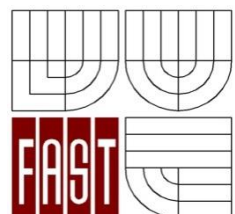




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ

ÚSTAV TECHNOLOGIE STAVEBNÍCH HMOT A DÍLCŮ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

INSTITUTE OF TECHNOLOGY OF BUILDING MATERIALS AND COMPONENTS

**TESTOVÁNÍ ÚČINNOSTI HYDROIZOLAČNÍCH
INJEKTÁŽNÍCH CLON V ZÁVISLOSTI NA
VLASTNOSTECH STAVEBNÍCH MATERIÁLŮ**

**EXPERIMENTAL TESTING OF HYDROINSULATING
INJECTION SCREENS EFFICIENCY IN DEPENDANCE ON
PROPERTIES OF BUILDING MATERIALS**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Martin Červenka

VEDOUcí PRÁCE

SUPERVISOR

prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA

BRNO 2014



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	B3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu	Bakalářský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3607R020 Stavebně materiálové inženýrství
Pracoviště	Ústav technologie stavebních hmot a dílců

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student	Martin Červenka
Název	Testování účinnosti hydroizolačních injektažních clon v závislosti na vlastnostech stavebních materiálů
Vedoucí bakalářské práce	prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA
Datum zadání bakalářské práce	30. 11. 2013
Datum odevzdání bakalářské práce	30. 5. 2014

V Brně dne 30. 11. 2013

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

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

Podklady a literatura

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

Většina staveb v našem klimatu se potýká prakticky vždy s působením vlhkosti. V minulosti bylo dodatečné snižování vlhkosti prováděno pouze mechanickými metodami. Postupem času byla vynalezena a do praxe zavedena chemická metoda sanace vlhkého zdiva tzv. metoda chemických infuzních clon. Tato metoda spočívá ve vytvoření vrtů ve zvolené výšce vlhkého zdiva, které jsou následně napouštěny speciálními roztoky, jež ve zdivu vyplní a utěsní póry v oblasti vrtů, díky čemuž následně dojde k vytvoření jednolitě hydroizolační clony.

Cílem bakalářské práce je stanovení účinnosti různých druhů hydroizolačních injektážních clon v závislosti na vlastnostech různých druhů stavebních materiálů.

1. Zhodnoťte a porovnejte vlastnosti stavebních materiálů, které jsou nejčastěji používány ve zděných konstrukcích.
2. Popište nejčastější zdroje a druhy šíření vlhkosti ve zdivu. Zhodnoťte současný stav nejpoužívanějších metod sanace vlhkého zdiva.
3. Shrňte problematiku gelových injektážních clon. Různé metody provádění, jejich princip, výhody a omezení.
4. Určete vztah, který stanoví závislost míry penetrace a funkčnosti injektážních gelů na typu a vlastnostech zdících materiálů.

Předepsané přílohy

.....

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

Abstrakt

Většina staveb v našem klimatu se potýká prakticky vždy s působením vlhkosti. V minulosti bylo dodatečné snižování vlhkosti prováděno pouze mechanickými metodami. Postupem času byla vynalezena a do praxe zavedena chemická sanace vlhkého zdiva tzv. metoda chemických infuzních clon. Tato metoda spočívá ve vytvoření vrtů ve zvolené výšce vlhkého zdiva, které jsou následně napouštěny speciálními roztoky, jež ve zdivu vyplní a utěsní póry v oblasti vrtů, díky čemuž následně dojde k vytvoření jednolitě hydroizolační clony. Cílem této práce je navržení metody pro posouzení účinnosti penetrace injektážních prostředků ve stavebních zdících materiálech.

Klíčová slova

Vlhkost, zdící materiály, hydroizolace, sanace, injektáž, infuzní clona, testování účinnosti, metodika zkoušení injektážních prostředků.

Abstract

The most of the buildings are almost always faced with moisture in our climate. In the past, the humidity was reduced and conducted only by mechanical methods. Over time, chemical wet masonry method also known as chemical infusion curtain was invented and introduced into practice. This method involves the creation of boreholes at a selected height of humid masonry. These boreholes are impregnated with special solutions. These solutions in humid masonry fill pores in the field of boreholes and thanks to this subsequence the monolithic waterproofing curtain is created. The objective of this work is to determine the methodology for verifying effectiveness of various types of waterproofing injection curtains depending on the properties of the various types of building materials.

Keywords

Humidity, masonry materials, waterproofing, rehabilitation, injection, infusion curtain, experimental testing, methodology of testing injection funds.

Bibliografická citace

ČERVENKA, Martin Testování účinnosti hydroizolačních injektážních clon v závislosti na vlastnostech stavebních materiálů, Brno, 2014. s. 56. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav technologie stavebních hmot a dílců. Vedoucí práce prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

V Brně dne

.....

podpis autora

Martin Červenka

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval prof. Ing. Rostislavu Drochytкови, CSc., MBA, jako vedoucímu mé bakalářské práce, za jeho odborné vedení, za cenné připomínky a rady při vypracování této práce.

Obsah

1 ÚVOD	10
2 CÍL	11
3 TEORETICKÁ ČÁST	12
3.1 VLASTNOSTI STAVEBNÍCH MATERIÁLŮ	12
3.1.1 Cihlářské výrobky	12
3.1.2 Stavební kámen - pískovec	13
3.1.3 Zdicí malta	13
3.1.4 Pórobeton	14
3.1.5 Shrnutí vlastností uvedených materiálů	15
3.2 VLHKOST ZDÍCÍCH MATERIÁLŮ	15
3.2.1 Transport vlhkosti	17
3.2.2 Zdroje vlhkosti	21
3.2.3 Vliv vlhkosti.....	22
3.2.4 Průzkum vlhkosti stavebních konstrukcí	23
3.3 SANACE VLHKÉHO ZDIVA	25
3.3.1 Mechanické metody	26
3.3.2 Chemické metody	29
3.3.3 Elektrofyzikální metody.....	30
3.3.4 Vzduchové izolační systémy.....	32
3.3.5 Sanační omítkové systémy.....	32
3.3.6 Izolace vodonepropustným stavivem.....	33
3.3.7 Jílové těsnicí vrstvy.....	34
3.3.8 Úpravy v okolí objektu	34
3.3.9 Drenážní systémy.....	34
3.3.10 Mikrovlnné vysoušení	35
3.4 CHEMICKÉ INFUZNÍ CLONY	36
3.4.1 Injektážní prostředky a principy působení	37
3.4.2 Společné znaky chemických injektáží	40
3.4.3 Metody provádění	40

4 PRAKTICKÁ ČÁST	43
4.1 METODIKA ŘEŠENÍ PRAKTICKÉ ČÁSTI	43
4.1.1 Volba injektovaných materiálů	43
4.1.2 Počet zkušebních vzorků a způsob penetrace	43
4.1.3 Velikost zkušebních vzorků	43
4.1.4 Laboratorní zkoušky	44
4.1.5 Vyhodnocení	44
4.2 LABORATORNÍ ZKOUŠKY	46
4.2.1 Stanovení nasákavost (ČSN 73 1357).....	46
4.2.2 Stanovení vztlínivosti (ČSN 73 1357).....	46
4.2.3 Návrh zkoušky: Stanovení míry penetrace indikátorem	46
4.3 VÝSLEDKY ZKOUŠENÍ	47
4.3.1 Stanovení nasákavost (ČSN 73 1357).....	47
4.3.2 Stanovení míry penetrace indikátorem	49
5 ZÁVĚR	51
Použitá literatura a normy	53
Seznam tabulek	55
Seznam obrázků	55

1 ÚVOD

Voda je pro existenci planety Země jednou z nejdůležitějších látek. I pro existenci lidstva je naprosto nezbytnou. Je známo, že dlouhodobý pobyt člověka ve zvýšené vlhkosti je pro lidský organismus škodlivý. Zvláště pokud je zvýšená vlhkost doprovázena i plísněmi.

Zvýšená vlhkost zdiva se vyskytuje zejména u starších budov, u kterých chybí nebo je poškozena hydroizolace spodní stavby. Tato skutečnost může mít za následek postupnou degradaci materiálu, která může ohrozit statiku celé stavební konstrukce. Další negativní důsledky nadměrné vlhkosti mohou být např. ztráta tepelně-izolačních vlastností, estetické či biologické poškození atd. U stavebních objektů se zvýšenou vlhkostí zdiva je proto nutné přistoupit k sanaci objektu.

Sanace vlhkého zdiva je téměř vždy velmi technicky a finančně náročná. Ačkoli se snižováním vlhkosti stavebních objektů věnuje lidská společnost už od pradávna, stále není tato problematika zcela technicky vyřešena. V minulosti byly jako sanace proti vztlínající kapilární vlhkosti používány pouze mechanické metody, kterými jsou např. podřezávání nebo probourávání zdiva. Tyto metody se osvědčily zejména pro svou účinnost, kdy do nově vytvořené spáry ve zdivu je vložena nová hydroizolace, která již nepropouští další vztlínající vlhkost. Nevýhodou těchto metod je však značný zásah do statiky sanovaného objektu a také časová náročnost na provedení. Z tohoto důvodu vzešel požadavek na typ metody, více šetrnější ke stavebním objektům.

Pokrok nastal s vynalezením chemické metody, která se v současnosti progresivně rozvíjí a stává se čím dál více oblíbenou nejen v ČR, ale i v řadě jiných zemí Evropy. Tato metoda je oblíbená hlavně pro svoji nenáročnost na provedení a šetrnost ke stavební konstrukci, kdy pro vytvoření chemické, vodě nepropustné, infuzní clony stačí pouze řada vrtů s rozstupem 100 – 150 mm a velikostí, která nepřesáhne průměr 40 mm. Injektážních prostředků, které se aplikují do vrtů, je více druhů. Liší se nejen svým principem působení a chemickým složením, ale také svou účinností pronikat do kapilárních pórů materiálu. Tato účinnost je také závislá na druhu stavebního materiálu.

Účelem této práce je nastínit přehled o vybraných zdících materiálech, o problematice vlhkého zdiva, zhodnotit možnosti používaných sanačních metod vlhkého zdiva, zejména metody chemické infuzní clony.

2 CÍL

Gelové injektáže jsou moderní metodou sanace vlhkého zdiva, která se v současnosti stále více rozvíjí. Tato metoda je oblíbená zejména pro svou jednoduchost aplikace a šetrnost provedení bez nutnosti většího zásahu do konstrukce stavebního objektu.

Principem metody je vpravení injektážního gelu do předem vyvrtaných otvorů, kdy po aplikaci gel proniká do pórů zdiva a vytváří vodorovnou, případně i svislou, clonu, která zabraňuje vztlínání vlhkosti nad tuto zábranu. Různé injektážní prostředky se často liší svou aktivní schopností pronikat do pórů zdících materiálů. Od účinnosti pronikání injektážního prostředku do pórů stavebních materiálů se odvíjí schopnost vytvořit dokonale propojenou infuzní clonu prostřednictvím chemických injektáží vlhkého zdiva.

Vzhledem k neexistujícímu jednotnému postupu pro výběr nejúčinnějších injektážních prostředků je cílem této práce navržení metodiky pro posouzení účinnosti penetrace injektážních prostředků ve stavebních zdících materiálech. Součástí řešení je také návrh postupu zkoušky stanovení míry penetrace injektážního prostředku pomocí indikátoru.

3 TEORETICKÁ ČÁST

3.1 VLASTNOSTI STAVEBNÍCH MATERIÁLŮ

Následující kapitola bude pojednávat o vybraných stavebních materiálech, které se ve stavebnictví používají ke zdění. Zahrnuta bude také zdící malta, jako spojovací prostředek.

3.1.1 Cihlářské výrobky

Cihlářské výrobky patří k nejpoužívanějším stavebním materiálům na území ČR. Nejrozšířenější využití cihlářských výrobků je jako zdící materiál nebo střešní krytina.

Cihlářské výrobky jsou vyráběny zpracováním cihlářské hlíny a jílu. Kromě plastické zeminy obsahují cihlářské výrobky také ostřiva (např. písek, škvára nebo cihelná drť) a taviva (např. uhelný prach, piliny z tvrdého dřeva, křemelina nebo polystyrenové granule).

Typický cihlářský výrobek má z důvodu obsahu oxidů železa v surovinách načervenalou barvu a je pórovitý s hmotnostní nasákavostí přes 20 %. Obecně můžeme o páleném cihlářském výrobku říct, že má díky své pórovitosti schopnost přijímat a uvolňovat vlhkost. Další vlastností je nehořlavost a snadná recyklovatelnost výrobků po skončení své životnosti. Cihlářské výrobky jsou také považovány za dobrý zvukový izolant.

Fyzikální vlastnosti cihlářských výrobků jsou závislé na množství vstupních surovin, na intenzitě výpalu a způsobu tváření. Orientační hodnoty základních fyzikálních vlastností cihelného střepu jsou uvedeny v Tab. 1. [3]

Tab. 1: Orientační fyzikální vlastnosti cihelného střepu [3]

Vlastnost	Jednotka	Hodnota
Hustota	kg.m^{-3}	2600 - 2700
Objemová hmotnost (suchý stav)	kg.m^{-3}	1600 - 2200
Hmotnostní nasákavost	%	20 - 25
Objemová nasákavost	%	36 - 55
Modul pružnosti	MPa	8000 - 12000
Součinitel tepelné vodivosti	$\text{W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$	0,65 - 0,80
Měrná tepelná kapacita	$\text{kJ.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$	0,9 - 1,1
Součinitel délkové teplotní roztažnosti	K^{-1}	$5,0.10^{-6}$
Faktor difúzního odporu	-	5 až 10

3.1.2 Stavební kámen - pískovec

Kámen je pro stavební účely využíván již po řadu tisíciletí. Jedná se o přírodní materiál, který byl člověkem záměrně vytěžen z důvodu použití jako stavební konstrukční hmoty. Stavební kámen se používá v původní nebo v opracované formě. Pro stavební účely se využívají horniny, které nejlépe odolávají vnějším vlivům a mají velkou odolnost proti mechanickému poškození. Mezi tyto horniny patří např. žula, pískovec, vápenec, mramor a opuky. Další významnou vlastností je velká pevnost v tlaku a hutnost materiálu. V současnosti se stavební kámen jako konstrukční materiál již téměř nevyužívá, protože se svými vlastnostmi nemůže rovnat betonu a oceli, avšak z hlediska architektonického je stavební kámen nenahraditelný. Proto je jeho současné využití zejména při rekonstrukcích architektonických památek.

Pískovec patří k nejpoužívanějším kamenům využívaných ve stavebnictví. Jedná se o usazenou horninu nejčastěji obsahující křemenná zrna spojená tmelem (křemičitým, vápnitým, kaolinitickým, železitým, jílovitým, atd.). Z důvodů vyšších pevností v tlaku jsou pro stavební účely nejvhodnější pískovce s tmelem křemičitým, vápnitým nebo kaolinitickým. Dle povahy tmelu se také odvíjí barva pískovce, obsah CaCO_3 způsobuje bělavé zbarvení, obsah Fe_2O_3 způsobuje načervenalou barvu, kdežto obsah hydroxidu železa zabarvuje pískovec do hněda. Fyzikálně-mechanické vlastnosti jsou uvedeny v Tab. 2. [3]

Tab. 2: Fyzikálně-mechanické vlastnosti pískovce [3]

Objemová hmotnost [kg.m ⁻³]	Pevnost v tlaku [MPa]	Pevnost v ohybu [MPa]	Nasákavost [%]
2000 - 2400	30 - 80	3,8	4,0 - 8,5

3.1.3 Zdící malta

Malta je kašovitá směs drobného kameniva, anorganického pojiva a vody, popřípadě přísad a příměsí. Tato směs po čase tuhne, tvrdne a nabývá na pevnosti. Jako anorganické pojivo bývá nejčastěji použito vzdušné vápno nebo cement, podle toho zdící malty označujeme jako vápenné malty (MV), cementové malty (MC) nebo vápenocementové malty (MVC). Dle množství obsahu zvoleného pojiva se odvíjí vlastnosti malt. Cementová malta nabývá větších pevností v tlaku než malta vápenná, avšak nastává větší riziko smršťovacích trhlin, protože cement málo váže vodu při vytvrzování. U vápenné malty dosahujeme menších pevností v tlaku, ale za to je pojivový systém pružnější.

