,
- zpracovatelnost jako u klasické omítky (min. rozliv 160 mm),
- pevnost obdobná (či o trochu nižší), než u běžných omítek,
- schopnost transportu nejen vody, ale i v ní rozpuštěných solí.

Návrh omítkové směsi probíhal dle schématu na Obr. 31.



Obr. 31 Schéma průběhu experimentální části

Při návrhu směsi a v dalších provedených praktických experimentech jsem použila omítku Baumit Manu 1, do které jsem přidávala hydrofilní příměs – celulózová vlákna Arboceel. Tato modifikace původního složení omítky měla zajistit dosažení požadovaných vlastností.

Poté, co jsem měla vybraný materiál, vyvstalo však mnoho otázek, a to například kolik příměsi vůbec přidat, když výrobce pro své aplikace dávkuje maximálně 0,5 obj. % či jak směs zamíchat? Zástupcem firmy Kramer mi bylo doporučeno, abych nejprve celulózová vlákna namočila v záměsové vodě a poté je vmíchala do suché směsi s přidáním zbývající záměsové

vody. Tato aplikace ale dle očekávání nefungovala. Bylo to způsobeno jednak obrovskou absorpční schopností vláken a především přidáním většího množství do směsi, než výrobce běžně uvádí. Nakonec jsem směs míchala tak, jak je běžné u klasických malt a omítek, tedy suchá vlákna se suchou omítkovou směsí a pak přilávala vodu.

Složení všech směsí jsem počítala objemově, tedy přes objemovou hmotnost. Použila jsem objemovou hmotnost omítky Baumit Manu 1 1500 kg/m^3 , Arbocelu 85 1500 kg/m^3 a vody 1000 kg/m^3 .

Pro výrobu zkušebních vzorků jsem se rozhodla namíchat omítky s následujícím množstvím celulózových vláken CV (poměr vody a suché směsi byl u všech záměsí stejný (0,22)):

- 0 % CV – referenční omítka – „čistá“ Baumit Manu 1,
- 1 obj. % CV,
- 3,5 obj. % CV,
- 5 obj. % CV,
- 6 obj. % CV.

Následující objemová procenta jsem se rozhodla zkusit z důvodu zjištění a porovnání, co udělá s materiálem pouhé jedno procento přísady a jestli z hlediska pevnosti budou použitelné omítky i s 12 násobným množstvím Arbocelu, než výrobce běžně dává do obdobného materiálu.

U omítek jsem provedla zkoušku rozlitím. Následovalo stanovení základních fyzikálních a mechanických vlastností a transportu kapalně vlhkosti. U prvních záměsí šlo především o to, aby se zjistilo, jaké množství celulózových vláken je vůbec vhodné použít. Důležité bylo zachování zpracovatelnosti, což ověřila zkouška rozlitím. Nezbytné však bylo také zachovat určité mechanické parametry a vysokou pórovitost. A zároveň vysoké hodnoty pro transport kapalně vlhkosti. Z výsledků bylo jasné, jaké omítky je vhodné použít dále. Bylo znát, že vyšší procento celulózových vláken zajistí výrazně lepší vlastnosti pro transport vlhkosti, ovšem špatné byly mechanické vlastnosti.

Další záměsí jsem míchala tak, abych zjistila, jak se budou chovat omítky s nižším obsahem Arbocelu, ale zároveň jsem i měnila vodní součinitel, abych dosáhla vyšších pevností. Nové složení směsí tedy bylo následující:

- 0 obj. % CV $w/c=0,22$ (referenční směs)
- 1 obj. % CV $w/c=0,22$,
- 2,5 obj. % CV $w/c=0,20$,
- 3,5 obj. % CV $w/c=0,19$.

U těchto záměsí už byly kromě základních mechanických a fyzikálních vlastností měřeny také vlhkostní vlastnosti, a to nejen parametry charakterizující transport kapalnou, ale i plynnou vlhkostí. Studovaná byla i možnost transportu solí. Výsledky byly uspokojivé, ovšem stále ne takové, jaké bych si představovala a z toho důvodu jsem namíchala ještě další sadu vzorků, kde jsem upravila především vodní součinitel a opět zkusila namíchání směsí s větším podílem celulózových vláken. Složení poslední sady vzorků tedy bylo:

- 2,5 obj. % CV $w/c=0,22$,
- 3,5 obj. % CV $w/c=0,21$,
- 5 obj. % CV $w/c=0,20$.

Poslední směsí jsem zkoušela na základní fyzikální, mechanické a vlhkostní vlastnosti. Zároveň byl u všech vzorků měřen součinitel tepelné vodivosti.

10. Chybová analýza – chyby měření

Při měření různých materiálových parametrů není žádné měření bez chyby, vždy se objeví nějaká odchylka. Ta může být dle působení hrubá, náhodná nebo systematická. Hrubá chyba je ta, která celé měření znehodnocuje a hodnoty naměřené s touto chybou se výrazně liší od průměru ostatních hodnot. Pokud zjistíme měření zatížené hrubou chybou, nelze ho do výsledků počítat. Chyba náhodná je pouze těžko předvídatelná a může se nahodile objevit především díky vnějším vlivům. Pokud si ze změřených hodnot uděláme Gaussovo rozdělení či si spočítáme směrodatnou odchylku, dokážeme výsledky, které se svou hodnotou vymezují

o více jak jednu směrodatnou odchylku, odstranit. Systematické chyby jsou neustále stejné a mají stejné znamínko, mohou být způsobeny například špatným zkalibrováním přístroje.

Abych ze svého měření odstranila hrubé chyby a eliminovala rozsah nepřesných měření, tak jsem všechny měřené výsledky od jedné sady vzorků z jednoho experimentu zprůměrovala a spočítala směrodatnou odchylku dle vztahů (28), (29). Všechny hodnoty, lišící se o více než směrodatnou odchylku, byly z měření odstraněny.

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i, \quad (28)$$

$$s = \sqrt{\frac{1}{n} \sum (x_i - \mu)^2}, \quad (29)$$

kde \bar{x} je průměr z naměřených hodnot, x_i naměřené hodnoty, s směrodatná odchylka, μ skutečná hodnota veličiny.

11. Výsledky a diskuze

Ve výsledcích porovnávám spolu všechny namíchané směsi podle zkoumaných vlastností.

11.1. Základní fyzikální vlastnosti

Základní fyzikální vlastnosti byly měřeny pro všechny směsi. Zkoumané vlastnosti byly zkoušeny na minimálně šesti vzorcích (trámečcích 40 x 40 x 160 mm). Přehled základních fyzikálních vlastností je v Tabulce 3.

