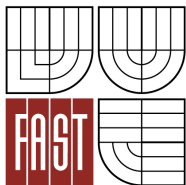


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



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

TEZE DISERTAČNÍ PRÁCE
DOCTORAL THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Ing. PAVEL FRIDRICH

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Doc. Ing. KAREL TUZA, CSc.

BRNO 2015

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.

Disertační práce je k dispozici:

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební
Ústav pozemního stavitelství
Veveří 95, 602 00 Brno

2015 © Pavel Fridrich

OBSAH

1	ÚVOD.....	4
2	VODA A VLASTNOSTI MATERIÁLŮ.....	5
2.1	Voda a její význam.....	5
2.2	Fyzikální vlastnosti materiálů	5
2.3	Tepelně-technické vlastnosti materiálů	6
2.4	Mechanické vlastnosti materiálů	6
2.5	Pohyb vlhkosti pórovitými materiály	7
3	SANACE VLHKÉHO ZDIVA	8
3.1	Metody sanace.....	8
3.2	Význam vlhkostního průzkumu	8
4	CHEMICKÁ METODA.....	8
4.1	Geometrie vrtů.....	8
4.2	Rozdělení chemických metod	9
4.3	Obecný postup pro injektáž.....	9
5	ZKOUŠENÍ STAVEBNÍCH MATERIÁLŮ	10
6	CÍLE DISERTAČNÍ PRÁCE.....	10
6.1	Popis cílů	10
7	ZVOLENÉ METODY ZPRACOVÁNÍ DISERTAČNÍ PRÁCE	11
7.1	Teoretické metody	11
7.2	Experimentální metody	11
8	PŘÍPRAVNÉ PRÁCE PŘED JEDNOTLIVÝMI EXPERIMENTY	12
9	VÝSLEDKY DISERTAČNÍ PRÁCE	13
9.1	Volba chemických přípravků pro experimenty	13
9.2	EXPERIMENT č. 1	13
9.3	EXPERIMENT č. 2	17
9.4	EXPERIMENT č. 3	23
9.5	EXPERIMENT č. 4.....	29
10	ZÁVĚRY DISERTAČNÍ PRÁCE.....	35
10.1	Vyhodnocení dílčích cílů	35
10.2	Možnosti dalšího výzkumu	36
11	POUŽITÁ LITERATURA	37
12	ABSTRACT.....	37
13	CURRICULUM VITAE.....	38

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 životnosti. 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 zdíva 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 tepelné 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 zdíva dostává nejen poruchami, ale velkým množstvím dalších vlivů. Je proto nutné řešit sanaci vlhkého zdíva 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, poškozuje a i nevratně ničí. [1]

2.2 Fyzikální vlastnosti materiálů

Vlhkost - zásadním způsobem ovlivňuje fyzikální a mechanické vlastnosti porézních materiálů a má pak přímý dopad na samotné vlastnosti stavebních látek a následně všech konstrukcí. Z mechanických vlastností má vliv 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).

Vlhkost stavební látky je dána množstvím vody obsažené v pórovitém prostředí látky. Vyjadřuje se hmotnostním nebo objemovým poměrem vody k pevné fázi látky. Výpočet hmotnostní vlhkosti w_m je definován: [3]

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

kde m_v ...hmotnost vlhkého materiálu [kg],

m_s ... hmotnost suchého materiálu [kg].

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

Nasákavost - je poměr hmotnosti vody v pórovité stavební látce k hmotnosti vysušené stavební látky. Podle nasákavosti můžeme určit celkové množství tzv. otevřených pórů a mrazuvzdornost stavební látky.

Pórovitost - vyjadřuje celkové množství volného prostoru látky, který není vyplněný pevnými částicemi. Malty lze charakterizovat jako velmi porézní látku.

2.3 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 ($\text{m}^2\text{K/W}$) a součinitel prostupu tepla U ($\text{W/m}^2\text{K}$). 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, směr tepelného toku či polohu konstrukce. V České republice řeší výpočet a hodnocení tepelně technických vlastností materiálu ČSN 73 0540 Tepelná ochrana budov – Část 1 až 4. [5, 8]

Součinitel tepelné vodivosti λ - je schopnost stejnorodého, isotropního materiálu při dané střední teplotě vést teplo. Součinitel tepelné vodivosti je přímo závislý na více faktorech, např. na vlhkosti, objemové hmotnosti, střední teplotě či tloušťce materiálu. Je dán vztahem:

$$\lambda = \frac{\vec{q}}{-\text{grad}\theta} \quad [\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}] \quad (2)$$

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

2.4 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. [9]

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, tahu, ohybu, smyku, kroucení či v kombinaci jednotlivých silových účinků.

Pružnost - je schopnost materiálu odolávat působení vnějších mechanických, teplotních nebo vlhkostních namáhání. Při těchto namáháních vznikají deformace, které mohou být pružné nebo trvalé. [9]

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

2.5 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 vztlínání vody - 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 vztlínat nepřímě závisí na průměru kapiláry. Čím je průměr kapilárních pórů menší, tím výše voda v materiálu pronikne. [3]

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 2,78.10-10 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]

Kondenzace vodní páry - vzduch je 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. Obsah vody ve vzduchu vyjadřujeme buď relativní vlhkostí (%) nebo absolutní vlhkostí ($\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$). [2]

Kapilární kondenzace - k kapilární kondenzaci dochází u pórů, jejichž poloměr je větší než $0,5 \cdot 10^{-6}$ mm, protože poloměr molekuly vody je 10^{-7} mm. [3]

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. Sorpce je společný název pro adsorpci a absorpci, často k tomuto procesu přistupuje i chemisorpce. Adsorpce je způsobena van der Waalsovými silami, kterými se přitahují molekuly plynů a kapalin. [2]

Další mechanismy transportu vody zdímem - tvar, polarita a spád elektrických polí ve vlhkém zdívu úzce souvisí se směrem, rychlostí a množstvím vlhkosti pohybující se zdímem. Elektrická pole se mohou vytvářet ve zdívu v důsledku rozdílné pohyblivosti iontů rozpuštěných solí ve vztlínající vodě, které se koncentrují při hranici odpařování. [3]

3 SANACE VLHKÉHO ZDIVA

3.1 Metody sanace

Metody sanace vlhkého zdiva jsou podle normy ČSN P 73 0610 rozděleny na přímé a nepřímé, kdy obě dvě kategorie můžeme rozšířit ještě o metody doplňkové. Dalšími předpisy, kterými lze hodnotit sanace vlhkého zdiva, jsou směrnice Vědecko-technické společnosti pro udržování stavebních objektů a památkovou péči (WTA). Příčinou zvýšené vlhkosti v konstrukcích dochází ke znehodnocení stavebního díla. Je tedy nasnadě hledání nápravy tohoto problému. [2]

3.2 Význam vlhkostního průzkumu

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. Průzkum slouží jako technický podklad pro návrh komplexního sanačního řešení řešeného objektu. Vstupní údaje musí obsahovat zjištění všech možných příčin vlhkostní poruchy konstrukce. [1]