U zatvrdlé zdící malty jsou nejdůležitějšími vlastnostmi pevnost v tlaku, soudržnost, absorpce vody, propustnost vodních par, objemová hmotnost, tepelná vodivost, reakce na oheň a trvanlivost. Konkrétní požadavky jsou uvedeny v normě ČSN EN 998-2. Pevnost v tlaku je deklarovaná výrobcem, pevnostní třídy jsou uvedeny v Tab. 3. Nasákavost zdících malt se obvykle pohybuje v rozmezí 2 – 8 %. Soudržnost se zdíci prvky je závislá na hodnotě počáteční smykové pevnosti. Dle EN 771 je stanovena počáteční smyková pevnost na $0,15 \text{ N.mm}^{-2}$ pro obyčejné a lehké malty a $0,30 \text{ N.mm}^{-2}$ pro malty na tenké spáry. [3]

Tab. 3: Hodnoty pevnosti v tlaku v třídách malt [3]

Třída	M1	M2,5	M5	M10	M15	M20
Pevnost v tlaku [MPa] (ve stáří 28 dnů)	1	2,5	5	10	15	20

3.1.4 Pórobeton

Pórobeton je silikátový kompozit, který obsahuje až 80 % objemu uzavřených makropórů o velikosti 0,5 až 2,5 mm. Jedná se o nejvýznamnější druh přímo lehčeného betonu. Charakteristické vlastnosti pórobetonu jsou především lehkost, křehkost, pórovitost a kvalitní tepelně izolační schopnost. Zabarvení výrobků může být buď bílé, je-li plnivem křemičitý písek, nebo šedé, je-li plnivem elektrárenský popílek. Nejdůležitější fyzikální vlastností u pórobetonu je pevnost v tlaku a objemová hmotnost. Z toho důvodu jsou pórobetonové výrobky označeny dvojicí čísel s hodnotami těchto vlastností (např. označení P2-400, kde první číslo označuje minimální charakteristickou pevnost v tlaku 2 MPa a druhé číslo označuje maximální objemovou hmotnost 400 kg.m^{-3} , kterou musí mít pórobeton v suchém stavu). [3]

Pevnost v tlaku závisí na tvaru a vlhkosti zkoušeného tělesa. Při vlhkosti 6 %, kterou pískovcový pórobeton běžně dosahuje při ustálené vlhkosti, klesá pevnost v tlaku až o 15 % oproti pískovcovému pórobetonu ve vysušeném stavu. Z toho důvodu je u výrobků udávána i pevnost v tlaku při tzv. praktické vlhkosti. Vlhkost pórobetonu neovlivňuje jen pevnosti, ale má vliv na všechny fyzikálně-mechanické vlastnosti. Při vzrůstající vlhkosti narůstá objemová hmotnost pórobetonu, čímž se i výrazně zhoršují tepelně-izolační vlastnosti (součinitel tepelné vodivosti λ se zvětšuje). Další fyzikálně-mechanické vlastnosti jsou uvedeny v Tab. 4. [4]

Tab. 4: Fyzikálně-mechanické vlastnosti pískových pórobetonových tvárnic [3]

Vlastnost	Jednotka	Pevnostní třída tvárnice				
		P2-400	P2-500	P4-500	P4-600	P6-700
Minimální pevnost v tlaku	MPa	2	2	4	4	6
Maximální objemová hmotnost (suchý stav)	kg.m ⁻³	400	500	500	600	700
Maximální objemová hmotnost (vlhkost 6 %)	kg.m ⁻³	550 - 450	650 - 550	550	660	850
Součinitel tepelné vodivosti (suchý stav)	W.m ⁻¹ .K ⁻¹	0,1	0,12	0,12	0,15	0,18
Součinitel tepelné vodivosti (vlhkost 6 %)	W.m ⁻¹ .K ⁻¹	0,12	0,15	0,16	0,18	0,22
Nasákavost	%	80	70	70	65	60
Faktor difúzního odporu	-	7,5	9,84	8,63	12,82	14,14

3.1.5 Shrnutí vlastností uvedených materiálů

Z hlediska tepelně izolační schopnosti vykazuje nejlepší vlastnosti pórobeton, což je spojeno s jeho nízkou objemovou hmotností a vysokým obsahem vzduchových pórů. S vysokou pórovitostí je ovšem spojena i jeho vysoká nasákavost, kterou má pórobeton z uvedených zdících materiálů nejvyšší. Nasákavost pórobetonu může při objemové hmotnosti 400 kg.m⁻³ dosahovat až 80 %. Cihlářský střepek, pískovcový stavební kámen ani zdící maltu již mezi kvalitní tepelné izolanty řadit nemůžeme. Cihla plná pálená a pískovcový stavební kámen jsou však díky vyšší objemové hmotnosti kvalitními zvukovými izolanty, čemuž se pórobeton nemůže rovnat. Ze zdících prvků vykazuje nejnižší nasákavost 4 – 8,5 % pískovcový stavební kámen, který dosahuje i nejvyšší pevnosti v tlaku 30 až 80 MPa.

3.2 VLHKOST ZDÍCÍCH MATERIÁLŮ

V každé pórovité látce je za normálních atmosférických poměrů obsaženo určité množství vlhkosti. Toto množství je závislé na teplotě, na vlhkosti okolního vzduchu, na pórovitosti, na průměru pórů a tvaru jejich stěn, na množství hygroskopických solí v zavlhlém zdivu atd. Problém s vlhkostí u stavebních objektů nastává, když se voda nashromáždí v určitých místech konstrukce a dochází ke ztrátám původních vlastností a funkcí nejen stavebního materiálu, ale i celé stavební konstrukce.

Vlhkostí materiálu se rozumí množství vody (v jakémkoli skupenství), které je obsaženo v pórovitém systému materiálu. Množství vody je vyjádřeno hmotnostní nebo objemovou vlhkostí.

Hmotnostní vlhkost

$$w_h = \frac{(m_w - m_d)}{m_d} \cdot 100\% \text{ hm.} = \frac{m_k}{m_d} \cdot 100\% \text{ hm.}$$

kde je:

m_w	hmotnost vlhkého materiálu [g]
m_d	hmotnost suchého materiálu [g]
m_k	hmotnost kapaliny [g]
w_h	hmotnostní vlhkost [% hm.].

Objemová vlhkost

$$w_v = \frac{V_v}{V_d} \cdot 100\% \text{ obj.} = \frac{(m_w - m_d)}{q_k \cdot V_d} \cdot 100\% \text{ obj.} = \frac{w_h \cdot q_d}{1000} \cdot 100\% \text{ obj.}$$

kde je:

V_v	objem volné vody [m ³]
V_d	objem suchého materiálu [m ³]
q_k	hustota vody [kg.m ⁻³]
q_d	objemová hmotnost suchého materiálu [kg.m ⁻³]
w_v	objemová vlhkost [% obj.].

Vlhkost v pórovitém materiálu je proměnlivá. Množství obsažené vlhkosti se mění nejen během výroby, ale i po celou dobu jeho životnosti. Z tohoto hlediska rozlišujeme následující vlhkosti:

- **Výrobní vlhkost**

Vlhkost materiálu, kterou materiál získal při výrobním postupu. U mokrých výrobních procesů nabývá vlhkost vysokých hodnot, které ale po krátkém čase výrazně klesají.

- **Skladovací vlhkost**

Vlhkost materiálu, která je obsažena v materiálu při jeho skladování. Může se měnit např. klimatickými vlivy.

- **Trvalá vlhkost**

Vlhkost materiálu, která je obsažena v materiálu po jeho zabudování do konstrukce. Doba, potřebná k dosažení trvalé vlhkosti, je u stavebních materiálů 2 – 7 let

od zabudování do konstrukce. Dobu ustálení vlhkosti ovlivňuje pórovitost materiálu (množství, velikost a otevřenost pórů), roční doba, intenzita větrání a typ vytápění v budově. [3]

3.2.1 Transport vlhkosti

Vlhkost se může v porézních materiálech šířit jak v plynné fázi, tak v kapalně. Základní podmínkou pro transport vlhkosti v materiálu je přítomnost otevřených pórů ve struktuře materiálu. Z hlediska vlhkosti materiálu tyto póry ovlivňují navlhavost a vysychavost materiálů, schopnost difúze kapalin a plynů materiálu a kapilární vedení vlhkosti materiálu. Materiály s uzavřenými póry transportu vlhkosti nepodléhají. Otevřené póry mohou být zaplňovány vodou absorpčními a kapilárními silami. [1]

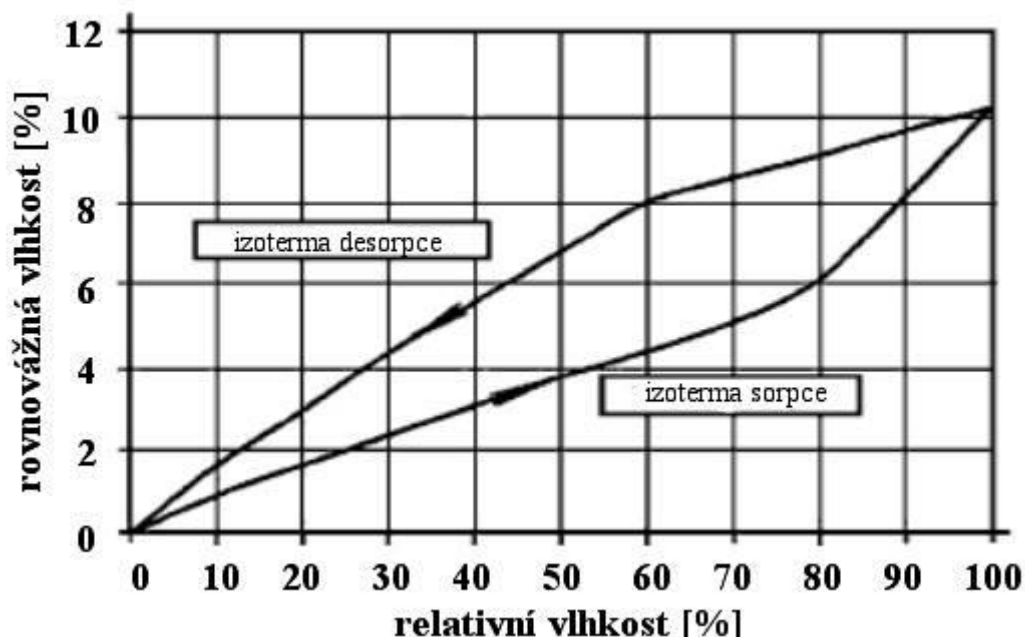
M. Balík [1] rozděluje póry dle velikosti do následujících skupin:

- **Mikropóry** - mají poloměry menší než 10^{-7} a těmito póry se voda nemůže pohybovat.
- **Kapilární póry** – póry velikosti mezi 10^{-7} až 10^{-4} , voda se může v pórech šířit pomocí kapilární elevace
- **Makropóry** – velikost pórů je větší než 10^{-4} , z důvodu větších rozměrů přestávají působit kapilární síly a převládá v nich působení gravitace.

Přijímání vlhkosti z vodní páry, která se nachází v okolí materiálu, se nazývá sorpce vlhkosti. Vlivem Van der Waalsových sil vzniká na povrchu tuhých látek hromadění plynných a kapalných fází látek. Tento jev, nazývaný adsorpce, způsobuje vznik molekulární vrstvy vodní páry na stěnách pórů.

Absorpce nastává, pokud kapalná nebo plynná fáze proniká difúzí z povrchu dovnitř tuhé fáze. Při chemisorpci nastává v materiálu chemická reakce, při které se uplatňuje chemické vazby vody a tuhé fáze materiálu.

Při zvýšení relativní vlhkosti vnějšího prostředí dochází v materiálu k sorpci a naopak při snížení relativní vlhkosti vnějšího prostředí dochází k desorpci. Ze závislosti rovnovážné vlhkosti materiálu na relativní vlhkosti vnějšího prostředí můžeme znázornit tzv. sorpční izotermy (Obr. 1). Ze sorpčních a desorpčních izoterem je patrné, že malé množství vlhkosti při desorpci zůstává ve zdivu. Tento jev se nazývá hystereze sorpce. [3]



Obr. 1 – Vliv relativní vlhkosti vzduchu na rovnovážnou vlhkost stavebního materiálu [3]

Pohyb vody ve zdivu můžeme dělit na mechanismy difúze pro vodní páru a kapilární vedení pro kapaliny.

▪ Difúze

U stavebních objektů dochází k rozdílům mezi teplotami exteriéru a interiéru, resp. i k rozdílu relativních vlhkostí vzduchu. Vzhledem k tomu, že veškeré látky o vyšší koncentraci mají tendenci přecházet do prostředí o nižší koncentraci, vzniká tok vlhkosti a tok tepla konstrukcemi. Tento transport se nazývá difúze.

Dle Fickova zákona platí:

$$q_p = -D \cdot \frac{\partial c}{\partial x}$$

kde je: q_p hustota hmotnostního toku vodní páry [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$]

c koncentrace vodní páry [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$]

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

Z Fickova zákona lze vyjádřit hustota difúzního toku za předpokladu, že je koncentrační spád vrstvou materiálu konstantní. V reálných situacích jsou však difúzní poměry složitější, jelikož při postupující difúzi materiálem nastávají rozdílné koncentrace v jednotlivých vrstvách a tím dochází i k rozdílnému teplotnímu spádu.

Tok vodní páry při difúzi je zapříčiněn gradientem tlaku. Proti směru difúze působí gradient teploty neboli termoosmóza, která vede vodu k místům s vyšší teplotou. Výsledný pohyb vlhkosti při difúzi získáme při součtu těchto dvou gradientů. Převážnou část roku směřuje pohyb difúze z vnitřního prostoru ven z budovy, jelikož je parciální tlak vodních par v interiéru větší (následkem vaření, koupání, dýchání) než parciální tlak vodních par v exteriéru.

U stavebních materiálů se v praxi zaměřujeme zejména na součinitel difúze vodní páry δ a faktor difúzního odporu μ . Faktor difúzního odporu udává, kolikrát je součinitel difúze vodních par ve vzduchu větší, než součinitel difúze vodních par v daném materiálu. U vrstvených koncipovaných konstrukcí obecně platí, že difúzní odpor materiálu klesá od interního povrchu směrem k externímu povrchu. [1]

▪ Kapilární vedení vlhkosti

Při kontaktu pórovitého materiálu s vodou dochází k nasávání vody do pórovité struktury nezávisle na sklonu pórů. Rychlost a výška vzlinutí je dána velikostí pórů. Je třeba si uvědomit, že ve větších pórech voda nasakuje sice rychle, ale její výška vzlinutí je menší než v užších pórech. Vzlinající vlhkost se nejčastěji vyskytuje u stavebních objektů, vystavených působení podzemní vlhkosti. Vzlinání vlhkosti nastává v důsledku kapilární elevace, která je charakterizována rozdílem výšky hladiny v kapiláře a výšky hladiny v okolí. Největší transport vlhkosti nastává u pórů o poloměru 10^{-5} .

Maximální výška vzlinutí lze vyjádřit z rovnosti kohezního tlaku v kapiláře a hydrostatického tlaku vzlinuté kapaliny následovně:

$$\frac{2 \cdot \sigma \cdot \cos \Theta}{r} = h \cdot \rho \cdot g \quad \Rightarrow \quad h = \frac{2 \cdot \sigma \cdot \cos \Theta}{r \cdot \rho \cdot g}$$

kde je:	h	výška vzlinutí [m]
	σ	povrchové napětí kapaliny [$\text{N} \cdot \text{m}^{-1}$]
	Θ	úhel smáčení mezi kapalinou a stěnou kapiláry [°], pro smáčivé kapaliny se $\cos \Theta$ blíží 1
	r	poloměr kapiláry [m]
	ρ	měrná hmotnost kapaliny [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$]
	g	tíhové zrychlení $9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$

Rychlost vztlínání se určí ze vztahu:

$$v = \frac{r \cdot \sigma \cdot \cos\theta}{4 \cdot \eta \cdot h}$$

kde je: v rychlost vztlínání [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$]

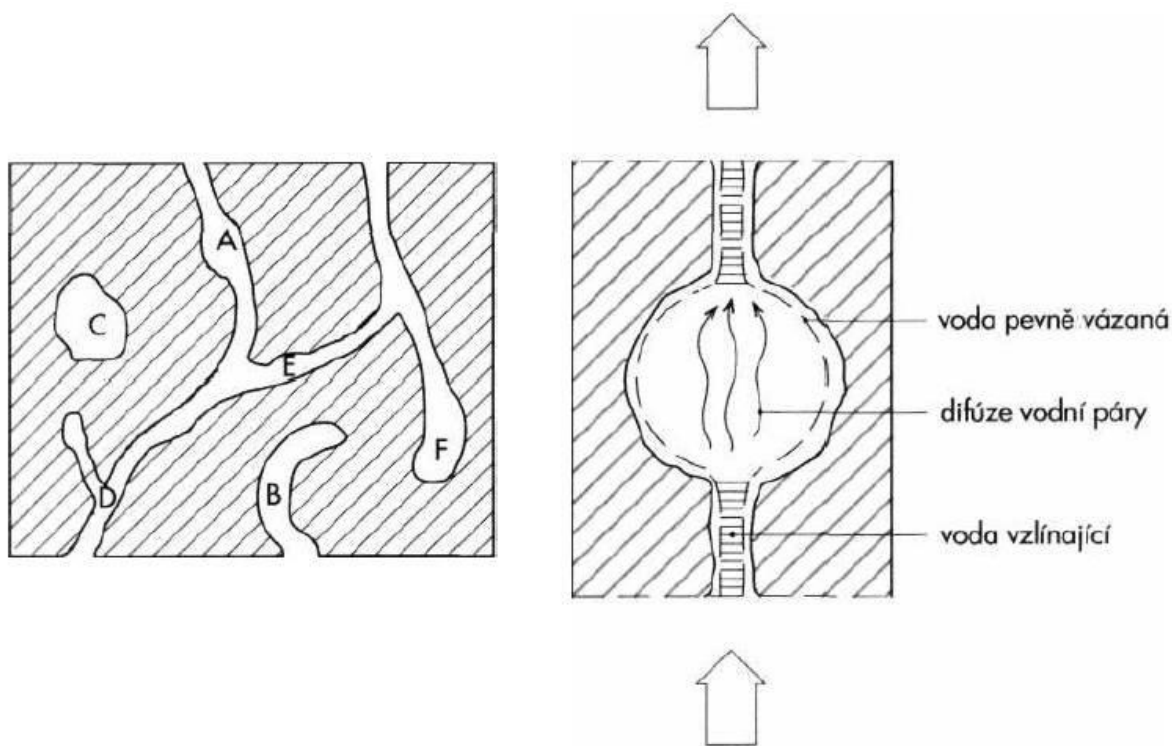
η viskozita kapaliny [-]

Čas, který je potřeba k dosažení výšky h , se vypočítá dle vzorce:

$$t = \frac{2 \cdot \eta \cdot h^2}{r \cdot \rho \cdot \cos\theta}$$

kde je: t čas [s]

Voda v kapilárách stoupá, ale nepronikne přes pór většího průměru z důvodu, že kapilární zdvih je menší než výška kapiláry. Vztlínání vody se však tady nezastaví. Voda se na konci kapiláry odpařuje a pomocí difúze proniká k protějšímu povrchu póru, kde zkondenzuje a opět pokračuje ve vztlínání. Mimo volné vody vztlíná po stěnách pórů a kapilár také pevně vázaná voda, která tvoří na povrchu kapilár vrstvičku pevného filmu.



