



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební
Katedra materiálového inženýrství

**Vlastnosti omítkových směsí se zvýšenou vlhkostně
akumulační schopností**

**Characteristics of plasters with enhanced moisture
accumulation capability**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Akbota Begaly

Studijní program: Stavební inženýrství

Studijní obor: Konstrukce pozemních staveb

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Jan Fořt

Praha, 2019

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci zpracovala samostatně za použití uvedené literatury a pramenů.

Dále prohlašuji, že nemám závažný důvod proti užití tohoto školního díla ve smyslu § 60 zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

V Praze dne 26.5.2019.

.....
Akбота Begaly

Poděkování

Děkuji vedoucí bakalářské práce Ing. Janu Fořtovi, Ph.D. za jeho účinnou metodickou a odbornou pomoc a užitečné rady při zpracování bakalářské práce. Dále děkuji Ing. Lukáši Fialovi, Ph.D. za veškeré konzultace a připomínky.

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Begaly** Jméno: **Akbota** Osobní číslo: **458768**
Fakulta/ústav: **Fakulta stavební**
Zadávající katedra/ústav: **Katedra materiálového inženýrství a chemie**
Studijní program: **Stavební inženýrství**
Studijní obor: **Konstrukce pozemních staveb**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Vlastnosti omítkových směsí se zvýšenou vlhkostně akumulační schopností

Název bakalářské práce anglicky:

Characteristics of plasters with enhanced moisture accumulation capability

Pokyny pro vypracování:

Práce bude obsahovat literární rešerši shrnující použití stávajících omítkových směsí a rozbor problematiky vlhkosti ve stavebních konstrukcích. Součástí praktické části bude návrh omítkových směsí s příměsí superabsorbent polymerů a stanovení jejich základních fyzikálních vlastností. V práci budou experimentálně stanoveny parametry popisujících transport vlhkosti v materiálu a jeho akumulaci. Získané výsledky budou v práci diskutovány a porovnány se stávajícími typy omítek.

Seznam doporučené literatury:

Fára, P. Sanace vlhkého zdiva. Praha : Společnost pro technologie ochrany památek, 2003. ISBN 80-8665702-7.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

Ing. Jan Fořt, Ph.D., katedra materiálového inženýrství a chemie FSv

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:

Datum zadání bakalářské práce: **20.02.2019**

Termín odevzdání bakalářské práce: **26.05.2019**

Platnost zadání bakalářské práce: _____

Ing. Jan Fořt, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) práce

podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

prof. Ing. Jiří Máca, CSc.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Studentka bere na vědomí, že je povinna vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

_____ Datum převzetí zadání

_____ Podpis studentky

Anotace

Vlhkost ve stavebních konstrukcích představuje problém, který ovlivňuje významným způsobem nejen živostnost staveb, ale má také negativní vliv na izolační schopnosti použitých materiálů a v neposlední řadě nepříznivě působí na kvalitu vnitřního prostředí budov. Přestože byla v minulosti tomuto tématu věnovaná zvýšená pozornost, současný stav budov vyžaduje další nutná opatření, která by umožňovala efektivnější řešení otázek spojených s nežádoucí hladinou vlhkosti v konstrukcích. Řešení poskytovaná současnou praxí jsou mnohdy spojená s využitím nákladných zařízení, která jsou v rozporu s principy trvalé udržitelnosti a nespĺňují požadavky legislativy týkající se snížení energetické spotřeby budov. Nežádoucí hladina relativní vlhkosti v interiéru je v současnosti často spojována právě s používáním nepropustných izolačních materiálů, které tento problém zdůrazňují především u pasivních domů. Tento jev má negativní dopady nejen na živostnost použitých materiálů, ale také zhoršuje efektivitu práce a negativně působí na zdravotní stav rezidentů.

Překládaná bakalářská práce se zabývá studiem omítek se zvýšenou vlhkově akumulací schopností pro použití ve stavebnictví. Práce je zaměřená především na využití superabsorbent polymerů, tedy materiálů, které disponují vynikající absorpční schopností a je možné využít jako příměsí do omítkových směsí tak, aby došlo k výraznému zlepšení vlhkově vlastností omítek. Takto modifikované omítky by bylo možné používat jako pasivní funkční prvek, který je schopen moderovat vnitřní prostředí budov zejména prostřednictvím opakované absorpce a desorpce vodní páry a udržovat hladinu relativní vlhkosti v optimálním rozmezí. Ve své práci se tedy zaměřuji na stanovení vlivu superabsorbent polymerů na materiálové parametry modifikovaných omítkových směsí. Vedle stanovení základních materiálových, mechanických a tepelných vlastností omítek jsem se v práci detailněji zabývala vlhkovými parametry navržených omítek, tak abych prokázala pozitivní vliv superabsorbent polymerů a nastínila jejich možné budoucí využití ve stavební praxi.

Klíčová slova:

Omítky, transport vlhkosti, mechanické vlastnosti, porozita, superabsorbent polymer, akumulace vlhkosti.

Summary

Moisture content in building structures poses a significant problem that affects not only the durability of buildings, but also has a negative impact on the insulation properties of materials and affects the quality of indoor environments. Although increased attention has been paid to this topic in the past, the current state of buildings requires further actions to effectively solve the issues associated with undesirable levels of humidity in structures. The solutions provided in current practice are joined with the use of expensive equipment, which often contradict with the principles of sustainability and are not compatible with the requirements of legislation related to the reduction of energy consumption of buildings. The current trend of building insulation causes a moisture load associated with undesirable level of relative humidity in the interior of modern buildings. This effect has a negative impact not only on the life span of used materials, but also worsens work efficiency and negatively affects the health of residents.

This bachelor thesis deals with the study of plasters with enhanced moisture accumulation capability for application in construction. The thesis is focused mainly on the use of superabsorbent polymers that have excellent absorption capability and can be used as an admixture in plaster mixtures to improve moisture characteristics. Such modified plasters can be used as a passive functional element that can moderate indoor environment particularly through repeated absorption and desorption of water vapor and maintain the relative humidity level in the optimum range. In my work I focus on the influence of superabsorbent polymers on material parameters of modified plasters. In addition to determining the basic, mechanical and thermal properties, I deal in detail with moisture properties of the proposed plasters to prove the positive impact of superabsorbent polymers and describe their possible future application in building practice.

Key words:

Plasters, humidity transport, mechanical properties, porosity, superabsorbent polymer, moisture accumulation.

Obsah

| | |
|---|-----------|
| Seznam použitých symbolů | 4 |
| 1. Úvod..... | 7 |
| 2. Přehled o současném stavu problematiky..... | 8 |
| 2.1. Stručný přehled historie omítek..... | 8 |
| 2.2. Funkce a rozdělení omítek | 10 |
| 2.2.1. Podle druhu pojiva..... | 10 |
| 2.2.1.1. Hliněné omítky..... | 11 |
| 2.2.1.2. Sádrové omítky | 12 |
| 2.2.1.3. Vápenné omítky | 12 |
| 2.2.1.4. Cementové omítky | 13 |
| 2.2.1.5. Akrylátové omítky | 13 |
| 2.2.1.6. Silikátové omítky | 14 |
| 2.2.1.7. Silikonové omítky | 14 |
| 2.2.2. Podle druhu plniva..... | 14 |
| 2.2.3. Podle druhu přísad | 15 |
| 2.2.4. Podle způsobu použití | 16 |
| 2.2.4.1. Tepelně izolační omítky..... | 16 |
| 2.2.4.2. Protipožární omítky | 16 |
| 2.2.4.3. Akustické omítky | 16 |
| 2.2.4.4. Sanační omítky..... | 17 |
| 2.3. Vlhkost v omítkách | 17 |
| 2.4. Superabsorbent polymer (SAP) | 21 |
| 2.4.1. Historie | 22 |
| 2.4.2. Mechanismus absorpce | 22 |
| 2.4.3. Výroba..... | 25 |
| 2.4.4. Vlastnosti..... | 27 |
| 2.4.5. Použití SAP v zemědělství | 28 |
| 2.4.6. Použití SAP ve stavebnictví | 28 |
| 2.4.6.1. SAP jako přísada pro omítky | 29 |
| 3. Cíl práce | 30 |

| | |
|---|-----------|
| 4. Použité materiály a metody | 31 |
| 4.1. Použité materiály..... | 31 |
| 4.1.1. Superabsorbent polymer | 31 |
| 4.1.2. Omítková směs | 31 |
| 4.1.3. Návrh omítkové směsi..... | 32 |
| 4.2. Použité metody | 34 |
| 4.2.1. Zkouška konzistence čerstvé malty..... | 34 |
| 4.2.2. Zkouška základních fyzikálních vlastností..... | 35 |
| 4.2.3. Zkouška mechanických vlastností | 36 |
| 4.2.4. Zkouška tepelných vlastností | 38 |
| 4.2.4.1. Tepelně-fyzikální veličiny | 38 |
| 4.2.4.2. Tepelně-technické veličiny | 40 |
| 4.2.5. Zkouška vlhkostních vlastností..... | 41 |
| 4.2.5.1. Vlhkostní vodivost | 41 |
| 4.2.5.2. Difúze vodní páry | 43 |
| 4.2.5.3. Sorpce vodní páry | 46 |
| 5. Výsledky zkoušek | 48 |
| 5.1. Základní fyzikální parametry | 48 |
| 5.2. Mechanické parametry | 49 |
| 5.3. Tepelné parametry | 49 |
| 5.4. Transport vlhkosti | 51 |
| 5.4.1. Transport kapalné vlhkosti | 51 |
| 5.4.2. Transport plynné vlhkosti | 52 |
| 5.4.3. Sorpce vodní páry | 53 |
| 6. Závěr | 55 |
| Literatura..... | 57 |
| Seznám obrázků..... | 61 |
| Seznám tabulek | 62 |

Seznam použitých symbolů

h^1 [m] – výška, do které voda v kapiláře vystoupí

σ [MPa] – povrchové napětí vzlínající vody

Θ [°] – smáčecí úhel

ρ_w [kg.m⁻³] – hustota vzlínající vody

r [m] – poloměr kapiláry

m [kg] – hmotnost,

V [m³] – objem

P_c [-] – pórovitost

ρ_V [kg.m⁻³] – objemová hmotnost omítky

ρ_{mat} [kg.m⁻³] – hustota

m_1 [kg] – hmotnost suchého vzorku

m_2 [kg] – hmotnost zavřeného pyknometru se vzorkem a kapalinou

m_3 [kg] – hmotnost pyknometru se zátkou naplněného zcela kapalinou

ρ_l [kg.m⁻³] – hustota měřené kapaliny

f_{btm} [MPa] – pevnost v tlaku za ohybu

F [N] – maximální dosažená síla pro stanovení pevnosti v tlaku za ohybu

l [mm] – vzdálenost podpor

b [mm] – šířka tělesa

h [mm] – výška tělesa dle umístění v nástavci při zkoušce

f_c [MPa] – pevnost v tlaku

F_c [N] – maximální dosažená síla pro stanovení pevnosti v tlaku

A [m²] – tlačaná plocha krychle

q [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$] – vektor hustoty tepelného toku

b [$\text{W}^2\cdot\text{s}\cdot\text{m}^{-4}\cdot\text{K}^{-2}$] – tepelná jímavost

λ [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$] – součinitel tepelné vodivosti

c [$\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$] – měrná tepelná kapacita

a [$\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$] – součinitel teplotní vodivosti

R [$\text{m}^2\cdot\text{K}\cdot\text{W}^{-1}$] – tepelný odpor

d [m] – tloušťka vrstvy materiálu kolmá na směr tepelného toku

A [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1/2}$] – absorpční koeficient

i [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$] – celkové množství vody na jednotku plochy, která je v přímém kontaktu s vodou

t [s] – čas měření zkoušky

vlhkostní tok \bar{j} [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$],

u [$\text{kg}\cdot\text{kg}^{-1}$] hmotnostní vlhkost

κ [$\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$] – součinitel vlhkostní vodivosti

m_0 [kg] – hmotnost suchého vzorku

\bar{j} [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$] – vektor hustoty toku vodní páry

c_{vp} [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$] – koncentrace vodní páry.

D [$\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$] – součinitel difúze vodní páry

δ [s] – součinitel difúzní vodivosti

R [$\text{J}\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$] – univerzální plynová konstanta

T [K] – teplota

M [$\text{kg}\cdot\text{mol}^{-1}$] – 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

μ [-] – faktor difúzního odporu

D_{vzduch} [m^2s^{-1}] – součinitel difúze vzduchu

N [s^{-1}] – přibližná hodnota difúzního odporu vzduchu

s_d [m] – ekvivalentní difúzní tloušťka

R_d [$m \cdot s^{-1}$] – difúzní odpor materiálu

1. Úvod

Typy stavebních materiálů a způsob jejich výroby se neustále mění s ohledem na potřebu rozvíjet a zlepšit kvalitu stavebních objektů. Nejjednodušší materiály a primitivní technologie byly nahrazeny pokročilejšími, strojní výroba nahradila ruční výrobu. Vývoj stavebních materiálů se dotkl nejen důležitých nosných materiálů, jako je beton, cihla a ocel, ale i omítek. Omítky mají estetickou funkci a zároveň plní praktické požadavky. Aby omítky mohly zlepšovat vlastnosti zdiva z hlediska tepelné, zvukové a vlhkostní izolace, bylo nutné výrazně rozšířit sortiment malt pro omítky, a to je používáním přesně definovaného pojiva i plniva, a zejména pak dávkováním speciálních přísad a příměsí. Jedním druhem z těchto příměsí je superabsorbent polymer, který se v posledních letech aktivně používá ve stavebnictví, a to především jako příměs do betonu zabraňující autogennímu smršťování.

Hlavním cílem této bakalářské práce je podat přehled o superabsorbent polymeru, jeho vlastnostech a využití jako příměsi v sanačních omítkách vhodných jak pro obnovu fasády při rekonstrukci, tak i pro novostavby. Pro lepší představu v rámci práce budou popsány i jiné oblasti použití SAP.

Pro dostatečné porozumění tohoto tématu je také nutné provést laboratorní zkoušky omítek s obsahem nové příměsi.

2. Přehled o současném stavu problematiky

2.1. Stručný přehled historie omítek

Z historického hlediska prvním uměle připraveným stavebním materiálem byla malta pro zdění a omítky. Použití maltového pojiva na povrch zdiva měl nejen technický význam, ale i estetický. Hlavním technickým cílem bylo zabránit vsakování dešťové vody do spár mezi zdícími prvky.

Prvním důkazem použití omítek pochází z přibližně 7500 př.n.l. na území dnešního Turecka ve městě Catal Huyuk, kde lidé používali hliněnou omazávku o tloušťce přibližně 10 mm na zdivo z nepálených cihel. Egypťané na stavbu pyramid používali sádrové nebo sádrovápenné omítky, sloužící k úpravě povrchu exteriérového i interiérového zdiva [1].

Vápenné omítky se používaly až s příchodem římské kultury, ale pouze jen u monumentálních staveb. Jelikož římské stavebnictví používalo způsob, který spočíval ve vytvoření bednění v síle budované zdi a následného ukládání lomového kamene s maltou, po zatvrdnutí nebylo potřeba upravovat povrch. Římské venkovní omítky byly většinou jednovrstvé o poměrně značné tloušťce a byly plněny nejen pískem, ale i drcenou cihlou, která dodávala hydraulické vlastnosti. V případě vnitřních omítek se používaly vícevrstvé jako podklad pro nástěnné malby. Jádrová vrstva byla armována přírodními materiály, trávou, rákosem či zvířecími chlupy [2].

V byzantské době příprava malt byla podobná římskému způsobu, avšak nanesení omítek bylo běžnou povrchovou úpravou. Postupným zkoušením výroby omítek dospěli k závěru, že kvalita omítek přímo při výhasu je ovlivněna přítomností látek s povrchově aktivním účinkem, jako například roztoky s obsahem alkoholů nebo zmýdelnitelných tuků, které usnadnily prohašení vápna do jemnějších částic [1].

V románském období se autoři snažili neomítat zdivo z exteriéru, aby zdůraznili pravidelné spáry mezi kvádríky jako důkaz kvality stavby. Omítky se nejvíc používaly v interiéru, protože tvořily podklad pro nástěnné malby. Pro tento účel povrch uhlazovaly pro zjednodušení malířských prací.

