



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV TECHNOLOGIE STAVEBNÍCH HMOT A
DÍLCŮ

INSTITUTE OF TECHNOLOGY OF BUILDING MATERIALS AND
COMPONENTS

GELOVÝ INFUZNÍ CLONOVÝ SYSTÉM
PRO DODATEČNOU HYDROIZOLACI
RŮZNÝCH DRUHŮ ZDIVA S VYUŽITÍM
DRUHOTNÝCH SUROVIN

GEL INFUSION SCREEN SYSTEM FOR ADDITIONAL WATERPROOFING OF
VARIOUS TYPES OF MASONRY WITH SHARE OF SECONDARY RAW
MATERIALS

DISERTAČNÍ PRÁCE

DOCTORAL THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Ing. Jindřich Melichar

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA

BRNO 2018

ABSTRAKT

Prakticky jakýkoliv stavební objekt v našem klimatickém pásu čelí v nějaké formě působení vlhkosti. Převážně starší a historické budovy jsou nejvíce postiženy negativním vlivem působení vody. Dříve docházelo k dodatečnému snižování vlhkosti pouze mechanicky, a to zarážením izolačních plechů nebo probouráváním a podřezáváním zdiva. Postupem času byly vyvinuty i chemické metody sanace vlhkého zdiva, které jsou v porovnání s mechanickými značně jednodušší stran aplikace a šetrnější ke staticce ošetřovaných budov, což je činí ideálními pro ošetřování historických budov, anebo objektů, které by nesnesly výraznější narušení. Hlavním principem chemických metod sanace vlhkého zdiva je aplikace speciálního materiálu do linie vyvrtaných otvorů s danou roztečí. Následnou penetrací injektážního materiálu dochází k protnutí výseči jednotlivých vrtů, a tak k vytvoření tzv. injektážní clony, která zabraňuje vzlínání vlhkosti nad ni. Injektážní materiály mohou rovněž obsahovat podíl druhotných surovin, čímž dochází ke snížení vlivu dopadu výroby na životní prostředí. Efektivitu infuzních materiálů ve zdivu ovlivňuje celá řada faktorů, jako je teplota, vlhkost, či druh ošetřovaného materiálu. Důležitým faktorem je též zjištění efektivity sanačního materiálu, prokázáním jeho schopnosti penetrovat stavební materiál prostřednictvím identifikace jeho přítomnosti v něm.

KLÍČOVÁ SLOVA

Sanace vlhkého zdiva, infuzní clona, injektážní gel, vzlínavost, vlhkost, hydroizolace, zdící materiál, pískovec, pórobeton, cihla plná pálená, zdící malta

ABSTRACT

Virtually any construction project in our climate zone is facing some form of moisture. Older and historical buildings are mostly affected by the negative impact of water. Previously, the additional reduction of the moisture was executed only by mechanical methods, pushing insulating sheets or breaking through and cutting of masonry. Over time chemical methods were also invented, which are compared to the mechanical considerably simpler and user friendly applications to statics of treated buildings, making them ideal for the treatment of historical buildings or buildings that would not bear significant disruption. The main principle of chemical methods of redevelopment of wet masonry is the application of special material into the line of drilled holes with a given pitch. Subsequent penetration of the grouting material is believed to intersect an arc of individual drill holes, and thus to create so-called grout curtain that prevents the accumulation of water above it. Injection material may also contain a proportion of secondary raw materials, thereby reducing the influence of the impact of production on the environment. Efficiency infusion materials in masonry affected by many factors, such as temperature, humidity, or the type of material treated. It is also an important factor to determine the effectiveness of the remediation of the material, proving its ability to penetrate the building material by identifying its presence in it.

KEYWORDS

Redevelopment of wet masonry, infusion screen, injection gel, capillarity, humidity, waterproofing, masonry, sandstone, aerated concrete, burnt brick, mason mortar

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE VŠKP

Ing. Jindřich Melichar *Gelový infuzní clonový systém pro dodatečnou hydroizolaci různých druhů zdiva s využitím druhotných surovin*. Brno, 2018. 146 s., 12 s. příl. Disertační 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 disertační práci zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 9. 5. 2018

Ing. Jindřich Melichar
autor práce

PODĚKOVÁNÍ:

Za odborné vedení a rady při řešení disertační práce velmi děkuji svému školiteli prof. Ing. Rostislavu Drochytzkovi, CSc., MBA. Poděkování také patří kolektivu Ústavu technologie stavebních hmot a dílců, zejména Ing. Vítovi Černému, Ph.D. a Ing. Tomáši Melicharovi, Ph.D. Dále děkuji mojí manželce Monice a rodičům za neutuchající podporu. V neposlední řadě děkuji také Ministerstvu průmyslu a obchodu za finanční podporu z prostředků státního rozpočtu, jejichž část byla využita k provedení některých analýz v rámci řešení projektu FR-TI4/270.

OBSAH:

ÚVOD	11
TEORETICKÁ ČÁST	12
1 SHRUTÍ STÁVAJÍCÍCH POZNATKŮ	13
1.1 Degradace stavebních materiálů.....	13
1.1.1 Fyzikální degradace.....	13
1.1.2 Chemická degradace.....	13
1.1.3 Biologické degradační procesy.....	14
1.2 Vlhkost zdících prvků	14
1.2.1 Transport vody a vlhkosti ve stavebních materiálech.....	14
1.2.1.1 <i>Difuze</i>	15
1.2.1.2 <i>Kapilární vedení vlhkosti</i>	15
1.2.1.3 <i>Kapilární kondenzace</i>	16
1.2.1.4 <i>Povrchová kondenzace</i>	17
1.2.1.5 <i>Sorpce</i>	17
1.2.1.6 <i>Vysychání</i>	18
1.2.2 Příčiny zvýšené vlhkosti stavebních konstrukcí	18
1.2.2.1 <i>Voda srážková</i>	19
1.2.2.2 <i>Zemní vlhkost</i>	20
1.2.2.3 <i>Voda kondenzující</i>	20
1.2.2.4 <i>Hygroskopická vlhkost</i>	21
1.2.3 Vliv vlhkosti stavebních materiálů na statiku budov.....	22
1.2.3.1 <i>Vliv vlhkosti na mechanicko-fyzikální vlastnosti stavebních materiálů</i>	23
1.3 V praxi nejpoužívanější stavební materiály postihované vztlínající vlhkostí	24
1.3.1 Zdíci kámen	24
1.3.2 Pojiva.....	25
1.3.3 Malty.....	25
1.3.4 Beton.....	25
1.3.5 Keramika	26
1.4 Metody snižování vlhkosti konstrukcí	26
1.4.1 Vzduchové izolační systémy	26
1.4.1.1 <i>Vzduchové dutiny</i>	27
1.4.1.2 <i>Ostatní vzduchové systémy</i>	29
1.4.2 Jílové izolace	31
1.4.3 Elektroosmotické metody sanace vlhkého zdiva	33
1.4.3.1 <i>Elektroosmóza</i>	33

1.4.3.2	<i>Elektrolýza</i>	34
1.4.3.3	<i>Druhy elektroosmotických metod</i>	34
1.4.4	Plošné izolace	37
1.4.4.1	<i>Typy provedení</i>	37
1.4.4.2	<i>Metody plošných izolací spodní stavby</i>	37
1.4.5	Sanace zdiva prostřednictvím dodatečných bariér.....	43
1.4.5.1	<i>Mechanické metody</i>	43
1.4.5.2	<i>Chemické metody</i>	46
2	CÍLE PRÁCE	52
	EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	53
3	METODIKA PRÁCE	54
3.1	Specifikace jednotlivých etap řešení	54
3.1.1	Etapa I – Volba materiálového složení gelové infuzní clony	54
3.1.2	Etapa II – Stanovení vlastností testovaných stavebních materiálů	55
3.1.3	Etapa III – Laboratorní zkoušky navržených receptur gelové infuzní clony	56
3.1.4	Etapa IV – Praktické zkoušky nově navržené infuzní clony	57
3.1.5	Etapa V – Metodika stanovení přítomnosti injektážního gelu ve stavebním materiálu.....	58
3.2	Postup prací	59
3.2.1	Etapa I - Volba materiálového složení gelové infuzní clony	59
3.2.2	Etapa II – Stanovení vlastností testovaných stavebních materiálů	60
3.2.2.1	<i>Porozímetrie</i>	60
3.2.2.2	<i>Spacing factor</i>	60
3.2.2.3	<i>Objemová hmotnost</i>	61
3.2.3	Etapa III – Laboratorní zkoušky navržených receptur gelové infuzní clony	61
3.2.3.1	<i>Stanovení nasákavosti</i>	62
3.2.3.2	<i>Stanovení povrchové vodotěsnosti</i>	62
3.2.3.3	<i>Stanovení vzduchové propustnosti metodou Torrent</i>	62
3.2.3.4	<i>Stanovení vzlínivosti</i>	64
3.2.3.5	<i>Stanovení míry penetrace infuzních gelů v závislosti na teplotě</i>	64
3.2.3.6	<i>Stanovení míry penetrace infuzních gelů v závislosti na vlhkosti</i>	64
3.2.3.7	<i>Vyhodnocení výsledků laboratorních zkoušek</i>	65
3.2.4	Etapa IV – Praktické zkoušky infuzní clony	65
3.2.4.1	<i>Testování zkušebních pilířů dle směrnice WTA 4-4-04/D</i>	65
3.2.5	Etapa V – Metodika stanovení přítomnosti injektážního gelu ve stavebních materiálech	67
4	VÝSLEDKY, VYHODNOCENÍ A JEJICH DISKUZE	68
4.1	Etapa I – Volba materiálového složení gelové infuzní clony.....	68

4.1.1	Volba vhodné chemické báze infuzní clony	68
4.1.2	Výběr vhodných druhotných a alternativních surovin.....	68
4.1.3	Volba druhotných a alternativních surovin pro gelové infuzní clony.....	76
4.1.4	Návrh materiálového složení nové infuzní clony	77
4.1.5	Laboratorní příprava receptur gelové infuzní clony	78
4.2	Etapa II – Stanovení vlastností testovaných stavebních materiálů.....	79
4.2.1	Volba spektra testovaných stavebních materiálů.....	79
4.2.1.1	<i>Cihelné zdivo</i>	79
4.2.1.2	<i>Zdíci kámen</i>	80
4.2.1.3	<i>Zdíci malta</i>	81
4.2.1.4	<i>Smíšené zdivo</i>	82
4.2.1.5	<i>Pórobeton</i>	83
4.2.2	Provedení laboratorních zkoušek pro stanovení vlastností testovaných materiálů.....	84
4.2.2.1	<i>Stanovení porozity testovaných stavebních materiálů</i>	84
4.2.2.2	<i>Stanovení spacing factoru testovaných materiálů</i>	85
4.2.3	Shrnutí materiálových vlastností testovaných stavebních materiálů	87
4.3	Etapa III – Laboratorní zkoušky navržených receptur gelové infuzní clony	89
4.3.1	Zkoušky funkčnosti hydroizolačních gelů na povrchu zkušebních těles.....	89
4.3.1.1	<i>Stanovení nasákavosti</i>	89
4.3.1.2	<i>Stanovení povrchové vodotěsnosti</i>	91
4.3.1.3	<i>Stanovení Vzduchové propustnosti metodou Torrent</i>	93
4.3.2	Zkoušky funkčnosti gelů injektovaných do zkušebních těles.....	97
4.3.2.1	<i>Injektáž zkušebních těles</i>	97
4.3.2.2	<i>Stanovení vzlínivosti</i>	99
4.3.2.3	<i>Stanovení míry penetrace v závislosti na teplotě stavebního materiálu</i>	103
4.3.2.4	<i>Stanovení míry penetrace v závislosti na vlhkosti stavebního materiálu</i>	106
4.3.3	Optimalizace výsledků laboratorních zkoušek	109
4.3.4	Posouzení vlivu přítomnosti hydroizolačního gelu na porozitu stavebních materiálů ...	111
4.4	Etapa IV – Praktické zkoušky infuzní clony	113
4.4.1	Volba vhodných stavebních konstrukcí pro praktické zkoušky	113
4.4.1.1	<i>Zděné pilíře dle směrnice WTA 4-4-04/D</i>	113
4.4.1.2	<i>Volba reálné budovy pro praktické zkoušky</i>	114
4.4.2	Testování a výsledky praktických zkoušek infuzní clony	114
4.4.2.1	<i>Testování zděných pilířů dle směrnice WTA 4-4-04/D</i>	115
4.4.2.2	<i>Testování infuzní clony in-situ</i>	122
4.5	Metodika posouzení účinnosti injektážního gelu ve stavební konstrukci	125
4.5.1	Stanovení nasákavosti.....	125

4.5.2	Infračervená spektrometrie	127
4.5.3	Diferenční termická analýza (DTA)	127
4.5.4	Optické sledování míry penetrace zdiva	128
5	ZÁVĚR	130
	POUŽITÉ ZDROJE	133
	SEZNAM TABULEK	137
	SEZNAM OBRÁZKŮ	139
	SEZNAM ZKRATEK A SYMBOLŮ	144
	SEZNAM PŘÍLOH	145
	PŘÍLOHY	146

ÚVOD

Předkládaná disertační práce se zabývá problematikou vývoje a stanovení účinnosti hydroizolačních injektážních hmot v různých typech stavebních materiálů.

Na kterýkoliv stavební objekt v našem okolí působí celá řada negativních činitelů, mezi které patří například působení větru, sněhu, vody nebo mrazu. Většina staveb v našem klimatu se ale potýká prakticky vždy s působením vlhkosti. Degradace, třeba i jednoho stavebního materiálu zabudovaného do stavební konstrukce, má za následek postupné snižování trvanlivosti a životnosti nejen samotného stavebního materiálu, ale i celé konstrukce, ve které je daný stavební materiál zakomponován. Pokud tato situace nastane, je nutno přistoupit k sanaci objektu. Mezi nejčastější vlhkostně namáhané části objektu patří soklové a podzemní části staveb.

V minulosti bylo v mnoha případech na našem území dodatečné snižování vlhkosti prováděno mechanickými metodami. Jednalo se především o zarážení plechových plátů, podřezávání nebo probourávání zdiva v takovém rozsahu, aby mohla být do vytvořené spáry dodatečně vložena hydroizolace, která u mnohých poškozených objektů chyběla, popřípadě došlo ke ztrátě její životnosti. Dodatečným vložením hydroizolačního materiálu do zdiva došlo k vytvoření hydroizolační clony, která bránila dalšímu šíření vlhkosti. Všechna sanační opatření na tomto principu jsou značně náročná nejen na čas, ale zejména na statiku budov. V této souvislosti vzešel požadavek na návrh nových a méně náročných sanačních opatření.

Postupem času byla vynalezena a do praxe zavedena chemická metoda sanace vlhkého zdiva tzv. metoda chemických infuzních clon. Ta spočívá ve vytvoření linie vrtů ve zdivu ve zvolené výšce vlhkého zdiva, které jsou následně napouštěny speciálním roztokem, jež ve zdivu penetruje a hydrofobizuje póry v oblasti vrtů. Díky dostatečné penetraci infuzního materiálu v okolí vrtu do takové míry, že dojde k protnutí výsečí sousedních vrtů tak dochází k vytvoření jednolitě hydroizolační clony. Tato metoda je v dnešní době díky své funkčnosti a relativně malé náročnosti na podmínky aplikace velmi rozšířená nejen v ČR, ale i v ostatních zemích Evropy. Efektivitu injektážního prostředku ovlivňuje celá řada faktorů, mezi něž patří např. vlhkost, teplota či druh ošetřovaného stavebního materiálu.

TEORETICKÁ ČÁST

1 SHRnutí STÁVAJÍCÍCH POZNATKŮ

Pro pochopení příčiny aplikace metod zamezujících průniku vzlínající vlhkosti do stavebních materiálů je důležité znát mechanismy transportu vlhkosti a jejího působení v dané konstrukci. Z tohoto důvodu bude v následující kapitole rozebrána problematika působení vlhkosti ve stavebních materiálech. Následně budou popsány metody sanace vlhkého zdiva, včetně metod injektážních.

1.1 Degradace stavebních materiálů

Schopnost odolávat účinkům degradačních procesů je označována jako trvanlivost stavebních materiálů. Degradací procesy mohou vést k významným změnám ve vlastnostech stavebních prvků a následně pak celého stavebního objektu. S trvanlivostí stavebních materiálů tedy úzce souvisí i životnost stavby. Jako životnost je označována celková doba, po kterou stavba plní funkci, pro niž byla navržena, aniž by docházelo k neekonomickému zvyšování nákladů na její provoz.[1]

1.1.1 Fyzikální degradace

Procesy fyzikální degradace jsou takové, při nichž dochází k působení vnější nebo vnitřní síly na materiál, která narušuje jeho porézní strukturu. Nejčastějšími zdroji těchto tlaků jsou změny teploty, voda (srážková, povrchová, vzlínající nebo kondenzační), tvorba nových minerálů nebo mechanické účinky.[2]

Tlaky vznikající uvnitř materiálu krystalizací solí nebo hydratačními tlaky narušují jeho póry. Tyto tlaky jsou v převážné míře způsobovány rostoucím objemem krystalů solí. Finální hodnotu těchto tlaků mohou dosahovat hodnot v řádu až desítek MPa, což jsou vyšší hodnoty než běžně dosahované pevnosti v tahu daných stavebních materiálů. Vlivem hydratace síranu vápenatého nebo dochází k tvorbě jeho dihydrátu a tím k tlaku až 110 MPa a stejně tak při hydrataci síranu sodného, kdy dochází ke vzniku přetlaku až 25 MPa.[2]

1.1.2 Chemická degradace

Tato skupina v sobě zahrnuje děje, při nichž se mění chemické složení materiálu nebo některé jeho složky reakcí s okolím (vzlínající vodou, atmosférickými nečistotami apod.). Výsledkem probíhající chemické degradace (koroze) je většinou změna barvy, objemu a hlavně zvýšení rozpustnosti napadené složky.[3]

Rychlost chemické koroze je určena difúzí agresivních látek povrchovou vrstvou materiálu. U koroze betonů mají všechny procesy spojené se snižováním obsahu hydroxidu vápenatého v cementovém tmelu vliv na korozi ocelové výztuže. V případě, že koroze cementového tmele probíhá působením kapalných látek, je rozdělována do tří skupin. Koroze I. druhu se vyznačuje vyluhováním a rozpouštěním dalších podílů hydroxidu vápenatého, vzniklého hydratací cementu. Dochází ke snížení koncentrace hydroxidových iontů, a tím i ke snížení hodnoty pH pórového roztoku.[2]

Koroze II. druhu je způsobována výměnnými reakcemi mezi složkami cementového tmele, zejména hydroxidu vápenatého. Zahrnuje reakce agresivního oxidu uhličitého,

hydroxidů. Kyselin, hořečnatých a amonných solí a výsledkem jsou rozpustné nebo nerozpustné sloučeniny, které nemají vazebné vlastnosti.[3]

Koroze III. druhu je označována porušování betonu vlivem tvorby objemných sloučenin. Tento typ koroze je způsobován hlavně síran, které reagují s hydroxidem vápenatým a vytvářejí málo rozpustný síran a způsobují sádrovcovou korozi. Vznik sádrovce zvyšuje nárůst objemu až o 17 %, a tím k zaplnění pórů a může dojít i ke vzniku objemnějších krystalů, kdy dochází k nárůstu tlaků řádově až o desítky MPa. Sádrovec pak reaguje s hlinitanem a dochází ke vzniku ettringitu, který vytváří jehlicovité krystaly.[3]

Plynnou degradaci betonů mohou způsobovat buďto plyny kyselého charakteru (oxid uhličitý, siřičitý, dusičitý nebo sulfan) a ostatní plyny jako amoniak či plynný chlor. Reakce složek cementového tmelu, zejména hydroxidu vápenatého, s kyselými plyny lze obecně nazvat neutralizací. Nejlépe prostudovaným napadením prostřednictvím plynných látek je reakce s oxidem uhličitým, též zvaná karbonatace.[3]

1.1.3 Biologické degradační procesy

Působení biologických faktorů je jak fyzikální, tak i chemické. Jako fyzikální lze uvažovat např. působení růstu kořenů rostlin, kdy kořeny dřevin mohou podrústat konstrukce a způsobovat mechanické poškození nebo tvorba mechů, řas a lišejníků na povrchu stavebních materiálů. Chemická biodegradace je zase způsobována produkty životních pochodů vyšších živočichů (moč, exkrementy) a bakterií. Degradaci bakteriálního původu opět významně ovlivňuje přítomnost vodního prostředí, vyšší teploty a kyslíku.[3]

1.2 Vlhkost zdících prvků

Prostorová vlhkost a vlhkost zdiva budov jsou základními problémy, které zároveň se statikou ovlivňují potřebu k přistoupení ke krokům v rámci rekonstrukce budovy, jejího rozsahu a způsobu. Může se též jednat o problém kvality novostaveb, které často není možné zkolaudovat z důvodů vlhkosti zdiva.

1.2.1 Transport vody a vlhkosti ve stavebních materiálech

Nedílnou součástí prakticky všech budov tvořených porézními stavebními materiály je vlhkost. V případě, že dojde k jejímu nahromadění, které urychluje degradační procesy a zhoršuje užitné vlastnosti budovy, stává se vlhkost velkou obtížností. Aby mohlo dojít k zamezení takovýchto situací, je nutné pochopit mechanismy vázání a šíření vlhkosti stavebními materiály a konstrukcemi.[4]

Šíření vlhkosti v porézních stavebních materiálech může probíhat jak v plynné, tak v kapalně fázi. Vlastní vedení se obvykle dělí na mechanismy difuze pro vodní páru a kapilární vedení pro kapaliny.[4]

Základní podmínkou vlhkostních pochodů v materiálu je přítomnost otevřených pórů, která tyto pochody rovněž výrazně ovlivňuje. Nejdůležitější z technického hlediska je řešit pórovou strukturu jako základní informaci při rozhodování o sanačních opatřeních.[4]

1.2.1.1 Difuze

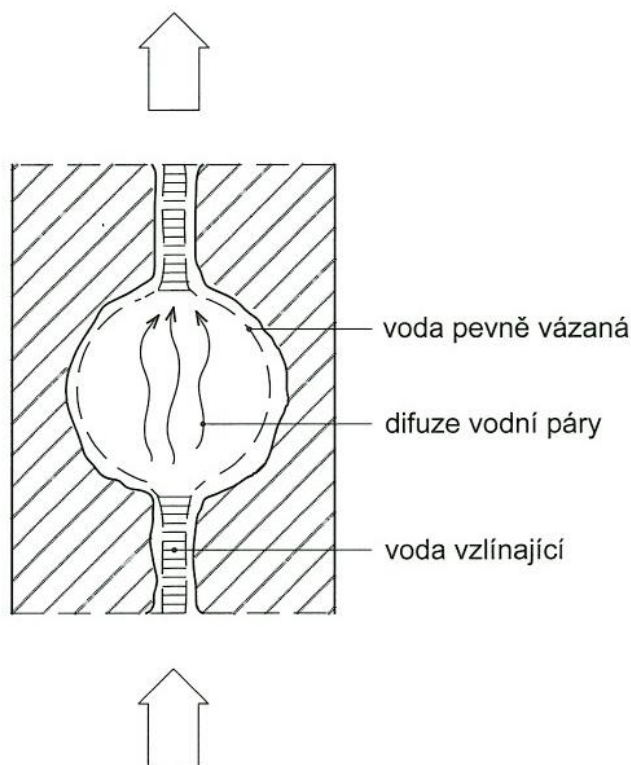
U objektů, v nichž dochází k vytváření vnitřního klimatu nezávisle na proměnách klimatu vnějšího, dochází ke vzniku rozdílů mezi vlhkostí vzduchu, resp. teploty vzduchu v exteriéru a v interiéru. Vyrovnáváním těchto rozdílů vzniká tok vlhkosti a tok tepla obalovými konstrukcemi. Směr difuzního toku je dán snahou po vyrovnání existujících tlakových rozdílů z místa s vyšším parciálním tlakem vodní páry do místa s tlakem nižším. Tento transport vlhkosti je nazýván difuze.

Difuzi pohání dva mechanismy – gradient tlaku a gradient teploty. Gradient teploty (termoosmóza) přivádí vodu k místům s vyšší teplotou, tj. působí v opačném směru difuze. Obě síly se sčítají a výsledný pohyb vlhkosti směřuje buď k vnějšímu, nebo vnitřnímu líci obalové konstrukce.

Vodní látky difundují každou látkou, jejíž minimální velikost pórů je $2,78 \cdot 10^{-10}$ m, což je střední volná dráha molekul vody. V pórech s menším průměrem je difuze vodní páry vyloučena. K difuzi může docházet pouze v kapilárách a pórech vyplněných vzduchem a v těch, které nejsou zcela zaplněny vodou. Přenos vlhkosti se v kapilárně porézních materiálech u velkých pórů uplatňuje difuzí a v malých propojených kapilárách převážně zaplněných vodou probíhá kapilárními silami transmisí. Difuze i transmise probíhají společně, ale nemusí být stejného směru.[5]

1.2.1.2 Kapilární vedení vlhkosti

Dalším významným mechanismem transportu vlhkosti je tzv. kapilární vedení, které je charakteristické pro vodou smáčivé materiály, které představuje téměř naprostá většina běžně používaných stavebních materiálů. Jakmile takový materiál přijde do kontaktu s vodou, tak dochází silnému nasávání vody nezávisle na sklonu póru. Čím větší jsou póry materiálu, tím je sice rychlost transportu vodu větší, ale výška vzlínání je nižší. Transport vlhkosti, kdy dochází ke kapilárnímu vedení, je u většiny stavebních konstrukcí nepřístupný. Vztlínající vlhkost je nejčastější příčinou vlhnutí konstrukcí vystavených působení zemní vlhkosti. Vztlínání vody lze vysvětlit prostřednictvím mechanismu kapilární elevace, která je charakterizována rozdílem výšky hladiny v kapiláře oproti úrovni hladiny v okolí. Tento jev je vyvolán kapilárními silami mezi molekulami kapaliny a povrchem pevné látky. Povrchové napětí způsobuje pohyb kapaliny v kapiláře ve směru výslednice sil (viz Obr. 1).[5]



Obr. 1: Schéma prostupu vlhkosti kapilárami a dutinami zdiva[4]

1.2.1.3 Kapilární kondenzace

K ději označovanému jako kapilární kondenzace dochází uvnitř stavebních konstrukcí a je přímo závislý na četnosti pórů podle jejich poloměrů. V nejjemnějších kapilárách tedy dochází ke kondenzaci vody ještě před dosažením nasyceného tlaku vodní páry. Tento efekt vyjadřuje Kelvinova rovnice:

$$\ln\left(\frac{P}{P_0}\right) = -\frac{\delta}{R \cdot T \cdot \rho \cdot r} \quad (1)$$

Kde P/P_0 je relativní vlhkost vodní páry vyjádřená jako poměr tlaků, δ povrchové napětí vody[N/m], ρ hustota vody[kg/m³], r poloměr kapiláry[m], R plynová konstanta[J/kg·K] a T představuje absolutní teplotu [K]. Z tohoto vztahu lze odvodit, že kapiláry s poloměrem cca 10⁻⁶ m se zaplňují vodou kapilární kondenzace již při relativní vlhkosti vzduchu zhruba 75 %.

Celkově lze tedy konstatovat, že při stejných vlhkostních a teplotních podmínkách a při stejném objemu pórů se budou dvě stejné látky lišit od sebe vnitřní vlhkostí, jestliže jedna bude mít póry většího poloměru než druhá.[5]

1.2.1.4 Povrchová kondenzace

Jako relativní vlhkost vzduchu (φ) je označován poměr částečného tlaku vzduchu (ρ_v) a částečného tlaku vodní páry ($\rho_{v,sat}$):

$$\varphi = \frac{\rho_v}{\rho_{v,sat}} \cdot 100 \% \quad (2)$$

Zcela suchý vzduch neobsahuje žádnou vodní páru ($\varphi = 0$) a vzduch, který je vodní párou zcela nasycen má $\varphi = 100 \%$.

Částečný tlak vodní páry tedy určuje vztah:

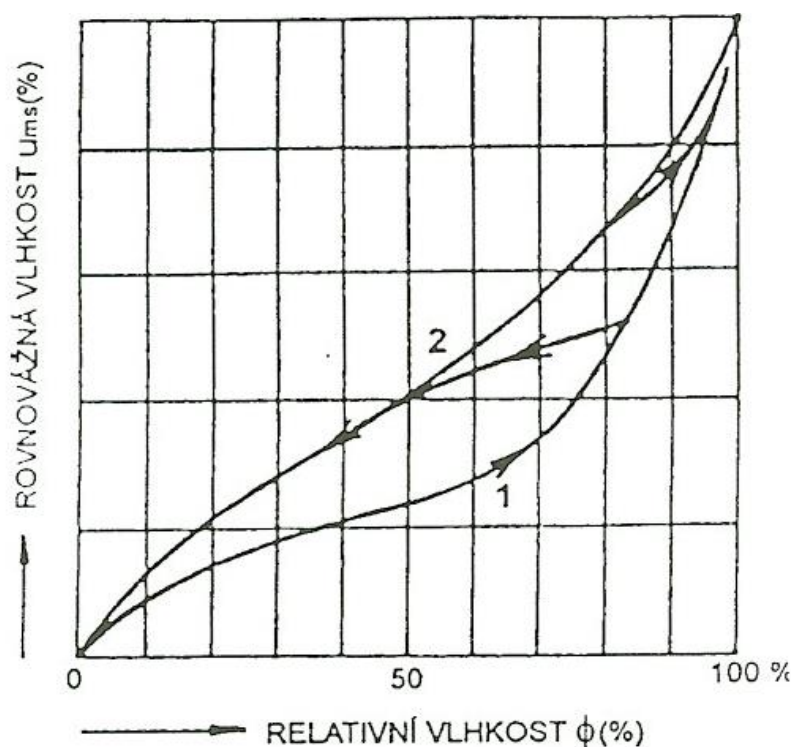
$$\rho_v = \frac{\rho_{v,sat}}{100 \%} \cdot \varphi \quad [Pa] \quad (3)$$

Procento nasycení vodní párou je nezávislé na teplotě. Nastane-li vyrovnání parciálních tlaků, tak dosáhne relativní vlhkost vzduchu 100 %. Jakýkoliv další pokles teploty nebo další zvětšení hodnoty $\rho_{v,sat}$ má za následek to, že veškerá nadbytečná vodní pára ihned zkondenzuje. Kondenzace se projevuje v různých formách, tj. jako mlha, kapičky vody (rosa), jinovatka apod.[4]

1.2.1.5 Sorpce

Stavební materiály prakticky všech konstrukcí pohlcují vodní páry z ovzduší až do dosažení rovnovážného stavu. V případě, že parciální tlak vodní páry ve zdivu je vyšší než v okolí, dochází k opačnému procesu. Rovnovážný stav však závisí na teplotě prostředí a parciálním tlaku vodní páry. Tyto dva jevy jsou označovány jako sorpce a desorpce vodní páry (viz Obr. 2).

Množství takto vázané vody činí 1-2 % hmotnosti celé pórovité hmoty a to podle specifického povrchu kapilár a pórů.[6]



Obr. 2: Izoterma rovnovážné vlhkosti (1 – sorpční izoterma, 2- desorpční izoterma)[4]

1.2.1.6 Vysychání

V počáteční fázi vysychání stavby probíhá nejdříve volné vypařování do okolního prostředí. Postupem času se prostoupí vypařovací zóna do nitra konstrukce, volné vypařování již nemůže pokračovat a vodní páry se musí nejdříve prostřednictvím difuze dostat k povrchu stavebního prvku a odtud se volně odpařit do okolního prostředí.

Proces vysychání závisí na celé řadě faktorů, jako jsou např. teplota a parciální tlak vodních par, rychlost proudění vzduchu, jeho teplota a vlhkost. Ideální podmínky pro vysychání jsou v prostředí se suchým proudícím vzduchem s vyšší teplotou, než je teplota konstrukce. Rovněž je výrazně ovlivněno hustotou, distribucí průměrů a charakterem pórů. Zakřivené póry výrazně zpomalují proces vysychání.[6]

1.2.2 Příčiny zvýšené vlhkosti stavebních konstrukcí

Podle místa a způsobu vnikání vlhkosti do stavebních konstrukcí lze rozdělit vodu v kapalném a plynném skupenství takto:

- voda atmosférická – voda v ovzduší ve všech skupenstvích. Je tvořena vlhkostí vzduchu, srážkami atd.
- podpovrchová voda – voda obsažená v zemině a pod základy budov, lze ji dále dělit na půdní, gravitační, kapilární a podzemní (pod hladinou spodní vody)
- provozní vlhkost – působí na stavbu v důsledku technologického procesu (probíhající uvnitř objektu)

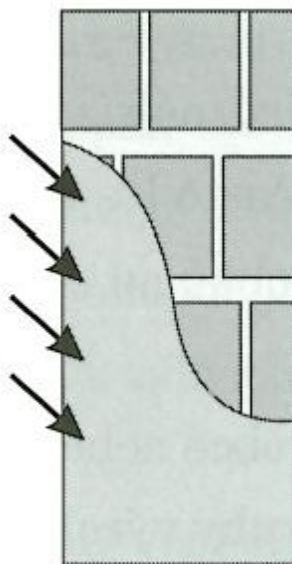
Jednotlivé druhy vlhkostí se mohou vzájemně prolínat. V zeminách vázanou vodu lze rozdělit do tří skupin:

- voda absorpční – je pevně vázána půdními částicemi a je charakterizována tloušťkou vodního obalu kolem vodních částic,
- voda kapilární – působí buďto jako voda kapilárně vzlínající nebo voda kapilárně zavěšená, která je zadržována povrchovými vrstvami zeminy po srážkách a je v rovnovážném stavu nezávisle na vodě podzemní
- voda gravitační – výskyt v zeminách, jejichž částice nejsou větší než 1 mm

1.2.2.1 Voda srážková

Může být hnána větrem, což znamená, že na návětrné straně déšť proniká do zdiva a kritická situace nastává v případě, že je zdivo neomítnuto. Nárazy vodních kapek dosahují značného tlaku a ten způsobuje pronikání vody do velkých hloubek, a to hlavně trhlinami, které radikálně zvyšují propustnost povrchu zdiva pro vodu.

V případě, že se jedná o vodu odstříkující, tak exponovanou částí je zejména spodní část soklového zdiva, jenž je rovněž vystavena působení vody z tajícího sněhu, případně i solím z chemického posypu chodníků. Při nesprávném řešení detailu se déšť na vodorovné straně soklu může odrážet a smáčet zdivo. Stejný problém nastává při nesprávném řešení sklonu chodníků přiléhajících k budově. Působení srážkové vlhkosti ve zdivu je zobrazeno na obrázku 3.

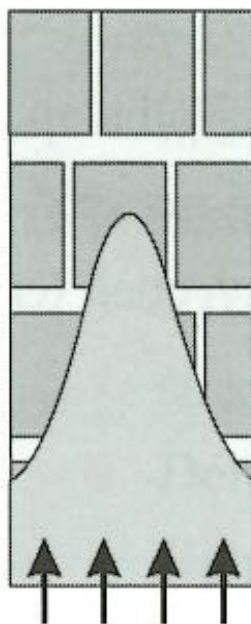


Obr. 3: Průběh srážkové vlhkosti ve zdivu[6]

Srážková voda může rovněž pronikat komínovými průduchy, a to hlavně v případě, že komín není zastřešen komínovým nástavcem. Voda při dešti stéká po stěnách komínu a hromadí se na dně, odkud dochází k jejímu vsakování do okolního zdiva.[5]

1.2.2.2 Zemní vlhkost

Také bývá označována jako voda vzlínající, neboť je vázána v pórovitém horninovém prostředí sorpčními a kapilárními silami. Tato voda proniká do konstrukce kapilárním vzlínáním z podzákladí při chybějící či poškozené svislé plošné hydroizolaci u podsklepních objektů ze zeminy obklopující tyto konstrukce pod úrovní terénu. Kapilarita otevřených pórů zemin zajišťuje přísun vody do základového zdiva. Dále vodní pára difunduje do zdiva z podzákladí a v základovém zdivu je zkondenzovaná voda nasávána póry zdiva a kapilárními silami transportována zdívem vzhůru. Množství vody, jenž se dostane do kontaktu se zdívem určuje intenzitu vzlínání vlhkosti, která rovněž roste s vydatností zdroje a souvisí s propustností zeminy (viz Obr. 4).[7]

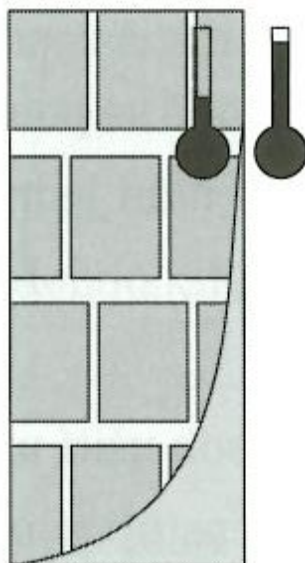


Obr. 4: Průběh vzlínající vlhkosti ve zdivu[5]

1.2.2.3 Voda kondenzující

Ke kondenzaci dochází při poklesu teploty vnitřního povrchu konstrukce pod teplotu rosného bodu vnitřního vzduchu. Voda v těchto podmínkách kondenzuje nejen na úrovni terénu, ale také pod ní. Nejčastěji může být zkondenzovaná vlhkost nalezena v oblastech tepelných mostů.[7]

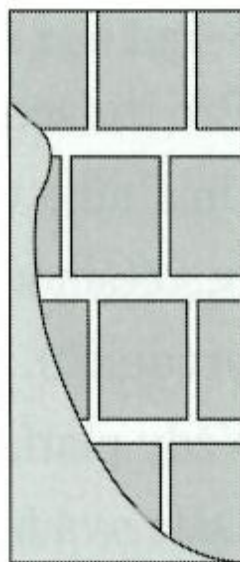
Působení srážkové vlhkosti ve zdivu je zobrazeno na obrázku 5.



Obr. 5: Průběh kondenzující vlhkosti ve zdivu[5]

1.2.2.4 Hygroskopická vlhkost

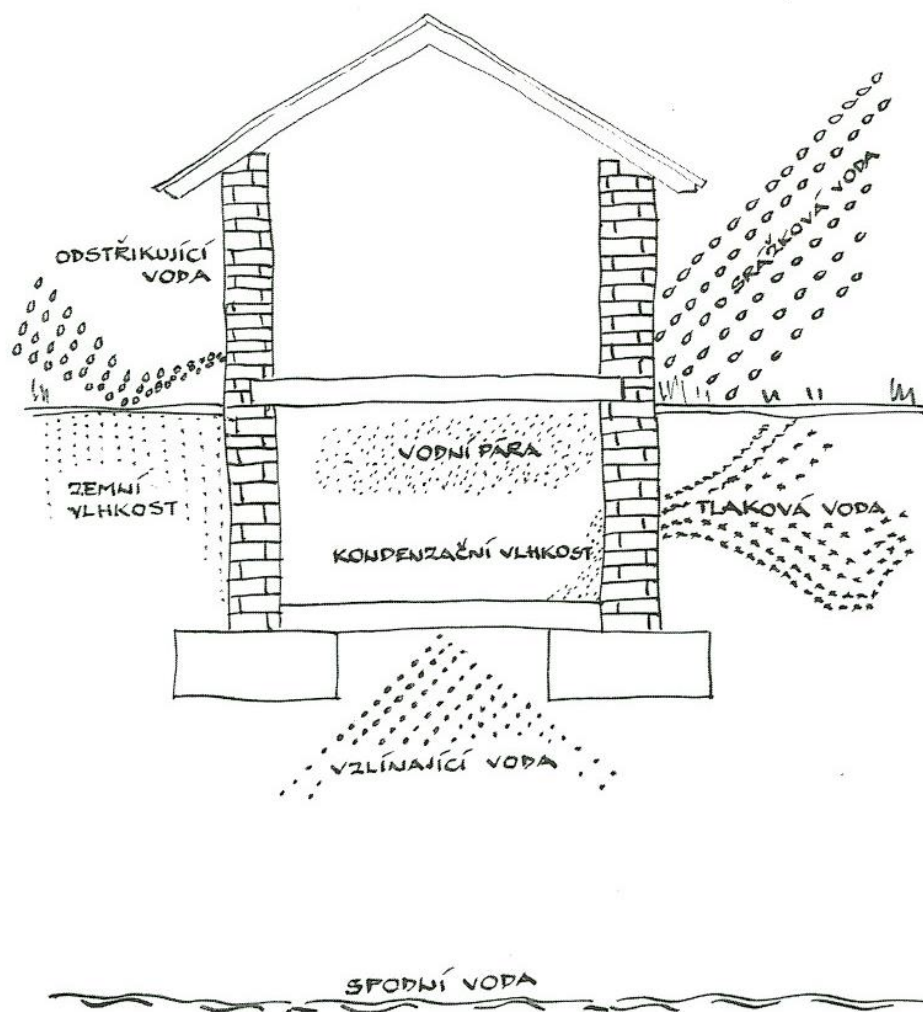
Dochází k ní pouze u stavebních materiálů, které obsahují soli s hygroskopickými vlastnostmi. Tyto soli pak přejímají vodu z okolního vzduchu. Vysoký obsah hygroskopických solí ovlivňuje rovnovážnou vlhkost stavebního materiálu, která pak může dosáhnout několikanásobku rovnovážné vlhkosti nezasoleného materiálu (viz Obr. 6). Tento jev bývá často označován jako salinita zdiva.[7]



Obr. 6: Průběh hygroskopické vlhkosti ve zdivu[5]

Dalšími příčinami zvýšené vlhkosti zdiva může být voda působící hydrostatickým tlakem, zabudovaná technologická vlhkost, pronikání vody poškozenými sanitárními instalacemi či chybějícími nebo porušenými dešťovými okapy a svody.[7]

Jednotlivé typy namáhání stavební konstrukce vodou a vlhkostí jsou přehledně znázorněny na obrázku 7.



Obr. 7: Schéma namáhání stavby vodou a vlhkostí[6]

1.2.3 Vliv vlhkosti stavebních materiálů na statiku budov

Vlhkost a voda má na konstrukce řadu negativních vlivů, např. v oblasti estetické, tepelně technické, hygienické, ale zejména v oblasti statické. Statická spolehlivost je zásadním problémem z hlediska funkce stavby a rozhoduje o možnosti využívání konstrukcí a stavby jako celku.[7]

Na obrázku 8 je znázorněna budova zasažená působením vlhkosti v přízemní části konstrukce.



Obr. 8: *Následek působení vlhkosti na přízemní část zděné konstrukce[8]*

1.2.3.1 Vliv vlhkosti na mechanicko-fyzikální vlastnosti stavebních materiálů

Z obecných průzkumů bylo prokázáno významné snížení pevností v tlaku pórovitých stavebních materiálů, které bylo tím vyšší, čím byla vyšší relativní nasákovatost daného materiálu a tím i vlhkost v něm obsažená. Toto snížení bylo pozorováno v řádu až desítek procent ve srovnání s hodnotami stanovenými u rovnovážných či vysušených vzorků kamene, pálených cihel, malty i dalších materiálů. Výjimku tvoří pouze beton, jemuž vlhkost, není-li doprovázena mrazem nebo zvýšenou chemickou agresivitou, v podstatě prospívá a pevnost naopak zvyšuje. Naopak u hliněných nepálených cihel vede vlhkost k naprosté destrukci materiálu (viz Tab. 1).

U zděných konstrukcí má také rozhodující vliv na odolnost celé konstrukci vůči působení vlhkosti druh a kvalita použité spojovací malty. Např. při použití hliněné malty je velmi vysoká pravděpodobnost výskytu vážnějších poruch.[9]

Tab. 1. *Pevnosti pálených cihel a zdící malty v závislosti na vlhkosti*[4]

	Suchá	Nasáklá	Poměr
Cihla	Vlhkost: 1,95 %	Vlhkost 16,81 %	pevností
Pevnost v tlaku[MPa]	16,10	7,68	0,48
Pevnost v tahu za ohybu[MPa]	3,30	1,14	0,35
Malta	Vlhkost: 0,86 %	Vlhkost 13,45 %	
Pevnost v tlaku[MPa]	1,06	0,83	0,78
Pevnost v tahu za ohybu[MPa]	0,34	0,08	0,24

Vlhkost samozřejmě negativně ovlivňuje i vlastnosti dřeva. U toho je však situace složitější, neboť s rostoucí vlhkostí též roste riziko koroze a narušení prostřednictvím dřevokazných hub a hmyzu.

1.3 V praxi nejpoužívanější stavební materiály postihované vzlínající vlhkostí

V této podkapitole bude shrnuto spektrum stavebních materiálů, u nichž dochází k průběhu vzlínání kapilární vlhkosti, a které jsou zároveň nejpoužívanějšími ve stavební praxi.

1.3.1 Zdíci kámen

Tento stavební materiál se stal nenahraditelným již v dávných dobách pro svoje nenahraditelné vlastnosti, které umožnily kamenným stavbám překonat věky. Zdrojem tohoto stavebního materiálu je zemská kůra, která obsahuje horninové nerosty. Mezi nejcennější vlastnosti tohoto materiálu patří jeho pevnost, hutnost, odolnost proti povětrnostním vlivům a ohni. Rovněž je možné ho velmi dobře opracovávat. Má však velmi vysokou objemovou hmotnost a omezenou možnost strojního opracování. Proto se dnes již většinou používá rozdrceného kamene na menší zrna – kameniva.[9]

Na obrázku 9 je znázorněna část zděné konstrukce vytvořené za použití zdícího kamene.



Obr. 9: Zed' postavená ze zdicího kamene[10]

1.3.2 Pojiva

Tento stavební materiál zaujímá ve stavebnictví velmi důležité postavení. Jsou to látky, které mají schopnost spojovat jiné sypké nebo kusové materiály v jediný soudržný a dostatečně pevný celek. Dělí se do několika skupin.

Vzdušná pojiva jsou taková, jež po rozmísení s vodou tuhnou a tvrdnou a jsou stálé pouze ve vzdušném prostředí. Mezi nejvýznamnější zástupce patří např. sádra a vzdušné vápno.