Obr. 2 – Geometrie pórů a detail prostupu vlhkosti kapilárami a dutinami ve zdivu [1]

A – otevřené póry; B – slepé póry; C – uzavřené póry; D – rozvětvené póry;

E – spojovací póry; F – lahvovité póry

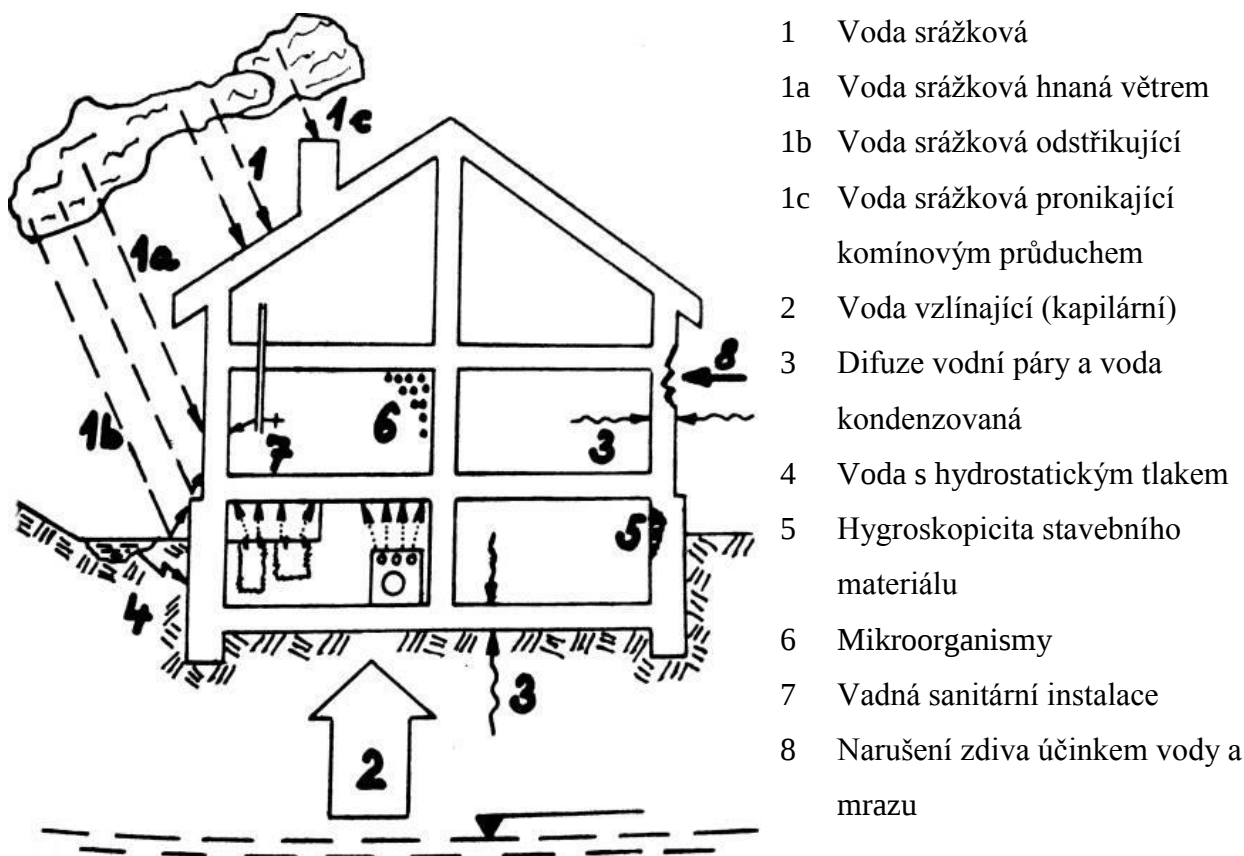
U starších budov, může výška vzlinutí dosahovat větších hodnot než u staveb novějších, postavených ze stejného materiálu. Je to dáno tím, že u starších budov dochází na stěnách pórů k sedimentaci minerálů a solí, které jsou obsaženy v podzemní vodě. Zmenšují se tak poloměry pórů a dochází ke změně pórové distribuce. Příklady pohybu vody v kapilárách zdiva jsou uvedeny na Obr. 2. [1]

3.2.2 Zdroje vlhkosti

Voda prostupuje do všech typů konstrukcí. Množství pronikající vlhkosti se odvíjí od vlastností a kvality provedení hydroizolace. Nejčastější transportní cesty zobrazuje Obr. 3. Zdrojem zvýšené vlhkosti stavebních konstrukcí může být:

- **voda srážková** – Dešťová voda, která dopadá na střešní konstrukci. Tato voda může do konstrukce pronikat komínem. Pokud není komín pravidelně používán, voda steče po jeho stěnách, hromadí se na jeho dně a následně se vsakuje do okolního zdiva. Za deště a větru může voda hnaná větrem pronikat do značné hloubky stěny konstrukce. Kritickým místem objektu je pásmo ve výšce 0 až 40 cm nad terénem. Zde kromě vody hnané větrem působí také voda odstříkující z ploch chodníku okolo stavby. Množství a hloubka průniku vlhkosti do konstrukce závisí na kvalitě omítky, vlastnostech zdiva a také na množství srážek.
- **voda vztlínající (kapilární)** – Voda z podzákladí a okolní zeminy, která proniká do zdiva pomocí jevu kapilární elevace. Velký vliv na intenzitu vlhnutí zdiva má chemismus podzemní vody. Zvláště nebezpečným je obsah snadno rozpustných solí, jako např. síran hořečnatý a sírany. Tyto látky jsou následně zdrojem hygroskopických solí v materiálu, což má za následek větší výšky vzlinutí vody a nebezpečí tvorby výkvětů na povrchu zdiva.
- **voda kondenzovaná** – Voda se sráží v místech zdi, které mají nižší teplotu než rosný bod vodní páry vzduchu. Např. podzemní voda se ke konstrukci dopravuje pomocí difúze vodní páry. V základovém zdivu vodní pára kondenzuje a mění se opět na vodu, která se dále dopravuje pomocí kapilárních sil.
- **voda působící hydrostatickým tlakem** – Jde o vodu z kaluží, přívalových dešťů nebo voda z jarních tání sněhů, která účinkem gravitační síly proniká do zeminy a následně vniká do pórů zdiva pod tlakem.

- **další zdroje vlhkosti** – Méně často vyskytujících se příčin může být mnoho. Můžeme zde řadit mechanické poškození střešní krytiny, okapů, dešťových svodů či hydroizolace, nedokonalý režim větrání, špatně vyřešený konstrukční detail, vyspádování terénu směrem k objektu, vadná sanitární instalace, mikroorganismy a jiné. [7]



Obr. 3 – Typické cesty pro průnik vody a vlhkosti do zdiva [7]

3.2.3 Vliv vlhkosti

Působení vlhkosti a vody může mít na stavební konstrukce mnoho negativních vlivů, které mohou snižovat nejen estetický vzhled, ale také hygienické, tepelně technické či statické funkce konstrukce. Zvýšená vlhkost v kombinaci s působením mrazu mnohdy vede k závažným degradačním procesům, které způsobují narušení až rozpad materiálu. Velmi podstatným a viditelným důkazem o narušení stavební konstrukce jsou trhliny.

Vliv vlhkost na mechanicko-fyzikální vlastnosti materiálu

U pórovitých materiálů s relativně vysokou nasákavostí lze obecně říci, že se zvyšující vlhkostí materiálu se snižuje pevnost v tlaku. Pevnosti v tlaku u nasáklých materiálů, jako jsou např. pískovec, pálená cihla, vápenopísková cihla, dosahuje hodnot až o několik

desítek procent méně než u materiálu v rovnovážném či vysušeném stavu. Jedinou výjimkou je beton, který při zvýšené vlhkosti, bez působení agresivního prostředí či mrazu, dosahuje dokonce vyšších pevností než v rovnovážném stavu. Vliv působení vlhkosti na pevnost cihly, malty a pískovce je vyjádřen v Tab. 5. [1]

Tab. 5: Pevnost cihly a malty v závislosti na vlhkosti [1]

	Pevnost v tlaku [MPa]	Vlhkost [%]	Poměr pevnosti [-]
Cihla v suchém stavu	16,10	1,95	0,48
Cihla v nasáklém stavu	7,68	16,81	
Malta v suchém stavu	1,06	0,86	0,78
Malta v nasáklém stavu	0,83	13,45	

3.2.4 Průzkum vlhkosti stavebních konstrukcí

Podklady, které je nutno získat pro návrh sanace vlhkého zdiva zpravidla jsou:

1. Hydrogeologický průzkum
2. Stavebně-historický průzkum
3. Stavebně-technický průzkum
4. Mykologický průzkum
5. Vlhkostní průzkum

Jednotlivé průzkumy se nemusí provádět v plném rozsahu a o jejich potřebě rozhoduje projektant na základě konkrétního objektu a závažnosti problému. Následkem neodborně provedeného průzkumu a následně špatně zvoleného způsobu sanace může dojít k opětovnému zvýšení vlhkosti v krátké době či dokonce ke vzniku nových poruch.

1. Hydrogeologický průzkum

U spodní stavby musí návrh sanace vycházet z průzkumu horninového prostředí v okolí stavby. Souhrn průzkumných prací působících na stavbu určuje Příloha A ČSN 73 0600. [15]

Průzkum musí především uvést údaje o výskytu podzemní vody, případně její nejvyšší možnou hladinu. Dále musí obsahovat součinitel propustnosti jednotlivých zemin (k [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$]) v podloží. U povrchové a technologické vody je nutno zvážit, zda neobsahuje chemické látky, které mohou nepříznivě působit na hydroizolace objektu. Dle hydrofyzikálního namáhání, případně vzhledem k dalším negativním vlivům, se navrhne způsob sanace. Chybné stanovení hydrofyzikálního namáhání spodní stavby může mít

za následek volbu špatného typu sanace. Zejména u spodní stavby pod úrovní terénu je následná oprava chybně zvolené sanace komplikovaná, pracná a finančně náročná.

2. Stavebně-historický průzkum

Stavebně-historický průzkum je důležitý zejména při rekonstrukci historických objektů. V průzkumu sledujeme fáze úprav a přestaveb na objektu, materiálové složení a účel využívání místností či celé budovy. Z těchto zjištění lze hledat příčiny některých vlhkostních poruch.

3. Stavebně-technický průzkum

Průzkum sleduje hlavně konstrukční řešení budovy, kvalitu, složení a stav materiálu v konstrukci, poruchy konstrukce a její příčiny, okrajové podmínky v interiéru a exteriéru, stav a funkci současného hydroizolačního systému, způsob užívání budovy.

4. Mykologický průzkum

Průzkum provádíme u dřevěných prvků, které se potýkají se zvýšenou vlhkostí. Účelem je zjistit existenci a příčinu vzniku dřevokazných škůdců.

5. Vlhkostní průzkum

Vlhkostní průzkum je složen z následujících částí:

5.1. Vlhkost zdiva

Nejdůležitější veličinou, která rozhoduje o způsobu sanace vlhkého zdiva je hmotnostní vlhkost. ČSN P 73 0610 [16] rozděluje vlhkost u zděných konstrukcí následujícím způsobem:

Tab. 6: Klasifikace vlhkosti zděných konstrukcí podle ČSN P 73 0610 [16]

Stupeň vlhkosti	Vlhkost zdiva w v % hmotnosti
Velmi nízká	$w < 3$
Nízká	$3 \leq w \leq 5$
Zvýšená	$5 \leq w \leq 7,5$
Vysoká	$7,5 \leq w \leq 10$
Velmi vysoká	$w > 10$

Klasifikace platí pro stavební konstrukce s místnostmi určenými pro pobyt osob. Předpokladem pro tyto konstrukce dále je, že jsou postaveny z cihel plných pálených, z cihel vápenopískových nebo stavebních kamenů vyzděných na vápennou, vápenocementovou nebo cementovou maltu.

Poměr hmotnostní vlhkosti zdiva a jeho maximální nasákavosti nám udává stupeň zavlhčení, který vypočteme dle vztahu:

$$C_w = \frac{w_m}{N_{max}}$$

kde je:

C_w	stupeň zavlhčení [%]
w_m	hmotnostní vlhkost zdiva [%]
N_{max}	maximální nasákavost zdiva [%]

Na základě praktických zkušeností, jak uvádí M. Balík v [1], je nutno při klasifikaci vlhkého zdiva přihlédnout také k budoucímu využití vnitřních místností konstrukce.

5.2. Sanilita zdiva

Zjištění množství vodorozpustných solí, které se stanoví pomocí laboratorních vzorků odebraných ze zdiva. Pokud koncentrace soli překročí hodnotu rozpustnosti, dochází ke krystalizaci. Krystaly zaplňují póry a postupně vytvářejí krystalické tlaky vysokých hodnot, které vedou až k destrukci zdiva a omítek. Při hydrataci dochází také ke vzniku vysokých tlaků, tentokrát však následkem objemových změn. Vodorozpustné soli mají také schopnost vázat vodní páru ze vzduchu a tím zvyšují rovnovážnou vlhkost materiálu. Stupeň zasolení zdiva se vyhodnocuje dle ČSN P 73 0610. [16]

5.3. Chemismus zdiva

Chemismus zdiva spočívá ve stanovení pH. U novostaveb se setkáváme s pH okolo hodnoty 11, tedy zásaditým. Zdivo ve stáří několik desítek let mívá pH v rozmezí 7 až 8. Historické zdivo staré několik století bývá mírně kyselé, s hodnotou pH okolo 6. [5]

3.3 SANACE VLEHKÉHO ZDIVA

Zvýšená vlhkost stavební konstrukce snižuje mechanické vlastnosti, tepelně-izolační vlastnosti, může způsobovat biologické poškození atd. Z toho důvodu je stavební konstrukce se zvýšenou vlhkostí nutno sanovat. Norma ČSN P 73 0610 [16] definuje sanaci vlhkého zdiva jako dodatečné hydroizolační zásahy do konstrukcí spodní a přízemní části stavby i okolního horninového prostředí, vedoucí k výraznému a trvalému snížení vlhkosti v podzemním i nadzemním zdivu staveb i v souvisejících konstrukcích, a v případě potřeby i ke snížení vlhkosti vnitřního vzduchu v budovách.

