

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
Fakulta stavební



DIPLOMOVÁ PRÁCE


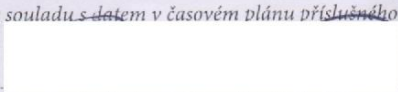


ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE


Příjmení: Šípek	Jméno: Jakub	Osobní číslo: 396684
Zadávací katedra: K124 - Katedra konstrukcí pozemních staveb		
Studijní program: (N3649) Budovy a prostředí		
Studijní obor: (3608T006) Budovy a prostředí		

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce: Transport solí a tvorba výkvětů na površích historických cihel – praktická analýza	
Název diplomové práce anglicky: Transport of salts and efflorescence formation on the surfaces of historical bricks - practical analysis	
Pokyny pro vypracování: Vyberte vhodné plné pálené cihly reprezentující co nejlépe cihly historického zdiva. Na základě rešerše určete tři konkrétní druhy solí vhodně reprezentující nejčastěji přítomné soli v historickém zdivu (zástupce chloridů, dusičnanů a síranů). Na základě laboratorních experimentů zjistěte, při jakém vlhkostním a solném profilu v cihle již dále nedochází k tvorbě solných výkvětů na jejím „vnitřním“ povrchu (povrch při interiérových podmínkách). Zjistěte tyto údaje pro všechny tři zvolené zástupce solí. Experimenty je vhodné předem spočítat pro stanovení jejich časového rozvržení. Seznam doporučené literatury: BALÍK, Michael. Odvlhčování staveb. 2., přeprac. vyd. Praha: Grada, 2008. Stavitel. ISBN 978-80-247-2693-9. NEUBERGOVÁ, Stanislava. Analýza vlivu vybraných degračních činitelů na fyzikálně mechanické vlastnosti přírodního kamene.	
Jméno vedoucího diplomové práce: prof. Ing. Jan Tywoniak, CSc. ; konzultant diplomové práce: Ing. Jan Richter	
Datum zadání diplomové práce: 2.10.2017	Termín odevzdání diplomové práce: 7.1.2018
	
Podpis vedoucího práce	Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

<u>10.10.2017</u>	
Datum převzetí zadání	Podpis studenta(ky)

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně, za odborného vedení mého konzultanta diplomové práce Ing. Jana Richtra. Veškeré podklady, ze kterých jsem čerpal, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

.....

podpis

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
Fakulta stavební



TRANSPORT SOLÍ A TVORBA VÝKVĚTŮ NA POVRŠÍCH
HISTORICKÝCH CIHEL – PRAKTICKÁ ANALÝZA

TRANSPORT OF SALTS AND EFFLORESCENCE FORMATION ON THE
SURFACES OF HISTORICAL BRICKS – PRACTICAL ANALYSIS

Autor: Bc. Jakub Šípek

Studijní obor: Budovy a prostředí

Vedoucí práce: prof. Ing. Jan Tywoniak, CSc.

Poděkování

Chtěl bych poděkovat vedoucímu mé diplomové práce prof. Ing. Janu Tywoniakovi, CSc., za umožnění její realizace. Dále děkuji Ing. Janu Richterovi za odborné vedení, připomínky a cenné rady v průběhu tvorby diplomové práce.

Další poděkování patří paní Ivaně Loušové za poskytnutí odborné pomoci při měření obsahu solí ve vzorcích.

Abstrakt

U starých nebo historicky významných budov se často vyskytují problémy způsobené zvýšenou vlhkostí ve spodní stavbě. Problém často způsobí chybějící hydroizolace spodní stavby. Spolu s vodou do konstrukce pronikají i jiné škodlivé látky, které jsou rozpuštěné ve vodě. Významnou částí těchto látek jsou vodorozpustné soli, které mají destruktivní účinky na stavební materiály a je nutné se jimi zabývat. V dnešní době je už mnoho metod, jak se zbavit vlhkosti a snížit destruktivní vlivy solí. Jednotlivé metody je ale zapotřebí neustále zlepšovat, aby sanace byla efektivnější a pokud možno i rychlejší. Pro vhodnou sanaci je potřeba znát, jak se bude chovat zdivo při konkrétním zasolení a předvídat určité hrozby, které by mohly nastat.

Ve své práci se zabývám transportem solí a tvorbě výkvětů na površích cihel. Mým úkolem je určit, při jakém vlhkostním a solném profilu ustane na cihlách tvorba solných výkvětů. Experimenty budu provádět v interiérových podmínkách. Tyto výsledky by mohly být užitečné při sanaci historických staveb, kde kvůli vlivu zasoleného zdiva musela být odebrána cenná malba. Vysoušení masivního historického zdiva je velmi pomalé a trvá několik let. Proto by bylo dobré znát, při jakém vlhkostním a solném profilu zdiva už je bezpečné historickou malbu vrátit.

Klíčová slova

Sanace zdiva, odvlhčování zdiva, desalinizace zdiva.

Abstract:

At old or historically significant buildings are often problems caused by increased moisture in lower construction. Problem is often caused by missing hydro isolation of lower construction. Together with water other harmful substances, which are dissolved in water, penetrate into construction. Significant part of these substances are water-soluble salts, which have destructive effects on building materials and it is necessary to deal with them. Nowadays, there are already a lot of methods, how to get rid of moisture and reduce the destructive effects of salt. Individual methods need to be continually improved to make remediation more effective and if possible faster. For proper remediation is necessary to know how the masonry will perform in particular salinity and to anticipate specific threats, that might occur.

In my work I deal with transport of salts and creation of efflorescences on surface of bricks. My task is to determine at what moisture and salt profile it will stop creation of salt efflorescence on bricks. I will carry out the experiments in interior conditions. This information could be helpful in remediation of historical buildings, where valuable paintings has to be removed because of the influence of salty masonry. The drying of the massive historical masonry is very slow and lasts for several years. Therefore it would be good to know, at what moisture and salt profile of masonry it is safe to return the historical painting.

Key words

redevelopment of masonry, moisture removal and control, masonry desalination

Obsah

1 Úvod	6
2 Teorie transportu solí	8
2.1 Mechanismy způsobující transport vody a vlhkosti v porézních materiálech	8
2.1.1 Difuze.....	8
2.1.2 Kapilární vedení vlhkosti	10
2.1.3 Povrchová kondenzace.....	10
2.1.4 Sorpce.....	11
2.1.5 Kapilární kondenzace	12
2.1.6 Vysychání.....	13
2.2 Vlastnosti stavebních hmot související s vlhkostí	14
2.2.1 Smáčivost a nasákavost.....	14
2.2.2 Porozita	15
2.2.3 Mrazuvzdornost	16
2.2.4 Odolnost vůči krystalizaci solí	16
2.2.5 Rozpustnost a vyluhování.....	16
2.3 Zdroje solí	17
2.1.1 Soli zabudované v konstrukci	17
2.1.2 Soli ze vzlínající vlhkosti.....	17
2.1.3 Soli vzniklé chemickou korozí.....	18
2.1.4 Soli z biologických zdrojů.....	18
2.1.5 Soli ze sanačních opatření	18
2.2 Druhy solí.....	19
2.2.1 Sírany	20
2.2.2 Chloridy	21

2.2.3 Dusičnany	21
2.2.4 Uhličitany.....	22
2.2.5 Dusitany.....	22
2.3 Destruktivní procesy solí	23
2.3.1 Krystalizace solí	23
2.3.2 Hydratace solí.....	24
2.3.3 Hygroskopická nasákavost	25
2.4 Sanace zasoleného zdiva	27
2.4.1 Měření salinity.....	27
2.4.2 Zatřídění zdiva podle salinity.....	28
2.4.3 Snížení vlivu solí jejich redukcí (desalinizace)	29
Mechanické čištění.....	29
Odstranění zasolené části konstrukce.....	29
Adsorpční obklady a sanační omítky	29
Elektroosmotické metody	31
Nové metody odsolování	31
2.4.4 Snížení vlivu solí bez redukce jejich obsahu	31
Regulace a stabilizace klimatu.....	31
Převedení vodorozpustných solí na nerozpustné	32
Hydrofobizace	32
2.5 Změna vlastností cihly jejím zasolením	32
3 Laboratorní experimenty	33
A) Vedlejší experimenty.....	35
3.1 Sledování vlivu solí na těsnící materiály.....	35
3.1.1 Úvod	35
3.1.2 Postup zkoušky.....	35

3.1.3	Výsledky.....	37
3.1.4	Diskuze	39
3.1.5	Závěr.....	39
3.2	Sledování přilnavosti těsnících materiálů	40
3.2.1	Úvod	40
3.2.2	Postup zkoušky.....	40
3.2.3	Výsledky.....	42
3.2.4	Diskuze	43
3.2.5	Závěr.....	43
A)	Hlavní experimenty	44
3.3	Stanovení nasákavosti s částečným ponořením	44
3.3.1	Úvod	44
3.3.2	Metody	44
	Příprava vzorků a roztoků	44
	Zařízení a pomůcky.....	46
	Zkušební podmínky	46
	Zkušební postup	47
	Začátek a konec zkoušky	49
3.3.3	Výsledky.....	50
3.3.4	Diskuze	53
3.3.5	Závěr.....	54
3.4	Vysoušecí experiment	55
3.4.1	Úvod	55
3.4.2	Metody	55
	Příprava vzorků.....	55
	Zařízení a pomůcky.....	55

Zkušební postup	56
Zkušební podmínky	56
Začátek a konec zkoušky	57
3.4.4 Výsledky.....	57
3.4.4 Diskuze	60
3.4.5 Závěr	62
3.5 Stanovení vlhkosti sušením při zvýšené teplotě	63
3.5.1 Úvod	63
3.5.2 Metody	63
Příprava vzorků.....	63
Zařízení	64
Zkušební podmínky	64
Zkušební postup	64
3.5.3 Výsledky.....	65
3.5.4 Diskuze	66
3.5.5 Závěr	67
3.6 Stanovení solného profilu	67
3.6.1 Úvod	67
3.6.2 Metody	67
Příprava vzorků.....	67
Zařízení a pomůcky.....	68
Zkušební postup	68
3.6.3 Výsledky.....	71
3.6.4 Diskuze	72
3.6.5 Závěr	73
4 Závěr	74

Použitá literatura.....	Chyba! Záložka není definována.
Seznam obrázků	75

1 Úvod

U mnoha staveb, zejména historických nebo objektů určených k méně náročným účelům, chybí hydroizolace spodní stavby. Hydroizolace buď nebyla provedena nebo systémy jsou dožité a časem ztratily svou funkci. Dříve měly na vytvoření hydroizolační obálky méně systémů než nyní a většinou byla prováděna jen u významnějších staveb. Byly to například církevní stavby, městské středověké domy a empírové romantické vily. Omezení pronikání vlhkosti se řešilo vkládáním ostře pálených keramických materiálů nebo kamenných desek. V patě obvodového zdiva nebo u kleneb byly pro izolaci využívány jílové vrstvy. Častým řešením odvodu vlhkosti bylo pomocí větracích kanálků v podlahách a při obvodě objektu.

[1]

Kvůli dlouho nefungujícímu hydroizolačnímu systému se do konstrukcí transportovalo velké množství vlhkosti. Voda v konstrukci ovlivní mechanické vlastnosti (pevnost a únosnost), tepelně-izolační vlastnosti a zapříčiní výskyt mikrobiologických škůdců. Značně se tím zhorší využívání stavby a vzniklé prostředí bude mít negativní účinek na lidské zdraví.

Spolu s vodou se do konstrukce dostanou i jiné škodlivé látky, které znásobují negativní účinky. Mezi významné škodliviny patří soli, které s vodou urychlí degradaci stavebních materiálů. Soli se při vysychání zdiva transportují směrem na povrch a tam vykrystalizují. Důsledkem toho se vytvářejí na stěnách solné výkvěty, takzvané eflorescence, které nepříznivě ovlivní estetický vzhled stavby. Častým narušením konstrukce solí je odpadávání omítky. Poškození solí může být nebezpečné i z hlediska únosnosti konstrukcí.

Abychom zlepšili využití takto zatížených budov, je zapotřebí provedení sanace. Pro správnou sanaci je potřeba mít přehled o vlastnostech materiálů a mechanismu transportu vody.

Ve své práci se budu věnovat transportu solí a tvorbě výkvětů na površích cihel. Cihly jsem vybral kvůli velkému používání v historických stavbách, takže jejich výskyt v daném problému bude častý. Z tohoto důvodu budu muset pečlivě vybrat výrobce cihel, aby vlastnosti mé cihly nejvíce odpovídaly těm historickým. Zaměřím se na představitele solí ze skupin chloridu, dusičnanu a síranu, jejichž výskyt u zasolených staveb je častý. Tyto skupiny solí jsou pro ochranu staveb velice zásadní, protože většina jejich solí je velmi dobře rozpustná ve vodě. Při zkouškách budu simulovat vnitřní povrch cihel ze zdiva. Bude se

jednat o zjednodušení, protože úplně zanedbám maltu a omítku ve zdivu. Nejdříve cihly podrobím nasákavosti různých koncentrací solných roztoků. Následně budu při vysychání cihel sledovat výkvěty solí. Po těchto zkouškách ještě stanovím vlhkostní a solný profil cihel. Výsledky ukáží, jakým způsobem se jednotlivé soli v cihle transportují a jak ovlivní vlhkostní profil.

2 Teorie transportu solí

U konstrukcí, kde se vyskytuje problém se zvýšenou vlhkostí, se může objevit výskyt solí. Voda totiž funguje jako transportní médium pro další škodliviny, které se potom různým způsobem i mírou podílejí na degradaci povrchů stavebních materiálů. Voda, která migruje do porézního materiálu, zapříčiní transport nebo i vznik solí v těchto materiálech. Sůl se hromadí v určitých místech v konstrukci a často dochází k poruše stavebního materiálu. [1]

2.1 Mechanismy způsobující transport vody a vlhkosti v porézních materiálech

Vlhkost je nedílnou součástí všech pórových stavebních materiálů. Problém s vlhkostí nastává, když dochází k její kumulaci, která urychlí degradační procesy. Na degradaci materiálu se také budou podílet látky, které pronikly do materiálu spolu s vlhkostí. Základní podmínkou transportu vlhkosti v konstrukci je přítomnost póru ve stavebním materiálu. Jde zejména o otevřené póry, protože látky s uzavřenými póry nepodléhají transportním procesům. Proto se při sanaci musí brát zřetel na pórovou strukturu stavebních materiálů. [1]

Vlhkost se může dostat do materiálu v plynné i kapalně fázi. Proniká třemi způsoby: difuzí vodní páry, šířením kapalně vody a prouděním vlhkého vzduchu. Při šíření se uplatňují jevy jako jsou fázové změny, absorpce vody na stěnách pórového systému a kapilární efekty. [1], [2]

2.1.1 Difuze

Mezi interiérem a exteriérem jsou rozdílné klimatické podmínky (rozdíly vlhkosti a teploty vzduchu), které zapříčiní, že mezi danými prostory jsou tlakové rozdíly. Vyrovnáváním tlakového rozdílu dochází k transportu vodní páry, který nazýváme difuzní tok. Směr difuzního toku je vždy z místa s vyšším parciálním tlakem vodní páry do místa s tlakem nižším. Hustotu hmotnostního toku vodní páry lze určit podle Fickova zákona (1):

$$q = -\delta p \cdot \text{grad } p_v \quad (1)$$

kde je q hustota hmotnostního toku vodní páry [$\text{kg m}^{-2} \text{s}^{-1}$];
 p_v skutečný částečný tlak vodní páry [Pa];
 δp součinitel difuze vodní páry příslušným materiálem [s].

Při difuzi jsou dva hnací mechanismy, a to gradient tlaku a gradient teploty (termoosmóza). Gradient teploty přivádí vodu k místům s vyšší teplotou, tj. působí v opačném směru než difuze. Jestli bude docházet transportu vlhkosti k vnitřnímu nebo vnějšímu povrchu, závisí na součtu těchto dvou sil. K difuzi dochází jen v kapilárních pórech vyplněných vzduchem a v těch, které nejsou zcela zaplněny vodou. Naopak působení termoosmózy je převážně v kapilárách nejužších, které musí být zcela zaplněny vodou. Při skladbě konstrukcí musíme brát zřetel na difuzní odpor (μ) a teplotním součinitelem (λ) jednotlivých vrstev, abychom zamezili kondenzaci vody v konstrukci. Vhodný návrh skladby je, když součin difuzního odporu s teplotním součinitelem klesá směrem k exteriéru. [1]

Propustnost materiálu pro vodní páru

Propustnost materiálů hodnotíme podle koeficientu propustnosti pro vodní páru δ a difuzní ekvivalentní tloušťky s_d . Koeficient propustnosti materiálu pro vodní páru δ se vyjádří podle tohoto vztahu (2)

$$\delta = V \times d / \Delta p \quad (2)$$

kde je V propustnost pro vodní páru [$\text{g/m}^2 \cdot \text{den}$];
 d tloušťka vrstvy v metrech;
 Δp rozdíl tlaku vodních par mezi oběma stranami vrstvy.

Difuzní ekvivalent tloušťky s_d je přepočtení materiálu na tloušťku statické vzduchové vrstvy v metrech, která vykazuje za stejných podmínek stejnou rychlost pronikání vodní páry jako měřený materiál. Je vyjádřen vztahem (3)

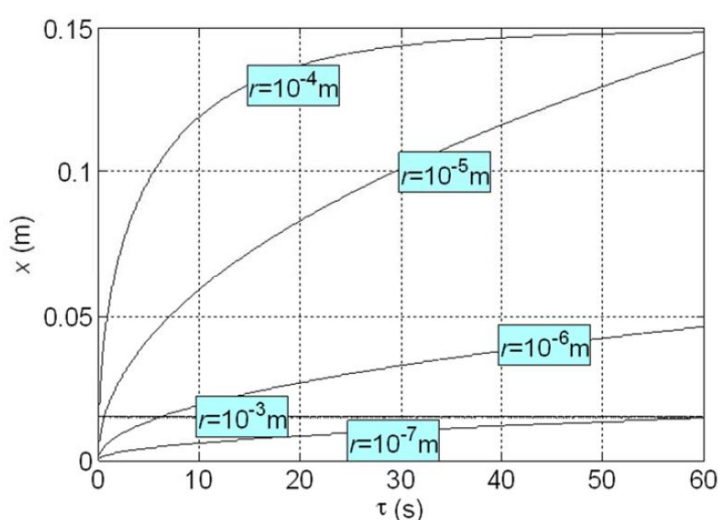
$$s_d = \delta_L / \delta(x) \quad (3)$$

kde je δ_L koeficient propustnosti vzduchu.

Ekvivalentní difuzní tloušťka se používá hlavně pro vyjádření difuzních vlastností materiálů, které jsou tenké. Například se jedná o parotěsné fólie, nátěry a omítkové systémy. [1], [2]

2.1.2 Kapilární vedení vlhkosti

Kapilární vedení vlhkosti je charakteristické pro vodou smáčivé materiály, což je většina stavebních materiálů. Při kontaktu pórového materiálu s vodou dojde k intenzivnímu nasávání vody nezávisle na sklonu pórů. Vztlínání závisí na tvaru a poloměru pórů (obr. 1). U silnějších kapilár kapalina vystoupá rychleji do maximální možné výšky. To je způsobeno nižším třením v těchto kapilárách. U tenkých kapilár probíhá vztlínání vody mnohem pomaleji, ale dosáhnou větší maximální výšky vztlínutí. Transport vlhkosti vztlínání se projevuje u stavebních materiálů s poloměrem pórů od 10^{-7} do 10^{-4} m.



Obrázek 1 Vzestup hladiny v kapiláře o různých poloměrech v čase

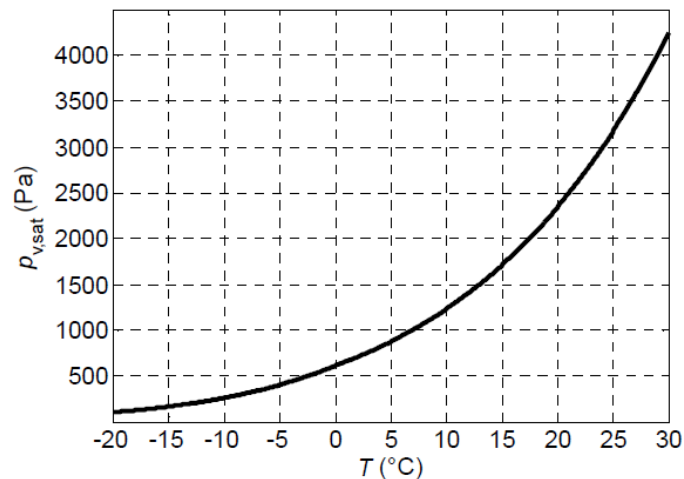
Vztlínání je nejčastěji způsobeno vlnutím konstrukcí působením zemní vlhkosti, proto ve vodě jsou často rozpuštěné minerály solí. Vztlínající voda nasycená solemi způsobí, že postupně soli ve zdivu budou krystalizovat a sedimentovat na stěnách pórů. To způsobí rýhování stěn pórů. Zmenšují se průměry pórů a dochází ke změně pórové distribuce a vztlínání dosáhne vyšších výšek. [1], [3]

2.1.3 Povrchová kondenzace

Vzduch při dané teplotě může pojmout jen určité množství vodní páry. Toto maximální množství se nazývá částečný tlak nasycené vodní páry $p_{v,sat}$ (obr. 2). Relativní vlhkost φ vzduchu se vyjádří poměrem částečného tlaku vodní páry p_v a částečného tlaku nasycené vodní páry $p_{v,sat}$ (4).

$$\varphi = p_v / p_{v,sat} \cdot 100 [\%] \quad (4)$$

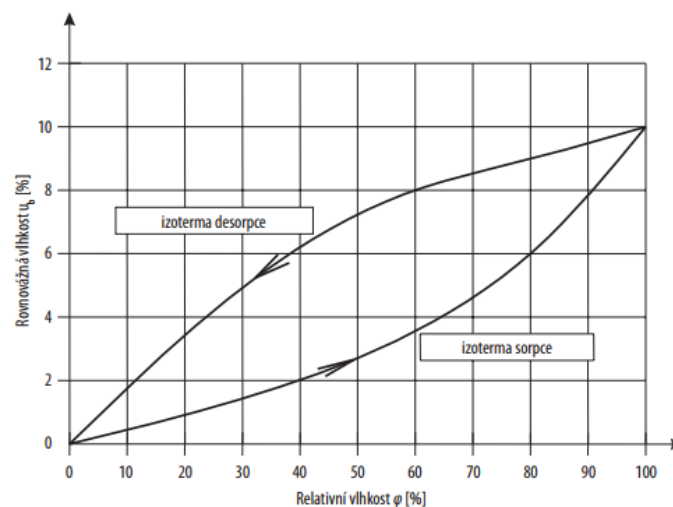
Zcela nasycený vzduch vodní párou má relativní vlhkost 100 %. Tato situace nastane při vyrovnání parciálních tlaků $p_v = p_{v,sat}$. Při poklesu teploty nebo zvětšení $p_{v,sat}$ dojde ke kondenzaci veškeré přebytečné páry. Kondenzace se projeví ve formě mlhy, kapiček vody (rosa), jinovatkou apod. [1], [2], [4]



Obrázek 2 Závislost $p_{v,sat}$ na teplotě

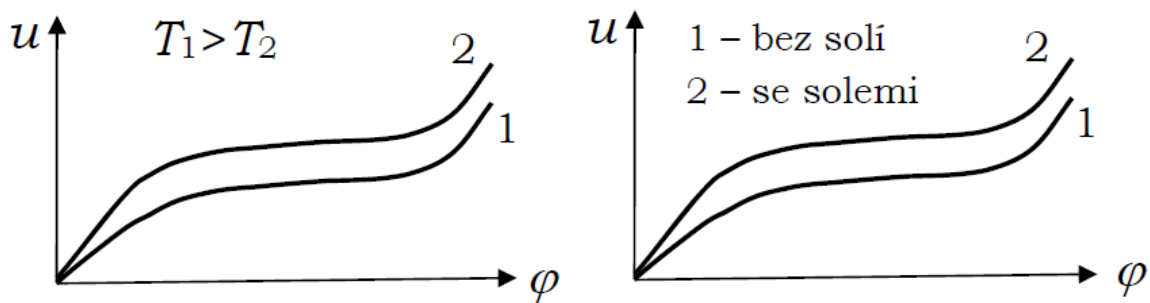
2.1.4 Sorpce

Stavební materiály pohlcují vodní páru z prostředí, dokud nedojde k rovnovážnému stavu. Tento jev nazýváme sorpce. Opačným případem je desorpce. Materiál se zpětně vysušuje (relativní vlhkost obklopujícího vzduchu se postupně snižuje). Vliv sorpce a desorpce je závislý na teplotě prostředí a na parciálním tlaku. Mezi izotermami sorpce a desorpce je vždy rozdíl. Tento rozdíl se nazývá hysteréze sorpce (obr. 3).



