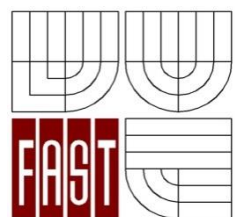




**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA STAVEBNÍ  
ÚSTAV TECHNOLOGIE STAVEBNÍCH HMOT A DÍLCŮ**

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING  
INSTITUTE OF TECHNOLOGY OF BUILDING MATERIALS AND  
COMPONENTS

**LABORATORNÍ TESTOVÁNÍ ÚČINNOSTI  
HYDROIZOLAČNÍCH INJEKTÁŽNÍCH GELŮ  
V ZÁVISLOSTI NA STAVU RŮZNÝCH STAVEBNÍCH  
MATERIÁLŮ**

LABORATORY TESTING OF HYDROINSULATING INJECTION GEL'S  
EFFICIENCY IN DEPENDENCE ON STATE OF VARIOUS BUILDING  
MATERIALS

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**  
DIPLOMA THESIS

**AUTOR PRÁCE**  
AUTHOR

Bc. LENKA MIKOVÁ

**VEDOUCÍ PRÁCE**  
SUPERVISOR

prof. Ing. ROSTISLAV DROCHYTKA, CSc., MBA

BRNO 2015



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

**Studijní program** N3607 Stavební inženýrství  
**Typ studijního programu** Navazující magisterský studijní program s prezenční formou studia  
**Studijní obor** 3607T020 Stavebně materiálové inženýrství  
**Pracoviště** Ústav technologie stavebních hmot a dílců

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

**Diplomant** Bc. Lenka Miková  
**Název** Laboratorní testování účinnosti hydroizolačních injektážních gelů v závislosti na stavu různých stavebních materiálů  
**Vedoucí diplomové práce** prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA  
**Datum zadání diplomové práce** 31. 3. 2014  
**Datum odevzdání diplomové práce** 16. 1. 2015

V Brně dne 31. 3. 2014

prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA  
Vedoucí ústavu



prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA  
Děkan Fakulty stavební VUT

### Podklady a literatura

DROCHYTKA, R.. Technické podmínky pro sanace betonových konstrukcí TPSSBK III.

Brno: Sdružení pro sanace betonových konstrukcí, 2012, 265 s. ISBN 978-80-260-2210-7.

DROCHYTKA, R.. Trvanlivost stavebních materiálů: Studijní opory. Brno, 2007. VUT v Brně, fakulta stavební.

ČSN 73 2578 – Zkouška vodotěsnosti povrchové úpravy stavebních konstrukcí

ČSN 73 1357 – Stanovení kapilárních vlastností pórobetonu

ČSN EN 772 11 – Nasákavost pálených zdících prvků

ČSN EN 1052 1 – Stanovení pevnosti v tlaku zdiva

ČSN EN 1052 1 – Stanovení pevnosti v tahu za ohybu zdiva

ČSN 72 5010 – Stanovení nasákavosti, zdánlivé pórovitosti, objemové hmotnosti a zdánlivé hustoty vypálených keramických směsí a výrobků

Výzkumné zprávy a protokoly ústavu THD, příspěvky ze sborníků konferencí, odborné články, časopisy, normy.

### Zásady pro vypracování (zadání, cíle práce, požadované výstupy)

Metoda sanace vlhkého zdiva metodou injektážních clon za účelem zamezení vzlinající kapilární vlhkosti je v dnešní době již značně rozšířenou a hojně používanou metodou.

Výslednou účinnost injektážního materiálu ovlivňuje nejen druh a stáří upravovaného stavebního materiálu, ale také jeho momentální stav a vliv prostředí. Nejvýznamnější vliv na účinnost injektážních gelů mají jednoznačně stáří a vlhkost stavebního materiálu.


Cílem diplomové práce je stanovení vlivu různých stavů injektovaných stavebních materiálů, zejména vlhkosti a teploty, na míru penetrace a celkovou účinnost hydroizolačních injektážních gelů.

Rozsah diplomové práce nejméně 60 stran včetně tabulkové a grafické přílohy.

### Struktura bakalářské/diplomové práce

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část VŠKP zpracovaná podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).
2. Přílohy textové části VŠKP zpracované podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (nepovinná součást VŠKP v případě, že přílohy nejsou součástí textové části VŠKP, ale textovou část doplňují).

  
.....  
prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA  
Vedoucí diplomové práce

## Abstrakt

V dnešní uspěchané době je použitím chemických gelových injektáží pro sanaci vlhkého zdiva poskytnuto mnoho výhod. Pokud se budeme zabývat finanční stránkou tohoto druhu sanace vlhkého zdiva, můžeme tvrdit, že se jedná o metodu minimálně finančně i časově náročnou. Ve srovnání s ostatními sanačními metodami není zapotřebí větších zásahů do konstrukce, které by mohly mít za následek zhoršení statiky stavebního díla a s tím související potřebu speciálních strojních vybavení, čímž se následně zvyšuje jak pracnost, tak i finanční prostředky. Společně s tím tak nastala potřeba snadno aplikovatelných dodatečných clon do zdiva porušeného vzlínající vlhkostí a s touto potřebou je nutný i výzkum zabývající se touto problematikou.

Jediným normovým předpisem zabývající se problematikou sanace vlhkého zdiva metodou chemických injektáží je směrnice WTA 4-4-04/D – injektáž zdiva proti kapilární vlhkosti. Z tohoto hlediska je zřejmá nutnost dalšího vývoje této problematiky.

## Klíčová slova

Hydroizolace, injektáž, chemická infuzní clona, míra penetrace, vzlínavost, teplota a vlhkost materiálu

## Abstract

Nowadays the use of chemical gel injection for humid masonry provides many benefits. If we consider the financial aspects of this kind of remediation of humid masonry, we can say that this method is least expensive and time-consuming. In comparison with other remediation methods major interventions into the structure is not required, which could result in deterioration of the structural analysis of the works and the consequent need of special machinery, which subsequently increases spent effort and resources. There is also need for additional screens easily applied to walls breached by rising damp and this need is also required for research in dealing with this issue.

Only a standard regulation dealing with remediation of wet masonry using chemical injection is directive WTA 4-4-04 / D – Injection of masonry against capillary moisture. From this point of view there is a clear need for further development in this area.

## Keywords

Waterproofing, infusion, chemical injection screen, penetration rate, wicking, temperature and humidity of material

*Uvedená problematika je řešena v rámci projektu MPO FR-TI4/270 s názvem: **Gelový infuzní clonový systém pro dodatečnou hydroizolaci různých druhů zdiva s využitím druhotných surovin.***

## Poděkování

Tímto bych velice ráda poděkovala prof. Ing. Rostislavu Drochytkovi, CSc., MBA, jako vedoucímu mé diplomové práce, především za jeho odborné vedení, cenné připomínky a rady při vypracování této práce. Mimo to bych chtěla poděkovat i mé rodině a přátelům za podporu ve studiu.

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracovala samostatně a že jsem uvedla všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 14.1.2015

.....

podpis autora

Bc. Lenka Míková

## Bibliografická citace

Bc. MIKOVÁ, Lenka *Laboratorní testování účinnosti hydroizolačních injektážních gelů v závislosti na stavu různých stavebních materiálů*, Brno, 2015. S.111. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav technologie stavebních hmot a dílců. Vedoucí práce prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA

# Obsah

<b>1</b>	<b>CÍL</b> .....	<b>10</b>
<b>2</b>	<b>ÚVOD</b> .....	<b>11</b>
<b>3</b>	<b>TEORETICKÁ ČÁST</b> .....	<b>17</b>
<b>3.1</b>	<b>DEGRADACE MATERIÁLU VLIVEM VLHKOSTI</b> .....	<b>17</b>
<b>3.2</b>	<b>VODA A VLHKOST V PORÉZNÍCH MATERIÁLECH</b> .....	<b>19</b>
3.2.1	Difuze .....	19
3.2.2	Kapilární vedení .....	20
3.2.3	Kapilární kondenzace .....	21
3.2.4	Povrchová kondenzace .....	21
3.2.5	Sorpce .....	22
3.2.6	Vysychání .....	22
<b>3.3</b>	<b>ZDROJE VLHKOSTI V KONSTRUKCI</b> .....	<b>22</b>
<b>3.4</b>	<b>PORUCHY ZAPŘÍČINĚNÉ ZVÝŠENOU VLHKOSTÍ</b> .....	<b>23</b>
3.4.1	Estetické poruchy .....	24
3.4.2	Ohrožení bezpečnosti a životního prostředí .....	24
3.4.3	Narušení konstrukce stavby .....	25
<b>3.5</b>	<b>OBSAH VODOROZPUSPURNÝCH SOLÍ</b> .....	<b>25</b>
<b>3.6</b>	<b>NEJČASTĚJŠÍ PŘÍČINY PORUCH IZOLACÍ</b> .....	<b>26</b>
3.6.1	Chybějící hydroizolace, ztráta životnosti .....	27
3.6.2	Nekvalitní provedení .....	27
3.6.3	Chybný návrh .....	27
3.6.4	Působení vnějších a vnitřních negativních vlivů .....	28
<b>3.7</b>	<b>Hydroizolace</b> .....	<b>28</b>
3.7.1	Dimenzování hydroizolace .....	29
<b>3.8</b>	<b>SNÍŽOVÁNÍ VLHKOSTI KONSTRUKCE</b> .....	<b>29</b>
3.8.1	Vzduchové systémy .....	30
3.8.2	Plošná izolace .....	33
3.8.3	Izolace jílové .....	37
3.8.4	Elektroosmotické metody .....	38
3.8.5	Dodatečné bariéry .....	39
<b>4</b>	<b>PRAKTICKÁ ČÁST</b> .....	<b>45</b>
<b>4.1</b>	<b>Principy působení clon</b> .....	<b>45</b>
4.1.1	Hydrofobizační (odpuzející vodu) .....	45
4.1.2	Utěsňující .....	46
4.1.3	Zužující .....	46



4.1.4	Kombinující .....	46
<b>4.2</b>	<b>Chemické clony a způsoby provádění .....</b>	<b>47</b>
4.2.1	Beztlaková injektáž .....	48
4.2.2	Tlaková injektáž .....	50
4.2.3	Injektážní prostředek .....	51
<b>4.3</b>	<b>Zkušební postupy .....</b>	<b>54</b>
4.3.1	Směrnice WTA 4-4-04/D a její zkušební postupy .....	55
4.3.2	Zkušební tělesa a jejich příprava .....	57
4.3.3	Zpracovatelnost – reotest .....	59
4.3.4	Vodotěsnost povrchových vrstev .....	63
4.3.5	Volba vhodných injektážních materiálů .....	71
4.3.6	Vliv vlhkosti zdícího materiálu na míru penetrace .....	71
4.3.7	Vliv teploty zdícího materiálu na míru penetrace .....	83
4.3.8	Technický list .....	91
<b>5</b>	<b>ZÁVĚR.....</b>	<b>101</b>
	<b>Použitá literatura a normy .....</b>	<b>105</b>
	<b>Seznam tabulek .....</b>	<b>107</b>
	<b>Seznam obrázků .....</b>	<b>108</b>
	<b>Seznam použitých zkratk a symbolů .....</b>	<b>110</b>

# 1 CÍL

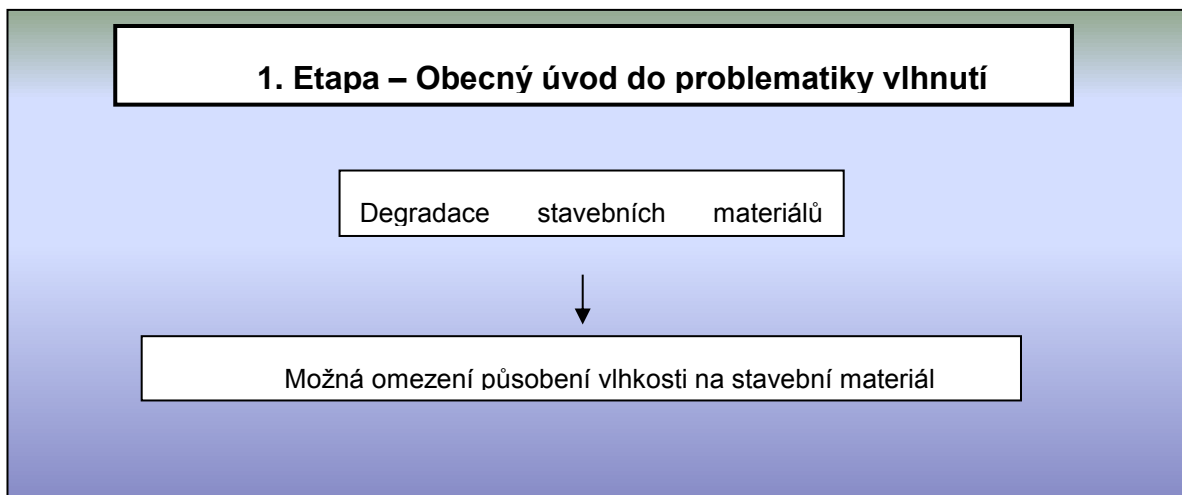
Sanace vlhkého zdiva mají v dnešní době ve stavební praxi stále větší zastoupení. Na kterýkoliv objekt v našem okolí působí celá řada negativních činitelů, v klimatických podmínkách ČR se jedná především o působení vlhkosti. Dnešní hektická doba si žádá jednoduché, přitom účinné řešení problematiky vlhkého zdiva. Tyto požadavky bezesporu splňuje metoda sanace chemickými injektážními clonami. Vytvořená dodatečná clona zamezuje vztlínání kapilární vlhkosti. Dodatečná hydroizolace injektážními clonami je metodou rozšířenou a často používanou. Uplatnění si ve stavebnictví našla především pro svou jednoduchost a výslednou účinnost.

Jelikož se jedná o metodu poměrně novou, vyvstává v této problematice řada otázek a potřeba výzkumu. Na výslednou účinnost injektážního gelu má významný vliv především vlhkost stavebního materiálu. Cílem této práce bude stanovit vliv rozdílné vlhkosti a teploty materiálů na míru penetrace a tedy i celkovou účinnost dodatečně vytvořené hydroizolační clony.

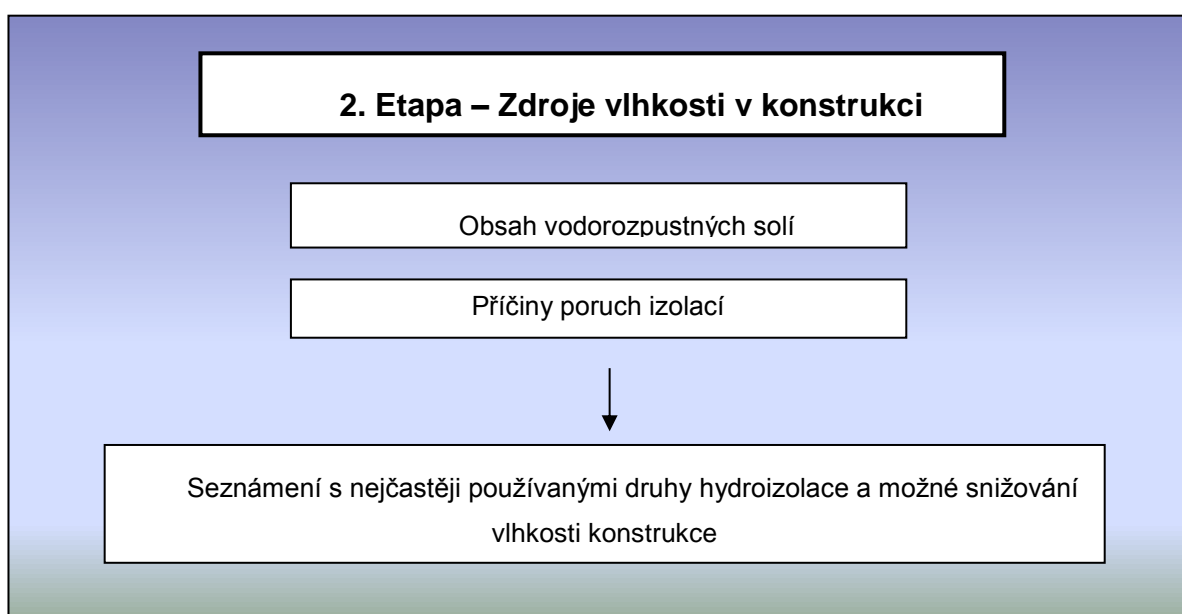
Jediným normativním dokumentem zabývající se touto problematikou je směrnice WTA WTA 4-4-04/D s názvem „injektáž zdiva proti kapilární vlhkosti“. Tato směrnice stanovuje zkušební postupy na poměrně rozsáhlých zkušebních tělesech. Hlavním cílem této práce je navrhnout a provést zjednodušené zkušební postupy v určité korelaci s touto směrnicí. A to tak, aby bylo možné na základě vyhodnocení několika zkušebních postupů stanovit použitelnost daného infuzního prostředku při parametrech materiálu postiženého zvýšenou vlhkostí.

## 2 METODIKA PRÁCE

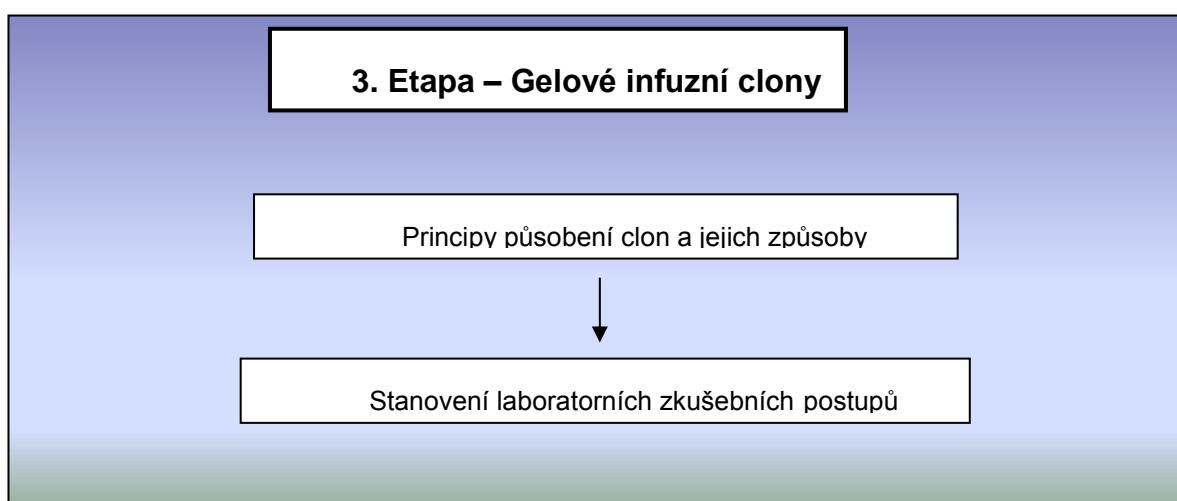
Diplomová práce bude rozdělena do pěti následujících etap:



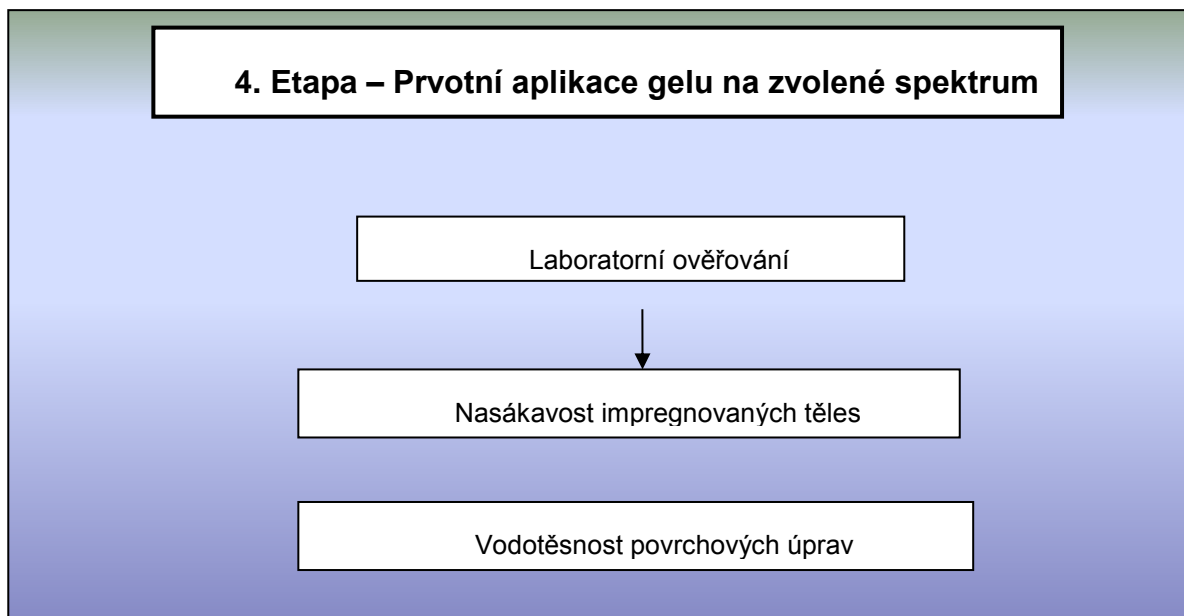
První etapa diplomové práce se bude zabývat trvanlivostí materiálu v závislosti na jeho vlhkosti. Dále pak degradací materiálu při působení vlhkosti a dalších možných činitelích, které mohou současně s vlhkostí poškozovat danou konstrukci. V závěru této části se diplomová práce bude věnovat problematice omezení působení vlhkosti na stavební materiál, potažmo na stavební objekt.



V úvodu této části budou popsány základní zdroje vlhkosti vyskytující se nejčastěji v našich klimatických podmínkách. Následně jsou zmíněny obsahy nejčastěji se vyskytujících vodorozpustných solí v poškozené konstrukci nebo její části. Za hlavní zdroje vlhkosti konstrukce jsou považovány poruchy izolací, které jsou též problematikou této části práce. Závěr této kapitoly popisuje nejčastěji používané druhy hydroizolace a také možné snižování vlhkosti konstrukce.



Třetí etapa práce se bude podrobně zabývat zejména materiály používanými pro gelové infuzní clony. Budou zde popsány nejen způsoby aplikace, ale zejména charaktery a struktury gelů používaných při soudobé aplikaci infuzních clon. Popsány budou i principy působení gelových infuzních clon. Na základě těchto poznatků budou stanoveny zjednodušené laboratorní zkušební postupy pro stanovení prvotních charakteristik.



Čtvrtou etapu již můžeme nazvat etapou experimentální. Zde bude stěžejním parametrem především zvolení spektra zkušebních materiálů a stanovení základních charakteristik injektážních gelů. Po tomto kroku již mohou následovat zkušební postupy stanovující základní charakteristiky injektážních gelů. Jako prvotní charakteristiky byly zvoleny nasákavost impregnovaných vrstev a vodotěsnost povrchových úprav, kde může být jasně zřetelná odpudivost vůči vodnímu prostředí těles impregnovaných injektážním gelem a tím následné možné prvotní posouzení injektážních hmot.

V závěru této kapitoly budou shrnuty veškeré výsledky měření včetně zhodnocení těchto parametrů. Na základě experimentálních výsledků bude možné zúžit výběr zkoušených gelů (na třetinu).



V páté závěrečné části budou stanoveny nejdůležitější charakteristiky injektážních gelů, kterými jsou stanovení míry penetrace v závislosti na rozdílné vlhkosti injektovaných těles a na rozdílné teplotě injektovaných těles. Následně budou zhodnoceny výsledky této experimentální části a vystaveny technické listy charakterizující základní vlastnosti a použití injektážních gelů.

### 3 ÚVOD

Území ČR spadá do mírného klimatického pásu, i tak zde na stavební konstrukce působí celá řada nepříznivých vlivů. Jelikož se tato práce podrobněji zaměřuje na sanaci staveb porušených především vzlínající vlhkostí, je zřejmé že za hlavní problém budeme v tomto případě považovat pórovou strukturu stavebního materiálu, a s tím související nasákavost a postupné zvyšování vlhkosti nejen samotného stavebního materiálu, ale i konstrukce, do které je zabudován. Následné dlouhodobé zvyšování vlhkosti stavební konstrukce vede k degradačním procesům celé konstrukce. Degradační procesy jsou urychlovány, pokud současně se zvýšenou vlhkostí působí i účinky mrazu. Tím se voda v pórové struktuře stavebního materiálu přeměňuje v led. Několikanásobně zvětší svůj objem, čímž vyvolá destruktivní účinek na stavební materiál, a nakonec i statické poruchy konstrukce, ve které je daný materiál zabudován.

Hlavním požadavkem na sanační práce je zpomalení, či lépe, úplné zabránění degradačních procesů. Účelem sanace je nejen navrácení estetického vzhledu, obnovení původních rozměrů a trvanlivosti konstrukce a to zejména u železobetonových prvků. U těchto konstrukcí je důležitá dostatečná krycí vrstva, aby nedocházelo k degradaci ocelové výztuže. Za nejvíce vlhkostně namáhané části stavebních objektů jsou pak považovány sokolové a štítové části budov. [5]

V dnešní době se velice často potýkáme s problémem vlhnutí staveb vystavených do konce 18. století. Do té doby se zdivo proti vzlínající vlhkosti nijak nechránilo, popřípadě bylo izolováno jen zdivo obvodové. Složení tehdejší izolace sestávalo ze dvou lepenek a tří asfaltových potěrů. Životnost takové izolace byla ve srovnání s životností celé konstrukce relativně nízké (u hydroizolačního materiálu je předpokládána životnost 30 let). Proto pokud dojde ke ztrátě životnosti hydroizolačního materiálu, zvýší se jeho propustnost, což je následkem vlhnutí stavebního díla.

Nejen ztráta životnosti, ale i chybný návrh a neodborné provedení může vést k vlhnutí konstrukce. Pozornost je třeba věnovat detailům a samotnému provedení prací. Zde hraje důležitou roli proškolení a odbornost řemeslníků provádějící hydroizolační vrstvu. [2]

Sanační práce se nejčastěji provádí v přízemní či podzemní části objektu. Ve většině případů se jedná o dodatečné vysušovací práce a aplikaci porušené či chybějící hydroizolační vrstvy. Základní ustanovení a jednotlivé zásady jak při průzkumu, navrhování, provádění, tak i kontrole a údržbě stanovuje norma ČSN P 730610 - Hydroizolace staveb – Sanace vlhkého zdiva. [1]

V současnosti je nejrozšířenějším druhem sanace vlhkého zdiva gelovými injektážemi. Tento druh prací se stal populární nejen v rámci ČR. Princip spočívá v napouštění postižené konstrukce gelovým prostředkem, který se v konstrukci rozplyne a vytvoří dodatečnou bariéru vztlínající vlhkosti. Injektážní materiál je vpravován do předem připravených vrtů buď tlakovým způsobem za pomoci čerpadla, nebo beztlakovým způsobem, v tomto případě můžeme hovořit o infuzi.[1]

Praktická část této práce se bude následně zabývat problematikou infuzních gelových clon a jejich aplikací do různých stavebních materiálů s různými vlastnostmi. Proměnnými vlastnostmi materiálů budou vlhkost a teplota. U vybraných druhů stavebních materiálů budou vyvozeny různé vlhkostní stavy a různé teplotní podmínky, při kterých bude materiál infuzně napouštěn. Pak bude kontrolována míra penetrace při různých stavech materiálů. Výsledkem bude technický list, který stanoví použitelnost infuzního prostředku s ohledem na vlhkost a teplotu sanovaného materiálu.



## 4 TEORETICKÁ ČÁST

### 4.1 DEGRADACE MATERIÁLU VLIVEM VLHKOSTI

Parametrů, jež mají negativní vliv na stavební konstrukci jako na celek, tak i na samotné stavební materiály je hned několik. Ovšem vlhkost je v našich podmínkách parametrem působícím velice nepříznivě.

Vlhkost vyskytující se ve stavbách lze rozdělit do následujících skupin:

- Srážková
- Vzlínající
- Kondenzační a
- Provozní

V podstatě se vlhkost vyskytuje všude kolem nás a v tomto podnebí je základním zdrojem života. Pokud se setkáme s nadměrnou vlhkostí, jedná se o problém s přebytečným množstvím vody jak v konstrukci samotné, tak i ve vzduchu. Velkým negativem u stavebních objektů je vlhkost vzlínající působením kapilárních sil.[3]

Každá pevná látka za daných atmosférických podmínek v našem okolí obsahuje určité množství vlhkosti. Její množství závisí na vlhkosti okolního prostředí, pórovitosti, teplotě, průměru pórů a také na množství hygroskopických solí ve zdivu. Vlhkostí materiálu rozumíme množství vody, jež je obsaženo v pórovité struktuře daného materiálu. Nejčastěji se vyjadřuje hmotnostním či objemovým poměrem vody k pevné fázi daného materiálu. [1]

Hmotnostní vlhkost:

$$W_h = \frac{(m_w - m_d)}{m_d} = \frac{m_k}{m_d} \quad (1)$$

Kde:

$m_w$  – hmotnost vlhkého materiálu [g]

$m_d$  – hmotnost suchého materiálu [g]

$m_k$  – hmotnost kapaliny [g]

$w_h$  – hmotnostní vlhkost [-, % hmotnostní]

Vlhkost objemová:

$$W_v = \frac{V_v}{V_d} = \frac{(m_w - m_d)}{q_k \cdot V_d} = \frac{w_h \cdot q_d}{1000} \quad (2)$$

Kde:

$V_v$  – objem volné vody [ $m^3$ ]

$V_d$  – objem suchého materiálu [ $m^3$ ]

$q_k$  – hustota vody [ $kg \cdot m^{-3}$ ]

$q_d$  – objemová hmotnost suchého materiálu [ $kg \cdot m^{-3}$ ]

$w_v$  – objemová hmotnost [-, % objemová]

Jak uvádí literatura [3]: „Množství vody, které do materiálu pronikne, je přímo úměrné povrchovému napětí vody  $\sigma$ , úhlu smáčení  $\theta$  materiálu, nepřímo úměrné hustotě vody  $\rho$  a poloměru pórů  $r$ . Tedy výška, do které může vlhkost v kapilárách vystoupit, je nepřímo úměrná jejich průměru.

$$h \approx \frac{k}{r} \quad (3)$$

kde:

$h$  – výška, do které voda ve zdivu vystoupí [m]

$k$  – konstanta [bezrozměrné číslo]

$r$  – poloměr pórů [m]

„Platí, že čím menší póry, tím výše hladina vody pronikne.“

Z praktického hlediska je vhodné si stanovit přípustnou vlhkost materiálu, tedy takovou, aby při ní nedocházelo k vadám nebo poškozování materiálu popřípadě úplné destrukci. Vlhkost, kterou je možné pro daný materiál připustit závisí na nasákavosti materiálu. Kritickou hodnotou se pak rozumí taková, kdy poměr hmotnostní vlhkosti vzorku materiálu překročí 70 % jeho maximální hodnoty. Kritická hodnota vlhkosti je tedy stanovená hranicí 70 %, jak uvádí výpočet níže:

$$n = \frac{w_m}{w_{m,max}} \cdot 100 \leq 70 \% \quad (4)$$

kde:

$n$  – stupeň nasycení [%]

$w_m$  – hmotnostní vlhkost vlhkého materiálu

$w_{m, \max}$  – hmotnostní vlhkost nasyceného materiálu

Pan Blaha uvádí v díle [3] přípustné hmotnostní vlhkosti dle typu zdiva. Tyto přípustné hmotnostní vlhkosti jsou zřejmé z tabulky 1:

<b>Druh zdiva</b>	<b>Přípustná vlhkost [% hmot.]</b>
Z cihel plných pálených	4 - 6
Z cihel lehčených	3 - 8
Z pórobetonu	8 - 12
Z cihel vápenopískových	3,5 - 5
Z cihel betonových	3 - 4

Tabulka 1: Nejvyšší přípustné hmotnostní vlhkosti dle typu zdiva

## 4.2 VODA A VLHKOST V PORÉZNÍCH MATERIÁLECH

Pórovitá struktura téměř každého stavebního materiálu zajišťuje, že je vlhkost jejich nedílnou součástí. Jako nevhodnou pak považujeme takovou vlhkost, kdy dochází k její kumulaci a tím vyvolání degradačních procesů. Vlhkost se materiálem šíří nejen v kapalně, ale i plynné fázi. Při vlhnutí se uplatňuje celá řada jevů. Těmito jevy máme na mysli zejména fázové přeměny, absorpce vody na stěnách a kapilární efekty. Důležitou a základní podmínkou transportu vody a vlhkosti je pórovitá struktura stavebních hmot. V tomto případě mluvíme o pórech otevřených. U materiálů s uzavřenými póry se nejedná o transportní procesy. [1]

V následujících kapitolách jsou zmíněny a popsány základní transportní procesy, kterými nejčastěji jsou: difuze, kapilární vedení, kapilární kondenzace, povrchová kondenzace, sorpce a vysychání.