V rámci této práce budou popsány pouze metody sanace vlhkého zdiva, které jsou prováděny v důsledku působení vody v podloží objektu. V místě podloží může podzemní i povrchová voda způsobovat u stavebních objektů:

- Podmáčení základů
- Zvýšené vztlínání do zdiva
- Zatopení suterénu objektů

V současnosti používané metody sanace vlhkého zdiva v České republice rozděluje J. Solař [5] následovně:

A) Základní metody

1. Mechanické metody
2. Chemické metody
3. Elektrofyzikální metody

B) Doplnkové

1. Vzduchové izolační systémy
2. Sanační omítkové systémy
3. Izolace vodonepropustným stavivem
4. Jílové těsnicí vrstvy
5. Úpravy v okolí objektu
6. Drenážní systémy
7. Mikrovlnné vysoušení

Ve většině případů se sanace vlhkého zdiva provádí jako kombinace několika těchto metod. Nejčastěji jde o kombinace jedné ze základních metod a jedné či více doplňkových metod. V některých případech může být sanace provedena pouze použitím doplňkových metod. [5]

3.3.1 Mechanické metody

Hlavním principem těchto metod je vytvořit novou hydroizolační clonu ve zdivu, která zabraňuje vztlínání vody z podloží nad tuto clonu. Další funkcí této clony je výrazné snížení difuze vodní páry ze spodní úrovně zdiva směrem do vyšší úrovně zdiva. Po vložení nové hydroizolace je třeba provést její důkladné napojení na svislou hydroizolaci zdiva a vodorovnou izolaci podlahy.

- **Probourávání zdiva**

V současnosti se tato metoda, zejména pro svoji pracnost a zdoluhavost, již téměř nevyužívá. Další nevýhodou je také narušení statiky konstrukce. Principem této metody je vysekání otvoru přes celou tloušťku zdiva, následné vyčištění a urovnání spodní plochy otvoru, do kterého se vkládá nová hydroizolace. Probourávání zdiva se může provádět ručně nebo mechanicky za pomoci elektrických či pneumatických kladiv.

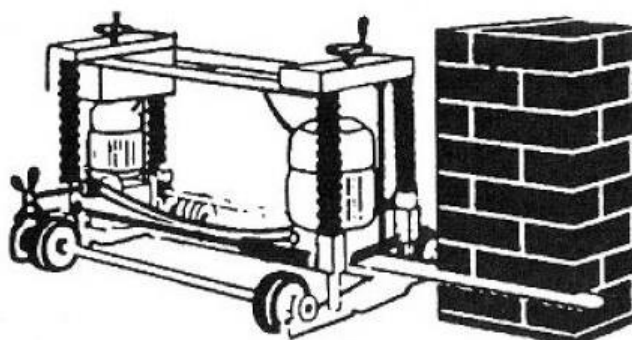
- **Ruční podřezávání zdiva**

K řezání se používá pila, tzv. břichatka, která musí být minimálně o 400 – 500 mm delší než tloušťka zdiva podřezávaného. Tento způsob je však možno uplatnit jen u zdiva s vodorovnou ložnou spárou. Oproti řezání strojní pilou je ruční řezání levnější, avšak pracnost provedení je daleko větší. Výsledkem prořezávání je odstranění malty z celé délky ložné spáry. Do vyčištěné ložné spáry se poté vloží hydroizolace s přesahem, který se napojí na hydroizolaci podlahy. Nově zaizolovaná spára se vypodloží plastovými klíny a vyplní se cementovou maltou. V současnosti se ruční podřezávání téměř neprovádí.

- **Strojní podřezávání zdiva**

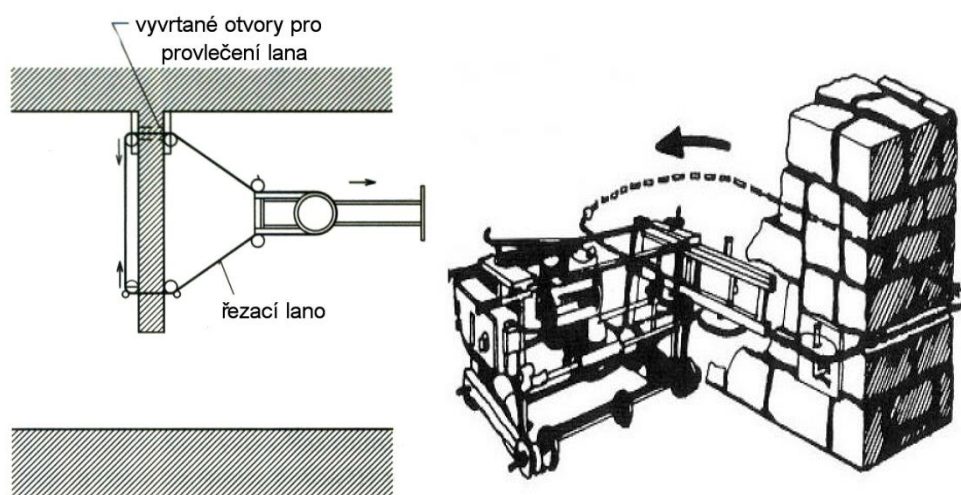
Hlavní výhodou strojního podřezávání je odstranění namáhavé práce. Princip strojního podřezávání je stejný jako u ručního podřezávání.

a) podřezávání zdiva řetězovou pilou – Řetězovou pilou lze podřezávat pouze cihelné zdivo s vodorovnou ložnou spárou. Tloušťka řezané stěny je omezena délkou vodící lišty na cca 1,0 m. Řezání se provádí nejčastěji zleva doprava. Pracovní výkon je zhruba 20 m za den.



Obr. 4 – Schéma řetězové pily [11]

b) podřezávání zdiva lanovou pilou – Tento druh pily je vhodný pro jakýkoli druh zdiva (cihelný, kamenný, smíšený či betonový) a to bez ohledu na tvar ložné spáry a tloušťku zdiva. Podmínkou pro provedení této metody je dostatečná pevnost a soudržnost zdiva, aby se při řezání zdivo nedrolilo a bylo možné vložit novou hydroizolaci do řezné spáry. Lana jsou tvořena z řezacích segmentů, které jsou navzájem spojeny. Před procesem řezání se na začátku a konci pracovního úseku vyvrtají díry, těmi se lano prostrčí a následně spojují v uzavřený celek. Patříčná účinnost řezání, kdy je potřeba udržet lano při řezání stále napnuté, je zajištěna oběžným kolem a kladkou. Během řezání je nezbytné zajistit chlazení lana vodou. Pro lanovou pilu je průměrný pracovní výkon asi 8 až 12 m za den a z ekonomického hlediska je použití této pily výrazně dražší než u pily řetězové.



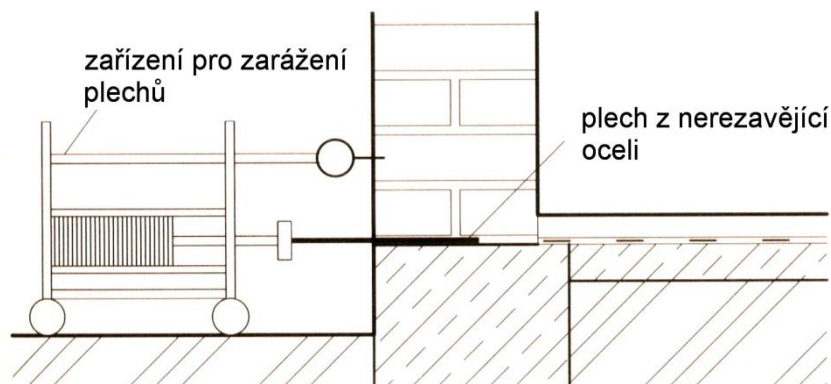
Obr. 5 – Schéma lanové pily [11]

c) podřezávání zdiva kotoučovou pilou – Řezání touto pilou se v praxi téměř nepoužívá a to z toho důvodu, že při řezání zdiva tloušťky 450 mm je zapotřebí kotouče o průměru nejméně 1000 mm. Manipulace s takovou pilou je pak velmi náročná, a proto se tento způsob využívá jen u zdiva do tloušťky 150 mm.

- **Zarážení izolačních plechů do zdiva (HW systém)**

Tato metoda byla patentována v roce 1975 v Rakousku autory H. Häböckem a B. Weinzierlem. Bez ohledu na druh zdiva je podmínkou pro aplikaci této metody existence vodorovné ložné spáry. Principem této metody je zarážení nerezavějících vlnitých plechů do ložné spáry zdiva. Tyto chromniklové plechy jsou pro lepší pronikání do zdiva většinou opatřeny hroty. Spojení plechů je řešeno buď pomocí zámkových spojů, nebo vzájemným překrytím o 50 až 80 mm. Výhodou u této mechanické metody je, že nedochází

k dodatečnému dotvarování zdiva. Pracovní výkon je 30 až 40 m za den a při zarážení plechů z jedné strany je možno tímto způsobem sanovat tloušťky zdiva až 1 m (resp. 2 m při zarážení plechů z obou stran). [5]



Obr. 6 – Princip zarážení izolačních plechů do zdiva (HW systém) [5]

3.3.2 Chemické metody

Hlavním principem chemických metod neboli injektáží je vpravení chemické látky do vyvrtaných otvorů ve zdivu, kdy po aplikaci chemická látka proniká do pórů zdiva a vytváří vodorovnou clonu (případně i svislou), která zabraňuje vztlínání vlhkosti nad tuto zábranu. Vyvrtané otvory ve zdivu jsou průměru 15 – 40 mm, v hloubce 50 – 100 mm a vzdálenosti 100 – 150 mm. Propustnost vztlínající vody i difuze vodní páry je vyšší než u mechanických metod.

Aktivní schopnost pronikání chemické látky do materiálu je velmi důležitá. Z tohoto důvodu jsou pro chemické injektáže vhodné především materiály s vysokým obsahem kapilárně aktivních pórů. Zejména se využívají pro cihelné, kamenné a smíšené zdivo.

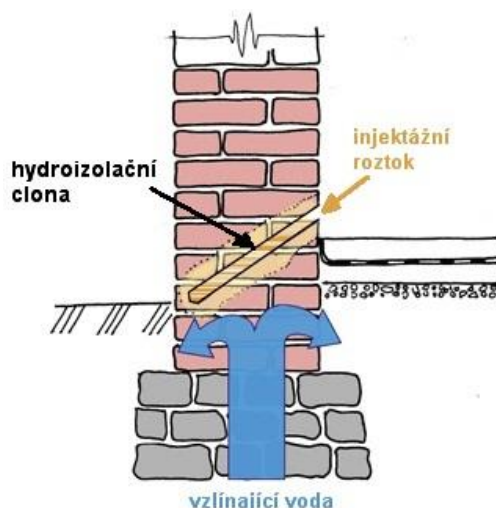
Chemické metody jsou oblíbené zvláště pro svou jednoduchost aplikace a šetrnost provedení, bez nutnosti většího zásahu do konstrukce stavebního objektu. Dále se využívají tam, kde není možno provést z důvodů technických, finančních či z důvodu památkové ochrany žádnou z mechanických metod. I když mechanický zásah do konstrukce objektu je podstatně menší než u mechanických metod, i zde je třeba provést posouzení na únosnost zdiva s ohledem na zeslabená místa zdiva následkem vrtů.

Dle způsobu provádění rozdělujeme chemické injektáže na:

- Beztlakové a s hydrostatickým tlakem
- Tlakové

Dnes je již známo, že na účinnost pronikání injektážního prostředku do pórovitého materiálu má největší význam schopnost reagovat s vodou. Látka reagující s vodou je schopna snáze pronikat do pórů zaplněných vodou. Tlak, pod kterým je injektážní látka do materiálu aplikována, nemá příliš velký význam. [5]

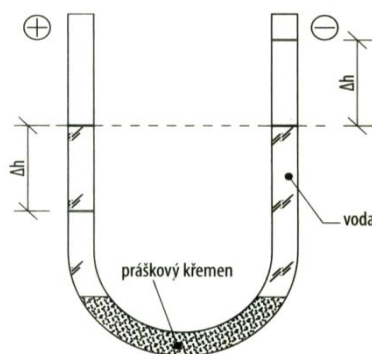
Chemické metody jsou považovány za moderní sanační technologie, jejichž výzkum a vývoj stále probíhá. Detailněji je problematika popsána v kapitole 3.4.



Obr. 7 – Princip působení hydroizolační chemické clony [10]

3.3.3 Elektrofyzikální metody

Základní princip metody je založen na elektroosmóze, což je fyzikální děj, jehož podstatou je tzv. elektrokinetický jev. Princip tohoto jevu poprvé popsal profesor moskevské univerzity F. F. Reuss v roce 1807. K U-trubici s vodou a práškem křemene v dolní části je připojen stejnosměrný elektrický proud. Účinkem elektrického proudu nezůstává hladina v trubici na obou ramenech ve stejné výšce, ale u katody hladina vzrůstá a u anody naopak klesá (Obr. 8).



Obr. 8 – Elektrokinetický jev [5]

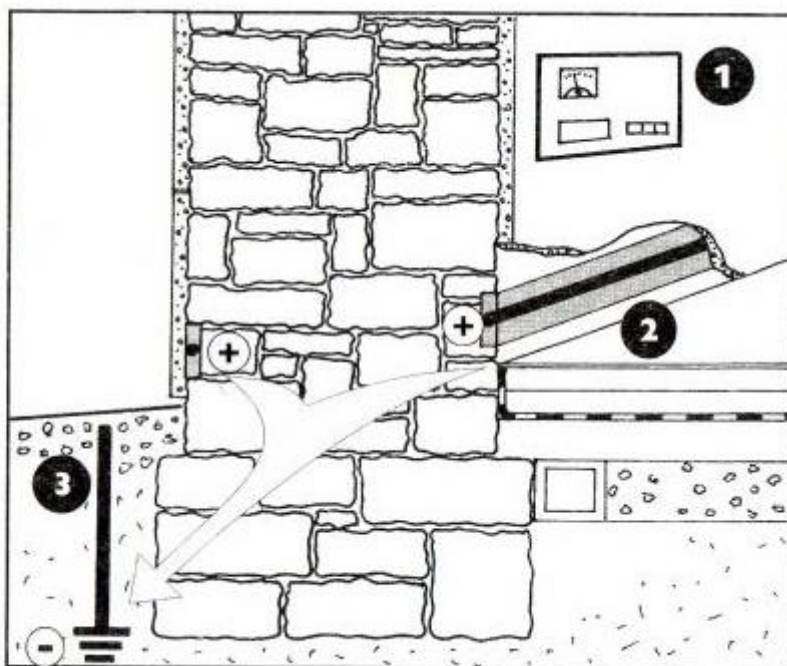
Elektrofyzikálních metod je několik typů, avšak v dnešní době se používá jen metoda aktivní elektroosmózy (Obr. 9). Při provedení této metody je zařízení napojeno na vnitřní rozvod elektřiny přes transformátor. Pod omítku nebo do vysekané drážky je aplikována kladná elektroda (anoda). Životnost je dána materiálem použitým na elektrody, např. uhlíkové elektrody vykazují běžnou odolnost, titanové elektrody vysokou odolnost, ale jsou drahé.

Mezi hlavní výhody elektroosmotických metod řadíme žádné (případně minimální) mechanické zásahy do konstrukce a poměrně jednoduché provedení. Využití této metoda nalézá především u historických a památkově chráněných budov.

Elektroosmóza má však i značné nevýhody. Tato metoda je finančně náročná a není ji možné aplikovat do zdiva s kyselým charakterem ($\text{pH} < 6$) nebo s vysokým obsahem hygroskopických solí. Tyto případy však často nastávají u starších budov, tedy i historických a památkově chráněných budov. Výsledný účinek elektroosmózy může ovlivnit i obsah kovů ve zdivu (např. ocelové výztuže). [5]

Legenda:

- ① Rozvaděč aktivní elektroosmózy**
zabezpečuje
aktivní napojení
s požadovanou
účinností
- ② Pásová elektroda
- anoda (+)**
korozně rezistentní
elektrody
zaručují dlouhou
životnost
- ③ Zemní elektroda
- katoda (-)**



Obr. 9 – Schéma aktivní elektroosmózy [11]

3.3.4 Vzduchové izolační systémy

Navrhování vzduchových izolačních systémů pro sanaci vlhkého zdiva se využívá zejména u těchto stavebních objektů:

- a) Budovy, u kterých není možno mechanicky narušit nosné zdivo konstrukce (např. historicky památkově chráněné budovy).
- b) Budovy, u nichž následkem přestavby, modernizace či jiných stavebních úprav, došlo k porušení vzduchoizolačního systému.
- c) Objekty, s neodborně provedenou vzduchovou izolací, která neplní svůj účel.

