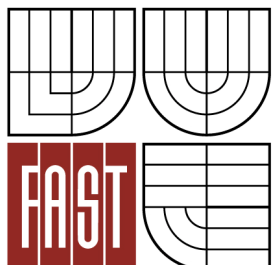




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV POZEMNÍHO STAVITELSTVÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF BUILDING STRUCTURES

VLIV INJEKTÁŽE NA MECHANICKÉ A FYZIKÁLNÍ VLASTNOSTI MALT

IMPACT OF INJECTION ON MECHANICAL AND PHYSICAL CHARACTERISTICS
OF MORTAR

DISERTAČNÍ PRÁCE
DOCTORAL THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Ing. PAVEL FRIDRICH

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Doc. Ing. KAREL TUZA, CSc.

BRNO 2015

ABSTRAKT V ČESKÉM JAZYCE

V důsledku zvýšené vlhkosti ve stavebním materiálu dochází ke změně celé řady jeho mechanických a fyzikálních vlastností. Zejména množství volné vody ve stavební konstrukci snižuje životnost celého stavebního díla, vytváří závadné prostředí pro lidský organismus působením biotických činitelů a přispívá ke zvýšené ekonomické náročnosti při užívání. Mimo ceny potřebné k zajištění sanačního řešení dochází ke zhoršení tepelně izolačních schopností (součinitele tepelné vodivosti λ) obvodových konstrukcí.

Vlhkost se do zdiva dostává nejen poruchami, ale také velkým množstvím dalších vlivů. Abychom zvýšili užitnou hodnotu staveb, musíme řešit sanaci vlhkého zdiva komplexně s ohledem na všechny možné příčiny. Ochranu proti vodě, pronikající do stavby z podzákladí, dokáže poskytnout pouze dobře fungující hydroizolace. Využití injektáže (chemické metody) k její obnově, je jednou z přímých metod, která v posledních letech podstupuje rychlý vývoj.

Experimentální činností ve své disertační práci se zabývám hodnocením dvou u nás používaných chemických přípravků a jejich vlivem na vlastnosti malt. Právě do ložné maltové spáry je předpoklad vytvářet v budoucnu horizontální chemickou clonu u novodobých zdících tvarovek typu THERM.

ABSTRACT IN ENGLISH

The increased moisture of the building materials causes the change of its mechanical and physical characteristic. In particular the high amount of loose water in construction shorten the lifetime of the building, is harmful to human beings due to biotic factors and increase the economic expenses of usage of the building. Apart from the costs of rehabilitation the loose water deteriorates the thermal insulative ability (thermal conductivity coefficient λ) of perimeter masonry as well.

The moisture gets into masonry not only through its defects but also due to many different reasons. In order to improve the utility value of the buildings we have to deal with the rehabilitation of damp masonry with view to all possible causes. Only the properly working damp proofing ensures the protection against the water leaking from the subfoundation of the building. One of the direct techniques which have undergone rapid progress in last few years is the injection procedure.

With use of experimental methods in my dissertation I deal with evaluation of two injection compounds used in Czech Republic and with its impact on the characteristics of the mortar. With the modern hollow bricks (system THERM) it is possible to create horizontal infusion into the lateral mortar grooves in future.

Klíčová slova

Vlhkost, součinitel tepelné vodivosti, zdivo, sanace, chemická metoda, malta, ložná spára.

Key words

Moisture, thermal conductivity coefficient, masonry, rehabilitation, injection procedure, mortar, lateral grooves.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE VŠKP

FRIDRICH, Pavel. *Vliv injektáže na mechanické a fyzikální vlastnosti malt: disertační práce*. Brno, 2015. 133 s., bez příloh. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta stavební. Ústav pozemního stavitelství. Vedoucí disertační práce Doc. Ing. Karel Tuza, CSc.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato disertační práce s názvem „Vliv injektáže na mechanické a fyzikální vlastnosti malt“ je mým původním autorským dílem, které jsem vypracoval samostatně.

Všechny zdroje, prameny a literaturu, ze kterých jsem čerpal a následně použil v disertační práci, řádně cituji s uvedením úplného odkazu na příslušný zdroj.

Brno, březen 2015

.....
Ing. Pavel Fridrich

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji Ústavu pozemního stavitelství Fakulty stavební Vysokého učení technického v Brně za možnost studovat v doktorském studijním programu, za poskytnutí experimentálních prostor a možnost využití měřících přístrojů.

Svému prvnímu školiteli prof. Ing. Miloslavu Novotnému, CSc. děkuji za podporu a poskytnutí odborného vedení, za cenné rady a kontakty při sestavování experimentálních měření. Svému druhému školiteli Doc. Ing. Karlu Tuzovi, CSc. děkuji za podporu před dokončením disertační práce.

Děkuji Ing. Oldřichu Tomíčkoví Ph.D. za odborné konzultace při výběru chemických přípravků pro injektáž a hledání vhodných technických a technologických řešení. Firmě ESOX děkuji za provedení injektáže.

Dále bych chtěl poděkovat doc. Ing. Pavlu Schmidovi Ph.D. za poskytnutí zázemí laboratoře Ústavu stavebního zkušebnictví, včetně potřebných přístrojů k výrobě zkušebních vzorků a také za pomoc při provedení zkoušky pevnosti v tlaku na těchto vzorcích.

V neposlední řadě bych chtěl poděkovat své rodině, blízkým a kolegům za podporu během celého období příprav a realizace disertační práce.

OBSAH

1 ÚVOD	10
2 VODA A VLASTNOSTI MATERIÁLŮ	11
2.1 VODA A JEJÍ VÝZNAM	11
2.2 DRUHY VOD.....	11
2.2.1 Atmosférická – srážková voda	11
2.2.2 Povrchová voda	11
2.2.3 Podzemní voda.....	11
2.3 FYZIKÁLNÍ VLASTNOSTI MATERIÁLŮ	12
2.3.1 Vlhkost	12
2.3.2 Nasákavost.....	13
2.3.3 Pórovitost.....	16
2.3.4 Hydrofobizace.....	16
2.3.5 Hygroscopicita.....	17
2.3.6 Rovnovážná vlhkost.....	17
2.4 TEPELNĚ-TECHNICKÉ VLASTNOSTI MATERIÁLŮ	18
2.4.1 Součinitel tepelné vodivosti λ	18
2.4.2 Tepelný odpor konstrukce R	20
2.4.3 Součinitel prostupu tepla U	22
2.5 MECHANICKÉ VLASTNOSTI MATERIÁLŮ.....	23
2.5.1 Pevnost.....	23
2.5.2 Pružnost	24
2.5.3 Tvrdost	24
2.6 POHYB VLHKOSTI PÓROVITÝMI MATERIÁLY	24
2.6.1 Kapilární vztlínání vody.....	24
2.6.2 Difúze vodní páry.....	26
2.6.3 Kondenzace vodní páry.....	27
2.6.4 Kapilární kondenzace	28
2.6.5 Sorpce	28
2.6.6 Další mechanismy transportu vody zdivem	29
2.7 CHEMISMUS VLHKÉHO ZDIVA	29
2.7.1 Výkvětovorné soli.....	29
2.7.2 Vyhodnocení salinity zdiva	31
2.8 PŮSOBNÍ VODY POD BODEM MRAZU	31
3 SANACE VLHKÉHO ZDIVA	32
3.1 METODY SANACE	32
3.2 VÝZNAM VLHKOSTNÍHO PRŮZKUMU	33
3.2.1 Vyhodnocení stavebně-technického průzkumu	34
3.2.2 Výběr sanačního řešení.....	34
4 CHEMICKÁ METODA	35
4.1 GEOMETRIE VRTŮ	35

4.2	ROZDĚLENÍ CHEMICKÝCH METOD	36
4.2.1	<i>Rozdělení podle způsobu aplikace</i>	36
4.2.2	<i>Rozdělení podle chemické báze.....</i>	38
4.2.3	<i>Rozdělení podle principu vnikání</i>	40
4.2.4	<i>Rozdělení podle principu působení.....</i>	40
4.3	OBECNÝ POSTUP PRO INJEKTÁŽ	41
4.4	VLASTNOSTI INJEKTÁŽNÍHO PŘÍPRAVKU	43
4.5	HODNOCENÍ CHEMICKÝCH METOD	44
4.5.1	<i>Hodnocení účinnosti</i>	45
4.5.2	<i>Experimentální hodnocení v laboratorních podmínkách.....</i>	46
4.5.3	<i>Normalizace zkušebních těles</i>	47
5	PŘEDSOUŠENÍ ZDIVA	48
5.1	MIKROVLNNÉ ZÁŘENÍ.....	48
5.1.1	<i>Princip mikrovlnného ohřevu</i>	50
5.1.2	<i>Praktické využití mikrovlnného záření.....</i>	50
5.1.3	<i>Využití mikrovln pro vysoušení zdiva.....</i>	51
5.1.4	<i>Skladba mikrovlnného vysoušecího zařízení.....</i>	51
5.1.5	<i>Účinky na zdraví osob a z toho plynoucí opatření.....</i>	52
6	ZKOUŠENÍ STAVEBNÍCH MATERIÁLŮ	53
6.1	MALTY	53
6.1.1	<i>Stavební malty.....</i>	53
6.1.2	<i>Dělení stavebních malt.....</i>	53
6.2	ZKOUŠKY ČERSTVÝCH A ZATVRDLÝCH MALT	54
6.2.1	<i>Zhotovení zkušebních těles.....</i>	54
6.2.2	<i>Zkouška sednutí kužele.....</i>	55
6.2.3	<i>Stanovení objemové hmotnosti zatvrdlé malty.....</i>	55
6.2.4	<i>Stanovení pevnosti zatvrdlých malt v tahu za ohybu a v tlaku.....</i>	56
6.3	ZKOUŠENÍ BETONU	57
6.3.1	<i>Zhotovení zkušebních těles.....</i>	57
6.3.2	<i>Krychelná pevnost.....</i>	57
6.4	NEDESTRUKTIVNÍ ZKOUŠENÍ.....	58
7	CÍLE DISERTAČNÍ PRÁCE	59
7.1	POPIS CÍLŮ	59
7.1.1	<i>Znázornění nárůstu hmotnostní vlhkosti netypických zkušebních vzorků v závislosti na čase vlhčení.....</i>	59
7.1.2	<i>Ověření vlivu vlhkosti a chemického přípravku na termo-fyzikální vlastnosti malt.....</i>	60
7.1.3	<i>Vliv injektáže na prostup vlhkosti</i>	60
7.1.4	<i>Vyhodnocení množství aplikovaného přípravku při daném stupni zavlhčení a účinek na pevnost v tlaku.....</i>	60
8	ZVOLENÉ METODY ZPRACOVÁNÍ DISERTAČNÍ PRÁCE	61
8.1	TEORETICKÉ METODY	61

8.1.1	<i>Studium dostupných podkladů</i>	61
8.2	EXPERIMENTÁLNÍ METODY	61
8.2.1	<i>Laboratorní měření</i>	61
8.2.2	<i>Sledované údaje v rámci provedených experimentů</i>	62
8.2.3	<i>Použité měřicí přístroje</i>	62
9	PŘÍPRAVNÉ PRÁCE PŘED JEDNOTLIVÝMI EXPERIMENTY	63
10	VÝSLEDKY DISERTAČNÍ PRÁCE	72
10.1	VOLBA CHEMICKÝCH PŘÍPRAVKŮ PRO EXPERIMENTY	72
10.2	EXPERIMENT Č. 1	73
10.2.1	<i>Cíl provedeného experimentu</i>	73
10.2.2	<i>Popis provedeného experimentu</i>	73
10.2.3	<i>Výsledky experimentu</i>	74
10.2.4	<i>Shrnutí výsledků experimentu</i>	77
10.3	EXPERIMENT Č. 2	80
10.3.1	<i>Cíl provedeného experimentu</i>	80
10.3.2	<i>Popis provedeného experimentu</i>	80
10.3.3	<i>Výsledky experimentu</i>	83
10.3.4	<i>Shrnutí výsledků experimentu</i>	91
10.4	EXPERIMENT Č. 3	93
10.4.1	<i>Cíl provedeného experimentu</i>	93
10.4.2	<i>Popis provedeného experimentu</i>	93
10.4.3	<i>Výsledky experimentu</i>	94
10.4.4	<i>Shrnutí výsledků experimentu</i>	104
10.5	EXPERIMENT Č. 4	107
10.5.1	<i>Cíl provedeného experimentu</i>	107
10.5.2	<i>Popis provedeného experimentu</i>	107
10.5.3	<i>Výsledky experimentu</i>	112
10.5.4	<i>Shrnutí výsledků experimentu</i>	121
11	ZÁVĚRY DISERTAČNÍ PRÁCE	126
11.1	VYHODNOCENÍ DÍLČÍCH CÍLŮ	126
11.1.1	<i>Znázornění nárůstu hmotnostní vlhkosti netypických zkušebních vzorků v závislosti na čase vlhčení</i>	126
11.1.2	<i>Ověření vlivu vlhkosti a chemického přípravku na termo-fyzikální vlastnosti malt</i>	127
11.1.3	<i>Ověření vlivu injektaže na prostup vlhkosti</i>	127
11.1.4	<i>Vyhodnocení množství přípravku aplikovaného při daném stupni zavlhčení a účinek injektaže na pevnost v tlaku</i>	128
11.2	MOŽNOSTI DALŠÍHO VÝZKUMU	128
	LITERATURA	130
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ	132

1 ÚVOD

Voda je nedílnou součástí života na zemi a stejně jako se podílí na vzniku a průběhu života, je neoddělitelnou součástí materiálů zabudovaných v konstrukcích staveb. Bez použití vody bychom nebyli schopni vyrábět beton či vyzdívat cihelné stěny. Voda je přirozenou součástí stavebního díla po celou dobu jejich živostnosti. Důležité ovšem je, udržet hodnoty vlhkosti v optimálním množství tak, aby pro daný materiál byla zajištěna jeho správná funkce.

Vlhkost ve stavebních konstrukcích a hlavně množství volné vody ovlivňuje řadu vlastností stavebních materiálů. Dochází k objemovým změnám, ovlivnění mechanických či fyzikálních vlastností porézních materiálů. Zvýšená vlhkost zdiva vytváří podmínky pro působení biotických činitelů, které vytváří závadné prostředí pro lidský organismus. Toto prostředí může vyvolávat řady onemocnění, alergií, respirační potíže až do vzniku různých forem tuberkulózy. Dlouhodobě zvýšená vlhkost v konstrukcích vede k degradaci stavebních materiálů. Zdivo je ohroženo působením salinity, zmíněných biotických škůdců nebo zmrazovacích cyklů. Výsledkem dochází ke znehodnocení celé stavby z pohledu ekonomického. Mimo ceny potřebné k zajištění komplexního sanačního řešení, dochází při zvýšené vlhkosti také ke zhoršení tepelně izolačních schopností obvodových konstrukcí. Vyšší tepelné ztráty vedou k vyšším výdajům za vytápění.

Životnost staveb bývá většinou delší než je životnost jejich hydroizolace, a pokud ochranu proti vodě pronikající do stavby z podzákladí dokáže zajistit pouze fungující hydroizolace, je potřeba ji minimálně jednou za dobu fyzické životnosti objektu obnovit. Nehledě k faktu, že u většiny starších staveb, nebyla hydroizolace tak jak ji známe v dnešní době vůbec řešena. Vlhkost se do zdiva dostává nejen poruchami, ale velkým množstvím dalších vlivů. Je proto nutné řešit sanaci vlhkého zdiva komplexně s ohledem na všechny možné příčiny.

2 VODA A VLASTNOSTI MATERIÁLŮ

2.1 Voda a její význam

Voda, bez níž by nemohl vzniknout život na naší planetě, je v důsledku civilizačního rozmachu lidstva stále více ohrožována. Mnozí sice namítají, že voda se ve své podstatě nikam neztrácí a je jí stejné množství, avšak její kvalita se bezpochyby postupně zhoršuje. Voda se také od pradávna používá při stavbě lidských sídel, sama je však často ohrožuje, poškozují a i nevratně ničí. [1]

2.2 Druhy vod

2.2.1 Atmosférická – srážková voda

Je stálou součástí vzdušného obalu Země ve formě vodních par a tuhých i kapalných srážek. Atmosférická, neboli srážková voda, bývá považována za nejčistší druh přirozené vody. Ani tento druh přirozené vody však není zcela chemicky čistý. Obsahuje zpravidla, podle lokality a průmyslové zástavby, okolo 40 mg/l různých látek. Průchodem atmosférou přijímá voda do sebe především plynné látky, jako jsou oxidy uhlíku, dusíku, síry a dále malé množství různých solí a prachu anorganického i organického původu – pyl, bakterie, spory sinic a řas, spory plísní a viry. Srážková voda je velmi málo mineralizována (velmi měkká) a vlivem rozpuštěných plynů i slabě kyselá. Vlivem rostoucí kyselosti a agresivity atmosférických vod vzrůstají závažné škody nejen na ekosystému, ale i na stavebních konstrukcích.

2.2.2 Povrchová voda

Povrchový zdroj vody vzniká z vody atmosférické – srážkové a vody podzemní. Vzniká-li povrchová voda jen z vod srážkových, obsahuje jen minimální množství rozpuštěných látek a mívá obvykle slabě kyselou až neutrální reakci pH. Vzniká-li povrchová voda z vod podzemních nebo mícháním obou druhů (srážkové a podzemní), obsahuje obvykle více rozpuštěných látek (desítky až stovky mg/l). Stále více se ve fyzikálně-chemickém složení vod uplatňuje civilizační faktor, který v krátké době změnil řadu vodních toků na stoky naplněné směsí odpadních vod.

2.2.3 Podzemní voda

Tento druh přírodní vody vzniká převážně infiltrací (vsakováním) vody srážkové a povrchové propustnými vrstvami zemské kůry. Chemické složení podzemních vod je velmi různorodé a závisí na chemické skladbě vrstev zemské kůry, s nimiž voda na své cestě přijde do styku. Dále záleží na rozpustnosti a reaktivnosti jednotlivých látek. Podle složení půd a podloží bývají podzemní zdroje vody středně až velmi tvrdé. Zvláštním druhem podzemních zdrojů vod jsou vody minerální, které se vyznačují vysokým obsahem rozpuštěných minerálních látek a plynů. Vyskytuje se pod povrchem v několika podobách, jako voda chemicky

vázaná v minerálech, molekulově vázaná, vodní páry, voda kapilární a gravitační. Ze stavebního hlediska jsou nejvýznamnější vody kapilární a zejména volné vody gravitační. [1]

2.3 Fyzikální vlastnosti materiálů

2.3.1 Vlhkost

Vlhkost porézních materiálů zásadním způsobem ovlivňuje jejich fyzikální a mechanické vlastnosti. To má pak přímý dopad na samotné vlastnosti stavebních látek a následně všech konstrukcí.

Z mechanických vlastností má vliv zejména na zpracování, pevnost, mrazuvzdornost a životnost stavebních látek. Z fyzikálních vlastností ovlivňuje zejména v současné době velmi sledované tepelně-technické vlastnosti, které mají velký vliv na životní prostředí. Vlhká stavební látka je rovněž náchylná k rozvoji biologické koroze (zejména plísní).

Každý stavební materiál má svoji hmotnostní rovnovážnou vlhkost, kterou tvoří voda obsažená v pórech a která se mění podle teploty a vlhkosti vzduchu v okolí. Voda se ve stavebních prvcích vyskytuje ve všech skupenstvích a formách. Vlhkost se do stavebních prvků dostává v celém průběhu výroby, zpracování a následného zabudování do konstrukce. Je zřejmé, že přesné stanovení a popis mechanismu průniku vlhkosti a vody do stavebních konstrukcí je velice problematické a po technické stránce náročné.

Vlhkost stavební látky je dána množstvím vody obsažené v pórovitém prostředí látky. Vyjadřuje se hmotnostním nebo objemovým poměrem vody k pevné fázi látky. Jedná se o technicko-fyzikální veličinu, která má vliv na většinu mechanických a fyzikálních vlastností stavebních látek i stavebních konstrukcí.

Pro pochopení a dobrou orientaci v problematice vlhkosti a jejího působení na stavební látky, jsou nezbytné teoretické znalosti a technicko-fyzikální zákonitosti transportu dané vlhkosti pórovým systémem látky, kondenzace vody na povrchu a ve struktuře konstrukcí.

Vyhodnocení všech dostupných informací a znalostí pak vede ke správnému uplatnění sanační metody pro vysušování staveb. [1, 3, 9]

Výpočet hmotnostní vlhkosti w_m je definován:

$$w_m = \frac{(m_v - m_s)}{m_s} \cdot 100 \quad [\%] \quad (1)$$

kde w_m ... hmotnostní vlhkost látky [%],
 m_v ... hmotnost vlhkého materiálu [kg],
 m_s ... hmotnost suchého materiálu [kg].

Vlhkost objemová je poměr objemu vody k objemu pórovité látky:

$$w_v = \frac{V_v}{V_s} \cdot 100 \quad [\%] \quad (2)$$

kde w_v ...objemová vlhkost látky [%],
 V_v ...objem vlhkosti v materiálu [m^3],
 V_s ... objem materiálu [m^3] - předpokládá se, že objem suchého a vlhkého materiálu je stejný.

Objemovému vyjádření vlhkosti se dává přednost, jestliže je třeba stanovit celkové množství vody v pórovité látce, nebo když je potřeba určit stupeň zaplnění pórů. Protože stanovit objemovou vlhkost stavební látky je na rozdíl od stanovení vlhkosti hmotnostní poměrně obtížné, určíme zpravidla objemovou vlhkost z vlhkosti hmotnostní podle vztahu:

$$w_v = w_m \cdot \frac{\rho_s}{\rho_w} \quad [\%] \quad (3)$$

kde w_v ...objemová vlhkost látky [%],
 w_m ...hmotnostní vlhkost látky [%],
 ρ_s ...objemová hmotnost suché látky [$kg \cdot m^{-3}$],
 ρ_w ...objemová hmotnost vody [$kg \cdot m^{-3}$].

Pro zařazení množství vlhkosti použijeme normu ČSN P 73 0610. Hodnoty hmotnostní vlhkosti zdiva jsou zařazeny podle stupňů vlhkosti dle tabulky č. 1.

Stupeň vlhkosti	Hmotnostní vlhkost zdiva v % hmotnosti
velmi nízká	$w_m < 3$
nízká	$3 \leq w_m < 5$
zvýšená	$5 \leq w_m < 7,5$
vysoká	$7,5 \leq w_m < 10$
velmi vysoká	$w_m > 10$

Tab. č. 1 Stupeň vlhkosti zdiva dle ČSN P 73 0610

2.3.2 Nasákavost

Nasákavost je poměr hmotnosti vody, která je přijata pórovitou stavební látkou ponořenou ve vodě za normálního atmosférického tlaku do ustálené hmotnosti, k hmotnosti vysušené stavební látky. Podle nasákavosti můžeme určit celkové množství tzv. otevřených pórů a mrazuvzdornost stavební látky.

Hmotnostní nasákavost určíme ze vztahu:

$$NV = \frac{m_w - m_d}{m_d} \cdot 100 \quad [\%] \quad (4)$$

kde m_w ...hmotnost materiálu nasáknutého vodou [kg],

m_d ...hmotnost materiálu, vysušeného na ustálenou hmotnost [kg].

V praxi se nasákavost stanoví dle ČSN EN 1062-3 *Nátěrové hmoty – Povlakové materiály a povlakové systémy pro vnější zdivo a beton – Část 3: Stanovení a posuzování rychlosti pronikání vody v kapalně fázi* jako propustnost povrchové úpravy pro vodu v kapalně fázi. Nasákavost W [kg.m⁻²] udává množství vody, které za předepsaných podmínek pronikne do vrstvy nanesené na normované podložce během stanoveného časového intervalu. [11]

Nasákavost je popsána vztahem:

$$W = w \cdot \sqrt{t} \quad [\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}] \quad (5)$$

kde w ...koeficient nasákavosti [kg.m⁻².h^{-0,5}],

t ...doba kontaktu povrchu s kapalnou vodou [h].

Kapilární výška vzlínání, kapilární síla a kapilární tlak, veličiny uvedené v další kapitole, jsou potřebné pro vysvětlení poměrů vyskytujících se v pórovém prostředí. Na vyjádření kapilárně vlhkostního transportu nemohou postačovat pouze tyto charakteristiky, protože kapilární systémy mají různou geometrii – průměry, délky, tvar. Praktickými měřeními proto hledáme vhodné koeficienty vlhkostního transportu. Transport kapalného skupenství vody popisují dvě veličiny:

- koeficient nasákavosti (absorpční koeficient)
- koeficient propustnosti (penetrační koeficient)

Koeficient nasákavosti vyjadřuje množství absorbované vody v závislosti na časovém působení (děšť).

Vzlínání probíhá podle následujícího vztahu:

$$m_{H_2O} = w \cdot A \cdot \sqrt{t} \quad [\text{kg}] \quad (6)$$

kde m_{H_2O} ...množství přijaté vlhkosti [kg],

w ...koeficient nasákavosti – absorpční koeficient [kg.h^{-1/2}.m⁻²],

A ...plocha [m²],

t ...čas [h].

materiál	koeficient nasákavosti [kg.h ^{-1/2} .m ⁻²]
cihla - 1700 kg.m ⁻³	25
cihla - 2200 kg.m ⁻³	3
vápencový pískovec - 1900 kg.m ⁻³	3 - 8
hutný beton	1 - 2
pórobeton	4 - 8
vápenocementová omítka	2 - 4
cementová omítka	1 - 3

Tab. č. 2 Koeficient nasákavosti některých druhů stavebních materiálů [8]

V rovnici (6) použitá druhá odmocnina času vyjadřuje proces, kdy při kontaktu s vodou je na začátku přijímáno větší množství vody, s přibývajícím časem se transport vody snižuje.

Rovnice (6) vystihuje pouze množství vlhkosti, které bylo přijaté povrchem stavebního materiálu. Pro ochranu proti vlhkosti je zároveň důležité, jak hluboko pronikne vlhkost v daném časovém působení do stavebního materiálu. Tuto vlastnost vyjadřuje koeficient propustnosti. Nasákavost a propustnost spolu souvisí, tudíž vzniká analogická závislost stejně jako u nasákavosti. Proniknutí vlhkosti do stavebního materiálu je vyjádřeno rovnicí:

$$h_{H_2O} = B \cdot \sqrt{t} \quad [m] \quad (7)$$

kde h_{H_2O} ...hloubka proniknutí vody [m],

B ...koeficient propustnosti – penetrační koeficient [m.h^{-1/2}].

materiál	koeficient propustnosti [m.h ^{-1/2}]
cihla - 1700 kg.m ⁻³	0,14
cihla - 2200 kg.m ⁻³	0,005
vápencový pískovec - 1900 kg.m ⁻³	0,065
hutný beton	0,005
pórobeton	0,05
vápenocementová omítka	0,08
cementová omítka	0,02

Tab. č. 3 Koeficient propustnosti některých druhů stavebních materiálů [8]

V rovnici (7) užitá druhá odmocnina času vyjadřuje stav, kdy při kontaktu materiálu s vodou se vyskytuje vyšší rychlost transportu vlhkosti na počátku, s přibývajícím časem se v důsledku delší dráhy transportu a působení rostoucích sil tření rychlost proniknutí zmenšuje.

2.3.3 Pórovitost

Pórovitost vyjadřuje celkové množství volného prostoru látky, který není vyplněný pevnými částicemi. Cihelné zdivo a malty lze charakterizovat jako velmi porézní látku. Při sanaci zdiva nelze brát v úvahu pouze vlastní pórovitost zdiva, z níž vyplyne, kolik vody se do zdiva může dostat, ale i distribuci pórů. Tedy zjistit rozdělení pórů podle velikosti poloměrů jednotlivých pórů.

Stavební materiály mají póry nepravidelné. V úvahách o pohybu vody se tvary pórů zjednodušují na válcové tvary určitého poloměru, určuje se tedy efektivní hodnota poloměru pórů.

Pro určení porozity se využívá vztah:

$$p = \frac{V_p}{V} \cdot 100 \quad [\%] \quad (8)$$

kde p ...pórovitost [%],
 V_p ...objem pórů [m³],
 V ...objem tělesa [m³].

Porézní struktura stavebních materiálů zahrnuje póry širokého rozsahu poloměrů, od nejmenších mikroskopických, řádově srovnatelných s rozměry molekul, až k pórům makroskopickým. [3, 10]

materiál	pórovitost (%)	nasákavost (%)
cihla pálená	20 - 37	17 - 31,5
malta cementová 1:4	31,5	24,7
malta vápenná 1:4	40,6	23,8
sádra	51 - 66	35 - 45
pískovec	0,5 - 25	0,5 - 24

Tab. č. 4 Pórovitost a nasákavost (hmotnostní) – vybrané materiály [8]

2.3.4 Hydrofobizace

Hydrofobizace je opatření, které potlačuje a omezuje pronikání kapalně vody do porézního systému stavebních látek. Hydrofobizace tedy spočívá ve vytvoření tenké vrstvy hydrofobní látky na vnitřním povrchu pórů. Tato vrstvička může být velmi tenká a prakticky nezmenšující průměr pórů. Přesto je schopna výrazně potlačit pronikání kapalně vody do pórů. Je zřejmé, že průchod plynů pórem (včetně vodní páry) zůstává zachován. Stupeň hydrofobizace potom udává, kolikrát se zmenší nasákavost hydrofobizované látky oproti výchozímu stavu. [3]

Pro výpočet stupně hydrofobizace platí:

$$H_v = \frac{NV_{v,s}}{NV_{v,h}} \quad [-] \quad (9)$$

kde $NV_{v,s}$...nasákavost varem výchozí suroviny [%],

$NV_{v,h}$... nasákavost varem hydrofobizovaného vzorku [%].

2.3.5 Hygroskopicita

Je schopnost materiálu na sebe vázat vzdušnou vlhkost v důsledku obsahu solí s hygroskopickými vlastnostmi. Obsahuje-li zdivo stavebního objektu větší množství těchto solí, dochází k ovlivnění rovnovážné vlhkosti. Vlivem zvýšeného obsahu solí ve zdivu lze dosáhnout několikanásobku rovnovážné vlhkosti stavebního materiálu bez solí. Hygroskopicitu si tedy lze představit jako schopnost samovolně přijímat vodu. Jev samovolného přijímání vody, kdy dochází ke zředění roztoků solí a vyrovnání koncentrace se sousedními oblastmi zdiva se nazývá osmóza. [8]

vzorec	obsah solí (hm %)	vlhkost cihel v závislosti na relativní vlhkosti		
		65%	86%	97%
-	-	0,1	-	0,3
NaCl	2,9	1,0	5,5	9,3
NaCl	4,3	-	6,2	11,1
MgSO ₄	5,5	2,3	3,1	4,1
MgSO ₄	2,8	1,3	1,8	2,2
Ca(NO ₃) ₂	8,2	5,1	-	10,8
Ca(NO ₃) ₂	10,7	5,2	9,4	12,1

Tab. č. 5 Závislost rovnovážné vlhkosti cihel na stupni zasolení [8]

2.3.6 Rovnovážná vlhkost

Vyjadřuje, jak materiály ve stavebních konstrukcích pohlcují (absorbují) vodní páru z ovzduší až do stavu tzv. rovnovážné (sorpční) vlhkosti, která závisí na teplotě, relativní vlhkosti vzduchu a atmosférickém tlaku. Tomuto stavu říkáme stav vlhkostní rovnováhy. Dochází k němu tehdy, když tlak vodních par ve vzduchu a tlak vodních par v materiálu jsou v rovnováze a nemůže tedy pokračovat výměna vlhkosti mezi materiálem a okolním ovzduším.

Ustálená vlhkost - vystihuje stav stavební látky, který je charakterizován nulovým transportem vlhkosti mezi materiálem a okolním prostředím.

Výrobní vlhkost - označuje vlhkost stavební látky v době její výroby. Podle klimatických podmínek se zpravidla tato vlhkost postupně snižuje až dosáhne ustálené vlhkosti.

Kritická vlhkost - při dosažení této hranice již dochází k výraznému viditelnému rozrušení povrchu materiálu. Tato vlhkost již významným způsobem zhoršuje mechanické a fyzikální vlastnosti stavebních materiálů. Určení hodnoty vlhkosti je důležitým mezníkem pro stanovení správné sanační metody. [3, 10]

2.4 Tepelně-technické vlastnosti materiálů

Vyjadřují schopnost materiálu a z něho složené stavební konstrukce vést teplo. Základními veličinami, které charakterizují tepelně izolační schopnost stavební konstrukce je tepelný odpor R ($\text{m}^2\text{K}/\text{W}$) a součinitel prostupu tepla U ($\text{W}/\text{m}^2\text{K}$). Pro určení těchto veličin je třeba znát skladbu posuzované konstrukce ve směru tepelného toku tzn. materiálové a geometrické charakteristiky jednotlivých vrstev – tloušťku d (m) a součinitel tepelné vodivosti λ (W/mK).

Při posuzování konstrukcí z hlediska prostupu tepla je třeba zohlednit typ konstrukce (jednoplášťová, dvouplášťová, obrácená skladba), směr tepelného toku či polohu konstrukce (ve styku s venkovním vzduchem, nevytápěným prostorem, se zemí). V České republice řeší výpočet a hodnocení tepelně technických vlastností materiálu následující předpisy ČSN 73 0540 Tepelná ochrana budov – Část 1 až 4: [14, 21]

- ČSN 73 0540-1 – Část 1: Terminologie
- ČSN 73 0540-2 – Část 2: Požadavky
- ČSN 73 0540-3 – Část 3: Návrhové hodnoty veličin
- ČSN 73 0540-4 – Část 4: Výpočtové metody

2.4.1 Součinitel tepelné vodivosti λ

Je schopnost stejnorodého, isotropního materiálu při dané střední teplotě vést teplo. Je dán vztahem:

$$\lambda = \frac{\vec{q}}{-\text{grad}\theta} \quad [\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}] \quad (10)$$

kde q ... vektor hustoty ustáleného tepelného toku sdíleného vedením, proudícího stejnorodým isotropním materiálem [W/m^2],
 $\text{grad } \theta$... gradient teploty [K/m].

Součinitel tepelné vodivosti je přímo závislý na více faktorech, např. na vlhkosti, objemové hmotnosti, střední teplotě či tloušťce materiálu.

Deklarovaná hodnota součinitele tepelné vodivosti λ_D – je hodnota stanovená výrobcem podle příslušné výrobní normy při definovaných podmínkách (střední teplota při měření $10 \pm 0,3$ °C; vlhkost zkušební vzorku, která je dána

kondicionováním zkušebních vzorků nejméně 6 h při teplotě vzduchu 23 ± 5 °C a relativní vlhkosti 50 ± 5 %, tedy ve stavu neustálené sorpční, popř. desorpční vlhkosti $u_{23/50}$ – některé normy výrobku upřesňují kondicionování zkušebních vzorků). Pro jednotlivé tepelněizolační materiály se postupuje dle norem výrobku řady ČSN EN 13162 až ČSN EN 13171. Deklarované hodnoty součinitele tepelné vodivosti mohou tvořit podklad pro stanovení návrhových hodnot.

Charakteristická hodnota součinitele tepelné vodivosti λ_k – je odvozena pro stanovenou charakteristickou hodnotu vlhkosti $u_{23/80}$. Charakteristická hmotnostní vlhkost $u_{23/80}$ je rovnovážná sorpční hmotnostní vlhkost materiálu, stanovená za podmínek teploty vzduchu 23 ± 2 °C a relativní vlhkosti vzduchu 80 ± 3 %.

Při uvádění výrobků na trh v České republice, na které se vztahují příslušné evropské harmonizované normy výrobku, nemají povinnost výrobci uvádět charakteristické hodnoty. Obvykle uvádějí pouze deklarované hodnoty dle příslušných referenčních podmínek. S ohledem na tuto skutečnost to znamená, že je třeba při návrhu výrobku do stavby postupovat s určitou znalostí těchto vlastností.

Charakteristickou hodnotu součinitele tepelné vodivosti lze stanovit z deklarované hodnoty součinitele tepelné vodivosti (hodnota stanovená v suchém stavu) dle vztahu:

$$\lambda_k = \frac{\lambda_D}{1 - Z_u \cdot w_{mk}} \quad [\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}] \quad (11)$$

kde λ_D ...deklarovaná hodnota součinitele tepelné vodivosti dle příslušné normy výrobku [$\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$],
 Z_u ...vlhkostní součinitel materiálu [-] dle přílohy A1
v ČSN 73 0540-3,
 w_{mk} ...charakteristická vlhkost materiálu, obvykle $u_{23/80}$ [%].

Postup stanovení charakteristické hodnoty součinitele tepelné vodivosti stanoví ČSN 72 7014 Stanovení součinitele tepelné vodivosti materiálu v ustáleném tepelném stavu, Vyhodnocení zkoušek.

Návrhová (výpočtová) hodnota součinitele tepelné vodivosti λ_u – je odvozena pro určené teplotní a vlhkostní podmínky, popř. mechanické namáhání. Určené tepelné a vlhkostní podmínky musí odpovídat tepelnému a vlhkostnímu namáhání a způsobu zabudování výrobku do stavby a užívání dané konstrukce, čímž se zajišťuje bezpečný návrh stavebních konstrukcí.

Návrhové hodnoty vlastností vybraných stavebních výrobků jsou uvedeny v tabulkách příloh ČSN 73 0540-3 a jsou stanoveny pro nejméně příznivé zabudování výrobku do stavební konstrukce.

Návrhové hodnoty vlastností vybraných stavebních výrobků lze také stanovit výpočtem pro konkrétní užití, na základě charakteristických hodnot a součinitelů

podmínek působení. Součinitele podmínek působení zohledňují způsob zabudování materiálu do stavební konstrukce vystavené působení venkovního i vnitřního prostředí. Daný výrobek může mít více než jednu návrhovou hodnotu fyzikální vlastnosti v závislosti na jeho určeném užití, podmínkách prostředí apod.

Naměřená hodnota součinitele tepelné vodivosti λ_m – je hodnota statisticky vyhodnocená z naměřených hodnot z dostatečné četnosti zkoušek. Naměřená hodnota je vázaná na stanovení referenční podmínky při měření a stav vlhkosti výrobku. Pokud jsou splněny referenční podmínky a dán stav určující vlastnosti výrobku zabudovaného v konstrukci, lze naměřenou hodnotu použít přímo do výpočtu. V případě, že naměřená hodnota je specifikována dle referenčních podmínek a stavu vlhkosti určující charakteristickou hodnotu, tak tato hodnota tvoří podklad pro stanovení návrhové hodnoty. [14, 21]

2.4.2 Tepelný odpor konstrukce R

Tepelný odpor vyjadřuje, jakou plochou konstrukce a při jakém rozdílu teplot na jejich površích dojde k přenosu 1 Wattu, čili k přenosu energie o velikosti 1 J za 1 sekundu.

Je-li známa hodnota součinitele tepelné vodivosti vrstvy materiálu a je-li konstantní, povrchy kolmé na směr tepelného toku jsou vzájemně rovnoběžné (planparalelní vrstva) a vrstvou tak proudí rovnoměrný tepelný tok, je tepelný odpor definován vztahem:

$$R = \frac{d}{\lambda} \quad [\text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}] \quad (12)$$

kde d ... tloušťka vrstvy v konstrukci [m],
 λ ... součinitel tepelné vodivosti [$\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$].

Tepelný odpor konstrukce je roven součtu tepelných odporů jednotlivých (planparalelních) vrstev, ze kterých je konstrukce složena:

$$R = \sum R_j \quad [\text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}] \quad (13)$$

kde R_j ... tepelný odpor j-té vrstvy konstrukce – stanovený pro jednotlivé hmotné vrstvy konstrukce ze vztahu (12) [$\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$].

Odpor konstrukce při prostupu tepla R_T – je úhrnný tepelný odpor bránící výměně tepla mezi prostředími oddělenými od sebe stavební konstrukcí o tepelném odporu R s přilehlými mezními vzduchovými vrstvami. Je dán vztahem:

$$R_T = R_{si} + R + R_{se} \quad [\text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}] \quad (14)$$

kde R_{si} ... odpor při přestupu tepla na vnitřní straně konstrukce [$\text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$],

R ... odpor konstrukce [$\text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$],
 R_{se} ... odpor při přestupu tepla na vnější straně konstrukce
[$\text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$].

Odpor při přestupu tepla na vnitřní straně konstrukce je tepelný odpor mezní vzduchové vrstvy přiléhající bezprostředně k vnitřní straně konstrukce, je definován vztahem:

$$R_{si} = \frac{1}{h_i} \quad [\text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}] \quad (15)$$

kde h_i ... součinitel přestupu tepla na vnitřní straně konstrukce
[$\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$].

Odpor při přestupu tepla na vnější straně konstrukce je tepelný odpor mezní vzduchové vrstvy přiléhající bezprostředně k vnější/venkovní straně konstrukce, dán vztahem:

$$R_{se} = \frac{1}{h_e} \quad [\text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}] \quad (16)$$

kde h_e ... součinitel přestupu tepla na vnější/venkovní straně konstrukce
[$\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$].

Součinitel přestupu tepla na vnitřní straně konstrukce je definován vztahem:

$$h_{si} = \frac{q}{\theta_{ai} - \theta_{si}} \quad [\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}] \quad (17)$$

kde q ... hustota tepelného toku [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$],
 θ_{ai} ... teplota vnitřního vzduchu [$^{\circ}\text{C}$],
 θ_{si} ... vnitřní povrchová teplota konstrukce [$^{\circ}\text{C}$].

Součinitel přestupu tepla na vnější straně konstrukce je definován vztahem:

$$h_{se} = \frac{q}{\theta_{se} - \theta_{ae}} \quad [\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}] \quad (18)$$

kde q ... hustota tepelného toku [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$],
 θ_{ae} ... teplota venkovního vzduchu [$^{\circ}\text{C}$],
 θ_{se} ... vnější/venkovní povrchová teplota konstrukce [$^{\circ}\text{C}$]. [14, 21]

Povrch	Konstrukce	Tepelný odpor při přestupu tepla R_{se} a R_{si} ($m^2 \cdot K/W$)
vnější	jednoplášťová	0,04
	dvouplášťová	stejně jako R_{si}
zemina	styk se zeminou	0,00
vnitřní	stěna (horizontální tepelný tok)	0,13
	střecha (tepelný tok vzhůru)	0,10
	podlaha (tepelný tok dolů)	0,17

Tab. č. 6 Tepelné odpory při přestupu tepla dle ČSN 73 0540-3

2.4.3 Součinitel prostupu tepla U

Vyjadřuje, kolik tepla unikne konstrukcí o ploše $1 m^2$ při rozdílu teplot jejich povrchů $1 K$.

Je celková výměna tepla v ustáleném stavu mezi dvěma prostředími vzájemně oddělenými stavební konstrukcí o tepelném odporu R s přilehlými mezními vzduchovými vrstvami, zahrnuje vliv všech tepelných mostů včetně vlivu prostupujících hmoždinek a kotev, které jsou součástí konstrukce. Vzájemný vztah součinitele prostupu tepla U a tepelného odporu konstrukce, případně odporu při prostupu tepla R_T je dán vztahem:

$$U = \frac{1}{R_{si} + R + R_{se}} = \frac{1}{R_T} \quad [W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}] \quad (19)$$

Tato vlastnost hodnotí vliv celé konstrukce a k ní přilehlých vzduchových vrstev na šíření tepla prostupem. Je odvozena z tepelného odporu konstrukce R .

Součinitel prostupu tepla U a tepelný odpor konstrukce se stanoví pro podmínky ustáleného šíření tepla při zimních návrhových okrajových podmínkách. Veličiny vyjadřují prostup tepla celou konstrukcí, proto musí zahrnovat vliv všech tepelných mostů a jiných zdrojů navýšení tepelných toků obsažených v konstrukci. Vliv tepelných mostů v konstrukci lze zanedbat, pokud jejich souhrnné působení je menší než 5 % součinitele prostupu tepla vypočteného s vlivem tepelných mostů.

Celkový součinitel prostupu tepla U_c – zpřesňuje součinitel prostupu tepla U zahrnutím vlivů vzduchové vrstvy, popř. vlivu přímého styku tepelné izolace se srážkovou vodou. Korekce přímého působení nepříznivých vlivů na tepelně izolační vlastnost se stanoví ze vztahu:

$$U_c = U + \sum \Delta U \quad [W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}] \quad (20)$$

kde U ... součinitel prostupu tepla [$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$],

$\sum\Delta U$... celkové zvýšení součinitele prostupu tepla vlivem netěsností a mezer v tepelných izolacích a vlivem srážek zatékajících do vrstvy tepelné izolace ve střeších s obráceným pořadím vrstev [$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$].

ČSN EN ISO 6946 na rozdíl od ČSN 73 0540-1 zahrnuje do korekcí součinitele prostupu tepla $\sum\Delta U$ při výpočtu celkového součinitele prostupu tepla U_c vliv kotevních prostředků procházejících skrze izolace. ČSN 73 0540-1 zahrnuje vliv kotev již do výpočtu součinitele prostupu tepla U .

S celkovým součinitelem prostupu tepla U_c se v dalších výpočtech a při hodnocení konstrukce nakládá jako se součinitelem prostupu tepla U jiných konstrukcí. [14, 21]

2.5 Mechanické vlastnosti materiálů

Mechanické vlastnosti určují schopnost prvků a konstrukcí odolávat účinkům vnějších sil (zatížení) a vyjadřují odpor materiálu proti změně jejich tvaru namáháním, případně i porušení. [26]

2.5.1 Pevnost

Je schopnost materiálu odolávat silovým účinkům zatížení. Hodnota pevnosti stavebního materiálu je obvykle dána smluvním mezním napětím těsně před jeho porušením. Podle způsobu zatížení rozlišujeme pevnost:

- **v tlaku** je mezní napětí při největším zatížení, které snese zkušební těleso při zkoušce tlakem, kdy se všechna vlákna v průřezu zkracují. Je vztažena na plochu počátečního průřezu zkušební vzorku, jehož tvar je předepsán příslušnou normou.

- **v tahu** je mezní napětí vyvozené při trhací zkoušce tahem největším zatížením, vztaženém na jednotku počátečního průřezu. Všechna vlákna v průřezu jsou prodlužována a výslednicí sil je zde stejně jako u prostého tlaku normálová síla.

- **v ohybu** je podílem momentu a modulu průřezu. Nastává, je-li výslednicí vnitřních sil ve vyšetřovaném průřezu ohybový moment, tedy moment působící kolmo k rovině průřezu.