Hydraulická pojiva jsou taková, která po částečném zatuhnutí na vzduchu tuhnou a tvrdnou a mají tvarovou stálost jak na vzduchu, tak i pod vodou. Mezi nejvýznamnější zástupce hydraulických pojiv patří hydraulické vápno a portlandský cement.[11]

1.3.3 Malty

Malty jsou tradičním stavebním materiálem sloužícím ke spojování stavebních prvků, k ochraně a úpravě povrchů staveb, k těsnění dutin, spár, k tepelné izolaci a ochraně výztuže.

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

Mezi nepoužívanější druhy malt patří vápenné malty, sádrové malty, cementové malty a speciální malty (kyselinovzdorné, žáruvzdorné, provzdušněné).[12]

1.3.4 Beton

Je stavební materiál složený ze směsi drobného a hrubého kameniva, cementu a vody, který vznikne zatvrdnutím cementové kaše. Kromě těchto přísad může také obsahovat přísady nebo příměsi.[12]

Druhů betonů je velké množství. Mohou být děleny dle objemových hmotností, způsobu a místa uložení do konstrukce, způsobu využití v konstrukci, dle způsobu zrání nebo dle

jiného použitého pojiva než portlandského nebo směsného cementu. Dalšími druhy betonu mohou být lehčené betony. Do této kategorie patří pórobeton, pěnobeton a mnoho dalších.[7,12]

1.3.5 Keramika

Průmysl keramiky patří tradičně k nejstarším oborům lidské činnosti. V širším slova smyslu se keramikou rozumí průmyslové zhotovování výrobků pálením keramických surovin, k nimž patří zejména jíly, hlíny, kaolíny, lupky atd.

Tradiční keramická výroba je založena na použití přírodních surovin, které mají schopnost, po smíchání s vodou, vytvářet plastické těsto. Výrobky z tohoto těsta jsou schopné udržet si svůj tvar i po vysušení. Suroviny tvárnivé po rozmíchání s vodou poskytují plastické těsto schopné tvarování (jíloviny, prachoviny, pískoviny) a suroviny netvárlivé, které netvoří plastické těsto, ale mohou například snižovat plastičnost a nebezpečí smrštění (ostřiva), ovlivňovat tavitelnost surovinových směsí, aby již při relativně nízké teplotě došlo ke zhutnění až slinutí střepu (taviva) nebo zmenšují objemovou hmotnost, případně tvorbu pórů (lehčiva). Obecně nejpoužívanější stavební keramikou ve svislých konstrukcích, jež je postihována vztlínající vlhkostí, jsou pálené cihly.[11,12]

1.4 Metody snižování vlhkosti konstrukcí

Vytvoření relativně suchého povrchu zdiva, podlah a stropů se dělí na čtyři základní způsoby.

Jednak tím může být odvod zavlhělého vzduchu, tedy umožnění přestupu vodní páry do atmosféry. Další metodou je vytvoření clony ve zdivu v místech pronikání vlhkosti. Třetím způsobem je shromažďování a odvádění vody v konstrukcích do oblastí pro stavbu neškodných. Poslední metodou jsou povrchové úpravy zajišťující „vydýchávání“ vlhkosti jako řešení hlavní nebo doplňující.

Obecně lze sanační úpravy dělit na metody povrchové a metody takové, které vyžadují dílčí zásah do konstrukce. Zpravidla nelze odstranit vysoké vlhkosti zdiva pouze jednou z těchto metod, vždy se jedná o kombinaci těchto úprav.

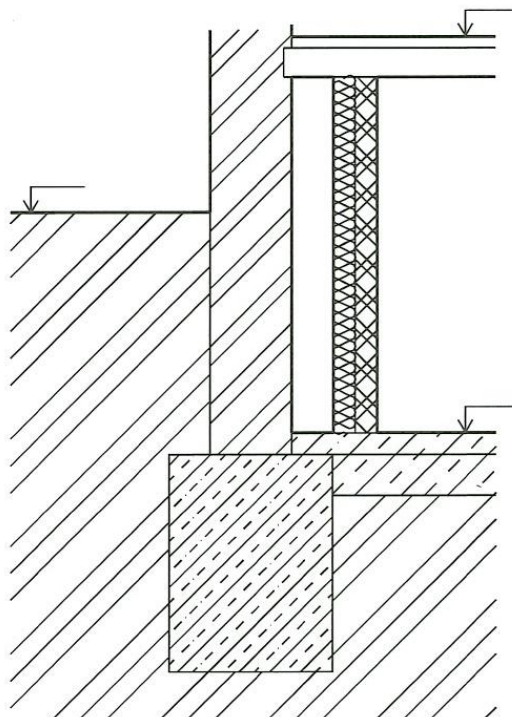
Hlavními aspekty při výběru vhodného opatření jsou jeho souvislosti s dalšími pracemi, složitost jeho provedení, vhodnost aplikace s ohledem na charakter budovy a eventuální historický význam.[6,11]

1.4.1 Vzduchové izolační systémy

Co se týče výstavby nových objektů. Vzduchové izolační systémy již dávno pozbyly významu. Avšak co se týče sanace vlhkého zdiva stávajících objektů, zejména pak budov historických, mají tyto systémy stále své uplatnění, a to zejména z následujících důvodů:

- možnost jejich využití u objektů, kde nelze zasahovat do nosného zdiva mechanickým způsobem
- v případě, že u existujícího objektu došlo k narušení vzduchového izolačního systému, je možné tyto systémy obnovit nebo případně použít alespoň jako doplňkové

Vzduchové izolační systémy lze rozdělit na vzduchové dutiny a ostatní vzduchové izolační systémy. Vzduchové dutiny se dále dělí z hlediska jejich polohy na svislé (stěnové) a vodorovné (podlahové), dle umístění na vnější (exteriér obvodového zdiva) a vnitřní (interiér obvodového zdiva), podle způsobu proudění vzduchu na systémy s přirozeným (gravitačním) prouděním vzduchu a s nuceným prouděním vzduchu, dle způsobu odvětrávání na odvětrávané (do exteriéru či interiéru) a neodvětrávané (viz Obr. 10).[6]

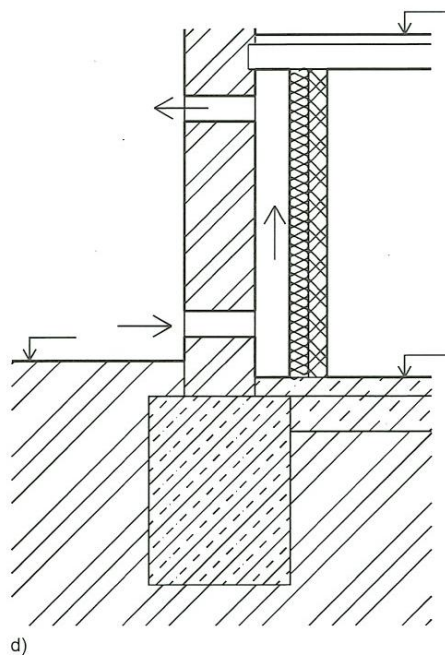


Obr. 10: Neodvětrávaná (uzavřená) vzduchová dutina[4]

1.4.1.1 Vzduchové dutiny

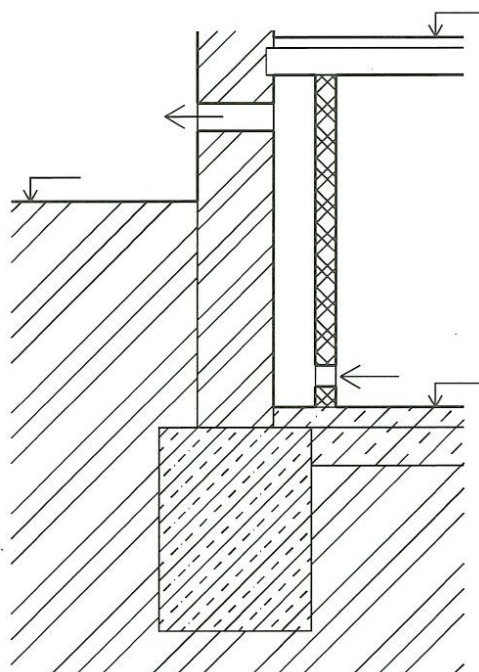
Základní princip funkce tohoto typu vzduchových izolačních systému spočívá v oddělení stavební konstrukce (zdiva, podlahy) od zdroje vztlínající vody (přilehlé zeminy) prostřednictvím větrané vzduchové dutiny, jejíž účel je zajištění trvalého přívodu a odvodu vzduchu.

Přirozené (gravitační) proudění vzduchu u dutin s nasávacími a výdechovými otvory v exteriéru je závislé na rychlosti proudění větru (viz Obr. 11).[9,11]



Obr. 11: Vzduchová dutina s nasávacími i výdechovými otvory v exteriéru[4]

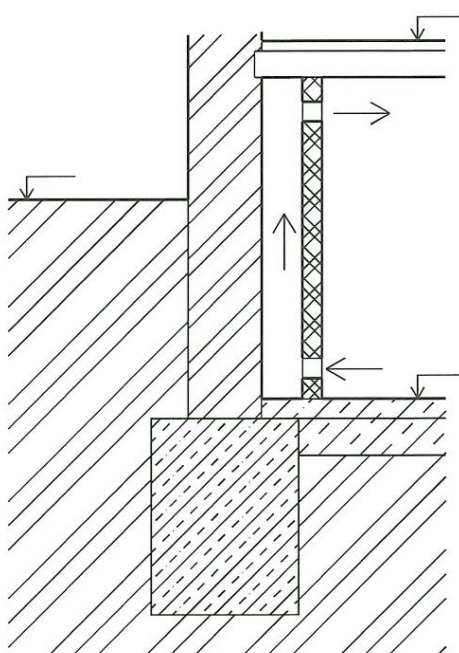
Vliv rozdílu teplot vzduchu na vstupu a výstupu je zanedbatelný. U dutin s nasávacími otvory v interiéru a výdechovými otvory v exteriéru přirozené proudění vzduchu nastává v důsledku rozdílu teplot venkovního a vnitřního vzduchu a v důsledku výškového rozdílu nasávacích a výdechových otvorů (viz Obr. 12).[11]



Obr. 12: Vzduchová dutina s přívodem vzduchu z interiéru a odvodem do exteriéru[4]

Nucené proudění větru v dutinách bývá zajišťováno prostřednictvím ventilátoru. Tato metoda bývá použita v případech, kdy by nedošlo ke vzniku přirozeného proudění vzduchu, to znamená, že tlakový spád v daném úseku je menší než součet tlakových ztrát třením a vřazenými odpory a není možno zvětšit vnitřní rozměry dutin. Výhodou této metody je rychlejší proudění vzduchu a z toho plynoucí vyšší účinnost. Nevýhodou však je závislost na dodávce elektrického proudu do ventilátorů a na lidském faktoru (kontrola správné funkce, možnost vypnutí). Současně s ventilátorem může být též použit ohřívač vzduchu, jenž zajistí proudění teplého vzduchu v dutině, což zvýší účinnost celého systému, ovšem za cenu navýšení energetické náročnosti. Z tohoto důvodu bývá ohřívač použit pouze zároveň s ventilátorem, který pak pracuje pouze v určitých časových intervalech.[6,11]

U vzduchových systémů odvětrávaných do interiéru (viz Obr. 13) je vždy nutné posoudit možnosti jejich aplikace v závislosti na dopadu na vnitřní mikroklima interiéru.



Obr. 13: Vzduchová dutina odvětrávaná do interiéru[4]

Pokud jsou dutiny neodvětrávané umístěny na venkovní straně obvodové zdi, je tím většinou znemožněno jejich použití za účelem sanace vody vzlínající z podlahy či vody dešťové. V případě jejich umístění na vnitřní straně obvodové stěny mohou být praktické pro eliminaci vody kondenzační.[9]

1.4.1.2 Ostatní vzduchové systémy

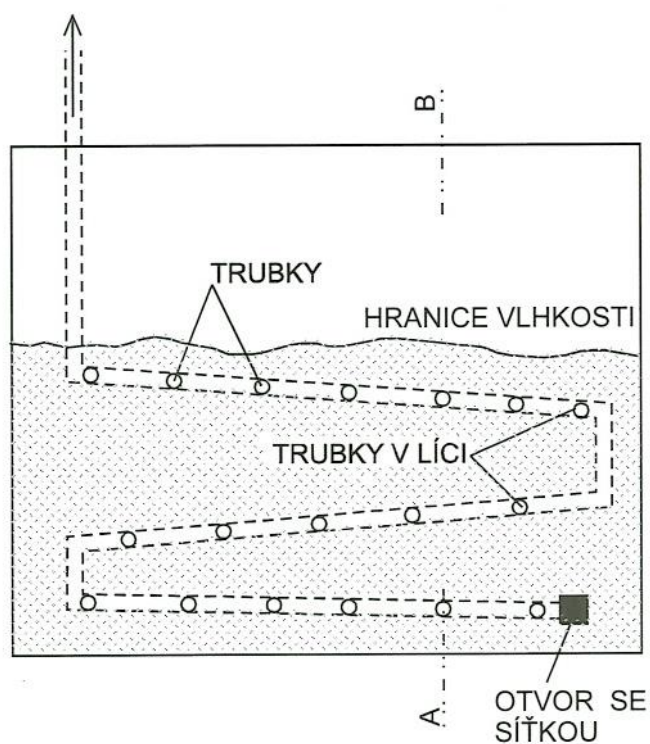
Mezi tyto systémy patří např. sanace systémem kanálek, která v sobě zahrnuje dvě metody, a to kanákový způsob a metodu Knapenových kanálek.

Metoda sanace prostřednictvím Knapenových kanálek spočívá ve vytvoření šikmých kanálek situovaných na vnější straně obvodové zdi v osových vzdálenostech cca 800 – 1000 mm. Kanálky zasahují přibližně do 2/3 tloušťky zdi a jejich sklon 10° – 15° a jsou tvořeny trubkami z porézního materiálu zasazených do vysekaných otvorů. Z venkovní strany jsou pak opatřeny sítíčkou (viz Obr. 14).[5]



Obr. 14: Realizace sanace vlhkého zdiva prostřednictvím Knapenových kanálků[13]

Při kanálovém způsobu pak dochází k vysušení zdiva prostřednictvím vodorovných děr, které jsou zaústěny do lomeného kanálku umístěného v líci zdiva. Vzduch, který proudí kanálkem, odvádí z děr vodní páru, která se do nich ze zdiva vypařuje. Kanálek začíná v dolní části vlhké zdi cca 200 mm nad podlahou, poté mírně stoupá k druhému okraji stěny, kde mění směr a poté se opět lomí a směřuje s menším stoupáním k prvnímu okraji stěny (viz Obr. 15). Kanálky v líci zdiva byly zpravidla prováděny z drenážních trubek.[14]



Obr. 15: Příklad řešení sanace kanálovým způsobem[4]

Praxe však ukázala velmi nízkou účinnost těchto systémů a navíc při ní dochází ke znehodnocování pohledů na sanované plochy zdí.

Dalšími vzduchovými systémy sanace vlhké zdiva je např. metoda použití profilovaných folií, provětrávané drenážní systémy či volba obrazu proudění vzduchu v místnosti.

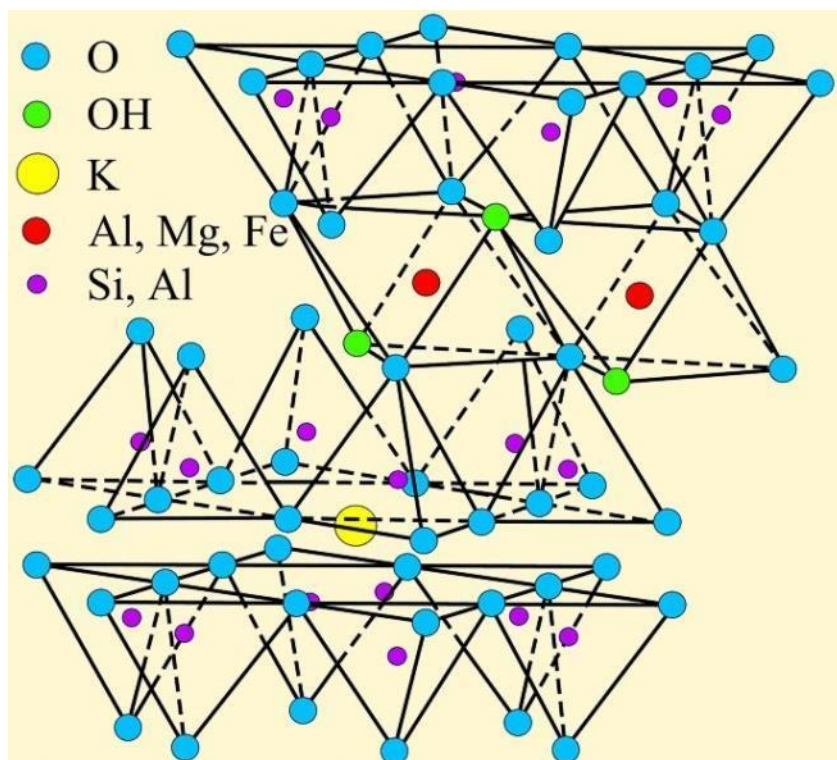
1.4.2 Jílové izolace

Jíly jsou přírodními materiály, které se ve vodní suspenzi (cca 20 % hm. vody) stávají snadno tvarovatelnými bez porušení kompaktnosti. Aby nezpevněná usazená hornina mohla být označena jako jíl, tak musí obsahovat více než 50 % jílovité složky, která je tvořena jílovými minerály. Frakce jílových minerálů mají velikosti zrn pod 2 μm . Po vysušení si jílové těsto uchovává svůj tvar a zároveň krom mechanické pevnosti získává též odolnost proti působení vody a vlhkosti.

Podobně jako fylosilikáty jsou jílové minerály tvořeny vrstvami tetraedrů (SiO_4) nebo oktaedrů (XO_6), kde kationem X může být hliník, železo nebo hořčík. Spojováním vrstev tetraedrů a oktaedrů lze vytvořit různé typy vrstvených struktur, což v přírodě způsobuje existenci mnoha různých typů jílových minerálů.[15]

Jílové minerály se dělí např. do následujících skupin:

- skupina kaolinitu: kaolinit, nacrit, dickit, halloysit
- skupina smektitu: montmorillonit, notronit, saponit
- skupina illitu: illit (viz Obr. 16), fengit, brammalit, seladonit, glaukonit
- skupina mastku a pyrofylytu
- amorfní: alofán a imogolit
- a další



Obr. 16: Struktura illitu[16]

Sanace prostřednictvím jílových materiálů patří mezi nejstarší metody prováděné se stavbou nebo dodatečně a lze je tudíž řadit mezi historické metody.

Jejich úspěšnost je dána řadou faktorů, a to např. fakt, že když jsou jílové vrstvy uloženy do oboustranně zavlhělého prostředí, tak nesmí být přerušen přísun vlhkosti, která způsobovala vlhkost ve stěnách. Dále pak zásadním prvkem funkčnosti jílových izolací je jejich horizontální ukončení, tzv. koruna.[15]

Jílové izolace jsou vhodné pro zdiva v bocích staveb pod úrovní terénu, ochrana zdiva přímo umístěného pod vodou, izolace stropů a kleneb pod úrovní terénu.

Aplikovaná jílová izolace je znázorněna na obrázku 17.



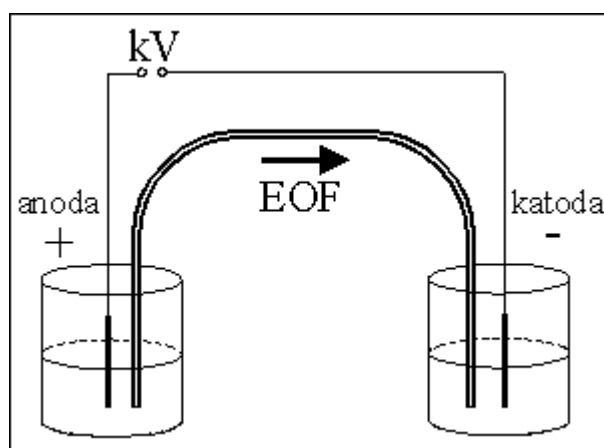
Obr. 17: Izolace zdiva jílovými vrstvami[17]

1.4.3 Elektroosmotické metody sanace vlhkého zdiva

Metody sanace vlhkosti prostřednictvím elektroosmózy vytvářejí potenciál stejnosměrného elektrického proudu ve zdivu, který potlačuje kapilární vztlínání vody. Jedná se o metodu přímé sanace vlhkého zdiva vhodnou pro všechny druhy stavebních materiálů a konstrukcí s pórovitou strukturou, ve kterých dochází ke vztlínání vody prostřednictvím kapilárních sil.[18]

1.4.3.1 Elektroosmóza

Elektroosmóza nebo také elektroosmotický tok (EOF - electro-osmotic flow) je jednou z hybných sil kapilární elektroforézy. Dochází k němu ionizací silanolových skupin na vnitřní straně kapiláry, v jejímž důsledku se vnitřní stěna chová, jako by měla negativní náboj, jenž přitahuje kationty z roztoku, které migrují ke katodě (viz Obr. 18). Vzhledem k úzkým rozměrům kapiláry s sebou strhávají i anionty, které rovněž migrují ke katodě. Aby elektroosmotický tok probíhal, musí být pH prostředí vyšší než neutrální. V případě nižšího pH nedochází k ionizaci silanolových skupin a tím je elektroosmóza potlačena.[18]



Obr. 18: Schéma elektroosmotického toku (EOF)[19]

Vlivem pohybu kapaliny porézní hmotou dochází ke vzniku elektrického potenciálu proudění na elektrodách, jenž má opačnou polaritu než elektroosmóza.

Vlivem působení elektrického napětí dochází k toku vody otevřenou pórovitostí strukturou materiálu směrem od kladné elektrody k záporné.

Objem kapaliny převedené elektroosmoticky je přímo úměrný teplotě elektrolytu. Pohyblivost iontů je nepřímo úměrná koncentraci elektrolytu.[18]

1.4.3.2 *Elektrolýza*

Tento elektrochemický jev doprovází elektroosmózu na rozhraní tuhá fáze – roztok, neboť přechod elektronu z pevné fáze a zpět přes fázové rozhraní je doprovázen chemickými reakcemi spojenými s příjmem a uvolňováním elektronu. Při elektroosmotickém vysoušení dochází k následujícím elektrodovým reakcím:

- vylučování vodíku z molekul vody na katodě
- rozpouštění kyslíku na rozhraní voda – vzduch
- uvolňování vodíku a kyslíku na anodě
- vylučování chloru

O tom, která z reakcí bude probíhat, rozhoduje velikost použitého stejnosměrného napětí, charakter zamokřeného zdiva druh a koncentrace iontů v tomto zdivu.[20]

1.4.3.3 *Druhy elektroosmotických metod*

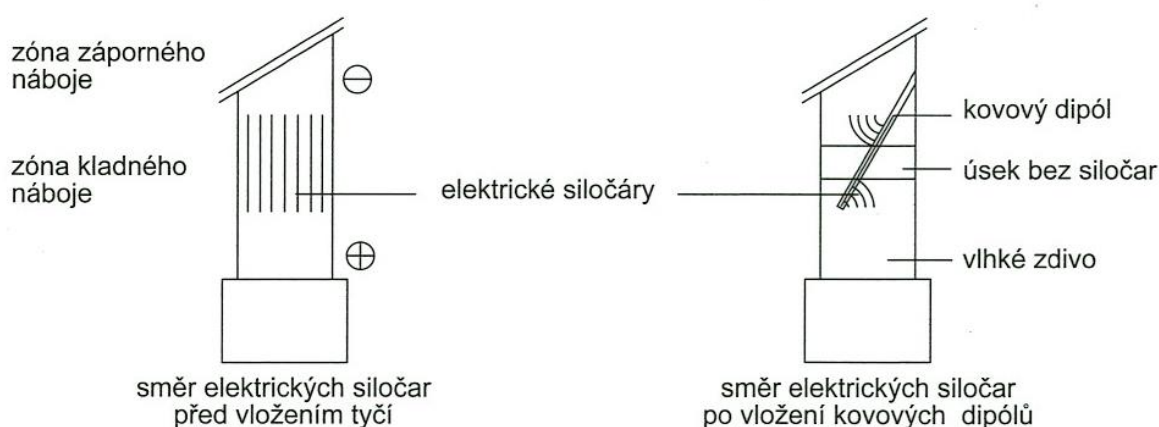
Jak již bylo řečeno, elektrické metody odvlhčování zdiva jsou založeny na vzniku elektroosmotického transportu vody při vytvoření elektrického pole a lze je aplikovat pouze ve zdivu s otevřenou kapilaritou. Jednotlivé metody, které byly vyvinuty postupem času, využívali této skutečnosti s tím, že se vzájemně lišily ve způsobu tvorby či využití elektrického pole. Tyto metody lze chronologicky rozdělit do čtyř skupin:

- metoda kompenzační
- metoda pasivní elektroosmózy

- metoda založená na využití galvanoosmotických jevů
- metoda aktivní elektroosmózy

Kompenzační metoda vychází z předpokladu, že elektrické pole ve zdivu patří mezi tři hlavní síly, které zajišťují transport vody z podzákladí do zdiva. V odpařovací zóně pak dochází k oddělení elektrického náboje a ten pak tvoří záporný pól elektrického pole, který působí vertikálně v zavlhém zdivu. Kladný pól tohoto elektrického pole je pak umístěn v podzákladí stavebního objektu.[18,20]

Podstata metody spočívá ve vytvoření zóny ve zdivu bez elektrického pole, která by měla být dostatečná k potlačení transportu vlhkosti. Ke snížení vnitřního potenciálového rozdílu měly sloužit do zdiva vložené, nejčastěji ocelové, vodiče. Tyto tyče měly sloužit jako elektrický dipól (viz Obr. 19), vyřadit tak značný úsek zdiva od elektrických siločar a tak zrušit elektrické náboje vznikající transportem vody.[18,20]



Obr. 19: Schéma funkčnosti kompenzačního působení dipólů[12]

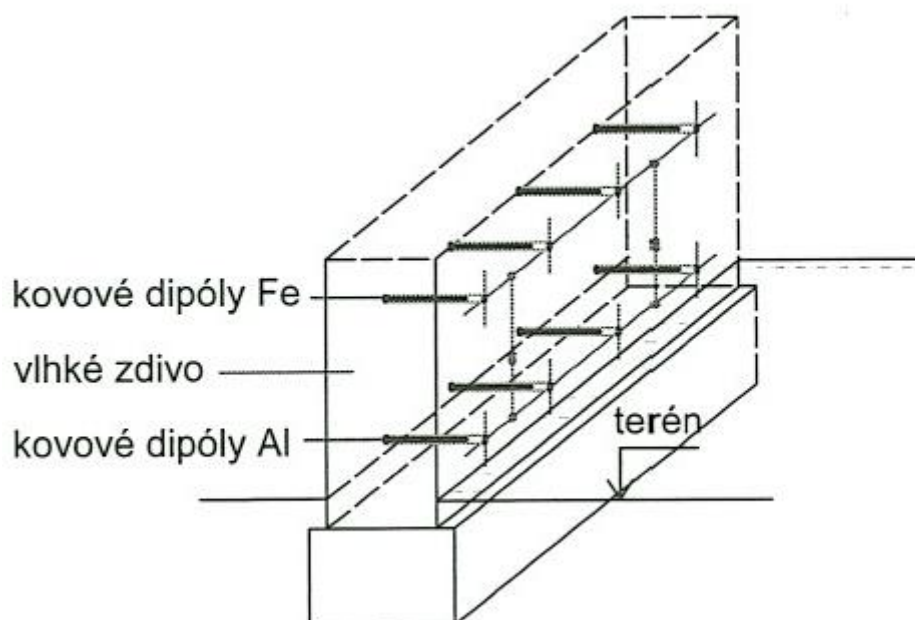
Aplikace této metody nebyla nijak zvlášť náročná. Stačilo proměřit elektrická pole v zavlhém zdivu a vhodně do něj umístit dipóly. Poté bylo předpokládáno, že dojde ke snížení přísunu vody do zdiva v takové míře, že proces vypařování nad ním převládne a dojde k vysušení zdiva.

Metoda pasivní elektroosmózy je založena na předpokladech, že napětí, jenž vzniká mezi elektrodami ve zdivu a v zemi způsobuje rozdíl koncentrace vodíkových iontů mezi těmito elektrodami (rozdílné pH).[12,18]

Elektroosmotická instalace se skládá z elektrod zabudovaných do vlhkého zdiva a z většího počtu zemních elektrod. Aby nemohlo dojít ke vzniku galvanického článku, tak všechny elektrody jsou vyrobeny ze stejného materiálu (zpravidla měď nebo ocel) a jsou navzájem nakrátko spojeny. Takovýto článek produkoval napětí poměrně malé (0,2 – 0,5 V) a nestálé. Stárnutím nové malty klesá její pH a tím i napětí článku, takže instalace měla efektivitu cca 1 – 3 roky. Vlivem nízkého napětí byla celá metoda citlivá na cizí indukovaná napětí, která často měnila polaritu na elektrodách a zařízení pak fungovalo jako čerpadlo vody do zdiva, a proto se tato metoda již prakticky dnes nepoužívá.[12, 20]

Metoda založená na využití galvanoosmotických jevů (viz Obr. 20) vychází z předpokladu, že dva různé vodivé materiály a vlhkost přítomná ve zdivu (elektrolyt) tvoří

elektrický zdroj napětí, který vyvolává elektroosmotický transport vody. Rozdíl mezi elektroosmózou a galvanoosmózou je tedy v použití různých kovů v elektrodách. Ty však podléhají korozi, což omezuje celkovou životnost těchto instalací.[4]



Obr. 20: Principiální schéma galvanoosmózy[12]

Elektrody aplikované ve vlhkém zdivu z železa a soustava zemních elektrod je nejčastěji hliníková. Tyto dva různé kovy propojené elektrolytem (vodou) tvoří elektrický zdroj napětí, který vlivem elektroosmotického jevu pohání vysoušení zdiva. I přes to, že zední elektrody zpravidla korodují, je tato metoda stále v praxi používána.[20]

Tato metoda je sice technologicky poměrně nenáročná, ale pracná, neboť je potřeba dvě linie vrtů do zdiva.[18]

Metoda aktivní elektroosmózy odstraňuje nedostatky předešlých metod a proto je nejpoužívanější elektroosmotickou metodou. Napětí je v tomto případě pouštěno do okruhu z veřejné sítě (aktivně) přes transformátor a počítač registrující skutečné údaje. Vkládané napětí se pohybuje v mezích 6 V a systém má podstatně delší životnost než u metod předešlých a také systém není narušován indukovaným napětím v okolí konstrukce.[12]

Důležitá je při této aplikaci zejména chemická odolnost anody, na které může docházet k oxidačním reakcím v důsledku anodického rozpouštění. Nejvyšší odolnost vykazují měděné elektrody, dále pak ocelové, uhlíkové a také ferosilikátové. Elektrochemická odolnost zední (kladné) elektrody tedy určuje životnost celého systému. Nejen z důvodů odolnosti, ale také cenové dostupnosti a technologické zpracovatelnosti se nejčastěji jako anodový materiál používá uhlík v různých modifikacích.[12,20]

Obecně lze konstatovat, že proces elektroosmotického vysoušení je relativně dlouhodobá a postupná metoda sanace vlhkého zdiva. V různých materiálech se rovněž různí transport vody pod elektroosmotickým působením.

1.4.4 Plošné izolace

Izolace spodní stavby proti vlhkosti je velmi důležitým prvkem stavebního díla. Jedná se o část konstrukce, která je po zabudování trvale nepřístupná a přitom má přímý vliv na kvalitu a životnost stavební konstrukce. Jedna z nejstarších metod izolace spodních staveb je aplikace plošných povlakových systémů.

Namáhání působené podzemní vodou může být buď penetrační, kdy má voda tendenci proniknout do interiéru, statické, kdy voda neproniká do interiéru, ale ovlivňuje statiku stavebního objektu, nebo korozivní, kdy působením vody dochází ke korozi všech stavebních materiálů, které s ní přicházejí do styku.

Zemní vlhkost se vyskytuje v místech s propustnými zeminami a také v místech, která jsou přirozeně odvodňována (svahy, kopce). Mnohem častěji však stavební objekty přicházejí do kontaktu s tlakovou vodou ať už v dočasně, nebo trvalé podobě.[6, 12]

1.4.4.1 Typy provedení

Vlastní technické provedení vodotěsných plošných izolací vyplývá z vyhodnocení vstupních údajů.

Bezpovlakové systémy mohou být buďto bez jakékoliv ochrany s dočasně obětovaným podlažím, jež je po zatopení znovu vyčištěno a používáno. Dále to pak jsou trvale udržované drenážní systémy aplikované tam, kde je to technicky možné, betony obsahující krystalizační nátěr nebo syntetické těsnící nátěry.[20]

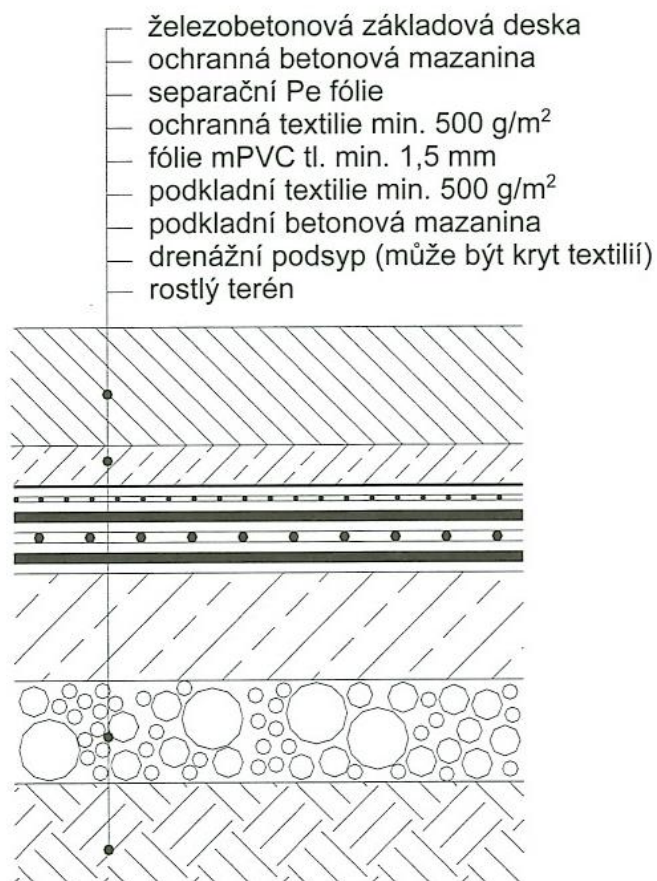
Povlakové systémy bývaly zejména v minulosti zejména tvořeny z asfaltových pásů, a to jednovrstevné nebo vícevrstevné. Asfaltové povlakové systémy mohou obsahovat aktivní nebo pasivní kontrolní systémy. Druhou modernější variantou povlakových systémů jsou realizace prostřednictvím fólií (mPVC, LDPE, HDPE), které mohou obsahovat dvojité sváry nebo opět pasivní a aktivní kontrolní systémy.[21]

Materiály pro vodotěsné izolace nesmí být tvořeny biologicky odbouratelnými materiály a jejich životnost musí odpovídat předpokládané životnosti stavby, v níž jsou aplikovány. Všechny materiály a prvky použité v celém systému musí být vzájemně slučitelné a nesmějí se negativně ovlivňovat. Celý systém vodotěsných plošných izolací musí být realizován tak, aby všechny jeho součásti a spojení byly naprosto vodotěsné.[14,21]

1.4.4.2 Metody plošných izolací spodní stavby

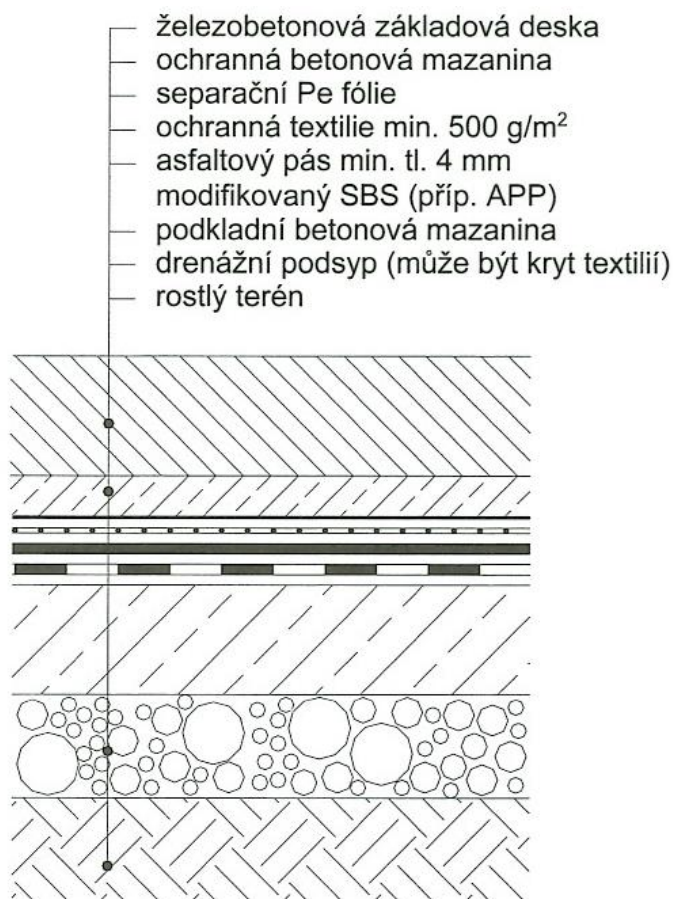
V této podkapitole budou uvedeny nejběžnější systémy vodotěsných izolací, které představují základní možnosti řešení ochrany spodních staveb před tlakovou i gravitační vodou a zemní vlhkostí. Jednotlivé materiálové systémy, asfaltové x syntetické, lze vzájemně nahradit, s jedinou výjimkou, a to izolace ražených tunelů, kde lze použít pouze syntetické fólie.[20,21]

První alternativou je systém s jednoduchými syntetickými fóliemi, v současnosti převážně tvořený materiály na bázi mPVC o tloušťce 1,5 – 2,0 mm (viz Obr. 21). Kontrola provedení je vizuální, jsou-li aplikovány dvojité sváry, může použita i přetlaková kontrola. Z hlediska mechanického poškození je tento systém nejriskantnější.



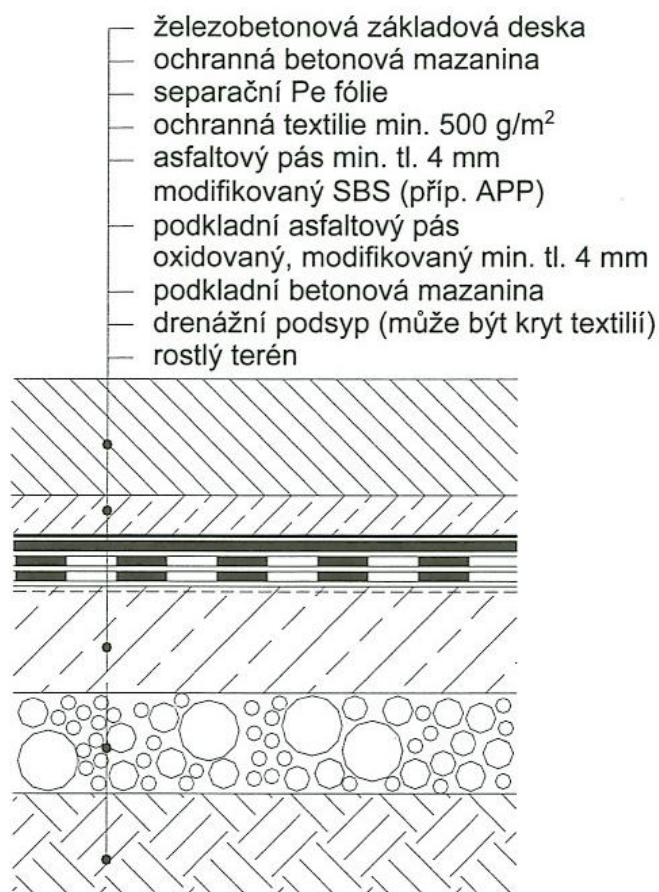
Obr. 21: Schéma plošné izolace s jednoduchými syntetickými fóliemi[6]

Druhou možností je použití robustních asfaltových pásů (převážně SBS) o minimální tloušťce 4 mm (viz Obr. 22). Kontrola je pouze vizuální, ostatní metody přetlakem nebo pod tlakem nejsou pro tyto systémy vhodné. Tyto systémy jsou sice méně rizikové než systémy fóliové, avšak i tak existuje riziko mechanického poškození při následných stavebních pracích.[6,12]



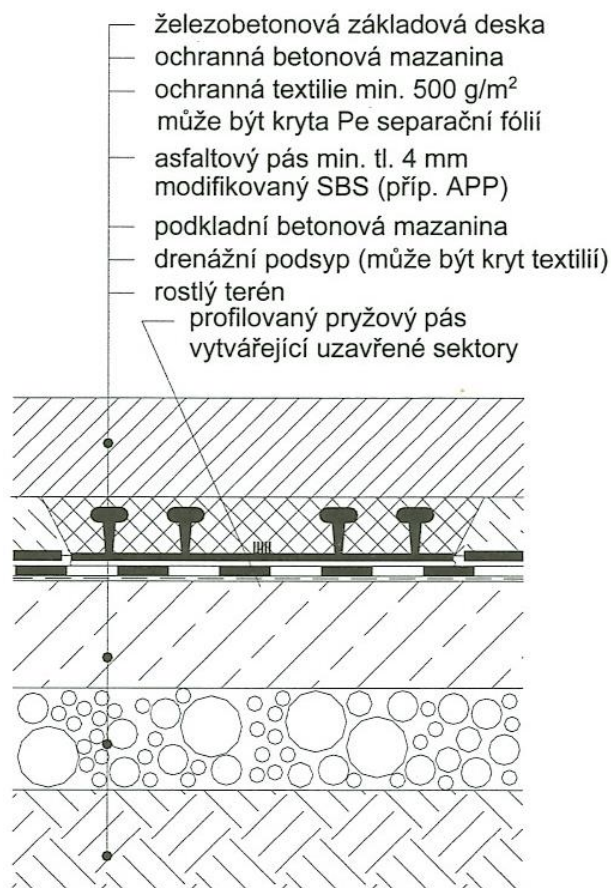
Obr. 22: Schéma plošné izolace s jednoduchými asfaltovými pásy[6]

Třetí metodou je aplikace dvouvrstvých asfaltových pásů (viz Obr. 23). Jednotlivé pásy musí mít opět minimální tloušťku 4 mm a podkladní vrstvu v tomto případě tvoří podkladní materiál. Jako podkladní materiál se většinou používají hmoty se zvýšenou odolností vůči agresivitě podzemních vod. Kontrola provedení se opět provádí pouze vizuálně. Tento systém je již odolný vůči mechanickému poškození.[20]



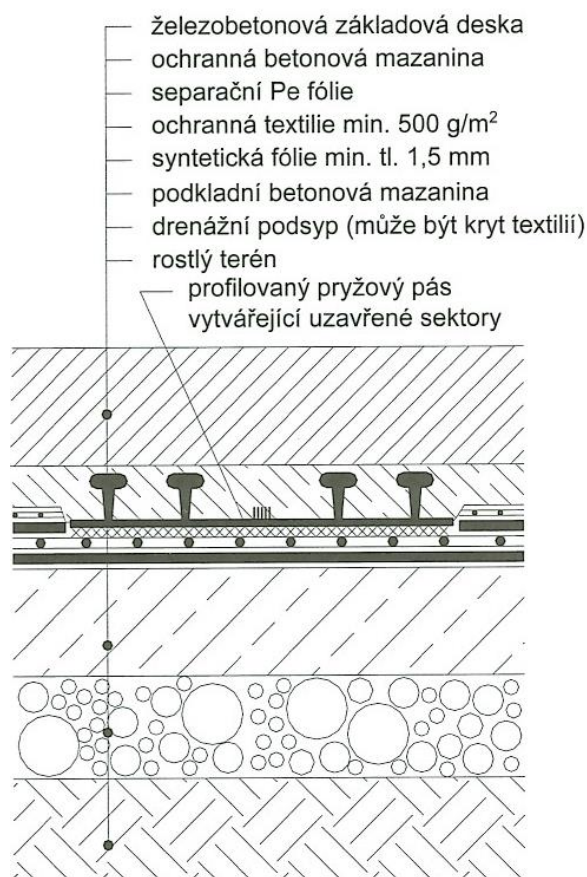
Obr. 23: Schéma plošné izolace s dvojitou vrstvou asfaltových pásů[6]

Čtvrtou metodou jsou jednoduché systémy z asfaltových pásů umožňující vytvoření kontrolních (sanačních) sektorů pomocí profilovaných pryžových pásů (viz Obr. 24). Kontrola provedení je pouze opět vizuální. Do interiéru jsou zavedeny trubičky umožňující injektáž poškozených sektorů. Tyto systémy umožňují při proražení hydroizolační vrstvy její lokální injektáž v konkrétním poškozeném sektoru.[20,21]



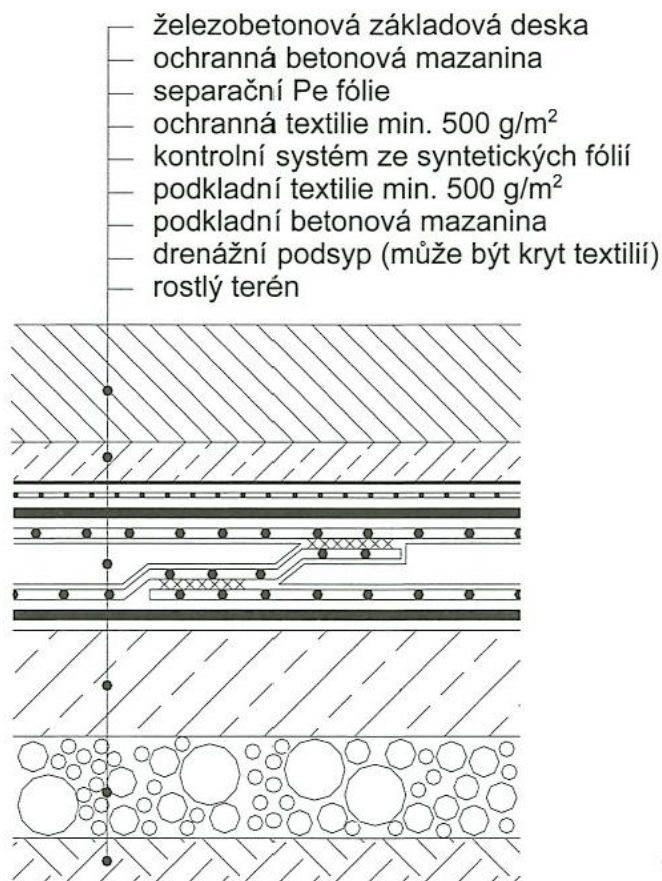
Obr. 24: Schéma plošné izolace prostřednictvím asfaltových pásů se sanačními sektory[6]

Pátou variantou je systém ze syntetických fólií umožňující přítomnost sanačních sektorů pomocí profilovaných syntetických pásů (viz Obr. 25). Používají se fólie z mPVC o minimální tloušťce 2,0 mm. Tyto materiály odolávají jak tlakové vodě, tak i agresivitě podzemních vod. Do interiéru jsou zavedeny trubičky umožňující injektáž poškozených sektorů. Kontrola je vizuální, dvojité sváry mohou být kontrolovány přetlakem.[12,19]



Obr. 25: Schéma plošné izolace prostřednictvím syntetických fólií se sanačními sektory[6]

Poslední metodou jsou dvojitě systémy ze syntetických fólií umožňující vytvoření sanačních sektorů pomocí příček mezi oběma fóliemi (viz Obr. 26). Mezi fóliemi je umístěna drenážní textilie odolávající jak tlakové vodě, tak agresivitě podzemních vod. Kontrola provedení je vizuální a podtlaková, kdy je z prostoru mezi fóliemi odčerpán vzduch a daný prostor je tak tlakově zhodnotitelný.[21]



Obr. 26: Schéma plošné izolace prostřednictvím syntetických fólií vhodné pro podtlakovou kontrolu[6]

Rizika nefunkčnosti vodotěsných izolací spodní stavby lze snížit kvalifikovaným návrhem, který bude respektovat všechny vstupní údaje a parametry budovy. Dále pak víceúrovňovou kontrolou přímo na stavbě od vlastní až po externí (specializovaná firma) a fotografickou a video dokumentací pro pozdější dohledávání informací.[14]

1.4.5 Sanace zdiva prostřednictvím dodatečných bariér

Sanace vlhkého zdiva prostřednictvím dodatečných bariér spočívá v aplikaci takové hmoty do konstrukce, jež zamezí dalšímu pronikání vlhkosti. Tento postup lze rozdělit na dvě základní kategorie – metody mechanické, které využívají princip vložení nové izolace do proříznuté (probourané) spáry ve zdivu a metody chemické, které vytváří vlhkostní bariéru prostřednictvím vhodných chemických látek aplikovaných do zdiva a ty posléze vytvoří tzv. chemickou hydroizolační clonu.[4, 6, 20]

1.4.5.1 Mechanické metody

Vytvoření bariéry ve zdivu prostřednictvím vložení neprostupného materiálu patří mezi neúčinnější metody provádění dodatečné hydroizolace a sanace vlhkého zdiva. I když finální spolehlivost těchto metod je velmi vysoká, jejich realizace je poměrně obtížná a náročná na celkovou konstrukci.[21]

Volba způsobu a typu provedení je závislá na místních podmínkách, druhu zdícího materiálu, kvalitě výplně spár, tloušťce zdiva, statických podmínkách apod.