Tabulka 3 Základní fyzikální vlastnosti

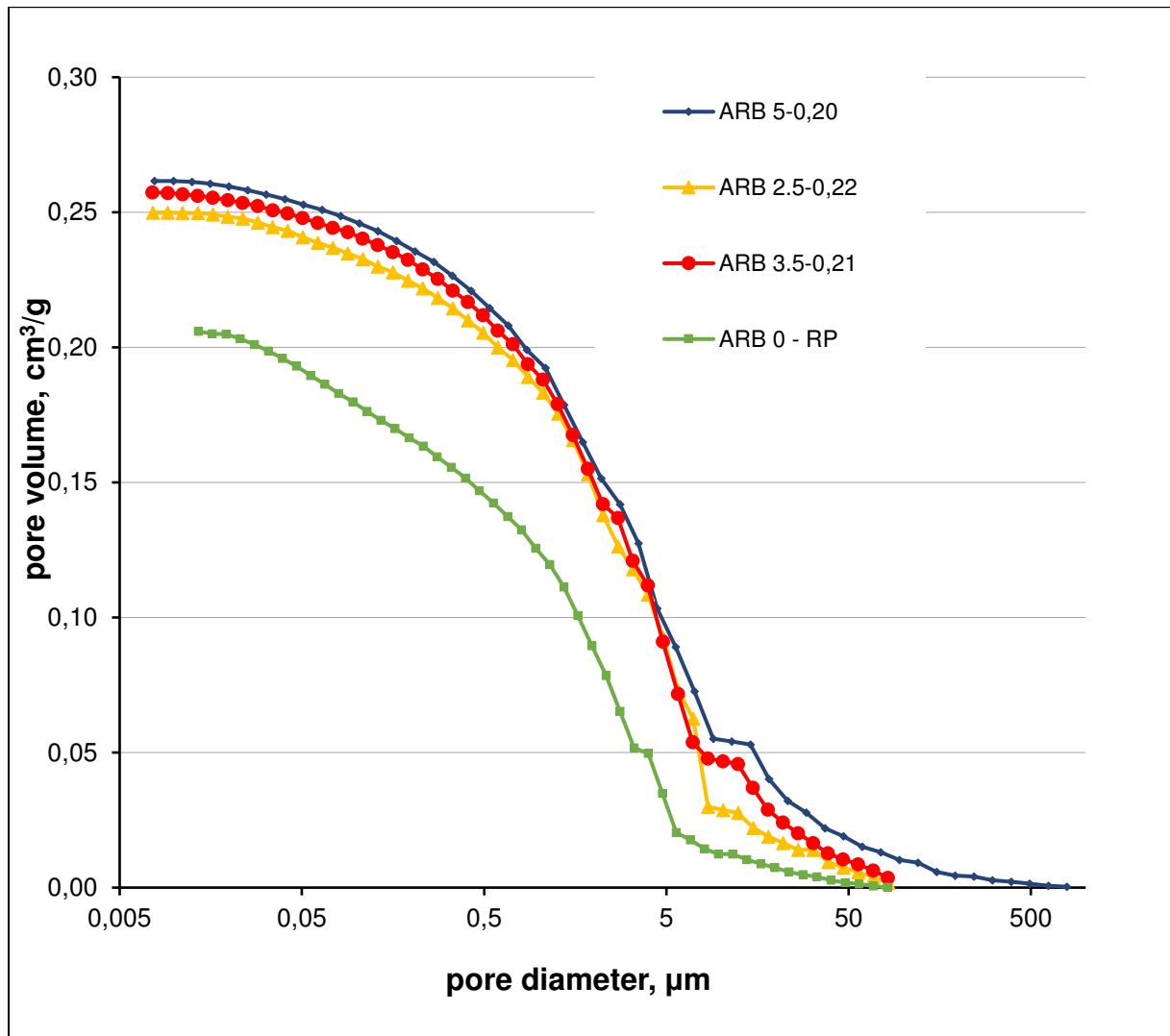
Název	Vodní součinitel	ρ [kg/m ³]	ρ_{mat} [kg/m ³]	Pórovitost [%]
ARB 0%	0,22	1565 ± 12	2720 ± 31	41,5 ± 0,1
ARB 1%	0,22	1529 ± 16	2698 ± 17	43,5 ± 1,1
ARB 2,5%	0,20	1655 ± 25	2658 ± 7	37,7 ± 2,4
ARB 2,5%	0,22	1371 ± 14	2565 ± 3	46,6 ± 2,9
ARB 3,5%	0,19	1614 ± 10	2582 ± 20	37,5 ± 4,6
ARB 3,5%	0,22	1239 ± 20	2623 ± 35	53,2 ± 0,1
ARB 3,5%	0,21	1614 ± 35	2552 ± 1	50,5 ± 0,3
ARB 5%	0,22	1228 ± 15	2580 ± 39	54,0 ± 2,5
ARB 5%	0,20	1774 ± 8	2562 ± 1	50,4 ± 0,1
ARB 6%	0,22	1174 ± 14	2550 ± 32	54,5 ± 0,2

Z tabulky je jasně vidět, že přidaná celulózová vlákna nám pórovitost výrazně ovlivňují společně s vodním součinitelem. Čím více je v materiálu obsaženo vláken, tím více stoupá pórovitost. U referenční směsi můžeme vidět pórovitost okolo 41v%, kdežto už s jedním přidaným procentem celulózových vláken stoupá o 2 %. S poklesem vodního součinitele je

11.1.1. MIP – metoda rtuťové porozimetrie

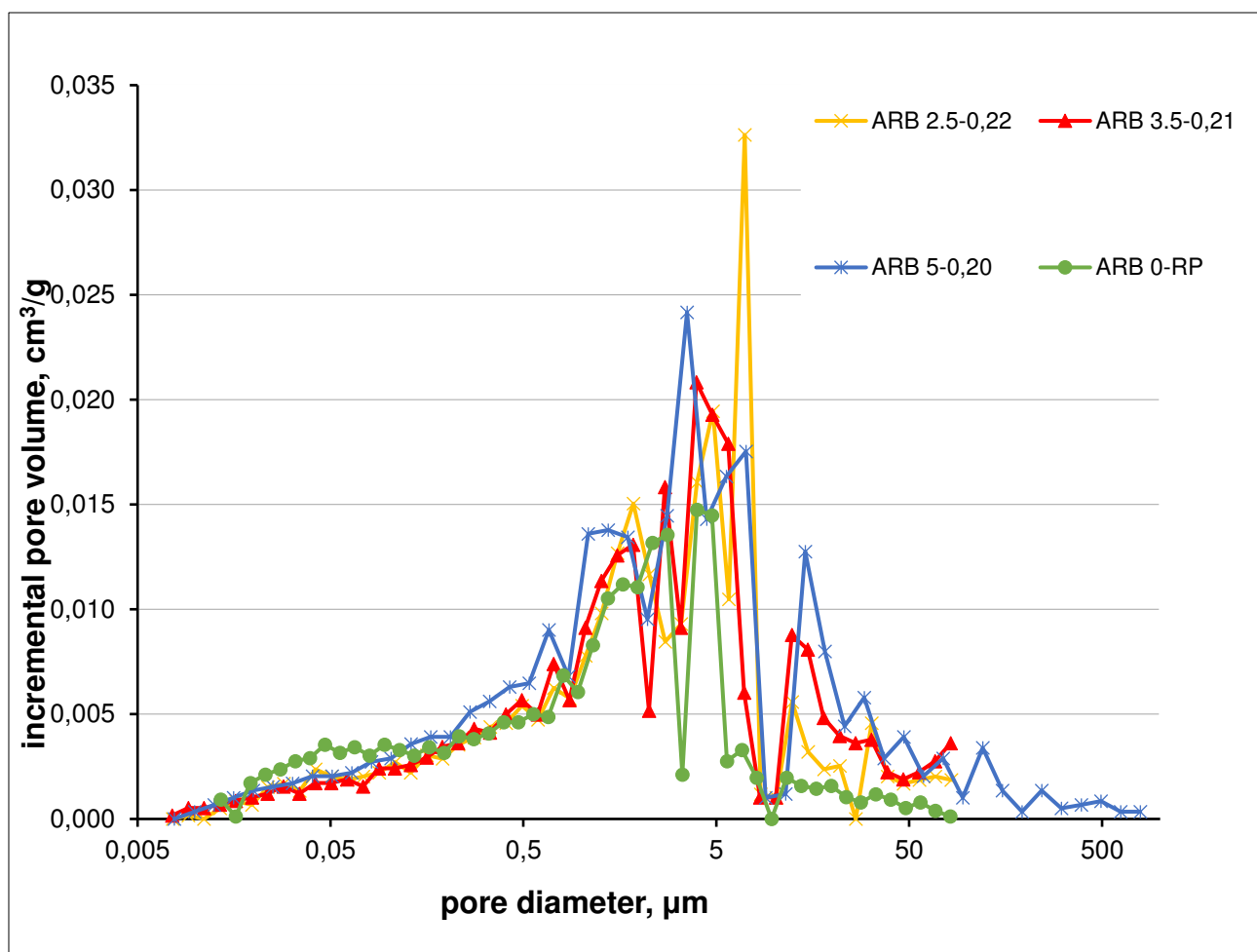
Pomocí rtuťové porozimetrie byla zjištěna distribuce pórů u třetí sady vzorků a referenční omítku Jednalo se o referenční omítku Baunit Manu 1 bez přidaných celulózových

vláken s vodním součinitelem 0,22, dále o omítkovou směs se 2,5; 3,5 a 5 obj. % Arbocelem. Výsledky jsou zaneseny do grafů na Obr. 32 a 33. V prvním grafu vidíme kumulativní křivku velikosti pórů a v druhém distribuční křivku velikosti pórů.