4 CHEMICKÁ METODA

Chemická metoda je souhrnný název pro infuzní metodu a metodu chemických injektáží. Její podstatou je vytvoření dodatečné clony (vrstvy) do předem stanoveného místa vlhké konstrukce, kdy je používán chemický prostředek. Clona omezuje další migraci zejména kapalně 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, průměr a osovou vzdálenost vrtů, jejich sklon či výškovou úroveň dodatečné bariéry. [2]

4.2 Rozdělení chemických metod

Dělení mohou být různá a některá nabízejí vzájemné souvislosti:

Rozdělení podle způsobu aplikace - 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 souhrnně je popisujeme jako chemickou metodu či jednoduše injektáž. [2, 4]

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 báze určuje chemické složení jednotlivých přípravků. [2]

Rozdělení podle principu vnikání - chemický přípravek se ve většině případů aplikuje do vlhkého zdiva. Množství vody může být v jednotlivých částech sanované konstrukce rozdílné. Požadavek nahrazení pórové vody lze v zásadě uskutečnit vytlačení pórové vody mimo injektovanou oblast nebo využitím vody v pórech obsažené pro chemickou reakci s přípravkem. Stupněm počátečního zavlhčení zdiva před zahájením aplikace injektážního přípravku se zabývá směrnice WTA 4-4-04D (Injektáž zdiva proti kapilární vlhkosti). Průkaz vhodnosti může být vydán pro podmínky různé intenzity vlhkostního namáhání zdiva (stupeň vyplnění struktury materiálu vodou: 60%, 80%, $>95\% \pm 5\%$), takže kromě aplikační vhodnosti je možno posuzovat i jejich účinnost. [2, 4]

Rozdělení podle principu působení - podle působení přípravku ve struktuře materiálu můžeme chemické metody rozdělit na utěsňující, zužující, odpuzující vodu (hydrofobizační) nebo kombinující (zúžení kapilár a hydrofobizaci). [3]

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. Navrtné otvory se vyčistí a aplikuje se chemická clona jednostupňovou nebo dvoustupňovou injektáží, případně metodou následné infúze.

Předsoušení zdiva - při vyšším stupni zavlhčení, především u beztlakového napouštění vrtů, je vhodné využít lokálního předsušení elektrickými topnými

tyčemi, vháněním teplého suchého vzduchu nebo mikrovlnnými zářiči, což má příznivý vliv na proniknutí většího množství přípravku do struktury zdiva. [2, 4]

5 ZKOUŠENÍ STAVEBNÍCH MATERIÁLŮ

Zhotovení zkušebních těles - pro zkoušení zatvrdlých malt se běžně používají trámečky rozměru 40/40/160 mm. Ty se zhotovují ihned po přípravě malty do trojformy. Pro zkoušení betonu se používají tělesa válce průměru 150 mm a výšky 300 mm nebo krychle o hraně 150 mm (těleso užitá ke zkoušení malt v rámci disertační práce). [6]

Stanovení pevnosti v tlaku - u zatvrdlé malty se nejprve stanovuje pevnost v tahu za ohybu třibodovým zatěžováním do porušení zkušebních trámečků. Pevnost malty v tlaku se potom zkouší na dvou částech trámečku. Tato pevnost a pevnost zatvrdlého betonu v tlaku se vypočítá ze vztahu:

$$R_m = \frac{F}{A} \quad [\text{N/mm}^2] \quad (3)$$

kde F ... maximální zatížení na zkušební těleso [N],

A ...zatěžovaná plocha [mm²].

6 CÍLE DISERTAČNÍ PRÁCE

Chemická metoda je dnes jedním z nejčastějších řešení sanace vlhkého zdiva. Oproti jiným přímým metodám zaznamenává rychlý rozvoj, protože dochází k vývoji nových prostředků a inovaci aplikačních technologií ke zdokonalení účinnosti a životnosti chemické clony. V dnešní době se řeší možnosti užití chemické metody k sanaci novodobých zdících tvarovek typu THERM, u kterých se již začínají projevovat negativní účinky vlhkosti. Konstrukce vyžděné z těchto tvarovek vykazují značnou nehomogenitu vnitřního prostředí (cihelny střep protknutý vzduchovou dutinou). Jedinou možností, jak v tomto zdivu vytvořit nepřerušenou horizontální clonu je ložná spára z malty. S ohledem na tuto skutečnost byly ke zkoumání účinků chemické clony na vybrané mechanické a fyzikální vlastnosti materiálu zvoleny tři druhy spojovacích malt.

6.1 Popis cílů

Disertační práce je rozdělena do čtyř základních, vzájemně souvisejících a prolínajících se dílčích cílů.

Znázornění nárůstu hmotnostní vlhkosti netypických zkušebních vzorků v závislosti na čase vlhčení – v rámci experimentu je cílem 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.

Ověření vlivu vlhkosti a chemického přípravku na termo-fyzikální vlastnosti malt – cílem je ověřit, jakým způsobem ovlivní různé stupně nasycení struktury materiálu vodou a aplikace chemického přípravku termo-fyzikální vlastnosti zkoušených materiálů.

Vliv injektáže na prostup vlhkosti – cílem je ověřit vliv injektované chemické clony 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.

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

7 ZVOLENÉ METODY ZPRACOVÁNÍ DISERTAČNÍ PRÁCE

Hlavními užitými metodami byly: teoretická příprava, 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.

7.1 Teoretické metody

Studium dostupných podkladů - v první fázi před zahájením experimentálních měření, jejich vyhodnocováním a psaním disertační práce bylo studium současného stavu problematiky.

7.2 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.

Laboratorní měření - s ohledem na náročnost výzkumu a složitost odebrání 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 injektáží 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.

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

Použité měřicí přístroje

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

8 PŘÍPRAVNÉ PRÁCE PŘED JEDNOTLIVÝMI EXPERIMENTY

Před zahájením jednotlivých experimentálních měření bylo vyrobeno 76 krychlí o hraně 150 mm ze tří druhů malt. Krychle byly vytvořeny za spolupráce Ústavu stavebního zkušebnictví na Fakultě stavební VUT v Brně a pana doc. Ing. Pavla Schmidu, Ph.D.

Vzorky byly vyráběny ve třech termínech:

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.

9 VÝSLEDKY DISERTAČNÍ PRÁCE

9.1 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. [7]

Přípravek č. 2 (Realcrl 3) - je dvousložková injektážní pryskyřice na akrylátové bázi. 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. Zůstává trvale pružný i pod vodou a vyznačuje se velkou reverzibilitou. [7]

9.2 EXPERIMENT č. 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 a 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.

Popis provedeného experimentu

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

Jednalo se o následující materiály:

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

Postup prací:

Jednotlivé maltové krychle byly přesně označeny, změřeny, zváženy a vloženy do dvou připravených plastových van. Vany měly 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. 1 (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 2 g. Po této době byly vzorky z van vyjmuty a zabaleny do potravinářských fólií, aby se zamezilo nežádoucímu vysychání. Před dalšími experimenty byly vzorky opět váženy a byla určena jejich vlhkost gravimetrickou metodou. Hmotnost vzorku vytaženého z vodní lázně byla považována za hmotnost vzorku plně nasyceného.