Prvním způsobem vkládání izolace je její **vložení do probouraného vodorovného otvoru**. Tento způsob je většinou aplikován při opravách a rekonstrukcích drobných staveb nebo staveb s vysoce složitou skladbou zdících materiálů. Jedná se o pracnou metodu spojenou s vysokým rizikem narušení statiky budovy. Před zahájením prací je nutné odstranit stávající omítky v místech provádění, aby byla dobře zjevná skladba zdiva. Následné probourávání probíhá v mocnosti 2 – 4 vrstev cihel a šířce otvorů 0,8 – 1,5 m v závislosti na kvalitě stávajícího zdiva. Mezi jednotlivými otvory se zachová pilíř zdiva o minimální šířce 0,6 m. V otvorech pak dojde k vyzdění jedné až dvou vrstev cihel, poté je na jejich povrch nanesena cementová malta, po jejímž zatvrdnutí je na ni položena izolační vrstva (PE fólie, modifikované izolační pásy apod.). Zbývající prostor nad izolací se dozdí cihlami a řádně doklínuje z obou stran. Poté dojde k vybourání pilířů a postupuje se stejným způsobem (viz Obr. 27). Překrytí izolačních pásů by mělo činit nejméně 10 cm. Po zaizolování a statickém zajištění objektu se přistoupí k tlakové injektáži spáry cementovou maltou s plastifikátorem.[22]



Obr. 27: Vkládání vodorovné hydroizolace metodou probourávání zdiva[23]

Druhou mechanickou metodou vkládání bariér do zdiva je **vložení izolace do vodorovné proříznuté spáry**. K podřezání zdiva může dojít jednak ručně, což je nejjednodušší, ale zároveň také velmi pracné a omezené řešení prořezávání spáry ruční pilou. Tento způsob je použitelný pouze u cihelného zdiva do maximální tloušťky 45 – 60 cm v závislosti na kvalitě spáry. Druhou metodou je podřezávání řetězovou pilou, která je aplikovatelná na zdivo s pravidelnými spárami o minimální tloušťce 10 mm. Zdivo je nejdříve proříznuto do požadované hloubky a následně se prostřednictvím pojezdu pokračuje s řezem po délce zdiva po úsecích cca 1 m (viz Obr. 28). Po podřezání se řezná spára vyčistí a do drážky je vložen požadovaný typ izolace. Izolace je ve spáře upevněna natloukanými rozpěrovými klíny z plastu o dostatečné únosnosti. Po zaklínování se pokračuje s dalším prořezáváním postupným opakováním celého cyklu. Po celé realizaci zaizolování se mezery mezi klíny vyplní pod tlakem cementovou maltou s plastifikátorem.[22]



Obr. 28: Vkládání vodorovné hydroizolace metodou podřezávání zdiva[24]

Třetím typem mechanického zamezení vztlínající vlhkosti je **vložení vodorovné izolace zarážením desek**. Pro její aplikaci je nutná přítomnost průběžné spáry v cihelném zdivu. Aplikované desky jsou vyrobeny z nerezavějících materiálů (ocelí, které mohou obsahovat nikl, chrom nebo molybden) o síle plechu cca 1,5 mm. Důležitou roli hrají mechanické vlastnosti používaných desek, protože při zarážení plech splňuje jednak funkci pracovního nástroje, na který působí rázová energie, jež je nutná pro jejich správnou aplikaci. Desky musí být schopné překonat odpor při rozpojování spárového materiálu a tření. Aby desky byly schopné dodržet tyto parametry, bývají plechy často profilovány do vlnek. Zavádění desek do spár zdiva probíhá strojně (viz Obr. 29), a to aniž by došlo k jejich porušení s překryvem sousedních desek o 2 – 3 vlny nebo do sebe přímo zapadají prostřednictvím speciálních spojů. Pro aplikaci je dostačující přístup z jedné (většinou venkovní) strany zdiva. Za vhodných podmínek je možné izolovat zdivo až do tloušťky jednoho metru z jedné strany. U silnějšího zdiva je poté nutný přístup z obou stran ošetřované konstrukce.[18,19]



Obr. 29: Vkládání vodorovné izolace zarážením desek[25]

1.4.5.2 Chemické metody

Metody dodatečného vytvoření bariéry ve zdivu prostřednictvím chemických látek bývají často rovněž označovány jako injektáže nebo infuze, přičemž pojmem infuze bývají označovány zpravidla pouze beztlakové injektáže. Oblast zdiva dodatečně prosycená utěšňovacím nebo hydrofobním prostředkem brání vzlínání vlhkosti a plní funkci dodatečné hydroizolace. Infuzní prostředky jsou aplikovány do předem vyvrtaných otvorů.[21]

Existuje celá řada injektážních materiálů, technologických postupů jejich vpravování do zdiva a dělí se dle různých kritérií. Tyto metody sanace vlhkého zdiva jsou poměrně dosti populární díky své logice působení, relativně snadné dostupnosti aplikačních prostředků a hlavně nenáročnosti strojního vybavení pro jejich realizaci.[23]

Tento způsob aplikace dodatečných izolací ve stávajících svislých konstrukcích je oproti ostatním mechanickým metodám v podstatě nejšetrnějším zásahem do stavebních konstrukcí.

Z hlediska polohy aplikace chemické hydroizolační clony se metody dělí na vodorovné (proti vzlínající vlhkosti), svislé (proti pronikání vlhkosti z obvodových stěn do navazujících vnitřních stěn) a plošné (proti pronikání vlhkosti do stěn z okolní zeminy).[12, 20]

Z hlediska zatížení vlhkostí mohou být chemické clony aplikovány proti působení zemní vlhkosti, tlakové vody, vody stékající a zádržné.[23]

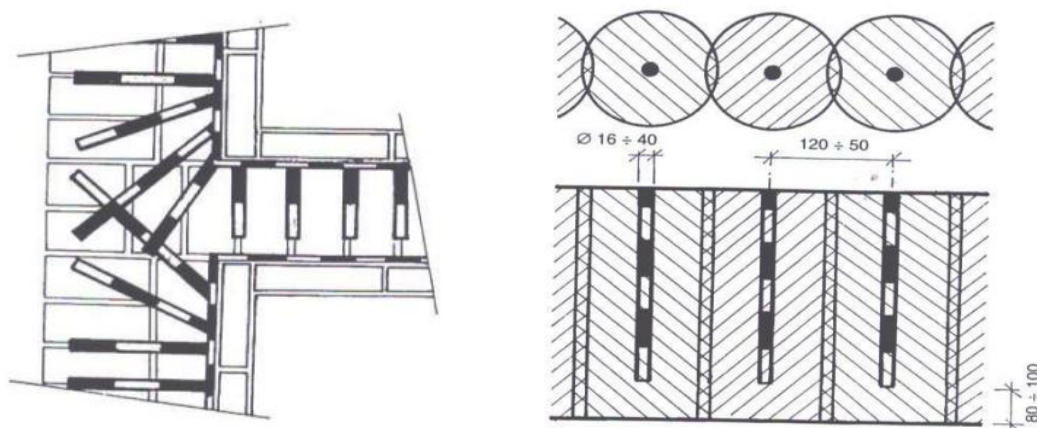
Je možné provádět injektáž u vnějších i vnitřních stěn v celé jejich tloušťce.

Velmi důležitým parametrem je penetrační schopnost injektážního prostředku, která v podstatě ovlivňuje a limituje osovou vzdálenost vrtů ve zdivu. V případě, že se prostředek nedostane dostatečně hluboko do struktury stavebního materiálu tak, aby došlo k protnutí

výsečí penetrovaných oblastí dvou sousedních vrtů, nedojde k vytvoření jednolitě infuzní clony. To má za následek neúčinnost dodatečně vytvořených izolací.[6, 12, 20]

Provádění injektáží všeobecně spočívá ve vytvoření soustavy vrtů v rovině nebo ploše, která následně slouží pro zavedení účinné látky do zdiva a penetraci injektážním roztokem. Vzdálenost, průměr a sklon připravovaných vrtů záleží na typu a vlastnostech injektážního prostředku a zvolené metodě jeho zavádění do izolovaných konstrukcí. Dochází k tomu vždy v místech, kde dojde k co nejúčinnějšímu zamezení pronikání vlhkosti nad úroveň dodatečně vytvořené clony.[26]

Princip působení infuzní clony a schéma vytváření vrtů je znázorněno na obrázku 30 níže.



Obr. 30: Schéma provádění injektážních vrtů[26]

Napouštění vrtů injektážním materiálem se v závislosti na podmínkách objektu, druhu infuzního prostředku, použité technologie, rozsahu a způsobu uspořádání vrtů provádí buďto ručně nebo plnicím zařízením.[22, 26]

V rámci sanace vlhkých konstrukcí, které jsou prováděny injektážní technikou je v některých případech možné při použití vhodného materiálu zajistit zpevnění stávajících zděných konstrukcí. Injektážní prostředek obsahuje účinné složky, které zamezí vztlínání vlhkosti a zároveň může do narušené konstrukce doplnit pojivo.[26]

V případě sanace velmi vlhkého zdiva jsou póry z velké části zaplněny vodou a volná, porézní struktura, do které se může injektážní prostředek dostat, je tak omezena tím více, čím je vyšší vlhkost zdiva v místě aplikace. V extrémních případech velmi vlhkého zdiva je třeba přistoupit k aplikaci prostřednictvím tlakových metod nebo použít látky, které ve zdivu reagují s vodou. Někdy se též doporučuje provést tzv. předsušení zdiva před vlastní injektáží.

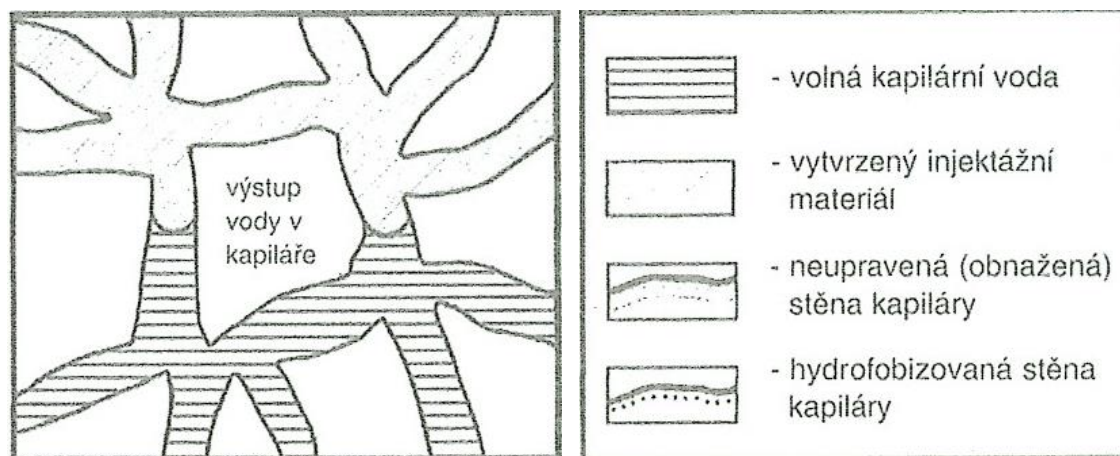
Obecně platí, že čím je menší osová vzdálenost vrtaných otvorů, tím je větší jistota účinnosti injektáže. Průměry vrtů se pohybují v rozmezí 10 – 40 mm.[20, 26]

Výběr vhodného injektážního prostředku pro určitou stavbu, druh zdiva, vlhkost a další vlastnosti je hlavním kritériem funkčnosti realizovaných injektáží. Oblast použití každého injektážního materiálu je přesně ohraničená. Jedná se např. o to, zda je prostředek určen pro beztlakovou či tlakovou injektáž, předpokládaná spotřeba v různých typech stavebních materiálů a očekávaný penetrovaný úsek v metrech čtverečních. Důležitá je též použitelnost s ohledem na vlhkost ošetřovaného materiálu.[20]

Pro injektáže jsou používány jednosložkové či vícesložkové injektážní hmoty, a to zejména akryláty, silikáty, siloxany, parafíny, hydrogely, epoxidové a polyuretanové pryskyřice.

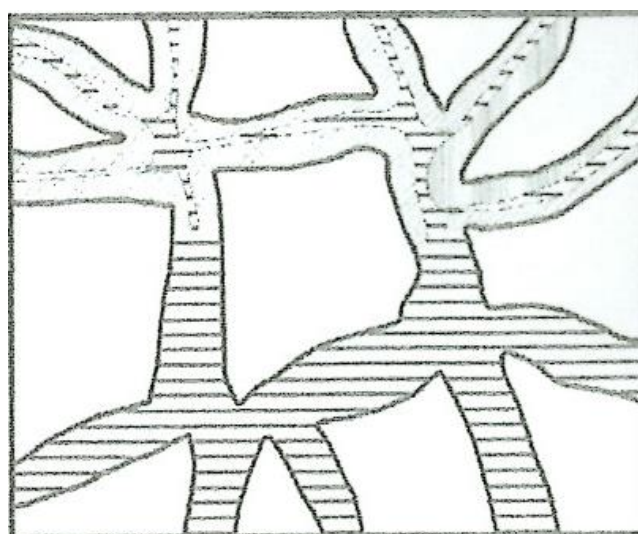
Principy působení infuzních clon a jejich zabraňování vzlínání zemní vlhkosti se dělí do následujících skupin:

- injektáže utěšňující kapiláry (viz Obr. 31) – aplikovaná látka penetruje póry zdiva, ucpává je a chemickou reakcí ztuhne do nepropustné formy (do této skupiny patří i krystalizační metody, jež využívají zarůstání pórů krystaly CSH)[6, 26]



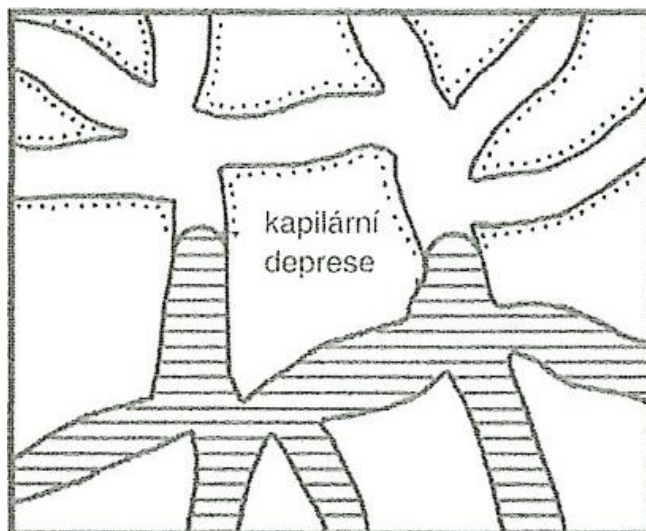
Obr. 31: Schéma principu hydroizolační injektáže zdiva prostřednictvím utěšňování kapilár, legenda[26]

- injektáže zužující kapiláry (viz Obr. 32) – chemické látky zužují průměr póru, tím snižuje kapilární nasákavost a odpařování vlhkosti na povrchu materiálu je vyšší než její přísun[21, 26]



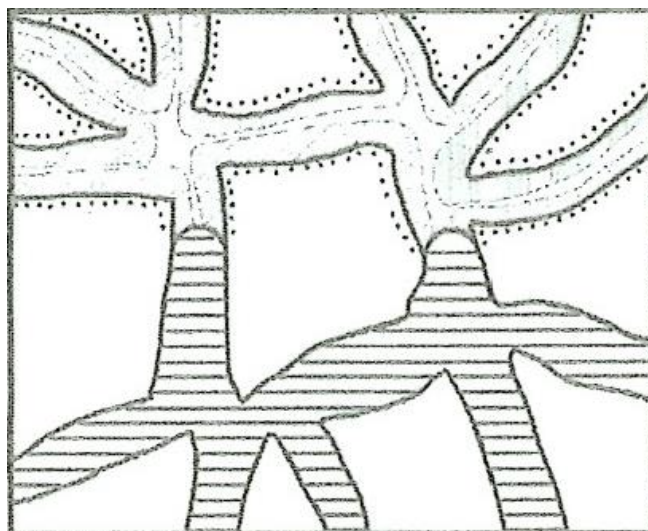
Obr. 32: Schéma principu hydroizolační injektáže zdiva prostřednictvím zužování kapilár[26]

- injektáže hydrofobizační – tato metoda spočívá v hydrofobizaci stěn pórů, což zastavuje kapilární síly, které pohání vztlínání vody ve zdivu, přičemž póry a jejich průřez zůstávají prakticky nezměněny (viz Obr. 33). Většinou se jedná o látky na bázi silikonových roztoků a mikroemulzí, které se dostávají do podstatně menších kapilár než roztoky těsnící.[15, 26]



Obr. 33: Schéma hydroizolační injektáže zdiva prostřednictvím hydrofobizace kapilár[26]

- injektáže kombinované (viz Obr. 34) – jedná se o kombinace výše uvedených principů, kdy se využívá jak těsnících tak i hydrofobizačních vlastností infuzních materiálů[21]



Obr. 34: Schéma kombinované hydroizolační injektáže zdiva prostřednictvím hydrofobizace a zužování kapilár[26]

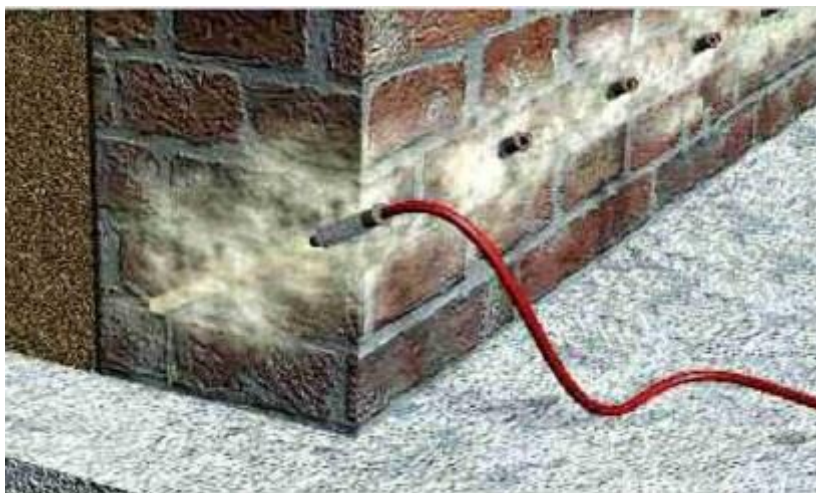
Injektážní prostředky se dělí dle jejich aplikace do stavebních konstrukcí na dva základní postupy:

Beztlakové injektáže – jedná se o nejpoužívanější metodu aplikace injektážních prostředků do struktur zdiva, kdy jsou tyto látky vpravovány do daných stavebních materiálů pouze prostřednictvím kapilárních sil (viz Obr. 35). Vzdálenosti jednotlivých aplikačních vrtů jsou jednak závislé na nasákavosti ošetřovaného zdiva a jednak na typu použitého sanačního materiálu. Osově vzdálenosti vrtů se v tomto případě pohybují většinou v rozmezí 100 – 125 mm a průměry vrtů jsou dány typem použité technologie (20 – 38 mm). Sklon vrtů závisí na skladbě a tloušťce zdiva a hlavně také na viskozitě použitého injektážního materiálu (nesmí z děr vytékat). Hloubka vrtů je závislá na tloušťce izolované konstrukce, kdy vrty musí sahat do vzdálenosti 50 mm od protější strany. Před samotným napouštěním vrtů injektážním roztokem z nich musí být odstraněn prach a zbytky vývrtů tak, aby nebránili penetraci pórů stavebního materiálu.[23]



Obr. 35: Provádění injektáže beztlakovou metodou[27]

Tlakové injektáže – tento způsob se hodí zejména pro silně zavlhlé budovy s uspořádáním vrtů v jedné (viz Obr. 36) či více řadách. Osově rozteče se pohybují v rozmezí 100 – 300 mm o průměrech 10 – 12 mm. Při víceřadé variantě by neměla svislá vzdálenost být vyšší než 80 mm. Rozdíl oproti beztlakové variantě je ten, že vrty jsou osazeny injektážními ventily, které zajišťují těsné uzavření vrtů a přes tlakovou hadici jsou dále plněny speciální vysokotlakou pumpou. Nepřetržitý tlak při injektáži musí činit méně než 1000 kPa. Prováděcí rychlost je vyšší než u beztlakové metody, ale vyššího stupně naplnění kapilár se nedosahuje.[23]



Obr. 36: Schéma provádění tlakové injektáže[28]

Obecně u všech metod vytvářejících novou plošnou hydroizolaci se musí řešit problematika překonávání výškových úrovní, terénního spádu, zdí jen částečně podsklepených apod. Z tohoto důvodu je vždy nutné zpracovat na tato opatření projektovou dokumentaci, která většinou takové problematické detaily řeší kombinací sanačních opatření. Rovněž v sobě zahrnuje zhodnocení použití daných opatření ze statického hlediska ošetřované budovy.[26]

2 CÍLE PRÁCE

Cílem disertační práce, jak již vyplývá z jejího názvu, je studium vlastností a efektivity dodatečných hydroizolací realizovaných prostřednictvím aplikace gelových infuzních clon. Při návrhu receptur jednotlivých hydroizolačních gelů určených pro realizaci těchto clon bude kladen důraz na použití druhotných surovin, čímž dojde ke snížení finanční náročnosti výroby daných materiálů i jejího ekologického dopadu na životní prostředí.

Pro porovnání výsledných vlastností a výběr ideálního složení infuzního materiálu bude vytvořena řada nových receptur těchto materiálů. Práce bude nejprve zaměřena zejména na pozorování vlastností a chování jednotlivých receptur. Pro zajištění univerzálnosti výsledného produktu bude testování probíhat na spektru v praxi nejčastěji používaných a rozšířených zdících materiálů. Laboratorní zkoušky budou rovněž prováděny na zdících maltách, neboť ty rovněž tvoří významný podíl struktury obsahující otevřené póry potřebné pro aplikaci a správné fungování dodatečných injektáží.

Jedním z cílů této disertační práce bude volba ideálního složení infuzní gelové clony, což bude realizováno na základě vyhodnocení a optimalizace výsledků laboratorních zkoušek. Spektrum testovaných vlastností bude zvoleno tak, aby nejlépe simulovalo požadované vlastnosti u vlastní hydroizolační hmoty. Rovněž dojde k testování vlastností nově vyvinutých materiálů v různých prostředích za různých teplotních a vlhkostních podmínek, neboť tyto aspekty aplikačního prostředí v praxi výrazně ovlivňují výslednou efektivitu infuzních clon. Požadovaným aspektem nově vyvíjeného materiálu bude možnost jeho aplikace do horizontálních vrtů bez nutnosti sklonu. Tento fakt umožní aplikaci nově vyvíjené infuzní clony i v místech, kde vrtání ve sklonu není možné, jako jsou místa těsně pod stropy nebo podhledy a jiné prostorově omezené lokace. Srovnáním výsledků testování nově vyvinutých hmot bude rovněž možné posoudit vliv různých materiálových složek na výsledné vlastnosti infuzní clony.

Vzhledem k tomu, že pro funkčnost a vůbec pro vznik vlastní infuzní clony je bezpodmínečně nutná dostatečná penetrace a následná přítomnost hydrofobizačního gelu v místech stavební konstrukce, kde je požadováno zamezení vzlínající vlhkosti, tak nanejvýš významným výstupem této disertační práce bude metodika stanovení přítomnosti injektážních prostředků v různých stavebních materiálech. Tato metodika bude vytvořena na základě poznatků získaných z vědeckého zkoumání a při využití ostatních vědeckých poznatků současnosti.

EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

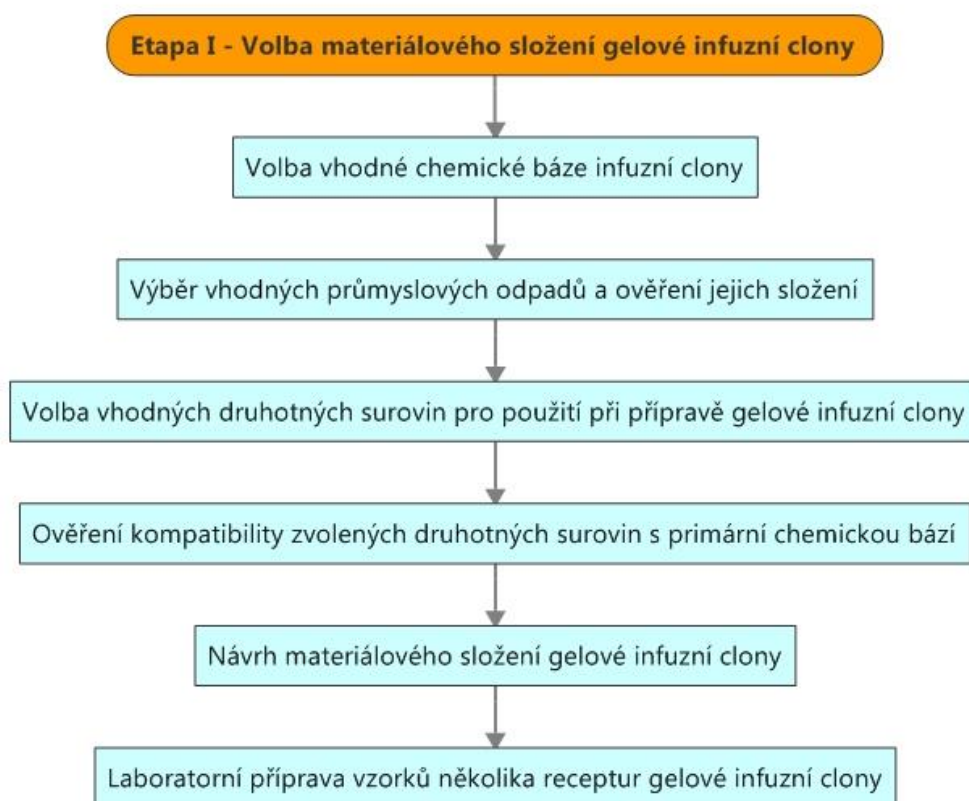
3 METODIKA PRÁCE

Disertační práce bude vzhledem k jejímu rozsahu a v zájmu její přehlednosti rozdělena do pěti na sebe navazujících etap řešení, jejichž věcná náplň je podrobně popsána v následujících kapitolách. Dále je pak v rámci metodiky práce uveden přehled a princip všech prováděných analýz, které bylo zapotřebí provést v návaznosti na řešení této disertační práce.

3.1 Specifikace jednotlivých etap řešení

3.1.1 Etapa I – Volba materiálového složení gelové infuzní clony

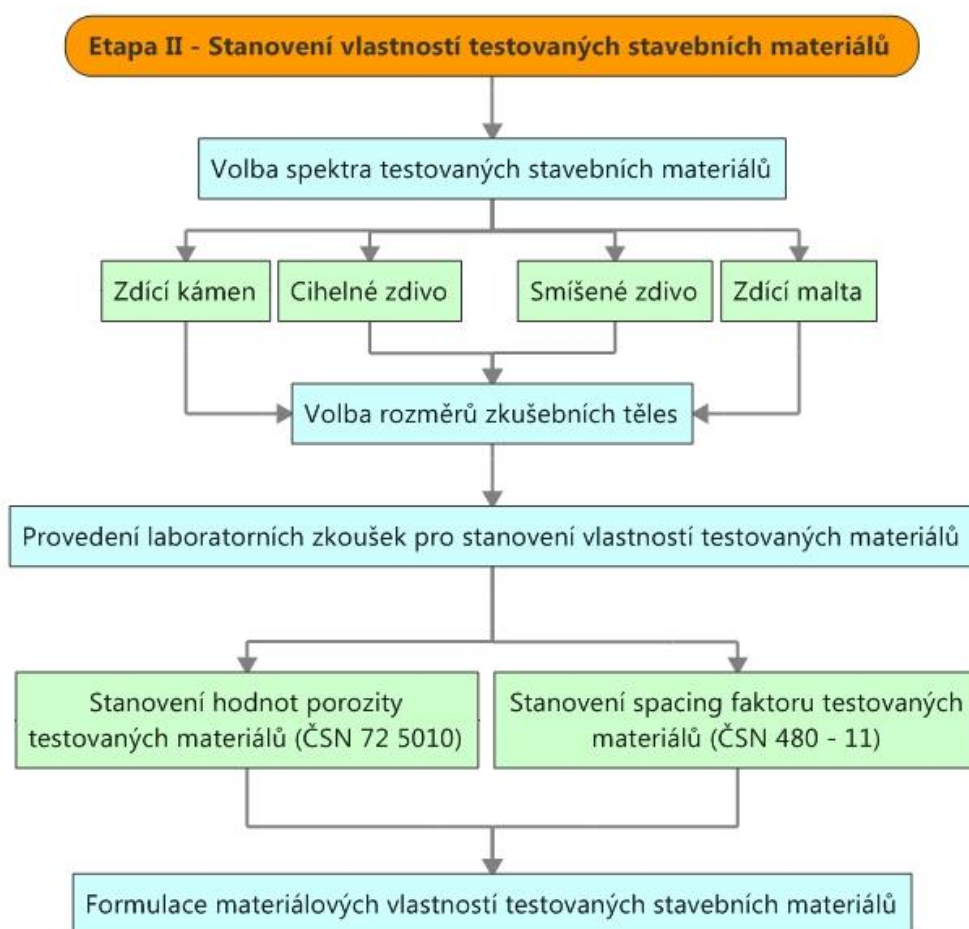
V první etapě dojde nejprve k podrobnému zkoumání a ověření vlastností vytipovaných primárních chemických bází infuzní clony a jejich kompatibility se zamyšleným plnivovým systémem, kdy budou sledovány a pečlivě zaznamenávány jejich vzájemné interakce. Ověření správného spolupůsobení daných komponent bude rozhodující pro další výzkum. Dále budou vytipovány vhodné druhotné suroviny. Pro širokou skupinu potenciálních druhotných surovin budou ověřeny jejich vlastnosti a po jejich zhodnocení stanoveny nejvhodnější suroviny, které budou dále detailněji prověřeny a využity jako částečné náhrady plniva ve směsi. Výsledkem etapy bude formulace složení nově navržené infuzní clony na základě vyhodnocení společných interakcí jednotlivých složek. Schéma řešení etapy I je znázorněno na obrázku 37.



Obr. 37: Schéma postupu řešení předkládané disertační práce – etapa I

3.1.2 Etapa II – Stanovení vlastností testovaných stavebních materiálů

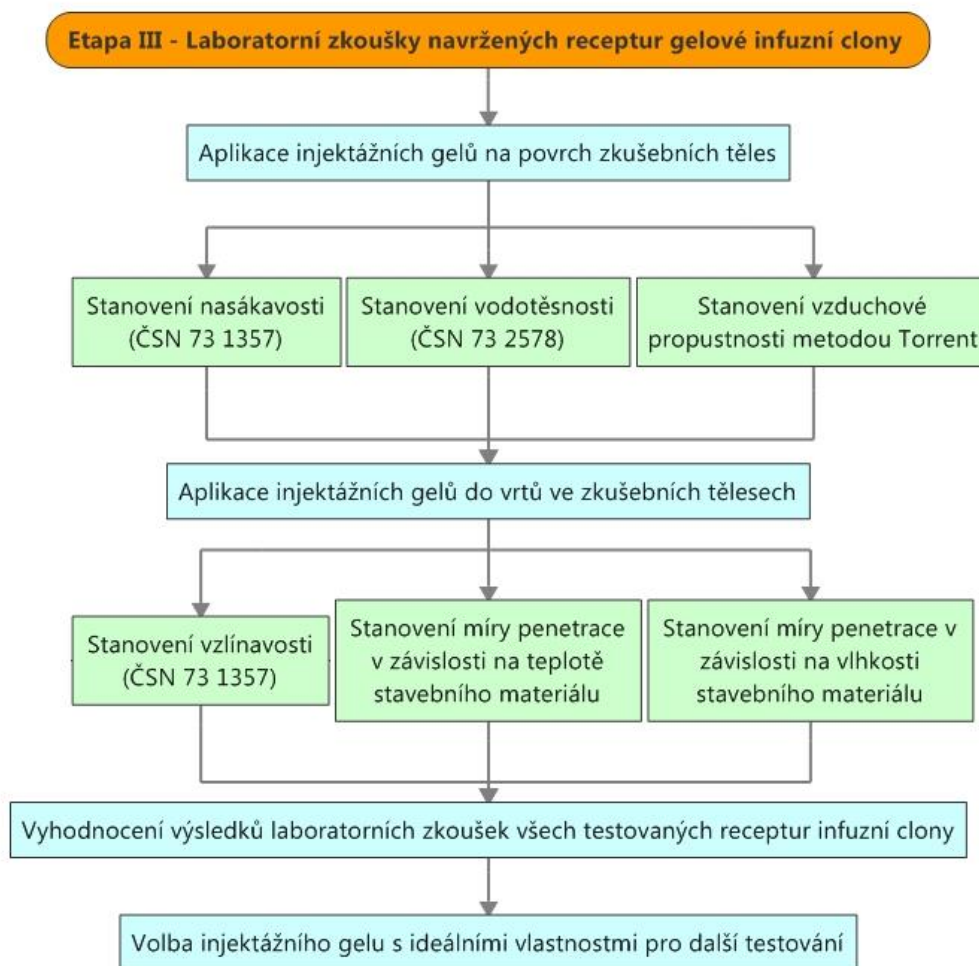
Předmětem řešení druhé etapy disertační práce bude volba stavebních materiálů, na nichž dojde k laboratornímu testování infuzní clony tak, aby došlo k pokrytí spektra v praxi běžně používaných zdících prvků. Bude se jednat převážně o cihelné a smíšené zdivo. Dále budou provedena měření mechanicko-fyzikálních vlastností těchto materiálů, která podají podrobné informace o prostředích, pro něž bude infuzní bariéra určena. Bude se jednat o stanovení porozimetrie a spacing factoru daných stavebních materiálů. Schéma řešení etapy II je přehledně znázorněno na obrázku 38.



Obr. 38: Schéma postupu řešení předkládané disertační práce – etapa II

3.1.3 Etapa III – Laboratorní zkoušky navržených receptur gelové infuzní clony

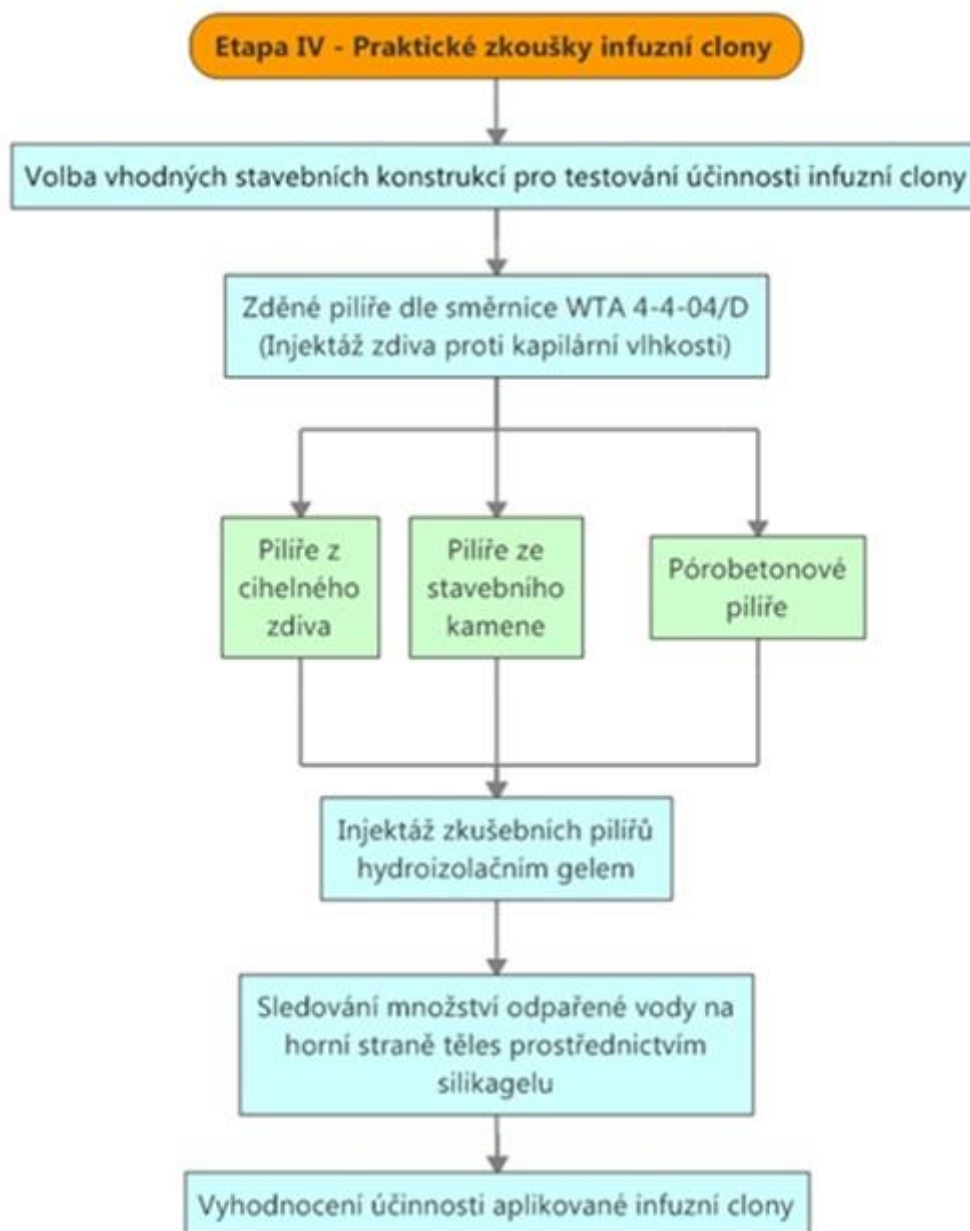
Ve třetí etapě již dojde k testování nově vyvinutých gelů určených pro vytváření hydroizolačních clon. Bude se jednat zejména o zkoumání reologických vlastností v závislosti na vlhkosti, teplotě a druhu aplikačního prostředí, neboť tyto aspekty mají zásadní vliv na schopnost penetrace a výslednou funkčnost infuzních bariér. Dále dojde k ověření funkčnosti nové infuzní clony, která bude aplikována v laboratorním prostředí na speciálně připravené zkušební vzorky, simulující reálné podmínky budoucího využití. Dojde ke stanovení vzlínavosti, vodotěsnosti povrchové úpravy, nasákavosti a vzduchové propustnosti. Dále bude definitivně formulována aplikační technologie. Závěrem třetí etapy dojde k sumarizaci a vyhodnocení výsledků všech provedených laboratorních zkoušek. Na základě optimalizace těchto výsledků dojde k výběru injektážního gelu s nejlepšími vlastnostmi. Tento gel bude použit v další etapě pro praktické zkoušky in-situ. Celkové schéma řešení etapy III je znázorněno na obrázku 39.



Obr. 39: Schéma postupu řešení předkládané disertační práce – etapa III

3.1.4 Etapa IV – Praktické zkoušky nově navržené infuzní clony

V rámci čtvrté etapy bude funkčnost gelové infuzní clony ověřena na reálných konstrukcích odpovídajících budoucímu využití. Za tímto účelem dojde k vyzdění série zkušebních pilířů z daných stavebních materiálů, jež umožní porovnání funkčnosti injektážní clony s referenčními tělesy. Cílem etapy bude rovněž definitivní formulace aplikačního postupu, včetně tvaru, umístění a vzájemné vzdálenosti vstupů. Schéma řešení etapy IV je znázorněno na obrázku 40.



Obr. 40: Schéma postupu řešení předkládané disertační práce – etapa IV

3.1.5 Etapa V – Metodika stanovení přítomnosti injektážního gelu ve stavebním materiálu

V rámci poslední etapy disertační práce bude na základě předchozího testování vyvinuta metodika zkoušení, jejímž prostřednictvím bude možné stanovit přítomnost injektážního gelu ve stavebním materiálu. Tato metodika umožní posuzování účinnosti infuzních clon, neboť pro jejich správnou funkčnost je nezbytně nutná penetrace stavebního materiálu v zamýšleném místě aplikace injektážním gelem. V případě, že nedojde k překrytí penetrovaných oblastí ze sousedních vrtů, nedojde tím pádem ani k vytvoření infuzní clony, a tím pádem celý systém postrádá významu. Postup řešení etapy V je znázorněno na obrázku 41.



Obr. 41: Schéma postupu řešení předkládané disertační práce – etapa V

3.2 Postup prací

3.2.1 Etapa I - Volba materiálového složení gelové infuzní clony

Chemické infuze našly své pevné místo v současné stavební praxi. Nenáročná aplikovatelnost a malá časová náročnost řadí tyto systémy k progresivním metodám dodatečných izolací zdiva. Chemická clona je dodatečné provedení vodorovné, šikmé nebo svislé hydroizolační bariéry ve zdivu metodou chemické infuzní clony - napuštěním zdiva vhodným chemickým roztokem, kde infuzní prostředek utěšňuje nebo hydrofobizuje póry kapilárního systému a zamezuje transportu vlhkosti.[26] Aplikace infuzní clony může být buďto tlakově nebo beztlakově. Mezi zásadní nevýhody tlakových aplikačních metod patří zejména:

- Kapalina proti vztlínající vlhkosti může protékat prasklinami a štěrbinami a nedojde k jejímu rovnoměrnému rozložení v maltě. To může mít za následek problémy s kapalinou protékající přes společné dělicí zdi a poškození sousedních nemovitostí.
- Do zdi se dostane velké množství vody nebo rozpouštědla, což prodlužuje proces vysychání. Většina kapalin proti vlhkosti obsahuje přibližně 95 % vody nebo rozpouštědla.
- Tlakové vstřikování představuje zdravotní a bezpečnostní riziko. Pokud se nevytvoří příslušná zátka, kapalina může stříknout zpět do tváře pracovníka.
- Každá stěna je různě porézní, takže jinak reaguje na tlakové vstřikování. Pracovníci tomu ne vždy přizpůsobují techniku.
- Pro tlakové vstřikování jsou nutné drahé elektrické pumpy, které si vyžadují pravidelnou údržbu.
- Tlakové vstřikování je nudná, nepohodlná, pomalá práce, která je velmi závislá na pracovníkovi. Méně zodpovědní pracovníci mohou provádět vstřikování kratší čas, než je nutné, což může vést k problémům s kvalitou.
- Systémy založené na gravitaci jsou velmi časově náročné, protože „nálevné otvory“ se musí naplnit několikrát, aby ošetření bylo dostatečné - zvláště to platí u ošetření rozměrných zdí.