V gotickém období se u velkých staveb používal lomový kámen, který měl nerovný povrch, proto se omítka nahazovala ve velmi tlusté silné vrstvě

zednickou lžící. Tím vznikl měkký vlnitý povrch, který je jedním ze znaků, podle něhož se pozná gotická omítka [3].

V renesanci vznikla nová technika povrchové úpravy, která je nazývaná sgrafito. Princip spočívá v nanesení dvou různobarevných vrstev omítky. Při odstranění horní vrstvy rytím, spodní vrstva tvořila požadovanou dekoraci vnější fasády, případně i stěn interiérů staveb. Spodní vrstva tmavé omítky obarvená podle tradičního renesančního způsobu jemně mletým uhlím nebo popelem ze spálené slámy. Horní vrstva byla tvořena o menší tloušťce světlé barvy zpravidla s hlazeným povrchem [2,3].

Kvůli zvýšenému nároku tvorby barokního slohu, bylo nutné použití vícevrstvých omítek, které umožňovaly dokonalou úpravu povrchů. Pro stabilitu omítek byla důležitá skladba malt a vrstvení malt jemnějších na hrubší podklad. Pro tyto účely byly používány nové typy jemnozrnných omítkových malt (štuk), které byly modifikovány sádrou, přísadami pomáhajícími k lepšímu zpracování, tvárnosti a plasticitě [2,3].

S nástupem klasicismu stavební konstrukce přicházejí do antických forem, což vede k zjednodušení tvaru. Používají se vápenné omítky dvouvrstvé, hlazené dřevem, přičemž při úpravách vnějšího vzhledu převažují převážně barevné nátěry monochromní.

Neoslohové omítky byly založeny na návratu do historie, konkrétně do gotického a románského slohu, ale výtvarné umění se zaměřovala převážně na omítku než kámen. Návrat k dynamičtější plasticitě průčelí staveb vede k dalšímu rozšíření druhů pojiv. Vedle vzdušného vápna začali aktivně používat modifikovanou sádrou, hydraulické vápno a později také cement. V praxi neověřené změny technologických příprav a opuštění řemeslných tradičních návyků omítání vedly k tomu, že se snížila životnost staveb v důsledku negativního spolupůsobení omítek se zdivem, konkrétně nadměrné vlhkosti zdiva [2,3,4].

Na počátku 20 století se používaly omítky na bázi hydraulických pojiv, s různou strukturou, kamenicky opracované, a to převážně pro úpravu soklů domů. Objevují se omítky průmyslově vyráběné, které se dodávaly jako suché pytlované směsi. Rozvoj způsobu výroby vedl k rozšíření sortimentu malt pro omítky a používání přesně definovaného pojiva i plniva a zejména dávkováním přísad, které zlepšovaly vlastnosti omítek [4].

2.2. Funkce a rozdělení omítek

Omítka je povrchová úprava stěn z malty nebo jiných látek. Obecně plní ochrannou a estetickou funkci budovy. Omítka chrání stěny před destruktivními vnějšími vlivy (vítr, déšť, sníh a škodlivé látky v atmosféře), mechanickým poškozením a biologickými účinky (hmyz, houby). Při těchto vlivech omítka mění svou barvu, vznikají trhliny, snižuje se přilnavost k povrchům stěn nebo může dojít k úplnému opadání vrstvy, proto jsou stanoveny základní požadavky na omítky: soudržnost, odolnost vůči povětrnostem a chemickým látkám, propustnost vodní páry, pevnost v tlaku, dobrá zpracovatelnost. Kvalita omítky je závislá na složení použitých surovin, způsobu zpracování, provádění omítání orientaci ke světovým stranám a údržbě.

Hlavními složkami omítky jsou pojivo, plnivo, voda a speciální přísady. Na první pohled má omítka stejné složení jako beton, ale odlišnost je v druhu použitého plniva. Pro omítku se používá pouze drobné kamenivo do frakce 4 mm, proto má omítka nižší pevnost v tlaku [5].

Vzhledem k tomu, že existuje mnoho druhů omítek, klasifikujeme je dle složení, účelu použití a dalších různých kritérií. Tyto klasifikace budou dále popsány.

2.2.1. Podle druhu pojiva

Pro libovolné materiály jedním z nejdůležitějších rozdělení je dle složení, proto se podíváme nejdříve jak se rozlišují omítky dle druhu použitého pojiva, protože pojivo je hlavní složkou ve výrobě omítek [4].

Tab. 1 Základní typy omítek dle pojiva [4]

| Typ pojiva | Typ omítky | Druh pojiva |
|------------|-------------------------|--------------------------|
| Minerální | Vápenná | Vápno, hydraulické vápno |
| | Vápenocementová | Vápno, cement |
| | Cementová | Cement, vápno |
| | Sádrová (vápenosádrová) | Sádra |
| | Hliněná | Jíl |
| Organická | Silikonová | Silikonová disperze |
| | Akrylátová | Akrylátová disperze |
| | Silikátové | Vodní sklo |

Avšak tuto tabulku lze zjednodušit rozdělením na tři základní skupiny:

- Vzdušná, která tvrdnou na vzduchu a vytvářejí trvanlivou povrchovou úpravu, ale mají i zápornou stranu: omítky na bázi vzdušného pojiva nejsou odolné vůči vodě.
- Hydraulická, která jsou schopna tvrdnout pod vodou, proto neztrácí svoje vlastnosti působením vody.
- Organická, která se používají k výrobě převážně tenkovrstvých omítek ve formě disperzí [4].

2.2.1.1. Hliněné omítky

Jíly jsou historicky nejstarším pojivem, které vznikají zvětráváním hornin. Hliněné omítky je vyrobeny z pojiva a plniva, kde funkci pojiva plní pouze jíl a funkci plniva písek různé frakce. Hliněné omítky neobsahují hydraulické pojivo, 100% recyklovatelné, jsou schopné regulovat relativní vlhkost vzduchu díky své difúzní otevřenosti a akumulovat teplo. Nevýhodou je špatná odolnost vůči povětrnostním vlivům, která vede ke vzniku trhlin a destrukci omítky [4,6]. Nejčastěji se v jílových zeminách vyskytují minerály typu kaolinit $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$, montmorillonit $Al_2O_3 \cdot 4SiO_2 \cdot nH_2O$ a illit $nK_2O \cdot 3SiO_2 \cdot nH_2O$.

Vnější hliněné omítky se dnes neprovádějí u novostaveb, ale hrají významnou roli při rekonstrukci a restaurování historických budov [6].

2.2.1.2. Sádrové omítky

Dříve sádrové omítky na českého území nebyly používány kvůli absenci přirozených nalezišť sádrovce, proto v porovnání s ostatními druhy omítek nezískaly širokou popularitu aplikace [4,6]. Avšak sádrové omítky mají celou řadu výhod, a to jmenovitě:

- ekologicky a zdravotně nezávadné
- rychlost aplikace a vysychání
- schopnost regulovat vlhkost v interiérech
- neutrální pH
- schopnost absorpce tepla
- vysoká přilnavost I podkladu

Sádrové omítky nejsou vhodné pro omítání exteriéru, protože trvale vlhké prostředí způsobuje ztrátu pevnosti a porušení sádrových omítek.

2.2.1.3. Vápenné omítky

Pojivem vápenné omítky je vápno, které se dělí dle výroby na vzdušné a hydraulické. Hlavní surovinou pro výrobu vzdušného vápna je vápenec nebo dolomit, z kterého se při pálení v pecích při teplotě 600-1100 °C tvoří pálené vápno. Chemicky tento proces lze popsat reakci takhle [6]:

- dekarbonatace vápence



- dekarbonatace dolomitu



Dále probíhá hašení, totiž pálené vápno se převádí na hydroxid vápenatý:



Jestliže vápno není dokonale vyhašeno, dochází k dodatečné hydrataci až v omítce. Dodatečné hašení částic vápna zvětšuje objem omítky a vede k oddělení části vrstvy omítky od podkladu.

Výhodou vzdušného vápna je desinfekční účinek vápenného nátěru způsobený jeho silnou alkalitou, vysoká propustnost pro vodní páru a rychlé

vysychání, proto se nejvíc uplatnilo v případě rekonstrukcí starého zdiva památkových konstrukcí.

Hydraulické vápno se vyrábí pálením jílovitého vápence, obsahující kromě CaO také větší obsahy hydraulických oxidů (oxid křemičitý SiO_2 , oxid hlinitý Al_2O_3 , oxid železitý Fe_2O_3), na teplotu 1100-1200 °C. Při této reakci vznikají křemičitany, hlinitany a železitany vápenaté, které reagují s vodou za vzniku CSH a CAH sloučenin, a tím vytváří spojitou síť. Poté probíhá karbonatace hydroxidu vápenatého [6].

Vápenné omítky na bázi hydraulického vápna se používají pro exteriér a interiér určené do vlhka, protože mají vyšší odolnost proti působení vody a kyselých plynů. V současné době se v České republice hydraulické vápno nevyrábí [4].

2.2.1.4. Cementové omítky

Cement se začal používat jako pojivo ve druhé polovině 19 století. Hlavními výhodami na rozdíl od ostatních pojiv byly zvýšená pevnost, odolnost a trvanlivost. Cement je práškové hydraulické pojivo vyrobené jemným mletím křemičitanového slínku a přísad. Dle typu použité přísady se rozdělují na:

- portlandské (sádrovec) - dosahují vysokých pevností za krátký časový úsek
- směsné (vysokopeční granulovaná struska, elektrárenský popílek a přírodní pucolán) - tvrdnou pomaleji, ale mají vyšší odolnost proti agresivnímu prostředí.

Tuhnutí a tvrdnutí cementu probíhá díky reakci slínkových minerálů (alit $3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$, belit $2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$, celit $3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$, aluminoferit $4\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{Fe}_2\text{O}$) s vodou za vzniku pevné struktury cementového tmelu. Pokud je v reakční směsi volný sádrovec, může dojít k reakci sádrovce a celitu, ve výsledku se vytvoří ettringit, který nabývá na objemu, a tím pádem vede k mechanickému poškození omítky [6].

2.2.1.5. Akrylátové omítky

Akrylátové omítky patří do skupiny tenkovrstvých omítek, proto se nanášejí v tloušťkách milimetrového řádu. Nejčastěji se tato omítka provádí u novostaveb

na povrch zateplovacích systémů. Jejich hlavními výhodami je technická nenáročnost z hlediska provádění a barevná stálost. Co se týče nevýhod, tak to je potřeba čistého podkladu pro nanášení omítky [4].

2.2.1.6. Silikátové omítky

Pojivem těchto typů omítek je vodní roztok alkalického křemičitanu neboli draselné vodní sklo. Dobře pronikají do podkladu, a proto mají dlouhodobou životnost, přirozeně stárnou a mají nízký difuzní odpor. Často se používají při sanacích a renovacích díky schopnosti propouštět vodní páru. K nevýhodám patří vysoká pracnost a nároky na podklad [4].

2.2.1.7. Silikonové omítky

Jedním z nejnovějších druhů omítek jsou silikonové omítky. Mají dobrou paropropustnost, odolnost vůči agresivnímu vlivu prostředí, nešpiní se a jsou vhodné na vyzrálý podklad, tudíž lze použít nejen u novostaveb, zároveň mohou sloužit jako konečná povrchová úprava tepelně izolačních systémů [4].

2.2.2. Podle druhu plniva

Plniva tvoří významnou složku malt pro omítání, protože určují pevnost, tvrdost, trvanlivost a strukturu povrchu omítek. Nejznámějším plnivem je křemičitý písek, který obsahuje křemen, živce, slídy a jílové minerály. Jílové minerály v písku zajišťují plasticitu malty, ale zvětšují smrštění, což vede ke snížení životnosti. Písek by neměl obsahovat vysoké podíly jemných jílovitých částic, protože může snížit pevnost malty v důsledku toho, že jemné částice obalují větší zrna kameniva a znemožňují spojení pojiva s kamenivem. Tyto částice nepříznivě ovlivňují nasákavost a potřebují víc záměsové vody. Naopak ostrý písek nebo směs ostrého a kopaného v poměru 1:1 jsou doporučeny jako plniva pro zajištění pevnosti a delší životnosti. Kamenivo nesmí obsahovat látky (sírany, dusičnany, chloridy), které mohou vést k degradaci omítky za vzniku výkvětů [6,7].

Pro jádrovou omítku se používá frakce 0/4, na jemné omítky a pro spárování při tloušťce 4 mm frakce 0/1. Při rozboru historických omítek je možno se setkat i s většími zrny, až do 10 mm [7].

2.2.3. Podle druhu přísad

Dalším kritériem je druh přísad, které se přidávají v malých procentových složkách, ale má významný vliv na omítky. Přísady se používají za účelem zlepšení vlastností betonu nebo malty.

Dle typu přísad se rozlišují omítky [4]:

- Barviva – k probarvení omítek lze použít jen materiály v zásaditém prostředí $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Proto se používají kovy a jejich oxidy jako například oxid železa nebo přírodní slínky [7].
- Zpevňovače – prostředky sloužící ke zpevnění a současnému snížení nasákavosti. V oblasti zpevňování omítek je nejznámějším vápenná voda, tedy nasycený roztok hydroxidu vápenatého ve vodě, který splňuje svou funkci při karbonataci [8].
- Plastifikátory – redukují množství záměsové vody při zachování zpracovatelnosti, tím dochází ke snížení vodního součinitele a nárůstu pevnosti. Nejznámějšími plastifikátory jsou lignosulfonáty (celulóza), silikony a akrylátová emulze [4].
- Urychlovače – používají se jako prostředky k urychlení tuhnutí malt, k nim patří chlorid hlinitý nebo vápenatý, hydroxid sodný a rozpustné fosforečnany.
- Adheziva – zvyšují přídržnost malty k podkladu. Tuto funkci mohou plnit akrylová pryskyřice, epoxid a polyvinylacetátová emulze [4].
- Hydrofobizátory – jsou schopny přeměnit povrch kapilárně aktivních pórů na nesmáčivý, čímž snižují nasákavost. Historicky se při hašení do páleného vápna přidávaly olejovité látky. V dnešní době do fasádních nátěrových hmot se přidávají příměsi silikonové emulze [9].

2.2.4. Podle způsobu použití

V dnešní době se klade velký důraz na kvalitu omítek a zlepšení užitných vlastností. Z tohoto důvodu lze omítky rozdělit dle typu využití [4,6]:

2.2.4.1. Tepelně izolační omítky

Tepelně izolační omítky jsou definovány jako omítky s minerálním pojivem a lehčeným plnivem jako například expandovaný polystyren, expandovaný perlit, keramzit. Tyto omítky musí splňovat tepelně izolační požadavky, a proto se navrhují s limitní hodnotou tepelné vodivosti 0,36 W/m/K. Díky již vyvinutému stavebního průmyslu tepelně izolační omítky dosahují hodnot 0,09-0,12 W/m/K. Navrhují se vždy jako systém omítek, kde významnou částí je vrchní omítka. Charakteristickou výhodou těchto omítek je tvoření souvislého pláště bez tepelných mostů ve spárách mezi tvárnicemi. Kromě toho mají protipožární odolnost a schopnost tepelné akumulace [4,6].

2.2.4.2. Protipožární omítky

Protipožární omítky jsou určeny k ochraně železobetonových a ocelových nosných konstrukcí proti působení ohně a sálavého tepla. Nejrozšířenější složky pro výrobu jsou sádrové a cementové omítky s obsahem vermikulitu nebo perlitu [10]. Vermikulitové omítky kromě protipožárních vlastností mají malou hmotnost, dobré tepelně izolační, protikondenzační a akustické vlastnosti.

2.2.4.3. Akustické omítky

Akustické omítky vytváří bezespáré zvukopohltivé povrchy díky své porézní otevřené struktuře a mohou pohlcovat hluk nad 500 Hz. Tyto omítky jsou především vhodné do interiérů, kde nelze aplikovat zavěšené pohledy. Tloušťka souvrství se běžně pohybuje v rozmezí 20-30 mm, ale jednou z nevýhod je hrubá povrchová struktura [4,6].