Vzduchové izolační systémy lze rozdělit na:

- Vzduchové dutiny – Pomocí vzduchových dutin lze snížit vlhkost zdiva pouze o 2 – 3 % a proto se navrhuje pouze u cihelného zdiva s nízkou hmotnostní vlhkostí do 10 %. Principem této metody je vytvoření vzduchové dutiny u stavební konstrukce, která má za úkol oddělit zdiva či podlahy konstrukce od zdroje vlhkosti (okolní zemina), přičemž tato vzduchová dutina má trvale zajištěnou cirkulaci vzduchu.
- Ostatní vzduchové izolační systémy – Mezi další vzduchové systémy řadíme izolace systémem kanálků (např. Knapenovy kanálky), použití profilovaných fólií, provětrání drenážním systémem, vhodná volba obrazu proudění vzduchu v místnosti. [5]

3.3.5 Sanační omítkové systémy

Sanační omítky odstraňují ze zdiva pouze některé důsledky zvýšené vlhkosti, jako např. vlhké skvrny či výkvěty, ale neodstraňují příčinu vlhkosti. Zdivo zůstává stále vlhké, a proto se sanační omítkové systémy využívají vždy v kombinaci s mechanickou, chemickou či jinou hlavní sanační metodou. Samostatné využití této metody se provádí jen velmi výjimečně.

Po aplikaci některé ze základních metod zůstává zdivo nadále vlhké. Tato vlhkost může v materiálu setrvávat několik měsíců až let. Vlhké zdivo nelze omítnout žádnou ze základních omítek, které se používají u zdiva bez zvýšené vlhkosti. Z praktického a estetického hlediska nepřipadá v úvahu varianta obnaženého zdiva bez omítnutí, protože vnitřní prostory jsou ihned po provedení sanace znovu využívány. Z tohoto důvodu vzešel požadavek na typ sanační omítky, kterou je možno aplikovat i na zdivo se zvýšenou vlhkostí.

Sanační omítky musí splňovat požadavek na nízký faktor difuzního odporu ($\mu < 12$) a jejich pórovitost musí být větší než 40 %. Principem těchto omítek je, že díky nízkému faktoru difuzního odporu jsou schopné postupně odvádět vodu z vlhkého zdiva. Vnitřní hydrofobizace sanační omítky zamezuje vztlínání vody z vlhkého zdiva. Soli, obsažené ve vlhkém zdivu, se usazují v pórech omítky a netvoří nežádoucí výkvěty na povrchu.

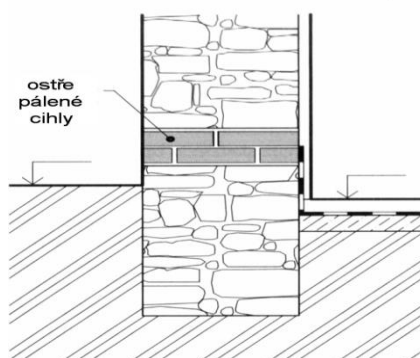
Účinnost těchto omítek je zaručena pouze v případě, že je zvýšená vlhkost zapříčiněna předešlým vztlínáním vody z podloží nebo pokud byla rovnovážná vlhkost zvýšena vysokým obsahem hygroskopických solí. Pokud je příčinou tlaková voda nebo kondenzace vodní páry na povrchu, pak omítka neplní svůj význam. Póry se během krátké doby zaplní vodou a to má za důsledek obvyklé negativní projevy zvýšené vlhkosti zdiva (včetně tvorby výkvětů), jako u klasických omítek. [5]

Popis, provedení a požadavky na sanační omítky jsou uvedeny ve směrnici WTA CZ 2-9-04/D. [14]

3.3.6 Izolace vodonepropustným stavivem

Jedná se o jeden z nejstarších hydroizolačních systémů. Principem metody je během výstavby vytvořit vodorovnou clonu, která zabraňuje vztlínání vody ve zdivu. Na místo asfaltových pásů, které se využívají jako hydroizolace v současnosti, se využívají vodonepropustná staviva. Jsou to např. ostře pálené cihly, břidlicové desky, opuka apod. Vodorovná clona bývá často tvořena nejen jednou vrstvou, ale zpravidla ve dvou či třech vrstvách (Obr. 10). Hydroizolace vodonepropustným stavivem může být provedena také u svislých stěn.

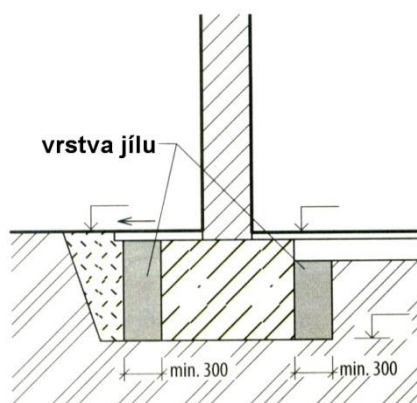
Jako dodatečná sanace se tato metoda téměř neprovádí, protože její provedení by bylo velmi obtížné, v některých případech i neproveditelné (např. velká tloušťka zdi). [5]



Obr. 10 – Vodorovná izolace vodonepropustným stavivem [5]

3.3.7 Jílové těsnící vrstvy

Jílové těsnící vrstvy se využívají hlavně u historických a památkově chráněných staveb, kde obnovují nebo doplňují stávající hydroizolační opatření. K hlavním výhodám této metody patří snadná tvarovatelnost a plasticnost, díky které dokonale přilne k potřebnému povrchu. Z tohoto důvodu metoda není náročná na preciznost provedení. Další výhodou je dlouhá životnost a šetrnost ke stavební konstrukci a okolnímu prostředí. Určitou nevýhodou z hlediska sanačního systému pak může být to, že jílové těsnící vrstvy nejsou dokonale vodotěsné a jejich funkcí je pouze udržovat vlhkostní stav zdiva na přiměřené vlhkosti. [5]



Obr. 11 – Příklad použití jílových těsnících vrstev [5]

3.3.8 Úpravy v okolí objektu

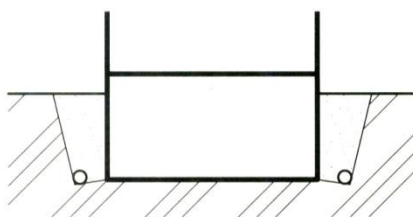
Principem této metody je odvlhčení zdiva pomocí úprav terénu v okolí objektu. Zásadní vliv na odvlhčení zdiva může mít snížení výšky terénu u obvodových zdí, kdy dochází k odstranění negativního působení zemní vlhkosti a vyspádování terénu směrem od budovy. Vždy je však třeba dbát na dodržení minimální nezámrzné hloubky, která je v ČR 800 mm. Dalším způsobem úpravy okolního terénu je provedení okapných chodníků. [5]

3.3.9 Drenážní systémy

Výraznou pomoc při odvodnění stavebního objektu můžeme dosáhnout prostřednictvím kvalitního drenážního systému. Drenáž odvádí jak vodu podzemní, tak i srážkovou mimo stavební objekt. Drenážní systémy se provádějí jako doplňkové opatření k hydroizolaci či k některé ze sanačních metod v následujících případech:

- Základy objektu leží nad úrovní hladiny podzemních vod v nepropustné zemině.
- Objekt je založen ve svahu.
- Při poruše hlavní hydroizolace, při působení tlakové nebo gravitační vody.

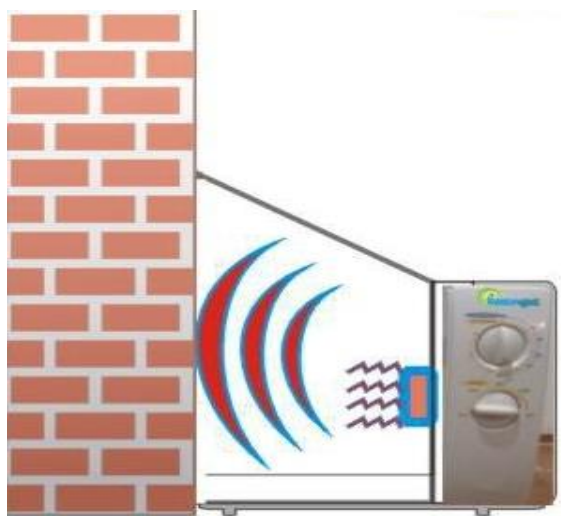
Pokud je objekt založen v propustném podloží, pak je návrh drenáže zbytečný. [5]



Obr. 12 – Osazení budovy nad hladinou podzemní vody v nepropustném podloží s trvalým odvodněním základové spáry pomocí drenáže [5]

3.3.10 Mikrovlnné vysoušení

Mikrovlnné vysoušení je fyzikální proces, kdy je absorpcí energie z elektromagnetického pole získáváno teplo, které následkem působení na zdivo snižuje jeho vlhkost. Z počátku probíhá vysušování pouze na povrchové části zdiva, s narůstající dobou působení však vysušování postupuje do hloubky zdiva. Pro vysušování se využívají elektromagnetické vlny o frekvence 2,45 GHz s vlnovou délkou 125 mm. Tato metoda je schopna urychlit vysychání v řádu na několik hodin u zdiva, které by za normálních podmínek trvalo řádově několik měsíců až let, avšak její provedení je velmi finančně nákladné. [5]



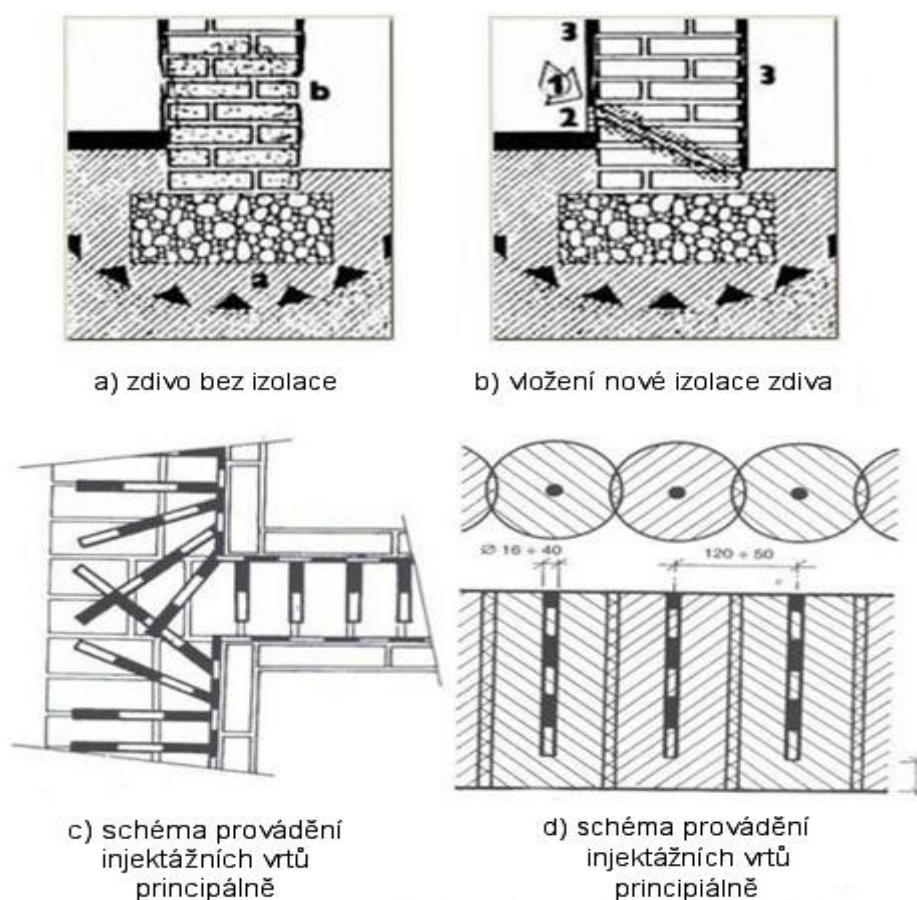
Obr. 13 – Mikrovlnné vysoušení zdiva [12]

3.4 CHEMICKÉ INFUZNÍ CLONY

Principem těchto metod je vytvoření dodatečné bariéry ve zdivu, za účelem zamezení vzlinání vlhkosti nad tuto bariéru. Tato infuzní clona se vytvoří za pomoci infuzního prostředku, vpraveného do předem vyvrtaných otvorů. Technologických postupů na provedení injektáže i samotných injektážních prostředků je celá řada.

Chemické injektáže jsou v oblibě zejména pro svou nenáročnost na provedení, variabilitě použití, pestré nabídce injektážních produktů a jsou výhodné také po finanční stránce. Významnou výhodou oproti mechanickým metodám sanace je minimální zásah do stavební konstrukce, a tudíž nedochází ke vzniku trhlin či sedání konstrukce. Mezi další výhody se řadí hygienická nezávadnost a šetrnost k životnímu prostředí.

Ačkoliv se tato metoda považuje z hlediska proveditelnosti za jednoduchou, její aplikaci musí provádět kvalifikovaná osoba či firma. Neodborné provedení a chybějící zkušenosti mohou vést k mnoha realizačním chybám. Z hlediska hodnocení kvality firem jsou proto nejcennější dlouhodobé zkušenosti z praxe v oboru sanace vlhkého zdiva.[1]



Obr. 14 – Schéma provádění injektážních vrtů [6]

3.4.1 Injektážní prostředky a principy působení

Injektážních prostředků, dostupných na trhu, je hned několik typů. Liší se od sebe chemickým složením, způsobem aplikace apod. Proto je nutný pro dostatečnou funkčnost injektáže správný výběr injektážního prostředku. Každý prostředek má vymezenou oblast použití, důležité jsou zejména údaje o tom, jestli je prostředek vhodný pro beztlakovou či tlakovou injektáž, údaje o maximálních osových vzdálenostech mezi vrty pro jednotlivé druhy stavebních materiálů, přibližná spotřeba prostředku na běžný metr vrtu atd. Dalším důležitým údajem pro použitelnost prostředku je určení horní hranice stupně vlhkosti zdiva. Účinky jednotlivých prostředků jsou ve vlhkém prostředí rozdílné a od určitého stupně vlhkosti zdiva již nelze vpravit do pórů materiálu dostatek injektážního prostředku (póry jsou z velké části zaplněny vodou).

- **Princip působení chemických clon ve zdivu**

Dle M. Balíka (viz Obr. 15) [1] můžeme hlavní principy chemických clon ve zdivu rozdělovat následovně:

utěsnění kapilár – Penetrovaná látka má v pórech materiálu za úkol ztuhnout do nepropustné formy a tím póry ucpat. Do této skupiny lze zařadit i zarůstání pórů krystaly CSH.

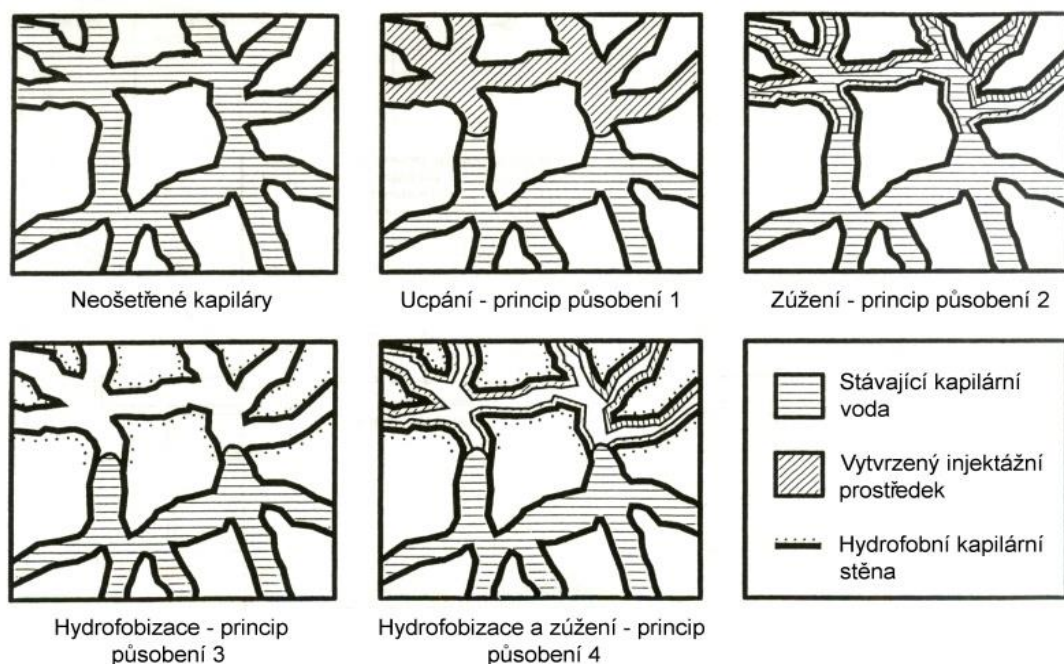
zúžení kapiláry – Penetrovaná látka zužuje průměr kapilár a tím snižuje množství vody nasáté kapilárami. Vysychání je docíleno tím, že odpařené vody z povrchu je více než vody dopravované do materiálu.

hydrofobizace – Penetrovaná látka má za úkol zhydrofobizovat stěny pórů a zamezit tak kapilárnímu vztlínání vody. V současnosti je tato metoda nejrozšířenější i z důvodu, že struktura a průřez pórů zůstává téměř nezměněný a metodu lze po snížení účinnosti aplikovat znovu.

kombinace jednotlivých principů – např. hydrofobizace a zúžení apod.