- **ve smyku** je střední smykové napětí, probíhající ve smykové ploše průřezu, které bylo vyvoláno největším zatížením potřebným k přestřižení zkušební vzorku. Jeho výslednicí je tangenciální síla.

- **v kroucení** je mezní napětí dané při zkrucování dvojicí sil vyvozujících kroucí moment. Nejčastěji se zjišťuje na vzorcích kruhového průřezu (plných nebo dutých), které jsou na jednom konci upnuté a na druhém konci zkrucované.

Dále pak rozlišujeme pevnost pro kombinaci zatížení např. v tahu za ohybu, smyku za ohybu či vzpěrném tlaku.

2.5.2 Pružnost

Je schopnost materiálu odolávat působení vnějších mechanických, teplotních nebo vlhkostních namáhání. Při těchto namáháních vznikají deformace, které mohou být pružné nebo trvalé. Při pružné deformaci se látka po odlehčení vrátí do svého původního stavu. Zůstanou-li po odlehčení tělesa nějaké deformace, nazývají se nepružné (trvalé, nevratné). Dojde-li v materiálu k makroskopickému narušení struktury, nazývají se potom tyto deformace tvárné či plastické. [26]

2.5.3 Tvrdość

Je schopnost materiálu odolávat vnikání cizího tělesa do jeho povrchu. Rozlišujeme metody vrypové, vnikající, vtiskové, odrazové a další. Všechny údaje o tvrdosti jsou bezrozměrné.

2.6 Pohyb vlhkosti pórovitými materiály

Vlhkost ve zdivu může mít mnoho různých příčin a podle původu existuje řada možných sanačních řešení. Voda se do konstrukcí dostává za pomoci různých fyzikálních dějů, nejčastějšími jsou:

- kapilární vzlínání vody,
- difúze vodní páry,
- kondenzace vodní páry a kapilární kondenzace,
- sorpce,
- transport vody zdivem dalšími mechanismy.

2.6.1 Kapilární vzlínání vody

Kapilární vzlínavost je jev vyvolaný kapilárními silami. Jedná se o vzestup vody póry materiálu nad úroveň hladiny vody v okolí. Tento jev se také někdy nazývá kapilární elevace neboli kapilární zdvih. Výška, kam až může voda vzlínat nepřímo závisí na průměru kapiláry. Čím je průměr kapilárních pórů menší, tím výše voda v materiálu pronikne.

V kapiláře o průměru 0,1 mm je rovnovážná výška hladiny vody (dána kapilárními silami zmenšenými o vliv gravitace) cca. 0,15 m. U kapilár kolem 0,01 mm je výška vzlínání cca. 1,5 m. Tuto závislost lze ověřit i v praxi u starších staveb s poruchami hydroizolace, kde vlhkostní mapa sahá do výšky okolo 1,5 m. [3, 8]

Pro určení maximální výšky vzlínání platí vztah:

$$h = \frac{2 \cdot \delta \cdot \cos \vartheta}{g \cdot r \cdot \rho_m} \quad [\text{m}] \quad (21)$$

Vzhledem k odpařování vody ze struktury materiálu a přítomnosti solí bývá skutečná výška vzlínání obvykle menší než teoretická výška. Proto je výhodnější věnovat pozornost rychlosti vzlínání vody v materiálu.

Rychlost vzlínání se určí ze vzorce:

$$v = \frac{r \cdot \sigma \cdot \cos \vartheta}{4 \cdot \eta \cdot h} \quad [\text{m} \cdot \text{s}^{-1}] \quad (22)$$

Čas, který potřebuje voda k dosažení výšky h se počítá ze vztahu:

$$t = \frac{2 \cdot \eta \cdot h^2}{r \cdot \sigma \cdot \cos \vartheta} \quad [\text{s}] \quad (23)$$

kde h ...výška vylinuté vody [m],
 δ ...součinitel difúze vodní páry [s],
 ϑ ...krajní úhel [-],
 r ...poloměr kapiláry [m],
 ρ_m ...měrná hmotnost kapaliny [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$],
 σ ...povrchové napětí kapaliny [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-1}$],
 η ...dynamická viskozita kapaliny [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}$].

pro vodu $\eta = 9,81 \cdot 10^{-6} \cdot e^{5,09 - 0,023 \cdot t}$ $\text{kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}$, při teplotě $t = 10$ až 40 °C.

poloměr kapiláry	1 mm	0,1 mm	0,01 mm	0,001 mm	0,0001 mm
h - maximální výška vzlinutí	14,9 mm	149 mm	1,49 m	14,9 m	149 m
v - rychlost vzlínání pro h=10 mm	172 cm/s	17,2 cm/s	1,72 cm/s	0,172 cm/s	0,0172 cm/s
t - čas pro h=10 mm	0,003	0,03	0,3	3	30
materiál	malty - staré makroporézní	zdivo	zdivo	zdivo	hlína, jíl

Tab. č. 7 Hodnoty kapilární vzlinavosti – h , v , t pro destilovanou vodu při 20 °C [8]

Pohyb vlhkosti vzlínáním se projevuje u stavebních materiálů s poloměrem pórů od 10^{-4} – 10^{-7} m. Největší transport vlhkosti se odehrává v pórech o poloměru 10^{-5} m. Zjištění skutečné výšky vzlinutí vody je u mnohých stavebních materiálů problematické jednak z důvodů obtížného přesného odlišení suché a vlhké stavební látky a pak také z důvodů velmi malé, tudíž prakticky neměřitelné výšky. Rovněž je potřeba brát ohled na to, že v kapilárách s velmi malým průměrem dosahuje voda maximálního vzlinutí až po dlouhé době. Mimo vody volné, vzlíná po stěnách kapilár a pórů vrstvička pevně vázané vody v tloušťce několika molekul, která se pohybuje pozvolna po stěnách kapilár proti směru zemské gravitace. Na povrchu kapiláry tvoří pevný film, který má jiné fyzikální vlastnosti než voda volná.

Především nemrzne již při teplotě 0 °C a nelze ji odpařit. Skutečná tvar kapiláry se značně liší od průběžné kapiláry kruhového průřezu a proto i výška vzlinutí je různá.

Voda, která stoupá kapilárou, nepronikne přes pór velkého průměru (dutinou). Transport vlhkosti se však nezastaví. Voda se na konci kapiláry odpaří a difunduje k protější stěně, kde pára opět kondenzuje a v tekutém stavu vzlíná kapilárami výše. Podíl vzlínající vody v konstrukci je závislý na hydrogeologických vlastnostech podloží. Štěrkové podloží je schopné transportovat vodu jen asi 100 mm nad hladinu podzemní vody. Podloží tvořené jílovitými zeminami je schopno vzlínavostí transportovat vodu i několik desítek metrů. [3, 9]

2.6.2 Difúze vodní páry

Je schopnost plynů prostupovat pevnými porézními materiály, jejichž póry (mezimolekulární prostory) jsou větší než střední volná dráha molekul vodní páry. Střední volná dráha molekul vody je $2,78 \cdot 10^{-10}$ m. Tento jev je způsoben rozdílem parciálních (částečných) tlaků vodních par. Difundující vodní páry se pohybují z místa s vyšším tlakem směrem k místu s nižším tlakem. [1]

K vyjádření schopnosti materiálu propouštět vodní páru zavedl Krischer tzv. faktor difúzního odporu μ , který udává, kolikrát je difúzní odpor dané látky větší, než vrstva vzduchu stejné tloušťky a při stejné teplotě. Vzduch má $\mu=1$.

Difúzní odpor konstrukce vyjadřuje paropropustnost příslušné vrstvy:

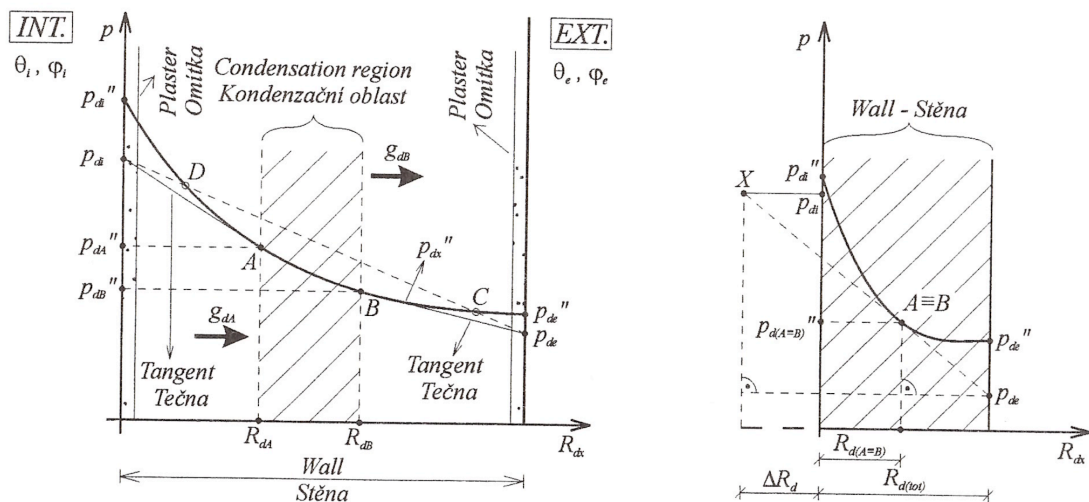
$$d_{\mu} = \mu \cdot d \quad [\text{m}] \quad (24)$$

kde d ...tloušťka vrstvy [m],
 μ ...faktor difuzního odporu [-].

Celkový difúzní odpor stavební konstrukce získáme po sečtení jednotlivých dílčích difúzních odporů:

$$d_{\mu, \text{celk}} = \sum d_{\mu, i} \quad [\text{m}] \quad (25)$$

Pro běžné užívání objektu je vhodné, aby se difúzní odpor jednotlivých vrstev směrem k exteriéru snižoval. Jinak by každá brzdící vrstva ve zdivu mohla napomáhat tvorbě kondenzátu. Pro nejdélší část roku je směr difúzního toku vodní páry z vnitřních prostor směrem ven. V létě se směr difúze vodní páry na čas obrací. To má však poměrně malý význam, neboť v té době jsou poměry mezi vnější a vnitřní stranou obvodového zdiva jen málo rozdílné. V praxi tedy platí, že fasádní omítka by měla mít menší difúzní odpor než zdivo a fasádní malba menší než omítka. [1, 3, 10]



Obr. č. 1 Kondenzace při difúzi vodních par [12]

2.6.3 Kondenzace vodní páry

Vzduch je obecně směsí suchého vzduchu a vodní páry, přičemž obě složky vyvozují parciální (částečné) tlaky. Vzduch může pojmout vždy jen určité množství páry. Dostoupí-li částečný tlak vodní páry určité maximální hodnoty P_p'' , je vzduch vodní parou nasycen, tzn. byla dosažena teplota rosného bodu. Přivádí-li se do nasyceného vzduchu další množství vodní páry, dochází ke kondenzaci, tzn. vysrážení vodní páry ve vodu. Obsah vody ve vzduchu vyjadřujeme buď relativní vlhkostí (%) nebo absolutní vlhkostí ($\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$).

Relativní vlhkost vzduchu určíme ze vztahu:

$$\varphi = \left(\frac{P_p}{P_p''} \right) \cdot 100 \quad [\%] \quad (26)$$

kde P_p ...částečný tlak vodní páry [Pa],

P_p'' ...částečný tlak nasycené vodní páry [Pa].

Procento nasycení vzduchu vodní parou je funkcí teploty. Relativní vlhkost je pro stejný tlak vodních par různá při různé teplotě okolního vzduchu, protože odpovídá rozdílným hodnotám tlaku nasycené vodní páry při dané teplotě. Pokud nastane stav, kdy $P_p'' = P_p$, dosáhla relativní vlhkost vzduchu $\varphi = 100\%$.

teplota vzduchu (°C)	-20	-10	0	10	20	30
maximální množství páry ve vzduchu ($\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)	0,9	2,2	4,8	9,4	17,3	30,3

Tab. č. 8 Rosný bod [9]

Jakýkoli další pokles teploty nebo zvětšení hodnoty částečného tlaku vodní páry vede ke kondenzaci veškeré nadbytečné vodní páry na povrchu nejbližší pevné hmoty. Kondenzace se projevuje ve formě mlhy, kapiček vody (rosa), jinovatka apod. Ve všech těchto případech jde o tzv. povrchovou kondenzaci vodní páry.

K povrchové kondenzaci dochází tehdy, je-li teplota povrchu tělesa menší než teplota rosného bodu vzduchu. U stavebních konstrukcí mohou být podmínky kondenzace splněny jak na povrchu konstrukce, tak i uvnitř konstrukce.

relativní vlhkost vzduchu	množství vodní páry ve vzduchu ($\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) při teplotách vzduchu ($^{\circ}\text{C}$)					
	-20	-10	0	10	20	30
φ (%)						
30	0,3	0,7	1,4	2,8	5,2	9
40	0,35	0,9	1,9	3,8	6,9	12
50	0,45	1,1	2,4	4,7	8,7	15
60	0,54	1,3	2,9	5,6	10	18
70	0,63	1,5	3,4	6,6	12	21

Tab. č. 9 Množství vodní páry ve vzduchu při různé relativní vlhkosti [9]

2.6.4 Kapilární kondenzace

Při překročení rosného bodu dochází ke kondenzaci vodních par. Ke kapilární kondenzaci dochází u pórů, jejichž poloměr je větší než $0,5 \cdot 10^{-6}$ mm, protože poloměr molekuly vody je 10^{-7} mm. V pórech menších nedochází k difúzi vodních par. U zakřivených povrchů s poloměrem $r < 10^{-4}$ mm dochází ke kondenzaci vodních par mnohem dříve. Pokud se tedy stejný vzduch za stejné teploty dostane do kontaktu s povrchy kapilár různých staviv, nedojde ke kondenzaci u staviv s velmi jemnými póry s velkým specifickým povrchem.

Kapilární kondenzace je příčinou vyššího zavlhčení (za stejné teploty) jemnozrnných materiálů jako např. opuka a cementová malta oproti jiným druhům materiálů s většími póry. Vysvětluje také rozdílné chování materiálu v průběhu času. U starého zdiva, které je již prosyceno solemi, se kapiláry výrazně změnily. V důsledku času došlo totiž na stěnách stávajících kapilár k usazení krystalů nerozpustných solí, které zvětšili oproti původním pórům kapilární výšku. [1, 3, 9]

2.6.5 Sorpce

Suché materiály ve stavební konstrukci pohlcují vodní páry z ovzduší až do dosažení rovnovážného stavu, kdy částečný tlak vodní páry v látce o okolním vzduchu je v rovnováze. V případě, je-li parciální tlak vodní páry ve zdivu větší, uvolňují se vodní páry z materiálu až do vyrovnání s parciálním tlakem vodní páry v ovzduší. Tento jev se nazývá sorpce a desorpce vodní páry. Po maximálním sorpčním nasycení přestane látka přijímat ze vzduchu vodní páru a začne kapilární kondenzace vlhkosti v látce. Sorpce je tedy proces, který nezávisí na rozdílu teplot vzduchu a látky a proto nesouvisí s kondenzací.

Sorpce je společný název pro adsorpci a absorpci, často k tomuto procesu přistupuje i chemisorpce. Adsorpce a absorpce molekul plynu na povrchu a bezprostřední hloubce pevné látky vzniká na rozhraní plynné a pevné fáze hmoty. Adsorpce je způsobena van der Waalsovými silami, kterými se přitahují molekuly plynů a kapalin. [2, 10]

2.6.6 Další mechanismy transportu vody zdívm

Tvar, polarita a spád elektrických polí ve vlhkém zdivu úzce souvisí se směrem, rychlostí a množstvím vlhkosti pohybující se zdívm.

Elektrická pole se mohou vytvářet ve zdivu v důsledku rozdílné pohyblivosti iontů rozpuštěných solí ve vztlínající vodě, které se koncentrují při hranici odpařování. Kationy a aniony nejsou stejně pohyblivé, s výjimkou velmi starých staveb, jsou pohyblivější záporné anionty. Proto nacházíme u zavlhlého zdiva zpravidla kladný pól v zóně odpařování a záporný pól u paty zdiva nebo v blízkosti okolního terénu. [3, 9, 10]

2.7 Chemismus vlhkého zdiva

Stavební materiály a konstrukce jsou vystaveny nebezpečným chemickým vlivům. Chemické degradační procesy jsou zapříčiněny zejména reakcemi chemicky méně stabilních složek stavební hmoty (např. uhličitán vápenatý CaCO_3) s roztoky slabých kyselin apod. Výsledkem chemických reakcí jsou soli, které mají vliv na dilatometrické vlastnosti, pórovitost, hygroskopicitu, nasákavost, pevnost, elektrickou vodivost apod. Transport solí ve zdivu je spojen s transportem vlhkosti.

2.7.1 Výkvětovorné soli

Rozpuštěné anorganické soli ve zdivu se procesem difúze dostávají na povrch omítky a při odpaření vody vykrystalizují. Vykrystalizované soli, které jsou transportovány na povrch pohybem vody, se nazývají výkvěty solí. Výkvěty se projevují skvrnami nebo usazeninami na stěnách v podobě prášku, shluků, krystalů, jehliček, škráloupů, kůry apod. Pro dosažení výše zmíněných pohybů roztoků solí je nutné, aby zdivo mělo určitou vlhkost, která umožňuje kapilární pohyb roztoků solí směrem nahoru nebo ven z konstrukce. Rozlišují se tyto druhy výkvětů solí:

- výkvěty vnější – projevují se na površích stavebních konstrukcí a omítek ve formě vlhkostních map, barevných skvrn a usazenin solí.
- výkvěty vnitřní – vznikají pod povrchem omítek a konstrukcí, nelze je zpravidla zřetelně pozorovat. Z hlediska rozrušování stavebních materiálů a konstrukcí jsou mnohem nebezpečnější než výkvěty vnější.

Soli pochází z různých zdrojů a běžně se v exponovaných místech vyskytuje několik druh solí. Jednotlivé soli se během transportu zdívm rozdělují, proto jejich zastoupení po výšce a hloubce je rozdílné.

Nejčastěji se vyskytující soli a obvyklé zdroje způsobující rozrušování cihelného zdiva:

druh solí	obvyklý zdroj vodorozpustných solí
chloridy	kamenná sůl pro zimní údržbu komunikací
	technologické procesy (potravinářská výroba, chladírenské zařízení, úprava vody)
	chlorové vápno užívané pro desinfekci
	mineralizovaná spodní voda
dusičnany	rozklad organických hmot (hřbitovy, kanalizace, stáje)
	chemická hnojiva
	technologické procesy (potravinářská výroba)
	exhalace z atmosféry, holubí trus
	střelný prach (pevnostní stavby)
	močovina pro zimní ošetření komunikací
sířany	exhalace z atmosféry
	mineralizovaná spodní voda
	výroba stavebních surovin (ze sirného uhlí při výpalu nebo z přísad při výrobě cementu)
	spalováním uhlí (v okolí komínů)
	chemická hnojiva
uhličitany	voda obsahující uhličitany ze vzduchu

Tab. č. 10 Obvyklé zdroje vodorozpustných solí [8]

Výkvěty solí narušují strukturu a pevnost stavebních materiálů. Jsou hygroskopické, čímž zvyšují vlhkost ve stavební konstrukci. Krystalické tlaky, vznikají při tvorbě nových sloučenin, jsou značné a zákonitě vedou k rozrušování konstrukce, protože zpravidla převyšují pevnost většiny stavebních materiálů a jsou doprovázeny zvětšováním objemu solí. [8, 9, 10]

Vznikající látka	Tlak (MPa)
$\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$	132
$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	111
$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	41
$\text{MgSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	49
$\text{MgSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$	107
$\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	27
Na_2SO_4	115
NaCl	219
$\text{NaCO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$	110
$\text{NaCO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	30

Tab. č. 11 Krystalické tlaky v MPa vybraných sloučenin [9]

Praktickým případem chemických reakcí jsou vápenocementové a vápenné malty, betony, sedimentární horniny a některé cihelné výrobky, jejichž významnou složkou je uhličitán vápenatý CaCO_3 , popř. hydroxid vápenatý $\text{Ca}(\text{OH})_2$ a oxid vápenatý CaO . Tyto sloučeniny jsou současně nejméně stabilní, avšak významnou pojivovou složkou uvedených stavebních hmot. Jejich reakcí s roztoky slabých kyselin vznikají rozpustné soli, které jsou vyplavovány na povrch. Dochází tedy k vymývání pojivových složek.

Kromě solných výkvětů může na stavební konstrukci nepříznivě chemicky působit i samotná voda. Podle chemických vlastností můžeme vodu dešťovou, podzemní, provozní či technologickou způsobující zvýšenou vlhkost konstrukcí rozdělit na: [8, 9, 10]

- vodu kyselou
- vodu síranovou
- vodu hladovou

2.7.2 Vyhodnocení salinity zdiva

Vyhodnocení obsahu solí závisí nejen na hloubce odběru vzorků (soli se nejvíce koncentrují na povrchu v odpařovací zóně), ale i na druhu solí a rezistenci materiálu dané zpravidla jeho pórovitostí.

Pro zařídění množství obsahu solí v konstrukci, pro účel průzkumu sanace vlhkého zdiva, je možno použít klasifikaci salinity zdiva podle ČSN P 73 0610 *Hydroizolace staveb – Sanace vlhkého zdiva*. Případně podle směrnice WTA E-2-6-99. [2, 13]

2.8 Působení vody pod bodem mrazu

Destrukčním způsobem působí ve zdivu voda vystavená teplotám pod bodem mrazu, především v důsledku zmrazovacích cyklů. Při přechodu z kapalného do pevného skupenství vody nastává významná změna objemu. V kapalném skupenství jsou molekuly vody uspořádány těsněji vedle sebe než v krystalické struktuře ledu. V odborné literatuře se uvádí, že led zaujímá asi o 10% větší objem než je objem vody v kapalném skupenství. Pokud při zvětšení objemu vody není volný prostor v pórovém prostředí, může dojít k mechanickému působení vody na stěny pórů. Tlak zmrzlé vody v dutinách a kapilárách dosahuje až 200 MPa. Poruchy vzniklé mrazovými cykly se vyskytují především při velmi vysokém obsahu vlhkosti, tedy nasycení pórové struktury vodou. [2]

3 SANACE VLHKÉHO ZDIVA

3.1 Metody sanace

Metody sanace vlhkého zdiva jsou podle normy ČSN P 73 0610 rozděleny následovně:

PŘÍMÉ METODY	NEPŘÍMÉ METODY
(brání šíření vlhkosti konstrukcí, vnikání vlhkosti do konstrukce nebo vnitřního prostředí)	(snižují hydrofyzikální namáhání konstrukcí)
<ul style="list-style-type: none"> ● mechanické metody - vkládání hydroizolace do strojně nebo ručně proříznuté spáry nebo do probouraných a provrtaných otvorů ve zdivu, zatlučené profilované nekorodující plechy ● chemické metody - infúzní a tlakové napouštění zdiva chemickými prostředky, asfaltovou emulzí nebo taveninou parafínu a prostředky polyuretanové, epoxidové a akrylové báze ● elektrofyzikální metody - instalace aktivní elektroosmózy ● vzduchoizolační systémy - např. Větrané štoly, dutiny, mezery a kanálky podél stěn pod i nad terénem ve stěnách a pod podlahou 	<ul style="list-style-type: none"> ● odvodnění horninového prostředí v okolí stavby drenáží ● úpravy povrchu a sklonu terénu v okolí objektu odvod srážkové vody od paty zdí nad terénem ● vytváření hydroizolačních clon a přepážek v horninovém prostředí v okolí objektu (štetové stěny injektáže) ● přirozené i nucené větrání místností a prostor budov snižující vlhkost vnitřního vzduchu ● jímání vlhkosti z vnitřního vzduchu pomocí kondenzačních a absorpčních sušících přístrojů ● sušení vnitřních povrchů konstrukcí proudem suchého vzduchu ● zvýšení vnitřní povrchové teploty konstrukcí a změna povrchové teploty v konstrukci její následnou tepelnou izolací
DOPLŇKOVÉ METODY	
PŘÍMÉ METODY	NEPŘÍMÉ METODY
<ul style="list-style-type: none"> ● vrstvy a povlaky z hydroizolačních materiálů, vytvářené na površích nebo ve struktuře podzemních a nadzemních konstrukcí terénu ● vnější úpravy nátěry z vodoodpudivých druhů barev a impregnačních i povrchových úprav a těsnění spár v částech budov přimykajících se k terénu 	<ul style="list-style-type: none"> ● systém sanační omítkový ● sanace následků biokoroze zdiva a dřevěných konstrukcí i prvků a provádění nátěrů jako prevence proti tomuto druhu napadení

Tab. č. 12 Metody sanace vlhkého zdiva dle ČSN P 73 0610 [13]

Příčinou zvýšené vlhkosti v konstrukcích, ať již zemní vlhkostí, vodou srážkovou, stékající, odstříkující, prosakující ze zeminy kolem objektů, z poruch či

vodou kondenzující, dochází ke znehodnocení stavebního díla. Je tedy nasnadě hledání nápravy tohoto problému. Jak již bylo řečeno v úvodu, sanaci staveb je třeba řešit komplexně s podrobným studiem okrajových podmínek a vyhodnocením všech možných aspektů, kterými se může voda do stavebních konstrukcí dostat. Ochrana staveb před vodou a zvýšenou vlhkostí je nepochybně jedním z nejdůležitějších opatření k zajištění dlouhodobé životnosti staveb a jejich dobré funkčnosti. Se sanací úzce souvisí otázky z oboru statiky stavebních konstrukcí a tepelné techniky. Ať u novostaveb nebo řešení sanací starších konstrukcí je třeba vycházet ze znalostí stavitelství, historie staveb, z oboru stavební fyziky, chemie apod. Návrh sanace vlhkého zdiva by měl být podložen platnými normami a směrnici. Sanační opatření je navrhováno jako kombinace metod základních a metod doplňkových. Vhodná kombinace umožňuje šetrný zásah s ohledem na konstrukci a bere ohledy na ekonomickou stránku. Hlavním úkolem je vhodně zvolit sanační opatření, které povede ke snížení vlhkosti ve stavební konstrukci a dosažení požadovaného tepelně-vlhkostního stavu zabudovaného materiálu.

Dalšími předpisy, kterými lze hodnotit sanace vlhkého zdiva, jsou směrnice Vědecko-technické společnosti pro udržování stavebních objektů a památkovou péči (WTA). Aby byla ve směrnících pokryta široká oblast zájmu, bylo zřízeno osm referátů, které se konkrétně zaměřují na určenou část problematiky. Oproti výše uvedené normě jsou zde obsaženy komplexnější informace a i přes svoji nezávaznost, jsou vzhledem k odbornosti společnosti a její mezinárodní působnosti přijímány odbornou veřejností obdobně jako technické normy. [2]

3.2 Význam vlhkostního průzkumu

Proto abychom našli spolehlivý a technicky správný sanační návrh je důležité provést komplexní stavebně-technický průzkum stavby. Ze zjištěných výsledků se potom zpracuje vyhodnocení stávajícího stavu. Tento soubor poznatků a informací nazýváme vlhkostní průzkum stavby. Průzkum slouží jako technický podklad pro návrh komplexního sanačního řešení řešeného objektu. Vstupní údaje musí obsahovat zjištění všech možných příčin vlhkostní poruchy konstrukce. Pro vyhodnocení stavu konstrukce je nutné analyzovat objekt dle následujících kritérií:

- posouzení technického stavu konstrukcí z hlediska typu poruchy,
- stanovení množství vlhkosti v konstrukcích ve vazbě na relativní vlhkost vzduchu v okolí,
- stanovení salinity zdiva (výkvěty, hygroskopické mapy),
- vyhodnocení výskytu mikrobiologických škůdců,
- posouzení inženýrských a hydrogeologických poměrů stavby,
- popřípadě využití radonové diagnostiky objektu.

Kompletní stavebně-technický průzkum stavby se neprovádí vždy. Podle zjištěného typu poruchy je možno některé druhy průzkumu záměrně vynechat. Před výběrem návrhu sanačního řešení je nutné provést minimálně dílčí měření vlhkosti

konstrukce a salinity, měření relativní vlhkosti vzduchu uvnitř a vně objektu, případně měření povrchové teploty nadzemního i podzemního zdiva. I když je zdroj vlhkosti relativně známý, je nutné provést vyhodnocení výsledků a vytvořit souhrn dokumentů o zjišťovaném objektu. [1]

3.2.1 Vyhodnocení stavebně-technického průzkumu

Informace získané ze stavebně-technického průzkumu jsou hlavním podkladem pro zpracování projektu sanace dané konstrukce a vytvoření návrhu sanačního řešení. Výsledky technického průzkumu jsou shrnuty ve zprávě, která obsahuje údaje:

- výsledky technického průzkumu a vlhkostního stavu konstrukcí,
- fotodokumentace stávajícího stavu konstrukce,
- technické vyhodnocení provedených sond a odběru vzorků,
- vyhodnocení měření a laboratorních analýz odebraných vzorků na salinitu,
- určení příčin vlhnutí konstrukce,
- stanovení konkrétní metody sanace nebo kombinace sanačních metod,
- základní technické parametry doporučovaných sanačních metod včetně druhu použitých materiálů, technologických postupů, technického vybavení, energetické a finanční náročnosti.

Důležitým faktorem pro správný návrh sanačního řešení je kvalifikované zpracování výsledků stavebně-technického průzkumu.

3.2.2 Výběr sanačního řešení

Správné vyhodnocení vlhkostního průzkumu tvoří základ pro volbu sanačního řešení. Samotné sanační řešení musí splňovat nejen funkčnost, ale i dostatečnou životnost. Při volbě vhodné sanační metody zohledňujeme několik kritérií pro její správnou funkci a dobrou účinnost. Mezi tato kritéria patří druh a procentuální množství vlhkosti, chemismus zdiva, inženýrsko-geologické poměry okolí objektu a v neposlední řadě určení druhu, materiálu a technického stavu konstrukce. Pro zjištění těchto vlastností je nutný dokonale provedený vlhkostní průzkum konstrukcí. [1]

4 CHEMICKÁ METODA

Chemická metoda je souhrnný název pro infuzní metodu a metodu chemických injektáží. Podstatou chemické metody je vytvoření dodatečné clony (vrstvy) do předem stanoveného místa vlhké konstrukce, kdy je používán chemický prostředek. Clona omezuje další migraci vlhkosti do částí konstrukce nad (za) touto clonou a zřizuje se vpravením vhodné, chemicky aktivní látky do struktury konstrukcí pomocí předem vytvořených vrtů. Následné odstranění vlhkosti z konstrukce nad takto vytvořenou clonou se zajišťuje nepřímými nebo doplňkovými metodami. [2]

4.1 Geometrie vrtů

Abychom docílili vytvoření efektivní souvislé vodě odolné dodatečné bariéry je nutno provést soustavu vrtů podle druhu použitého přípravku a vlastností konstrukce, do které je přípravek vpravován. Je třeba navrhnout:

- délku vrtu (L) – podmíněna tloušťkou sanované konstrukce a sklonem vrtu
- průměr vrtu (d) – závisí na použitém přípravku, druhu sanované konstrukce a způsobu aplikace
- osovou vzdálenost vrtů (D) – navržena v souvislosti s použitím přípravku, druhem sanované konstrukce a způsobem aplikace
- sklon vrtu (α) – závisí na použitém přípravku, způsobu aplikace a druhu sanované konstrukce
- výškovou úroveň dodatečné bariéry (H) – návrh podle výškového uspořádání konstrukce, resp. okolního terénu a dalších sanačních opatření

Oblast použití injektáží zdiva se nachází ve výši soklu nad úrovní terénu, jakož i ve vnitřních obvodových stěnách a vnějším zdivu sklepů nad úrovní hladiny tlakové nebo podzemní vody. Injektáže proti vztlínající vlhkosti nelze uplatnit v místech s tlakovou vodou. Předem prováděné vrty musí podat informaci o povaze a stavu zdiva, případně o výskytu dutin v něm. Vzdálenost vrtů se řídí podle nasákavosti materiálů a zejména malty. Uspořádání vrtů je jednořadé nebo dvouřadé.

Obecně platí, že čím menší je rozteč vrtů, tím větší je jistota funkčnosti opatření. Ovšem rozteč a uspořádání vrtů je nutné volit tak, aby byla zachována statická stabilita zdiva. Chemický přípravek proudí pórovým prostředím tzv. cestou nejmenšího odporu, ale pro teoretický výpočet osové vzdálenosti vrtů lze předpokládat působení v kruhu se středem ve středu vrtu a poloměrem rozhraní mezi dvěma kapalinami. Pro vytvoření souvislé, vodě odolné vrstvy musí dojít k průniku sousedních kruhů s tímto poloměrem.

Vždy podle okolností se musí před nebo po provedení injektáže odstranit poškozená omítka alespoň 0,8 m nad viditelnou hranicí vlhkosti. Je-li stará omítka

odstraněna před injektáží, musí být zabezpečeno dostatečné utěsnění zdiva, aby injektovaný prostředek nemohl ze zdiva vytékat.

Pro provádění vrtů se přednostně používají taková zařízení, která nevyvolávají otřesy. Předepsaný sklon vrtů ve zdivu se při vrtání co nejpřesněji zajistí použitím vhodných druhů vrtacích kladiv a stojanů pro zachování stejného sklonu vrtů. Stavební prach se před injektováním z vrtů odstraní vysátím nebo vyfoukáním.

Injektážní přípravek se aplikuje tak, aby nedocházelo k nekontrolovanému úniku z vrtu a z porušených míst. Ke kontrole spotřeby je vhodný např. zásobník injektážního prostředku.

Injektáž se provádí injektážními přístroji, jako jsou tlakové zásobníky, membránová pístová nebo šneková čerpadla. Hadice a těsnicí systémy (pakry) jsou součástí technologie provádění. Při aplikacích se respektují požadavky dodavatelů příslušných systémů. [2, 4]

4.2 Rozdělení chemických metod

Dělení chemických metod mohou být různá a některá nabízejí vzájemné souvislosti. V rámci diplomové práce jsem se inspiroval prací [2] a problematiku chemických metod pro sanaci vlhkého zdiva rozdělil do čtyř oddílů:

- podle způsobu aplikace
- podle chemické báze
- podle principu vnikání
- podle principu působení

4.2.1 Rozdělení podle způsobu aplikace

Podle způsobu aplikace injektážních přípravků do připravených vrtů dělíme chemické metody na beztlakové, s využitím hydrostatického tlaku a tlakové. Pro plnění vrtů beztlakově a s využitím hydrostatického tlaku se používá souhrnný název infúze. Pro plnění tlakovým způsobem se používá pojem injektáž. Protože některé přípravky lze aplikovat více způsoby, uvádím dále při označení metody pouze jeden výraz nebo ji souhrnně popisují jako chemickou metodu či jednoduše injektáž.

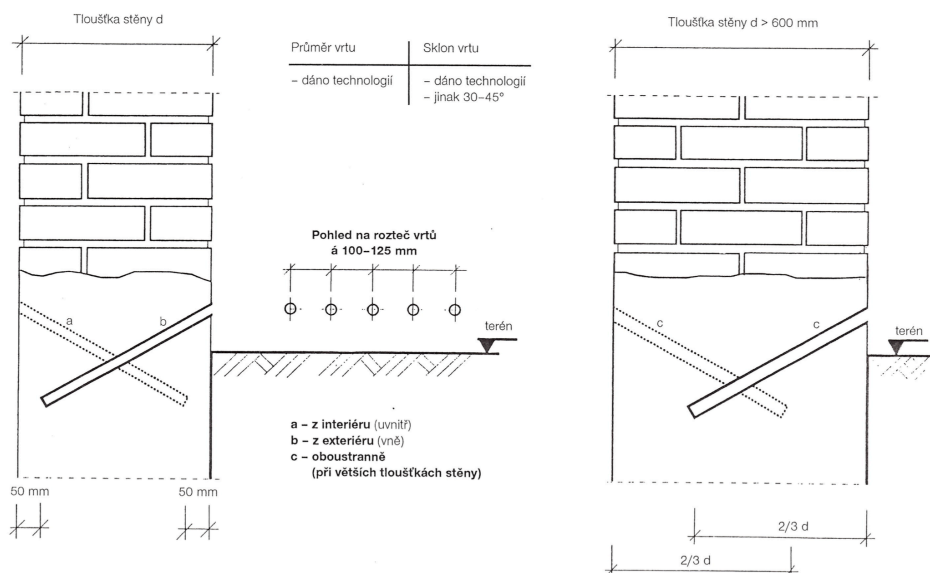
Beztlaková injektáž

Pro tuto injektáž se hodí nejlépe ve vodě rozpustný, nízkoviskózní injektážní prostředek, jako například silikáty, silany, silikonové mikroemulze a dostatečně ohřátá tavenina parafínu.

Injektážní prostředky se do vrtů vpravují beztlakově pouze kapilární nasákavostí. Vrty je možné plnit přepravním čerpadlem nebo samospádem speciálními nálevkami, ze kterých roztok samovolně vytéká do vrtu přes plnicí trubičku, která má za úkol udržovat stejnou výšku hladiny chemického přípravku ve vrtu. Další možností je spojení ústí vrtů vysekanou průběžnou drážkou, na jejímž venkovním okraji vytvoří z vodonepropustné malty val a chemický přípravek se

nalévá do takto vytvořeného korýtka. Tím se zajišťuje rovnoměrná hladina roztoku ve všech vrtech.

Rozteč provedených vrtů (osově) je závislá na nasákavosti zdiva a nesmí překročit 100 - 125 mm. Průměr vrtů se volí podle stanovené technologie, obvykle 20 až 40 mm se sklonem cca. 30 až 45°. Vrty zpravidla prochází dvěma ložnými maltovými spárami v závislosti na tloušťce zdiva a hloubka vrtů bývá o 50 mm kratší než je tloušťka zdiva. [2, 4]



Obr. č. 2 Beztlaková injektáž [4]

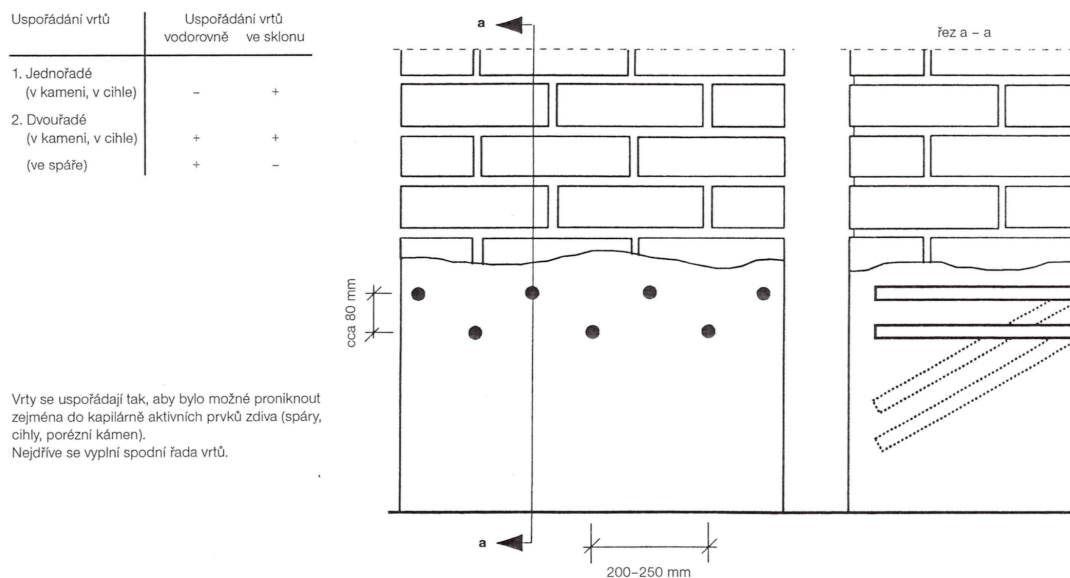
S využitím hydrostatického tlaku

Tento postup je vhodný pro viskóznější roztoky nebo pro méně porézní zdiva. Pro plnění chemického prostředku s využitím hydrostatického přetlaku se provádějí vrty vodorovné i v menším sklonu. Ústí vrtu se opatří ucpávkou s přechodkou na hadičku, která je spojena s nádobou. Nádoba je uchycena 1 až 2 m nad vrtem. Využívá se přetlaku vzniklého rozdílem výšky hladiny roztoku mezi nádobkou a ústím vrtu. Nevýhodou je větší pracnost a obtížnost těsnění hadičky do vrtu. [2]

Tlaková injektáž

Tlakové injektáže jsou vhodné zejména pro silně zavlhlé stavební materiály. Tlakové plnění je požadováno pro více viskózní látky. V praxi se používá i pro méně viskózní látky, aby byla urychlena aplikace. Do vyvrtaných otvorů se osadí injektory (pakry, obturátory), které zajistí těsné uzavření vrtů a přes injektor se zpětným ventilem se takovou hadicí vrty plní vysokotlakou pumpou (injektážním čerpadlem). Průměr vrtů se volí 10 až 20 mm a jejich uspořádání může být v jedné nebo více řadách. Osová rozteč vrtů se stanoví na základě předpokládaných minimálních hloubek pronikání injektážního prostředku ve zdivu. Osvědčila se rozteč po cca. 100 - 125 mm. U jednořadého nebo víceřadého uspořádání vrtů se nemá překročit výškový odstup 80 mm. Vrty se provádí podle technologického

postupu (údaje výrobce), případně podle konkrétních podmínek s odpovídajícím sklonem nebo vodorovně. Injektáž se má provádět za nepřetržitého tlaku nízkotlakou metodou (nízkotlaká metoda < 10 bar; 1 bar = 10⁵ Pa). Platí podmínka, aby vrt procházel alespoň jednou ložnou maltovou spárou. Spotřeba injektážního prostředku je určována porézností zdiva. Injektování se provádí tak dlouho, dokud se nevytvoří účinná rovnoměrná vodorovná clona. [2, 4]



Obr. č. 3 Tlaková injektáž [4]

4.2.2 Rozdělení podle chemické báze

Vlastnosti injektážního prostředku co do viskozity a schopnosti pronikání musí být takové, aby zajistily rovnoměrné napouštění materiálů i s malými póry. Dělení podle chemické báze určuje chemické složení jednotlivých přípravků. Pro volbu správné technologie aplikace je potřebné znát chemickou bázi roztoku, abychom byli schopni posoudit vhodnost použití pro konkrétní případ sanovaného zdiva. Nejběžnějšími u nás využívanými přípravky jsou: [4]

- akryláty
- epoxydové pryskyřice
- parafíny
- polyuretanové pryskyřice
- silikáty
- silany
- silikonáty
- silikonové mikroemulze
- siloxany

Podrobněji bych se dále zmínil o akrylátech. Přípravky na jejich bázi byly použity v rámci experimentů disertační práce k aplikaci do maltových vzorků krychlí. Jednalo se o přípravky RUBBERTITE a Realcryn 3.

Akrylové polymery – jsou polymery a kopolymery kyseliny akrylové a metakrylové. Jejich estery, amidy, nitridy i 2-kyanakryláty bývají často označovány jako polyakryláty. Jsou vyráběny jako homopolymery nebo nejrůznější kopolymery. Všechny se vyznačují vynikající odolností proti povětrnosti, stálostí na světle a transparentností. Jejich vlastnosti závisejí na druhu monomeru, komonomeru, na způsobu přípravy, molekulové hmotnosti, příp. na rozsahu zasítování. Podle typu hlavního monomeru lze pro praxi tuto oblast polymerů rozdělit na řadu podskupin.

Polymethylmetakrylát – má dobré mechanické a elektroizolační vlastnosti, odolává vodě, zředěným alkáliím a kyselinám. Není odolný vůči koncentrovanějším kyselinám a hydroxidům. Jeho zkratka je PMMA.

Kopolymery esterů kyseliny metakrylové – v posledních letech vzbudily velký zájem tzv. hydrogely, odvozené od metakrylových esterů obsahujících v postranním řetězci nejméně jednu skupinu OH.

Kyselina polyakrylová a polymetakrylová a jejich amidy – kyselina polyakrylová a kyselina polymetakrylová jsou hygroskopické polymery. Sodné soli řídce zasítěné kyseliny polyakrylové jsou tzv. superabsorbenty (1 g polymeru pohltí až několik set g vody). Podobné využití nachází vodorozpustný polymer-polyakrylamid.

Pro sanace vlhkého zdiva se z báze akrylátů zpravidla používají polymetakryláty. Přípravky jsou vícesložkové. Obvyklým případem je přípravek tvořený akrylátovou složkou (základ tvoří vodný metakrylátový roztok, další složkou je urychlovač na bázi modifikovaného metakrylátu) a tvrdidlem (sůl – peroxosíran sodný + kopolymer), které je dodáváno v pevném stavu a mícháno s vodou nebo speciálními tekutinami. Vytvrzený přípravek je ve formě reverzibilního gelu. Při přítomnosti vlhkosti v konstrukci je trvale elastický, pokud dojde ke kontaktu se vzduchem, povrchově vysychá (efekt svaštělé kůže).

Přípravky mají dobrou schopnost penetrace - relativně nízkou viskozitu, snadno regulovatelnou reakci díky zvolenému množství urychlovače, vysoký účinek utěsnění a elasticitu. Jsou chemicky odolné vůči většině organických a anorganických kapalin. Odolávají i tlakové vodě. Jako většina utěsňujících přípravků se aplikují tlakovým způsobem.