2.2.4.4. Sanační omítky

Sanační omítky slouží k povrchové úpravě vlhkého a zasoleného zdiva. Tento druh omítky je definován jako suchá maltová směs s vysokou porozitou a paropropustností při nízké kapilární vzlínavosti. Soli se transportují do zdiva vzlínající vodou a při krystalizaci rozrušují jak zdivo, tak i omítku a v důsledku vznikají výluhy a výkvěty [9]. Při použití sanačních omítek soli nezpůsobují takovou degradaci jako při použití klasických omítek. Voda vzlíná do omítky na principu kapilární elevace, což lze popsat následujícím vztahem [11]:

$$h^1 = \frac{2 \cdot \sigma \cdot \cos \theta}{r \cdot \rho_w \cdot g} \quad (1)$$

kde h^1 [m] je výška, do které voda v kapiláře vystoupí, σ [Mpa] je povrchové napětí vzlínající vody, θ [°] je smáčecí úhel, ρ_w [kg.m⁻³] je hustota vzlínající vody, r [m] je poloměr kapiláry, g [m.s⁻²] je tíhové zrychlení.

Z rovnice vyplývá, že výška h je úměrná povrchovému napětí vzlínající kapaliny a smáčecímu úhlu materiálu kapiláry, nepřímo úměrná poloměru kapiláry a hustotě kapaliny. Tudíž pro snížení vzlínání vody do omítky, je nutno zvětšit póry nebo smáčecí úhel povrchu pórů. Z toho vychází princip sanačních omítek, a to je zvýšení pórovitosti omítky pomocí velkých pórů a hydrofobizace povrchu pórů.

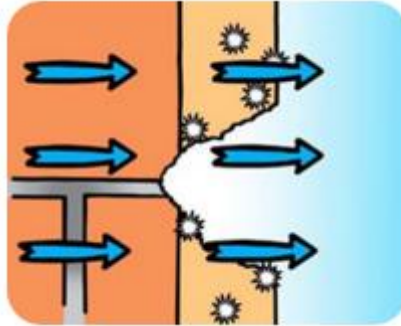
Pro zvýšení pórovitosti se přidávají napěňující přísady a pórovitá plniva. Do sanačních omítek se vždy používá hydraulické pojivo, protože musí rychle ztuhnout a vyschnout. Co se týče plniva, doporučuje se použití hutného neporézního kameniva. Kromě toho se používají různé přísady, které upravují její zpracovatelnost, přilnavost, hydrofobnost [4,6].

2.3. Vlhkost v omítkách

Vlhkost je jedním ze zásadních problémů stavebních konstrukcí, jelikož negativně ovlivňuje fyzikální, chemické, mechanické a mineralogické vlastnosti porézních materiálů, do kterých patří omítky, beton a zdící prvky.

Zvýšená vlhkost se ve zdivu projevuje vznikem vlhkostních map, výkvětů solí a plísní, poškozením zdících prvků a odpadáváním omítky. Vlhkostní degradace materiálů je způsobena krystalizací solí obsažených ve stavebních materiálech

nebo solí, které se dostaly do konstrukce z terénu. Ke krystalizaci solí dochází při odpařování vody, změně teploty nebo objemu, přičemž vznikají krystalizační tlaky v pórech, které následně poškozují materiál [12].

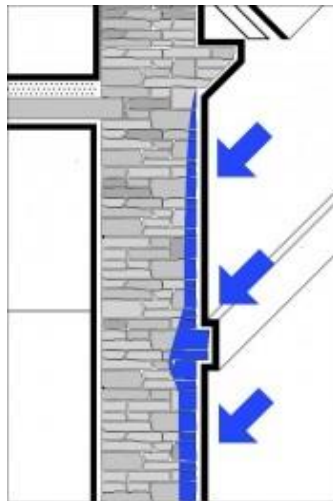


Obrázek 1 Destrukční krystalizační proces [13]

Hlavními zdroji vlhkosti jsou [14]:

- Srážková voda

Srážková voda působí na vnější obálku konstrukce a při špatném návrhu oplechování a střechy může volně stékat po povrchu stěn, čímž dochází k porušení povrchových úprav. Srážková voda může pronikat do konstrukce skrz mikrotrhliny omítek a dále působit na zdivo.

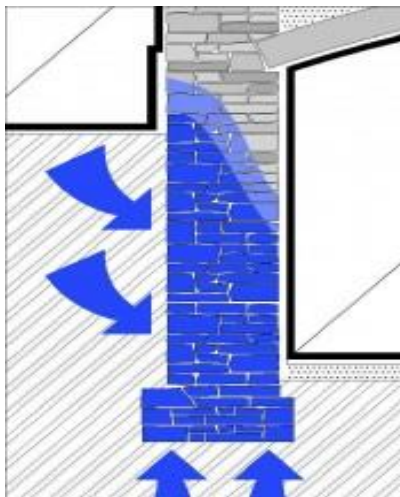


Obrázek 2 Srážková voda [15]

- Vzlínající voda

Vzlínající voda se pohybuje vzhůru pomocí kapilárních sil či difúze a zároveň přenáší rozpuštěné soli ze zeminy do stavby. Tento pohyb je vyvolán povrchovým napětím kapaliny (koheze – soudržnost) a mezistěnovým napětím (adheze –

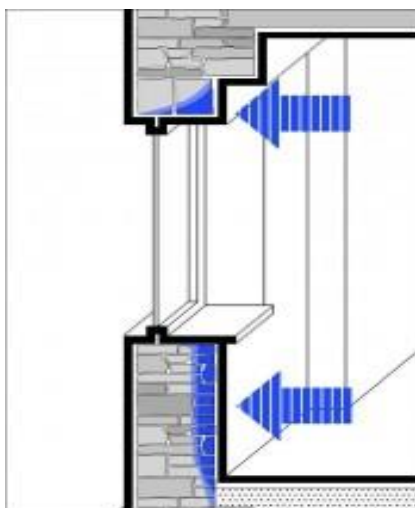
přilnavost). V důsledku těchto dvou jevů dochází ke vzlínání vody v úzkých kapilárách [13]. Vztlínající voda obsahuje rozpuštěné soli (chloridy, dusičnany, sírany), které se krystalizují a vytvářejí výkvěty.



Obrázek 3 Vztlínající vlhkost [15]

- Kondenzační voda

Kondenzační voda vzniká v důsledku nedostatečného větrání místností, kde je riziko nadměrné vlhkosti (kuchyň, koupelna, prádelna, sauna). Při kontaktu teplého vlhkého vzduchu interiéru s materiálem, jehož teplota je nižší než teplota rosného bodu, dochází ke kondenzaci [15].



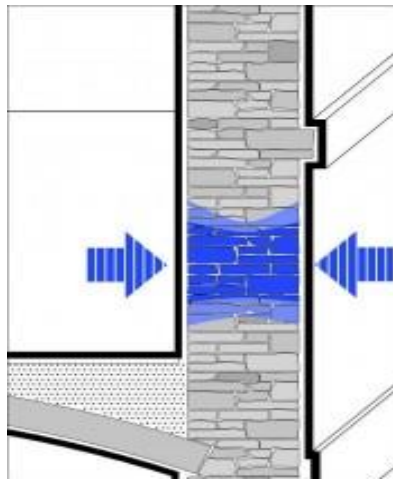
Obrázek 4 Kondenzační voda [15]

- Počáteční zabudovaná vlhkost

Vlhkost dostává do stavebních materiálů již při etapách výroby, skladování, dopravy a montáže. Počáteční zabudovaná vlhkost se během provozu může měnit vlivem povětrnostních podmínek a ve výsledku může dojít k odpařování vody, zatímco soli zůstanou v konstrukci nebo na jejich povrchu.

- Hydroskopická vlhkost

Vlhkost, kterou porézní materiál je schopen přijmout z okolního vzduchu, se nazývá hydroskopická vlhkost. Hlavním problémem je existence vodorozpustných solí, které mohou vázat vzdušnou vlhkost z okolí [15].



Obrázek 5 Hydroskopická vlhkost [15]

Ke snížení vlhkosti ve zdivu se provádějí dva druhy opatření, a to jsou preventivní opatření (dostatečné větrání interiérů) a stavební opatření, které se rozděluje do třech způsobů [13]:

- Mechanická metoda, a to je vkládání hydroizolačních materiálů nebo kovových desek do zdiva.
- Chemická metoda, která spočívá ve vytváření chemické hydroizolace infuzní metodou nebo tlakovou injektáží.
- Sanační omítka sloužící jako doplňková metoda k předchozím výše uvedeným metodám. Ke vhodným sanačním omítkám patří vápenné, vápenocementové a cementové omítky s obsahem expandovaných vylehčujících přísad (perlit, pemza) nebo modifikačních přísad.

V důsledku rozvoje průmyslu ve stavebnictví, neustále vznikají nové modifikační přísady a příměsi. Například pro zlepšení vlastností betonu se používají SAP příměsi, ale dosud nebyly použity v omítkách. Za tímto účelem v rámci dané bakalářské práce jsem provedla analýzu použití SAP v omítkách. Ale nejdříve je nutné vysvětlit vlastnosti těchto materiálů a jejich působení v omítkách.

2.4. Superabsorbent polymer (SAP)

Hydrofilní gely (hydrogely) jsou sítě polymerních řetězců, které se občas vyskytují ve tvaru koloidních gelů, kde voda je disperzním prostředím. Mohou obsahovat až 90 % vody. Hydrogely jsou polymery, které jsou schopny bobtnat ve vodě a zadržují vodu uvnitř svých struktur, přičemž nejsou ve vodě rozpouštěny [16].

Schopnost absorbovat velké množství kapalin bez rozpouštění dovolilo rozsáhlé celosvětové průmyslové aplikace. V současné době se používají jako podklady (scaffolds) v tkáňovém inženýrství, které mohou obsahovat lidské buňky pro tkáňové rekonstrukce. Ekologicky citlivé hydrogely mají schopnost cítit změnu pH, teploty nebo koncentraci metabolitů (produkty látkové přeměny), proto se používají jako biosensory ve farmaceutickém průmyslu. Hydrogely našly uplatnění i ve výrobě kontaktních čoček.

Speciální hydrogely jako superabsorpční materiály jsou široce používány v hygienických aplikacích (mohou zachytit vylučované tekutiny). V zemědělství jsou tyto materiály využívány ve tvaru granul pro udržování půdní vlhkosti v suchých oblastech. Ve stavebnictví se polymery vyskytují jako příměsi v materiálech na bázi cementu.

Tyto polymery jsou jedním z nejvíce fascinujících materiálů v moderní polymerní technologii. SAP jsou polymery s výraznou schopností absorbovat kapaliny a udržet jejich velké množství, která se projevuje zvětšováním jejich objemu. Tyto ultra vysoké absorpční materiály absorbují deionizovanou vodu až 1,000 až 100,000 % (10 až 1000 g/g), zatímco absorpční schopnost běžných hydrogelů nepřesahuje 100 % (1 g/g). Obecně mají SAP materiály bílou barvu ve tvaru cukru bez zápachu [16].

Tvar částic musí být po absorpci vody zachován, protože bobtnající síla gelu by měla být dostatečně vysoká, aby se zabránilo uvolnění, kašovitému a slizovitému stavu. Jedná se o hlavní praktickou vlastnost, která rozlišuje SAP od jiných hydrogelů. Tradiční absorpční materiály (PUR pěna) ztratí pohlcenou vodu při stlačení.

2.4.1. Historie

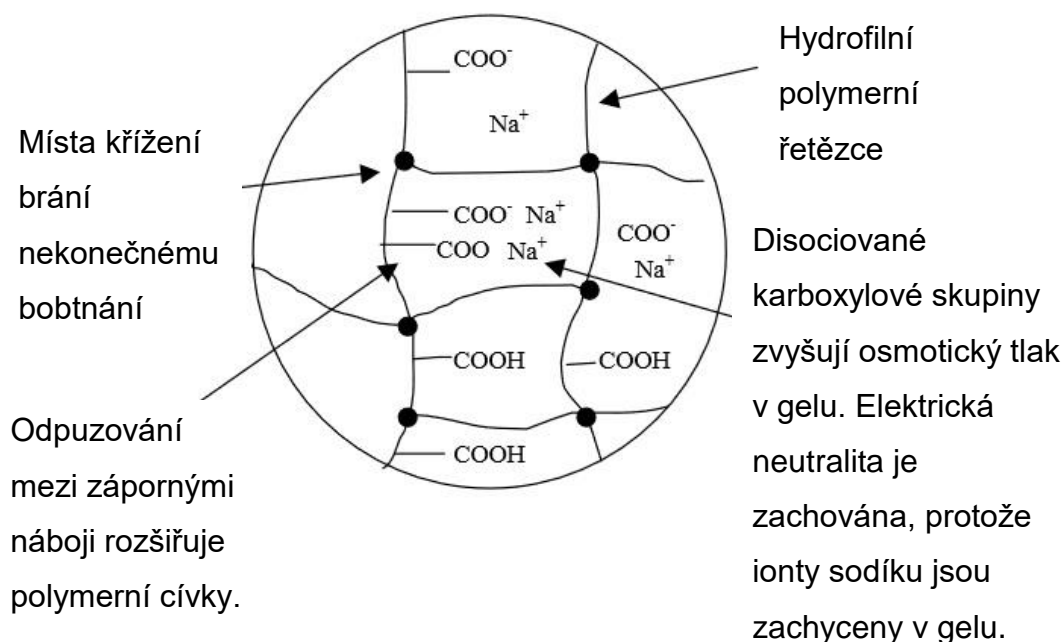
Syntéza prvního absorpčního polymeru byla provedena v roce 1938 z kyseliny akrylové a divinylbenzenu při tepelné polymerizaci. V padesátých letech vznikla první generace hydrogelů. Tyto hydrogely mohly absorbovat jenom 40-50 % tekutiny, ale to způsobilo revoluci v oftalmologii, zejména ve výrobě nových typů kontaktních čoček.

Komerční výroba SAP začala v Japonsku v roce 1978 pro výrobu hygienických vložek, později vznikly plínky pro děti v Německu a ve Francii v roce 1980. Díky nahrazení objemnější celulózy polymerem, která mohla udržet víc kapaliny pod tlakem, se SAP materiály staly tenčí. V důsledku toho se polymery začaly používat ve zdravotnictví pro výrobu všech materiálů, které potřebovaly absorpční schopnost. V dnešní době jsou největšími výrobci SAP Amcol, Stockhausen a Saynyo [16].

2.4.2. Mechanismus absorpce

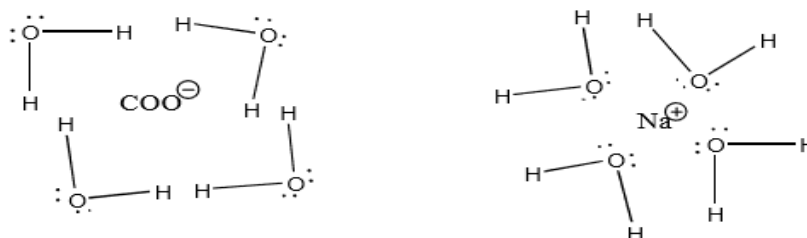
Proces bobtnání a pohlcování vody SAP částicemi je složitý, a je vztažen k chemickému složení SAP částic a k reakcím probíhajícím během procesu [17].

Základní řetězec SAP je hydrofilní (tj. vodu milující), protože obsahuje skupiny karboxylových kyselin – COOH, které se dobře smísí s vodou, a díky místem křížení řetězců, nedochází k nekonečnému smíchání s vodou. Po přidání vody do SAP probíhají dva procesy: hydratace a tvorba vodíkových vazeb.



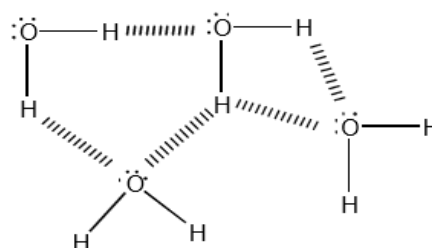
Obrázek 6 Schematické znázornění polymerní sítě [17]

První, co probíhá při přidání vody do SAP je hydratace, a to je interakce iontů rozpuštěné látky (iontů COO^- a Na^+) s molekulami rozpouštědla (vody) [17].