Obr. 32 Graf z MIP - kumulativní křivka velikosti pórů

Z kumulativní křivky velikosti pórů, kterou jsem získala z metody měření rtuťové porozimetrie jsou vidět jasné rozdíly mezi rozdělením pórů u směsí s celulózovými vlákny a u referenční omítky. Referenční směs obsahuje výrazně menší množství pórů, než omítky s Arbocelem. Nejlépe z hlediska objemu pórů dopadla omítko s nejvyšším množstvím celulózových vláken, tedy 5 obj. %.



Obr. 33 Graf z MIP - distribuční křivka velikosti pórů

Distribuční křivka velikosti pórů ukazuje, jaká velikost pórů je ve směsi nejčastěji zastoupena. I zde jsou vidět rozdíly oproti omítce bez celulóзовých vláken a s nimi. Referenční omítka obsahuje především kapilární póry, ale má i poměrně velký podíl ultrakapilárních pórů, kde již transport vlhkosti není možný. Omítka se 2,5 obj. % Arbocelu a vodním součinitelem 0,22 jasně převyšuje všechny ostatní směsi v počtu naměřených kapilárních makropórů. Ovšem distribuce pórů není v této směsi moc rovnoměrná, póry nad 50 µm nebyly přístrojem zaznamenány vůbec. Oproti tomu směs se 3,5 obj. % Arbocelu má počet má rozdělení pórů vyrovnanější a také obsahuje nejvíce kapilárních pórů. Poslední směs s nejvyšším množstvím příměsy, tedy 5 obj. % má nejpestřejší rozložení pórů. Také obsahuje především kapilární póry, kterých má velké množství, ale obsahuje jako jediná i makropóry. Očekávám tedy, že omítka s 5 obj. % Arbocelu a vodním součinitelem 0,22 povede vlhkost i soli nejlépe. Navíc v její porézni struktuře bude i místo pro případnou krystalizaci solí, takže nedojde tak snadno k porušení omítky.

11.2. Mechanické vlastnosti

Jak již bylo řečeno, mechanické vlastnosti byly zkoušeny na trámečcích o rozměrech 40 x 40 x 160 mm po 28 dnech ošetřování ve vlhkém prostředí. Nejprve přišly na řadu první vzorky s vodním součinitelem (myšleno podíl vody k suché směsi) 0,22. Výsledky jsou v Tabulce 4.

Tabulka 4 Mechanické vlastnosti první sady směsí

	R_f [MPa]	R_c [MPa]
0% ARB	1,32 ± 0,01	2,75 ± 0,03
1% ARB	1,08 ± 0,02	1,92 ± 0,04
3,5% ARB	0,59 ± 0,02	0,45 ± 0,02
5% ARB	0,47 ± 0,03	0,38 ± 0,02
6% ARB	0,42 ± 0,01	0,34 ± 0,02

Z výsledků je jasně patrné, že s přibývajícím množstvím vláken výrazně klesá pevnost. Z tohoto důvodu jsem se u dalších záměsí rozhodla o snížení vodního součinitele. Takže u směsi s 3,5 obj. % celulókových vláken došlo ke snížení vodního součinitele z 0,22 na 0,19 a byla namíchána nová směs s 2,5 obj. % Arboceľu a vodním součinitelem 0,20. Výsledky jejich mechanických parametrů jsou v následující Tabulce 5.

Tabulka 5 Mechanické vlastnosti druhé sady směsí

	Vodní součinitel	R_f [MPa]	R_c [MPa]
0% ARB	0,22	1,32 ± 0,01	2,75 ± 0,03
2,5% ARB	0,20	1,23 ± 0,03	2,58 ± 0,18
3,5% ARB	0,19	1,00 ± 0,11	1,75 ± 0,21

Z výsledků je patrné, že snížení vodního součinitele nám skutečně zvýšilo únosnost v tahu za ohybu a v tlaku na hodnoty srovnatelné s referenční omítkou Baumit Manu 1. Ovšem z důvodu jiných nevyhovujících parametrů byly namíchány ještě další směsi, a to s 2,5 obj. % celulóзовých vláken a vodním součinitelem 0,22, se 3,5 obj. % celulóзовých vláken a vodním součinitelem 0,21 a s 5 obj. % celulóзовých vláken a vodním součinitelem 0,20. Výsledky jsou zaznamenány v Tabulce 6.

Tabulka 6 Mechanické vlastnosti posledních záměsí

	Vodní součinitel	R_f [MPa]	R_c [MPa]
0% ARB	0,22	1,32 ± 0,01	2,75 ± 0,03
2,5% ARB	0,22	0,87 ± 0,04	1,52 ± 0,17
3,5% ARB	0,21	0,65 ± 0,03	1,20 ± 0,15
5% ARB	0,20	0,65 ± 0,03	1,20 ± 0,16

Jak můžeme vidět, tak u posledních vzorků bylo i u vysokého podílu celulóзовých vláken dosaženo pevnosti v tlaku nad 1 MPa, což je pro obětované a sanační omítky pevně dostačující.

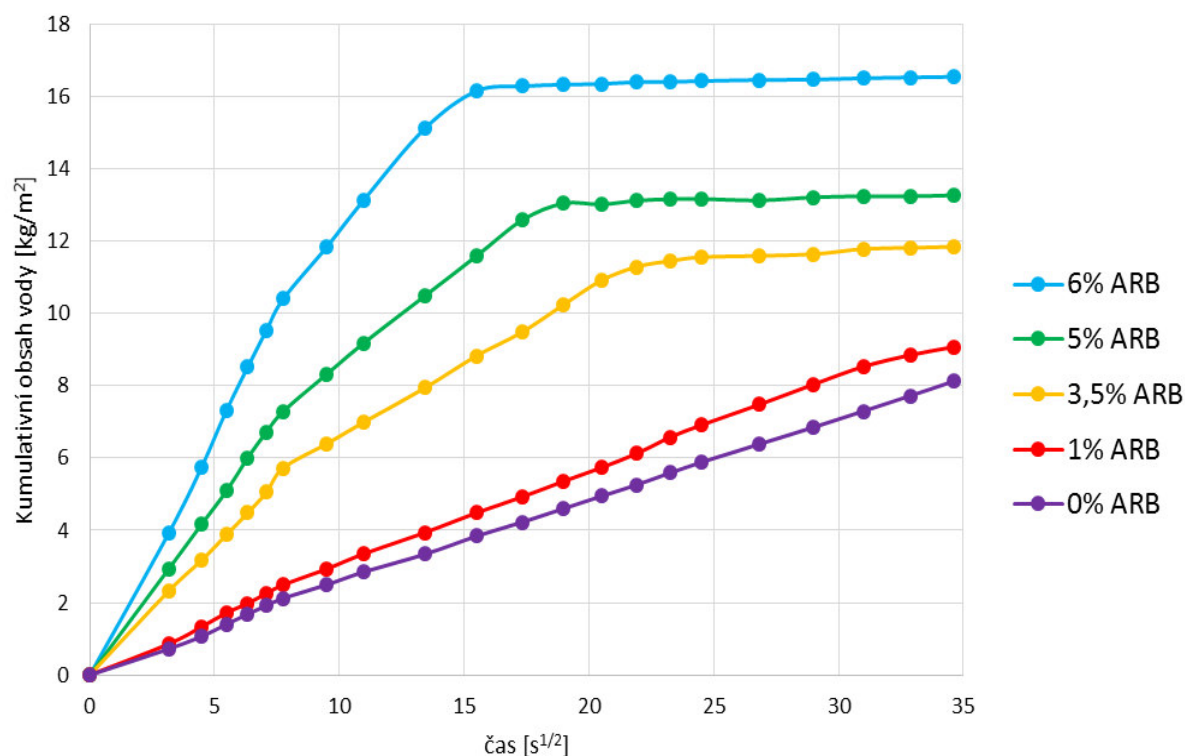
11.3. Vlhkostní vlastnosti

Jak jsem již zmínila, tak vlhkostní vlastnosti materiálu byly pro mě jedny z klíčových, a to jak parametry transportu kapalně, tak plynně vlhkosti.