Výše zmíněné problémy dokáží nové beztlakové injektážní systémy překonat, a to zejména proto, že:

- Tyto systémy se nevstřikují pod tlakem. Jednoduše se zavede do otvorů a ponechá se rozšířit. To eliminuje výše uvedené problémy, které způsobuje tlakové vstřikování.[19]
- Obsahují dle typu přes 60 % aktivních složek ve srovnání s přibližně 5 % u kapalin proti vlhkosti. Takže se do stěny dostává mnohem menší množství vody, což zkracuje dobu vysychání.[26]
- Aplikují se pomocí jednoduché aplikační pistole, která stojí zlomek ceny elektrické pumpy proti vztlínající vlhkosti.[26]

Tyto nové systémy umožní nejen překonání omezení tradičního tlakového vstřikování. Dojde rovněž k urychlení aplikace a ke snížení celkových nákladů. Začleněním druhotných surovin do receptury dojde rovněž ke snížení dopadu na životní prostředí.[26]

V rámci této etapy dojde nejprve k volbě chemické báze, na základě současného stavu poznání v oblasti chemických hydroizolačních injektází. Dále pak dojde k výběru a rešeršnímu zhodnocení vlastností spektra druhotných surovin vhodných pro začlenění do receptury samotných infuzních clon. Na základě porovnání zvolených parametrů, mezi něž patří nutnosti předúpravy, chemické a mineralogické složení, pak dojde k finálnímu výběru ideálních druhotných surovin.

Na základě těchto poznatků bude dalším krokem formulace receptur nových infuzních clon, vhodných pro beztlakou injektáž a s určitým obsahem druhotných surovin ve svém složení.

Finálním výstupem celé etapy pak bude samotná laboratorní příprava nových vzorků gelové infuzní clony o různých recepturách.

3.2.2 Etapa II – Stanovení vlastností testovaných stavebních materiálů

Jako první krok při testování účinnosti injektážních gelů je nutné formulovat spektrum testovaných stavebních materiálů, na nichž pak bude probíhat samotné laboratorní testování. Toto spektrum bude voleno tak, aby dostatečně pokrylo celkovou škálu stavebních materiálů běžně používaných v praxi. Bude se jednat o zástupce klasického cihelného zdiva, dále pak zdících prvků ze stavebního kamene a pórobetonu. Jelikož ve stavební konstrukci má významný vliv na míru vztlínající vody rovněž pojivo v konstrukci použité, dojde rovněž k testování zdící malty.

Aby bylo možné hodnotit efektivitu infuzních clon v různých typech zdiva, bude nutné získat detailnější představu o testovaných materiálech. Za tímto účelem dojde prostřednictvím několika laboratorních zkoušek ke stanovení materiálně-fyzikálních vlastností všech uvažovaných stavebních materiálů. Mezi tyto laboratorní zkoušky bude patřit stanovení porozimetrie, spacing factoru a objemové hmotnosti.

3.2.2.1 Porozimetrie

Pórovitost se stanovuje pomocí rtuťové porozimetrie dle normy ČSN 72 5010. Tato metoda poskytuje informace o objemu a hustotě pórů, dokáže ovšem i specifikovat povrch pórů. Metoda je založená na jevu kapilární deprese, kdy při ponoření tělesa do kapaliny, která jej nesmáčí (nebo špatně smáčí), se tato kapalina dostane do pórů jen za působení tlaku. Následně z velikosti tlaku, který byl vynaložen na vtlačení určitého objemu rtuti (nesmáčivá kapalina) do pórů, je určen poloměr pórů. Pokud se tedy tlak zvyšuje, je zřejmé, že rtuť vniká do pórů stále menšího poloměru, tudíž zvyšováním tlaku a měřením objemu rtuti, která byla vtlačena do pórů, je možné stanovit objem pórů podle velikosti. Průměr pórů je nepřímo úměrný tlaku a přímo úměrný kontaktnímu úhlu mezi kapkou rtuti a měřeným povrchem.[29]

3.2.2.2 Spacing factor

Spacing factor neboli součinitel prostorového rozložení vzduchových pórů je parametr vyjadřující maximální vzdálenost jakéhokoliv bodu v cementovém tmelu od okraje vzduchového póru, měřený v cementovém tmelu a jeho jednotkou je milimetr. Struktura vzduchových pórů se zjišťuje podrobným snímáním podél řady měřících přímek, vedených rovnoběžně s původním horním povrchem vzorku. Počet vzduchových pórů protnutých

měřícími přímkami je zaznamenán, stejně jako jednotlivé délky tětív. Matematická analýza zaznamenaných dat poté umožňuje popis systému vzduchových pórů z hlediska požadovaných parametrů.[30]

3.2.2.3 Objemová hmotnost

Objemová hmotnost zkušební tělesa se stanoví jako poměr jeho hmotnosti ve vysušeném stavu a objemu, který toto těleso nasáklé vodou zaujímá při ponoření do vody.

V prvním kroku se těleso vysuší v sušárně do ustálené hmotnosti a hmotnost zkušební tělesa $m_{s,dry}$ se v kg zaznamená s přesností 0,1 %. Poté se zkušební těleso ponoří do vody o laboratorní teplotě až do doby, kdy není pozorován nárůst zdánlivé hmotnosti, to znamená, dokud se dvě po sobě následující vážení po patnácti minutách ponoření ve vodě od sebe neliší o více jak 0,2 % hmotnosti testovaného tělesa v suchém stavu. Po vyjmutí z vody a ořnění přebytečné vody vlhkou tkaninou se těleso zváží a zaznamená se jeho hmotnost, $m_{s,sat}$ v kg s přesností 0,1 %.[31]

Objem tělesa se stanoví vážením ve vodě. Vlhké zkušební těleso se umístí na závěsné zařízení a odstraní se vzduchové bubliny ulpívající na stěnách vzorku a zaznamená se jeho zdánlivá hmotnost $m_{s,l}$ [kg] s přesností 0,1 %.[31]

Objem testovaného tělesa se vypočítá ze vztahu:

$$V_s = \frac{m_{s,sat} - m_{s,l}}{\rho_w} \quad [\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}] \quad (4)$$

Objemová hmotnost se pak vypočítá jako poměr zaznamenané hmotnosti tělesa v suchém stavu ($m_{s,dry}$) k objemu tělesa V_s . Počítá se průměrná hodnota ze tří měření. Všechny hodnoty se zaokrouhlují na 10 kg/m^3 . [31]

3.2.3 Etapa III – Laboratorní zkoušky navržených receptur gelové infuzní clony

V rámci třetí etapy již dojde k samotnému testování vlastností nově vyvinutých infuzních clonových systémů na zvoleném spektru stavebních materiálů.

Nejprve dojde k realizaci zkušebních postupů, pro jejichž realizaci je vhodná aplikace hydroizolačních gelů na povrch zkušebních těles. Mezi tyto zkoušky patří stanovení nasákavosti, povrchové vodotěsnosti a vzduchové propustnosti metodou Torrent.

Dalším krokem bude přistoupení k aplikaci infuzních materiálů přímo do vrtů vytvořených ve zkušebních tělesech. Vzhledem k předpokládaným rozměrům těchto těles, budou pravděpodobně rozteče i průměry těchto vrtů v rámci laboratorního testování proporcionalně sníženy. Zkoušky prováděné na těchto tělesech budou stanovení vztlakovosti, stanovení míry penetrace infuzních gelů v závislosti na teplotě a vlhkosti ošetřovaného stavebního materiálu.

Na základě vyhodnocení a následné optimalizaci dosažených výsledků dojde k výběru injektážního gelu s ideálními vlastnostmi pro další testování.

3.2.3.1 Stanovení nasákavosti

Stanovení nasákavosti se provádí úplným ponořením zkušebního na stanovenou dobu do vody dle normy ČSN 73 1357. Tělesa se umístí na rošt a zatíží se tak, aby styčná plocha závaží byla co nejmenší. Nádoba s tělesy se naplní vodou tak, aby hladina sahala do 1/3 jejich výšky. Po 24 hodinách se voda dolije tak, aby hladina sahala do 2/3 jejich výšky a po dalších 24 hodinách se nádoba doplní tak, aby vodní hladina převyšovala horní plochu zkušebních těles zhruba o 20 mm. Po dalších 24 hodinách, tedy po 72 hodinách od započetí zkoušky se tělesa vyjmou z nádoby, voda se nechá okapat a oťrou se navlhčenou tkaninou a ihned poté zváží. Nejdříve po 24 hodinách odležení v laboratorních podmínkách se hranoly vysuší do ustálené hmotnosti a zváží.[32]

Nasákavost jednotlivých vzorku se stanoví ze vztahu:

$$w_a = \frac{m_a - m_d}{m_d} \cdot 100 \quad [\%] \quad (5)$$

Kde m_a je hmotnost nasáknutého tělesa, v gramech a m_d je hmotnost vysušeného tělesa, v gramech. Výsledná hodnota zkoušky nasákavosti se vypočítá jako aritmetický průměr z výsledků zjištěných na dvou zkušebních tělesech a uvádí se s přesností na 1 %.[25]

3.2.3.2 Stanovení povrchové vodotěsnosti

Celým názvem se tato metoda nazývá zkouška vodotěsnosti povrchové úpravy stavebních konstrukcí. Podstatou zkoušky je změření množství vody, které nasákne do povrchu zkoušeného vzorku během stanovené doby. Měření je nutno provádět na minimální ploše 100 mm x 100 mm, proto bude tato metoda prováděna na vzorcích cihel a maltových dílců penetrovaných ze strany 160 mm x 160 mm. Sadu vzorků pro zkoušku jednoho gelu tvoří tři vzorky.[33]

Plastový zvon, na jehož obvodu je aplikován silikonový tmel, se přimáčkne na testovaný vzorek a pomocí dvou svorek dojde k jeho upevnění. Do zvonu se umístí dělená pipeta a celá soustava se opatrně naplní vodou tak, aby došlo k odstranění všech vzduchových bublin. Po pěti minutách dojde k opětovnému doplnění vody po rysku. Po dalších třiceti minutách dojde k odečtení konečného výsledku s přesností na 0,1 ml.[33]

Vodotěsnost povrchové úpravy V_{30} v l/m^2 se stanoví ze vztahu:

$$V_{30} = \frac{\Delta l}{A} \quad [l \cdot m^{-2}] \quad (6)$$

Kde Δl je úbytek vody za 30 minut v litrech a A představuje smáčenou plochu v m^2 . [26]

3.2.3.3 Stanovení vzduchové propustnosti metodou Torrent

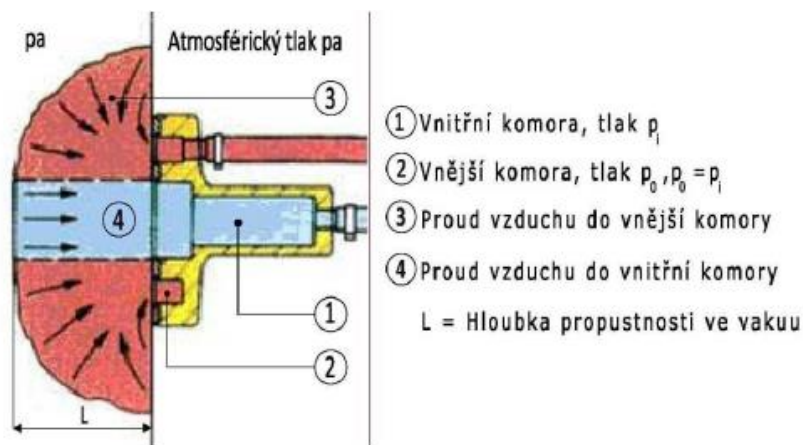
Zařízení pro zkoušení permeability Torrent (viz Obr. 42) je měřicí přístroj, který je vhodný pro nedestruktivní stanovení vzduchové nepropustnosti krycí vrstvy stavebních materiálů. Přístroj pracuje ve spojení s vakuovým čerpadlem a může být použit k měření jak na stavbě, tak v laboratoři. Měření je považováno za velmi spolehlivé a snadné, může být použito pro plochy vodorovné i svislé a není nijak časově náročné.[34]



Obr. 42: Měřicí zařízení pro stanovení vzduchové propustnosti metodou Torrent

Hlavními částmi přístroje jsou dvoudílná vakuová komora (s vnitřní komorou o průměru 32 mm a vnější komorou o průměru 86 mm) a tlakový regulátor. Ten zajišťuje proudění vzduchu kolmo k povrchu směrem do vnitřní komory, ze které je odsáván vzduch vývěvou.[35]

Schéma vzduchových proudů při stanovení vzduchové nepropustnosti metodou Torrent je znázorněno níže na obrázku 43.



Obr. 43: Schéma proudění vzduchu ve vakuových komorách[34]

Princip stanovení vzduchové propustnosti betonu spočívá ve vytvoření vakua při povrchové vrstvě betonu a měření průtoku vzduchu betonem do měřicího zařízení během stanoveného časového úseku.[35]

3.2.3.4 Stanovení vzlínivosti

Za účelem stanovení vzlínivosti budou použita zkušební tělesa, která budou injektována ve spodních částech hydroizolačními gely, aby tak došlo k zastavení vzlínající vody, tedy simulace jejich použití v praxi. Vlastní zkouška se provádí částečným ponořením zkušebních těles do vody na 72 hodin dle normy ČSN 73 1357. Po celou tuto dobu je udržována hladina vody ve výšce 4 - 6 mm od základny zkušebního tělesa.[36]

Bezprostředně před započítáním zkoušky se tělesa zváží a umístí se do nádoby, ve které je udržována stálá hladina ve výšce zhruba 5 mm nad horní plochou roštu. Tělesa se umístí na základnu o nejmenší ploše. Po uplynutí 72 hodin od umístění vzorků do vody se vyjmou, plocha, která byla v kontaktu s vodou, se oře vlhkou tkaninou a tělesa se ihned zváží. Poté se zkušební tělesa vysuší do ustálené hmotnosti a zváží.[36]

Vzlínivost se vypočte ze vztahu:

$$W_c = \frac{m_c - m_d}{A} \quad [\text{g} \cdot \text{mm}^{-2}] \quad (7)$$

Kde m_c je hmotnost hranolu po 72 hodinách vzlínání, v gramech; m_d je hmotnost hranolu po vysušení, v gramech; A je plocha základny hranolu ponořená do vody v milimetrech čtverečních. Výsledná hodnota se uvádí jako aritmetický průměr s přesností na 0,1 g / mm². [36]

3.2.3.5 Stanovení míry penetrace infuzních gelů v závislosti na teplotě

Pro provedení této laboratorní zkoušky budou do zvolených zkušebních těles vyvrtány injektážní otvory, do nichž budou aplikovány infuzní gely. Tyto tělesa budou před a po injektáži uloženy v prostředích o různých teplotách, aby mohla být sledována schopnost penetrace různých receptur infuzních gelů při různých teplotách.

Po uplynutí doby potřebné k tomu, aby došlo k maximální možné penetraci zkušebního tělesa injektážním gelem, budou zkušební tělesa vyjmuta z prostředí o daných teplotách a v polovině materiálu, v rovině kolmé na rovinu vrtů podélně rozříznuty.

Míra penetrace bude vyhodnocena prostřednictvím měření průměru kruhové výseče kolem jednotlivých infuzních vrtů s přesností na desetiny milimetru. Pro lepší stanovení okraje penetrované oblasti bude použit roztok UV indikátoru vlhkosti - Fluorescein (disodná sůl).

3.2.3.6 Stanovení míry penetrace infuzních gelů v závislosti na vlhkosti

Stejně tak jako u předchozí zkoušky budou do zvolených zkušebních těles vyvrtány injektážní otvory, do nichž budou aplikovány infuzní gely. Tyto tělesa budou v okamžiku injektáže obsahovat různou hodnotu procentuální vlhkosti a po aplikaci gelů budou uloženy v neprodyšných obalech, aby po celou dobu penetrování zkušebního tělesa byla hodnota vlhkosti neměnná.

Po uplynutí doby potřebné k tomu, aby došlo k maximální možné penetraci zkušebního tělesa injektážním gelem, budou zkušební tělesa vyjmuta z prostředí o daných vlhkostech a v polovině materiálu, v rovině kolmé na rovinu vrtů podélně rozříznuty.

Míra penetrace bude vyhodnocena prostřednictvím měření průměru kruhové výseče kolem jednotlivých infuzních vrtů s přesností na desetiny milimetru. Pro lepší stanovení okraje penetrované oblasti bude použit roztok UV indikátoru vlhkosti - Fluorescein.

3.2.3.7 Vyhodnocení výsledků laboratorních zkoušek

Závěrem třetí etapy dojde prostřednictvím optimalizace všech doposud získaných výsledků laboratorního měření k volbě jednoho injektážního gelu, který bude vykazovat nejlepší vlastnosti pro další testování.

3.2.4 Etapa IV – Praktické zkoušky infuzní clony

Ve čtvrté etapě již dojde k testování zvolené ideální receptury infuzní clony v reálných podmínkách. K tomu dojde jednak prostřednictvím testováním speciálně vyžděných pilířů dle směrnice WTA 4-4-04/D *Injektáž zdiva proti kapilární vlhkosti*, a jednak prostřednictvím in-situ testování na vytipovaných reálných budovách.

3.2.4.1 Testování zkušebních pilířů dle směrnice WTA 4-4-04/D

Ověření funkčnosti dodatečně vytvořené vodorovné injektážní clony, vytvořené za účelem zastavení vztlínající kapilární vlhkosti, se provádí v simulovaných podmínkách, které co nejvíce odpovídají podmínkám v praxi. Pro tyto účely se využívají zmenšená modelová tělesa, u nichž je simulována vztlínající kapilární vlhkost. Modelová tělesa se poté napouští injektážním materiálem dle pokynů uváděných výrobcem stejným způsobem, jako k tomu dochází u reálných budov. Celá zkouška je prováděna dle pokynů a zásad WTA uvedených ve směrnici 4-4-04/D: *Injektáž zdiva proti kapilární vlhkosti* (viz Tab 2.). Pro měření vlhkosti zdiva bude použit odporový vlhkoměr.[26]

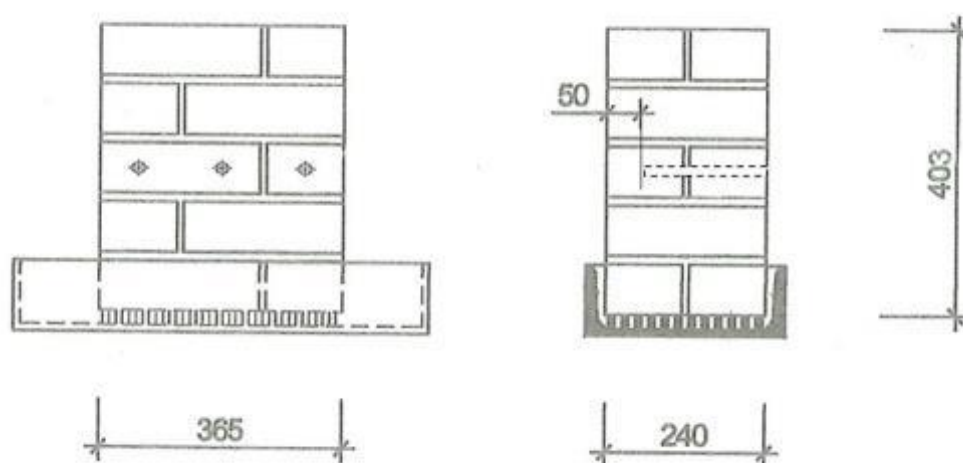
Tab. 2. *Obecný návod stanovení vztlínající kapilární vlhkost dle směrnice WTA 4-4-04/D*

	Průkazní zkouška		
	Při stupni nasycení materiálu vodou do 60 %	Při stupni nasycení materiálu vodou do 80 %	Při stupni nasycení materiálu vodou do 95 %
	Cihly vyžděné podle doporučení WTA		
Předcházející kondicionování zkušebního vzorku (tělesa); Stupeň nasycení 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 na účinnost	Porovnání injektovaného zkušebního tělesa s neinjektovaným tělesem referenčním měřením množství odpařené vody příp. obsahu vody v materiálu podle doporučení WTA		

Zkušební pilíře budou zděny na rošty umístěné v plastových vanách, aby byl umožněn přístup vody celým ponořeným povrchem zkušební pilíře, a tím simulovány podmínky vztlínající vlhkosti stejným způsobem, jako k tomu dochází u reálných stavebních struktur.

Po vyzdění budou zkušební pilíře po dobu dvaceti osmi dnů vystaveny podmínkám klimatu, ve kterém budou posléze testovány a aby došlo k jejich penetraci vztlínající vlhkostí. Vodní hladina musí po celou dobu testování sahat do výšky 30 mm výšky od základny zkušebních těles.[26]

Poté budou u poloviny všech zkušebních pilířů vyvrtány zkušební vrty ve středech pilířů tak, jak to předepisuje směrnice (viz Obr. 44). Směrnice uvádí rozteč vrtů v rozmezí 100 – 140 mm. Průměr aplikačních vrtů musí činit přesně 20 mm a sahat do hloubky 50 mm od protější stěny zkušební pilíře. Druhá polovina těles bude sloužit jako referenční. Rozměry všech zkušebních pilířů vychází ze směrnice WTA a činí 240 mm x 403 mm x 365 mm.[26]



Obr. 44: Schéma zkušebního pilíře s připravenými injektážními vrty[26]

Následně dojde k vyčištění vrtů stlačeným vzduchem a k aplikaci injektážního gelu. Třicet dní od injektáže budou tělesa opět ponechána ve stejných podmínkách. Po uplynutí této doby bude možno přistoupit k vlastnímu měření prošlé vlhkosti a k porovnání výsledků pozorovaných u injektovaných a referenčních těles.

Aby bylo zabráněno úniku vlhkosti bočními stěnami pilířů, dojde k jejich obalení plastovou folií. Před započítáním zkoušky účinnosti je nutno zajistit, aby k nasáknutí vody docházelo pouze do vody ponořenou stranou zkušební tělesa a k odpařování vlhkosti docházelo pouze horní plochou. Důležitým krokem je i zabezpečení stejných podmínek ukládání a zkoušení injektovaných a referenčních zkušebních těles. Horní strana zkušební tělesa, na které dochází k odpařování vlhkosti, bude opatřena plastovým zvonem, v němž bude uložena nádoba se silikagelem, jenž pohlcuje vlhkost, která projde pilířem. Pravidelným vážením silikagelu bude zjišťováno množství vlhkosti prošlé zkušebním tělesem do uzavřeného zvonu. Použitý silikagel musí být v pravidelných časových intervalech měněn, aby nedošlo k vyčerpání jeho absorpční schopnosti.[26]

Závěrem čtvrté etapy dojde k vyhodnocení účinnosti aplikované infuzní clony v praktických podmínkách, a tudíž i jejího možného použití ve stavební praxi.

3.2.5 Etapa V – Metodika stanovení přítomnosti injektážního gelu ve stavebních materiálech

Na základě všech doposud získaných údajů o vzniku a působení infuzních clon dojde v rámci poslední etapy disertační práce k vývoji unikátní metodiky, jejímž prostřednictvím bude možné stanovit přítomnost hydroizolačních gelů ve stavebních konstrukcích. Tím dojde k možnosti posouzení efektivnosti infuzních clon, neboť k zajištění jejich správného působení je bezpodmínečně nutná penetrace stavebních materiálů v okolí aplikačních vrtů v takové míře, aby došlo k protnutí kruhových výsečí penetrovaných oblastí sousedních vrtů.

Tuto metodiku bude tvořit ucelené spektrum zkušebních postupů sestavené na základě předchozího testování.

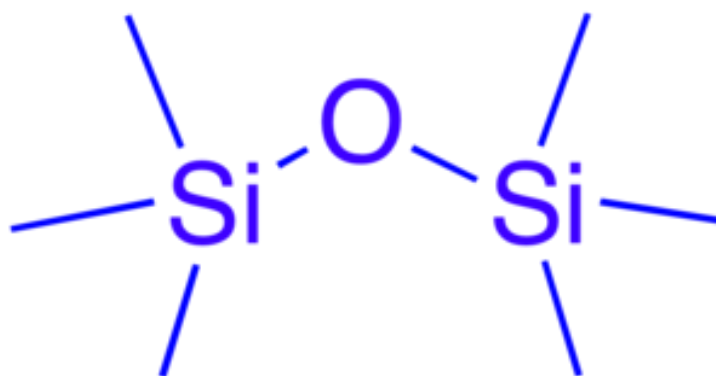
4 VÝSLEDKY, VYHODNOCENÍ A JEJICH DISKUZE

4.1 Etapa I – Volba materiálového složení gelové infuzní clony

Předmětem této etapy je zkoumání možností složení nově vyvíjených hmot vhodných pro provádění hydroizolačních injektáží. Zejména se jedná o návrh primární báze a druhotných surovin vhodných k použití jako plniva v nově vyvíjených materiálech.

4.1.1 Volba vhodné chemické báze infuzní clony

Prvním krokem při návrhu materiálového složení nové gelové infuzní clony byla volba vhodné chemické báze. Vzhledem k požadavku toho, aby bylo možné nově vyvinutou infuzní clonu aplikovat do horizontálních vrtů, bylo nutné, aby použité hydroizolační hmoty měly takovou viskozitu, aby nedocházelo k jejich vytékání z vrtů. Fakt, že injektážní vrty nebudou muset být vedeny ve sklonu, umožní aplikaci clony v místech těsně pod stropy či podhledy nebo v jiných místech, kde by nebylo možné vrtat pod úhlem. Za tímto účelem bylo přistoupeno k použití tzv. „emulzních past“ založených na alkoxy-silanové bázi, které vykazují požadované vlastnosti i viskozitu. Jednotlivé silanové skupiny jsou v molekule spojeny prostřednictvím tzv. siloxanové funkční skupiny (viz Obr. 45). Tato báze je navržena tak, že při jejím použití dochází k chemické reakci, která spotřebovává vlhkost z okolního prostředí, což ji činí ideální pro sanaci vlhkého zdiva. Produktem reakce (hydrolyzy) alkoxy-silanové báze s vlhkým prostředím je alkohol, který se následně odpaří. To znamená, že stěny pórů stavebního materiálu jsou hydrofobizovány do takové míry, že dochází k zamezení vztlínající vlhkosti, ale zároveň nedochází k utěsňování pórů, takže mechanicko-fyzikální vlastnosti daného materiálu zůstávají takřka nezměněny. V důsledku této reakce vzniká silikonová vazba, která tvoří finální hydrofobní matici v sanovaném zdivu. Jedním z největších pozitiv této báze je, že je možné ji aplikovat beztlakovou metodou.



Obr. 45: Strukturální vzorec siloxanové funkční skupiny

4.1.2 Výběr vhodných druhotných a alternativních surovin

Pro výzkum a vývoj gelových infuzních clon byly vytipovávány vhodné druhotné suroviny, vzniklé úpravou průmyslových odpadů. Druhotné suroviny získané úpravou průmyslových odpadů mohou být po jejich dokonalém posouzení z hlediska mineralogického i chemického vhodné jako složky stavebních materiálů bez jakýchkoliv nežádoucích účinků. Využití druhotných a alternativních surovin je rovněž nesporným ekologickým

i ekonomickým přínosem tohoto výzkumu. Za tímto účelem byla vybrána široká škála níže popsaných odpadních surovin, u kterých byly analyzovány jejich vlastnosti. Pro posouzení byly vybrány následující odpadní suroviny:

- popílek Poříčí (filtr)
- popílek Hodonín (ložový)
- odpad z praní drceného vápence
- ocelářská struska TŽ Třinec
- brusné kaly Omya
- kaly Cembrit
- metakaolin
- křemičité úlety
- energosádrovec Chvaletice
- propírka Želešice

Do širšího výběru odpadních surovin, které by byly následně využity, jako plnivová složka nově navržených materiálů pro infuzní clony bylo zařazeno celkem 10 odpadních surovin.

Níže jsou uvedeny výsledky laboratorních zkoušek provedených na vzorcích těchto surovin, které pak byly porovnány s limitními technologickými parametry (chemické složení, mineralogické složení). Současně byly odpadní suroviny srovnávány na základě ekonomických a technologických parametrů a to včetně parametru nutnosti úpravy suroviny před vlastním použitím, což by značně komplikovalo využití těchto surovin zvýšenými investičními náklady.

Výběr vhodné odpadní suroviny byl založen na následujících parametrech, a to technických, ekonomických a technologických. Konkrétně se jednalo o následující parametry:

- chemické složení – obsah škodlivin,
- mineralogické složení – obsah škodlivin,
- granulometrie,
- měrná hmotnost,
- nutnost úpravy před použitím (třídění, mletí, sušení)

Popílek Poříčí (filtr) pochází z elektrárny Poříčí, která spaluje hnědé uhlí, což ovlivňuje mineralogické a chemické složení popílku. Roční produkce se u tohoto odpadu pohybuje na úrovni 50 000 tun. Chemické složení, mineralogické složení a další fyzikální parametry jsou uvedeny v tabulce 3.[30]

Elektrárenský popílek je nerostný zbytek získávaný z elektrostatických nebo mechanických odlučovačů kouřových plynů, vznikajících spalováním uhelného prachu. Roční produkce popílku z tepelných elektráren v ČR se pohybuje na úrovni 10 Mt a tvoří velmi významný objem odpadních látek v energetice, jelikož více jak 70% elektrické energie v ČR vyrábí tepelné elektrárny spalující černé nebo hnědé uhlí. V průmyslu se dále využívá pouze asi 10% produkovaného objemu elektrárenských popílků. Vzhledem k vysoké produkci elektrárenských popílků v ČR je důležité zajistit jeho efektivní zpracování, a to například ve stavebnictví kde lze s výhodou využít především jeho pucolánových vlastností. To znamená využít reakce křemičitého popílku s hydroxidem vápenatým Ca(OH)_2 obsaženým v cementu, čímž dojde k vytváření látek podobných jako při tuhnutí a tvrdnutí portlandského cementu.

Samotný popílek není hydraulický, to znamená, že samostatně není schopen reagovat s vodou. Pokud je ale popílek smísen hydroxidem vápenatým obsaženým v cementu, v tomto případě reaguje s vodou a vytváří stejné reakční produkty jako cement. Tato pucolanita však může být snížena, pokud je popílek nevhodně skladován ve vlhkém prostředí po delší dobu. Částice jednotlivých druhů popílků se navzájem částečně odlišují, obecně lze však konstatovat, že částice popílků, pokud vznikly z dostatečně tekuté taveniny, mají kulovitý tvar zpravidla o průměru 1 až 100 μm . Kuličky jsou buď plné, nebo duté s otvory a jejich sklovina je obvykle našedlá nebo nažloutlá.[37]

Tab. 3. *Výsledky stanovení vlastností popílku Poříčí - původcem odpadu je elektrárna Trutnov-Poříčí, ČEZ a.s.*

Chemické složení [%]	CaO	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	SO ₃	Na ₂ O	MgO	K ₂ O	SiO ₂
	21,11	18,79	4,54	9,1	0,18	0,81	1,03	38,28
Mineralogické složení	Kalcit, anhydrit, β - křemen, volné vápno, hematit, ortoklas							
Zrnitost [mm]	< 1,0							
Objemová hmotnost[kg/m ³]	2510							
Vlhkost [%]	0,1							
Nutná úprava před použitím	Žádná							

Popílek Hodonín pochází z elektrárny Hodonín, která spaluje lignit z blízkého dolu, což ovlivňuje mineralogické a chemické složení popílku. Roční produkce se u tohoto odpadu pohybuje na úrovni 150 000 tun. Chemické složení, mineralogické složení a další fyzikální parametry jsou uvedeny v tabulce níže.[38]

Výsledky stanovení vlastností popílku Hodonín, včetně chemického a mineralogického rozboru, jsou uvedeny níže v tabulce 4.

Tab. 4. *Výsledky stanovení vlastností popílku Hodonín - původcem odpadu je elektrárna Hodonín, ČEZ a.s.*

Chemické složení [%]	CaO	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	SO ₃	Na ₂ O	MgO	K ₂ O	SiO ₂
	17,2	19,5	3,3	7,2	1,0	2,0	1,1	43,2
Mineralogické složení	Kalcit, anhydrit, β - křemen, volné vápno							
Zrnitost [mm]	< 1,0							
Objemová hmotnost [kg/m ³]	2300							
Vlhkost [%]	0,1							
Nutná úprava před použitím	Žádná							

Produkce **ocelářské strusky - Třinecké železářny** ročně činí zhruba 50 000 tun. Chemické složení, mineralogické složení a další fyzikální parametry jsou uvedeny v tabulce 5.[39]

Tab. 5. *Výsledky stanovení vlastností ocelářské strusky TŽ - původcem odpadu jsou Třinecké Železářny a.s.*

Chemické složení [%]	CaO	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	SO ₃	P ₂ O ₅	MgO	S	SiO ₂
	41,9	3,9	12,9	0,2	1,3	8	0,2	14,4
Mineralogické složení	β - křemen, magnetit, belit, C ₂ A ₇ , FeO(OH), C ₄ AF							
Zrnitost [mm]	< 0,1							
Objemová hmotnost [kg/m ³]	3310							
Vlhkost [%]	0,6							
Nutná úprava před použitím	Třídění podle způsobu využití							

Odpad z praní drceného vápence vzniká ve firmě Omya a.s. Vytěžený a předdrcený vápenc je z lomu dopravován nákladními auty do závodu firmy Omya a.s. Vápenná. Zde je vysypán do autovýsypky, ze které jde přímo na praní, sušení a další úpravy. Na lince praní a sušení probíhá vibrační třídění vápencových drtí. Při tomto procesu jsou ručně vybírány cizorodé látky jako např. dřevo a kov. Poté se surovina podrtí v kuželovém drtiči. Při praní a sušení podrcené suroviny vzniká odpad z praní drceného vápence, jehož chemické složení je téměř shodné s produkovaným mletým a drceným vápencem. Roční produkce tohoto odpadu se pohybuje na úrovni 10 000 tun. Tento odpad má vlhkost přibližně 13%, proto musí být pro výrobu suchých směsí dodatečně dosušován. Chemické složení, mineralogické složení a další fyzikální parametry jsou uvedeny v tabulce 6.[40]

Tab. 6. *Výsledky stanovení vlastností odpadu z praní drceného vápence - původcem odpadu je Omya a.s.*

Chemické složení [%]	CaO	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	SO ₃	MnO	MgO	K ₂ O	SiO ₂
	54,6	0,09	0,08	0,87	0,01	0,6	0,02	0,01
Mineralogické složení	Kalcit							
Zrnitost [mm]	< 0,1							
Objemová hmotnost [kg/m ³]	2690							
Vlhkost [%]	15,8							
Nutná úprava před použitím	Sušení 2 hodiny při t = 80 °C							

Brusné kaly Omya pocházejí z výroby firmy Omya a.s. ve Vápenné, která je největším výrobcem a prodejcem teracové dlažby v ČR. Teracová dlažba je vyráběna z tříděných mramorových a vápencových drtí, vysokopevnostního cementu, barevně stálých pigmentů a speciálních přísad. Základní povrchová úprava dlaždic je broušení, případně leštění a otryskání. Zde se tři dny staré teraco dlaždice povrchově upravují, zejména brousí, případně řezou a při této činnosti vzniká odpad označovaný jako brusné a řezné kaly. Tyto kaly jsou pak dále promíchány, při procesu sedimentace částečně zbaveny vody a následně vysušeny na vlhkost cca 40%, proto musí být před použitím do suchých směsí ještě dosušovány na konstantní hmotnost. Roční produkce tohoto odpadu se pohybuje na úrovni 2 000 tun. Chemické složení, mineralogické složení a další fyzikální parametry jsou uvedeny v tabulce 7.[40]

Tab. 7. *Výsledky stanovení vlastností brusných kalů Omya – původcem odpadu je firma Omya a.s.*

Chemické složení [%]	CaO	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	SO ₃	Cl ⁻	MgO	K ₂ O	SiO ₂
	51,0	0,3	0,8	1,3	0,018	1,62	-	-
Mineralogické složení	Kalcit, ettringit, portlandit							
Zrnitost [mm]	< 1,0							
Objemová hmotnost [kg/m ³]	2890							
Vlhkost [%]	70,4							
Nutná úprava před použitím	Sušení 24 hodin při t = 80 °C							

Kaly Cembrit dodávané firmou Cembrit, která je největším výrobcem vláknocementové střešní krytiny ve střední Evropě, která se od roku 1996 vyrábí bez použití azbestových vláken, mají roční produkci z výroby zhruba na úrovni 1 000 tun. Tento odpad má od dodavatele vyšší vlhkost a proto musí být pro výrobu suchých směsí dodatečně dosušován. Chemické složení, mineralogické složení a další fyzikální parametry jsou uvedeny v tabulce 8.[41]

Tab. 8. *Výsledky stanovení vlastností brusných kalů Cembrit - původcem odpadu je firma Cembrit CZ, a.s.*

Chemické složení [%]	CaO	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	SO ₃	Cl ⁻	MgO	MnO	SiO ₂
	40,71	7,02	2,06	5,6	0,01	1,34	0,046	13,28
Mineralogické složení	Portlandit							
Zrnitost [mm]	< 0,2							
Objemová hmotnost [kg/m ³]	2170							
Vlhkost [%]	61,3							
Nutná úprava před použitím	Sušení 24 hodin při t = 80 °C, mletí							

Metakaolin Sedlec je pucolán vyrobený výpalem kaolinů, kaolinitických jílu apod. v teplotním rozmezí cca 600 – 900 °C. Pucolány jsou křemičité nebo hlinitokřemičité materiály, které mají velmi malé pojivé vlastnosti, které získávají po reakci s Ca(OH)₂ za přítomnosti vlhkosti. Metakaolin lze využít jako aktivní příměs do betonu. Je schopen reakce s Ca(OH)₂ jako produktem hydratace slínekových minerálů za vzniku hydratovaných kalcium silikátů a aluminátů, které mají příznivý vliv na kvalitu betonu a zlepšení fyzikálně mechanických a fyzikálně chemických vlastností. Příznivě dochází ke zvýšení pevnosti, zlepšení nasákavosti a reologických vlastností betonu. Zároveň se snižuje možnost pronikání škodlivých iontů do hmoty (omezení tvorby výkvětů).[42]

Výsledky stanovení vlastností metakaolinu Sedlec, včetně chemického a mineralogického rozboru, jsou uvedeny níže v tabulce 9.

Tab. 9. *Výsledky stanovení vlastností metakaolinu Sedlec – výrobcem je firma SEDLECKÝ KAOLIN a.s.*

Chemické složení [%]	CaO	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	SO ₃	Cl ⁻	MgO	MnO	SiO ₂
	0,5	40	1,45	-	-	0,2		50
Mineralogické složení	kaolinit							
Zrnitost [mm]	< 0,05							
Objemová hmotnost [kg/m ³]	2530							
Vlhkost [%]	0,0							
Nutná úprava před použitím	Žádná							

Křemičité úlety jsou velmi jemné práškové materiály, které vznikají jako vedlejší produkt při výrobě krystalického křemíku či ferosilicia v obloukových pecích. Zvolený křemičitý úlet pochází ze Slovenska z OFZ a.s. Istebné. Je to křemičitý úlet z výroby ferosilicia a firma ho dodává od roku 1993 pod obchodním označením Sioxid. Převládající složkou úletů je amorfni oxid křemičitý (85-95%), průměr většiny částic se pohybuje mezi 0,1 až 0,2 μm. V procesu hydratace působí křemičité úlety pozitivně jak fyzikálním efektem, vyplňují malé prostory mezi hydratujícími zrny cementu, tak chemickým efektem, když jsou schopny reagovat s Ca(OH₂) vznikajícím při hydrataci cementu a vytvářet kvalitativně vyšší vazné produkty. Chemické složení, mineralogické složení a další fyzikální parametry jsou uvedeny v tabulce 10.[43]

Tab. 10. *Výsledky stanovení vlastností křemičitých úletů – původcem odpadu je firma OFZ a.s.*

Chemické složení [%]	CaO	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	SO ₃	Na ₂ O	MgO	K ₂ O	SiO ₂
	-	< 2,0	-	-	-	-	-	> 85
Mineralogické složení	Křemen							
Zrnitost [mm]	< 0,001							
Objemová hmotnost [kg/m ³]	2200							
Vlhkost [%]	1,0							
Nutná úprava před použitím	Žádná							

Energosádrovec Chvaletice je vedlejším produktem vyráběným při odsiřování spalin topenišť velkých elektráren. Pro odsiřování se ve většině případů používá vodní suspenze vápence nebo páleného vápna. Produktem tohoto procesu je energosádrovec. Energosádrovec se podstatně liší od sádrovce přírodního a to hlavně vyšším obsahem vlhkosti a vyšší jemností částic, pokud není energosádrovec granulován. Dále energosádrovec obsahuje nečistoty z používaných paliv, které se v přírodním sádrovci nevyskytují jako například chloridy, fluoridy, rozpustný hořčík a sodné soli, siřičitan vápenatý a síran vápenatý. Z hygienického a environmentálního hlediska jsou energosádrovce považovány za nezávadné. Energosádrovec je jako surovina využíván k výrobě sádry a cementu.[44]

Roční produkce tohoto odpadu v elektrárně Chvaletice se pohybuje na úrovni 50 000 tun. Tento odpad má dodavatele vyšší vlhkost a proto musí být pro výrobu suchých směsí dodatečně dosušován. Jako předúprava před použitím do jemných stěrkových či nátěrových směsí musí být zároveň se sušením mlet a tříděn, aby bylo dosaženo vhodné granulometrie.

Chemické složení, mineralogické složení a další fyzikální parametry jsou uvedeny v tabulce 11.[44]

Tab. 11. *Výsledky stanovení vlastností energosádrovce Chvaletice - původcem odpadu je elektrárna Chvaletice, ČEZ a.s.*

Chemické složení [%]	CaSO ₄	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	SO ₃	Na ₂ O	MgO	Cl ⁻	SiO ₂
	5,12	0,08	0,06	>44	0,15	0,27	0,1	0,3
Mineralogické složení	Sádrovec, stopově kalcit, stopově volné CaO							
Zrnitost [mm]	< 4,0							
Objemová hmotnost [kg/m ³]	2250							
Vlhkost [%]	13,5							
Nutná úprava před použitím	Sušení 2 hodin při t = 80 °C, sušení, mletí							

Propírka Želešice je produkována kamenolomem Želešice na okraji Brna, patřícím firmě Kámen Zbraslav spol. s.r.o. Těženou horninou je amfibolit zelenošedé barvy s vysokou pevností, umožňující výrobu velmi kvalitních drtí. Roční produkce odpadní propírky z výroby praného kameniva se pohybuje na úrovni 10 000 tun. Tento odpad má dodavatele vyšší vlhkost a proto musí být pro výrobu suchých směsí dodatečně dosušován. Chemické složení, mineralogické složení a další fyzikální parametry jsou uvedeny v tabulce 12.[45]

Tab. 12. *Propírka Želešice - původcem odpadu je kamenolom Želešice firmy Kámen Zbraslav spol.*

Chemické složení [%]	CaO	CaCO ₃	Fe ₂ O ₃	SO ₃	Cl ⁻	MgCO ₃	K ₂ O	SiO ₂
	1,8	1,79	-	0,2	28,93	0,03	-	-
Mineralogické složení	Amfibol							
Zrnitost [mm]	< 1,0							
Objemová hmotnost [kg/m ³]	2810							
Vlhkost [%]	2,94							
Nutná úprava před použitím	Sušení 2 hodiny při t = 80 °C							

V tabulce 13 níže jsou přehledně shrnuty dosažené výsledky všech prováděných analýz druhotných a alternativních surovin.

Tab. 13. Shrnutí zjištěných parametrů zvažovaných druhotných a alternativních surovin

Druhotná surovina	Technologické parametry					Nutnost předúpravy	
	Škodliviny zjištěné z chemického složení	Škodliviny zjištěné z mineralogického složení	Zrnitost [mm]	Obj. hmotnost [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$]	Třídění	Sušení	
Popélek Poříčí (filtr)	SO ₃ (9,1 %)	volné CaO	<1,0	2510	---	---	
Popélek Hodonín (ložový)	SO ₃ (7,2 %)	volné CaO	<1,0	2300	---	---	
Ocelářská struska TŽ	MgO (8,0 %)	X	<0,1	3310	prosévání	---	
Odpad z praní drčeného vápence	X	X	<0,1	2690	---	2 hod./80 °C	
Brusné kaly Omya	X	ettringit	<1,0	2890	---	24 hod./80 °C	
Kaly Cembrit	SO ₃ (5,6 %)	X	<0,2	2170	---	24 hod./80 °C	
Metakaolin	X	X	<0,05	2530	---	---	
Křemičité úlety	X	X	<0,001	2200	---	---	
Energosádrovec Chvaletice	X	volné CaO	<0,4	2250	---	2 hod./80 °C	
Propírka Želešice	Cl ⁻ (28,9 %)	X	<1,0	2810	---	2 hod./80 °C	

X - nepřítomny

4.1.3 Volba druhotných a alternativních surovin pro gelové infuzní clony

Na základě optimalizace hodnot objemové hmotnosti, potřeby předúpravy, granulometrie, mineralogického a chemického složení jednotlivých surovin dojde k výběru tří z nich, které budou zakomponovány v recepturách nově vyvinutých infuzních gelů.

Kritérium objemové hmotnosti bylo do spektra hodnotících parametrů zahrnuto z toho důvodu, aby zvolené materiály při příliš vysoké objemové hmotnosti nesedimentovaly, a nezpůsobovaly tak snížení penetračních schopností injektážního gelu.

Aby nedocházelo k utěšňování pórové struktury ošetřovaných stavebních materiálů, tak musely být voleny takové suroviny, které mají dostatečně nízkou zrnitost. To znamená, že velikost zrn by neměla být vyšší než 0,1 mm.