Obrázek 3 Hysteréze sorpce

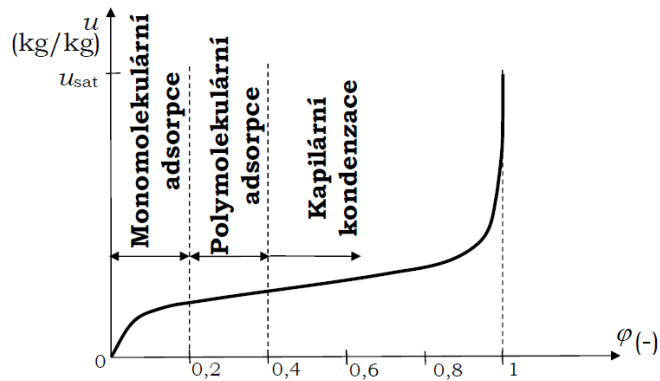
Sorpční křivka stavebních materiálů má většinou esovitý tvar. Vliv teploty na sorpční křivku je takový, že s rostoucí teplotou se posune směrem dolů (obr. 4). Při vyšší teplotě je pro molekuly vody obtížnější udržet se na stěnách pórů. Hodně také ovlivní křivku rozpuštěné soli v materiálu. Částečný tlak nasycené vodní páry nad hladinou roztoku soli je nižší než nad hladinou vody, proto stejná hodnota vlhkosti bude u slaného materiálu odpovídat nižší relativní vlhkosti (obr. 4). [1], [2], [9]



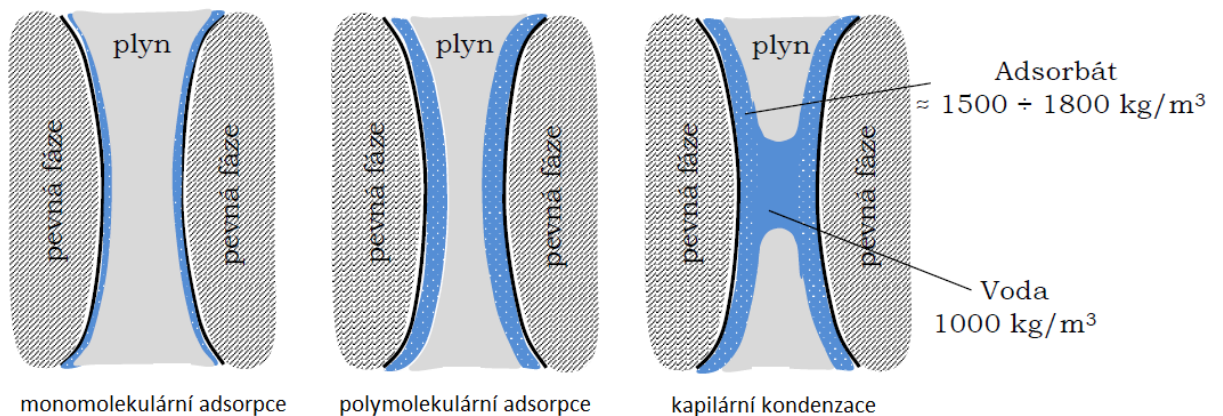
Obrázek 4 Vliv teploty a rozpuštěných solí na polohu izotermy

2.1.5 Kapilární kondenzace

Do cca 40 % relativní vlhkosti prostředí dochází k hromadění molekul tekutiny (adsorbátu) na stěny póru (adsorbent). Postupně jak se zvyšuje relativní vlhkost, tak přibývá vrstev adsorbátu. Nejprve se jedná o monomolekulární adsorpci (jedna vrstva molekul na stěnách pórů). Potom se začínou ukládat molekuly vody na sebe. Jedná se o polymolekulární adsorpci (obr. 5,6). Adsorbát má vyšší hustotu než běžná voda a pohybuje se v rozmezí 1500 až 1800 kg/m³. Adsorbát je pevně vázaný k povrchu a nemůže se přemísťovat. Při zvyšování relativní vlhkosti (cca 40%) v jednu chvíli dojde k propojení protilehlých vrstev adsorbátu a vytvoření menisku volné kapaliny (obr.7). Tento jev se nazývá kapilární kondenzace. Kapilární kondenzát je přemísitelný a jeho hustota je 1000 kg/m³. Kapilární kondenzace je přímo závislá na četnosti pórů podle jejich poloměrů. Ke kapilární kondenzaci dochází nejdříve ve velmi tenkých pórech. Například v kapilárách s poloměrem kolem 10⁻⁶ m začne kondenzovat vodní pára při cca 75 % relativní vlhkosti vzduchu.



Obrázek 5 Přibližné rozhraní mezi jednotlivými fázemi sorpce vody



Obrázek 6 Jednotlivé fáze při plnění póru molekuly vody

Tento jev zapříčiní, že dvě látky, které mají stejný objem pórů, nebudou mít ve stejných podmínkách totožnou vnitřní vlhkost, protože se bude lišit velikost jejich pórů. [1], [3]

2.1.6 Vysychání

Vedle difuze, která má rozhodující význam, se při transportu vlhkosti uplatní i kapilární vedení podle zakřivené čáry průběhu vlhkosti (vysychající fronty). V počátku dochází k volnému vypařování do okolního prostředí a po určité době se vypařovací zóna posune do nitra konstrukce. Volné vypařování už nemůže pokračovat a vodní pára se k povrchu musí dostat difuzí, odkud se odpaří do okolního prostředí. Vysychání závisí na rozdílu parciálních tlaků vodních par, na rychlosti proudění vzduchu, jeho vlhkosti a teplotě. Vysychání je velmi ovlivněno distribucí průměru a charakterem (tvarem) pórů. Například pomalejší vysychání bude u materiálu, který má zakřivené póry. Rychlost vysychání závisí i na charakteru a členitosti stěn pórů. Například rýhování stěn způsobí zpomalení vysychání, protože budou vyšší kapilární síly a větší bude i tření difuzní páry o členité stěny pórů.

Výpočet doby vysoušení neomítnutého nezasoleného zdiva podle Cadierguese (5):

$$t=S \cdot d^2 \text{ [dny]} \quad (5)$$

kde je d tloušťka zdiva [cm]

S faktor v závislosti na druhu stavebního materiálu, pro CPP se udává hodnota 0,28.

Zasolené zdivo vysychá značně pomaleji. Doba potom bude záviset na druhu soli a její koncentraci. U jednotlivých solí se totiž liší hodnota teploty odparu z povrchu roztoků při stejných podmínkách a koncentrací. [1]

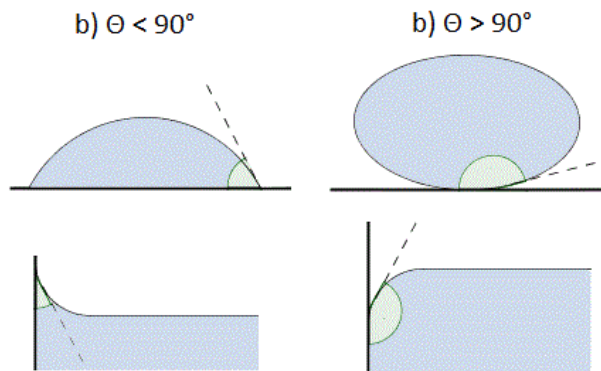
2.2 Vlastnosti stavebních hmot související s vlhkostí

Jak bude dobře pronikat voda do konstrukce, závisí na struktuře jednotlivých materiálů.

2.2.1 Smáčivost a nasákavost

Smáčivost

Smáčivost udává, jak se kapalina bude chovat k pevné látce (podkladu). U smáčivých podkladů kapaliny vytvoří tenkou vrstvu filmu na povrchu. U nesmáčivé látky se vytvoří co nejmenší styčné plochy, kapalina se balí do kuličky, kapky. Většina zdících prvků je pro vodu smáčivá. Materiály můžeme upravit na nesmáčivé pomocí hydrofobizátorů. Smáčivost je charakterizována pomocí smáčecího úhlu Θ . Jedná se o úhel mezi tečnou povrchu v místě kontaktu a povrchem podkladu (obr. 7). Pokud je ostrý úhel, materiály jsou smáčivé. Tupý úhel je u hydrofobních materiálů. [1]



Obrázek 7 Smáčecí úhel styku tuhé a kapalné fáze: a) smáčení; b) nesmáčení – hydrofobní materiál

Nasákavost

Hodnota nasákavosti udává, jak je materiál schopný do sebe přijímat vodu.

Nasákavost jednotlivých materiálů se porovnává pomocí součinitele nasákavosti, který se počítá podle vzorce (6):

$$A = (m(t) - m(t_0)) / (A_c \cdot \sqrt{t}) \quad (6)$$

Kde je $m(t)$ hmotnost vzorku v čase t [kg];

$m(t_0)$ hmotnost vzorku na počátku zkoušky [kg];

A_c Plocha vzorku, která je v kontaktu s vodou [m^2].

Čím větší bude hodnota součinitele nasákavosti, tím bude i rychlejší vztlínání vody do materiálu. [1], [3]

2.2.2 Porozita

Porozita je objem póru ve stavebním materiálu. Porozita se vyjadřuje v procentech, kolik činí objem vzduchových pórů z daného materiálu. [1], [5]

Charakter a velikost pórů

Kromě objemu pórů je důležitá jejich velikost a tvar. Velkou roli hraje, jestli póry jsou otevřené nebo uzavřené. Do otevřených pórů může pronikat voda, uzavřené póry jsou pro vodu prakticky nepřístupné. Přítomnost otevřených pórů umožňuje a výrazně ovlivňuje transport vlhkosti. Další roli při transportu vlhkosti hraje, zda jsou póry zahnuté a jaká je drsnost povrchu vzduchové dutiny. V materiálech nás zajímá zastoupení velikosti pórů v kontrolním objemu materiálu. Při rozhodování sanačních opatření je pórovitá struktura

jedním z nejdůležitějších údajů. Podle porozity se určí množství vody, které se do zdiva může dostat. [1], [3]

2.2.3 Mrazuvzdornost

Odolnost proti zmrazovacím cyklům je schopnost materiálu odolávat přeměně vody v led. Při nízkých teplotách dochází ke změně skupenství vody v pórech, a to způsobí vnitřní napětí. Dojde k mechanickému rozrušování struktury a rozpadu materiálu. Rozsah a způsob poškození závisí na velikosti a charakteru pórů. Hodnota bodu mrazu se liší podle velikosti pórů (tab. 1). Při změně teploty dochází i ke změně mechanických vlastností. Klesající teplotou vzrůstá tlaková pevnost. Dále dochází ke změnám mezního přetvoření. [1], [5]

Tabulka 1 Závislost bodu mrazu na velikosti pórů

Druh vody	Velikost a poloměr pórů	Bod mrazu [°C]
Volná	$r > 0,1 \text{ mm}$	0 až -4
Kapilární	$r < 0,01 \text{ mm}$	-20 až -30
Adsorbovaná	$3 \text{ nm} < r < 10 \text{ nm}$	-30 až -80
Adsorbovaná gelová	$r < 3 \text{ nm}$	Méně než -80
Chemicky vázaná	-	-

2.2.4 Odolnost vůči krystalizaci solí

Je schopnost odolávat krystalickým tlakům způsobené při vykrytalizování solí ze solného roztoku. Odolnost materiálu se stanovuje po několika cyklech ponoření do solného roztoku a následným vyschnutí vzorku. Pro testování se používá roztok síranu sodného, protože jeho krystalizační tlak i rozpustnost jsou velké, a proto není zapotřebí provádět tolik cyklů. I zde bude mít velký význam obsah a charakter pórů materiálu. [1]

2.2.5 Rozpustnost a vyluhování

Rozpustnost materiálu je úbytkem hmoty, který z materiálu odebrala voda. Rozpustnost se stanoví při zkoušce, kde se vzorky ponoří na dlouhou dobu do vody. Také se určuje vyluhování materiálu pod tekoucí vodou. [1]

2.3 Zdroje solí

Soli pronikají do stavebních konstrukcí z mnoha zdrojů, a proto jsou produktem reakce polutantů se stavebním materiálem. Zdroje jsou například z vlastního stavebního materiálu, z podzákladí, z poškozených odpadních potrubí, ze zasolených vozovek a z ovzduší. Je naprosto běžné, že se ve stavebním materiálu bude vyskytovat několik druhů solí. [26]

2.1.1 Soli zabudované v konstrukci

Některé vodorozpustné soli si můžeme už sami zabudovat do konstrukce, kvůli složení a kvalitě výroby jednotlivých stavebních materiálů. Různé druhy solí mohou být například obsaženy v samotných cihlách, záleží z jak kvalitního jílu byly vypáleny. V některých cementech se vyskytuje sádra a alkálie, a u některých nátěrových systémů se též mohou objevit alkálie. Dalším zdrojem solí může být použití nekvalitního kameniva nebo písku. [1]

2.1.2 Soli ze vzlínající vlhkosti

Většinou se velká část obsahu solí dostane do konstrukce vzlínající vlhkostí. Problém obvykle nastává u spodní stavby budovy, jelikož je zde velké množství zdrojů vlhkosti (podzemní vlhkost, podzemní voda, průsaky, odstříkující voda, kondenzace). Voda proniká do konstrukce kvůli obsahu pórů v materiálu. Fungují zde takzvané kapilární síly v pórech o velikostech 10^{-3} až 10^{-9} m, které dostanou vodu do vyšší části budovy spolu s dalšími škodlivinami rozpuštěnými ve vodě. Mezi výrazné škodliviny patří vodorozpustné soli. Při vysoušení zdiva se soli začnou koncentrovat blízko povrchu zdiva, v jeho omítce, pod nátěry nebo i v nich. Při transportu solí hraje velkou roli jejich rozpustnost a pohyblivost jednotlivých iontů. Dobře rozpustné soli s malými a pohyblivými ionty se dostávají dál k povrchu konstrukce než soli, které mají rozpustnost ve vodě nižší. Do konstrukce se vzlínající vlhkostí pronikají například soli, které mohou být obsažené v půdě, to jsou převážně sírany. Dále sem patří soli ze zimní údržby komunikací, především chloridy. Ale může se jednat i o dusičnany, byla-li při údržbě komunikace použita močovina, která se na dusičnany rozkládá. Zdroje dusičnanů mohou být také organické zbytky a průmyslová hnojiva. Chloridy se vyskytují v místech, kde se skladují zasolené potraviny. [1], [20]

2.1.3 Soli vzniklé chemickou korozí

Při reakci stavebního materiálu s atmosférickými škodlivinami (oxidy síry, oxidy dusíku, ozón, oxid uhličitý, uhlovodíky atd.) dochází ke změně jeho chemického složení, a tudíž i ke změně jeho vlastností. Chemickou korozi ovlivňuje vlhkost stavebního materiálu. Mnoho reakcí probíhá jen ve vlhkém prostředí a bez vody se chemické reakce značně zpomalí. [1]

2.1.4 Soli z biologických zdrojů

Různé organismy mohou vyvolat chemickou reakci a vznik solí. Například činností nitrifikačních bakterií, které způsobují oxidaci amoniaku na dusičnany a dusitany. Patří sem i vznik síranů za pomoci působení sírných bakterií. Celá řada organismů svou činností organických kyselin zapříčiní vznik solí. [1]

2.1.5 Soli ze sanačních opatření

Některé sanační zásahy mohou být zdrojem velkého množství solí. Dříve se používaly při čištění stavebního materiálu nebo při odstraňování nátěrů různé kyseliny a louhy, které zapříčinily zasolení zdiva. Zasolení dochází při využívání injektážních nebo konzervačních prostředků, které obsahují vodní sklo nebo silikonáty. Například v 70. a 80. letech se v injektážní cloně (proti vztlínající vodě) využívalo právě vodní sklo. Jelikož proces vzniku sody je pomalý, tak se výkvěty začaly objevovat až v posledních letech. Jelikož soda má velkou hyroskopickou jímavost, její rekrystalizace způsobuje stavebním materiálům velké problémy. Nejenže rozpad postihuje omítky, ale i spáry zdiva a čela cihel. Proto při správné sanaci musíme znát všechny vedlejší účinky dané metody, abychom ještě nezapříčinili zhoršení stavu. [1], [26]

2.2 Druhy solí

Sůl je chemická sloučenina skládající se z kationtu kovu (případně kationtu amonného) a aniontu kyseliny. Jednotlivé složky soli mohou být organické i anorganické. Jedná se většinou o pevné krystalické látky. Soli můžeme rozdělit podle rozpustnosti ve vodě nebo podle kyseliny, od které jsou odvozeny (názvy odvozeny od bezkyslíkatých kyselin nebo kyslíkatých kyselin). [27]

Ve stavebnictví v rámci poškozování fasád způsobují velký problém jen soli, které jsou dobře nebo poměrně dobře rozpustné ve vodě. Nerozpustné nebo téměř nerozpustné soli nejsou v tomto případě zas tak nebezpečné. Příkladem nerozpustných solí je uhličitán vápenatý (CaCO_3), který nijak nedegraduje stavební materiál, ba naopak se používá často v pojivu, omítkách i v nátěrech. Nejčastějšími solemi způsobující poškození na budovách jsou obvykle sírany, chloridy a dusičnany (tab. 2). U těchto skupin solí je většina dobře nebo poměrně dobře rozpustná ve vodě. V menší míře na stavbách způsobují problémy ještě vodorozpustné uhličitany a dusitany. [1]

Tabulka 2 Nejdůležitější škodlivé vodorozpustné soli vyskytující se ve stavebnictví

		Rozpustnost [g/litr roztoku]
Sírany		
$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	Síran vápenatý dihydrát, sádrovec	2,4
$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	Síran hořečnatý heptahydrát, epsomit	1172
$\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	Síran sodný dekahydrát, mirabilit	583
Na_2SO_4	Síran sodný bezvodý, thenardit	481*
K_2SO_4	Síran draselný, arkanit	111
$3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{CaSO}_4 \cdot 32\text{H}_2\text{O}$	Ettringit, Candlotova sůl	-
Chloridy		
$\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	Chlorid vápenatý hexahydrát, antarkticit	5359
$\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	Chlorid vápenatý dihydrát, hydrofilit	1281
$\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	Chlorid hořečnatý, bischofit	3051
NaCl	Chlorid sodný, halit, sůl kamenná	360
KCl	Chlorid draselný, sylvit	340
Dusičnany		
$\text{Mg}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	Dusičnan hořečnatý hexahydrát, nitromagnesit	2805
$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	Dusičnan vápenatý tetrahydrát, nitrokalcit	4305
NaNO_3	Dusičnan sodný, sanytr, nitronatrit	880
KNO_3	Dusičnan draselný, nitrokaliit	316

NH_4NO_3	Dusičnan amonný	1920
Uhličitany		
$\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	Uhličitan sodný dekahydrát, soda	217
$\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	Uhličitan sodný heptahydrát, soda	489*
$\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$	Uhličitan sodný monohydrát, termonatrit	261
$\text{K}_2\text{CO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	Uhličitan draselný dihydrát, potaš	110

Poznámka: Všechny rozpustnosti solí jsou udány ve 20 °C, výjimkou jsou hodnoty označené*, které jsou při 40 °C. [1]

2.2.1 Sírany

Sírany nebo též nazývány sulfáty jsou soli od kyseliny sírové (H_2SO_4), kde byly nahrazeny její dva kyselé vodíky. Obecný vzorec se tedy skládá z kationtu kovu (případně kationtu amonného) a síranového aniontu (SO_4^{-2}). Sírany se vyskytují v některých nerostech, například v sádrovci nebo anhydritu. [14]

Sírany vznikají těmito způsoby:

- 1) oxidačním rozkladem siřníků;
- 2) hydrotermálně (např. baryt);
- 3) sedimentárními pochody, především odpařením solanek (sádrovec, anhydrit, mirabilit atd.). [18]

Síran sodný

Síran sodný (Na_2SO_4) je bílá krystalická látka známá jako minerál thenardit. Síran sodný dekahydrát ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) je známý od 17. století jako Glauberova sůl nebo mirabilit. Síran sodný se vyskytuje také jako heptahydrát, který se při ochlazení mění na zmíněný dekahydrát. [15]

Protože se jedná o hydratační sůl, tak patří mezi nejškodlivější soli z hlediska ochrany staveb. Protože vznikají velké krystalizační a hydratační tlaky při rekrystalizaci soli Na_2SO_4 na $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$. Přetlak v pórech se pohybuje na hodnotě 25 MPa. Díky vysokému tlaku a velké rozpustnosti se využívá při testování odolnosti materiálu proti solím.

Dvě třetiny světové produkce je z přírodního minerálu mirabilitu, zbytek pochází z vedlejších produktů chemických procesů, například z výroby kyseliny chlorovodíkové. Síran sodný se často používá při výrobě čisticích prostředků. [15]

2.2.2 Chloridy

Chloridy jsou soli kyseliny chlorovodíkové (HCl). Chlór v nich zaujímá podobu iontu (Cl⁻). Čisté chloridy jsou čiré až bílé krystalické látky, většinou velmi dobře rozpustné ve vodě. Chloridy se vyskytují v přírodě v nerostech a v mořské vodě. [10]

Chlorid sodný

Chlorid sodný (NaCl), nebo též nazýván jako kuchyňská sůl. Krystalický chlorid sodný je bezbarvý nebo bílý, průhledný, skelně lesklý a má krychlovou odličnost. Vyskytuje se v přírodě v podobě nerostu halitu (sůl kamenná). Většina chloridu sodného přítomného na Zemi je v mořské vodě. Jedná se o velmi důležitou sloučeninu pro životní funkce většiny organismů.

Využití chloridu sodného je v potravinářském a chemickém průmyslu. V potravinářství se kromě běžné úpravy potravin také používá při konzervaci. V chemickém průmyslu je surovinou pro výrobu sodíku, jedlé sody, chlóru, kyseliny chlorovodíkové a mnoha dalších sloučenin. Často se používá jako změkčovač vody v průmyslu i v domácnostech. Chloridy jsou rovněž základem zimních posypů vozovek. Jedná se o častý zdroj vnikání do stavebních konstrukcí. [11]

2.2.3 Dusičnany

Dusičnany jsou soli kyseliny dusičné, obsahují tedy aniont NO₃⁻. Téměř všechny dusičnany jsou rozpustné ve vodě, a proto jsou nebezpečné pro stavební konstrukce. Dusičnany se vyskytují i v přírodě v některých nerostech a v mořské vodě. Jejich těžba nepokryje celosvětovou spotřebu, a proto se většina vyrábí uměle. Jelikož jsou bohaté na dusík, podstatná část vyrobených dusičnanů se užívá jako hnojiva. Dále jejich časté využití je v pyrotechnice (výroba střelného prachu). Dusičnany jsou zastoupeny i v mořské vodě. Nadměrné zastoupení dusičnanů v mořské vodě umožňuje život fytoplanktonu, nadměrné zastoupení ve sladké vodě způsobuje množení řas a sinic. [12]

Dusičnan sodný

Dusičnan sodný (NaNO₃) je bílá krystalická látka. V přírodě se vyskytuje v nerostu zvaném nitronatrit. Vyrábí se i uměle, například reakcí oxidu dusnatého, oxidu dusičitého, kyslíku a uhličitanu sodného (7).



Dusičnan sodný se používá v zemědělství jako hnojivo. Další využití je například v pyrotechnice. [13]

2.2.4 Uhličitany

Uhličitany jsou soli kyseliny uhličitě (H_2CO_3), které vznikly odštěpením dvou atomů vodíku. Takže aniont je tvořen z CO_3^- . S výjimkou uhličitanu amonného a uhličitanů alkalických kovů jsou prakticky nerozpustné ve vodě. Velké využití uhličitanů je při výrobě průmyslových hnojiv. Například uhličitan sodný se využívá při výrobě skla, papíru a v textilním průmyslu. [16]

2.2.5 Dusitany

Jedná se o soli kyseliny dusité (HNO_2), které vznikly odštěpením atomu vodíku. Dusitanové ionty proto mají vzorec NO_2^- . Dusitany mohou být oxidovány na dusičnany či redukovány na amoniak. Až na pár výjimek se jedná o nerozpustné a málo rozpustné soli, a proto stavby moc neohrožuje. Dusitany se využívají v potravinářském průmyslu. Například dusitan sodný a draselný se používají při výrobě uzenin. [17]

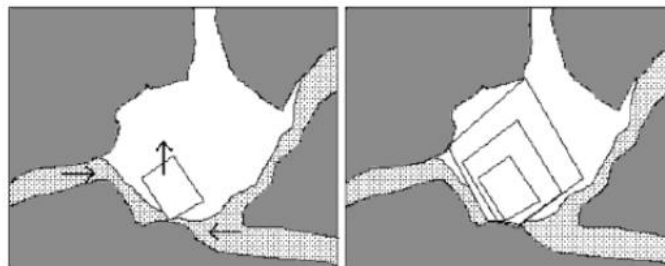
2.3 Destruktivní procesy solí

Nejvýznamnějšími destruktivními procesy solí je jejich krystalizace a hydratace v porézním materiálu.

2.3.1 Krystalizace solí

Jestliže do pórovitého materiálu proniká roztok soli, potom při jeho odpařování se bude zvyšovat koncentrace onoho roztoku. Po určité době koncentrace soli překročí hodnotu rozpustitelnosti soli a přebytečná sůl začne krystalizovat. Krystaly mohou postupně vyplnit prostor póru a dochází dalšímu jevu, a to ke krystalizačnímu tlaku na okolní stěny póru. Tlaky mohou dosahovat k vysokým hodnotám, které vedou až k rozrušení porézního materiálu. Velikost tlaku závisí na dané teplotě a na stupni přesycení roztoků. Růst krystalů je omezen malými prostory póru a krystaly vyvíjejí značné expanzivní tlaky, které rostou s teplotou. Odpařováním vody dochází k dehydrataci krystalů a k jejich rozpadu. Při zvýšení vlhkosti soli začnou absorbovat vodu a dojde k jejich rekrystalizaci. Při opakované krystalizaci a rekrystalizaci dochází k postupné dezintegraci a rozpadu materiálu. [1], [26]

V materiálu, který je složen z větších a menších póru, je postup krystalizace následovný (obr. 8). Krystalizace započne vždy ve větších pórech a nasycený solný roztok, z něhož rostou krystaly, je zásobován z menších póru. Krystaly přestanou růst až po úplném vyčerpání roztoku z menších póru. Kvůli tomuto jevu jsou nevýhodné materiály, které mají poměrně vysoký obsah menších póru v poměru větším. Odolnější jsou materiály, které mají větší podíl velkých póru oproti malým, neboť nemusí dojít k zaplnění póru krystaly soli, díky nedostatku zásobního roztoku z menších póru. Odolnost materiálu vůči solím je tedy ovlivněna charakteristikou a redistribucí póru.