11.3.1. Transport kapalně vlhkosti

Stanovení parametrů transportu kapalně vlhkosti probíhalo na krychlích o straně 70 mm, které byly po obvodě zaizolovány epoxidovou pryskyřicí. Z každé jednotlivé směsi bylo vyzkoušeno šest vzorků. Celkově jsem namíchala deset různých záměsí, tedy pro experiment transportu kapalně vlhkosti bylo použito 60 krychlí. Výsledky jsou opět demonstrovány pro jednotlivé fáze míchání. Tedy nejdříve vzorky, které jsem míchala jako první. V následujícím grafu je tedy ukázáno chování omítky referenční a omítek s vodním součinitelem stejným, jako má referenční omítky a s 1; 3,5; 5 a 6 obj. % celulóзовých vláken. Ze získaných hodnot

kumulativního obsahu vlhkosti jsem sestavila pro všechny zkoušené materiály křivky nasákavosti, jak je patrné z Obr. 34.



Obr. 34 Křivky nasákavosti pro první sadu směsí

Z křivek nasákavosti uvedených na Obr. 30 můžeme jasně vyčíst, že čím vyšší obsah celulóзовých vláken je do omítkové směsi přidám, tím rychlejší a větší bude absorpce kapalné vlhkosti. Jak je také zřejmé, tak velmi zajímavě by mohla vypadat doposud nezkoušená oblast mezi 1 a 3,5 obj. % Arbocelu. Z grafu a pomocí výpočtu jsem získala hodnoty pro absorpční koeficient vody A [kg/m²s^{1/2}], součinitele vlhkostní vodivosti κ [m²/s] a kapilární obsah nasycené vlhkosti w_{cap} [kg/m³], které jsou v Tabulce 7. Z kvantitativního hlediska jsou hodnoty vlhkostních transportních parametrů velmi vysoké, což jasně dokazuje závislost nárůst rychlosti přenosu vody v materiálech s celulóзовými vlákny.

Tabulka 7 Parametry transportu kapaln  vlhkosti pro prv  sadu směsí

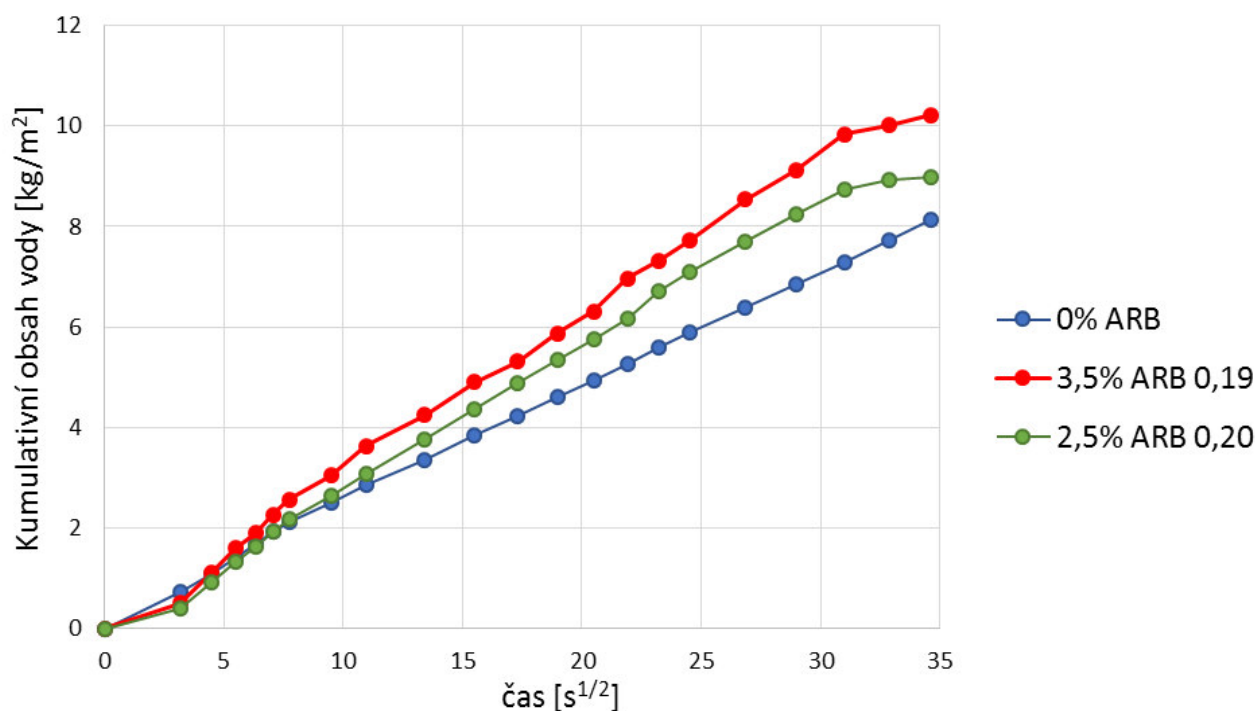
	A [kg/m ² s ^{1/2}]	w_{cap} [kg/m ³]	K [m ² /s]
0% ARB	0,23 ± 0,02	220,98 ± 1,55	(1,098 ± 0,026)E-6
1% ARB	0,27 ± 0,03	228,66 ± 1,74	(1,235 ± 0,031)E-6
3,5% ARB	0,54 ± 0,05	317,62 ± 2,01	(2,654 ± 0,019)E-6
5% ARB	0,71 ± 0,01	343,86 ± 1,34	(4,221 ± 0,027)E-6
6% ARB	1,15 ± 0,04	360,51 ± 2,88	(8,875 ± 0,042)E-6

Je evidentn , že  m v s  množství celulózy v záměsí je, t m v s  je hodnota absorpčního koeficientu vody, součinitele vlhkostní vodivosti i kapilární obsah nasycen  vlhkosti. Tyto směsi ještě bylo nutné modifikovat z důvodu nedostatečných pevnostních charakteristik.

Dal s mi zkoušenými vzorky byly opět ty s ni s m vodním součinitelem, tedy s 2,5 obj. % celulózových vláken a vodním součinitelem 0,20 a 3,5 obj. % vláken a vodním součinitelem 0,19 (Tabulka 8, Obr. 35).

Tabulka 8 Parametry transportu kapaln  vlhkosti pro druhou sadu omítkových směsí

	Vodní součinitel	A [kg/m ² s ^{1/2}]	w_{cap} [kg/m ³]	K [m ² /s]
0% ARB	0,22	0,23 ± 0,02	220,98 ± 1,55	(1,098 ± 0,026)E-6
2,5% ARB	0,20	0,31 ± 0,04	225,5 ± 1,38	(1,824 ± 0,019)E-6
3,5% ARB	0,19	0,32 ± 0,04	232,7 ± 0,97	(1,925 ± 0,021)E-6



Obr. 35 Křivky nasákavosti pro druhou sadu omítkových směsí

Z výsledků je jasně vidět, že sice přidání celulózy do omítky zlepší vlastnosti pro vodivost kapalně vlhkosti, zároveň ale vidíme velký vliv nižšího vodního součinitele a s tím související snížení pórovitosti. Je tedy jasné, že množství celulózy v kombinaci s nízkým vodním součinitelem nebylo zvoleno dobře. Bylo tedy nutné namíchat ještě další záměsi. Do třetice jsem se pokusila zoptimalizovat jak množství Arbocelu, tak vodní součinitel a vznikly poslední směsi. Jejich výsledky jsou v Tabulce 9.

Tabulka 9 Parametry transportu kapalně vlhkosti pro třetí sadu omítkových směsí

	Vodní součinitel	A [kg/m ² s ^{1/2}]	w_{cap} [kg/m ³]	κ [m ² /s]
0% ARB	0,22	0,23 ± 0,02	220,98 ± 1,55	(1,098 ± 0,026)E-6
2,5% ARB	0,22	0,39 ± 0,08	269,41 ± 1,08	(2,096 ± 0,045)E-6
3,5% ARB	0,21	0,45 ± 0,11	295,12 ± 0,98	(2,325 ± 0,031)E-6
5% ARB	0,20	0,64 ± 0,07	342,28 ± 1,63	(3,496 ± 0,032)E-6

Je jasně vidět, že přidání většího množství vláken a správný poměr suché složky ku vodě umožňuje vytvořit materiál s funkčními mechanickými vlastnostmi i vysokými parametry transportu kapalné vlhkosti.