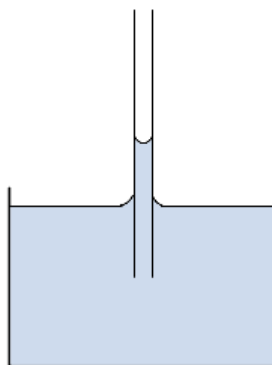
### 4.2.1 Difuze

O difuzi hovoříme zejména u objektů, ve kterých vytváříme určité vnitřní klima, jež je nezávislé na změnách klimatu vnějšího. Tímto rozdílem vnitřního a vnějšího klima dochází k rozdílu teploty vzduchu v exteriéru a interiéru. Při vyrovnávání rozdílných teplot vzniká tok tepla a vlhkosti obalovými konstrukcemi. Směr toku udává snaha po vyrovnání tlakových

rozdílů, proudí tedy z místa s vyšším parciálním tlakem vodní páry do místa s nižším tlakem. Tento proces se nazývá difuze. Důležitou roli hraje i velikost pórů. Vodní pára je schopná difundovat jen póry větší než  $2,78 \cdot 10^{-10}$  m, tato hodnota charakterizuje střední volnou dráhu molekul vody. Pokud se tedy jedná o látku s menšími póry, je difuze vodní páry vyloučena. U stavebních objektů je důležitá schopnost materiálu propouštět vodní páru. Obalová konstrukce budovy by proto měla být koncipována tak, aby difuzní odpor jednotlivých vrstev ve směru od interiéru k exteriéru klesal.

#### 4.2.2 Kapilární vedení

I kapilární vedení patří k transportním mechanismům vlhkosti. Kapilární vedení je charakteristické pro smáčivé hmoty, tedy pro většinu stavebních látek. Při styku pórovité látky s vodou dochází k nasávání vody. Důležité je uvědomit si, že větší póry nasávají vodu rychleji, ale výška vzlinutí není taková jako u jemně pórovitých materiálů, jež nasávají vodu do daleko větších výšek. Kapilárnímu vedení je nutné se u stavebních objektů vyhnout, a to nejlépe vhodným konstrukčním řešením. Zde je největším problémem zemní vlhkost. Ta působí na vystavenou konstrukci a následným vzlínáním je nejčastějším důvodem vlhnutí. Vzlinání je možné pro vysvětlení přirovnat ke kapilární elevaci, která je charakterizována jako rozdíl výšky hladiny kapaliny v kapiláře oproti úrovni hladiny v okolí, tento jev je jasný z obrázku 1. [3]



Obrázek 1: Ukázka kapilární elevace [7]

Maximální výška vzlinutí:

$$h = \frac{2 \cdot \delta \cdot \cos\theta}{r \cdot \rho \cdot g} \quad [1]$$

Kde:

$\delta$  – povrchové napětí kapaliny [ $\text{N} \cdot \text{m}^{-1}$ ]

$\theta$  – úhel smáčení mezi kapalinou a stěnou kapiláry [ $^\circ$ ]

$r$  – poloměr kapiláry [m]

$\rho$  – měrná hmotnost kapaliny [ $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ]

$g$  – tíhové zrychlení [ $\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$ ]

Výška vzlinutí bývá ve skutečnosti menší, než ta stanovená výpočtem. Ve výpočtu se totiž neuvažuje se současným odpařováním vlhkosti z dané hmoty. Transport vody vzlínáním stejně jako difuzí vodní páry ovlivňuje velikost, respektive poloměr pórů a jejich tvar. Vzlinání se jasně projevuje u materiálů s poloměrem pórů od  $10^{-7}$  do  $10^{-4}$  m, přičemž k největšímu transportu vlhkosti dochází u materiálů s póry poloměru  $10^{-5}$  m. U vody vzlínající z podzákladí jsou spolu s vodou transportovány i rozpuštěné soli a minerály. Ty postupně vnikají do konstrukce, kde krystalizují a sedimentují na stěnách pórů. Vzniklé krystaly solí a minerálů zanášejí stěny pórů, čímž zmenšují jejich průměry. Tento jev je důsledkem toho, že u starších staveb dochází k větší výšce vzlinutí, než u staveb novějších vystavených z totožných materiálů. [1]

### 4.2.3 Kapilární kondenzace

Kapilární kondenzace nastává uvnitř stavebních konstrukcí. Thomsonův jev uvádí, že nad zakřivenou plochou je tlak vodních par menší, než nad rovnou hladinou. A je tím menší, čím je křivost hladiny větší. Jev kapilární kondenzace je závislý na četnosti pórů dle poloměrů. U nejjemnějších kapilár nastává kondenzace ještě před dosažením nasyceného tlaku vodní páry. Pro stavební praxi je důležitý poznatek, že při totožných teplotních i vlhkostních podmínkách a při shodném objemu pórů se budou vnitřní vlhkosti stejné látky lišit, pokud jedna bude mít větší poloměr pórů než druhá. [1]

### 4.2.4 Povrchová kondenzace

Povrchová kondenzace je závislá na obsahu vodní páry v atmosférickém vzduchu. Obsah vodní páry ve vzduchu je závislý na způsobu užívání stavby a na zdrojích vodní páry zde umístěných. Povrchová kondenzace nastává v případě, kdy má předmět obklopován vzduchem o určité teplotě a vlhkosti, teplotu nižší než je teplota rosného bodu. Ve stavebních objektech jsou kritickými místy především:

Výplně otvorů v obvodových konstrukcích; Svislé kouty; Tepelné mosty v obvodových stěnách, střechách, ve vnitřních stěnách, nebo stropech; Ostění, nadpraží a parapety u oken, ostění a nadpraží u venkovních dveří; Vodorovné kouty u obvodových stěn v místech kontaktu se stropy či podlahami. [9]

#### **4.2.5 Sorpce**

Veškeré stavební materiály, které konstrukce obsahuje, mají schopnost pohlcovat vodní páry z ovzduší a to až do dosažení rovnovážného stavu. Pokud je parciální tlak ve zdivu vyšší než parciální tlak okolního prostředí, uvolňují se vodní páry, až do vyrovnání tlaku do ovzduší. Tento rovnovážný stav je závislý jak na teplotě prostředí a parciálním tlaku vodní páry. Jevy při tomto procesu se nazývají sorpce a desorpce vodní páry.

#### **4.2.6 Vysychání**

Při transportu vlhkosti má hned vedle difuze velký význam i vysychání. V prvotním stádiu stavby dochází k volnému vypařování do okolí, posléze se vypařovací oblast posune do nitra konstrukce, kde již volné vypařování nemůže pokračovat. Zde se musí vodní pára nejprve dostat difúzí k povrchu materiálu a následně se odpaří do okolního prostředí. Vysychání závisí na parciálním tlaku vodní páry, teplotě, teplotě vzduchu, jeho rychlosti proudění a vlhkosti. Za optimální podmínky pro vysychání lze považovat suchý proudící vzduch s teplotou vyšší než má vlhká konstrukce. Pomalejší vysychání pak lze očekávat u zdiva, na jehož povrchu jsou patrné výkvěty solí nebo u materiálů se zakřivenými póry. [1]

### **4.3 ZDROJE VLHKOSTI V KONSTRUKCI**

Za hlavní zdroje zvýšené vlhkosti můžeme v jednoduchosti považovat taková místa v objektu, kterými do konstrukce vniká voda ve skupenství nejen kapalném, ale i plynném. Tuto vodu je možné dále dělit na vodu atmosférickou, kterou máme na mysli vodu z ovzduší v jakémkoliv skupenství, dále vodu podpovrchovou, jež je obsažena v zemině, která objekt obklopuje a lze ji dále dělit na vodu půdní, gravitační, kapilární a podzemní a nakonec je zdrojem zvýšené vlhkosti i vlhkost provozní. [1]

Dále můžeme za zvýšené zdroje vlhkosti považovat tyto druhy vod:

#### **4.3.1 Voda srážková**

Vodu srážkovou je možné dále dělit na vodu odstříkující a vodu hnanou větrem. Voda hnaná větrem má u staveb daleko hlubší pronikání do zdiva. Vodní kapky hnané větrem dosahují určitého tlaku a tak mají možnost pronikat do větších hloubek a to zejména trhlinami. Oproti tomu vodou odstříkující je namáhána především spodní část konstrukce, tedy soklové zdivo.

Kritické je zimní období, kdy spolu s vodou, sněhem a rozmrazovacími látkami se do konstrukce dostává řada solí. Z tohoto hlediska je důležité dbát na správné řešení detailů soklového zdiva, aby se předešlo vlhnutí a zasolování zdiva. Dále k vodě srážkové můžeme řadit i vodu pronikající komínovými průduchy. Tento problém nastává pouze v případě, pokud není komín zastřešen komínovým nástavcem. Tehdy má voda možnost stékat po stěnách komínu, následně se hromadí na dně a odtud vsakuje do okolních konstrukcí. [1]

### **4.3.2 Voda vzlínající**

U vody vzlínající v tomto případě hraje velkou roli zemní vlhkost. Zemní vlhkost je voda vázaná v pórovité struktuře zeminy sorpčními a kapilárními silami. Vzlínající voda proniká do konstrukcí kapilárním vzlínáním zejména z podzákladí. V mnoha případech především díky poškozené či úplně chybějící plošné hydroizolaci. Voda vniká do základového zdiva kapilaritou otevřených pórů zeminy, vodní pára pak difunduje do zdiva podzákladím, následně voda ze základového zdiva je nasávána póry a kapilárami silami vzhůru do zdiva. [1]

### **4.3.3 Voda kondenzující**

K dalším zdrojům zvýšené vlhkosti konstrukce připívá i voda kondenzující. Kondenzace nastává tehdy, je-li pokles teploty vnitřního povrchu konstrukce pod teplotu rosného bodu vnitřního vzduchu. Voda v těchto podmínkách kondenzuje nejen nad úroveň terénu, ale také pod jeho úroveň. Zkondenzovanou vlhkost pak nejčastěji nacházíme v místech tepelných mostů. [1]

Dalšími případy zvýšené vlhkosti mohou být vody působící hydrostatickým tlakem, samotná hygroskopicitata stavebního materiálu, zabudovaná technologická vlhkost, pronikání vody poškozenými sanitárními instalacemi či chybějícími nebo porušenými dešťovými okapy a svody. [1]

## **4.4 PORUCHY ZAPŘÍČINĚNÉ ZVÝŠENOU VLHKOSTÍ**

Zvýšená vlhkost stavby či kterékoliv její části je vadou. Stavební závada způsobená zvýšenou vlhkostí se prvotně projevuje jako vada estetická a až s postupem času může být poruchou či vadou způsobující ohrožení bezpečnosti uživatelů, životního prostředí, nebo dokonce poruchou narušující funkci stavby. V ČR jsou jako stavební materiály stále nejpoužívanější tradiční zdící materiály, na kterých se vlhkost projeví nejprve vizuálně. Je tedy spolu v souvislosti s různými typy poruch vhodné definovat určité hranice hodnot vlhkosti pro

různé typy materiálů. Přirozenou rovnovážnou vlhkostí obvykle bývá hranice 20 °C a relativní vlhkosti 60 % (uvedené hranice vlhkostí jsou výsledkem zkušeností, nelze stanovit pro daný typ zdiva přesné hodnoty). Vedle přirozené rovnovážné vlhkosti je důležitá i hranice vlhkosti kritické. Pokud je trvale v konstrukci dosaženo kritické vlhkosti nastává výrazný rozpad povrchu materiálu a mimo plísní se vyskytuje i napadení houbami a bakteriemi. Vlhkost nacházející se v rozmezí rovnovážné a kritické podstatně zhoršuje vlastnosti zdiva.

Jak uvádí Ing. Blaha v knize [3]: „Obecně pro všechny typy materiálů platí pravidlo, že kritická vlhkost je dosažena při překročení hodnoty 65 – 75 % nasákavosti zdiva. [3]

Materiál	Obj. hmotnost [kg·m <sup>-3</sup> ]	Pórovitost [% obj.]	Nasákavost [% hmot.]	Vlhkost [% hmot.]	
				rovnovážná	kritická
Vápenocementová omítka	1800	40	20	4	14 - 15
Beton	2200	8 - 15	3 - 6	1,5	2,5 - 4,5
Pórobeton	400 - 800	65 - 80	60	8 - 12	25
Cihly pálené	1700	25 - 40	12 - 24	2 - 4	8 - 15
Pískovec	1800 - 2600	2 - 25	-	-	-

Tabulka 2: Základní vlastnosti minerálních materiálů [3]

#### 4.4.1 Estetické poruchy

K prvotním příznakům jak identifikovat vadu konstrukce způsobenou vlhkostí je vizuální posouzení. Vlhkostní mapy nejčastěji jsou nejčastěji viditelné na vnitřních či vnějších omítkách. Tyto vlhkostní poruchy jsou následně spojeny s rozrušením povrchu krystalickým tlakem výkvětovných solí, které obsahuje voda smáčející objekt. Vzlínající vlhkost v počátečních fázích vlnutí obejtu na exteriérových stěnách bývá problém pouze estetický, závažnější důsledky, jako například destrukce nehrozí. V interiéru je ovšem důležité brát v úvahu hygienické a zdravotní hledisko vnitřního klimatu. [3]

#### 4.4.2 Ohrožení bezpečnosti a životního prostředí

Při zvýšené vlhkosti jakékoliv části stavební konstrukce je největším rizikem vznik plísní. Plísně vznikají nejen na povrchu konstrukce, ale i na nábytku a předmětech v blízkém okolí. Dávat pozor je nutné v případě, že vada není esteticky nikterak závažná. I v tomto případě může způsobit zdravotní problémy uživatelů. [3]



### 4.4.3 Narušení konstrukce stavby

Vlhkost působící na stavební objekt může mít i daleko závažnější důsledky než jen estetické. Tyto vady bohužel mohou snížením užitných vlastností materiálů zapříčinit i vážné statické problémy. Příkladem může být narušení dřevěné konstrukce stropu a krovu, či dlouhodobé zatékání do dřevěné podlahy. [3]

## 4.5 OBSAH VODOROZPUSPUSTNÝCH SOLÍ

Určité množství vad a poruch připisovaných na konto působení vlhkosti by nevzniklo v případě zatížení pouze čistou vodou. Společně s vodou jsou transportovány i další škodliviny. Ty se podílejí na poškozování povrchu stavebního materiálu a následně i celé konstrukce. Pohyb vody porézním materiálem umožňuje transport či vznik solí ve hmotách. Nakumulování solí v určitých místech může vést až k destrukci. Z hlediska stavebnictví je jen určité množství solí, které působí škodlivě. Pokud hovoříme o poškozování fasád, omítek, kamení či jiných prvcích, hraje velkou roli rozpustnost solí. Nerozpustné nebo téměř nerozpustné soli mají vliv na stavební hmoty prakticky zanedbatelný. Pro příklad takovéto soli je možné uvést uhličitany vápenatý. Z chemického hlediska se jedná o sůl, ale na stavební materiál nevyvozuje žádné negativní důsledky, naopak se používá jako pojivo nátěrů nebo omítek.

V opačném případě soli rozpustné mohou mít při dlouhodobějším působení na objekt až fatální následky. Nejčastějšími reprezentanty těchto solí jsou chloridy, sírany a dusičnany, v menším měřítku můžeme na stavbách nalézt vodorozpustné uhličitany a dusitany. [1]

Mechanismus působení těchto solí je způsoben pronikáním, kapilárním vzlínáním, formou solného roztoku do materiálu. Při změně prostředí dojde k odpaření vody a následné krystalizaci solí v porézní struktuře materiálu, čímž jsou způsobeny výkvěty solí. Za nejškodlivější pak považujeme takové soli, které při krystalizaci zvětšují svůj objem nejvíce. Například uhličitany vápenatý vytváří vápenaté výkvěty na povrchu materiálu, tyto výkvěty mají minimální destruktivní účinek. V tabulce 3 můžeme vidět typické výkvětovorné soli a jejich působení. [3]

Chemická sloučenina	CaCO <sub>3</sub>	CaSO <sub>4</sub> ·2H <sub>2</sub> O	NaCl	NaNO <sub>3</sub>
Zvětšení objemu při krystalizaci [%]	6	115	130	150
Krystalický tlak [MPa]	-	111	219	98
Typ soli	uhličitan	sádrovec (síranová sůl)	chlorid	dusičnan

Tabulka 3: Některé typy výkvětovorných solí [3]

Za nejagresivnějších ze zmiňovaných solí, jak můžeme vidět dle nejvyššího krystalizačního tlaku, považujeme chloridy. Ty se nejčastěji vyskytují v soli určené pro ošetřování komunikací v zimním období, či v minerální spodní vodě. Další solí je dusičnan, vyskytující se v půdách a spodních vodách při rozkladu organických látek nebo z chemických hnojiv. A nakonec sírany, vyskytující se převážně ve znečištěném ovzduší, čímž mohou být obsaženy v samotné stavební hmotě a také v chemických hnojivech. [3]

## 4.6 NEJČASTĚJŠÍ PŘÍČINY PORUCH IZOLACÍ

Za jednu z největších příčin poruch izolací považujeme vysokou hmotnostní vlhkost stavebního materiálu. Ta zapříčiňuje poruchy viditelné i skryté. Často také spojené se salinitou a vyskytujícími se mikroorganismy škůdci. Vnikání vody (vlhkosti) do stavební konstrukce může být dvojitý. Buď se jedná o trvalé či jednorázové vnikání. V případě jednorázového vnikání máme nejčastěji na mysli pronikání vody do zdiva způsobené vodou volnou, vlastností stavebního materiálu či vlastnostmi provozu. Téměř vždy se ale jedná o závadu konstrukce nebo některého technického zařízení. Pokud stavební konstrukce dostatečně nebrání pronikání vody do objektu, lze to považovat za vadu. K této vadě může dojít i důsledkem dožití izolací, jejich vadným provedením, změnou užívání stavby či špatným návrhem stavby.

Za hlavní stavební závadu lze považovat především chybně vytvořené detaily částí stavby. K těmto stavebním vadám je možné řadit nesprávně provedené anglické dvorky, pochůzné chodníky podél fasád, i podélné vzduchové dutiny, které zvyšují difuzi vody z obvodových stěn.

Další a neméně závažnou vadou jsou nevhodné dodatečné úpravy, které neodpovídají původnímu účelu stavby. Nejčastěji se jedná o utěšňující povlaky a betonové povrchy chodníků či dvorků. V některých případech se může jednat i o nevhodně provedené sanační úpravy. [1]

#### **4.6.1 Chybějící hydroizolace, ztráta životnosti**

V dnešní době se problém chybějící hydroizolace zdá být až nemožný, ovšem u historických staveb, nebo objektů určených pro méně náročné účely izolace v dřívějších dobách skutečně prováděny nebyly. Toto zjištění nemusí být pravidlem u všech zmiňovaných typů staveb. Je možné nalézt i výjimky, kdy například u městských domů či církevních staveb, byly do zdiva vkládány vrstvy ostře pálených keramických materiálů, kamenné desky, vytvářeny jílové vrstvy u pat obvodového zdiva. Nejčastěji se prováděl systém vzduchových kanálků pod podlahami nebo po obvodu.

Porušení stavby vlhkostí může nastat i v případě kdy původní hydroizolační systém dožil a ztratil tím svou funkci. Například životnost lepenkové izolace, dříve hojně používané pro izolaci proti vodě, je několikrát nižší než uvažovaná životnost celé konstrukce. [1]

#### **4.6.2 Nekvalitní provedení**

Nekvalitně provedené izolace spodních staveb může nastat i u správného návrhu. V tomto případě se v naší zemi jedná o problém nejčastěji se vyskytující u novostaveb. K nejčastějším příčinám řadíme vadně provedené spoje izolačních pásů. Podcenění detailů při styku vodorovných a svislých plošných izolací, chybně provedené detaily při ukončení hydroizolace, nebo pokud jsou hydroizolační práce prováděny při nevhodných klimatických podmínkách. [1]

#### **4.6.3 Chybný návrh**

Jak již bylo zmíněno v předešlé kapitole, jednou z mnoha příčin poruch izolačního systému může být i špatně provedený návrh izolace stavby. Tato vada je nejčastěji způsobena chybou projektanta, který neodborně posoudí okolní podmínky pro založení stavby, a tím následně navrhne nedostačující izolaci. Obdobný problém může nastat i v případě, kdy jsou navrženy nedostatečné odvlhčovací metody. [1]

#### 4.6.4 Působení vnějších a vnitřních negativních vlivů

Působením vnějších negativních vlivů máme nejčastěji na mysli hydrogeologické vlastnosti okolního terénu a podzákladí. K poruchám izolací těmito vlivy dochází vlivem nevhodně situovaných staveb, nejčastěji novostaveb, změnou úrovně spodní vody, nevhodnou úpravou povrchů v nejbližším okolí (chodníky) nebo dynamickými účinky (pojezd těžkých aut).

K vnitřním negativním vlivům pak můžeme řadit statiku budovy, změnami tepelně technických podmínek a způsobu provozu. [1]

### 4.7 Hydroizolace

Jelikož vlhkost v našich podmínkách působí na každé stavební dílo, je důležité věnovat pozornost i izolaci proti vodě, tedy hydroizolaci. Rozděluje ji podle způsobu, kterým je v konstrukci namáhána na izolaci:

- Proti zemní vlhkosti
- Proti podzemní vodě prosakující z horninového prostředí
- Proti gravitační vodě, která se hromadí na vodorovném povrchu podzemních konstrukcí
- Proti atmosférické vodě
- Proti povrchové a odstříkující vodě
- Proti tlakové vodě menší/větší než 0,02 MPa [3]

Vodotěsnou izolaci považujeme za velice náročný prvek stavebního díla. Ve většině případů se jedná a takovou část konstrukce, která ovlivňuje kvalitu i životnost celé stavby a přitom je trvale nepřístupná. Z tohoto hlediska je důležité dbát na správnost a zodpovědnost projektu, ve kterém je nutné řešit základní skladbu včetně detailů vyskytujících se na stavbě. Při samotném provádění je nutné brát v úvahu materiálové složení, technické i technologické požadavky. Projektová dokumentace musí zohlednit postupy a způsoby realizace včetně možných provizorních opatření.

K nejstarším metodám izolace spodní stavby proti vlhkosti řadíme aplikaci plošných povlakových systémů. [1]

### 4.7.1 Dimenzování hydroizolace

Samotné dimenzování a návrh izolace proti vodě je závislý na podmínkách okolního prostředí, jež působí na konstrukci, popřípadě, do kterého má být budoucí stavba umístěna. Je nutné brát zřetel jak na teplotu, tak i na vlhkostní podmínky interiéru. V dnešní době je důležité zohlednit veškeré omezující parametry včetně těch finančních. I korozní a mechanické namáhání je respektováno při požadavcích na danou trvanlivost a spolehlivost. Hydroizolace musí být tedy navržena tak, aby negativně neovlivňovala okolní prostředí. [3]

## 4.8 SNIŽOVÁNÍ VLHKOSTI KONSTRUKCE

Snížování vlhkosti konstrukce je v dnešní době a našich klimatických podmínkách často řešeným problémem. Tato problematika dnes často nazývá sanaci vlhkého zdiva se dále podle základní technologie dělí na:

- Metodu přímou
- Metodu nepřímou
- Metody doplňkové

Přímá metoda sanace vlhkého zdiva spočívá v zabránění dalšího šíření a pronikání vlhkosti do konstrukce. Tato metoda většinou spočívá ve vkládání hydroizolačního materiálu do spár vytvořených ve zdivu. Dalším možným způsobem je napouštění zdiva vhodnými chemickými látkami, nebo užití elektroosmózy či popřípadě vzduchoizolačních systémů.

Za metody nepřímé sanace vlhkého zdiva pak považujeme zejména vhodnou úpravu okolního terénu, jako je například odvodnění horninového prostředí, úpravu sklonu a povrchu okolního terénu, nebo nucené či přirozené větrání interiéru konstrukce.

Zmiňované základní sanační metody se vhodné doplnit metodami dalšími, tzv. doplňkovými. Ty lze dále řadit na doplňkové metody přímé, ke kterým řadíme povlaky a vrstvy z hydroizolačních materiálů, a metody nepřímé doplňkové, kterými jsou sanační omítky a preventivní aplikace nátěrů. [2]

Obsah vlhkosti v konstrukci je jedním z nejdůležitějších parametrů, který je zapotřebí sledovat. Vlhkost spolu s působením mrazu vede při přeměně vody v led ke zvětšování objemu v kapilárách. Při přechodu vody v led dochází k nárůstu až o 9 % a vzniklé krystalizační tlaky

mohou dosahovat až 200 MPa. Tyto tlaky jsou závislé na velikosti kapilár. Led se zpočátku začíná vytvářet v kapilárách větších a následně se tlačí do kapilár menších. Z tohoto lze usoudit, že nejvíce vlhkostně postiženými místy jsou suterény konstrukcí. [4]

Způsobů jak vytvořit přiměřeně suché povrchy je hned několik a dělíme je do čtyř základních skupin:

- Odvod vlhkého vzduchu (umožněním přestupu vodní páry do atmosféry)
- Odvádění vody z konstrukce do míst pro stavbu neškodlivých
- Vytváření dodatečných clon
- Prodyšné povrchové úpravy

Obecně je možné sanační metody rozdělit na metody povrchové úpravy a metody předpokládající zásah do konstrukce. Téměř v žádném případě není možné sanaci provést jen jednou ze dvou zmíněných metod, vždy se jedná o kombinaci těchto metod. Zároveň je důležité dodržovat příslušné normy a směrnice.

Pro výběr správné metody je zapotřebí zohlednit několik parametrů:

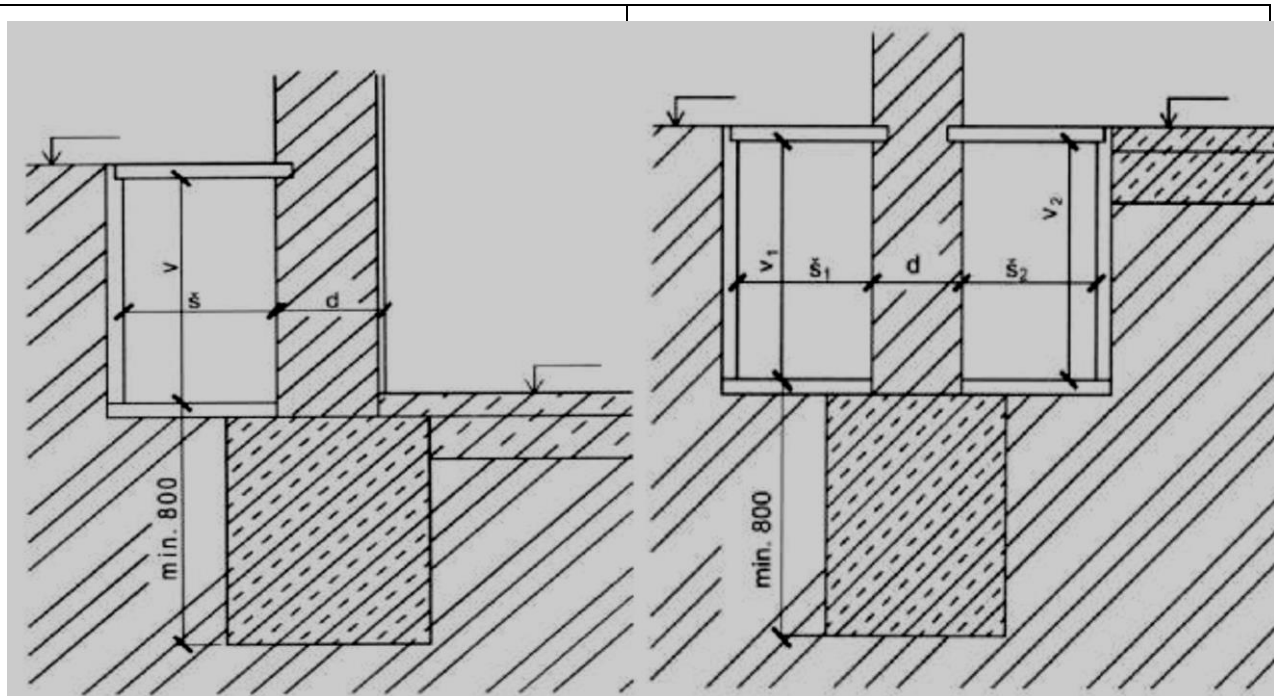
- Účinnost vzhledem ke stavu a potřebě objektu
- Souvislost s dalšími pracemi
- Vhodnost aplikace (památková ochrana)
- Náročností na provádění a s tím související možné omezení provozu [1]

V počátku provádění sanací byly především metody mechanické, jelikož při této metodě bylo zapotřebí probourání zdiva a následné vložení hydroizolace je zřejmé se jednalo o jednu z metod jak časově, tak i finančně náročnou. Spolu s dalším vývojem byly vyvinuty a dnes velice užívány metody chemické. Chemické metody spočívají ve vytvoření soustavy vrtů, do kterých je aplikována vhodná chemická látka. Ta se ve zdivu rozplyne a vytvoří dodatečnou hydroizolační clonu. [2]

#### **4.8.1 Vzduchové systémy**

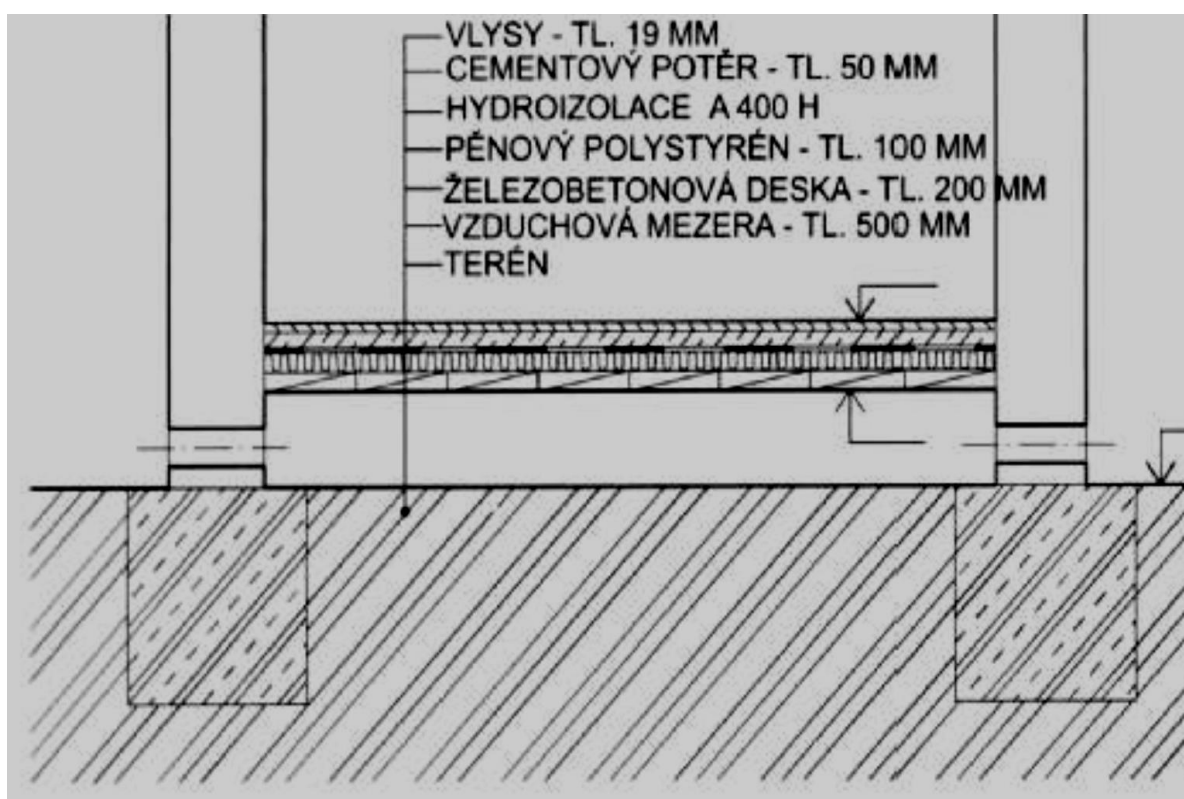
V současnosti nejsou vzduchové izolační systémy u novostaveb téměř vůbec používány. Pokud ovšem hovoříme o sanaci vlhkého zdiva objektu, zvláště u památek historických, nachází tento systém stále své uplatnění.