Obrázek 7 Hydratace SAP částic [17]

Vodíková vazba je slabá elektrostatická interakce, kterou tvoří na jedné straně skupina vodíku + silného elektronegativního prvku (například kyslík nebo dusík) a na druhé straně atom s volným elektronovým párem (například opět kyslík, dusík nebo fluor)

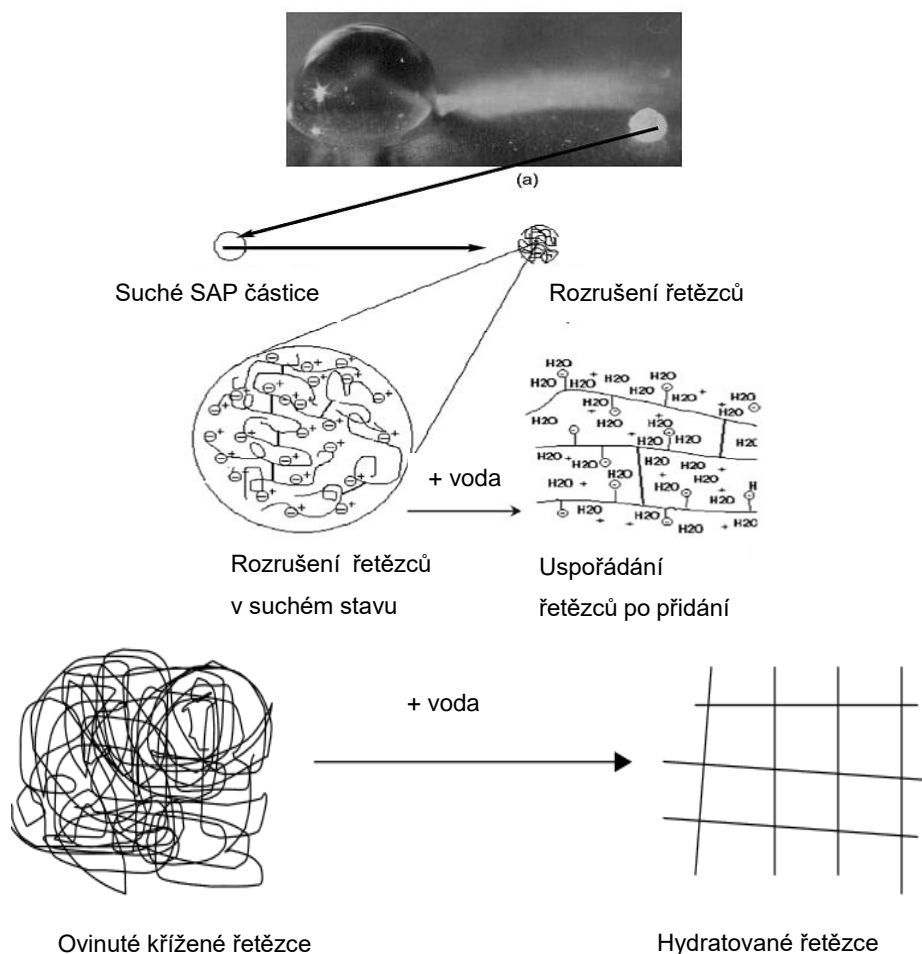


Obrázek 8 Sdílení atomů vodíku mezi dvěma atomy kyslíku [17]

Ve vodě je elektronegativním atomem kyslík, který táhne vodíkové elektrony směrem k sobě, čímž v molekule vytvoří dipól. Pozitivní atomy vodíku jsou přitahovány k pářům kyslíku osamoceným na jiných molekulách vody. Kyslík má dva osamocené páry elektronů a každý je schopný se přes vodík vázat na dvě další molekuly vody.

Tyto efekty snižují energii a zvyšují entropii (míra neuspořádanosti molekul) systému. Vzhledem k hydrofilní povaze SAP mají polymerní řetězce tendenci dispergovat v daném množství vody (tj. snaží se rozpouštět ve vodě), což vede k vyššímu počtu konfigurací systému a také zvyšuje entropii.

Křížové vazby mezi polymerními řetězci tvoří trojrozměrnou síť a zabraňují nekonečnému bobtnání. To je způsobeno elastickými zatahovacími silami a je zároveň doprovázeno poklesem entropie řetězců, protože přichází do pevnějšího stavu [17].



Obrázek 9 Změna tvaru řetězce při přidání vody [16,17]

Poté vzniká rovnováha mezi silami zatahování a tendencí řetězců nekonečně bobtnat. Stupeň zesítnění má přímý vliv na úroveň nabobtnání polymeru a pevnost sítě. Čím je vyšší hustota zesítnění, tím je nižší kapacita bobtnání a vyšší pevnost gelu.

Pro iontové polymery existuje další interakce rozpouštědlo / polymer kromě jednoduchého míchání. Neutralizované řetězce obsahují náboje, které se navzájem odpuzují (obr. 6). Celková elektrická neutralita je zachována, protože negativní karboxylové skupiny jsou vyváženy pozitivními ionty sodíku. Při kontaktu s vodou jsou sodné ionty hydratovány (obr.9), což snižuje jejich přitažlivost ke karboxylovým iontům. To umožňuje, aby se ionty sodíku volně pohybovaly uvnitř sítě, což přispívá k osmotickému tlaku uvnitř gelu. Pozitivní ionty sodíku však nemohou opustit gel, protože jsou stále slabě přitahovány k záporným karboxylovým iontům podél polymerního řetězce a chovají se tak, jako by byly zachyceny polopropustnou membránou. Hnací silou pro otok je tedy rozdíl mezi osmotickým tlakem uvnitř a vně gelu. Zvýšení hladiny sodíku mimo gel snižuje osmotický tlak a snižuje kapacitu bobtnání gelu [17].

2.4.3. Výroba

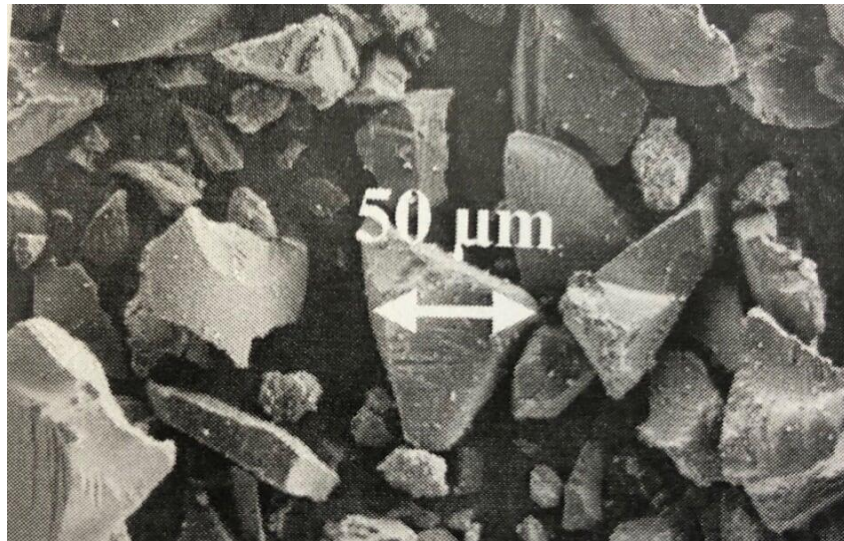
Pro syntézu SAP mohou být použity nejrůznější výchozí látky. Dříve se superabsorbenty vyráběly z celulózy, chemicky modifikovaného škrobu a dalších polymerů, jako například polyvinylalkohol PVA, polyethylenoxid PEO, které jsou hydrofilní a mají vysokou afinitu k vodě. V dnešní době se velké množství SAP nejčastěji vyrábí z kyseliny akrylové (AA) a akrylamidu (AM) (z důvodu lepšího poměru výkonu k ceně) pomocí roztokové nebo suspenzní polymerizace [18].

- **Roztoková polymerizace**

Při tomto postupu se monomer s koncentrací 25 až 40 % rozpustí v nereaktivním rozpouštědle, které obsahuje katalyzátor. Roztok se ochladí do 0-10 °C a převede se do pasového reaktoru. Rychlá exotermická reakce poskytuje gelovitý elastický produkt [18].

Reakční polymerní gel se pak naseká, vysuší a rozemele na konečnou velikost granulí.

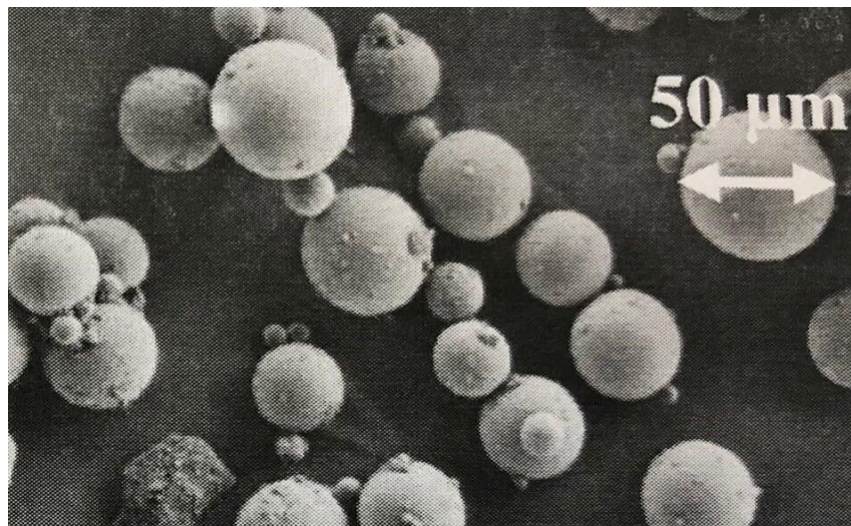
Částice, které jsou vyrobeny tímto způsobem, mají nepravidelný tvar a vypadají jako rozbité sklo pod mikroskopem.



Obrázek 10 Tvar částic roztokovou polymerací [18]

- Suspenzní polymerizace

Vodný roztok monomeru se suspenduje v organickém rozpouštědle, jako například hexan nebo cyklohexan. Polymerace probíhá při teplotě 50-70 °C a po reakci může být voda odstraněna azeotropickou destilací. Pak se výrobek odfiltruje a vysuší. Ve výsledku je tvar částic kulový a pravidelný [18].



Obrázek 11 Tvar částic suspenzní polymerací

2.4.4. Vlastnosti

Základní požadavky na vlastnosti SAP materiálů jsou popsány níže [18]:

- Absorpční kapacita
- Desorpce
- Nízká rozpustnost
- Dlouhá trvanlivost
- Absolutní netoxičita
- Fotostabilita
- Možnost opakované navlhčení
- Neutralita pH po bobtnání ve vodě
- Bezbarvost
- Biologická rozložitelnost
- Bez zápachu

Samozřejmě není možné, aby SAP splňoval všechny uvedené požadované vlastnosti. Ve skutečnosti syntetické komponenty, které se používají pro zlepšení některých požadovaných vlastností, vedou k zhoršení ostatních. Proto v praxi musí být optimalizovány tak, aby došlo k rovnováze mezi vlastnostmi. K této rovnováze lze dojít, když víme, jaké faktory ovlivňují vlastnosti SAP. K těmto faktorům patří [16]:

- druh a počet křížení řetězce (při zvýšení počtu, snižuje se absorpční schopnost)
- koncentrace monomerů (při zvýšení koncentrace, taky se snižuje absorpční schopnost, ale se zvyšuje rychlost absorpce)
- druh, velikost a množství obsažených anorganických částic
- způsob polymerace
- teplota při které probíhá polymerace
- rychlost míchání
- velikosti částic SAP. Velmi velké částice mohou mít sníženou účinnost kvůli nedostatečnému času pro příjem vody během míšení, ale na druhou stranu, malé částice mohou vykazovat sníženou absorpci vzhledem k méně aktivní ploše v porovnání s objemem.

2.4.5. Použití SAP v zemědělství

Přítomnost vody v půdě je pro vegetaci nezbytná. SAP se úspěšně používalo jako modifikace půdy v zahradnictví pro zlepšení fyzikálních vlastností půdy, aby se zvýšila jejich kapacita zadržování vody a živin v písčivých půdách. Pevně propojují písčivou půdu a vytvářejí tak hlíny, které pomáhají lépe zafixovat kořeny. Současně opakovaný mechanismus absorpce uvolnění zabraňuje hutnění půdních minerálů a poskytuje prostor pro provzdušňování. SAP hydrogely potenciálně ovlivňují propustnost, hustotu, strukturu, odparnost a míru infiltrace vody v půdě. Hydrogely zvláště snižují frekvenci zavlažování a tendenci zhutňování, zastavují erozi a odvádějí vodu [19].

SAP vytvářejí konzistentní cyklický proces absorpce a uvolňování vody; tak uvolněná voda může poskytnout optimální vlhkost pro rychlé klíčení a zrání semenáčků, tím snižuje úmrtnost semenáčků. Zvyšuje růst osiva a vývoj semenáčků, což vede k lepšímu hospodářskému úspěchu. V zemědělství a agrolesnictví působí SAP jako mikro vodní nádrž na kořeny rostlin. Absorbují přírodní a dodávanou vodu 400–500násobku vlastní hmotnosti a uvolňují ji pomalu z důvodu mechanismu odsávání kořenových kapilár, čímž zabraňují ztrátám vody v půdě odpařováním [19].

Má širokou oblast použití od zemědělství, lesnictví, průmyslových sadů, městských zahrad, hospodaření se suchem, zachování vody, pomáhá snížit erozi půdy povrchovými odtoky, vyluhování hnojiv a pesticidů do podzemních vod, snižuje náklady na vodu a zavlažování a zvyšuje míru úspěšnosti při růstu a vysoké výkony plodin.

2.4.6. Použití SAP ve stavebnictví

V posledních několika desetiletích došlo k velkému pokroku v oblasti betonové technologie, k rozsáhlému vývoji nových chemických přísad a příměsí, které, i když se přidávají do betonu ve velmi malých množstvích, mohou dramaticky zlepšit rozhodující vlastnosti betonu v čerstvém nebo vytvrzeném stavu. Malty a betony vyráběné z portlandského cementu bez použití příměsí a přísad mají určité nevýhody jako nízkou tahovou pevnost, vysoké smrštění a

podobně. Jedním z významných příkladů zlepšení vlastností betonu a malt je použití SAP materiálů, které umožňují vývoj nových druhů betonů, jako samonosný beton [18]. SAP snižuje smršťování, zvyšuje mrazuvzdornost, má pozitivní vliv na reologické vlastnosti betonu, je schopen akumulovat vodu a brání jejímu úniku z betonu.

Další nejdůležitější aplikace SAP jsou voděodolné a těsnící produkty z oblastí stavebních konstrukcí a těžebního průmyslu. Jedním z výrobců SAP na českém trhu Falconry uvádí možnost využití SAP pro výrobu a produkci voděodolných membrán, absorpčních těsnících profilů, pryžových těsnění, z důvodů toho, že SAP dosahuje vysokých absorpčních schopností, zajišťuje dlouhodobou stabilitu, a hlavně je velmi odolný vůči solím a solným roztokům [20].

2.4.6.1. SAP jako přísada pro omítky

V současné době SAP materiály nezískaly širokou popularitu ve výrobě omítek, ale díky benefitům, které SAP poskytují lze předpokládat, že tyto materiály najdou i uplatnění při návrhu omítek pro specifické aplikace. Podle Viktora Mechterine a Hans-Wolf Reinhardt [18] SAP lze použít v omítkách, které jsou na bázi cementu nebo na bázi sádry. SAP mohou zlepšit proces promíchání a aplikace na stěny, přičemž se zároveň může zlepšit jejich pevnost, zpracovatelnost a schopnost zadržovat vodu, což brání porušení konstrukce kvůli vlhkosti. V podstatě mohou vytvořit bariéru pro průtok vody do nosné konstrukce a pro únik vody z nosné konstrukce [18].

Na to, jak SAP ovlivňuje vlastnosti omítek, provedla jsem několik zkoušek, které budou popsány dále.

3. Cíl práce

Hlavním cílem mé bakalářské práce je návrh a analýza omítek s příměsí SAP, které by bylo možné využít v prostředí, které je namáháno zvýšenou vlhkostí. Z tohoto důvodu jsem navrhla a připravila sadu omítek s příměsí SAP a porovнала zjištěné parametry s referenční omítkou a prokázala tak vliv SAP na základní fyzikální, mechanické, tepelné a vlhkostní parametry.