Obrázek 8 Postup nárůstu krystalů v porézních materiálech

U krystalizace nedochází jen k mechanickému poškození, ale také dochází ke změně chemického složení materiálu, který ovlivňuje původní vlastnosti materiálu. [1]

Poškození materiálu kvůli větší koncentraci vodorozpustných solí se projevuje v různých formách. Například krystalizace může probíhat na povrchu nebo uvnitř materiálu. Při pomalém odpařování vody bude docházet k transportu roztoku soli až na povrch. Na povrchu vzniknou solné výkvěty tzv. eflorescence. Výkvěty nemusí způsobovat žádnou destrukci zdiva, ale velice negativně ovlivní vzhled fasády. Naopak, při rychlém odpařování vody se budou vytvářet krystaly uvnitř tzv. subflorescence, a při vyplnění póru dojde ke krystalizačním tlakům a pak následuje destrukce materiálu. Krystalizace pod povrchem a na povrchu většinou probíhají současně. [1]

2.3.2 Hydratace solí

Některé vodorozpustné soli jsou schopny vázat v krystalové mřížce určitý počet molekul vody, čímž se vytvářejí tzv. hydráty (zvýšený obsah vody). Přechody z jedné hydratované formy do druhé jsou vždy spojeny s vázáním molekuly vody nebo naopak jejich ztrátou a dochází k značným objemovým změnám soli. Tento jev způsobuje velké krystalizační a hydratační tlaky, které se pohybují řádově v desítkách až stovkách MPa, jež překračují běžné reálné pevnosti v tahu stavebních hmot (tab. 3). [1], [26]

Proces hydratace je závislý na teplotě a relativní vlhkosti okolního vzduchu. Tudíž jsou pro stavby nebezpečné soli, u kterých dochází k hydrataci při obvyklých venkovních nebo vnitřních prostředí. Mezi takto nebezpečné soli patří síran sodný, dusičnan vápenatý a uhličitán vápenatý. [1]

Tabulka 3 Hydratační tlaky vznikající při rekrystalizaci soli

Výchozí látka	Vznikající látka	Vyvozený přetlak [Mpa]
CaSO ₄	CaSO ₄ ·2H ₂ O	110
Na ₂ SO ₄	Na ₂ SO ₄ ·2H ₂ O	25
Na ₂ CO ₃	Na ₂ CO ₃ ·2H ₂ O	30

2.3.3 Hygroskopická nasákavost

Další jev solí, který negativně ovlivňuje zdivo, je jejich hygroskopicitu. Hygroskopické látky mají schopnost přijímat vodní páru ze vzduchu a zadržet ji v kapalně vodě. Jedná se o fyzikálně vázanou vodu, která zvyšuje rovnovážnou vlhkost zdiva. Hygroskopická nasákavost za určitých klimatických podmínek je u jednotlivých solí jiná. Rozdíly jsou v tom, jaké množství vody mohou vázat a v hodnotě rovnovážné relativní vlhkosti. Když je rovnovážná vlhkost okolí větší než rovnovážná vlhkost soli, tak bude docházet k pohlcování vlhkosti, a to do doby, dokud nenastane rovnováha roztoku soli s okolím. Při nižší vlhkosti okolí bude jev zcela opačný, tudíž solný roztok bude uvolňovat vodní páru do ovzduší. Hygroskopicitu solí je velice zákeřná v tom, že když se bude často měnit relativní vlhkost vzduchu, bude i často docházet ke krystalizačním cyklům. Tento jev může mít za následek také to, že i po provedení opatření proti vzlínající vodě, nedojde k vyschnutí zdiva nad hydroizolační clonou. Hygroskopické soli způsobují výkvěty na omítkách. Výkvěty jsou tvořeny solemi, které se na povrch dostaly díky vzlínající vodě. [1]

Destrukce solí podle jejich schopnosti krystalizace

Hodnota relativní vlhkosti nad nasycenými roztoky určuje, za jakých podmínek mohou tyto soli vykristalizovat. Soli můžeme rozdělit do tří skupin podle podmínek, při kterých krystalizují:

- 1) U solí nad jejichž nasycenými roztoky se udržuje relativní vlhkost vyšší než 75 % dochází k časté krystalizaci.;
- 2) U solí nad jejichž nasycenými roztoky se udržuje relativní vlhkost vyšší než 50-75 % krystalizují zřídka.;
- 3) U solí nad jejichž nasycenými roztoky se udržuje relativní vlhkost vyšší než 50 % krystalizují jen zcela výjimečně.

U první skupiny bude při kolísání podmínek docházet k opakované krystalizaci a rekrystalizaci. K porušení dochází pouze tehdy, pokud soli krystalizují pod povrchem takzvaně v přípovrchových vrstvách. Jestliže bude docházet ke krystalizaci na povrchu, budou se tvořit výkvěty (eflorescence) a škody budou jen povrchové. Nebezpečí solných výkvětů by ale mohlo nastat u špatně rozpustných solí jako je sádrovec. Vznikla by totiž na povrchu nepropustná křusta, která se může později odtrhnout i s částí povrchu zdiva.

Soli ze třetí skupiny poškozují stavební materiály nepřímo. Jsou hygroskopické, tudíž snadno přijímají vodu z ovzduší a způsobují zavlhčení materiálu. Materiál potom degraduje korozními mechanizmy. [26]

2.4 Sanace zasoleného zdiva

Při zasolení zdiva je vždy problém i s vlhkostí. Při sanaci se proto musí nejdříve zamezit zdrojům pronikání vlhkosti a solí do objektu a potom se řeší vysychání a odsolení zdiva. Na počátku se provádí průzkum zavlhnutí a zasolení stavby. V průzkumu se zjistí typ solí, koncentrace a jejich distribuce (hloubkové a plošné rozložení). Také se může stanovit hygroskopická nasákavost, aby se zjistilo, jak velký vliv má zasolení na zavlhnutí daného objektu. Měření salinity se provádí na vzorcích odebraných na stavbě a dodaných do akreditované zkušebny. Výsledky se porovnávají a konzultují, poté je navržena vhodná metoda sanace. [23]

2.4.1 Měření salinity

V dnešní době existuje na určení množství soli mnoho metod. Salinita se měří v laboratoři z odebraných vzorků ze zasoleného objektu. Při výběru vzorků musíme dát velký pozor, aby se jednalo o dostatečně reprezentativní vzorky. Podle typu průzkumu se odebírají vzorky v různých výškách a hloubkách, v exponovaných a méně exponovaných polohách. Analýza vzorků je velice nákladná, proto se počet vzorků omezuje a využívají se veškeré informace, které o stavbě můžeme získat. Například důležitou informací je, jak byl daný objekt využíván. Tím lze odvodit druh solí, které mohou postiženou stavbu sužovat.

V některých případech lze provést jen stěry solí z povrchu. Nejistíme sice množství solí ve zdivu, ale určíme tím, jakým druhem soli je budova nejvíce zatížena. Rozsah zasolení potom lze odhadnout vizuálně, podle vlhkostních map a za pomoci vlhkoměrů, které zjistí zavlhčení povrchových vrstev. Nesmíme opomenout, že vlhkostní mapy nekorespondují s hranicí zasolení a koncentrace solí bývá ve zdivu vysoká ještě asi 0,5 až 1 m nad vlhkostní mapou. [23]

Chemická analýza

Při chemické analýze zjišťujeme obvykle anionty solí. Kationty se určují jen ve výjimečných případech. Používají se metody gravimetrické (aniont se ve výluhu přemění na nerozpustnou sůl a její množství se zváží) a postupy využívající iontově selektivní elektrody nebo spektrální metody. [19]; [23]

Potenciometrie

U potenciometrie měříme rovnovážné napětí na článku sestaveného ze dvou elektrod. Jedna elektroda je měrná (indikační) a ta druhá srovnávací (referenční), u které známe její elektrodový potenciál. Elektrický potenciál měrné elektrody závisí na koncentraci stanovované látky. Potenciál srovnávací elektrody je konstantní. Rovnovážné napětí, které je rozdílem těchto dvou potenciálů, je mírou koncentrace měřených solí. [28]

Iontová chromatografie

U této metody můžeme zjistit koncentraci různých druhů iontů v roztoku. Jedná se o fyzikálně-chemickou separační metodu. Molekuly analytu (složky vzorku, které se chromatograficky rozdělí) se rozdělují na stacionární a mobilní fázi. Dělení je umožněno díky rozdílné distribuci složek směsi mezi mobilní a stacionární částí. Díky oddělení složek se budou jednotlivé části pohybovat skrz chromatografické lože rozdílnou rychlostí. [19]

Infračervená spektroskopie

Je to metoda, která poskytuje velice přesnou identifikaci izolované látky a kvantitativní analýzu směsi. Metoda využívá interakci infračerveného záření se zkoumaným vzorkem. Během experimentu dochází k absorpci infračerveného záření vzorkem. Ze získaného pásového spektra potom určíme druh a množství solí v daném vzorku. [21]

2.4.2 Zatřídění zdiva podle salinity

V České republice nejsou prozatím sjednocena kritéria pro určování obsahu solí ve zdivu, a proto existuje mnoho druhů klasifikací zasoleného zdiva. Zatřídění se ještě komplikuje tím, že zasolení nezávisí jen na hloubce odběru vzorku, ale i také o jaký druh soli se jedná a na odolnosti zasolené konstrukce. Pro posouzení obsahu solí ve zdivu můžeme použít například ČSN P 73 0610 (tab. 2). Podle tabulky zatřídíme zasolení konstrukce a tím zjistíme, zda je nutné zavést nějaké opatření proti zasolení zdiva. [7], [24]

Tabulka 4 Limitní hodnoty solí ve zdivu dle ČSN P 73 0610

Stupeň zasolení zdiva	Obsah solí v mg / g vzorku a v procentech hmotnosti					
	Chloridy		Dusičnany		Sířany	
	mg/g	% hmotnost	mg/g	% hmotnost	mg/g	% hmotnost
nízký	<0,75	<0,075	<1,0	<0,1	<5,0	<0,5
zvýšený	0,75 až 2,0	0,075 až 0,20	1,0 až 2,5	0,1 až 0,25	5,0 až 20	0,5 až 2,0
Vysoký	2,0 až 5,0	0,20 až 0,50	2,5 až 5,0	0,25 až 0,50	20 až 50	2,0 až 5,0
Velmi vysoký	>5,0	>0,50	>5,0	>0,50	>50	>5,0

Sanace zdiva od zasolení nemusí vždy znamenat odstranění soli, ale hlavním cílem je zamezit destruktivním účinkům vodorozpustných solí. Znamé metody sanací jsou redukce obsahu solí, používání materiálů odolných proti solím, regulace a stabilita klimatu a převod vodorozpustných solí na nerozpustné.

2.4.3 Snížení vlivu solí jejich redukcí (desalinizace)

Úplné odsolení zdiva není nikdy možné, vždy zůstane nějaké množství ve stavebním materiálu. Důležité je snížit koncentraci vodorozpustných solí na takovou úroveň, která zamezí hlavním negativním účinkům.

Mechanické čištění

Výkvěty z povrchu fasád, zdí, omítek, kamenných prvků můžeme mechanicky očistit. Jedná se o nejjednodušší způsob. Povrchy se například čistí pomocí tlakové vody, která je v nejlepším případě destilovaná. Při odstranění solných výkvětů zabráníme zpětné migraci soli zpátky do stavebního materiálu. Je samozřejmé, že čištění budeme muset opakovat do té doby, dokud v materiálu nezůstane takové množství soli, při kterém už nebude docházet k výkvětům solí na povrchu. Nevýhodou této metody je, že není nijak zabráněno degradaci čelních ploch materiálu a při omývání vnášíme do zdiva další vlhkost. [1]

Odstranění zasolené části konstrukce

Snížení obsahu solí v konstrukci můžeme tak, že odstraníme část konstrukce. Například sundáním silně zasolení omítek, spárových malt nebo celé části zdiva. Většinou se jedná jen o dočasné řešení, protože se neodstraní sůl z vnitřku konstrukce. Výhodou této metody je, že se velkou část obsahu solí v konstrukci zbavíme v relativně rychlé době. Nevýhodou je, že ji nelze použít u historicky cenných omítek, fasád nebo jiných stavebních konstrukcí. Tato metoda většinou neřeší celý problém zasolení konstrukce a bude potřeba kombinace s dalšími desalinizačními metodami. [1]

Adsorpční obklady a sanační omítky

U těchto metod se využijí fyzikálně-chemické jevy, a to konkrétně kapilární transport, difuze a osmóza. Požívají se hydrofilní materiály, které do sebe budou natahovat vodu se solemi. Mezi používanými sorbenty v praxi je buničina, kaolín, bentonit, křemelina a chudé vápenné omítky. Při použití interního obkladu je zapotřebí nejprve navlhčit přímo zasolený povrch nebo samotný obklad. Zpočátku po navlhčení budou rozpuštěné soli z povrchu

pronikat zpátky do zasolené konstrukce. V další fázi začne transport solí do interního obkladu. Nakonec po odpaření vlhkosti ze zdiva zůstanou soli v obkladu. U této metody je důležitá vlhkost, aby soli byly ve formě roztoku a mohlo tak docházet ke transportu solí. [1]

Důležité vlastnosti obkladu:

1. Dobrá absorpční schopnost;
2. Nesmí být zdrojem solí a jiných škodlivin;
3. Dobrá odolnost proti solím;
4. Schopnost udržet dlouho vodu;
5. Dostatečná kapacita pro ukládání solí;
6. Dobrá přilnavost k povrchu;
7. Cena.

Obětované omítky

Jedná se o sanační omítky, které slouží krátkodobě (jen několik týdnů, maximálně několik měsíců). Omítka disponuje těmito vlastnostmi: je velice porézní s velkým obsahem kapilárních pórů, má vysokou nasákavost a nízkou pevnost. Omítka se nanáší na velmi vlhké zdivo a zase při působení kapilárního transportu a difuze a osmózy se soli ze zdiva přesunou do omítky. Po odstranění omítky, pokud je potřeba, se proces opakuje. Nevýhodou této metody je její velká pracnost a také dochází k solným výkvětům na omítce. [1], [19]

Absorpční omítky

Tyto omítky mají větší pevnost než obětované omítky a díky ní mají delší trvanlivost. Životnost omítek je několik roků. Omítky, díky svému pórovému systému, mají velkou odolnost proti krystalizačnímu tlaku. U omítek není nijak zabráněno vytváření solným výkvětům na povrchu. [1], [19]

Sanační omítky

Z uvedených příkladů se jedná o omítky s nejdelší životností. Životnost těchto omítek se pohybuje na desítky let. U těchto omítek je zabráněno vzniku solným výkvětům na povrchu díky vyšší pórovitosti a hydrofobizací pórů. Nevýhodou těchto omítek je velmi malá účinnost odsolování zdiva. [1]

Elektroosmotické metody

Při vysoušení zdiva aktivní elektroosmózou z materiálu spolu s vodou uniká i sůl. Metoda využívá elektrický okruh, který je složen z řídicí skříňky, kladné elektrody, záporné elektrody, vodivého propojení (vodiče prvního stupně) a vlastního zdiva (vodič druhé třídy). Název aktivní elektroosmóza je odvozen z aktivního vkládání elektrického pole. Napětí systému je nízké (do 6 V). Dlouhodobá funkčnost instalací aktivní elektroosmózy závisí na kvalitě použitých prvků. Důležitým faktorem je elektrochemická odolnost elektrod. V anodě může docházet k oxidaci a k anodickému rozpouštění a je možné konstatovat, že elektrochemická odolnost zední kladné elektrody určuje životnost a dobu, po kterou zařízení správně funguje. Pro volbu materiálu anod je důležitá jejich technická účinnost, cenová dostupnost a technologická zpracovatelnost. Při realizaci se často používá jako anodový materiál uhlík, možno však používat také měď a ocel. Tyto materiály mají vysoký elektrochemický ekvivalent. Elektroosmotické systémy navrhujeme tam, kde z nějakého důvodu nelze využít jiné metody. Jedná se většinou o stěny, které jsou částečně nebo zcela pod úrovní okolního terénu a není možné provést odkop stěny ze strany interiéru. [1], [20] (disertace Balík) (sanace vlhkého zdiva)

Nové metody odsolování

V současné době dochází ke zlepšování účinnosti jednotlivých metod (například vývoj nových hydrofilních materiálů, nové složení sanačních omítek), ale také vznikají metody nové. Mezi nové metody patří například využití vakua a tlakové vody promýváním solí z materiálu. Nevýhodou této metody je nutnost vrtání do zdiva a náročnost technického provedení. Někdy lze tuto nevýhodu kompenzovat tím, že vývrty následně použijeme na injektáž pro vytvoření hydroizolační clony. Účinnost těchto metod je velká a odsolení probíhá velice rychle oproti předchozím metodám. [1]

2.4.4 Snížení vlivu solí bez redukce jejich obsahu

Pro zamezení destruktivních účinků vodorozpustných solí nemusí vždy znamenat redukci obsahu solí. Destruktivním účinkům lze zamezit přeměnou solí nebo ovládním a stabilizací klimatu.

Regulace a stabilizace klimatu

V uzavřených objektech můžeme regulovat klimatické podmínky tak, aby nedocházelo ke cyklické krystalizaci solí a k jejím modifikacím na jiné hydratované formy.

Tato metoda se používá výjimečně, protože se musí jednat o uzavřený klimatizovaný systém.
[1]

Převedení vodorozpustných solí na nerozpustné

Vodorozpustné sírany a chloridy lze stabilizovat chemickou sloučeninou na nerozpustné soli. U dusičnanů tato přeměna není možná, protože všechny dusičné soli jsou rozpustné. Například by se sírany a chloridy daly stabilizovat hexafluorokřemičitanem olovnatým. Tuto metodu lze doporučit ve velmi výjimečných případech (malý obsah solí, velký obsah makropórů), hrozí totiž uzavření pórů v povrchových vrstvách, a tudíž vytvoření neprodyšné povrchové vrstvy. Metoda se také moc nepoužívá proto, že látky, které jsou vhodné ke stabilizaci solí, jsou většinou jedovaté. A také ještě není zcela vyřešeno, jak by probíhalo vhodné dávkování a zvolení koncentrace přímo na stavbě. Jedná se totiž o velký problém, protože zasolení se bude v určitých místech stavby velmi lišit. [1]; [26]

Hydrofobizace

Omezení vlivu vody a rozpustných solí lze hydrofobizací zdiva nebo povrchu zasoleného materiálu. Tímto činem způsobíme, že krystalizace a zóna odpaření se posune hlouběji do materiálu. Při volbě této metody musíme být velmi obezřetní, protože může dojít ještě ke zhoršení situace a destruktivní účinky budou mnohem větší. Například při nevhodném použití by mohlo nastat odtržení celé hydrofobizované vrstvy. Hydrofobizace povrchu se provádí nejčastěji ve formě nátěrů. Přípravky jsou na bázi olejů, silikonů nebo organokřemičitanů. Nejmodernějším způsobem je využití inteligentních nanotechnologických molekulových struktur. [1], [22]

2.5 Změna vlastností cihly jejím zasolením

Jako u každého stavebního materiálu, tak i u cihly jsou její vlastnosti proměnné v závislosti na prostředí. Zvýšený obsah solí, které krystalizují v keramické hmotě, má za následek podstatné změny dilatometrických vlastností cihelného střepe. Nerovnoměrný obsah solí v cihelném zdivu (především na povrchu) způsobuje značné vnitřní pnutí i při

konstantním průběhu klimatických účinků po průřezu zdi. Toto napětí způsobí obvykle rozpad a odlučování povrchových vrstev zdiva.

Hygroskopické soli obsažené v cihle budou zvyšovat její rovnovážnou vlhkost, a proto se zvyšuje součinitel tepelné vodivosti cihly. Množství vlhkosti v materiálu má také vliv i na jeho pevnost. Dále hygroskopicitata solí zpomaluje odpar vody z materiálu.

Soli při krystalizaci mění charakter pórů (velikost a tvar) v cihle. To ovlivní transport vody tak, že vzlínající vlhkost bude dosahovat větších výšek a při vysychání bude zpomalení difuze. Změnou pórů se bude měnit odolnost cihly proti mrazuvzdornosti a krystalizaci solí.

3 Laboratorní experimenty

U cihel jsem prováděl zkoušky, kterými jsem sledoval průběh transportu některých solí v cihelném materiálu. Objednal jsem cihly z Cihelny Bratronice spol. s r.o., která se specializuje hlavně na výrobu cihel klasického formátu. Tyto cihly jsou vhodné na rekonstrukce historických budov. Deklarovaná objemová hmotnost cihly v suchém stavu je 1776 kg/m^3 . Tato hodnota je srovnatelná s historickými cihlami, kde se objemová hmotnost pohybovala kolem hodnoty 1800 kg/m^3 . Rozdíl tu ale je ve struktuře. Objednané cihly v sobě obsahovaly drobné kamínky (obr. 9). Cihly pro zkoušky jsem uskladnil v laboratoři, aby došlo k rovnovážnému stavu s vnitřním prostředím.



Obrázek 9 detail struktury v lomu cihly

Vybral jsem tři soli, které budu používat při experimentech. Zaměřil jsem se na soli, které se často vyskytují na stavbách a jejich vliv je nebezpečný. Nebezpečí hrozí u velmi dobře rozpustných solí, které snadno krystalizují při běžných klimatických podmínkách. Proto jsem vybral soli dobře rozpustné ze skupiny chloridů, dusičnanů a síranů, kde většina solí je velmi dobře rozpustná. U všech vybraných solí mi tvoří kationt sodík (Na) a to v určitém počtu podle druhu soli. Takže se jedná o chlorid sodný (NaCl), jenž se hojně používá při údržbě komunikací. Další solí je dusičnan sodný (NaNO₃), jehož výskyt je velmi častý. Používá se například jako hnojivo. Poslední z vybraných solí je síran sodný dekahydrát (Na₂SO₄·10H₂O). Jedná se o velmi destruktivní sůl. Z těchto důvodů je vhodná například pro stanovování odolnosti proti krystalizacím solí.

Stanovil jsem dvě koncentrace solných roztoků určené pro zkoušku nasákavosti cihel. Zvolil jsem je podle podmínek tak, aby při první koncentraci po ukončení této zkoušky byla většina vzorků ve velmi vysokém stupni salinity a při druhé koncentraci ve zvýšeném stupni salinity. Při výrobě roztoků byla použita destilovaná voda, aby nedošlo k ovlivnění zkoušky jinými minerály. První koncentrace roztoků byla 100 g soli na 1 l vody. Další koncentrace roztoků byla v poměru 25 g soli na 1 l vody.

Dále jsem vybral 8 cihel, které se nejvíce podobaly a obsahovaly co nejméně povrchových vad, aby se jednalo o reprezentativní vzorky. Na těchto cihlách jsem provedl zkoušky nasákavosti z připravených solných roztoků a dva vzorky jsem podrobil nasákavosti jen destilovanou vodou pro srovnání výsledků. Po ukončení této zkoušky jsem vzorky nechal vysychat po několik dnů. Následně jsem zjišťoval profil zasolení a vlhkosti vzorků. Všechny výsledky jsem zdokumentoval a popsal niance průběhu zkoušek u jednotlivých vzorků.

A) Vedlejší experimenty

Před započítím hlavních experimentů jsem potřeboval vybrat materiál, který mi na vzorcích vytvoří vzduchotěsnou obálku. Proto jsem vybral několik těsnících materiálů a na nich ověřil některé jejich vlastnosti, abych předešel případnému negativnímu ovlivnění zkoušek. Ověřoval jsem tyto těsnící materiály:

- 1) ISOCELL BUTYL DEHNFLEX: jednostranně lepící butylkaučuková páska, barva šedá; rozměry: 1,5 x 50 mm;
- 2) ISOCELL OMEGA DB: Jednostranně lepící vysoce pružná bitumenová páska; barva černá; rozměry: 1,5 x 100 mm;
- 3) ILLBRUCK TP421: Oboustranně lepící butylová páska; barva šedá; rozměry: 1,5 x 10 mm;
- 4) ILLBRUCK ME403: Oboustranně lepící butylkaučuková páska; barva černá; rozměry: 1,5 x 10 mm;
- 5) DEN BRAVEN stavbařský butylenový tmel, barva šedá.

3.1 Sledování vlivu solí na těsnící materiály

3.1.1 Úvod

Ověřím, zda u zvolených těsnících pásek a tmelu nebude docházet k nějakým reakcím se solemi. Snaha byla použít takové soli, které budou použity na hlavní experiment. Musel jsem ale udělat jednu výjimku z důvodu nepřítomnosti síranu sodného (Na_2SO_4) v laboratoři, proto jsem ho prozatím nahradil síranem draselným (K_2SO_4). Tato zkouška určí, jestli těsnící materiály nebudou reagovat s vybranými solemi. Již při této zkoušce uvidím, jak budou jednotlivé soli na povrchu cihelného materiálu krystalizovat.