Vzduchový izolační systém lze dělit do několika skupin. Tak například na vzduchové dutiny a ostatní vzduchové izolační systémy. Vzduchové dutiny dělíme dle polohy na svislé a vodorovné. Další možné dělení je dle umístění, na vnější či vnitřní straně obvodového zdiva, či podle způsobu proudění vzduchu na přirozené nebo nucené proudění vzduchu. Ukázky některých vzduchových izolačních systémů můžeme vidět na níže (obrázek 2 až obrázek 4). [1]



Obrázek 2: Vzduchová dutina na straně exteriéru[1]

Obrázek 3: Vzduchová dutina po obou stranách zdi[1]



Obrázek 4: Ukázka vodorovné vzduchové mezery pod podlahou [1]



## 4.8.2 Plošná izolace

U plošných izolací je nutné si znovu uvědomit, že izolace spodní stavby je velice důležitý a současně náročný prvek stavební konstrukce. Hydroizolace je po dokončení stavebního díla ve většině případů trvale nepřístupná a ovlivňuje kvalitu i životnost celé stavební konstrukce. Při předpokládaném působení tlakové vody na hydroizolaci stavby je nutné vypracovat projektový návrh hydroizolace, který musí obsahovat řešení základních staveb i s detaily, jež se při výstavbě vyskytnou. Projektová dokumentace zohledňuje nejen technologické řešení, ale i postupy a způsoby realizace, spolu s možnými provizorními opatřeními. Samotné technické řešení musí respektovat vstupní údaje. Těmito údaji může být míra ochrany před podzemní vodou, hydrogeologické a další kombinované namáhání objektu, ale i klimatické a technologické prováděcí podmínky.

Plošné povlakové izolace patří v dnešní době k nejstarším metodám izolace spodní stavby. V dřívějších dobách se jednalo o jediný druh hydroizolace používaný při výstavbě a proto mu i v této práci věnována určitá pozornost. Při vypracování projektové dokumentace je důležitým ukazatelem způsob namáhání podzemní vodou. Základní namáhání podzemní vodou rozdělujeme na:

- Penetrační – kdy má voda snahu proniknout do interiéru
- Statické – to v případě, kdy nemá voda možnost proniknout do interiéru, snaží se s objektem alespoň pohnout
- Korozivní – vodou či jejími chemismy nastává při styku koroze všech stavebních materiálů

Plošné izolace zajišťují izolaci nejen vodotěsnou, ale i ochranu proti radonu a to v kategorii odpovídající certifikaci. [1]

### ***Materiály vodotěsných izolací***

Jak již bylo zmíněno, hydroizolace stavby je důležitým a náročným prvkem celé konstrukce, proto je zapotřebí věnovat pozornost i materiálům vodotěsných izolací a každý musí splňovat určité požadavky.

Kterýkoliv materiál nesmí být z, či obsahovat, biologicky odbouratelný materiál a zároveň musí být životnost materiálu přibližně shodná s životností stavebního díla. Je vhodné navrhnout

takové materiály a prvky, které spolu budou vhodně působit v celém systému bez negativního ovlivňování. Současně musí veškeré materiály odolávat namáhání, kterému budou v průběhu své životnosti vystaveny. [2]

V dnešní době se při izolaci proti vodě používá řada materiálu a v této práci budou zmíněny jen ty nejpoužívanější. Samotná volba vhodného materiálu není vůbec jednoduchá, v mnoha případech je možné vybírat z materiálů od různých výrobců. [3]

### ***Živičné hydroizolace***

Jedním s nejpoužívanějších hydroizolačních materiálů jsou živičné hydroizolace. Živice jsou v podstatě dehty, přírodní asfalty a ropné asfalty. Asfalty, přírodní i ropné, jsou směsí netěkavých uhlovodíků. Jedná se o materiál neporézní, hořlavý a neobtnající. Vlivem organických rozpouštědel dochází k rozpouštění a při působení světla a kyslíku asfaltové materiály tvrdnou, ale také křehnou. Při výrobě těchto materiálů se nejčastěji používají destilační zbytky ze zpracování ropy. Následně jsou uvedeny základní druhy živičných hydroizolací.[3]

### ***Asfaltové nátěrové hmoty***

Asfaltové nátěrové hmoty jsou zpracovávány za horka. Před použitím je potřeba tyto hmoty zahřát na teplotu 150 – 200°C. Nátěry je možné zesilovat, a to vkládáním vloček. Takto zesilované nátěry byly hojně používány v minulosti, nyní se téměř nepoužívají. Nejpoužívanější skupinou asfaltových nátěrových hmot jsou asfaltové a penetrační laky, emulze a suspenze. Využívají se pro opravy krytin střech z asfaltových pásů a pro vytváření hydroizolačních vrstev.[3]

### ***Dehty***

Dehty vznikají při destilaci uhlí či dříví při omezeném přístupu vzduchu. Oproti asfaltům mají menší trvanlivost a nižší bod měknutí, což je způsobeno obsahem karcinogenních uhlovodíků a fenolů. V dnešní době nepoužívají a setkáváme se s nimi pouze u stávajících staveb. [3]

### *Asfaltové hydroizolační pásy*

Asfaltové hydroizolační pásy představují základní výrobek pro systémy krytin a izolací spodních staveb. Základním prvek je nosná vložka. Ta zajišťuje splnění mechanických vlastností, kterými jsou především pevnost v tahu a tažnost. Vložka nemusí být v materiálu pouze jedna, naopak se často setkáváme s výrobky, ve kterých je vložek umístěno více. Nosné vložky můžeme dělit dle nasákavosti na nenasákavé a nasákavé. K nenasákavým řadíme například skleněnou tkaninu, skleněnou rohož, kovovou fólii či jejich kombinace a mezi nasákavé řadíme surovou lepenku, sulfátový papír či tkaniny a plsti z organických vláken. Organických materiálů jako vložek se používá jen u podřadných výrobků, při svém mechanickém poškození jsou nasákavé a v této souvislosti dochází k hnilobě a tím degradaci společně s urychleným stárnutím asfaltové vrstvy. V současnosti jsou krycí vrstvy nejčastěji tvořeny modifikovaným asfaltem. V rámci České republiky se pásy třídí podle množství krycí vrstvy na:

- typ A – skládá se z nosné vložky napuštěné asfaltem, nános krycí vrstvy je do  $500 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$
- typ R – obsahuje nosnou vložku a krycí vrstvu z obou stran, jejichž tloušťka je do 1 mm
- typ S – Složení je totožné jako u typu R, jen tloušťka krycí vrstvy je nad 1 mm a celková tloušťka pak minimálně 4 mm.

Následně podle použití dělíme pásy na povlakové střešní krytiny a pásy určené k izolaci spodní stavby.

### ***Plastové a elastové hydroizolace***

Spolu s rozvíjející se makromolekulární chemií byly do stavebnictví přivedeny plošné plastové výrobky pro hydroizolace, nejčastěji ve formě fólií. Nyní je vyráběn široký sortiment výrobků, a ty nejpoužívanější budou uvedeny dále.

Jedním z nejrozšířenějších výrobců a prodejců tohoto druhu hydroizolace je Lithoplast s.r.o. Jedná se o českou firmu s činností zaměřenou na výrobu a prodej polyetylenových fólií jak hladkých tak tvarovaných.

## *PVC fólie*

V případě PVC fólií se jedná o fólie z měkčeného PVC, v některých případech mohou být vyztuženy vložkou uvnitř či na povrchu. Fólie mají dobrou pevnost, dobře odolávají působení anorganických látek při běžných koncentracích a mají vysokou tažnost. Organickým rozpouštědlům a ropným produktům až na výjimky neodolávají. Důležité je v případě běžných PVC fólií dávat pozor na asfalty, dehty, pryže a polystyren, se kterými by fólie neměla přijít do přímého styku. [3]

Firma Lithoplast s.r.o. nabízí i širokou škálu produktů od výrobce Fatra, a.s.. Můžeme zde nalézt i ucelený hydroizolační systém s názvem Fatrafol (obrázek 5), jež se skládá z několika fólií. Hlavním rozdílem těchto dvou výrobců fólií je materiál pro výrobu. V případě hydroizolačních fólií od výrobce Lithoplast jsou fólie vyráběny ze zdravotně nezávadného polyetylénu, oproti výrobcí Fatra, kde jsou vyráběny z PVC. Firma Lithoplast s.r.o. má systém hydroizolačních fólií rozdělen do několika kategorií, kterými jsou: hydroizolace základů staveb, izolace střech a izolace jezírek. Společně pak fólie Fatrol s doplňkovými a dalšími pomocnými prvky tvoří ucelené hydroizolační systémy. [10]



Obrázek 5: Ukázka izolace Fatrafol 803 [10]

## *Polyetylenové (PE) fólie*

Fólie z polyetylénu se vyrábějí z nízkotlakového polyetylénu PEHD, spojují se horkým vzduchem, extruzním svařováním nebo horkým klínem a používají se zakryté. Oproti tomu fólie z vysokotlakého polyetylénu PELD jsou měkčí a snáze zpracovatelné. [3]

## *Kaučukové fólie*

V dřívějších dobách byly hojně používány fólie z chloroprenového kaučuku, dnes se k nám dováží fólie EPDM s velice zajímavými fyzikálními vlastnostmi a vysokou odolností proti působení chemikálií a povětrnostním vlivům. [3]

## *Nopové fólie*

Profilované neboli polyetylenové nopové fólie jsou poměrně tuhé a prostorově vytvarované nopy, které jsou rovnoměrně rozmístěny tak, že při styku s konstrukcí vytvářejí nopy soustavu vzduchových dutin umožňující odpaření vlhkosti z konstrukce či odtékání vody. Tyto fólie se nejčastěji používají jako separační vrstva, izolace proti stékající vodě a zemní vlhkosti. Speciální druhy těchto fólií jsou opatřeny výztužnou sítí umožňující nanesení omítky. [3]

## *Silikátové hydroizolační hmoty*

V případě silikátových hmot hovoříme o směsi obyčejných nebo speciálních cementů s plnivými a polymerními přísadami. Nejčastěji jsou dodávány jako jednosložková či vícesložková suchá směs mísitelná s vodou. Silikátové hydroizolační hmoty jsou prioritně určeny pro úpravy betonových povrchů. Jejich velkou výhodou je možnost nanášení na vlhký podklad a vysoká přídržnost.

Speciálními výrobky jsou směsi určené k hydroizolaci betonu. Jelikož ale vytváří krystalky ve struktuře, není jejich použití vhodné u konstrukcí s trhlinami v pohybu či pro úpravy dilatačních spár. [3]

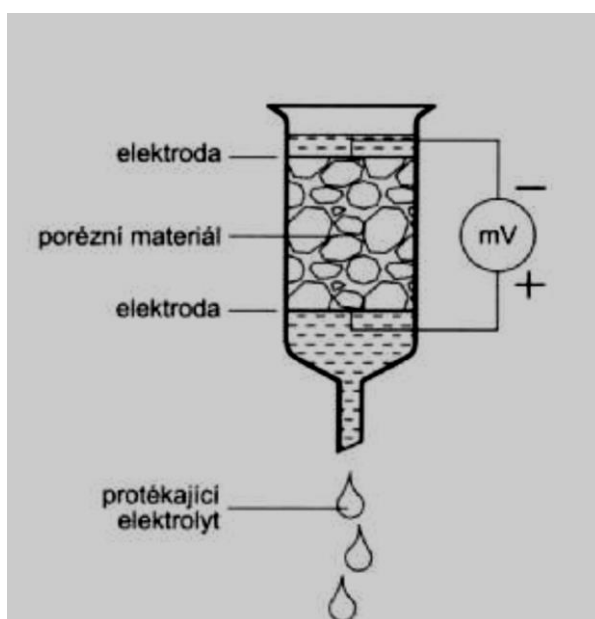
### **4.8.3 Izolace jílové**

Jíl je přírodní surovina a její velkou výhodou je snadná tvarovatelnost ve vodní suspenzi a to bez porušení celistvosti. Vysušením si získává tvar a nejen mechanickou pevnost, ale i odolnost vůči okolnímu prostředí, především proti vodě a vlhkosti. Izolace z jílu řadíme k historickým úpravám, které je možno provádět současně se stavbou nebo dodatečně. U jílových izolací nelze zajistit úplné utěsnění stavby. Zajišťují však optimální vlhkostní stav ve zdivu, což je hlavní předností tohoto druhu izolace. Na plastičnost jílových surovin závisí na obsah jílových minerálů, jejich charakteru, vysoké disperzitě částic zeminy, či schopnost iontové výměny na povrchu částic. K nejznámějším jílovým materiálům patří kaolinit, illit a montmorillonit řadící se mezi vrstevnaté jednoduché minerály.[1]

#### 4.8.4 Elektroosmotické metody

Mezi další způsoby snižování vlhkosti řadíme metody elektroosmotické. Jejich princip spočívá ve vytváření potenciálu stejnosměrného proudu potlačující proces kapilárního vztlínání. V případě elektroosmotické metody hovoříme o přímé metodě sanace vhodné pro všechny druhy materiálů s pórovitou strukturou, která je zapotřebí k působení kapilárních sil. Významnou roli hraje i bezchybné uspořádání elektrod ve zdivu i zemině a správné připojení ke zdroji. [1]

Princip elektroosmózy uvádí Balík a kol. v práci [1] takto: „Vlivem pohybu kapaliny vzniká elektrický potenciál proudění na elektrodách. Tento potenciál je opačné polarity vůči elektroosmóze. Fyzikálně lze definovat elektrický potenciál proudění jako potenciálový rozdíl vztažený na jednotkový tlakový rozdíl při nulovém elektrickém proudu. Vlivem vloženého elektrického napětí dojde k toku vody otevřenou pórovitou strukturou materiálu ve směru od kladné elektrody k záporné.“



Obrázek 6: Ukázka potenciálu proudění [1]

Elektroosmóza se rozděluje do několika hlavních typů, a těmi jsou:

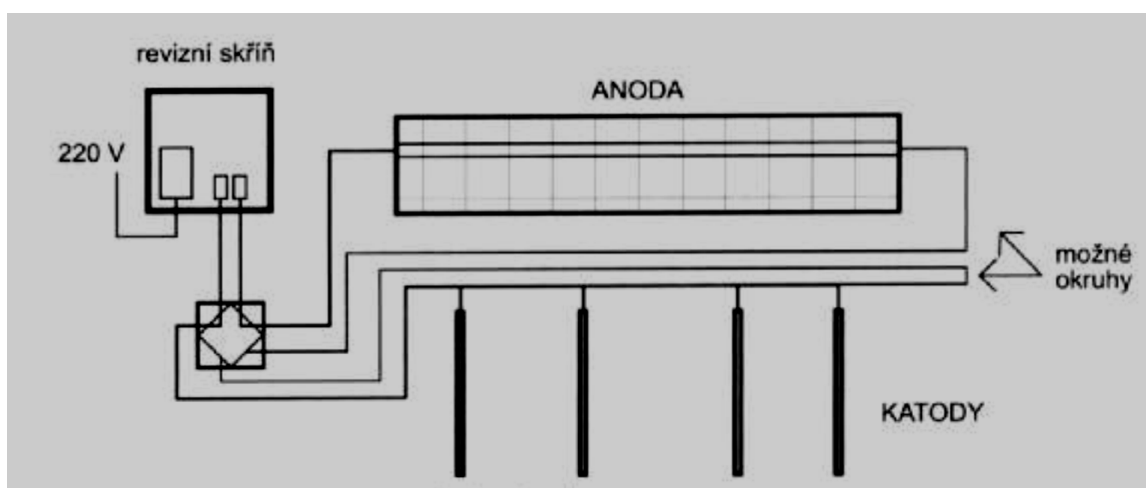
- Pasivní elektroosmóza
- Galvanoosmóza
- Aktivní elektroosmóza

V případě pasivní elektroosmózy jsou elektrody umístěny ve vlhkém zdivu a v zemině. Tyto elektrody jsou ze stejného materiálu.

U galvanoosmóza jsou elektrody ve zdivu z rozdílného materiálu než elektrody zemní.

Aktivní elektroosmózy se vyznačuje elektrodami, pásovými či tyčovými, vloženými do otvorů připravených ve zdivu a vzájemně propojené vodičem. Pozornost musíme u aktivní elektroosmózy věnovat její aplikaci. Nesmí být totiž použita u konstrukcí s ocelovou výztuží v blízkosti instalace této elektroosmózy a je-li pH konstrukcí vyšší jak 6. [2]

Metoda aktivního elektroosmotického odvlhčování zdiva používá k odvlhčení elektrický okruh, který se skládá z řídicí skříňky, kladné anody a záporné elektrody, vodivého propojení a vlastního zdiva a můžeme jej na obrázku (obrázek 7). [1]



Obrázek 7: Aktivní elektroosmotický okruh [1]

#### 4.8.5 Dodatečné bariéry

##### *Mechanická aplikace*

Při sanaci vlhkého zdiva je prioritou zabránění, či alespoň zpomalení degračních procesů stavebních materiálů. [4]

Na základě požadavků ke snížení vlhkosti konstrukce bylo vyvinuto několik metod, které se problematikou vlhkého zdiva zabývají a právě k jedné z těchto metod patří i metoda mechanické aplikace dodatečné bariéry. Jedná se o vložení vrstvy z nerozpustného materiálu. Ve své době se jednalo o jednu z nejpoužívanějších metod. Velkou nevýhodou byly prováděcí práce vykazující značnou náročnost. [1]

K nejčastěji používaným materiálům při tomto druhu sanace jsou nerezavějící plechy, asfaltové a PVC pásy či polyetylenové fólie. U těchto materiálů je pro svou vodotěsnost nejdůležitější správné provedení spojů. [1]

### *Probourávání*

Při sanaci vlhkého zdiva metodou probourávání se vyseká otvor skrz celou tloušťku zdi, následně se dno vysekaného otvoru urovná a do takto upraveného otvoru se vloží hydroizolace a otvor se zazdí. Po zazdění otvorů následuje probourání dalšího úseku zdiva, které musí probíhat na přeskáčku. Dnes pro svou náročnost a významné porušení statiky konstrukce nenachází tato technologie uplatnění. [2]

### *Podřezávání*

Při metodě podřezávání se do strojně, či ručně vytvořené spáre ve zdivu vkládá hydroizolační materiál. K využití této metody při sanaci vlhkého zdiva je zapotřebí vytvoření vodorovné spáry ve zdivu jejím podřezáním a následné vložení hydroizolace. Metodu pořezávání je možné dále dělit na ruční podřezávání, podřezávání kotoučovou, řetězovou či lanovou pilou. Každá ze zmiňovaných metod má svá specifika a není ji možné aplikovat na kterýkoliv objekt. [2]

U metody ručního podřezávání je hlavním požadavkem, aby byla u sanovaného zdiva pravidelné vodorovná spára. Tato spára se prořeže ruční pilou (břichatkou) a následně je možné do této spáry vložit hydroizolaci.

Naopak u podřezávání řetězovou pilou je zapotřebí vytvoření pojezdové plochy podél sanované konstrukce. Plocha musí být rovná a pevná, aby po ní byl možný pojezd podvozku, pomocí kterého se pila pohybuje. Po takto připravené ploše se stroj pohybuje a prořezává drážku dlouhou asi 1 m, ta se pak vyčistí a vloží se do ní hydroizolační pás zvoleného materiálu. Podřezávání řetězovou pilou je relativně rychlý a jednoduchý proces sanace vlhkého zdiva. K jeho hlavní nevýhodě patří zmiňovaná potřeba pojezdové plochy a poměrně vysoká prašnost.[2]



Technologii lze využít pouze na cihelné zdivo, kdy se do vytvořené drážky vloží izolace, nejčastěji na bázi PVC, PE či sklolaminátu. Důležité je překrytí izolace alespoň v šířce 10 cm. Bezprostředně po aplikaci izolace se zdivo staticky zajistí rozpěrovými klíny vysoké únosnosti. Tento pracovní proces je možné vidět na následujícím obrázku (obrázek 8).

Poté je možné pokračovat v proříznutí dalšího úseku a konečném vyplnění prostoru mezi klíny maltou. [11]

Při podřezávání kotoučovou pilou se jako řezný nástroj používají kotoučové pily průměru až 1,2 m. Tyto pily mají relativně vysokou rychlost otáček, a proto je nutné použít chlazení vodou. Stejně jako u předchozího typu podřezávání je zapotřebí pojezdové plochy, která ve většině případů zasahuje pod terén. Dále zapotřebí dostatečně rychle odklidit kaši vzniklou při chlazení, která by mohla mít za následek další vlhnutí konstrukce.

Velké výhody při podřezávání zdiva skýtá lanová pila, kterou je možné vytvářet jak spáry vodorovné tak svislé. Aby nedocházelo k poškození lana je chlazení nutné přímo v řezné spáře, tím je ale do konstrukce vnášena určitá vlhkost. Další a hlavní nevýhodou je umístění řezného lana tak, aby navazovala následně vložená hydroizolace na stávající hydroizolaci podlahy. [2]

- **HW**

K dalším mechanickým metodám dodatečné aplikace izolace do zdiva řadíme i metodu HW. Princip této metody spočívá ve vložení dodatečné hydroizolace zaražením desky z vlnitého nerezového plechu do maltové spáry ve zdivu (obrázek 9). Ta musí být pro tuto aplikaci pravidelná.

Jedná se o jednu z nejdražších metod, u které nám velice dlouho životnost zajišťuje nerezový materiál. K nevýhodě této metody patří nejen cena, ale též potřeba pojezdové plochy a aplikace ocelových kolejí podél konstrukce pro zajištění pohyblivosti zařízení. Za hlavní výhodu pak lze považovat čistotu okolí po provedení prací i poměrně rychlý pracovní postup. [2]



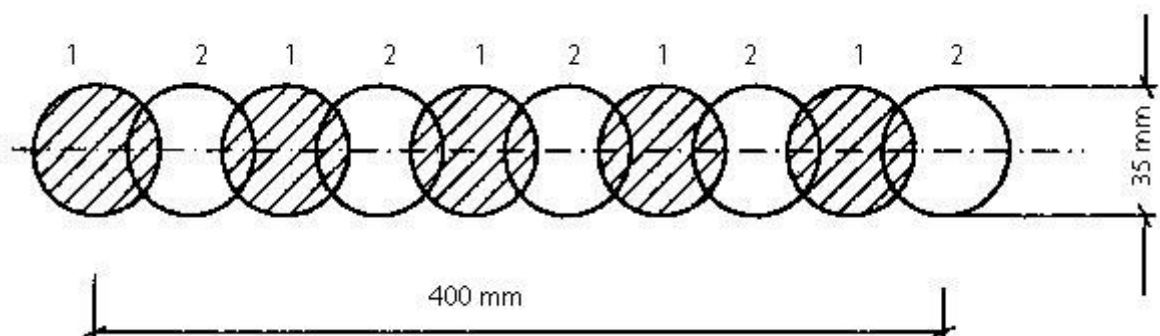
Obrázek 8: Ukázka podřezávání řetězovou pilou a vrážení klínu [10]



Obrázek 9: Nerezový plech ve smíšeném zdivu [10]

## **MASSARI**

Stejně jako předchozí metody i metodu MASSARI řadíme k mechanickým aplikacím dodatečné bariéry ve zdivu. Jedná se o metodu novodobou a funkčně spolehlivou, spočívající ve vytvoření soustavy vrtů, jádrovými vrtáky, a následném vyplnění směsí. Plnicí směsí se nejběžněji skládají z polyesterové pryskyřice, oxidujícího katalyzátoru, ředidla a plnidla. Po několika hodinách pryskyřice zatvrdne a směs je schopna přenést zatížení. Vrty se provádí vždy s odstupem a po dosažení požadované pevnosti plnicí směsí ve vrtech může následovat vyvrtání mezivrstev již vyplněných otvorů. Pro pochopení je schéma uvedeno na následujícím obrázku (obrázek 10). K nevýhodám této metody řadíme drahé strojní vybavení a relativně pomalý postup prací. [2]



Obrázek 10: Ukázka provádění metody MASSARI [2]

## ***Chemické metody***

Jak je již zřejmé z předešlého textu, principem dodatečně vytvořené clony ve zdivu je zabránění vlnutí zdiva aplikací vhodné hmoty do postižené oblasti. Aplikací vhodné hmoty máme nejčastěji na mysli vpravení chemické látky do soustavy vrtů. [1]

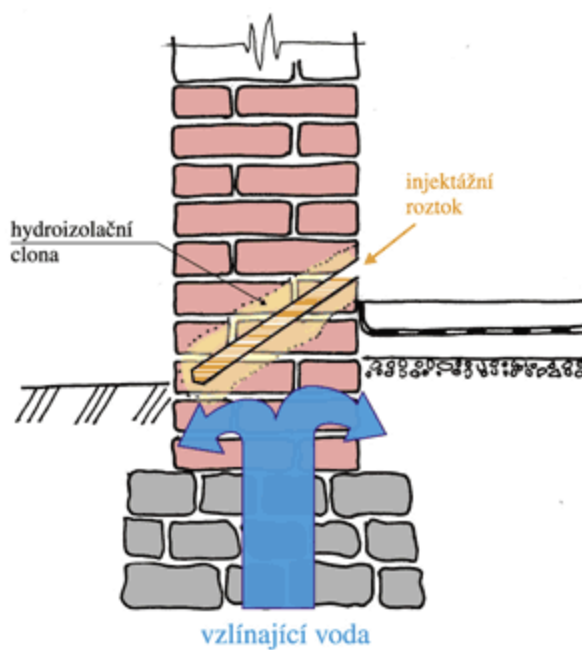
Hlavním principem chemické metody je vytvoření vrtů v postižené oblasti a následná aplikace chemické látky, která za pomoci kapilár a pórů pronikne do struktury materiálu a vytvoří clonu bránící dalšímu vzlínání vlhkosti. Stejně jako ostatní, má i tato metoda svá omezení. Tím hlavním omezením je výběr vhodné konstrukce pro tuto metodu. Chemickou metodu není možné aplikovat na konstrukci se silně porušeným zdivem, kde by mohlo docházet k unikání injektážního roztoku. [2]

Hlavní předpisy pro návrh a provádění udává norma ČSN P 73 0610 Hydroizolace staveb – Sanace vlhkého zdiva. Dalším, daleko specializovanějším, předpisem je směrnice WTA 4-4-04/D – Injektáž zdiva proti kapilární vlhkosti.

Nejen technologických postupů, ale i samotných injektážních materiálů je v dnešní době hned několik. Chemická injektáž si získala svou oblíbenost především pro snadnou dostupnost injektážních materiálů a nenáročnost jak na strojní vybavení, tak na realizaci. Pro svou finanční nenáročnost se chemickými metodami sanace zabývají i firmy provádějící běžnou stavební výstavbou a nedisponují tak dostatečnými zkušenostmi a řádně proškolenými pracovníky. Z tohoto důvodu je zapotřebí být při výběru firmy provádějící sanační práce obezřetní a vyžádat si přinejmenším přehled referenčních staveb.

Při chemických sanačních metodách není oproti jiným zapotřebí výraznějších zásahů do konstrukce, které by mohli mít vliv na statiku celé konstrukce. Velkou nevýhodou je, že kvalitu ani účinnost není možné prověřit ihned po jejím provedení, čímž se tato metoda výrazně liší od ostatních. Výsledky, popřípadě nesprávné provedení se většinou projeví po delším čase a spolu s tímto problémem se často šíří negativní názory k účinnosti těchto metod. Ukázkou působení a aplikace injektážní clony můžeme vidět na obrázcích (obrázek 11 a obrázek 12).

Jelikož jsou chemické metody sanace vlhkého zdiva stěžejním tématem této práce budeme se jím podrobněji zabývat v následujících kapitolách praktické části.