Jednotlivé hodnoty získané průběžným vážením byly následně vyhodnoceny a byl stanoven průběh vlhnutí 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

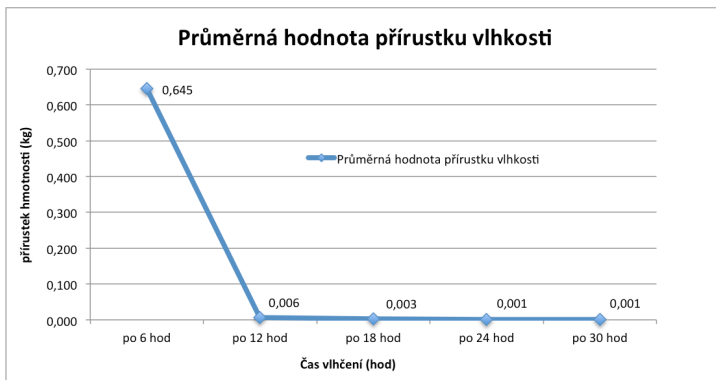
Výsledky experimentu

Experiment byl prováděn na všech 76 vzorcích tří druhů malt. V grafu č. 1 je znázorněna průměrná hodnota přírůstku 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 měření.

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

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.

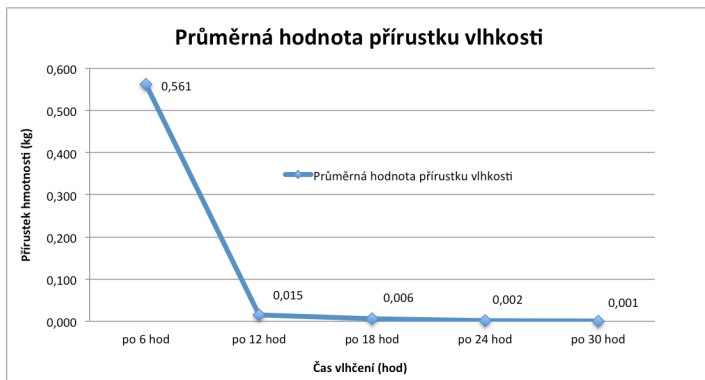


Graf č. 1 Průměrné hodnoty přírůstku hmotnosti zkušebních těles z malty a)

Z grafu č. 1 je patrné, že vzorky absorbovaly nejvíce vody v prvních šesti hodinách vhlčení. V dalším průběhu jsou přírůstky vody nepatrné v řádech gramů.

b) Zdicí malta cementová (MC) - CEMIX 10

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.

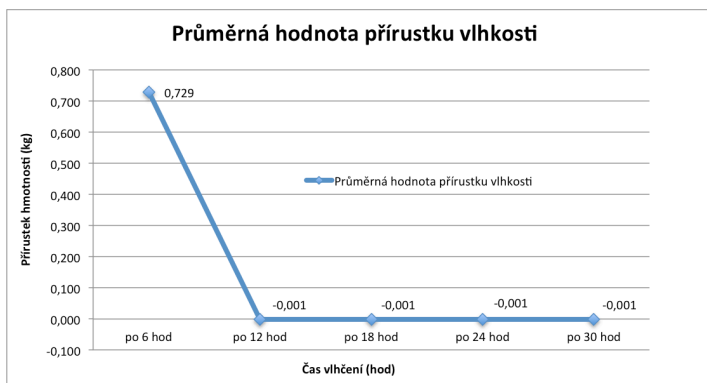


Graf č. 2 Průměrné hodnoty přírůstku hmotnosti zkušebních těles z malty b)

Z grafu č. 2 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)

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

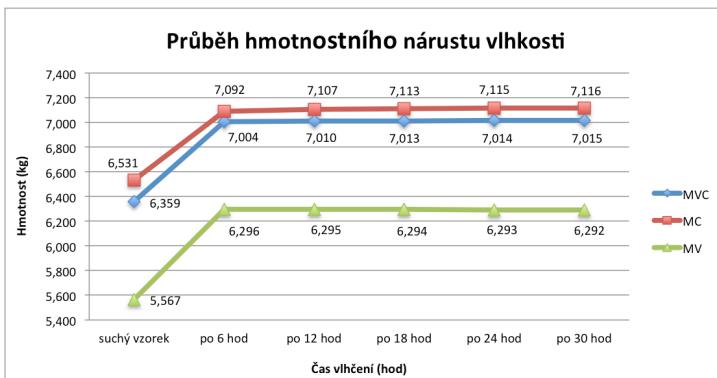


Graf č. 3 Průměrné hodnoty přírůstku hmotnosti zkušebních těles z malty c)

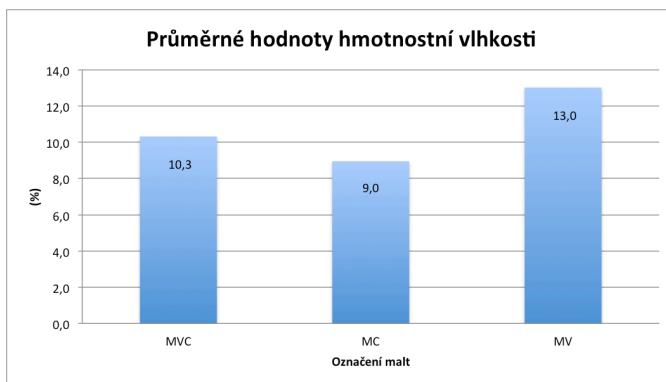
Z grafu č. 3 je patrné, že vzorky absorbovaly nejvíce vody v prvních šesti hodinách vlhčení. V dalším průběhu vlhčení došlo k zajímavému jevu, kdy vzorky spíše vysychaly oproti prvnímu vážení. Toto lze ale přičíst manipulaci s krychlemi.

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. Obecně lze konstatovat, že všechny maltové směsi měly nejstrmější nárůst hmotnostní 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.



Graf č. 4 Průměrné hodnoty nárůstu hmotnostní vlhkosti jednotlivých malt



Graf č. 5 Průměrné hodnoty hmotnostní vlhkosti

Hlavním cílem tohoto experimentu bylo zjistit maximální hmotnostní vlhkost jednotlivých maltových krychlí k výpočtu daného procenta zavlhčení pro pozdější injektáž. Po provedeném měření lze stanovit, že vzorky dosahují hmotnostní vlhkosti uvedené v grafu č. 5.

9.3 EXPERIMENT č. 2

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.

Popis provedeného experimentu

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

Jednalo se o následující materiály:

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

K injektáži byly použity následující přípravky:

- RUBBERTITE
- Realcrl 3

Jednotlivé fáze:

1. měření λ – proběhlo na všech vzorcích tří druhů malt po jejich převozu z laboratoře Ústavu stavebního zkušebnictví do prostor určených k měření. Měření bylo provedeno po dostatečném vytvrdnutí a vyschnutí malt v ustálených podmínkách.

2. měření λ – proběhlo po vysušení vzorků v sušičce MEMMERT UN 30. 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.