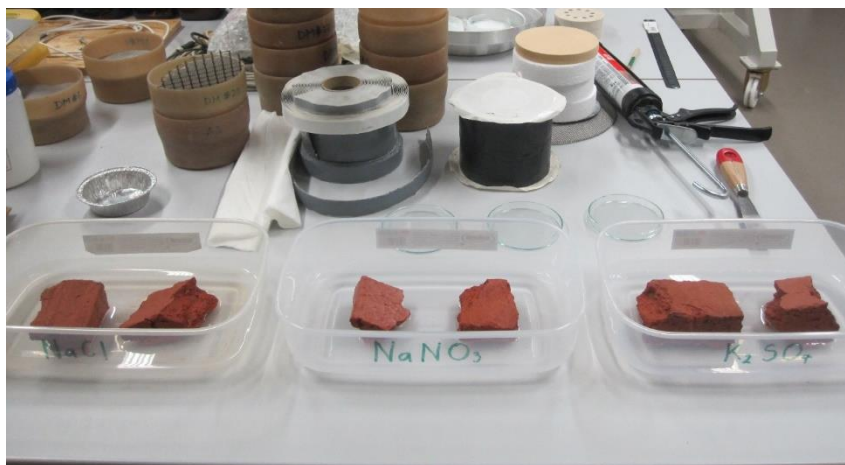
3.1.2 Postup zkoušky

Z dodaných cihel jsem si vybral jednu, ze které jsem odštěpil pomocí majzlíku a kladiva 6 částí. Do umělohmotných dóz jsem z vybraných solí připravil tři solné roztoky o stejné koncentraci. Koncentraci roztoků jsem připravil v poměru 30 g soli na 300 ml demineralizované vody. Do každé nádoby s roztokem jsem uložil dva odštěpky z cihly a nechal je nasávat solný roztok (obr. 10).

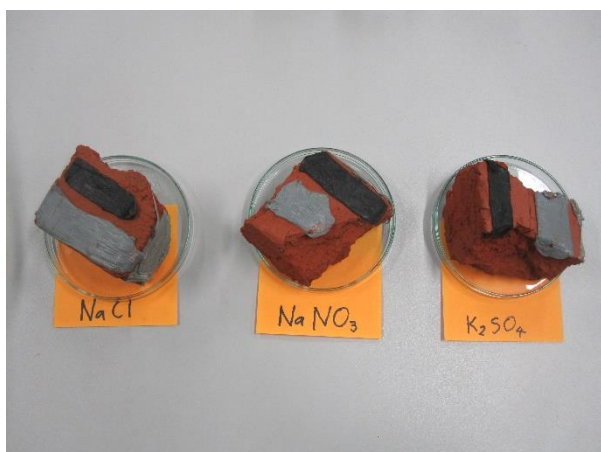


Obrázek 10 Ponoření vzorků do solného roztoku

Když se na povrchu vzorku objevila voda (vzorek dosáhl nasycení), tak jsem z každého roztoku vyndal jeden vzorek a na něj aplikoval všechny vybrané těsnící materiály. Potom jsem nechal vzorky vysychat a sledoval jsem, jestli mezi solí a materiálem nedojde k nějaké reakci.



Obrázek 11 Připravené těsnící materiály a nasycené vzorky solnými roztoky



Obrázek 12 Vzorky po aplikaci těsnících materiálů



Obrázek 13 Vzorky po osmy dnech vysoušení







Druhý vzorek, který jsem ponechal v roztoku, poslouží jako ukázka průběhu krystalizací jednotlivých solí na cihelném materiálu. Protože tyto vzorky budou dále nasávat roztok z nádoby, tak při jejich vysychání bude vidět větší množství vykrystalizovaných solí na povrchu než na prvním odebraném vzorku.

3.1.3 Výsledky

Aplikování jednotlivých pásků šlo velmi obtížně, protože na mokřém povrchu špatně držely na vzorku. Pásky ILLBRUCK ME403 a ILLBRUCK TP421 nešly ze začátku na povrchy aplikovat vůbec. Pásky jsem nalepil se zpožděním až povrchy trochu oschly. První den pásky špatně držely, teprve po částečném vyschnutí vzorků pásky začaly držet dobře. Naopak nanášení tmelu na mokřý materiál šlo velmi jednoduše a po celou dobu zkoušky držel dobře. Na všech těsnících materiálech nebyla vidět žádná reakce s vybranými solemi.

U druhých vzorků jsou patrné rozdílné výkvěty solí. Na dně nádoby lze vidět vytvořené tvary krystalů jednotlivých solí (tab. 5). U vzorků s chloridem sodným a síranem sodným soli vykrystalizovaly více na krajích. U vzorku se síranem sodným byla sůl po povrchu rovnoměrně rozmístěna a množství soli na povrchu bylo výrazně méně než na ostatních vzorcích.

Tabulka 5 Solné výkvěty na vzorcích a tvar krystalů podle jednotlivých solí

Solné výkvěty na vzorku	Detail tvaru krystalu na dně nádoby
1) chlorid sodný (NaCl)	
	
2) dusičnan sodný (NaNO ₃)	
	
3) Síran draselný (K ₂ SO ₄)	
	

3.1.4 Diskuze

Z výsledů vyplívá, že každý použitý izolant odolává solím. Při aplikaci na mokrý materiál se velmi špatně nanášely všechny pásy. Pásy s nanášecím filmem z fólie (jednostranně lepící) se mi přesto podařilo na mokré vzorky nalepit. Oboustranně lepící pásy nešly na velmi mokrý povrch vůbec nanést. Po vyschnutí vzorků už držely pásy velmi pevně. Tyto materiály by se měly správně nanášet na suchý materiál. A při hlavní mé zkoušce i takový postup by byl. Ale nastala otázka, jestli budou zvolené pásy dobře držet, když provedu následující zkoušku. Pásy podle doporučení nalepím na suchou cihlu a pak ji nechám nasáknout vodou.

U druhých vzorků po vyschnutí lze vidět, že u chloridu a dusičnanu došlo k výrazně většímu transportu solí na povrch než u síranu. To je způsobeno velikostí iontů jednotlivých solí. Ale každý vzorek byl jinak veliký a nasál jiné množství solí. Přesnější porovnání tvaru solných výkvětů a transportu solí získám z hlavního experimentu, kde budou vzorky velmi podobné, protože se bude jednat o celé cihly.

3.1.5 Závěr

Prozatím se zdá, že pro můj experiment je nevhodnější stavbařský butylenový tmel DEN BRAVEN. Snadno se aplikuje a jako u všech použitých materiálů nijak nereagoval se solemi. Je ale nutné vzít v potaz, že těsnící materiály jsem aplikoval na mokrý povrch. Kdybych materiály nanášel zpočátku na suchý povrch, tak by se prvotní problém s nanášením eliminoval a pásy by mohly po nasáknutí cihly dobře držet. Pro ověření je tedy nutná ještě další zkouška izolujících materiálů, kde jednotlivé materiály zase aplikuji na další odštěpek cihly a teprve potom nechám cihlu nasát vodou.

3.2 Sledování přilnavosti těsnících materiálů

3.2.1 Úvod

Pro určení vhodnosti vzduchotěsnících materiálů na hlavní experimenty je potřeba ověřit, jak dobře budou držet jednotlivé izolační materiály na cihle, až ji necháme nasáknout vodou. Předpokládám, že se vytvoří mezi izolací z pásky a povrchem cihly vodní film a páska nebudou tak těsně doléhat k cihle jako na počátku. Vytvořila by se tím kapilára mezi páskou a stěnou cihly, která by potom ovlivnila vysoušecí experiment. Na krajích by docházelo k rychlejšímu vysoušení. Tomuto jevu chci co nejvíce zamezit. U jednotlivých těsnících systémů budu sledovat, jak se bude měnit jejich přilnavost v čase za stálého nasávání vzorku vodou. Po daném experimentu zvolím vhodný těsnící materiál pro vybrané cihly.

3.2.2 Postup zkoušky

Vybral jsem si cihlu a z ní jsem odštípl čtvrtinu pomocí majzlíku a kladiva. Na rovné povrchy vzorku jsem nanesl jednotlivé izolační materiály (obr. 13).



Obrázek 14 Vzorek a použité těsnící pásky

Materiály jsem lepil přibližně 1 cm od čela, které bude nasávající. Jednotlivé těsnící materiály jsem aplikoval dvakrát, a to na hrubší a hladší povrch cihly. Potom jsem vzorek uložil do plastové nádoby opatřené buničinou, aby vzorek z cihly nasával vodu rovnoměrně. Do dózy

jsem nalil demineralizovanou vody a vytvořil hladinu o výšce 5 mm, aby páska a tmel byly nad hladinou vody.

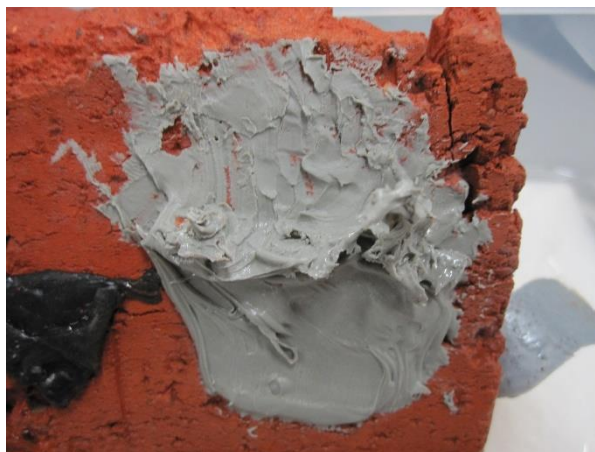


Obrázek 15 Ponořený cihelný vzorek ve vodě, který je kolem dokola oblepený vzorky těsnících materiálů

U nanesených vzorků jsem sledoval, jak se mění jejich přilnavost časem. Jednotlivé pásky jsem vždy při každé kontrole po částech odtrhával (obr. 15) a u tmelu jsem prováděl vrypů (obr. 16).



Obrázek 16 Odtrhávání lepenky ISOCELL OMEGA DB



Obrázek 17 Detail vrypů ve tmelu DEN BRAVEN

3.2.3 Výsledky

Jednostranně lepící butylkaučuková páska ISOCELL BUTYL DEHNFLEX

Po několika hodinách po nasáknutí cihelného vzorku páska drží, ale o poznání méně než na povrchu suché cihly. Po uplynutí dvou dnů páska stále místy drží dobře, ale na hladkém povrchu cihly drží špatně. Část pásky, kterou oddělím od povrchu, už nelze znovu připevnit na mokrý povrch cihly. Toto je u všech pásek stejné. Po několika dalších dnech páska drží podobně.

Jednostranně lepící bitumenová páska ISOCELL OMEGA DB

Výsledné pozorování je obdobné jako u předchozí pásky po několika hodinách. Při odtrhávání páska celkem dobře drží, lze ale vidět, že na suchém materiálu také držela lépe. Vývoj po několika dnech je stejný jako u lepenky ISOCELL BUTYL DEHNFLEX.

Oboustranně lepící butylová páska ILLBRUCK TP421

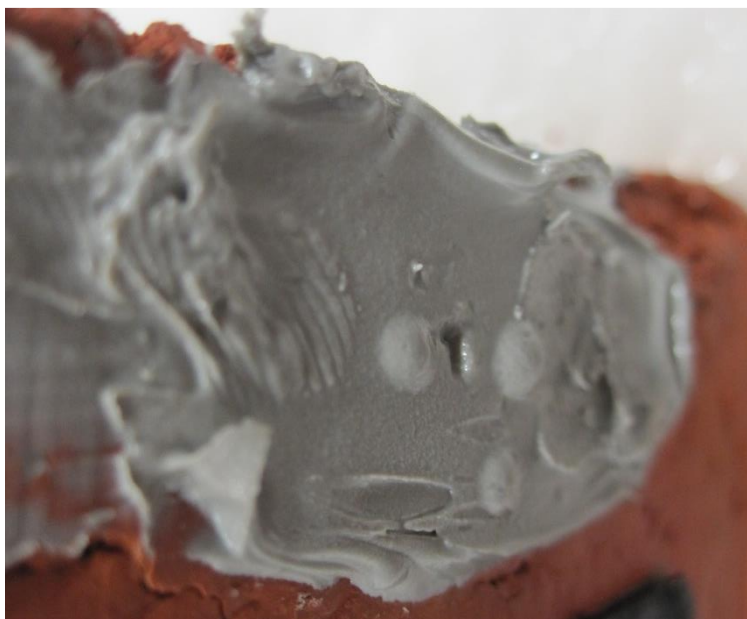
Po nasáknutí vzorku páska drží, ale o něco méně než na suché cihle. Lze snadněji odtrhávat od povrchu než lepenky ISOCELL BUTYL DEHNFLEX a ISOCELL OMEGA DB. Postupně další dny se přilnavost horší a lepenka lze velmi snadno odtrhnout.

Oboustranně lepící butylkaučuková páska ILLBRUCK ME403

Na rozdíl od ostatních pásek tato už po několika hodinách drží velmi špatně, dokonce se část pásky sama odchlípla od povrchu cihly. Ze všech pásek drží nejhůře a hned první den lze velmi snadno odtrhnout.

stavbařský butylenový tmel DEN BRAVEN

Po nasáknutí vzorku tmel drží dobře. Povrch vzorku je ale lepivý a tmel je velice poddajný. To znamená, že vryp do materiálu lze udělat lehce. Ale i při vrypu stále tmel tvoří tenkou vrstvu na povrchu cihly. Při druhé kontrole po dvou dnech se na tmelu objevily puchýřky (obr. 17). A tmel už není lepkavý, ale vryp lze stále udělat lehce, protože tmel není stále uvnitř zatuhlý. Další dny je to podobné. Tmel stále dobře drží a postupně tuhne. Na povrchu se už netvoří nové puchýřky.



Obrázek 18 Vytvoření puchýřků na povrchu tmelu DEN BRAVEN

3.2.4 Diskuze

Jak jsem předpokládal, pásky po nasáknutí cihly hůře držely k cihlovému povrchu. Na povrchu se vytvořil vodní film a lepenky značně držely méně. Nejlépe držel butylenový tmel DEN BRAVEN. Jediným nedostatkem tmelu byl výskyt puchýřků na jeho povrchu. Ty vznikly unikajícím vzduchem z pórů, které se plnily vodou. Čerstvý tmel byl ještě značně plastický, a proto tak neodolával tlaku vzduchu, který vytvořil vzduchové kapsy. Dobrými lepenky se ukázaly ISOCELL BUTYL DEHNFLEX a ISOCELL OMEGA DB. Ostatní lepenky držely špatně, a tudíž pro můj hlavní experiment byly nevhodné.

3.2.5 Závěr

Nejvhodnějším ze zkoušených materiálů mi vyšel stavební butylenový tmel DEN BRAVEN. A proto jsem ho vybral na další experimenty. Během zkoušky se ale i u tmelu objevil problém, a to tvoření oněch puchýřků. Tomuto jevu zabráním tím, že tmel nechám několik dní zatuhnout a ještě ho stáhnou PVC lepenkou. Díky tomu také zajistím lepší manipulaci se vzorky, protože povrch nebude lepidlý.

A) Hlavní experimenty

Na cihlách provedu řadu zkoušek. Nejdříve vzorky podrobím testu nasákavosti, kde každý vzorek bude nasycen v jiném roztoku. Následně cihly nechám vysychat. Po určité době vysychání u vzorků stanovím vlhkostní profil a profil obsahu solí.

3.3 Stanovení nasákavosti s částečným ponořením

3.3.1 Úvod

Nasákavost částečným ponořením se stanoví měřením změny hmotnosti zkušebního vzorku, jehož spodní povrch bude ve styku s vodou, a to do té doby, dokud nedojde k ustálení přírůstku váhy. Zkoušku budu provádět na celých cihlách. Pro každou cihlu budu mít určený roztok, ve kterém bude během trvání zkoušky ponořena. Půjde o solné roztoky v různých koncentracích a u dvou vzorků bude jen destilovaná voda. Vybrané soli na experiment jsou tyto: chlorid sodný (NaCl); dusičnan sodný (NaNO_3) a síran sodný dekahydrát ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$). Dále pro zkoušku jsem stanovil dvě koncentrace solných roztoků: na 1 l destilované vody dám: a) 100 g soli; b) 25 g soli. Cílem této zkoušky je získat stejné zasolení vzorků v dané koncentraci solí. Po vyhodnocení výsledků uvidím, jak jednotlivé soli ovlivnily průběh nasávání. [7]

3.3.2 Metody

Při této zkoušce jsem se řídil technickou normou ČSN EN ISO 15148 (73 0314)

Příprava vzorků a roztoků

Pro experiment jsem vybral 8 reprezentativních vzorků cihel, aby obsahovaly co nejméně povrchových nepravidlostí a byly si co nejvíce podobné. Před započítím celého experimentu byly cihly uskladněné v laboratoři několik týdnů a tím se stabilizovala jejich hmotnost ve zkušebních podmínkách. Následně jsem všechny cihly změřil a zvážil a začal se zatměním bočních stran, abych zabránil vysoušení vzorků během zkoušky. Každou cihlu jsem pečlivě zatmelil butylnovým tmelem (obr. 19). Bez zatmění byly ponechány jen čela a část boků cca 1 cm od čela, které jsem zvolil jako nasávající. Tmel jsem potom postupně obalil PVC páskou. Tu jsem lepil po částech od shora dolů. Pásku jsem začal lepit přibližně 2

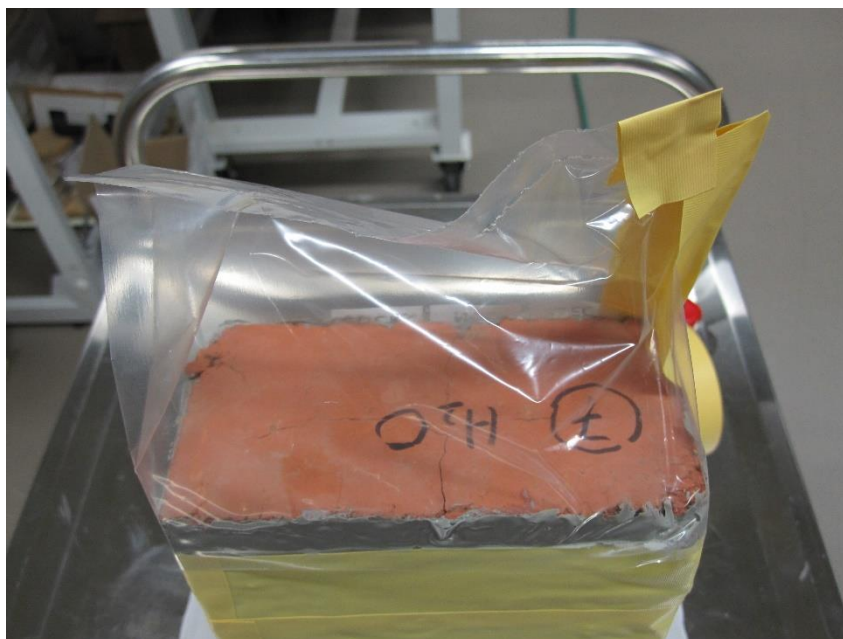
cm od horního čela a jednotlivé části pásky se překrývaly cca o 7 mm (obr. 20). Díky takto vytvořené obálce nebude docházet k vysychání boky vzorků a bude s nimi snadná manipulace. Nakonec jsem na horní části vzorků vytvořil z PP sáčku tzv. "čepce" (obr. 21). Sáček jsem ke vzorku pevně obepnul a u jedné hrany jsem odštíhl přebývající část sáčku. Vytvořenou skulinu jsem přelepil PVC páskou. Následně jsem u vytvořeného čepce na jednom rohu vystříhl malou dírkou. Čepce zamezí, aby z povrchu čela cihla tak moc nevysychala, protože omezí proudění vzduchu u čela cihly. Dírka je vytvořená z důvodu unikání vzduchu z cihelných pórů a nebrání tak ke vzlínání roztoku. U vzorků jsem nechal několik dní zatuhnout tmel.



Obrázek 19 Postupné zatmelení vzorku



Obrázek 20 Postup pokrytí vzorku PVC páskou



Obrázek 21 Čepec z PP sáčku s vytvořenou dírou

Následně jsem si připravil od každé soli dvě různé koncentrace roztoků. První koncentraci jsem připravil v poměru 100 gramů soli na 1 litr destilované vody, druhý poměr byl namíchán v poměru 25 gramů soli na 1 litr destilované vody. Každý roztok jsem dokonale promíchal, aby se rozpustila veškerá sůl. Pro jistotu, že bude veškerá sůl rozpuštěná, jsem roztoky připravil den před započítím zkoušky.

Zařízení a pomůcky

Při této zkoušce je zapotřebí těchto zkušebních zařízení a pomůcek.

- a) Váha, která váží zkušební vzorek s přesností $\pm 0,1$ % hmotnosti vzorku.;
- b) Nádoby pro jednotlivé roztoky a vzorky, kde se bude neustále doplňovat roztok. Je nutné docílit, aby vzorek sál celé čelní plochy rovnoměrně, proto nesmí být položen přímo na dno. Z toho důvodu jsem na dno nádoby umístil hliníkovou mřížku a na ní položil buničinu.;
- c) Měřič času s přesností minimálně 1 s;
- d) Měřiče relativní vlhkosti, tlaku a teploty v místnosti.

Zkušební podmínky

Během zkoušky byly podmínky v dovoleném rozsahu dle normy ČSN EN ISO 15148 (73 0314) (tab. 6)

Tabulka 6 Dovolенý rozsah středních podmínek a odchylek během zkoušky podle ČSN EN ISO 15148 (73 0314)

	Teplota [°C]	Relativní vlhkost [%]
Dovolенý rozsah zkušebních podmínek	18 až 28	0,4 až 0,6
Dovolенá odchylka během zkoušky	±2	±0,05

Skutečný průběh teploty, relativní vlhkosti a tlaku místnosti je uveden v přílohách.

Zkušební postup

Zkušební vzorky jsem nejprve zvážil s přesností $\pm 0,1$ % jejich hmotnosti, abych určil počáteční hmotnost m_i po kondicionování. Pro každý vzorek jsem připravil nádoby, které jsem popsal podle konkrétního roztoku a vložil do nich nerezovou mřížku s buničinou (obr. 22). Potom jsem do každé nádoby nalil cca 170 ml konkrétního roztoku, aby po vložení vzorku vznikla hladina roztoku o výšce přibližně 5 mm. Takto vysokou hladinu je nutné udržovat během celé zkoušky a povolená tolerance změny je ± 2 mm.



Obrázek 22 Nádoba určená pro zkoušku nasákavosti

Jakmile jsem položil vzorek do roztoku, spustil jsem stopky. Vzorky jsem vyndával a vážil po zvolených intervalech. Dobu vážení, kdy vzorek nebude v roztoku, jsem si stanovil na 20 s. intervaly. Dobu ponechání vzorků v roztoku jsem postupem zkoušky měnil podle váhového nárůstu: 5 x 1 min.; 5 x 2 min.; 5 x 5 min.; 5 x 10 min.; 4 x 20 min.; 4 x 40 min. a nakonec jsem vzorky vážil po 1 hod., dokud nedošlo k ustálení váhy. Před každým vážením jsem povrchy osušil vlhkou houbou. Během zkoušky jsem houbu pravidelně ždímal, aby neobsahovala mnoho vody, kterou by cihla mohla nasát. Houby jsem měl pro dané vzorky jiné, aby nedošlo ke kontaminaci cihel. Je nutné dodat že ustálení váhy cihel (nárůst váhy po ≥ 1 hod. není

třikrát za sebou větší než 0,1 % původní váhy) trvalo mnoho hodin až dnů. Z tohoto důvodu jsem vážení na konci dne přerušil a doplnil co nejvíce roztoku, takže jsem měl hladinu vyšší jak 5 mm, a to přibližně 10 mm. Provedl jsem to proto, aby vzorky přes noc všechnu vodu nevytáhly. Vážít jsem začal znovu další den. To se opakovalo až do doby, než všechny vzorky dosáhly ustálení váhy.



Obrázek 23 Pracovní prostor zkoušky nasákavosti



Obrázek 24 Vzorky ponořené v různých roztocích

Tuto zkoušku jsem prováděl ve třech sadách. Nejprve na jednom vzorku, který byl ponořen pouze v destilované vodě. Potom jsem ji opakoval na třech vzorcích s první zvolenou koncentrací solí v roztoku. A nakonec následovala řada vzorků s druhou koncentrací roztoků a s jedním vzorkem, který byl ponořen do destilované vody. Při zkoušce s více vzorky najednou byly jednotlivé vzorky ponořovány do roztoku se zpožděním 20 s od předchozího vzorku. Postup byl vždy stejný. Díky tomu, že jsem poprvé vážil jen jeden vzorek, tak jsem mohl ze začátku volit kratší intervaly ponechání vzorku v roztoku než 1 min.

Zkoušky jsem ukončil po dvou sadách. Nejprve jsem vyndal najednou první vzorek ponořený v destilované vodě spolu se třemi vzorky, které byly ponořeny do silnějších solných roztoků. Potom jsem vyndal druhou sadu. To byly vzorky ponořeny v druhé koncentraci roztoků a jednoho vzorku v destilované vodě.

Během zkoušky u vzorků s menším obsahem solí v roztoku vzorek s dusičnanem sodným přes noc úplně vysál roztok z nádoby a buničina byla suchá. U vzorků s chloridem sodným a síranem sodným nebyla sice vidět hladina vody, ale buničina byla stále hodně nasycená roztokem. U vzorku s roztokem s větším množstvím chloridu sodného též druhý den nebyla vidět hladina vody, ale buničina byla stále hodně vlhká.