Akrylátové gely mají širší škálu použití, mimo vytvoření vodorovné a plošné hydroizolační clony lze z těchto přípravků vytvořit vnější hydroizolaci ve styku zdi se sousední zeminou. Technologie je vhodná, pokud je omezen přístup z vnější

strany zdiva (možnost odkopu terénu) nebo při obnově defektů stávající svislé hydroizolace. [2]

4.2.3 Rozdělení podle principu vnikání

Chemický přípravek se ve většině případů aplikuje do vlhkého zdiva. Množství vody může být v jednotlivých částech sanované konstrukce rozdílné, od nízkého obsahu vody až po zdivo teoreticky plně nasycené vodou. Při aplikaci, tedy pronikání přípravku do materiálové struktury, je cílem procesu vyplnění pórové struktury chemickým prostředkem nebo potažení stěn hydrofobní vrstvou a tedy dílčí nebo celkové nahrazení pórové vody v požadované oblasti konstrukce. Požadavek nahrazení pórové vody lze v zásadě uskutečnit těmito způsoby:

- vytlačení pórové vody mimo injektovanou oblast
- využitím vody v pórech obsažené pro chemickou reakci s přípravkem

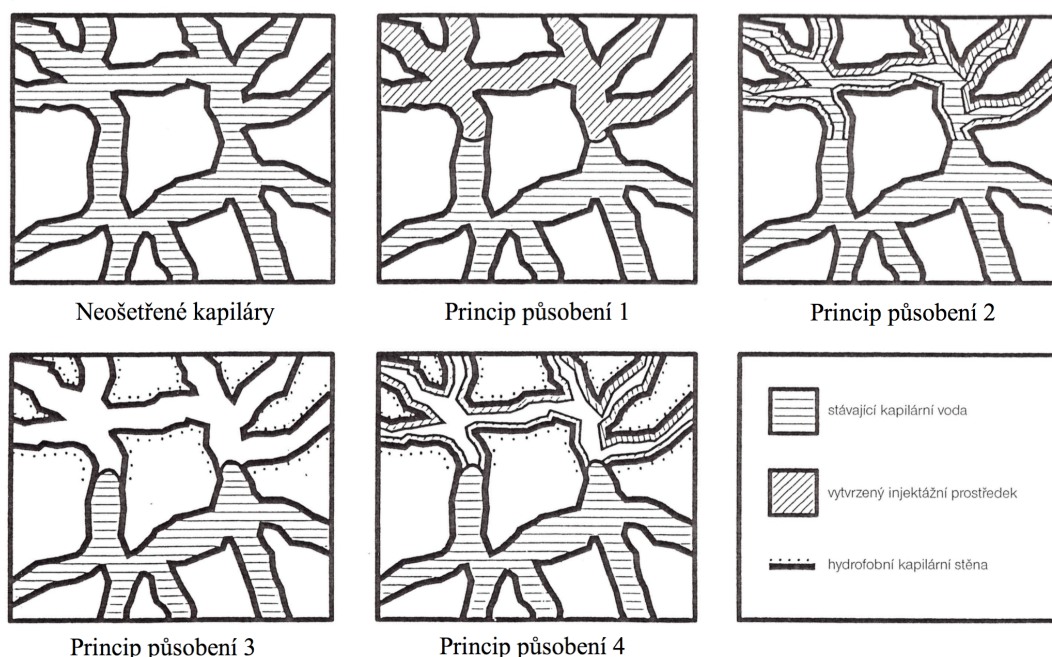
Při procesu vtlačování chemického přípravku a vytlačování pórové vody tedy existují dva odlišné případy. Jedná se o mísitelné a nemísitelné vytlačování pórové vody. Mísitelným případem jsou přípravky na vodné bázi, u kterých může dojít při vtlačování do konstrukce ke smísení s vodou uvnitř zdiva. Nemísitelným případem je například použití přípravku s organickým rozpouštědlem.

Stupněm počátečního zavlhčení zdiva před zahájením aplikace injektážního přípravku se zabývá směrnice WTA 4-4-04D (Injektáž zdiva proti kapilární vlhkosti). Tato směrnice se zaměřuje zejména na zkoušení injektážních hmot a jejich certifikaci. Jejím vydáním se projektantům a zpracovatelům umožňuje, aby mohli posuzovat na trhu běžné injektážní materiály proti kapilární vlhkosti ve vztahu k jejich vlastnostem a k oblastem použití. Ve směrnici jsou uváděna kritéria pro posuzování účinnosti a pro vymezení možností aplikace injektážních materiálů. Jsou v ní požadavky na vlastnosti, které musí injektážní materiály od výrobců splňovat. Všechny osoby a organizace, které se podílejí na stavebních činnostech, mají nyní možnost používat jen takové injektážní materiály, jejichž vhodnost aplikace je prokázána provedením standardizovaných zkoušek na účinnost. Průkaz vhodnosti může být vydán pro podmínky různé intenzity vlhkostního namáhání zdiva (stupeň vyplnění struktury materiálu vodou: 60%, 80%, >95% ± 5%), takže kromě aplikační vhodnosti je možno posuzovat i jejich účinnost.

4.2.4 Rozdělení podle principu působení

Podle působení přípravku ve struktuře materiálu můžeme chemické metody rozdělit na:

- utěsňující kapiláry
- zužující kapiláry
- odpuzující vodu (hydrofobizační)
- kombinující (zúžení kapilár a hydrofobizaci)



Obr. č. 4 Principy působení chemických přípravků [4]

Princip působení 1 – utěšňující
Princip působení 2 – zužující

Princip působení 3 – hydrofobizace
Princip působení 4 – kombinace

Prostředky utěšňující nebo zužující kapiláry

Tyto prostředky vytvářejí v pórové struktuře stavebního materiálu hydrogel oxidu křemičitého nebo v pórech materiálu tuhnou a utěšňují nebo zužují kapiláry. K úplnému ucpání kapilár dojde chemickou reakcí a následným ztuhnutí přípravku do vodo-nepropustné formy nebo injektážní látka zúží průměr póru a tím se sníží kapilární nasákavost. V současnosti se aplikují cementové suspenze, asfaltové emulze, disperze ve vodě nebo roztoky v organických rozpouštědlech syntetických pryskyřic (např. polyuretanové, epoxydové, akrylátové), parafín atd. Do této skupiny lze zahrnout i krystalizační metody využívající mechanismu zarůstání pórů CSH gely. Vzhledem k omezeným penetračním schopnostem nebo vyšší viskozitě se utěšňující prostředky injektují tlakově.

Prostředky hydrofobizační

Účinek těchto injektážních přípravků spočívá v hydrofobizaci pórové struktury stavebního materiálu. Dochází k vytvoření vodoodpudivého filmu, v případě některých druhů sloučenin dojde i k určitému utěsnění. Při hydrofobní úpravě stěn pórů dochází k omezení kapilární vzlínivosti. Injektážní látky jsou obvykle na bázi silikonových roztoků nebo mikroemulzí. Pokud je požadováno proniknutí do pórů zaplněných vodou, musí být tento druh přípravků injektován pod tlakem. Po uplynutí životnosti hydroizolační clony lze aplikovat obdobný preparát.

Prostředky kombinované

Dříve byly nejrozšířenějšími látkami pro utěšňování pórů alkalická vodní skla (draselná, sodná). Ta se v dnešní době samostatně nepoužívají, ale slouží jako základ kombinovaných prostředků. Spojuje se utěšňovací schopnost již zmíněných vodních skel ve spojení s hydrofobizační složkou (obvykle metylsilanolátem draselným nebo sodným). [2, 4]

4.3 Obecný postup pro injektáž

Před vlastní aplikací chemické clony je třeba vyplnit různé dutiny nebo kaverny ve zdivu, aby nedocházelo k úniku, případně hromadění, přípravku mimo požadovanou oblast. Do zdiva se vrtají otvory v jedné nebo dvou řadách s prostřídáním. Geometrie vrtů je závislá na způsobu plnění a druhu chemické clony. Hloubka vrtů se provádí o 50 mm kratší než je tloušťka sanovaného zdiva. Při větších tloušťkách zdiva (nad 600 mm) se doporučuje vrtat otvory z obou stran zdi, pokud je to možné. Vrty se v tomto případě provádí na hloubku 2/3 tloušťky stěny. Navrtané otvory se vyčistí např. stlačeným vzduchem a aplikuje se chemická clona jednostupňovou nebo dvoustupňovou injektáží, případně metodou následné infúze. Po ukončení napouštění se otvory vyplní nebo jen uzavřou maltou nejlépe s hydrofobizačními vlastnostmi. Jednou z možností je ponechat vrty nevyplněné a překrýt je difúzní lištou. Tento způsob je vhodný pro obnovení funkce clony po skončení její životnosti. V tomto případě musí zdivo splňovat předpoklad dostatečné únosnosti.

Předsoušení zdiva – při vyšším stupni zavlhčení (vyplnění struktury materiálu vodou), především u beztlakového napouštění vrtů, je vhodné využít lokálního předsoušení elektrickými topnými tyčemi, vháněním teplého suchého vzduchu nebo mikrovlnnými zářiči, což má příznivý vliv na proniknutí většího množství přípravku do struktury zdiva (více viz kapitola 5).

Jednostupňová injektáž – je nejběžnějším postupem při provádění injektážních prací. Po vytvoření a vyčištění vrtů se chemický přípravek napouští do zdiva. Vždy je nutné důsledně dokumentovat spotřebované množství přípravku a další okrajové podmínky.

Dvoustupňová injektáž – používá se případech, kdy by v důsledku dutin a trhlin docházelo k nadměrné spotřebě chemického přípravku. Vrty a s nimi spojené dutiny s trhlinami se nejprve vyplní maltou a po jejím vytvrdnutí se znovu vyvrtají, vyčistí a plní chemickým prostředkem.

Impulsní injektáž – je tlaková injektáž prováděná v určitých časových intervalech.

Metoda následné infúze – při této metodě se do struktury zdiva postupně napouští dva chemické přípravky. Jeden utěšňuje a druhý výrazně hydrofobizuje pórovitou strukturu materiálu. [2, 4]

4.4 Vlastnosti injektážního přípravku

Tabulka č. 13 obsahuje doporučení pro srovnávací posuzování injektážních prostředků. Je zde uvedeno, jaké vlastnosti by měl mít injektážní přípravek, který je vhodný pro aplikaci na kapilárně zavlhle zdivo. Cílem je získat co nejlepší vlastnosti v tabulce uvedené.

Stav systému	Parametr	Vlastnosti / Požadavky
Kapalný injektážní prostředek	Viskozita	● co možná nejmenší
	Povrchové napětí	● menší než substrát při beztlakové injektáži (dobré smáčení)
	Velikost částic u disperzí / velikost molekul u roztoků	● co možná nejmenší
	Obsah netěkavých částic	● co možná nejvyšší
	Stálost	● beze změny vlastností (např. viskozita, velikost částic) ● z viny částic, vlastních substrátu nebo cizích (např. voda, sůl) během rozptýlení
	Tvrdnutí	● beze znatelného vzrůstu viskozity během doby injektáže; (nejméně 4 h) ● vyrovnaný průběh tvrdnutí; vypuzující a nebo vázající vodu ● bez poruch látkami vlastními substrátu nebo cizími ● nespecifikované tvrdnutí
	Staveništní způsobilost	● dobrá zpracovatelnost, tj. malý počet složek ve směsi ● silně nezávislý na vlastnostech podloží a okolních podmínkách (smáčení, penetrace)
	Stálost při skladování	● co možná nejvyšší v uzavřených nádobách (6 měsíců)
Vytvrzený injektážní prostředek	Ekologická snesitelnost ú hygiena práce	● v souladu s místními zákonnými požadavky
	Produkt po vytvrzení	● bez tvorby škodlivých vedlejších produktů (soli)
	Hydrofobie	● "rozšířená", tzn. všude přítomná (princip působení 3 a 4)
	Stupeň vypnění pórů	● velké zúžení kapilár / inaktivace kapilár (pricip půs. 2 a 4)
	Odolnost vůči stárnutí	● odolný proti vodě, necitlivý na hydrolízu ● necitlivý na soli, alkálie a kyseliny ● není živinou pro mikroorganismy
	Teplotní stálost	● bez změn vlastností, snižující stupeň účinnosti (mezi -30° a 60)
	Kapilární nasákavost	● snížení až po dosažení absorpční vlhkosti (vyrovnaná vlhkost)
	Druhotné jevy	● bez škodlivých účinků (např. poruchy přilnavosti, zbarvení)
	Fungicida, baktericida	● mírná, přechodná

Tab. č. 13 Charakteristika injektážních prostředků ke snížení vlhkosti v kapilárně zavlhle zdivu [4]

4.5 Hodnocení chemických metod

Dnes mají chemické metody ve stavební praxi své nezastupitelné místo. Injektážní prostředky jsou snadno dostupné a realizace nevyžaduje náročné strojní vybavení. Některé způsoby injektáže nejsou ani finančně náročné. Tento způsob provádění dodatečných hydroizolací ve stávajících konstrukcích je ve srovnání s mechanickými metodami podstatně šetrnějším způsobem zásahu do stavební konstrukce. Výhodou představuje možnost aplikace jen z jednoho líce konstrukce. V porovnání s mechanickými metodami nedochází k úplnému přerušení kapilárního systému, což může být jednou z nevýhod pro sanaci běžných stavebních konstrukcí z pálených cihel spojených maltou. Ale v případě injektáže zdiva z materiálů citlivých na obsah vlhkosti, kdy by nadměrné vysušení mohlo vést k poruchám zdiva, se tato vlastnost jeví jako výhodná.

Každý injektážní přípravek má technicky ohraničenou možnost použití. Před volbou vhodného prostředku je nezbytné provést stavebně-vlhkostní průzkum a získat poznatky týkající se:

- druhu zdiva a malty (stejnorodost, duté prostory, výskyt trhlin, vrstevnatost, pevnost, stabilita)
- vlhkost a chemismus injektovaného materiálu
- chemická báze (funkční působení) přípravku
- způsob aplikace (beztlaková, tlaková injektáž)
- geometrie vrtů (osová vzdálenost, průměr, sklon, délka)
- orientační spotřeby přípravku (na 1 bm vrtu, 1 m² injektované průřezové plochy)
- omezující podmínky pro použití konkrétního přípravku

Aplikace chemického přípravku do zdiva je vhodná při obsahu vlhkosti 5 – 10 % hmotnostních. Při nižším obsahu vlhkosti lze ochranu proti zemní vlhkosti zpravidla zajistit jiným způsobem, ekonomicky výhodnějším. V případě konstrukcí, které obsahují více než 10 % vlhkosti se doporučuje užití metody následné infúze nebo předsušení zdiva, aby v oblasti sanačního zásahu byl obsah vlhkosti nižší. Případně zvolit jinou sanační metodu nebo soubor sanačních opatření.

Kvůli velkému množství injektážních přípravků na trhu, jejich rozdílným bázím a velkému množství okrajových podmínek je nebezpečí, že při neodborně prováděné realizaci, firmami nebo soukromníky bez dostatečného množství teoretických a praktických zkušeností, vznikne spousta chyb, které způsobí omezenou nebo nedostatečnou účinnost chemické clony. Nevýhodou chemické metody je nemožnost provedení vizuální kontroly kvality provedených prací a ve většině případu i ověření účinnosti ihned po provedení sanace.

Pokud má stavební materiál většinu otevřených pórů nasycených vodou, je málo pravděpodobné, že se do takto zaplněné struktury dostane podstatně viskóznější roztok infúze. Například všeobecně platnou limitující podmínkou pro beztlakovou aplikaci je, aby zdivo mělo alespoň 50 % otevřených pórů nezaplňených vlhkostí. Metoda je vhodná pro všechny druhy zděných konstrukcí z materiálů s převahou pórů s rozměry v rozmezí $10^{-7} < r < 10^{-4}$ m, kde se projevuje pohyb vlhkosti vztlínáním kapilárami. Největší transport vlhkosti se odehrává v pórech průměru 10^{-5} až $5 \cdot 10^{-5}$ m. Aby injektážní látka působila alespoň na část pórového systému, měla by mít velikost částic do $5 \cdot 10^{-5}$ m.

Aplikace ze strany vnějšího líce obvodových stěn se nedoporučuje v zimních měsících. V zimním období totiž vždy existuje možnost promrzání konstrukcí ve vnější povrchové vrstvě a před utěsněním vrtů ve zdivu maltou i uvnitř. Obecně se uvádí limitní teplota pro injektování zdiva $+5$ °C. Prostředky s možností zvýšeného odpařování rozpouštědel by se neměly používat v letních měsících s vysokými denními teplotami. Prostředky obsahující organický rozpouštědla, s ohledem na ochranu zdraví osob při práci, nejsou vhodné pro aplikaci z vnitřního líce obvodových stěn a pro vnitřní stěny stavby.

Chemická metoda plní pouze funkci izolace od přiléhajícího pórovitého prostředí, především proti vztlínající vodě. Je nutné si uvědomit, že porézní strukturou zdiva migruje i voda ve formě vodní páry, která za určitých podmínek kondenzuje a lokálně zvyšuje obsah vlhkosti ve zdivu. Chemická clona tedy nemůže plnit funkci parozábrany. Část vody ve formě vodní páry prochází i přes chemickou clonu. Proto je nutno brát injektáž jako přibrzdňující prostředek a ne jako 100 % ochranu zdiva proti veškeré vlhkosti. Z laboratorních měření na vzorcích zdiva se účinnost injektážního prostředku ukazuje od 47 do 98 %, v závislosti na druhu přípravku [3]. V praxi je při aplikaci injektážního roztoku cílem dokonale prosytit celou pórovitou strukturu materiálu. Podle poznatků z praxe se průkazný účinek vysušení na injektovaném zdivu projeví v průběhu cca. 2 let. Při posuzování účinnosti chemické clony je třeba posuzovat míru vlhkosti v místech pod a nad clonou. [2]

4.5.1 Hodnocení účinnosti

Hodnocení účinnosti chemických metod by mělo mít pevný postup, přesná kritéria a podmínky, za kterých se ověřování účinnosti provádí. Na účinnost injektáže má vliv řada faktorů. Existuje celá řada zkušebních postupů a metod jednotlivých zkušebních ústavů, výrobců nebo realizačních firem. Do dnešní doby nebylo pevně vymezeno jednotné ověřování a zkoušení funkčnosti injektážních přípravků. Zkoušky prováděné po aplikaci chemické metody na jednotlivých konstrukcích a budovách jsou obtížně srovnatelné. Souhrnně je problematika hodnocení účinnosti chemické metody především v laboratorních podmínkách poměrně dostatečně prozkoumaná, ovšem k rozsáhlému množství okrajových

podmínek a jejich kombinací, které mohou nastat nebo musí být pro úspěšný zásah splněny, by bylo vhodné provést důslednější experimentální měření na konkrétních modelech nebo pomocí simulačních programů. Hodnocení účinnosti chemické metody lze provádět: [2]

- experimentálním hodnocením v laboratorních podmínkách
- kontrolním měřením na reálných konstrukcích stavby

4.5.2 Experimentální hodnocení v laboratorních podmínkách

V rámci své disertační práce se s ohledem na prováděné experimenty dále věnuji jen zkouškám pro určování účinnosti chemické clony prováděných v laboratorních podmínkách. Zde se při stejných a předem definovaných podmínkách provádí porovnání mezi referenčními a injektovanými zkušebními tělesy. Posuzování slouží k určení účinnosti, kontrole kvality nebo k certifikaci použitého injektážního přípravku. Měření, srovnávání a vyhodnocení jednotlivých měření může probíhat v řádu měsíců až let. [2]

Měření změny hmotnosti – tento postup zahrnuje výpočet množství injektovaného přípravku z měřené hmotnosti vzorku před a po injektáži. Obecně je hodnocena změna hmotnosti vzorku v závislosti na čase, tedy před a po injektáži a po té porovnání s referenčními vzorky.

Vizuální porovnání – u tohoto postupu jsou zkušební vzorky vkládané do vody vizuálně kontrolovány a porovnávány rozdíly mezi injektovanými a referenčními krychlemi. Je sledována mapa ošetřené oblasti případně rozhraní mezi ošetřenou a neošetřenou částí vzorku injektážním přípravkem.

Měření vlhkosti vlhkoměrem – při měření na vzorcích v laboratorních podmínkách se volí nedestruktivní způsob měření vlhkosti s vyšším počtem měření na větším počtu měřících bodů oproti měření na reálné stavbě. Před použitím je vhodné u některých vlhkoměrů provést systémovou kalibraci. Ta se provede porovnáním měření na srovnávacích zkušebních vzorcích, u kterých se skutečná vlhkost stanoví gravimetrickou metodou nebo určením váhy zkušebního tělesa. Měření je vhodné provádět vždy na stejném místě zkušebního vzorku, proto je optimálním řešením vyznačit na zkoumané těleso měřící body a na každém takto označeném místě provést určitý počet odečtení hodnot pro jejich následné zprůměrování a vyhodnocení.



Obr. č. 5 Měření vlhkosti vlhkoměrem

Dalšími možnostmi použitých měření v rámci v laboratorních podmínkách zkoumaných zkušebních vzorků a zohledněním jejich injektovaného či referenčního charakteru mohou být měření odparu, objemové propustnosti vody či sorpční test aj.

4.5.3 Normalizace zkušebních těles

Pro zkoušení účinnosti chemické metody je nezbytná normalizace zkušebních těles, protože pouze na zkušebních tělesech, které mají stejnou skladbu a stejné vlastnosti, je možno porovnávat jednotlivé injektážní prostředky. Definované funkční zkušební těleso je uvedeno ve směrnici WTA 4-4-03, v českých technických normách nikoliv.

Aby bylo možné provádět srovnání injektážní látky, musí se zkoušky provádět za naprosto stejných podmínek. Musí být stanovena přesná kritéria pro srovnávací zkoušky. Obecně jsou tyto podmínky stanoveny ve směrnici WTA 4-4-03, není zde ovšem zohledněno zasolení zdiva.

Základem je vytvořit takový model v laboratorních podmínkách, aby došlo ke srovnání podmínek v laboratoři a na stavbě, kde působí velké množství různých vlivů a jejich kombinací, které vždy nelze v laboratorních podmínkách jednoznačně nasimulovat a především vytvořit model, podle kterého by se dalo vytvořit jednotné zkoušení. Při zkoušení je obtížné obsáhnout všechny vlivy a kombinace vlivů působících na reálnou konstrukci a zvolit takový materiál zkušebního tělesa, který by zevšeobecnil materiály, běžně používané v praktických případech. [2]

5 PŘEDSOUŠENÍ ZDIVA

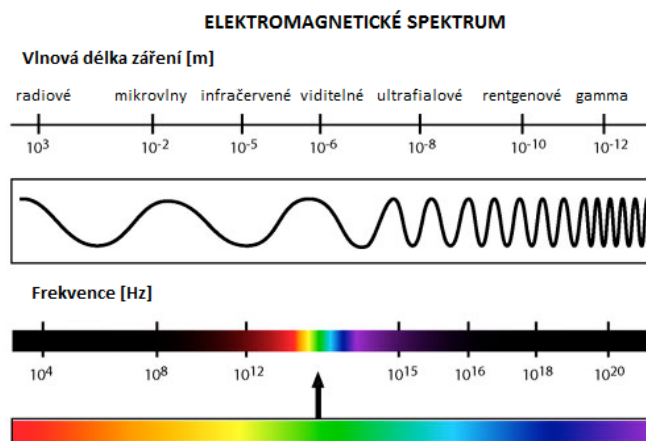
Aplikovat chemickou clonu do saturovaného pórového prostředí je obtížné, zejména při předpokladu použít beztlakového způsobu injektáže. V takovém případě je nutné před samotnou aplikací přípravku, provést opatření ke snížení obsahu vody a uvolnění pórů ve struktuře materiálu. Vlhké zdivo za přirozených podmínek vysychá velmi pomalu a ve stavební praxi je dnes využívána řada způsobů, jak rychleji snížit vlhkost v jeho vnitřním prostředí:

- mikrovlnné záření – vysoušení elektromagnetickým mikrovlnným zářením je velmi rychlé a účinné a dnes se využívá pro různé stavební materiály
- ohřívání konstrukce, vnitřního vzduchu a následné odvětrání – pomocí vysoušečů, teplovzdušných agregátů nebo centrálního vytápění
- použití adsorbčních nebo kondenzačních odvlhčovačů – po dobu odvlhčování je nutné místnost uzavřít a nevětrat
- princip elektrolýzy – řídí se Faradayovými zákony, připojením stejnosměrného napětí na elektrody vysušovacího systému, dochází k rozkladu vody.

Pro chemickou metodu je vhodné využít lokální předsušení oblasti vrtů v celé jejich délce. Vhodné jsou mikrovlnné tyčové antény, které se zavádí přímo do vrtu a nedochází k neefektivnímu sušení povrchu zdiva. Odlišné jsou nároky kladené na předsušení zdiva před injektáží nebo například sušení zdiva po povodních. [2]

5.1 Mikrovlnné záření

Mikrovlnné záření je elektromagnetické záření představující v elektromagnetickém spektru oblast mezi infračerveným zářením a radiovými vlnami o frekvenci 300 MHz až 30 GHz. Tomuto rozpětí frekvencí odpovídají vlnové délky od 1 cm do 1 m. Pro využití mikrovlnného záření k odstiňování vlhkosti ze zdiva se používá tzv. průmyslová frekvence 2450 MHz, která odpovídá vlnové délce 122 mm. Záření se ve volném prostředí šíří od zdroje rychlostí světla ve formě vln. Průmyslová frekvence je velmi vhodná pro ohřev vody a tedy odstraňování vlhkosti z konstrukce a s ní spojenou likvidaci biotických škůdců. Zároveň byla vybrána s ohledem na fakt, že nedochází k interferencím s telekomunikačními frekvencemi.



Obr. č. 6 Spektrum elektromagnetických vln [22]

Určení vlnové délky:

$$\lambda = \frac{c_\lambda}{f} \quad [\text{m}] \quad (27)$$

kde λ ...délka vlny [m],
 c_λ ...rychlost šíření vlny [m.s⁻¹],
 f ...frekvence mikrovlnného záření [2450 MHz].

Mikrovlnné záření má mnoho podobných vlastností s viditelným zářením. Šíří se přímočaře, může se lámat, odrážet a v některých případech koncentrovat do jednoho bodu. K lomu a odrazu mikrovln dochází na rozhraní dvou materiálů rozdílných dielektrických vlastností, tedy na přechodu mikrovln ze vzduchu do ohřívané látky nebo na přechodu jedné složky heterogenního materiálu do složky druhé. O podílu odraženého a dále postupujícího mikrovlnného záření rozhoduje především rozdíl elektrických vlastností obou prostředí, ale i úhel dopadu mikrovln na plochu rozhraní. Pro lom mikrovln, který je rovněž ovlivněn vlastnostmi obou prostředí, platí zákony optiky.

Tepelný účinek je zatím jediný, který prokazuje vliv mikrovln na materiály obsahující volnou vodu. O účinku interakce mikrovln s materiálem, který je mikrovlnnému záření vystavený, rozhoduje složení materiálu, jeho fyzikální stav a do určité míry i jeho struktura, o míře účinku dále výkon a frekvence mikrovln.

Po vstupu mikrovln do konstrukce zde dochází k velmi rychlým změnám polarity molekul volně vázané vody. Při tomto pohybu do sebe částice vzájemně narážejí a vzniká tepelná energie. Jejím působením dochází k intenzivní přeměně vody ze skupenství kapalného na skupenství plynné a následně k odpařování vody z konstrukce.

Mezi materiály, které mikrovlny naprosto odrážejí patří kovy. Mezi materiály pro mikrovlny propustné, tzv. transparentní, patří např. sklo, porcelán, plasty.

Z hlediska absorpce mikrovln v těchto materiálech není volná voda, nemá se tedy co ohřívat. [1]

5.1.1 Princip mikrovlnného ohřevu

Mikrovlny o průmyslové frekvenci způsobují rychlou vibraci molekul. Při tom vzniká tření a třením teplo. Zahřátí vody je velice rychlé. Mikrovlnná energie je absorbována molekulami vody uvnitř materiálu, proto nedochází k ohřevu okolního vzduchu. Mikrovlnný ohřev je charakterizován jako rychlý a ekonomický a je založen na elektromagnetické indukci. Teplotní profil je opačný než u klasického ohřevu, tj. nejvyšší teplota je uvnitř a snižuje se směrem k povrchu. U vícesložkových materiálů se ohřívá pouze složka absorbující mikrovlnné záření (složka obsahující volnou vodu). Při sušení např. zdiva se selektivně ohřívá jen volná voda a sušení je mnohem rovnoměrnější a úspornější než při klasickém sušení. Mechanismus přeměny mikrovlnné energie na teplo je dán vztahem:

$$P = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot \varepsilon' \cdot \varepsilon'' \cdot E^2 \quad [\text{W} \cdot \text{m}^{-1}] \quad (28)$$

kde P ...energie absorbovaná v jednotce objemu [$\text{W} \cdot \text{m}^{-1}$],
 f ...frekvence mikrovlnného pole [2450 MHz],
 ε' ...permitivita [$\text{F} \cdot \text{m}^{-1}$],
 ε'' ...dielektrický ztrátový faktor materiálu,
 E ...intenzita elektrického pole uvnitř materiálu [$\text{V} \cdot \text{m}^{-1}$].

5.1.2 Praktické využití mikrovlnného záření

Mikrovlnného ohřevu je využíváno nejčastěji při rozmrazování a ohřevu potravin, jak v domácnostech, tak i průmyslu. Ohřev potravin je rychlý a vysoce ekonomický, neohřívá se nádoba, ani prostor a těleso trouby, ztráty energie jsou minimální, největší ztráty připadají na teplo uvolněné v magnetronu, který pracuje s účinností 65%.

Mikrovlnný ohřev má široké využití k účinnému a energeticky výhodnému sušení materiálů. V České republice jsou mikrovlny již od roku 1994 používány k sušení a sterilizaci dřeva, sušení papíru, keramických či farmaceutických produktů. Významným přínosem bylo využití mikrovln k sušení knih, archiválií a dokumentů zasažených při povodních v roce 2002. Jinou oblastí, ve které nacházejí mikrovlny nejčastější uplatnění jsou telekomunikace a přenos dat.

U dřevěných konstrukcí se využívají také k likvidaci plísní, hub a dřevokazného hmyzu, jako velmi účinné se jeví při likvidaci dřevomorky domácích. Při aplikaci na dřevo se využívá záření o malém výkonu (okolo 300 W) a nižších časů vysoušení. Je nezbytné dbát na důkladný průzkum dřevěné konstrukce, kde by neměly být přítomny žádné kovové prvky, díky kterým by při vysoušení mohlo dojít ke vzniku tzv. HOT SPOTS a ke vzplanutí dřevěného prvku sanované konstrukce.

Mikrovlnného záření je ve stavebnictví využíváno i pro určování vlhkosti stavebních materiálů.

5.1.3 Využití mikrovln pro vysoušení zdiva

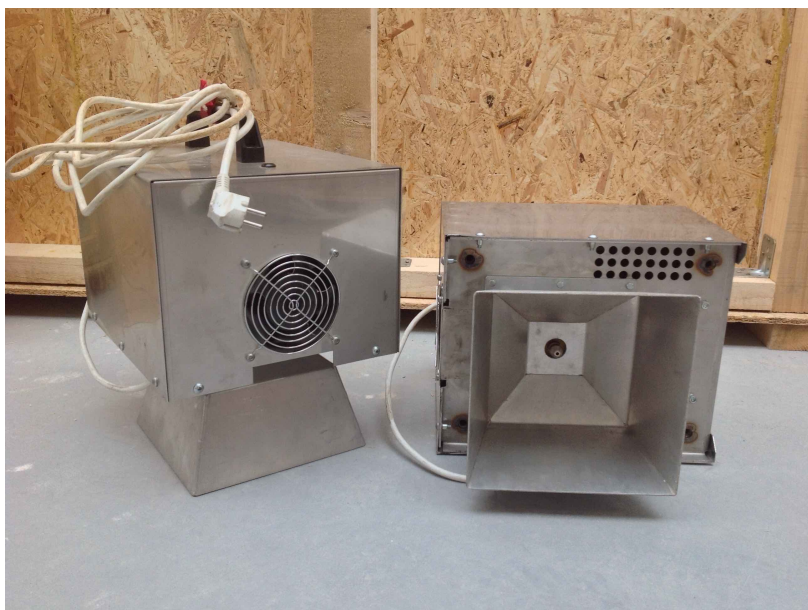
Je poměrně dostatečně účinné, rychlé a také ekonomické. Je možné využití tyčových antén, zejména pro předsušení vrtů připravených pro injektáž, nebo příložných trychtýřových antén. V současnosti je ve stavební praxi užíváno MW vysoušení zdiva pomocí speciálních technických zařízení, která zpravidla využívají velmi vysokých výkonů, někdy přesahujících i 3000 W. Vezmeme-li v úvahu vysoušení pomocí takto vysokých vysoušecích výkonů, zejména u cihelného zdiva, měl by být nárůst teplot sanovaného materiálu velmi rychlý, čímž by vznikaly obrovské tlaky vodních par, které by narušovaly vnitřní strukturu stavebních konstrukcí a snižovaly tak únosnost celého zdiva (keramické prvky a pojivo). Vzhledem k tomuto faktu je pro zděné konstrukce vhodnější využití různých posuvných mechanismů, kdy nedochází k lokálnímu zahřívání materiálu a je sušena větší plocha sanovaného zdiva najednou. [3]

5.1.4 Skladba mikrovlnného vysoušecího zařízení

Ne všechna u nás používaná mikrovlnná zařízení mají stejnou skladbu, nicméně základní součásti sušících aparatur jsou zhruba stejné:

- zdroje elektrické energie – transformuje elektrickou energii a přivádí ji vývodem ke kabelovému vedení,
- kabelové vedení – přivádí transformovanou elektrickou energii do mikrovlnného generátoru,
- mikrovlnný generátor - jeho součástí je magnetron nebo klystron, který prostřednictvím budiče mikrovln přeměňuje elektrickou energii na mikrovlnné záření,
- vlnovod – z budiče mikrovln vstupuje záření přímo do vlnovodu, odkud je přiváděno do antény,
- anténa – jejím prostřednictvím je mikrovlnné záření usměrněně vyzařováno do volného prostoru na předem stanovené místo na stavební konstrukci. [1]

Na obrázku č. 7 je zobrazen přenosný generátor Romill G1/2011, který je k dispozici na Ústavu pozemního stavitelství Fakulty stavební VUT v Brně ve dvou kusech. Generátor pracuje na průmyslové frekvenci 2450 MHz, jeho příkon je 1,5 kW a maximální mikrovlnný výkon 1000 W. Je napájen z elektrické sítě (230 V, 50 Hz).



Obr. č. 7 Mikrovlnné vysoušecí zařízení

5.1.5 Účinky na zdraví osob a z toho plynoucí opatření

Na základě rozsáhlých experimentů bylo zjištěno, že elektromagnetické vlnění je při styku se živou hmotou biologicky aktivní v celé šířce svého spektra. Nejedná se o ionizační účinky záření a biologické účinky jsou velmi různorodé, jejich výsledným mechanismem dochází k tepelnému a netepelnému působení.

Mikrovlnné záření způsobuje při určitých intenzitách a dlouhodobějším působení potíže především neurologického rázu. Pozorovatelné jsou zejména bolesti hlavy a očí, únava spojená s celkovou slabostí, malátností a závratěmi při delším stání. Tepelným účinkům jsou vystaveny zejména části organismu s nízkým prokrvením, kde může dojít k nebezpečnému místnímu zvýšení teploty a tím k narušení buněk či fyziologických jevů. Nebezpečí hrozí zejména u očí a pohlavních orgánů.

Podmínky ochrany zdraví v prostoru mikrovlnného záření jsou uvedeny ve vyhlášce č. 480/2000 Sb., která nahradila vyhlášku č. 408/1990 Sb. Míra účinku elektromagnetického záření na člověka je dána vlnovou délkou, ale především intenzitou (hustotou elektromagnetického pole), závislou na výkonu zdroje elektromagnetického záření. Pro pohyb a pobyt v prostorech, kde se vyskytuje elektromagnetické mikrovlnné záření je vhodné se opírat o informace oficiálních mezinárodních institucí, např. o informace poskytované Světovou zdravotnickou organizací (WHO).

[1]

6 ZKOUŠENÍ STAVEBNÍCH MATERIÁLŮ

6.1 Malty

Maltou se nazývá zatvrdlá směs pojiva, plniva, vody a přísad. V čerstvém stavu má formu nejčastěji plastické kaše, výjimečně tekuté konzistence a nazývá se čerstvou maltou.

6.1.1 Stavební malty

Stavební malty se skládají z pojiva, plniva, vody a přísad nebo příměsí přidávaných do malt pro dosažení zvláštních vlastností.

Pojiva

- vápno vzdušné, hydraulické, či vápenný hydrát,
- směsné hydraulické pojivo,
- portlandský cement, portlandský struskový cement, vysokopecní cement a bílý cement,
- různé druhy sádry,
- polymerní matrice.

Plniva

Přírodní kamenivo, vysokopecní granulovaná struska, škvára, popílek, teracové drtě, uměle vyráběná pórovitá kameniva (keramzit, perlit atd.), slévárenský písek. Kamenivo se volí podle účelu malty. Nejčastěji se používá drobné kamenivo přírodní, jak těžené, tak i drcené, hutné nebo pórovité či průmyslové odpady. Frakce kameniva se zpravidla volí takto :

- 0-8 mm pro malty v keramických dílcích, pro osazování částí a dílců a pro potěry,
- 0-4 mm pro malty na zdění, kladení dlažeb a obkladů, pro jádrovou vrstvu omítek,
- 0-1 mm pro malty na jemné omítky a pro spárování spár.

6.1.2 Dělení stavebních malt

Podle účelu použití

- malty pro zdění,
- malty pro omítání,
- malty pro výrobu keramických dílců,
- malty tepelně izolační,
- malty stykové a spárovací,
- malty pro kladení dlažeb a obkladů,

- malty pro speciální účely,
- sanační malty a omítky.

Podle typu použitého pojiva

- malty vápenné MV
- malty vápenocementové MVC
- malty vápenosádrové MVS
- malty sádrové MS
- malty cementové MC
- malty polymercementové MPC
- malty hliněné MH

Podle objemové hmotnosti malty ve vysušeném stavu

- malty tepelně izolační do 1100 kg.m⁻³,
- malty vylehčené do 1600 kg.m⁻³,
- malty obyčejné do 2300 kg.m⁻³,
- malty těžké nad 2300 kg.m⁻³.

Podle pevnosti v tlaku se dělí do tříd pevnosti

Třída	M1	M2,5	M5	M10	M15	M20	Md
Pevnost v tlaku (N.mm ²)	1	2,5	5	10	15	20	>25

Tab. č. 14 Třídy malty dle pevnosti v tlaku

Podle tepelné vodivosti se tepelně izolační malty třídí na malty

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

Podle požadavků na další vlastnosti můžeme malty dále dělit

Na mrazuvzdorné, vodotěsné či propustné vůči vodním parám, dále malty se zvláštními vlastnostmi nebo malty pro zvláštní použití (břízolitové omítky, umělý kámen, krytalové malty, barytové malty, žárovzdorné malty aj.). [23]

6.2 Zkoušky čerstvých a zatvrdlých malt

6.2.1 Zhotovení zkušebních těles

Pro stanovení pevnosti v tahu za ohybu a tlaku u zatvrdlých malt se používají zkušební tělesa rozměru 40 x 40 x 160 mm. Ty se zhotovují ihned po přípravě malty.

Do formy s nadstavcem, připevněné ke zhutňovacímu stolku, se vhodnou lžící přímo z nádoby v jedné nebo několika dávkách plní jednotlivé oddíly formy první ze dvou vrstev. Malta se v každém oddíle formy rovnoměrně rozprostře větší stěrkou. Poté se první vrstva zhutní 60 rázy zhutňovacího stolku. Vnese se druhá vrstva malty a zajistí její přebytek, rozprostře se malou stěrkou a zhutní se dalšími 60 nárazy. Forma se opatrně sejme ze zhutňovacího stolku a odstraní se nadstavec. Přebytečná vrstva malty se ihned setře kovovým pravítkem. Formy se za účelem identifikace označí značkou nebo štítkem.

6.2.2 Zkouška sednutí kužele

K přípravě a zkoušení zkušebních těles musí mít čerstvá malta vhodnou konzistenci. Pokud není uvedeno jinak, připraví se čerstvá malta s předepsanou hodnotou rozlití. Obsah vody potřebný k dosažení této konzistence se stanovuje dle normy ČSN EN 1015-3.

Princip zkoušky – podstatou zkoušky je hodnota rozlití malty, která se získá změřením průměru rozlitého vzorku čerstvé malty.

Zkušební zařízení – stráscací stolek dle normy, kovový kužel o výšce $60 \pm 0,5$ mm, vnitřním průměru $100 \pm 0,05$ mm ve spodní části a vnitřním průměru $70 \pm 0,5$ mm v horní části. Dusadlo kruhového průřezu z nenasákavého materiálu o průměru asi 40 mm a délce asi 20 mm. Hmotnost dusadla je $0,250 \pm 0,015$ kg.

Postup zkoušení – před každou zkouškou se deska a vnitřní povrch včetně okraje kovového kužele očistí vlhkou tkaninou a otřou se do sucha. Jejich povrch se natře tenkou vrstvou minerálního oleje. Kovový kužel se umístí do středu desky stráscacího stolku a naplní se maltou ve dvou vrstvách. Každá vrstva se zhutní 10 lehkými údery dusadla. Během plnění se kovový kužel jednou rukou přitlačuje k desce. Přebytečná malta se setře a volná plocha desky se otře, aby byla čistá a suchá. Asi po 15 vteřinách se kužel lehce zvedne kolmo vzhůru a malta se na desce stolku rozlije 15 nárazy s konstantní frekvencí jeden zdvih za sekundu. Průměr koláče malty se změří ve dvou na sebe kolmých směrech pomocí měřidla. Výsledek se udává v mm s přesností na 1 mm.

Zkouška se provádí na dvou zkušebních vzorcích. Liší-li se jednotlivé hodnoty rozlití od jejich průměrné hodnoty o více než 10%, zkouška se opakuje. Výsledkem je průměrná hodnota rozlití v mm zaokrouhlená na 5 mm. [17]

6.2.3 Stanovení objemové hmotnosti zatvrdlé malty

Objemová hmotnost daného zkušebního tělesa ze suché ztvrdlé malty se stanoví jako poměr jeho hmotnosti ve vysušeném stavu a objemu, který těleso nasáklé vodou zaujímá při ponoření do vody.

Zkušební těleso se vysuší v sušárně při teplotě $70 \pm 5^\circ\text{C}$ (v případě organické výplně při $60 \pm 5^\circ\text{C}$) do ustálené hmotnosti. Ustálené hmotnosti je dosaženo v případě, že se dvě po sobě následující vážení po dvou hodinách sušení od sebe neliší o více jak 0,2 %. Hmotnost vysušeného zkušební tělesa $m_{s,dry}$ v kg zaznamenáme s přesností na 0,1 %. Zkušební těleso se ponoří do vody o teplotě $20 \pm 2^\circ\text{C}$ a nechá se nasáknout vodou na tak dlouho, dokud se dvě po sobě následující měření po 15 minutách ponoření ve vodě od sebe neliší o více jak 0,2 % hmotnosti. Tělesa se poté vyjmou a po očištění nasákavým hadříkem se zváží hmotnost $m_{s,sat}$ v kg s přesností na 0,1 %. Pomocí hydrostatických vah stanovíme hmotnost vzorku ponořeného ve vodě m_s v kg. Objem zkušební tělesa je dán vztahem:

$$V_s = \frac{m_{s,sat} - m_s}{\rho_w} \quad [\text{m}^3] \quad (29)$$

kde V_s ...objem zkušební tělesa ze zatvrdlé malty [m^3],
 $m_{s,sat}$...hmotnost zkušební tělesa ze zatvrdlé malty nasáklého vodou [kg],
 m_s ...hmotnost zkušební tělesa ze zatvrdlé malty [kg],
 ρ_w ...hustota vody [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$].

Objemová hmotnost se vypočítá ze vzorce:

$$\rho = \frac{m_{s,dry}}{V_s} \quad [\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}] \quad (30)$$

kde ρ ...objemová hmotnost tělesa [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$],
 V_s ...objem zkušební tělesa [m^3],
 $m_{s,dry}$...hmotnost zkušební tělesa ze zatvrdlé malty vysušeného v sušárně [kg].

Výsledkem je průměrná objemová hmotnost ze tří zkušebních vzorků, zaokrouhlená na 10 kg/m^3 . [18]

6.2.4 Stanovení pevnosti zatvrdlých malt v tahu za ohybu a v tlaku

Pevnost malty v tahu za ohybu se stanovuje tříbodovým zatěžováním do porušení zkušebních trámečků ze zatvrdlé malty. Pevnost malty v tlaku se zkouší na dvou částech trámečku po zkoušce pevnosti v tahu za ohybu.

Pro výrobu vzorků ke zkoušení pevností zatvrdlých malt se připraví zkušební směs, která se naplní do trojformy (3 zkušební tělesa o rozměrech 40 x 40 x 160 mm). Zkoušení probíhá po 28 dnech.

Pevnost v tahu za ohybu se vypočítá ze vztahu:

$$R_f = \frac{3}{2} \cdot \frac{F \cdot l}{b \cdot h^2} \quad [\text{N/mm}^2] \quad (31)$$

kde R_f ...pevnost v tahu za ohybu [N/mm^2],
 F ...maximální zatížení na zkušební těleso [N],
 l ...vzdálenost mezi osami podpěrných válců [mm],
 b ...šířka zkušební tělesa [mm].
 h ...výška zkušební tělesa [mm].

Pevnost v tlaku se vypočítá ze vztahu:

$$R_m = \frac{F}{A} \quad [\text{N/mm}^2] \quad (32)$$

kde R_m ...pevnost v tlaku [N/mm^2],
 F ... maximální zatížení na zkušební těleso [N],
 A ...zatěžovaná plocha [mm^2].

Pro každé zkušební těleso se uvede výsledek s přesností 0,05 N/mm^2 .
Průměrná hodnota se vypočítá s přesností na 0,1 N/mm^2 . [19]

6.3 Zkoušení betonu

6.3.1 Zhotovení zkušebních těles

Pro zjišťování válcové pevnosti betonu se používají válcové tělesa o průměru 150 mm a výšce 300 mm. Ke zjištění krychelné pevnosti slouží těleso krychle o hraně 150 mm (těleso využité ke zkoušení malt v rámci disertační práce). Vzorky musí mít stáří minimálně 28 dnů a zkoušení se provádí podle ČSN EN 12390-3. [25]

6.3.2 Krychelná pevnost

Pevnost je velikost napětí dosaženého v místě porušení při zániku celistvosti zkoušeného vzorku. Jednodušeji řečeno: je to pevnost, při které se zkušební těleso poruší. Podle tvaru zkušební tělesa, na kterém se zkouška provádí jde buď o pevnost v krychelnou nebo válcovou. Obě tyto pevnosti se určují zejména u zkušebních těles z betonu. K rozdělení na třídy podle pevnosti v tlaku se používá tabulka 7 normy ČSN EN 206-1 pro obyčejný a těžký beton a tabulka 8 téže normy pro lehký beton.