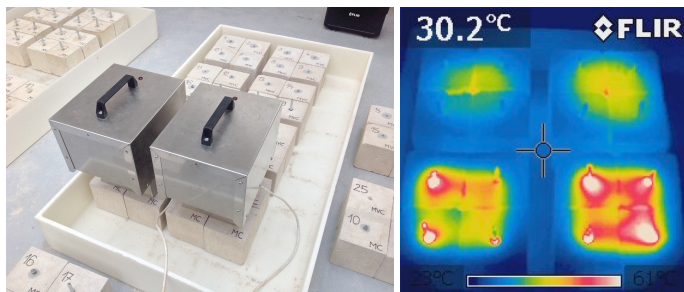
3. měření λ – bylo provedeno po experimentu č.1. Vzorky plně nasycené vodou byly zabaleny do potravinářské fólie a vybaleny průběžně pro potřebu měření.



Obr. č. 2 (a, b) Měření součinitele tepelné vodivosti λ pomocí přístroje ISOMET - model 2104

4. měření λ – proběhlo na krychlich se zvoleným stupněm zavlhčení 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.

5. měření λ – 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. 3 (a, b) Předsušení vzorků za pomoci mikrovlnného záření a záběry z termokamery před závěrečným měřením součinitele tepelné vodivosti λ

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.

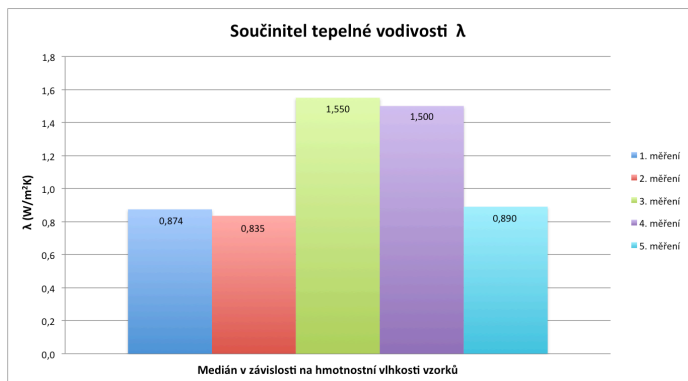
V průběhu experimenty byly sledovány následující:

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

Výsledky experimentu

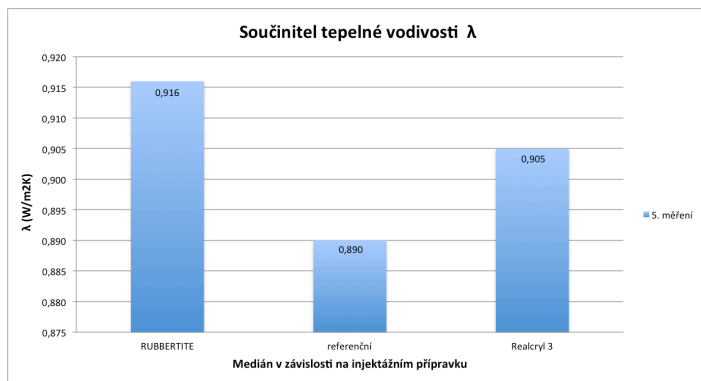
Po dosažení požadované hmotnostní vlhkosti vzorků bylo provedeno měření součinitele tepelné vodivosti λ za pomoci přístroje ISOMET 2104. Měření bylo provedeno postupně na každém ze vzorků tří druhů malt v pěti cyklech.

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



Graf č. 6 Medián součinitele tepelné vodivosti λ v závislosti na stupni zavlhčení malty a)

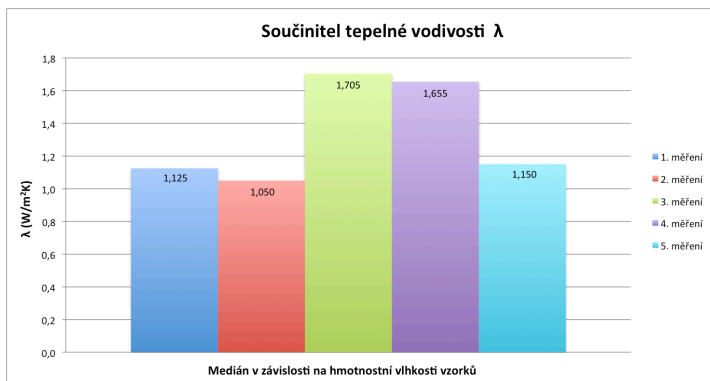
Z grafu č. 6 je patrné, že při zvyšujícím se nasycení maltové krychle vodou byl měřen vyšší součinitel tepelné vodivosti λ .



Graf č. 7 Medián součinitele tepelné vodivosti λ v závislosti na chemické látce injektované do malty a)

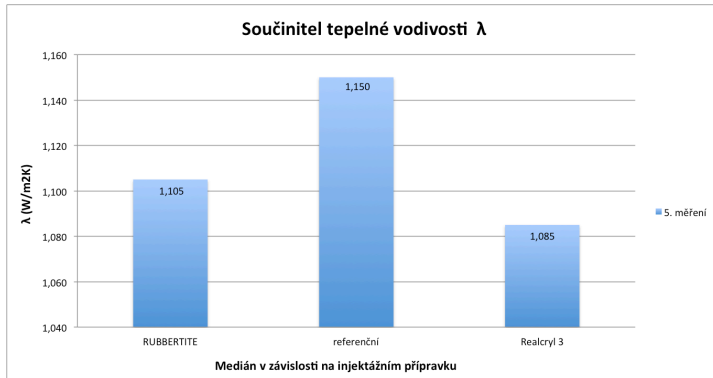
Medián vzorků první sady krychlí injektovaných přípravkem 1) byl o 0,026 W/m²K vyšší a u třetí sady vzorků injektovaných přípravkem 2) o 0,015 W/m²K vyšší než u druhé sady vzorků referenčních. Oba injektážní přípravky aplikované do malty a) zvýšily hodnotu součinitele tepelné vodivosti λ .

b) Zdicí malta cementová (MC) - CEMIX 10



Graf č. 8 Medián součinitele tepelné vodivosti λ v závislosti na stupni zavlhčení malty b)

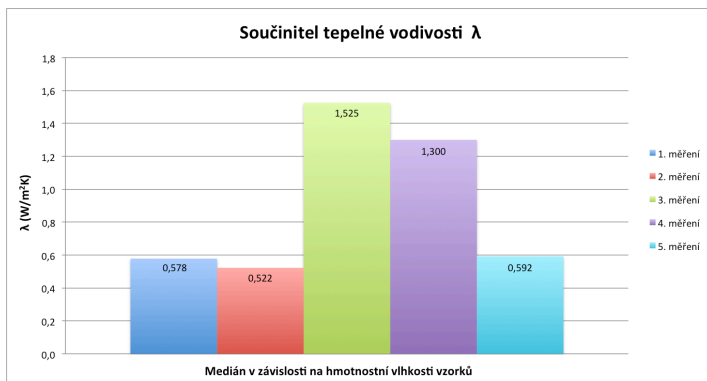
Z grafu č. 8 je patrné, že i u malty b) byl potvrzen předpoklad přímé úměry vlhkosti vzorku se součinitelem tepelné vodivosti λ . Čím vyšší bylo nasycení maltové krychle vodou, tím vyšší byl měřen součinitel tepelné vodivosti λ .