Začátek a konec zkoušky

První vzorek s destilovanou vodou: od 21.11.2017 13:51 do 26.11.2017 17:45

Vzorky ponořené v silnějším solném roztoku: od 23.11.2017 13:11 do 26.11.2017 17:45

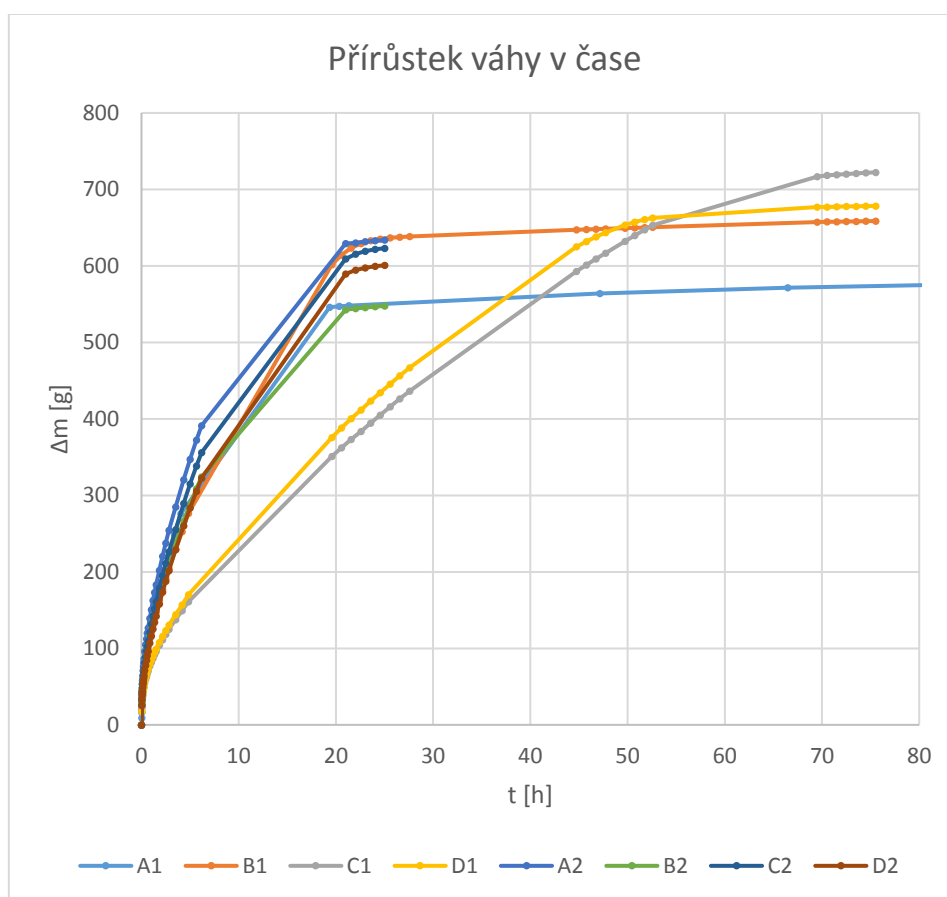
Vzorky ponořené v slabším solném roztoku a s dalším vzorkem v destilované vodě: od 27.11.2017 11:00 do 28.11.2017 13:35.

3.3.3 Výsledky

Pro vyjádření výsledků jsou vzorky ve všech grafech značeny podle tabulky 7:

Tabulka 7 Značení vzorků

vzorek	Roztok použitý pro daný vzorek
A1	Destilovaná voda
B1	100 g chloridu sodného (NaCl) na 1 l destilované vody
C1	100 g dusičnanu sodného (NaNO ₃) na 1 l vody
D1	100 g síranu sodného dekahydrát (Na ₂ SO ₄ · 10 H ₂ O) na 1 l destilované vody
A2	Destilovaná voda
B2	25 g chloridu sodného (NaCl) na 1 l destilované vody
C2	25 g dusičnanu sodného (NaNO ₃) na 1 l destilované vody
D2	25 g síranu sodného dekahydrát (Na ₂ SO ₄ · 10 H ₂ O) na 1 l destilované vody



Obrázek 25 Graf přírůstků váhy v čase

Z příbytku váhy jsem u jednotlivých vzorků spočítal množství soli a vody, které proniklo do materiálu. Následně jsem určil hmotnostní obsah soli (s) ve vzorku a hmotnostní obsah vody (w) ve vzorku.

Použité vzorce pro odhad hmotnostního obsahu vlhkosti a soli v cihle

Hmotnostní obsah soli ve vzorku jsem vyjádřil pomocí vzorce (8):

$$s = m_s / (m_0 + m_s) \cdot 100\% \quad (8)$$

kde je m_s [g] hmotnost soli v materiálu;

m_0 [g] hmotnost suchého materiálu na počátku zkoušky.

Vzorec pro hmotnostní obsah vlhkosti ve vzorku (9):

$$w = m_w / (m_0 + m_s) \cdot 100\% \quad (9)$$

kde je m_w [g] hmotnost zkušební vzorku před vysušením;

m_s [g] hmotnost soli v materiálu;

m_0 [g] hmotnost suchého materiálu na počátku zkoušky.

Spočtené výsledky jsou zaznamenány v tabulce 9.

Tabulka 8 Obsah soli a vody ve vzorku

vzorek	Roztok použitý pro daný vzorek	Počáteční váha cihly [g]	Přírůstek váhy [g]	Obsah soli [g]	Obsah Voda [g]
A1	Destilovaná voda	4623,1	585,6	0,00	585,60
B1	100 g chloridu sodného (NaCl) na 1 l vody	4890,7	658,6	59,87	598,73
C1	100 g dusičnanu sodného (NaNO ₃) na 1 l vody	4948,5	722,3	65,66	656,64
D1	100 g síranu sodného dekahydrát (Na ₂ SO ₄ · 10 H ₂ O) na 1 l vody	4804,4	678,3	61,66	616,64
A2	Destilovaná voda	4938,0	633,7	0,00	633,70
B2	25 g chloridu sodného (NaCl) na 1 l vody	4698,9	547,6	13,36	534,24
C2	25 g dusičnanu sodného (NaNO ₃) na 1 l vody	4934,7	623,1	15,20	607,90
D2	25 g síranu sodného dekahydrát (Na ₂ SO ₄ · 10 H ₂ O) na 1 l vody	4643,2	600,8	14,65	586,15

Všechny vzorky po ukončení zkoušky dosáhly hmotnostní vlhkosti $w > 10\%$, tudíž každá cihla dosáhla velmi vysokého stupně vlhkosti. Vzorky, které byly ponořeny v silnějším solném roztoku, dosáhly velmi vysokého stupně zasolení, kromě síranu sodného, který dosáhl zvýšeného stupně zasolení. Ve druhé sadě vzorků, u které šlo o solný roztok slabší, byl stupeň zasolení vzorků vysoký, kromě síranu sodného, kde se jedná o nízký stupeň zasolení. Zatřídění vzorků je podle normy ČSN P 73 0310 (tab. 9).

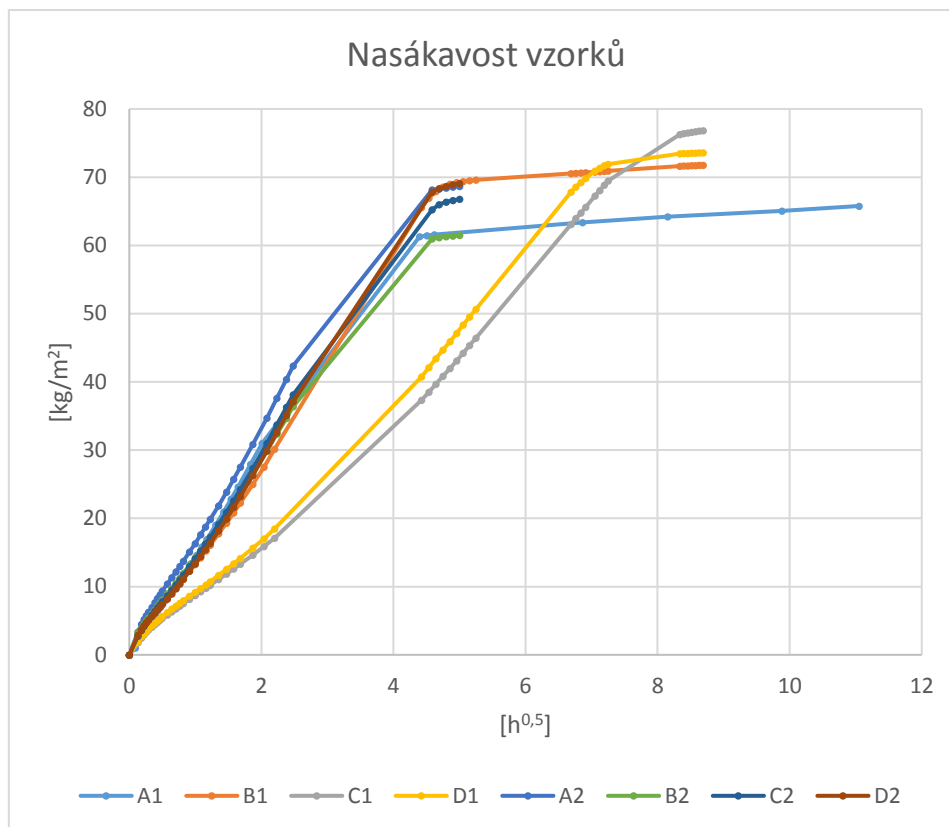
Tabulka 9 Zatřídění vzorků podle obsahu vody a soli ve vzorku dle normy ČSN P 73 0610

vzorek	Obsah soli	Hmotnostní obsah soli s [%]	Hmotnostní vlhkost w [%]	Stupeň zasolení cihly	Stupeň vlhkosti cihly
A1		0,00	12,67	-	Velmi vysoká
B1	NaCl	1,21	12,09	Velmi vysoký	Velmi vysoká
C1	NaNO ₃	1,31	13,10	Velmi vysoký	Velmi vysoká
D1	Na ₂ SO ₄ · 10 H ₂ O	1,27	12,67	Zvýšený	Velmi vysoká
A2		0,00	12,83	-	Velmi vysoká
B2	NaCl	0,28	11,34	Vysoký	Velmi vysoká
C2	NaNO ₃	0,31	12,28	Vysoký	Velmi vysoká
D2	Na ₂ SO ₄ · 10 H ₂ O	0,31	12,58	nízký	Velmi vysoká

Z grafu nasákavosti (obr. 24) lze vidět, že vzorky se liší v množství nasátého roztoku a v době ustálení váhy. Rychlost nasákavosti je u mnoha vzorků podobná. Největší koeficient nasákavosti A_w (úhel mezi křivkou a osou času) mají vzorky, které byly ponořené jen v destilované vodě (A1; A2). U těchto vzorků se ale liší doba ustálení a množství nasáté vody. U vzorku A1 došlo dříve k ustálení váhy a měl menší přírůstek váhy než vzorek A2.

Jen o trochu pomalejší nasákavost byla u vzorků ponořených ve slabším solném roztoku, a to v pořadí seřazených od nejrychlejšího sání roztoku: dusičnan sodný (C2), síran sodný (D2); chlorid sodný (B2). Hodnoty součinitele nasákavosti těchto vzorků jsou ale velice podobné.

U vzorků, kde roztok měl větší množství soli, je koeficient nasákavosti výrazně menší, kromě vzorku s chloridem sodným (B1). Tam se nasákavost blíží k vzorkům se slabšími solnými roztoky. Silnější solné roztoky dusičnanu sodného (C1) a síranu sodného (D1) vzlínaly do cihly přibližně 2x pomaleji.



Obrázek 26 Graf nasákavosti vzorků

Tabulka 10 Pořadí vzorků podle součinitele nasákavosti stanovené z posledního vážení v prvním dni zkoušky

	A2	A1	C2	D2	B2	B1	D1	C1
Aw [kg/m ² s ^{1/2}]	0,284	0,257	0,256	0,249	0,244	0,229	0,140	0,130

Tabulka 11 Pořadí vzorků podle množství nasátého roztoku

	C1	D1	B1	A2	C2	D2	A1	B2
Δm [g]	722,3	678,3	658,6	633,7	623,1	600,8	585,6	547,6

3.3.4 Diskuze

Z výsledků je jasné, že obsah solí ve vodě způsobí zpomalení vztlínání. Zpomalení nasákavosti lze hlavně vidět, když porovnáme vzorky ponořené v silnějších solných roztocích s vzorky s destilovanou vodou. Součinitel nasákavosti je u solných roztoků cca 2 x menší. Kromě chloridu sodného, kde rozdíl oproti vodě není zas tak velký. Chlorid sodný pronikal do materiálu nejrychleji, protože jeho velikost iontů je nejmenší ($r=562,7\text{pm}$). U druhé sady vzorků, kde nebyla tak vysoká koncentrace solí, je už rozdíl oproti vodě velmi malý, ale i zde

je vidět, že přidaná sůl způsobila zpomalení vztlínání. Dá se říct, že u slabších roztoků byla nasákavost stejná.

Dále se u každého vzorku lišilo množství nasátého roztoku. To je způsobeno tím, že velikosti jednotlivých cihel se lišily. Například vzorky A1 a B2 mají velice podobnou váhu a po ustálení nabraly podobné množství roztoku.

Předpokládal jsem, že výsledek zkoušky bude jiný. A to takový, že u dvou vzorků, které byly ponořeny jen ve vodě, bude jejich hmotnostní vlhkost po ustálení stejná a trochu větší než u ostatních vzorků. Dále podle mé domněnky by vzorky, které byly v méně koncentrovaných solných roztocích, měly mít stejný hmotnostní obsah soli a vlhkosti. A v porovnání se vzorky s vodou by měly nižší vlhkost, protože část nasátého objemu by tvořily soli. U další sady vzorků se silnějším solným roztokem by byl stejný průběh, takže větší salinita a nižší vlhkost. Ve skutečnosti to tak ale nevyšlo. Například vzorek v solném roztoku C1 má po ustálení vyšší hodnotu vlhkosti než vzorek s vodou A1. Z výsledků lze vidět, že se i u vzorků se solným roztokem o jedné koncentraci liší po ustálení hmotnosti příbytku váhy jejich hmotnostní obsah vlhkosti a salinita. A vzorky, které byly ponořeny do destilované vody nemají největší vlhkost ze všech vzorků. Dále je vidět, že vzorky nasáté jen v destilované vodě se trochu liší. Z těchto výsledků usuzuji, že se nelišily jen rozměry cihel, ale i obsah a struktura pórů jednotlivých cihel. Mohlo se například jednat o jinou šarži cihel, kde se lišil například výpal cihly. Při druhé sadě vzorků (A2, B2, C2, D2) má domněnka skoro vyšla, salinita vzorků a vlhkost se liší málo a vlhkost zasolených vzorků je nižší než u vzorků ponořených v destilované vodě (A1, A2)

3.3.5 Závěr

Výskyt soli ve vodě způsobí, že se roztok dostává o něco hůře do pórového materiálu. Čím vyšší koncentrace dané soli, tím pomalejší bude vztlínání. Rychlost pronikání také bude záležet na druhu soli rozpuštěné v roztoku. Soli s většími ionty budou do konstrukce hůře pronikat.

Po dokončení zkoušky jsem nedocílil stejného obsahu vlhkosti a obsahu solí u jednotlivých sad vzorků, ale rozdíly nejsou zase tak veliké. Všechny vzorky spadají do velmi vysokého stupně vlhkosti. U vzorků, které byly ponořeny do solného roztoku o vyšší koncentraci, se jejich salinita pohybuje v rozmezí 1,21-1,31 %. Roztřídění podle množství solí

je potom takové, že ve vzorcích, kde jsou obsaženy chloridy a dusičnany, se jedná o velmi vysoký stupeň zasolení a cihla se sírany má zvýšený stupeň zasolení. U vzorků, které byly ponořeny do solného roztoku o nižší koncentraci, se jejich salinita pohybuje v rozmezí 0,28-0,31 %. Vzorky s chloridy a dusičnany spadají do vysokého zasolení a vzorek se síranovou solí má nízký stupeň zasolení.

3.4 Vysoušecí experiment

3.4.1 Úvod

Po stanovení nasákavosti s částečným ponořením vzorky vyndám z roztoků a nechám je vysoušet. Přitom budu pozorovat odlišnosti u jednotlivých vzorků. Zkouška má simulovat vnitřní historickou stěnu, která je nasycena vodou. Při této zkoušce, stejně jako u předchozích, jsem se zaměřil jen na cihelný materiál a zanedbal jsem maltu a omítku. Touto zkouškou bych chtěl zjistit, při jaké vlhkosti a salinitě přestane tvoření solných výkvětů u jednotlivých zasolených vzorků. Dále budu vzorky denně vážit, abych zjistil, jak u kterých vzorků probíhá rychle redukce obsahu soli a jak která sůl ovlivní odpar vody z materiálu. Tato zkouška také ukáže rozdílnost tvoření výkvětů.

3.4.2 Metody

Vysoušení bude probíhat přirozeně v laboratorních podmínkách a vzniklé výkvěty se budou po cca 24 hod. mechanicky čistit.

Příprava vzorků

Jelikož jsem chtěl simulovat vnitřní cihelnou stěnu o tloušťce 600 mm, která je plně nasáklá vodou, tak musím docílit, aby cihla vysychala jen jedním čelem. Proto je potřeba po zkoušce nasákavosti zatmelit vrchní čelo a část boků, kde chyběl tměl. Po zatmelení částí vzorku butylenovým tmelem jsem zase jednotlivá místa oblepil PVC lepenkou. Díky PVC lepence nebude docházet nechtěné ztrátě tmelu během manipulace, a tudíž nebude docházet k chybě při vážení vzorku.

Zařízení a pomůcky

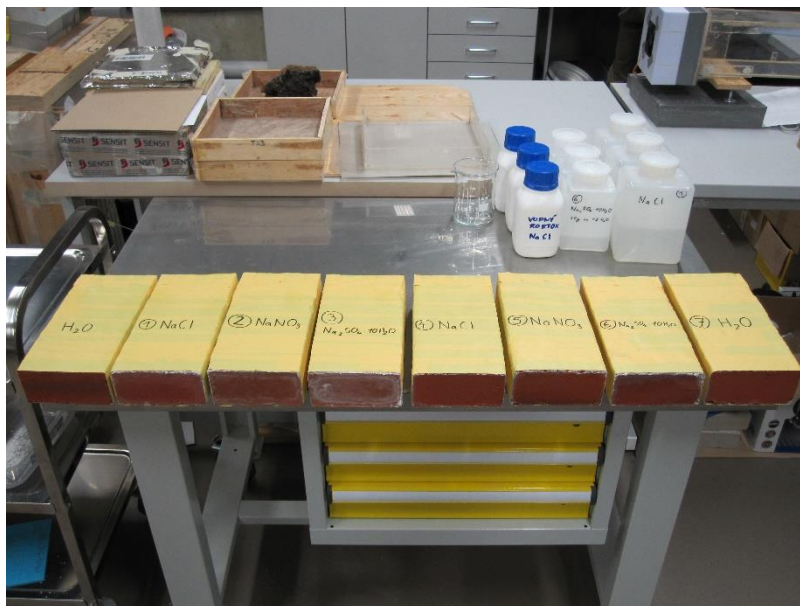
Při této zkoušce je zapotřebí zkušebních zařízení a pomůcek:

- a) Váha, která váží zkušební vzorek s přesností $\pm 0,1$ % hmotnosti vzorku.;
- b) Měřiče relativní vlhkosti, tlaku a teploty v místnosti.
- c) Houbičky na mechanické čištění.

Zkušební postup

Po vyndání vzorků z jejich roztoku jsem zatmelil potřebné plochy butylenovým tmelem a přelepil PVC lepenkou. Potom jsem jednotlivé vzorky zvážil, abych zjistil hmotnost po zatmelení. Zatmelení vzorků mi při první sadě vzorků trvalo 2 hod. a při druhé jen 1,5 hod. Takže je zde vložena nepřesnost, která vznikla vysoušením během doby tmelení. Po zvážení jsem jednotlivé vzorky položil na stůl a jednotlivé vzorky vyfotil, abych zaznamenal počáteční stav vzorků.

Druhý den jsem vzorky vyfotil a zvážil. Potom jsem solné výkvěty mechanicky očistil a to tak, že jsem sůl nejprve oškrábal špachtlí a zbytek jsem setřel houbou navlhčenou v destilované vodě. Pro každou sůl jsem měl určenou jednu houbičku, aby nedošlo ke kontaminaci jednotlivých vzorků. Nakonec jsem znovu vzorky zvážil, abych určil zvláště úbytek vody a úbytek soli z cihly za danou dobu. Tento postup jsem opakoval denně po dobu trvání experimentu. U vzorků z první sady (A1, B1, C1, D1) jsem vysoušení ukončil dříve než u druhé sady vzorků pro další následující zkoušky.



Obrázek 27 Umístění vysychajících vzorků

Zkušební podmínky

Průběh teploty relativní vlhkosti a tlaku místnosti během zkoušky je uveden v přílohách.

Průměrné hodnoty rychlosti proudění vzduchu změřené anemometrem v místě vysychajícího čela byly u jednotlivých vzorků velmi podobné. Celkový průměr proudění

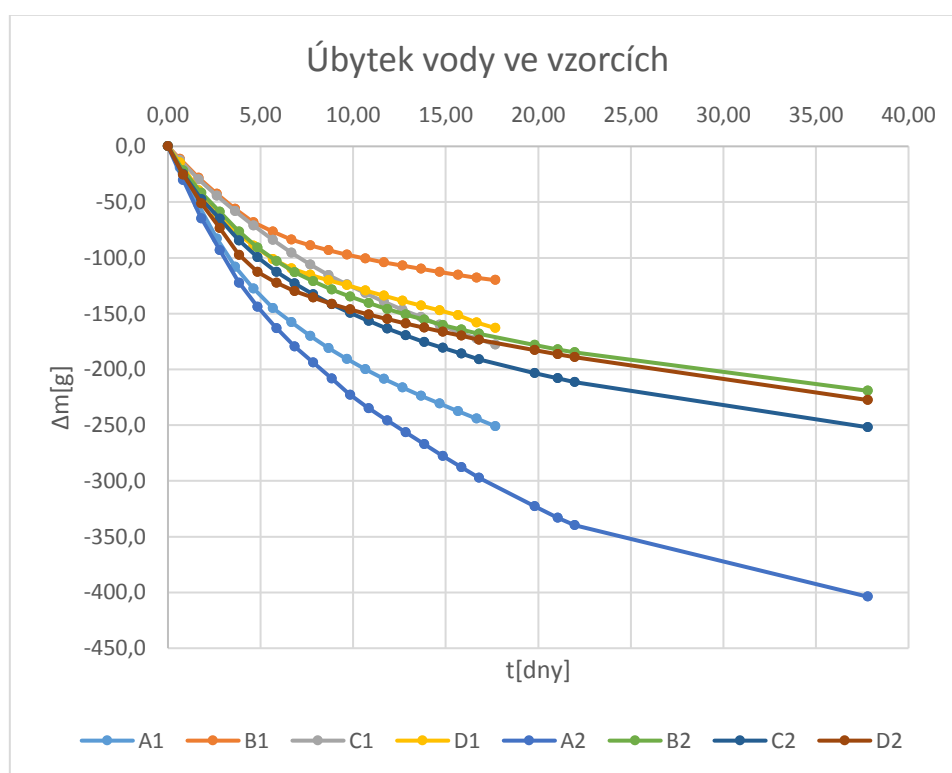
vzduchu při zapnutém větrání činil 0,1 m/s. Při vypnutém větrání byla rychlost proudění vzduchu 0,01 m/s.

Začátek a konec zkoušky

U vzorků z první sady (A1, B1, C1, D1) je doba pozorování od 26.11.2017 17:46 do 14.12.2017 10:12.

U vzorků z druhé sady (A2, B2, C2, D2) je doba pozorování od 28.11.2017 13:35 do 3.1.2018 8:58

3.4.4 Výsledky

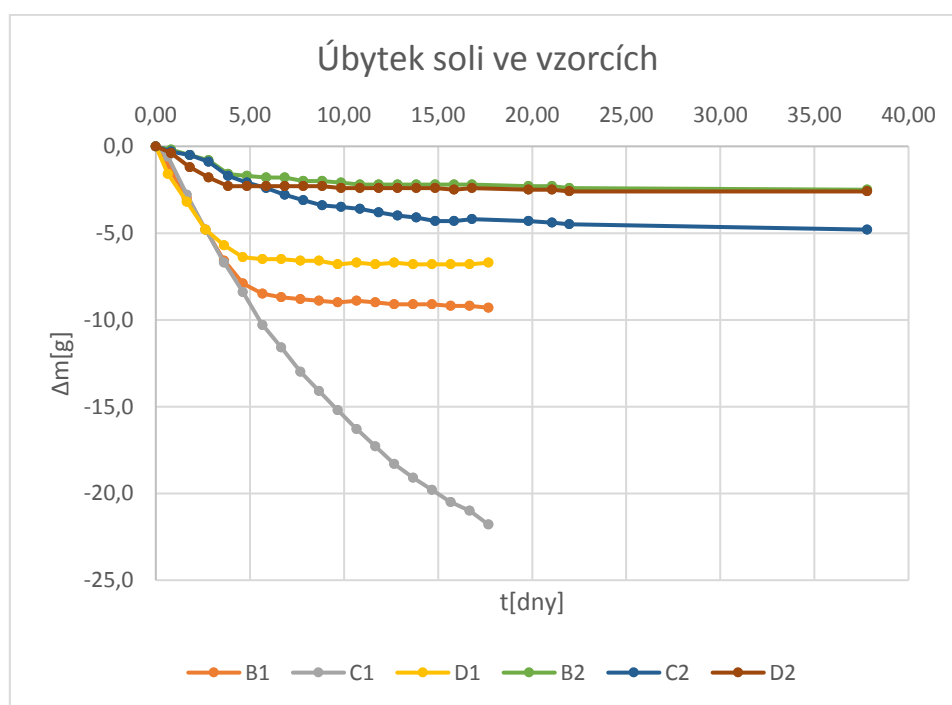


Obrázek 28 Graf odpařené vody ve vzorcích

Vysychání se u všech vzorků postupem času zpomaluje. Nejrychleji vysychají vzorky, které byly nasyceny pouze destilovanou vodou (A1, A2). Vzorky, které obsahovaly síran sodný, měly úbytek váhy zpočátku rychlejší než ostatní zasolené vzorky s přibližně stejným obsahem solí. Po určité době se však úbytek vody zpomalil a vysoušení bylo pomalejší než u vzorků zasolených dusičnanem sodným. Tento jev se projevil jak u vzorků s více obsahem soli, tak i v sadě s méně zasolenými vzorky. Nejvíce vysychání zpomaloval chlorid sodný, který měl ze začátku podobný průběh s dusičnanem sodným, ale u chloridu sodného došlo

rychleji ke zpomalení vysoušení. Za ním následoval síran sodný dekahydrát a nejméně zpomaloval vysoušení dusičnan sodný.