Obrázek 12: Ukázka možné aplikace hydroizolační clony[13]

Obrázek 11: Schéma hydroizolační clony [12]

## 5 PRAKTICKÁ ČÁST

Praktická část této diplomové práce se bude dále podrobněji zabývat principy působení a také vlastnostmi injektážních prostředků používaných v praxi a při řešení laboratorních zkušebních postupů. Problematika gelových clon při sanaci vlhkého zdiva je relativně nová a tedy i s minimálními laboratorními zkušebními postupy a stanoveními.

Hlavním úkolem praktické části této práce je sjednotit zkušební postupy pro možné zúžení počtu injektážních materiálů pro daný typ konstrukce a především stanovení účinnosti vytvořené clony v závislosti na různých vlhkostech a teplotách materiálů. V rámci praktické části práce budou řešeny nejen zkušební postupy, ale i volba spektra materiálů a možné zmenšení zkušebních těles oproti tělesům uváděných v literatuře.

Při aplikaci gelových clon jsou používány dvě základní metody a těmi jsou:

- Tlaková injektáž
- Beztlaková injektáž

Výběr vhodné injektážní metody závisí i na volbě injektážního materiálu.

Závěrem této práce je vyhodnocení vhodnosti injektážních gelů s ohledem na daný typ konstrukce.

### 5.1 Principy působení clon

Principy působení chemických clon je možné podle jejich působení rozdělit do několika skupin. Jejich působení můžeme vidět na obrázcích níže (obrázek 13 až obrázek 16).

#### 5.1.1 Hydrofobizační působení (odpuzující vodu)

Hydrofobizační mechanismus (obrázek 13) gelových clon spočívá v hydrofobní úpravě povrchu póru. Jedná se o metodu, která prakticky nemění strukturu ošetřovaného materiálu. Hydrofobní prostředky pouze opatří povrch pórů hydrofobní vrstvou a struktura materiálu zůstává nezměněna. Tento mechanismus působení clon je v dnešní době hojně využíván. Nejčastěji používané látky jsou na bázi silikonových roztoků či mikroemulzí. Výhodou této metody je opakovatelnost aplikace po uplynutí životnosti. Jelikož jsou hlavními látkami

mikrormulze nebo pravé roztoky dostanou se do menších kapilár lépe ve srovnání s roztoky těsnícími s vyšší viskozitou.

### **5.1.2 Utěsňující působení**

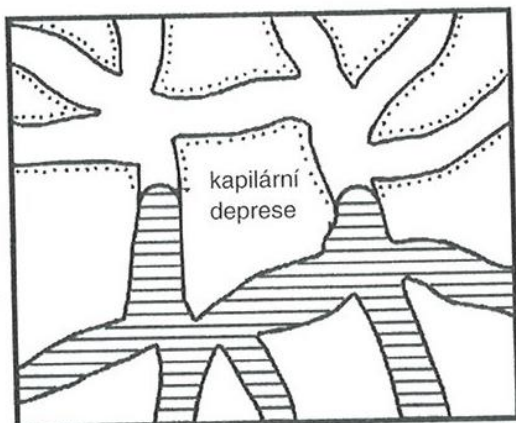
Principem chemické látky s utěsňujícím mechanismem (obrázek 14) je penetrace do pórů, čímž póry ucpe a následnou chemickou reakcí zatuhne do nerozpustné formy. Tím vytvoří t bariéru vztlínající vlhkosti. K utěsňujícím mechanismům řadíme i metody krystalizační, které vytvářejí utěsňující bariéru zarůstáním CSH krystalů do pórů.

### **5.1.3 Zužující působení**

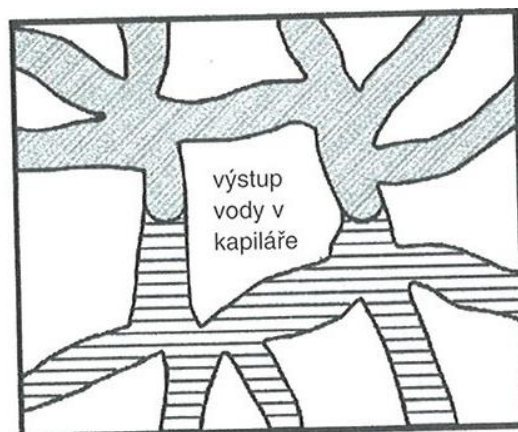
Mechanismus zužující kapiláry (obrázek 15) působí na principu zúžení průřezu pórů, čímž se snižuje kapilární nasákavost.

### **5.1.4 Kombinující působení**

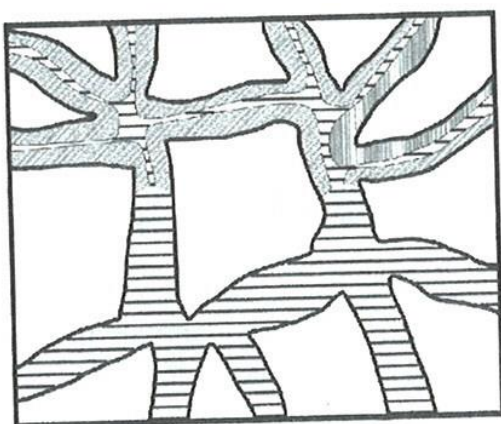
Kombinací mechanismů zabraňujících vztlínání zemní vlhkosti může být několik. Například kombinace odpuzující vodu a zužující kapiláry či jiné kombinace. [1]



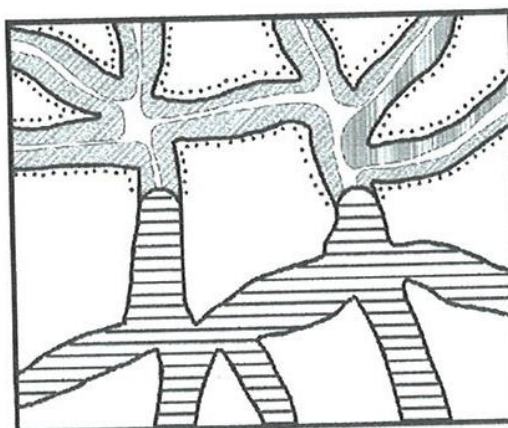
Obrázek 13: Schéma hydrofobizovaných kapilár [14]



Obrázek 14: Schéma utěsněných kapilár [14]



Obrázek 15: Schéma zúžených kapilár [14]



Obrázek 16: Schéma hydrofobizovaných a zúžených kapilár [14]

## 5.2 Chemické clony a způsoby provádění

Jako i v minulých kapitolách je důležité si v této zmínit několik výhod chemických clon. Tou může být čistota, minimální hlučnost při provádění prací, možnost aplikace na jak na vnitřní, tak i na vnější části budov. Principy injektáží a jejich provádění jsou zcela jednoduché. Stěžejní je výběr vhodného injektážního prostředku v závislosti na podmínkách konstrukce a okolí, bezchybné ukládání a stanovení potřebného množství injektážní látky.

Balík [1], ale i mnoho dalších autorů zabývajících se touto problematikou, rozdělují injektáže následovně:

- Infuze
- Beztlaková injektáž
- Injektáž s hydrostatickým přetlakem
- Tlaková injektáž
- Zvláštní způsoby provádění

Vytvořené clony lze poté dělit podle několika hledisek. Například podle hlediska zatížení vlhkostí na clony proti zemní vlhkosti, proti tlakové vodě nebo proti vodě stékající.

Možné je i dělení podle polohy ve stěně. Tímto dělíme hydroizolační clony na vodorovné, svislé a plošné. Vodorovné clony nacházejí své nejčastější uplatnění proti vzlínající vlhkosti, clony svislé brání proniknutí vlhkosti z obvodových do navazujících vnitřních stěn a clony plošné mohou bránit vlhnutí zdiva z okolní zeminy.

Velice důležitým ukazatelem je penetrační schopnost injektážního materiálu. Tento parametr stanovuje osovou vzdálenost vrtů, aby bylo dosaženo souvislé vrstvy bránící dalšímu vlhnutí.[1]

### 5.2.1 Beztlaková injektáž

Beztlaková injektáž patří k nepoužívanějším druhům injektáží vůbec. Injektážní materiál se do vrtů aplikuje bez použití jakéhokoliv tlaku pouze kapilární nasákavostí, nebo s minimálním hydrostatickým tlakem sloupce vytvořeného kapalinou v zásobníku. U tohoto způsobu injektáže je vzdálenost vrtů závislá na typu konstrukce, pro kterou je použita a především na nasákavosti materiálů do kterého má být látka injektována. Vrtý jsou zpravidla v osové vzdálenosti 100 až 125 mm, o průměru 20 až 38 mm a úhlem vrtání od 15 ° do 45 °.

Všechny zmiňované parametry jsou závislé na nasákavosti materiálu, typu stavebního materiálu, použité technologii, typu injektážního prostředku i typu a tloušťce zdiva. Při provádění injektáže je dobré dodržet několik pravidel týkajících se sklonu a hloubky vrtů, která je závislá na tloušťce zdiva. U stěn menší tloušťky musí vrtý procházet minimálně jednou ložnou spárou a u stěn silnějších to musí být alespoň dvě ložné spáry. Při síle zdiva 800 – 900 mm u jednostranného vrtání by měl vrt procházet téměř přes celou tloušťku zdiva, respektive by měl končit 50 až 100 mm od protějšího líce stěny. A u zdiva silnějšího je vhodné vrtý provádět oboustranně nejlépe do  $\frac{2}{3}$  tloušťky zdiva a minimálně však do  $\frac{1}{2}$  tloušťky zdiva.

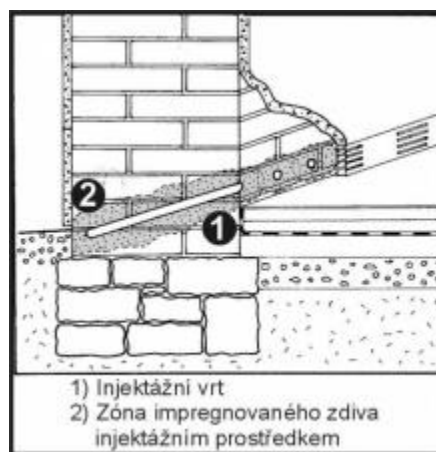


Před aplikací injektážního roztoku je nutné z vrtů odstranit prach, který by mohl bránit kapilární nasákavosti zdiva. Roztoky se do vrtů nalévají speciálními nádobkami nejčastěji dodávanými výrobcem. Ukázku aplikace a schéma působení beztlakové infuze můžeme vidět na následujících obrázcích (obrázek 17 a obrázek 18). Při beztlakovém způsobu aplikace je nejvhodnější použití roztoků nízkoviskózních snadno penetrujících do struktury materiálu. Nejvhodnější jsou ve vodě rozpustné nízkoviskózní látky (silikony, silany, silikonové mikroemulze).

U beztlakové infuze je možné velice jednoduchým způsobem identifikovat přítomnost dutin v sanovaném zdivu. Dochází zde totiž k výrazným ztrátám injektážního roztoku. Pokud o konstrukci předem víme, že má tyto nedostatky je zapotřebí provést vhodná opatření. Příkladem může být vyplnění tekutým, nesmršlivým materiálem s obsahem pojiva a současně kompatibilním s okolními stavebními materiály.

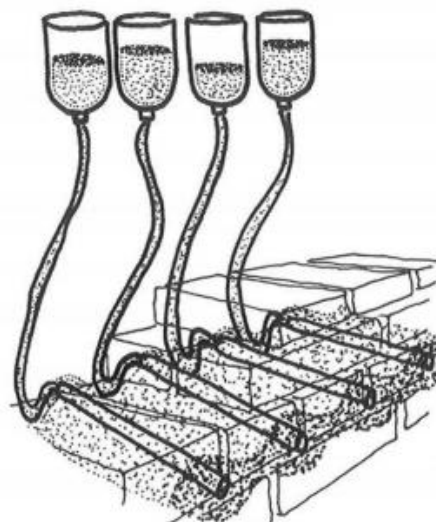


Obrázek 17: Ukázka beztlakové injektáže [15]



Obrázek 18: Schéma působení injektované zóny [15]

Injektáž s hydrostatickým přetlakem je obdobná injektáži beztlakové jen s tím rozdílem, že ústí vrtu je opatřeno ucpávkou opatřenou přechodkou na hadičku s nádobkou, která je umístěna ve výšce 1 – 2 m nad vrtem (obrázek 19). Rozdílem výšky hladiny roztoku a ústí vrtu vzniká přetlak. Tento typ injektáže je vhodnější pro viskóznější roztoky či méně porézní zdivo, vyznačuje se však vyšší pracností při těsnění hadiček. [1]



Obrázek 19: Schéma injektáže s hydrostatickým přetlakem [16]

### 5.2.2 Tlaková injektáž

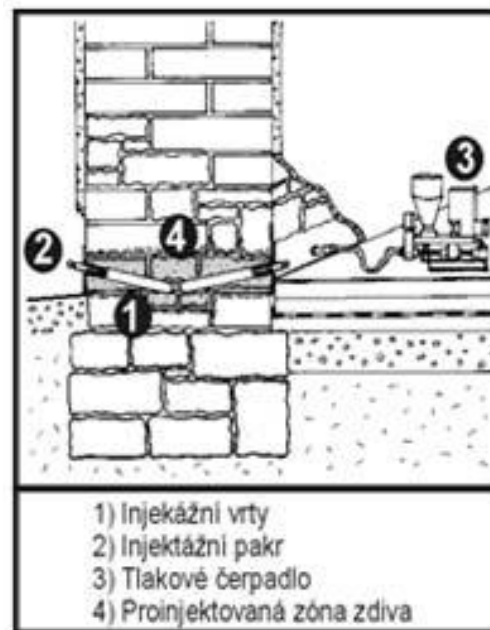
Tlakovou injektáž je vhodné oproti injektáži beztlakové použít pro silně zvlhlá stavební díla. Vrty pro injektážní roztok jsou prováděny dle technologického postupu výrobce, nejčastěji však průměru 10 – 12 mm v osové vzdálenosti 100 – 300 mm v jedné nebo více řadách. V tomto případě by svislá vzdálenost mezi vrty měla být větší než 80 mm. Vrty mohou být provedeny jak vodorovně tak i se sklonem. Do vyvrtaných a vyčištěných otvorů se osadí injektážní ventily a přes tlakovou hadici se za pomoci speciální vysokotlaké pumpy vrty plní.

Injektuje se za stálého tlaku menšího než 1000 kPa (nízkotlaká metoda). Je důležité, aby tlakové vedení bylo vybaveno manometrem, pro identifikaci požadovaného tlaku, popřípadě možných dutin či defektů. Vybavení pro tlakovou injektáž vidíme na následujících obrázcích (obrázek 20 a obrázek 21). Injektování může být dokončeno po vytvoření souvislé hydroizolační clony (obrázek 21).

Tlaková injektáž má, ve srovnání s beztlakovou, jednodušší manipulaci a tím i vyšší rychlost provádění, ovšem bez ovlivnění stupně plnění. [1]



Obrázek 20: Ukázka tlakové injektáže [18]



Obrázek 21: Schéma působení zóny při tlakové injektáži [17]

### 5.2.3 Injekční prostředek

Volba injektážního prostředku nepatří k jednoduchým. Záleží hned na několika aspektech a na trhu jich najdeme nepřehledné množství. Pro funkčnost provedených injektáží je vhodné vybrat takový prostředek, aby odpovídal konkrétní stavbě, jejímu druhu, materiálu zdiva a vlhkostnímu stavu konstrukce. Pro výběr vhodného injektážního je nutný precizně vypracovaný průzkum zdiva, spolu s technickou a projektovou dokumentací sanačních prací. Při provádění je důležitá zkušenost, spolu s odborností, jedině tak lze dosáhnout kvalitně provedené injektáže.

Ke každému injektážnímu prostředku náleží určitá specifika, v mnoha případech se ale nejedná o dostatečné a úplné informace. Výrobci nejčastěji poskytují informace o tom, zda je prostředek vhodný pro tlakovou či beztlakovou injektáž, o osové vzdálenosti vrtů pro daný druh materiálu, či informaci o předpokládané spotřebě injektážního prostředku v  $m^2$ , popřípadě na metr běžný. Tak důležitou informaci jako je hranice vlhkosti, při které je možné daný prostředek použít, mnoho výrobců neuvádí. Pokud je ale zdivo silně zavlhlé, kapiláry jsou zaplněny vodou a je velice složité do takto zaplněné struktury vpravit dostatek infuzního prostředku. Z tohoto důvodu by bylo vhodné, aby každý injektážní prostředek disponoval informací o vlhkostních podmínkách pro jeho použití. [1]

Nejběžnějšími injektážními prostředky jsou jednosložkové či vícesložkové infuzní hmoty, jejichž zástupci jsou:

- Silikáty
- Silany
- Silikonáty
- Siloxany
- Silikonové mikroemulze
- Akryláty
- Epoxidové pryskyřice
- Parafíny
- Hydrogely
- Polyuretanové pryskyřice

Balík uvádí ve své práci [1] shrnuje některé komponenty, metody aplikace a principy účinnosti používaných injektážních hmot, ty můžeme vidět v tabulce (tabulka 4) a také charakteristiky některých injektážních hmot (tabulka 5).

<b>Komponenty</b>	<b>Princip účinku</b>	<b>Aplikační metoda</b>
bitumenový roztok	zúžení pórů	tlaková injektáž
kombinace alkalisilikát / silikonát	zúžení pórů, hydrofobizace	beztlakové plnění
kaliumpilikát / kaliummet 1 silikonát	zúžení pórů, hydrofobizace	beztlakové plnění
silikonátový roztok	hydrofobizace	beztlakové plnění
jemná minerální malta / silikonátový roztok	ucpání pórů, hydrofobizace	kombinovaná tlaková injektáž
jemná minerální malta / kombinace alkalisilikát / silikonát	ucpání pórů, zúžení pórů, hydrofobizace	kombinovaná tlaková injektáž
jemná minerální malta / alkalisilikát / alkalimety 1 silikonát	ucpání pórů, zúžení pórů, hydrofobizace	kombinovaná tlaková injektáž
jemná minerální malta / silikonová mikroemulze	ucpání pórů, hydrofobizace	kombinovaná tlaková injektáž
Alkalisilikát / alkalimety 1 silikonát	zúžení pórů, hydrofobizace	impulsní stříkání
Silikonová mikroemulze / vápenné mléko	hydrofobizace	impulsní stříkání
Alkalisilikát / alkalimety 1 silikonát	zúžení pórů, hydrofobizace	beztlakové plnění
silikonové mikroemulze	hydrofobizace	beztlakové plnění

Alkalisilikát / alkalimety 1 silikonát s vytvrzujícími komponenty	zúžení pórů, hydrofobizace	beztlakové plnění
polymerový roztok	hydrofobizace	beztlakové plnění
roztavený parafín	ucpání pórů	beztlakové plnění
Silikonová mikroemulze	hydrofobizace	beztlakové plnění
deriváty kyseliny křemičité s hydrofobizujícími přísadami	zúžení pórů, hydrofobizace	beztlakové plnění

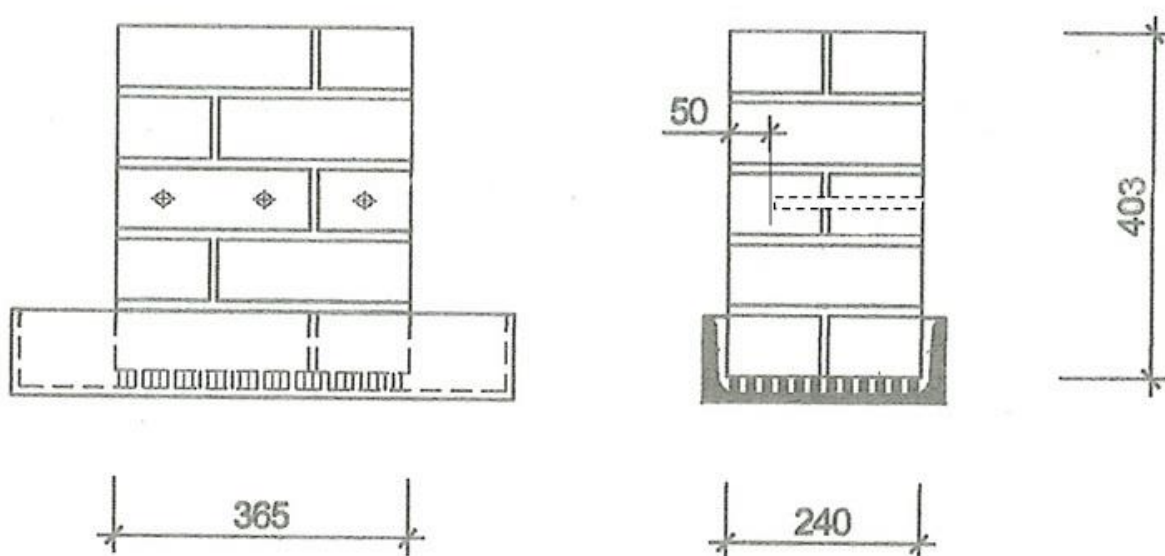
Tabulka 4: Komponenty, princip účinnosti a metoda aplikace [1]

Stav systému	Parametr	Vlastnosti / Požadavky
Kapalný injektážní prostředek	Viskozita	- co možná nejnižší
	Povrchové napětí	- menší než substrát při beztlakové injektáži (dobré smáčení)
	Velikost částic u disperzí / velikost molekul u roztoků	- co možná nejmenší (přízůsobeno podkladu)
	Obsah netěkavých částic	- co možná nejvyšší (přízůsobeno podkladu)
	Stálost	- beze změny vlastností (viskozita, velikost částic), z viny částic vlastních substrátu nebo cizích (voda, sůl) během rozptýlení
	Tvrdnutí	- bez znatelného vzrůstu viskozity během doby injektáže (nejméně 4 hodiny) - vyrovnaný průběh tvrdnutí; vypuzující nebo vázající vodu - bez poruch látkami vlastními substrátu nebo cizími - nespécifikované 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)
	ekologická snesitelnost / hygiena práce	- v souladu s místními zákonnými požadavky
Vytvrzený injektážní prostředek	Produkt po vytvrzení	- bez tvorby škodlivých vedlejších produktů (solí)
	Hydrofobie	- "rozšířená", tzn. všude přítomná
	Stupeň vyplnění pórů	- velké zúžení kapilár anebo inaktivace kapilár
	Odolnost vůči stárnutí	- odolný proti vodě, necitlivý na hydrolyzu - necitlivý na soli, alkálie a kyseliny - není živinou pro mikroorganismy
	Teplotní stálost	- beze změn vlastností snižujících stupeň účinnosti (mezi - 30 ° a + 60 °)
	Kapilární nasákavost	- snížení až po dosažení absorpční vlhkosti (vyrovnává vlhkost)
	Druhotné jevy	- bez škodlivých účinků (např. poruchy přilnavosti, zbarvení)
	Fungicida, baktericida	- mírná, přechodná

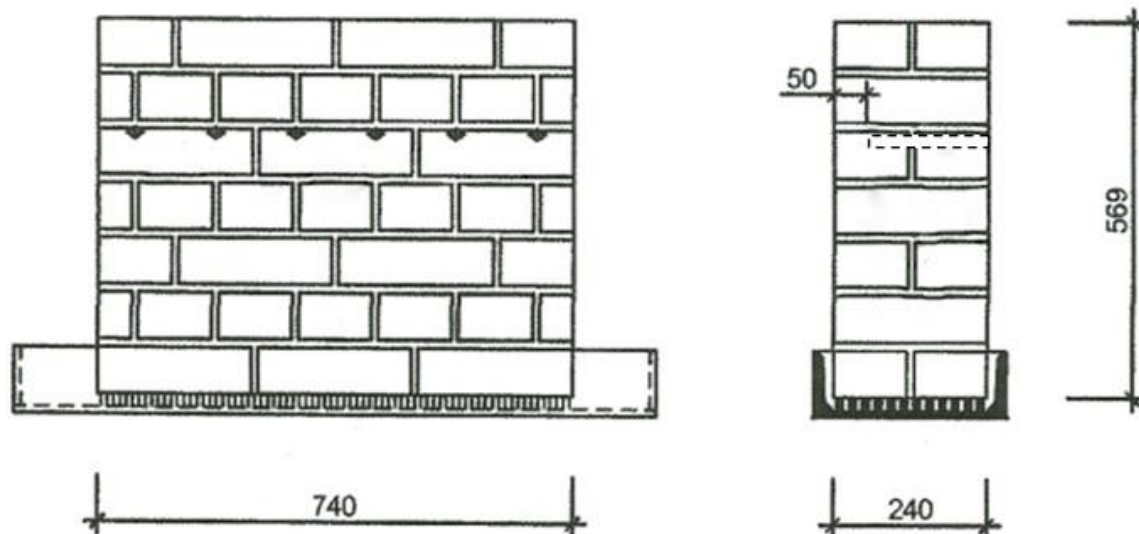
Tabulka 5: Charakteristika injektážních hmot

### 5.3 Zkušební postupy

Zkušební postupy pro injektáž gelovými hmotami jednoznačně určuje směrnice WTA 4-4-04/D – Injektáž zdiva proti kapilární vlhkosti. Směrnice přesně stanovuje nejen postupy přípravy zkušebních těles, ale i metodiku prací včetně posuzování účinnosti gelové injektáže. Tato směrnice udává pro zkušební postupy tři relativně rozsáhlá zkušební tělesa, kde dvě tělesa se injektují, a třetí těleso zůstává pro referenční účely neinjektované. Velikost zkušebních těles se liší podle toho, zda je prováděna injektáž tlakové či beztlaková, rozdíl velikosti zkušebních těles je vidět na obrázcích (obrázek 22 a obrázek 23).



Obrázek 22: Schéma zkušebního tělesa dle WTA pro beztlakovou injektáž [14]



Obrázek 23: Schéma zkušební tělesa dle WTA pro tlakovou injektáž [14]

Po řádném vyzrání vyzděných těles je možné přistoupit k injektování a následnému provedení zkoušek účinnosti. Pro názornost je celý zkušební postup vidět v tabulce (tabulka 6) převzaté ze směrnice WTA.

	<b>Průkazní zkouška</b>		
	Při stupni sycení materiálu vodou do 60 %	Při stupni sycení materiálu vodou do 80 %	Při stupni sycení materiálu vodou do 95 %
	Cihly vyzděné podle doporučení WTA		
Předcházející kondicionování zkušební vzorku (tělesa); stupeň sycení vodou	do 60 ± 10 %	do 80 ± 10 %	do 95 ± 5 %
Injektážní metoda	Injektáž podle protokolovaných doporučení výrobce		
Stav po injektáži podle doporučení WTA	Při protokolovaném klimatu místnosti		
Zkouška účinnosti	Porovnání injektovaného zkušební tělesa s neinjektovaným tělesem referenčním měřením množství odpařené vody příp. obsahu vody v materiálu podle doporučení WTA		

Tabulka 6: Zkušební postupy podle směrnice WTA 4-4-04/D [14]

### 5.3.1 Směrnice WTA 4-4-04/D a její zkušební postupy

Jak již bylo výše zmíněno, směrnice stanovuje počet zkušebních těles na tři. Z toho dvě tělesa se injektují a třetí těleso ponecháváme pro referenční účely neinjektované. Rozměry těles se liší podle toho, zda se jedná o tlakovou či beztlakovou injektáž a jejich přesné rozměry stanovuje směrnice [14]. Velikost zkušebních těles pro jednotlivé druhy injektáží můžeme vidět na obrázcích (obrázek 22 a obrázek 23). Volba injektážní metody bývá v mnoha případech dána



doporučeními výrobce. Ten by měl na svém výrobku uvádět pro jaký druh injektáže je injektážní hmota vhodná. Vyzděná tělesa se ponechají po stanovenou dobu umístěna v klimatu místnosti pro své vyvrání a dosažení požadovaných pevnostních tříd. Takto připravená tělesa se následně sytí na požadovaný vlhkostní stupeň odpovídající stavebnímu dílu v praxi. Po dosažení požadovaného stupně nasycení může následovat injektáž zkušebních těles.

Jako první je zapotřebí do těles vytvořit vrty parametrů stanovených ve směrnici. Poté se do vyvrtaných otvorů zvoleným způsobem vpraví injektážní roztok. Injektovaná tělesa spolu s referenčním se ponechají v klimatu místnosti. Přesné podmínky a parametry klimatu místnosti stanovuje směrnice WTA [14]. Po stanovené době mohou následovat zkoušky účinnosti. Zkoušky účinnosti spočívají v porovnání vlhkosti daných stupňů nasycení těles injektovaných s tělesem referenčním. Účinnost injektáže je dle směrnice [14] stanovena jako:

- „Množství odpařené vlhkosti, obsah vlhkosti, nebo vodonepropustnost injektovaných zkušebních těles jsou za 90 dnů od zahájení zkoušky ve srovnání s tělesem referenčním nejméně o 50% nižší.“
- „Množství odpařené vlhkosti, obsah vlhkosti, ale i vodonepropustnost injektovaných zkušebních těles se ve sledované době od zahájení zkoušky ve srovnání s tělesem referenčním dále nezvyšují, popř. klesají.“[14]

Směrnice WTA zabývající se injektáží zdíva proti kapilární vlhkosti nestanovuje jen metody a postupy provádění injektáže a zkoušek účinnosti, ale i receptury malt pro zdění zkušebních těles. Receptury jsou rozdílné dle druhu zvolené injektáže, jejich složení je možné vidět v tabulce (tabulka 7). [14]

Zkušební těleso	Materiál	Objem díly
Beztlaková injektáž - menší zkušební těleso -(vápenná malta konzistence pro nanášení lžící)	Bílý vápenný hydrát, hašený za sucha	1
	Písek podle EN 196-1	4
Tlaková injektáž - větší zkušební těleso - (vápenocementová malta konzistence pro nanášení lžící)	Bílý vápenný hydrát, hašený za sucha	2
	Cement CEM I 32,5 podle DIN 197-1	0,5
	Písek podle EN 196-1	8

Tabulka 7: Receptury zdících malt dle WTA [14]



### 5.3.2 Zkušební tělesa a jejich příprava

Jak je zřejmé z obrázků (obrázek 22 a obrázek 23) zkušební tělesa stanovená dle směrnice [14] jsou značně rozsáhlá a mnohé zkušební laboratoře nedisponují takovými prostory, aby mohly provádět zkoušky na zkušebních tělesech uvedených ve směrnici. Spolu s vyzdáním zkušebních těles by problém nastal i při skladování a manipulaci se zkušebními vzorky. Prvotním úkolem tedy bylo navrhnout zkušební postupy na zmenšených tělesech, ale v určité korelaci s postupy stanovenými ve směrnici.

Jako nejjednodušší a minimálně časově náročná se jevila varianta zmenšených zkušebních těles takových materiálů, které konstrukce ve skutečnosti obsahuje.

#### *Spektrum materiálů*

K dalším nelehkým úkolům patřila volba spektra materiálů pro zkušební postupy. Po dlouhé úvaze byly nakonec pro jednoduchost a jednoznačnost zvoleny materiály, které konstrukce v dnešní době obsahují, a také materiály, z nichž jsou nejčastěji konstrukce postižené vzlínající vlhkostí vystaveny.