Graf č. 9 Medián součinitele tepelné vodivosti λ v závislosti na chemické cloně injektované do malty b)

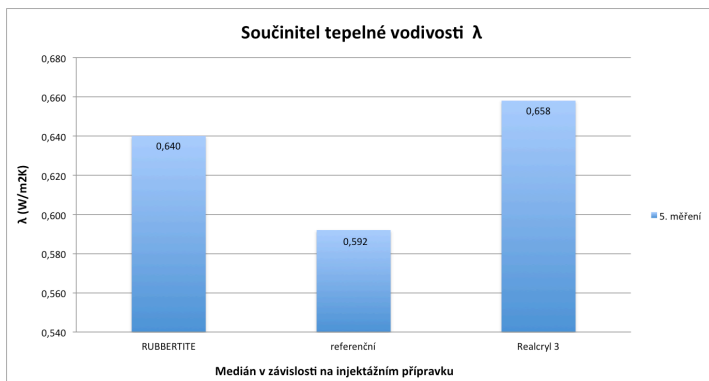
Medián vzorků malty b) injektovaných přípravkem 1) byl nižší o 0,045 W/m²K a u vzorků injektovaných přípravkem 2) o 0,065 W/m²K v porovnání s neinjektovanou sadou. Lze tedy konstatovat, že oba injektážní přípravky aplikované do malty b) snížily hodnotu součinitele tepelné vodivosti λ .

c) Zdící malta vápenná (MV)



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

Z grafu č. 10 je patrné, že čím vyšší bylo nasycení maltové krychle vodou, tím vyšší byl měřen součinitel tepelné vodivosti λ také u malty c).



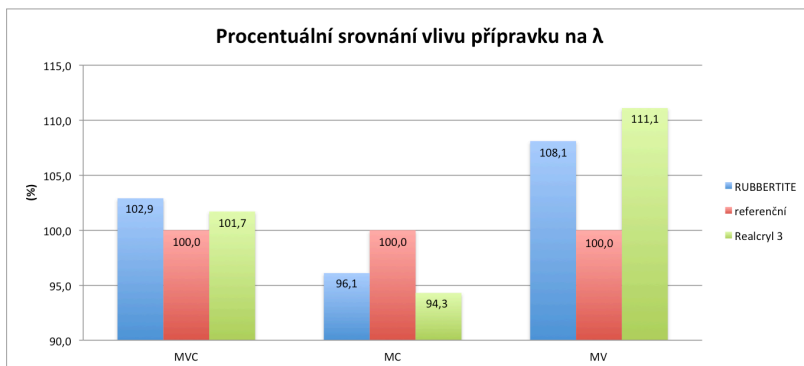
Graf č. 11 Medián součinitele tepelné vodivosti λ v závislosti na chemické cloně injektované do malty c)

Na vzorcích, do kterých byl aplikován injektážní přípravek byly hodnoty součinitel 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 součinitel tepelné vodivosti λ .

Shrnutí výsledků experimentu

Z experimentu je 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 adekvátní k jejich objemovým hmotnostem. Z experimentu vyplynulo, že čím větší byla objemová hmotnost zkoušeného materiálu, tím menší mělo zavlhčení vzorku vliv na rozdíly měřených hodnot součinitele tepelné vodivosti λ .

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 tepelné technické vlastnosti malt negativní, dle předpokladu, u vzorků malty b) - malta cementová, došlo aplikací obou přípravků k nepatrnému zlepšení tepelné technické vlastnosti malty.



Graf č. 12 Procentuální srovnání vlivu chemického přípravku na součinitel tepelné vodivosti λ pro tři sady tří druhů malt

V grafu č. 12 je uvedeno procentuální srovnání mediánu součinitele tepelné vodivosti λ u vzorků injektovaných přípravkem 1) a 2) v porovnání se vzorky referenčními. 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.

9.4 EXPERIMENT č. 3

Cíl provedeného experimentu

Cílem tohoto experimentu bylo znázornit průběh nárůstu hmotnostní vlhkosti v závislosti na aplikované chemické cloně do zkušebních těles tří druhů malt.

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

Postup prací:

Vzorky od každého druhu malty jsem si rozdělil do tří sad po osmi kusech. Jedna sada byla injektována přípravkem 1), druhá sada přípravkem 2) a třetí sada sloužila 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.

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

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

Výsledky experimentu

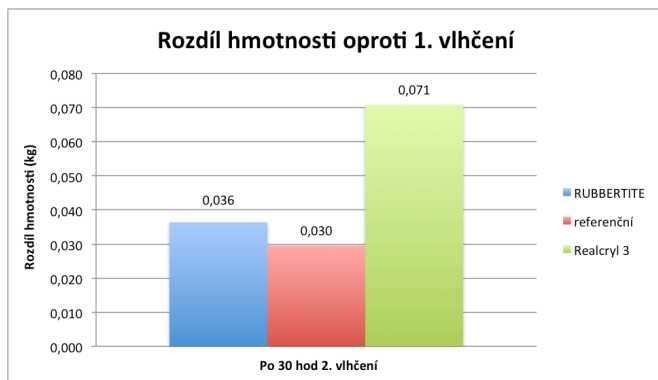
Po umístění vzorků do vany s nízkou vodní hladinou byl v průběhu vlhčení sledován nárůst hmotnosti vzorků v závislosti na čase.

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

Z tabulky č. 2 je patrné, že rozdíl průměrných hodnot hmotností na počátku a konci jednotlivých experimentů poukazuje na celkově vyšší nárůst hmotnosti při druhém vlhčení. Nárůst hmotnosti u referenčních vzorků byl výrazně nižší než u vzorků injektovaných.

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. 2 Porovnání průměrných hodnot hmotnosti jednotlivých sad vzorků malty a) v čase vlhčení



Graf č. 13 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) 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 a u vzorků injektovaných přípravkem 2) o 41 g vyšší oproti průměrné hmotnosti referenčních vzorků.

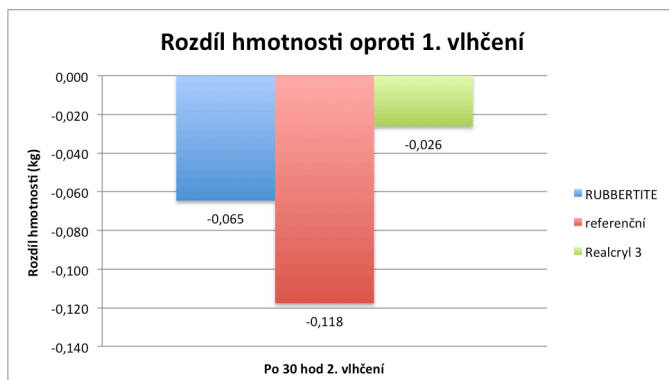
b) Zdicí malta cementová (MC) - CEMIX 10

Z tabulky č.3 je patrný pomalejší průměrný nárůst všech tří sad vzorků oproti maltě a). Výsledná průměrná hmotnost žádné sady vzorků nepřekročila 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.