V rámci práce jsem se zaměřila zejména na tepelní a vlhkostní parametry a to jmenovitě:

- Součinitel tepelné vodivosti
- Tepelná kapacita
- Součinitel teplotní vodivosti
- Tepelný odpor
- Součinitel difúzní vodivosti
- Faktor difúzního odporu
- Ekvivalentní difúzní tloušťka
- Difúzní odpor
- Absorpční koeficient
- Kapilární obsah nasycené vlhkosti
- Součinitel vlhkostní vodivosti

4. Použité materiály a metody

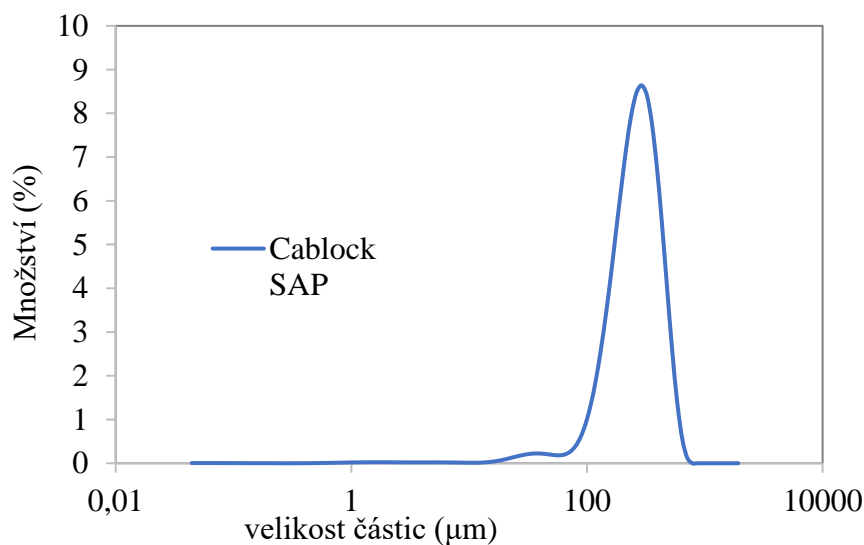
4.1. Použité materiály

4.1.1. Superabsorbent polymer

Všechny vlastnosti omítek s obsahem SAP se stanovily v laboratořích Fakulty stavební ČVUT v Praze.

Pro potřeby mé bakalářské práce jsem využila SAP dodávaný společností Falconry (výrobce Evonic), konkrétně produkt Cablock CT s objemovou hmotností 690 kg/m^3 a maximální absorpcí (destilované vody) 60 g vody na 1 gram SAP.

Pro lepší představu o velikosti částic SAP byla provedena zkouška laserové difrakce pomocí přístroje Analysette 22 Micro Tec plus (Fritsch) zástupci katedry materiálového inženýrství ČVUT [21]. Provedená analýza velikosti částic ukázala podstatně vyšší průměr SAP s maximem blízkým $330 \mu\text{m}$.



Obrázek 12 Distribuce velikostí částic cementu a SAP [21]

4.1.2. Omítková směs

Jako referenční omítka byla použita komerčně vyráběná jemnozrná jádrová omítková směs Knauf MV1, která je složena z anorganických pojiv (vápenný hydrát, cement), plniv a hygienicky nezávadných chemických zušlechťujících přísad. Omítka má velikost zrn směsi 0-1,2 mm, s objemovou hmotností 1870

kg/m³, 30 kg celého pytle spotřebuje 4,5 l vody a maximální tloušťka nanesené vrstvy je 20 mm. Tyto parametry jsou stanoveny za předpokladu normálních podmínek, při teplotě vzduchu 20 °C a 65% relativní vlhkosti vzduchu.



Obrázek 13 Vápenocementová omítka v pytlí

4.1.3. Návrh omítkové směsi

Referenční omítku Knauf MV 1 jsem modifikovala pomocí přídavku SAP Cablock CT. Přimíchání SAP do omítkové směsi velmi výrazně ovlivnilo reologické vlastnosti čerstvé směsi díky vysoké absorpční schopnosti SAP a musela jsem tedy zvyšovat množství záměsové vody, abych dosáhla stejné zpracovatelnosti. Jelikož SAP vykazuje vyšší absorpční schopnosti v čisté vodě, nejprve jsme zamíchala omítkovou směs s vodou a až poté jsem přidávala SAP. Po nalezení optimálního množství záměsové vody (viz Tabulka 2) pro každou směs jsem tyto vzorky nechala zrát 28 dní v boxu s 98 %RH. Vzorky jsem následně vysušila do ustálené hmotnosti při 80 °C a určila jejich základní fyzikální, mechanické, vlhkostní a tepelné vlastnosti.

Pro výrobu zkušebních vzorků jsem se rozhodla namíchat omítky s následujícím množstvím SAP prášků:

0 % R – referenční omítka – „čistá“ vápenocementová omítka Knauf MV1

0,5 obj. % S,

1,0 obj. % S,

1,5 obj. % S.

Vzhledem k tomu, že SAP zásadním způsobem ovlivnil reologii čerstvé omítkové směsi, bylo nutné stanovit optimální množství záměsové vody při zachování zpracovatelnosti. Pro tento účel jsem využila zkoušku čerstvé omítky dle ČSN EN 1015-3 [22]. Referenční omítku jsem namíchala dle doporučení výrobce a v případě modifikovaných směsí jsem postupně přidávala vodu, než jsem dosáhla požadované konzistence. Z tabulky 2 je patrná zdatelně vyšší spotřeba záměsové vody v případě vyššího použitého množství SAP nutná pro dosažení stejného rozlivu. Výsledné složení studovaných omítkových směsí je uvedeno v Tabulce 3 dle hodnot rozlivu v Tabulce 2.

Tab. 2 Hodnoty rozlití

| Směs | Hodnoty rozlití při stejném množství vody (cm) | Hodnoty rozlití při optimalizovaném množství vody (cm) |
|-------------|---|---|
| R | 19,1 | 19,1 |
| S 0,5 | 17,2 | 18,6 |
| S 1,0 | 16,1 | 19,0 |
| S 1,5 | 13,9 | 18,8 |

Tab. 3 Výsledné složení omítkových směsí

| Směs | Vápenocementová omítka (kg) | Vodní součinitel w/c | SAP (g) |
|-------------|------------------------------------|-----------------------------|----------------|
| R | 1 | 0,16 | - |
| S 0,5 | 1 | 0,192 | 5 |
| S 1,0 | 1 | 0,245 | 10 |
| S 1,5 | 1 | 0,299 | 15 |

Všechny suroviny jsem zvažila na kalibrovaných vahách s přesností na 1 g. Po navážení jsem přidala suroviny postupně do laboratorní míchačky.

Nejdřív jsem dodala do míchačky odměřené množství vody a poté během 15 sekund přidána vápenocementová omítka. Po jedné minutě míchání byla do směsi přidána přísada, a maltová směs byla dále míchána 3 minuty. Pak směs byla plněna z míchačky rovnou do různých zkušebních forem vytřených odformovacím olejem, a část směsi byla použita na zkoušku konzistence čerstvé malty.

4.2. Použité metody

4.2.1. Zkouška konzistence čerstvé malty

Zkouška konzistence se provádí dle norem ČSN EN 1015-3 (722400) [22]. Pomocí ručního střešacího stolku jsem ověřila konzistence čerstvé malty, která je důležitá pro hodnocení dalších materiálových charakteristik.



Obrázek 14 Střešací stolek

Předem jsem vyčistila povrch kovové desky a vytřela formovacím olejem. Do středu desky stolku jsem postavila kovovou formu ve tvaru komolého kužele. Dále jsem naplnila formu vrstvou čerstvé malty a zhutnila 15 otáčky klikou na podstavci stolku v režimu 1 otáčka za cca 1 sekundu. Po ukončení zkoušky sejmula jsem maltu z kovové formy a změřila průměr rozlité malty pomocí plastového posuvného měřítka ve dvou na sebe kolmých směrech [6].



Obrázek 15 Měření průměru čerstvé malty

4.2.2. Zkouška základních fyzikálních vlastností

K těmto vlastnostem patří ty, k jejichž určení stačí stanovení hmotnosti a rozměru vzorku materiálu. Jedná se například o objemovou hmotnost, hustotu, pórovitost [6].

Objemová hmotnost a hustota jsou stanoveny z hmotnosti zkoumaného vzorku a jeho rozměrů. Odlišnost mezi dvěma vlastnostmi je v tom, že pro objemovou hmotnost se uvažuje objem celého kusu včetně pórů a dutin a pro hustotu pouze vlastní látka bez pórů a dutin.

Nejdříve jsem stanovila objemovou hmotnost vzorků na trámcích o přibližných rozměrech 40x40x160 mm. Vzorky po uplynutí 28 dní byly umístěny do sušící komory při teplotě 70 ± 5 °C do ustálení hmotnosti.

Norma ČSN EN 1015-1 [23] předepisuje dosažení ustálení hmotnosti v případě, když se dvě po sobě následující vážení po dvou hodinách neliší o více než 0,2 % hmotnosti. Po vysušení vzorků jsem provedla zvážení a změření rozměrů vzorků. Dále jsem spočítala objemové hmotnosti ρ_V [kg.m⁻³] dle vztahu:

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

kde je m [kg] je hmotnost, V [m³] je objem.

Hustota je kritériem čistoty chemické látky a má podstatný vliv u pórovitých materiálů, kterým patří omítka se SAP přísadou. Jednou z metod pro stanovení hustoty je pyknometrická metoda pomocí kapaliny o známé hustotě, která pevnou látku smáčí, přičemž hustota kapaliny je menší než hustota pevné látky. Pak se hustota ρ_{mat} [kg.m⁻³] spočítá dle vztahu:

$$\rho_{mat} = \frac{m_1}{m_3 - (m_2 - m_1)} * \rho_l \quad (3)$$

kde m_1 [kg] je hmotnost suchého vzorku, m_2 [kg] je hmotnost zavřeného pyknometru se vzorkem a kapalinou, m_3 [kg] je hmotnost pyknometru se zátkou naplněného zcela kapalinou, ρ_l [kg.m⁻³] je hustota měřené kapaliny.

Pro urychlení zkoušky se používá héliový pyknometr Pycnomatic ATC. Velikost atomu hélia je velmi malá, proto je schopné vyplnit i velmi malé póry [24].



Obrázek 16 Heliový pyknometr [24]

Nejdřív jsem rozbila vzorky do malých kousků a umístila do horkovzdušné sušárny s relativní vlhkostí menší než 10 % při teplotě 105 ± 5 °C. Následně jsem dala kousky do speciální nádoby, kterou jsem zvažila bez vzorku a s vzorkem. Pak jsem nádobu umístila do pyknometru, ve kterém se po zapnutí pustil hélium pod určitým tlakem. Přístroj vyhodnotil hustotu matrice vzorku po 20-30 minutách ze vzájemných poměrů tlaků a objemů.

Dál následuje výpočet pórovitosti, který je jedním ze základních parametrů omítek, protože díky distribuci velikosti pórů má vliv na další vlastnosti jako například tepelné, vlhkostní a mechanické. Pokud póry jsou spojeny s povrchem látky, říká se tomu otevřená pórovitost, a když nejsou spojené – uzavřená pórovitost. Otevřené póry mají vliv na navlhavost a vysychavost, schopnost pronikání plynů a kapalin, tepelně-fyzikální a akustické vlastnosti. Uzavřené póry se neúčastní transportních procesů s okolím [6].

Pórovitost P_c [-] se jednoduše stanoví ze vztahu:

$$P_c = 1 - \frac{\rho_v}{\rho_{mat}} \quad (4)$$

kde ρ_v [kg.m⁻³] – objemová hmotnost omítky, ρ_{mat} [kg.m⁻³] – hustota.

4.2.3. Zkouška mechanických vlastností

U omítek mechanické vlastnosti nejsou tak důležité jako například v betonu, ale u omítek jsou kladeny požadavky i na tyto vlastnosti. Mechanické vlastnosti udávají vztah mezi mechanickým namáháním a odporem tomuto namáhání. U povrchových úprav trhlina mohou vzniknout v důsledku napětí od rozdílné teplotní

a vlhkostní roztažnosti omítky a stěny nebo tlaku, který vzniká při krystalizaci rozpustných solí v omítce, proto se stanoví pevnosti v tlaku a v tahu za ohybu.

Pro zkoušky mechanických vlastností jsem použila vzorky o rozměrech 40x40x160 mm dle normy ČSN EN 1015-11 [25]. Zkoušku jsem provedla po 28 dnech a po 7 dnech od doby přípravy umístila v sušárně při relativní vlhkosti 55±5 %.

První, jsem stanovila pevnost v tahu za ohybu f_{btm} v speciálním lisu, do kterého jsem položila trámeček. Pak vzorek byl zatěžován shora rovnoměrnou rychlostí až do porušení.



Obrázek 17 Přípravek pro zkoušku v tlaku za ohybu [26]

Z přístroje jsem získala sílu F potřebná k jeho porušení, kterou jsem použila pro výpočet pevnosti v tlaku za ohybu f_{btm} [MPa] ve vztahu:

$$f_{btm} = \frac{3}{2} \frac{Fl}{bh^2} \quad (5)$$

kde F [N] je maximální dosažená síla při porušení tělesa, l [mm] je vzdálenost podpor, b [mm] je šířka tělesa, h [mm] je výška tělesa dle umístění v nástavci při zkoušce.

Na zlomených vzorcích jsem provedla zkoušku stanovení pevnosti v tlaku ve zkušebním lisu až do úplného porušení.



Obrázek 18 Přípravek pro zkoušku v tlaku [27]

V momentu porušení jsem zaznamenala maximální sílu F_c a dle vztahu (6) jsem spočítala pevnost v tlaku f_c [Mpa]:

$$f_c = \frac{F_c}{A} \quad (6)$$

kde F_c [N] je maximální dosažená síla ve zkušebním stroji, A [m²] je tlačaná plocha krychle.

4.2.4. Zkouška tepelných vlastností

Tepelné vlastnosti stavebních materiálů jsou důležité pro omítky, protože oddělují prostředí s rozdílnými teplotními, tlakovými a vlhkostními parametry. Tepelná energie v materiálu kromě změny teploty může způsobit změnu objemu, pevnosti, tažnosti a dalších parametrů.

Obecně tepelné vlastnosti lze rozdělit na tepelně-fyzikální, kam patří tepelná kapacita, měrná tepelná vodivost, a na tepelně-technické, a to jsou tepelná jímavost, součinitel teplotní vodivosti a tepelný odpor [6].

4.2.4.1. Tepelně-fyzikální veličiny

K tepelně-fyzikálním veličinám patří parametry, které jsou důležité pro posouzení z hlediska stavební fyziky.

- Měrná tepelná vodivost – tepelně-fyzikální parametr homogenních stavebních materiálů, které vyjadřuje schopnost vést teplo za podmínek, že v materiálu

jsou místa s teplotním gradientem. Transport tepla se popisuje Fourierovým vztahem [12]:

$$q = -\lambda \text{grad}(T) \quad (7)$$

kde q [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$] je vektor hustoty tepelného toku, λ [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$] je součinitel tepelné vodivosti a T [K] je teplota.

Součinitel tepelné vodivosti λ [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$] udává množství tepla procházejícího zkoušenou deskou jednotkové plochy a tloušťky do vzdálenosti 1 m při teplotním rozdílu 1 K. Velikost součinitele tepelné vodivosti závisí na vlhkosti, teplotě, struktuře a pórovitosti. Zvyšováním vlhkosti omítky dochází k růstu velikosti součinitele tepelné vodivosti, a tudíž k poklesu tepelně izolačních vlastností. Materiály s otevřenými póry jsou navlhavé a nejsou vhodné pro tepelnou izolaci, uzavřené póry naopak jsou nejvhodnější [6,12].

- Tepelná kapacita c je definována jako množství tepla, které je třeba dodat 1 kg (nebo 1 m^3) materiálu, aby se zvýšila jeho teplota o 1 K. Velikost tepelné kapacity je závislá na vlhkosti a teplotě. Měrná tepelná kapacita materiálů se dosazuje do tepelně-technických výpočtů (např. výpočet tepelné jímavosti či součinitele teplotní vodivosti) [6].

Pro měření výše uvedených parametrů existují stacionární (při stálém tepelném výkonu) a nestacionární (tepelný výkon se mění) metody. Obě metody jsou založeny na průchodu ustáleného toku tepla z topné desky vzorkem k chlazené desce přístroje. Stacionární metody jsou přesnější, ale na druhou stranu jsou časově náročné, proto jsem si vybrala nestacionární metodu. Pro nestacionární metody postačují kratší doby měření a taky menší tloušťky zkoušeného vzorku. Avšak tyto na první pohled výhody jsou důvodem větších nepřesností na rozdíl od stacionárního měření. V rámci práce jsem zvolila multifunkční zařízení Isomet 2104.