Konstrukce jsou v dnešní době nejčastěji vystaveny z těchto materiálů:

- Cihla plná pálená
- Zdící malta
- Kámen
- Pórobeton

U cihly plné pálené snad není zapotřebí žádné další diskuze. Jde o materiál v minulosti nejčastěji používaný při výstavbě a dodnes nachází ve stavebnictví své uplatnění. Oproti tomu u zdící malty není možné jednoznačně specifikovat původ a složení při tehdejší výstavbě, proto byly pro zkušební postupy zvoleny dva druhy zdící malty s následným označením „zdící malta M1“ a „zdící malta M2“. Jak je všem jistě známo, bylo v dřívější výstavbě hojně využíváno i kameniva. Z tohoto důvodu byl jako další materiál zvolen kámen, obsahují ho budovy žádající si sanační zásah pro svou zvýšenou vlhkost. V případě kamene byl jako vhodný zástupce zvolen pískovec. Posledním zástupcem stavebního materiálu je zvolen pórobeton. Může se zdát z praktického hlediska naprosto nesmyslné injektovat pórobeton. Zákazníci, jejichž konstrukce

se potýkají s problematikou zvýšené vlhkosti, si žádají sanovat i tento druh materiálu a z tohoto důvodu bude i pórobeton předmětem laboratorních experimentů.

### *Velikost zkušebních těles*

Zvolení velikosti zkušebních těles také nepatřilo k jednoznačným úkolům. Při volbě velikosti zkušebních těles byly při výběru rozhodující rozměry, ve kterých bude materiál dodán od dodavatele. Z tohoto důvodu byly velikosti jednotlivých materiálů stanoveny a uvedeny do tabulky (tabulka 8).

Ukázku zvolených stavebních materiálů můžeme vidět na následujících fotografiích (obrázek 24).

<b>Druh materiálu:</b>	<b>Velikost [mm]</b>
Cihla plná pálené	140x140x65
Zdící malta (Betosan, Knauf)	150x150x60
Kámen (pískovec)	140 x140x65
Pórobeton	125x125x60

Tabulka 8: Rozměry zkušebních těles





Obrázek 24: Spektrum zvolených materiálů (postupně cihla plná pálená, kámen, zdící malty M1 a M2 a pórobeton)

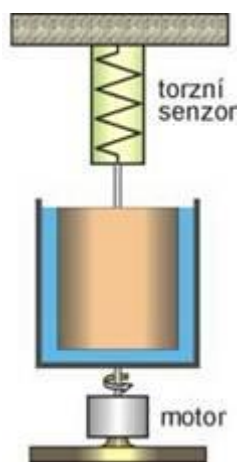
### 5.3.3 Zpracovatelnost – reotest

Při započetí laboratorních zkušebních postupů bylo zadáno 8 různých injektážních gelů, které byly pro svou anonymitu a nemožnost manipulace výsledků označeny A až H. Může se zdát, že gely sloužící ve své podstatě k totožným účinkům budou nerozeznatelné, ale každý gel byl jiný. Tuto rozdílnost bylo možné pozorovat nejen vizuálně (obrázek 25), kde u gelů byla v některých případech rozdílná barva, ale také odlišnou konzistencí gelů. Tato skutečnost byla následně dokázána zkouškou zpracovatelnosti, jejíž výsledky jsou zřetelné na následujících grafech (graf 1 a graf 2).



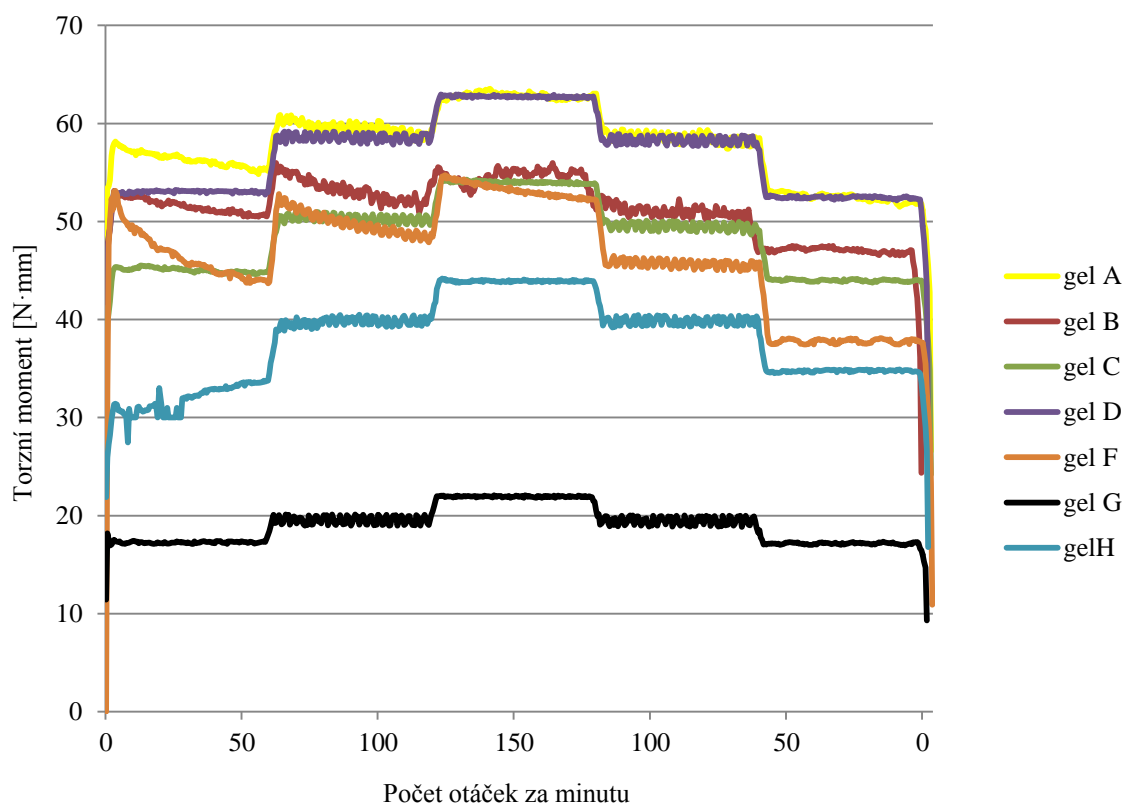
Obrázek 25: Ukázka testovaných injektážních gelů (postupně zleva– A, B, C, D, E, F, G, H)

Tato zkouška nazývána také jako reotest, spočívá v měření torzního momentu. Stanovení torzního momentu je prováděno v rotačním viskozimetru. Tento rotační viskozimetr pracuje na měření veličiny zvané torzní síla, kterou v našem případě vyvozuje zkoušený gel, na prvek umístěný na torzním vlákně. Zkoušený gelový vzorek je ve viskozimetru podrobován smyku mezi dvěma definovanými plochami, kde jedna z ploch (vnější válec) vykonává otáčivý pohyb a pro vyhodnocení slouží brzdny účinek vzorku při rozdílných rychlostech otáčení. Princip a schéma rotačního viskozimetru je možné vidět na obrázku (obrázek 26). [19]



Obrázek 26: Schéma rotačního viskozimetru [19]

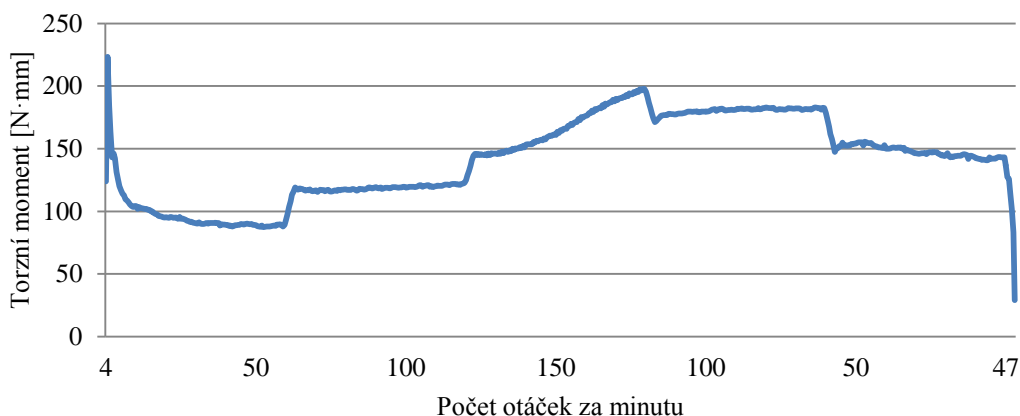
## Vyhodnocení reotestu pro gely A, B, C, D, F, G, H



Graf 1: Vyhodnocení reotestu pro gely A, B, C, D, F, G, H

Provedení zkoušky zpracovatelnosti je provedeno se všemi zadanými injektážními hmotami. Celkový počet injektážních vzorků pro zkoušku zpracovatelnosti je 8. Jelikož se výsledné hodnoty gelu E liší od ostatních vyhodnocení gelu E je provedeno do samostatného grafického vyhodnocení (graf 2). Výsledné hodnoty jsou zpracovány pro infuzní gel. Ten byl vždy po dobu dvou minut vystaven působení lopatky s frekvencí  $50 \text{ ot}\cdot\text{min}^{-1}$ ,  $100 \text{ ot}\cdot\text{min}^{-1}$ ,  $150 \text{ ot}\cdot\text{min}^{-1}$ ,  $100 \text{ ot}\cdot\text{min}^{-1}$ ,  $50 \text{ ot}\cdot\text{min}^{-1}$ . Výsledné hodnoty torzních momentů gelů A, B, C, D, F, G, H uvedených v grafu 1 se pohybují v hodnotách 20 – 60 N·mm u všech zvolených rychlostí otáček.

## Vyhodnocení reotestu pro gel E



Graf 2: Vyhodnocení reotestu pro gel E

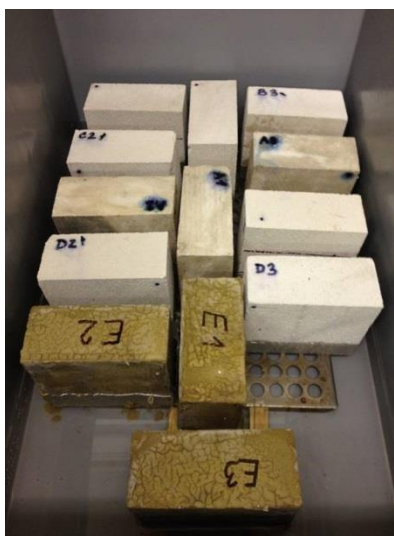
Pro přehlednost získaných hodnoty je výsledné vyhodnocení infuzního gelu E samostatně. Tento druh gelu vykazuje se srovnání s ostatními rozdílné výsledné hodnoty než předchozích 7 infuzních gelů. Ve srovnání s těmito 7 druhy zkoušených injektážních hmot, jejichž hodnoty torzních momentů se pohybují v rozmezí 20 – 60 N·mm, se pro shodné otáčky ve viskozimetru se zkoušeným gelem E dosahuje hodnot 90 až 200 N·mm. A především z tohoto důvodu je pro infuzní gel E samostatné grafické vyhodnocení.

Nejvyšších hodnot torzního momentu dosahuje injektážní gel E. Čímž je také zřejmá špatná manipulace při aplikaci tohoto gelu. V porovnání s ostatními vzorky infuzních hmot vykazuje značné problémy při aplikaci na povrch zkušebních těles. Při plnění do vrtů by mohlo nastat neúplné vyplnění prostoru vrtu čímž by nebyla zajištěna dostatečná míra penetrace. Z tohoto důvodu je infuzní gel s označením E pro praktickou část této práce zcela nevyhovující. Z výsledků zbývajících sedmi injektážních gelů (graf 1) vidíme gel s nejnižší hodnotou torzního momentu, tímto gelem je gel s označením G. Čímž je zajištěno snazší proniknutí do struktury stavebního materiálu, ale také možné vytékání gelu z vrtů.

Ve všech případech infuzních gelů je možné pozorovat přímou úměru mezi mírou deformace a působícím napětím.

### 5.3.4 Stanovení nasákavosti

Dalším následujícím zkušebním postupem bylo stanovení nasákavosti. Nasákavost byla zvolena z důvodu možné absorpce vody do struktury gelu, proto bylo zapotřebí toto riziko vyloučit. Stanovení nasákavosti spočívá v ponoření impregnovaného tělesa zvolených rozměrů (tabulka 8) do vody. Postup je shodný s postupem uvedeným v normě ČSN EN 772-21. Zkušební tělesa se po všestranné aplikaci a zaschnutí injektážního gelu zvážení a umístí do nádoby s roštem. Poté se nádoba postupně plní vodou, a tak, aby při prvním plnění dosahovala voda do 1/3 výšky vzorku, ukázkou takto připravených vzorků vidíme na obrázku (obrázek 27). Po 24 hodinách následuje další plnění, a to do 2/3 výšky vzorku, po dalších 24 hodinách je provedeno poslední plnění nádoby vodou a to tak, dokud nejsou tělesa po celé svojí výšce ponořena a hladina vody dosahuje 20 mm nad tělesa. V tomto stavu se tělesa ponechají ve vodním prostředí 24 hodin, následně se vyjmou, otřou vlhkou tkaninou a zváží. Minimálně po 24 hodinách umístění těles v laboratorním prostředí mohou být vysušena. Tělesa se vysušují dokud nedojde k ustálené hmotnosti (poslední tři vážení jsou shodná). Po vysušení následuje vážení a stanovení nasákavosti tělesa impregnovaného injektážním gelem. Pro srovnání byla stanovena i nasákavost těles bez povrchové úpravy, bez impregnace injektážní hmotou.



Obrázek 27: Stanovení nasákavosti těles impregnovaných injektážním gelem (tělesa pórobetonu)

Nasákavost stanovíme dle vztahu:

$$w_h = \frac{(m_w - m_d)}{m_d} \cdot 100 = \frac{m_k}{m_d} \cdot 100 \quad [\%] \quad (5)$$

Kde:

$m_w$  – hmotnost vlhkého materiálu [g]

$m_d$  – hmotnost suchého materiálu [g]

$m_k$  – hmotnost kapaliny [g]

$w_h$  – hmotnostní vlhkost [-, % hmotnostní]

Stanovení nasákavosti se provede u všech zvolených stavebních materiálů se všemi zadanými injektážními gely. Vždy pro jeden injektážní gel a jeden druh stavebního materiálu je nasákavost stanovena na třech zkušebních tělesech. Výsledná hodnota je aritmetickým průměrem ze tří hodnot uvedená s přesností na 1 %. Výsledky jsou shrnuty v tabulkách (tabulka 9 až tabulka 13) a grafu (graf 3).

	<b>Povrchová úprava (inj. gel)</b>	<b>Nasákavost [%]</b>
<b>Cihla plná pálená</b>	referenční	18
	A	5
	B	4
	C	3
	D	5
	E	15
	F	5
	G	23
	H	11

Tabulka 9: Nasákavost cihly plně pálené

	<b>Povrchová úprava (inj. gel)</b>	<b>Nasákavost [%]</b>
<b>Kámen (pískovec)</b>	referenční	19
	A	6
	B	5
	C	5
	D	4
	E	11
	F	13
	G	15
	H	11

Tabulka 10: Nasákavost kamene



	<b>Povrchová úprava (inj. gel)</b>	<b>Nasákavost [%]</b>
<b>Zdíci malta M1</b>	referenční	5
	A	1
	B	1
	C	1
	D	1
	E	1
	F	1
	G	1
	H	1

Tabulka 11: Nasákavost zdíci malty M1

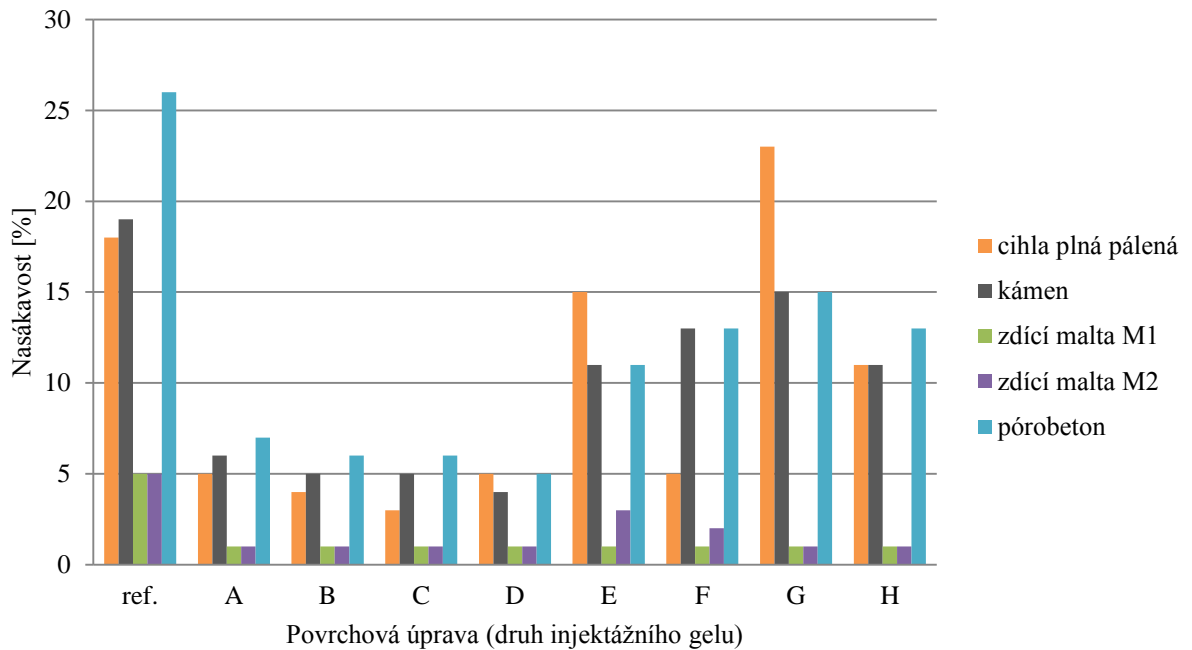
	<b>Povrchová úprava (inj. gel)</b>	<b>Nasákavost [%]</b>
<b>Zdíci malta M2</b>	referenční	5
	A	1
	B	1
	C	1
	D	1
	E	3
	F	2
	G	1
	H	1

Tabulka 12: Nasákavost zdíci malty M2

	<b>Povrchová úprava (inj. gel)</b>	<b>Nasákavost [%]</b>
<b>Pórobeton</b>	referenční	26
	A	7
	B	6
	C	6
	D	5
	E	11
	F	13
	G	15
	H	13

Tabulka 13: Nasákavost pórobetonu

## Vyhodnocení nasákavosti



Graf 3: Vyhodnocení nasákavosti

Jak již bylo zmíněno výsledná hodnota je vždy průměrnou hodnotou tří zkušebních vzorků. Tyto vzorky jsou ze všech strany opatřeny zkoušeným infuzním gelem. Po zaschnutí povrchové úpravy jsou vzorky podrobeny zkoušce nasákavosti .

Z dosažených výsledků je zřejmé, že nejnižší nasákavosti dosahují tělesa s povrchovou úpravou provedenou gelem A, B, C a D a to se shodou pro všechny druhy stavebních hmot. Můžeme říci, že tyto gely při aplikaci na povrch vzorku, dobře odolávají působení vody a bylo by vhodné je použít pro následnou sanaci konstrukcí poškozených vlhkostí. Naopak nejvyšší nasákavost, tedy nejhorší výsledky, ukazují vzorky impregnované gelem E, F a G. Tyto vzorky jsou z hlediska odolnosti vodnímu prostředí pro potřeby praktické části diplomové práce nevhodné.

Pro svou špatnou zpracovatelnost a následně i poměrně vysokou nasákavost byly z následujících experimentů vyloučeny infuzní gely G a H. S těmito gely nebudou již dále prováděny žádné zkušební postupy.

### 5.3.5 Vodotěsnost povrchových vrstev

Po provedení nasákavosti následovala zkouška vodotěsnosti povrchových vrstev. Zkouška vodotěsnosti povrchových úprav byla provedena se všemi injektážními gely, tedy A až H a to tak, že pro zkoušení jednoho injektážního gelu bylo zapotřebí třech zkušebních těles od každého stavebního materiálu. Tato zkušební tělesa se postupně ze všech stran penetrují zkoušeným gelem, postup je možné vidět na obrázku (obrázek 28). Po 7 dnech od penetrace mohou být na vzorcích impregnovaných injektážním gelem stanoveny hodnoty vodotěsnosti povrchových úprav. Provádění vodotěsnosti povrchové vrstvy vidíme na následujícím obrázku (obrázek 29).



Obrázek 28: Ukázka impregnace zkušebního vzorku



Obrázek 29: Provádění vodotěsnosti povrchové úpravy na impregnovaném vzorku

Stanovení vodotěsnosti povrchových úprav bylo provedeno v určité modifikaci dle normy ČSN 73 2578 - Zkouška vodotěsnosti povrchové úpravy stavebních konstrukcí.

Postup spočívá v umístění zvonu na těleso opatřené gelovou impregnací. Zvon je nutné ve spodní části dobře utěsnit silikonem, aby nedocházelo k unikání tekutiny. Poté se zvon pevně upnul ke zkoušenému vzorku, jak je vidět na obrázku (obrázek 29). Takto připevněný zvon se naplní vodou a zbaví veškerých vzduchových bublinek. Ke zvonu se vodotěsně připevní byreta, která byla se též naplnění vodou. Po uplynutí 5 minut je hladina vody v byretě doplněna na počáteční hodnotu. Tento vodní sloupec se ponechá působit na impregnovaný vzorek 30 minut. Po 30 minutách se odečte hodnota poklesu hladiny v byretě. Odečtená hodnota slouží pro výpočet vodotěsnosti, dle vzorce 6. Veškeré vypočtené hodnoty vodotěsnosti povrchových úprav je pak možno vidět v následujících tabulkách (tabulka 14 až tabulka 18).

Výpočet vodotěsnosti:

$$V_{30} = \frac{\Delta l}{A} \quad (6)$$

Kde:

$\Delta l$  – úbytek množství vody po 30 minutách [l]

A – smáčená plocha [m<sup>2</sup>]

CPP		V <sub>30</sub> [l/m <sup>2</sup> ]		
gel	1	2	3	
ref. vzorek	0,51	0,66	0,46	
A	0,11	0,20	0,14	
B	0,31	0,25	0,25	
C	0,00	0,03	0,60	
D	0,02	0,00	0,00	
E	0,03	0,05	0,00	
F	0,41	0,06	0,22	

Tabulka 14: Vodotěsnost povrch. úpravy CPP

Pískovec		V <sub>30</sub> [l/m <sup>2</sup> ]		
gel	1	2	3	
ref.vzorek	0,18	0,24	0,19	
A	0,39	0,08	0,23	
B	0,54	0,61	0,41	
C	0,47	0,38	0,66	
D	0,00	0,04	0,26	
E	0,00	0,03	0,00	
F	0,00	0,00	0,01	

Tabulka 15: Vodotěsnost povrch. úpravy pískovce

pórobeton		V <sub>30</sub> [l/m <sup>2</sup> ]		
gel	1	2	3	
ref.vzorek	0,11	0,05	0,13	
A	0,05	0,10	0,04	
B	0,00	0,00	0,17	
C	0,03	0,09	0,10	
D	0,00	0,05	0,03	
E	0,08	0,05	0,23	
F	0,36	0,08	0,00	

Tabulka 16: Vodotěsnost povrch. úpravy pórobetonu

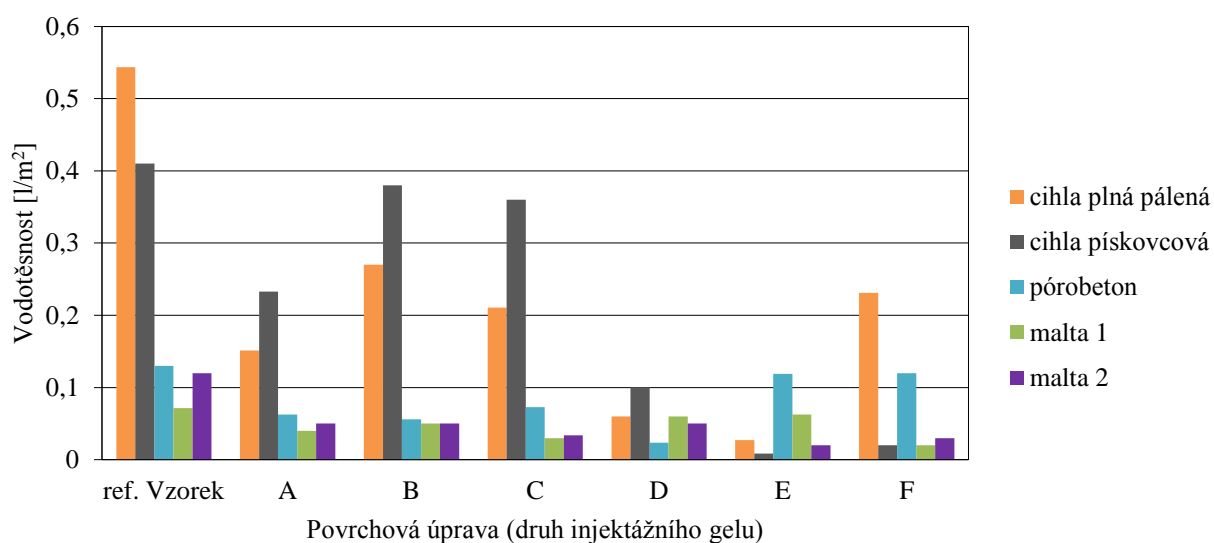
malta 1		V <sub>30</sub> [l/m <sup>2</sup> ]		
gel	1	2	3	
ref. vzorek	0,08	0,06	0,07	
A	0,00	0,01	0,02	
B	0,00	0,00	0,00	
C	0,00	0,01	0,00	
D	0,00	0,01	0,00	
E	0,03	0,08	0,08	
F	0,01	0,01	0,00	

Tabulka 17: Vodotěsnost povrch. úpravy malty 1

malta 2		V <sub>30</sub> [l/m <sup>2</sup> ]		
gel	1	2	3	
ref. vzorek	0,02	0,02	0,01	
A	0,00	0,00	0,00	
B	0,00	0,00	0,00	
C	0,00	0,10	0,00	
D	0,00	0,00	0,00	
E	0,00	0,02	0,00	
F	0,01	0,04	0,00	

Tabulka 18: Vodotěsnost povrch. úpravy malty 2

### Vodotěsnost povrchových úprav



Graf 4: Grafické vyhodnocení vodotěsnosti povrchových úprav

Zkouška vodotěsnosti povrchových úprav byla provedena na všech typech stavebních materiálů se všemi druhy injektážních gelů. Pro jeden injektážní gel u jednoho typu stavební hmoty je zkouška provedena vždy na třech zkušebních tělesech a výsledná hodnota je aritmetickým průměrem těchto hodnot.

Z grafického vyhodnocení (graf 4) můžeme soudit, že nejnižší vodotěsnosti povrchových úprav dosahují vzorky gelů D, E, F. Nejhorších výsledků vodotěsnosti povrchových úprav je dosaženo za použití gelů A, B a C. Získané výsledky vypovídají o shodě se zkouškou zpracovatelnosti, která byla provedena jako první. Ze zkušebních postupů zpracovatelnosti se stanovila viskozita injektážních gelů související s pronikáním do struktury stavební hmoty. Tento úkaz je zřejmý u všech gelů po provedení vodotěsnosti povrchových úprav. Infuzní gely s nízkou viskozitou A, B, C pronikají díky nízké viskozitě lépe do struktury materiálu, tím je nasákavost těchto vzorků v porovnání se vzorky impregnovanými gely E, F, kde je viskozita nižší, tudíž gel neproniká hluboko do struktury látky, čímž je nasákavost nižší.

### 5.3.6 Volba vhodných injektážních materiálů

Z praktického provádění předchozích experimentů je zřejmé, že injektážních gelů je opravdu rozsáhlé spektrum a práce s takovým množstvím materiálů by mohla být složitá a velice zdoluhavá. Nebude zcela jednoduché tento počet zúžit, ale na základě reotestu, nasákavosti a vodotěsnosti povrchových úprav byly následně zvoleny tři gely, jež vykazovaly nejpříjemnější parametry. Jednalo se o gely: *gel B*, *gel C* a *gel D*.

S tímto zúženým spektrem injektážních materiálů budou dále provedeny následující zkušební postupy. Množství zkušebních gelů bylo zúženo z důvodu zjednodušení pracovních postupů a především pro minimalizaci skladovacích prostorů, kterých by bylo při provádění se všemi injektážními gely zapotřebí velké množství. Důležité je mít také na paměti, potřeba snížení počtu zkušebních hmot pro jednoznačnou identifikaci a možnost uvedení na trh s jasně definovanými parametry. Se zúženým spektrem infuzních gelů již přistoupíme k samotnému stanovení míry penetrace v závislosti na různých stavech stavebních materiálu.

### 5.3.7 Vliv vlhkosti zdíciho materiálu na míru penetrace

Veškeré následující zkušební postupy jsou ve srovnání se směrnici WTA značně odlišné a měli by sloužit především pro zúžení počtu injektážních prostředků. Při velkém počtu injektážních hmot by bylo provedení zkoušek účinnosti přesně dle pokynů směrnice WTA prakticky nemožné a to především z hlediska prostorů zkušebních laboratoří. Málokterá zkušební laboratoř disponuje takovými zkušebními prostory, aby mohla provádět zkoušky účinnosti přesně dle směrnice WTA. Hlavním předpokladem je tedy zvolení zmenšených zkušebních těles spolu s doplňujícími zkouškami a stanoveními, díky kterým se bude počet injektážních hmot postupně snižovat.

Při sanaci konstrukce postižené vlivem zvýšené vlhkosti je důležité sledovat několik důležitých hledisek. K jednomu z hlavních parametrů, které je důležité sledovat je vlhkost sanovaného materiálu. Každý gel působí rozdílně při různých vlhkostech a to i v případě totožného materiálu. V praxi není možné provádět sanaci libovolného stavebního materiálu při různých vlhkostních stavech totožným typem sanačního gelu. Z tohoto důvodu je důležitým parametrem stanovení spektra sanačních gelů, které jsou pro daný typ materiálu při daném vlhkostním stanu neoptimalnější. Za stěžejní byly zvoleny vlhkosti 75 %, 50 % a 25 %.

Vlhkostní stavy se ve vzorku vyvodí úplným nasycením a následným sušením s vážením, dokud není dosaženo požadovaného vlhkostního stupně.

Jak bylo zmíněno v předchozí kapitole, hlavními druhy zkušebních materiálů budou zvoleny takové, ze kterých jsou dnešní konstrukce nejčastěji vystaveny a zároveň nejčastěji zasaženy zvýšenou vztlínající vlhkostí.