11.3.2. Difuze vodní páry

Transport pro plynnou vlhkost jsem neměřila na všech záměsích, ale jen na některých, konkrétně:

- Referenční omítka – 0% Arbocelu,
- 1 obj. % Arbocelu, vodní součinitel 0,22,
- 2,5 obj. % Arbocelu, vodní součinitel 0,20,
- 2,5 obj. % Arbocelu, vodní součinitel 0,22,
- 3,5 obj. % Arbocelu, vodní součinitel 0,19,
- 3,5 obj. % Arbocelu, vodní součinitel 0,21,
- 5 obj. % Arbocelu, vodní součinitel 0,20.

Od každé směsi bylo naměřeno pět vzorků. Z měření byly získány hodnoty pro součinitele difuze pro vodní páru D [m^2s^{-1}], faktor difuzního odporu μ [-]. Vzhledem k velkému množství měřených vzorků a veličin uvádím do tabulek přehled výsledků získaných metodami wet a dry cup a hodnoty faktoru difuzního odporu. Pro porovnání materiálu přikládám kromě těchto hodnot ještě sloupeček s pórovitostí materiálu. Veškeré výsledky byly zpracovávány v programu Microsoft excel (Obr. 36).

Tabulka 10 Výsledky z měření transportu plynné vlhkosti metodou dry cup

	Vodní součinitel	D [m^2/s^{-1}]	μ [-]	Pórovitost [%]
ARB 0%	0,22	(4,81 ± 0,40)E-6	4,16 ± 0,73	41,5 ± 0,1
ARB 1%	0,22	(6,29 ± 0,24)E-6	3,93 ± 0,15	43,5 ± 1,1
ARB 2,5%	0,20	(3,30 ± 0,43)E-6	7,60 ± 0,94	37,7 ± 2,4
ARB 2,5%	0,22	(6,74 ± 0,39)E-6	3,66 ± 0,24	46,6 ± 2,9
ARB 3,5%	0,19	(4,57 ± 0,51)E-6	5,47 ± 0,55	37,5 ± 4,6
ARB 3,5%	0,21	(7,30 ± 0,42)E-6	3,38 ± 0,26	50,5 ± 0,3
ARB 5%	0,20	(7,34 ± 0,45)E-6	3,37 ± 0,42	50,4 ± 0,1

Tabulka 11 Výsledky z měření transportu plynné vlhkosti metodou dry cup

	Vodní součinitel	D [m ² s ⁻¹]	μ [-]	Pórovitost [%]
ARB 0%	0,22	(6,15 ± 0,93)E-6	5,17 ± 0,42	41,5 ± 0,1
ARB 1%	0,22	(5,46 ± 0,74)E-6	4,60 ± 0,61	43,5 ± 1,1
ARB 2,5%	0,20	(2,79 ± 0,38)E-6	8,99 ± 1,15	37,7 ± 2,4
ARB 2,5%	0,22	(5,85 ± 0,61)E-6	4,22 ± 0,67	46,6 ± 2,9
ARB 3,5%	0,19	(3,27 ± 0,52)E-6	7,73 ± 1,15	37,5 ± 4,6
ARB 3,5%	0,21	(6,42 ± 0,47)E-6	3,85 ± 0,52	50,5 ± 0,3
ARB 5%	0,20	(6,33 ± 0,56)E-6	3,90 ± 0,62	50,4 ± 0,1

Z výsledků metody wet cup a dry cup je zřejmé, že nejvíce propustné pro vodní páru jsou materiály s nejvyšší pórovitostí (zelené zvýraznění), naopak nejhorší propustnost mají omítky s nejnižší pórovitostí. Dalo by se tedy říci, že Arbocel nemá vliv na transport plynné vlhkosti. Pravda ale je ta, že tím, že celulósová vlákna ovlivňují pórovitost omítky, tak de facto ovlivňují i transport vodní páry.

						10:00	11:00	12:00	13:30	16:00	10:00	13:40	10:40
					s	0	3600	7200	12600	21600	86400	99600	261600
Dry cup						0	1	2	3,5	6	24	27:40	
	S [mm ²]	h1	h2	h3	pr.h	m[g]							
ARB 0% 1	7,85E-03	25,75	26,11	29,01	2,70E-02	852,89	852,91	852,92	852,95	853,01	853,64	853,74	855,39
ARB 0% 2	7,85E-03	25,66	25,84	28,51	2,67E-02	878,72	878,72	878,72	878,76	878,81	879,46	879,55	881,20
ARB 0% 3	7,85E-03	21,38	21,64	22,79	2,19E-02	817,29	817,30	817,33	817,38	817,48	818,28	818,40	820,38
ARB 0% 4	7,85E-03	27,08	26,44	26,69	2,67E-02	874,84	874,87	874,89	874,94	875,02	875,72	875,81	877,57
ARB 0% 5	7,85E-03	26,15	25,92	26,67	2,62E-02	889,66	889,69	889,70	889,74	889,82	890,62	890,74	892,67
ARB 1% 1	7,85E-03	27,91	26,91	27,72	2,75E-02	864,33	864,35	864,38	864,44	864,53	865,36	865,50	867,50
ARB 1% 2	7,85E-03	29,54	29,28	29,16	2,93E-02	887,92	887,95	887,98	888,10	888,10	888,90	889,04	890,99
ARB 1% 3	7,85E-03	28,12	28,01	28,51	2,82E-02	887,29	887,32	887,35	887,41	887,51	888,38	888,51	890,57
ARB 1% 4	7,85E-03	30,93	29,31	26,97	2,91E-02	899,19	899,23	899,25	899,29	899,38	900,15	900,32	902,15
ARB 1% 5	7,85E-03	30,53	29,52	30,15	3,01E-02	910,45	910,46	910,47	910,50	910,58	911,42	911,57	913,49
ARB 2,5% 1	7,85E-03	27,55	29,31	26,74	2,79E-02	893,31	893,31	893,31	893,31	893,35	893,93	894,01	895,39
ARB 2,5% 2	7,85E-03	29,35	29,45	30,25	2,97E-02	932,01	932,01	932,01	932,01	932,03	932,44	932,53	933,87
ARB 2,5% 3	7,85E-03	26,98	27,88	27,47	2,74E-02	917,71	917,71	917,71	917,71	917,77	918,33	918,43	919,82
ARB 2,5% 4	7,85E-03	25,10	26,47	27,48	2,64E-02	926,99	926,99	926,99	926,99	927,01	927,51	927,61	929,03
ARB 2,5% 5	7,85E-03	25,01	23,91	31,47	2,68E-02	931,78	931,78	931,78	931,78	931,80	932,28	932,38	933,85
ARB 3,5% 1	7,85E-03	29,23	29,99	31,71	3,03E-02	961,07	961,07	961,07	961,08	961,15	961,72	961,83	963,46
ARB 3,5% 2	7,85E-03	25,91	27,87	28,75	2,75E-02	866,75	866,75	866,75	866,76	866,83	867,50	867,62	869,46
ARB 3,5% 3	7,85E-03	31,58	32,43	32,70	3,22E-02	928,14	928,14	928,14	928,14	928,23	928,91	929,10	930,81
ARB 3,5% 4	7,85E-03	27,81	29,29	28,74	2,86E-02	910,98	910,98	910,98	910,99	911,04	911,62	911,74	913,33
ARB 3,5% 5	7,85E-03	31,33	31,20	31,36	3,13E-02	954,69	954,69	954,69	954,72	954,76	955,30	955,41	956,90

Obr. 36 Ukázka části souboru Microsoft excel na zpracování dat z metody dry cup

11.4. Tepelné vlastnosti

V rámci tepelných vlastností byly pomocí nestacionárního měření stanoveny hodnoty součinitele tepelné vodivosti λ [W/m¹K¹] a výsledky jsou zaznamenány v Tabulce 12.