Příklad označení

beton C20/25 znamená:

C – concrete (beton)

20 – charakteristickou válcovou pevnost betonu v tlaku $f_{ck,cyl}$

25 – charakteristickou krychelnou pevnost betonu v tlaku $f_{ck,cube}$

6.4 Nedestruktivní zkoušení

Nedestruktivní zkoušení se vyznačuje používáním neinvazivních technik k určení integrity materiálu, komponent nebo celé konstrukce, nebo pro kvantitativní měření některých charakteristik sledovaného objektu. Účelem je získat informace o měřeném materiálu tak, abychom ho při tom nepoškodili nebo nezničili. Používá se všude možně, například v automobilovém průmyslu, letectví, dopravě, při kontrole jaderných elektráren, při kontrole ropovodů či plynovodů, ale v poslední době stále častěji i ve stavebnictví a provozním monitoringu budov.

Metod je celá řada, k základním patří vizuální kontrola, průmyslová radiologie, ultrazvuková, magnetická a kapilární defektoskopie, akustické emise, vířivé proudy, termografie nebo měření tvrdosti.

V současné době prodělává obor nedestruktivního zkoušení stavebních materiálů velmi rychlý rozvoj v důsledku zavádění nových metod a technologií. Tento obor je charakterizován nejen nutností rozsáhlých znalostí materiálů a technologií 21. století, ale i širokým využitím elektroniky s aplikací moderní výpočetní techniky. [24]

7 CÍLE DISERTAČNÍ PRÁCE

Chemická metoda je dnes jedním z nejčastějších řešení sanace vlhkého zdiva. Oproti jiným přímým metodám zaznamenává rychlý rozvoj, protože dochází k výrobě stále nových, kvalitnějších produktů chemické clony, které nacházejí uplatnění při sanacích staveb. Díky vývoji nových prostředků a inovaci aplikačních technologií dochází ke zdokonalení účinnosti a životnosti chemické clony.

V dnešní době se řeší možnosti užití chemické metody k sanaci novodobých zdících tvarovek typu THERM, které se již léta používají k výstavbě a začínají se u nich projevovat negativní účinky vlhkosti. Konstrukce vyžděné z těchto tvarovek vykazují značnou nehomogenitu vnitřního prostředí (cihelný stěp protknutý vzduchovou dutinou). Jedinou možností, jak v tomto zdivu vytvořit nepřerušenou horizontální clonu je ložná spára z malty, kterou byly tvárnice ve svých počátcích spojovány. S ohledem na tuto skutečnost byly ke zkoumání účinků chemické clony na vybrané mechanické a fyzikální vlastnosti materiálu zvoleny tři druhy spojovacích malt.

7.1 Popis cílů

Cíl disertační práce je rozdělen do čtyř základních, vzájemně souvisejících a prolínajících se dílčích cílů.

- Znázornění nárůstu hmotnostní vlhkosti netypických zkušebních vzorků v závislosti na čase vlhčení
- Ověření vlivu vlhkosti a chemického přípravku na termo-fyzikální vlastnosti malt
- Vliv injektáže na prostup vlhkosti
- Vyhodnocení množství aplikovaného přípravku při daném stupni zavlhčení a účinek na pevnost v tlaku

7.1.1 Znázornění nárůstu hmotnostní vlhkosti netypických zkušebních vzorků v závislosti na čase vlhčení

Prvním cílem disertační práce je v rámci experimentu stanovit přírůstek hmotnosti netypických těles ke zkoušení malt pro jednotně stanovenou dobu vlhčení v laboratorních podmínkách a provést porovnání křivek hmotnostního nárůstu u tří druhů malt.

7.1.2 Ověření vlivu vlhkosti a chemického přípravku na termo-fyzikální vlastnosti malt

Druhým cílem je ověřit, jakým způsobem ovlivní různé stupně nasycení struktury materiálu vodou a aplikace chemického přípravku termo-fyzikální vlastnosti zkoušených materiálů.

7.1.3 Vliv injektáže na prostup vlhkosti

Třetím cílem je ověřit vliv injektované chemické clony na prostup vlhkosti, případně na přírůstek hmotnosti zkušebních těles pro jednotně stanovenou dobu vlhčení v laboratorních podmínkách a provést porovnání křivek hmotnostního nárůstu pro dva přípravky u tří druhů malt.

7.1.4 Vyhodnocení množství aplikovaného přípravku při daném stupni zavlhčení a účinek na pevnost v tlaku

Čtvrtým cílem je vyhodnocení schopnosti chemického přípravku pronikat do struktury materiálu s daným stupněm zavlhčení a ověřit vliv přípravku na pevnost malty v tlaku v závislosti na jeho injektovaném množství.

8 ZVOLENÉ METODY ZPRACOVÁNÍ DISERTAČNÍ PRÁCE

Při zpracování disertační práce bylo využito několik metod k řešení dané problematiky. Hlavními užitými metodami byly: teoretická příprava a hledání optimálních technologií řešení, experimentální a laboratorní měření, či jejich kombinace. Při měření a vyhodnocování výsledků byla uplatněna metoda analogie, kdy byl vytvořen podrobný postup provádění experimentů, vyhodnocení a porovnání dosažených výsledků.

8.1 Teoretické metody

8.1.1 Studium dostupných podkladů

V první fázi před zahájením experimentálních měření, jejich vyhodnocováním a psaním disertační práce bylo studium současného stavu problematiky – dostupných poznatků z odborných textů, které se zabývají problematikou vlhkosti staveb a jejich sanace ve stavební praxi. Teoretické podklady jsem čerpal z tuzemské i zahraniční odborné literatury, směrnic, norem, publikací zabývajících se danou problematikou, sborníků z konferencí, technických listů od výrobců injektážních přípravků atd. Nedílnou součástí studia teoretických podkladů bylo sledování a řešení problematiky na internetu. V neposlední řadě musím zmínit též odborné konzultace při hledání vhodných technologií při provádění záměru.

8.2 Experimentální metody

Experimentální činnost byla prováděna v laboratořích na Ústavu pozemního stavitelství. Pro výrobu vzorků a vyhodnocení dílčích částí experimentů byla navázána spolupráce s Ústavem stavebního zkušebnictví.

8.2.1 Laboratorní měření

S ohledem na náročnost výzkumu a složitost odebírání vzorků z existující konstrukce, byla využita metoda abstrakce. Reálný stavební materiál byl nahrazen modelovými vzorky. Zjednodušená simulace skutečných podmínek byla použita z důvodů snadnější realizace jednotlivých experimentů, především při hodnocení okolních vlivů, vlhčení prvků, jejich injektáži a následného měření.

K vyhodnocení cílů disertační práce, bylo pro experimentální činnost důležité hledisko volby vhodného chemického přípravku a stavebního materiálu, do kterého byl přípravek aplikován.

Pro realizaci modelů byly zvoleny netradičně normované krychle o hraně 150 mm, které se běžně používají pro zkoušení pevnosti betonu v tlaku. Volba krychle

byla odůvodněna požadavkem na větší soudržnost vzorku při jeho injektáži. Byly realizovány krychle ze tří druhů spojovacích malt, do kterých byly aplikovány dva chemické přípravky. U maltových krychlí byla sledována pevnost v tlaku dle příslušné normy ČSN 72 2605.

8.2.2 Sledované údaje v rámci provedených experimentů

- nárůst hmotnosti v závislosti na čase vlhčení
- vliv vlhkosti a chemického přípravku na termo-fyzikální vlastnosti malt
- nárůst hmotnosti v závislosti na chemickém přípravku a čase vlhčení
- schopnost chemického přípravku proniknout do materiálu s daným stupněm zavlhčením a jeho vliv na pevnost malty v tlaku

8.2.3 Použité měřicí přístroje

Při výrobě zkušebních vzorků:

- míchací zařízení (Ústav stavebního zkušebnictví)
- hutní stůl (Ústav stavebního zkušebnictví)
- plastové formy k výrobě krychlí (Ústav stavebního zkušebnictví)

Při provádění experimentů:

- teploměr s vlhkoměrem VOLTCRAFT® PL – 100TRH
- digitální váha KERN FKB 30 K1A (Max 30 kg d=1g)
- posuvné měřítko
- ISOMET model 2104 HEAT TRANSFER ANALYZER
- univerzální sušárna MEMMERT UN30
- mikrovlnné vysoušecí zařízení - přenosný generátor Romill G1/2011
- termokamera FLIR i7
- hydraulický lis (Ústav stavebního zkušebnictví)

9 PŘÍPRAVNÉ PRÁCE PŘED JEDNOTLIVÝMI EXPERIMENTY

Kromě tradičních zdících výrobků a materiálů jako, např. cihla plná pálená a kámen je v současnosti snaha využít chemickou metodu pro sanaci keramických tvarovek typu THERM. Vzhledem k nehomogenosti těchto novodobých zdících tvarovek je předpoklad využít ložné spáry vyplněné maltou pro souvislou vodní clonu chemickým prostředkem. Proto jsem ve své práci přistoupil k měření vlivu a účinnosti jednotlivých chemických přípravků na maltových vzorcích. Na tento experiment by měli dále navázat doktorandi Ústavu pozemního stavitelství, kteří budou aplikovat dosažené poznatky na zděných pilířích, jejichž spáry jsou vyplněné stejnou maltou, která byla použita pro vytvoření zkušebních vzorků.

Abych experiment neomezil pouze na vápenocementovou zdící maltu, byly pro srovnání a širší záběr spektra u nás používaných malt vytvořeny i vzorky z malty cementové a vápenné.

Proporčně byl maltový vzorek zvolen jako krychle o hraně 150 mm, které jsou obvyklé při zkoušení krychelné pevnosti betonu v tlaku. Vzorky na zkoušení malt se vytvářejí obvykle v rozměru 40x40x160 mm. Tato volba je odůvodněna větší hmotou vzorku a předpokladem lepší soudržnosti při záměru vrtat do malty otvory a následně aplikovat chemickou injektáž.

Krychle byly vytvořeny za spolupráce Ústavu stavebního zkušebnictví na Fakultě stavební VUT v Brně a pana doc. Ing. Pavla Schmida, Ph.D. Měli jsme k dispozici 26 forem, ruční a bubnovou míchačku, hutnicí stůl + zázemí laboratoře.

Vzorky byly prováděny ve třech dnech:

MVC	- 17.5.2011	- k doformování došlo 23.5.2011
MV	- 30.5.2011	- k doformování došlo 13.6.2011
MC	- 30.6.2011	- k doformování došlo 19.7.2011

Na vzorky z MVC byla použita stejná malta, jako na zkušební pilíře z plných a dutinových cihel typu THERM. Jednalo se o maltu PROFI Dur 50, číslo šarže: 12/12/08. MC byla vytvořena ze suché maltové směsi CEMIX 10, označení 021. U obou těchto malt bylo použito míšení s vodou, dle návodu výrobce. Malta vápenná byla vytvořena ve zkušebně ze zakoupeného hašeného vápna, písku z lomu Skalka u Ochozu u Brna a laboratorní vody.

Pilíře byly vytvořeny současně s maltovými krychlemi pro možnost navázat na nich s výzkumem za využití výsledků měření malt. Bylo vyžděno 5 pilířů z cihel plných pálených o rozměru 450x450xcca. 700 mm a 10 pilířů ze tří tvarovek typu THERM o rozměru 440x250x750mm.

Poměry míšení jednotlivých složek jsou uvedeny v tabulce níže:

Typ malty	vářka	vzorky	počet	celkový počet vzorků	poměry míšení jednotlivých malt (kg)		
					pojivo	plnivo	voda
MVC	1.	1 až 6	6	25	pytel suché maltové směsi - 40kg		5,50
	2.	7 až 13	7		pytel suché maltové směsi - 40kg		5,50
	3.	14 až 19	6		pytel suché maltové směsi - 40kg		5,50
	4.	20 až 25	6		pytel suché maltové směsi - 40kg		5,50
MV	1.	1 až 9	9	26	5,30	44,49	10,11
	2.	10 až 18	9		5,61	47,65	10,47
	3.	19 až 26	8		6,34	53,10	11,37
MC	1.	1 až 6	6	25	pytel suché maltové směsi - 40kg		6,00
	2.	7 až 12	6		pytel suché maltové směsi - 40kg		6,00
	3.	13 až 18	6		pytel suché maltové směsi - 40kg		6,00
	4.	19 až 25	7		pytel suché maltové směsi - 40kg		6,00

Tab. č. 15 Poměry míšení jednotlivých malt

Pro míšení suché maltové směsi s vodou, případně jednotlivých složek malt do plastické kaše, byla využito strojního míchání. Do nádoby s přesně stanoveným množstvím záměsové vody byla za stálého míchání přidávána maltová směs v suchém stavu. Po té byla u jednotlivých várek provedena zkouška sednutí kužele:



Obr. č. 8 (a, b) Střásací stolek včetně kovového kužele, rozlitý maltový kužel

Typ malty	várka	Sednutí - zkouška rozliti kužele (mm)
MVC	1.	155
	2.	145
	3.	145
	4.	168
MV	1.	140
	2.	145
	3.	145
MC	1.	145
	2.	140
	3.	140
	4.	150

Tab. č. 16 Sednutí – zkouška rozliti kužele

Do připravených a zvážených forem o rozměrech 150x150x150 mm, opatřených odformovacím olejem pro snadné odbednění po zatuhnutí maltové směsi, byla plněna z jedné poloviny plastická kaše. Po zhutnění na vibračním stole byla maltová směs dorovnána až po horní okraj formy a opět zhutněna. Forma naplněná maltovou směsí byla opět zvážena:



Obr. č. 9 (a, b) Příprava forem na maltové krychle – vytření, označení

V tabulce níže jsou uvedeny hmotnosti prázdných forem plněných maltovou směsí a hmotnosti naplněných forem pro všechny tři druhy použitých malt a s rozdělením po jednotlivých várkách namíchaných maltových směsí případně jednotlivých složek malt.

MVC			MV			MC		
č. vzorku	m_f	$m_f + m_k$	č. vzorku	m_f	$m_f + m_k$	č. vzorku	m_f	$m_f + m_k$
1	1,214	8,274	1	1,114	7,728	1	1,149	8,273
2	1,114	8,155	2	1,108	7,721	2	1,113	8,290
3	1,141	8,192	3	1,177	7,836	3	1,185	8,336
4	1,193	8,252	4	1,210	7,795	4	1,174	8,337
5	1,240	8,278	5	1,209	7,839	5	1,241	8,442
6	1,118	8,243	6	1,141	7,790	6	1,227	8,339
			7	1,198	7,773			
7	1,174	8,321	8	1,176	7,770	7	1,185	8,374
8	1,149	8,368	9	1,143	7,765	8	1,152	8,280
9	1,176	8,256				9	1,212	8,483
10	1,145	8,306	10	1,151	7,696	10	1,095	8,382
11	1,151	8,321	11	1,183	7,795	11	1,145	8,451
12	1,135	8,348	12	1,145	7,765	12	1,141	8,458
13	1,141	8,350	13	1,144	7,709			
			14	1,174	7,752	13	1,172	8,388
14	1,247	8,327	15	1,139	7,750	14	1,098	8,270
15	1,181	8,299	16	1,240	7,866	15	1,182	8,405
16	1,215	8,252	17	1,243	7,838	16	1,151	8,372
17	1,242	8,251	18	1,248	7,910	17	1,213	8,456
18	1,041	8,211				18	1,107	8,380
19	1,141	8,225	19	1,164	7,836			
			20	1,214	7,928	19	1,141	8,441
20	1,146	8,142	21	1,111	7,804	20	1,120	8,224
21	1,214	8,040	22	1,145	7,809	21	1,174	8,366
22	1,099	7,974	23	1,138	7,796	22	1,143	8,250
23	1,224	8,090	24	1,227	7,867	23	1,149	8,284
24	1,165	8,072	25	1,136	7,810	24	1,141	8,230
25	1,147	7,989	26	1,154	7,747	25	1,166	8,149

Tab. č. 17 Hmotnosti prázdných forem a forem včetně maltové směsi
 m_f – hmotnost formy, m_k – hmotnost krychle ve vlhkém stavu



Obr. č. 10 Jedna várka maltových krychlí

Po zatuhnutí a odformování všech tří várek maltových krychlí byly vzorky převezeny do prostor na Ústavu pozemního stavitelství.

Zde byly vzorky ponechány v přirozených laboratorních podmínkách vysychat až do 28.2.2014, kdy byly po jednotlivých sadách označeny, rozměrově změřeny a zváženy, aby byla určena jejich přesná objemová hmotnost.

Základní naměřené veličiny jsou uvedeny podle druhu malty v následujících tabulkách:

číslo vzorku	rozměr vzorku			objem (m ³)	hmotnost (kg)	objem. hm. (kg/m ³)
	a (mm)	a (mm)	a (mm)			
1	149,9	150,0	150,2	0,00338	6,424	1902,1
2	150,0	150,0	150,0	0,00338	6,409	1899,0
3	150,0	150,0	150,2	0,00338	6,410	1896,7
4	149,9	150,0	149,3	0,00336	6,411	1909,7
5	149,9	149,9	149,9	0,00337	6,390	1897,1
6	150,0	150,0	151,2	0,00340	6,462	1899,5
7	150,0	150,0	150,3	0,00338	6,456	1909,1
8	150,0	150,0	150,4	0,00338	6,551	1935,9
9	150,0	150,0	148,8	0,00335	6,407	1913,7
10	150,0	150,1	150,6	0,00339	6,493	1914,9
11	150,0	150,0	151,6	0,00341	6,513	1909,4
12	150,0	150,0	151,2	0,00340	6,554	1926,5
13	150,0	150,0	150,5	0,00339	6,536	1930,2
14	149,8	149,8	150,0	0,00337	6,415	1905,8
15	149,9	149,9	149,2	0,00335	6,432	1918,6
16	149,9	150,0	148,5	0,00334	6,389	1913,4
17	149,8	149,8	147,3	0,00331	6,353	1922,0
18	150,0	150,0	148,5	0,00334	6,423	1922,3
19	150,0	150,0	149,0	0,00335	6,382	1903,7
20	150,0	150,0	149,6	0,00337	6,322	1878,2
21	150,0	150,0	147,1	0,00331	6,170	1864,2
22	150,0	150,0	148,9	0,00335	6,173	1842,5
23	150,0	150,0	147,8	0,00333	6,195	1862,9
24	150,0	150,0	149,7	0,00337	6,228	1849,0
25	150,0	150,0	146,7	0,00330	6,170	1869,3

Tab. č. 18 Základní fyzikální veličiny u vzorků MVC

Průměrná objemová hmotnost spočtená z rozměrů a hmotnosti malty vápenocementové činila **1899,8 kg/m³**.

číslo vzorku	rozměr vzorku			objem (m ³)	hmotnost (kg)	objem. hm. (kg/m ³)
	a (mm)	a (mm)	a (mm)			
1	150,0	150,0	148,0	0,00333	6,497	1951,1
2	150,0	150,0	148,6	0,00334	6,544	1957,2
3	150,0	150,0	148,2	0,00333	6,524	1956,5
4	150,0	150,0	149,0	0,00335	6,530	1947,8
5	150,0	150,0	149,8	0,00337	6,570	1949,3
6	150,0	150,0	147,2	0,00331	6,485	1958,0
7	150,0	150,0	147,0	0,00331	6,577	1988,5
8	150,0	150,0	147,6	0,00332	6,519	1963,0
9	150,0	150,0	150,1	0,00338	6,650	1969,1
10	150,0	150,0	149,4	0,00336	6,665	1982,7
11	150,0	150,0	149,9	0,00337	6,677	1979,7
12	150,0	150,0	150,0	0,00338	6,693	1983,1
13	150,0	150,0	150,2	0,00338	6,580	1947,0
14	150,0	150,0	147,9	0,00333	6,534	1963,5
15	150,0	150,0	149,2	0,00336	6,575	1958,6
16	150,0	150,0	148,6	0,00334	6,581	1968,3
17	150,0	150,0	149,5	0,00336	6,599	1961,8
18	150,0	150,0	149,0	0,00335	6,630	1977,6
19	150,0	150,0	150,6	0,00339	6,639	1959,3
20	150,0	150,0	148,4	0,00334	6,473	1938,6
21	150,0	150,0	149,7	0,00337	6,550	1944,6
22	150,0	150,0	147,5	0,00332	6,477	1951,6
23	150,0	150,0	147,0	0,00331	6,500	1965,2
24	150,0	150,0	146,2	0,00329	6,458	1963,2
25	150,0	150,0	143,9	0,00324	6,368	1966,8

Tab. č. 19 Základní fyzikální veličiny u vzorků MC

Průměrná objemová hmotnost spočtená z rozměrů a hmotnosti malty cementové činila **1962,1 kg/m³**.



Obř. č. 11 Označené, změřené a zvážené vzorky

číslo vzorku	rozměr vzorku			objem (m ³)	hmotnost (kg)	objem. hm. (kg/m ³)
	a (mm)	a (mm)	a (mm)			
1	147,0	149,1	145,3	0,00318	5,550	1742,7
2	148,7	148,7	147,7	0,00327	5,598	1714,1
3	148,4	148,5	149,0	0,00328	5,628	1714,0
4	148,3	148,5	147,3	0,00324	5,574	1718,3
5	148,3	148,4	148,9	0,00328	5,615	1713,5
6	148,4	148,5	148,0	0,00326	5,618	1722,5
7	148,4	148,3	147,3	0,00324	5,558	1714,5
8	148,3	148,5	145,6	0,00321	5,577	1739,3
9	148,5	148,5	147,2	0,00325	5,617	1730,4
10	148,6	148,7	146,2	0,00323	5,539	1714,6
11	148,3	148,5	147,1	0,00324	5,597	1727,7
12	148,3	148,5	147,0	0,00324	5,591	1727,0
13	148,5	148,7	146,9	0,00324	5,547	1710,0
14	148,4	148,6	146,8	0,00324	5,551	1714,7
15	148,6	148,6	147,7	0,00326	5,566	1706,6
16	148,5	148,5	148,7	0,00328	5,584	1702,9
17	148,5	148,1	147,9	0,00325	5,577	1714,6
18	148,4	148,5	148,1	0,00326	5,625	1723,5
19	148,5	148,3	148,6	0,00327	5,652	1727,1
20	148,5	148,7	148,8	0,00329	5,684	1729,9
21	148,8	148,6	147,9	0,00327	5,675	1735,3
22	148,6	148,6	147,8	0,00326	5,644	1729,3
23	148,5	148,6	147,7	0,00326	5,618	1723,7
24	148,6	148,5	147,6	0,00326	5,627	1727,6
25	148,7	148,4	147,6	0,00326	5,652	1735,3
26	148,6	148,6	147,1	0,00325	5,588	1720,3

Tab. č. 20 Základní fyzikální veličiny u vzorků MV

Průměrná objemová hmotnost spočtená z rozměrů a hmotnosti malty cementové činila **1721,5 kg/m³**.

Po základním měření a vážení byly všechny vzorky, včetně referenčních, vloženy do předem vyrobených krabiček z materiálu na bázi dřeva, sloužících k pojištění jejich soudržnosti při vrtání a navrtány vrtem o \varnothing 12 mm do hloubky 10 cm, která odpovídá 2/3 rozměru vzorku.



Obr. č. 12 (a, b) Vrtání maltových krychlí

Vrtání bylo provedeno vždy na spodní straně vzorku ve směru jeho hutnění. Otvor vývrtný byl vyčištěn stlačeným vzduchem a vzorky byly opětovně váženy. Dostal jsem tak hmotnost vzorku minus hmotnost vývrtný v laboratorních podmínkách, se kterou jsem nadále pracoval jako výchozí hodnotou. Navrtání všech vzorků bylo provedeno kvůli plánované injektáži ještě před započítáním prvního experimentu, aby nebyla později při zvýšené vlhkosti oslabena jejich soudržnost.



Obr. č. 13 Navrtané vzorky

číslo vzorku	MVC			MC			MV		
	m vzorku	m vývrtu	m po vrtání	m vzorku	m vývrtu	m po vrtání	m vzorku	m vývrtu	m po vrtání
1	6,424	0,028	6,396	6,497	0,024	6,473	5,550	0,030	5,520
2	6,409	0,028	6,381	6,544	0,026	6,518	5,598	0,034	5,564
3	6,410	0,028	6,382	6,524	0,026	6,498	5,628	0,037	5,591
4	6,411	0,025	6,386	6,530	0,025	6,505	5,574	0,038	5,536
5	6,390	0,027	6,363	6,570	0,024	6,546	5,615	0,038	5,577
6	6,462	0,028	6,434	6,485	0,026	6,459	5,618	0,035	5,583
7	6,456	0,026	6,430	6,577	0,026	6,551	5,558	0,033	5,525
8	6,551	0,028	6,523	6,519	0,024	6,495	5,577	0,036	5,541
9	6,407	0,028	6,379	6,650	0,025	6,625	5,617	0,037	5,580
10	6,493	0,029	6,464	6,665	0,024	6,641	5,539	0,040	5,499
11	6,513	0,029	6,484	6,677	0,026	6,651	5,597	0,034	5,563
12	6,554	0,028	6,526	6,693	0,025	6,668	5,591	0,038	5,553
13	6,536	0,029	6,507	6,580	0,026	6,554	5,547	0,036	5,511
14	6,415	0,031	6,384	6,534	0,024	6,510	5,551	0,038	5,513
15	6,432	0,028	6,404	6,575	0,025	6,550	5,566	0,036	5,530
16	6,389	0,027	6,362	6,581	0,023	6,558	5,584	0,033	5,551
17	6,353	0,029	6,324	6,599	0,025	6,574	5,577	0,036	5,541
18	6,423	0,030	6,393	6,630	0,025	6,605	5,625	0,036	5,589
19	6,382	0,029	6,353	6,639	0,026	6,613	5,652	0,034	5,618
20	6,322	0,028	6,294	6,473	0,025	6,448	5,684	0,034	5,650
21	6,170	0,028	6,142	6,550	0,025	6,525	5,675	0,034	5,641
22	6,173	0,028	6,145	6,477	0,025	6,452	5,644	0,034	5,610
23	6,195	0,027	6,168	6,500	0,025	6,475	5,618	0,037	5,581
24	6,228	0,028	6,200	6,458	0,026	6,432	5,627	0,033	5,594
25	6,170	0,028	6,142	6,368	0,023	6,345	5,652	0,037	5,615
26							5,588	0,035	5,553

Tab. č. 21 Hmotnosti vzorku před vrtáním, vývrtu a po vrtání jednotlivých druhů malt
m – označuje hmotnost

Průměrná hmotnost vývrtu u malty vápenocementové činila 28 g, u malty cementové 25 g a u malty vápenné 36 g. Byla tedy zjištěna nepřímá úměrnost s objemovou hmotností materiálu. U méně hutných malt došlo k většímu vydrolení vzorku zapříčiněné nesoudržností materiálu v okolí vývrtu. S hmotností maltové krychle po vyvrtání dále pracuji jako počáteční hmotností vzorku.

10 VÝSLEDKY DISERTAČNÍ PRÁCE

10.1 Volba chemických přípravků pro experimenty

Před zahájením experimentálních měření bylo nezbytné zvolit přípravky k injektování vytvořených vzorků. Po konzultaci s odborníky v daném oboru byly zvoleny dva u nás běžně používané přípravky.

Přípravek č. 1 – RUBBERTITE

Je trojsložkový vodný hydrogel na bázi akrylátu či metakrylátu, který se vytvrzuje na gumoelastickou, flexibilní hmotu. Výrobek se vyznačuje nízkou viskozitou, která se při míchání složek blíží viskozitě vody. Proto je možné jej použít na celou řadu sanačních opatření, kdy je nemožné použití injektážních prostředků s vyšší viskozitou. S ohledem na vysoce kvalitní materiálovou základnu se výrobek po jeho vytvrzení vyznačuje chemickou odolností proti mnoha kyselinám, louchům, rozpouštědlům, pohonným hmotám apod. Během reakce (vytvrzování) ani ve vytvrzeném stavu nevykazuje žádné toxické zplodiny, které by mohly zamořit okolní vody. Součásti výrobku, které se v průběhu reakce do produktu nezabudují jsou plně biologicky rozložitelné. [6]

Přípravek č. 2 – Realcryl 3

Je dvousložková injektážní pryskyřice na akrylátové bázi, kdy první složku tvoří pryskyřice a katalyzátor a druhou složku aktivátor, který se míchá s vodou. Obě složky jsou injektovány pumpou se dvěma písky v poměru 1:1. Jakmile proběhne polymerace, vytvoří přípravek houževnatý, trvale pružný gel fungující jako dlouhodobá hydroizolace. Materiál je možné naředit dle potřeby na konkrétní stavbě (v dodaném stavu obsahuje 30 % pevných částic a může být naředěn vodou až na 15 % pevných částic). Přípravek se vyznačuje nízkou viskozitou, je nehořlavý a bez akrylamidů. Během reakce ani ve vytvrzeném stavu nepředstavuje hrozbu pro životní prostředí, má velmi dobrou chemickou odolnost proti ropným produktům, minerálním a rostlinným olejům a proti mastnotě. Zůstává trvale pružný i pod vodou a oproti přípravku č.1 se vyznačuje větší reverzibilitou. [7]

10.2 EXPERIMENT č. 1

10.2.1 Cíl provedeného experimentu

Cílem tohoto experimentu bylo znázornit průběh nárůstu hmotnostní vlhkosti u zkušebních těles tří druhů malt, která se běžně ke zkoušení malt nepoužívají. Dále provést vzájemné porovnání časové závislosti přírůstků hmotnostní vlhkosti dle druhu a složení malty za předpokladu, že všechny vzorky byly vytvořeny za stejných laboratorních podmínek a stejnými postupy dle ČSN EN 196-1.

10.2.2 Popis provedeného experimentu

Experiment byl proveden na třech druzích spojovací malty, ze kterých byly vytvořeny zkušební vzorky.

Jednalo se o následující materiály:

- a) Zdící malta vápenocementová (MVC) - PROFI Dur 50
- b) Zdící malta cementová (MC) - CEMIX 10
- c) Zdící malta vápenná (MV) - připravená přímo v laboratoři

Postup prací:

Jednotlivé maltové krychle byly přesně označeny, rozměrově změřeny posuvným měřítkem, zváženy na digitálních vahách a vloženy do dvou připravených plastových van. Každá vana měla rozměr 900x1600x200 mm a obě byly naplněny pitnou vodou tak, že každý vzorek byl po vložení zcela ponořen. Voda ve vanách byla průběžně doplňována.



Obr. č. 14 (a, b) Vlhčení maltových krychlí

Vzorky byly v daných časových intervalech váženy na digitálních vahách a byl sledován přírůstek jejich hmotnosti. Každé měření bylo prováděno periodicky po 6 hodinách a vlhčení bylo ukončeno, až se v průběhu dvou po sobě následujících váženích nezvýšila vlhkost vzorku o více než dva gramy.

Po té době byly vzorky z van vyjmuty a zabaleny do potravinářských fólií, aby se zamezilo jejich nežádoucímu vysychání. Před dalšími experimenty byly vzorky opět váženy a byla určena jejich vlhkost gravimetrickou metodou. Výsledná hmotnost vzorku vytaženého z vodní lázně byla považována za hmotnost vzorku plně nasyceného. Pro srovnání byla ponechána jedna krychle od každého druhu malty ponořená ve vodní lázni ještě týden s vážením dalšího přírůstku vlhkosti. Ten byl v porovnání s celkovou hmotností nasyceného vzorku zanedbatelný.

Jednotlivé hodnoty získané průběžným vážením byly následně vyhodnoceny a byl stanoven průběh vlnutí jednotlivých vzorků v závislosti na druhu malty a čase plného ponoření.

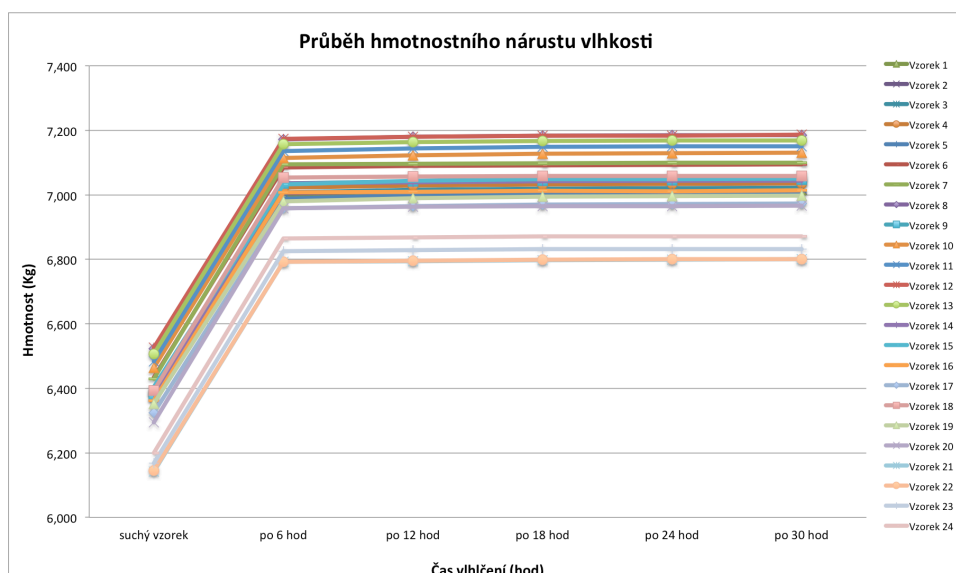
V průběhu experimenty byly sledovány následující:

- hmotnost jednotlivých vzorků
- nárůst hmotnosti vzorků v čase vlhčení u jednotlivých druhů malt

10.2.3 Výsledky experimentu

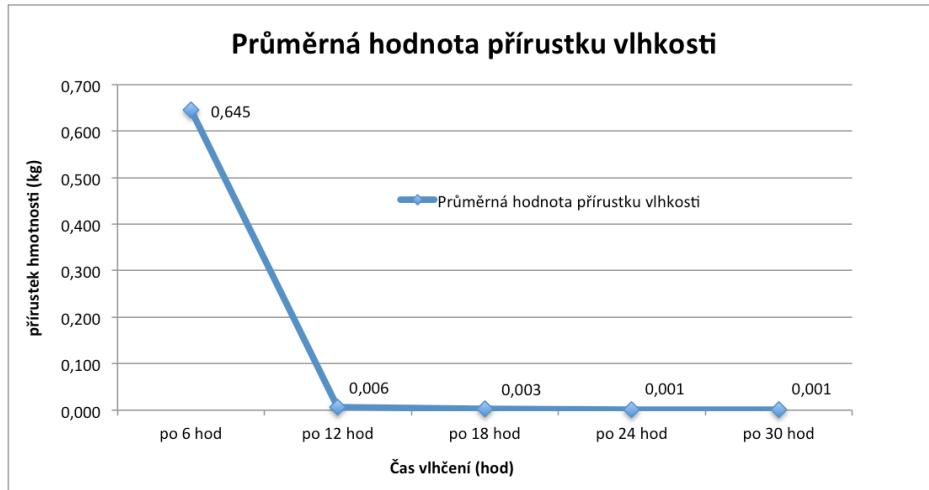
Po ponoření jednotlivých krychlí z každého druhu maltové směsi byl v průběhu vlhčení sledován nárůst hmotnosti vzorků v závislosti na čase. Experiment byl prováděn na všech 76 vzorcích tří druhů malt. V grafu č. 1 je znázorněn průběžný nárůst hmotnosti u 24 vzorků malty a), které byly použity pro další experimenty. Obdobně je potom postupováno u dalších dvou malt, ze kterých uvádím také vždy jen 24 vzorků použitých pro další experimentální měření.

a) Zdící malta vápenocementová (MVC) - PROFI Dur 50



Graf č. 1 Průběh hmotnostního nárůstu vlhkosti jednotlivých zkušebních těles v závislosti na čase vlhčení malty a)

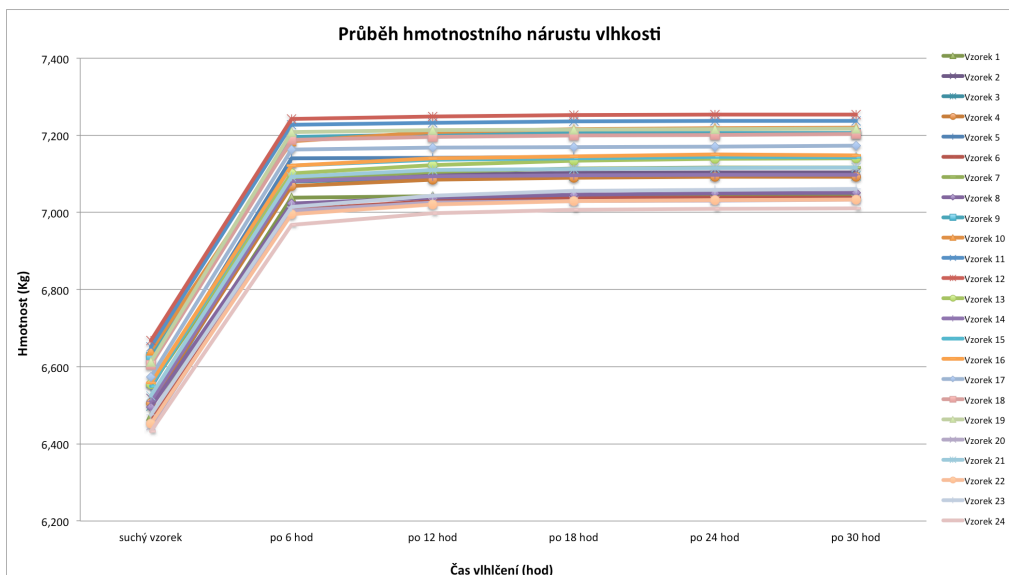
Podle průběhu nárůstu hmotnosti maltových krychlí je možné říci, že hmotnostní nárůst vlhkosti byl rozhodující v prvních šesti hodinách vlhčení. Při porovnání hodnot jednotlivých krychlí lze konstatovat, že až na drobné odchylky byl průběh nárůstu vlhkosti u všech vzorků malty a) přibližně stejný. Nárůst vlhkosti v čase vlhčení byl sledován na každém vzorku s ohledem na druh maltové směsi.



Graf č. 2 Průměrné hodnoty přírůstku hmotnosti na zkušebních tělesech malty a)

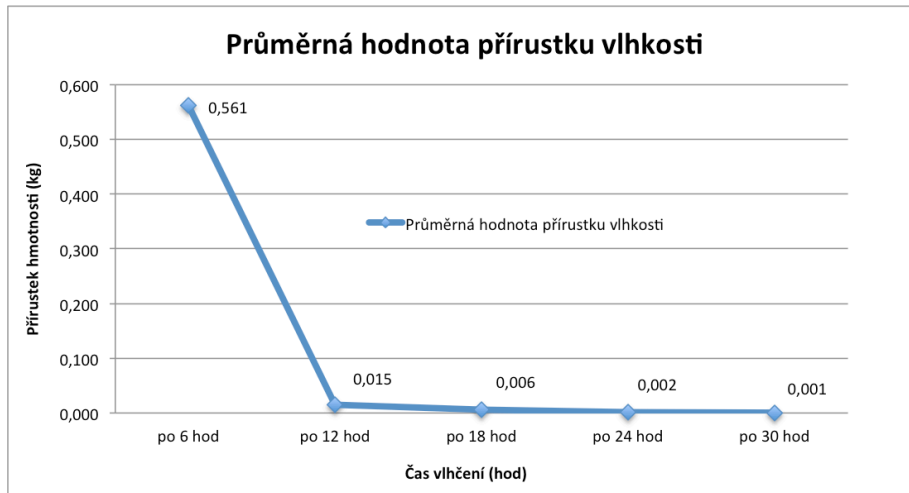
Z grafu č. 2 je patrné, že vzorky absorbovaly nejvíce vody v prvních šesti hodinách vlhčení. V dalším průběhu jsou přírůstky vody nepatrné, pohybující se v řádech gramů.

b) Zdící malta cementová (MC) - CEMIX 10



Graf č. 3 Průběh hmotnostního nárůstu vlhkosti jednotlivých zkušebních těles v závislosti na čase vlhčení malty b)

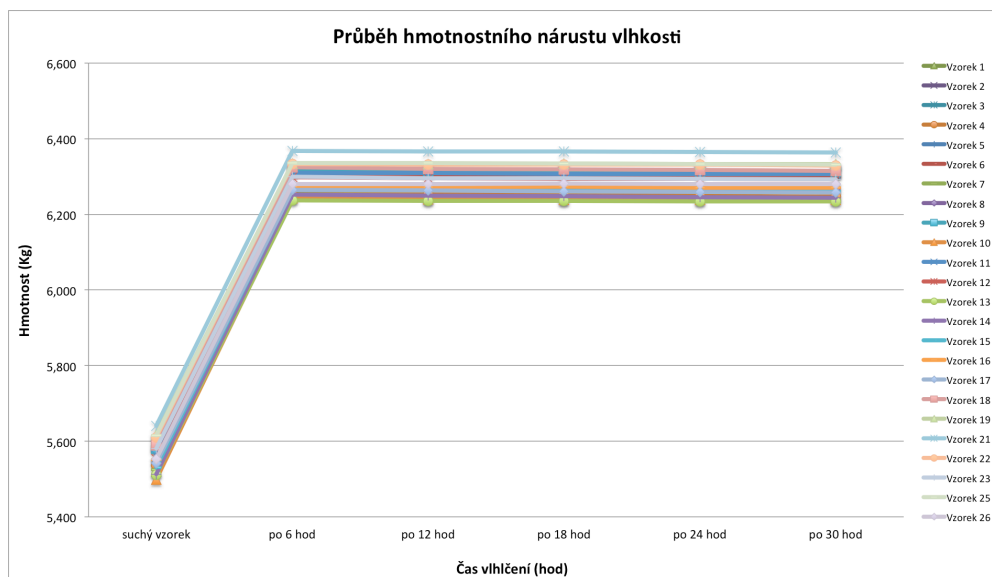
Podle průběhu nárůstu hmotnosti maltových krychlí je možné říci, že hmotnostní nárůst vlhkosti byl rozhodující taktéž v prvních šesti hodinách jako v případě malty a). V dalším průběhu byl nárůst oproti předchozí maltě pomalejší, tento rozdíl byl však minimální. Při porovnání hodnot jednotlivých krychlí lze konstatovat, že až na drobné odchylky byl průběh nárůstu vlhkosti u všech vzorků malty b) přibližně stejný.



Graf č. 4 Průměrné hodnoty přírůstku hmotnosti na zkušebních tělesech malty b)

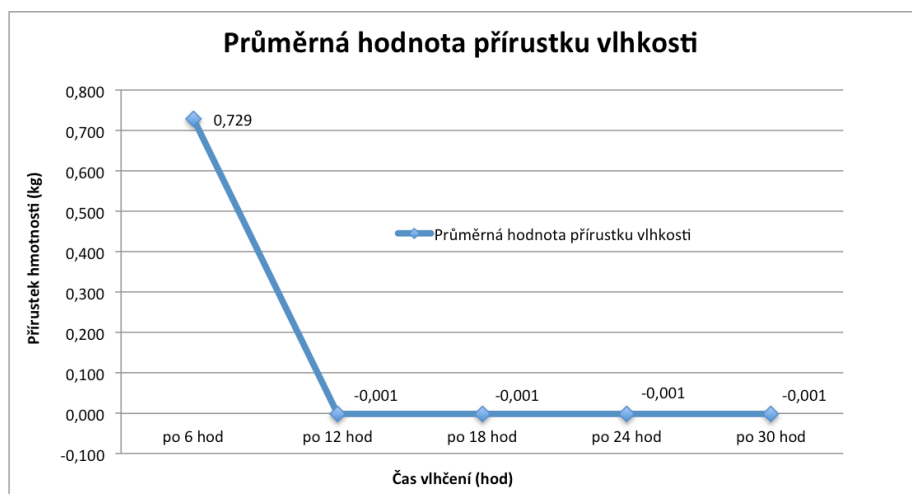
Z grafu č. 4 je patrné, že vzorky absorbovaly nejvíce vody v prvních šesti hodinách vlhčení. Po dvanácti hodinách se přírůstky vlhkosti výrazně snížily a v dalším průběhu jsou již přírůstky vody nepatrné, pohybující se v řádech gramů.

c) Zdící malta vápenná (MV)



Graf č. 5 Průběh hmotnostního nárůstu vlhkosti jednotlivých zkušebních těles v závislosti na čase vlhčení malty c)

Podle průběhu nárůstu hmotnosti maltových krychlí je možné říci, že hmotnostní nárůst vlhkosti byl rozhodující v prvních šesti hodinách, dokonce výraznějším způsobem jako ve dvou předchozích případech. Při porovnání hodnot jednotlivých krychlí lze konstatovat, že až na drobné odchylky byl průběh nárůstu vlhkosti u všech vzorků malty c) přibližně stejný.

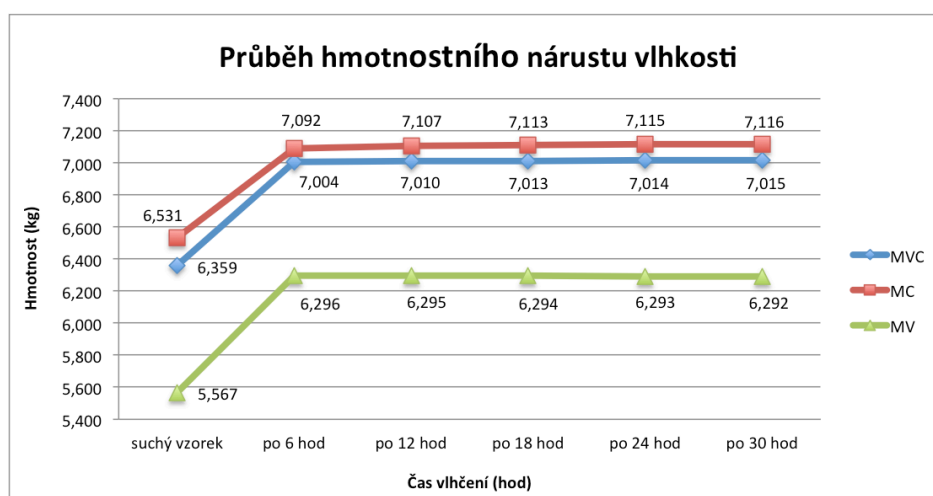


Graf č. 6 Průměrné hodnoty přírůstku hmotnosti na zkušebních tělesech malty c)

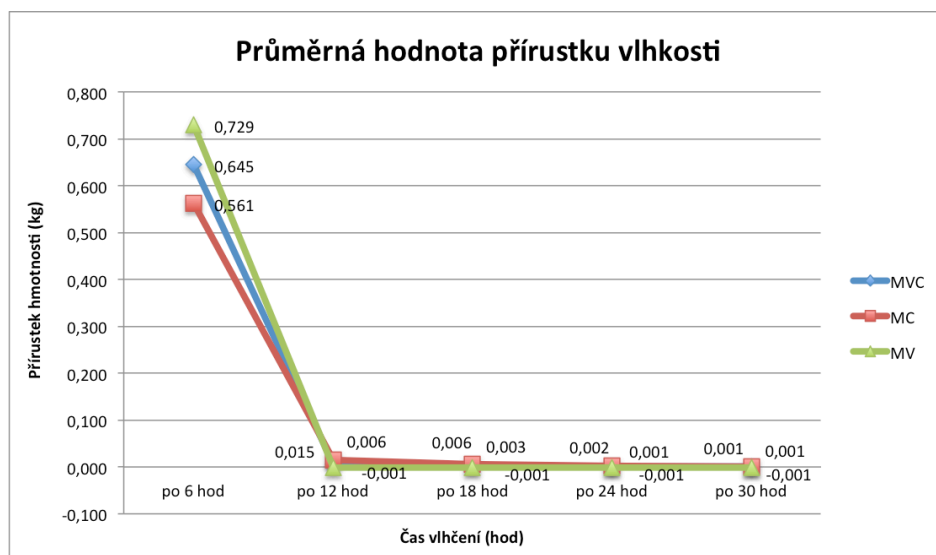
Z grafu č. 6 je patrné, že vzorky absorbovaly nejvíce vody v prvních šesti hodinách vlhčení. V dalším průběhu vlhčení došlo k zajímavému jevu, kdy vzorky spíše vysychaly oproti prvnímu vážení. Toto lze ale přičíst manipulaci s krychlemi.