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	Realcyl 3	6,626	6,852	6,920	6,990	7,036	7,080

Tab. č. 3 Porovnání průměrných hodnot hmotnosti jednotlivých sad vzorků malty b) v čase vlhčení



Graf č. 14 Navýšení průměrné hmotnosti sad vzorků malty b) po 30 hodinách 2. vlhčení oproti 1. vlhčení

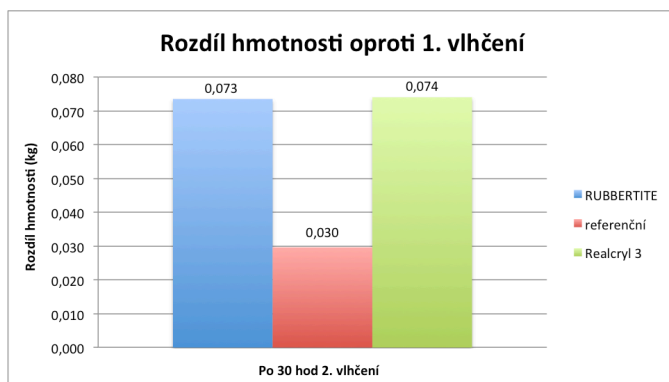
Výsledná průměrná hmotnost všech tří sad vzorků malty b) je po druhém vlhčení nižší než byla dosažena v průběhu experimentu č. 1. Rozdíl činil u sady injektované přípravkem 1) 65 g, u sady injektované přípravkem 2) 26 g a u referenční sady 118 g. Sada vzorků injektovaných přípravkem 1) dosáhla v průměru o 53 g vyšší hmotnosti a sada injektovaných přípravkem 2) o 92 g 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) Zdicí malta vápenná (MV)

U malty c) byl patrný nejrychlejší 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) nejrychlejší ze všech tří sledovaných maltových směsí. Průměrný nárůst hmotnosti pro první i druhé vlhčení a každou sadu vzorků malty c) v jednotlivých časech měření je uveden v tabulce č. 4.

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	Realcyl 3	5,687	6,362	6,378	6,381	6,381	6,381

Tab. č. 4 Porovnání průměrných hodnot hmotnosti jednotlivých sad vzorků malty c) v čase vlhčení



Graf č. 15 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), a sice 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) průměrný nárůst o 43 g, vzorky po aplikaci přípravku 2) o 44 g.

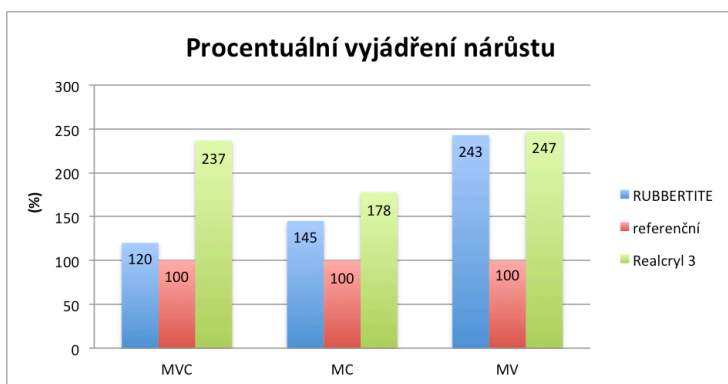
Shrnutí výsledků experimentu

Z experimentu je patrné, že oba injektážní přípravky měly vliv na schopnost malty pojmout vyšší množství vody. Byl potvrzen předpoklad chemické clony na bázi akrylátu či metakrylátu vázat na sebe vlhkost z okolního prostředí.

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. O kolik více pojme vzorek injektovaný přípravkem 1) nebo přípravkem 2) více vlhkosti oproti vzorku referenčnímu je procentuálně uvedeno v tabulce č. 5 a grafu č. 16.

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
Realcrl 3	71	237	-26	178	74	247

Tab. č. 5 Rozdíly průměrné hmotnosti sad vzorků mezi vlhčeními včetně procentuálního vyjádření nárůstu injektovaných sad oproti referenční



Graf č. 16 Procentuální navýšení průměrné hmotnosti sad vzorků injektovaných oproti referenčním u tří zkoumaných malt

Největší nárůst průměrné hodnoty hmotnosti 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.

9.5 EXPERIMENT č. 4

Cíl provedeného experimentu

Cílem 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.

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) 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) Realcrl 3

Postup prací:

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% $\pm$ 5%. Zvolili jsme 80 %, aby byly co nejlépe simulovány podmínky reálné vlhké konstrukce, ale byla ještě možnost do materiálu aplikovat množství chemického přípravku průkazně 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. Do takto připravených vzorků byly osazeny předem zvážené pakry a to včetně vzorků referenčních. Po osazení pakrů proběhla

injektáž určených sad vzorků (Obr. č. 4). Při 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. 4 (a, b) Injektáž chemického přípravku

Vzorky byly po provedení injektáže ponechány v ustálených laboratorních podmínkách a přibližně po jednom měsíci bylo jejich sušení urychleno za pomoci dvou přenosných mikrovlnných generátorů Romill G1/2011. Sušení bylo provedeno u všech vzorků ve třech 20 minutových cyklech. Po provedení navazujících experimentů byly krychle převezeny na Ústav stavebního zkušebnictví, kde proběhlo jejich drcení a zkoušení pevnosti materiálu v tlaku (Obr. č. 5).



Obr. č. 5 (a, b) Hydraulický lis sloužící ke zkoušení krychelné pevnosti v tlaku a typické porušení vzorku

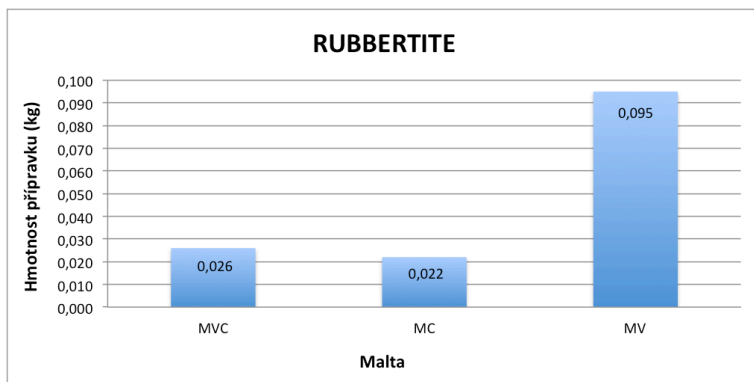
Maltové krychle byly postupně vkládány do lisu a zatěžovány až do porušení vzorku, kdy byla odečtena a zapsána hodnota zatížení. Krychle byly zatěžovány kolmo na směr hutnění, daném při jejich výrobě.