Zvoleny byly tyto materiály: *Cihla plná pálená, kámen* (zastoupený pískovcem), *zdicí maltou* (dodanou firmou Betosan – zdicí malta s označením M1 a firmou Knauf – zdicí malta s označením M2, jako suché maltové směsi) a *pórobetonem*.

Každý materiál bude zastoupen 9 zkušebními tělesy, rozměry těles jsou stanoveny v kapitole 5.3.2 Zkušební tělesa a jejich příprava. Počet zkušebních těles je závislý na počtu zkoušených gelů a na navržených vlhkostních třídách. Pro jednu vlhkostní třídu pro jeden infuzní gel jsou potřebné 3 zkušební tělesa. V tom případě, pro jeden druh stavebního materiálu a pro jeho 3 vlhkostní stupně bude celkově potřeba 9 zkušebních těles.

Po vyvození požadovaného vlhkostního stupně je možné přistoupit k samotnému provádění vrtů. Vrty se provádějí v každém zkušebním tělese, ukázku takto připravených těles můžeme vidět na obrázku (obrázek 30). Umístění vrtů je u pro všechny materiály shodné (s výjimkou pórobetonu, v tomto případě se jedná o těleso menších rozměrů a tak i vrty v tělese budou dosahovat menší vzdálenosti). Vrty zasahují do poloviny výšky vzorku, osová vzdálenost vrtů mezi sebou je 60 mm a průměr vrtu má 7 mm. Vzdálenosti vrtů a průměru jsou stanoveny v určitém poměru podle směrnice WTA. Vrty je zapotřebí oproti zmiňované směrnici zmenšit, mohlo by totiž dojít k úplnému prolnutí skrz celý zkoušený vzorek. Tím by nebyla jasně zřetelná hranice penetrované zóny a míra penetrace by nemohla být stanovena.

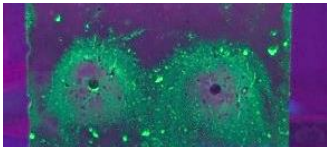
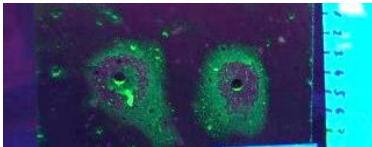
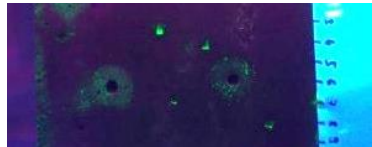
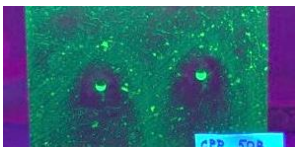
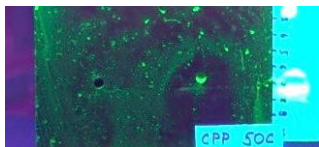
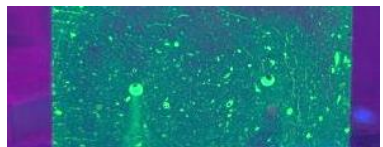


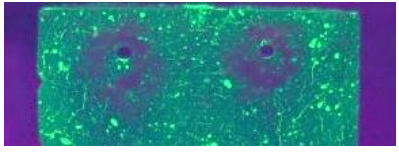
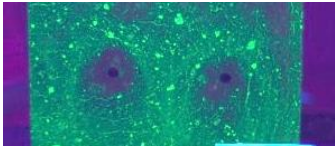
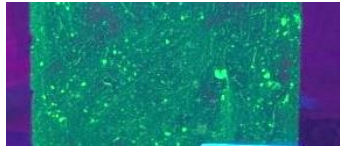
Obrázek 30: Ukázka těles připravených k infuznímu napouštění (postupně pórobeton, cihla plná pálená, zdicí malta)

Všechny materiály o požadované vlhkosti a s vytvořenými vrty jsou injektovány. Bez ohledu na druh stavebního materiálu se všechna zkušební tělesa injektují totožným způsobem.



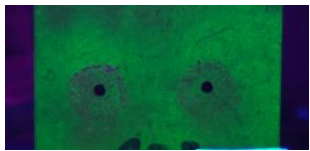
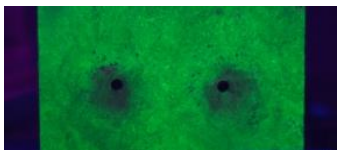
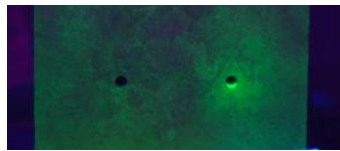
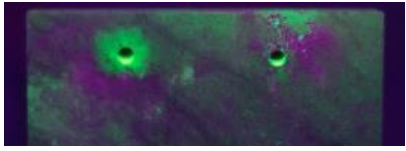
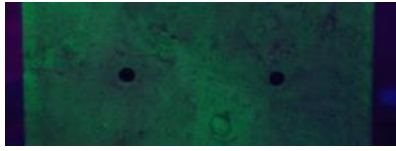
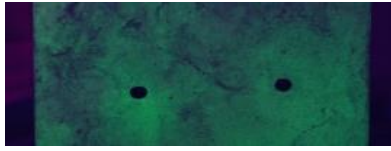
Samotná injektáž se provede pomocí upravené injekční stříkačky, na jejímž konci je připevněna hadička, aby bylo dosaženo vyplnění vrtu v celé jeho hloubce. Bezprostředně po provedení takto upravené injektáže je důležité, aby zkušební tělesa byla umístěna do prostředí, v němž neubude docházet ke změně vlhkosti. Tímto prostředím jsou speciální plastové sáčky s uzavíráním. V těchto podmínkách se zkušební tělesa ponechají 7 dní. Po 7 dnech následuje kontrola míry penetrace. Ta spočívá v podélném rozřezání vzorku v rovině kolmé na rovinu vrtů a jeho máčení do roztoku s vlhkostním indikačním činidlem. Pod světlem z UV lampy je snadno zřetelné míra penetrace, kterou bylo možné určit na rozhraní dvou barevných odstínů. Pokud převažovala barva zelená, jednalo se o místo s přítomností indikátoru, tedy o místo s ulpívající vlhkostí. V případě tmavého odstínu se jednalo o místo s injektážním gelem, tedy s minimální vlhkostí. Všechny výsledky míry penetrace v závislosti na vlhkosti materiálu je možné vidět na následujících obrázcích (obrázek 31 až obrázek 35).

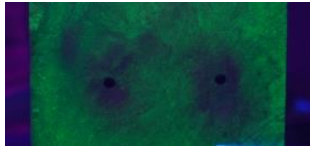
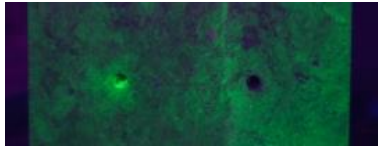
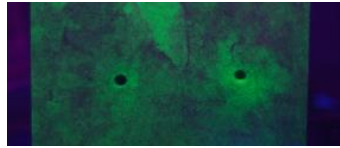
Cihla plná pálená - 25 % vlhkosti		
		
Gel B	Gel C	Gel D
Cihla plná pálená - 50 % vlhkosti		
		
Gel B	Gel C	Gel D

Cihla plná pálená - 75 % vlhkosti		
		
Gel B	Gel C	Gel D

Obrázek 31: Míra penetrace cihly plné pálené v závislosti na vlhkosti

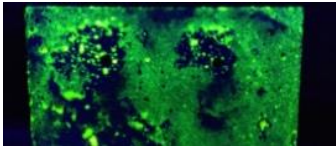
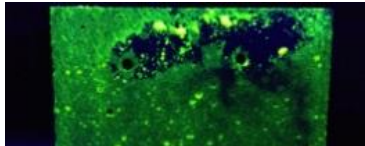
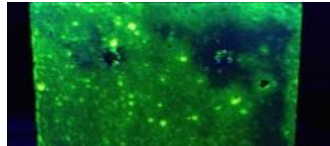
Z míry penetrace v závislosti na rozdílné vlhkosti cihly plné pálené můžeme usuzovat, že při 25% vlhkosti nejlépe penetruje gel C. Při 50% vlhkosti vykazuje nejlepší míru penetrace opět gel C a při 75% je nejlepší míra penetrace stanovena opět pro gel C. Z tohoto pozorování je zřejmé, že nejlepší míru penetrace v závislosti na rozdílné vlhkosti u cihly plné pálené vykazuje jednoznačně gel C, kdy hodnota průměru penetrované oblasti v okolí jednoho vrtu činí přibližně 33 mm. Naopak nejhorší výsledky míry penetrace u cihly plné pálené injektážní má gel s označením D. Jeho průměrná hodnota penetrované oblasti je pouhých 7 mm.

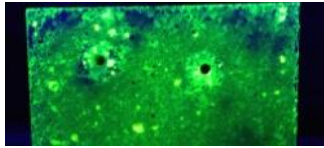
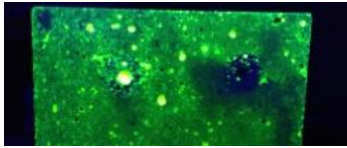
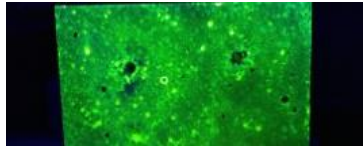
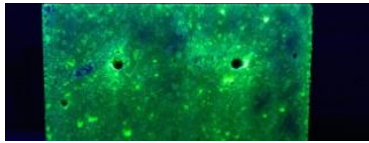
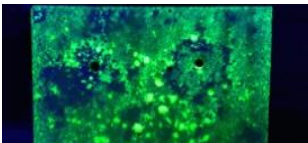
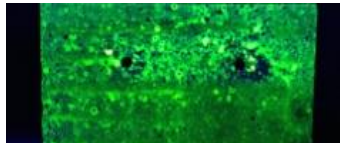
Kámen (pískovec) – 25 % vlhkosti		
		
Gel B	Gel C	Gel D
Kámen (pískovec) - 50 % vlhkosti		
		
Gel B	Gel C	Gel D

Kámen (pískovec) - 75 % vlhkosti		
		
Gel B	Gel C	Gel D

Obrázek 32: Míra penetrace pískovce v závislosti na vlhkosti

Při určování míry penetrace kamene s různými vlhkostními stupni jsou získány tyto poznatky. Hlavním poznatkem je, že zkoušené injektážní gely penetrují pískovec při všech testovaných vlhkostech. Pro 25% vlhkost kamene, ve formě pískovce, vykazuje nejlepší míru penetrace injektážní gel s označením C, pro 50% vlhkost je nejvyšší míra penetrace stanovena pro gel D a pro 75% vlhkost má nejlepší míru penetrace gel B. Nejméně efektivně se pro zkušební tělesa z pískovce jeví gel B, kdy hodnota průměru penetrované oblasti v okolí jednoho vrtu činí 29 mm. Na rozdíl od ostatních stavebních materiálů, není u zkušebních těles z pískovce patrný významnější vliv vlhkosti na míru penetrace. Nejhorší průměrná míra penetrace u tělesa pískovce vykazoval gel D.

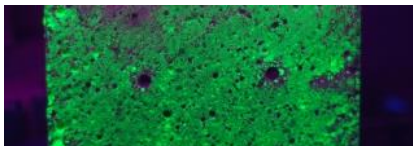
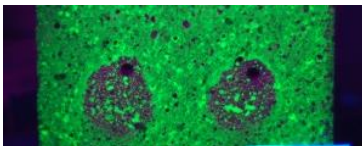
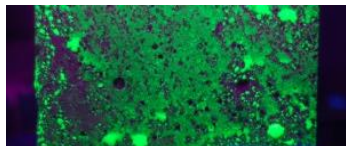
Malta 1 - 25 % vlhkosti		
		
Gel B	Gel C	Gel D

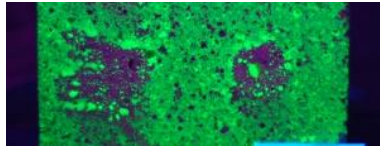
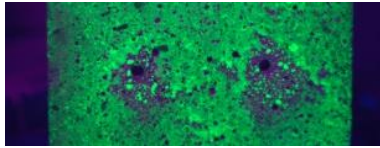
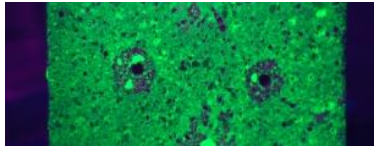
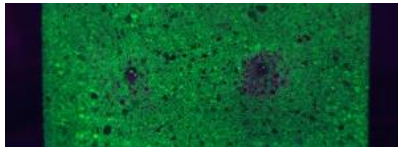
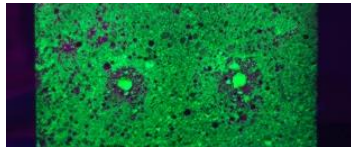
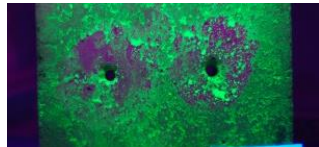
Malta 1 - 50 % vlhkosti		
		
Gel B	Gel C	Gel D
Malta 1 - 75 % vlhkosti		
		
Gel B	Gel C	Gel D

Obrázek 33: Míra penetrace zdící malty 1 v závislosti na vlhkosti

Stanovení míry penetrace u zdících malt je poněkud obtížnější. V mnoha případech je velice špatně rozpoznatelná míra penetrace.

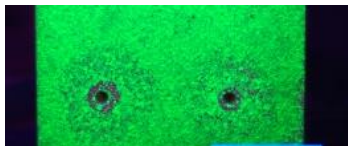
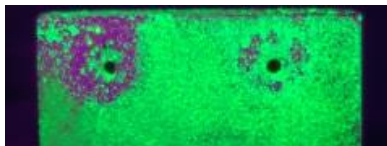
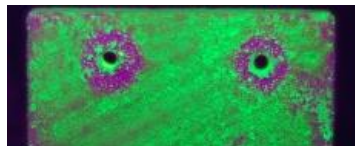
Pokud se budeme zabývat maltou 1, tak při její 25% vlhkosti vykazuje nejlepší míru penetrace gel C, u 50% není míra penetrace jednoznačně zřetelná, ale za nejlepší je stanoveno zkušební těleso s injektážním gelem C, a to i při 75% vlhkosti. Nejvyšší průměrná hodnota penetrované oblasti v okolí jednoho vrtu je stanovena pro gel C s průměrnou hodnotou 33 mm, nejnižší pak pro gel D s průměrnou hodnotou 12 mm.

Malta 2 - 25 % vlhkosti		
		
Gel B	Gel C	Gel D

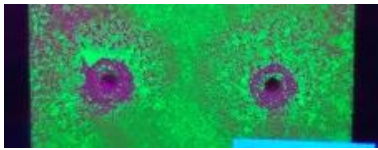
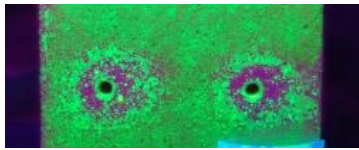
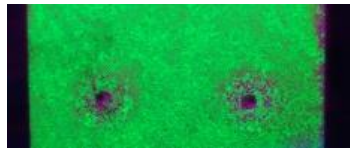
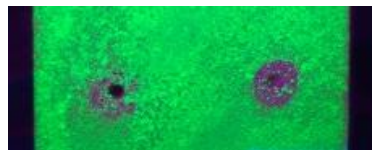
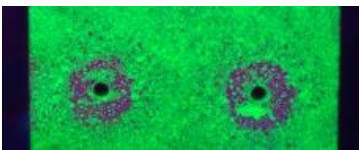
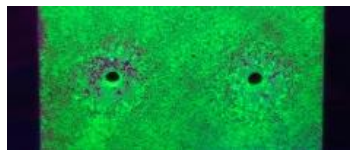
Malta 2 - 50 % vlhkosti		
		
Gel B	Gel C	Gel D
Malta 2 - 75 % vlhkosti		
		
Gel B	Gel C	Gel D

Obrázek 34: Míra penetrace zdící malty 2 v závislosti na vlhkosti

Při stanovení míry penetrace u zdící malty s označením M2 byly výsledky oproti předchozí maltě zřetelnější. U 25% vlhkosti má nejlepší míru penetrace injektážní gel C, při 50% vlhkosti je to opět gel C a u 75% vlhkosti ukazuje nejvyšší míru penetrace gel D. Nejvyšší průměrná míra penetrace v okolí jednoho vrtu je stanovena pro injektážní gel C, který má průměrnou míru penetrace v okolí jednoho vrtu 39 mm. Nejnižší průměrnou míru penetrace v okolí jednoho vrtu u zdící malty 2 vykazuje vzorek injektovaný gelem B a to průměrně 23 mm.

Pórobeton - 25 % vlhkosti		
		
Gel B	Gel C	Gel D



Pórobeton - 50 % vlhkosti		
		
Gel B	Gel C	Gel D
Pórobeton - 75 % vlhkosti		
		
Gel B	Gel C	Gel D

Obrázek 35: Míra penetrace pórobetonu v závislosti na vlhkosti

U pórobetonu jako stavebního materiálu se zdá být zcela nesmyslné tento prvek injektovat. Situace na trhu je ale v taková, že lidé si tohoto opatření žádají a tak i proto byl tento materiál zařazen do výzkumu a ze zjištěných poznatků je jasné, že problematika injektování pórobetonu nebude bezvýznamná.

Pórobeton s 25% vlhkosti má nejlepší míru penetrace s použitím injektážního gelu D, při 50% vlhkosti s nejvyšší mírou penetrace vychází opět gel C a stejně je tomu i u 75% vlhkosti pórobetonu. Jak je z výsledků jistě zřejmé, všechny vzorky injektážních gelů penetrují pórobeton při všech vyvozených vlhkostech. Nejlepší míra penetrace je stanovena pro gel C. Výsledné průměrná míra penetrace v okolí jednoho vrtu je 34 mm. Naopak nejnižší míru penetrace vykazují vzorky injektované gelem D, kdy jejich průměrná míra penetrace je 18 mm.

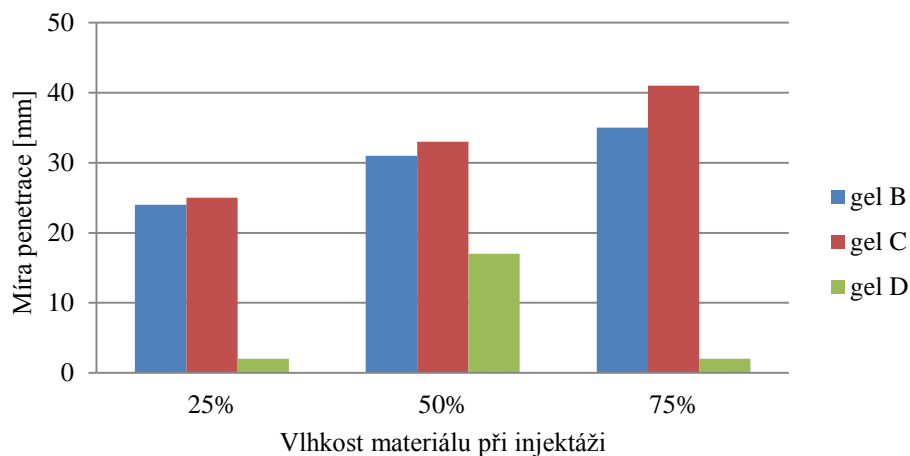
*Uvedená problematika je řešena v rámci projektu **MPO FR-TI4/270** s názvem: *Gelový infuzní clonový systém pro dodatečnou hydroizolaci různých druhů zdiva s využitím druhotných surovin.**

## Vyhodnocení

		Míra penetrace v závislosti na vlhkosti [mm]				
		inj. gel	25%	50%	75%	průměr
cihla plná pálená	gel B	24	31	35	30	
	gel C	25	33	41	33	
	gel D	2	17	2	7	
kámen (pískovec)	gel B	32	15	41	29	
	gel C	35	15	29	26	
	gel D	15	18	27	20	
zdící malta M1	gel B	25	35	38	33	
	gel C	12	25	29	22	
	gel D	8	15	12	12	
zdící malta M2	gel B	20	28	22	23	
	gel C	45	38	35	39	
	gel D	15	28	39	27	
pórobeton	gel B	19	29	35	28	
	gel C	29	35	38	34	
	gel D	23	15	16	18	

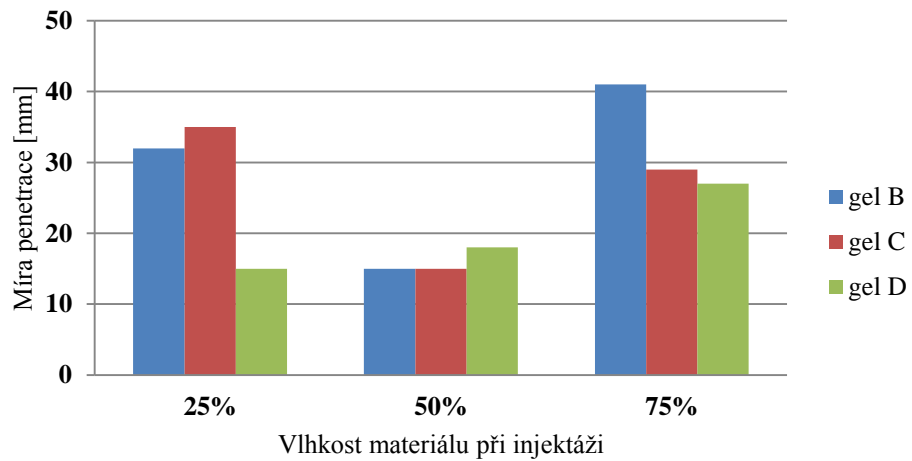
Tabulka 19: Míra penetrace v závislosti na rozdílné vlhkosti

### Míra penetrace cihly plné pálené



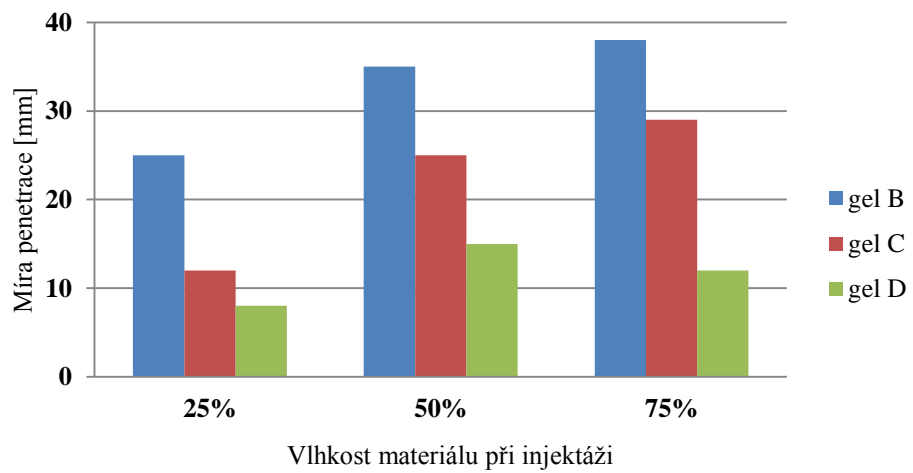
Obrázek 36: Grafické vyhodnocení míry penetrace v závislosti na teplotě cihly plné pálené

## Míra penetrace kamene



Obrázek 37: Grafické vyhodnocení míry penetrace v závislosti na teplotě kamene

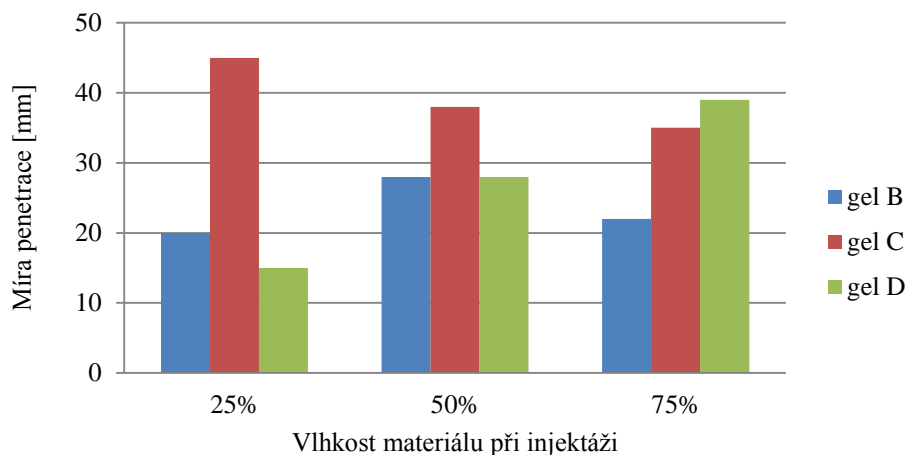
## Míra penetrace zdící malty M1



Obrázek 38: Grafické vyhodnocení míry penetrace v závislosti na teplotě zdící malty M1

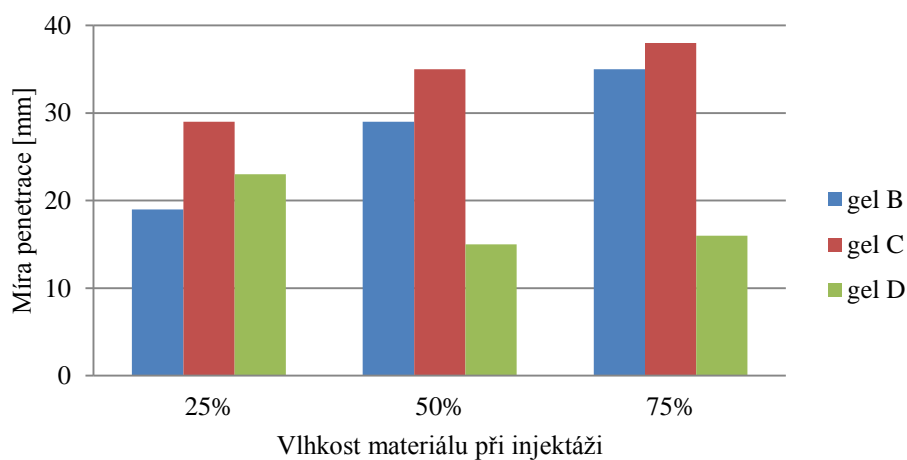


## Míra penetrace zdící malty M2



Obrázek 39: Grafické vyhodnocení míry penetrace v závislosti na teplotě zdící malty M2

## Míra penetrace pórobetonu



Obrázek 40: Grafické vyhodnocení míry penetrace v závislosti na teplotě pórobetonu

Ze získaných hodnot míry penetrace 5 různých stavebních materiálů při vyvození třech rozdílných vlhkostních podmínek (25, 50 a 75 % vlhkosti materiálu) vzorku a následném podélném rozříznutí vzorku v rovině kolmé na rovinu vrtu jasná míra penetrace. Míra penetrace byla stanovena jako průměrná hodnota penetrovaných průměrů v okolí obou vrtů jednoho

vzorku. Následně byla vypočtena průměrná hodnota ze všech vlhkostní třídy pro daný typ injektážního gelu.

U cihly plné pálené je pro všechny stanovené vlhkosti nejlépe vyhovující injektážní gel C. V případě stavebního materiálu kamene, zastoupeného pískovcem, ve většině případů vyhovuje nepřijatelněji gel s označením B. U zdící malty M1 je za nejvíce vyhovující vyhodnocen injektážní gel B a u zdící malty s označením M2 se jedná o zkoušený gel C. Stanovená míry penetrace pórobetonu nám ukázala, že pro tento materiál je ve většině případů nejlépe vyhovující gel C.

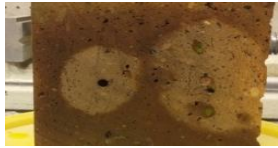

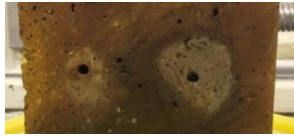
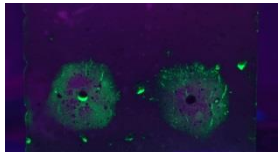
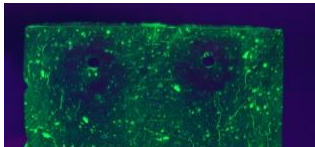
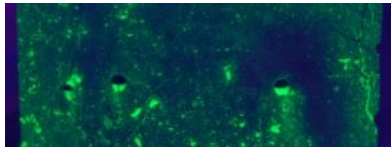
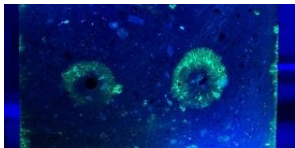
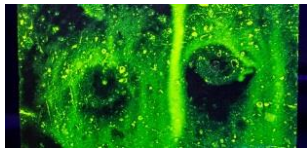
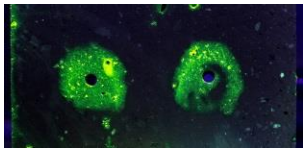
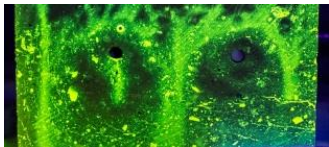

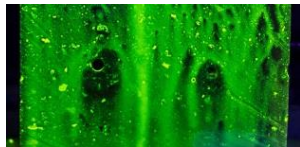
Z grafického vyhodnocení (obrázek 36 až obrázek 40) můžeme dojít k závěru, že ve všech případech zkoušených stavebních materiálů a injektážních gelů nastává trend přímé úměrnosti mezi rostoucí vlhkostí a mírou penetrace. Tento jev je s největší pravděpodobností příčinou toho, že injektážní gel reaguje s vodou ve struktuře stavebního materiálu a tím proniká lépe do vzorku stavebního materiálu. Výsledky ze kterých toto zhodnocení plyne, jsou uvedeny v tabulce (tabulka 19).

Ze všech tří testovaných zkoušených gelů vykazuje největší míru penetrace gel C. Nejlepší míry penetrace pro gel C bez ohledu na vlhkostní stav materiálu jsou stanoveny pro zkušební tělesa cihly plné pálené, zdící malty M2 a pórobeton. S minimálním rozdílem míry penetrace oproti gelu C, je jako druhý nejefektivnější injektážní gel stanoven gel s označením B. Zde jsou vynikající výsledky naměřeny pro tělesa kamene a zdící malty M1. Celkově nejhorší výsledky vykazoval gel D. Míry penetrace pro tento injektážní gel jsou sice stanoveny, ale v mnoha případech se jednalo o velice nízké hodnoty. Například u cihly plné pálené je průměrná míra penetrace ze všech vlhkostních tříd pouhých 7 mm. Naopak u vzorku zdící malty M2 vykazuje injektážní gel D druhý nejlepší výsledek.