Tabulka 12 Hodnoty naměřených součinitelů tepelné vodivosti

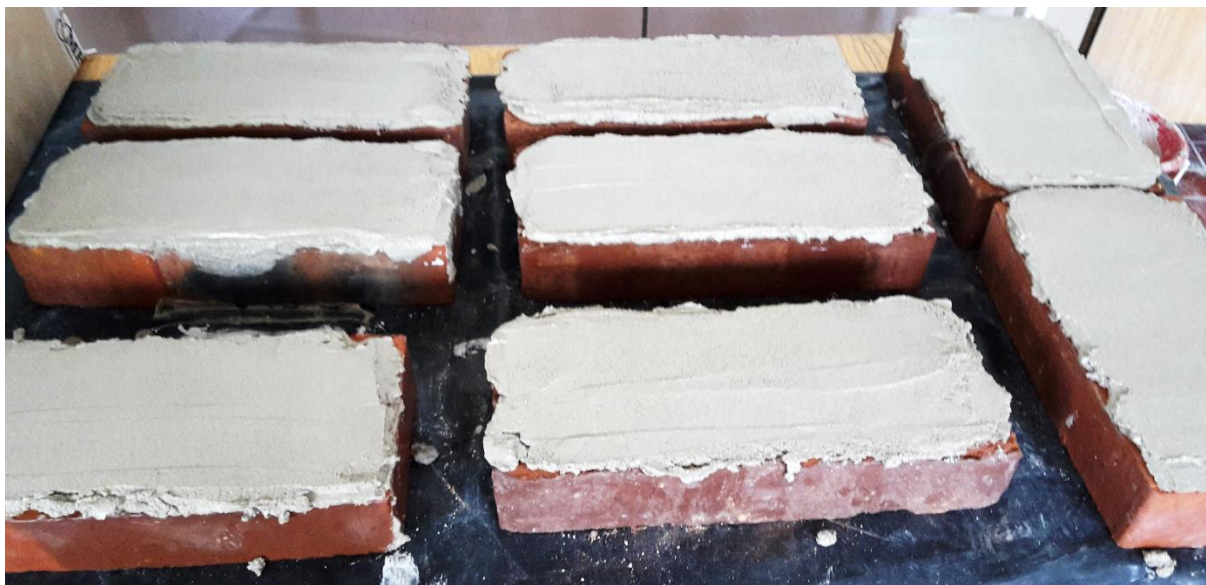
	Vodní součinitel	λ [Wm ⁻¹ K ⁻¹]	Pórovitost [%]
ARB 0%	0,22	0,41 ± 0,07	41,5 ± 0,1
ARB 1%	0,22	0,41 ± 0,06	43,5 ± 1,1
ARB 2,5%	0,20	0,71 ± 0,06	37,7 ± 2,4
ARB 2,5%	0,22	0,71 ± 0,08	46,6 ± 2,9
ARB 3,5%	0,19	0,73 ± 0,08	37,5 ± 4,6
ARB 3,5%	0,22	0,37 ± 0,07	53,2 ± 0,1
ARB 3,5%	0,21	0,38 ± 0,07	50,5 ± 0,3
ARB 5%	0,22	0,36 ± 0,07	54,0 ± 2,5
ARB 5%	0,20	0,39 ± 0,08	50,4 ± 0,1
ARB 6%	0,22	0,34 ± 0,07	54,5 ± 0,2

Tepelná vodivost materiálů opět závisí především na množství pór. Čím více je totiž v materiál vzduchu, tím hůře vede teplo a tím více je materiál tepelně izolační. Tento trend vykazovaly i omítky navržené a zkoumané v rámci této práce. Zeleně jsou zvýrazněné hodnoty s nejnižším součinitelem prostupu tepla a zároveň nejvyšší pórovitostí. Žlutě jsou zvýrazněné hodnoty s nejvyšším součinitelem prostupu tepla a nejmenší pórovitostí.

11.5. Transport solí

To, zda dokáže omítka transportovat nejen vodu, ale i soli, jsem zkoušela na cihlách namočených do plně nasyceného roztoku NaCl. Na cihly jsem poté nanasla omítky v tloušťce 20 mm (Obr. 33). Výsledky jsem rozdělila do dvou skupin, a to na skupinu s cihlami, které byly

až do nanesení omítky ponořené v roztoku (90 dnů) a na druhou skupinu, kde cihly byly v roztoku 45 dní a dalších 45 dní byly v parotěsně uzavřeném sáčku. Omítku jsem po 1, 3 a 5 týdnech vždy odloupla a naměřila obsah solí (Obr. 37). Výsledky jsou uvedeny v Tabulkách 13 a 14.



Obr. 37 Cihly nasycené solemi s 20 mm vrstvou omítky

Tabulka 13 Obsah solí v omítkách po 1, 3 a 5 týdnech (cihly položené v roztoku po dobu 90 dnů)

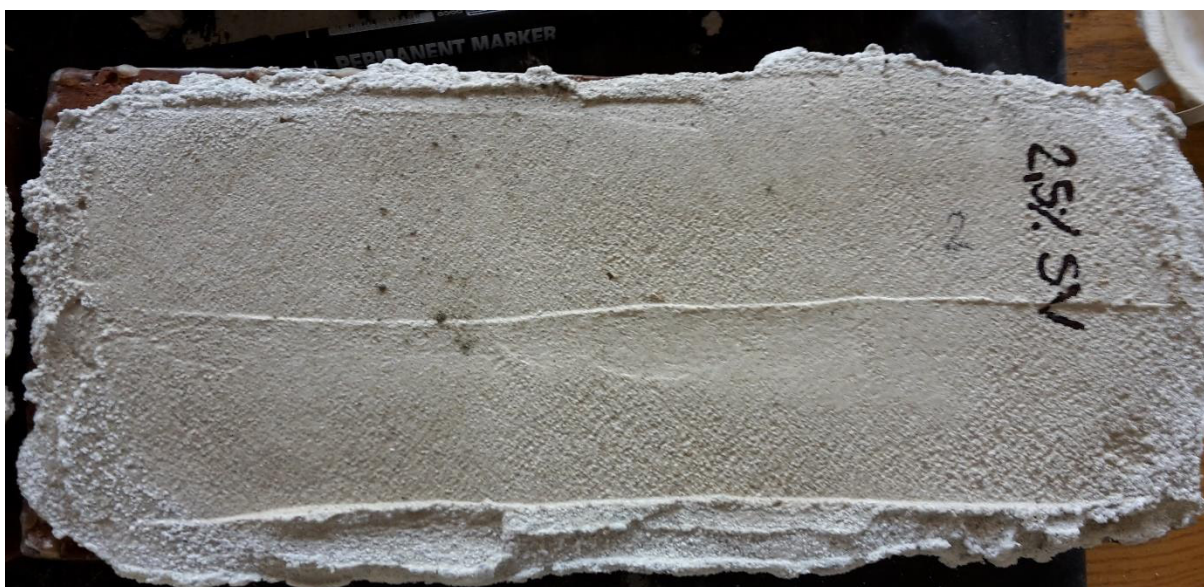
	Vodní součinitel	obsah Cl⁻ po 7 dnech [mg/g]	obsah Cl⁻ po 21 dnech [mg/g]	obsah Cl⁻ po 35 dnech [mg/g]
ARB 0%	0,22	15,00 ± 1,25	16,55 ± 1,18	12,62 ± 1,62
ARB 1%	0,22	17,85 ± 1,11	27,55 ± 1,01	8,24 ± 1,48
ARB 2,5%	0,20	14,89 ± 1,13	34,23 ± 1,39	3,28 ± 0,85
ARB 3,5%	0,19	20,82 ± 0,84	28,90 ± 1,25	12,68 ± 1,30

Tabulka 14 Obsah solí v omítkách po 1, 3 a 5 týdnech (cihly položené v roztoku po dobu 45 dnů)

	Vodní součinitel	obsah Cl ⁻ po 7 dnech [mg/g]	obsah Cl ⁻ po 21 dnech [mg/g]	obsah Cl ⁻ po 35 dnech [mg/g]
ARB 0%	0,22	14,90 ± 1,24	20,08 ± 1,18	8,42 ± 1,94
ARB 1%	0,22	17,18 ± 1,21	28,33 ± 1,65	16,03 ± 1,96
ARB 2,5%	0,20	14,73 ± 1,16	35,04 ± 1,70	32,05 ± 2,02
ARB 3,5%	0,19	24,70 ± 1,75	26,35 ± 1,19	20,02 ± 1,63

Z výsledků je patrné, že cihly, na kterých byla omítka s obsahem Arbocelu, výrazně lépe pohlcující soli, než referenční omítka. Nejznačnější nárůst koncentrace solí je u omítky s 2,5 obj. % celulózy a vodním součinitelem 0,20. I v tomto případě sehraje svou roli pórovitost materiálu a distribuce pórů. Bohužel kvůli časové náročnosti tohoto experimentu nebylo již možné vyzkoušet poslední sadu omítek s 3,5 obj. % a 5 obj. % s vodním součinitelem 0,21 resp. 0,20. Výsledky po pěti týdnech se tolik liší z toho důvodu, že cihla po pěti týdnech na vzduchu již výrazně vyschla, čímž se omezil transport vlhkosti a tím i solí.