U vzorků zasolených stejnou solí byl při vyšší koncentraci soli vždy pomalejší průběh vysychání. Porovnáme-li vzorky všech solí najednou, tak už neplatí, že při větším obsahu soli bude docházet k pomalejšímu vysychání. Například, když porovnáme vzorek s větším obsahem síranu sodného (D1) se vzorkem s menším obsahem chloridu sodného (B2). Vzorek D1 obsahuje cca 4,5 x více soli, ale přitom vysychání probíhalo ze začátku stejně rychle po dobu 6,8 dnů. Po uplynutí této doby vzorek D1 vysychal už pomaleji. Další příklad je u vzorku, který byl silně zasolený dusičnanem sodným (C1). Tento vzorek časem předběhl v rychlosti vysychání méně zasolené vzorky s chloridem sodným (B2) a se síranem sodným (D2).



Obrázek 29 Redukce soli při vysychání vzorků

Redukce obsahu soli je i zde ze začátku rychlejší a postupem času se zpomaluje. Nejvíce úbytku soli je u více zasolených vzorků. Stejně jak u úbytku vody, tak i zde je ze začátku nejrychlejší úbytek u síranu sodného. Rychlost redukce síranu sodného dekahydrátu se brzy zpomalí a po pěti dnech ustane jeho úbytek. Tento jev je nejlépe vidět u slabších koncentrací. Průběh úbytku chloridu sodného a dusičnanu sodného je ze začátku téměř stejný, ale zhruba po době 3,5 dne se chlorid sodný oproti dusičnanu sodnému výrazně zpomalí. Tato změna nastala u vzorků s vysokým zasolením, tak i u vzorků, které měly menší

obsah solí. Výsledek rychlosti redukce obsahu solí vyšel tak, že nejrychlejší byl dusičnan sodný, potom následoval chlorid sodný a nejpomalejší byl síran sodný. Tento výsledek vyšel u obou koncentrací solí.

Tabulka 12 Vypočtené hmotnostní vlhkosti cihel po ukončení testu

Vzorky vysoušené po dobu 17,68 dnů					
vzorek	Výskyt soli ve vzorku	obsah soli v cihle [g]	Obsah vody v cihle [g]	Hmotnostní obsah soli [%]	Hmotnostní vlhkost cihly [%]
A1		0,00	585,60	0,00	7,24
B1	NaCl	59,87	598,73	1,02	9,69
C1	NaNO ₃	65,66	656,64	0,88	9,59
D1	Na ₂ SO ₄ · 10 H ₂ O	61,66	616,64	1,13	9,34
Vzorky vysoušené po dobu 37,82 dnů					
A2		0,00	633,70	0,00	4,66
B2	NaCl	13,36	534,24	0,23	6,69
C2	NaNO ₃	15,20	607,90	0,21	7,20
D2	Na ₂ SO ₄ · 10 H ₂ O	14,65	586,15	0,26	7,70

Tabulka 13 Zatřídění vzorků po ukončení zkoušky dle normy ČSN P 73 0610

Vzorky vysoušené po dobu 17,68 dnů			
vzorek	Obsah soli	Stupeň zasolení cihly	Stupeň vlhkosti cihly
A1		-	Zvýšená
B1	NaCl	Velmi vysoký	Vysoká
C1	NaNO ₃	Velmi vysoký	Vysoká
D1	Na ₂ SO ₄ · 10 H ₂ O	Zvýšený	Vysoká
Vzorky vysoušené po dobu 37,82 dnů			
A2		-	Nízká
B2	NaCl	Vysoký	Zvýšená
C2	NaNO ₃	Zvýšený	Zvýšená
D2	Na ₂ SO ₄ · 10 H ₂ O	Nízký	Zvýšená

Fotografie zachycující postup tvoření výkvětů na površích cihly jsou umístěny v přílohách. Fotky vzorků nasycených pouze vodou nejsou v přílohách zveřejněny, protože u nich nedošlo v průběhu zkoušky k žádné změně na povrchu. Tvoření výkvětů u vzorků byl následovný:

Vzorky s větším obsahem soli (B1, C1; D1)

Po patnácti hodinách bylo vidět, že nejvíce výkvětu vytvořil síran sodný dekahydrát. U chloridu sodného a dusičnanu sodného bylo množství podobné, ale chlorid sodný vytvořil výkvěty více po povrchu.

Po otření houbou a po uplynutí 24 hod. se u všech vzorků objevily vykrystalizované soli po celém povrchu. Jen dusičnan sodný několik malých míst nezaplnil. Chlorid sodný byl rozprostřen rovnoměrně po ploše. Při oškrábání špachtlí šlo vidět, že k podkladu držel ze všech solí nejpevněji. U dusičnanu sodného byla tvorba výkvětů více prostorová s vláscitou strukturou. Více soli bylo vidět na krajích. Na povrchu držel nejméně. Síran sodný dekahydrát vytvořil také výkvěty do prostoru, ale spíše jen na hranách. Měl nejmohutnější krystalizaci a docházelo i k jeho odpadu na zem. Struktura výkvětu byla na povrchu spojitá, při oškrábání odpadávaly větší kusy soli. Výkvěty držely k povrchu o trochu lépe, než jak to bylo u dusičnanu.

V dalších dnech se výkvěty zmenšovaly a ustupovaly od krajů. U síranu sodného dekahydrátu dokonce během zkoušky došlo k ustálení tvorby výkvětů, a to za dobu 9 dnů. Následně ihned došlo k degradaci povrchu cihly, která byla vidět v 10. dni. Na konci zkoušky se vytvářely výkvěty už jen na chloridu sodném a dusičnanu sodném, přitom u dusičnanu bylo více soli na povrchu.

Vzorky s menším obsahem soli (B2, C2; D2)

Ke krystalizaci dochází pomaleji a k vytvoření nejvíce solných výkvětů u všech došlo až 4. den. Jinak průběh byl obdobný jako u předchozích vzorků. Ustálení tvorby výkvětů síranu sodného dekahydrátu došlo 7. den, ale k žádné destrukci cihly nedošlo. Pořadí od nejrychlejšího ustalování tvorby výkvětů: 1. síran sodný dekahydrát; 2. chlorid sodný, 3. dusičnan sodný.

3.4.4 Diskuze

Jsem přesvědčen, že při zvoleném mechanickém čištění jsem dosáhl lepšího výsledku, než jakého je získáváno v praxi. V té se totiž většinou využívá při mechanickém čištění solných výkvětů tlaková destilovaná voda, tudíž se do konstrukce vnáší vlhkost a část soli se rozpustí a znova pronikne dovnitř konstrukce. Proto při otření vlhkou houbou bude transport soli na povrch mít kratší trvání, než kdybych povrchy čistil tlakovou vodou. Při

prvním očištění šlo vidět, jak se jednotlivé povrchy sjednotily. A další den se vytvořily solné výkvěty po celé ploše čela cihly. Je zajímavé, jak se jednotlivé výkvěty solí lišily. A zřejmě i struktura výkvětů ovlivňovala průběh vysoušení. Výkvěty zvýšily difuzní odpor u povrchu cihly, který byl zřejmě největší u chloridu sodného. U dusičnanů byl difuzní odpor u povrchu nižší, protože vláscitými výkvěty byl více prodyšný. Ale šlo jen o velice malé ovlivnění.

Vysychání vody nejvíce bránil chlorid sodný, potom následoval síran sodný dekahydrát a nejméně bránil dusičnan sodný. Zde hrála velkou roli velikost iontů solí a jejich hygroskopická vlastnost. U vzorků zasolených chloridem sodným dochází oproti dalším vzorkům k rychlejší kumulaci solí k povrchu materiálu, protože má nejmenší ionty ($r=562,7$ pm). Vznikne tak oproti ostatním rychleji a více nasycený solný roztok směrem k povrchu. Roztok si nad svojí hladinou bude udržovat relativní vlhkost menší než 100 %, která se bude snižovat s rostoucí koncentrací solí (plně nasycený roztok chloridu a dusičnanu sodného při teplotě 23 °C si udržuje nad hladinou RH ~ 75%). Difuzní spád se bude zmenšovat, odpaří se méně vody a s ní odejde i méně soli.

Síran sodný dekahydrát má zase největší velikost iontů ($r= 1290$ pm) z daných solí. Transport solí k povrchu cihly je výrazně pomalejší a roztok bude nějakou chvíli mít u povrchu nejnižší koncentraci soli oproti ostatním vzorkům. Proto ze začátku dojde k rychlejšímu odparu vody a s ním i odejde více soli než u ostatních vzorků. S vypařenou vodou se náhle zvětší koncentrace solného roztoku u povrchu a vysoušení i krystalizace solí se velmi zpomalí.

Dusičnan sodný má o trochu větší ionty než chlorid sodný ($r= 648$ pm). Průběh ze začátku proto měly podobný. Ale u dusičnanu se koncentrace zvyšovala mnohem pomaleji. Koncentrace solného roztoku byla zřejmě po dlouhou dobu na podobné hodnotě (u grafu odparu vody i redukce solí je skoro přímka), ale u chloridu se stále zvyšovala. To je zřejmě dáno tím, že rychlostní tok solí směrem k povrchu se přibližně rovnal rychlosti odvodu soli z cihly.

Zpomalení vysychání také způsobilo, že se změnil difuzní odpor cihly po průřezu. Ve vysychajících pórech bude docházet ke krystalizaci solí. To způsobilo zmenšení velikosti pórů a jejich povrch se zdrsnil. Tudíž směrem k vysychajícímu povrchu difuzní odpor stoupal. Ale zřejmě šlo o výrazně malou změnu.

3.4.5 Závěr

Koncentrace solí v cihle způsobí vždy zpomalení vysoušení. Tudíž nejrychleji by vyschly vzorky nasycené jen destilovanou vodou. Redukce množství vody a soli byla u všech vzorků jiná. Rozdíl byl způsobený hlavně na hygroskopicitě a velikosti iontů solí. Nejvíce z použitých solí vysoušení zpomalil chlorid sodný. Vzorek se síranem sodným dekahydrátem vysychal nejrychleji jen zpočátku a po několika dnech ho dohnal vzorek s dusičnanem sodným. Největší redukce byla dusičnanu sodného, potom u chloridu sodného a nejméně se ze vzorků dostalo síranu sodného dekahydrátu.

Jako nejagresivnější sůl mi vyšel síran sodný dekahydrát, který způsobil narušení povrchu cihly ve zvýšeném stupni salinity. U dalších vzorků nebyla vidět žádná degradace materiálu. Ustálení tvoření výkvětů jsem dosáhl jen u vzorků se síranem sodným. U ostatních vzorků se během mého pozorování stále tvořily výkvěty, ale zřejmě nejdelší transport by byl u dusičnanu sodného.

Ukončení zkoušky první sady vzorků po 17 dnech se i po redukcí solí zatřídění do stupně zasolení nezměnilo. Vlhkost zasolených vzorků se snížila na stupeň vysoké vlhkosti a vzorek jen s destilovanou vodou dosáhl stupně zvýšené vlhkosti.

38 dnů vysoušené vzorky: zasolené dosáhly zvýšeného stupně vlhkosti a vzorek s destilovanou vodou se vysušil na nízký stupeň vlhkosti. Po redukcí soli se zatřídění podle salinity změnilo jen u dusičnanu sodného, a to z vysokého na zvýšený stupeň salinity.

3.5 Stanovení vlhkosti sušením při zvýšené teplotě

3.5.1 Úvod

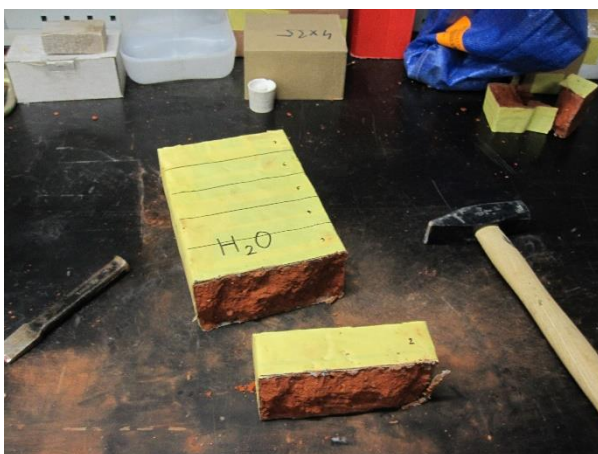
U vzorků z první sady (A1, B1, C1, D1) budu zjišťovat průřezovou vlhkost. Tuto vlhkost získám tím, že ze vzorku odeberu několik částí, které se zváží. Následně se vzorky vystaví zvýšené teplotě, a to takové, aby se vzorek zbavil veškeré volné vody. Po vysušení se vzorky znovu zváží. Vlhkost se potom vypočítá z hmotnosti zkušebního vzorku před sušením a z hmotnosti po vysušení zvýšenou teplotou.

3.5.2 Metody

Při stanovení vlhkosti jsem se řídil normou ČSN EN ISO 12570.

Příprava vzorků

U čtyř vzorků z předchozí zkoušky (A1, B1, C1, D1) jsem si pomocí fixu vyznačil sedm stejných částí. Potom jsem směrem od vysychajícího čela začal odsekávat 1/7 cihly za pomoci majzlíku a kladiva. Odštěpenou část jsem ještě rozdělil na třetiny a z nich vybral prostřední část, kterou jsem rozdrtil na části veliké 3-5 mm. Přes jemné síto jsem prosál velmi jemné částičky a prach, které jsem ve vzorku nechtěl mít. Následně jsem odebral přibližně 20 g drtě a vložil ji do předem zvážené hliníkové misky a vzorek zvážil. Potom jsem hned začal odsekávat další část. Po vytvoření nového vzorku jsem zase ihned vážil. Vytvoření jednoho vzorku mi trvalo v rozmezí 6-10 minut. Vytvoření všech vzorků ze čtyř cihel mi trvalo 4 hod. Za tu dobu se tudíž nepatrně změnila vlhkost ve vzorku a výsledky jsou s malou chybou.



Obrázek 30 Odsekávání cihly



Obrázek 31 Vytvořené vzorky umístěné v peci

Zařízení

Při této zkoušce je zapotřebí těchto zkušebních zařízení:

- a) Váha, která váží zkušební vzorek s přesností $\pm 0,1$ % hmotnosti vzorku.;
- b) Větraná pec schopná udržovat teplotu sušení uvedenou v tabule č. 14 a s relativní vlhkostí menší než 10 %.
- c) Exsikátory pro vychladnutí vzorků před jejich vážením;
- d) Měřiče relativní vlhkosti, tlaku a teploty v místnosti. [6]

Zkušební podmínky

Teplota v laboratoři během zkoušky musí být 23 ± 6 °C.

Zkušební postup

Hned po vytvoření každého vzorku jsem ho okamžitě zvážil s přesností 0,1 % jeho hmotnosti. Následně jsem všechny zvážené vzorky vložil do pece, ve které jsem nastavil teplotu sušení na 105 °C (tab. 14).

Tabulka 14 Teploty sušení z normy ČSN EN ISO 12570

Materiál	Teplota sušení °C
Materiály, které nemění svou strukturu při 105 °C, např. některé minerální látky, dřevo	105 \pm 2
Materiály, u kterých může dojít ke změně struktury mezi 65 °C a 105 °C, např. některé lehčené plasty	65 \pm 2
Materiály, u kterých může vyšší teplota vést k uvolnění krystalizační vody nebo ovlivnit nadouvadla, např. sádra a některé pěny	40 \pm 2

Po vyndání vzorků z pece jsem je nechal vychladit v exsikátoru a po jejich vychladnutí na 30 °C až 40 °C jsem je zvážil a znovu je vrátil do pece. Do Exsikátoru je nutné dát vzorky, aby nepojmuly vlhkost z vnitřního prostředí. Vážení vzorků jsem opakoval s intervalem větším jak 24 hod. do doby, dokud vzorek nedosáhl ke konstantní hmotnosti (změna hmotnosti mezi třemi následujícími váženými provedenými nejméně po 24 hod. je menší než 0,1 % celkové hmotnosti).

3.5.3 Výsledky

Použité vzorce

Vzorec pro hmotnostní vlhkost zkušební vzorku (10):

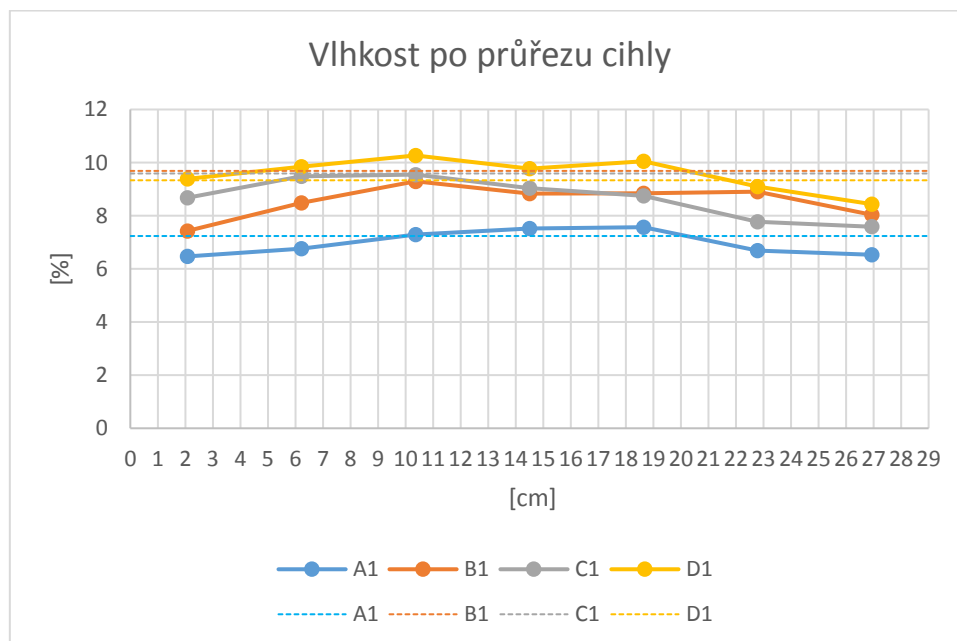
$$w = (m - m_0) / m_0 \cdot 100 [\%] \quad (10)$$

kde je m [g] hmotnost zkušební vzorku před vysušením;

m_0 [g] hmotnost zkušební vzorku po vysušení.

Do výsledků vlhkostního profilu vzorků (obr. 32) jsem zanesl pro porovnání i odhadovaný výpočet celkové hmotnostní vlhkosti (čárkovaná čára v grafu) odvozenou z váhového úbytku vody z předchozí zkoušky.

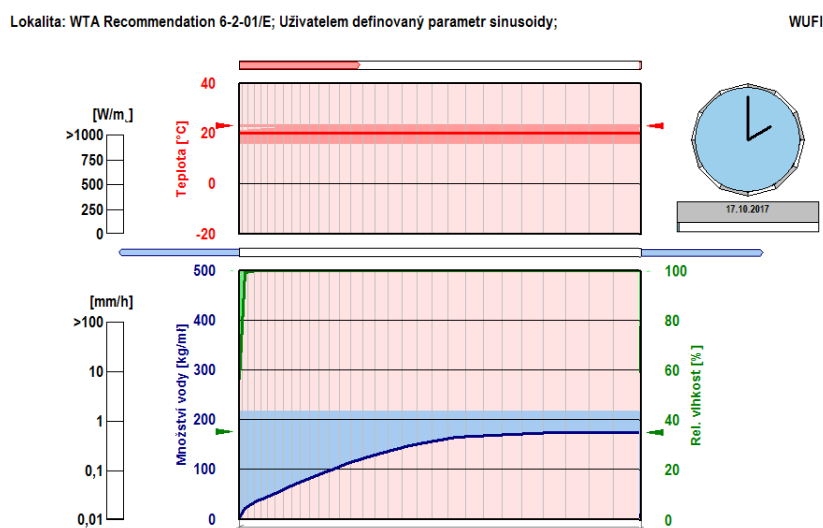
Průběh vlhkosti je u všech vzorků nižší na krajích a směrem doprostřed vlhkost trochu stoupá. Rozdíly nejsou až tak veliké, kromě vzorku s chloridem sodným, u kterého je patrné, že od krajního čela má o něco strmější nárůst vlhkosti. Z grafu lze vidět, že celková hmotnostní vlhkost vzorků řádově odpovídá s odhadovaným výpočtem, jen u vzorků s chloridem sodným (B1) a dusičnanem sodným (C1) vyšla nižší cca 1 %.



Obrázek 32 Vlhkostní profil vzorků

Pro ověření výsledků jsem v programu Wufi nasimuloval vysychání cihelného zdiva o tloušťce 600 mm. Do zdiva jsem nastavil stejnou vlhkost jako u vzorku A1. Zadal jsem obdobné podmínky, jako byly v laboratoři, co se týče teploty, relativní vlhkosti a proudění vzduchu. Dobu výpočtu jsem stanovil podle doby trvání vysychající zkoušky. Výsledek je na

obr. 29, který jsem pro znázornění ořízl na polovinu tloušťky stěny. Výsledná vlhkostní křivka se značně lišila od naměřených hodnot. Sice přibližně odpovídala množství odpařené vody z cihly, ale rozložení vlhkosti po průřezu je jiné. Na kraji vysoušecího čela je vlhkost nulová a směrem do středu cihly vlhkost stoupá a v hloubce 2/3 cihly se ustálí na konstantní hodnotě.



Obrázek 33 Vlhkostní profil cihly vypočtený v programu WUFI

3.5.4 Diskuze

Rozdíl vlhkosti mezi jednotlivými vzorky není až tak veliký a dá se říct, že vlhkost je v cihle rovnoměrně rozložena. U vzorku s chloridem (B1) je strmější nárůst vlhkosti směrem k cihle. To může být způsobeno tím, že u povrchu bude mít ze všech vzorků zřejmě největší koncentraci soli, a tudíž obsah vody bude nižší. Ale tento rozdíl mohlo zapříčinit místo odběru z cihly, protože jsem odebíral jen část drtě. Pro přesnější výsledky by bylo dobré použít větší kusy vzorků.

Tím, že voda je přibližně rovnoměrně rozmístěna v cihle, je způsobeno díky obsahu a charakteru pórů. Cihla totiž zřejmě umožní tak rychlý kapilární transport, že při vysoušení se vlhkost v materiálu stihne vyrovnat po průřezu. To, že vlhkostní profil neodpovídá výsledkům získaných ze softwaru Wufi, je podle mne právě v nastavení rychlosti kapilárního transportu. Program není přednostně určen na tak velké množství vody ve zdivu, je v něm zmenšená asi 10x rychlost kapilárního transportu vody. Po změně této hodnoty v programu bych zřejmě dostal rovnoměrné rozložení vlhkosti po průřezu.

3.5.5 Závěr

Z dané zkoušky jsem zjistil, že u všech vzorků je rozložení vlhkosti po průřezu celkem rovnoměrné a dané výsledky vlhkosti řádově odpovídají s odvozenými hodnotami z úbytku váhy.

3.6 Stanovení solného profilu

3.6.1 Úvod

U více zasolených cihel budu určovat obsah soli po jejich průřezu. Množství soli z odebraných vzorků zjistím pomocí fotometru. Jedná se o optickou metodu, kde se stanoví koncentrace látek v roztoku podle absorbovaného elektromagnetického záření v ultrafialové nebo viditelné oblasti.

3.6.2 Metody

Příprava vzorků

Při odebírání vzorků na určování vlhkostního profilu jsem odebral i vzorky pro měření salinity. Z každé cihly jsem vzal tři vzorky z krajů a ze středu cihly. Jednotlivé vzorky jsem uložil na hliníkové misky a řádně popsal.



Obrázek 34 Vzorky určené pro stanovení obsahu soli

Zařízení a pomůcky

Při této zkoušce jsem používal tyto zařízení a pomůcky:

- a) Erlenmeyerovy baňky o obsahu 250ml;
- b) Indukční vařič;
- c) Automatická pipeta do 5 ml;
- d) Sterilní plastové špičky pro pipety;
- e) Zkumavky;
- f) Analytické testovací proužky pro předběžná kvalitativní stanovení jednotlivých kationtů a aniontů;
- g) UV–VIS (v ultrafialové a viditelné oblasti) fotometru (Spectroquant Pharo 300);

Zkušební postup

Do Erlenmeyerových baněk jsem odvážil přibližně 2 g vzorku podrcených cihel. Materiál jsem zalil 100 ml destilované vody. Pro zlepšení výluhu soli jsem jednotlivé směsi vystavil ultrazvuku (obr. 35) a následně ohřál na indukčním vařiči (obr. 36). Ultrazvuk jednotlivé částičky narušuje a po jeho použití lze vidět, jak se destilovaná voda od vzorku zbarvila. Potom jsem jednotlivé směsi ponechal 24 hod. sedimentovat.