10.2.4 Shrnutí výsledků experimentu

Hodnoty získané měřením na maltových krychlích ukazují, že průběh nárůstu hmotnostní vlhkosti byl u každého druhu maltové směsi v závislosti na čase vlhčení přibližně srovnatelný.



Graf č. 7 Průměrné hodnoty nárůstu hmotnostní vlhkosti jednotlivých malt

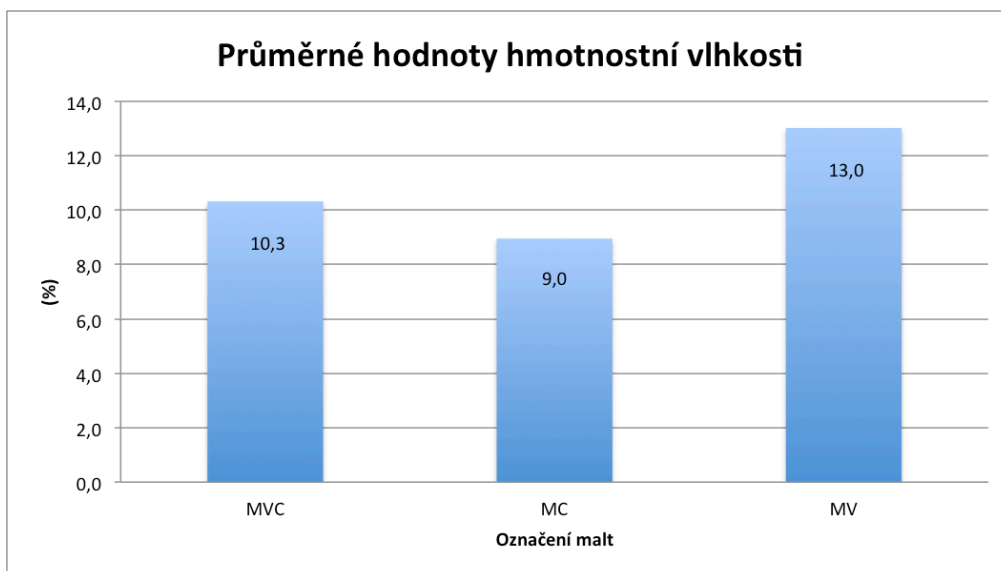


Graf č. 8 Průměrné hodnoty přírůstků hmotnosti jednotlivých malt

Obecně lze konstatovat, že všechny maltové směsi měli nejstrmější nárůst hmotnosti vlhkosti v prvních šesti hodinách. Čím větší objemovou hmotnost měla daná sada zkušebních vzorků, tím byl nárůst po prvních šesti hodinách pozvolnější. Rozdíly jsou však pouze v řádech gramů.

Hlavním cílem tohoto experimentu bylo zjistit maximální hmotnostní vlhkost jednotlivých maltových krychlí k výpočtu daného procenta zavlhčení pro pozdější injektáž. Aby byl experiment potvrzen, byl po skončení vlhčení ve vodní lázni uložen od každé malty ještě jeden referenční vzorek po dobu 7 dnů. Zvolil jsem vždy pouze jeden vzorek s nejvyšším číslem od konkrétní malty, aby byl zachován dostatečný počet krychlí pro injektáž, které projdou stejným procesem přípravy. Po 7 dnech byly vzorky vyjmuty, zváženy a zaznamenány jejich další hmotnostní přírůstky. U malty MVC byl přírůstek hmotnosti 11 g, u malty MC 20 g a u malty MV 10 g. I když byly tyto hmotnostní přírůstky významnější než při konečných měřeních samotného experimentu vlhčení, můžu konstatovat, že výpočet procenta zavlhčení krychlí k injektáži neovlivní.

Doplňkové vážení referenčních krychlí potvrzuje závěr, že čím větší objemovou hmotnost malta má, tím pozvolnější je nárůst hmotnostní vlhkosti i v pozdější fázi vlhčení, oproti maltám s menší objemovou hmotností.



Graf č. 9 Průměrné hodnoty hmotnostní vlhkosti

Po provedeném měření lze stanovit, že vzorky dosahují hmotnostní vlhkosti uvedené v grafu č. 9.

10.3 EXPERIMENT č. 2

10.3.1 Cíl provedeného experimentu

Cílem tohoto experimentu bylo ověřit, jak ovlivní různé stupně nasycení vzorků malt vodou jejich tepelně-technické vlastnosti. Stejně tak bylo záměrem ověřit účinek implementovaného injektážního přípravku na součinitel tepelné vodivosti λ v závislosti na jeho druhu a množství.

10.3.2 Popis provedeného experimentu

Byly použity vzorky tří druhů spojovacích malt popsaných již v experimentu č.1. Na každém z nich (maltové krychli o hraně 150 mm) bylo provedeno celkem 5 měření součinitele tepelné vodivosti v závislosti na vyplnění struktury materiálu vodou, případně injektážním přípravkem chemické clony.

Jednalo se o následující materiály:

- a) Zdící malta vápenocementová (MVC) - PROFI Dur 50
- b) Zdící malta cementová (MC) - CEMIX 10
- c) Zdící malta vápenná (MV) - připravená přímo v laboratoři

K injektáži byly použity následující přípravky:

- 1) RUBBERTITE
- 2) Realcryn 3

Jednotlivé fáze:

1. měření λ

První měření součinitele tepelné vodivosti λ proběhlo na všech vzorcích tří druhů malt po jejich převozu z laboratoře Ústavu stavebního zkušebnictví do prostor určených k měření. Po dostatečném vytvrdnutí a vyschnutí malt v ustálených podmínkách, bylo dne 19. až 21.3.2014 provedeno měření. Vzhledem k nestandardnímu rozměru vzorků pro zkoušení malt, bylo potřeba nechat krychle vysychat delší dobu než je obvyklé u maltových trámečků. Celková doba od výroby po první měření byla cca. 33 měsíců. Její prodloužení bylo zapříčiněno především hledáním vhodných technologií jednotlivých prací. S ohledem na tuto skutečnost lze konstatovat, že krychle měly v době prvního měření ustálenou laboratorní vlhkost.

2. měření λ

Druhé měření, svojí podstatou kontrolní, proběhlo po vysušení vzorků v sušičce MEMMERT UN 30. Kontrolní proto, že po dlouhé době přirozeného vysychání v podmínkách s teplotou od 18 do 24 °C a relativní vlhkostí vzduchu od 35 do 65% dle ročního období, již nebyl předpoklad, že by se měla hmotnostní vlhkost po sušení výrazněji snížit.

Krychle byly vkládány do sušičky v cyklech po 6 hodinách a sušeny na teplotu 105 ± 5 °C. Sušení bylo ukončeno, když po dvou po sobě následujících cyklech nedošlo k poklesu hmotnosti o více než 2g. Po této době byly vzorky zabaleny do fólie, aby bylo zajištěno, že nebudou přijímat vzdušnou vlhkost a postupně vybaleny až při měření součinitele tepelné vodivosti.

U malty a) byl pokles hmotnosti po sušení v průměru 35g na jeden vzorek. U malty b) poklesla hmotnost po posledním cyklu v průměru o 36g a u malty c) byl zvážena hodnota v průměru o 27g nižší na jednu krychli oproti ustáleným laboratorním podmínkám.

Jako kontrola bylo provedeno vážení vzorku vybaleného z fólie v čase po jednom cyklu sušení dalších vzorků. Hmotnost všech ověřovaných vzorku se v prostředí místnosti vrátila téměř o polovinu zpět ke své původní hodnotě. Dalším sušením by byla hmotnostní vlhkost s ohledem na objem jedné krychle jistě dále snížena. Pro cíl svých experimentálních měření však tento rozdíl nepovažují za podstatný.

3. měření λ

Třetí měření součinitele tepelné vodivosti λ bylo provedeno po experimentu č.1. Vzorky plně nasycené vodou byly zabaleny do potravinářské fólie a vybaleny průběžně vždy jen pro potřebu měření.



Obr. č. 15 (a, b) Měření součinitele tepelné vodivosti λ pomocí přístroje ISOMET - model 2104

4. měření λ

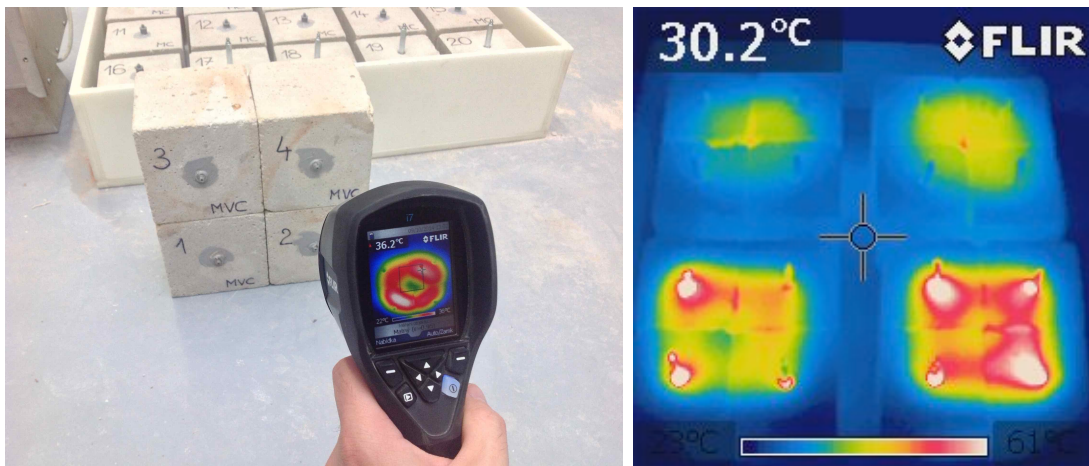
Čtvrté měření proběhlo na krychlích se zvoleným stupněm zvlhčení pro injektáž. Hmotnost vzorku byla určena s odkazem na směrnici WTA 4-4-04 (Injektáž zdiva proti kapilární vlhkosti). Dle této směrnice bylo zvoleno 80%-ní vyplnění struktury materiálu vodou.



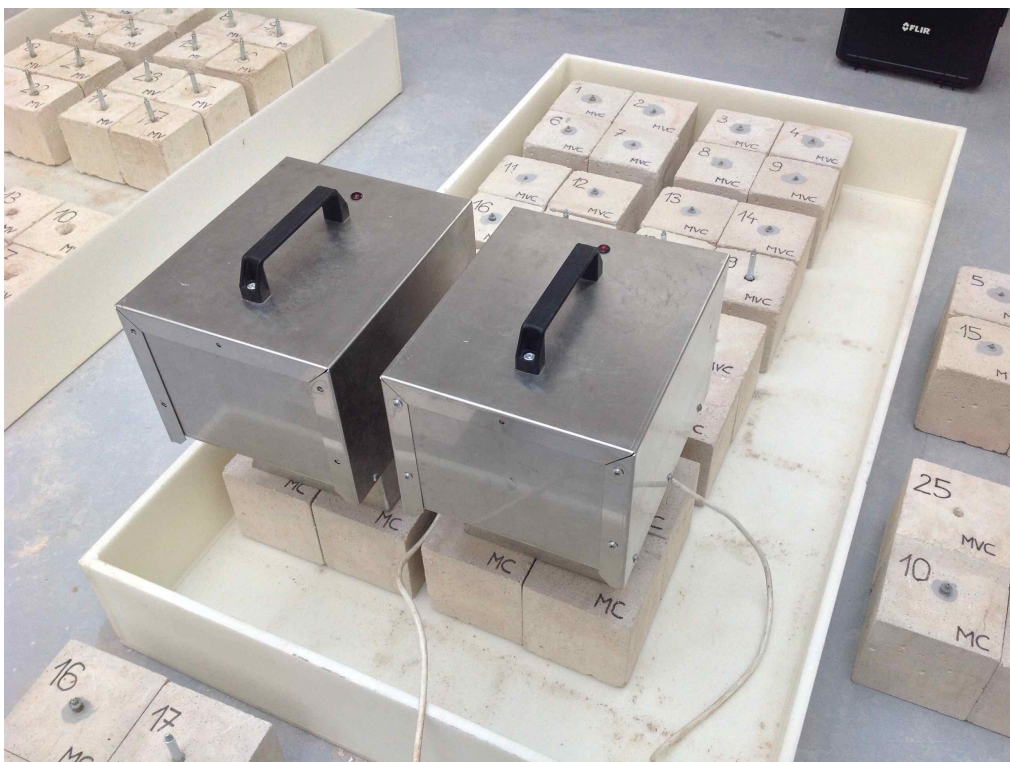
Obr. č. 16 Vzorok požadovaného stupně zavlhčení zabaleny ve fólii a připraveny k měření λ

5. měření λ

Poslední měření bylo provedeno na vzorcích po jejich injektáži a vysušení do ustálené hmotnosti. Vysušení bylo urychleno mikrovlnnými zářiči u každého vzorku malty ve třech cyklech po 20 min.



Obr. č. 17 (a, b) Záběry z termokamery po předsušení vzorků před závěrečným měřením součinitele tepelné vodivosti λ



Obr. č. 18 Předsušení vzorků za pomoci mikrovlnného záření

Oproti původní laboratorní hmotnosti byla před sušením zvolena rezerva cca. 100 g hmotnostní vlhkosti na jeden vzorek s odkazem na zachování vazeb hydrogelu injektovaného do vzorku. Při přílišném vysušení by totiž mohlo dojít k porušení těchto vazeb a znehodnocení výsledků navazujících experimentů.

Jednotlivé hodnoty získané průběžným měřením byly následně vyhodnoceny a bylo stanoveno navýšení součinitele tepelné vodivosti λ v závislosti na obsahu vody v materiálu a na aplikaci chemické clony.

V průběhu experimenty byly sledovány následující:

- součinitel tepelné vodivosti λ v závislosti na zavlhčení malty
- součinitel tepelné vodivosti λ v závislosti na chemické cloně

10.3.3 Výsledky experimentu

Po dosažení požadované hmotnostní vlhkosti vzorků bylo provedeno měření součinitele tepelné vodivosti λ za pomoci přístroje ISOMET 2104. Měření bylo provedeno postupně na každém ze vzorků tří druhů malt v pěti cyklech.

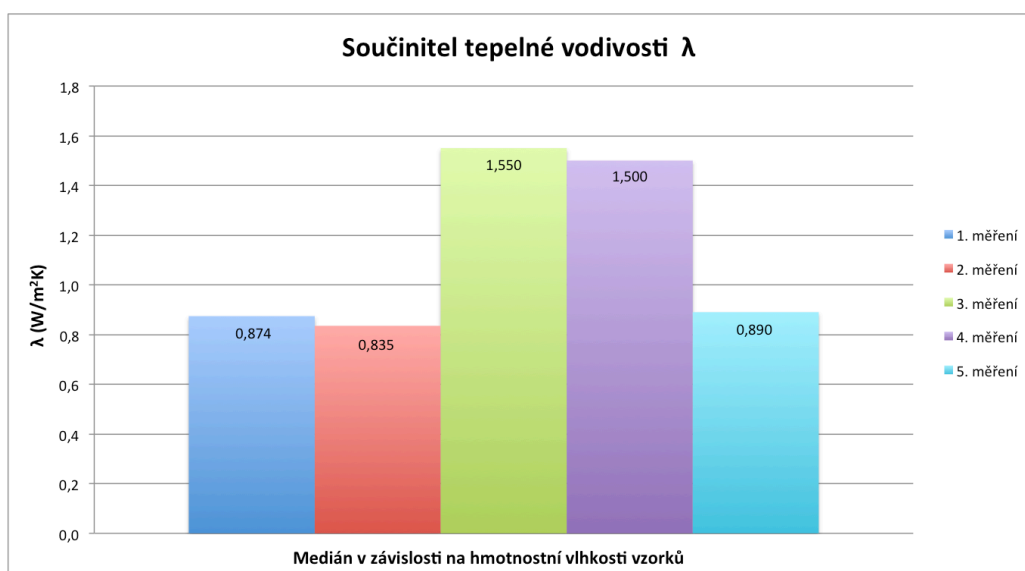
U každé malty je uvedena tabulka s hodnotami jednotlivých měření, graf znázorňující medián součinitele tepelné vodivosti λ ovlivněný vlhkostí vzorku, dále tabulka s hodnotami posledního měření a grafické znázornění mediánu λ z tohoto měření v návaznosti na použitý injektážní přípravek a jeho množství.

V první tabulce u každé malty je při pátém měření součinitele tepelné vodivosti λ uvedena vždy hodnota průměru a mediánu pro neinjektovanou sadu vzorků, aby byl zohledněn pouze vliv vlhkosti.

a) Zdící malta vápenocementová (MVC) - PROFI Dur 50

číslo vzorku	1. měření λ (W/m ² K)	2. měření λ (W/m ² K)	3. měření λ (W/m ² K)	4. měření λ (W/m ² K)	5. měření λ (W/m ² K)	injektační přípravek
1	0,898	0,807	1,600	1,460	0,876	RUBBERTITE
2	0,906	0,827	1,570	1,520	0,908	RUBBERTITE
3	0,913	0,829	1,590	1,550	0,922	RUBBERTITE
4	0,932	0,830	1,560	1,510	0,924	RUBBERTITE
5	0,908	0,833	1,520	1,530	0,912	RUBBERTITE
6	0,915	0,838	1,540	1,420	0,918	RUBBERTITE
7	0,901	0,845	1,560	1,470	0,921	RUBBERTITE
8	0,909	0,831	1,540	1,500	0,914	RUBBERTITE
9	0,901	0,836	1,540	1,470	0,883	referenční
10	0,907	0,857	1,510	1,480	0,894	referenční
11	0,853	0,870	1,560	1,450	0,881	referenční
12	0,857	0,876	1,570	1,470	0,885	referenční
13	0,876	0,878	1,580	1,480	0,891	referenční
14	0,869	0,883	1,520	1,480	0,901	referenční
15	0,871	0,829	1,480	1,500	0,901	referenční
16	0,862	0,830	1,540	1,480	0,889	referenční
17	0,859	0,883	1,580	1,520	0,906	Realcryl 3
18	0,870	0,831	1,560	1,540	0,901	Realcryl 3
19	0,868	0,824	1,560	1,560	0,910	Realcryl 3
20	0,883	0,827	1,500	1,530	0,888	Realcryl 3
21	0,831	0,846	1,530	1,480	0,898	Realcryl 3
22	0,827	0,832	1,560	1,500	0,914	Realcryl 3
23	0,847	0,838	1,540	1,520	0,909	Realcryl 3
24	0,837	0,857	1,520	1,510	0,904	Realcryl 3
průměr	0,879	0,843	1,547	1,497	0,891	
medián	0,874	0,835	1,550	1,500	0,890	

Tab. č. 22 Měřené hodnoty součinitele tepelné vodivosti λ na zkušebních tělesech malty a)

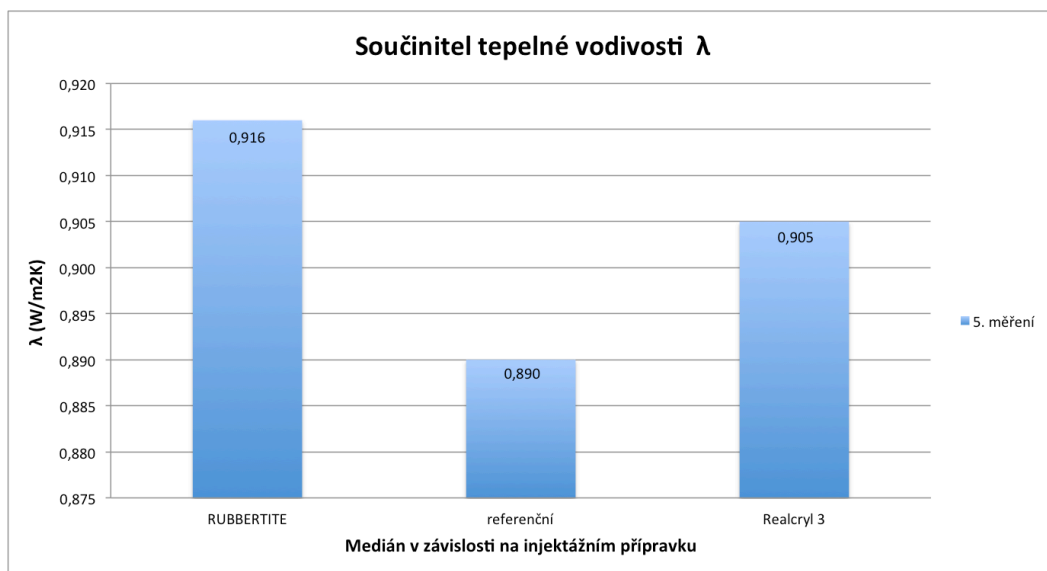


Graf č. 10 Medián součinitele tepelné vodivosti λ v závislosti na stupni zavlhčení malty a)

Z grafu č. 10 je patrné, že u malty a) byl potvrzen předpoklad přímé úměry hodnoty vlhkosti vzorku se součinitelem tepelné vodivosti λ . Čím vyšší bylo nasycení maltové krychle vodou, tím vyšší byl měřen součinitel tepelné vodivosti λ . Hodnoty měřené na vzorcích opětovně vysušených na ustálenou vlhkost byly s ohledem na chemický přípravek a vyšší vlhkost vzorku také o něco vyšší než na počátku experimentu.

číslo vzorku	injektážní přípravek	5. měření λ (W/m ² K)	číslo vzorku	injektážní přípravek	5. měření λ (W/m ² K)	číslo vzorku	injektážní přípravek	5. měření λ (W/m ² K)
1	RUBBERTITE	0,876	9	referenční	0,883	17	Realcryn 3	0,906
2	RUBBERTITE	0,908	10	referenční	0,894	18	Realcryn 3	0,901
3	RUBBERTITE	0,922	11	referenční	0,881	19	Realcryn 3	0,910
4	RUBBERTITE	0,924	12	referenční	0,885	20	Realcryn 3	0,888
5	RUBBERTITE	0,912	13	referenční	0,891	21	Realcryn 3	0,898
6	RUBBERTITE	0,918	14	referenční	0,901	22	Realcryn 3	0,914
7	RUBBERTITE	0,921	15	referenční	0,901	23	Realcryn 3	0,909
8	RUBBERTITE	0,914	16	referenční	0,889	24	Realcryn 3	0,904
průměrné hodnoty		0,912	průměrné hodnoty		0,891	průměrné hodnoty		0,904
hodnoty mediánu		0,916	hodnoty mediánu		0,890	hodnoty mediánu		0,905

Tab. č. 23 Hodnoty součinitele tepelné vodivosti λ při posledním měření na zkušebních tělesech malty a) v závislosti na chemickém přípravku



Graf č. 11 Medián součinitele tepelné vodivosti λ v závislosti na chemické cloně injektované do malty a)

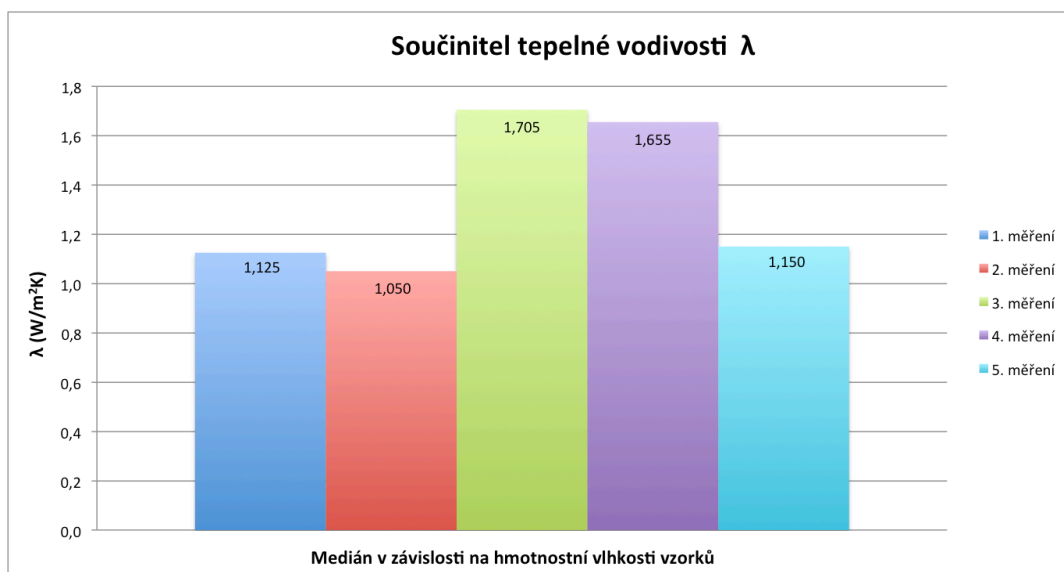
Na vzorcích, do kterých byl aplikován injektážní přípravek, byly hodnoty vyšší než u referenčních vzorků bez chemické clony. Medián vzorků první sady krychlí injektovaných přípravkem 1) byl o 0,026 W/m²K vyšší a u třetí sady vzorků injektovaných přípravkem 2) o 0,015 W/m²K vyšší než u druhé sady vzorků referenčních.

Oba injektážní přípravky aplikované do malty a) zvýšily hodnotu součinitele tepelné vodivosti λ .

b) Zdicí malta cementová (MC) - CEMIX 10

číslo vzorku	1. měření λ (W/m ² K)	2. měření λ (W/m ² K)	3. měření λ (W/m ² K)	4. měření λ (W/m ² K)	5. měření λ (W/m ² K)	injektažní přípravek
1	1,080	1,040	1,670	1,660	1,070	RUBBERTITE
2	1,100	1,050	1,710	1,650	1,090	RUBBERTITE
3	1,100	1,060	1,690	1,680	1,100	RUBBERTITE
4	1,090	1,050	1,660	1,680	1,110	RUBBERTITE
5	1,100	1,050	1,600	1,670	1,090	RUBBERTITE
6	1,090	1,030	1,720	1,490	1,240	RUBBERTITE
7	1,100	1,050	1,690	1,540	1,110	RUBBERTITE
8	1,110	1,060	1,710	1,560	1,140	RUBBERTITE
9	1,110	1,070	1,700	1,590	1,140	referenční
10	1,120	1,020	1,650	1,580	1,150	referenční
11	1,150	1,080	1,750	1,530	1,170	referenční
12	1,160	1,060	1,760	1,590	1,160	referenční
13	1,170	1,050	1,760	1,600	1,150	referenční
14	1,180	1,050	1,760	1,610	1,180	referenční
15	1,170	1,040	1,710	1,620	1,140	referenční
16	1,150	1,060	1,730	1,630	1,130	referenční
17	1,170	1,050	1,730	1,680	1,110	Realcyl 3
18	1,180	1,060	1,750	1,700	1,080	Realcyl 3
19	1,190	1,050	1,720	1,710	1,130	Realcyl 3
20	1,200	1,060	1,660	1,700	1,050	Realcyl 3
21	1,100	1,040	1,680	1,670	1,070	Realcyl 3
22	1,120	1,030	1,680	1,700	1,090	Realcyl 3
23	1,130	1,030	1,690	1,720	1,120	Realcyl 3
24	1,130	1,010	1,670	1,720	1,070	Realcyl 3
průměr	1,133	1,048	1,702	1,637	1,153	
medián	1,125	1,050	1,705	1,655	1,150	

Tab. č. 24 Měření hodnoty součinitele tepelné vodivosti λ na zkušebních tělesech malty b)

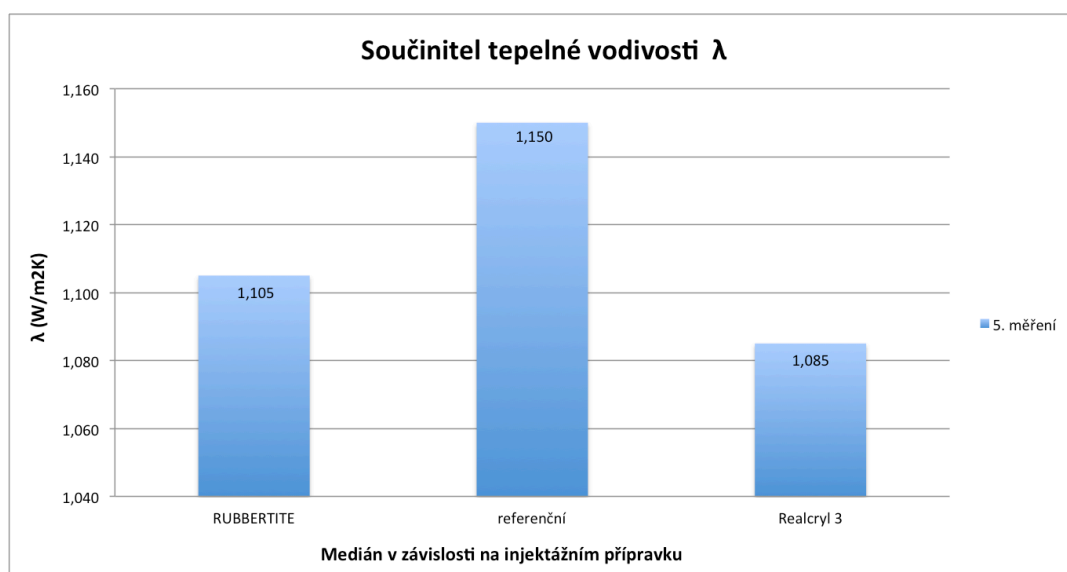


Graf č. 12 Medián součinitele tepelné vodivosti λ v závislosti na stupni zvlhčení malty b)

Z grafu č. 12 je patrné, že i u malty b) byl potvrzen předpoklad přímé úměry vlhkosti vzorku se součinitelem tepelné vodivosti λ . Čím vyšší bylo nasycení maltové krychle vodou, tím vyšší byl měřen součinitel tepelné vodivosti λ . Hodnoty měřené na vzorcích opětovně vysušených na ustálenou vlhkost byly s ohledem na chemický přípravek a vyšší vlhkost vzorku o něco vyšší než na počátku experimentu.

číslo vzorku	injektážní přípravek	5. měření λ (W/m ² K)	číslo vzorku	injektážní přípravek	5. měření λ (W/m ² K)	číslo vzorku	injektážní přípravek	5. měření λ (W/m ² K)
1	RUBBERTITE	1,070	9	referenční	1,140	17	Realcryl 3	1,110
2	RUBBERTITE	1,090	10	referenční	1,150	18	Realcryl 3	1,080
3	RUBBERTITE	1,100	11	referenční	1,170	19	Realcryl 3	1,130
4	RUBBERTITE	1,110	12	referenční	1,160	20	Realcryl 3	1,050
5	RUBBERTITE	1,090	13	referenční	1,150	21	Realcryl 3	1,070
6	RUBBERTITE	1,240	14	referenční	1,180	22	Realcryl 3	1,090
7	RUBBERTITE	1,110	15	referenční	1,140	23	Realcryl 3	1,120
8	RUBBERTITE	1,140	16	referenční	1,130	24	Realcryl 3	1,070
průměrné hodnoty		1,119	průměrné hodnoty		1,153	průměrné hodnoty		1,090
hodnoty mediánu		1,105	hodnoty mediánu		1,150	hodnoty mediánu		1,085

Tab. č. 25 Hodnoty součinitele tepelné vodivosti λ při posledním měření na zkušebních tělesech malty b) v závislosti na chemickém přípravku



Graf č. 13 Medián součinitele tepelné vodivosti λ v závislosti na chemické cloně injektované do malty b)

Na vzorcích, do kterých byl aplikován injektážní přípravek byly hodnoty nižší než u referenčních vzorků bez chemické clony. Medián vzorků malty b) injektovaných přípravkem 1) byl nižší o 0,045 W/m²K a u vzorků injektovaných přípravkem 2) o 0,065 W/m²K v porovnání s neinjektovanou sadou

Lze tedy konstatovat, že oba injektážní přípravky aplikované do malty b) snížily hodnotu součinitele tepelné vodivosti λ . Tento výsledek je do jisté míry

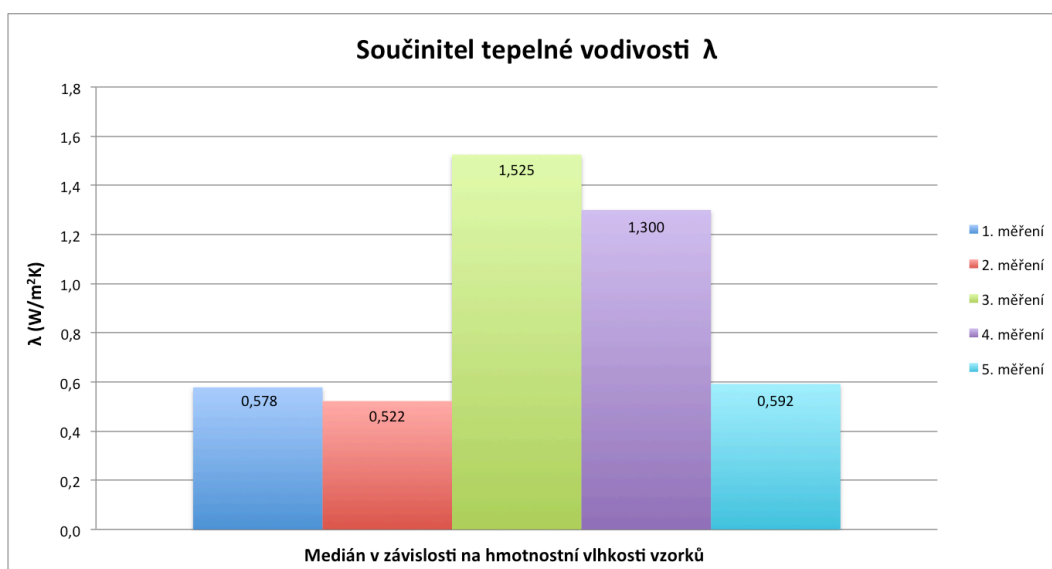
překvapující. Znamená totiž, že přípravek 1) i přípravek 2) injektovaný do malty cementové zlepšil její tepelně technické vlastnosti.

c) Zdicí malta vápenná (MV)

číslo vzorku	1. měření λ (W/m ² K)	2. měření λ (W/m ² K)	3. měření λ (W/m ² K)	4. měření λ (W/m ² K)	5. měření λ (W/m ² K)	injektační přípravek
1	0,559	0,530	1,590	1,310	0,638	RUBBERTITE
2	0,570	0,522	1,570	1,360	0,634	RUBBERTITE
3	0,579	0,503	1,590	1,400	0,541	referenční
4	0,580	0,513	1,560	1,390	0,581	referenční
5	0,579	0,519	1,530	1,390	0,590	referenční
6	0,577	0,528	1,630	1,230	0,595	referenční
7	0,588	0,522	1,630	1,290	0,603	referenční
8	0,597	0,506	1,590	1,300	0,647	RUBBERTITE
9	0,586	0,515	1,610	1,320	0,632	RUBBERTITE
10	0,598	0,526	1,570	1,320	0,593	referenční
11	0,563	0,518	1,380	1,320	0,643	RUBBERTITE
12	0,572	0,523	1,400	1,310	0,649	RUBBERTITE
13	0,576	0,524	1,390	1,300	0,595	referenční
14	0,586	0,528	1,390	1,320	0,627	RUBBERTITE
15	0,577	0,536	1,340	1,290	0,641	RUBBERTITE
16	0,582	0,513	1,550	1,300	0,660	Realcryl 3
17	0,591	0,518	1,520	1,300	0,650	Realcryl 3
18	0,600	0,504	1,530	1,280	0,573	referenční
19	0,594	0,519	1,520	1,310	0,659	Realcryl 3
21	0,526	0,527	1,450	1,300	0,657	Realcryl 3
22	0,533	0,521	1,400	1,290	0,660	Realcryl 3
23	0,536	0,514	1,410	1,290	0,661	Realcryl 3
25	0,538	0,524	1,380	1,300	0,656	Realcryl 3
26	0,536	0,526	1,340	1,290	0,653	Realcryl 3
průměr	0,572	0,520	1,495	1,313	0,583	
medián	0,578	0,522	1,525	1,300	0,592	

Tab. č. 26 Měřené hodnoty součinitele tepelné vodivosti λ na zkušebních tělesech malty c)

U všech tří druhů malt byl experiment prováděn na stejném počtu vzorků. 24 krychlí bylo rozděleno na tři sady vzorků po osmi kusech. První sada byla určena pro injektáž přípravkem 1), druhá sada byla referenční a třetí sada byla určena k injektáži přípravkem 2). Z malty vápenné bylo vyrobeno celkem 26 vzorků, u předchozích dvou malt 25, aby byla rezerva v případě, že by se v průběhu prací nějaký vzorek porušil. U malty a) ani b) nedošlo k porušení žádného vzorku a vzorek s pořadovým číslem 25 byl vyřazen. V případě méně soudržné vápenné malty došlo v průběhu prací k porušení vzorku 20 a 24, které byly nahrazeny vzorkem 25 a 26. Pořadí vzorků zde bylo změněno při technologii injektáže.

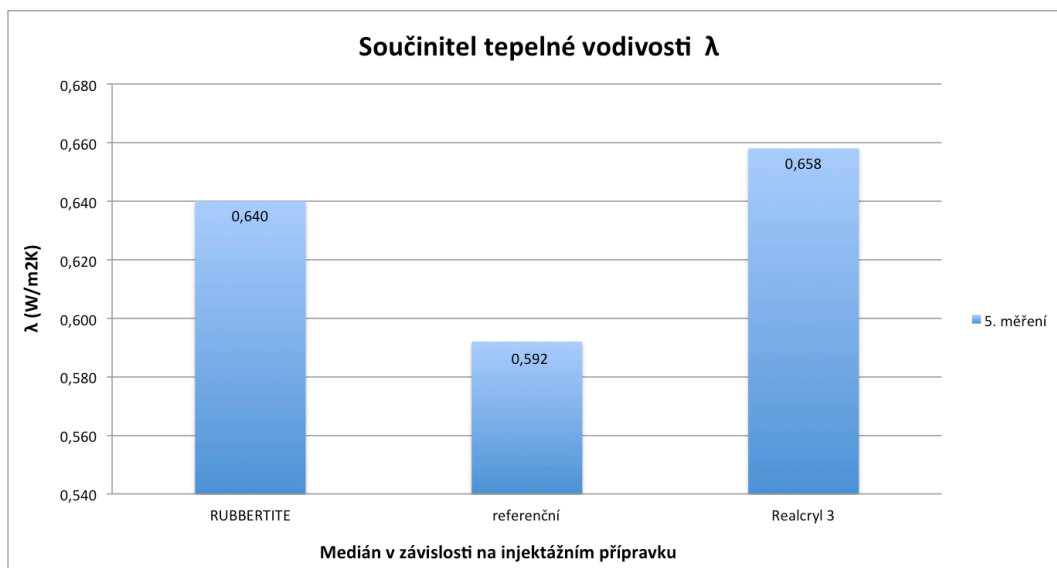


Graf č. 14 Medián součinitele tepelné vodivosti λ v závislosti na stupni zavlhčení malty c)

Z grafu č. 14 je patrné, že také u malty c) byl potvrzen předpoklad přímé úměry vlhkosti vzorku se součinitelem tepelné vodivosti λ . Čím vyšší bylo nasycení maltové krychle vodou, tím vyšší byl měřen součinitel tepelné vodivosti λ . Hodnoty měřené na vzorcích opětovně vysušených na ustálenou vlhkost byly s ohledem na chemický přípravek a vyšší vlhkost vzorku také o něco vyšší než na počátku experimentu.

číslo vzorku	injektážní přípravek	5. měření λ (W/m ² K)	číslo vzorku	injektážní přípravek	5. měření λ (W/m ² K)	číslo vzorku	injektážní přípravek	5. měření λ (W/m ² K)
1	RUBBERTITE	0,638	3	referenční	0,541	16	Realcryl 3	0,660
2	RUBBERTITE	0,634	4	referenční	0,581	17	Realcryl 3	0,650
8	RUBBERTITE	0,647	5	referenční	0,590	19	Realcryl 3	0,659
9	RUBBERTITE	0,632	6	referenční	0,595	21	Realcryl 3	0,657
11	RUBBERTITE	0,643	7	referenční	0,603	22	Realcryl 3	0,660
12	RUBBERTITE	0,649	10	referenční	0,593	23	Realcryl 3	0,661
14	RUBBERTITE	0,627	13	referenční	0,595	25	Realcryl 3	0,656
15	RUBBERTITE	0,641	18	referenční	0,573	26	Realcryl 3	0,653
průměrné hodnoty		0,639	průměrné hodnoty		0,584	průměrné hodnoty		0,657
hodnoty mediánu		0,640	hodnoty mediánu		0,592	hodnoty mediánu		0,658

Tab. č. 27 Hodnoty součinitele tepelné vodivosti λ při posledním měření na zkušebních tělesech malty c) v závislosti na chemickém přípravku



Graf č. 15 Medián součinitele tepelné vodivosti λ v závislosti na chemické cloně injektované do malty c)

Na vzorcích, do kterých byl aplikován injektážní přípravek byly hodnoty součinitele tepelné vodivosti λ vyšší než u referenčních vzorků bez chemické clony. Po injektování první sady vzorků přípravkem 1) došlo k navýšení hodnoty mediánu o 0,048 W/m²K, po injektování třetí sady přípravkem 2) o 0,066 W/m²K oproti referenční druhé sadě vzorků.

Můžeme konstatovat, že oba injektážní přípravky aplikované do malty c) zvýšily hodnotu součinitele tepelné vodivosti λ .

10.3.4 Shrnutí výsledků experimentu

Hodnoty získané měřením na maltových krychlích potvrzují předpoklad, že se zvyšujícím se nasycením struktury materiálu vodou se zvyšuje součinitel tepelné vodivosti λ . Je tedy zřejmé, že čím vyšší vlhkost materiál má, tím horší vykazuje součinitel tepelné vodivosti λ .

U všech tří druhů malt byly měřené hodnoty součinitele tepelné vodivosti λ adekvátní k jejich objemovým hmotnostem. Nejvyšší nárůst součinitele tepelné vodivosti λ v závislosti na zavlhčení vzorku byl pozorován u malty c) - malty vápenné, která měla v ustálených podmínkách součinitel tepelné vodivosti λ ze všech malt nejlepší. Závěrem vyplynulo, že čím větší byla objemová hmotnost zkoušeného materiálu, tím menší mělo zavlhčení vzorku vliv na rozdíly měřených hodnot součinitele tepelné vodivosti λ .

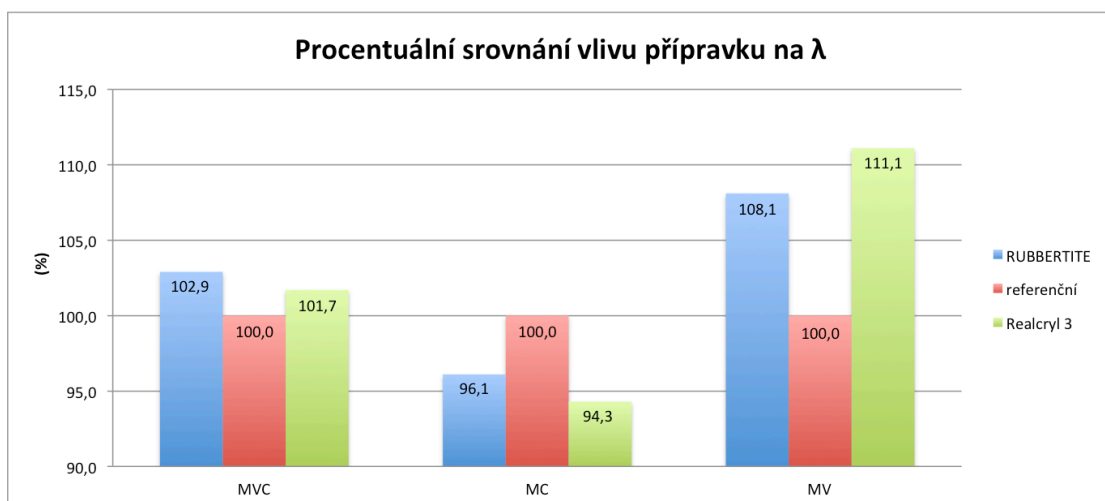
Experiment ukázal, že po vysušení všech vzorků zpět na ustálenou hodnotu hmotnostní vlhkosti, byly hodnoty součinitele tepelné vodivosti λ jen mírně horší s ohledem na fakt, že vzorky obsahovaly oproti původní hmotnosti před experimentem o cca. 100 g více vody vázané na hydrogel injektovaný do struktury materiálu. Tento jev si vysvětlují tím, že hmotnost vody navázané na přípravek injektovaný uvnitř vzorku bylo příliš malé v porovnání s hmotností celého vzorku.

Každý vzorek byl navíc dva měsíce vystaven ustáleným laboratorním podmínkám a povrchově vysušen.