### 5.3.8 Vliv teploty zdicího materiálu na míru penetrace

Stejně jako je důležitá vlhkost stavebního materiálu při injektáži pro následné snazší vnikání injektážního materiálu do pórů, je nutné sledovat i teplotu zkoušeného vzorku. Tato část praktického cvičení by měla dokázat, jaké je ideální teplota pro injektáž vlhkého zdiva, či zda je vůbec možný určitý rozdíl při injektování těles s ohledem na různé teploty. Jako u stanovení míry penetrace dle rozdílné vlhkosti i v tomto případě je vyhodnocení závislé na vizuálním posouzení. Zkušební tělesa jsou po stanovené době (nejčastěji 7 dní) vyjmuta z prostředí, ve kterých byla vyvozena požadovaná teplota a následně ve své polovině, v rovině kolmé na rovinu vrtů podélně rozřezána, po rozřezání proudem vody očištěna od řezného prachu. Po těchto úpravách následuje vyhodnocování míry penetrace. Vyhodnocení spočívalo v máčení vzorku do roztoku s indikátorem, jež je aktivován UV zářením. Při posvícení UV lampou na vzorek s vlhkostním indikátorem rozeznáme dva barevné rozdíly. Zelená barva značí místa s přítomností indikátoru, tedy místa absorbující vlhkost. Naopak místa tmavá znamenají přítomnost injektážního gelu, tedy oblast kde je absorpce vlhkosti minimální.

Veškeré výsledky všech teplotních tříd byly zaznamenány a jsou viditelné na fotografiích (obrázek 41 až obrázek 45) či v grafické podobě (obrázek 46 až obrázek 50).

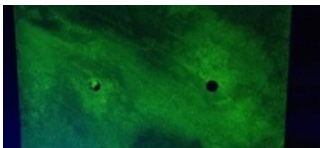
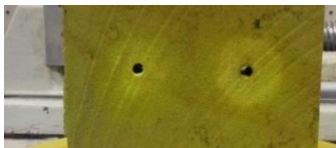
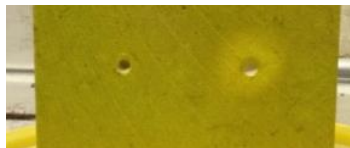
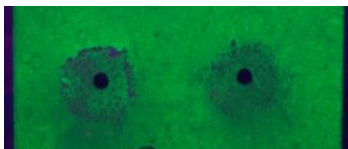
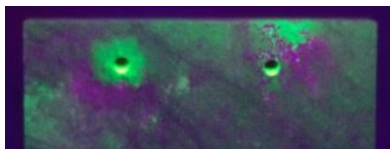
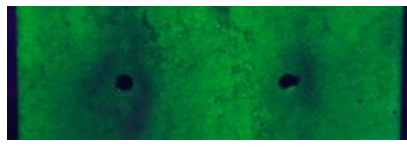
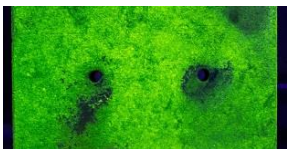
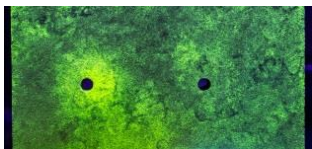
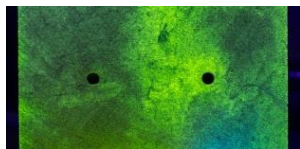
Cihla plná pálená – injektáž při 35 °C teploty materiálu		
		
Gel B	Gel C	Gel D
Cihla plná pálená – injektáž při 20 °C teploty materiálu		
		
Gel B	Gel C	Gel D
Cihla plná pálená – injektáž při 10 °C teploty materiálu		
		
Gel B	Gel C	Gel D
Cihla plná pálená – injektáž při 5 °C teploty materiálu		
		
Gel B	Gel C	Gel D

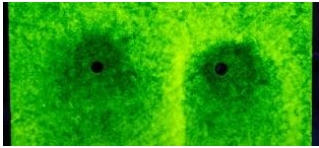
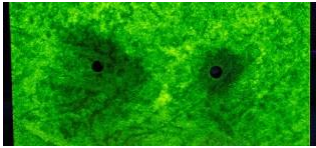
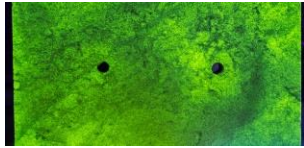
Obrázek 41: Míra penetrace cihly plné pálené v závislosti na teplotě

U vzorku cihly plné pálené došlo k penetraci ve všech teplotních třídách s použitím jakéhokoliv injektážního gelu. Míra penetrace je rozdílná dle teploty a druhu použitého

injektažního materiálu. Při teplotě materiálu 35 °C u cihly plně pálené nejlépe penetruje gel B a C, kdy dochází k vytvoření souvislé injektažní clony. Při 20°C teplotě cihly plně pálené penetrují všechny zkoušené injektažní gely téměř totožným způsobem, míra penetrace je v rozmezí 51 až 48 mm. Podobná situace nastává i při teplotě materiálu 10 °C, kdy se míra penetrace nachází v rozmezí 30 až 28 mm. Pro teplotu 5 °C cihly plně pálené je nejlepší míra penetrace stanovena pro injektažní gel s označením B.

Nejvyšší průměrné míry penetrace materiálu vykazují zkušební tělesa injektovaná gelem B. Průměrná míra penetrace dosahuje 47 mm. Naopak nejnižší průměrná míra penetrace bez ohledu na teplotu materiálu je stanovena pro tělesa injektovaná gelem D. I tak se jedná o relativně vysokou míru penetrace, jejíž průměrná hodnota je 40 mm.

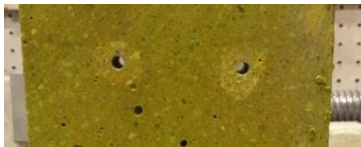
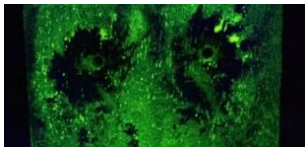

Kámen (pískovec) – injektaž při 35 °C teploty materiálu		
		
Gel B	Gel C	Gel D
Kámen (pískovec) – injektaž při 20 °C teploty materiálu		
		
Gel B	Gel C	Gel D
Kámen (pískovec) – injektaž při 10 °C teploty materiálu		
		
Gel B	Gel C	Gel D

Kámen (pískovec) – injektáž při 5 °C teploty materiálu		
		
Gel B	Gel C	Gel D

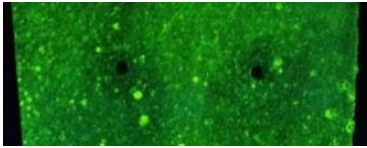
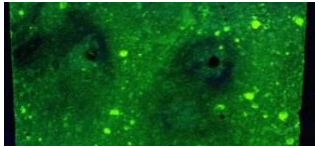

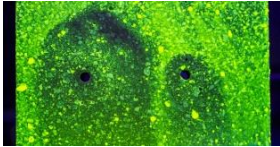
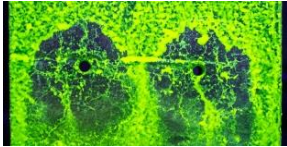
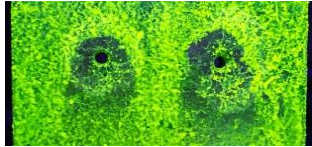
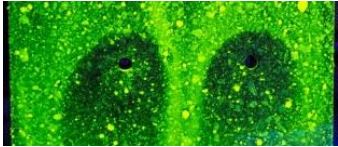
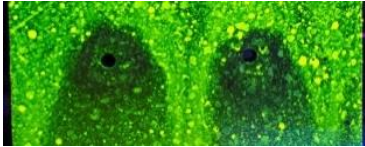
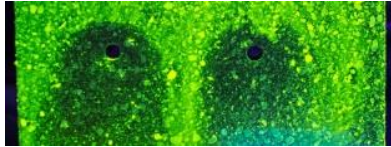
Obrázek 42: Míra penetrace kamene v závislosti na teplotě

U zkušebního materiálu kamene, zastoupeného pískovcem, při teplotě vzorku 35 °C vychází z nejlepší mírou penetrace vzorek kamene injektovaný gelem s označením B. S teplotou kamene 20 °C penetrují všechny gely téměř totožným způsobem, nejlepší míry penetrace dosahuje gel B a C, s totožnou mírou penetrace 27 mm. Gel D má míru penetrace při teplotě 20 °C 26 mm. Při teplotě materiálu 10 °C penetrují všechny injektážní gely téměř totožným způsobem, nejlépe gel C s mírou penetrace 27 mm. Injektážní gely B a D při teplotě materiálu 10 °C mají míru penetrace 26 a 25 mm. Nakonec při nejnižší teplotě materiálu, a to 5 °C, nejlépe penetruje gel s označením B, jehož míra penetrace dosahuje hodnoty 27 mm. Pohled na grafické vyhodnocení (obrázek 47) udává, že míra penetrace má ve srovnání s předchozím vzorkem cihly plně pálené, velice pozvolně stoupající tendenci spolu se zvyšující se teplotou materiálu.

Celkové nejvyšší průměrné míry penetrace, bez vlivu teploty materiálu, vykazují zkušební tělesa injektovaná gelem B. Průměrná míra penetrace dosahuje 28 mm, nejnižší hodnota pak je stanovena pro injektážní gel D.

Zdící malta M1 – injektáž při 35 °C teploty materiálu		
		
Gel B	Gel C	Gel D



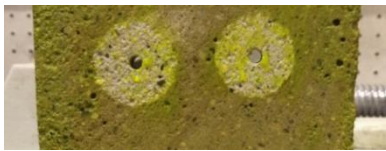
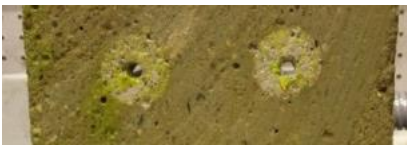
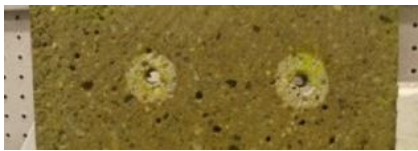
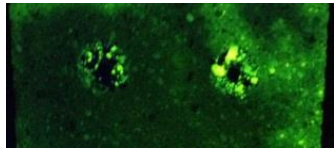
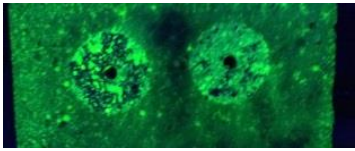
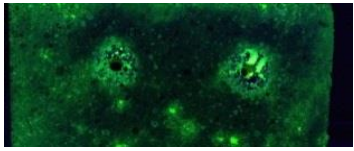
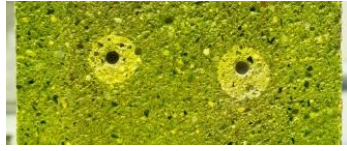
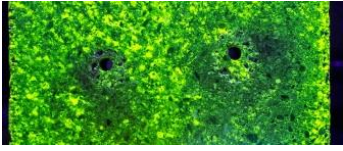
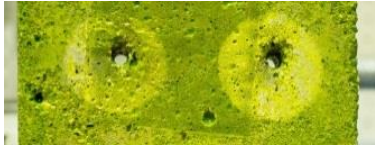
Zdící malta M1 – injektáž při 20 °C teploty materiálu		
		
Gel B	Gel C	Gel D
Zdící malta M1 – injektáž při 10 °C teploty materiálu		
		
Gel B	Gel C	Gel D
Zdící malta M1 – injektáž při 5 °C teploty materiálu		
		
Gel B	Gel C	Gel D

Obrázek 43: Míra penetrace zdící malty M1 v závislosti na teplotě

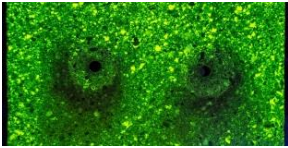
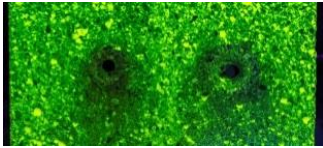
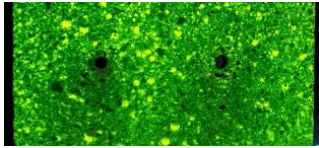
V případě zkušebního tělesa zdící malty je důležité si uvědomit, že v mnoha případech hraje právě zdící malta hlavní roli. Jelikož se jedná o materiál, respektive stavební hmotu připravovanou na stavbě, může při její přípravě či aplikaci nastat spousta chyb a tím se posléze stává hlavním nositelem vlhkosti v objektu. Její nesprávnou přípravou, či aplikací je možné následně dosáhnout daleko vyšší pórovitosti a tím nejen nižších pevnostních charakteristik, ale především vyšší nasákavosti. Stejně jako u ostatních zkoušených stavebních materiálů jsou i u zdící malty s označením M1, tedy malty dodávané ve formě suché směsi firmou Betosan, vyvozeny 4 teplotní třídy, při kterých jsou zkušební tělesa injektována.

U všech zkušebních těles zdící malty s označením M1 je míra penetrace zřetelná, přímo velmi dobrá. Při 35 °C materiálu vykazuje nejlepší míru penetrace vzorek injektovaný zkušebním gelem s označením C. U dalších dvou gelů při této teplotě se jedná pouze o minimální snížení míry penetrace. Při 20°C teplotě materiálu je dosaženo nejlepší míry penetrace s použitím gelu D. Při teplotě materiálu 10 °C má nejlepší míru penetrace těleso injektované gelem B a při 5 °C teploty materiálu dosahuje nejvyšší míry penetrace těleso injektované gelem C. Z grafického vyhodnocení (obrázek 47) můžeme vidět mírnou tendenci klesající míry penetrace spolu se stoupající teplotou.

Celkově nejvyšší průměrné míry penetrace, bez vlivu teploty materiálu, vykazují zkušební tělesa injektovaná gelem B. Tato průměrná míra penetrace dosahuje 51 mm. Nejnižší míra penetrace je stanovena pro injektážní gel D, a to 46 mm.

Zdící malta M2 – injektáž při 35 °C teploty materiálu		
		
Gel B	Gel C	Gel D
Zdící malta M2 – injektáž při 20 °C teploty materiálu		
		
Gel B	Gel C	Gel D
Zdící malta M2 – injektáž při 10 °C teploty materiálu		
		
Gel B	Gel C	Gel D



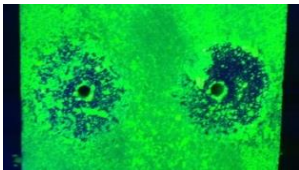
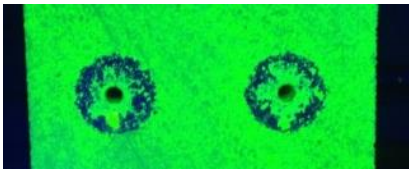

Zdíci malta M2 – injektáž při 5 °C teploty materiálu		
		
Gel B	Gel C	Gel D

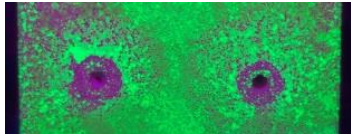
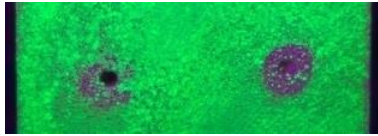
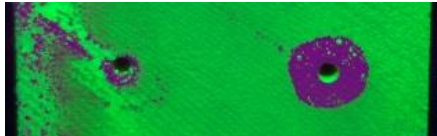
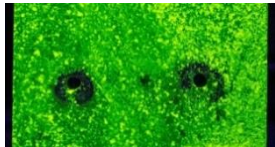
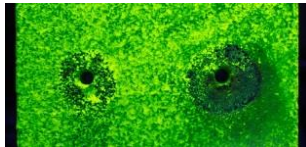
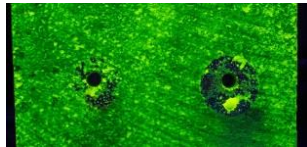

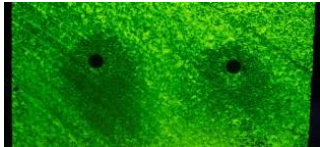

Obrázek 44: Míra penetrace zdíci malty M2 v závislosti na teplotě

I tato část práce, se stejně jako při stanovení míry penetrace dle rozdílné vlhkosti, se zabývá dvěma druhy zdíci malty. Druhá zkoušená zdíci malty s značením M2 je jako v předchozím případě dodávána ve formě suché směsi, jen s tím rozdílem, že dodavatelem této směsi je firma Knaf. Problematiky týkající se přípravy a aplikace směsi na stavbě je stejná jako v předchozím případě.

Při injektáži tělesa dosahující teploty 35 °C vykazuje nejpříjemnější míru penetrace injektážní gel B, při 20 °C teploty zdíci malty 2 má nejlepší míru penetrace gel s označením C. Při 10°C teplotě vzorku při injektáži je nejlepší míra penetrace u tělesa injektovaného gelem D a při nejnižší teplotě vykazuje nejlepší míru penetrace injektážní gel C.

Z obrázku (obrázek 49) vidíme, při vyloučení menších rozdílů, téměř rovnoměrně rozloženou průměrnou míru penetrace. V případě této zdíci malty je možné říci, že průměrné míry penetrace jsou pro gely B, C, i D velice podobné. U všech druhů infuzních gelů je jejich průměrná míra penetrace téměř shodná a hodnoty, bez vlivu teploty, jsou v rozmezí 31 až 34 mm. Nejvyšší míry penetrace, tedy 34 mm, dosahuje zkušební těleso injektované gelem C.

Pórobeton – injektáž při 35 °C teploty materiálu		
		
Gel B	Gel C	Gel D

Pórobeton – injektáž při 20 °C teploty materiálu		
		
Gel B	Gel C	Gel D
Pórobeton – injektáž při 10 °C teploty materiálu		
		
Gel B	Gel C	Gel D
Pórobeton – injektáž při 5 °C teploty materiálu		
		
Gel B	Gel C	Gel D

Obrázek 45: Míra penetrace pískovce v závislosti na teplotě

Při vlivu míry penetrace dle rozdílné teploty injektovaného materiálu byl zvolen jako zástupce stavebního materiálu, stejně jako při vlivu rozdílné vlhkosti i pórobeton.

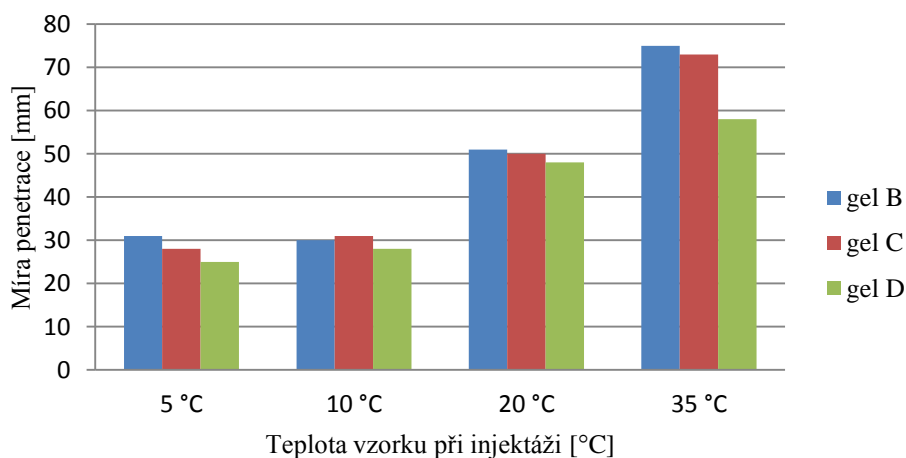
Při penetraci pórobetonu vychází u všech teplotních tříd injektovaného materiálu jako nejlepší, tedy ten s největší mírou penetrace, gel C. I přestože gel C vykazuje nejvyšší průměrnou míru penetrace, a to 31 mm, zbylé dva gely nezůstávají svými průměrnými hodnotami 28 a 27 mm vůbec pozadu. Pokud se podíváme na vliv teploty, můžeme pozorovat rovnoměrně vzrůstající míru penetrace vlivem zvyšující se teploty. Tento jev je vhodné pozorovat z grafického vyhodnocení (obrázek 50).

## Vyhodnocení

		Míra penetrace v závislosti na teplotě [mm]					
		inj. gel	5 °C	10 °C	20 °C	35 °C	průměr
cihla plná pálená	gel B		31	30	51	75	47
	gel C		28	31	50	73	46
	gel D		25	28	48	58	40
kámen (pískovec)	gel B		27	26	27	31	28
	gel C		21	27	27	29	26
	gel D		23	25	26	27	25
zdicí malta M1	gel B		56	62	40	29	47
	gel C		58	54	46	45	51
	gel D		53	42	48	39	46
zdicí malta M2	gel B		21	35	25	48	32
	gel C		19	25	51	39	34
	gel D		16	58	28	21	31
pórobeton	gel B		15	27	31	39	28
	gel C		18	29	35	41	31
	gel D		17	26	30	35	27

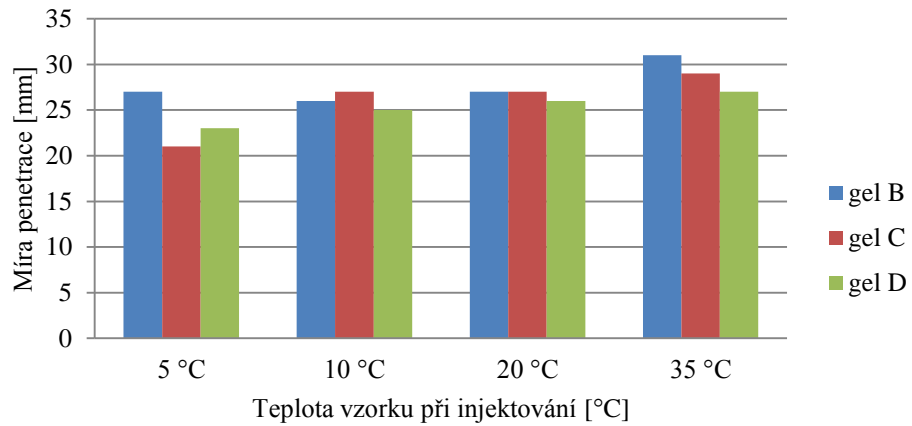
Tabulka 20: Míra penetrace v závislosti na teplotě

### Míra penetrace cihly plné pálené



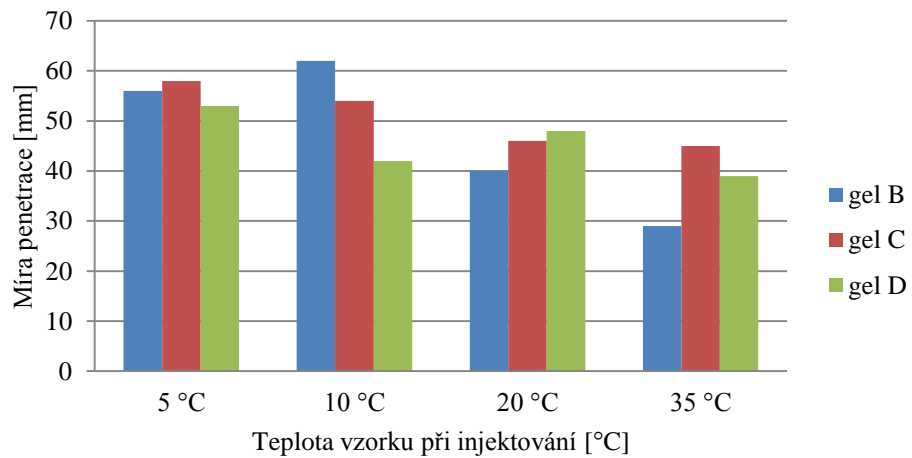
Obrázek 46: Grafické vyhodnocení míry penetrace v závislosti na teplotě cihly plné pálené

## Míra penetrace kamene



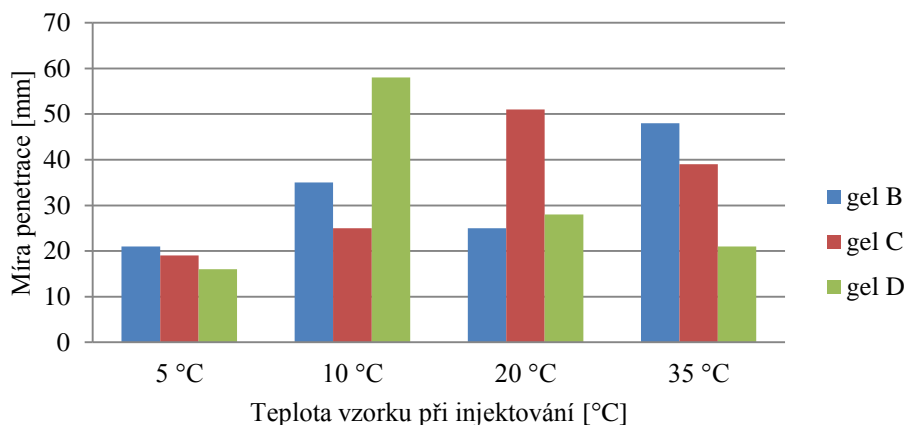
Obrázek 47: Grafické vyhodnocení míry penetrace v závislosti na teplotě kamene

## Míra penetrace zdící malty 1



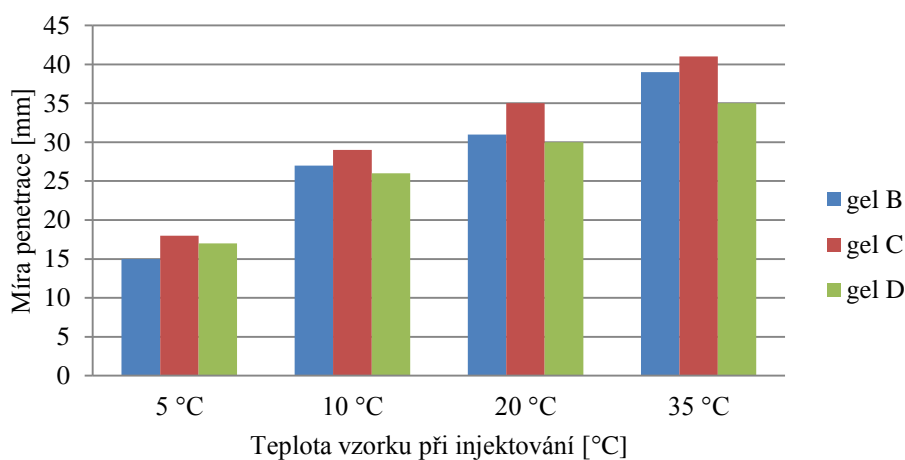
Obrázek 48: Grafické vyhodnocení míry penetrace v závislosti na teplotě zdící malty 1

## Míra penetrace zdící malty 2



Obrázek 49: Grafické vyhodnocení míry penetrace v závislosti na teplotě zdící malty 2

## Míra penetrace pórobetonu



Obrázek 50: Grafické vyhodnocení míry penetrace v závislosti na teplotě pórobetonu

U zvýšené teploty zkoušeného materiálu je zřejmé, že ve všech případech, kromě stavebního materiálu zdící malty M1, dochází k lepší míře penetrace než za obvyklé laboratorní teploty. Nejlépe lze toto tvrzení dokázat u cihly plně pálené s injektážním gelem C. U zdících malt nedochází k míře penetrace srovnatelné s cihlou, ale i tak je u zdící malty 1 i 2 dosažena zřetelná,

a pro zdící malty relativně rozsáhlá, míra penetrace. V případě zkušební vzorku kamene zastoupeného pískovcem je míra penetrace velice špatně rozeznatelná, důležitým poznatkem u tohoto druhu materiálu je, že dochází k penetraci a se stoupající teplotou se zvyšuje i míra penetrace kamene. V případě kamene, penetrují všechny gely téměř totožným způsobem, nejlépe však gel B. Oproti tomu u pórobetonu je míra penetrace jasně zřetelná a za nejlepší míra penetrace pro gel s označením C. I v případě pórobetonu můžeme hovořit o totožné průměrné míře penetrace všech injektážních gelů.

Z výsledků je zřejmé, že nejlepší míru penetrace bez rozdílu teploty vykazuje gel s označením C. Z nejhorší mírou penetrace se potýkáme u vzorků injektovaných gelem D, ale i v tomto případě stále hovoříme o vysoké míře penetrace pohybující se u jednotlivých stavebních materiálů v rozmezí 27 až 46 mm.

### 5.3.9 Technický list

#### TECHNICKÝ LIST GELU "B"

<b>Výrobek</b>	Průmyslově vyráběný gelový injektážní prostředek na bázi alkylakoxylanu			
<b>Složení</b>	Triethoxy (octyl) silan 20 %, thietoxy (2,4,4-trimethylpantyl) silan 35 %, etanol 5 %, metakaoliny 3 %, zeolity 7 %, jílové minarály 5 %, voda 25 %, walocel CRT 10 G 0,5 %			
<b>Vlastnosti</b>	Vysoce vodoodpudivý, snadno zpracovatelný, odolný účinkům povětrnostních vlivů			
<b>Použití</b>	Beztlakové injektáž zdiva z běžného stavebního materiálu (cihla plná pálená, kámen, zdící malta a pórobeton)			
<b>Technické údaje</b>	Vodotěsnost povrchových úprav pro jednotlivé stavební materiály	cihla plná pálená	0,27	l·m <sup>-2</sup>
		kámen (pískovec)	0,52	
		zdící malta	0,00	
		pórobeton	0,06	
	Nasákavost	cihla plná pálená	3,50	%
		kámen (pískovec)	5,30	
		zdící malta	0,95	
		pórobeton	5,90	
	Míra penetrace při 75% vlhkosti	cihla plná pálená	35,00	mm
		kámen (pískovec)	41,00	

		zdící malta	30,00	
		pórobeton	35,00	
	Míra penetrace při 50% vlhkosti	cihla plná pálená	31	mm
		kámen (pískovec)	15	
		zdící malta	32	
		pórobeton	29	
	Míra penetrace při 25% vlhkosti	cihla plná pálená	24	mm
		kámen (pískovec)	32	
		zdící malta	23	
		pórobeton	19	
	Míra penetrace při teplotě materiálu 35 °C	cihla plná pálená	75	mm
		kámen (pískovec)	31	
		zdící malta	39	
		pórobeton	39	
	Míra penetrace při teplotě materiálu 20 °C	cihla plná pálená	51	mm
		kámen (pískovec)	27	
		zdící malta	33	
		pórobeton	31	
	Míra penetrace při teplotě materiálu 10 °C	cihla plná pálená	30	mm
		kámen (pískovec)	26	
zdící malta		49		
pórobeton		27		
Míra penetrace při teplotě materiálu 5 °C	cihla plná pálená	31	mm	
	kámen (pískovec)	27		
	zdící malta	39		
	pórobeton	15		
<b>Spotřeba</b>	Dle parametrů vytvořených vrtů (průměru, hloubky)			
<b>Bezpečnostní opatření</b>	Vždy používejte ochranné rukavice a brýle, či obličejový štít. Dráždí oči. Opakované expozice může způsobit vysušení nebo popraskání kůže. Při požití okamžitě vyhledejte lékařskou pomoc. První pomoc: Při podráždění pokožky omyjte vodou a mýdlem. Při zasažení očí vyplachujte velkým množstvím vody. Obalové materiály odevzdejte v místě sběru.			
<b>Skladování</b>	Materiál skladujte v suchu, chladu, bez mrazu a v uzavřeném balení 12 měsíců.			
<b>Balení</b>	30 kg kbelík			
<b>Příprava vrtů</b>	Podklad musí být vždy čistý a z okolí vrtů musí být odstraněna omítka. Konstrukce nebo její část, na které bude injekce prováděna, musí být pevná, bez uvolňujících se částí. Vrty musí být zbaveny vrtného prachu.			