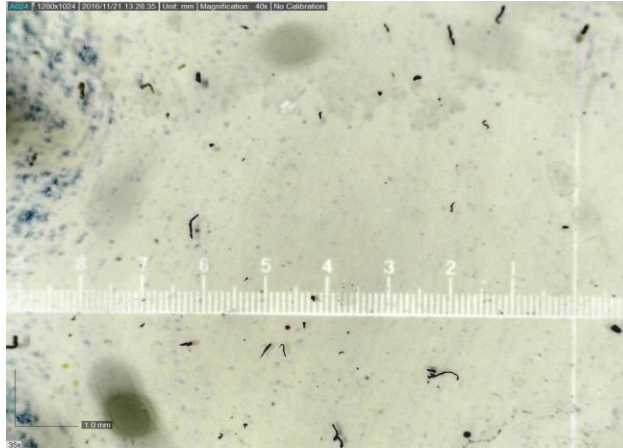
Z výsledku je také jasné, že na skutečně velmi zasolené zdivo by mělo smysl použít obětovanou omítku po dobu 3 týdnů.



Obr. 38 Omítka s 2,5 obj. % Arbocelu ve stáří 7 dnů

11.6. Snímky z optického mikroskopu

Abych zjistila, jak jsou použitá vlákna vůbec dlouhá, podrobila jsem je analýze pomocí optického mikroskopu. Měření bylo provedeno přístrojem DINO – Libe (ANMO Electronics Corporatio). Následující snímky z mikroskopu ukazují zvětšení 40x, 50x a 55x (Obr. 39, 40, 41, 42).

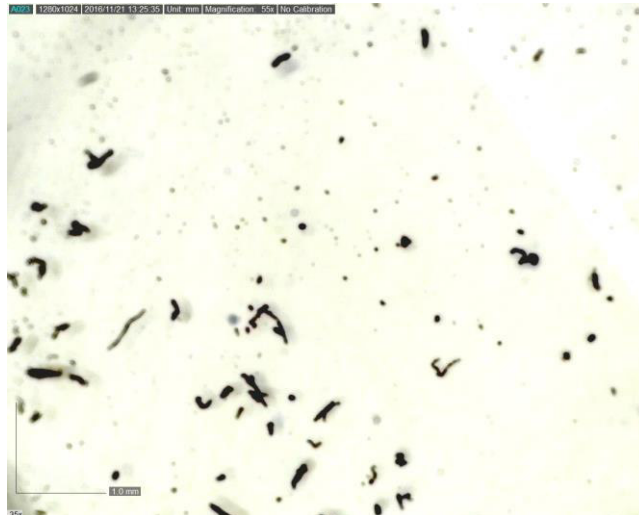


Obr. 39 40x zvětšená vlákna Arbocelu



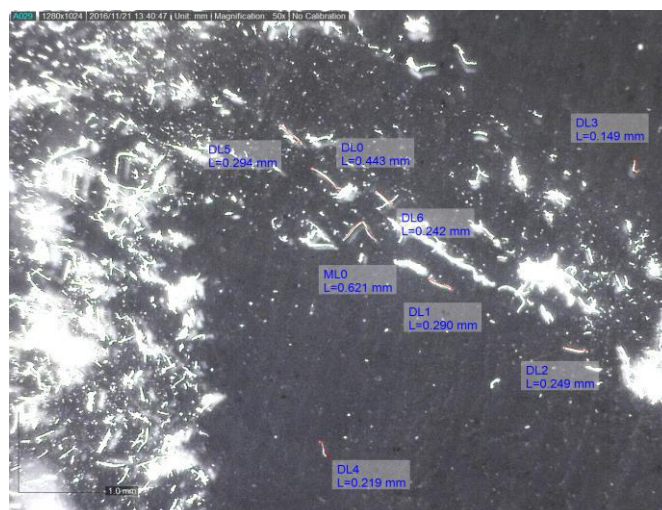
Obr. 40 50x zvětšená vlákna Arbocelu

Po 40 a 50 násobném zvětšení vláken na optickém mikroskopu lze dobře vidět, že vlákna dosahují délky ani ne 0,5 mm. Výrobce totiž udává jen průměrnou šířku vláken, a to 500nm, ale délku už neudává. Tloušťka vláken z těchto snímků není tak dobře viditelná. Je ovšem vidět, že vlákna skutečně netvoří příliš velké shluky, takže půjdou ve směsi dobře rozmíchat.



Obr. 41 55x zvětšená vlákna Arbocelu

U 55 násobného zvětšení už můžeme lépe vidět délku i šířku vláken, která dle měřítka vychází na zmiňovaných 0,5 μ m.



Obr. 42 Vlákna Arbocelu pod elektronovým mikroskopem

Z posledního snímku byla udělaná přesnější analýza délek vláken. Ta vychází v průměru 0,3 mm. Je také patrné, že vlákna sice nějaké drobné shluky tvoří, ale jedná se jen o malé množství vláken, které drží při sobě. Díky fotografiím jsme tedy zjistili délku vláken, která nebyla dříve známá. Takto malé části přidané do omítky svým rozměrům odpovídají ostatním složkám. Díky tomu nemusíme mít obavy, že by při přidání několika procent celulózy nebyla zachována homogenita materiálu.

12. Závěr

Problematika vlhkosti a s ní související zasolení zdiva se motají okolo stavby již od jejího založení a nikdy se nevyhneme řešení ochraně proti vlhkosti. Ovšem je nutné myslet také na starší budovy, kterým když se nevěnuje dostatečná dodatečná péče, tak velice rychle chátrají. Protože hydroizolačními metodami se již mnoho lidí a institucí dlouhou dobu zabývá, rozhodla jsem se pustit do tématu zasolení konstrukce. O tomto problému se dobře ví, ale často není řešen, proto jsem se rozhodla navrhnout systém na odvlhčení a zároveň odsolení zdiva.

Výsledky experimentálního měření vlastností omítek s přidáním hydrofilních celulóзовých vláken Arbocel jasně prokázaly, že nově vznikající materiál má podstatně vyšší hodnoty parametrů transportu kapalné vlhkosti, pórovitosti a hlavně schopnosti transportu solí v porovnání s referenční komerční omítkou. Zvolený směr výzkumu a aplikace hydrofilních celulóзовých vláken se jeví jako optimální volba pro návrh a vývoj nového typu omítky pro odvlhčení a odsolení zdiva. Omítky s vyšším obsahem celulóзовých vláken je vhodné použít jako obětované omítky, které na konstrukci budou jen několik týdnů. Naproti tomu omítky s nižším obsahem celulóзы a nižším vodním součinitelem bude možné použít i pro dlouhodobé aplikace, vzhledem k jejich vysoce funkčním vlastnostem. Samozřejmě je toto opatření vhodné kombinovat s klasickými hydroizolačními metodami, abychom se trvale problému s nadměrnou vlhkostí a zasolením zbavili.

Závěrem je nutné říct, že počáteční předpoklad, že celulóза nezvládne zdivo jen odvlhčit, ale i zbavit přebytečných solí byla správná. Omítky modifikované celulóзовými vlákny mohou mít tedy v kombinaci s klasickou hydroizolací hojně použití, a to jak u historických budov, tak i novějších staveb.