Vzhledem k tomu, že nově vyvinuté hydroizolační materiály nesmí být zdravotně závadné, tak došlo k vyřazení všech surovin, jejichž chemické nebo mineralogické složení prokazovalo obsah škodlivin v nepřijatelné míře.

Optimalizační výpočet byl realizován metodou párového srovnávání hodnot. Tato metoda bývá nazývána Fullerovou metodou, protože při její aplikaci jsou určeny váhy kritérií pomocí tzv. Fullerova trojúhelníku. Principem párového srovnávání je vždy porovnávání dvou kritérií a následný výpočet váhy jednotlivých kritérií.

Vyčíslení preferencí jednotlivých posuzovaných kritérií je přehledně uvedeno níže v tabulce 14.

Tab. 14. Jednotlivá posuzovaná kritéria druhotných a alternativních surovin včetně vyčíslení jejich preferencí

Vlastnost	Preference				
	Objemová hmotnost	Max. velikost zrn	Nutnost předúpravy	Škodliviny zjištěné z chem. složení	Škodliviny zjištěné z mineral. složení
Objemová hmotnost	1,00	1,00	1,25	0,75	0,75
Max. velikost zrn	1,00	1,00	1,25	0,75	0,75
Nutnost předúpravy	0,80	0,80	1,00	0,50	0,50
Škodliviny zjištěné z chem. složení	1,33	1,33	2,00	1,00	1,00
Škodliviny zjištěné z mineral. složení	1,33	1,33	2,00	1,00	1,00

Každé vlastnosti vyjádřené kritériem byla přiřazena rozdílná váha. Podle těchto kritérií dochází ke zhodnocení každé vlastnosti a k upřednostňování jedné vlastnosti před druhou.

V tabulce 15 níže jsou vyčísleny hodnoty jednotlivých kritérií pro všechny posuzované druhotné a alternativní suroviny.

Tab. 15. Vyčíslení jednotlivých kritérií všech posuzovaných druhotných a alternativních surovin

Vyčíslení daných kritérií										
Vlastnost	Popílek Poříčí (filtr)	Popílek Hodonín (ložový)	Ocelářská struska TŽ	Odpad z praní drceného vápence	Brusné kaly Omya	Kaly Cembrit	Metakaolin	Křemičité úlety	Energosádrovec Chvaletice	Propírka Želešice
Objemová hmotnost	2510	2300	3310	2690	2890	2170	2530	2200	2250	2810
Max. velikost zrn	1,00	1,00	0,10	0,10	1,00	0,20	0,05	0,001	0,40	1,00
Nutnost předúpravy	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1
Škodliviny zjištěné z chem. složení	1	1	1	0	0	1	0	0	1	1
Škodliviny zjištěné z mineral. složení	1	1	0	0	1	0	0	0	1	0

0 – předúprava není nutná; škodliviny nepřítomny v nepřipustné míře

1 – předúprava je nutná; škodliviny přítomny v nepřipustné míře

Poté, co došlo ke stanovení toho, zda je hodnota daného kritéria ideální nízká nebo vysoká, došlo k transformaci rozhodovací matice na výpočtovou a k jejímu výpočtu. Výsledek je vyjádřen jako procentuální preference pro každou surovinu v tabulce 16.

Tab. 16. Výsledné hodnoty preference jednotlivých druhotných a alternativních surovin

Výsledek [%]										
Vlastnost	Popílek Poříčí (filtr)	Popílek Hodonín (ložový)	Ocelářská struska TŽ	Odpad z praní drceného vápence	Brusné kaly Omya	Kaly Cembrit	Metakaolin	Křemičité úlety	Energosádrovec Chvaletice	Propírka Želešice
Objemová hmotnost	5,69	2,18	19,07	8,70	12,05	0,00	6,02	0,50	1,34	10,71
Max. velikost zrn	0,00	0,00	17,18	17,18	0,00	15,27	18,14	19,07	11,46	0,00
Nutnost předúpravy	19,07	19,07	0,00	0,00	0,00	0,00	19,07	19,07	0,00	0,00
Škodliviny zjištěné z chem. složení	0,00	0,00	0,00	19,07	19,07	0,00	19,07	19,07	0,00	0,00
Škodliviny zjištěné z mineral. složení	0,00	0,00	19,07	19,07	0,00	19,07	19,07	19,07	0,00	19,07
Preference [%]	24,76	21,25	55,33	64,03	31,12	34,35	81,38	76,79	12,79	29,78

Jako vhodná plniva pro přípravu nových infuzních gelů byly na základě výše uvedených procentuálních preferencí zvoleny suroviny (viz tab.16):

- Metakaolin – 81,38 %
- Křemičité úlety – 76,79 %
- Odpad z praní drceného vápence – 64,03 %

4.1.4 Návrh materiálového složení nové infuzní clony

V dalším kroku již mohlo být přistoupeno k návrhu složení jednotlivých receptur gelových injektážních hmot. Na základě současného stavu poznání výroby hydrofobizačních infuzních gelů došlo k návrhu složení osmi nových materiálů s pracovním označením A – H.

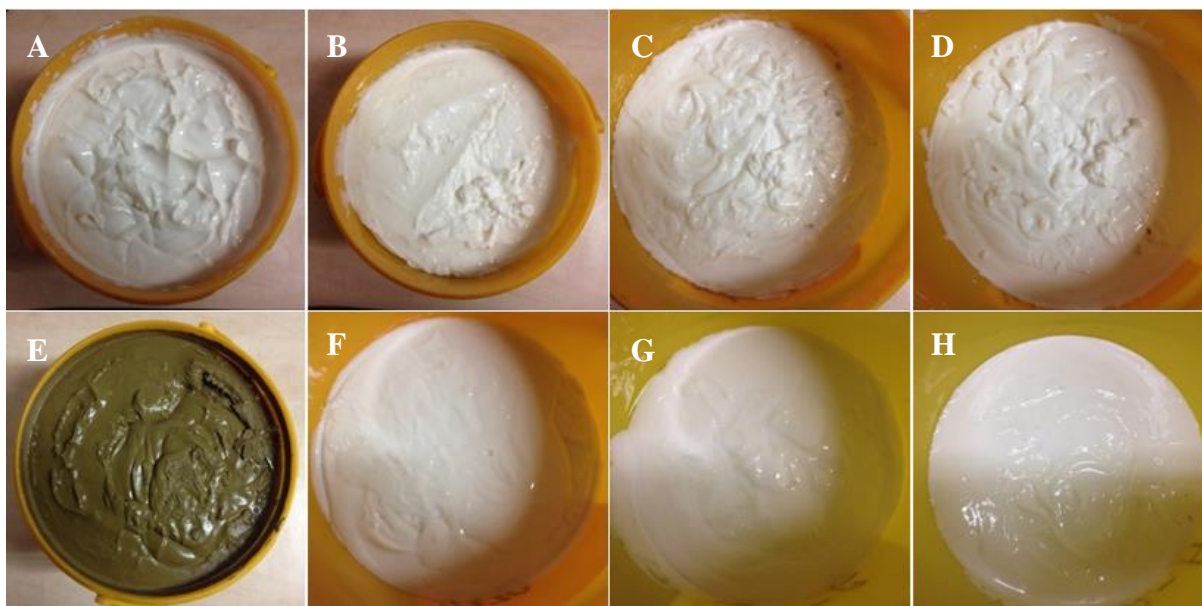
Všechny nově navržené receptury v sobě mají zastoupeny druhotné a alternativní suroviny a různé primární aktivní složky. Detailní složení jednotlivých receptur je uvedeno v tabulce 17 níže.

Tab. 17. Receptury nově navržených infuzních gelů

Surovina	Označení receptury							
	A	B	C	D	E	F	G	H
	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
methylosilikonát draselný					18		30	30
hydroxid draselný					1,5		2,5	2,5
triethoxy(octyl)silan	17	23	17	14	10	16	8	
triethoxy(2,4,4-trimethylpentyl)silan	30	25	30	30		30		8
etanol	5	5	5	5		5		
křemičité úlety	3	3	5	5	3	3	5	5
metakaolin	5	5	3	3	5	5	3	3
odpad z praní drceného vápence	3	5	3	5	3	5	3	5
zeolity		7		3				
bentonity					28	5,5	23	20
jílové minerály	8,5	5,5	10,5	5,5	8			
voda	28	21	26	29	23	30	25	26
Walocel CRT 10G	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5

4.1.5 Laboratorní příprava receptur gelové infuzní clony

Podle výše uvedených receptur bylo ve spolupráci s firmou Betosan s.r.o. v jejím výrobním závodě v Batelově laboratorně vyrobeno všech 8 navržených materiálů (viz Obr. 46) pro navazující zkoušky prováděné v rámci řešení následujících etap.



Obr. 46: Nově vyvinuté injektážní gely A – H

4.2 Etapa II – Stanovení vlastností testovaných stavebních materiálů

Ve druhé etapě dojde k volbě testovaných stavebních materiálů, a to tak, aby došlo k co nejdůkladnějšímu pokrytí spektra v praxi běžně používaných materiálů, které mohou být zasaženy působením vztlínající vlhkosti v konstrukci. Rovněž dojde k volbě rozměrů testovaných zkušebních těles, a dále pak k provedení laboratorních zkoušek za účelem získání detailního popisu materiálově-fyzikálních vlastností daných materiálů.

4.2.1 Volba spektra testovaných stavebních materiálů

Aby mohlo být přikročeno k testování nově vyvinutých injektážních gelů, muselo nejdříve dojít k volbě stavebních materiálů, na které budou gely aplikovány a prováděny laboratorní měření. Jak je již uvedeno výše, typy stavebních materiálů byly voleny tak, aby došlo k pokrytí spektra v současnosti nejhojněji používaných materiálů.

4.2.1.1 Cihelné zdivo

Jako zástupce cihelného zdiva byla zvolena klasická pálená cihla o rozměrech 65 x 140 x 290 mm (viz Obr. 47). Konkrétně plná cihla z cihelny Holešov – Žopy. Dále bude tento materiál označován jako „cihla plná pálená“.



Obr. 47: Cihla plná pálená (Holešov – Žopy)

4.2.1.2 Zdicí kámen

Jako zástupce zdicího kamene byla zvolena pískovcová cihla od firmy Kámen Ostroměř s.r.o. o rozměrech 65 x 140 x 290 mm (viz Obr. 48). Dále bude tento materiál označován jako „cihla pískovcová“.



Obr. 48: Cihla pískovcová (Kámen Ostroměř s.r.o.)

4.2.1.3 Zdicí malta

Vzhledem k tomu, že na průběhu vztlínající vlhkosti ve zděné konstrukci se velkou měrou účastní též zdicí malty, došlo k volbě dvou druhů, na nichž bude rovněž prováděno testování injektážních gelů, aby tak došlo k pokrytí všech prvků používaných v reálných stavbách.

Zdicí malta MONOCRETE MPH TH (viz Obr. 49) je vysokopevnostní tixotropní malta pro zdění a spárování. Dále bude tato zdicí malta označována jako „zdicí malta 1“.



Obr. 49: Zdicí malta (MONOCRETE MPH TH)

Druhým typem zdicí malty, na němž dojde rovněž k testování nově vyvinutých injektážních clon je zdicí malta Knauf UNI (viz Obr. 50), což je malta vhodná pro zdění všech obvyklých druhů zdiva, cihel a tvárnic. Dále bude tato zdicí malta označována jako „zdicí malta 2“.



Obr. 50: Zdicí malta Knauf (UNI)

4.2.1.4 Smíšené zdivo

Pro testování smíšeného zdiva byla speciálně připravena zkušební tělesa z cihly plné pálené (Holešov – Žopy) a cihly pískovcové (Kámen Ostroměř s.r.o.) spojená zdicí maltou 1 o rozměrech 145 x 145 x 65 mm (viz Obr. 51).



Obr. 51: Zkušební těleso smíšeného zdiva

4.2.1.5 Pórobeton

Jako zástupce pórobetonového zdiva byla zvolena pórobetonová tvárnice YTONG P4-500 o rozměrech 250 x 249 x 599 mm (viz Obr. 52). Dále bude tento materiál označován jako „pórobeton“.



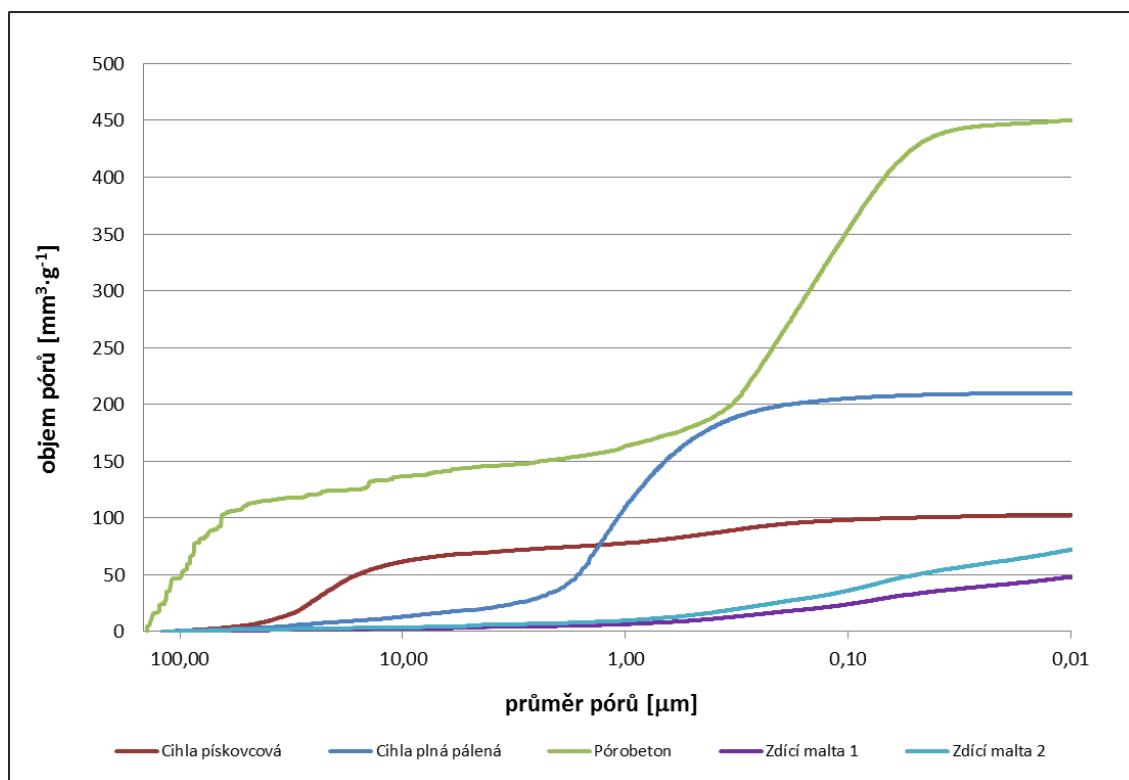
Obr. 52: Pórobetonová tvárnice YTONG P4-500[46]

4.2.2 Provedení laboratorních zkoušek pro stanovení vlastností testovaných materiálů

Poté, co bylo zvoleno spektrum stavebních materiálů, které jsou vhodné k testování nově vyvinutých injektážních hmot, bylo přistoupeno k provedení laboratorních zkoušek, za účelem stanovení strukturních vlastností daných materiálů, a tím bylo umožněno sledování vlivu těchto parametrů na finální efektivitu jednotlivých receptur hydroizolačních materiálů v různém zdivu.

4.2.2.1 Stanovení porozity testovaných stavebních materiálů

Stanovení porozity vybraných stavebních materiálů bylo provedeno prostřednictvím rtuťové porozimetrie dle normy ČSN 72 5010. Průměr pórů je nepřímo úměrný tlaku a přímo úměrný kontaktnímu úhlu mezi kapkou rtuti a měřeným povrchem. Na obrázku 53 jsou znázorněny výsledky stanovení porozity neupravených materiálů.



Obr. 53: Výsledky stanovení porozimetrie zvolených stavebních materiálů

Z výsledných křivek zastoupení pórů v jednotlivých materiálech je patrné, že materiálem s největším objemem pórů všech průměrů je pórobeton. Následuje ho cihla plná pálená, u níž je pozorován prudký nárůst objemu pórů u průměru 1 μm . Třetím nejporóvitějším testovaným materiálem je pak cihla pískovcová, u níž zastoupení pórů narůstá okolo hodnoty průměru pórů 20 μm . Nejnižších hodnot stanovení porozimetrie bylo dosaženo u obou testovaných typů zdících malt s tím, že u zdící malty 2 bylo dosaženo mírně vyšších hodnot než u zdící malty 1.

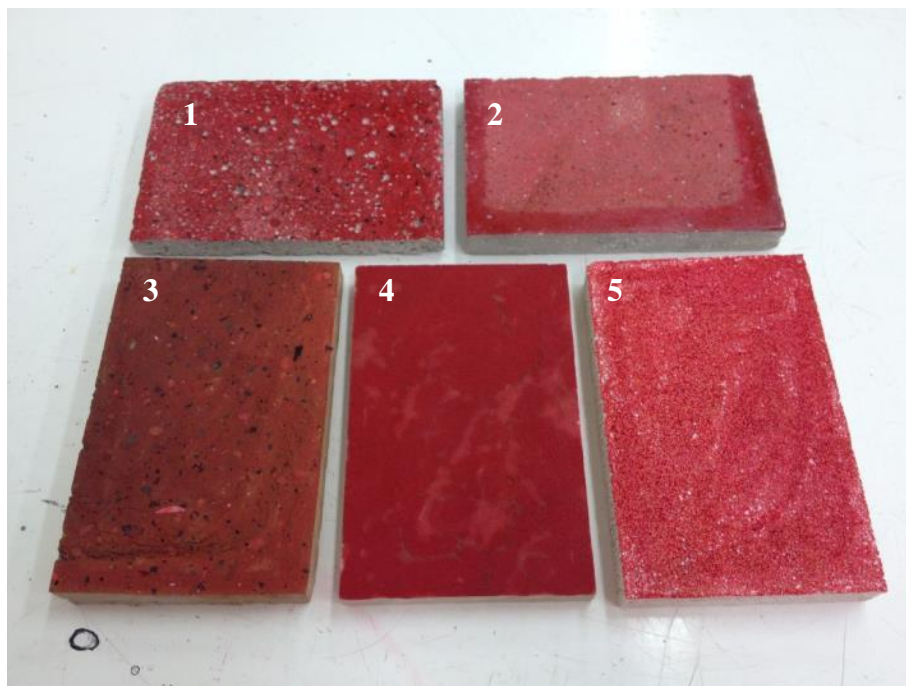
4.2.2.2 Stanovení spacing factoru testovaných materiálů

Za účelem stanovení hodnot součinitele prostorového rozložení vzduchových pórů neboli spacing factoru musela být ze všech testovaných stavebních materiálů připravena dvě tělesa o minimálním rozměru 150 mm. Povrch určený ke zkoušení musel být nejprve broušený za mokra, dokud nebylo dosaženo rovné plochy. Po ukončení broušení byl zkušební povrch očištěn od všech nečistot. Při procesu čištění je nutno dbát na to, aby se nepoškodily okraje pórů. Na obrázku 54 jsou znázorněna zkušební tělesa po broušení.



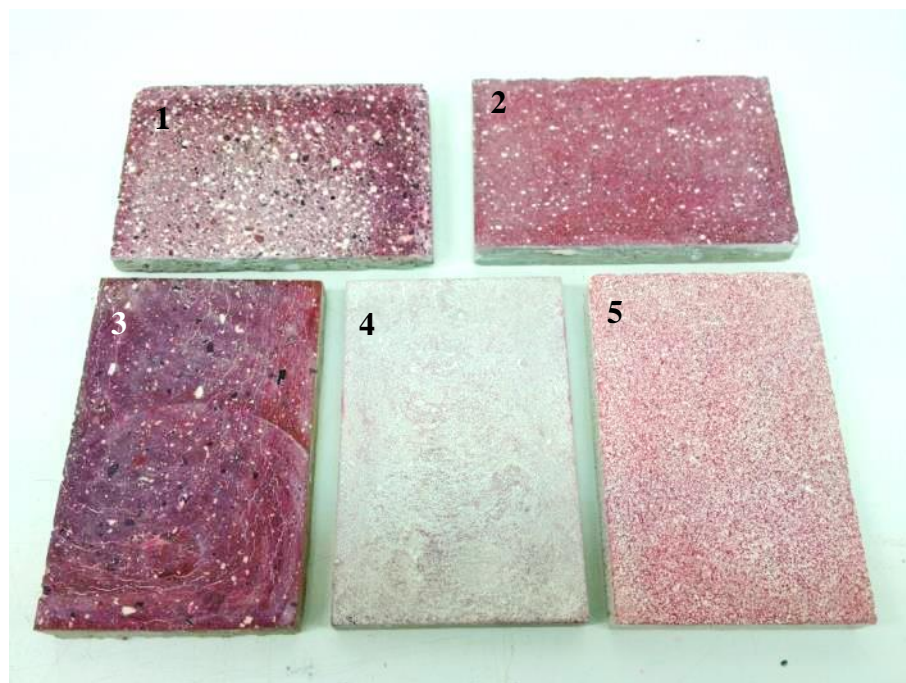
Obr. 54: Zbroušené a očištěné vzorky pro stanovení spacing factoru (1 – zdící malta 1; 2 – zdící malta 2, 3 - pórobeton, 4 - cihla plná pálená, 5 - cihla pískovcová)

Poté bylo pro zlepšení kontrastu na zkušební povrch vzorku nanášeno červené barvivo, přičemž se muselo dbát na to, aby se barvivo nevsakovalo do vzduchových pórů. Poté byl každý vzorek umístěn minimálně na 4 hodiny do sušárny při teplotě 50°C. Na obrázku 55 jsou znázorněna vysušená zkušební tělesa s nanášeným barvivem.



Obr. 55: Vysušené vzorky s naneseným barvivem (1 – zdící malta 1; 2 – zdící malta 2, 3 - pórobeton, 4 - cihla plná pálená, 5 - cihla pískovcová)

Posledním krokem při přípravě zkušebních vzorků pro provedení zkoušky spacing factoru bylo nanesení zinkové pasty na testovaný povrch. Následně byla přebytečná pasta odstraněna a povrch vyleštěn suchým hadříkem (viz Obr. 56).



Obr. 56: Finální podoba vzorků pro stanovení spacing factoru (1 – zdící malta 1; 2 – zdící malta 2, 3 - pórobeton, 4 - cihla plná pálená, 5 - cihla pískovcová)

Pro každý zkušební vzorek je požadována minimální délka soustavy měřících přímek 1200 mm, dávající celkové minimum 2400 mm na zkoušku. Do výpočtu se zahrnují všechny tětivy, které procházejí viditelnými póry a mají délku mezi 0 a 4000 μm . Jednou výjimkou jsou zřejmé trhliny.

Součinitel prostorového rozložení vzduchových pórů neboli spacing factor, se poté stanoví ze vztahu:

$$\bar{L} = \frac{P \cdot T_{tot}}{400 \cdot N} \quad [\text{mm}] \quad (8)$$

Kde P je objem cementového tmele v %, T_{tot} je celková délka soustavy měřících přímek a N je počet měřených tětív.

Výsledky stanovení spacing factoru jednotlivých neošetřených stavebních materiálů jsou uvedeny v tabulce 18 níže.

Tab. 18. *Výsledky stanovení spacing factoru*

	A[%]	α [mm^{-1}]	spacing factor[mm]
Zdící malta 2	27,21	34,59	0,1063
Zdící malta 1	8,29	64,44	0,1069
Cihla plná pálená	12,68	55,52	0,1027
Pórobeton	47,73	23,96	0,0874
Cihla pískovcová	58,10	29,31	0,0587

A – celkový obsah vzduchových pórů v testovaném vzorku; α – měrný povrch vzduchových pórů

Hodnota spacing factoru obecně udává maximální hodnotu vzdálenosti zrna cementového tmele od okraje nejbližšího vzduchového póru v daném materiálu. Nejvyšší hodnoty spacing factoru byly pozorovány u zkušebních vzorků obou zdících malt. Tyto hodnoty byly téměř identické a znamenají, že u těchto materiálů je nižší distribuce vzduchových pórů. Podobného výsledku bylo dosaženo i u vzorků cihly plné pálené. Mírně nižší hodnoty byly získány u vzorků pórobetonu a nejnižší hodnoty u vzorků cihly pískovcové. To mohlo být částečně způsobeno tím, že vzorky cihly pískovcové bylo možné jen velmi obtížně vyleštit, a proto se mohly některé pevné části jevit jako póry.

4.2.3 Shrnutí materiálových vlastností testovaných stavebních materiálů

V této podkapitole byly provedeny tři laboratorní zkoušky na neupravených stavebních materiálech, které byly zvoleny pro testování chování a účinnosti nově vyvinutých receptur

injektážních clon. Tyto zkoušky byly zvoleny tak, aby na základě jejich výsledků bylo možné získat představu o materiálových vlastnostech daných stavebních materiálů. Konkrétně o distribuci pórů a otevřené pórovitosti, což jsou aspekty, které mají rozhodující vliv na účinnost injektážní clony.

První provedená zkouška bylo stanovení porozity všech materiálů prostřednictvím rtuťové porozimetrie. Z výsledků je patrné, že největší objem pórů všech velikostí vykazoval pórobeton, nejnižší naopak obě zdící malty. Poté, co dojde k vývoji optimální receptury pro aplikaci infuzní clony, bude provedeno porovnání porozity neupravených stavebních materiálů a penetrovaných hydroizolačním gelem.

Co se týče rozložení vzduchových pórů, které bylo pozorováno prostřednictvím stanovení zkoušky spacing factoru, tak jako materiál s nejnižší maximální vzdáleností zrna cementového tmele od okraje nejbližšího vzduchového póru byla vyhodnocena cihla pískovcová, těsně následována pórobetonem. Nejvyšších hodnot bylo dosaženo u obou vzorků zdící malty.

4.3 Etapa III – Laboratorní zkoušky navržených receptur gelové infuzní clony

V rámci třetí etapy již došlo k samotnému testování nově vyvinutých receptur injektážních gelů při aplikaci na zvolené spektrum testovaných stavebních materiálů.

V první fázi došlo k provedení zkoušek, k jejichž realizaci byly hydroizolační materiály aplikovány na povrch těles. Jedná se o zkoušky nasákavosti, povrchové vodotěsnosti a vzduchové propustnosti metodou Torrent.

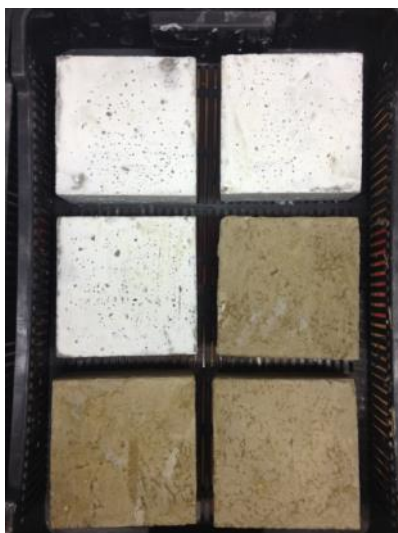
V další fázi byly již testované hmoty aplikovány přímo do vrtů vytvořených ve zkušebních tělesech. V tomto případě se jedná o zkoušky stanovení vzlínavosti, stanovení míry penetrace infuzních gelů v závislosti na teplotě a vlhkosti stavebních materiálů, do nichž jsou aplikovány.

4.3.1 Zkoušky funkčnosti hydroizolačních gelů na povrchu zkušebních těles

V rámci realizace části spektra prováděných laboratorních zkoušek muselo dojít k aplikaci hydroizolačních gelů na povrch zkušebních těles. Kdyby došlo k jejich aplikaci do vrtů, tak by výsledky daných zkoušek nebyli reprezentativní, protože se jedná o laboratorní metody, které zkoumají kompaktní části povrchu stavebních materiálů. Prvotní zkoušky a pozorování výsledků aplikace hydroizolačního gelu na povrch zkušebního tělesa jsou součástí příloh pod označením *Obr. P1*.

4.3.1.1 Stanovení nasákavosti

V rámci provádění zkoušky nasákavosti musel být aplikován hydroizolační gel na celý povrch zkušebních těles (viz Obr. 57). Rozměry zkušebních těles činily 65 x 140 x 140 mm. Pro zajištění dostatečné penetrace zkušebního tělesa hydroizolačními gely bylo u všech vzorků použito dávkování 1,2 l/m².



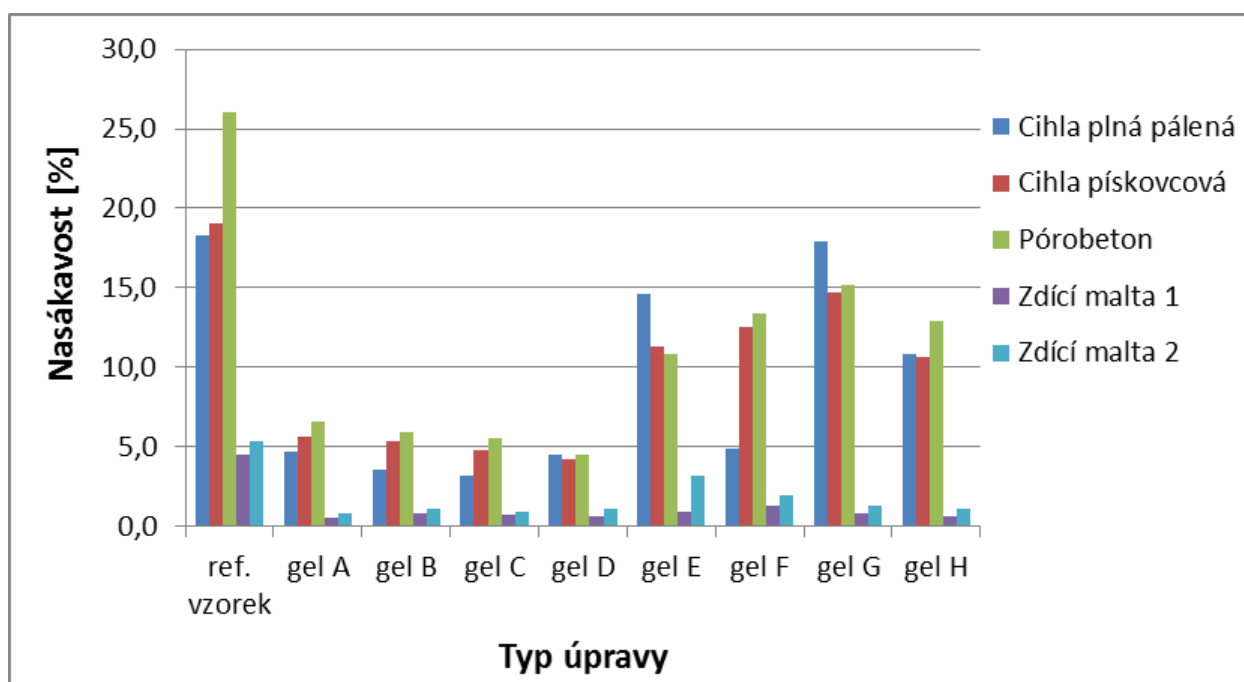
Obr. 57: Připravená zkušební tělesa pro stanovení hodnot nasákavosti s aplikovanými gely D a E

Tato zkouška byla stanovena pro všech osm infuzních gelů aplikovaných na všech pět stavebních materiálů. V rámci posouzení vlivu přítomnosti hydroizolačních gelů na hodnoty nasákavosti bylo provedeno testování i na referenčních tělesech všech materiálů. Výsledky stanovení hodnot nasákavosti jsou znázorněny v tabulce 19 níže.

Tab. 19. Výsledky stanovení nasákavosti všech testovaných materiálů

Úprava	Nasákavost [%]				
	Cihla plná pálená	Cihla pískovcová	Pórobeton	Zdící malta 1	Zdící malta 2
ref. vzorek	18,3	19,0	26,0	4,5	5,3
gel A	4,7	5,6	6,6	0,5	0,8
gel B	3,5	5,3	5,9	0,8	1,1
gel C	3,2	4,8	5,5	0,7	0,9
gel D	4,5	4,2	4,5	0,6	1,1
gel E	14,6	11,3	10,8	0,9	3,2
gel F	4,9	12,5	13,4	1,3	1,9
gel G	17,9	14,7	15,2	0,8	1,3
gel H	10,8	10,6	12,9	0,6	1,1

Pro větší názornost jsou výsledky rovněž vyobrazeny v grafu níže (viz Obr. 58), aby bylo možné pozorovat nejen rozdíly v nasákavosti vzorků opatřených různými gely, ale rovněž rozdíly v nasákavosti jednotlivých stavebních materiálů.



Obr. 58: Grafické znázornění výsledků stanovení nasákavosti všech testovaných materiálů

Z výsledků stanovení nasákavosti je patrné, že přítomnost hydroizolačních gelů na povrchu zkušebních těles pozitivně snižuje hodnoty nasákavosti u všech typů testovaných materiálů. Nejvyšší snížení hodnot nasákavosti oproti referenčním tělesům bylo pozorováno u vzorků opatřených gely C a D, které obsahují ve vyšší míře silanové báze a etanol. U těchto vzorků došlo ke snížení hodnot nasákavosti o 79 %, a to u všech typů stavebních materiálů. U vzorků s aplikovaným gelem B a A, v jejichž recepturách jsou rovněž ve vyšší míře zastoupeny silanové báze a etanol, došlo k poklesu hodnot nasákavosti o 77 % a o 75 %.

Naopak nejnižších hodnot poklesu nasákavosti bylo dosaženo u zkušebních těles opatřených gelem G, který oproti ostatním gelům obsahuje methylosilikonát a hydroxid draselný. U těchto vzorků bylo pozorováno průměrné snížení hodnot nasákavosti o 31 %, u gelu E to pak bylo 44 %, u gelu H 51 %. Tyto dva gely mají obdobné složení jako gel G. U těles opatřených gelem F, s nižším obsahem bentonitů, byla snížena hodnota nasákavosti o 53 %.

4.3.1.2 Stanovení povrchové vodotěsnosti

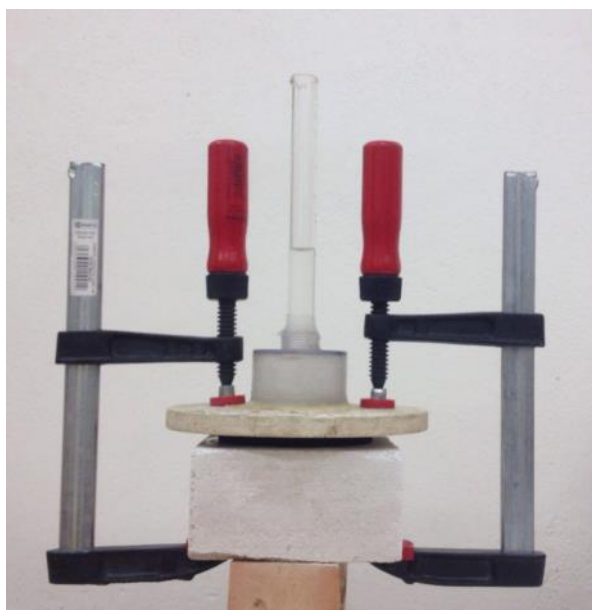
Stanovení vodotěsnosti povrchové úpravy zkušebních těles bylo prováděno v souladu s normou ČSN 73 2578 prostřednictvím plastového zvonu opatřeného byretou, pevně přichyceného silikonem a svorkami k danému tělesu.

V rámci provádění této zkoušky byly hydroizolační gely nanášeny pouze na jednu stranu zkušebních těles, která měla opět rozměry 65 x 140 x 140 mm. Testována byla největší strana o rozměrech 140 x 140 mm. Pro zajištění dostatečné penetrace zkušebního tělesa hydroizolačními gely bylo u všech vzorků použito dávkování 1,2 l/m². Dávka na testovanou plochu 140 x 140 mm (0,0196 m²) tedy činila 23,52 ml gelu. Nanášení bylo realizováno prostřednictvím injekční stříkačky a plastové stěrky. Zkušební těleso s čerstvě aplikovaným gelem je znázorněno na obrázku 59.



Obr. 59: Zkušební těleso cihly plné pálené s aplikovaným gelem A

Zkouška na jednom vzorku byla prováděna vždy po dobu 30 minut. Poté byl zaznamenán úbytek objemu vody, která se vsákla povrchem do zkušební tělesa. Průběh stanovení povrchové vodotěsnosti je zaznamenán na obrázku 60.



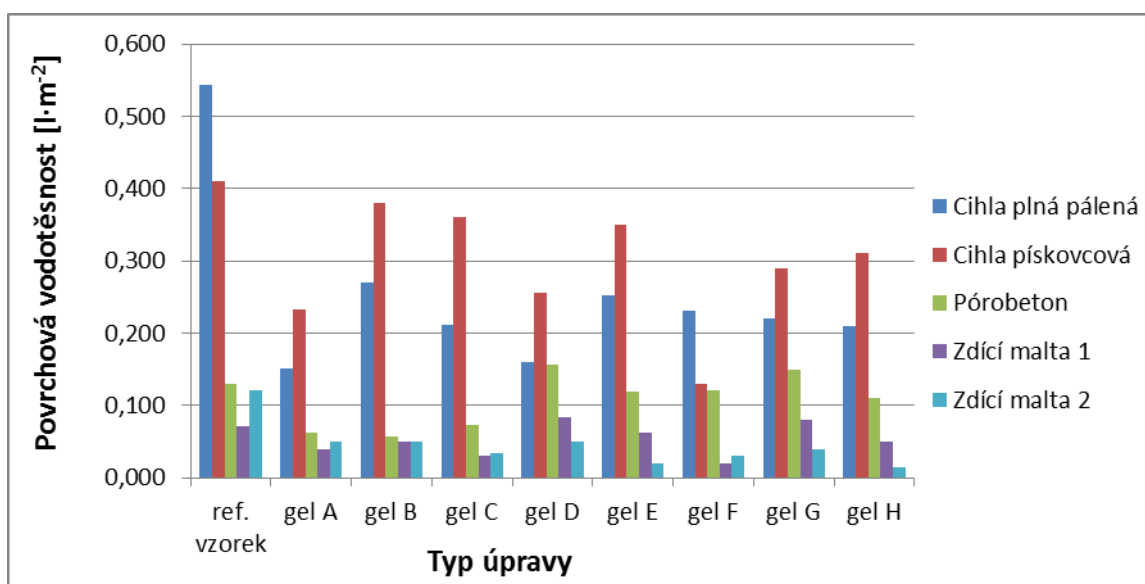
Obr. 60: Průběh zkoušky povrchové vodotěsnosti referenčního tělesa pórobetonu

V rámci posouzení vlivu přítomnosti gelů na hodnoty vodotěsnosti stavebních materiálů byly zkoušky provedeny i na referenčních tělesech. Výsledky měření jsou zaznamenány v tabulce 20 níže.

Tab. 20. Výsledky stanovení povrchové vodotěsnosti všech testovaných materiálů

Úprava	Povrchová vodotěsnost [$l \cdot m^{-2}$]				
	Cihla plná pálená	Cihla pískovcová	Pórobeton	Zdící malta 1	Zdící malta 2
ref. vzorek	0,544	0,410	0,130	0,071	0,120
gel A	0,151	0,233	0,063	0,040	0,050
gel B	0,270	0,380	0,056	0,050	0,050
gel C	0,211	0,360	0,073	0,030	0,034
gel D	0,160	0,256	0,156	0,083	0,050
gel E	0,252	0,349	0,119	0,063	0,020
gel F	0,231	0,130	0,120	0,020	0,030
gel G	0,220	0,290	0,150	0,080	0,040
gel H	0,210	0,310	0,110	0,050	0,015

Pro větší názornost jsou výsledky rovněž vyobrazeny v grafu níže (viz Obr. 61), aby bylo možné pozorovat nejen rozdíly hodnot povrchové vodotěsnosti vzorků opatřených různými gely, ale rovněž rozdíly v získaných hodnotách jednotlivých stavebních materiálů.



Obr. 61: Grafické znázornění výsledků stanovení povrchové vodotěsnosti všech testovaných materiálů

Ze získaných výsledků stanovení povrchové vodotěsnosti je opět patrný pozitivní vliv přítomnosti hydroizolačních gelů na snížení hodnot povrchové vodotěsnosti u všech typů testovaných materiálů. Největšího snížení hodnot vodotěsnosti oproti referenčním tělesům bylo dosaženo u zkušebních těles opatřených gely A a F, které mají ve svých recepturách vyšší podíl silanových bází a etanolu. Došlo u nich k 58% poklesu průměrných hodnot získaných na všech stavebních materiálech.

Naopak nejnižší pokles hodnot vodotěsnosti oproti referenčním tělesům byl pozorován u těles ošetřených gely E a G, které obsahují methylsilikonát a hydroxid draselný. Došlo u nich k 38% poklesu průměrných hodnot získaných u všech stavebních materiálů.

4.3.1.3 Stanovení Vzduchové propustnosti metodou Torrent

Princip stanovení vzduchové propustnosti zkoušeného materiálu spočívá ve vytvoření vakua při jeho povrchové vrstvě a měření průtoku vzduchu materiálem do měřicího zařízení během stanoveného časového úseku.

Je-li vzduch ze zkoušeného tělesa dostatečně odsátý, sníží se tlak a měřicí jednotka začne ve vnitřní komoře zaznamenávat naopak vzestup tlaku za jednotku času. Pak je zaznamenáván tok vzduchu materiálem. Aby bylo zajištěno, že do vnitřní komory bude proudit vzduch pouze pod jejím ústím a ne z okolního materiálu nebo atmosféry, je využita vnější komora. Stabilizátor tlaku kontroluje tlak ve vnitřní komoře tak, aby odpovídal tlaku ve vnější komoře. Předpokládá se, že zachování stejného tlaku zaručuje přestup vzduchu z okolního betonu a atmosféry do vnější komory a neovlivní tak tlak ve vnitřní komoře. Třídy povrchových vrstev jsou uvedeny níže v tabulce 21.

Tab. 21. *Třídy povrchové vrstvy pro betony*

Kvalita povrchové vrstvy betonu	Index	kT[10 ⁻¹⁶ m ²]
velmi špatná	5	>10
špatná	4	1,0 - 10
střední	3	0,1 - 1,0
dobrá	2	0,01 - 0,1
velmi dobrá	1	<0,01

V případě, že je materiál suchý, může se kvalita jeho povrchové vrstvy určit přímo z naměřené hodnoty kT, kterou indikuje přístroj. Zařazení se provede podle stupnice dle tabulky výše.

Ze všech testovaných stavebních materiálů byly vyrobeny dvě krychle o hraně 150 mm. Na jedné krychli bylo možné provést měření na každé její straně, tedy šest měření. Na každou stěnu byl vždy nanesen jiný typ hydroizolačního gelu. Vzorky byly ponechány v laboratorních podmínkách po 28 dní a poté umístěny na 24 hodin do sušárny o teplotě 60 °C. Poté došlo ke stanovení hodnoty Torrent vždy na osmi ošetřených stěnách a jedné referenční.

Cílem bylo zjistit, jaký má vliv přítomnost gelu na jeho vzduchovou propustnost. Na povrch zkušební vzorku byl vždy přiložen zvon s vakuovými komorami a po vytvoření podtlaku byla stanovena hodnota vzduchové propustnosti. V případě, že povrch vzorku nebo struktura materiálu neumožní vznik dostatečného podtlaku ve vakuových komorách, je měření vyhodnoceno jako neprokazatelné a značí vysokou vzduchovou propustnost materiálu.

Z důvodu rozměrových požadavků na zkušební tělesa, kdy je požadována minimální zkušební plocha 150 x 150 mm o hloubce vzorku minimálně 100 mm nebylo možné provést stanovení vzduchové propustnosti na tělesech cihly plně pálené.

Metoda Torrent je primárně určena pro testování málo porézních povrchů (převážně betonových, aby mohlo dojít ke vzniku vakua. Orientačně byla tato zkouška provedena i na pískovci a pórobetonu.

Testování všech typů stavebních materiálů metodou Torrent je součástí příloh pod označením *Obr. P2*.



Obr. 62: Průběh měření vzduchové propustnosti metodou Torrent na pórobetonu, zdíci maltě 1, zdíci maltě 2 a cihle pískovcové

Výsledky měření čtyř testovaných stavebních materiálů (referenční a ošetřené osmi gely) jsou zobrazeny v tabulkách 22, 23, 24 a 25 níže.

Tab. 22. Výsledky stanovení vzduchové propustnosti cihly pískovcové

Cihla pískovcová	Součinitel kT [10^{-16} m^2]	Hloubka vniknutí vakua [mm]
Referenční	nelze měřit	-
Gel A	3,1	76,58
Gel B	x	-
Gel C	x	-
Gel D	x	-
Gel E	0,56	13,84
Gel F	x	-
Gel G	1,98	48,83
Gel H	x	-

x – nedošlo k vytvoření vakua – nelze měřit

Tab. 23. *Výsledky stanovení vzduchové propustnosti pórobetonu*

Pórobeton	Součinitel kT [10^{-16} m^2]	Hloubka vniknutí vakua [mm]
Referenční	x	-
Gel A	x	-
Gel B	x	-
Gel C	x	-
Gel D	x	-
Gel E	0,18	4,44
Gel F	x	-
Gel G	2,18	53,86
Gel H	x	-

x – nedošlo k vytvoření vakua – nelze měřit

Tab. 24. *Výsledky stanovení vzduchové propustnosti zdící malty 1*

Zdící malta 1	Součinitel kT [10^{-16} m^2]	Hloubka vniknutí vakua [mm]
Referenční	2,57	63,5
Gel A	2,12	52,4
Gel B	1,89	46,7
Gel C	2,08	51,4
Gel D	0,86	21,26
Gel E	0,08	1,98
Gel F	0,14	3,51
Gel G	1,25	30,93
Gel H	0,86	21,56

Tab. 25. *Výsledky stanovení vzduchové propustnosti zdící malty 2*

Zdící malta 2	Součinitel kT [10^{-16} m^2]	Hloubka vniknutí vakua [mm]
Referenční	x	-
Gel A	1,18	29,16
Gel B	x	-
Gel C	x	-
Gel D	x	-
Gel E	0,03	0,75
Gel F	2,18	53,86
Gel G	1,08	26,68
Gel H	x	-

x – nedošlo k vytvoření vakua – nelze měřit

Z výsledku stanovení vzduchové propustnosti cihly pískovcové je patrné, že pouze přítomnost gelů A, E a G na povrchu materiálu snižuje vzduchovou propustnost do takové míry, že dochází ke vzniku vakua, přičemž v největší míře u gelu E, kdy činila hloubka vniknutí vakua pouze 13,84 mm. Gel E má ve své receptuře nejvyšší zastoupení bentonitů ze

všech testovaný materiálů. U tohoto gelu byla sice pozorována vysoká vzduchová nepropustnost, avšak u vyvinutých injektážních gelů je žádoucí minimální ovlivnění pórové struktury ošetřovaných stavebních materiálů přítomností injektážního gelu. Pro praktickou aplikaci jsou tedy vhodné gely, u nichž byla vzduchová nepropustnost co nejnižší, případně nedošlo ke vzniku vakua v dostatečné míře.