V průběhu experimenty byly sledovány následující:

- hmotnost aplikovaného chemického přípravku
- zatížení při porušení vzorku

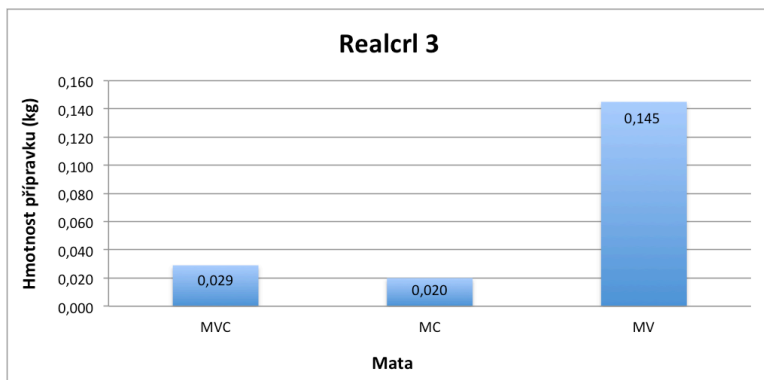
Výsledek experimentu

Výsledné hmotnosti přípravku aplikovaného do jednotlivých maltových krychlí jsou uvedeny v grafu č. 17 a 18.



Graf č. 17 Hodnota mediánu přípravku 1) aplikovaného do tří druhů malt

Střední hodnota hmotnosti vzorků 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. 18 Hodnota mediánu přípravku 2) aplikovaného do tří druhů malt

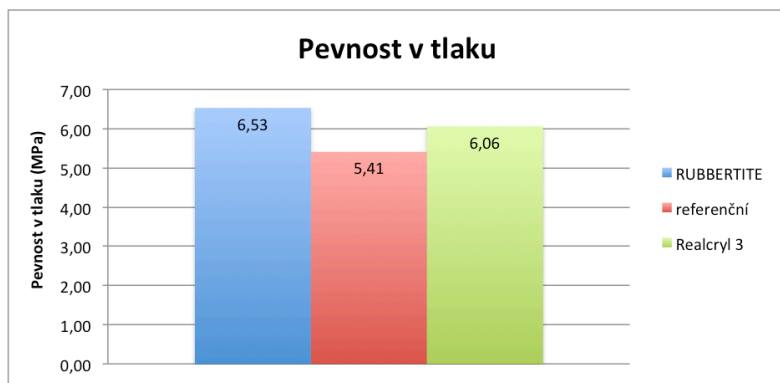
Střední hodnota hmotnosti vzorků v jednotlivých sadách krychlí u přípravku 2) činí 29 g pro maltu a), 20 g pro maltu b) a 145 g pro maltu c).

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).

Podle druhu injektážního přípravku a jeho množství (hmotnosti) aplikovaného do vzorků, byl posuzován vliv přípravku na pevnost materiálu (maltových krychlí) v tlaku.

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

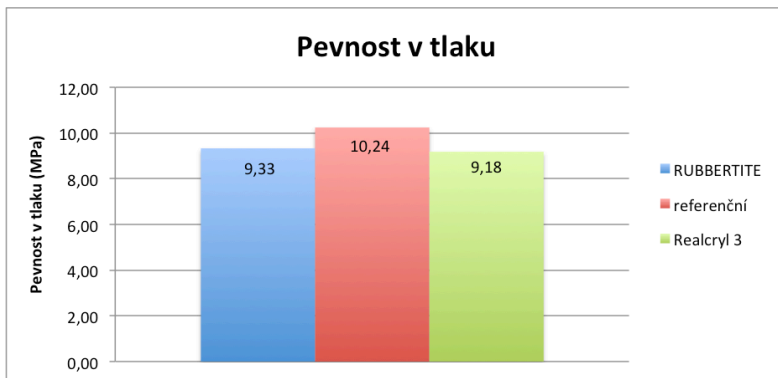
Medián pevnosti v tlaku vzorků malty a) injektované přípravkem 1) je 6,53 MPa, u vzorků téže malty, které složily jako referenční, tedy byly bez aplikace chemické clony je 5,41 MPa a u vzorků sady injektované přípravkem 2) 6,06 MPa. Hodnoty mediánu jednotlivých sad krychlí malty a) jsou znázorněny v grafu č. 19. Průměrné hodnoty pevnosti vykazují podobný rozptyl.



Graf č. 19 Střední hodnoty pevnosti v tlaku u tří sad krychlí malty a)

b) Zdicí malta cementová (MC) - CEMIX 10

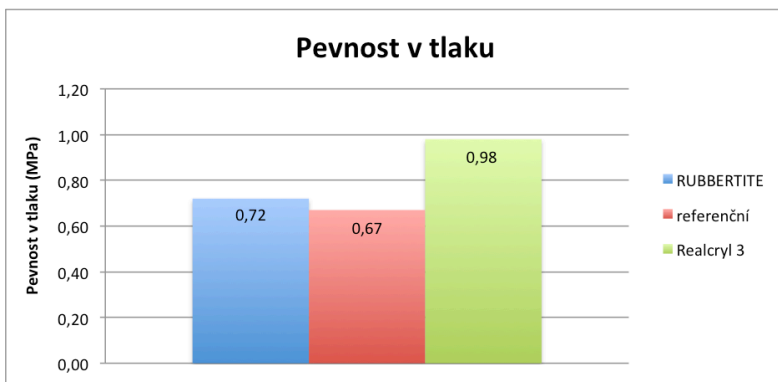
Medián pevnosti v tlaku vzorků malty b) injektované přípravkem 1) je 9,33 MPa, u vzorků téže malty, které složily jako referenční, tedy byly bez aplikace chemické clony je 10,24 MPa a u vzorků sady injektované přípravkem 2) 9,18 MPa. Hodnoty mediánu jednotlivých sad krychlí malty b) jsou znázorněny v grafu č. 20.



Graf č. 20 Střední hodnoty pevnosti v tlaku u tří sad krychle malty b)

c) Zdicí malta vápenná (MV)

Medián pevnosti v tlaku vzorků malty c) injektované přípravkem 1) je 0,72 MPa, u vzorků téže malty, které složily jako referenční, tedy byly bez aplikace chemické clony je 0,67 MPa a u vzorků sady injektované přípravkem 2) 0,98 MPa. Hodnoty mediánu jednotlivých sad krychle malty c) jsou znázorněny v grafu č. 21.



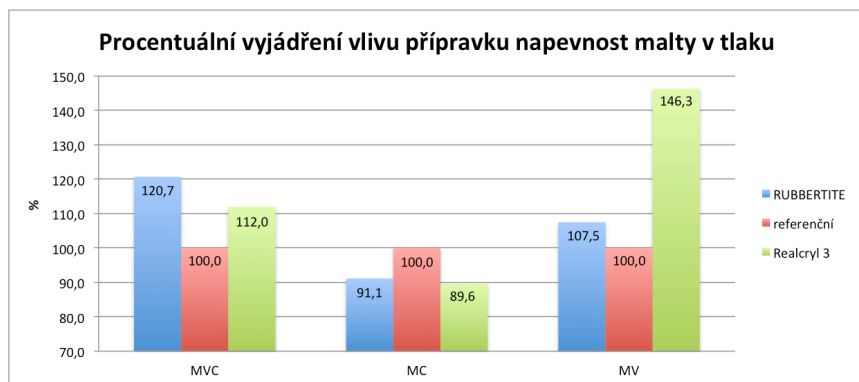
Graf č. 21 Střední hodnoty pevnosti v tlaku u tří sad krychle malty c)

Shrnutí výsledků experimentu

Experiment ukázal, že technologii, která se běžně v praxi užívá a byla považována za vhodnou, nejsme schopni protlačit do zkušební vzorku maltové krychle tolik chemického přípravku, jako jsme původně předpokládali. Bylo zjištěno, že čím měl vzorek větší objemovou hmotnost, tím méně přípravku se nám podařilo do struktury materiálu uvedeným tlakem injektovat.