Co se týče účinků injektovaných chemických přípravků do vzorků malt, výsledky byly do jisté míry překvapivé. Zatím co u malty a) a c) byl jejich vliv na tepelně technické vlastnosti malt negativní, dle předpokladu, u vzorků malty b) - malta cementová došlo aplikací obou přípravků k nepatrnému zlepšení tepelně technických vlastností malty. V tomto případě nebyl naplněn předpoklad, že chemická clona zvýší hodnoty součinitele tepelné vodivosti λ .

sada vzorků	MVC		MC		MV	
	5. měření λ (W/m ² K)	% vyjádření λ	5. měření λ (W/m ² K)	% vyjádření λ	5. měření λ (W/m ² K)	% vyjádření λ
RUBBERTITE	0,916	102,9	1,105	96,1	0,640	108,1
referenční	0,890	100,0	1,150	100,0	0,592	100,0
Realcryl 3	0,905	101,7	1,085	94,3	0,658	111,1

Tab. č. 28 Vyhodnocení vlivu chemického přípravku na součinitel tepelné vodivosti λ v procentuálním porovnání mediánu s referenčními sadami vzorků



Graf č. 16 Procentuální srovnání vlivu chemického přípravku na součinitel tepelné vodivosti λ pro tři sady tří druhů malt

Medián součinitele tepelné vodivosti λ u vzorků injektovaných přípravkem 1) byl u první sady krychlí malty a) o 2,9 % vyšší a u třetí sady vzorků injektovaných přípravkem 2) o 1,7 % vyšší než u druhé sady vzorků referenčních. Medián u vzorků malty b) injektovaných přípravkem 1) byl nižší o 3,9 % a u vzorků injektovaných přípravkem 2) o 5,7 % v porovnání s neinjektovanou sadou. U malty c) došlo po injektování přípravkem 1) k navýšení hodnoty mediánu součinitele tepelné vodivosti λ o 8,1 % a po injektování přípravkem 2) o 11,1 % oproti referenční sadě vzorků. Hodnota aritmetického průměru vykazovala rozptyl přibližně stejný.

Závěrem je možno konstatovat, že vliv chemických přípravků na součinitel tepelné vodivosti λ je u vysušených vzorků poměrně malý.

10.4 EXPERIMENT č. 3

10.4.1 Cíl provedeného experimentu

Cílem tohoto experimentu bylo znázornit průběh nárůstu hmotnostní vlhkosti v závislosti na aplikované chemické cloně do zkušebních těles tří druhů malt. Dále provést vzájemné porovnání schopnosti zkušebních vzorků přijímat vodu do struktury materiálu v závislosti, zda byl aplikován injektážní přípravek či nikoli a v případě, že byla provedena injektáž, porovnat schopnost vzorků navlhat v závislosti na použitém přípravku.

10.4.2 Popis provedeného experimentu

Experiment byl prováděn na 72 vzorcích tří druhů malt. Pro získání stejného množství zkušebních sad od každého druhu malty byly dva porušené vzorky malty c) a po jednom vzorku od malty a) a b) vyloučeny.

Všechny zkušební vzorky prošly před provedením experimentu stejným procesem vlhčení, měření, injektáží chemickým přípravkem (vyjma referenčních vzorků) a sušením do ustálených laboratorních podmínek.

Jednalo se o následující materiály:

- a) Zdící malta vápenocementová (MVC) - PROFI Dur 50
- b) Zdící malta cementová (MC) - CEMIX 10
- c) Zdící malta vápenná (MV) - připravená přímo v laboratoři

K injektáži byly použity následující přípravky:

- 1) RUBBERTITE
- 2) Realcryn 3

Vzorky od každého druhu malty jsem si rozdělil do tří sad po osmi kusech. První sada s označením vzorků 1 až 8 byla injektována přípravkem 1), druhá sada s pořadovým číslem vzorků 9 až 15 sloužila jako referenční a třetí sada číslována 16 až 24 byla injektována přípravkem 2). Pořadí jednotlivých sad vzorků bylo určeno hledáním vhodné technologie injektáže (více viz. experiment č. 4). U malty c) bylo pořadí vzorků ovlivněno nejvýrazněji. Přípravek 1) zde byl aplikován do vzorků (1, 2, 8, 9, 11, 12, 14, 15), přípravek 2) do vzorků (16, 17, 19, 21, 22, 23, 25, 26). Vzorky (3, 4, 5, 6, 7, 10, 13, 18) byly ponechány jako referenční.

Proces prvního vlhčení je podrobně popsán u experimentu č.1. Další fáze nakládání se vzorky a popis jednotlivých měření jsou uvedeny pod experimentem č.2. Při sušení vzorků byla zohledněna potřeba chemického přípravku na bázi akrylátu vázat na sebe, pro jejich správnou funkci, určité množství vody.

Po vysušení všech vzorků do ustálené laboratorní vlhkosti byly krychle vloženy do plastových van, kde byla udržována stálá hladina pitné vody sahající do výšky cca. 2 cm ode dna nádoby.



Obr. č. 19 (a, b) Druhé vlhčení vzorků

Vzorky byly v daných časových intervalech váženy na digitálních vahách a byl sledován přírůstek jejich hmotnosti. Každé měření bylo prováděno periodicky po 6 hodinách a vlhčení bylo ukončeno po třiceti hodinách, stejně jako u experimentu č.1. V tuto dobu už se také v průběhu dvou po sobě následujících vážení nezvýšila hmotnost vzorku o více než dva gramy.

Všechny hodnoty získané průběžným vážením byly následně vyhodnoceny a byl stanoven průběh vlhnutí jednotlivých vzorků v závislosti na aplikaci chemické clony, jejího druhu, druhu malty a čase vlhčení.

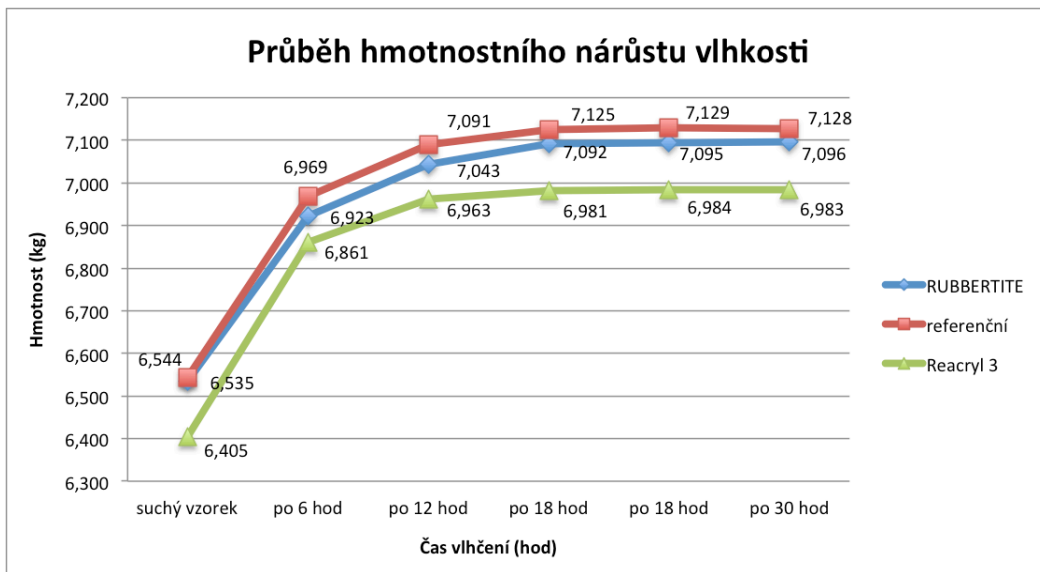
V průběhu experimenty byly sledovány následující:

- hmotnost jednotlivých vzorků
- nárůst hmotnosti referenčních a injektovaných vzorků v čase vlhčení

10.4.3 Výsledky experimentu

Po umístění vzorků do vany a vytvoření nízké hladiny vody byl v průběhu vlhčení sledován nárůst hmotnosti vzorků v závislosti na čase. V grafu č. 17 je uveden průběžný nárůst hmotnosti tří sad po osmi vzorcích malty a). Každá křivka znázorňuje průměrnou hodnotu jedné sady krychlí – referenční anebo po aplikaci jednoho ze dvou druhů chemického přípravku.

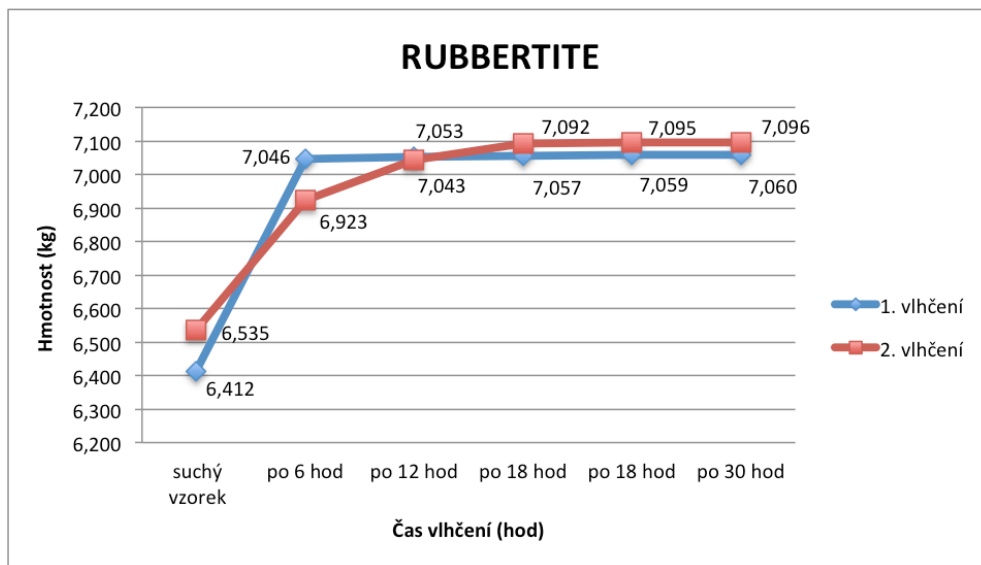
a) Zdící malta vápenocementová (MVC) - PROFI Dur 50



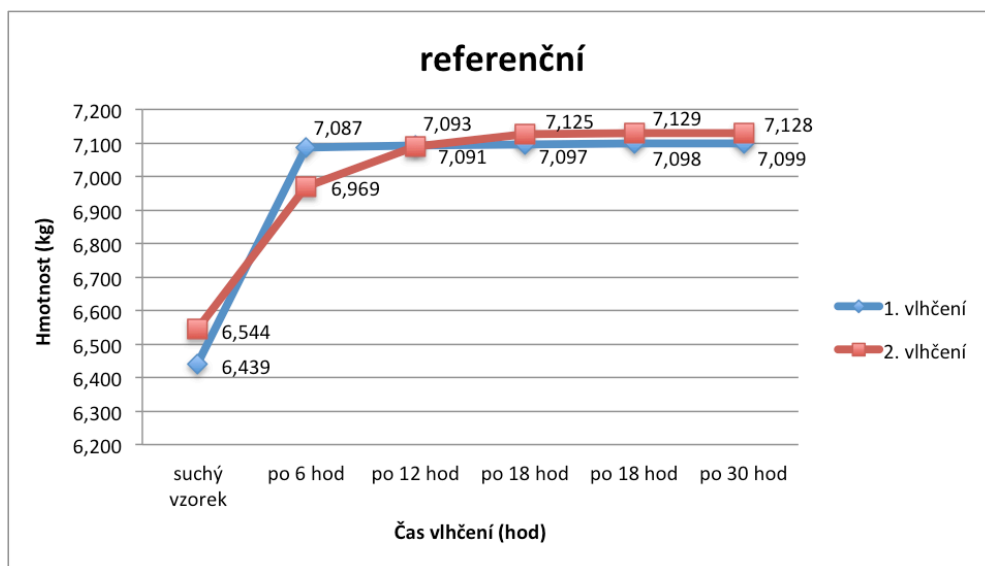
Graf č. 17 Průměrné hodnoty nárůstu hmotnostní vlhkosti tří sad krychlí malty a)

Z grafu č. 17 lze vyčíst, že průměrná hodnota rozdílu počáteční a koncové hmotnosti u referenčních vzorků je v porovnání s průměrnou hodnotou rozdílu sad vzorků injektovaných mírně vyšší. Z toho by se dalo usuzovat, že i malé množství přípravku vpraveného do zkušebních vzorků může zamezit prostupu vlhkosti do neponořené části vzorků.

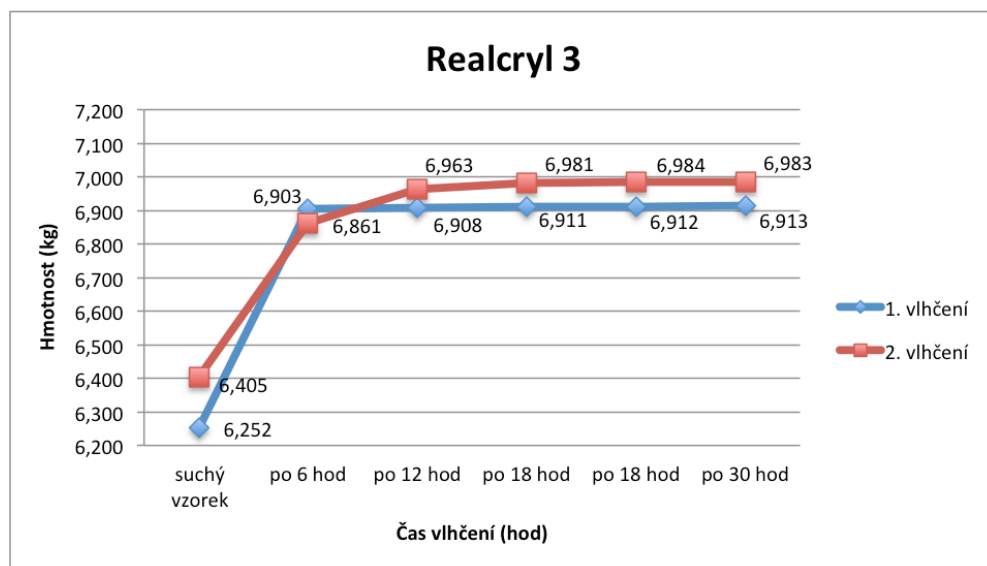
V grafu č. 18 až 20 je znázorněn průměrný průběžný nárůst hmotnosti postupně u tří sad po 8 vzorcích malty a). V každém grafu je uvedena jedna křivka znázorňující průměrnou hodnotu hmotnostního nárůstu 8 vzorků v průběhu vlhčení experimentu č.1 a při jejich druhém vlhčení v tomto experimentu.



Graf č. 18 Porovnání průměrné hodnoty nárůstu hmotnostní vlhkosti sady krychlí malty a) před a po injektování přípravkem 1)



Graf č. 19 Porovnání průměrné hodnoty nárůstu hmotnostní vlhkosti sady krychlí malty a) u referenčních vzorků



Graf č. 20 Porovnání průměrné hodnoty nárůstu hmotnostní vlhkosti sady krychlí malty a) před a po injektování přípravkem 2)

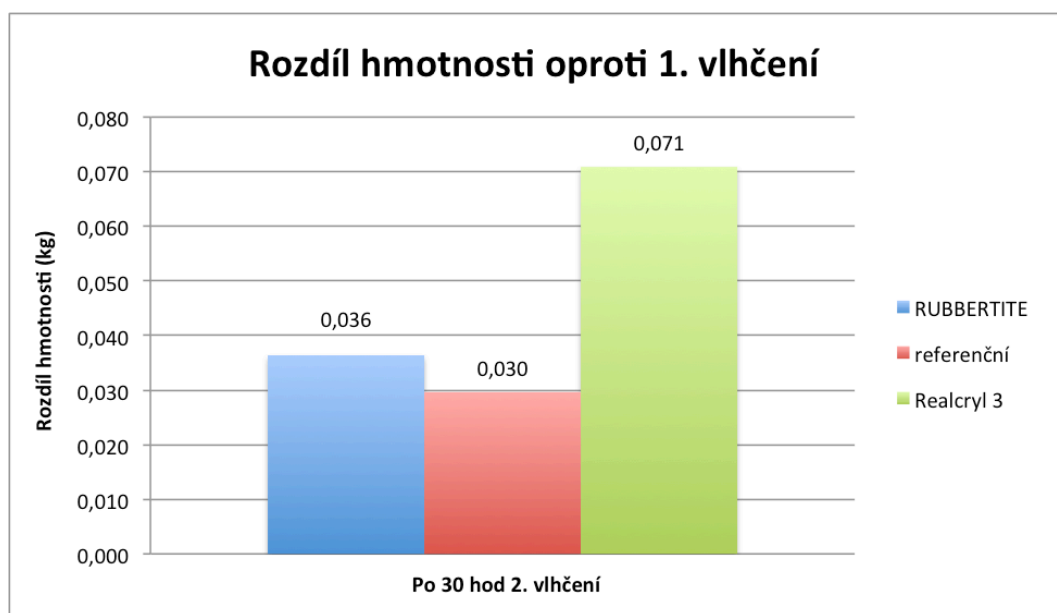
Z grafů č. 18, 19 a 20 je patrné, že rozdíl průměrných hodnot hmotností na počátku a konci jednotlivých experimentů poukazuje na celkově vyšší nárůst hmotnosti při druhém vlhčení v porovnání s prvním. I přes výrazně nižší hladinu vody při tomto experimentu, může být tato skutečnost způsobena vyšší hmotnostní vlhkostí vzorků na počátku druhého vlhčení, případně schopností chemického přípravku pojmout do své struktury více vody. Nárůst hmotnosti u referenčních vzorků byl výrazně nižší než u vzorků injektovaných (tab. č. 29).

MVC		suchý vzorek	po 6 hod	po 12 hod	po 18 hod	po 24 hod	po 30 hod
1. vlhčení	neinjektováno	6,412	7,046	7,053	7,057	7,059	7,060
2. vlhčení	RUBBERTITE	6,535	6,923	7,043	7,092	7,095	7,096
1. vlhčení	neinjektováno	6,439	7,087	7,093	7,097	7,098	7,099
2. vlhčení	referenční	6,544	6,969	7,091	7,125	7,129	7,128
1. vlhčení	neinjektováno	6,252	6,903	6,908	6,911	6,912	6,913
2. vlhčení	Realcryl 3	6,405	6,861	6,963	6,981	6,984	6,983

Tab. č. 29 Porovnání průměrných hodnot hmotnosti sad vzorků malty a) v čase vlhčení

MVC	suchý vzorek	po 6 hod	po 12 hod	po 18 hod	po 24 hod	po 30 hod
RUBBERTITE	0,123	-0,123	-0,011	0,035	0,036	0,036
referenční	0,105	-0,117	-0,002	0,028	0,031	0,030
Realcryl 3	0,152	-0,043	0,056	0,070	0,072	0,071

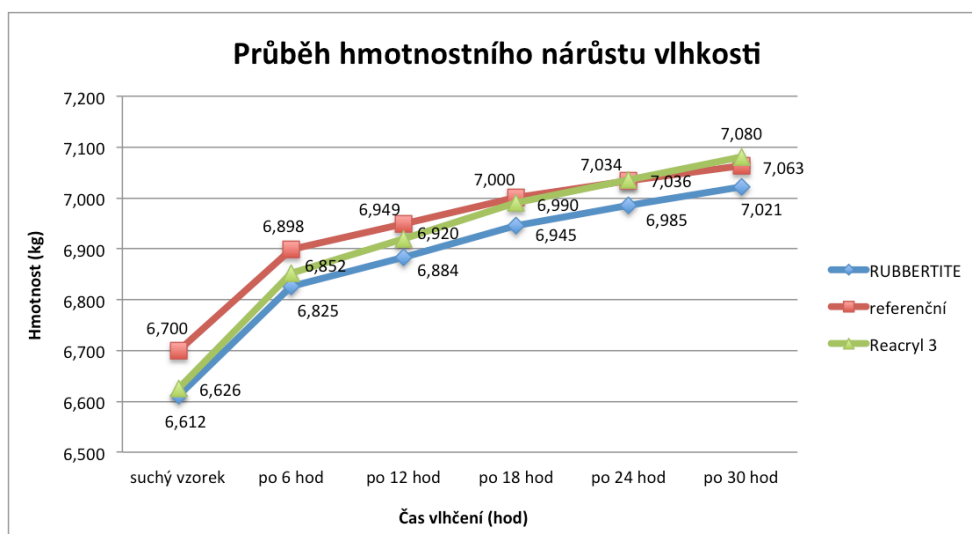
Tab. č. 30 Rozdílové hodnoty průměrných hmotností u prvního a druhého vlhčení jednotlivých sad vzorků malty a) v čase vlhčení



Graf č. 21 Navýšení průměrné hmotnosti sad vzorků malty a) po 30 hodinách 2. vlhčení oproti 1. vlhčení

Sada vzorků malty a) injektovaných přípravkem 1) zaznamenala při druhém vlhčení nárůst o 36 g oproti prvnímu vlhčení. Sada vzorků injektovaných přípravkem 2) zaznamenala při druhém vlhčení oproti prvnímu nárůst o 71 g a u referenčních vzorků došlo k navýšení hmotnosti o 30 g. U sady vzorků injektovaných přípravkem 1) byla výsledná hmotnost o 6 g vyšší než byla průměrná hodnota u referenčních krychlí. Sada vzorků injektovaných přípravkem 2) zaznamenala nárůst hmotnosti o 41 g oproti průměrné hmotnosti referenčních vzorků.

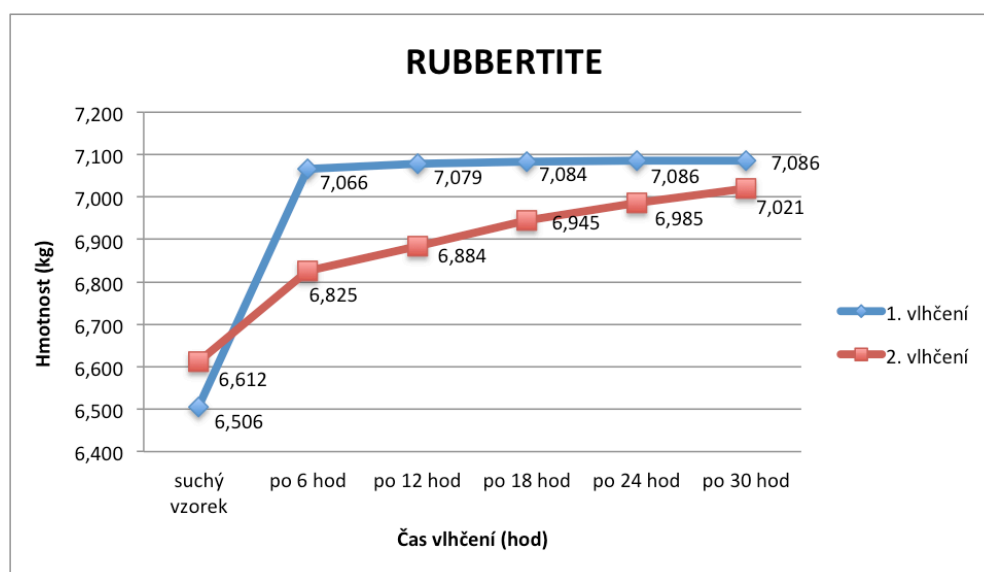
b) Zdící malta cementová (MC) - CEMIX 10



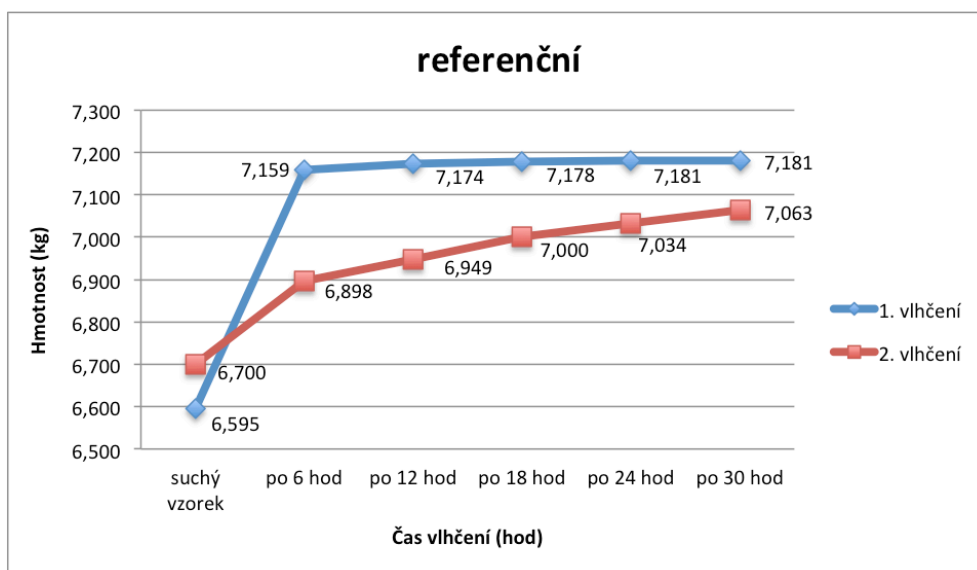
Graf č. 22 Průměrné hodnoty nárůstu hmotnostní vlhkosti tří sad krychlí malty b)

Z grafu č. 22 je patrné, že u malty b) došlo v porovnání s maltou a) k pozvolnějšimu nárůstu hmotnosti. Ačkoli průměrná hmotnost obou sad vzorků injektovaných chemickým přípravkem byla na počátku experimentu nižší než průměrná hodnota hmotnosti referenčních vzorků, v průběhu vlhčení u nich došlo k většímu navýšení hmotnosti v porovnání s referenčními vzorky.

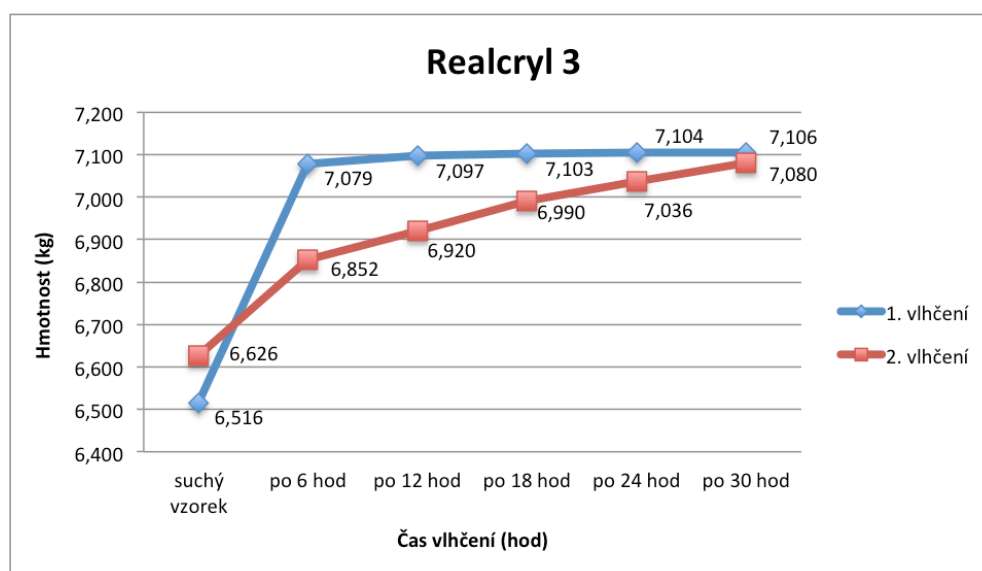
V grafu č. 23 až 25 je znázorněn průměrný průběžný nárůst hmotnosti postupně u tří sad po 8 vzorcích malty b). V každém grafu je uvedena jedna křivka znázorňující průměrnou hodnotu hmotnostního nárůstu 8 vzorků v průběhu vlhčení experimentu č.1 a při jejich druhém vlhčení v tomto experimentu.



Graf č. 23 Porovnání průměrné hodnoty nárůstu hmotnostní vlhkosti sady krychlí malty b) před a po injektování přípravkem 1)



Graf č. 24 Porovnání průměrné hodnoty nárůstu hmotnostní vlhkosti sady krychlí malty b) u referenčních vzorků



Graf č. 25 Porovnání průměrné hodnoty nárůstu hmotnostní vlhkosti sady krychlí malty b) před a po injektování přípravkem 2)

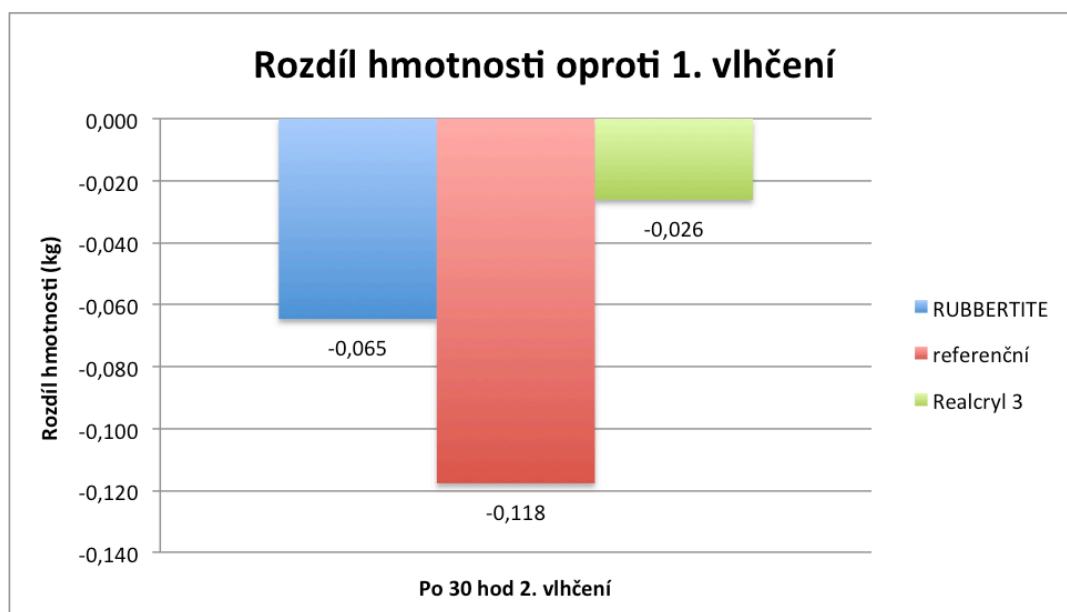
Z grafů č. 23, 24 a 25 je patrný pomalejší průměrný nárůst všech tří sad vzorků oproti maltě a), kde také výsledné průměrné hmotnosti žádné sady vzorků nepřekračují hodnoty naměřené u prvního vlhčení. Pomalejší nárůst hmotnosti byl předpokládán s ohledem na větší objemovou hmotnost malty b). Je otázkou, zda by se výsledná hmotnost vzorků vyšplhala nad hodnotu měřenou v rámci prvního experimentu při delší době druhého vlhčení. Experiment byl ovšem ukončen pro všechny vzorky ve stejný čas, aby byly zajištěny stejné okrajové podmínky pro další měření. Průměrný nárůst hmotnosti pro první i druhé vlhčení a každou sadu vzorků v jednotlivých časech měření je uveden v tabulce č. 31.

MC		suchý vzorek	po 6 hod	po 12 hod	po 18 hod	po 24 hod	po 30 hod
1. vlhčení	neinjektováno	6,506	7,066	7,079	7,084	7,086	7,086
2. vlhčení	RUBBERTITE	6,612	6,825	6,884	6,945	6,985	7,021
1. vlhčení	neinjektováno	6,595	7,159	7,174	7,178	7,181	7,181
2. vlhčení	referenční	6,700	6,898	6,949	7,000	7,034	7,063
1. vlhčení	neinjektováno	6,516	7,079	7,097	7,103	7,104	7,106
2. vlhčení	Realcryn 3	6,626	6,852	6,920	6,990	7,036	7,080

Tab. č. 31 Porovnání průměrných hodnot hmotnosti sad vzorků malty b) v čase vlhčení

MC	suchý vzorek	po 6 hod	po 12 hod	po 18 hod	po 24 hod	po 30 hod
RUBBERTITE	0,106	-0,241	-0,195	-0,139	-0,101	-0,065
referenční	0,105	-0,262	-0,225	-0,178	-0,147	-0,118
Realcryn 3	0,110	-0,228	-0,177	-0,113	-0,068	-0,026

Tab. č. 32 Rozdílové hodnoty průměrných hmotností u prvního a druhého vlhčení jednotlivých sad vzorků malty b) v čase vlhčení



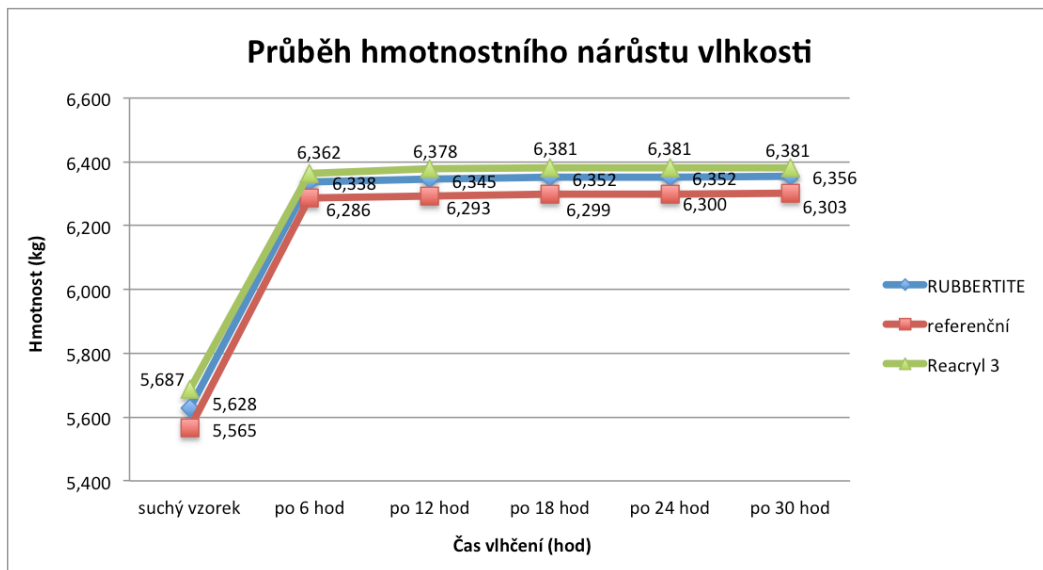
Graf č. 26 Navýšení průměrné hmotnosti sad vzorků malty b) po 30 hodinách 2. vlhčení oproti 1. vlhčení

Výsledná průměrná hmotnost všech tří sad vzorků malty b) je po druhém vlhčení nižší než byla dosažena v průběhu experimentu č. 1. Rozdíl činil u sady injektované přípravkem 1) 65 g, u sady injektované přípravkem 2) 26 g a u referenční sady 118 g.

Jak již jsem zmínil výše, byl potvrzen předpoklad, že hutnější malta navlhá pomaleji, a proto se lze domnívat, že hmotnost nedosáhla při délce experimentu č.3 svého maxima. Zajímavé je srovnání hodnot v grafu č. 24 u malty b) s grafem č. 19

u malty a). Vyšších hodnot hmotnosti, tedy předpokládejme vyšší vlhkosti, dosahují opět sady vzorků injektovaných a to ve stejném pořadí sad krychlí, jako u malty a). Sada vzorků injektovaných přípravkem 1) dosáhla v průměru o 53 g vyšší hmotnosti a sada injektovaných přípravkem 2) o 92 g vyšší hmotnosti než sada referenční. Rozdíl mezi přípravkem 1) a 2) je tedy u malty a) i b) srovnatelný a vypovídá o schopnosti vzorků s aplikovaným chemickým přípravkem přijímat větší množství vody do své struktury.

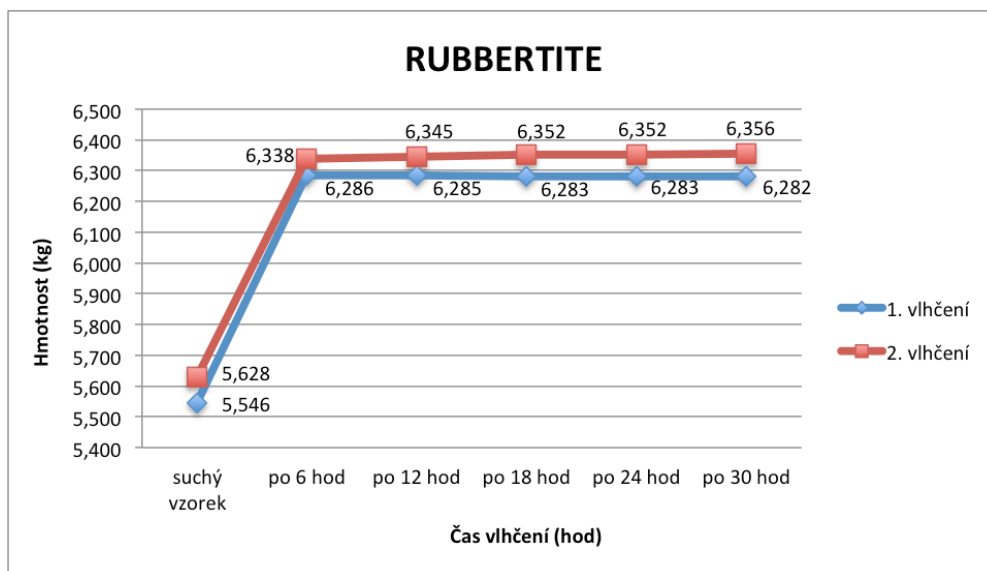
c) Zdící malta vápenná (MV)



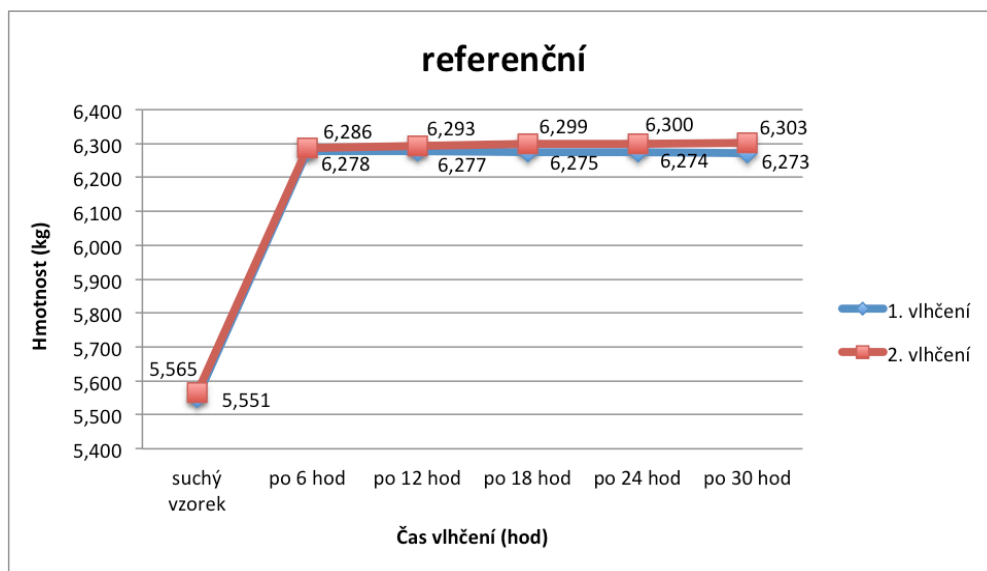
Graf č. 27 Průměrné hodnoty nárůstu hmotnostní vlhkosti tří sad krychlí malty c)

Z grafu č. 27 je patrné, že u malty c) došlo v porovnání s maltou a) i b) k výraznějšímu nárůstu hmotnosti v první fázi vlhčení. Tento jev je srovnatelný s experimentem č.1. Nárůsty jednotlivých sad vzorků v čase jsou přibližně srovnatelné, ať již byly injektovány přípravkem 1), přípravkem 2) nebo sloužily jako referenční.

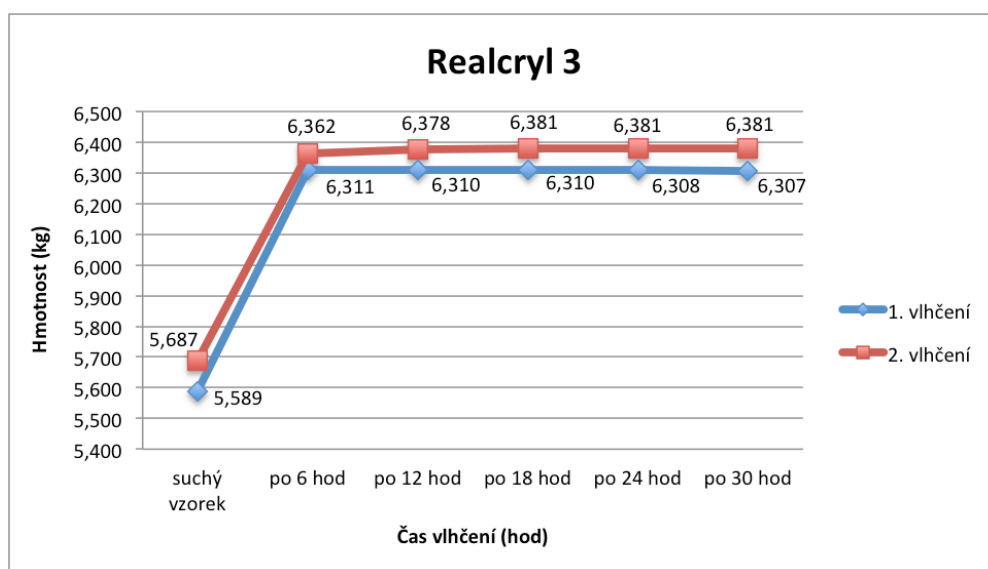
V grafu č. 28 až 30 je znázorněn průměrný průběžný nárůst hmotnosti postupně u tří sad po 8 vzorcích malty c). Tyto vzorky nebyly rozděleny popořadě, jak již bylo zmíněno v úvodu tohoto experimentálního měření. V každém grafu je uvedena jedna křivka znázorňující průměrnou hodnotu hmotnostního nárůstu 8 vzorků v průběhu vlhčení experimentu č.1 a při jejich druhém vlhčení v tomto experimentu.



Graf č. 28 Porovnání průměrné hodnoty nárůstu hmotnostní vlhkosti sady krychlí malty c) před a po injektování přípravkem 1)



Graf č. 29 Porovnání průměrné hodnoty nárůstu hmotnostní vlhkosti sady krychlí malty c) u referenčních vzorků



Graf č. 30 Porovnání průměrné hodnoty nárůstu hmotnostní vlhkosti sady krychlí malty c) před a po injektování přípravkem 2)

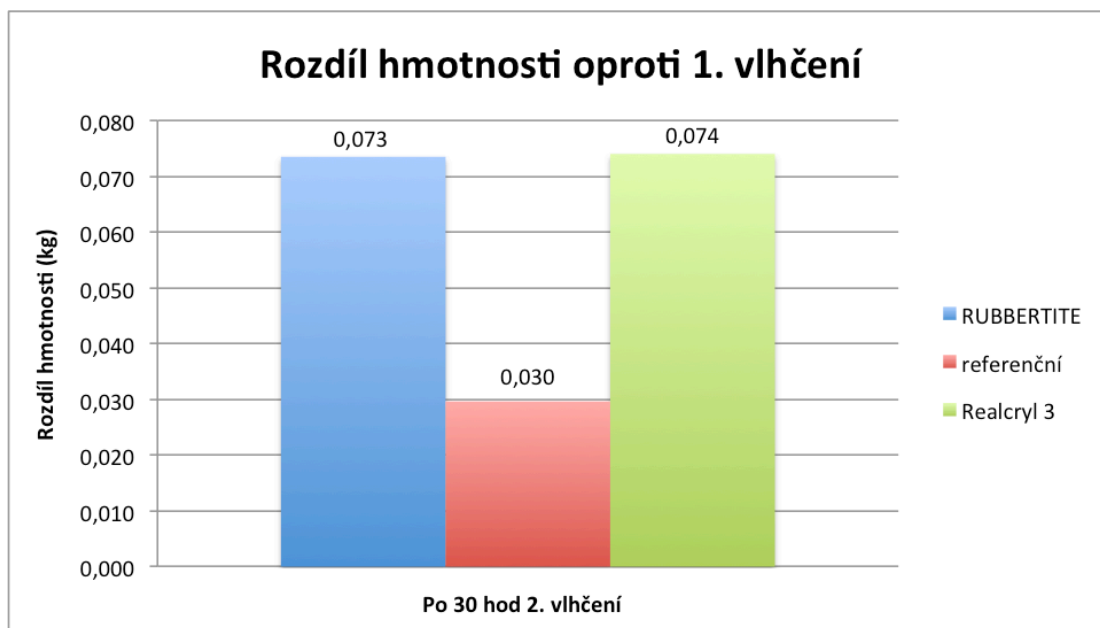
Z grafů č. 28, 29 a 30 je patrný rychlý průměrný nárůst hmotnosti v počáteční fázi vlhčení všech tří sad vzorků v obou experimentech. I při nízké hladině vody je postup navlhání u malty c) s nejmenší objemovou hmotností nejrychlejší ze všech tří sledovaných maltových směsí. Všechny tři sady vzorků měly na konci experimentu č.3 vyšší průměrnou hmotnost než byla v experimentu č.1, vzorky v sadách injektovaných o něco vyšší než v sadě vzorků referenčních. Průměrný nárůst hmotnosti pro první i druhé vlhčení a každou sadu vzorků malty c) v jednotlivých časech měření je uveden v tabulce č. 33.