Podobný trend byl pozorován i u vzorků pórobetonu, kdy vznikalo vakuum v pozorovatelné míře u stěn vzorků ošetřených gely E a G. U strany opatřené gelem E činila hloubka vniknutí vakua pouze 4,44 mm.

U zdící malty 1 bylo díky její konzistenci možné dosáhnout měřitelných hodnot u všech testovaných vzorků, přičemž ale bylo nejvyššího snížení vzduchové propustnosti oproti referenční straně pozorováno u stěn opatřených gely E a F.

Při testování těles zdící malty 2 došlo ke vzniku vakua v pozorovatelné míře u povrchů opatřených gely A, E, F a G. Přičemž opět bylo nejnižších hodnot vzduchové propustnosti dosaženo u povrchu opatřeného gelem E, kdy hodnota hloubky vniknutí vakua činila tentokrát pouze 0,75 mm.

Obecně lze konstatovat, že aplikací většiny testovaných hydroizolačních gelů nedochází k výraznému snížení hodnot vzduchové propustnosti povrchové vrstvy. To je způsobeno tím, že gely jsou navrženy tak, že póry pouze hydrofobizuje a v době 28 dní po aplikaci dochází již ke kompletnímu odpaření jejich kapalné složky. To znamená, že póry zůstávají hydrofobizovány, avšak nejsou utěsněny, čímž nedochází k ovlivnění vzduchové propustnosti materiálu.

4.3.2 Zkoušky funkčnosti gelů injektovaných do zkušebních těles

Další soubor provedených laboratorních zkoušek byl již realizován na injektovaných zkušebních tělesech, kdy byla injektážní clona aplikována do vzorků o rozměrech 65 x 140 x 140 mm.

4.3.2.1 Injektáž zkušebních těles

Po přípravě zkušebních těles od všech zdících materiálů do nich byly připraveny dva injektážní otvory. V případě zkoušky vztlakovosti byly vrty umístěny 35 mm od spodního okraje tělesa s roztečí 70 mm. V případě testování míry penetrace za různé teploty a vlhkosti byly zkušební vrty umístěny ve středu tělesa s roztečí 70 mm. Vrty byly vedeny kolmo k povrchu, aby tak byla rovněž otestována podmínka aplikace injektážní clony do horizontálních vrtů, jejichž průměr byl v rámci testování menších těles snížen na třetinu průměru v praxi používaných vrtů, a činil tedy 6 mm (viz Obr. 63).



Obr. 63: Zkušební těleso zdící malty 2 s připravenými injektážními vrtů

Dalším krokem bylo napuštění připravených vrtů jednotlivými injektážními gely. To bylo realizováno prostřednictvím laboratorního kapátka. Po naplnění kapátka daným injektážním gelem došlo k jeho vsunutí až na dno vrtu, jehož hloubka činila 55 mm, aby byla dodržena vzdálenost 10 mm od protější stěny tělesa. Poté byl postupným vymačkáváním a zároveň pomalým vytahováním kapátka vrt zcela naplněn injektážním gelem (viz Obr. 64).



Obr. 64: Aplikace injektážního gelu A do zkušebního tělesa cihly pískovcové

V případě provádění zkoušky vzlinavosti byla zkušební tělesa ponechána po dobu 7 dní v laboratorních podmínkách (viz Obr. 65).



Obr. 65: Zkušební těleso cihly plné pálené injektované gelem C

V případě provádění zkoušky míry penetrace v závislosti na teplotě byla vždy po aplikaci gelů tělesa umístěna po dobu sedmi dní v prostředí o požadované teplotě.

V případě testování míry penetrace infuzní clony za různých vlhkostí byla injektována tělesa o dané vlhkosti po aplikaci gelu neprodyšně uzavřena v plastových sáčcích opět po dobu sedmi dnů (viz Obr. 66).

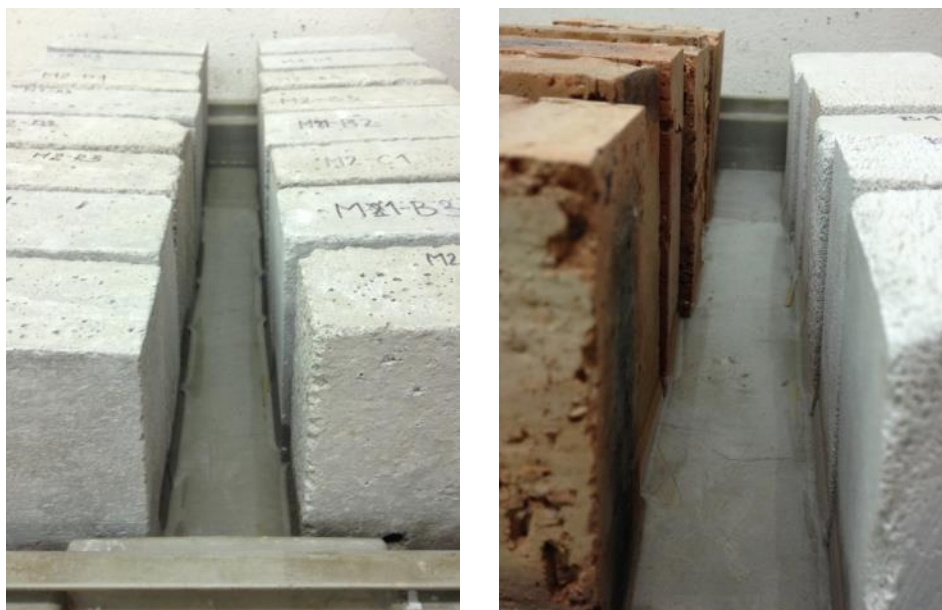


Obr. 66: Injektovaná tělesa v rámci provádění zkoušky míry penetrace infuzní clony za různých vlhkostí

4.3.2.2 Stanovení vztlavnosti

Poté, co došlo k maximální penetraci oblastí kolem vrtů umístěných ve spodních částech zkušebních těles, došlo k jejich umístění na kovový rošt v nádobě. Následně byla do nádoby

nalita voda tak, aby vodní hladina sahala do výšky 4-6 mm od spodní hrany vzorků (viz Obr. 67). V této výšce byla vodní hladina udržována po celý průběh zkoušky, tedy 72 hodin.



Obr. 67: Průběh zkoušky vztlínivosti (vlevo: zkušební tělesa zdicích malt; vpravo: zkušební tělesa cihly plné pálené a pórobetonu)

Po uplynutí 72 hodin od umístění vzorků do vody byly vyjmuty. Následně došlo k otření plochy, která byla v kontaktu s vodou, vlhkou tkaninou a okamžitému zvážení těles. Poté byla zkušební tělesa umístěna do sušárny, kde byla vysušena do konstantní hmotnosti a zaznamenány jejich hmotnosti.

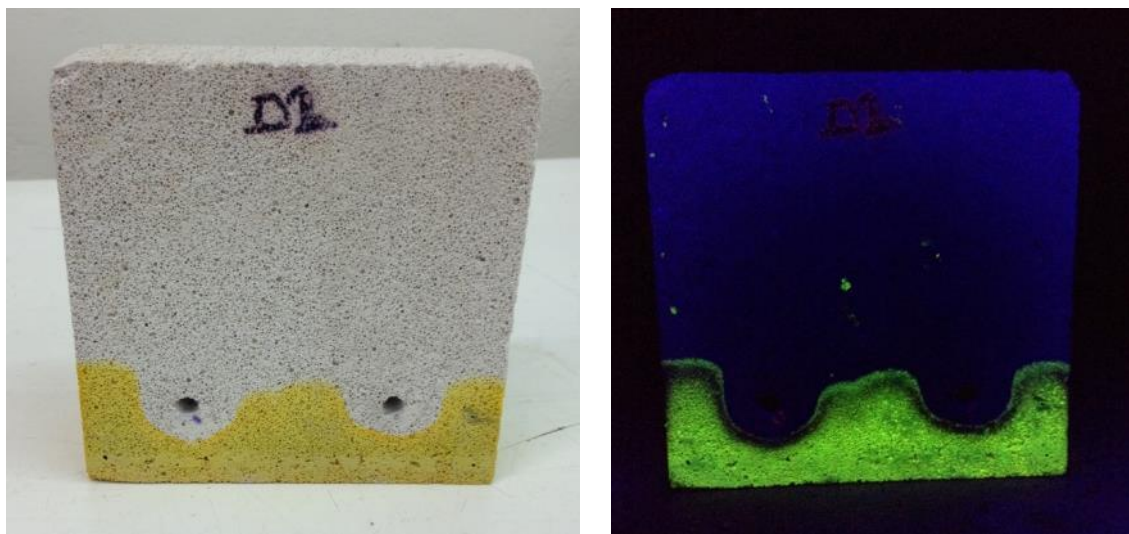
Samotná vztlínivost byla poté stanovena dosazením do rovnice (7). V rámci porovnání vlivu přítomnosti injektovaných gelů na hodnoty vztlínivosti v jednotlivých stavebních materiálech byla opět provedena zkouška vždy rovněž na referenčních tělesech. Mimo doteď testované spektrum stavebních materiálů byly hodnoty vztlínivosti rovněž stanoveny pro smíšené zdivo.

V rámci optického pozorování průběhu vztlínivosti ve zkušebních tělesech, byla některá zkušební tělesa ponechána vztlínat vodným roztokem (0,1%) UV indikátoru vlhkosti – Fluorescein (viz Obr. 68).



Obr. 68: UV indikátor vlhkosti Fluorescein (disodná sůl)

Následně byla penetrovaná zkušební tělesa vyfocena pod ultrafialovým osvětlením (viz Obr. 69).



Obr. 69: Pórobetonové zkušební těleso vystavené působení vzlinavosti roztoku UV indikátoru vlhkosti

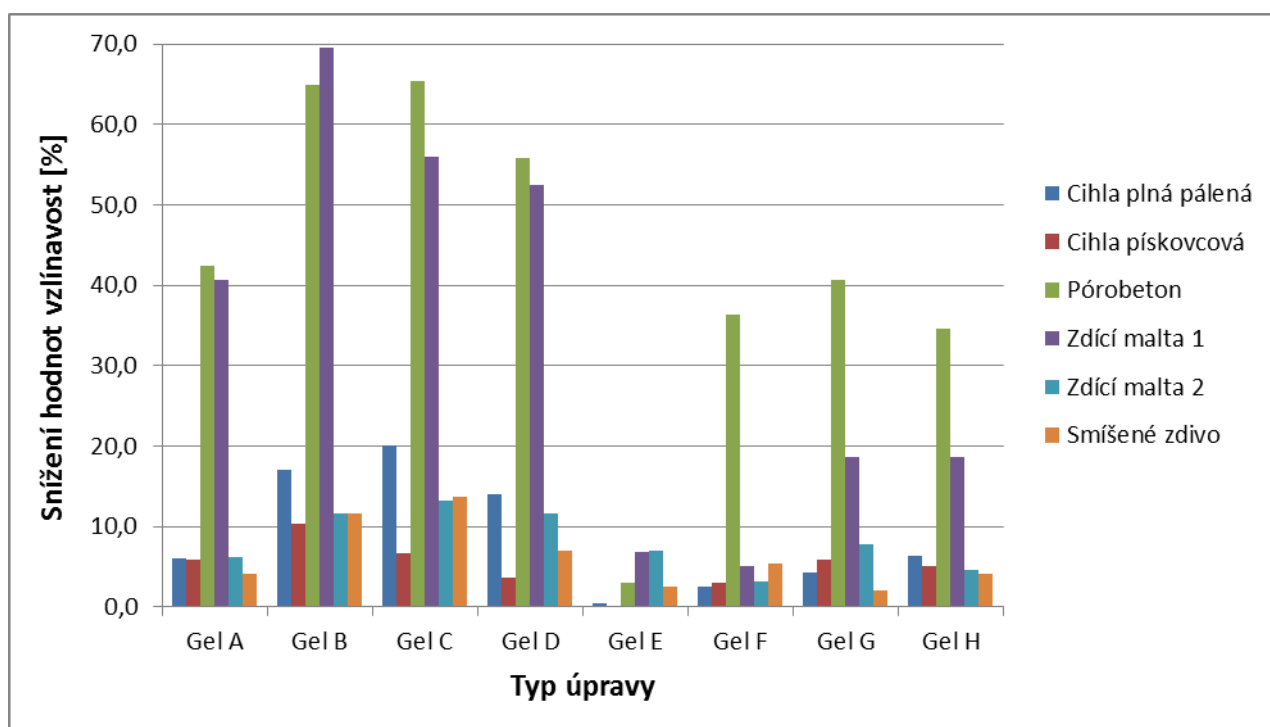
Od každého stavebního materiálu byla vždy pro každou recepturu injektážního gelu připravena tři zkušební tělesa. Zprůměrované výsledky stanovení hodnot vzlinavosti šesti stavebních materiálů upravených osmi injektážními gely i hodnoty získané na referenčních tělesech jsou uvedeny v tabulce 26. V tabulce 27 jsou vypočítány procentuální snížení hodnot vzlinavosti v porovnání s referenčními tělesy. Tyto hodnoty jsou stanoveny pro jednotlivé injektážní gely ve všech materiálech (viz Obr. 70.).

Tab. 26. Výsledky stanovení hodnot vzlinavosti dle normy ČSN 73 1357

Stavební materiál	Vzlinavost [$\text{g} \cdot 10^{-2} \text{mm}^2$]								
	Ref. vzorek	Gel A	Gel B	Gel C	Gel D	Gel E	Gel F	Gel G	Gel H
Cihla plná pálená	2,35	2,21	1,95	1,88	2,02	2,34	2,29	2,25	2,20
Cihla pískovcová	1,36	1,28	1,22	1,27	1,31	1,36	1,32	1,28	1,29
Pórobeton	1,65	0,95	0,58	0,57	0,73	1,60	1,05	0,98	1,08
Zdící malta 1	0,59	0,35	0,18	0,26	0,28	0,55	0,56	0,48	0,48
Zdící malta 2	1,29	1,21	1,14	1,12	1,14	1,20	1,25	1,19	1,23
Smíšené zdivo	2,41	2,31	2,13	2,08	2,24	2,35	2,28	2,36	2,31
Průměr	1,61	1,39	1,20	1,20	1,29	1,57	1,46	1,42	1,43

Tab. 27. *Procentuální snížení hodnot vztlínivosti těles ošetřených jednotlivými gely oproti referenčním tělesům*

Stavební materiál	Procentuální snížení hodnot vztlínivosti oproti ref. vzorkům [%]							
	Gel A	Gel B	Gel C	Gel D	Gel E	Gel F	Gel G	Gel H
Cihla plná pálená	6,0	17,0	20,0	14,0	0,4	2,6	4,3	6,4
Cihla pískovcová	5,9	10,3	6,6	3,7	0,1	2,9	5,9	5,1
Pórobeton	42,4	64,8	65,5	55,8	3,0	36,4	40,6	34,5
Zdíci malta 1	40,7	69,5	55,9	52,5	6,8	5,1	18,6	18,6
Zdíci malta 2	6,2	11,6	13,2	11,6	7,0	3,1	7,8	4,7
Smíšené zdivo	4,1	11,6	13,7	7,1	2,5	5,4	2,1	4,1
Průměr	13,9	25,4	25,6	20,0	2,6	9,3	11,5	11,0

Obr. 70: *Grafické znázornění výsledků snížení hodnot vztlínivosti jednotlivými gely ve stavebních materiálech oproti referenčním tělesům*

Ze získaných výsledků stanovení vztlínivosti je patrné, že přítomnost prakticky všech gelů působí pozitivně na snižování hodnot vztlínající vlhkosti do zkušebních těles. Nejhorších výsledků bylo dosaženo u těles injektovaných gelem E, u kterých nedošlo prakticky k žádnému snížení oproti referenčním tělesům. Podobně tomu tak bylo i u vzorků penetrovaných gel A, F, G a H.

Nejvyšší pokles hodnot vztlínivosti byl pozorován u zkušebních těles ošetřených gely B, C a D, kdy došlo téměř k 20% poklesu oproti referenčním tělesům.

Nejvýraznější snížení hodnot vztlínivosti bylo pozorováno u těles pórobetonu a zdíci malty 1, a to ošetřených gely B, C a D, které obsahují ve vyšší míře silanové báze a etanol.

Snížení hodnot vztlínivosti oproti neošetřeným tělesům v těchto případech přesahovalo 40 %. Znatelné snížení hodnot vztlínivosti bylo rovněž pozorováno u vzorků cihly plné pálené, kdy v případě aplikace gelů B, C a D došlo ke snížení vztlínivosti o 14 – 20 %. Stejně materiály fungovaly nejlépe i v případě zdící malty 2, kdy došlo k 11% - 13% poklesu. Pro zdící kámen se jako nejvhodnější materiál jeví gel B se snížením vztlínivosti o 10,3 % a pro smíšené zdivo gely B a C se snížením vztlínivosti o 12 – 13 %.

K poměrně nízkým hodnotám snížení vztlínivosti u injektovaných těles pravděpodobně došlo z důvodu toho, že zmenšené vrty u některých materiálů nedovolili penetraci stavebního materiálu v takové míře, aby došlo k protnutí výsečí oblastí penetrovaných gely kolem jednotlivých vrtů, a tak nedošlo k vytvoření injektážní clony.

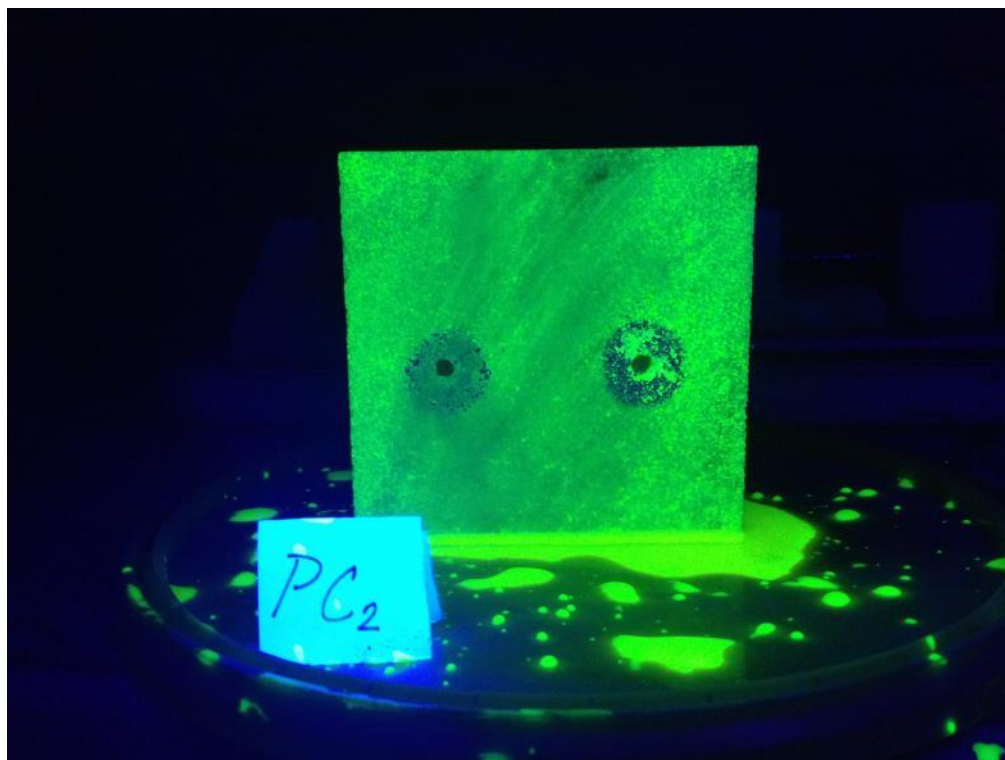
4.3.2.3 Stanovení míry penetrace v závislosti na teplotě stavebního materiálu

Spektrum testovaných teplot pro pozorování jejího vlivu na míru penetrace gelů bylo zvoleno: 5 °C, 10 °C, 20°C a 35 °C. V případě testování při prvních dvou teplotách byla tělesa umístěna v chladicích boxech o požadovaných teplotách, v případě 20 °C v laboratorních podmínkách a pro dosažení teploty těles 35 °C byly vzorky umístěny v sušárně temperované na danou teplotu. V každém prostředí byly vzorky stavebních materiálu s připravenými vrty pro injektáž, ponechány po dobu 24 hodin.

Poté byly z prostředí o dané teplotě vyjmuty, injektovány příslušným gelem a opět vráceny do daného prostředí na dobu jednoho týdne, aby došlo k penetraci stavebního materiálu v maximální možné míře.

Následně došlo k rozříznutí každého zkušební tělesa v rovině kolmé na rovinu injektážních vrtů, a to přesně v polovině tělesa. Poté byly vzorky vysušeny do konstantní hmotnosti a prostřednictvím aplikace UV indikátoru vlhkosti byly pozorovány výseče penetrované injektážními gely kolem jednotlivých vrtů. Tmavé oblasti značí hydrofobizované okolí injektážního vrtu, zatímco zelená barva označuje nasákový neošetřený stavební materiál (viz Obr. 71).

Průběh stanovení míry penetrace tří nejperspektivnějších gelů B, C a D při všech čtyřech teplotách je součástí příloh pod označením *Obr. P3, Obr. P4, Obr. P5 a Obr. P6*.



Obr. 71: Pozorování míry penetrace u pórobetonu při 35 °C

Průměry kruhových výsečí byly zaznamenány s přesností na desetiny milimetru. Pro každou teplotu a každý injektážní materiál bylo připraveno jedno zkušební těleso, což po rozříznutí umožňovalo měření čtyř kruhových výsečí. Výsledky stanovení míry penetrace injektážních gelů za různých teplot jsou uvedeny níže v tabulkách 28, 29, 30 a 31.

Tab. 28. Výsledky stanovení míry penetrace injektážních gelů při 5 °C

Stavební materiál	Průměr penetrovaných oblastí při 5 °C [mm]							
	Gel A	Gel B	Gel C	Gel D	Gel E	Gel F	Gel G	Gel H
Cihla plná pálená	21,5	31,6	28,0	25,1	8,4	15,5	18,5	18,1
Cihla pískovcová	20,6	27,1	21,4	23,2	7,5	14,8	19,6	19,0
Pórobeton	15,4	15,0	18,4	17,8	6,9	10,0	12,7	11,5
Zdící malta 1	50,6	56,7	58,4	53,6	12,5	25,4	34,2	33,4
Zdící malta 2	15,4	21,1	19,4	16,2	10,2	12,3	11,4	10,7
Průměr	24,7	30,3	29,1	27,2	9,1	15,6	19,3	18,5

Tab. 29. *Výsledky stanovení míry penetrace injektážních gelů při 10 °C*

Stavební materiál	Průměr penetrovaných oblastí při 10 °C [mm]							
	Gel A	Gel B	Gel C	Gel D	Gel E	Gel F	Gel G	Gel H
Cihla plná pálená	25,1	30,1	31,4	28,9	6,8	13,4	12,7	15,1
Cihla pískovcová	24,1	26,5	27,1	25,3	8,1	12,7	10,1	12,4
Pórobeton	18,0	27,1	29,6	26,1	7,0	9,7	14,4	15,8
Zdící malta 1	38,1	62,9	54,2	42,8	10,1	18,5	17,5	32,1
Zdící malta 2	20,6	35,7	25,1	41,5	9,8	15,1	21,4	24,7
Průměr	25,2	36,5	33,5	32,9	8,4	13,9	15,2	20,0

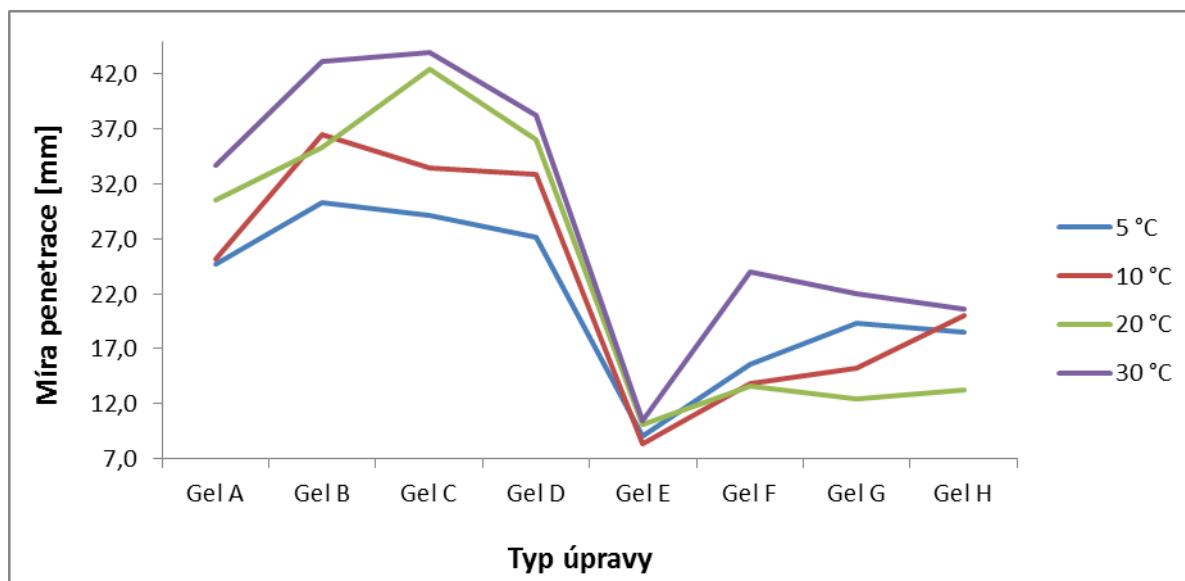
Tab. 30. *Výsledky stanovení míry penetrace injektážních gelů při 20 °C*

Stavební materiál	Průměr penetrovaných oblastí při 20 °C [mm]							
	Gel A	Gel B	Gel C	Gel D	Gel E	Gel F	Gel G	Gel H
Cihla plná pálená	40,1	51,7	50,1	48,6	12,1	14,5	13,7	16,1
Cihla pískovcová	21,5	27,4	27,9	23,4	10,5	13,7	10,4	14,7
Pórobeton	27,2	31,4	35,9	30,1	10,1	10,0	11,4	11,4
Zdící malta 1	35,6	40,5	46,8	48,2	9,4	15,2	14,0	13,5
Zdící malta 2	28,4	25,4	51,8	29,6	8,4	14,5	12,9	10,4
Průměr	30,6	35,3	42,5	36,0	10,1	13,6	12,5	13,2

Tab. 31. *Výsledky stanovení míry penetrace injektážních gelů při 35 °C*

Stavební materiál	Průměr penetrovaných oblastí při 35 °C [mm]							
	Gel A	Gel B	Gel C	Gel D	Gel E	Gel F	Gel G	Gel H
Cihla plná pálená	50,8	75,3	73,1	58,9	10,6	23,5	21,9	22,6
Cihla pískovcová	26,8	31,5	29,8	27,0	8,5	24,1	23,5	23,0
Pórobeton	23,1	28,9	31,1	27,3	11,4	18,6	18,1	19,5
Zdící malta 1	40,6	47,5	51,6	46,8	10,6	28,1	24,6	24,0
Zdící malta 2	27,0	32,8	34,2	31,0	11,4	25,5	21,9	14,2
Průměr	33,7	43,2	44,0	38,2	10,5	24,0	22,0	20,7

Pro názornější zobrazení rozdílů v dosažených hodnotách penetrovaných oblastí u různých receptur gelové clony byly získané hodnoty u jednotlivých gelů zprůměrovány pro všechny testované stavební materiály dané teploty a vyneseny do grafu (viz Obr. 72).



Obr. 72: Výsledky stanovení míry penetrace injektážních gelů při různých teplotách

Při testování míry penetrace stavebních materiálů injektážními gely při různých teplotách byl pozorován trend přímé úměry rostoucích teplot a průměru penetrovaných oblastí. Tedy s rostoucí teplotou roste také míra penetrace stavebního materiálu infuzní clonou. Tento trend byl nejvýraznější u vzorků cihly plně pálené, kdy při 35 °C bylo u těles injektovaných gely B a C, které obsahují ve vyšší míře silanové báze a etanol, dosaženo téměř 150% nárůstu průměru penetrovaných oblastí oproti testování při 5 °C.

U zkušebních těles všech stavebních materiálů ošetřených gely B, C a D bylo obecně dosaženo nejvyšší míry penetrace. Naopak tomu bylo u těles s aplikovanými gely E, F a G, které společně s gelem E obsahují bentonitickou složku. U gelu E byla míra penetrace jen minimální, pravděpodobně z důvodu jejich vyšší viskozity.

4.3.2.4 Stanovení míry penetrace v závislosti na vlhkosti stavebního materiálu

Pro testování míry penetrace injektážních gelů při různých vlhkostech stavebních materiálů byly zvoleny hodnoty 25 %, 50 %, 75 % a 100 % maximální dosažitelné vlhkosti v daném materiálu.

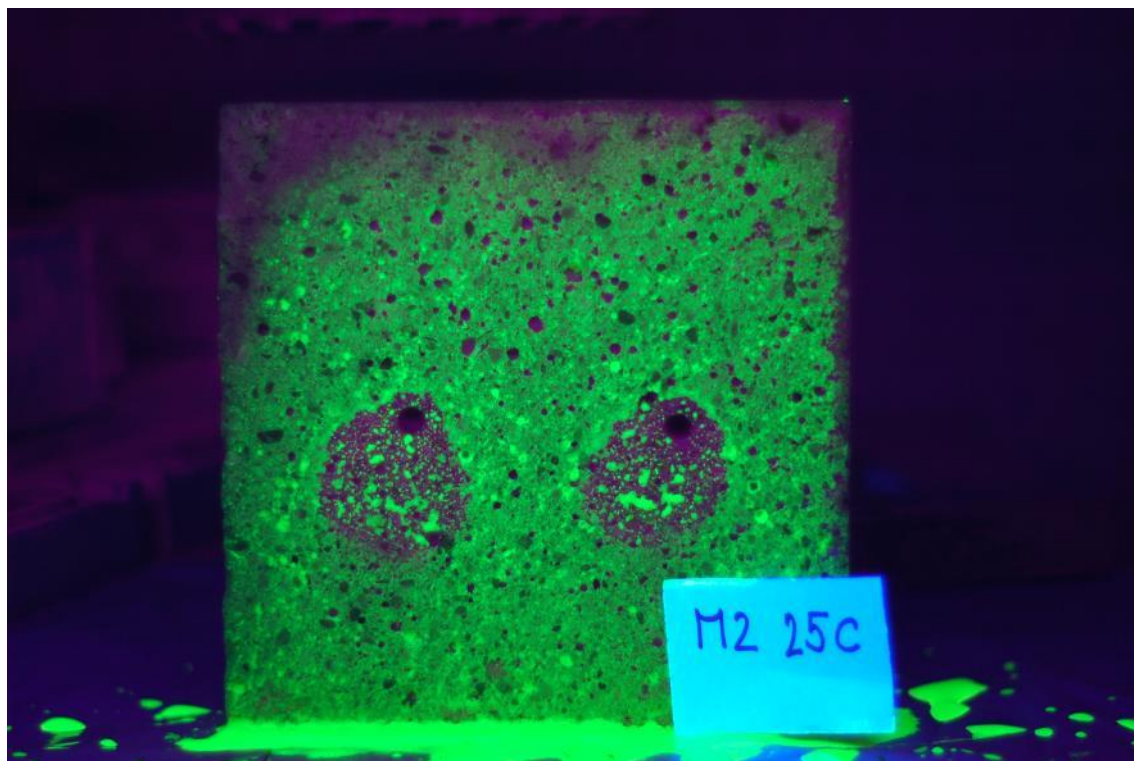
Aby bylo možné získat laboratorní vzorky o požadovaných vlhkostech, byla vždy zkušební tělesa od každého testovaného materiálu ponechána nasáknout do konstantní hmotnosti a následně zvážena. Poté byla nasáknutá tělesa umístěna do sušárny nastavené na 50 °C a v půlhodinových intervalech vždy vyjmuta a vážena. Jakmile bylo dosaženo u tělesa konstantní vysušené hmotnosti, tak bylo možné z údajů časové závislosti vlhkosti pro každý materiál stanovit dobu ponechání 100% nasáklého zkušebního tělesa v sušárně za účelem dosažení požadované vlhkosti.

Poté, co se u daného zkušebního vzorku dosáhlo požadované vlhkosti, došlo k injektáži gelu do připravených vrtů. Aby nedošlo ke změně vlhkosti testovaného tělesa před tím, než se stihne injektážní gel zcela penetrovat do jeho objemu, byly všechny vzorky posléze neprodyšně uzavřeny v plastových sáčkách po dobu sedmi dnů.

Následně opět došlo k rozříznutí každého zkušebního tělesa v rovině kolmé na rovinu injektážních vrtů, a to přesně v polovině tělesa. Poté byly vzorky vysušeny do konstantní

hmotnosti a prostřednictvím aplikace UV indikátoru vlhkosti Fluorescein byly pozorovány výseče penetrované injektážními gely kolem jednotlivých vrtů. Tmavé oblasti značí hydrofobizované okolí injektážního vrtu, zatímco zelená barva označuje nasákavý neošetřený stavební materiál (viz Obr. 73).

Průběh stanovení míry penetrace tří nejperspektivnějších gelů B, C a D při všech čtyřech vlhkostech je součástí příloh pod označením *Obr. P7, Obr. P8, Obr. P9 a Obr. P10*.



Obr. 73: Příklad stanovení míry penetrace injektážního gelu C ve zkušebním tělese zdící malty dva při vlhkosti 25 %

Průměry kruhových výsečí byly opět zaznamenány s přesností na desetiny milimetru. Pro každou teplotu a každý injektážní materiál bylo připraveno jedno zkušební těleso, což po rozříznutí umožňovalo měření čtyř kruhových výsečí. Výsledky stanovení míry penetrace injektážních gelů za různých vlhkostí jsou uvedeny níže v tabulkách 32, 33, 34 a 35.

Tab. 32. Výsledky stanovení míry penetrace injektážních gelů při 25% vlhkosti

Stavební materiál	Průměr penetrovaných oblastí při vlhkosti 25 % [mm]							
	Gel A	Gel B	Gel C	Gel D	Gel E	Gel F	Gel G	Gel H
Cihla plná pálená	18,4	24,5	26,8	20,6	10,1	13,4	12,4	14,8
Cihla pískovcová	13,8	32,4	35,6	15,8	8,7	12,5	14,5	13,5
Pórobeton	16,7	19,7	29,6	23,4	6,7	12,5	14,8	13,0
Zdící malta 1	18,3	24,6	23,8	18,6	7,8	14,9	15,9	13,9
Zdící malta 2	12,5	20,8	45,1	24,6	7,9	11,0	10,8	11,8
Průměr	15,9	24,4	32,2	20,6	8,2	12,9	13,7	13,4

Tab. 33. Výsledky stanovení míry penetrace injektážních gelů při 50% vlhkosti

Stavební materiál	Průměr penetrovaných oblastí při vlhkosti 50 % [mm]							
	Gel A	Gel B	Gel C	Gel D	Gel E	Gel F	Gel G	Gel H
Cihla plná pálená	21,8	31,2	33,5	18,6	8,4	12,5	13,5	15,9
Cihla pískovcová	25,1	29,0	35,1	19,7	9,4	13,8	12,6	14,5
Pórobeton	14,4	15,1	18,9	17,3	6,1	10,5	11,6	12,5
Zdící malta 1	21,4	35,1	25,1	17,0	9,2	15,6	15,0	11,6
Zdící malta 2	26,4	28,4	38,4	21,8	7,1	14,8	11,5	11,5
Průměr	21,8	27,8	30,2	18,9	8,0	13,4	12,8	13,2

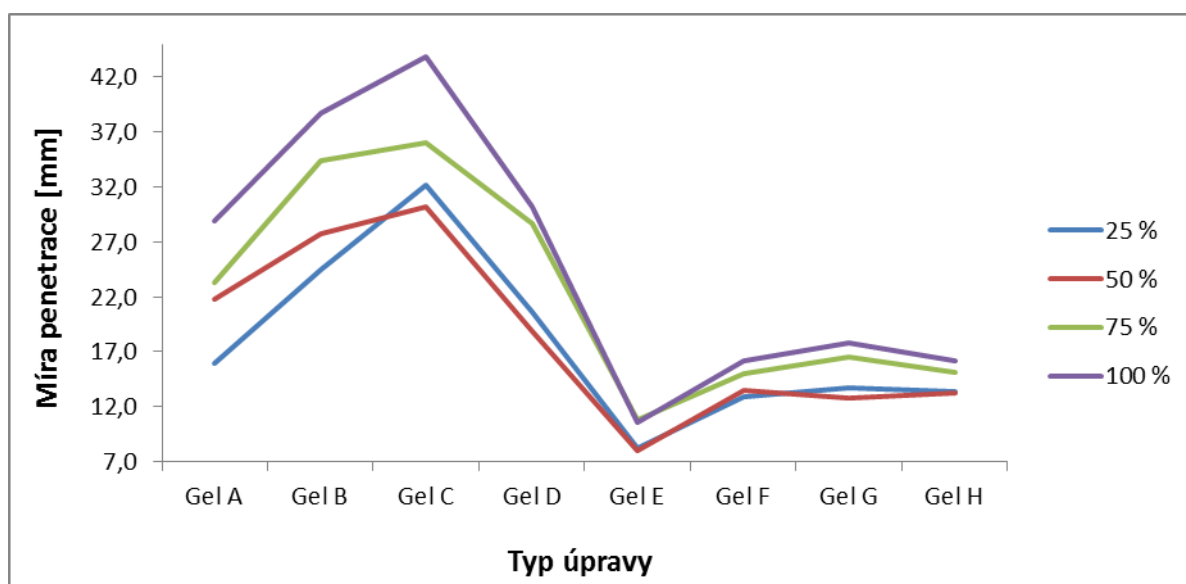
Tab. 34. Výsledky stanovení míry penetrace injektážních gelů při 75% vlhkosti

Stavební materiál	Průměr penetrovaných oblastí při vlhkosti 75 % [mm]							
	Gel A	Gel B	Gel C	Gel D	Gel E	Gel F	Gel G	Gel H
Cihla plná pálená	26,7	35,4	41,8	24,8	10,1	11,5	15,8	18,5
Cihla pískovcová	21,5	34,1	38,4	27,0	11,2	15,4	16,4	12,5
Pórobeton	21,7	41,7	28,6	27,1	12,5	20,1	12,5	16,5
Zdící malta 1	26,7	38,1	35,8	25,3	10,8	15,4	17,8	12,4
Zdící malta 2	20,1	22,5	35,4	39,1	9,5	12,6	20,4	15,6
Průměr	23,3	34,4	36,0	28,7	10,8	15,0	16,6	15,1

Tab. 35. Výsledky stanovení míry penetrace injektážních gelů při 100% vlhkosti

Stavební materiál	Průměr penetrovaných oblastí při vlhkosti 100 % [mm]							
	Gel A	Gel B	Gel C	Gel D	Gel E	Gel F	Gel G	Gel H
Cihla plná pálená	31,5	39,5	53,1	24,5	11,5	15,6	12,6	15,8
Cihla pískovcová	30,5	38,6	32,5	32,4	9,6	18,9	18,3	15,9
Pórobeton	31,8	40,5	52,3	35,6	10,5	15,6	20,1	19,6
Zdící malta 1	28,8	42,5	35,6	21,5	11,0	12,3	20,9	12,6
Zdící malta 2	21,9	32,4	45,6	36,8	10,5	18,6	16,9	17,0
Průměr	28,9	38,7	43,8	30,2	10,6	16,2	17,8	16,2

Pro názornější zobrazení rozdílů v dosažených hodnotách penetrovaných oblastí u různých receptur gelové clony byly opět získané hodnoty u jednotlivých gelů zprůměrovány pro všechny testované stavební materiály dané vlhkosti a vyneseny do grafu níže (viz Obr. 74).



Obr. 74: Výsledky stanovení míry penetrace injektážních gelů při různých vlhkostech stavebních materiálů

Z výsledků stanovení míry penetrace infuzních gelů do stavebních materiálů o různých vlhkostech je patrný podobný trend jako u testování vlivu teploty. To znamená, že s rostoucí vlhkostí injektovaného stavebního materiálu roste též míra jeho penetrace hydroizolačním gelem. Nejvyšší míra penetrace byla pozorována opět u těles ošetřených gelem C. Podobných, mírně nižších výsledků, bylo dosaženo i u vzorků s aplikovaným gelem B, dále pak D a A, které obsahují ve vyšší míře silanové báze a etanol.

Nejnižší hodnoty míry penetrace v závislosti na vlhkosti ošetřovaných těles byly zjištěny u vzorků s injektovaným gelem E. Mírně vyšších, avšak obdobných hodnot míry penetrace jako u gelu E bylo dosaženo i u gelů F, G a H, které obsahují bentonity, methylsilikonát a hydroxid draselný.

4.3.3 Optimalizace výsledků laboratorních zkoušek

Aby mohlo být v další etapě přikročeno k provedení praktických zkoušek, muselo dojít k volbě jedné receptury infuzní clony, která vykazuje ideální vlastnosti pro další testování. Za tímto účelem byla opět použita Fullerova metoda párového srovnávání hodnot. Ze spektra optimalizovaných výsledků byla vyřazena data získaná ze zkoušky vzduchové propustnosti Torrent, protože jen u menšiny těles bylo dosaženo měřitelných výsledků.

Jako kritéria byly zvoleny výsledky ze zkoušek nasákavosti, vodotěsnosti povrchové úpravy, vzlínivosti, míry penetrace v závislosti na teplotě a vlhkosti injektovaného materiálu. V tabulce 36 jsou uvedena všechna kritéria a jejich preference.

V rámci zjednodušení optimalizační matice byly pro každý gel použity zprůměrované výsledky ze všech testovaných stavebních materiálů.

Tab. 36. Jednotlivá posuzovaná kritéria injektážních gelů včetně vyčíslení jejich preferencí

Laboratorní metoda	Rozhodnutí o preferování jednoho kritéria před jinými				
	Nasákavost	Vodotěsnost	Vzlínavost	Míra penetrace (různá teplota)	Míra penetrace (různá vlhkost)
Nasákavost	1,00	0,75	1,25	0,75	0,75
Vodotěsnost	1,33	1,00	1,50	1,00	1,00
Vzlínavost	0,80	0,67	1,00	0,75	0,75
Míra penetrace (teplota)	1,33	1,00	1,33	1,00	1,00
Míra penetrace (vlhkost)	1,33	1,00	1,33	1,00	1,00

Každé vlastnosti vyjádřené kritériem byla opět přiřazena rozdílná váha. Podle těchto kritérií dochází ke zhodnocení každé vlastnosti a k upřednostňování jedné vlastnosti před druhou.

V tabulce 37 níže jsou vyčísleny hodnoty jednotlivých kritérií pro všechny posuzované injektážní gely.

Tab. 37. Vyčíslení jednotlivých kritérií všech posuzovaných injektážních gelů

Vlastnost	Vyčíslení daných kritérií							
	Gel A	Gel B	Gel C	Gel D	Gel E	Gel F	Gel G	Gel H
Nasákavost	3,64	3,32	3,02	2,98	8,16	6,80	9,98	7,20
Vodotěsnost	0,11	0,16	0,14	0,14	0,16	0,11	0,16	0,14
Vzlínavost	1,39	1,20	1,20	1,29	1,57	1,46	1,42	1,43
Míra penetrace (teplota)	25,53	36,31	37,27	33,57	9,52	16,76	17,25	18,11
Míra penetrace (vlhkost)	21,25	31,31	35,55	24,58	9,43	14,38	15,22	14,47

Následně došlo k rozhodnutí, zda je dané kritérium optimální nízké nebo vysoké. Rozhodovací matice byla transformována na výpočtovou a vypočítána.

Výsledkem jsou procentuální preference pro každou recepturu injektážního gelu, v závislosti na výsledcích provedených laboratorních zkoušek (viz Tab. 38).