- **Dělení injektážních prostředků dle chemické báze**

Pro injektáže se používají jednosložkové nebo vícesložkové injektážní hmoty, jako jsou např.: akryláty, epoxidové pryskyřice, parafíny, polyuretanové pryskyřice, silikáty, silany, silikonáty, silikonové emulze, siloxany. Princip působení a příklady injektážních prostředků jsou uvedeny v Tab. 7.



Obr. 15 – Principy působení snižování vlhkosti – schematické zobrazení [13]

Tab. 7: Přehled druhů injektážních materiálů a jejich působení v pórech zdiva [2]

Typ	Funkce
Vodní suspenze	Zúžení pórů
Cementové suspenze	
Mikrocementové suspenze	
Jemné suspenze	
Vodní roztoky	Zúžení pórů a jejich hydrofobizace
Alkalisilikáty	
Metylsilikonáty	
Více alkalické silikonáty	
Vodní emulze	Hydrofobizace pórů a jejich zúžení
Silikonové emulze	
Bitumenové emulze	
Roztoky v organických rozpouštědlech	Hydrofobizace pórů
Siloxanové roztoky	
Roztoky silikonových pryskyřic	
Etylester kyseliny křemičité	
Roztoky syntetických pryskyřic (Převážně polyuretany a akryláty)	
Bitumenové roztoky	
Taveniny	Vyplnění pórů
Parafíny	
Bitumen	

- **Vlastnosti injektážního prostředku**

Hlavním požadavkem na injektážní prostředky z hlediska schopnosti pronikání a viskozity je rovnoměrné napouštění ošetřovaného materiálu. V Tab. 8 dle WTA 4-4-96 [13] jsou uvedeny základní parametry injektážních prostředků. [1]

Tab. 8: Charakteristika injektážních prostředků ke snížení vlhkosti v kapilárně zavlhlem systému [13]

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
	Obsah netěkavých částic	• co možná nejvyšší (přizpůsobeno podkladu)
	Stálost	• beze změny vlastností (např. viskozita, velikost částic), z viny částic, vlastních substrátu nebo cizích (např. voda, sůl) během rozptýlení
	Tvrdnutí	• bez znatelného vzrůstu viskozity během doby injektáže (nejméně 4 hodiny) • vyrovnaný průběh tvrdnutí, vypuzující anebo vázající vodu • bez poruch látkami vlastními substrátu nebo cizími • nespecifikované tvrdnutí
	Staveništní způsobilost	• dobrá zpracovatelnost, tj. malý počet složek ve směsi • silně nezávislá na vlastnostech podloží a okolních podmínkách (smáčení, penetrace)
	Stálost při skladování	• co možno nejvyšší v uzavřených nádobách (6 měsíců)
	Ekologická snesitelnost / hygiena práce	• v souladu s místními zákonnými požadavky
Vytvrzený injektážní prostředek	Produkt po vytvrzení	• bez tvorby vedlejších škodlivých produktů (soli)
	Hydrofobie	• „rozšířená“, tzn. Všude přítomná
	Stupeň vyplnění pórů	• velké zúžení kapilár anebo inaktivace kapilár
	Odolnost vůči stárnutí	• odolný proti vodě, necitlivý na hydrolýzu • 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 (vyrovnaná vlhkost)
	Druhotné jevy	• bez škodlivých účinků (např. poruchy přilnavosti, zabarvení)
	Fungicida, baktericida	• mírná, přechodná

3.4.2 Společné znaky chemických injektáží

Definice injektáže dle [1] říká, že „injektáž je technický prostředek působící pouze proti vztlínající zemní vlhkosti, její použití není možné v oblasti tlakové vody“. Zásady a způsoby navrhování udává norma ČSN P 73 0610 Hydroizolace staveb – Sanace vlhkého zdiva. Speciální požadavky pro injektáže udává směrnice WTA 4-4-96 - Injektáže zdiva proti kapilární vlhkosti.

Účinnost injektáží závisí zejména na druhu injektážního prostředku a kvalitě provedení. Maximální osová vzdálenost mezi vrtů se odvozuje od penetrační schopnosti prostředku. Pokud je penetrační schopnost prostředku příliš nízká a nedokáže vytvořit nasycený pás ve zdivu, pak nesplňuje podmínky pro funkci infuzní clony.

Technologický postup provedení spočívá ve vytvoření vrtů v jedné řadě o sklonu 15 – 45 ° při netlakové injektáži. U tlakové injektáže se můžou vrtů provádět vodorovně. [1]

Hloubka vrtů se volí o 50 mm menší než tloušťka injektovaného zdiva. Vzdálenost mezi středy vrtů se určuje s ohledem na zachování únosnosti zdiva, avšak v takové vzdálenosti, aby došlo k prosycení prostředků jednotlivých vrtů. Maximální vzdálenost vrtů by neměla překročit 150 mm. Před samotným plněním prostředku se vrtů vyčistí stlačeným vzduchem. Pomocí plnicích zařízení se prostředek aplikuje do vrtů a po ukončení plnění se otvory zaopatrí (např. maltou) proti vytečení prostředku. [6]

3.4.3 Metody provádění

- **Beztlaková injektáž**

Jedná se o nejběžnější postup při provedení infuzní clony do struktury zdiva. Jak už z názvu vyplývá, prostředek se do vrtu aplikuje bez zvýšeného tlaku při plnění. Napouštění stavebního materiálu nastává účinkem působení kapilárních sil, působením hydrostatického tlaku (v případě beztlakové injektáže s nízkým přetlakem) nebo vstřikováním. Osová vzdálenost mezi vrtů se volí dle použitého stavebního materiálu a jeho nasákavosti, obvykle se však volí 100 až 125 mm. Průměry vrtů jsou voleny cca 20 až 38 mm. Sklon vrtu běžně volíme 15 – 45 °. U zdí menších tloušťek se musí dodržet, aby vrt procházel nejméně jednou ložnou spárou, u silnějších tloušťek dvěma ložnými spárami. Při tloušťce zdiva do cca 800 až 900 mm se zeď navrtává z jedné strany do vzdálenosti o 50 až 100 mm menší než je její celková šířka. Při tloušťkách zdiva nad 900 mm a v rozích zdiva je vhodnější

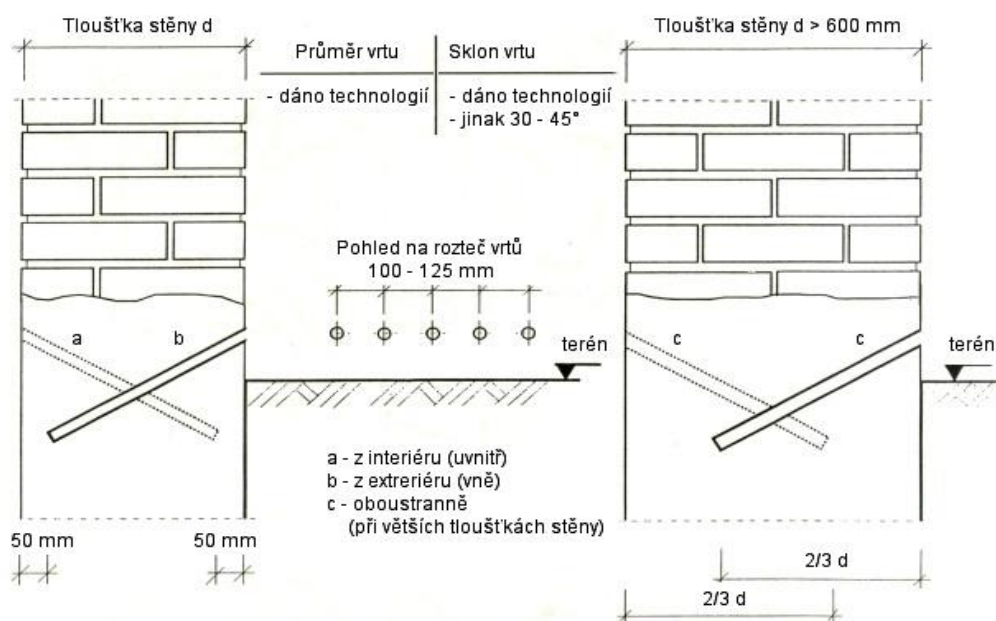
provádět vrty z obou stran. Hloubka vrtů by pak měla být minimálně 1/2 až 2/3 tloušťky zdiva.

Před plněním prostředku je důležité vyčištění vrtu (pomocí vzduchových kompresorů), aby nebylo zabráněno kapilárnímu nasáknutí zdiva. Beztlaková injektáž je vhodná zejména pro nízkoviskózní roztoky, které se snadno penetrují do zdiva. Konkrétně se nejvíce používají nízkoviskózní, ve vodě rozpustné chemické prostředky jako např. silikonové mikroemulze, silany, silikáty či dostatečně ohřátá tavenina parafínu.

U děrovaných cihel nebo zdiva s většími dutinami nastává problém s únikem injektážního roztoku. Taková zdiva se před aplikací injektáže musí speciálně zaopatřit vyplněním dutiny tekutým, nesmršlivým a se zdivem slučitelným materiálem za přítomnosti pojiva, aby injektážní roztok nemohl unikat ze zdiva.

Spotřeba injektážního prostředku je závislá na pórovitosti materiálu zdiva a na druhu prostředku. Orientační spotřeba bývá uvedena výrobcem. Plnění injektážního prostředku je prováděno až do té doby, kdy je vytvořena souvislá vodorovná clona.

Pro viskóznější roztoky či méně pórovité zdivo je vhodnější způsob beztlakové injektáže s nízkým hydrostatickým přetlakem. Ve vrtu je umístěna hadička, na kterou je napojena nádoba s injektážním prostředkem ve výšce cca 1 až 2 m nad vrtem. Následkem rozdílu výšky hladiny injektážního prostředku a ústí vrtu vzniká nízký přetlak, který se využívá při plnění. Nevýhodou je obtížné utěsnění hadičky ve vrtu.[1]



Obr. 16 – Beztlaková injektáž [13]

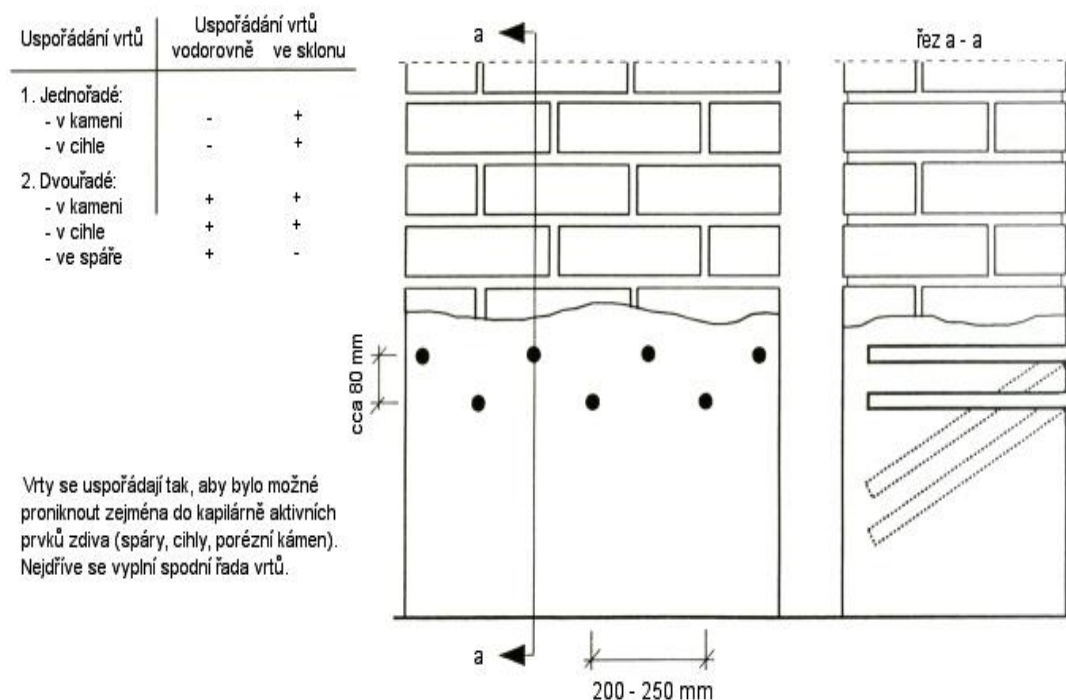
• Tlaková injektáž

Využití nalézá zejména u silně zavlhlých stavebních konstrukcí. Vrtý se můžou provádět s odpovídajícím sklonem či vodorovně v jedné nebo více řadách. Osová vzdálenost středů vrtů se volí nejčastěji 100 až 300 mm o průměru vrtu 10 až 12 mm. Při provedení injektáže ve více řadách by jednotlivé svislé vzdálenosti mezi vrtý neměli být větší než 80 mm.

Injektáž se provádí za pomoci injektážních ventilů, které se osadí na vrtý, a zajistí důkladné utěsnění vrtů. Přes tlakovou hadici se vrtý za neustálého tlaku cca 1000 kPa plní speciální vysokotlakou pumpou.

Při této metodě se plní současně více vrtů najednou a během plnění se musí sledovat na manometru, zda byl dosažen potřebný tlak. Pokud nebylo dosaženo požadovaného tlaku, je třeba provést kontrolu, zda injektážní prostředek neuniká dutinami, spárami či jinými netěsnostmi. V případě úniku se volí stejné opatření jako při beztlakové injektáži (např. vyplnění dutin).

Spotřeba injektážního prostředku je závislá na objemu pórů injektovaného materiálu. Plnění injektážního prostředku je prováděno opět až do té doby, kdy je vytvořena souvislá vodorovná clona. Výhoda oproti beztlakové injektáži je pouze v rychlosti a manipulaci provádění, vyššího stupně nasycení kapilár však dosaženo není. [1]



Obr. 17 – Tlaková injektáž [13]

4 PRAKTICKÁ ČÁST

Cílem praktické části této práce je navržení metody pro posouzení účinnosti penetrace injektážních prostředků ve stavebních zdících materiálech. Metodika postupu je zobrazena na schématu níže (Obr. 19). Součástí řešení praktické části je také návrh postupu zkoušky pro stanovení míry penetrace pomocí indikátoru. Dalším cílem praktické části je výběr nejlepších gelů, dodaných pro výzkum, pomocí navržené metodiky.

4.1 METODIKA ŘEŠENÍ PRAKTICKÉ ČÁSTI

4.1.1 Volba injektovaných materiálů

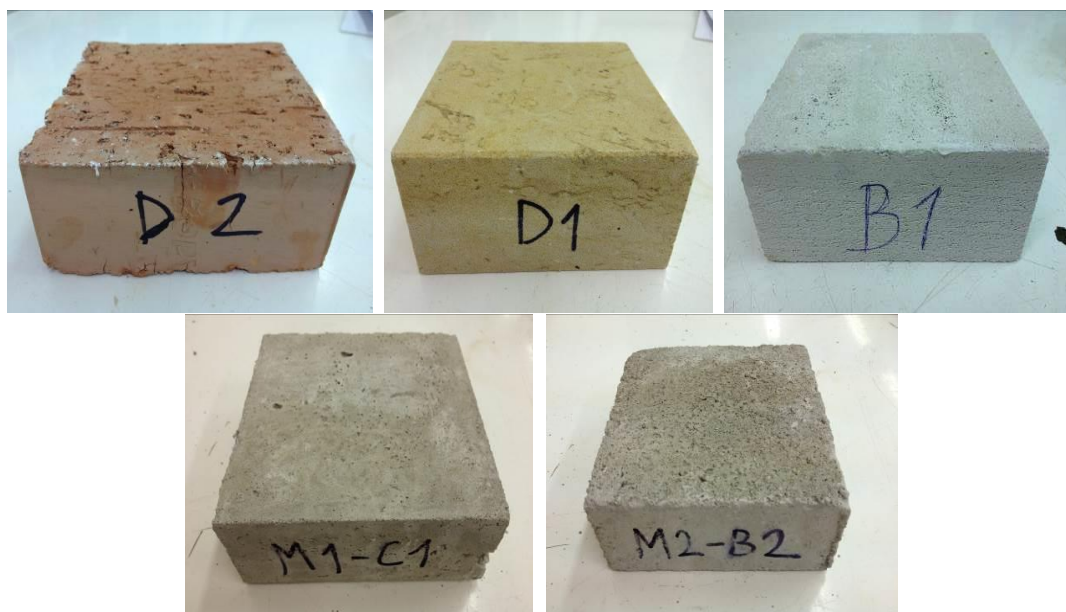
Prvním krokem této metody zkoušení je správná volba zkušebního materiálu. Z důvodu nejčastějšího použití ve stavebních zděných konstrukcích jsou pro testování injektážních prostředků zvoleny tyto stavební materiály: cihla plná pálena, cihla pískovcová, pórobeton a dva druhy zdící malty s rozdílnou pevnostní třídou.