Obrázek 35 Vystavení vzorků ultrazvuku



Obrázek 36 Ohřev vzorků

Druhý den bylo potřeba směs přefiltrovat, abychom získali čistou tekutinu. Zkoušku totiž může ovlivnit jakýkoliv vzniklý kal nebo cihelný prach, který zbarví roztok a z fotometru bychom získávali nepravdivé údaje.

Při určování množství soli fotometrem se jednotlivé vzorky upravují různými směsi, které reagují s ionty jednotlivých solí a dojde ke zbarvení směsi. Je jasné, že u jednotlivých solí bude jiná metoda, a tudíž se bude lišit úprava vzorků pro měření. Jednotlivé metody mají

vždy několik variant úpravy vzorku pro určitý rozsah obsahu soli. Pro docílení změřitelné hodnoty je někdy nutné vzorek několikrát zředit. Protože jsem u mých vzorků předpokládal větší obsah soli, tak jsem z jednotlivých přefiltrovaných směsí odebral 1 ml a zředil je v poměru 1/10 destilovanou vodou. Potom jsem upravil jednotlivé směsi pro měření ve fotometru dle dané metody. Pro měření jsem použil metody od firmy MERCK, kde balení obsahuje potřebná činidla pro úpravu vzorku a AutoSelector pro nastavení fotometru.

Metoda měření chloridů

Metoda spočívá v tom, že chloridové ionty reagují s thiokyanátem rtuťnatým, přičemž vytvářejí mírně disociovaný chlorid rtuťnatý. Uvolněný thiokyanát reaguje s železitými ionty a vytváří červený thiokyanát železitý, který se stanovuje fotometricky. Tato metoda je analogická s EPA 325.1 a US Standard Methods 4500-CL-E.

U chloridů jsem pomocí testovacích proužků přibližně určil množství soli. Podle přibližného obsahu chloridů jsem zvolil vhodnou variantu přípravy vzorku pro měření ve fotometru.

Postup při zjišťování množství chloridů:

- 1) Do zkumavky jsem vložil 5 ml vzorku automatickou pipetou.;
- 2) Pomocí pipety jsem přidal 2,5 ml činidla s označením CL-1 a směs promíchal.;
- 3) Přidal jsem 0,5 ml činidla s označením CL-2 a směs promíchal.;
- 4) Směs jsem ponechal stát 1 minutu (reakční čas).;
- 5) Po přelití vzorku do kyvety jsem ihned provedl měření ve fotometru.

Metoda měření dusičnanů

V koncentrované kyselině sírové reagují ionty dusičnanů s derivátem kyseliny benzoové a vytvářejí červeně zbarvenou nitrosloučeninu, jejíž koncentrace se stanovuje fotometricky.

Postup při zjišťování množství síranů:

- 1) Do uzavíratelné kyvety jsem dal 1 zarovnanou mikrolžičku činidla $\text{NO}_3\text{-1}$.;
- 2) Přidal jsem 5 ml činidla $\text{NO}_3\text{-2}$ a směs jsem protřepával, dokud se činidlo $\text{NO}_3\text{-1}$ zcela nerozpustilo.;
- 3) Do vzniklé kyseliny jsem vložil pomocí pipety 1,5 ml upraveného vzorku a směs jsem řádně protřepal. Při vkládání vzorku do připravené kyseliny jsem musel být opatrný, protože po přidání vzorku dojde k silnému exotermickému jevu (směs se zahřeje na vysokou teplotu).;
- 4) Nechal jsem vzorek 10 minut stát (reakční doba).;

- 5) Měřený vzorek jsem přelil do kyvety a provedl měření ve fotometru.

Metoda měření síranů

Ionty síranů reagují s jodičnanem barnatým, uvolňují se ionty jodičnanu. Tyto ionty oxidují tanin a vytváří se hnědočervená sloučenina, která se stanovuje fotometricky.

Postup při zjišťování množství síranů:

- 1) Vložil jsem do zkumavky 2,5 ml upraveného vzorku.;
- 2) Přidal jsem dvě kapky činidla s označením SO_4-1 a směs zamíchal.;
- 3) Přidal jsem zarovnanou mikrolžičku činidla s označením SO_4-2 a směs zamíchal.;
- 4) Obsah zkumavek jsem ohříval na $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ po dobu 5 minut ve vodní lázni a občas ho promíchal.;
- 5) Přidal jsem 2,5 ml činidla s označením SO_4-3 a směs zamíchal.;
- 6) Přefiltroval jsem směs do jiné zkumavky.;
- 7) Přidal jsem do filtrátu 4 kapky činidla s označením SO_4-4 a směs zamíchal.;
- 8) Obsah zkumavek jsem ohříval na $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ po dobu 7 minut ve vodní lázni a občas ho promíchal.;
- 9) Směs jsem přelil do 2/3 kyvety a ihned změřil ve fotometru.

Měření vzorků ve fotometru

U fotometrického měření je nezbytné, aby byla kyveta zcela čistá. Kyveta má zdrsňené plochy určené na uchopování, a tudíž nedojde k znečištění hladkých povrchů, kterými prochází paprsek fotometru. Jakékoliv znečištění kyvety způsobí vykázání falešně vysokých hodnot. Proto se musí před každým měřením kyveta zkontrolovat a případně čistým suchým hadříkem očistit. Barva měřeného roztoku zůstává stabilní jen po určité době, která se liší od jednotlivých metod. Nejpřesnější údaje získáme, když po přelítí směsi do kyvety ihned vzorek vložíme do fotometru (obr. 37) a spustíme měření. Důležité je mít fotometr správně nastavený pro danou metodu měření. Každá metoda, kterou jsem použil, měla svůj AutoSelector (obr. 38) pro nastavení fotometru.



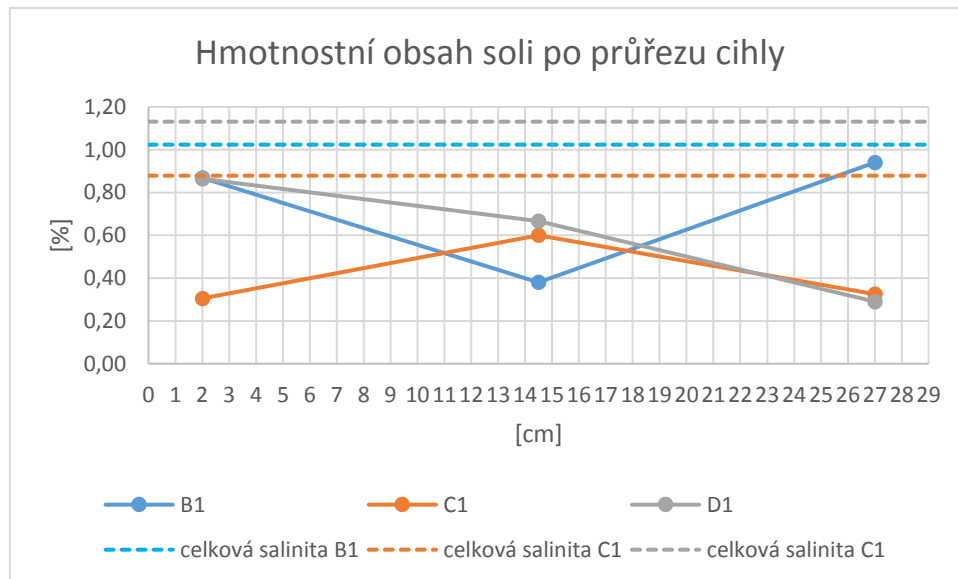
Obrázek 37 Fotometr Spectroquant Pharo 300



Obrázek 38 Balení metody pro měření dusičnanů od firmy MERCK obsahující činidla a AutoSelector

3.6.3 Výsledky

Do výsledků měření jednotlivých vzorků v grafu solného profilu cihel (obr. 38) jsem pro porovnání zanesl čárkovanou čárou i vypočítaný hmotnostní obsah soli v celé cihle, který byl odvozen z váhového úbytku soli z povrchu. Z grafu je vidět, že celková salinita z naměřených hodnot vychází výrazně menší než odhadovaný výpočet.



Obrázek 39 Graf solného profilu cihel

3.6.4 Diskuze

Myslím si, že naměřené obsahy soli pomocí fotometru neodpovídají skutečnosti. Zřejmě jsem udělal chybu při přípravě vzorků, a to konkrétně při jejich ohřevu na indukčním vařiči. Vzorky jsem měl ponechat delší dobu temperovat pod teplotou varu, aby došlo k dostatečnému výluhu soli. Chyba mohla nastat také při odběru 2 g vzorku, jelikož cihly nejsou homogenní a obsahují v sobě kamínky, které jinak nasály solný roztok. Také velkou roli mohlo sehrát, z jaké výšky byl daný vzorek odebrán, protože rozložení soli také záleží hodně na gravitaci. Na spodním okraji cihly byla větší koncentrace soli než na horním okraji. (obr. 40). Také mohlo dojít k tomu, že vzorky při měření salinity možná nebyly dostatečně suché, a tudíž jsem získal menší hodnoty obsahu soli. Tato chyba zřejmě nebyla tak velká, protože vzorky byly ve formě drti ponechány více jak tři dny v laboratorních podmínkách, a tudíž už mohlo dojít k ustálení hmotnosti.

Solný profil by měl zřejmě vypadat tak, že na krajním okraji, kterým probíhalo vysoušení, by měla být hodnota největší ze tří vzorků. Hodnota by měla být vyšší než vypočtená celková salinita cihly. Jak by se pokračovalo po průřezu dále, obsah soli by byl vždy o něco nižší. Vzorky odebrané ze středu a z konce by se pohybovaly pod výpočtovou hodnotou celkové salinity cihly. Že rozložení soli po průřezu neodpovídá skutečnosti, lze vidět i na fotkách průřezu cihly, která je pořízena po třech dnech od vytvoření vzorků (obr.40; 41; 42). Největší množství soli je u povrchu cihly. Zde lze i dobře vidět, že síranu sodného dekahydrátu zůstalo ve vzorku nejvíce, a naopak dusičnanu sodného nejméně.



Obrázek 40 Průřez vzorku s chloridem sodným (B1)



Obrázek 41 Průřez vzorku s dusičnanem sodným (C1)



Obrázek 42 Průřez vzorku se síranem sodným (D1)

3.6.5 Závěr

Zkouška stanovení salinity pomocí fotometru byla neprůkazná, a tudíž jsem nezískal křivky rozložení jednotlivých solí po průřezu. Pro zjištění skutečných hodnot by chtělo provést zkoušku znova a lépe vybrat a připravit vzorky. Dále by bylo dobré odebrat více vzorků. Možná i jinak připravit vzorky pro výluh soli. A to například odebráním více jak 2 g drti a podle toho i přidat větší množství vody. Tím by se zamezilo výkyvům z měření způsobených nehomogenním materiálem.

4 Závěr

Historické stavby často sužuje vlhkost zdiva, protože jejich hydroizolační obálka je nedostatečná nebo žádná. Proto se do konstrukce dostane velké množství vody, která s sebou nabere i jiné škodliviny, jako například soli. Vlivem soli a vlhkosti bude docházet k destrukci stavebních materiálů a stavby začnou rychle chátrat. Při sanaci těchto budov je dobré znát, jak se u jednotlivých solí bude lišit transport. A na tuto otázku jsem se zaměřil ve své diplomové práci.

V experimentální části jsem sledoval transport solí a solné výkvěty na površích cihel. Na laboratorně zasolených cihlách jsem sledoval tvorbu výkvětů chloridu sodného, dusičnanu sodného a síranu sodného dekahydrátu. A provedl jsem podrobnou analýzu projevů solí při vysychání. Při zkoušce se projevovaly soli v cihlách takto:

U cihel zasolených síranem sodným dekahydrátem byla ze začátku největší redukce obsahu vlhkosti a soli. Úbytek soli se velmi rychle zpomalil a velmi brzy i ustala tvorba solných výkvětů. Výkvěty přestaly nejdříve, protože síran sodný má velké ionty, které se špatně transportují na povrch. Tento jev ale i zapříčinil počáteční velký odpar vody, který transportoval větší množství soli na povrch. Protože tato sůl ze začátku vytvořila u povrchu nejméně koncentrovaný roztok oproti ostatním solím, vliv hygroskopicity byl nejnižší. Po ustálení krystalizace soli na povrchu se v cihle, která byla ve zvýšeném stupni salinity, objevila povrchová degradace. U těchto zasolených cihel došlo k nejmenší redukci obsahu soli.

Chlorid sodný zase způsobil největší zpomalení odparu vody z cihel. To bylo způsobeno tím, že má nejmenší ionty z daných solí. Proto docházelo k rychlejšímu transportu chloridů směrem k povrchu a tam vytvářel, oproti dalším solím, silnější solný roztok. Tím pádem kvůli hygroskopicitě soli se snížil difuzní spád a zpomalil se odpar vody. Díky menšímu odparu došlo i k menšímu odvodu soli než jak je u dusičnanu. Malá velikost iontů ale také způsobí, že bude ke krystalizaci na povrch docházet po dlouhou dobu.

U cihel zasolených dusičnanem sodným celkově docházelo nejrychleji k vysychání a krystalizaci soli na povrch. Poměrně rychle se zbavuje soli, takže nestíhá vytvořit tak silné solné roztoky jako chlorid sodný. Tyto cihly se na konci zkoušky zbavily největšího množství vlhkosti a obsahu soli. K tvoření solných výkvětů bude docházet také velmi dlouho.

Použitá literatura

- [1] BALÍK, Michael. Odvlhčování staveb. 2., přeprac. vyd. Praha: Grada, 2008. Stavitel. ISBN 978-80-247-2693-9.
- [2] KOPECKÝ, Pavel. Šíření vlhkosti – difuze vodní páry, kapilarita a proudění vlhkého vzduchu [přednáška]. Praha, ČVUT. [10/2016]
- [3] KOPECKÝ, Pavel. Retence (zadržování) vlhkosti v pórovitých materiálech [přednáška]. Praha, ČVUT. [9/2016]
- [4] KOPECKÝ, Pavel. Stavební tepelná technika-Šíření tepla, vzduchu a vlhkosti v budovách a stavebních prvcích [coursebook].
- [5] SVOBODA, Luboš. - kol.: Stavební hmoty. 2., přeprac. vyd. Praha: Jaga, 2007. ISBN 978-80-8076-057-1.
- [6] ČSN EN ISO 12570 (73 0573), Tepelně vlhkostní chování stavebních materiálů a výrobků – Stanovení vlhkosti sušením při zvýšené teplotě Český normalizační institut (2001)
- [7] ČSN EN ISO 15148 (73 0314), Tepelně vlhkostní chování stavebních materiálů a výrobků – Stanovení nasákavosti částečným ponořením, Český normalizační institut (2004)
- [8] ČSN P 73 0610 (730610), Hydroizolace staveb-Sanace vlhkého zdiva, Český normalizační institut (2000)
- [9] SOLAŘ, Jaroslav. Odstraňování vlhkosti: Sanace vlhkého zdiva. Praha: Grada Publishing, 2013. ISBN 978-80-247-4708-8.
- [10] Chloridy [online]. [cit. 2018-01-07]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Chloridy>
- [11] Chlorid sodný [online]. [cit. 2018-01-07]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Chlorid_sodn%C3%BD
- [12] Dusičnany [online]. [cit. 2018-01-07]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Dusi%C4%8Dnany>

- [13] Dusičnan sodný [online]. [cit. 2018-01-07]. Dostupné z:
https://cs.wikipedia.org/wiki/Dusi%C4%8Dnan_sodn%C3%BD
- [14] Sírany [online]. [cit. 2018-01-07]. Dostupné z:
<https://cs.wikipedia.org/wiki/S%C3%ADrany>
- [15] Sírán sodný [online]. [cit. 2018-01-07]. Dostupné z:
https://cs.wikipedia.org/wiki/S%C3%ADran_sodn%C3%BD
- [16] Uhlíčitany [online]. [cit. 2018-01-07]. Dostupné z:
<https://cs.wikipedia.org/wiki/Uhli%C4%8Ditany>
- [17] Dusitany [online]. [cit. 2018-01-07]. Dostupné z:
<https://cs.wikipedia.org/wiki/Dusitany>.
- [18] prof. Jan Petránek
- [19] ŠUMBEROVÁ, Barbora. HYDROFILNÍ OMÍTKOVÝ SYSTÉM PRO VYSOUŠENÍ A DESALINIZACI ZDIVA. Praha, 2017. Diplomová práce. ČVUT v Praze.
- [20] BALÍK, Lukáš. Využití elektroosmózy k dodatečnému vysušování zdiva. Praha, 2004. Disertační práce. ČVUT v Praze.
- [21] Infračervená spektroskopie [online]. [cit. 2018-01-07]. Dostupné z: <http://z-moravec.net/chemie/fyzikalne-chemicke-metody/infracervena-spektroskopie/>
- [22] Hydrofobizace povrchů [online]. [cit. 2018-01-07]. Dostupné z:
<http://www.rekonstrukce-historickych-objektu.cz/hydrofobizace-povrchu>
- [23] PRŮZKUM PŘÍČIN VLHNU TÍ ZDIVA A METODIKA NÁVRHU SANACE [online]. [cit. 2018-01-07]. Dostupné z: <https://www.asb-portal.cz/stavebnictvi/rekonstrukce-staveb/pruzkum-pricin-vlhnuti-zdiva-a-metodika-navrhu-sanace>
- [24] Sanujeme vlhké a zasolené zdivo [online]. [cit. 2018-01-07]. Dostupné z:
<http://stavba.tzb-info.cz/izolace-proti-vode-a-radonu/13061-sanujeme-vlhke-a-zasolene-zdivo>
- [25] [online]. [cit. 2018-01-07]. Dostupné z:
<http://www.geology.cz/aplikace/encyklopedie/term.pl?sirany>

- [26] WITZANY, Jiří. PDR - poruchy, degradace a rekonstrukce. V Praze: České vysoké učení technické, 2010. ISBN 978-80-01-04488-9.
- [27] Soli [online]. [cit. 2018-01-07]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Soli>
- [28] [online]. [cit. 2018-01-08]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Potenciometrie>

Seznam obrázků

- Obrázek 1 Vzestup hladiny v kapiláře o různých poloměrech v čase **Chyba! Záložka není definována.**
- Obrázek 2 Závislost $p_{v,sat}$ na teplotě **Chyba! Záložka není definována.**
- Obrázek 3 Hysteréze sorpce **Chyba! Záložka není definována.**
- Obrázek 4 Vliv teploty a rozpuštěných solí na polohu izotermy **Chyba! Záložka není definována.**
- Obrázek 5 Přibližné rozhraní mezi jednotlivými fázemi sorpce vody **Chyba! Záložka není definována.**
- Obrázek 6 Jednotlivé fáze při plnění póru molekuly vody **Chyba! Záložka není definována.**
- Obrázek 7 Smáčecí úhel styku tuhé a kapalné fáze: a) smáčení; b) nesmáčení – hydrofobní materiál **Chyba! Záložka není definována.**
- Obrázek 8 Postup nárůstu krystalů v porézních materiálech **Chyba! Záložka není definována.**
- Obrázek 9 detail struktury v lomu cihly **Chyba! Záložka není definována.**
- Obrázek 10 Ponoření vzorků do solného roztoku **Chyba! Záložka není definována.**
- Obrázek 11 Připravené těsnící materiály a nasycené vzorky solnými roztoky ... **Chyba! Záložka není definována.**
- Obrázek 12 Vzorky po aplikaci těsnících materiálů **Chyba! Záložka není definována.**
- Obrázek 13 Vzorky po osmy dnech vysoušení **Chyba! Záložka není definována.**
- Obrázek 14 Vzorek a použité těsnící pásky **Chyba! Záložka není definována.**
- Obrázek 15 Ponořený cihelný vzorek ve vodě, který je kolem dokola oblepený vzorky těsnících materiálů **Chyba! Záložka není definována.**
- Obrázek 16 Odtrhávání lepenky ISOCELL OMEGA DB **Chyba! Záložka není definována.**
- Obrázek 17 Detail vrypů ve tmelu DEN BRAVEN **Chyba! Záložka není definována.**
- Obrázek 18 Vytvoření puchýřků na povrchu tmelu DEN BRAVEN **Chyba! Záložka není definována.**
- Obrázek 19 Postupné zatmelení vzorku **Chyba! Záložka není definována.**
- Obrázek 20 Postup pokrytí vzorku PVC páskou **Chyba! Záložka není definována.**
- Obrázek 21 Čepec z PP sáčku s vytvořenou dírou **Chyba! Záložka není definována.**
- Obrázek 22 Nádoba určená pro zkoušku nasákavosti **Chyba! Záložka není definována.**
- Obrázek 23 Pracovní prostor zkoušky nasákavosti **Chyba! Záložka není definována.**

Obrázek 24 Vzorky ponořené v různých roztocích.....	Chyba! Záložka není definována.
Obrázek 25 Graf přírůstků váhy v čase.....	Chyba! Záložka není definována.
Obrázek 26 Graf nasákavosti vzorků	Chyba! Záložka není definována.
Obrázek 27 Umístění vysychajících vzorků	Chyba! Záložka není definována.
Obrázek 28 Graf odpařené vody ve vzorcích	Chyba! Záložka není definována.
Obrázek 29 Redukce soli při vysychání vzorků	Chyba! Záložka není definována.
Obrázek 30 Odsekávání cihly	Chyba! Záložka není definována.
Obrázek 31 Vytvořené vzorky umístěné v peci	Chyba! Záložka není definována.
Obrázek 32 Vlhkostní profil vzorků	Chyba! Záložka není definována.
Obrázek 33 Vlhkostní profil cihly vypočtený v programu WUFI	Chyba! Záložka není definována.
Obrázek 34 Vzorky určené pro stanovování obsahu soli	Chyba! Záložka není definována.
Obrázek 35 Vystavení vzorků ultrazvuku	Chyba! Záložka není definována.
Obrázek 36 Ohřev vzorků	Chyba! Záložka není definována.
Obrázek 37 Fotometr Spectroquant Pharo 300	Chyba! Záložka není definována.
Obrázek 38 Balení metody pro měření dusičnanů od firmy MERCK obsahující činidla a AutoSelector.....	Chyba! Záložka není definována.
Obrázek 39 Graf solného profilu cihel.....	Chyba! Záložka není definována.
Obrázek 40 Průřez vzorku s chloridem sodným (B1)	Chyba! Záložka není definována.
Obrázek 41 Průřez vzorku s dusičnanem sodným (C1)	Chyba! Záložka není definována.
Obrázek 42 Průřez vzorku se síranem sodným (D1)	Chyba! Záložka není definována.