MV		suchý vzorek	po 6 hod	po 12 hod	po 18 hod	po 24 hod	po 30 hod
1. vlhčení	neinjektováno	5,546	6,286	6,285	6,283	6,283	6,282
2. vlhčení	RUBBERTITE	5,628	6,338	6,345	6,352	6,352	6,356
1. vlhčení	neinjektováno	5,551	6,278	6,277	6,275	6,274	6,273
2. vlhčení	referenční	5,565	6,286	6,293	6,299	6,300	6,303
1. vlhčení	neinjektováno	5,589	6,311	6,310	6,310	6,308	6,307
2. vlhčení	Realcryn 3	5,687	6,362	6,378	6,381	6,381	6,381

Tab. č. 33 Porovnání průměrných hodnot hmotnosti sad vzorků malty c) v čase vlhčení

MV	suchý vzorek	po 6 hod	po 12 hod	po 18 hod	po 24 hod	po 30 hod
RUBBERTITE	0,082	0,052	0,060	0,069	0,069	0,073
referenční	0,014	0,008	0,016	0,023	0,025	0,030
Realcryn 3	0,098	0,051	0,068	0,072	0,073	0,074

Tab. č. 34 Rozdílové hodnoty průměrných hmotností u prvního a druhého vlhčení jednotlivých sad vzorků malty c) v čase vlhčení



Graf č. 31 Navýšení průměrné hmotnosti sad vzorků malty c) po 30 hodinách 2. vlhčení oproti 1. vlhčení

Výsledná průměrná hmotnost všech tří sad vzorků malty c) je po druhém vlhčení vyšší než byla dosažena v průběhu experimentu č. 1. U malty c) se srovnal nárůst hmotnosti oproti experimentu č.1 u obou injektovaných sad. Jejich hodnota je téměř stejná. Nejvyššího nárůstu rozdílu průměrné hmotnosti dosáhla sada injektovaná přípravkem 2), hodnota činila 74 g. Sada injektovaná přípravkem 1) zaznamenala nárůst 73 g a referenční vzorky 30 g oproti prvnímu vlhčení. Oproti průměrné hodnotě referenční sady zaznamenaly vzorky po aplikaci přípravku 1) průměrnou hodnotu o 43 g vyšší, vzorky po aplikaci přípravku o 44 g vyšší.

10.4.4 Shrnutí výsledků experimentu

Z experimentu č.3 je patrné, že injektážní přípravek, ať jeden či druhý, ovlivní schopnost malty pojmout vyšší množství vody. Byl potvrzen předpoklad schopnosti chemické clony na bázi akrylátu či metakrylátu, vytvářející ve struktuře materiálu hydrogel, který se vytvrzuje v gumoelastickou, flexibilní hmotu, vázat na sebe vlhkost z okolního prostředí.

U maltové směsi a) a c) bylo v průběhu druhého vlhčení dosaženo vyšší výsledné hmotnosti než bylo dosaženo při prvním vlhčení v experimentu č.1. Vzhledem k tomu, že při druhém vlhčení byly vzorky vloženy do vody, jejíž hladina sahala pouze do výšky cca. 2 cm, byla očekávána hodnota závěrečné hmotnosti nižší, oproti experimentu č.1, kdy byly všechny vzorky zcela ponořeny. Zohledníme-li schopnost chemického přípravku vázat na sebe vlhkost, jeví se nejvíce překvapivá hodnota u referenčních vzorků.

Všechny vzorky prošly stejným procesem přípravy před započítáním experimentu č.3. Jejich počáteční hmotnost na počátku druhého vlhčení byla v průměru o 100 g vyšší na jeden vzorek než při zahájení experimentu č.1. Do všech

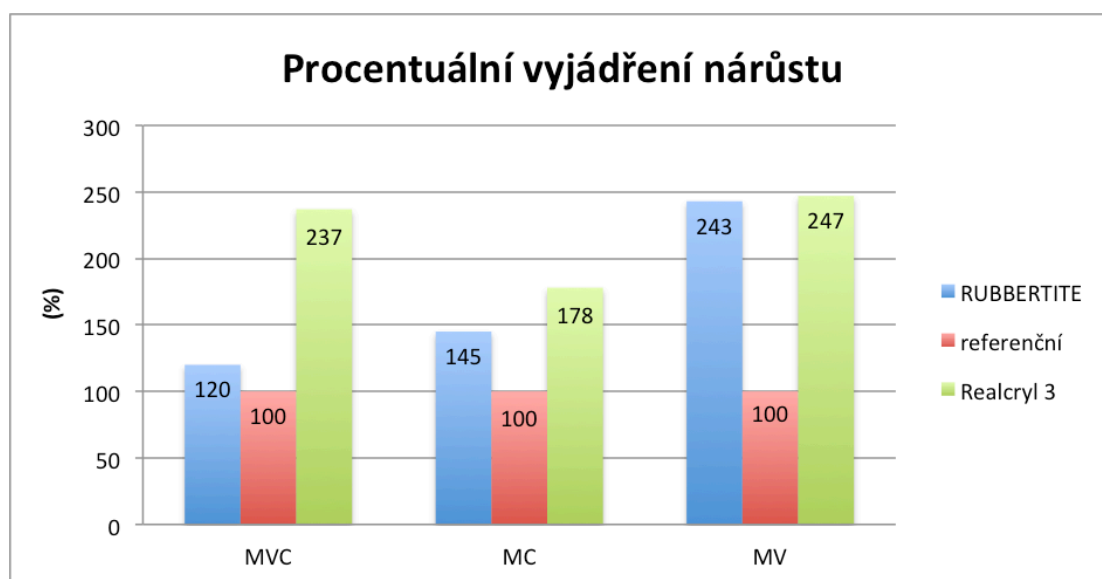
vzorků, včetně referencí, byly před injektáží osazeny pakry a vzorky tak byly uzavřeny (v místě vývrtu) při 80-ti procentním stupni vyplnění struktury materiálu vodou. Je tedy otázkou, zda toto uzavření napomohlo distribuci již absorbované vlhkosti i do méně přístupných pórů uvnitř materiálu, které byly chráněny před zejména povrchovým vysycháním a mikrovlnným sušením a nebo první vlhčení napomohlo rychlejší kapilární distribuci vody při druhém vlhčení, zdánlivě méně účinném pro nízkou hladinu vody, do struktury hmoty.

Závěrem lze říci, že aplikace chemického přípravku na bázi akrylátu či metakrylátu zvýší schopnost materiálu přijímat do své struktury vodu. Pokud by se nám při injektování krychle podařilo vytvořit kontinuální horizontální clonu, mohli bychom zjistit, zda po vyplnění pórů hydrogelem či pryskyřicí dojde k výraznějšímu poklesu kapilárně navzlínané vody nad takto vytvořenou bariérou. Vzhledem k tomu, že přípravek byl aplikován pouze do středu vzorku, nemohl zabránit kapilárnímu vztlínání vody po stranách krychle až nad jeho úroveň.

Výstupem tohoto experimentu je porovnání rozdílů, nebo-li o kolik více pojme vzorek injektovaný přípravkem 1) nebo přípravkem 2) více vlhkosti oproti vzorku referenčnímu. Toto srovnání je uvedeno v tabulce č. 35 a grafu č. 32.

sada vzorků	MVC		MC		MV	
	Rozdíl hmotnosti (g)	% vyjádření nárůstu	Rozdíl hmotnosti (g)	% vyjádření nárůstu	Rozdíl hmotnosti (g)	% vyjádření nárůstu
RUBBERTITE	36	120	-65	145	73	243
referenční	30	100	-118	100	30	100
Realcryn 3	71	237	-26	178	74	247

Tab. č. 35 Rozdíly průměrné hmotnosti sad vzorků mezi prvním a druhým vlhčením včetně procentuálního vyjádření nárůstu injektovaných sad oproti referenční

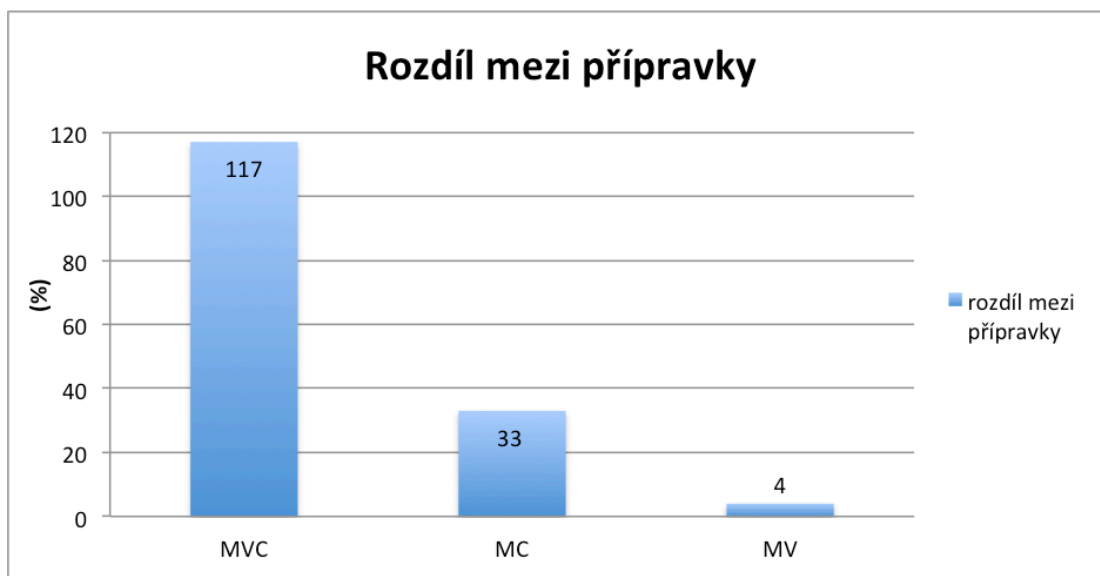


Graf č. 32 Procentuální navýšení průměrné hmotnosti sad vzorků injektovaných oproti referenčním u tří zkoumaných malt

Největší rozdíl průměrné hodnoty v porovnání s referenčními vzorky zaznamenal přípravek 2), který na jeden vzorek pojmul oproti neinjektovanému vzorku nejvíce vody, a to o 137 % u malty a), o 78 % u malty b) a o 147 % u malty c). Přípravek 1), pojmul u malty a) v průměru o 20 % více, u malty b) o 45 % více a u malty c) o 143 % více vody oproti průměru vzorků referenčních.

sada vzorků	MVC		MC		MV	
	% vyjádření nárůstu	navýšení (%) oproti referenci	% vyjádření nárůstu	navýšení (%) oproti referenci	% vyjádření nárůstu	navýšení (%) oproti referenci
RUBBERTITE	120	20	145	45	243	143
referenční	100	0	100	0	100	0
Realcryn 3	237	137	178	78	247	147
rozdíl mezi přípravky		117		33		4

Tab. č. 36 Rozdíly mezi přípravkem 1) a 2) vyjádřené v %



Graf č. 33 Procentuální rozdíl průměrné hmotnosti sad vzorků injektovaných přípravkem 1) a přípravkem 2) u tří zkoumaných malt

Dále je z výsledků experimentu patrné, že největší rozdíl mezi přípravky byl zaznamenán u malty a), nejnižší naopak u malty c).

10.5 EXPERIMENT č. 4

10.5.1 Cíl provedeného experimentu

Cílem tohoto experimentu bylo ověřit, jaké množství chemického přípravku jsme schopni injektovat do struktury materiálu s předem daným stupněm zavlhčení. Dále vyhodnotit, jakým způsobem ovlivní injektovaný přípravek pevnost malty v tlaku a provést porovnání pevnosti materiálu s ohledem na množství a druh aplikovaného přípravku. Vycházel jsem z předpokladu, že všechny vzorky byly vytvořeny za stejných laboratorních podmínek, stejnými postupy a všechny před provedením experimentu prošly stejným procesem přípravy.

10.5.2 Popis provedeného experimentu

Experiment byl proveden na 72 vzorcích tří druhů malt. Z každého druhu malty bylo 24 vzorků rozděleno do tří sad po osmi kusech, ze kterých byla určena sada vzorků pro injektáž prvním přípravkem, sada vzorků pro injektáž druhým přípravkem a sada vzorků referenčních.

Jednalo se o následující materiály:

- a) Zdicí malta vápenocementová (MVC) - PROFI Dur 50
- b) Zdicí malta cementová (MC) - CEMIX 10
- c) Zdicí malta vápenná (MV) - připravená přímo v laboratoři

K injektáži byly použity následující přípravky:

- 3) RUBBERTITE
- 4) Realcryn 3

Všechny vzorky byly plně nasyceny vodou, pro výpočet 80 %-ního počátečního stupně zavlhčení před zahájením aplikace injektážního přípravku. Počáteční zavlhčení bylo zvoleno dle směrnice WTA 4-4-04D (Injektáž zdiva proti kapilární vlhkosti), kde jsou uvedeny možnosti stupně vyplnění struktury materiálu vodou: 60%, 80%, > 95% ± 5%. Zvolili jsme 80 %, aby byly co nejlépe simulovány podmínky reálné vlhké konstrukce, ale byla ještě možnost do materiálu aplikovat množství chemického přípravku průkazné pro další experimentální měření.

Po dosažení požadovaného zavlhčení, přepočteného na hodnotu hmotnostní vlhkosti, byly jednotlivé vzorky zabaleny do potravinářské fólie, aby bylo zamezeno jejich vysychání. Den před aplikací chemického přípravku byly vzorky vybaleny, zváženy a jejich hmotnost pomocí předsušení či dodatečného vlhčení upravena na výpočtem určenou hodnotu. Do takto připravených vzorků byly osazeny předem zvážené pakry a to včetně vzorků referenčních.



Obr. č. 20 (a, b) Plastový pakr – vážení a osazení do vzorku

Pro maltu a) a b) byly zvoleny pakry plastové (obr. č. 20) a pro méně soudržnou maltu c) kovové s pevnou kuličkou (obr. č. 21). U vývrtu malty c) došlo při vlhčení u většiny vzorků k vydrolení, proto nebylo možné osadit plastové pakr fungující na principu hmoždinky. Kovové pakry byly do malty c) ukotveny díky těsnicímu kroužku ve spodní části, který byl šroubováním roztažen.



Obr. č. 21 (a, b) Kovový pakr – vážení a osazení do vzorku

Vzhledem k hledání vhodné technologie provádění se ukázala volba plastových i kovových pakrů s pevnou kuličkou jako nevhodná. Při tlakové injektáží malty a) začalo docházet k úniku přípravku v okolí pakru ven ze vzorku a u malty c) nebylo možné do vzorku vůbec protlačit přípravek přes pevnou kuličku.

S ohledem na tuto skutečnost byly kovové pakry s pevnou kuličkou nahrazeny kovovými pakry s volnou kuličkou, které byly rozměrově stejné a plastové pakry osazené ve vzorcích malt a) a b) byly po obvodu utěsněny silikonovým tmelem (obr. č. 22).



Obr. č. 22 (a, b) Tmelení plastových paktů

Sady vzorků referenčních u malty a) a b), které ještě nebyly při zjištění potíží v první fázi injektáže osazeny pakry, byly také použity k osazení kovových paktů s volnou kuličkou, aby mohl být porovnán účinek injektáže přes plastové pakry, které byly zatmeleny, a nově osazené pakry kovové. Touto volbou došlo k výslednému určení sad a v nich zastoupených číselných řad jednotlivých vzorků.



Obr. č. 23 (a, b) Kovové pakry s pevnou a volnou kuličkou a pakt plastový, osazení kovových paktů do vzorků, původně určených jako referenčních

Po osazení všech paktů bylo přistoupeno k samotné injektáži. Sady maltových směsí a) a b) byly rozděleny následovně: vzorky s pořadovým číslem 1 až 8 byly injektovány přípravkem 1), vzorky 17 až 24 byly injektovány přípravkem 2) a sada s pořadovým číslem vzorků 9 až 16 sloužila jako referenční. U maltové směsi c) došlo při hledání vhodné technologie injektáže, a zejména hledání postupu instalace paktů, k porušení několika vzorků. Proto byly sady rozděleny následovně: injektážní přípravek 1) byl použit u krychlí s číselným značením 1, 2, 8, 9, 11, 12, 14 a 15; injektážní přípravek 2) byl aplikován do krychlí číslo 16, 17, 19, 21, 22, 23, 25 a 26; jako referenční byly ponechány vzorky číslo 3, 4, 5, 6, 7, 10, 13 a 18.

Při samotné aplikaci přípravku byl každý vzorek zvážen těsně před a po provedení injektáže. Hmotnosti byly zapsány včetně okrajových podmínek. Tlak,

pod kterým byl přípravek do materiálu injektován se pohyboval mezi 2 až 5 bary, tedy mezi 0,2 až 0,5 MPa.



Obr. č. 24 (a, b) Míchání a injektáž chemického přípravku



Obr. č. 25 Injektáž chemického přípravku

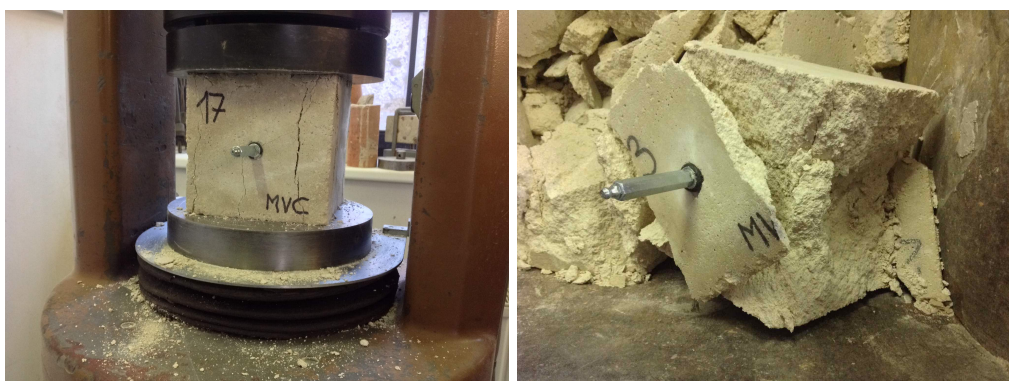
Všechny vzorky byly po provedení injektáže ponechány bez fólie v ustálených laboratorních podmínkách. Přibližně po jednom měsíci bylo sušení urychleno za pomoci dvou přenosných generátorů Romill G1/2011. Sušení bylo provedeno u všech vzorků ve třech 20 minutových cyklech (obr. č. 18). Po dalších 14 dnech volného uložení vzorků v ustálených laboratorních podmínkách, kdy bylo dosaženo hmotnosti vzorků v průměru přibližně o 100 g vyšší než na počátku

experimentu č.1, byl proveden experiment č.3 a průběžně byla prováděna také měření experimentu č.2. Vyšší vlhkostí vzorků mělo být zajištěno, že nedojde k přerušení vazeb injektovaného přípravku v materiálu před závěrečnými experimentálními měřeními. Po ukončení experimentu č.3 byly opět všechny vzorky vysušeny za pomoci přenosných generátorů Romill G1/2011 a převezeny na Ústav stavebního zkušebnictví, kde proběhlo drcení krychlí a zkoušení pevnosti materiálu v tlaku.



Obr. č. 26 Hydraulický lis sloužící ke zkoušení krychelné pevnosti v tlaku

Jednotlivé maltové krychle byly postupně vkládány do lisu a zatěžovány až do porušení vzorku, kdy byla odečtena a zapsána hodnota zatížení (obr. č. 26 a 27). Krychle byly zatěžovány kolmo na směr hutnění, daném při jejich výrobě. Rozsah zatížení byl u malty a) a b) zvolen 400 kN s postupným zatěžováním 0,9 % ze zvoleného rozsahu, tedy 3,6 kN/s. U malty c) byl rozsah zatížení nastaven na 100 kN a rychlost zatěžování 0,7 % z rozsahu, tedy 0,7 kN/s.



Obr. č. 27 (a, b) Typické porušení vzorku 17 a 13

V průběhu experimenty byly sledovány následující:

- hmotnost aplikovaného chemického přípravku
- zatížení při porušení vzorku

10.5.3 Výsledky experimentu

Výsledné hmotnosti přípravku aplikovaného do jednotlivých maltových krychlí jsou uvedeny v tabulkách č. 37, 38 a 39.

číslo vzorku	injektážní přípravek	hmotnost přípravku (kg)	číslo vzorku	injektážní přípravek	hmotnost přípravku (kg)	číslo vzorku	injektážní přípravek	hmotnost přípravku (kg)
1	RUBBERTITE	0,027	9	referenční	0,000	17	Realcryl 3	0,041
2	RUBBERTITE	0,021	10	referenční	0,000	18	Realcryl 3	0,028
3	RUBBERTITE	0,015	11	referenční	0,000	19	Realcryl 3	0,029
4	RUBBERTITE	0,020	12	referenční	0,000	20	Realcryl 3	0,020
5	RUBBERTITE	0,025	13	referenční	0,000	21	Realcryl 3	0,037
6	RUBBERTITE	0,032	14	referenční	0,000	22	Realcryl 3	0,055
7	RUBBERTITE	0,033	15	referenční	0,000	23	Realcryl 3	0,026
8	RUBBERTITE	0,027	16	referenční	0,000	24	Realcryl 3	0,026
průměrné hodnoty		0,025	průměrné hodnoty		0,000	průměrné hodnoty		0,033
hodnoty mediánu		0,026	hodnoty mediánu		0,000	hodnoty mediánu		0,029

Tab. č. 37 Hmotnosti injektovaného přípravku do malty a) u jednotlivých vzorků

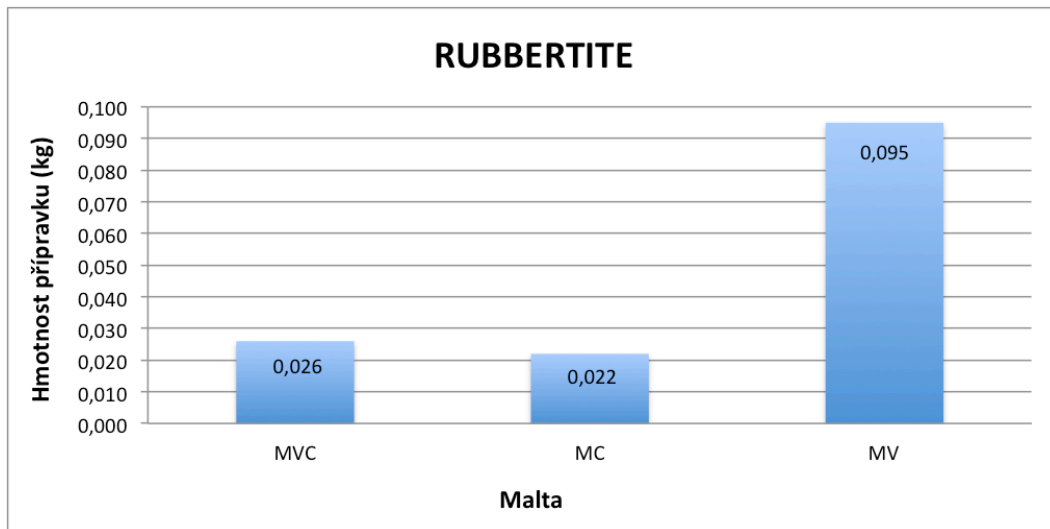
číslo vzorku	injektážní přípravek	hmotnost přípravku (kg)	číslo vzorku	injektážní přípravek	hmotnost přípravku (kg)	číslo vzorku	injektážní přípravek	hmotnost přípravku (kg)
1	RUBBERTITE	0,017	9	referenční	0,000	17	Realcryl 3	0,019
2	RUBBERTITE	0,023	10	referenční	0,000	18	Realcryl 3	0,017
3	RUBBERTITE	0,021	11	referenční	0,000	19	Realcryl 3	0,024
4	RUBBERTITE	0,019	12	referenční	0,000	20	Realcryl 3	0,028
5	RUBBERTITE	0,021	13	referenční	0,000	21	Realcryl 3	0,024
6	RUBBERTITE	0,024	14	referenční	0,000	22	Realcryl 3	0,017
7	RUBBERTITE	0,023	15	referenční	0,000	23	Realcryl 3	0,021
8	RUBBERTITE	0,026	16	referenční	0,000	24	Realcryl 3	0,017
průměrné hodnoty		0,022	průměrné hodnoty		0,000	průměrné hodnoty		0,021
hodnoty mediánu		0,022	hodnoty mediánu		0,000	hodnoty mediánu		0,020

Tab. č. 38 Hmotnosti injektovaného přípravku do malty b) u jednotlivých vzorků

číslo vzorku	injektážní přípravek	hmotnost přípravku (kg)	číslo vzorku	injektážní přípravek	hmotnost přípravku (kg)	číslo vzorku	injektážní přípravek	hmotnost přípravku (kg)
1	RUBBERTITE	0,086	3	referenční	0,000	16	Realcryl 3	0,190
2	RUBBERTITE	0,082	4	referenční	0,000	17	Realcryl 3	0,209
8	RUBBERTITE	0,094	5	referenční	0,000	19	Realcryl 3	0,121
9	RUBBERTITE	0,099	6	referenční	0,000	21	Realcryl 3	0,166
11	RUBBERTITE	0,102	7	referenční	0,000	22	Realcryl 3	0,052
12	RUBBERTITE	0,095	10	referenční	0,000	23	Realcryl 3	0,161
14	RUBBERTITE	0,107	13	referenční	0,000	25	Realcryl 3	0,129
15	RUBBERTITE	0,092	18	referenční	0,000	26	Realcryl 3	0,074
průměrné hodnoty		0,095	průměrné hodnoty		0,000	průměrné hodnoty		0,138
hodnoty mediánu		0,095	hodnoty mediánu		0,000	hodnoty mediánu		0,145

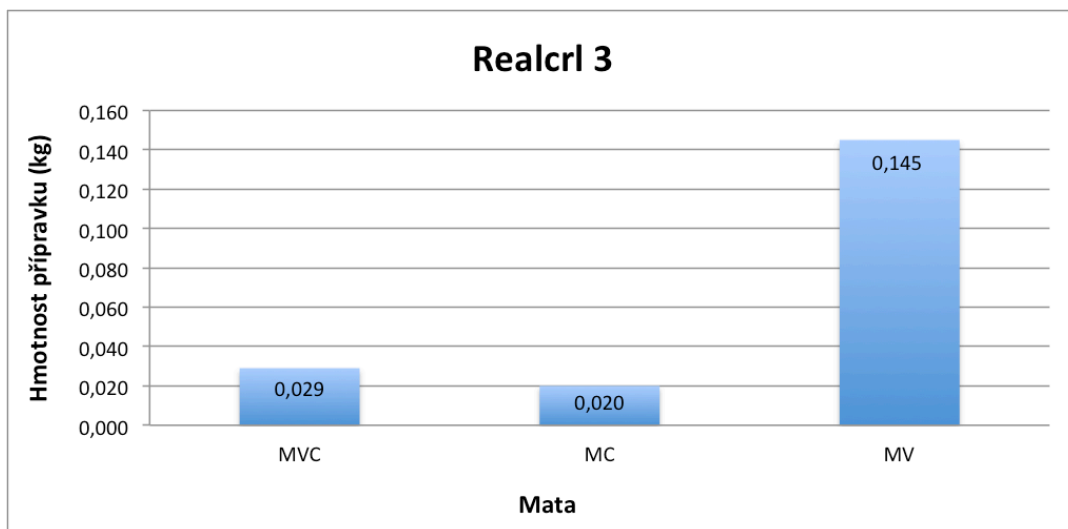
Tab. č. 39 Hmotnosti injektovaného přípravku do malty c) u jednotlivých vzorků

Z průměrných hodnot a hodnot mediánu pro jednotlivé sady maltových krychlí je zřejmé, že nejvíce přípravku se nám podařilo injektovat do malty c), o poznání méně potom do malty a) a b). Kromě malty b), kde by se dalo říci, že jsou hmotnosti aplikovaných přípravků srovnatelné, se nám podařilo u malty a) a c) aplikovat více přípravku 2) oproti přípravku 1). Hodnoty mediánu pro jednotlivé injektované sady vzorků malt jsou znázorněny v grafu č. 34 a 35.



Graf č. 34 Hodnota mediánu přípravku 1) aplikovaného do tří druhů malt

Střední hodnota hmotnosti aplikovaného přípravku v jednotlivých sadách krychlí činí u přípravku 1) 26 g pro maltu a), 22 g pro maltu b) a 95 g pro maltu c).



Graf č. 35 Hodnota mediánu přípravku 2) aplikovaného do tří druhů malt

Střední hodnota hmotnosti aplikovaného přípravku v jednotlivých sadách krychlí u přípravku 2) činí 29 g pro maltu a), 20 g pro maltu b) a 145 g pro maltu c).

Podle druhu injektážního přípravku a jeho množství (hmotnosti) aplikovaného do vzorků, byl posuzován vliv přípravku na pevnost materiálu (maltoých krychlí) v tlaku. Výsledné zatížení, při kterém došlo k porušení vzorku a následně vypočtené pevnosti v tlaku jednotlivých vzorků, včetně porovnání s výše popsáním množstvím aplikovaných chemických přípravků, je uvedeno v jednotlivých tabulkách. Je zde pro srovnání přidána i objemová hmotnost každé krychle, která by mohla mít do značné míry vliv na výslednou pevnost v tlaku.

a) Zdící malta vápenocementová (MVC) - PROFI Dur 50

V tabulkách č. 40, 41 a 42 jsou uvedeny průměrné hodnoty a hodnoty mediánu měřených veličin pro každou sadu malty a).

číslo vzorku	rozměr vzorku		plocha A (mm ²)	zatížení (kN)	pevnost v tlaku (MPa)	injektážní přípravek	hmotnost přípravku (kg)	objemová hmotnost (kg/m ³)
	a (mm)	a (mm)						
1	149,9	150,2	22515	146,20	6,49	RUBBERTITE	0,027	1902,14
2	150,0	150,0	22500	147,90	6,57	RUBBERTITE	0,021	1898,96
3	150,0	150,2	22530	154,50	6,86	RUBBERTITE	0,015	1896,73
4	149,9	149,3	22380	158,50	7,08	RUBBERTITE	0,020	1909,73
5	149,9	149,9	22470	152,50	6,79	RUBBERTITE	0,025	1897,13
6	150,0	151,2	22680	141,90	6,26	RUBBERTITE	0,032	1899,47
7	150,0	150,3	22545	118,60	5,26	RUBBERTITE	0,033	1909,07
8	150,0	150,4	22560	127,30	5,64	RUBBERTITE	0,027	1935,87
průměrné hodnoty				143,43	6,37		0,025	1906,14
hodnoty mediánu				147,05	6,53		0,026	1900,81

Tab. č. 40 Průměrné hodnoty a hodnoty mediánu měřených veličin malty a) injektované přípravkem 1)

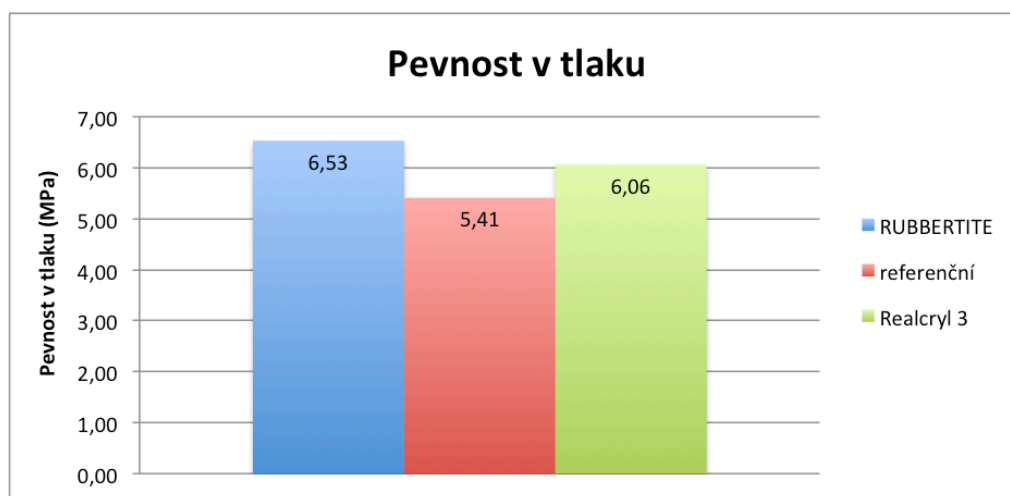
číslo vzorku	rozměr vzorku		plocha A (mm ²)	zatížení (kN)	pevnost v tlaku (MPa)	injektážní přípravek	hmotnost přípravku (kg)	objemová hmotnost (kg/m ³)
	a (mm)	a (mm)						
9	150,0	148,8	22320	108,70	4,87	referenční	0,000	1913,68
10	150,0	150,6	22590	130,20	5,76	referenční	0,000	1914,91
11	150,0	151,6	22740	124,30	5,47	referenční	0,000	1909,41
12	150,0	151,2	22680	122,10	5,38	referenční	0,000	1926,51
13	150,0	150,5	22575	112,40	4,98	referenční	0,000	1930,16
14	149,8	150,0	22470	110,60	4,92	referenční	0,000	1905,82
15	149,9	149,2	22365	121,50	5,43	referenční	0,000	1918,55
16	149,9	148,5	22260	123,60	5,55	referenční	0,000	1913,43
průměrné hodnoty				119,18	5,30		0,000	1916,56
hodnoty mediánu				121,80	5,41		0,000	1914,30

Tab. č. 41 Průměrné hodnoty a hodnoty mediánu měřených veličin malty a) bez aplikace injektážního přípravku

číslo vzorku	rozměr vzorku		plocha A (mm ²)	zatížení (kN)	pevnost v tlaku (MPa)	injektační přípravek	hmotnost přípravku (kg)	objemová hmotnost (kg/m ³)
	a (mm)	a (mm)						
17	149,8	147,3	22066	109,10	4,94	Realcryl 3	0,041	1922,00
18	150,0	148,5	22275	143,40	6,44	Realcryl 3	0,028	1922,33
19	150,0	149,0	22350	139,40	6,24	Realcryl 3	0,029	1903,65
20	150,0	149,6	22440	135,60	6,04	Realcryl 3	0,020	1878,19
21	150,0	147,1	22065	134,20	6,08	Realcryl 3	0,037	1864,19
22	150,0	148,9	22335	133,00	5,95	Realcryl 3	0,055	1842,55
23	150,0	147,8	22170	136,10	6,14	Realcryl 3	0,026	1862,88
24	150,0	149,7	22455	130,60	5,82	Realcryl 3	0,026	1849,03
průměrné hodnoty				132,68	5,96		0,033	1880,60
hodnoty mediánu				134,90	6,06		0,029	1871,19

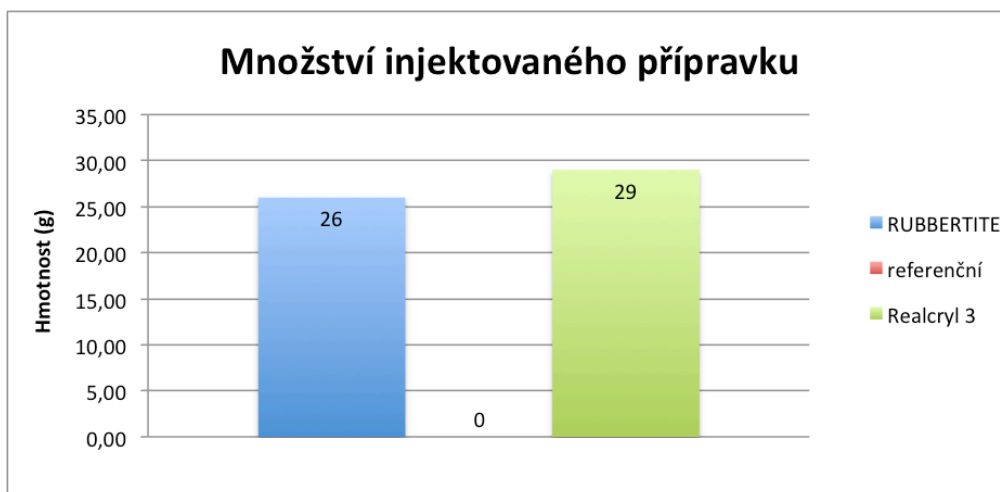
Tab. č. 42 Průměrné hodnoty a hodnoty mediánu měřených veličin malty a) injektované přípravkem 2)

Průměrná hodnota pevnosti v tlaku u malty a) injektované přípravkem 1) vychází 6,37 MPa, hodnota mediánu je 6,53 MPa. Průměrná hodnota pevnosti v tlaku u vzorků téže malty, které složily jako referenční, tedy byly bez aplikace chemické clony, vychází na 5,30 MPa, hodnota mediánu je 5,41 MPa. Průměrná hodnota pevnosti v tlaku u vzorků sady injektované přípravkem 2) vychází na 5,96 MPa, hodnota mediánu je 6,06 MPa. Hodnoty mediánu jednotlivých sad krychlí malty a) jsou znázorněny v grafu č. 36.



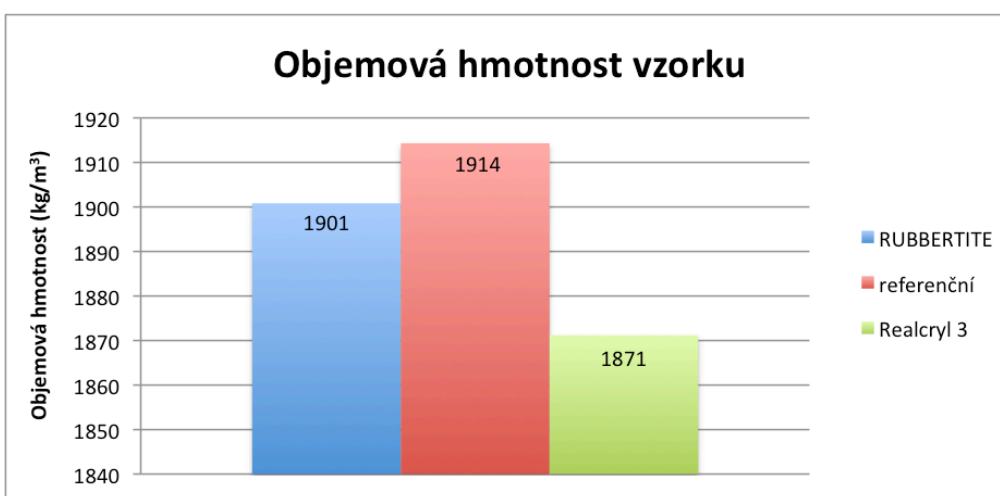
Graf č. 36 Střední hodnoty pevnosti v tlaku u tří sad krychlí malty a)

Množství chemického přípravku, který byl aplikován do malty a) je shrnuto v grafu č. 37. Přípravku 1) se nám podařilo natlačit do struktury materiálu první sady vzorků v průměru 25 g, hodnota mediánu činila 26 g. Přípravku 2) se nám podařilo injektovat do třetí sady vzorků v průměru 33 g, hodnota mediánu zde byla 29 g. U referenční sady krychlí je hodnota samozřejmě nulová.



Graf č. 37 Střední hodnoty aplikovaného přípravku do tří sad krychlí malty a)

Protože objemová hmotnost materiálu ve výsledku také ovlivní pevnost každého vzorku, uvádím v grafu č. 38 i její hodnoty, zaokrouhlené na celé jednotky. Sada vzorků malty a) injektovaných přípravkem 1) měla počáteční objemovou hmotnost v průměru 1906 kg/m^3 , hodnota mediánu činila 1901 kg/m^3 . U referenčních vzorků téže malty byla hodnota průměru 1917 kg/m^3 a medián 1914 kg/m^3 . Sada vzorků injektovaných přípravkem 2) měla průměrnou objemovou hmotnost 1881 kg/m^3 , hodnota mediánu činila 1871 kg/m^3 .



Graf č. 38 Střední hodnoty objemové hmotnosti tří sad krychlí malty a)

b) Zdící malta cementová (MC) - CEMIX 10

V tabulkách č. 43, 44 a 45 jsou uvedeny průměrné hodnoty a hodnoty mediánu stejných veličin jako u malty a) také pro každou sadu malty b).

číslo vzorku	rozměr vzorku		plocha A (mm ²)	zatížení (kN)	pevnost v tlaku (MPa)	injektažní přípravek	hmotnost přípravku (kg)	objemová hmotnost (kg/m ³)
	a (mm)	a (mm)						
1	150,0	148,0	22200	200,30	9,02	RUBBERTITE	0,017	1951,05
2	150,0	148,6	22290	204,70	9,18	RUBBERTITE	0,023	1957,23
3	150,0	148,2	22230	208,30	9,37	RUBBERTITE	0,021	1956,52
4	150,0	149,0	22350	206,50	9,24	RUBBERTITE	0,019	1947,80
5	150,0	149,8	22470	208,60	9,28	RUBBERTITE	0,021	1949,27
6	150,0	147,2	22080	207,30	9,39	RUBBERTITE	0,024	1958,03
7	150,0	147,0	22050	215,00	9,75	RUBBERTITE	0,023	1988,51
8	150,0	147,6	22140	233,70	10,56	RUBBERTITE	0,026	1962,96
průměrné hodnoty				210,55	9,47		0,022	1958,92
hodnoty mediánu				207,80	9,33		0,022	1956,88

Tab. č. 43 Průměrné hodnoty a medián měřených veličin malty b) injektované přípravkem 1)

číslo vzorku	rozměr vzorku		plocha A (mm ²)	zatížení (kN)	pevnost v tlaku (MPa)	injektažní přípravek	hmotnost přípravku (kg)	objemová hmotnost (kg/m ³)
	a (mm)	a (mm)						
9	150,0	150,1	22515	237,80	10,56	referenční	0,000	1969,06
10	150,0	149,4	22410	244,80	10,92	referenční	0,000	1982,75
11	150,0	149,9	22485	236,90	10,54	referenční	0,000	1979,69
12	150,0	150,0	22500	223,70	9,94	referenční	0,000	1983,11
13	150,0	150,2	22530	220,10	9,77	referenční	0,000	1947,03
14	150,0	147,9	22185	214,60	9,67	referenční	0,000	1963,49
15	150,0	149,2	22380	215,30	9,62	referenční	0,000	1958,59
16	150,0	148,6	22290	234,80	10,53	referenční	0,000	1968,30
průměrné hodnoty				228,50	10,20		0,000	1969,00
hodnoty mediánu				229,25	10,24		0,000	1968,68

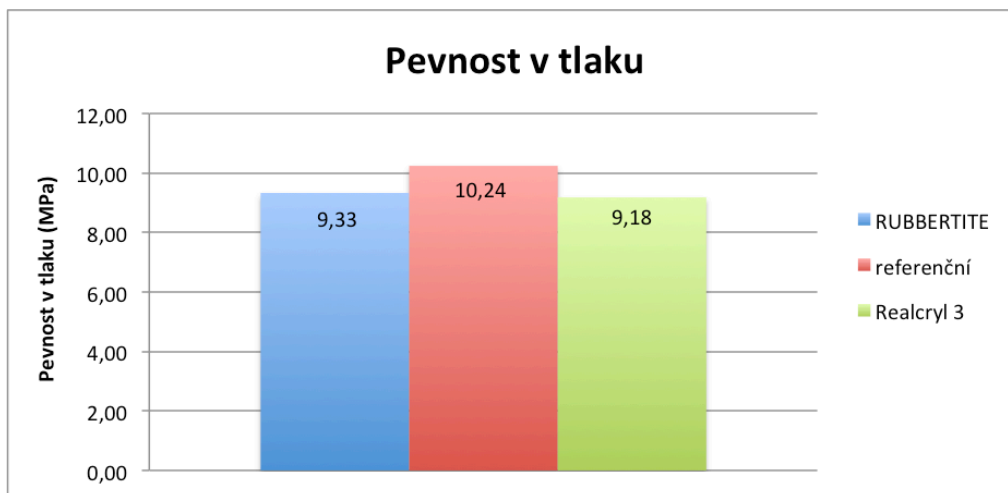
Tab. č. 44 Průměrné hodnoty a medián měřených veličin malty b) referenčních vzorků

číslo vzorku	rozměr vzorku		plocha A (mm ²)	zatížení (kN)	pevnost v tlaku (MPa)	injektažní přípravek	hmotnost přípravku (kg)	objemová hmotnost (kg/m ³)
	a (mm)	a (mm)						
17	150,0	149,5	22425	215,40	9,61	Realcryn 3	0,019	1961,80
18	150,0	149,0	22350	205,90	9,21	Realcryn 3	0,017	1977,63
19	150,0	150,6	22590	209,80	9,29	Realcryn 3	0,024	1959,27
20	150,0	148,4	22260	204,70	9,20	Realcryn 3	0,028	1938,60
21	150,0	149,7	22455	202,70	9,03	Realcryn 3	0,024	1944,63
22	150,0	147,5	22125	201,90	9,13	Realcryn 3	0,017	1951,64
23	150,0	147,0	22050	201,80	9,15	Realcryn 3	0,021	1965,23
24	150,0	146,2	21930	198,40	9,05	Realcryn 3	0,017	1963,22
průměrné hodnoty				205,08	9,21		0,021	1957,75
hodnoty mediánu				203,70	9,18		0,020	1960,54

Tab. č. 45 Průměrné hodnoty a medián měřených veličin malty b) injektované přípravkem 2)

Průměrná hodnota pevnosti v tlaku u malty b) injektované přípravkem 1) vychází 9,47 MPa, hodnota mediánu je 9,33 MPa. Průměrná hodnota pevnosti v tlaku u vzorků těže malty, které sloužily jako referenční, tedy byly bez aplikace chemické clony, vychází na 10,20 MPa, hodnota mediánu je 10,24 MPa. Průměrná hodnota pevnosti v tlaku u vzorků sady injektované přípravkem 2) vychází na 9,21

MPa, hodnota mediánu je 9,18 MPa. Hodnoty mediánu jednotlivých sad krychlí malty b) jsou znázorněny v grafu č. 39.



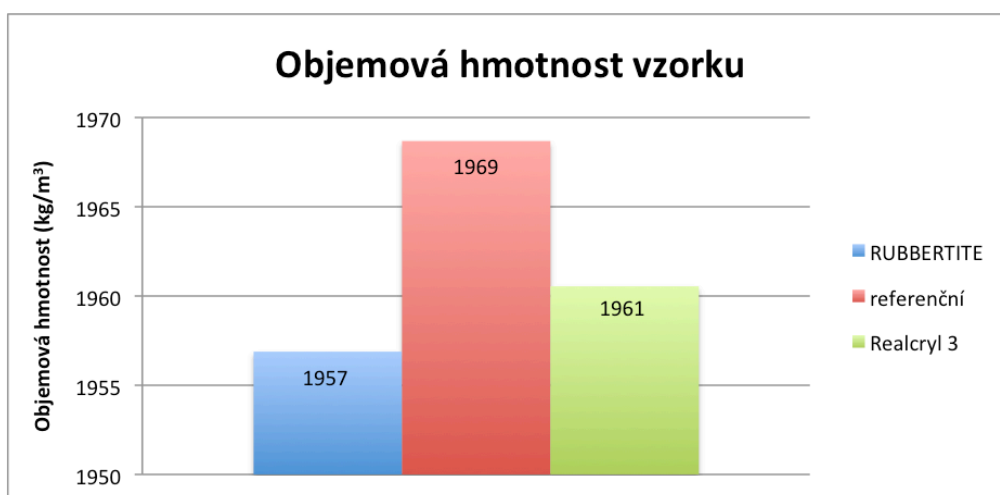
Graf č. 39 Střední hodnoty pevnosti v tlaku u tří sad krychlí malty b)

Množství chemického přípravku, který byl aplikován do malty b) je shrnuto v grafu č. 40. Přípravku 1) se nám podařilo natlačit do struktury materiálu první sady vzorků v průměru 22 g, hodnota mediánu činila taktéž 22 g. Přípravku 2) se nám podařilo injektovat do třetí sady vzorků v průměru 21 g, hodnota mediánu zde byla 20 g. U referenční sady krychlí je hodnota samozřejmě nulová.