Tab. 38. Výsledné hodnoty preference jednotlivých receptur infuzních gelů

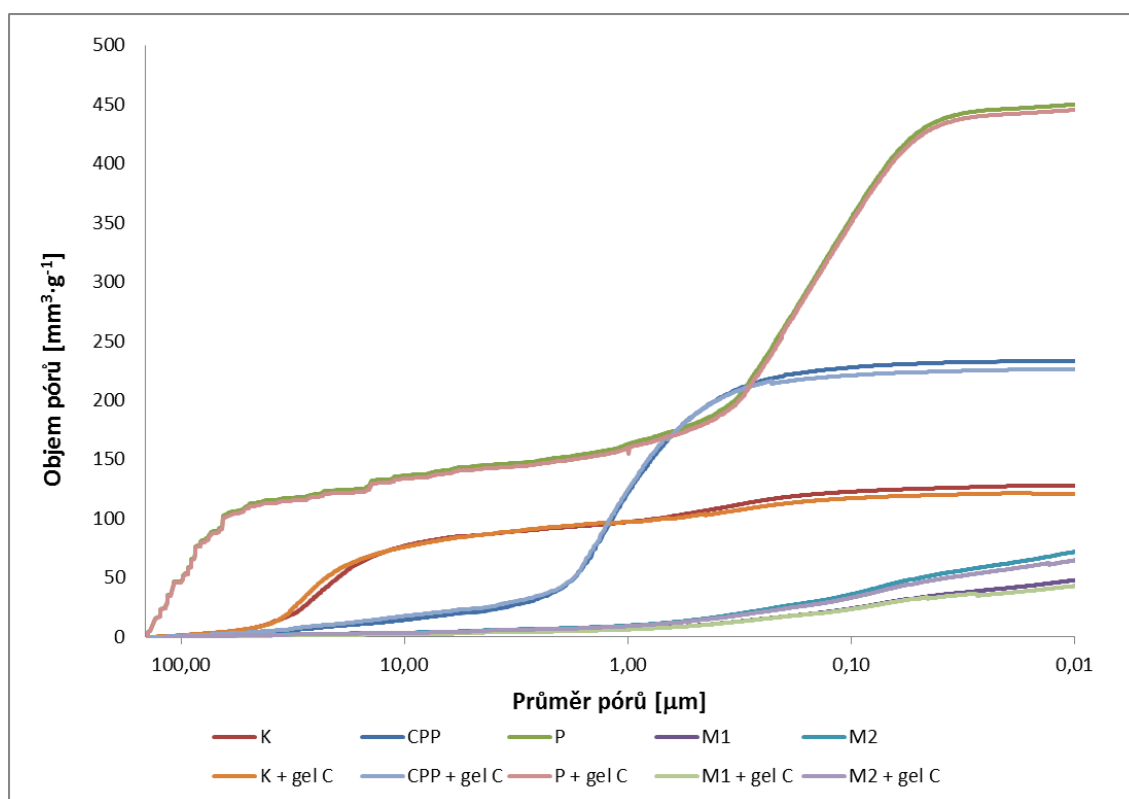
Vlastnost	Výsledek							
	Gel A	Gel B	Gel C	Gel D	Gel E	Gel F	Gel G	Gel H
Nasákavost	16,81	17,66	18,45	18,56	4,83	8,43	0,00	7,37
Vodotěsnost	18,17	0,00	6,64	8,27	0,23	18,56	1,76	7,50
Vzlínavost	9,15	18,39	18,56	14,07	0,00	5,49	7,24	6,82
Míra penetrace (teplota)	10,71	17,92	18,56	16,09	0,00	4,84	5,17	5,75
Míra penetrace (vlhkost)	8,40	15,54	18,56	10,76	0,00	3,51	4,11	3,58
Preference [%]	63,25	69,52	80,78	67,75	5,05	40,84	18,28	31,02

Na základě optimalizace výsledků provedených laboratorních zkoušek se jako ideální pro následující praktické zkoušky jeví receptura gelové infuzní clony s pracovním označením C, a to s 80,78% preferencí. Gel C obsahuje ze všech testovaných gelů v nejvyšší míře silanové báze a jílové minerály. Jako další vhodná receptura poté vychází receptura B s 69,52% preferencí a receptura D s preferencí 67,75 %, které mají podobné složení jako gel C.

Naopak jako nejméně vhodná receptura byla na základě optimalizace výsledků vyhodnocena receptura infuzní clony s pracovním označením E s pouhými 5,05 % preference. Gel E obsahuje v nejvyšší míře bentonity.

4.3.4 Posouzení vlivu přítomnosti hydroizolačního gelu na porozitu stavebních materiálů

Za účelem posouzení vlivu přítomnosti injektážního gelu ve stavebních materiálech na jejich porozitu byla provedena zkouška rtuťové porozimetrie (ČSN 72 5010) na stavebních materiálech penetrovaných gelem C. Průměr pórů je nepřímo úměrný tlaku a přímo úměrný kontaktnímu úhlu mezi kapkou rtuti a měřeným povrchem. Následně byly získané hodnoty porozity porovnány s hodnotami získanými u neošetřených materiálů. Na obrázku 75 je znázorněno porovnání výsledků stanovení porozity neošetřených a ošetřených materiálů.



Obr. 75: Porovnání výsledků rtuťové porozimetrie pěti stavebních materiálů bez úpravy a penetrovaných hydrofobizačním gelem C (K – cihla pískovcová, CPP – cihla plná pálená, P – pórobeton, M1 – zdicí malta 1, M2 – zdicí malta 2)

Z porovnání výsledků porozit neošetřených a ošetřených stavebních materiálů je patrné, že přítomnost injektážního gelu dle předpokladu zásadním způsobem neovlivňuje porozitu stavebních materiálů. Při aplikaci infuzní clony vyvinutý injektážní gel penetruje oblasti

v okolí aplikačních vrtů a zároveň neutěsňuje póry. Dochází k pouze hydrofobizaci jejich stěn. Přítomnost injektážního gelu pouze mírně snižuje zastoupení pórů o menších průměrech (0,9 – 0,01 mm).

4.4 Etapa IV – Praktické zkoušky infuzní clony

Ve čtvrté etapě již bylo přistoupeno k provádění praktických zkoušek infuzní gelové clony. Testování bylo realizováno prostřednictvím aplikace ideální receptury injektážního gelu zvoleného na základě optimalizace výsledků předchozí etapy. Tímto materiálem se stal gel s pracovním označením C, který ve své receptuře kromě siloxanové báze a druhotných a alternativních surovin obsahuje také etanol, jílové minerály a vodu.

4.4.1 Volba vhodných stavebních konstrukcí pro praktické zkoušky

Za účelem provádění praktických zkoušek účinnosti infuzní clony muselo nejdříve k volbě spektra testovaných objektů, do kterých bude aplikován infuzní gel a dále zkoumáno jeho chování ve stavebním materiálu.

4.4.1.1 Zděné pilíře dle směrnice WTA 4-4-04/D

Ověření funkčnosti dodatečně vzniklé vodorovné injektážní clony, vytvořené za účelem zastavení vztlínající kapilární vlhkosti, se v tomto případě provádí v simulovaných podmínkách, které co nejvíce odpovídají podmínkám v praxi. Pro tyto účely se využívají zmenšená modelová tělesa, u nichž je simulována vztlínající kapilární vlhkost. Modelová tělesa se poté napouští injektážním materiálem dle pokynů uváděných výrobcem stejným způsobem, jako k tomu dochází u reálných budov. Celá zkouška je prováděna dle pokynů a zásad WTA uvedených ve směrnici 4-4-04/D: Injektáž zdiva proti kapilární vlhkosti.

Došlo k vyzdění zkušebních pilířů z cihly pískovcové a cihly plně pálené. Dále byly vyzděny zkušební pilíře pórobetonové, a to s klasickým zděním a zděním lepidlem. Průběh zdění pilířů je součástí příloh pod označením *Obr. P11*.

Pilíře byly zděny na připravené rošty umístěné v plastových vanách, aby byl umožněn přístup vody celým ponořeným povrchem zkušebního tělesa, a tím simulovat podmínky vztlínající vlhkosti v reálných stavebních strukturách (viz obr. 76 a 77).



Obr. 76: Vyzdění zkušební pilíře (zprava: 2 pilíře cihly pískovcové, 2 pilíře cihly plně pálené a 2 pilíře pórobetonové s klasickým zděním)



Obr. 77: Pórobetonový píliř vyzděný lepidlem

4.4.1.2 Volba reálné budovy pro praktické zkoušky

Praktické zkoušky infuzní clony byly rovněž provedeny ve struktuře reálné budovy. Touto budovou se stala budova D areálu fakulty stavební VUT v Brně, konkrétně její sklepní prostory. Jedná se o typický příklad zděné konstrukce z plných cihel s lokálními problémy se vztlínající vlhkostí od základových pasů (viz obr. 78).



Obr. 78: Část zdi ve sklepních prostorách budovy D v areálu FAST VUT v Brně

4.4.2 Testování a výsledky praktických zkoušek infuzní clony

Na zvolených stavebních konstrukcích došlo k pro vedení injektáže zvoleným gelem C a následně byl sledován jeho vliv na chování ošetřeného stavebního materiálu. Z těchto výsledků byla následně vyhodnocena schopnost gelového prostředku vytvářet infuzní clonu a jeho vliv na vztlínající vlhkost v daném objektu.

4.4.2.1 Testování zděných pilířů dle směrnice WTA 4-4-04/D

Po vyzdění byly zkušební pilíře po dobu dvaceti osmi dnů vystaveny podmínkám klimatu, ve kterém byly posléze testovány. Relativní vlhkost v místnosti, kde byly pilíře uloženy, činila 35,9 % s teplotou 22,2 °C. To znamená, že do plastových van s rošty byl nalit určitý objem vody tak, aby její hladina sahala do 3 – 5 cm výšky pilířů (viz obr. 79). Po celou dobu testování musela být vodní hladina udržována v tomto rozmezí. Prostup vztlínající vlhkosti zděnými pilíři v závislosti na čase je součástí příloh pod označením *Obr. P12*.



Obr. 79: Pilíř vyzděný z pálených cihel po 28 dnech působení vztlínající vlhkosti

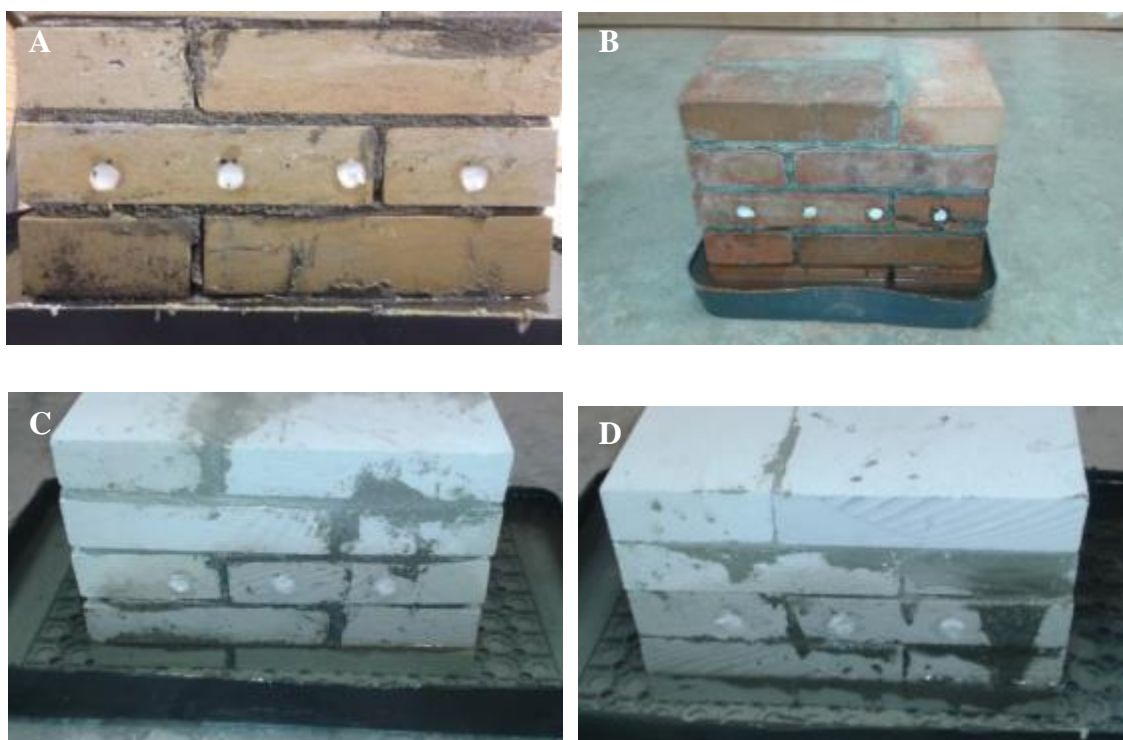
Dalším krokem bylo vyvrtání aplikačních otvorů u poloviny pilířů tak, jak to předepisuje směrnice. Směrnice uvádí rozteč vrtů v rozmezí 100 – 140 mm. U zkušebních těles cihly pískovcové a cihly plné pálené byla zvolena rozteč vrtů 100 mm z důvodu nižší míry penetrace materiálu. Naopak u pórobetonových těles činila rozteč vrtů 140 mm. Z tohoto důvodu byly v tělesech cihly plné pálené a cihly pískovcové realizován čtyři zkušební vrty a v pórobetonových pouze tři. Průměr vrtů činí 20 mm a hloubka 190 mm (viz obr. 80). Druhá polovina zkušebních pilířů slouží jako referenční tělesa. Rozměry všech zkušebních pilířů vychází ze směrnice WTA a činí 240 mm x 403 mm x 365 mm.



Obr. 80: Zkušební pilíř vyzděný z pískovcových cihel s připravenými injektážními otvory

Před aplikací injektážního gelu byly všechny vrtvy vyčištěny stlačeným vzduchem. Následně došlo k plnění vrtů gelem receptury C (viz obr. 81).

Plnění probíhalo vždy od konce vrtu postupným vytlačováním injektážní hmoty a tomu úměrným vysouváním ústí plnicího zařízení ven z vrtu, až došlo k jeho úplnému vyplnění.



Obr. 81: Injektované zkušební pilíře (A - cihla pískovcová, B - cihla plná pálená, C - pórobeton klasické zdění, D - pórobeton přesné zdění)

Po třicet dní od injektaže byla tělesa opět ponechána ve stejných podmínkách okolního prostředí. Po uplynutí této doby mohlo být přikročeno k vlastnímu měření prošlé vztlínající vlhkosti a z porovnání výsledků dosažených na injektovaných a referenčních tělesech stanovit účinnost infuzního gelu v daném stavebním materiálu.

Aby bylo zabráněno úniku vlhkosti bočními stěnami pilířů, došlo k jejich obalení plastovou folií. Před započítáním zkoušky účinnosti je nutno zajistit, aby k nasáknutí vody docházelo pouze do vody ponořenou stranou zkušebního a k odpařování vlhkosti docházelo pouze horní plochou (viz Obr. 82). Důležitým krokem je i zabezpečení stejných podmínek ukládání a zkoušení injektovaných a referenčních zkušebních těles. Ve spodní části musely být boční stěny izolovány tak, aby nedocházelo v žádném místě ke kontaktu izolační fólie a vody v plastové vaně.

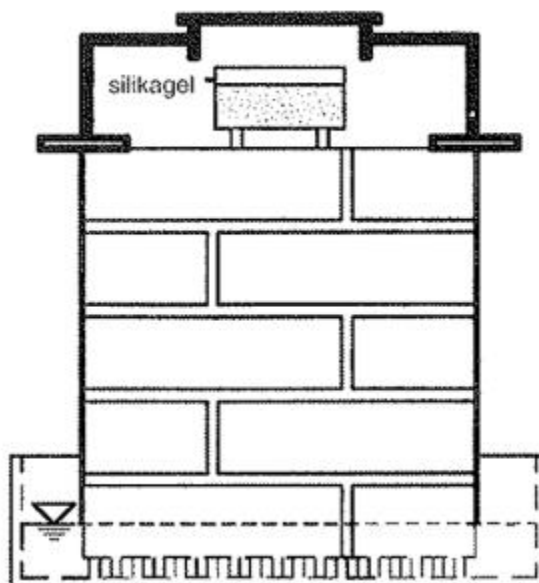


Obr. 82: Injektovaný pískovcový pilíř s izolovanými bočními stěnami

Horní strana zkušebního tělesa, na které dochází k odpařování vlhkosti, byla opatřena plastovým „zvonem“. Tento zvon vytvořil uzavřený prostor, ze kterého neuniká vlhkost. Do tohoto prostoru byla umístěna miska se silikagelem, který pohlcuje vlhkost, která prošla zkušebním tělesem.

Vážením silikagelu v pravidelných časových intervalech bylo zjišťováno množství vlhkosti odpařené z horního povrchu zkušebního tělesa do uzavřeného zvonu. Silikagel je vysoce hygroskopická látka, která pohlcuje vlhkost z okolního prostředí. Tímto způsobem bylo tedy sledováno množství vody, které prošlo prostřednictvím kapilárních sil skrz zkušební pilíř.

Používaný silikagel musel být v pravidelných časových intervalech měněn, aby nedošlo k vyčerpání jeho absorpčních schopností. Schéma vyhodnocení zkoušky prošlé vlhkosti prostřednictvím silikagelu v uzavřeném „zvonu“ je znázorněno níže (viz Obr. 83).



Obr. 83: Schéma vyhodnocení množství prošlé vlhkosti zkušebním piliřem prostřednictvím vážení silikagelu

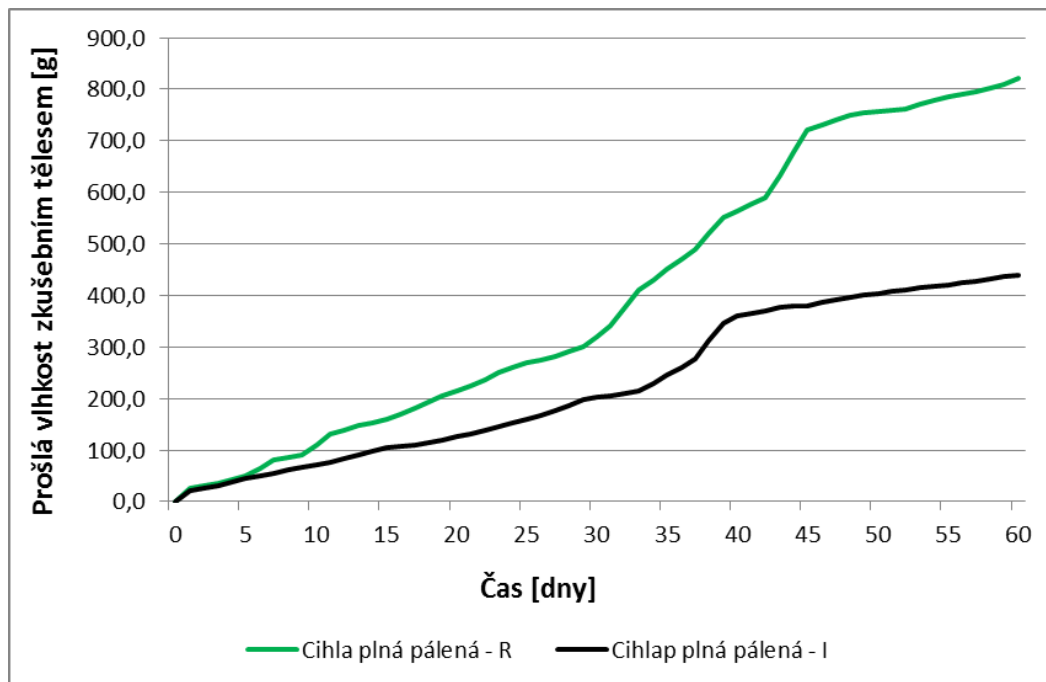
Vyhodnocení účinnosti infuzní clony bylo provedeno na základě porovnání získaných hodnot prošlé vlhkosti u těles referenčních a těles injektovaných. Měření probíhalo po 60 dní a výsledná účinnost byla posuzovaná podle toho, zda došlo ke snížení množství odpařené vody u injektovaných těles nejméně o 50 % v porovnání s tělesem referenčním. V případě, že by po 90 dnech od začátku zkoušky nedošlo k výraznému snížení obsahu vlhkosti injektovaných těles, může být zkouška prodloužena, avšak při splnění účinnosti injektážního prostředku po době delší než 90 dnů, musí být tato informace uvedena ve zprávě o zkoušce. Výsledky získané během prvních šedesáti dnů po aplikaci jsou uvedeny v tabulce 39.

Tab. 39. Výsledky pozorování prošlé vlhkosti zkušebními pilíři

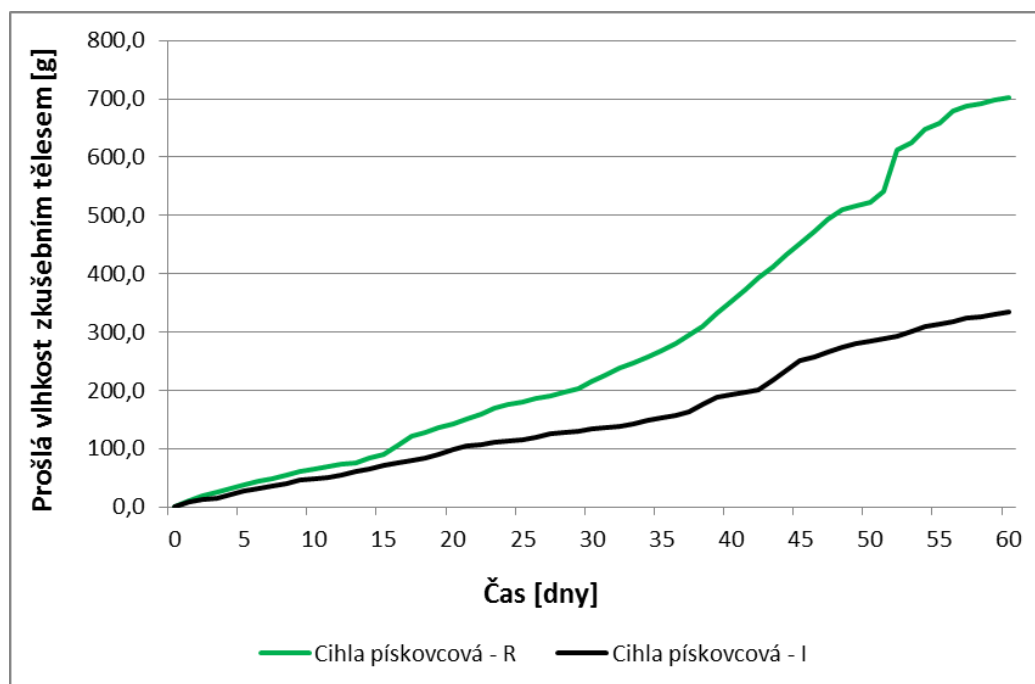
Čas [dny]	Prošlá vlhkost zkušebními tělesy [g]							
	Cihla plná pálená - R	Cihla plná pálená - I	Cihla pískovcová - R	Cihla pískovcová - I	Pórobeton klasic. - R	Pórobeton klasic. - I	Pórobeton přesné - R	Pórobeton přesné - I
0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1	25,6	21,2	11,5	9,6	11,3	9,1	7,4	12,0
2	30,6	26,4	18,4	12,3	23,5	11,6	14,0	13,9
3	35,6	31,5	25,3	14,9	35,6	14,0	20,6	15,7
4	42,3	38,7	32,0	20,9	45,6	19,5	28,0	24,7
7	80,6	55,6	49,3	35,6	60,9	28,2	39,3	25,3
8	85,6	61,6	55,4	40,6	63,3	36,9	45,3	28,8
9	90,6	67,5	61,5	45,6	65,6	45,6	51,3	32,3
10	110,6	71,6	65,7	48,1	73,1	52,6	55,8	37,3
11	130,6	75,6	69,8	50,6	80,6	59,6	60,3	42,3
14	153,7	97,6	83,3	65,6	112,8	71,1	87,8	57,8
15	160,5	105,6	90,6	70,6	120,3	72,6	95,3	63,3
16	170,5	107,6	105,6	75,0	124,3	81,6	107,8	69,3
17	180,5	109,5	120,6	79,3	128,3	90,6	120,3	75,3
18	193,1	114,9	128,1	85,0	139,3	98,1	124,8	79,8
21	223,3	130,6	150,6	105,3	160,3	120,3	145,3	95,3
22	237,0	138,1	160,1	107,8	170,3	124,6	154,3	100,5
23	250,6	145,6	169,6	110,3	180,3	128,9	163,3	105,6
24	260,5	152,3	175,3	112,8	192,8	139,8	172,1	113,0
25	270,3	158,9	180,9	115,3	205,3	150,6	180,9	120,3
28	290,8	187,1	197,1	128,0	235,3	170,6	227,1	126,5
29	300,9	198,6	203,6	130,7	250,3	180,6	250,9	129,3
30	320,8	202,1	215,6	133,3	255,3	188,0	263,1	137,3
31	341,8	205,6	225,9	135,8	260,3	195,3	275,3	145,3
32	376,2	210,6	238,8	139,2	270,3	200,3	282,8	148,8
35	450,5	244,8	268,1	152,8	290,8	211,4	296,2	166,6
36	470,5	261,0	279,8	157,9	296,4	213,6	297,2	174,0
37	490,5	277,2	295,4	162,9	302,0	215,8	298,2	181,4
38	520,5	312,3	309,1	175,8	315,5	224,7	304,6	197,1
39	550,5	347,3	331,5	188,7	328,9	233,5	310,9	212,8
42	590,6	370,8	392,2	200,2	365,7	265,6	329,5	227,6
43	633,8	378,4	412,1	217,0	381,7	279,1	338,6	231,5
44	677,1	379,5	431,9	233,7	397,6	292,6	347,8	235,1
45	720,3	380,5	451,8	250,5	413,6	306,1	356,9	238,7
46	730,4	385,6	471,5	258,1	432,4	314,8	367,9	240,4
49	754,6	400,7	515,9	280,0	492,3	340,4	403,3	251,8
50	757,3	404,0	521,8	284,4	507,2	345,8	412,1	255,8
51	760,0	407,3	541,6	288,9	522,2	351,2	421,0	260,1
52	778,7	416,8	648,7	308,7	574,8	372,3	451,8	270,6
53	785,1	419,6	658,4	313,7	592,0	377,2	462,4	272,3
56	791,5	423,8	679,3	318,7	609,2	382,1	472,9	274,0
57	795,4	427,8	687,0	323,7	637,8	388,8	490,5	279,1
58	803,1	431,5	692,1	327,1	656,9	393,3	502,2	282,5
59	810,4	435,8	698,7	330,5	675,9	397,8	514,0	286,0
60	821,4	439,8	702,4	333,9	695,0	402,3	525,7	289,4

R – referenční těleso; I – injektované těleso; klasic. - klasické zdění; přesné – zdění prostřednictvím lepidla

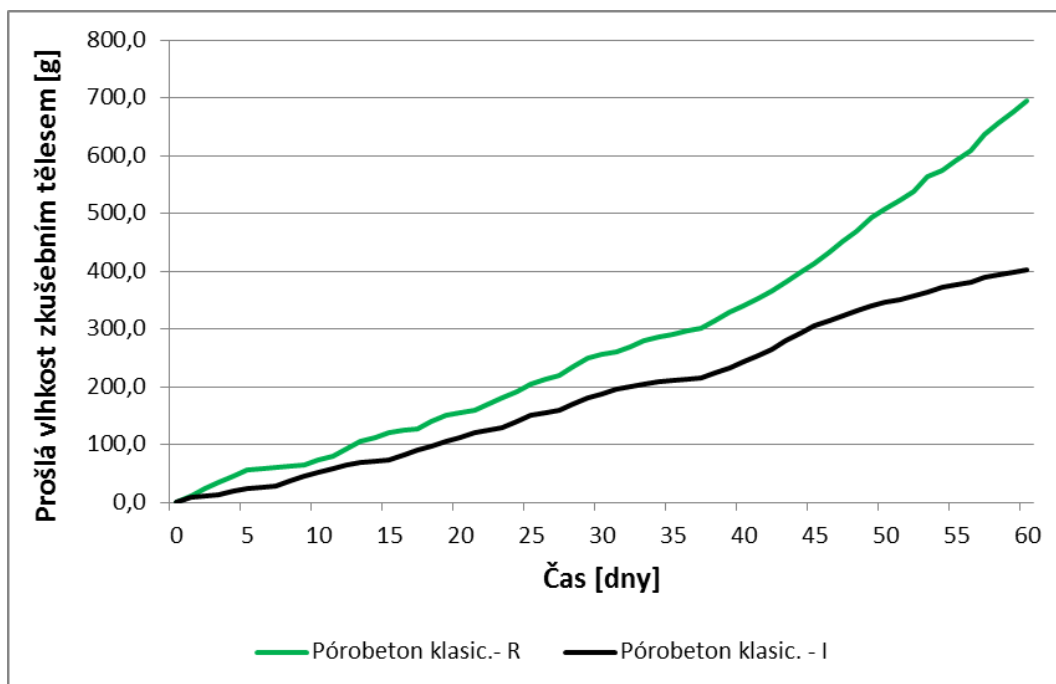
Pro lepší porovnání výsledků získaných u referenčních a injektovaných těles došlo k jejich vynesení do grafů (viz Obr. 84, 85, 86 a 87).



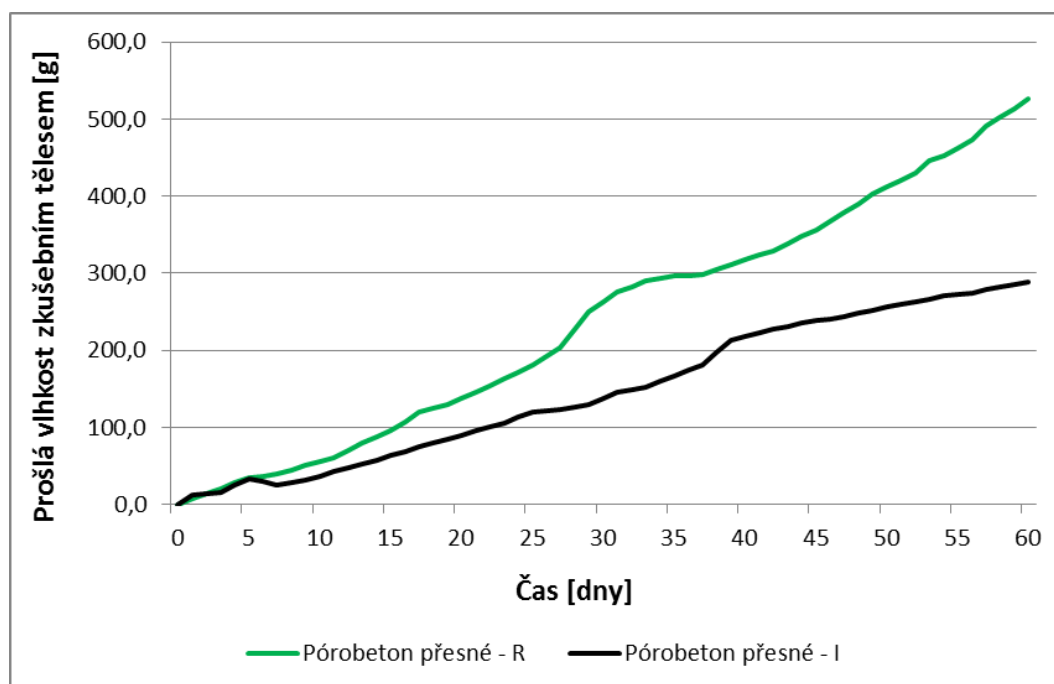
Obr. 84: Grafické porovnání výsledků sledování prošlé vlhkosti získaných u referenčního a injektovaného pilíře cihly plné pálené



Obr. 85: Grafické porovnání výsledků sledování prošlé vlhkosti získaných u referenčního a injektovaného pilíře cihly pískovcové



Obr. 86: Grafické porovnání výsledků sledování prošlé vlhkosti získaných u referenčního a injektovaného pórobetonového pilíře s klasickým zděním



Obr. 87: Grafické porovnání výsledků sledování prošlé vlhkosti získaných u referenčního a injektovaného pórobetonového pilíře vyzdřeného lepidlem

Z naměřených hodnot množství prošlé vlhkosti zkušebními pilíři a z porovnání výsledků získaných u těles referenčních a těles injektovaných je patrné, že ve zkušebních tělesech injektovaných gelem, zvoleným na základě předchozího testování (s pracovním označením C), dochází k výraznému snížení těchto hodnot oproti tělesům injektovaným.

Nejvýznamnějšího snížení hodnot prošlé vlhkosti injektovaným zkušebním pilířem oproti referenčnímu bylo dosaženo u pilířů vyzděných z pískovcových cihel, kdy procentuální pokles této hodnoty činil 52,5 %.

Druhé nejvyšší snížení hodnot prošlé vlhkosti injektovaným zkušebním pilířem oproti referenčnímu bylo dosaženo u pilířů vyzděných z cihly plně pálené, u níž bylo po šedesáti dnech od započetí měření dosaženo u injektovaných pilířů o 46,5 % nižších hodnot než u pilíře referenčního.

Třetího nejvyššího snížení hodnot prošlé vlhkosti zkušebním pilířem bylo pozorováno u injektovaného vzorku pórobetonu, vyzděného lepidlem. U pilíře tohoto materiálu, kde došlo k aplikaci infuzní clony, byla po šedesáti dnech suma prošlé vlhkosti nižší o 45 % oproti tělesu referenčnímu.

Nejnižšího snížení hodnot snížení množství prošlé vlhkosti za 60 dní bylo získáno u pórobetonových pilířů vyzděných klasickým zděním zdící maltou 1 (tak jako u zkušebních těles cihly plně pálené i pískovcové). U injektovaného pilíře tohoto materiálu dosáhla hodnota sumy prošlé vlhkosti hodnot pouze o 42,1 % nižších, než tomu bylo u pilíře referenčního.

4.4.2.2 Testování infuzní clony in-situ

Jako testovací objekt pro aplikaci injektážního gelu a sledování jeho schopnosti vytvořit infuzní clonu a případně tak zamezit prostupu vztlínající vlhkosti, byla zvolena část sklepních prostor pod budovou D v areálu Fakulty stavební VUT v Brně.

Jako první krok byla stanovena vlhkost v oblasti zdiva nad zamýšlenou úrovní vrtů pro infuzní clonu. Za tímto účelem bylo zvoleno deset bodů nad linií zamýšlené aplikace infuzní clony. Pět z těchto bodů se nacházelo v cihelném zdivu a pět ve zdící maltě s tím, že se pravidelně střídaly. V těchto bodech byla prostřednictvím odporového vlhkoměru stanovena hodnota vlhkosti (viz Obr. 88).



Obr. 88: Stanovení vlhkosti zdiva prostřednictvím odporového vlhkoměru

Aplikace in-situ byla provedena v souladu s metodikou aplikací injektážních gelů v praxi. To znamená, že jako první krok došlo k vytvoření horizontální linie vrtů o průměru 20 mm v rozstupech 100 mm do hloubky cca 310 mm (viz Obr. 89). Přitom celková tloušťka

sanované konstrukce činí 360 mm. Aplikační vrty se vždy provádí tak, aby sahaly 50 mm od opačné strany konstrukce.



Obr. 89: Testovaný úsek s vytvořenými injektážními vrty

Jakmile byly dané vrty připraveny, bylo provedeno jejich vyfoukání a vyčištění stlačeným suchým vzduchem, aby infuzní gel lépe penetroval póry testovaného zdiva.

V dalším kroku došlo k injektování připravených vrtů hydroizolačním gelem, který byl plněn postupně od nejhlubší části horizontálního vrtu dopředu, až byl jeho objem zcela zaplněn injektážní hmotou (viz Obr. 90).

Spotřeba injektážního gelu na jeden vrt se pohybovala v rozmezí 320 – 370 ml, a to ve všech vrtech. Z toho vyplývá, že došlo k rovnoměrnému vyplnění vrtů injektážním materiálem.

Relativní vlhkost okolního prostředí v místech provádění injektáže činila 41,3 % a teplota prostředí byla 16,5 °C.



Obr. 90: Zkušební vrty s aplikovaným infuzním gelem

Následně byly vrty ponechány 30 dnů, aby mohlo dojít k penetraci zdi budovy a vytvoření infuzní clony. Po uplynutí této doby byla ve stejných deseti bodech, jako před aplikací infuzní clony, opět stanovena hodnota vlhkosti zdiva. Stejně stanovení vlhkosti zdícího materiálu bylo provedeno i po dalších šedesáti dnech, tedy 90 dnů od aplikace infuzní clony. Výsledky měření jsou zobrazeny v tabulce 40.

Tab. 40. Výsledky stanovení vlhkosti před a po aplikaci injektážního gelu in-situ v různých časech

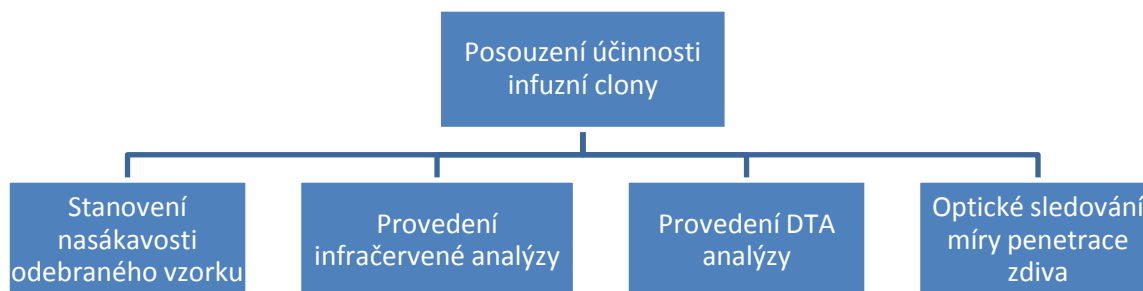
	Vlhkost [%]			
	Cihla	Cihla - průměr	Zdící malta	Zdící malta - průměr
Před aplikací infuzní clony	10,3	11,0	9,8	10,2
	11,5		10,3	
	10,8		10,5	
	11,3		10,8	
	11,0		9,7	
30 dní po injektáži	8,6	8,1	7,8	8,0
	8,9		8,3	
	7,4		8,1	
	7,9		7,0	
	7,8		8,9	
90 dní po injektáži	5,6	4,9	6,1	5,1
	4,1		4,8	
	5,0		4,1	
	5,1		5,8	
	4,8		4,9	

Z výsledných hodnot před a po aplikaci infuzní clony in-situ vyplývá, že 30 dní od aplikace došlo ke snížení hodnot vlhkosti u cihelného zdiva o 26 % a v bodech zdící malty o 21,5 %. Po devadesáti dnech se hodnoty vlhkosti v bodech umístěných na cihelném zdivu v průměru snížili oproti původním hodnotám o 55,2 % a v bodech umístěných na zdící maltě tomu bylo v průměru o 49,7 %. Získané hodnoty vlhkostí se však týkají pouze povrchových vrstev konstrukce. Pro získání přesnější představy o působení infuzní clony by bylo nutné sledovat změny vlhkosti v hloubce stavební konstrukce. Tato problematika je dále rozvedena v kapitole následující kapitole 4.5 *Metodika posouzení účinnosti injektážního gelu ve stavební konstrukci*.

4.5 Metodika posouzení účinnosti injektážního gelu ve stavební konstrukci

Klíčovou podmínkou, pro vytvoření a výslednou efektivitu hydroizolační infuzní clony, je schopnost injektážního gelu penetrovat stavební materiál, a tím hydrofobizovat oblast v okolí aplikačních vrtů. Překrytím kruhových výsečí hydrofobizovaných oblastí kolem sousedních vrtů dochází ke vzniku samotné clony, která zastavuje v místě své aplikace vztlínající vlhkost. Pokud ale nedojde k penetraci okolí aplikačních vrtů injektážním gelem v dostatečné míře, je tak znemožněn vznik clony. Z toho plyne, že pokud v oblasti zamýšlené aplikace infuzní clony není v materiálu přítomen injektážní gel, nedošlo tak k jejímu vytvoření a bylo tak znemožněno zastavení vztlínající vlhkosti.

V rámci poslední etapy disertační práce byla vyvinuta unikátní metodika stanovení přítomnosti injektážního gelu ve stavebních materiálech, jejímž prostřednictvím bude možné zkoumat účinnost libovolné hydrofobizační injektáže (viz Obr. 91). Tato metodika byla sestavena na základě poznatků určených vědeckým zkoumáním, zkušeností získaných během výzkumu a ostatních vědeckých poznatků současnosti.



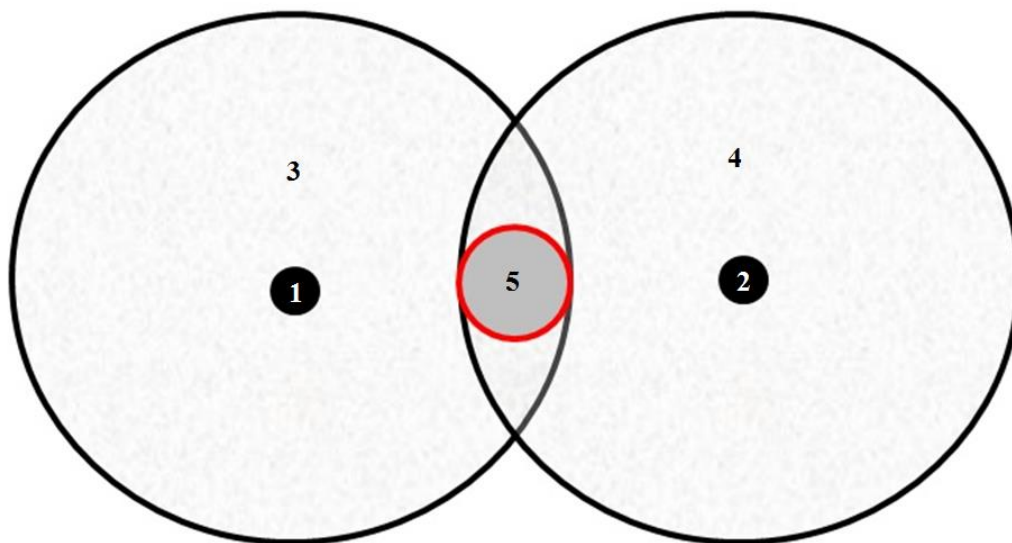
Obr. 91: Schéma metodiky testování přítomnosti injektážního gelu ve stavební konstrukci

Níže jsou uvedeny čtyři zkušební postupy, které umožní analýzu přítomnosti infuzní clony v různých typech zdiva.

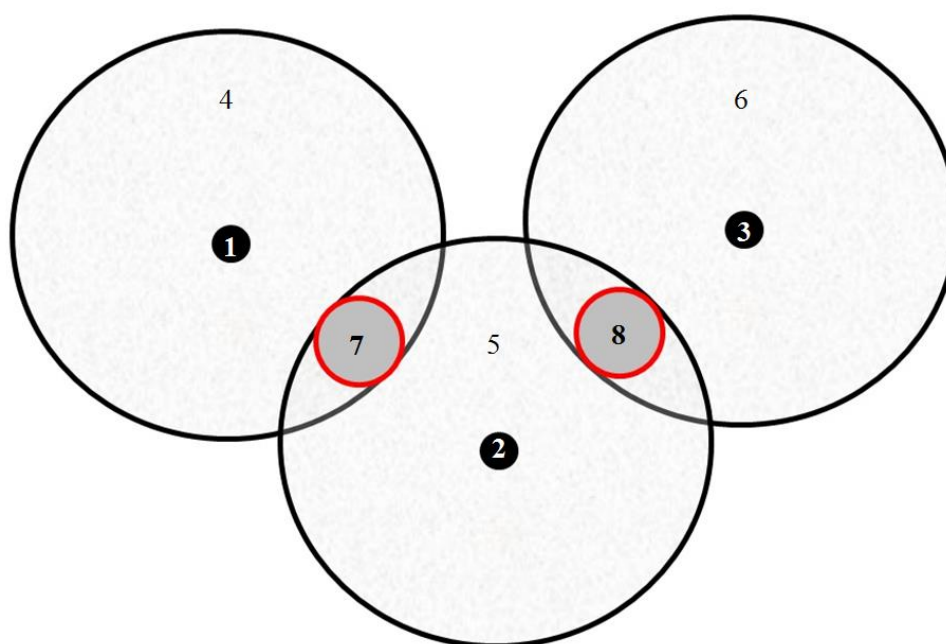
4.5.1 Stanovení nasákavosti

První metodou pro stanovení přítomnosti infuzní clony ve zdivu je metoda odběru vzorku v místě mezi dvěma sousedními aplikačními vrty, kde je předpokládáno protnutí výsečí penetrovaných injektážním gelem a stanovení jeho nasákavosti dle normy ČSN 73 1357. Odběr zkušebního tělesa je realizován prostřednictvím jádrového vývrtnu o průměru 50 mm a hloubce minimálně 100 mm. Místo odběru vzorku vždy leží uprostřed spojnice dvou nejbližších aplikačních vrtů (viz Obr. 92 a 93). Vlastní těleso pro provedení zkoušky nasákavosti je válec o průměru 50 mm a výšce rovněž 50 mm, přičemž prvních 30 mm odebraného vývrtnu od povrchu zdiva je odříznuto a následně je celý vzorek zarovnan na délku požadovaných 50 mm. Stejným způsobem je provedeno stanovení nasákavosti i na referenčním tělese odebraném ze zdiva v místě, kde se s jistotou infuzní clona nenachází.

Nejdříve jsou obě tělesa vysušena do konstantní vlhkosti a hodnota je zaznamenána. Následně je stanovena hodnota jejich nasákavosti.



Obr. 92: Schéma odběru zkušební vzorku pro stanovení nasákavosti v případě aplikace infuzní clony do jedné linie vrtů (1 a 2 - sousední aplikační vrty; 3 a 4 - předpokládané penetrované oblasti injektážním gelem; 5 – místo odběru vzorku)



Obr. 93: Schéma odběru zkušebních vzorků pro stanovení nasákavosti v případě aplikace infuzní clony do dvou linií vrtů (1, 2 a 3 – sousední aplikační vrty; 4, 5 a 6 – předpokládané penetrované oblasti injektážním gelem; 7 a 8 – místa odběru vzorku)

4.5.2 Infračervená spektrometrie

Infračervená spektroskopie je analytická metoda určená především pro identifikaci a strukturní charakterizaci organických sloučenin a také pro stanovení anorganických látek. Tato metoda je založena na měření pohlceného infračerveného záření o různé vlnové délce analyzovaným materiálem.