Obrázek 19 Isomet 2104

Isomet umožňuje zkrátit dobu měření a spotřebuje minimum energie. Měření je založeno na analýze průběhu časové závislosti teplotní odezvy na vysílané impulsy tepelného toku do zkoumaného vzorků.

Postup měření je poměrně jednoduchý. Danou zkoušku jsem měřila na krychlích o hraně 70 mm, které jsme umístila po staří 28 dnů do sušící komory s nastavenými podmínkami na 7 dnů. Následně jsem zvážila a změřila přesné rozměry hran pro další výpočet. Pak zbyla nejjednodušší část zkoušky, a to je zapnutí přístroje a přidání plošné sondy na zkoumaný vzorek. Po 10-15 minutách se objevily na přístroji zkoumané hodnoty, a to jsou součinitel tepelné vodivosti λ [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$], objemová tepelná kapacita c [$\text{J}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{K}^{-1}$] a součinitel teplotní vodivosti a [$\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$] [28].

4.2.4.2. Tepelně-technické veličiny

Tepelně-technické veličiny vychází ze zjištěných tepelně-fyzikálních hodnot.

- Tepelná jímavost b [$\text{W}^2\cdot\text{s}\cdot\text{m}^{-4}\cdot\text{K}^{-2}$] je schopnost omítek přijmout nebo uvolnit teplo. Čím je větší velikost, tím materiál je méně schopný přijímat nebo uvolňovat teplo. Vypočítá se ze vztahu [12]:

$$b = \lambda c \rho_v \quad (8)$$

kde λ [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$] je součinitel tepelné vodivosti, c [$\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$] je měrná tepelná kapacita, ρ_V [m^3] je objemová hmotnost.

- Součinitel teplotní vodivosti a [$\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$] vyjadřuje schopnost omítek o definované vlhkosti vyrovnávat rozdílné teploty při neustáleném vedení tepla. Vypočítá se ze vztahu [12]:

$$a = \frac{\lambda}{c \rho_V} \quad (9)$$

kde λ [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$] je součinitel tepelné vodivosti, c [$\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$] je měrná tepelná kapacita, ρ_V [m^3] je objemová hmotnost.

- Tepelný odpor R [$\text{m}^2\cdot\text{K}\cdot\text{W}^{-1}$] udává míru odporu proti pronikání tepla. Čím vyšší je tepelný odpor materiálu, tím pomaleji teplo prochází a materiál má větší tepelně izolační schopnosti.

$$R = \frac{d}{\lambda} \quad (10)$$

kde d [m] je tloušťka vrstvy materiálu kolmá na směr tepelného toku, λ [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$] je součinitel tepelné vodivosti.

4.2.5. Zkouška vlhkostních vlastností

Vlhkostní vlastnosti je nejdůležitější vlastnosti v rámci dané bakalářské práce, proto budou probrány podrobněji. Vlhkost omítek ovlivňuje další vlastnosti, a to jsou objemovou hmotnost, mrazuvzdornost, měrnou tepelnou vodivost, pevnost a pružnost. Omítky jsou pórovitým materiálem, a vlhkost v nich může vyskytovat jako volná, fyzikálně vázaná, kapilární, adsorbovaná a chemicky vázaná voda.

Přenos vlhkosti může probíhat třemi způsoby:

4.2.5.1. Vlhkostní vodivost

Je schopnost omítek vést vlhkost v kapalně fázi k povrchu, z něhož se odpařuje nebo difunduje do okolí. Základní parametry pro popis vlhkostní vodivosti jsou [6]:

- Absorpční koeficient A [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1/2}$]
- Součinitel vlhkostní vodivosti κ [$\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$]

- Kapilární obsah nasycené vlhkosti w_{cap} [kg.m⁻³]
- Vlhkostní tok \bar{j} [kg.m⁻².s⁻¹]

Pro měření této schopnosti jsem použila metodu vertikální nasákavosti podle normy ČSN EN ISO 15148 [29], která je založena na jednosměrném šíření kapaliny vzorkem. Smysl daného měření difúzního toku vody prošlé vzorkem při znalosti parciálních tlaků vodní páry v atmosféře a pod měrným povrchem vzorku.

Měření probíhalo na vzorcích o hraně 70 mm. Po stáří 28 dnů jsem zaizolovala vzorky epoxidovou pryskyřicí ze čtyř stran (strana, co nebyla v bedně a její protilehlá strana zůstaly volné). Nejdřív bylo nutno změřit počáteční hmotnost a plochu povrchu vzorku v suchém stavu. Pak jsem ponořila vzorky o 1-2 mm pod vodní hladinu v misce. Experiment byl proveden manuálně, kdy ve zvolených časových intervalech proběhlo stanovení hmotnosti měřeného vzorku. Dále jsem vynesla zjištěné hodnoty do grafu křivky nasákavosti., která je charakterizována jako závislost nárůstu hmotnosti na plochu v čase. V grafu z přímkové počáteční závislosti kumulativního obsahu vody v omítce [kg.m⁻²] na odmocnině z času [s^{1/2}] lze stanovit absorpční koeficient vody A [kg m⁻² s^{-1/2}].

Obecný vzorec pro výpočet absorpčního koeficientu je uveden níže [30]:

$$A = \frac{i}{t^{1/2}} \quad (11)$$

kde i [kg.m⁻²] je celkové množství vody na jednotku plochy, která je v přímém kontaktu s vodou, t [s] je čas měření zkoušky.

Absorpční koeficient pro vodu podává informace pouze o vlhkostním toku, ale ne o distribuci vlhkosti v materiálu, proto se zavádí nový parametr, a to je vlhkostní tok \bar{j} [kg.m⁻².s⁻¹], který se počítá pomocí Fickovy difúzní rovnice [12]:

$$\bar{j} = -\rho_{mat} \kappa \text{grad}(u) \quad (12)$$

kde ρ_{mat} [kg.m⁻³] je hustota omítky, κ [m².s⁻¹] součinitel vlhkostní vodivosti a u [kg.kg⁻¹] hmotnostní vlhkost. Aplikací této rovnice lze odvodit vztah pro součinitel vlhkostní vodivosti κ [m² s⁻¹] [12, 30]:

$$\kappa = \left(\frac{A}{w_{cap}}\right)^2 \quad (13)$$

kde w_{cap} [kg.m⁻³] je nasycený obsah kapilární vlhkosti, A [kg.m⁻².s^{-1/2}] je absorpční koeficient.

Dále lze spočítat w_{cap} [kg.m⁻³] kapilární obsah nasycené vlhkosti, který se počítá dle vzorce:

$$w_{cap} = \frac{m_{cap} - m_o}{V} \quad (14)$$

kde m_{cap} [kg] je hmotnost vzorku odpovídající kapilární nasákavosti, m_o [kg] je hmotnost suchého vzorku, V [kg.m⁻³] je objem měřeného vzorku.

4.2.5.2. Difúze vodní páry

Difúze je pronikání molekul plynu nebo kapaliny mezi molekuly porézního systému omítek. Difúze může probíhat v kapilárách, které mají průměr větší než 10⁻⁷ m, protože v takovýchto kapilárách nedochází ke kapilární kondenzaci.

Obecně difúzi vodní páry popisuje první Fickův zákon, který říká, že hmotnostní tok \bar{j} [kg.m⁻².s⁻¹] je úměrný gradientu koncentrace c_{vp} [kg.m⁻².s⁻¹]:

$$\bar{j} = -D \text{grad} c_{vp} \quad (15)$$

kde D [m².s] je součinitel difúze pro vodní páru, \bar{j} [kg.m⁻².s⁻¹] je vektor hustoty toku vodní páry, c_{vp} [kg.m⁻².s⁻¹] je koncentrace vodní páry.

Kromě hustoty toku vodní páry existují parametry k hodnocení difúzních vlastností materiálů, a to jmenovitě:

- Součinitel difúze vodní páry D [m².s⁻¹] a součinitel difúzní vodivosti δ [s]
- Faktor difúzního odporu μ [-]
- Ekvivalentní difúzní tloušťka s_d [m]
- Difúzní odpor materiálu R_d [m.s⁻¹]

Pro zajištění parametrů difuze vodní páry bylo užito metoda dry cup, která proběhla dle normy ČSN EN ISO 12572 [31]. Princip metody spočívá v rozdílu parciálního tlaku pod a nad vzorkem, a pod vlivem tohoto rozdílu vodní páry difundují z míst vyššího parciálního tlaku do míst s nižším parciálním tlakem skrz zkušební vzorek. U této metody relativní vlhkost vzduchu pod vzorkem bylo 5 % a nad vzorkem 50 %.



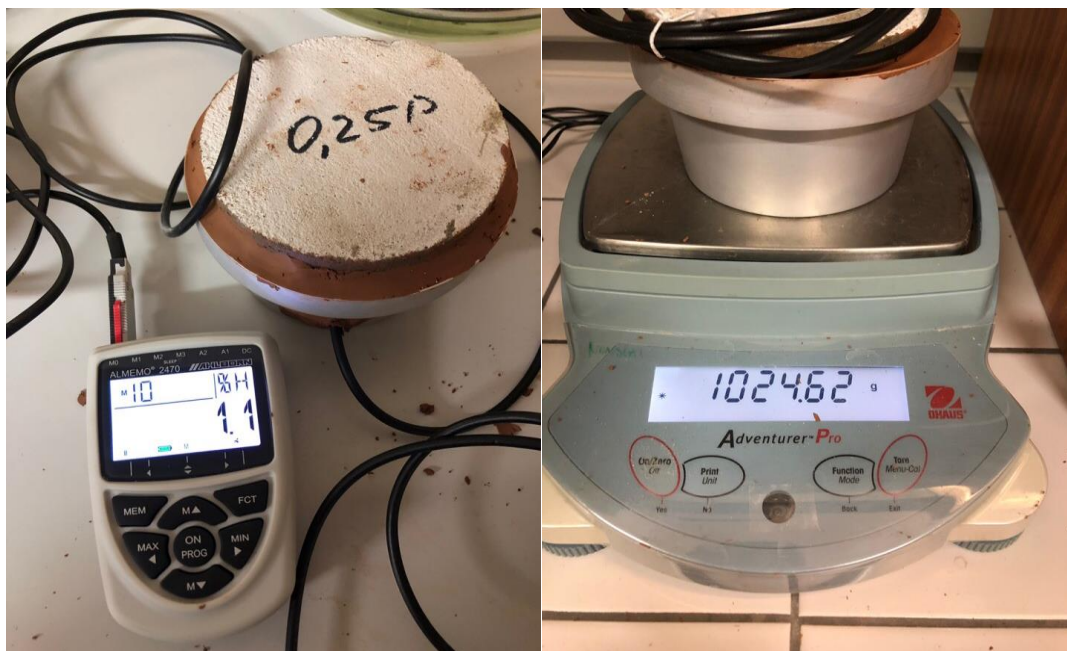
Obrázek 20 Příprava přístrojů a vzorků

Použila jsem vzorky válcovitého tvaru o průměru 100 mm a tloušťky 25 mm, které jsem zaizolovala epoxidovou pryskyřicí, potom jsem přidala po zaschnutí do sušící komory na teplotu 60 °C do ustálení vlhkosti. Dále jsem připravila misky kruhového tvaru, 4 z nich měly otvor pro vložení kabelu přístroje pro měření vlhkosti.



Obrázek 21 Vložený kabel do misky

Do mističek jsem vysypala silica gel, potom jsem položila vzorky a po stranách utěsnila technickou plastelínou. Následně jsem umístila vzorky do klimatizační komory, kde byla konstantní teplota 20 °C a relativní vlhkost 50 ± 2 %. Pak jsem vážila vzorky periodicky a měřila přírůstky hmotnosti v čase do ustálení. U 4 vzorků s kabelem jsem změřila ještě relativní vlhkost uvnitř misky. Tyto naměřené hodnoty relativní vlhkosti jsou potřebné pouze pro obecný přehled toho, jak se mění vlhkost uvnitř misky.



Obrázek 22 Měření hmotnosti a vlhkosti

Spočítala jsem z naměřených veličin a známé vlhkosti prostředí nad vzorkem 50 % a pod vzorkem 5 % další vlhkostní parametry, a to jmenovitě:

- Součinitel difúze vodní páry D [$\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$] a součinitel difúzní vodivosti δ [s]

Schopnost omítek propouštět vodní páru a lze i popsat dvěma rovnicemi [32]:

$$D = \frac{\delta \cdot R \cdot T}{M} \quad (16)$$

$$\delta = \frac{\Delta m \cdot d}{S \cdot \tau \cdot \Delta p_p} \quad (17)$$

kde je R [$\text{J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$] je univerzální plynová konstanta, T [K] je teplota, M [$\text{kg} \cdot \text{mol}^{-1}$] je molární hmotnost vodní páry, Δm [g] je množství vodní páry prodifundované vzorkem, d [m] je tloušťka vzorku, S [m^2] je plocha vzorku, τ [s] je časový interval korespondující s Δm , Δp_p [Pa] je rozdíl parciálních tlaků vodní páry změřených nad a pod povrchem vzorku.

- Faktor difúzního odporu μ [-]

Faktor difúzního odporu vyjadřuje relativní schopnost omítek propouštět vodní páry difúzí, je poměrem difúzního odporu omítky a difúzního odporu vrstvy vzduchu o téže tloušťce. Tudíž říká o kolikrát je transport vodní páry omítkou je pomalejší než transport vodní páry ve vzduchu [6]:

$$\mu = \frac{D_{vzduch}}{D} = \frac{1}{N \cdot \delta} \quad (18)$$

kde D_{vzduch} [$\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$] je součinitel difúze vzduchu, D [$\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$] je součinitel difúze ve vzorku, N [s^{-1}] je přibližná hodnota difúzního odporu vzduchu, δ [s] je součinitel propustnosti pro vodní páru

- Ekvivalentní difúzní tloušťka s_d [m]

Je definována jako tloušťka nehybné vrstvy vzduchu mající stejný difúzní odpor jako bezpředmětná vrstva materiálu. Tato veličina se používá k vyjádření difúzních vlastností materiálů určených pro povrchové úpravy, jako jsou omítky, nátěrové systémy. Vypočítá se ze vztahu [6]:

$$s_d = \mu * d \quad (19)$$

kde μ [-] je faktor difúzního odporu, d [m] je tloušťka vzorku.

- Difúzní odpor materiálu R_d [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$]

Vyjadřuje, jak moc brání materiál prostupu vodní páry difúzí.

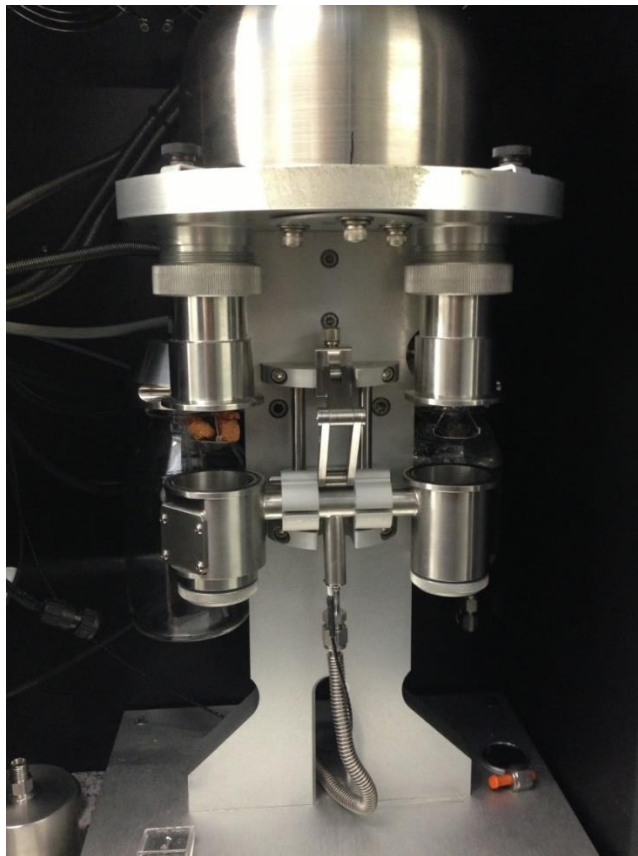
$$R_d = \frac{d}{\delta} \quad (20)$$

kde d [m] je tloušťka vzorku, δ [s] je součinitel difúzní vodivosti.