Graf č. 40 Střední hodnoty aplikovaného přípravku do tří sad krychlí malty b)

Objemová hmotnost malty b) zaokrouhlená na celé jednotky je pro jednotlivé sady krychlí uvedena v grafu č. 41. Sada vzorků injektovaných přípravkem 1) měla objemovou hmotnost v průměru 1959 kg/m^3 , hodnota mediánu činila 1957 kg/m^3 . U referenčních vzorků vychází hodnota průměru i mediánu 1969 kg/m^3 . Sada vzorků injektovaných přípravkem 2) měla průměrnou objemovou hmotnost 1958 kg/m^3 , hodnota mediánu činila 1961 kg/m^3 .



Graf č. 41 Střední hodnoty objemové hmotnosti tří sad krychlí malty b)

c) Zdící malta vápenná (MV)

V tabulkách č. 46, 47 a 48 jsou uvedeny průměrné hodnoty a hodnoty mediánu stejných veličin jako u předchozích dvou malt i pro každou sadu malty c).

číslo vzorku	rozměr vzorku		plocha A (mm ²)	zatížení (kN)	pevnost v tlaku (MPa)	injektážní přípravek	hmotnost přípravku (kg)	objemová hmotnost (kg/m ³)
	a (mm)	a (mm)						
1	147,0	145,3	21359	17,40	0,81	RUBBERTITE	0,086	1742,74
2	148,7	147,7	21963	16,60	0,76	RUBBERTITE	0,082	1714,08
8	148,3	145,6	21592	16,80	0,78	RUBBERTITE	0,094	1739,29
9	148,5	147,2	21859	15,20	0,70	RUBBERTITE	0,099	1730,39
11	148,3	147,1	21815	14,90	0,68	RUBBERTITE	0,102	1727,73
12	148,3	147,0	21800	12,50	0,57	RUBBERTITE	0,095	1727,05
14	148,4	146,8	21785	14,20	0,65	RUBBERTITE	0,107	1714,72
15	148,6	147,7	21948	16,20	0,74	RUBBERTITE	0,092	1706,57
průměrné hodnoty				15,48	0,71		0,095	1725,32
hodnoty mediánu				15,70	0,72		0,095	1727,39

Tab. č. 46 Průměrné hodnoty a medián měřených veličin malty c) injektované přípravkem 1)

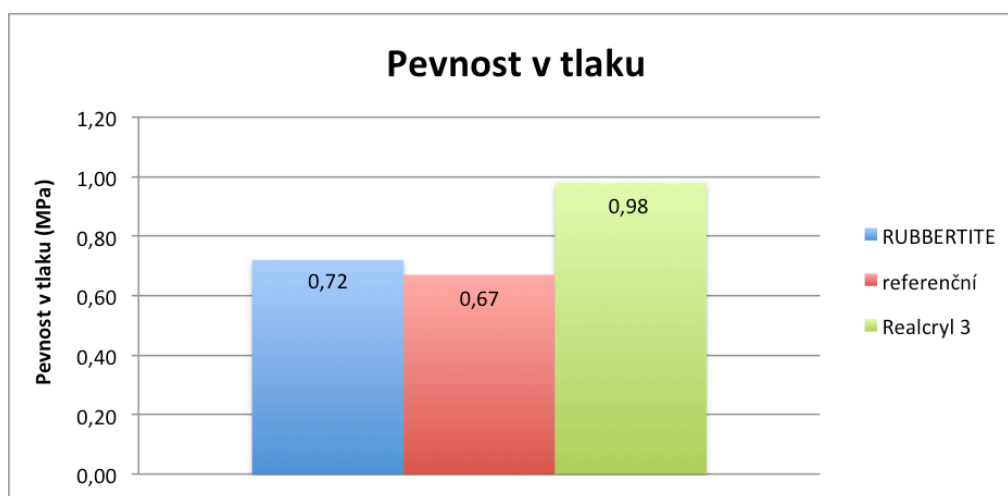
číslo vzorku	rozměr vzorku		plocha A (mm ²)	zatížení (kN)	pevnost v tlaku (MPa)	injektážní přípravek	hmotnost přípravku (kg)	objemová hmotnost (kg/m ³)
	a (mm)	a (mm)						
3	148,4	149,0	22112	15,90	0,72	referenční	0,000	1713,99
4	148,3	147,3	21845	14,30	0,65	referenční	0,000	1718,29
5	148,3	148,9	22082	15,10	0,68	referenční	0,000	1713,48
6	148,4	148,0	21963	15,90	0,72	referenční	0,000	1722,50
7	148,4	147,3	21859	15,10	0,69	referenční	0,000	1714,51
10	148,6	146,2	21725	13,70	0,63	referenční	0,000	1714,57
13	148,5	146,9	21815	14,00	0,64	referenční	0,000	1710,01
18	148,4	148,1	21978	13,80	0,63	referenční	0,000	1723,48
průměrné hodnoty				14,73	0,67		0,000	1716,35
hodnoty mediánu				14,70	0,67		0,000	1714,54

Tab. č. 47 Průměrné hodnoty a hodnoty mediánu měřených veličin malty c) referenčních vzorků

číslo vzorku	rozměr vzorku		plocha A (mm ²)	zatížení (kN)	pevnost v tlaku (MPa)	injektační přípravek	hmotnost přípravku (kg)	objemová hmotnost (kg/m ³)
	a (mm)	a (mm)						
16	148,5	148,7	22082	22,00	1,00	Realcryl 3	0,190	1702,87
17	148,5	147,9	21963	20,40	0,93	Realcryl 3	0,209	1714,55
19	148,5	148,6	22067	23,30	1,06	Realcryl 3	0,121	1727,09
21	148,8	147,9	22008	21,80	0,99	Realcryl 3	0,166	1735,31
22	148,6	147,8	21963	17,70	0,81	Realcryl 3	0,052	1729,32
23	148,5	147,7	21933	22,10	1,01	Realcryl 3	0,161	1723,68
25	148,7	147,6	21948	21,00	0,96	Realcryl 3	0,129	1723,68
26	148,6	147,1	21859	16,60	0,76	Realcryl 3	0,074	1720,31
průměrné hodnoty				20,61	0,94		0,138	1722,10
hodnoty mediánu				21,40	0,98		0,145	1723,68

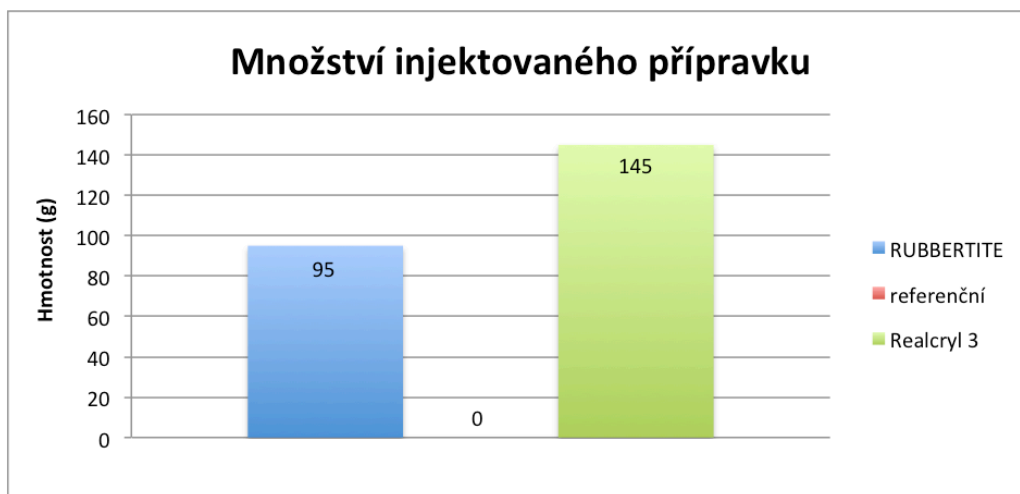
Tab. č. 48 Průměrné hodnoty a medián měřených veličin malty c) injektované přípravkem 2)

Průměrná hodnota pevnosti v tlaku u malty c) injektované přípravkem 1) vychází 0,71 MPa, hodnota mediánu je 0,72 MPa. Průměrná hodnota i hodnota mediánu pevnosti v tlaku u vzorků téže malty, které složily jako referenční, tedy byly bez aplikace chemické clony, vychází na 0,67 MPa. A průměrná hodnota pevnosti v tlaku u vzorků sady injektované přípravkem 2) vychází na 0,94 MPa, hodnota mediánu je 0,98 MPa. Hodnoty mediánu jednotlivých sad krychlí malty c) jsou znázorněny v grafu č. 42.



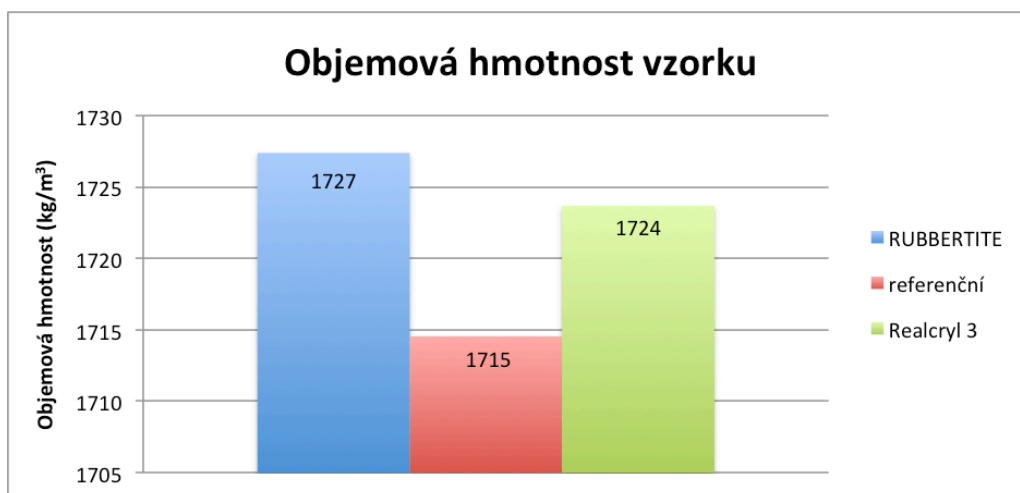
Graf č. 42 Střední hodnoty pevnosti v tlaku u tří sad krychlí malty c)

Množství chemického přípravku, který byl aplikován do malty c) je shrnuto v grafu č. 43. Přípravku 1) se nám podařilo natlačit do struktury materiálu první sady vzorků v průměru 95 g, stejnou hodnotu činil i medián. Přípravku 2) se nám podařilo injektovat do třetí sady vzorků v průměru 138 g, hodnota mediánu zde byla 145 g. U referenční sady krychlí je hodnota samozřejmě nulová.



Graf č. 43 Střední hodnoty aplikovaného přípravku do tří sad krychlí malty c)

Objemová hmotnost malty c) zaokrouhlená na celé jednotky je pro jednotlivé sady krychlí uvedena v grafu č. 44. Sada vzorků injektovaných přípravkem 1) měla objemovou hmotnost v průměru 1725 kg/m^3 , hodnota mediánu činila 1727 kg/m^3 . U referenčních vzorků vychází hodnota průměru 1716 kg/m^3 , hodnota mediánu zde činila 1715 kg/m^3 . Sada vzorků injektovaných přípravkem 2) měla průměrnou objemovou hmotnost 1722 kg/m^3 , hodnota mediánu činila 1724 kg/m^3 .



Graf č. 44 Střední hodnoty objemové hmotnosti tří sad krychlí malty c)

10.5.4 Shrnutí výsledků experimentu

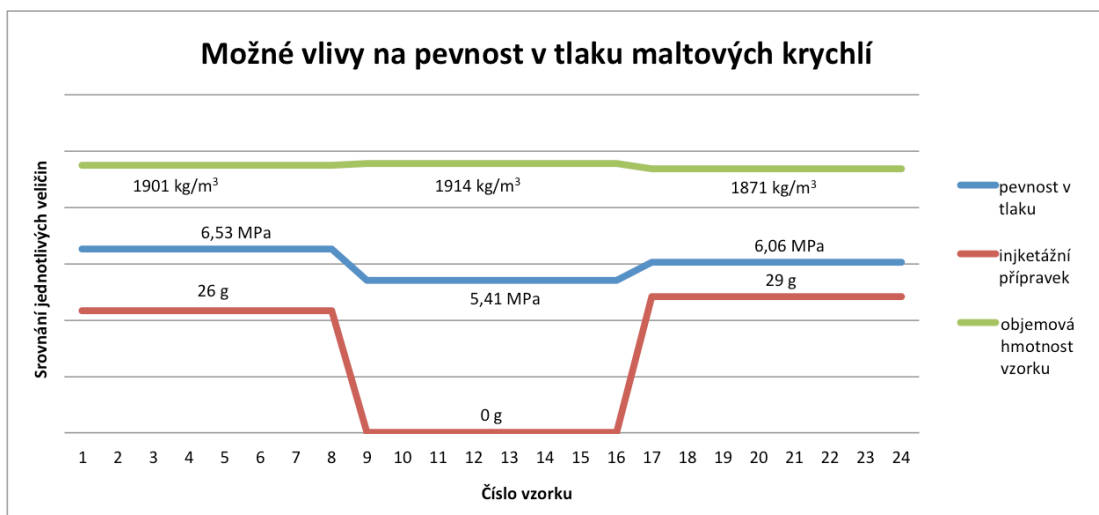
Experiment č.4 ukázal, že technologií, která se běžně v praxi užívá a byla pro experiment považována za vhodnou, nejsme schopni protlačit do zkušební vzorku maltové krychle s daným počátečním stupněm zavlhčení tolik chemického přípravku, jako jsme původně předpokládali.

Experimentálním měřením bylo zjištěno, že měl vzorek větší objemovou hmotnost, tím méně přípravku se nám podařilo do struktury materiálu uvedeným tlakem injektovat.

K injektáži tří druhů malt byly použity dva chemické přípravky. Po vyhodnocení měření je zřejmé, že až na maltu b), která vykazuje největší objemovou hmotnost ze zkoušených malt, bylo množství přípravku vpraveného do materiálu větší u přípravku 2). Toto zjištění platilo pro maltu a) i c). U malty b) bylo množství obou chemických přípravků aplikovaných do struktury vzorků maltové krychle přibližně stejné. Největší rozdíl byl zaznamenán u malty c), do které bylo obou přípravku vpraveno nejvíce.

Co se týče technologie provádění injektáže, z praktických zkušeností bych zmínil, že námi zvolená metoda injektování se provádí v praxi na stěnách s minimální tloušťkou 300 mm. Vzorky maltové krychle o hraně 150 mm, jsou tedy celkem malé v porovnání s nejčastěji sanovanými skutečnými konstrukcemi. Vliv rozdílu objemu hmoty, do které měl být prostředek implantován se při experimentu promítl právě do množství přípravku, které jsme do materiálu protlačili. Pro aplikaci dostatečného množství chemické clony tlakovou injektáží do námi zvoleného vzorku daných rozměrů je tedy vhodné použít doplňková opatření při realizaci. Jako největší problém se projevilo nedostatečné utěsnění místa osazení pakru. V běžných podmínkách, kdy se injektuje větší hmota konstrukce, není vyvíjen takový tlak v místě vývrtnu. Proto by bylo vhodné, při dalším obdobném experimentu a volbě použít plastových pakrů, zatmelit hmoždinkové tělo pakru po obvodu silikonem již při osazení do vzorku, aby bylo při tlakové aplikaci přípravku zamezeno jeho vytékání kolem pakru vývrtem ven. Případně lze doporučit navrtat vzorky vrtem o průměru 14 mm (oproti použitým 12 mm) a zvolit kovové pakry s těsnící gumičkou ve své spodní části a volnou kuličkou pro snazší aplikaci přípravku do vzorku. Tyto pakry byly použity u malty c), u které vlivem menší objemové hmotnosti a soudržnosti v průběhu přípravných prací došlo k vydrolení v místě vývrtnu a bylo třeba osadit pakry s gumičkou pro utěsnění. Chybně byly ovšem zvoleny pakry s pevnou kuličkou, které také znemožnily protlačení dostatečného množství přípravku. Dále bych zmínil doporučení zvolit menší injektážní tlak, aby nedošlo k porušení (prasknutí) vzorku tlakem injektážního čerpadla.

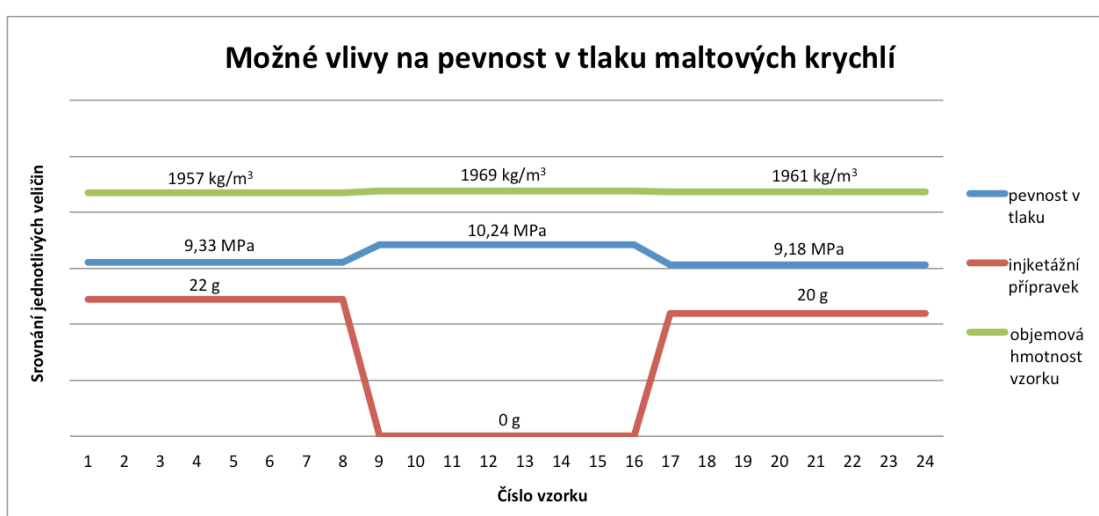
Výsledek druhé části experimentu, kdy byl porovnáván vliv chemického přípravku a jeho injektovaného množství do vzorku na pevnost malty v tlaku, je následující. Pro maltu a), kdy se nám podařilo aplikovat do první sady vzorků 26 gramů přípravku 1) a 29 gramů přípravku 2) do třetí sady vzorků, (druhá sada sloužila jako referenční, obě uvedené hodnoty označují medián), je průběh středních hodnot pevnosti v tlaku u jednotlivých sad malty zobrazen v grafu č. 45. Je zde také zobrazena střední hodnota objemové hmotnosti pro každou ze tří sad měřených vzorků.



Graf č. 45 Střední hodnoty objemové hmotnosti, pevnosti v tlaku a množství injektažního přípravku u tří sad krychlí malty a)

Z grafu č. 45 je patrné, že jak chemický přípravek 1), tak i chemický přípravek 2) ovlivnil pevnost materiálu v tlaku stejným způsobem. I když bylo obou přípravků aplikováno poměrně malé množství, z experimentálních měření vyplývá, že vliv chemického přípravku na výslednou pevnost maltové krychle v tlaku je kladný. U obou injektovaných sad se medián pevnosti v tlaku zvýšil. U přípravku 1) o 1,12 MPa oproti referenční sadě, u přípravku 2) o 0,65 MPa oproti vzorkům neinjektovaným. Vliv objemové hmotnosti na výslednou pevnost materiálu v tlaku se ukázal jako zanedbatelný.

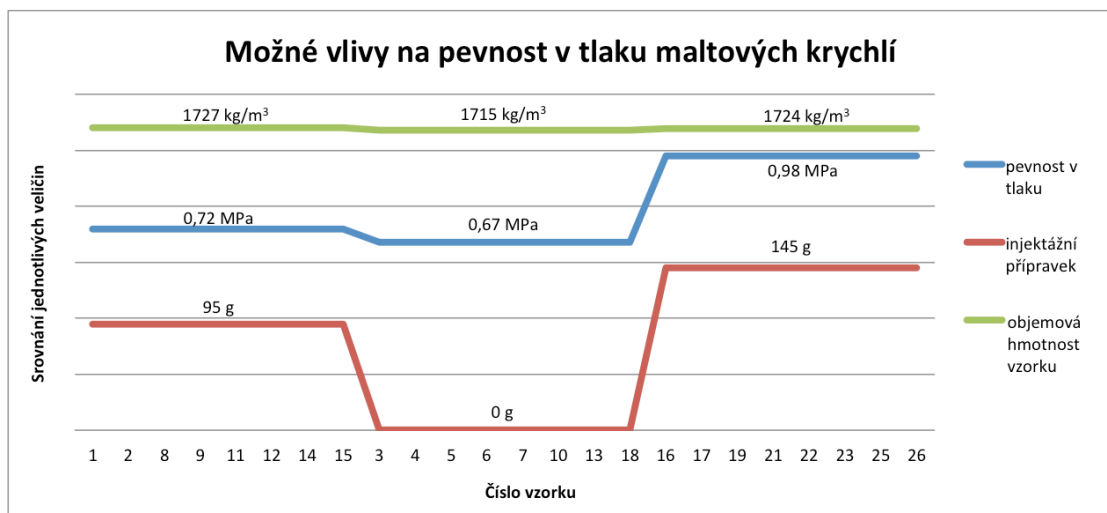
Do malty b) bylo aplikováno nejmenší množství chemického přípravku. Do první sady 22 gramů přípravku 1), do třetí sady 20 gramů přípravku 2), (obě uvedené hodnoty jsou hodnoty mediánu). Druhá sada vzorků posloužila opět jako referenční. Střední hodnoty srovnávaných veličin jsou uvedeny v grafu č. 46.



Graf č. 46 Střední hodnoty objemové hmotnosti, pevnosti v tlaku a množství injektažního přípravku u tří sad krychlí malty b)

Z grafu č. 46 je patrné, že jak chemický přípravek 1), tak i chemický přípravek 2) ovlivnil pevnost materiálu v tlaku stejným způsobem. I když bylo obou přípravků aplikováno opět poměrně malé množství, z experimentálních měření vyplývá, že vliv chemického přípravku na výslednou pevnost krychle malty b) v tlaku je záporný. Ve srovnání s maltou a) bylo u obou injektovaných sad zjištěno snížení pevnosti v tlaku. U přípravku 1) o 0,91 MPa oproti referenční sadě, u přípravku 2) dokonce o 1,06 MPa oproti vzorkům neinjektovaným. Vliv objemové hmotnosti na výslednou pevnost materiálu v tlaku se ukázal jako zanedbatelný.

Do malty c) bylo aplikováno největší množství chemického přípravku. Do první sady 95 gramů přípravku 1), do třetí sady 145 gramů přípravku 2), (obě uvedené hodnoty jsou hodnoty mediánu). Druhá sada vzorků posloužila jako referenční. Střední hodnoty tří srovnávaných veličin jsou uvedeny v grafu č. 47.



Graf č. 47 Střední hodnoty objemové hmotnosti, pevnosti v tlaku a množství injektážního přípravku u tří sad krychlí malty c)

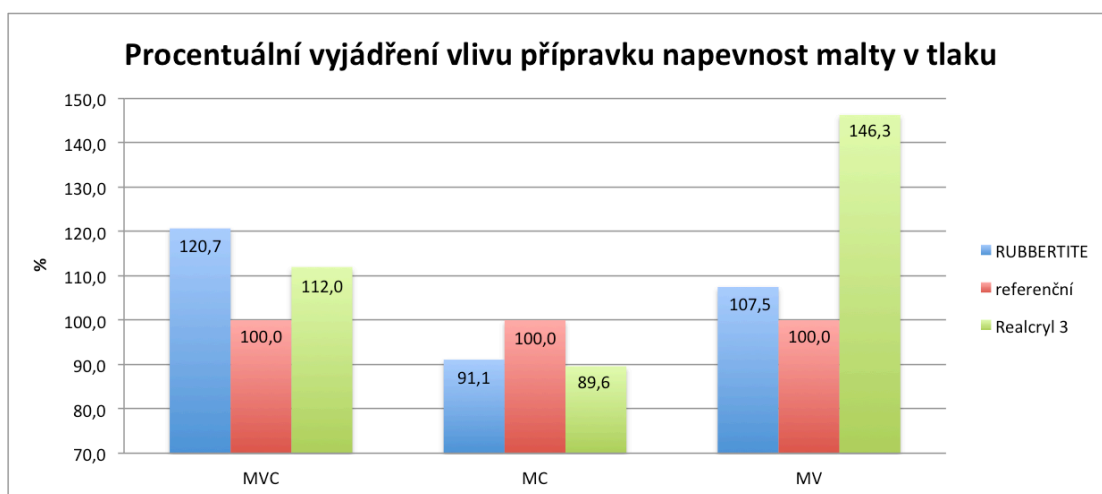
Z grafu č. 47 je patrné, že také u malty c) ovlivnil chemický přípravek 1) i 2) pevnost materiálu v tlaku stejným způsobem. Do malty c) bylo obou přípravků aplikováno o dost větší množství v porovnání s maltou a) a b). Z experimentálních měření vyplývá, že vliv chemického přípravku na výslednou pevnost krychle malty c) v tlaku je kladný, stejně jako u malty a). Zvýšení pevnosti bylo zaznamenáno u přípravku 1) o 0,05 MPa oproti referenční sadě, u přípravku 2) o 0,31 MPa oproti vzorkům neinjektovaným. Vliv objemové hmotnosti na výslednou pevnost materiálu v tlaku se ukázal opět jako zanedbatelný.

Oba chemické přípravky ovlivnily výsledné pevnosti v tlaku malt stejným způsobem. U malty a) a c) došlo k nárůstu pevnosti, u malty b) k poklesu (tab. č. 49 a graf č. 48).

sada vzorků	MVC		MC		MV	
	pevnost v tlaku (%)	hmotnost přípravku (g)	pevnost v tlaku (%)	hmotnost přípravku (g)	pevnost v tlaku (%)	hmotnost přípravku (g)
RUBBERTITE	120,7	26	91,1	22	107,5	95
referenční	100,0	0	100,0	0	100,0	0
Realcryn 3	112,0	29	89,6	20	146,3	145

Tab. č. 49 Procentuální nárůst či pokles pevnosti v tlaku injektovaných sad vzorků malty oproti vzorkům referenčním v porovnání s množstvím aplikovaného přípravku

U malty b), která měla největší počáteční pevnost v tlaku ze všech tří druhů zkoušených malt, došlo po injektování první sady přípravkem 1) k poklesu pevnosti o 8,9 %, po injektování třetí sady přípravkem 2) k poklesu o 10,4 % oproti druhé sadě vzorků referenčních. U malty a) došlo po injektování první sady přípravkem 1) k nárůstu pevnosti o 20,7 %, po injektování třetí sady vzorků přípravkem 2) k nárůstu o 12,0 % oproti vzorkům referenčním. U malty c) byl zaznamenán nárůst pevnosti první sady po injektování přípravkem 1) o 7,5 %, nárůst u třetí sady po injektování přípravkem 2) činil dokonce 46,3 % oproti referenční druhé sadě vzorků. Tedy s odkazem na výsledky měření bych mohl předpokládat, že pevnost v tlaku vytvrzeného přípravku 1) a 2) se nachází někde mezi pevností v tlaku malty b) a pevností v tlaku malt a) a c).



Graf č. 48 Procentuální vyjádření nárůstu či poklesu pevnosti v tlaku jednotlivých injektovaných sad malt oproti referenčním neinjektovaným vzorkům

Na maltu a) a b) měl lepší vliv přípravek 1) – způsobil větší nárůst pevnosti malty a), respektive menší ztrátu pevnosti malty b). Na maltu c) měl zase výrazně lepší vliv přípravek 2).

11 ZÁVĚRY DISERTAČNÍ PRÁCE

Pro vyhodnocení experimentu č.2 a č.4 byly voleny hodnoty průměru a zejména mediánu jednotlivých měřených veličin. V experimentu č.1 a č.3 jsem pro velký počet měření zvolil zjednodušení a použil k vyhodnocení pouze průměrné hodnoty, které byly přibližně srovnatelné se středními hodnotami veličin z jednotlivých experimentálních měření.

Mezi cíle disertační práce sem si kladl následující:

- Znázornit nárůst hmotnostní vlhkosti netypických zkušebních vzorků malt v závislosti na čase vlhčení
- Ověřit vliv vlhkosti a chemického přípravku na termo-fyzikální vlastnosti malt
- Ověřit vliv injektáže na prostup vlhkosti
- Vyhodnotit jaké množství přípravku jsme schopni aplikovat při daném stupni zavlhčení a jeho účinek na pevnost v tlaku

11.1 Vyhodnocení dílčích cílů

Vyhodnocením dílčích cílů disertační práce se domnívám, že výše uvedené body rozdělené do čtyř základních experimentů byly splněny.

Na základě provedených experimentů a z nich vyhodnocených výsledků jsem dospěl k následujícím závěrům:

11.1.1 Znázornění nárůstu hmotnostní vlhkosti netypických zkušebních vzorků v závislosti na čase vlhčení

Výsledky získané měřením na maltových krychlích ukazují, že průběh nárůstu hmotnostní vlhkosti byl u všech tří druhů malt v závislosti na čase vlhčení přibližně srovnatelný.

Obecně lze konstatovat, že u všech malt byl nejstrmější nárůst hmotnostní vlhkosti zaznamenán v prvních šesti hodinách. Čím větší objemovou hmotnost měly zkušební vzorky, tím pozvolnější nárůst hmotnosti u nich byl po úvodních šesti hodinách pozorován, rozdíly však byly pouze v řádech gramů.

Hlavním cílem experimentu bylo zjistit maximální hmotnostní vlhkost jednotlivých maltových krychlí k výpočtu daného procenta zavlhčení pro pozdější injektáž. Vzájemná závislost mezi objemovou hmotností malty a rychlostí, s jakou byly jednotlivé vzorky schopny navlhat byla potvrzena i na referenčních vzorcích ponořených po dobu ještě dalších sedmi dní. I když byly hmotnostní přírůstky za tuto dobu významnější než při závěrečných měřeních samotného experimentu, lze konstatovat, že výpočet procenta zavlhčení krychlí k injektáži neovlivní a vejde se do tolerance směrnice WTA.

11.1.2 Ověření vlivu vlhkosti a chemického přípravku na termofyzikální vlastnosti malt

Experimentálním měřením byl potvrzen předpoklad, že při zvyšujícím se nasycením struktury materiálu vodou se zvyšují také hodnoty součinitele tepelné vodivosti λ .

Hodnoty součinitele tepelné vodivosti λ byly u všech tří druhů malt adekvátní k jejich objemovým hmotnostem. Nejvyšší nárůst součinitele tepelné vodivosti λ v závislosti na zavlhčení byl pozorován u malty c), která měla v ustálených podmínkách součinitel tepelné vodivosti λ ze všech malt nejlepší. Závěrem vyplynulo, že čím větší byla objemová hmotnost zkoušeného materiálu, tím menší mělo zavlhčení vzorku vliv na rozdíly měřených hodnot součinitele tepelné vodivosti λ .

Chemické přípravky injektované do struktury zkušebních vzorků ovlivnily hodnoty součinitele tepelné vodivosti λ u malty a) a c) negativním způsobem. Oproti referenčním neinjektovaným vzorkům zde po aplikaci chemického přípravku došlo ke zvýšení součinitele tepelné vodivosti λ . U malty b) došlo aplikací chemického přípravku k mírnému snížení mediánu součinitele tepelné vodivosti λ .

Ačkoli měřené hodnoty nebyly nijak závratné, tento výsledek je do jisté míry překvapivý, neboť značí, že vytvrzený gel či pryskyřice má lepší (nižší) hodnoty součinitele tepelné vodivosti λ než cementová malta.

11.1.3 Ověření vlivu injektáže na prostup vlhkosti

Závěrem, který je z tohoto experimentu jednoznačný je, že aplikace chemického přípravku na bázi akrylátu či metakrylátu zvýší schopnost materiálu přijímat do své struktury vodu. Pokud by se nám při injektování krychle podařilo vytvořit kontinuální horizontální clonu, mohli bychom zjistit, zda po vyplnění pórů hydrogelem či pryskyřicí dojde k výraznějšímu poklesu kapilárně navzlínané vody nad takto vytvořenou bariérou. Vzhledem k tomu, že přípravek byl aplikován pouze do středu vzorku, nemohl zabránit kapilárnímu vzlínání vody po stranách krychle až nad jeho úroveň.

Volbou vzorků a technologie provádění tedy nebylo možné vystavět do maltové krychle neprostupnou horizontální clonu, která by zamezila pronikání vlhkosti a umožnila nám sledování vlivu chemického přípravku na její prostup. Nicméně výsledek experimentu poskytuje srovnání dvou u nás běžně používaných chemických přípravků a jejich schopnosti na sebe vázat vodu. Zajímavým výsledkem je dosažení vyšší výsledné hmotnosti u maltové směsi a) a c) v průběhu druhého vlhčení, než bylo dosaženo při prvním vlhčení, kdy byly vzorky zcela ponořeny.

11.1.4 Vyhodnocení množství přípravku aplikovaného při daném stupni zavlhčení a účinek injektáže na pevnost v tlaku

Při zvoleném počátečním stupni zavlhčení vzorků, které simuluje reálnou sanovanou konstrukci, bylo vlivem volby technologie a rozměru zkušební vzorku, aplikováno výsledné množství jednotlivých přípravků menší, než bylo původně předpokládáno. Zdůvodnění okolností, které měly vliv na tuto skutečnost je uvedeno v kapitole 10.5.4. Nejvíce přípravku 1) i 2) se nám podařilo injektovat do malty c), která ze všech tří vykazovala nejmenší objemovou hmotnost.

I přes relativně malé množství chemického přípravku vpraveného do zkušebních vzorků maltové krychle, byly při navazujícím experimentálním měření, zjišťujícím vliv přípravků na jednotlivé sady vzorků, prokázány tyto skutečnosti:

- sady vzorků malty a) a c) injektované jedním či druhým přípravkem vykazovaly navýšení pevnosti v tlaku oproti referenčním neinjektovaným sadám vzorků.
- u malty b), (malty s největší objemovou hmotností), došlo po aplikaci přípravků ke snížení pevnosti v tlaku, ve srovnání se vzorky neinjektovanými.

Závěrem můžu konstatovat, že oba přípravky měly shodně kladný vliv na výslednou pevnost v tlaku u malty a) a c) a negativní vliv na pevnost v tlaku u malty b), malty s nejvyšší objemovou hmotností. Výraznějším nárůstem pevnosti v tlaku ovlivnil přípravek 1) maltu a) a přípravek 2) maltu c), u malty b) bylo snížení pevnosti u obou přípravků přibližně srovnatelné.

11.2 Možnosti dalšího výzkumu

Při další experimentální činnosti bych navázal na poznatky zjištěné zejména při hledání vhodné technologie injektáže. Hlavně v první fázi provádění, jsme získali cenné zkušenosti pro pokračování v oblasti zkoušení chemických přípravků za použití metody abstrakce, tedy na laboratorních vzorcích.

Pro aplikaci dostatečného množství chemické clony tlakovou injektáží, do námi zvoleného vzorku daných rozměrů, je vhodné použít doplňková opatření při realizaci. Jako největší problém se projevilo nedostatečné utěsnění místa osazení pakru. V běžných podmínkách, kdy se injektuje větší hmota konstrukce, není vyvíjen takový tlak v místě vývrtnu. Při volbě plastových pakrů bych doporučil, zatmelit hmoždinkové tělo pakru po obvodu silikonem již při osazení do vzorku, aby bylo při tlakové aplikaci přípravku zamezeno jeho vytékání netěsnostmi vývrtem. Případně bych zvážil navrtání vzorků vrtem o průměru 14 mm (oproti použitým 12 mm) a zvolil kovové pakry s těsnící gumičkou ve své spodní části a volnou kuličkou pro snazší aplikaci přípravku do vzorku.

Většinu provedených dílčích měření ubral na průkaznosti fakt, že se nám nepodařilo do vzorku injektovat větší množství chemického přípravku. Pokud by se mi podařilo tento nedostatek napravit, doplnil bych prováděná měření o ověření překvapivých výsledků u malty cementové. Zejména u vlivu chemické clony na součinitel tepelné vodivosti a pevnost v tlaku. U stejné malty bych volil delší čas druhého navlhání pro ověření, zda se s hodnotami hmotnostní vlhkosti také dostaneme nad hodnoty zjištěné u experimentu č.1. Dále bych provedl sadu vzorků z malty, použité i na reálné konstrukci, kde bych experimentální měření na modelech doplnil výstupy měření na reálné konstrukci „in situ“.

Poznatky získané při provádění jednotlivých experimentů by měly primárně sloužit k výzkumu sanace novodobých zdících tvarovek typu THERM, kde je uvažováno s předpokladem využití ložné maltové spáry jako horizontální hydroizolační clony.

Z důvodu omezeného množství zkušebních vzorků a času, jsem ověřoval vliv injektáže na vybrané mechanické a fyzikální vlastnosti malt pouze u dvou přípravků. V návaznosti na provedená experimentální měření bych se zaměřil na zkoušení dalších u nás běžně používaných přípravků chemické clony pro doplnění a rozšíření získaných poznatků. Je zřejmé, že další měření přesahují vymezený rozsah této disertační práce, avšak otevírají možnost výzkumu dalším autorům.

LITERATURA

- [1] ALEXA, T. *Odstraňování vlhkosti ve spojovací maltě mikrovlnným ohřevem*. Disertační práce, VUT FAST, Brno 2010.
- [2] TOMÍČEK, O. *Sanace vlhkého zdiva, chemická metoda – působení, účinnost, vlastnosti*. Disertační práce, VUT FAST, Brno 2007.
- [3] ŠUHAJDA, K. *Sanace vlhkého zdiva – Využití tyčové antény při mikrovlnném vysoušení zdiva*. Disertační práce, VUT FAST, Brno 2006
- [4] WTA směrnice 4-4-04D. Injektáž zdiva proti kapilární vlhkosti (překlad).
- [5] kolektiv autorů. *Injektáže betonu a zdiva*. Sborník přednášek ze semináře, 1. vyd., Brno 2006, WTA CZ
- [6] Technický list RUBBERTITE
- [7] Technický list Realcryl 3
- [8] FÁRA, P. *Sanace vlhkého zdiva*, 1. vydání, Praha 2003, STOP, ISBN 80-86657-02-7
- [9] LEBEDA, J. a kol. *Sanace zavlhělého zdiva budov*. 1. vydání, Praha 1988, SNTL, ISBN # 7246 : 26.00
- [10] MRLÍK, F. *Vlhkostné problémy stavebních materiálů a konstrukcí*. 1. vydání, Bratislava 1985, Alfa
- [11] BALÍK, M., a kol. *Odvhlčování staveb*, 1. vydání, Havlíčkův Brod 2005, Grada Publishing, ISBN 80-247-0765-9
- [12] FICKER, T. *Příručka stavební tepelné techniky, akustiky a denního osvětlení*, 1. vydání, Brno 2004, CERM, ISBN 80-214-2670-5
- [13] ČSN P 73 0610 – *Hydroizolace staveb – Sanace vlhkého zdiva – Základní ustanovení*. Praha: Český normalizační institut, 2000.
- [14] ČSN 73 0540-1 až 4 – *Tepelná ochrana budov – Část 1 až 4*. Praha: Český normalizační institut, 2005.

- [15] ČSN 72 2605 – *Skúšanie tehliarskych výrobkov – Stanovenie mechanických vlastností*. 1979
- [16] ČSN EN 196-1 – *Metody zkoušení cementu – Část 1*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2010.
- [17] ČSN EN 1015-3 – *Zkušební metody malt pro zdivo – Část 3: Stanovení konzistence čerstvé malty*. Praha: Český normalizační institut, 2000.
- [18] ČSN EN 1015-10 – *Zkušební metody malt pro zdivo – Část 10: Stanovení objemové hmotnosti suché zatvrdlé malty*. Praha: Český normalizační institut, 2000.
- [19] ČSN EN 1015-11 – *Zkušební metody malt pro zdivo – Část 11: Stanovení pevnosti zatvrdlých malt v tahu za ohybu a v tlaku*. Praha: Český normalizační institut, 2000.
- [20] ČSN EN 1062-3 – *Nátěrové hmoty – Povlakové materiály a povlakové systémy pro vnější zdivo a beton – Část 3: Stanovení a posuzování rychlosti pronikání vody v kapalné fázi*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2008.
- [21] <http://stavba.tzb-info.cz/prostup-tepla-stavebni-konstrukci/prostup-tepla/soucinitel-tepelne-vodivosti/tepelný-odpor-r/odpor-pri-prestupu-tepla/soucinitel-prostupu-tepla>
- [22] <http://copernicus.jika.name/zakladni-informace-a-princip-dpz>
- [23] <http://homel.vsb.cz/~khe0007/opory/opory.php?stranka=malty>
- [24] http://www.techmagazin.cz/ke_stazeni/T082011M.pdf
- [25] ČSN EN 12390-3 – *Zkoušení ztvrdlého betonu - Část 3: Pevnost v tlaku zkušebních těles*. Praha: Český normalizační institut, 2002.
- [26] <http://pockmat.hopto.org/file/VUT%20FAST/1.ročn%C3%ADk%20VUT%20FAST/Stavebn%C3%AD%20látky/pred/prednasky2.pdf>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ

symbol	jednotka	popis
w_m	%	hmotnostní vlhkost
m_v	kg	hmotnost vlhkého materiálu
m_s	kg	hmotnost suchého materiálu
w_V	%	objemová vlhkost
V_v	m^3	objem vlhkosti v materiálu
V_s	m^3	objem materiálu
ρ_s	$kg.m^{-3}$	objemová hmotnost suché látky
ρ_w	$kg.m^{-3}$	objemová hmotnost vody
NV	%	hmotnostní nasákavost
m_d	kg	hm. materiálu, vysušeného na ustálenou hm.
W	$kg.m^{-2}$	nasákavost
w	$kg.m^{-2}.h^{-0,5}$	koeficient nasákavosti / absorpční koeficient
t	h	doba kontaktu povrchu s kapalnou vodou
m_{H_2O}	kg	množství přijaté vlhkosti
A	m^2	plocha
h_{H_2O}	m	hloubka proniknutí vody
B	$m.h^{-1/2}$	koeficient propustnosti / penetrační koeficient
p	%	pórovitost
V_p	m^3	objem pórů
V	m^3	objem tělesa
H_v	-	stupeň hydrofobizace
$NV_{v,s}$	%	nasákavost varem výchozí suroviny
$NV_{v,h}$	%	nasákavost varem hydrofobizovaného vzorku
λ	$W.m^{-1}.K^{-1}$	součinitel tepelné vodivosti
q	W/m^2	hustota tepelného toku
grad θ	K/m	gradient teploty
λ_k	$W.m^{-1}.K^{-1}$	charakteristická hodnota souč. tepelné vodivosti
λ_D	$W.m^{-1}.K^{-1}$	deklarovaná hodnota souč. tepelné vodivosti
Z_u	-	vlhkostní součinitel materiálu
w_{mk}	%	charakteristická vlhkost materiálu ($u_{23/80}$)
R	$m^2.K.W^{-1}$	tepelný odpor
d	m	tloušťka vrstvy v konstrukci
R_j	$m^2.K.W^{-1}$	tepelný odpor j-té vrstvy konstrukce
R_T	$m^2.K.W^{-1}$	odpor konstrukce při prostupu tepla
R_{si}	$m^2.K.W^{-1}$	odpor při přestupu tepla na vnitřní straně kce.
R_{se}	$m^2.K.W^{-1}$	odpor při přestupu tepla na vnější straně kce.
h_i	$W.m^{-2}.K^{-1}$	součinitel přestupu tepla na vnitřní straně kce.
h_e	$W.m^{-2}.K^{-1}$	součinitel přestupu tepla na vnější straně kce.

θ_{ai}	°C	teplota vnitřního vzduchu
θ_{si}	°C	vnitřní povrchová teplota konstrukce
θ_{ae}	°C	teplota venkovního vzduchu
θ_{se}	°C	venkovní povrchová teplota konstrukce
U	$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$	součinitel prostupu tepla
U_c	$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$	celkový součinitel prostupu tepla
$\sum \Delta U$	$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$	celkové zvýšení součinitele prostupu tepla
h	m	výška vylinuté vody
v	$m \cdot s^{-1}$	rychlost vzlínání
δ	s	součinitel difúze vodní páry
ϑ	-	krajní úhel
r	m	poloměr kapiláry
ρ_m	$kg \cdot m^{-3}$	měrná hmotnost kapaliny
σ	$kg \cdot m^{-1}$	povrchové napětí kapaliny
η	$kg \cdot m^{-2} \cdot s$	dynamická viskozita kapaliny
d_μ	m	difúzní odpor konstrukce
μ	-	faktor difuzního odporu
$d_{\mu,celk}$	m	celkový difúzní odpor stavební konstrukce
φ	%	relativní vlhkost vzduchu
$P_p "$	Pa	částečný tlak vodní páry
$P_p "$	Pa	částečný tlak nasycené vodní páry
λ	m	délka vlny
c_λ	$m \cdot s^{-1}$	rychlost šíření vlny
f	Hz	frekvence
P	$W \cdot m^{-1}$	energie absorbovaná v jednotce objemu
E	$V \cdot m^{-1}$	intenzita elektrického pole uvnitř materiálu
ε'	$F \cdot m^{-1}$	permitivita
ε''	-	dielektrický ztrátový faktor materiálu
$m_{s,sat}$	kg	hmotnost tělesa malty nasáklého vodou
$m_{s,dry}$	kg	hmotnost tělesa malty vysušeného v sušárně
R_f	N/mm^2	pevnost v tahu za ohybu
F	N	maximální zatížení na zkušební těleso
l	mm	vzdálenost mezi osami podpěrných válců
b	mm	šířka zkušební tělesa
h	mm	výška zkušební tělesa
R_m	N/mm^2	pevnost v tlaku