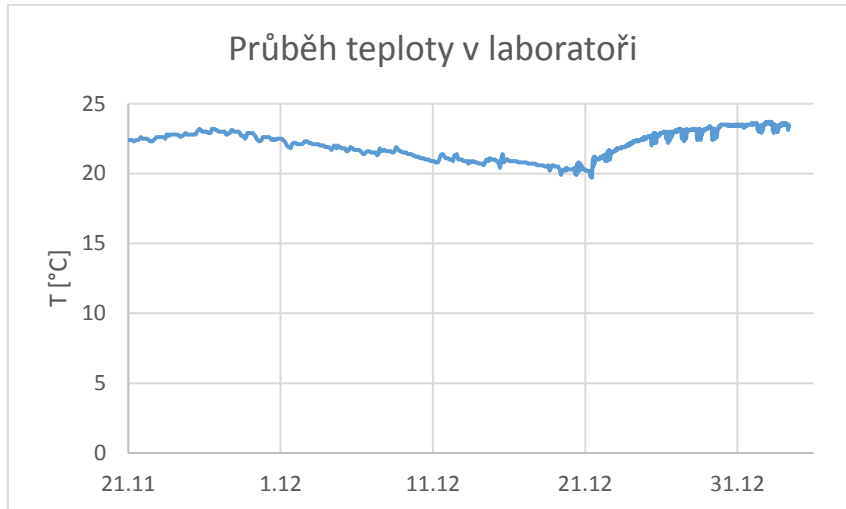
Seznam tabulek










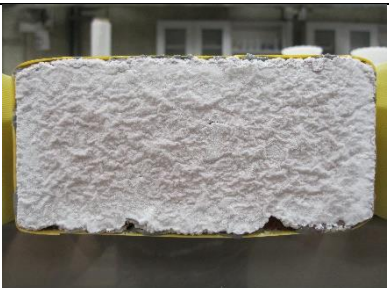
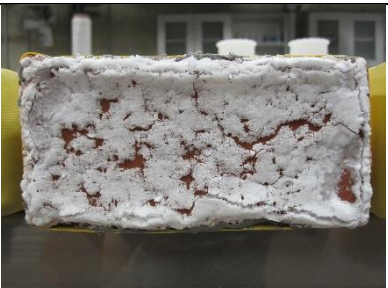




Tabulka 1 Závislost bodu mrazu na velikosti pórů	16
Tabulka 2 Nejdůležitější škodlivé vodorozpustné soli vyskytující se ve stavebnictví	19
Tabulka 3 Hydratační tlaky vznikající při rekrystalizaci soli.....	24
Tabulka 4 Limitní hodnoty solí ve zdivu dle ČSN P 73 0610	28
Tabulka 5 Solné výkvěty na vzorcích a tvar krystalů podle jednotlivých solí.....	38
Tabulka 6 Dovolovaný rozsah středních podmínek a odchylek během zkoušky podle ČSN EN ISO 15148 (73 0314)	47
Tabulka 7 Značení vzorků	50
Tabulka 8 Obsah soli a vody ve vzorku.....	51
Tabulka 9 Zatřídění vzorků podle obsahu vody a soli ve vzorku dle normy ČSN P 73 0610	52
Tabulka 10 Pořadí vzorků podle součinitele nasákavosti stanovené z posledního vážení v prvním dni zkoušky	53
Tabulka 11 Pořadí vzorků podle množství nasátého roztoku	53
Tabulka 12 Vypočtené hmotnostní vlhkosti cihel po ukončení testu	59
Tabulka 13 Zatřídění vzorků po ukončení zkoušky dle normy ČSN P 73 0610.....	59
Tabulka 14 Teploty sušení z normy ČSN EN ISO 12570.....	64







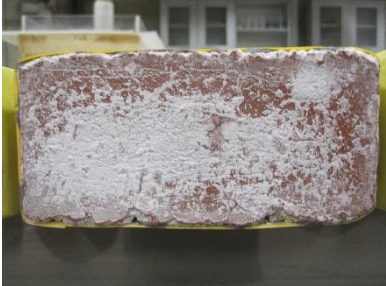





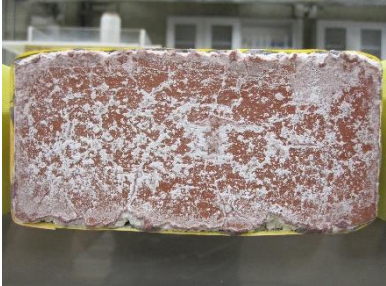


Přílohy







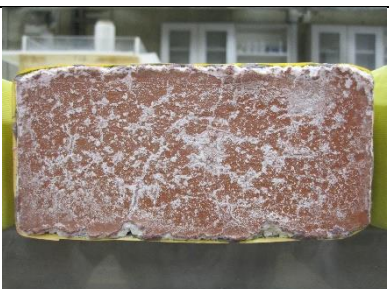



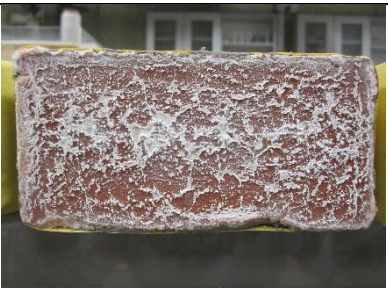

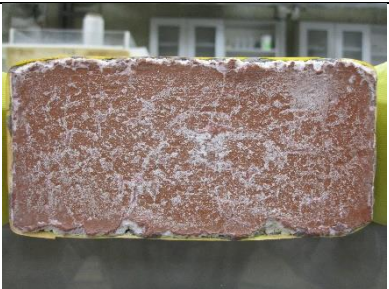


Podmínky v laboratoři




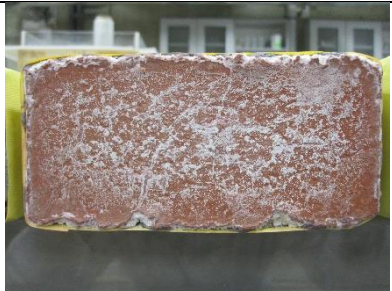
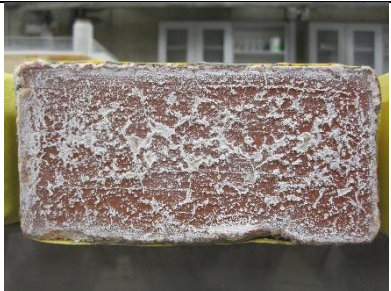

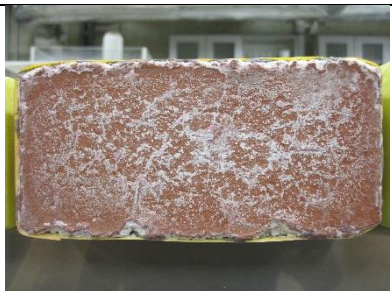


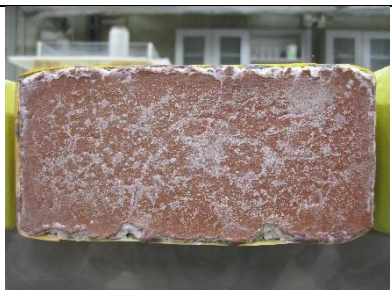





Průběh teploty; relativní vlhkosti tlaku vzduchu v laboratoři od započetí zkoušky nasákavosti po ukončení všech zkoušek.

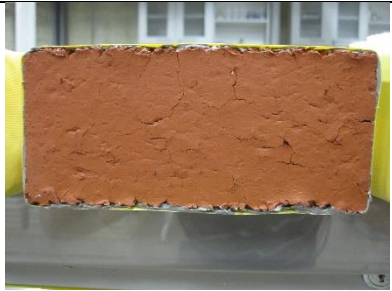




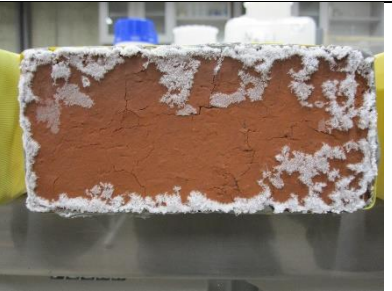


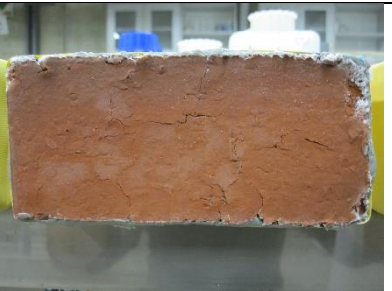

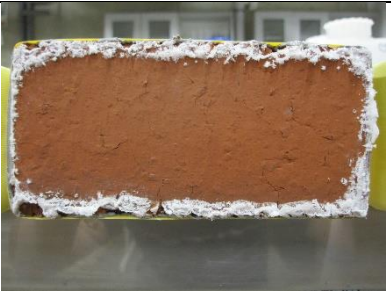

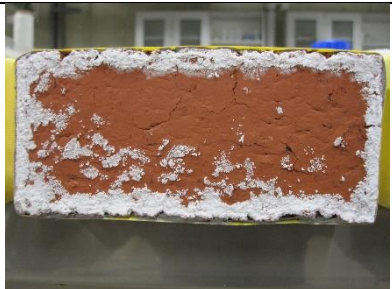





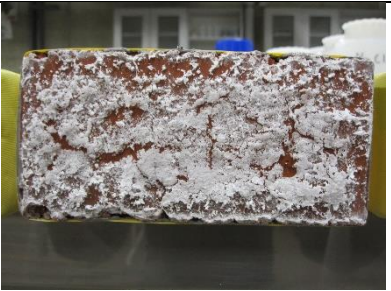
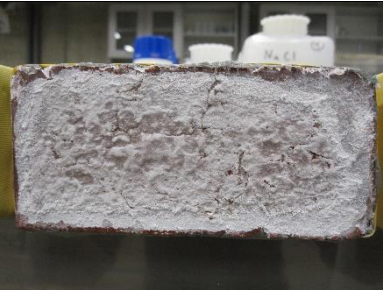



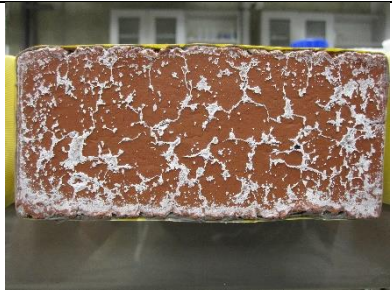

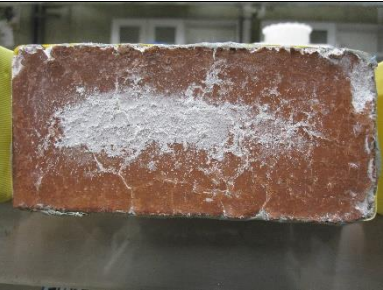
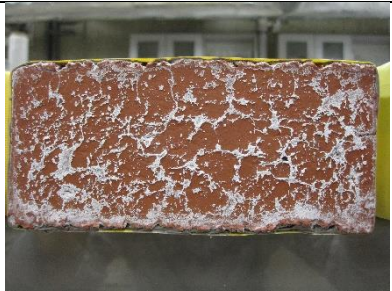
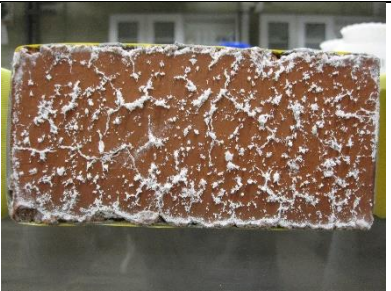

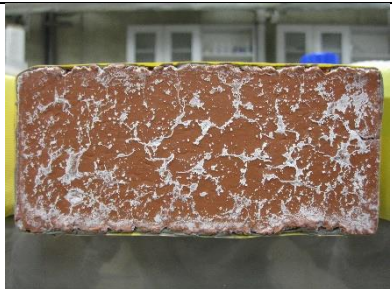
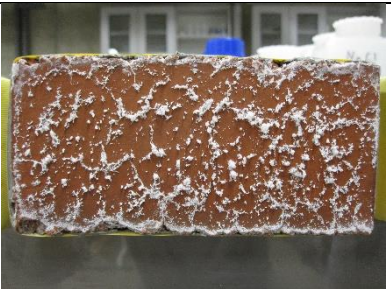
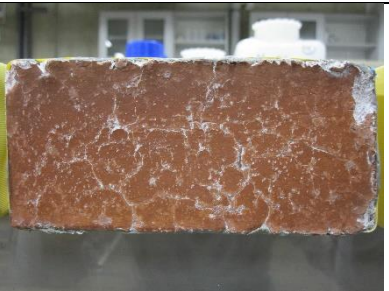
VÍCE ZASOLENÉ VZORKY		
B1 (NaCl)	C1 (NaNO ₃)	D1 (Na ₂ SO ₄ · 10H ₂ O)
26.11.2017 1746 počátek experimentu		
		
27.11.2017 09:15; doba trvání experimentu: t = 0,65 dnů		
		
Stav vzorků po očištění solných výkvětů houbou navlhčenou v destilované vodě. Očištění bylo provedeno po každé kontrole.		
		
28.11.2017 09:30; doba trvání experimentu: t = 1,66 dnů		
		
29.11.2017 09:15; doba trvání experimentu: t = 2,65 dnů		
		

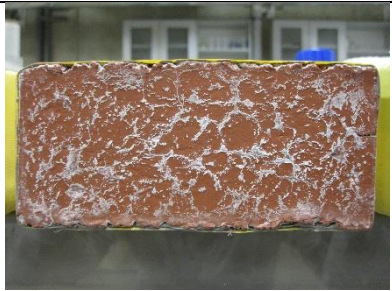
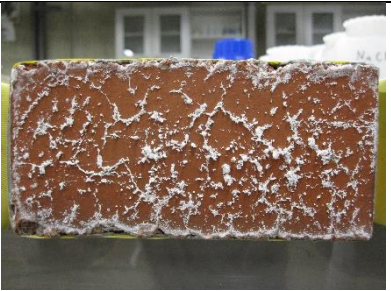
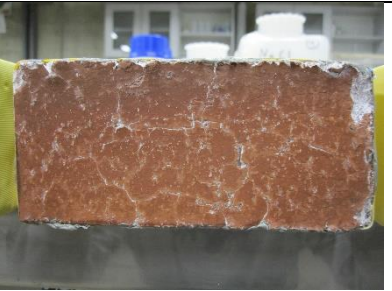

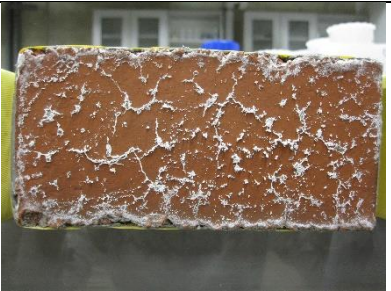


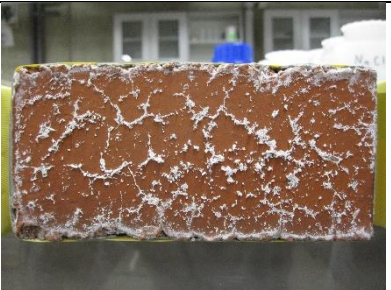

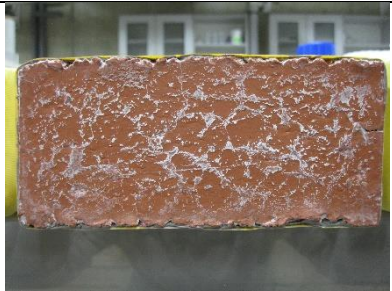
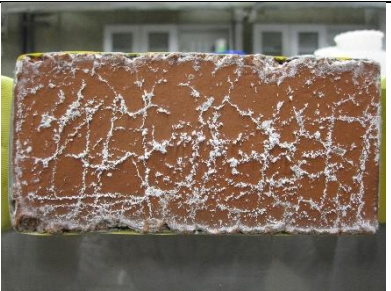
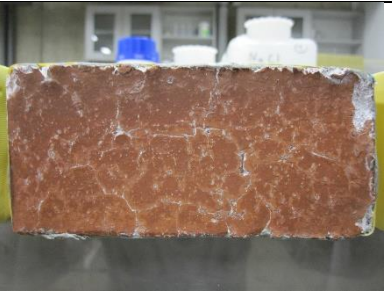
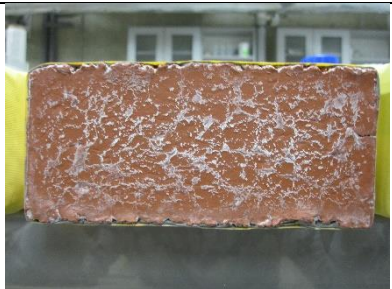
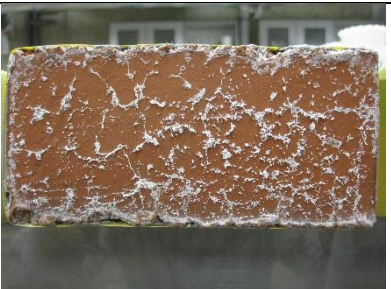
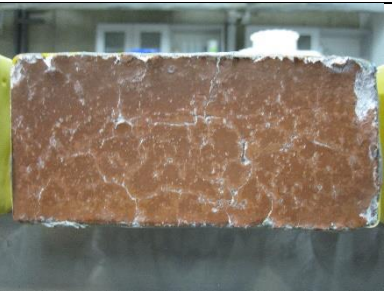
VÍCE ZASOLENÉ VZORKY		
B1 (NaCl)	C1 (NaNO ₃)	D1 (Na ₂ SO ₄ · 10H ₂ O)
30.11.2017 09:00; doba trvání experimentu: t = 3,64 dnů		
		
1.12.2017 08:50; doba trvání experimentu: t = 4,63 dnů		
		
2.12.2017 09:51; doba trvání experimentu: t = 5,67 dnů		
		
3.12.2017 09:51; doba trvání experimentu: t = 6,67 dnů		
		
4.12.2017 10:25; doba trvání experimentu: t = 7,69 dnů		
		

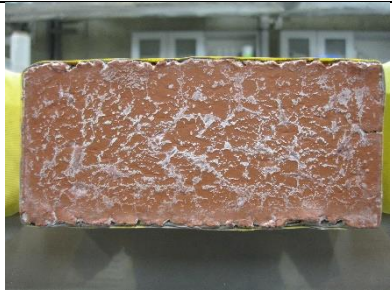
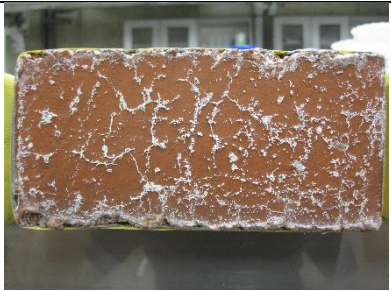
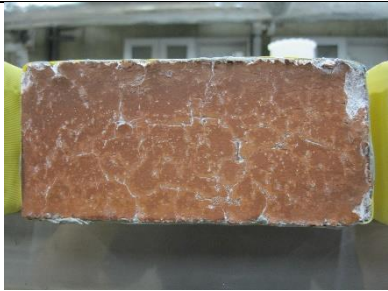
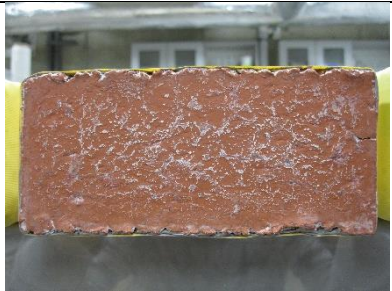
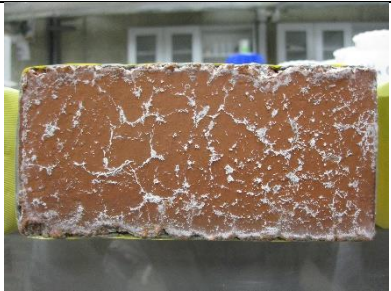

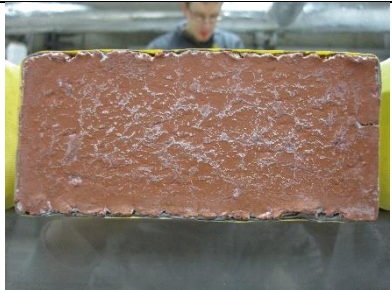

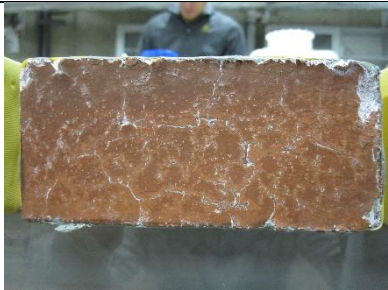
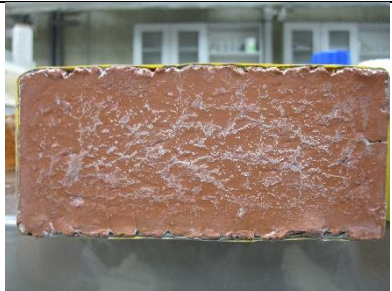
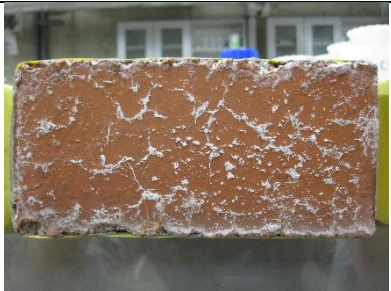
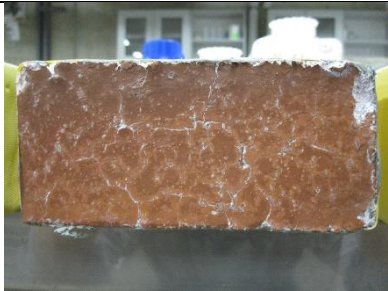
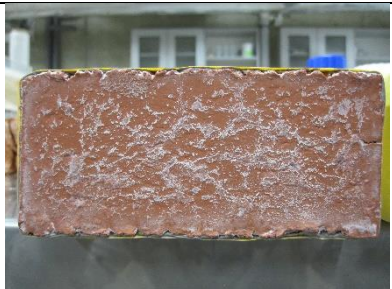
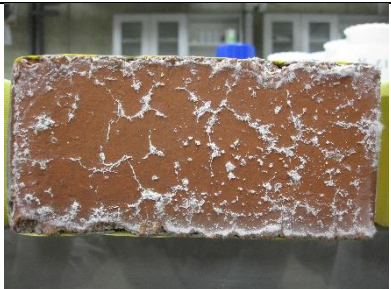

VÍCE ZASOLENÉ VZORKY		
B1 (NaCl)	C1 (NaNO ₃)	D1 (Na ₂ SO ₄ · 10H ₂ O)
5.12.2017 10:00; doba trvání experimentu: t = 8,68 dnů		
		
6.12.2017 09:54; doba trvání experimentu: t = 9,67dnů		
		
7.12.2017 09:56; doba trvání experimentu: t = 10,67 dnů		
		
8.12.2017 09:55; doba trvání experimentu: t = 11, 67 dnů		
		
9.12.2017 09:58; doba trvání experimentu: t = 12,68 dnů		
		

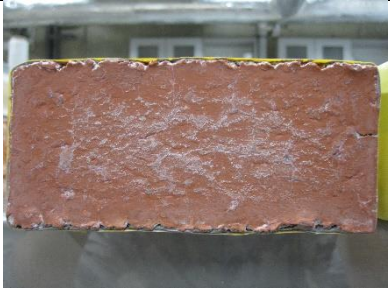
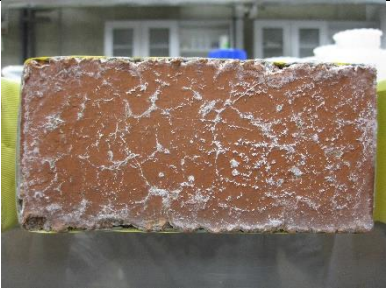

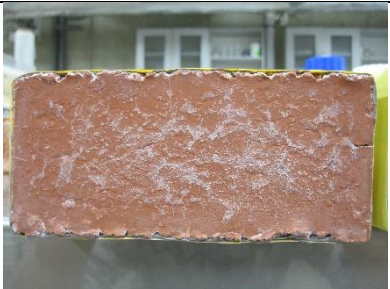

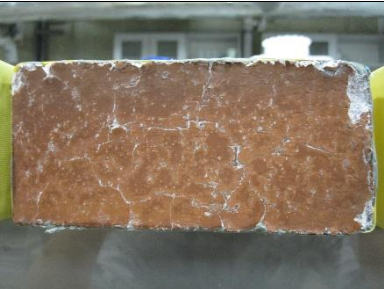
VÍCE ZASOLENÉ VZORKY		
B1 (NaCl)	C1 (NaNO ₃)	D1 (Na ₂ SO ₄ · 10H ₂ O)
10.12.2017 10:00; doba trvání experimentu: t = 13,68 dnů		
		
11.12.2017 10:00; doba trvání experimentu: t = 14,68 dnů		
		
12.12.2017 10:00; doba trvání experimentu: t = 15,68 dnů		
		
13.12.2017 10:00; doba trvání experimentu: t = 16,68 dnů		
		
14.12.2017 10:12; doba trvání experimentu: t = 17,69 dnů		
		

MÉNĚ ZASOLENÉ VZORKY		
B2 (NaCl)	C2 (NaNO ₃)	D2 (Na ₂ SO ₄ · 10H ₂ O)
28.11.2017 13:35 počáteční stav vzorků		
		
29.11.2017 09:16; doba trvání experimentu: t = 0,82 dnů		
		
Stav vzorků po očištění solných výkvětů houbou navlhčenou v destilované vodě. Čištění bylo provedeno po každé kontrole.		
		
30.11.2017 09:01; doba trvání experimentu: t = 1,81 dnů		
		
1.12.2017 08:51; doba trvání experimentu: t = 2,8 dnů		
		

MÉNĚ ZASOLENÉ VZORKY		
B2 (NaCl)	C2 (NaNO ₃)	D2 (Na ₂ SO ₄ · 10H ₂ O)
2.12.2017 09:52; oba trvání experimentu: t = 3,85 dnů		
		
3.12.2017 09:52; doba trvání experimentu: t = 4,85 dnů		
		
4.12.2017 10:26; doba trvání experimentu: t = 5,87 dnů		
		
5.12.2017 10:01; doba trvání experimentu: t = 6,85 dnů		
		
6.12.2017 09:55; doba trvání experimentu: t = 7,85 dnů		
		

MÉNĚ ZASOLENÉ VZORKY		
B2 (NaCl)	C2 (NaNO ₃)	D2 (Na ₂ SO ₄ · 10H ₂ O)
7.12.2017 09:57; doba trvání experimentu: t = 8,85 dnů		
		
8.12.2017 09:56; doba trvání experimentu: t = 9,85 dnů		
		
9.12.2017 09:59; doba trvání experimentu: t = 10,85 dnů		
		
10.12.2017 10:01; doba trvání experimentu: t = 11,85 dnů		
		
11.12.2017 10:01; doba trvání experimentu: t = 12,85 dnů		
		

MÉNĚ ZASOLENÉ VZORKY		
B2 (NaCl)	C2 (NaNO ₃)	D2 (Na ₂ SO ₄ · 10H ₂ O)
12.12.2017 10:01; doba trvání experimentu: t = 13,85 dnů		
		
13.12.2017 10:01; doba trvání experimentu: t = 14,85 dnů		
		
14.12.2017 10:13; doba trvání experimentu: t = 15,86 dnů		
		
15.12.2017 09:01; doba trvání experimentu: t = 16,81 dnů		
		
18.12.2017 09:01; doba trvání experimentu: t = 19,81 dnů		
		

MÉNĚ ZASOLENÉ VZORKY		
B2 (NaCl)	C2 (NaNO ₃)	D2 (Na ₂ SO ₄ · 10H ₂ O)
19.12.2017 15:07; doba trvání experimentu: t = 21,06 dnů		
		
20.12.2017 13:10; doba trvání experimentu: t = 21,98 dnů		
		
3.1.2018 08:58; doba trvání experimentu: t = 37,81 dnů		