Citovaná literatura

- [1] V. Kadlec, Brno: Novina v Brně, 1938.
- [2] *Sanační omítkové systémy*, Praha, 2003.
- [3] P. Fára, Sanace vlhkého zdiva, Praha: Společnost pro technologie ochrany památek, 2003.
- [4] M. a. k. Balík, Odvlhčování staveb, Praha: Grada Publishing, 2008.
- [5] R. (. Černý, Počítačové a experimentální metody pro stanovení vlivu proměnlivého prostředí na degradaci historického zdiva, Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2013.
- [6] Z. Pavlík, Autor, *Tepelné a vlhkostní vlastnosti materiálů - přednáška*. [Performance]. ČVUT v Praze, Fakulta stavební, 2015.
- [7] L. a. k. Svoboda, Stavební hmoty, Bratislava: Jaga group, s. r. o., 2007.
- [8] ČSN 73 0540-3 Tepelná ochrana budov, Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2005.
- [9] ČSN EN ISO 12572, Český normalizační institut, 2002.
- [10] Č. E. 1.-3. Z. m. m. p. zdivo, Český normalizační institut, 2000.
- [11] ČSN 72 2452, Český normalizační institut, 1970.
- [12] M. Fridrichová, K. Dvořák a R. Fridrich, Omítky, Brno: ERA, 2004.
- [13] A. Reichel, A. Hochberg a C. Köpke, Plaster, Render, Paint and Coatings, Mnichov: Institut für internationale Architektur-Dokumentation GmbH, Munich, 2004.
- [14] ČSN EN 998-1, Český normalizační úřad, 2011.

- [15] s. r. o. Výzkumný ústav maltovin Praha a L. Peřka, ČSN EN 998 1 - ED. 2, Specifikace malt pro zdivo - Část 1: Malta pro vnější a vnitřní omítky, Praha: CEN, 04/2011.
- [16] C. W. system, „Jednovrstvé a dvouvrstvé omítkové systémy,“ Cemix, [Online]. Available: http://www.cemix.cz/data/files/cemix_omitkove_systemy_2012.pdf. [Přístup získán 5 Prosinec 2016].
- [17] M. Bláha, Omítky, Praha: Grada, 2004.
- [18] P. Kotlík a K. Doubravová, „Koroze a degradace stavebních materiálů,“ Ústav chemické technologie restaurování památek, [Online]. Available: http://old.vscht.cz/met/stranky/vyuka/predmety/koroze_materialu_pro_restauratory/kadm/pdf/2_4.pdf. [Přístup získán 9 květen 2016].
- [19] O. Holčapek, P. Reiterman, M. Jogl, K. J. a P. Konvalinka, „Experimental Analysis of Fire Resistant Composite Containing Fine Ceramic Powder,“ 2015.
- [20] F. Wald, „Protipožární omítky a nástřiky,“ ČVUT, 15 Leden 2015. [Online]. Available: http://people.fsv.cvut.cz/www/wald/Pozarni_odolnost/e-text/technici/3/3-3_Omitky+nastriky.pdf. [Přístup získán 10 Prosinec 2016].
- [21] J. Pazderka, Nové přístupy v oblasti sanací vlhkých budov - habilitační práce, Praha, 2015.
- [22] V. Kočí, „Vlhkostní poruchy stavebních materiálů v konstrukcích, jejich příčiny a příklady řešení prostřednictvím numericko - experimentální analýzy,“ Česká technika-Nakladatelství ČVUT, Praha, 2012.
- [23] B. Šumberová, „Degradace omítek - prezentace,“ Praha, 2016.
- [24] „Feuchte Luft,“ 20 Listopad 2005. [Online]. Available: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Feuchte_Luft.png. [Přístup získán 20 Prosinec 2016].

- [25] Doporučený standard technický - vlhkost ve spodní části objektu, Praha: ČKAIT, 1999.
- [26] ČSN P 73 0610 (730610) Hydroizolace staveb - Sanace vlhkého zdiva, Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2000.
- [27] M. Pavlíková, „Experimentální analýza koncentrace solí v roztocích - přednáška,“ 2015.
- [28] R. Černý, Complex System of Methods for Directed Design and Assessment of Functional Properties of Building Materials and Its Applications, Praha: Czech Technical University in Prague, 2013.
- [29] R. Pernicová, Materiálové a fyzikální parametry inovovaných vápenných omítek vhodných pro použití na rekonstrukce historických budov - disertační práce, Praha, 2012.
- [30] J. Hejhálek, „Difúze vodní páry - veličiny, hodnoty a jednotky,“ 18 12 2010. [Online]. Available: <http://www.stavebnictvi3000.cz/clanky/difuze-vodni-pary-veliciny-hodnoty-a-jednotky/>. [Přístup získán 25 11 2016].
- [31] S. Nenadalova, L. Balik, M. Rydval a T. Bittner, „Laboratory verification of water vapour permeability of plaster compositions,“ Amsterdam, 2016.
- [32] Z. Pavlík, M. Pavlíková, I. Kopecká, I. Maxová a R. Černý, „Water and salt transport and storage properties of Mšené sandstone,“ v *Construction and Building Materials*, ELSEVIER SCI LTD, THE BOULEVARD, LANGFORD LANE, KIDLINGTON, OXFORD OX5 1GB, OXON, ENGLAND.

Seznam obrázků

Obr. 1 Příklady úhlů smáčení	24
Obr. 2 Vrstvy omítky na balíku slámy – 1 – sláma, 2 – podhoz, 3 – první vrstva jádrové omítky, 4 – druhá vrstva jádrové omítky, 5. – štuková omítka, 6. - nátěr	32
Obr. 3 Biologická degradace omítky	38
Obr. 4 Napadení omítky houbami.....	39
Obr. 5 Zdroje vody.....	41
Obr. 6 Zdroje vlhkosti v konstrukci	41
Obr. 7 Závislost nasycení vodní páry [g/m ³] na teplotě vzduchu [°C] [24]	43
Obr. 8 Sorpční izoterma podle teorie multimolekulární adsorpce, na ose y je hmotnostní vlhkost a na ose x relativní vlhkost vzduchu	44
Obr. 9 Prořezávání spáry ve zdivu.....	46
Obr. 10 Břidlice jako hydroizolace v ložné spáře ve zdivu	47
Obr. 11 Provádění tlakové injektáže	47
Obr. 12 Umístění grafitové mřížkové elektrody na zdivo - metoda aktivní elektroosmózy.....	48
Obr. 13 Nárůst krystalů soli uvnitř póru	49
Obr. 14 Krystalizace solí uvnitř omítky. Krystalizační tlaky poškozují omítku a způsobují její rozpad.....	50
Obr. 15 Degradace omítky solemi - rozpad jednotlivých vrstev	50
Obr. 16 Omítka Baumit Manu 1	55
Obr. 17 Celulóza	57
Obr. 18 Vlákná celulózy – detail.....	58
Obr. 19 20kg pytel Arbocelu PWC 500.....	59
Obr. 20 V levé části je omítka bez přidání Arbocelu – na povrchu špatně drží tvar a stéká dolů, vpravo je omítka s přídavkem Arbocelu, díky kterému si drží na stěně svůj tvar, konstantní tloušťku a nestéká	59
Obr. 21 Sušení čerstvě narozených prasátek pomocí Arbocelu	60
Obr. 22 Zkouška rozlitím	61
Obr. 23 Héliový pyknometr Pycnomatic ATC (Thermo).....	61
Obr. 24 Vzorek umístěný v nádobce určené pro použití v héliovém pyknometru....	62

Obr. 25 Zkouška pevnosti v tahu za ohybu	63
Obr. 26 Zkouška pevnosti v tlaku	64
Obr. 27 Připravené vzorky pro měření absorpčního koeficientu – krychle o straně 70 mm.....	64
Obr. 28 Připravené vzorky pro zkoušení transportu plynné vlhkosti	65
Obr. 29 Misky připravené na dry cup experiment - naplněné silica gelem.....	66
Obr. 30 Izolování vzorků epoxidovou pryskyřicí	66
Obr. 31 Schéma průběhu experimentální části	69
Obr. 32 Graf z MIP - kumulativní křivka velikosti pórů	74
Obr. 33 Graf z MIP - distribuční křivka velikosti pórů	75
Obr. 34 Křivky nasákavosti pro první sadu směsí.....	78
Obr. 35 Křivky nasákavosti pro druhou sadu omítkových směsí	80
Obr. 36 Ukázka části souboru Microsoft excel na zpracování dat z metody dry cup	82
Obr. 37 Cihly nasycené solemi s 20 mm vrstvou omítky	84
Obr. 38 Omítka s 2,5 obj. % Arbocelu ve stáří 7 dnů	85
Obr. 39 40x zvětšená vlákna Arbocelu	86
Obr. 40 50x zvětšená vlákna Arbocelu	86
Obr. 41 55x zvětšená vlákna Arbocelu	87
Obr. 42 Vlákna Arbocelu pod elektronovým mikroskopem	87