## Injektování

V rámci balení je dodávána speciální injektážní pistole určené pouze k beztlakové infuzi. Injektážní práce je možné započít po vytvoření vrtů a jejich řádném vyčištění od vrtného prachu. Z kbelíku je odstraněna ochranná fólie a následně i víko. Po mírném promíchání injektážního gelu čistým míchadlem můžete přistoupit k plnění injektážní pistole. Ústí pistole je neustále ponořeno pod hladinu gelu a rovnoměrným táhlým pohybem páky směrem od kbelíku plníme injektážní pistoli. Důležité je věnovat tomuto pracovnímu procesu velkou pozornost a trpělivost. V injektážní pistoli nesmí být žádné vzduchové dutiny, proto je vhodné při natahování gelu do pistole neustále vykonávat pistolí při natahování gelu krouživým pohyb. Pokud je injektážní pistole naplněna gelem můžete začít s injektováním. Injektáž probíhá velice jednoduše. Ústí injektážní pistole vsuneme do připraveného vrtu, a to tak aby probíhalo celou délkou vrtu. Poté mírným tlakem na páku pistole a následným mírným povytahováním ústí injektážní pistole plníme rovnoměrně celý vrt.

## TECHNICKÝ LIST GELU "C"

<b>Výrobek</b>	Průmyslově vyráběný gelový injektážní prostředek na bázi alkylakoxylanu			
<b>Složení</b>	Triethoxy (octyl) silan 17 %, thietoxy (2,4,4-trimethylpantyl) silan 40 %, etanol 5 %, jílové minarály 10 %, voda 28 %, walocel CRT 10 G 0,5 %			
<b>Vlastnosti</b>	Vysoce vodoodpudivý, snadno zpracovatelný, odolný účinkům povětrnostních vlivů			
<b>Použití</b>	Beztlakové injektáž zdiva z běžného stavebního materiálu (cihla plná pálená, kámen, zdící malta a pórobeton)			
<b>Technické údaje</b>	Vodotěsnost povrchových úprav pro jednotlivé stavební materiály	cihla plná pálená	0,21	l·m <sup>-2</sup>
		kámen (pískovec)	0,50	
		zdící malta	0,02	
		pórobeton	0,07	
	Nasákavost	cihla plná pálená	3,20	%
		kámen (pískovec)	4,80	
		zdící malta	0,80	
		pórobeton	5,50	
	Míra penetrace při 75% vlhkosti	cihla plná pálená	41	mm
		kámen (pískovec)	29	
		zdící malta	32	



		pórobeton	38	
	Míra penetrace při 50% vlhkosti	cihla plná pálená	33	mm
		kámen (pískovec)	15	
		zdící malta	32	
		pórobeton	35	
	Míra penetrace při 25% vlhkosti	cihla plná pálená	25	mm
		kámen (pískovec)	35	
		zdící malta	29	
		pórobeton	29	
	Míra penetrace při teplotě materiálu 35 °C	cihla plná pálená	73	mm
		kámen (pískovec)	29	
		zdící malta	42	
		pórobeton	41	
	Míra penetrace při teplotě materiálu 20 °C	cihla plná pálená	50	mm
		kámen (pískovec)	27	
		zdící malta	49	
		pórobeton	35	
	Míra penetrace při teplotě materiálu 10 °C	cihla plná pálená	31	mm
		kámen (pískovec)	27	
		zdící malta	40	
		pórobeton	29	
	Míra penetrace při teplotě materiálu 5 °C	cihla plná pálená	28	mm
		kámen (pískovec)	21	
		zdící malta	39	
		pórobeton	18	
<b>Spotřeba</b>	Dle parametrů vytvořených vrtů (průměru, hloubky)			
<b>Bezpečnostní opatření</b>	Vždy používejte ochranné rukavice a brýle, či obličejový štít. Dráždí oči. Opakované expozice může způsobit vysušení nebo popraskání kůže. Při požití okamžitě vyhledejte lékařskou pomoc. První pomoc: Při potřísnění pokožky omyjte vodou a mýdlem. Při zasažení očí vyplachujte velkým množstvím vody. Obalové materiály odevzdejte v místě sběru.			
<b>Skladování</b>	Materiál skladujte v suchu, chladu, bez mrazu a v uzavřeném balení 12 měsíců.			
<b>Balení</b>	30 kg kbelík			
<b>Příprava vrtů</b>	Podklad musí být vždy čistý a z okolí vrtů musí být odstraněna omítka. Konstrukce nebo její část, na které bude injektaž prováděna, musí být pevná, bez uvolňujících se částí. Vrty musí být zbaveny vrtného prachu.			

## Injektování

V rámci balení je dodávána speciální injektážní pistole určené pouze k beztlakové infuzi. Injektážní práce je možné započít po vytvoření vrtů a jejich řádném vyčištění od vrtného prachu. Z kbelíku je odstraněna ochranná fólie a následně i víko. Po mírném promíchání injektážního gelu čistým míchadlem můžete přistoupit k plnění injektážní pistole. Ústí pistole je neustále ponořeno pod hladinu gelu a rovnoměrným táhlým pohybem páky směrem od kbelíku plníme injektážní pistolí. Důležité je věnovat tomuto pracovnímu procesu velkou pozornost a trpělivost. V injektážní pistolí nesmí být žádné vzduchové dutiny, proto je vhodné při natahování gelu do pistole neustále vykonávat pistolí při natahování gelu krouživým pohyb.

Pokud je injektážní pistole naplněna gelem můžete začít s injektováním. Injektáž probíhá velice jednoduše. Ústí injektážní pistole vsuneme do připraveného vrtu, a to tak aby probíhalo celou délkou vrtu. Poté mírným tlakem na páku pistole a následným mírným povytahováním ústí injektážní pistole plníme rovnoměrně celý vrt.

## TECHNICKÝ LIST GELU "D"

<b>Výrobek</b>	Průmyslově vyráběný gelový injektážní prostředek na bázi alkylakoxylanu			
<b>Složení</b>	Triethoxy (octyl) silan 15 %, thietoxy (2,4,4-trimethylpantyl) silan 40 %, etanol 5 %, metakaoliny 3 %, zeolity 3 %, jílové minarály 5 %, voda 29 %, walocel CRT 10 G 0,5 %			
<b>Vlastnosti</b>	Vysoce vodoodpudivý, snadno zpracovatelný, odolný účinkům povětrnostních vlivů			
<b>Použití</b>	Beztlakové injektáž zdiva z běžného stavebního materiálu (cihla plná pálená, kámen, zdící malta a pórobeton)			
<b>Technické údaje</b>	Vodotěsnost povrchových úprav pro jednotlivé stavební materiály	cihla plná pálená	0,00	l·m <sup>-2</sup>
		kámen (pískovec)	0,10	
		zdící malta	0,00	
		pórobeton	0,03	
	Nasákavost	cihla plná pálená	4,50	%
		kámen (pískovec)	4,20	
		zdící malta	0,85	
		pórobeton	4,50	

	Míra penetrace při 75% vlhkosti	cihla plná pálená	2	mm
		kámen (pískovec)	27	
		zdící malta	26	
		pórobeton	16	
	Míra penetrace při 50% vlhkosti	cihla plná pálená	17	mm
		kámen (pískovec)	18	
		zdící malta	22	
		pórobeton	15	
	Míra penetrace při 25% vlhkosti	cihla plná pálená	2	mm
		kámen (pískovec)	15	
		zdící malta	12	
		pórobeton	23	
	Míra penetrace při teplotě materiálu 35 °C	cihla plná pálená	58	mm
		kámen (pískovec)	27	
		zdící malta	30	
		pórobeton	35	
	Míra penetrace při teplotě materiálu 20 °C	cihla plná pálená	48	mm
		kámen (pískovec)	26	
		zdící malta	38	
		pórobeton	30	
	Míra penetrace při teplotě materiálu 10 °C	cihla plná pálená	28	mm
		kámen (pískovec)	25	
		zdící malta	50	
		pórobeton	26	
	Míra penetrace při teplotě materiálu 5 °C	cihla plná pálená	25	mm
		kámen (pískovec)	23	
		zdící malta	35	
		pórobeton	17	
<b>Spotřeba</b>	Dle parametrů vytvořených vrtů (průměru, hloubky)			
<b>Bezpečnostní opatření</b>	Vždy používejte ochranné rukavice a brýle, či obličejový štít. Dráždí oči. Opakované expozice může způsobit vysušení nebo popraskání kůže. Při požití okamžitě vyhledejte lékařskou pomoc. První pomoc: Při potřísnění pokožky omyjte vodou a mýdlem. Při zasažení očí vyplachujte velkým množstvím vody. Obalové materiály odevzdejte v místě sběru.			
<b>Skladování</b>	Materiál skladujte v suchu, chladu, bez mrazu a v uzavřeném balení 12 měsíců.			
<b>Balení</b>	30 kg kbelík			
<b>Příprava vrtů</b>	Podklad musí být vždy čistý a z okolí vrtů musí být odstraněna omítka. Konstrukce nebo její část, na které bude injektáž prováděna, musí být pevná, bez uvolňujících se částí. Vrty musí být zbaveny vrtného prachu.			

## **Injektování**

V rámci balení je dodávána speciální injektážní pistole určené pouze k beztlakové infuzi. Injektážní práce je možné započít po vytvoření vrtů a jejich řádném vyčištění od vrtného prachu. Z kbelíku je odstraněna ochranná fólie a následně i víko. Po mírném promíchání injektážního gelu čistým míchadlem můžete přistoupit k plnění injektážní pistole. Ústí pistole je neustále ponořeno pod hladinu gelu a rovnoměrným táhlým pohybem páky směrem od kbelíku plníme injektážní pistolí. Důležité je věnovat tomuto pracovnímu procesu velkou pozornost a trpělivost. V injektážní pistolí nesmí být žádné vzduchové dutiny, proto je vhodné při natahování gelu do pistole neustále vykonávat pistolí při natahování gelu krouživým pohyb. Pokud je injektážní pistole naplněna gelem můžete začít s injektováním. Injektáž probíhá velice jednoduše. Ústí injektážní pistole vsuneme do připraveného vrtu, a to tak aby probíhalo celou délkou vrtu. Poté mírným tlakem na páku pistole a následným mírným povytahováním ústí injektážní pistole plníme rovnoměrně celý vrt.

## 6 ZÁVĚR

Cílem této diplomové práce bylo zhodnocení vlivu vlhkosti a teploty stavebního materiálu na míru penetrace a na základě těchto výsledků vytvořit technický list pro posuzované injektážní gely.

Gelové injektáže jsou v dnešní době nejen u nás, ale i ve světě velice rozšířeným způsobem sanace vlhkého zdiva. **Svou oblibu si tato sanační technologie získala svou jednoduchostí, časovou nenáročností, minimálními náklady na vybavení, hygienickou nezávadností a celkovou finální účinností.** Po aplikaci injektážního materiálu do poškozené konstrukce dochází k rozplynutí prostředku ve zdivu a vytvoření dodatečné hydroizolační clony. Tato clona následně brání dalšímu vlhnutí zdiva vlivem vztlínání.

Teoretická část této práce se prioritně zabývá problematikou dodatečné hydroizolace konstrukce. Jak je již z názvu můžeme odvodit, za sanační práce se považují takové, které řeší vysušování zdiva a také dodatečnou hydroizolaci nejčastěji prováděnou v přízemních částech objektů. Tím je zřejmý i hlavní cíl sanace, kterým je snížení degradačních procesů a to buď jejich zpomalením či lépe úplným zabráněním degradačním procesům. Důležitým parametrem při sanaci vlhké konstrukce je sledování vlhkosti konstrukce a teploty okolního prostředí. **Vlhkost a současné působení mrazu vede nejen k poruchám estetickým, ale především k degradačním procesům, vedoucím ke statickým poruchám a následnému poškození materiálu až destrukci konstrukce.** Dále jsou v teoretické části této práce zmíněny všechny doposud používané metody sanace. Největší pozornost je věnována metodě chemické. Ta spočívá v napouštění zdiva postiženého zvýšenou vlhkostí chemickými látkami, které pronikají do kapilár, pórů a trhlin, čímž vytváří dodatečnou hydroizolační bariéru.

V praktické části této práce je řešena problematika míry penetrace vybraných stavebních materiálů v závislosti na rozdílných stavech vybraných stavebních materiálů. Podrobněji je zkoumána rozdílná vlhkost a teplota stavebních hmot při aplikaci injektážních prostředků. Sanace vlhkého zdiva pomocí injektážních gelů je poměrně nový způsob dodatečného snižování vlhkosti konstrukce nebo její části, a proto si žádá potřebu výzkumu. Jediným předpisem pro laboratorní zkoušení je směrnice WTA 4-4-04/D – Injektáž zdiva proti kapilární vlhkosti. Ovšem zkoušky prováděné v souladu s tímto předpisem spočívají ve vytvoření poměrně rozsáhlého segmentu tří zkušebních těles pro zkoušení jednoho injektážního gelu. Velikost zkušebních těles

je závislá na druhu injektáže. V případě testování několika injektážních gelů by se jednalo o finančně i prostorově náročné zkušební postupy, kterými málokterá zkušební laboratoř disponuje. V závislosti na této problematice byl zvolen hlavní cíl, kterým je návrh zjednodušených zkušebních postupů, na základě kterých bude zúžen počet zkoušených injektážních gelů a následně s těmito vybranými injektážními hmotami provést zkušební postupy stanovené směrnicí WTA. Tím by se značně zjednodušila problematika velikosti a rozsáhlosti postupů uvedených ve směrnici.

V úvodu praktické části jsou popsány principy působení chemických clon proti vzlínající vlhkosti a také samotné způsoby provádění. K základním způsobům injektáže patří infuze, a to buď tlaková či beztlaková. Dále pak tlaková injektáž a injektování speciálními způsoby. Při praktické provádění zkušebních postupů uvedených v této práci se jedná pouze o beztlakovou injektáž. A to především z toho důvodu, že tento způsob injektáže patří k nejpoužívanějším druhům vůbec. Injektážní gel je aplikován do předem vytvořených vrtů bez jakéhokoliv tlaku pouze kapilární nasákavostí. Vzdálenost vrtů je závislá na druhu sanovaného materiálu, typu konstrukce ale také na nasákavosti materiálu. V dnešní se nejen na území České republiky dostává do popředí nová a velmi progresivní metoda gelových infuzních clon.

Hlavním cílem praktické části diplomové práce je stanovení závislosti míry penetrace na rozdílném vlhkostním stavu zkoušených materiálů a také stanovení míry penetrace v závislosti na teplotě zkoušeného tělesa. V rámci stavebních materiálů byly vybrány takové, které jsou nejčastěji v konstrukcích postižených zvýšenou vlhkostí zastoupeny. Díky této specifikaci byla jako zkušební tělesa ze stavebních hmot vybrána tato:

- Cihla plná pálená
- Kámen (ve formě pískovce)
- Zdící malta 1 (dodávaná firmou Betosan jako suchá maltová směs)
- Zdící malta 2 (dodávaná firmou Knaf jako suchá maltová směs)
- Pórobeton

Z těchto materiálů byla vytvořena zmenšená zkušební tělesa (viz. tabulka 8), na kterých byly provedeny prvotní zkušební postupy. Veškeré zkušební postupy uvedené v praktické části této práce jsou v určité korelaci se zkušebními postupy uvedenými ve směrnici WTA [14]. Jak již bylo zmíněno, zkušební postupy a také velikost zkušebních těles je dle směrnice WTA značně

rozsáhlá, proto je hlavním úkolem provést zjednodušené zkušební postupy pro snížení počtu zkoušených injektážních hmot. Pro prvotní zkušební postupy bylo zadáno celkem 8 injektážních gelů. Každý gel byl ve své podstatě jiný a tak bylo prvním úkolem provést takové zkušební postupy, na základě kterých bude počet injektážních gelů zúžen. Zjednodušené zkušební postupy spočívají především ve zjištění charakteristických vlastností zadaných injektážních gelů. Prvotními zkušebními postupy charakterizující vlastnosti gelů byly zvoleny tyto:

- Zpracovatelnost (reotest)
- Vodotěsnost povrchových úprav

Na základě zjištění těchto dvou charakteristických vlastností každého injektážního gelu byl jejich počet z celkových 8 injektážních gelů snížen na 3, se kterými byly prováděny následující experimenty.

Příprava zkušebních těles pro další zkušební postupy spočívá v úpravě do požadovaných rozměrů a vytvoření dvou vodorovných vrtů umístěných v polovině výšky vzorky a zasahují až do 2/3 tloušťky vzorku. Veškerá tělesa stavebních materiálů jsou připravena tímto způsobem. Následující pracovní postup závisí na tom, zda bude prováděna míra penetrace dle rozdílné vlhkosti materiálu nebo odlišné teploty stavebního vzorku. Při provádění míry penetrace dle rozdílné vlhkosti jsou u všech zkušebních těles provedena taková opatření, aby bylo u vzorků dosaženo požadovaného vlhkostního stupně. Jako stěžejní byly zvoleny tři vlhkostní stupně, a to 25 %, 50 % a 75 % vlhkosti. Po dosažení požadovaného vlhkostního stupně může následovat provedení injektáže. Ta spočívala v aplikaci injektážního gelu do připravených vrtů a umístění vzorku do prostředí, v němž zůstanou zachovány vlhkostní podmínky tělesa. Způsob prací je totožný u všech vlhkostních tříd se všemi stavebními hmotami. U stanovení míry penetrace dle rozdílné teploty injektovaného tělesa byl postup podobný, jen s tím rozdílem, že místo rozdílných vlhkostních tříd byly zvoleny teploty zkušebních těles při kterých bude injektáž prováděna. Byly zvoleny tyto teploty: 5 °C, 10 °C, 20°C a 35 °C. Při tomto stanovení je před samotnou injektáží zapotřebí vyvodit u všech vzorků požadovanou teplotu a pak následuje injektáž. Injektovaná tělesa ať už pro stanovení míry penetrace vlivem rozdílné vlhkosti či rozdílné teploty materiálu jsou uložena po stanovenou dobu (7 dní) a následně je stanovována míra penetrace.

Stanovení míry penetrace spočívá zejména ve vizuálním posouzení. To se provádí pomocí vlhkostního UV indikačního činidla, do kterého se tělesa rozříznutá na kolmo na rovinu

vrtu máčí, a z barevně ohraničených oblastí sledujeme výslednou míru penetrace. Na základě získaných výsledků je možno konstatovat výslednou míru penetrace a vyhodnotit vhodnost použitých injektážních gelů. Pro zkušební tělesa použitá v experimentální části diplomové práce jsou výsledky nejlépe viditelné z grafického vyhodnocení na obrázcích (obrázek 36 až obrázek 40) při vlivu rozdílné vlhkosti a obrázcích (obrázek 46 až obrázek 50) při vlivu rozdílné teploty. Na základě takto stanovené míry penetrace je jasně zřetelná míra penetrace, pokud k ní tedy dochází. Pokud je stanovena míra penetrace je možné přistoupit k dalším zkušebním postupům, kterými jsou metody uváděné směrnicí WTA. Tím tedy úkol této diplomové práce končí, z celkových 8 zadaných injektážních gelů byl jejich počet za pomoci zjednodušených zkušebních postupů zúžen na 3 injektážních hmoty a s tímto počtem injektážních gelů nebude problematické provést zkušební postupy uváděné ve směrnici [14].



## Použitá literatura a normy

- [1] BALÍK, M.. *Odvhlčování staveb*. 2., přeprac. vyd. Praha: Grada, 2008, 307 s. Stavitel. ISBN 978-80-247-2693-9
- [2] VLČEK, M., BENEŠ P.. *Poruchy a rekonstrukce staveb II*. Vyd. 1. Brno: ERA group, 2005, 129 s. ISBN 80-736-6013-X
- [3] BLAHA, M. BUKOVSKÝ.L.. *Prevence a odstraňování vlhkosti*.Vyd.1. Brno: ERA group, 2004, 112 s. ISBN 80-86517-48-9
- [4] PYTLÍK, P.. *Technologie betonu*. 2. vydání. Brno: VUTIUM, 2000, 329 s. ISBN 80-214-1647-5.
- [5] DROCHYTKA, R., DOHNÁLEK, J., BYDŽOVSKÝ. J., PUMPR. V., DUFKA. A., DOHNÁLEK. P.. *Technické podmínky pro sanace betonových konstrukcí TPSSBK III*. Brno: Sdružení pro sanace betonových konstrukcí, 2012, 265 s. ISBN 978-80-260-2210-7.
- [6] BYDŽOVSKÝ, J.. *Vlastnosti a užití stavebních materiálů v konstrukcích. Studijní opory*. Brno, 2007. VUT v Brně, fakulta stavební
- [7] DROCHYTKA, R.. *Trvanlivost stavebních materiálů: Studijní opory*. Brno, 2007. VUT v Brně, fakulta stavební.
- [8] KRÁLOVÁ, M., *Kapilární jevy*. [online]. [cit. 2014-09-30]. Dostupné z: [http://www.techmania.cz/edutorium/art\\_exponaty.php?xkat=fyzika&xser=4d6f6c656b756c6f76e12066797a696b61h&key=606](http://www.techmania.cz/edutorium/art_exponaty.php?xkat=fyzika&xser=4d6f6c656b756c6f76e12066797a696b61h&key=606)
- [9] SOLAŘ, J., *Řešení problematiky povrchové kondenzace vodní páry*. [online]. [cit. 2014-09-30]. Dostupné z: <http://stavba.tzb-info.cz/tepelne-izolace/6541-reseni-problematiky-povrchove-kondenzace-vodni-pary>
- [10] Lithoplast: Výrobce izolací a plastů. [online]. [cit. 2014-09-12]. Dostupné z: <http://www.lithoplast.cz/>
- [11] HRÓZ, F., *Izolace a sanace vlhkých budov*, [online]. [cit. 2014-08-15]. Dostupné z : <http://www.izolacehroz.cz>

- [12] *Agua saning*, [online]. [cit.2014-04-09]. Dostupné z: <http://www.aquasaning.cz/content/sanipol.html>
- [13] SIKA, *Sanace vlhkého zdiva*. [online]. [cit. 2014-09-08]. Dostupné z: [http://cze.sika.com/cs/produkty\\_a\\_reseni/products/sikamur.html](http://cze.sika.com/cs/produkty_a_reseni/products/sikamur.html)
- [14] WTA směrnice 4-4-04/D: Injektáž zdiva proti kapilární vlhkosti. Praha: Tauris, 2005. ISBN 80-02-01773-0.
- [15] Sanace a vysušování staveb, *Sanační technologie* [online]. [cit. 2014-09-12]. Dostupné z: <http://www.sanace-staveb.cz/sanacni-technologie/>
- [16] Metax, *Použitie hydrofobizačného prostriedku LUKOFOB® 39 pre hydroizolačnú injektáž muriva* [online]. [cit. 2014-09-12]. Dostupné z: <http://www.metax.sk/pouzitie-hydrofobizacneho-prostriedku-lukofob%C2%AE-39-pre-hydroizolacnu-injektaz-muriva>
- [17] METALŠPRIC-SERVIS, *Chemická infuzní clona – injektáž*, [online]. [cit. 2014-12-09]. Dostupné z: <http://www.metalspric.cz/injektaz.htm>
- [18] Sanace vlhkého zdiva, *Příklady aplikací* [online]. [cit. 2014-09-12]. Dostupné z: [http://www.usisro.cz/foto\\_sanace.html](http://www.usisro.cz/foto_sanace.html)
- [19] VŠCHT PRAHA, *Měření viskozity*. [online]. [cit. 2014-09-30]. Dostupné z: [http://vydavatelstvi.vscht.cz/knihy/uid\\_es-001/hesla/mereni\\_viskozity.html](http://vydavatelstvi.vscht.cz/knihy/uid_es-001/hesla/mereni_viskozity.html)
- [20] DOHNÁLEK P., DROCHYTKA R., *Roční výzkumná zpráva o řešení projektu MPO FR-TI4/270: Gelový infuzní clonový systém pro dodatečnou hydroizolaci různých druhů zdiva s využitím druhotných surovin*. Brno, 2013. VUT v Brně, fakulta stavební.
- [21] DOHNÁLEK P., DROCHYTKA R., *Roční výzkumná zpráva o řešení projektu MPO FR-TI4/270: Gelový infuzní clonový systém pro dodatečnou hydroizolaci různých druhů zdiva s využitím druhotných surovin*. Brno, 2014. VUT v Brně, fakulta stavební.
- [22] ČSN 73 2578 - Zkouška vodotěsnosti povrchové úpravy stavebních konstrukcí
- [23] ČSN 72 5010 – Stanovení nasákavosti, zdánlivé pórovitosti, objemové hmotnosti a zdánlivé hustoty vypálených keramických směsí a výrobků

## Seznam tabulek

Tabulka 1: Nejvyšší přípustné hmotnostní vlhkosti dle typu zdiva[3]	19
Tabulka 2: Základní vlastnosti minerálních materiálů [3]	24
Tabulka 3: Některé typy výkvětovorných solí [3] [3]	26
Tabulka 4: Komponenty, princip účinnosti a metoda aplikace [1]	53
Tabulka 5: Charakteristika injektážních hmot [1]	53
Tabulka 6. Zkušební postupy podle směrnice WTA 4-4-04/D [14]	55
Tabulka 7: Receptury zdících malt dle WTA [14]	56
Tabulka 8: Rozměry zkušebních těles	58
Tabulka 9: Nasákavost cihly plné pálené	64
Tabulka 10: Nasákavost kamene	64
Tabulka 11: Nasákavost zdící malty M1	65
Tabulka 12: Nasákavost zdící malty M2	65
Tabulka 13: Nasákavost pórobetonu	65
Tabulka 14: Vodotěsnost povrch. úpravy CPP	69
Tabulka 15: Vodotěsnost povrch. úpravy pískovce	69
Tabulka 16: Vodotěsnost povrch. úpravy pórobetonu	69
Tabulka 17: Vodotěsnost povrch. úpravy malty 1	69
Tabulka 18: Vodotěsnost povrch. úprav malty 2	69
Tabulka 19: Míra penetrace v závislosti na rozdílné vlhkosti	79
Tabulka 20: Míra penetrace v závislosti na teplotě	91

## Seznam obrázků

Obrázek 1: Ukázka kapilární elevace [7]	20
Obrázek 2: Vzduchová dutina na straně exteriéru[1]	32
Obrázek 3: Vzduchová dutina po obou stranách zdi[1]	32
Obrázek 4: Ukázka vodorovné vzduchové mezery pod podlahou [1]	32
Obrázek 5: Ukázka izolace Fatrafol 803 [10]	36
Obrázek 6: Ukázka potenciálu proudění [1]	38
Obrázek 7: Aktivní elektroosmotický okruh [1]	39
Obrázek 8: Ukázka podřezávání řetězovou pilou a vrážení klínu	42
Obrázek 9: Nerezový plech ve smíšeném zdivu [10]	42
Obrázek 10: Ukázka provádění metody MASSARI [2]	42
Obrázek 11: Schéma hydroizolační clony [12]	44
Obrázek 12: Ukázka možné aplikace hydroizolační clony[13]	44
Obrázek 13: Schéma hydrofobizovaných kapilár [14]	47
Obrázek 14: Schéma utěsněných kapilár [14]	47
Obrázek 15: Schéma zúžených kapilár [14]	47
Obrázek 16: Schéma hydrofobizovaných a zúžených kapilár [14]	47
Obrázek 17: Ukázka beztlakové injektáže [15]	49
Obrázek 18: Schéma působení injektované zóny [15]	49
Obrázek 19: Schéma injektáže s hydrostatickým přetlakem [16]	50
Obrázek 20: Ukázka tlakové injektáže [18]	51
Obrázek 21: Schéma působení zóny při tlakové injektáži [17]	51
Obrázek 22: Schéma zkušebního tělesa dle WTA pro beztlakovou injektáž [14]	54
Obrázek 23: Schéma zkušebního tělesa dle WTA pro tlakovou injektáž [14]	55

Obrázek 24: Spektrum zvolených materiálů (postupně cihla plná pálená, kámen, zdící malty M1 a M2 a pórobeton)	59
Obrázek 25: Ukázka injektážních gelů	59
Obrázek 26: Schéma rotačního viskozimetru [19]	60
Obrázek 27: Stanovení nasákavosti těles impregnovaných injektážním gelem	63
Obrázek 28: Ukázka impregnace zkušební vzorku	67
Obrázek 29: Provádění vodotěsnosti povrchové úpravy na impregnovaném vzorku	67
Obrázek 30: Ukázka těles připravených k infuznímu napouštění (postupně pórobeton, cihla plná pálená, zdící malta)	72
Obrázek 31: Míra penetrace cihly plně pálené	74
Obrázek 32: Míra penetrace pískovce	75
Obrázek 33: Míra penetrace zdící malty 1	76
Obrázek 34: Míra penetrace zdící malty 2	77
Obrázek 35: Míra penetrace pórobetonu	78
Obrázek 36: Grafické vyhodnocení míry penetrace v závislosti na teplotě cihly plně pálené	79
Obrázek 37: Grafické vyhodnocení míry penetrace v závislosti na teplotě kamene	80
Obrázek 38: Grafické vyhodnocení míry penetrace v závislosti na teplotě zdící malty M1	80
Obrázek 39: Grafické vyhodnocení míry penetrace v závislosti na teplotě zdící malty M2	81
Obrázek 40: Grafické vyhodnocení míry penetrace v závislosti na teplotě pórobetonu	81
Obrázek 41: Míra penetrace cihly plně pálené v závislosti na teplotě	84
Obrázek 42: Míra penetrace kamene v závislosti na teplotě	86

Obrázek 43: Míra penetrace zdící malty M1 v závislosti na teplotě	87
Obrázek 44: Míra penetrace zdící malty M2 v závislosti na teplotě	89
Obrázek 45: Míra penetrace pórobetonu v závislosti na teplotě	90
Obrázek 46: Grafické vyhodnocení míry penetrace v závislosti na teplotě cihly plně pálené	91
Obrázek 47: Grafické vyhodnocení míry penetrace v závislosti na teplotě kamene	92
Obrázek 48: Grafické vyhodnocení míry penetrace v závislosti na teplotě zdící malty 1	92
Obrázek 49: Grafické vyhodnocení míry penetrace v závislosti na teplotě zdící malty 2	93
Obrázek 50: Grafické vyhodnocení míry penetrace v závislosti na teplotě pórobetonu	93

## Seznam použitých zkratk a symbolů

$\text{CaCO}_3$	Uhličitan vápenatý
$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	Síran vápenatý dihydrát (sádrovec)
$\text{NaCl}$	Chlorid sodný
$\text{NaNO}_3$	Dusičnan sodný
PVC	polyvinylchlorid
PE	Polyetylen
PEHD	Nízkotlaký polyetylen

PELD	Vysokotlaký polyetylen
EPDM	ethylen-propylen-dien-monomer
pH	Potencial of hydrogen (potenciál vodíku)
CSH	Vápenatý křemičitan hydrát