4.2.5.3. Sorpce vodní páry

Přijímání vlhkosti pohlcováním vodní páry obsažené ve vzduchu, který materiál obklopuje se nazývá sorpce vlhkosti [6]. Její součástí jsou adsorpce (je přichycení látky k povrchu jiné látky a způsobena van der Walsovými silami, které se navzájem přitahují molekuly vodní páry a tuhých látek), absorpce (kapalná nebo plynná fáze vstřebává difúzí dovnitř tuhé fáze) a chemisorpce (vznik chemické vazby mezi molekulami vody a tuhé látky) [6]. Před samotným měřením jsem malý vzorek (10–15 g) zkoumaných omítek vysušila a poté uložila do exsikátoru uloženém v laboratoři. Pro stanovení sorpčních a desorpčních isoterm byl využit přístroj DVS-Advantage (Obrázek č. 23), který umožnil velmi přesné stanovení přírůstku hmotnosti při vystavení vzorku rozdílným hladinám relativní

vlhkosti. Jednotlivé vzorky jsem vystavila relativní vlhkosti 20, 40, 60, 80 a 95 %RH, kdy při každé hladině RH přístroj sám stanovil, zda je hmotnost vzorku ustálená a je možné pokračit k dalšímu kroku měření.



Obrázek 23 Přístroj DVS-Advantage

5. Výsledky zkoušek

V této části práce je uvedeno porovnání získaných vlastností vyvinutých omítek s referenční omítkou.

5.1. Základní fyzikální parametry

Základní fyzikální vlastnosti (objemovou hmotnost, hustotu matrice a celkovou otevřenou pórovitost) jsem určila pro všechny vyvinuté záměsi a porovnála v Tabulce 4. Celkovou otevřenou pórovitost jsem dopočítala ze znalosti hustoty matrice (určená pomocí pyknometru) a objemové hmotnosti (zjištěna gravimetrickou metodou na trámečcích o rozměrech 40x40x160 mm).

Tab. 4 Základní vlastnosti zkoumaných materiálů

| Směs | Objemová hmotnost [kg.m ³] | Hustota [kg.m ³] | Pórovitost [%] |
|-------|--|------------------------------|----------------|
| R | 1597 | 2574 | 38,0 |
| S 0,5 | 1482 | 2557 | 42,0 |
| P 1,0 | 1420 | 2541 | 44,1 |
| S 1,5 | 1284 | 2550 | 49,6 |

Ze získaných hodnot je patrné, že příměs SAP přísada výrazně ovlivňuje základní fyzikální vlastnosti omítek. Vyšší dávka SAP je spojena s poklesem objemové hmotnosti a nárůstem celkové otevřené pórovitosti, která narostla z počátečních 38 % až na téměř 50 % pro směs s 1,5 hm.% SAP. Toto je možné přisoudit větší spotřebě záměsové vody a bobtnání částic SAP, čímž došlo k nárůstu objemu pórů v materiálu. Výrazný pokles objemové hmotnosti jsem identifikovala při použití 1,5 hm.% SAP, kdy došlo k poklesu o asi 15 %, zatímco u předcházejících směsí jsem zaznamenala pokles objemové hmotnosti pouze okolo 5–7 %.

5.2. Mechanické parametry

Stanovení mechanických vlastností probíhalo na trámečcích o rozměrech 40x40x160 mm po 28 dnech. Výsledky jsou spočítány dle vztahu (5, 6) a uvedeny v Tabulce 5.

Tab. 5 Mechanické vlastnosti zkoumaných materiálů

| Směs | Pevnost v tlaku [Mpa] | Pevnost v tlaku při ohybu [Mpa] |
|--------|-----------------------|---------------------------------|
| R | 3,87 | 1,76 |
| S 0,5 | 3,74 | 1,96 |
| S 1 | 3,59 | 1,84 |
| S 1.,5 | 2,91 | 1,45 |

Ze získaných hodnot pevnosti v tlaku a pevnosti v tlaku za ohybu je znatelný pokles mechanických vlastností zkoušených omítek. Je patrné je přidavek SAP způsobuje pokles mechanických vlastností, který je patrný zejména u směsi s 1,5 hm.% SAP. U směsí s 0,5 a 1 hm.% SAP dochází pouze k mírnému zhoršení sledovaných parametrů a SAP zde nemá zásadně negativní vliv na pevnostní charakteristiky omítek. Tento jev je možné spojit s vypočtenými hodnotami pórovitosti, kde je patrný stejný trend a výraznější propad u směsi s 1,5 hm.% SAP. Podle výsledků je vidět že pevnost referenčního vzorků o 1,3krát je větší než pevnost vzorků s obsahem 1,5 % přísady. Nicméně mechanická pevnost materiálů hraje důležitou roli u nosných konstrukcí jako například beton či jiné nosné materiály, a není cílem zlepšení vlastností omítek v rámci předložené práce. Dosažené hodnoty jsou dostačující pro stavební praxi a nepředstavují zásadní omezení z hlediska jejich použití.

5.3. Tepelné parametry

Jak už bylo řečeno, zkouška probíhala nestacionární metodou na krychlích o hraně 70 mm. Po vysušení vzorků, jsem změřila rozměry a hmotnosti, které dál byly využity pro výpočet objemové hmotnosti a přepočtení objemové tepelné kapacity na měrnou tepelnou kapacitu.

Pomocí přístroje Isomet 2104, kdy každé měření trvalo asi 15 minut jsem určila hodnoty součinitele tepelné vodivosti λ [$W.m^{-1}.K^{-1}$], objemové tepelné

kapacity c_p [$\text{J}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{K}^{-1}$] a součinitele teplotní vodivosti a [$\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$], které jsou uvedeny v Tabulce 6. Následně jsem spočítala měrnou tepelnou kapacitu pomocí objemové tepelné kapacity a objemové hmotnosti.

Tab. 6 Tepelně-fyzikální vlastnosti zkoumaných materiálů

| Směs | λ [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$] | c_p [$\text{J}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{K}^{-1}$] | c [$\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$] | a [$\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$] |
|-------|--|--|---|--|
| R | 0,75 | 1,56E+06 | 896,0 | 4,78E-07 |
| S 0,5 | 0,68 | 1,54E+06 | 933,5 | 4,45E-07 |
| S 1,0 | 0,63 | 1,47E+06 | 899,7 | 4,44E-07 |
| S 1,5 | 0,45 | 1,42E+06 | 877,7 | 3,27E-07 |

Z tabulky je jasně vidět, že získané hodnoty součinitele tepelné vodivosti u zkoumaných omítek jsou silně závislé na hodnotách pórovitosti. SAP příměs tedy snížila hodnoty tepelné vodivosti stejně jako měrné tepelné kapacity. Nízká hodnota tepelné vodivosti SAP ($0,35 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$) se do výsledných parametrů příliš nepromítla. Výrazně nižší hodnoty součinitele tepelné vodivosti jsem získala pouze pro omítku s 1,5 hm.% SAP, což je ale zapříčiněno zejména výraznějším nárůstem pórovitosti oproti předcházejícím směsím. Hodnoty λ pro klasické omítky se pohybují mezi 0,5 a 1,0 $\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$, pro tepelně-izolační omítky hodnoty mohou klesnout do 0,05 $\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ (perlitové s PPS granulátem) [33]. Tudiž SAP omítky mohou být navrženy nejenom jako sanační, ale i jako tepelně-izolační omítky.

Dále zjištěné hodnoty jsem použila pro výpočet tepelně-technických veličin dle vztahu (8, 9, 10). Výsledky jsou v Tabulce 7.

Tab. 7 Tepelně-technické vlastnosti zkoumaných materiálů

| Směs | b [$\text{W}^2\cdot\text{s}\cdot\text{m}^{-4}\cdot\text{K}^{-2}$] | a ($\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$) | R ($\text{m}^2\cdot\text{K}\cdot\text{W}^{-1}$) |
|------|---|--|---|
| R | 2,03E+09 | 2,75E-10 | 9,2 |
| S0,5 | 1,74E+09 | 2,69E-10 | 10,0 |
| S1,0 | 1,51E+09 | 2,62E-10 | 10,9 |
| S1,5 | 1,03E+09 | 1,96E-10 | 15,2 |

Podle tabulky tepelná jímavost b [$\text{W}^2\cdot\text{s}\cdot\text{m}^{-4}\cdot\text{K}^{-2}$] u SAP S1,5 vzorku je 1,97krát menší než u referenčního vzorku, a tudíž jsou více schopný přijímat nebo uvolňovat teplo.

Čím vyšší je tepelný odpor omítek, tím hůř teplo prochází a materiál má tedy lepší tepelně-izolační schopnosti, což znovu je důkazem schopností SAP tepelně izolovat.

5.4. Transport vlhkosti

V této kapitole jsou uvedeny vlhkostní parametry popisující transport jak kapalně vlhkosti, tak i vodní páry ve studovaných omítkových směsích s příměsí SAP.

5.4.1. Transport kapalně vlhkosti

Transport kapalně vlhkosti jsem měřila na krychlích o hraně 50 mm, zaizolovanými po stranách epoxidovou pryskyřicí, abych docílila 1-D transportu vlhkosti. V časových intervalech uvedených v Příloze 1 jsem stanovila přírůstky hmotnosti měřených vzorků. Takto stanovené hodnoty hmotnosti v čase jsem použila pro stanovení hodnot absorpčního koeficientu (viz Tabulka 9), pomocí tečen k jednotlivým křivkám. Po určení absorpčního koeficientu A [$\text{kg}\cdot\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1/2}$] jsem nechala vzorky nasáknout pomocí vakuové metody k určení kapilární nasákavosti a posléze výpočtu vlhkostní vodivosti κ [$\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$]. Tyto hodnoty jsou uvedeny v Tabulce 8.

Tab. 8 Vlhkostní vlastnosti zkoumaných materiálů 1

| Směs | A [$\text{kg}\cdot\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1/2}$] | κ [$\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$] |
|------|--|---|
| R1 | 0,055 | 1,61E-08 |
| C0,5 | 0,089 | 2,91E-08 |
| C1 | 0,143 | 2,87E-07 |
| C1,5 | 0,258 | 5,70E-07 |

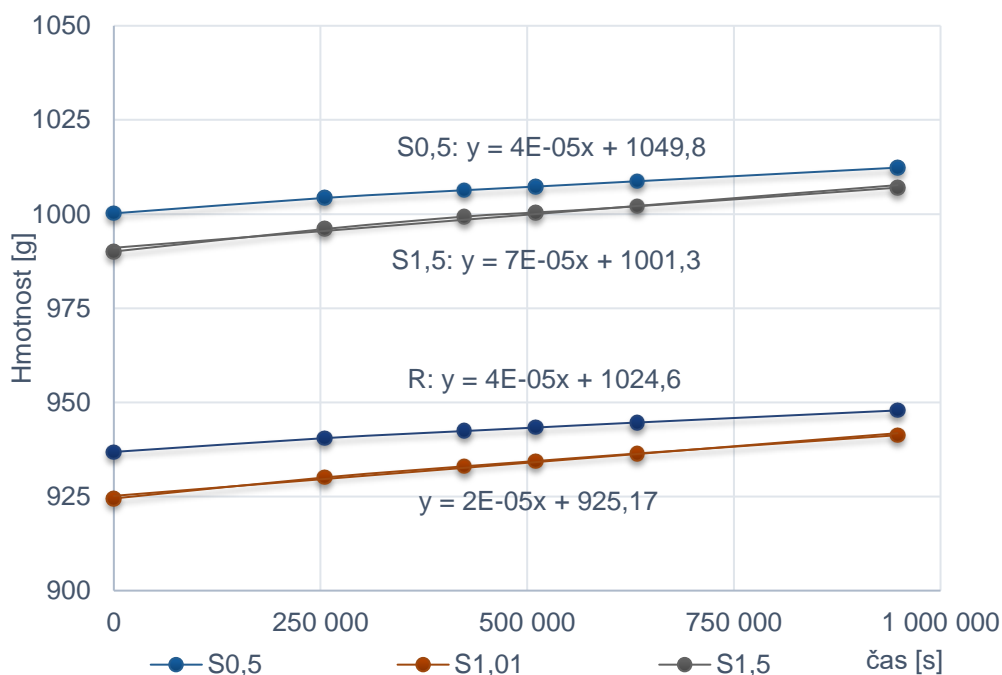
Z experimentu vyplývá, že příměs SAP v omítkách výrazně zvyšuje transport kapalně vlhkosti. Získané hodnoty poukazují na výrazný nárůst absorpčního koeficientu s nárůstem obsahu SAP v materiálu. Tato hodnota byla 2,6x vyšší v případě použití 1 hm.% SAP a téměř 5x vyšší v případě 1,5 hm.% SAP. Tento nárůst je možné částečně přisoudit zvýšené porositě modifikovaných omítkových

směsí, ale také vysoké absorpci vysušených částic SAP, které výrazně zvýšili vlhkostní vodivost vzorků.

5.4.2. Transport plynné vlhkosti

Difúzní vlastnosti omítek jsem určila pomocí miskové metody, konkrétně metodou dry-cup za použití silikagelu, při pro dosažení nízké relativní vlhkosti pod měřeným vzorkem. Tuto zkoušku jsem provedla na válcových vzorcích o průměru 100 mm a tloušťce 25 mm. Pro přesné určení relativní vlhkosti pod vzorkem jsem využila sondy a přenosné měřicí ústředny Ahlborn.

Vzorky jsme kontinuálně vážila, abych zjistila hmotností přírůstek vzorků v závislosti na čase a mohla tak určit spočítány součinitel difuzní vodivosti δ [s], součinitel difuze D [$\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$], faktor difuzního odporu μ [-]. Přírůstky hmotnosti v závislosti na čase jsou uvedeny na Obrázku 24. V Tabulce 9 jsou uvedeny vypočtené difúzní parametry.



Obrázek 24 Křivka nárůstu hmotnosti v závislosti na čase

Vynesené přírůstky hmotnosti v závislosti na čase z dry cup metody vykazují lineární přírůstky a nedochází zde k žádným skokům, které by značily nestandardní chování či chybu při měření.

Vypočtené hodnoty spočítány součinitele difúzní vodivosti δ [s], součinitele difuze D [m².s⁻¹], faktoru difúzního odporu μ [-] ukazují, že zvýšená porozita a SAP příměs výrazně ovlivnily veličiny popisující difúzní parametry omítek. Faktor difúzního odporu poklesnul z počáteční hodnoty 7,05 pro referenční omítku až na 2,83 pro omítku s 1,5 hm.% SAP. Toto snížení o více než 50 % opět odkazuje na zvýšenou schopnost SAP částic absorbovat nejen kapalnou ale i plynnou vlhkost.

Tab. 9 Vlhkostní vlastnosti zkoumaných materiálů 2

| Směs | δ [s] | D [m ² .s ⁻¹] | μ [-] |
|-------|--------------|--|-----------|
| R | 2,62E-11 | 3,55E-06 | 7,05 |
| S 0,5 | 3,46E-11 | 4,68E-06 | 5,28 |
| S 1,0 | 4,59E-11 | 6,21E-06 | 3,98 |
| S 1,5 | 5,27E-11 | 7,46E-06 | 2,83 |

Z naměřených veličin jsem dopočítala difúzní odpor materiálu R_d [m.s⁻¹] a ekvivalentní difúzní tloušťku materiálu s_d [m] dle vztahu (19, 20) viz v Tabulce 10.