4.1.2 Počet zkušebních vzorků a způsob penetrace

Od každého z vybraných materiálů je nutno připravit tři tělesa, které se opatří injektážním prostředkem. Při provedení zkoušky stanovení nasákavosti jsou vzorky penetrovány nanesením injektážního prostředku na povrch ze všech jeho stran. Při zkoušce stanovení vztlakovosti a stanovení míry penetrace pomocí indikátoru jsou vzorky penetrovány do zmenšených vrtů. Od každého z vybraných materiálů jsou připraveny také tři nepenetrovaná tělesa jako referenční vzorky.

4.1.3 Velikost zkušebních vzorků

Velikost vzorků se pro zjednodušení odvodila od velikosti příčně rozřízlé cihly plné pálené, tedy cca 140 x 140 x 65 mm. Dle možností jsou z cihly pískovcové, pórobetonových tvárnic a zdících malt připraveny vzorky co nejvíce rozměrově podobné jako vzorky cihly plné pálené.



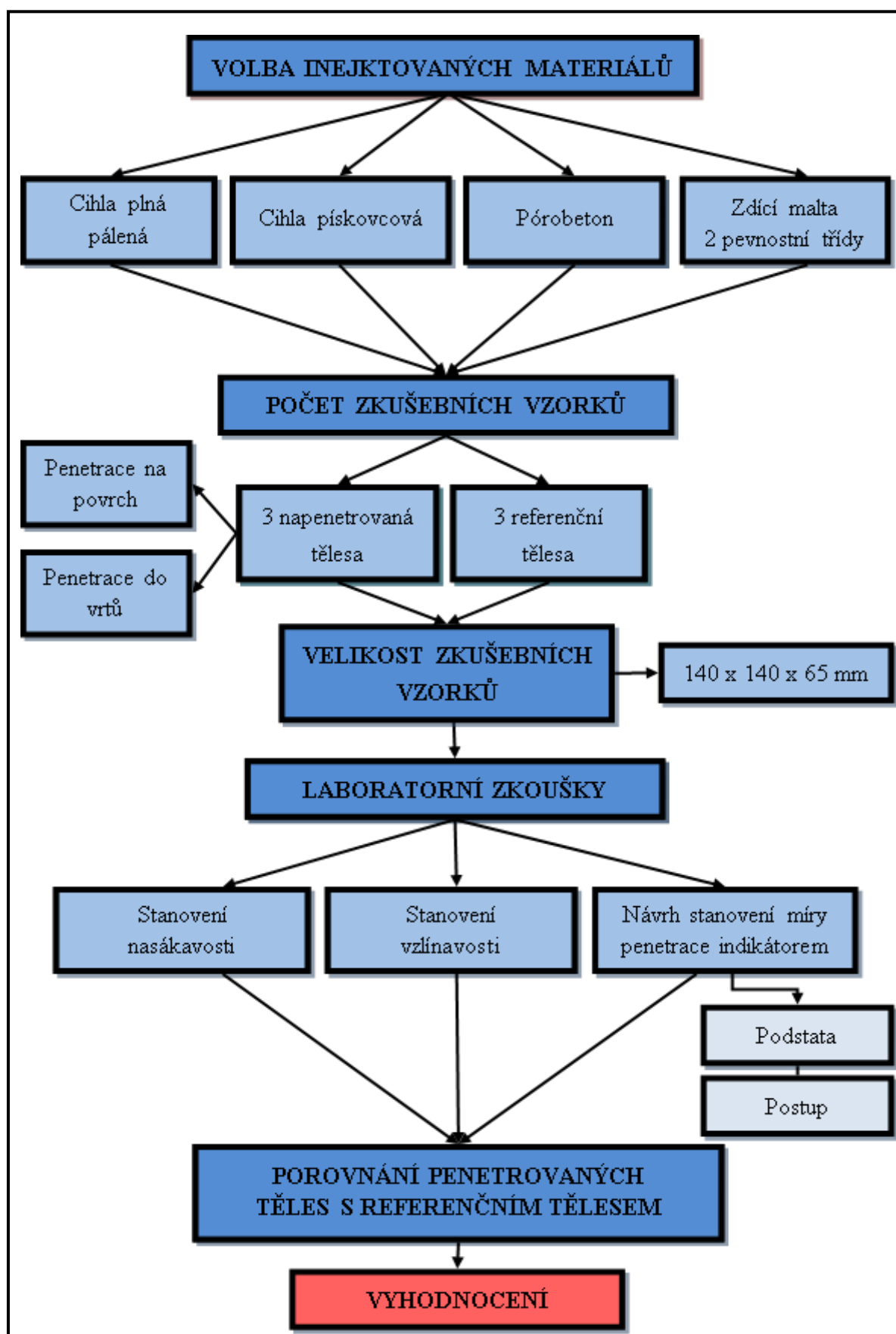
Obr. 18 – Testované stavební materiály (postupně): D2 – cihla plná pálená, D1 – cihla pískovcová, B1 – pórobeton, M1 – zdící malta 1, M2 – zdící malta 2

4.1.4 Laboratorní zkoušky

Další krok metody zkoušení se vztahuje k laboratorním metodám, které ověřují účinnost penetrace zkoušených injektážních prostředků. Pro toto ověření byly zvoleny laboratorní zkoušky stanovení nasákavosti a stanovení vztlínivosti. V rámci tohoto bodu byla také pro další možnost testování penetrace injektážních prostředků navržena zkouška stanovení míry penetrace indikátorem. Laboratorní zkoušky jsou detailněji popsány v kapitole 4.2.

4.1.5 Vyhodnocení

Závěrečným krokem metody zkoušení je vyhodnocení výsledků. Všechny naměřené výsledky penetrovaných vzorků z laboratorních zkoušek jsou porovnávány s výsledky naměřených u referenčních vzorků. Pro všechny tyto výsledky jsou určeny hranice kvality účinnosti, které jsou uvedeny v kapitole 4.2. Na základě porovnání výsledků s uvedenými hranicemi je poté vyhodnocena účinnost zkoušených injektážních prostředků.



Obr. 19 – Metodika stanovení účinnosti penetrace injektážních gelů

4.2 LABORATORNÍ ZKOUŠKY

4.2.1 Stanovení nasákavost (ČSN 73 1357)

Podstatou této zkoušky je ponoření zkoušeného tělesa do vody na stanovenou dobu a na základě rozdílné hmotnosti s vysušeným stavem se stanovuje nasákavost. Zkouška se provádí na vzorcích penetrovaných injektážním gelem ze všech stran vzorku. Postup zkoušky je prováděn dle normy ČSN 13 1357.

Účinnosti penetrace na snížení nasákavosti stavebních materiálů opatřených injektážním gelem se posuzuje vzhledem k referenčním tělesům. Vyhodnocení se provede dle Tab. 9.

Tab. 9: Vyhodnocení snížení nasákavosti

Snížení nasákavosti [%]	< 40	40 - 60	60 - 80	> 80
Účinnost penetrace	neúčinná	málo účinná	účinná	vysoce účinná

4.2.2 Stanovení vztlínivosti (ČSN 73 1357)

Zabránění vztlínání vlhkosti je základním důvodem aplikace injektážních prostředků. Z tohoto důvodu je tato zkouška pro testování injektážních prostředků velmi důležitá. Principem této zkoušky je částečné ponoření vzorku do nádoby s vodou na stanovenou dobu. Na základě rozměrů tělesa a rozdílné hmotnosti tělesa před zkouškou a hmotnosti tělesa částečně ponořeného do vody na stanovenou dobu se určí vztlínivost v g na 100 mm². Zkouška je prováděna dle normy ČSN 13 1357. Penetrování vzorků probíhá do zmenšených vrtů, které jsou umístěny ve výšce (10 ± 1) mm nad spodní hranou vzorku.

Účinnosti penetrace na snížení vztlínivosti stavebních materiálů opatřených injektážním gelem se posuzuje vzhledem k referenčním tělesům. Vyhodnocení se provede dle Tab. 10.

Tab. 10: Vyhodnocení snížení vztlínivosti

Snížení vztlínivosti [%]	< 25	25 - 50	50 - 75	> 75
Účinnost penetrace	neúčinná	málo účinná	účinná	vysoce účinná

4.2.3 Návrh zkoušky: Stanovení míry penetrace indikátorem

Podstatou této zkoušky je vizuální určení hloubky průniku injektážního prostředku v materiálu pomocí indikátoru, který zvýrazní hloubku penetrace. Pro možnost ověření účinnosti injektážních prostředků při této zkoušce je třeba správně rozpočítat množství injektovaného prostředku pro zmenšené vrty. V případě nutnosti či doporučení od výrobce se aplikace injektážního prostředku může provádět i vícekrát.

Postup provádění zkoušky je následovný: Nejprve jsou zkušební vzorky opatřeny injektážním prostředkem. Aplikace prostředku se provádí do zmenšených vrtů, které napodobují princip použití injektážních gelů v praxi. Zmenšené vrty jsou vyvrtány 40 mm od okraje vzorku s osovou roztečí mezi vrty 60 mm. Vrty jsou průměru 8 mm. Hloubka vrtů je (55 ± 5) mm, tedy zhruba o 10 mm menší než je tloušťka zkušebních vzorků. Před samotnou aplikací prostředku je vhodné vzniklé vrty vyčistit za pomoci vzduchového kompresoru. Po aplikaci se injektážní prostředek nechá působit po dobu, která je potřebná pro úplné proniknutí injektovaného prostředku do pórů materiálu. Poté se vzorek podélně rozřízne tak, aby byl řez vedený kolmo na zmenšené vrty a zároveň procházel penetrovanou plochou. Případné nečistoty následkem řezání se ze vzorků odstraní. Následně jsou vzorky namočený do roztoku vody s UV detekčním činidlem vlhkosti a poté se vizuálně sleduje hloubka průniku gelu do materiálu. Zvýraznění lze dosáhnout sledováním vzorku pod UV světlem, kdy nepenetrovaná část vzorku je jasně fosforově zabarvena. Část bez fosforového zabarvení je hloubkou průniku injektážního prostředku do zkušební vzorku.

Zkouška se vyhodnocuje dle velikosti identifikovaných penetrovaných kruhů v okolí vrtu. Při dané rozteči vrtů 60 mm je pro účinnost infuzní clony potřeba vytvoření kruhů o průměru nejméně 60 mm. Výsledné vyhodnocení tedy určuje, zda v daném tělese po aplikaci injektážního prostředku do zmenšených vrtů vznikla nebo nevznikla infuzní clona.

Tab. 11: Vyhodnocení vizuální míry penetrace

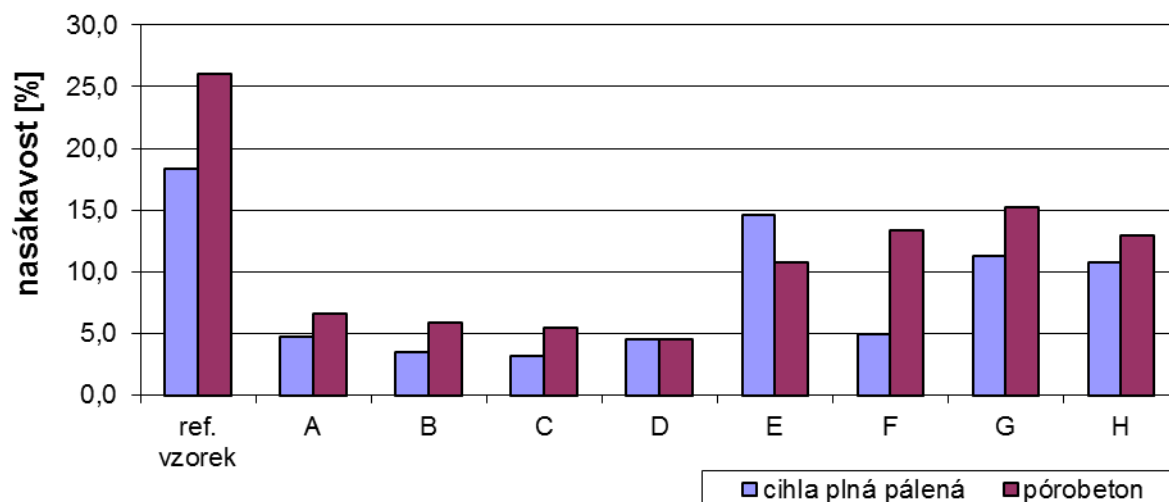
Průměr kruhu [mm]	< 60	> 60
Účinnost penetrace	neúčinná	účinná

4.3 VÝSLEDKY ZKOUŠENÍ

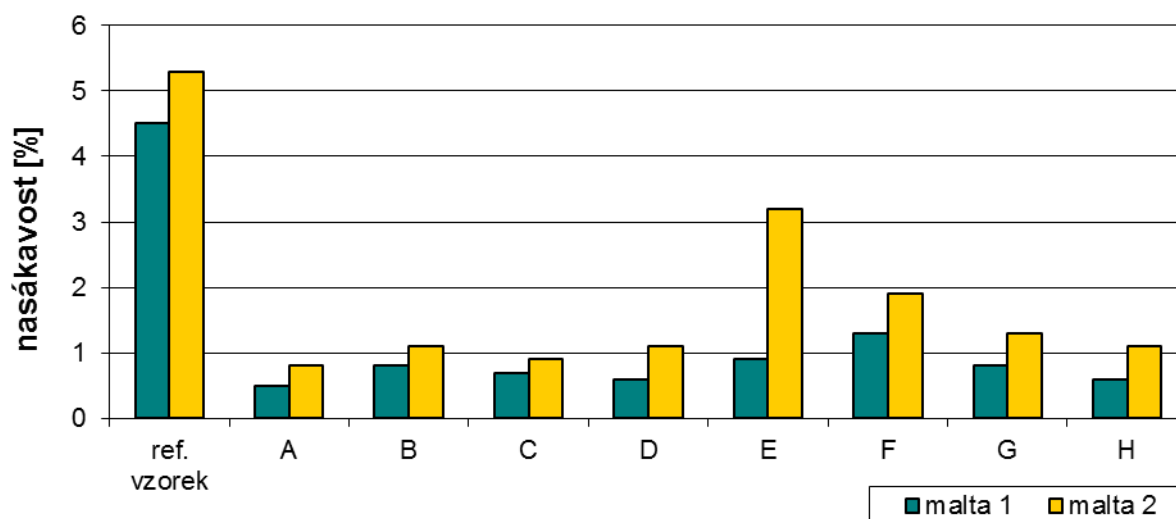
V rámci řešení projektu MPO FR-TI4/270 bylo provedeno ověření účinnosti u osmi injektážních gelů (gely A, B, C, D, E, F, G, H). U těchto gelů bylo provedeno ověření účinnosti zkouškou stanovení nasákavosti. Dále byla u gelu D stanovena míra penetrace pomocí indikátoru.

4.3.1 Stanovení nasákavost (ČSN 73 1357)

Hodnoty nasákavosti byly stanoveny pro zkušební vzorky cihly plné pálené, pórobetonu a oba druhy zdících malt. Souhrn naměřených výsledků je graficky znázorněn v grafech níže (Obr. 20, Obr. 21).

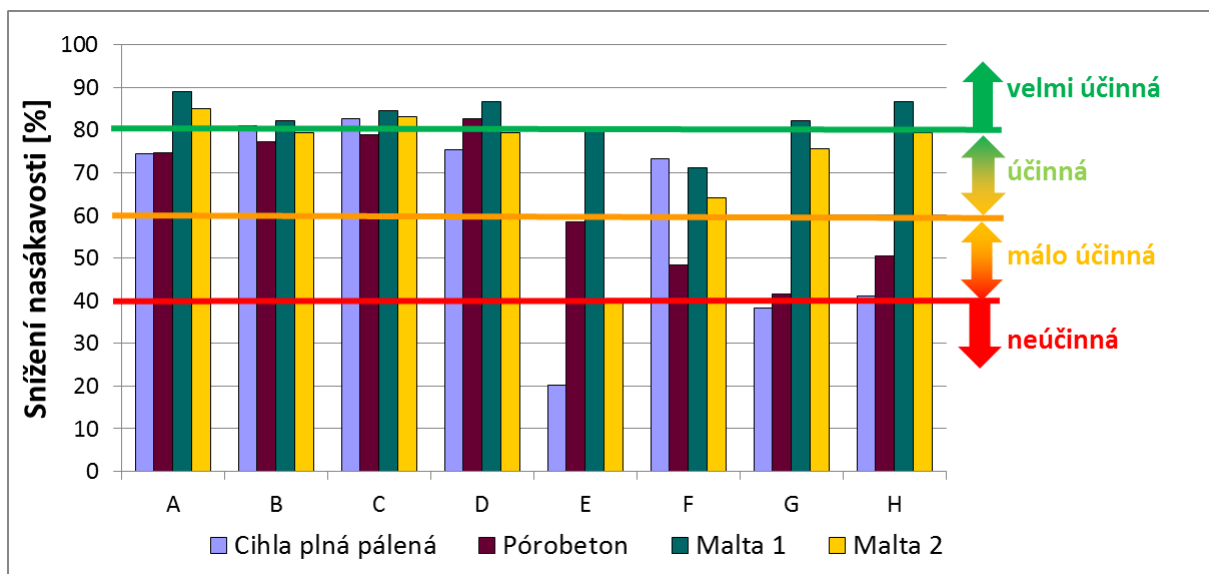


Obr. 20 – Hodnoty nasákavosti vzorků cihly plné pálené a pórobetonu



Obr. 21 – Hodnoty nasákavosti vzorků dvou zdících malt

Největší účinnost z pohledu na snížení nasákavosti byla stanovena u vzorků ošetřených gely A, B, C a D. Konkrétní procentuální snížení nasákavosti je uvedeno na Obr. 22.