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
Realcyl 3	112,0	29	89,6	20	146,3	145

Tab. č. 6 Procentuální nárůst či pokles pevnosti v tlaku injektovaných sad vzorků oproti vzorkům referenčním v porovnání s množstvím aplikovaného přípravku



Graf č. 22 Procentuální vyjádření nárůstu či poklesu pevnosti v tlaku jednotlivých injektovaných sad malt oproti referenčním neinjektovaným vzorkům

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 sadě vzorků. 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). Rozdíly objemové hmotnosti jednotlivých vzorků se na výslednou pevnost materiálu v tlaku ukázaly jako zanedbatelné. 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 výrazně lepší vliv přípravek 2).

10 ZÁVĚRY DISERTAČNÍ PRÁCE

Pro vyhodnocení experimentu č.2 a č.4 byly voleny hodnoty průměru a 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

10.1 Vyhodnocení dílčích cílů

Znázornění nárůstu hmotnostní vlhkosti netypických zkušebních vzorků v závislosti na čase vlhčení - průběh nárůstu hmotnostní vlhkosti byl u všech tří druhů malt v závislosti na čase vlhčení přibližně srovnatelný. 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.

Ověření vlivu vlhkosti a chemického přípravku na termo-fyzikální vlastnosti malt - experimentálním měřením byl potvrzen předpoklad, že při zvyšujícím se nasycením struktury materiálu vodou se zvyšují také hodnoty součinitele tepelné vodivosti λ . 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. U malty b) došlo aplikací chemického přípravku k mírnému snížení mediánu součinitele tepelné vodivosti λ .

Ověření vlivu injektáže na prostup vlhkosti - volbou vzorků a technologie provádění 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 na bázi akrylátu či metakrylátu 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.

Vyhodnocení množství přípravku aplikovaného při daném stupni zavlhčení a účinek injektáže na pevnost v tlaku - i přes relativně malé množství chemického přípravku vpraveného do zkušebních vzorků maltové krychle, byly při 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.

Výraznějším nárůstem pevnosti v tlaku ovlivnil přípravek 1) maltu a) a přípravek 2) maltu c), u malty b) bylo snížení pevnosti u obou přípravků zhruba srovnatelné.

10.2 Možnosti dalšího výzkumu

Při další experimentální činnosti bych navázal na poznatky zjištěné zejména při hledání vhodné technologie injektáže a 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.

11 POUŽITÁ 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] ČSN 73 0540-1 až 4 – Tepelná ochrana budov – Část 1 až 4. Praha: Český normalizační institut, 2005.
- [6] ČSN EN 196-1 – Metody zkoušení cementu – Část 1. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2010.
- [7] Technický list RUBBERTITE a Realcryn 3
- [8] <http://stavba.tzb-info.cz/prostup-tepla-stavebni-konstrukci>
- [9] <http://pockmat.hopto.org/file/VUT%20FAST/1.rocn%C3%ADk%20VUT%20FAST/Stavebn%C3%AD%20látky/pred/prednasky2.pdf>

12 ABSTRACT

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.

13 CURRICULUM VITAE

Osobní informace

Příjmení a jméno	FRIDRICH, Pavel
Datum narození	25. březen 1983
Stav	svobodný
Adresa	Pod Lipami 2153/17, 697 01 Kyjov
Mobilní telefon	+420 775 226 871
e-mail	fridrich.pavel@seznam.cz

Pracovní zkušenosti

Období a funkce	09/2007 – 06/2009, Projekční práce
Zaměstnavatel	Stavební kancelář KMZ, Brno

Období a funkce	09/2011 – 10/2013, Projekční práce
Zaměstnavatel	Ateliér 100D, Kyjov

Období a funkce	11/2013 – 03/2015, Projekční práce
Zaměstnavatel	Živnostník, Kyjov

Dosažené vzdělání

1998 – 2002	Střední průmyslová škola stavební, Kudelova 8, Brno, Obor Stavebnictví, zaměření Pozemní stavby, studium ukončeno maturitní zkouškou.
2002 – 2007	Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Magisterský studijní program Stavební inženýrství, obor Pozemní stavby, ukončeno získáním titulu Ing.
2007 – dosud	Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Doktorský studijní program. Studijní obor: Pozemní stavby

Znalosti a dovednosti

Jazykové znalosti	anglický jazyk – částečná znalost německý jazyk – částečná znalost
-------------------	---

Odborné zaměření

Projekce a pasportizace v oboru pozemních staveb

Další schopnosti, znalosti

řidičský průkaz skupiny B

Výběr z publikací autora

- [1] FRIDRICH, P. *Matematické modelování vlhkosti zdiva a její následný vliv na termofyzikální vlastnosti materiálů.* In Juniorstav 2008 Sborník anotací. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2008. 11. ročník, s. 3, ISBN 978-80-86433-45-5.
- [2] FRIDRICH, P. *Detekce šíření vlhkosti ve stavebních materiálech za pomoci elektromagnetického mikrovlnného záření.* In Juniorstav 2009 Sborník anotací. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2009. 11. ročník, s. 4, ISBN 978-80-214-3810-1.
- [3] FRIDRICH, P.; VEDRA, P. *Sanace vlhkého zdiva typu THERM.* In Mladý vedec 2009 Sborník anotací. 1. Mezinárodní doktorandská konference Stavebnictva a architektury pod záštitou dekanky Stavební fakulty TUKE prof. Ing. Ingrid Šenitkovéj, PhD., s. 6, ISBN 978-80-553-0176-1.
- [4] FRIDRICH, P.; VEDRA, P.; KACÁLEK, P. *Stavební a technologická pasportizace v 21. století - Technologický pasport.* In Juniorstav 2010 Sborník anotací. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2010. 12. ročník, s. 9, ISBN 978-80-214-4042-5.
- [5] KACÁLEK, P.; VEDRA, P.; FRIDRICH, P. *Teploty v zemině pod nepodsklepeným objektem.* In Juniorstav 2010 Sborník anotací. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2010. 12. ročník, s. 9, ISBN 978-80-214-4042-5.
- [6] FRIDRICH, P.; VEDRA, P.; KACÁLEK, P. *Možnosti sanace vlhkého zdiva typu THERM.* In Juniorstav 2011 Sborník anotací. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2011. 13. ročník, s. 4, ISBN 978-80-214-4232-0.