Tab. 10 Vlhkostní vlastnosti zkoumaných materiálů 3

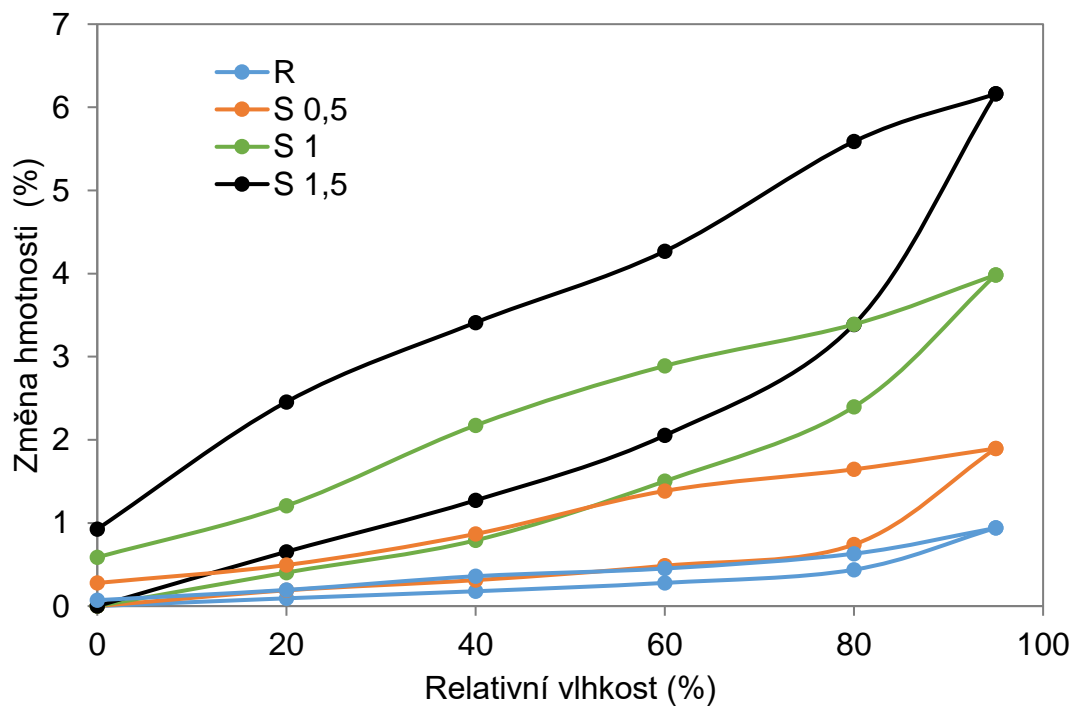
| Směs | s_d [m] | R_d [m.s ⁻¹] |
|-------|-----------|----------------------------|
| R | 1,94 | 1,05E+10 |
| S 0,5 | 1,45 | 7,95E+09 |
| S 1,0 | 1,10 | 5,99E+09 |
| S 1,5 | 1,05 | 5,77E+09 |

Z tabulky vyplývá, že referenční vzorek má o 1,85krát větší s_d a R_d o 1,82krát větší než SAP vzorky. To znamená, že referenční vzorek více brání prostupu vodní páry difúzí.

5.4.3. Sorpce vodní páry

Sorpční a desorpční isotermy popisující schopnost omítek vázat ve svém porézním prostoru molekuly vodní páry jsou znázorněny na Obrázku 25. Z uvedených hodnot je patrné, že příměs SAP vedla k výraznému nárůstu hmotnosti vzorků při zvýšení relativní vlhkosti. Konkrétně u vzorku s 1,5 hm.% SAP došlo až k šestinásobnému zvýšení akumulované vlhkosti v porovnání s referenčním vzorkem. Zvýšená absorpční schopnost SAP se prokázala i při

vystavení vzorků plynné vlhkosti. Při měření bylo ale nutné u vzorků s vyšší příměsí SAP prodloužit dobu měření, protože dosažení ustálené hmotnosti trvalo několikanásobně déle než u referenčního vzorku omítky. U testovaných vzorků omítek se prokázala jejich schopnost reagovat na změnu relativní vlhkosti v prostředí, čímž mohou podobné materiály významně přispět ke zlepšení kvality vnitřního prostředí.



Obrázek 25 Sorpční a desorpční izotermy

6. Závěr

Vlhkost je jedním ze zásadních problémů ve stavebnictví, protože je často příčinou vzniku trhlin a porušení staveb. V současné době se dále ukazuje, že zejména moderní stavby často také vykazují nízké či vysoké hladiny relativní vlhkosti v interiéru, což představuje citelnou zátěž pro obyvatele těchto budov. V souvislosti s touto problematikou jsem se rozhodla věnovat průzkumu nových příměsí, které by mohly zlepšit vlhkostní vlastnosti stavebních materiálů tak, aby umožňovaly překlenout výše popsané problémy. Právě použití superabsorbent polymerů, které nachází uplatnění ve stavebním průmyslu v betonových směsích, představuje slibnou cestu, díky vynikajícím absorpčním vlastnostem, které je možné využít i pro návrh omítkových směsí.

Ve své práci jsem otestovala možnost využití tohoto materiálu jako příměs do omítkových směsí (až do 1,5 hm.%), jakožto složky omítky, která by umožňovala výrazně ovlivnit vlhkostní vlastnosti takto modifikovaných omítkových směsí ve smyslu zvýšené vlhkostní vodivosti. S cílem získat představu o tom, jak SAP ovlivňuje vlastnosti omítek, provedla jsem laboratorní zkoušky vápenocementové omítky s obsahem SAP a samotné vápenocementové omítky. Modifikací omítky superabsorbentem došlo k mírnému zvýšení pórovitosti, a tedy k snížení objemové hmotnosti zkoumaných materiálů. V důsledku větší pórovitosti příměs SAP způsobila mírné snížení pevnosti omítek, což představuje nejvýznamnější negativum spojené s přidáním SAP do omítkových směsí zjištěné v mé bakalářské práci.

Všechny vlhkostní parametry vykázaly významný nárůst, jak v případě absorpčních schopností jak plyné, tak i kapalné vlhkosti. Jinými slovy, takto modifikované omítky umožňují výrazně zvýšit svou funkci v konstrukcích, které jsou vystaveny zvýšené hladině kapalné či plyné vlhkosti a superabsorbent polymer v omítkové směsi je i v takto relativně malém množství schopen výrazně modifikovat vlastnosti omítky. Schopnost materiálu vlhkost zadržet a poté ji znovu uvolnit do okolního prostředí představuje výrazný benefit, který je možné využít v prostorech namáhaných fluktuacemi relativní vlhkosti jako například v moderních stavbách, a to bez nutnosti využití dalších nákladných zařízení.

Kromě toho se zlepšily tepelně izolační vlastnosti omítky díky vyšší pórovitosti, což nebylo hlavním úkolem bakalářské práce, ale může být pozitivním

faktorem při rozhodnutí použití SAP například v sanačních omítkách, kde je možné také zužítkovat zvýšenou vlhkosní vodivost takto modifikovaných omítek.

S přihlédnutím k výše popsaným vlastnostem lze říct, že SAP materiály ve složení omítek mají pozitivní účinek a jsou vhodné do prostředí silně zatíženého zvýšenou vlhkosí. Ve svém dalším studiu a jako téma pro budoucí diplomovou práci bych se ráda zaměřila na další studium těchto omítek a jejich detailnější testování.

Literatura

- [1] M. Gregerová, Petrografie technologických hmot, Brno: Masarykova univerzita, 1996.
- [2] J. Hošek a L. Losos, Historické omítky. Průzkum, sanace, typologie, Praha: Grada, 2007.
- [3] R. Měšťan, Štukatérství, Praha: SNTL, 1988.
- [4] M. Blaha, Omítky, Praha: Grada Publishing, a.s., 2004.
- [5] M. Fridrichová, K. Dvořák a R. Fridrich Omítky, Brno: Era, 2004.
- [6] L. Svoboda a kolektiv, Stavební hmoty, Praha: Jaga Media, s.r.o., 2004.
- [7] P. Rovnaníková, Omítky. Chemické a technologické vlastnosti., Praha: STOP- Společnost pro technologie ochrany památek, 2002.
- [8] M. Tichý, „www.studioaxis.cz/images/pamatky/tichymarek.doc,“ Brno.
- [9] M. Balík a kolektiv, Odvlhčování staveb: 2., přepracované vydání, Praha: Grada, 2011.
- [10] „Server Fire, Department of steel and timber structures Czech Technical University in Prague,“ [Online].
Dostupné z:
http://fire.fsv.cvut.cz/vzdelavani/technici/3/3-3_Omitky+nastriky.pdf.
[Přístup získán 18. 5. 2019].
- [11] V. Heidingsfeld a P. Fára, „Materiál pro stavbu, Sanační omítky,“ č. 6-7, 2002.
- [12] M. Pavlíková, Z. Pavlík aj. Hošek, Materiálové inženýrství I, Praha: České vysoké učení technické, 2011.
- [13] „Sanace vlhkého zdiva,“ Sanax Group s.r.o., [Online].
Dostupné z:
http://www.stado.cz/files/katalogy/Katalog_Sanace_vlhkeho_zdiva_2017.pdf.
[Přístup získán 12. 5. 2019].
- [14] „Vlhké zdivo,“ RealSan, [Online].
Dostupné z:

<https://realsan.cz/poradna/clanky/vlhke-zdivo>.

[Přístup získán 12. 5. 2019].

- [15] „Teoretické zdroje zavlhčení,“ RS servis, [Online].

Dostupné z:

<https://www.rssg.cz/navrh-sanacniho-zasahu/teoreticke-zdroje-zavlhceni>.

[Přístup získán 12. 5. 2019].

- [16] M. Kabiri a J. Zohuriaan-Mehr, „Superabsorbent polymer materials,“ *Iranian Polymer Journal*, sv. XVII, č. 6, pp. 452-470, 2008.

- [17] M. Elliott, „Superabsorbent polymers,“ [Online].

Dostupné z:

http://chimianet.zefat.ac.il/download/Super-absorbant_polymers.pdf.

[Přístup získán 23. 4. 2019].

- [18] V. Mechtcherine a H. Reinhardt, *Application of Super Absorbent Polymers (SAP) in Concrete Construction*, Dresden: Rilem, 2012.

- [19] S. Karnani, „Vikaspedia,“ India Development Gateway. [Online].

Dostupné z:

http://vikaspedia.in/agriculture/crop-production/super-absorbent-polymer-for-agriculture-farming-and-horticulture?b_start:int=5#viewlet-below-content#viewlet-below-content#viewlet-below-content#viewlet-below-content.

[Přístup získán 17. 03. 2019].

- [20] „Falconry superabsorbenty a biotechnologie,“ Falconry s.r.o., 2017. [Online].

Dostupné z:

<http://falconry-cz.com/cz/creabloc-r-sis>.

[Přístup získán 8. 5. 2019].

- [21] J. Kočí, J. Fořt, P. Hotěk, M. Mildner a R. Černý, „Effect of incorporated superabsorbent polymers on workability and hydration process in cement-based materials,“ Katedra materiálového inženýrství, Fakulta stavební, ČVUT, Praha.

- [22] „ČSN EN 1015-3 (722400) Zkušební metody malt pro zdivo - Část 3: Stanovení konzistence čerstvé malty (s použitím střešacího stolku),“ Český normalizační institut, 2000.
- [23] „ČSN EN 1015-10 Stanovení objemové hmotnosti zatvrdlé malty,“ Český normalizační institut, 2000.
- [24] L. Fiala, „Katedra materiálového inženýrství,“ přednáška „Základní materiálové parametry.“ [Online].
Dostupné z:
file:///C:/Users/Akbota/YandexDisk/MAI+Projekt/cvičení/podklady/MAIN_cviceni_2-zakladni_materialove_parametry.pdf.
[Přístup získán 15. 5. 2019].
- [25] „ČSN EN 1015-11 Stanovení pevnosti zatvrdlých malt v tahu za ohybu a v tlaku,“ Český normalizační institut, 1999.
- [26] „Stroje pro zkušebnictví,“ Controls s.r.o., [Online].
Dostupné z:
<https://www.strojeprozkusebnictvi.cz/pripravek-pro-zkousku-v-tahu-za-ohybu.html>.
[Přístup získán 18. 5. 2019].
- [27] „Stroje pro zkušebnictví,“ Controls s.r.o., [Online]. Available:
<https://www.strojeprozkusebnictvi.cz/pripravek-pro-zkousku-v-tlaku.html>.
[Přístup získán 18. 5. 2019].
- [28] „Katedra materiálového inženýrství a chemie,“ přednáška „Tepelné vlastnosti stavebních materiálů.“ [Online].
Dostupné z:
https://tpm.fsv.cvut.cz/vyuka/materialy_izolace/prednaskaIV_IZMA.pdf.
[Přístup získán 6. 5. 2019].
- [29] „ČSN EN ISO 15148 (730312) Tepelně vlhkostní chování stavebních materiálů a výrobků - Stanovení nasákavosti částečným ponořením,“ Český normalizační institut, 2004.
- [30] Z. Pavlík, „Katedra materiálového inženýrství,“ přednáška „Vlastnosti stavebních hmot ve vztahu k jejich struktuře II,“ [Online].
Dostupné z:

http://tpm.fsv.cvut.cz/student/documents/files/MI%20I/studmat/vlastnosti_I.pdf.

[Přístup získán 16. 4. 2019].

[31] „ČSN EN ISO 12572 Tepelně vlhkostní chování stavebních materiálů a výrobků - Stanovení vlastností prostupu vodní páry - Misková metoda,“ Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2019.

[32] L. Fiala, „Katedra materiálového inženýrství,“ přednáška „Transport vodní páry.“ [Online].

Dostupné z:

http://tpm.fsv.cvut.cz/student/documents/files/TVVM/para_old.pdf.

[Přístup získán 16. 4. 2019].

[33] „Tzb-info, Hodnoty fyzikálních veličin vybraných stavebních materiálů, 2001,“ 2001. [Online].

Dostupné z:

<https://stavba.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/58-hodnoty-fyzikalnich-velicin-vybranych-stavebnich-materialu#t06>.

[Přístup získán 16. 4. 2019].

Seznám obrázků

| | |
|---|----|
| Obrázek 1 Destrukční krystalizační proces [13]..... | 18 |
| Obrázek 2 Srážková voda [15]..... | 18 |
| Obrázek 3 Vzlínající vlhkost [15]..... | 19 |
| Obrázek 4 Kondenzační voda [15]..... | 19 |
| Obrázek 5 Hydroskopická vlhkost [15]..... | 20 |
| Obrázek 6 Schematické znázornění polymerní sítě [17]..... | 23 |
| Obrázek 7 Hydratace SAP částic [17]..... | 23 |
| Obrázek 8 Sdílení atomů vodíku mezi dvěma atomy kyslíku [17]..... | 23 |
| Obrázek 9 Změna tvaru řetězce při přidání vody [16,17] | 24 |
| Obrázek 10 Tvar částic roztokovou polymerací [18] | 26 |
| Obrázek 11 Tvar částic suspenzní polymerací | 26 |
| Obrázek 12 Distribuce velikostí částic cementu a SAP [21]..... | 31 |
| Obrázek 13 Vápenocementová omítka v pytli..... | 32 |
| Obrázek 14 Střásací stolek..... | 34 |
| Obrázek 15 Měření průměru čerstvé malty..... | 34 |
| Obrázek 16 Heliový pyknometr [24] | 36 |
| Obrázek 17 Přípravek pro zkoušku v tlaku za ohybu [26]..... | 37 |
| Obrázek 18 Přípravek pro zkoušku v tlaku [27] | 38 |
| Obrázek 19 Isomet 2104..... | 40 |
| Obrázek 20 Příprava přístrojů a vzorků | 44 |
| Obrázek 21 Vložený kabel do misky | 44 |
| Obrázek 22 Měření hmotnosti a vlhkosti..... | 45 |
| Obrázek 23 Přístroj DVS-Advantage | 47 |
| Obrázek 24 Křivka nárůstu hmotnosti v závislosti na čase | 52 |
| Obrázek 25 Sorpční a desorpční izotermy..... | 54 |

Seznám tabulek

| | |
|--|----|
| Tab. 1 Základní typy omítek dle pojiva [4]..... | 11 |
| Tab. 2 Hodnoty rozlití..... | 33 |
| Tab. 3 Výsledné složení omítkových směsí | 33 |
| Tab. 4 Základní vlastnosti zkoumaných materiálů | 48 |
| Tab. 5 Mechanické vlastnosti zkoumaných materiálů | 49 |
| Tab. 6 Tepelně-fyzikální vlastnosti zkoumaných materiálů | 50 |
| Tab. 7 Tepelně-technické vlastnosti zkoumaných materiálů..... | 50 |
| Tab. 8 Vlhkostní vlastnosti zkoumaných materiálů 1 | 51 |
| Tab. 9 Vlhkostní vlastnosti zkoumaných materiálů 2 | 53 |
| Tab. 10 Vlhkostní vlastnosti zkoumaných materiálů 3 | 53 |