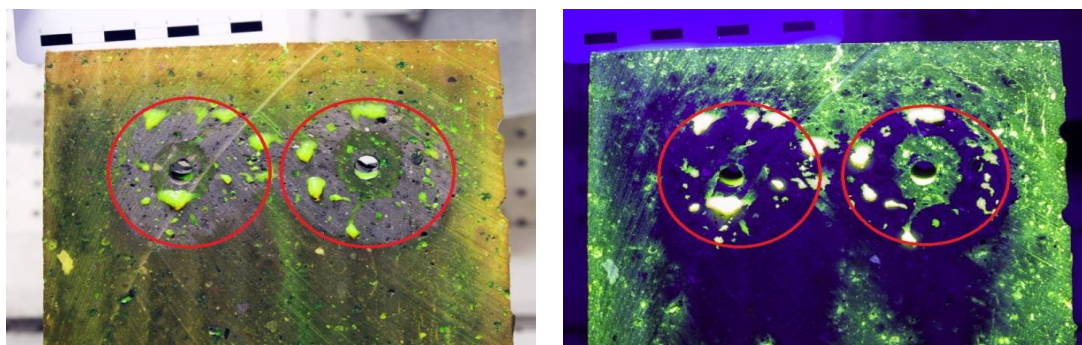
Obr. 22 – Procentuální snížení nasákavosti vzorků ošetřených injektážním gelem vzhledem k neošetřenému vzorku

Z hlediska účinnosti na snížení nasákavosti vycházejí nejlépe gely A, B, C a D, které dosáhly dobrých výsledků u všech zkoušených materiálů. Zbylé gely prokazovaly svou účinnost jen u některých ze zkoušených materiálů, a proto jejich celková účinnost není dostačující.

4.3.2 Stanovení míry penetrace indikátorem

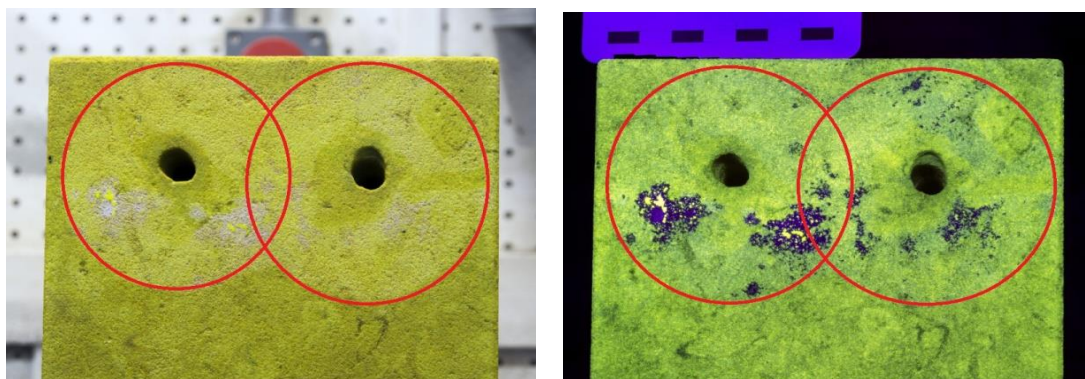
Souhrn výsledků je znázorněn na obrázcích níže. U některých vzorků bylo vizuální určení míry penetrace lépe zřetelné bez UV záření v normálních podmínkách, a proto jsou uvedeny i fotografie těchto případů. Míra penetrace v okolí vrtu je na obrázcích vyznačena červenou čarou.

Cihla plná pálená - Průměr penetrované části je 55 mm – neúčinná penetrace



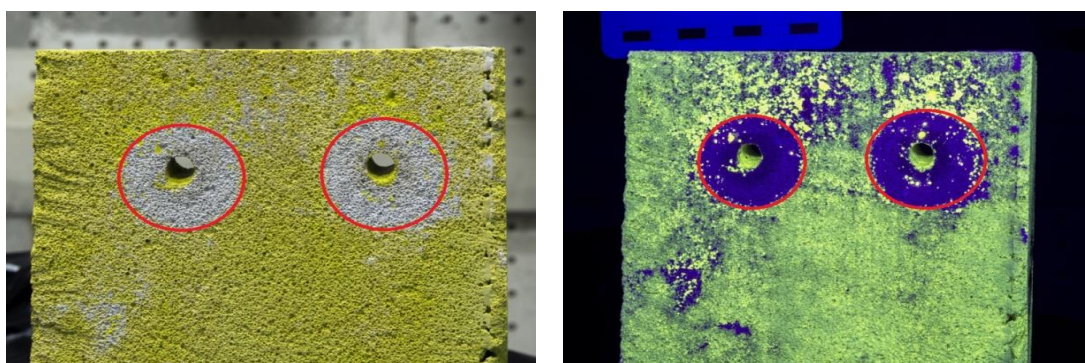
Obr. 23 – Míra penetrace cihly plné pálené

Cihla pískovcová - Průměr penetrované části je 70 mm – účinná penetrace



Obr. 24 – Míra penetrace cihly pískovcové

Pórobeton - Průměr penetrované části je 30 mm – neúčinná penetrace



Obr. 25 – Míra penetrace pórobetonu

U pórobetonu byly při detekci penetrovaných oblastí určeny jednoznačně nejmenší nepenetrované oblasti v okolí vrtu. Do všech zkoušených materiálů bylo aplikováno stejné množství gelu, avšak u pórobetonu musel gel vyplnit větší velikosti i množství pórů a proto se gel nedostal do větší vzdálenosti, jako tomu bylo u cihly plné pálené či cihly pískovcové. Pro splňující účinnost penetrace by se gel do pórobetonu musel aplikovat vícekrát. Největší míra penetrace byla určena u cihly pískovcové, u které jako jediné byla vytvořena infuzní clona a penetraci injektážním gelem lze považovat za účinnou. U cihly plné pálené vznikly kruhy o něco menší, a tak se kruhy již mezi sebou nepropojily a penetrace je vyhodnocena jako neúčinná.

5 ZÁVĚR

Cílem práce bylo stanovit metodiku pro posouzení penetrace injektážních gelů v různých typech zdicích materiálů, které jsou často v praxi dotčeny problémy se zvyšující se vlhkostí vzniklou vlivem vztlínající vody z podzákladí a okolní zeminy. Dalším cílem této práce byl výběr neúčinnějších gelů, dodaných pro výzkum, pomocí navržené metodiky.

V praktické části práce byla vytvořena vlastní metodika pro zkoušení účinnosti penetrace injektážních gelů a následně byly provedeny zkoušky pro osm různých injektážních gelů dle této metodiky. Ověření účinnosti injektážních prostředků pomocí této metodiky je výhodné zejména pro možnost zkoušení na zmenšených vzorcích, což ověření velmi urychlí. Jako laboratorní zkoušky ověřující účinnost penetrace injektážních prostředků byly zvoleny normové zkoušky stanovení nasákavosti a stanovení vztlínivosti. Další laboratorní zkouška byla navržena zkouška stanovení míry penetrace pomocí indikátoru, která byla ověřena s dobrou transparentností pro účinné testování penetrace injektážních prostředků. Zkouška stanovení nasákavosti byla zvolena pro své nenáročné provedení a prvotní prokázání účinnosti zkoušených injektážních gelů. Zkoušky stanovení vztlínivosti a stanovení míry penetrace pomocí indikátoru byly zvoleny pro svou korespondenci s principem působení injektážních gelů v praxi.

V rámci řešení projektu MPO FR-TI4/270 bylo provedeno ověření účinnosti u osmi injektážních gelů. U nichž bylo provedeno ověření účinnosti zkouškou stanovení nasákavosti. Dále byla u gelu D stanovena míra penetrace pomocí indikátoru.

Při zkoušce stanovení nasákavosti byla sledována účinnost gelů na snížení nasákavosti. Z naměřených výsledků je patrné, že ne všechny gely jsou účinné pro všechny druhy zkoušených materiálů, jako se projevilo například u zkoušených gelů E, F, G a H. Konkrétně gel E lze ze všech zkoušených gelů vyhodnotit jako nejméně účinný pro snížení nasákavosti. Oproti tomu gely A, B, C a D lze považovat za účinné na všech typech zkoušených materiálů. Největší snížení nasákavosti s hodnotou 88,89 % bylo dosaženo po aplikaci gelu A na vzorek zdící malty 1.

Poslední provedenou zkouškou dle navržené metodiky byla zkouška stanovení míry penetrace infuzní clony pomocí indikátoru. Tato zkouška lépe vystihovala princip působení gelů při provádění injektáží, jelikož gel byl při této zkoušce aplikován do zmenšených vrtů. Pro tuto zkoušku byl vybrán gel D. Z hlediska vizuálního vyhodnocení nejlepších výsledků

dosahovala cihla pískovcová, u které jako jediné byla vytvořena infuzní clona a penetraci injektážním gelem šlo považovat za účinnou. Penetrace u cihly plné pálené a pórobetonu byla vyhodnocena jako neúčinná.

Z hlediska testování účinnosti dodaných gelů se sestavená metodika projevila jako velmi účinná pro toto vyhodnocení. Pomocí naměřených hodnot a vyhodnocení dle metodiky lze jako nejúčinnější stanovit gely A, B, C a D, které nejlépe snižovaly nasákavost zkoušených materiálů.

*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.*

Použitá literatura a normy

- [1] BALÍK, M. *Odvhlčování staveb*. 1. vyd. Praha: Grada, 2005, 286 s. ISBN 80-247-0765-9
- [2] BALÍK, M. *Vysušování zdiva II*. Vydání první. Praha: Grada, 1997. ISBN 80-7169-440-1.
- [3] SVOBODA, L. *Stavební hmoty*. 3. elektronické vyd. Praha: 2013, 950 s. ISBN 978-80-260-4972-2. Dostupné z: <http://people.fsv.cvut.cz/~svobodan/sh/>
- [4] DROCHYTKA, R., MATULOVÁ, P. *Lehké stavební látky. Předmět BJ10. Modul M01. Studijní opory*. Brno, 2006. VUT v Brně, fakulta stavební
- [5] SOLAŘ, J. *Odstraňování vlhkosti: sanace vlhkého zdiva*. 1. vyd. Praha: Grada, 2013, 101 s. ISBN 978-80-247-4708-8
- [6] DOHNÁLEK, P., BOHUŠ Š. a kolektiv. *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, 2012. VUT v Brně, fakulta stavební.
- [7] *Sanace vlhkého zdiva budov: 4. symposium s mezinárodní účastí Plzeň, říjen 1990 : sborník přednášek*. Plzeň: Závodní pobočka ČSVTS Stavebního podniku města Plzně, 1990, 284 s.
- [8] DOHNÁLEK, P., DROCHYTKA, R. a kolektiv. *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.
- [9] ROVNANÍKOVÁ, P. *Stavební chemie*. Vyd. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2005, 48 s. ISBN 80-720-4410-9
- [10] *Agua saning*, [online]. [cit. 2014-03-25]. Dostupné z: <http://www.aquasaning.cz/content/sanipol.html>
- [11] *Sanace a vysoušení staveb*, [online]. [cit. 2014-03-25]. Dostupné z: <http://www.sanace-staveb.cz/sanacni-technologie>
- [12] *Asistent pro zdravé bydlení*, [online]. [cit. 2014-03-25]. Dostupné z: <http://www.nano-gel.biznysweb.cz/product/vysouseni-zdiva-39>

- [13] WTA směrnice 4-4-04/D: Injektáž zdiva proti kapilární vlhkosti. Praha: Tauris, 2005. ISBN 80-02-01773-0.
- [14] WTA směrnice 2-9-04/D Sanační omítkové systémy. Praha: Vědeckotechnická společnost pro sanace staveb a péči o památky – WTA CZ, 2008
- [15] ČSN P 73 0600 Hydroizolace staveb – Základní ustanovení (2000)
- [16] ČSN P 73 0610 Hydroizolace staveb – Sanace vlhkého zdiva – Základní ustanovení (2000)
- [17] ČSN EN 480-11 Přísady do betonu, malty a injektážní malty - Zkušební metody - Část 11: Stanovení charakteristiky vzduchových pórů ve ztvrdlém betonu (2006)
- [18] ČSN 73 1357: Stanovení kapilárních vlastností pórobetonu
- [19] ČSN EN 772-11: Část 11: Stanovení nasákavosti betonových tvárnic a zdících prvků z umělého a přírodního kamene vlivem kapilarity a počáteční rychlosti nasákavosti pálených zdících prvků
- [20] ČSN 73 2578: Zkouška vodotěsnosti povrchové úpravy stavebních konstrukcí

Seznam tabulek

Tab. 1: Orientační fyzikální vlastnosti cihelného střepe [3]	12
Tab. 2: Fyzikálně-mechanické vlastnosti pískovce [3]	13
Tab. 3: Hodnoty pevnosti v tlaku v třídách malt [3]	14
Tab. 4: Fyzikálně-mechanické vlastnosti pískových pórobetonových tvárnic [3]	15
Tab. 5: Pevnost cihly a malty v závislosti na vlhkosti [1]	23
Tab. 6: Klasifikace vlhkosti zděných konstrukcí podle ČSN P 73 0610 [16]	24
Tab. 7: Přehled druhů injektážních materiálů a jejich působení v pórech zdiva [2]	38
Tab. 8: Charakteristika injektážních prostředků ke snížení vlhkosti v kapilárně zavlhém systému [13]	39
Tab. 9: Vyhodnocení snížení nasákavosti	46
Tab. 10: Vyhodnocení snížení vztlínivosti	46
Tab. 11: Vyhodnocení vizuální míry penetrace	47

Seznam obrázků

Obr. 1 – Vliv relativní vlhkosti vzduchu na rovnovážnou vlhkost stavebního materiálu [3] ..	18
Obr. 2 – Geometrie pórů a detail prostupu vlhkosti kapilárami a dutinami ve zdivu [1]	20
Obr. 3 – Typické cesty pro průnik vody a vlhkosti do zdiva [7]	22
Obr. 4 – Schéma řetězové pily [11]	27
Obr. 5 – Schéma lanové pily [11]	28
Obr. 6 – Princip zarážení izolačních plechů do zdiva (HW systém) [5]	29
Obr. 7 – Princip působení hydroizolační chemické clony [10]	30
Obr. 8 – Elektrokinetický jev [5]	30
Obr. 9 – Schéma aktivní elektroosmózy [11]	31
Obr. 10 – Vodorovná izolace vodonepropustným stavivem [5]	33

Obr. 11 – Příklad použití jílových těsnících vrstev [5]	34
Obr. 12 – Osazení budovy nad hladinou podzemní vody v nepropustném podloží s trvalým odvodněním základové spáry pomocí drenáže [5]	35
Obr. 13 – Mikrovlnné vysoušení zdiva [12]	35
Obr. 14 – Schéma provádění injektážních vrtů [6]	36
Obr. 15 – Principy působení snižování vlhkosti – schematické zobrazení [13].....	38
Obr. 16 – Beztlaková injektáž [13]	41
Obr. 17 – Tlaková injektáž [13]	42
Obr. 18 – Testované stavební materiály (postupně): D2 – cihla plná pálená, D1 – cihla pískovcová, B1 – pórobeton, M1 – zdící malta 1, M2 – zdící malta 2	44
Obr. 19 – Metodika stanovení účinnosti penetrace injektážních gelů.....	45
Obr. 20 – Hodnoty nasákavosti vzorků cihly plné pálené a pórobetonu.....	48
Obr. 21 – Hodnoty nasákavosti vzorků dvou zdících malt	48
Obr. 22 – Procentuální snížení nasákavosti vzorků ošetřených injektážním gelem vzhledem k neošetřenému vzorku.....	49
Obr. 23 – Míra penetrace cihly plné pálené	49
Obr. 24 – Míra penetrace cihly pískovcové	50
Obr. 25 – Míra penetrace pórobetonu	50