Infračerveným zářením je elektromagnetické záření v rozsahu vlnových délek 0,76 – 1000 μm . Infračervené záření se dělí na několik pásem, prvním z nich je blízké (0,76 – 1,4 μm), dále pak střední (1,4 – 15 μm) a vzdálené (15 – 1000 μm), přičemž nejpoužívanější je střední oblast. Principem metody je absorpce infračerveného záření při průchodu vzorkem, při níž dochází ke změnám rotačně vibračních energetických stavů molekuly v závislosti na změnách dipólového momentu. Analytickým výstupem je infračervené spektrum, které je grafickým zobrazením funkční závislosti energie, většinou vyjádřené v procentech transmitance (T) nebo jednotkách absorbance (A) na vlnové délce dopadajícího záření. Transmitance (propustnost) je definována jako poměr intenzity záření, které prošlo vzorkem (I), k intenzitě záření vycházejícího ze zdroje (I_0). Absorbance je definována jako dekadický logaritmus $1/T$. Závislost energie na vlnové délce je logaritmická, proto se používá vlnočet, který je definován jako převrácená hodnota vlnové délky a tedy uvedená závislost energie na vlnočtu bude funkcí lineární. Pomocí „Search programů“ a digitalizovaných knihoven infračervených spekter je možno identifikovat neznámou analyzovanou látku, například složky infuzního gelu.

Odběr vzorku pro stanovení přítomnosti infuzní clony ve stavebním materiálu prostřednictvím infračervené spektroskopie je realizován ve stejných místech, jako je tomu u zkoušky nasákavosti výše. Reprezentativní a homogenní vzorek je odebrán v souladu s normou ČSN EN ISO 15528. Samotná identifikace přítomnosti injektážních materiálů v odebraném vzorku je provedena dle normy ČSN EN 1767.

4.5.3 Diferenční termická analýza (DTA)

Diferenční termická analýza je založena na měření rozdílů teplot mezi zkoušeným vzorkem a inertním standardem, je prováděna v souladu s metodickým postupem VUT FAST, č. 30–33/1. Tato analýza umožňuje bližší určení mikrostruktury testovaného materiálu. Je to dynamická, tepelně analytická metoda založená na měření rozdílu teplot mezi zkušebním vzorkem a virtuálním inertním standardem. Vzorek pro analýzu je práškový, homogenní, s velikostí částic max. 0,063 mm. Vzorek je umístěn do platinového kelímku, který je následně osazen na rameno vah v peci přístroje.

Výsledkem DTA analýzy je křivka znázorňující závislost rozdílu teplot mezi měřeným a referenčním vzorkem v jednotkách elektrického napětí tj. v μV na teplotě popř. na čase. Křivky se skládají z oblastí nulových hodnot a píků, které jsou v kladných hodnotách nazývány exoefekty a v záporných endoefekty. Charakteristickou hodnotou je počátek píku, někdy se uvádí maximální rozdíl $\Delta T = T_s - T_r$ (reakční interval), který závisí na mnoha výše uvedených parametrech. Plocha píku odpovídá hodnotě změny entalpie, ΔH . Tvar křivky DTA je primárně dán především měřeným vzorkem, ale je také ovlivněn výše uvedenými parametry zadávanými obsluhou.

DTA analýza tedy umožňuje rozpoznání přítomnosti organických bází injektážních gelů v analyzovaném vzorku stavebního materiálu. Odběr vzorku pro stanovení přítomnosti infuzní clony ve stavebním materiálu prostřednictvím DTA analýzy je realizován ve stejných

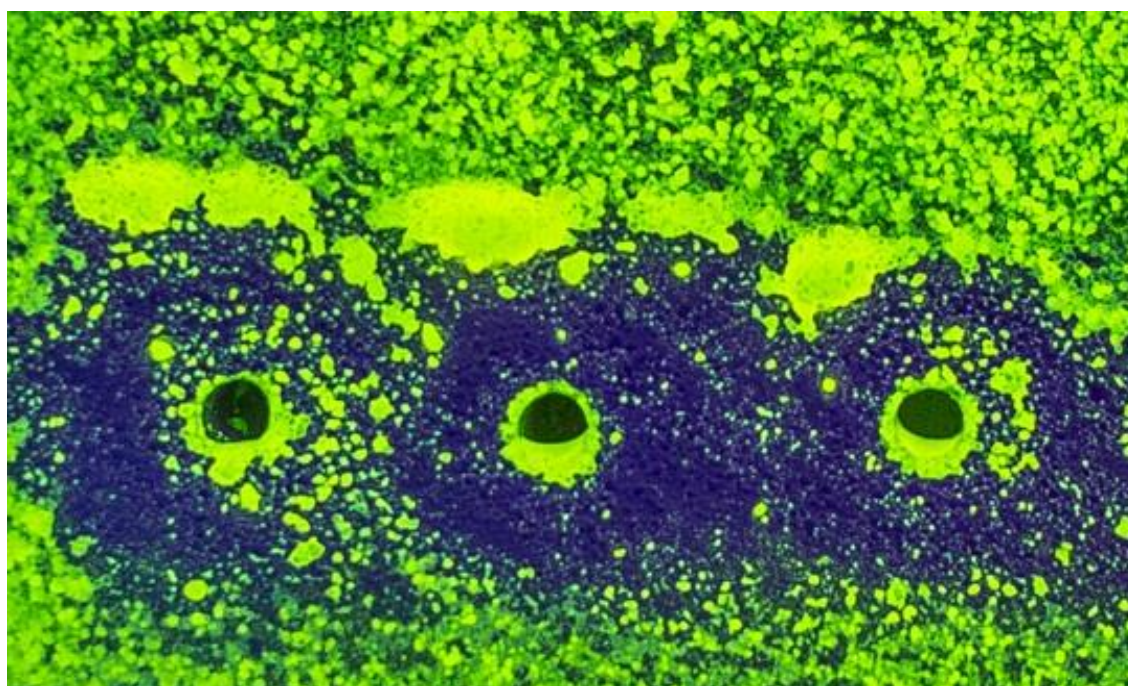
místech, jako je tomu u zkoušky nasákavosti výše. Následně je odebraný vzorek podrcen a pomlet za účelem získání homogenního práškového materiálu s max. velikostí zrna 0,063 mm pro provedení DTA analýzy.

4.5.4 Optické sledování míry penetrace zdiva

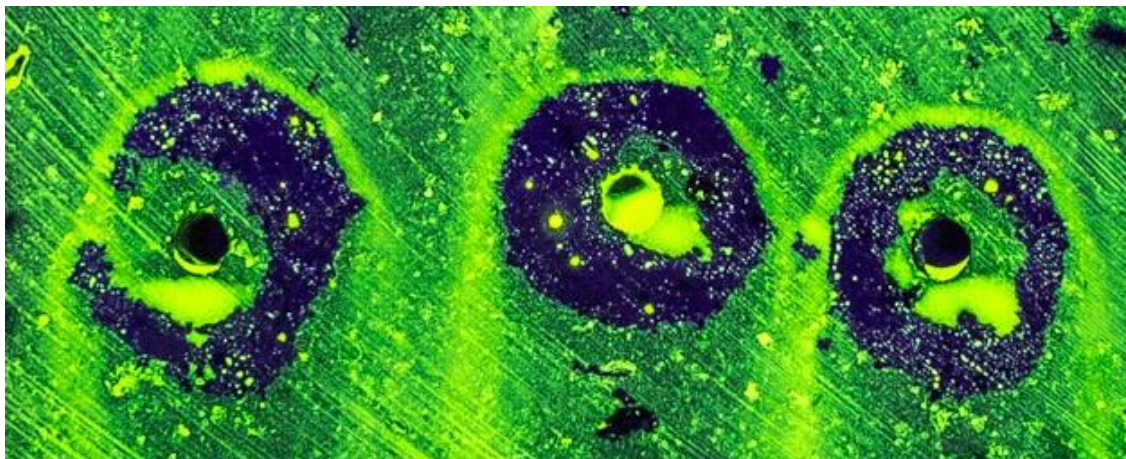
Čtvrtým způsobem stanovení přítomnosti injektážního gelu ve stavebních materiálech je metoda optického vyhodnocení míry penetrace zdiva. Před započítím zkoušky je nutné v oblasti, kde byl aplikován injektážní materiál odstranit svrchních 10 mm zdiva, a to v pásu, jenž zasahuje 100 mm nad a pod linii aplikačních vrtů.

Jakmile je zkušební povrch připraven pro testování, je pomocí tlakové nádoby nanesen na plochu, kde je očekávána přítomnost infuzní clony, UV indikátor vlhkosti. Po osvětlení plochy ultrafialovým světlem je následně pozorován výsledek zkoušky. Zelená, světlá místa značí povrch, který není hydrofobizován. Tmavé kruhové výseče značí přítomnost injektážního gelu. Jsou zaznamenány výseče okolo aplikačních vrtů a jejich průměr.

V případě, že dojde k protnutí sousedních výsečí, lze předpokládat přítomnost infuzní clony v dostatečné míře (viz Obr. 94). V opačném případě k vytvoření infuzní clony nedošlo, a použitý injektážní materiál je vyhodnocen jako neúčinný v daném zdivu (viz Obr. 95).



Obr. 94: Příklad situace, kdy injektážní gel dostatečně penetruje stavební materiál a dochází ke vzniku infuzní clony



Obr. 95: Příklad situace, kdy injektážní gel nedostatečně penetruje stavební materiál a nedochází tak ke vzniku infuzní clony

Pokud hodnota nasákavosti stanovená u vzorků odebraných v místech předpokládané přítomnosti infuzní clony je minimálně o 50 % nižší než u tělesa referenčního, ze získaných výsledků infračervené spektroskopie a DTA analýzy je patrná přítomnost infuzní clony v odebraných vzorcích a pokud je z optického pozorování patrné protnutí jednotlivých sousedních výsečí, lze aplikovanou infuzní clonu s jistotou prohlásit za účinnou. Díky strategicky zvolenému místu odběru zkušební vzorku je možné posoudit, zda ve stavební konstrukci byla nebo nebyla penetrace aplikovaného injektážního materiálu dostatečná natolik, aby došlo ke vzniku infuzní clony. Kombinací výše uvedených zkušebních postupů a na základě souhrnného vyhodnocení a porovnání jejich výsledků je tedy možné zhodnotit účinnost různých infuzních clon.

5 ZÁVĚR

V rámci řešení předkládané disertační práce byla provedena rešerše metod, používaných pro zamezení průniku vlhkosti do stavebních konstrukcí. V současnosti nejprogressivnějšími způsoby sanace zdiva s cílem zamezit průniku vztlínající vlhkosti jsou metody chemické. Tyto metody mohou být založeny na řadě různých principů jejich fungování. Pro řešení disertační práce byl zvolen směr hydrofobizace pórů stavební konstrukce prostřednictvím injektáže. Nejvýznamnějším kladem této metody je fakt, že dochází jen k minimálnímu zásahu do statiky ošetřované konstrukce v porovnání s mechanickými metodami, při jejichž aplikaci na poškozené nebo historické budovy hrozí narušení jejich statiky. To je způsobeno faktem, že k aplikaci injektážních prostředků je zapotřebí pouze příprava aplikačních vrtů v místech aplikace. Následnou penetrací okolí vrtů a překrytím sousedních výsečí dojde ke vzniku tzv. injektážní clony. Výhodou sanace zdiva proti vztlínající vlhkosti prostřednictvím hydrofobizace pórů je skutečnost, že nedochází k jejich utěsňování, a tím k vzduchové izolaci ošetřeného zdiva.

Vzhledem k tomu, že přes provedené rozsáhlé rešerše nebyly nalezeny žádné hydroizolační materiály, které by umožňovaly jejich aplikaci i do horizontálních vrtů, byla tato podmínka zvolena jako jeden z požadavků na nově vyvíjené hmoty. Možnost aplikace injektážních gelů do horizontálních vrtů umožňuje ošetřování obtížněji dostupných míst, jako jsou oblasti pod stropy nebo podhledy. V těchto místech neexistuje možnost přípravy vrtů v takovém sklonu, aby nedocházelo k vytékání málo viskózních sanačních hmot.

Následně bylo přistoupeno k volbě materiálového složení nově vyvíjených hydroizolačních materiálů. Prvním krokem při návrhu složení infuzních hmot byla volba vhodné chemické báze. Za účelem dosažení zvýšené viskozity nových hmot v takové míře, aby byla umožněna jejich aplikace do horizontálních vrtů, došlo k volbě použití tzv. emulzních past založených na alkoxyasilanové bázi.

Za účelem snížení dopadu výroby na životní prostředí byl u nově vyvíjených materiálů kladen důraz na zakomponování určitého podílu druhotných a alternativních surovin jako plnivové složky do jejich receptury. Tento fakt má rovněž pozitivní vliv na snížení finanční náročnosti výroby nových hmot. Aby nedocházelo k utěsňování pórové struktury ošetřovaných stavebních materiálů, mohly být použity pouze druhotné suroviny se zrnitostí nižší než 0,1 mm. Aby rovněž nedocházelo k sedimentaci druhotných surovin ve směsi, mohly být použity pouze ty, které měly objemovou hmotnost nižší než $2800 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$. Aby byla zaručena zdravotní nezávadnost nově vyvíjených hmot, byly z výběru vyřazeny všechny druhotné suroviny, jejichž chemické nebo mineralogické složení prokazovalo obsah škodlivin v nepřijatelné míře. Na základě všech těchto parametrů byly pro začlenění do receptury nově vyvíjených infuzních clon zvoleny tři typy druhotných a alternativních surovin. Byly to metakaolin, křemičité úlety a odpad z praní drceného vápence.

Na základě rešeršního zhodnocení současného stavu poznání problematiky infuzních clon a výše zmíněných požadavků bylo ve spolupráci s firmou Betosan s.r.o. nově vyvinuto osm receptur injektážních gelů pracovními označeními A – H. Gely A, B, C, D a F měly podobné složení s vyšším podílem silanových bází (34 – 48 %) a 5% podílem etanolu, a jílových minerálů (5,5 – 10,5 %). Gel F namísto jílových minerálů obsahoval podíl bentonitu. (5,5 %). Gely B a D rovněž obsahovaly zeolity (7 a 3 %). Gely E, G a H obsahovaly ve svých recepturách methylsilikonát draselný (18 – 30 %) a hydroxid draselný (1,5 – 2,5 %), v malé míře rovněž silanové báze (8 – 10 %) a ve větší míře bentonit (20 – 28 %). Všechny injektážní gely vyvinuté v rámci disertační práce rovněž obsahovaly podíl vody (21 – 30 %)

a druhotných a alternativních surovin. Byl to metakaolin (3 – 5 %), křemičité úlety (3 – 5 %) a odpad z praní drceného vápence (3 – 5 %).

Aby mohla být porovnána efektivita jednotlivých nově vyvinutých receptur, bylo zvoleno spektrum zkušebních materiálů pro jejich aplikaci. Tyto materiály byly voleny tak, aby co nejlépe pokryly spektrum v praxi nejčastěji používaných staviv, která jsou nejčastěji postihována vzlínající vlhkostí. Jako vhodné materiály byly zvoleny: cihla plná pálená, cihla pískovcová, pórobeton a dva typy zdících malt.

Po ověření materiálových vlastností jednotlivých staviv mohlo být přistoupeno k samotnému testování nově vyvinutých gelů. Jako první byly provedeny zkoušky, pro jejichž realizaci musely být hydroizolační hmoty aplikovány na povrch zkušebních těles. Provedené zkoušky byly stanovení nasákavosti, povrchové vodotěsnosti a vzduchové propustnosti metodou Torrent. U zkoušek nasákavosti a vzlínivosti byl pozorován pozitivní vliv přítomnosti gelů na snížení získaných hodnot oproti referenčním měřením. Nejvýznamnější pokles nasákavosti byl patrný u vzorků opatřených gely s vyšším zastoupením silanových bází a jílových minerálů (A, C, D a F). U stanovení nasákavosti tento pokles činil 50 – 70 % a při stanovení vodotěsnosti byl tento pokles 40 – 60 %. U testování vzduchové propustnosti nedocházelo aplikací gelů k výraznému snížení hodnot vzduchové propustnosti povrchové vrstvy. To bylo způsobeno faktem, že nově vyvinuté gely póry pouze hydrofobizují a v době 28 dní po aplikaci dochází k jejich kompletní penetraci do stavebních materiálů. Pouze u gelů obsahujících vyšší množství bentonitu (E a G) došlo ke snížení vzduchové propustnosti v takové míře, aby došlo ke vzniku vakua, a tím k získání měřitelných výsledků. To však není žádoucí.

Pro realizaci dalšího souboru laboratorních zkoušek již došlo k injektáži zkušebních těles nově vyvinutými gely. Provedenými zkušebními metodami byly stanovení vzlínivosti a stanovení míry penetrace v závislosti na teplotě a vlhkosti ošetřených materiálů. Z výsledků stanovení vzlínivosti je opět patrný trend pozitivního vlivu přítomnosti hydroizolačních gelů na snížení získaných hodnot. Nejvyššího snížení hodnot vzlínivosti bylo opět dosaženo u zkušebních těles ošetřených gely s vyšší mírou zastoupení silanových bází (B, C a D). Stejný trend byl pozorován i u výsledků stanovení míry penetrace v závislosti na teplotě stavebních materiálů. Při stanovení míry penetrace stavebního materiálu injektážními gely bylo jednoznačně nejvyšších hodnot dosaženo u stavebních materiálů ošetřených gelem C, který obsahuje ze všech testovaných gelů v nejvyšší míře silanové báze a jílové minerály. Tento materiál byl rovněž na základě optimalizace výsledků všech provedených laboratorních zkoušek vyhodnocen jako ideální pro použití v praxi. Za účelem detailního ověření penetračních schopností vyvinutého hydrofobizačního gelu byly na zkušebních tělesech všech testovaných stavebních materiálů ošetřených tímto prostředkem stanoveny hodnoty porozity a porovnány s hodnotami dosaženými u referenčních těles. Z výsledků je patrné, že přítomnost injektážního gelu pouze mírně snížila zastoupení pórů o menších průměrech (0,9 – 0,01 mm) a jinak prakticky neovlivnila porozitu ošetřených materiálů. Tento injektážní gel byl následně použit při provádění praktických zkoušek.

Pro praktické zkoušky byly použity zděné pilíře zhotovené ze všech doposud testovaných stavebních materiálů v souladu se směrnici WTA 4-4-04/D a pro zkoušku in-situ cihlová zeď ve sklepních prostorách budovy D v areálu Stavební fakulty VUT v Brně. Při testování ošetřených zděných pilířů bylo po šedesáti dnech od injektáže pozorováno 42 – 52% snížení hodnot prošlé vlhkosti oproti referenčním tělesům. Při testování in-situ činilo snížení vlhkosti nad infuzní clonou 50 – 55 %. Z těchto výsledků může být konstatována jasná efektivita infuzního gelu nově vyvinuté receptury.

Z výsledků a pozorování všech prováděných měření je jasné, že byl splněn požadavek možnosti aplikace nově vyvinutého injektážního gelu do horizontálních vrtů. Tento fakt byl potvrzen jednak funkčností infuzních clon ve stavebních materiálech a jednak tím, že nedocházelo k jejich vytékání z horizontálně provedených vrtů.

V poslední části předkládané disertační práce byla na základě poznatků získaných vědeckým zkoumáním, zkušeností získaných během výzkumu a ostatních vědeckých poznatků současnosti sestavena unikátní metodika posouzení účinnosti injektážních gelů ve stavebních materiálech. V rámci této metodiky je možné prostřednictvím série navržených zkušebních postupů zhodnotit účinnost libovolné infuzní clony v různých typech zdiva.

POUŽITÉ ZDROJE

- [1] WITZANY, J., WASSERBAUER, R., ČEJKA, T., ZIGLER, R. PDR - Poruchy, degradace a rekonstrukce. 1. vyd. Praha: Česká technika - nakladatelství ČVUT, 2010. 458 s. ISBN 978-80-01-04488-9.
- [2] GREGEROVÁ, M. Degradace stavebních materiálů historických památek. Vyd. 1. Brno: Mendelova univerzita v Brně, 2012, 111 s. ISBN 978-80-7375-684-0.
- [3] ROVNANÍKOVÁ, P. Stavební chemie. Vyd. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2005, 48 s. ISBN 80-720-4410-9.
- [4] BALÍK, M. Odvlhčování staveb. 2. přeprac. vyd. Praha: Grada, 2008, 307 s. ISBN 978-80-247-2693-9.
- [5] GRIFFITH, R., JENKINS P. A., SPANÓ D. Wright-Fisher diffusion bridges, *Theoretical Population Biology*, Available online 6 October 2017, ISSN 0040-5809, <https://doi.org/10.1016/j.tpb.2017.09.005>.
- [6] BLAHA, M., BUKOVSKÝ, L. Prevence a odstraňování vlhkosti. Vyd. 1. Brno: ERA group, 2004, 112 s. ISBN 80-86517-48-9
- [7] LEWANDOWSKA J., LAURENT J. P. Humidity transfer in unsaturated heterogeneous porous media by homogenization, *Physics and Chemistry of the Earth, Part A: Solid Earth and Geodesy*, Volume 25, Issue 2, 2000, Pages 175-181, ISSN 1464-1895, [https://doi.org/10.1016/S1464-1895\(00\)00028-4](https://doi.org/10.1016/S1464-1895(00)00028-4).
- [8] [online] 2016 [vid. 8. července 2016].
Dostupné z: http://bydleni.idnes.cz/zdedeny-rodinny-dum-bourat-nebo-prodat-dys-stavba.aspx?c=A150506_120807_stavba_rez
- [9] ZHENG J., SHI J., MA Q., DAI X., CHEN Z. Experimental study on humidity control performance of diatomite-based building materials, In *Applied Thermal Engineering*, Volume 114, 2017, Pages 450-456, ISSN 1359-4311, <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2016.11.203>.
- [10] [online] 2016 [vid. 4. listopadu 2016].
Dostupné z: http://www.kobra-kamen.cz/zdici_stipany
- [11] KARAGIANNIS N., KAROGLU M., BAKOLAS A., KROKIDA M., MOROPOULOU A. Drying kinetics of building materials capillary moisture, In *Construction and Building Materials*, Volume 137, 2017, Pages 441-449, ISSN 0950-0618, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.01.094>.
- [12] ADÁMEK, J, NOVOTNÝ, B., KOUKAL, J. Stavební materiály. Vyd. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 1997, 205 s. ISBN 80-214-0631-3
- [13] [online] 2016 [vid. 9. července 2016].
Dostupné z: <https://www.petercox.com/the-company/image-gallery/damp-problems-damp-treatments-gallery/>

- [14] PUTRA N. R., AJIWIGUNA T. A. Influence of Air Temperature and Velocity for Drying Process, In *Procedia Engineering*, Volume 170, 2017, Pages 516-519, ISSN 1877-7058, <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.03.082>.
- [15] BACLE P., DUFRECHE J. F., Rotenberg B., BOURG I. C., MARRY V. Modeling the transport of water and ionic tracers in a micrometric clay sample, *Applied Clay Science*, Volume 123, April 2016, Pages 18-28, ISSN 0169-1317, <https://doi.org/10.1016/j.clay.2015.12.014>.
- [16] [online] 2016 [vid. 31. července 2016]. Dostupné z:
https://cs.wikipedia.org/wiki/J%C3%ADlov%C3%A9_miner%C3%A1ly#/media/File:Illustruc.jpg
- [17] [online] 2016 [vid. 8. srpna 2016].
Dostupné z: http://www.casopisstavebnictvi.cz/izolace-zdiva-jilovymi-vrstvami_N1140
- [18] LONG, C., YONGJUN, J., MANDULA, B., QUANSHENG, L., YANJUN, S. Electroosmotic flow through a microtube with sinusoidal roughness, *Journal of Molecular Liquids*, Volume 220, August 2016, Pages 258-264, ISSN 0167-7322
- [19] [online] 2016 [vid. 19. srpna 2016].
Dostupné z: <https://web.natur.cuni.cz/~pcoufal/cze.html>
- [20] KIYOTAKA, G., TAKAHIRO, Y., HIROKI, M., TAKAYUKI, I., YOSHITSUGU, K. High compressed hydrogen production via direct electrolysis of liquid ammonia, *International Journal of Hydrogen Energy*, Volume 41, Issue 33, 7 September 2016, Pages 14529-14534, ISSN 0360-3199
- [21] JOHNSON, R. P., SWALLOW, F. E., PSOMAS, S. Structural properties and durability of a sprayed waterproofing membrane for tunnels, *Tunnelling and Underground Space Technology*, Volume 60, November 2016, Pages 41-48, ISSN 0886-7798
- [22] MCARTHUR H., SPALDING D. 3 - MECHANICAL PROPERTIES AND TESTING, In *Engineering Materials Science*, Woodhead Publishing, 2004, Pages 100-128, ISBN 9781898563112, <https://doi.org/10.1533/9781782420491.100>
- [23] [online] 2016 [vid. 12. července 2016].
Dostupné z: <http://www.saw.cz/?men=prov&nazev=Prov%E1d%EDme#dva>
- [24] [online] 2016 [vid. 16. července 2016].
Dostupné z: <http://www.ingremo.cz/cz/m/podrezavani-zdiva-strojni-retezovou-pilou/>
- [25] [online] 2016 [vid. 18. července 2016].
Dostupné z: <http://www.hwpany.cz/stranka/cz/2/hw-system-sanace-vlhkeho-zdiva/>
- [26] WTA směrnice 4-4-04/D: Injektáž zdiva proti kapilární vlhkosti. Praha: Tauris, 2005. ISBN 80-02-01773-0.

- [27] [online] 2016 [vid. 23. července 2016].
Dostupné z: <http://www.hydroizolace-zdiva.cz/fotogalerie-beztlakove-injektaze-chalupa-v-jezve>
- [28] [online] 2016 [vid. 28. července 2016].
Dostupné z: <http://www.rs-shop.cz/c/injektaz-zdiva-remmers>
- [29] ČSN 72 5010 Stanovení nasákavosti, zdánlivé pórovitosti, pórovitosti, objemové hmotnosti a zdánlivé hustoty vypálených keramických směsí a výrobků
- [30] ČSN EN 480 – 11 Přísady do betonu, malty a injektážní malty - Zkušební metody - Část 11: Stanovení charakteristik vzduchových pórů ve ztvrdlém betonu
- [31] ČSN EN 1015-10 Zkušební metody malt pro zdivo - Část 10: Stanovení objemové hmotnosti suché zatvrdlé malty
- [32] ČSN 73 1357 Stanovení kapilárních vlastností pórobetonu
- [33] ČSN 73 2578 Zkouška vodotěsnosti povrchové úpravy stavebních konstrukcí
- [34] ROMMER, M. Effect of moisture and concrete composition on the Torrent permeability measurement. Empa, Swiss Federal Laboratories for Materials Testing and Research, Laboratories for Concrete & Construction Chemistry. Switzerland, 2004.
- [35] TORRENT, R., a LUCO, L. F. Non-Destructive Evaluation of the Penetrability and Thickness of the Concrete Cover. State-of-the-Art Report of RILEM Technical Committee 189-NEC. 157 rue des Blains, France: RILEM Publications S.A.R.L., 2007. ISBN 978-2-35158-054-7.
- [36] ČSN 73 1350 Zkoušení pórobetonu
- [37] [online] 2016 [vid. 20. července 2016]
Dostupné z: <http://www.cezep.cz/porici.html?id=118>
- [38] [online] 2016 [vid. 20. července 2016]
Dostupné z: <http://www.cezep.cz/hodonin.html?id=114>
- [39] [online] 2016 [vid. 20. července 2016]
Dostupné z:
http://www.trz.cz/web/trzocel.nsf/link/homepage_cz#utm_source=firmy.cz&utm_medium=ppd&utm_campaign=firmy.cz-147131
- [40] [online] 2016 [vid. 20. července 2016]
Dostupné z: <http://www.omya.com/cz-cz>

[41] [online] 2016 [vid. 20. července 2016]

Dostupné z:

http://portal.cenia.cz/eiasea/download/RUIBX09MSzE4NF9vem5hbWVuaURPQ18xLnBkZg/OLK184_oznameni.pdf

[42] [online] 2016 [vid. 21. července 2016]

Dostupné z: <http://www.keramost.cz/cz/produkty/-/metakaolin>

[43] [online] 2016 [vid. 21. července 2016]

Dostupné z: <http://www.ofz.sk/sk/index.html>

[44] [online] 2016 [vid. 21. července 2016]

Dostupné z:

https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=25476

[45] [online] 2016 [vid. 21. července 2016]

Dostupné z: <http://www.kamenzbraslav.cz/cs/tezba-kamene/>

[46] [online] 2016 [vid. 22. srpna 2016].

Dostupné z: <https://www.stavebninyokolo.cz/produkt/presne-tvarnice-ytong-p4-500-300-mm-16444/>

SEZNAM TABULEK

Tab. 1.	Pevnosti pálených cihel a zdící malty v závislosti na vlhkosti[4]	24
Tab. 2.	Obecný návod stanovení vztlínající kapilární vlhkost dle směrnice WTA 4-4-04/D65	
Tab. 3.	Výsledky stanovení vlastností popílku Poříčí - původcem odpadu je elektrárna Trutnov-Poříčí, ČEZ a.s.	70
Tab. 4.	Výsledky stanovení vlastností popílku Hodonín - původcem odpadu je elektrárna Hodonín, ČEZ a.s.	70
Tab. 5.	Výsledky stanovení vlastností ocelářské strusky TŽ - původcem odpadu jsou Třinecké Železárny a.s.....	71
Tab. 6.	Výsledky stanovení vlastností odpadu z praní drceného vápence - původcem odpadu je Omya a.s.	71
Tab. 7.	Výsledky stanovení vlastností brusných kalů Omya – původcem odpadu je firma Omya a.s.	72
Tab. 8.	Výsledky stanovení vlastností brusných kalů Cembrit - původcem odpadu je firma Cembrit CZ, a.s.....	72
Tab. 9.	Výsledky stanovení vlastností metakaolinu Sedlec – výrobcem je firma SEDLECKÝ KAOLIN a.s.....	73
Tab. 10.	Výsledky stanovení vlastností křemičitých úletů – původcem odpadu je firma OFZ a.s.....	73
Tab. 11.	Výsledky stanovení vlastností energosádrovce Chvaletice - původcem odpadu je elektrárna Chvaletice, ČEZ a.s.	74
Tab. 12.	Propírka Želešice - původcem odpadu je kamenolom Želešice firmy Kámen Zbraslav spol.	74
Tab. 13.	Shrnutí zjištěných parametrů zvažovaných druhotných a alternativních surovin	75
Tab. 14.	Jednotlivá posuzovaná kritéria druhotných a alternativních surovin včetně vyčíslení jejich preferencí	76
Tab. 15.	Vyčíslení jednotlivých kritérií všech posuzovaných druhotných a alternativních surovin	77
Tab. 16.	Výsledné hodnoty preference jednotlivých druhotných a alternativních surovin	77
Tab. 17.	Receptury nově navržených infuzních gelů	78
Tab. 18.	Výsledky stanovení spacing factoru	87
Tab. 19.	Výsledky stanovení nasákavosti všech testovaných materiálů	90
Tab. 20.	Výsledky stanovení povrchové vodotěsnosti všech testovaných materiálů	92
Tab. 21.	Třídy povrchové vrstvy pro betony	94
Tab. 22.	Výsledky stanovení vzduchové propustnosti cihly pískovcové	95
Tab. 23.	Výsledky stanovení vzduchové propustnosti pórobetonu	96
Tab. 24.	Výsledky stanovení vzduchové propustnosti zdící malty 1	96

Tab. 25.	Výsledky stanovení vzduchové propustnosti zdící malty 2	96
Tab. 26.	Výsledky stanovení hodnot vzlínivosti dle normy ČSN 73 1357.....	101
Tab. 27.	Procentuální snížení hodnot vzlínivosti těles ošetřených jednotlivými gely oproti referenčním tělesům	102
Tab. 28.	Výsledky stanovení míry penetrace injektážních gelů při 5 °C	104
Tab. 29.	Výsledky stanovení míry penetrace injektážních gelů při 10 °C	105
Tab. 30.	Výsledky stanovení míry penetrace injektážních gelů při 20 °C	105
Tab. 31.	Výsledky stanovení míry penetrace injektážních gelů při 35 °C	105
Tab. 32.	Výsledky stanovení míry penetrace injektážních gelů při 25% vlhkosti	107
Tab. 33.	Výsledky stanovení míry penetrace injektážních gelů při 50% vlhkosti	108
Tab. 34.	Výsledky stanovení míry penetrace injektážních gelů při 75% vlhkosti	108
Tab. 35.	Výsledky stanovení míry penetrace injektážních gelů při 100% vlhkosti	108
Tab. 36.	Jednotlivá posuzovaná kritéria injektážních gelů včetně vyčíslení jejich preferencí	110
Tab. 37.	Vyčíslení jednotlivých kritérií všech posuzovaných injektážních gelů	110
Tab. 38.	Výsledné hodnoty preference jednotlivých receptur infuzních gelů.....	110
Tab. 39.	Výsledky pozorování prošlé vlhkosti zkušebními pilíři.....	119
Tab. 40.	Výsledky stanovení vlhkosti před a po aplikaci injektážního gelu in-situ v různých časech	124

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1:	Schéma prostupu vlhkosti kapilárami a dutinami zdiva[4]	16
Obr. 2:	Izoterma rovnovážné vlhkosti (1 – sorpční izoterma, 2- desorpční izoterma)[4]	18
Obr. 3:	Průběh srážkové vlhkosti ve zdivu[6]	19
Obr. 4:	Průběh vzlínající vlhkosti ve zdivu[5].....	20
Obr. 5:	Průběh kondenzující vlhkosti ve zdivu[5].....	21
Obr. 6:	Průběh hygroskopické vlhkosti ve zdivu[5].....	21
Obr. 7:	Schéma namáhání stavby vodou a vlhkostí[6]	22
Obr. 8:	Následek působení vlhkosti na přízemní část zděné konstrukce[8]	23
Obr. 9:	Zed' postavená ze zdícího kamene[10].....	25
Obr. 10:	Neodvětrávaná (uzavřená) vzduchová dutina[4].....	27
Obr. 11:	Vzduchová dutina s nasávacími i výdechovými otvory v exteriéru[4]	28
Obr. 12:	Vzduchová dutina s přívodem vzduchu z interiéru a odvodem do exteriéru[4].....	28
Obr. 13:	Vzduchová dutina odvětrávaná do interiéru[4]	29
Obr. 14:	Realizace sanace vlhkého zdiva prostřednictvím Knapenových kanálků[13]	30
Obr. 15:	Příklad řešení sanace kanálkovým způsobem[4].....	30
Obr. 16:	Struktura illitu[16]	32
Obr. 17:	Izolace zdiva jílovými vrstvami[17].....	33
Obr. 18:	Schéma elektroosmotického toku (EOF)[19].....	34
Obr. 19:	Schéma funkčnosti kompenzačního působení dipólů[12].....	35
Obr. 20:	Principiální schéma galvanoosmózy[12].....	36
Obr. 21:	Schéma plošné izolace s jednoduchými syntetickými fóliemi[6]	38
Obr. 22:	Schéma plošné izolace s jednoduchými asfaltovými pásy[6]	39
Obr. 23:	Schéma plošné izolace s dvojitou vrstvou asfaltových pásů[6]	40
Obr. 24:	Schéma plošné izolace prostřednictvím asfaltových pásů se sanačními sektory[6].	41
Obr. 25:	Schéma plošné izolace prostřednictvím syntetických fólií se sanačními sektory[6]	42
Obr. 26:	Schéma plošné izolace prostřednictvím syntetických fólií vhodné pro podtlakovou kontrolu[6].....	43
Obr. 27:	Vkládání vodorovné hydroizolace metodou probourávání zdiva[23]	44
Obr. 28:	Vkládání vodorovné hydroizolace metodou podřezávání zdiva[24].....	45
Obr. 29:	Vkládání vodorovné izolace zarážením desek[25].....	46
Obr. 30:	Schéma provádění injektážních vrtů[26].....	47
Obr. 31:	Schéma principu hydroizolační injektáže zdiva prostřednictvím utěšňování kapilár, legenda[26].....	48

Obr. 32: Schéma principu hydroizolační injektáže zdiva prostřednictvím zužování kapilár[26]	48
Obr. 33: Schéma hydroizolační injektáže zdiva prostřednictvím hydrofobizace kapilár[26]	49
Obr. 34: Schéma kombinované hydroizolační injektáže zdiva prostřednictvím hydrofobizace a zužování kapilár[26]	49
Obr. 35: Provádění injektáže beztlakovou metodou[27]	50
Obr. 36: Schéma provádění tlakové injektáže[28].....	51
Obr. 37: Schéma postupu řešení předkládané disertační práce – etapa I.....	54
Obr. 38: Schéma postupu řešení předkládané disertační práce – etapa II	55
Obr. 39: Schéma postupu řešení předkládané disertační práce – etapa III	56
Obr. 40: Schéma postupu řešení předkládané disertační práce – etapa IV	57
Obr. 41: Schéma postupu řešení předkládané disertační práce – etapa V	58
Obr. 42: Měřicí zařízení pro stanovení vzduchové propustnosti metodou Torrent	63
Obr. 43: Schéma proudění vzduchu ve vakuových komorách[34].....	63
Obr. 44: Schéma zkušební pilíře s připravenými injektážními vrty[26].....	66
Obr. 45: Strukturní vzorec siloxanové funkční skupiny	68
Obr. 46: Nově vyvinuté injektážní gely A – H.....	79
Obr. 47: Cihla plná pálená (Holešov – Žopy).....	80
Obr. 48: Cihla pískovcová (Kámen Ostroměř s.r.o.)	81
Obr. 49: Zdicí malta (MONOCRETE MPH TH)	82
Obr. 50: Zdicí malta Knauf (UNI)	82
Obr. 51: Zkušební těleso smíšeného zdiva	83
Obr. 52: Pórobetonová tvárnice YTONG P4-500[46].....	83
Obr. 53: Výsledky stanovení porozimetrie zvolených stavebních materiálů	84
Obr. 54: Zbroušené a očištěné vzorky pro stanovení spacing factoru (1 – zdicí malta 1; 2 – zdicí malta 2, 3 - pórobeton, 4 - cihla plná pálená, 5 - cihla pískovcová).....	85
Obr. 55: Vysušené vzorky s naneseným barvivem (1 – zdicí malta 1; 2 – zdicí malta 2, 3 - pórobeton, 4 - cihla plná pálená, 5 - cihla pískovcová).....	86
Obr. 56: Finální podoba vzorků pro stanovení spacing factoru (1 – zdicí malta 1; 2 – zdicí malta 2, 3 - pórobeton, 4 - cihla plná pálená, 5 - cihla pískovcová).....	86
Obr. 57: Připravená zkušební tělesa pro stanovení hodnot nasákavosti s aplikovanými gely D a E.....	89
Obr. 58: Grafické znázornění výsledků stanovení nasákavosti všech testovaných materiálů	90
Obr. 59: Zkušební těleso cihly plné pálené s aplikovaným gelem A	91
Obr. 60: Průběh zkoušky povrchové vodotěsnosti referenčního tělesa pórobetonu.....	92
Obr. 61: Grafické znázornění výsledků stanovení povrchové vodotěsnosti všech testovaných materiálů	93

Obr. 62:	Průběh měření vzduchové propustnosti metodou Torrent na pórobetonu, zdící maltě 1, zdící maltě 2 a cihle pískovcové.....	95
Obr. 63:	Zkušební těleso zdící malty 2 s připravenými injektážními vrty	98
Obr. 64:	Aplikace injektážního gelu A do zkušební tělesa cihly pískovcové.....	98
Obr. 65:	Zkušební těleso cihly plně pálené injektované gelem C	99
Obr. 66:	Injektovaná tělesa v rámci provádění zkoušky míry penetrace infuzní clony za různých vlhkostí	99
Obr. 67:	Průběh zkoušky vzlínivosti (vlevo: zkušební tělesa zdících malt; vpravo: zkušební tělesa cihly plně pálené a pórobetonu)	100
Obr. 68:	UV indikátor vlhkosti Fluorescein (disodná sůl).....	100
Obr. 69:	Pórobetonové zkušební těleso vystavené působení vzlínivosti roztoku UV indikátoru vlhkosti.....	101
Obr. 70:	Grafické znázornění výsledků snížení hodnot vzlínivosti jednotlivými gely ve stavebních materiálech oproti referenčním tělesům	102
Obr. 71:	Pozorování míry penetrace u pórobetonu při 35 °C	104
Obr. 72:	Výsledky stanovení míry penetrace injektážních gelů při různých teplotách	106
Obr. 73:	Příklad stanovení míry penetrace injektážního gelu C ve zkušebním tělese zdící malty dva při vlhkosti 25 %.....	107
Obr. 74:	Výsledky stanovení míry penetrace injektážních gelů při různých vlhkostech stavebních materiálů.....	109
Obr. 75:	Porovnání výsledků rtuťové porozimetrie pěti stavebních materiálů bez úpravy a penetrovaných hydrofobizačním gelem C (K – cihla pískovcová, CPP – cihla plně pálená, P – pórobeton, M1 – zdící malta 1, M2 – zdící malta 2)	111
Obr. 76:	Vyzděné zkušební pilíře (zprava: 2 pilíře cihly pískovcové, 2 pilíře cihly plně pálené a 2 pilíře pórobetonové s klasickým zděním)	113
Obr. 77:	Pórobetonový pilíř vyzděný lepidlem	114
Obr. 78:	Část zdi ve sklepních prostorách budovy D v areálu FAST VUT v Brně.....	114
Obr. 79:	Pilíř vyzděný z pálených cihel po 28 dnech působení vzlínající vlhkosti.....	115
Obr. 80:	Zkušební pilíř vyzděný z pískovcových cihel s připravenými injektážními otvory	116
Obr. 81:	Injektované zkušební pilíře (A - cihla pískovcová, B - cihla plně pálená, C - pórobeton klasické zdění, D - pórobeton přesné zdění)	116
Obr. 82:	Injektovaný pískovcový pilíř s izolovanými bočními stěnami.....	117
Obr. 83:	Schéma vyhodnocení množství prošlé vlhkosti zkušebním pilířem prostřednictvím vážení silikagelu	118
Obr. 84:	Grafické porovnání výsledků sledování prošlé vlhkosti získaných u referenčního a injektovaného pilíře cihly plně pálené.....	120
Obr. 85:	Grafické porovnání výsledků sledování prošlé vlhkosti získaných u referenčního a injektovaného pilíře cihly pískovcové.....	120

Obr. 86: Grafické porovnání výsledků sledování prošlé vlhkosti získaných u referenčního a injektovaného pórobetonového pilíře s klasickým zděním	121
Obr. 87: Grafické porovnání výsledků sledování prošlé vlhkosti získaných u referenčního a injektovaného pórobetonového pilíře vyzděného lepidlem.....	121
Obr. 88: Stanovení vlhkosti zdiva prostřednictvím odporového vlhkoměru.....	122
Obr. 89: Testovaný úsek s vytvořenými injektážními vrtvy.....	123
Obr. 90: Zkušební vrtvy s aplikovaným infuzním gelem	123
Obr. 91: Schéma metodiky testování přítomnosti injektážního gelu ve stavební konstrukci	125
Obr. 92: Schéma odběru zkušební vzorku pro stanovení nasákavosti v případě aplikace infuzní clony do jedné linie vrtů (1 a 2 - sousední aplikační vrtvy; 3 a 4 - předpokládané penetrované oblasti injektážním gelem; 5 – místo odběru vzorku)	126
Obr. 93: Schéma odběru zkušebních vzorků pro stanovení nasákavosti v případě aplikace infuzní clony do dvou linií vrtů (1, 2 a 3 – sousední aplikační vrtvy; 4, 5 a 6 – předpokládané penetrované oblasti injektážním gelem; 7 a 8 – místa odběru vzorku)	126
Obr. 94: Příklad situace, kdy injektážní gel dostatečně penetruje stavební materiál a dochází ke vzniku infuzní clony	128
Obr. 95: Příklad situace, kdy injektážní gel nedostatečně penetruje stavební materiál a nedochází tak ke vzniku infuzní clony	129
Obr. P1: První testy aplikace gelu A na povrch zkušebních těles (postupně: cihla pískovcová, cihla plná pálená a pórobeton).....	147
Obr. P2: Průběh stanovení hodnot vzduchové nepropustnosti metodou Torrent (postupně: zdící malta 1, zdící malta 2, cihla pískovcová a pórobeton)	148
Obr. P3: Pozorování míry penetrace tří nejperspektivnějších gelů B, C a D při teplotě 5 °C (1. řádek – cihla plná pálená, 2. řádek – cihla pískovcová, 3. řádek – Pórobeton, 4. řádek – zdící malta 1, 5. řádek – zdící malta 2).....	149
Obr. P4: Pozorování míry penetrace tří nejperspektivnějších gelů B, C a D při teplotě 10 °C (1. řádek – cihla plná pálená, 2. řádek – cihla pískovcová, 3. řádek – Pórobeton, 4. řádek – zdící malta 1, 5. řádek – zdící malta 2).....	150
Obr. P5: Pozorování míry penetrace tří nejperspektivnějších gelů B, C a D při teplotě 20 °C (1. řádek – cihla plná pálená, 2. řádek – cihla pískovcová, 3. řádek – Pórobeton, 4. řádek – zdící malta 1, 5. řádek – zdící malta 2).....	151
Obr. P6: Pozorování míry penetrace tří nejperspektivnějších gelů B, C a D při teplotě 35 °C (1. řádek – cihla plná pálená, 2. řádek – cihla pískovcová, 3. řádek – Pórobeton, 4. řádek – zdící malta 1, 5. řádek – zdící malta 2).....	152
Obr. P7: Pozorování míry penetrace tří nejperspektivnějších gelů B, C a D při vlhkosti 25 % (1. řádek – cihla plná pálená, 2. řádek – cihla pískovcová, 3. řádek – Pórobeton, 4. řádek – zdící malta 1, 5. řádek – zdící malta 2).....	153
Obr. P8: Pozorování míry penetrace tří nejperspektivnějších gelů B, C a D při vlhkosti 50 % (1. řádek – cihla plná pálená, 2. řádek – cihla pískovcová, 3. řádek – Pórobeton, 4. řádek – zdící malta 1, 5. řádek – zdící malta 2).....	154

- Obr. P9: Pozorování míry penetrace tří nejperspektivnějších gelů B, C a D při vlhkosti 75 % (1. řádek – cihla plná pálená, 2. řádek – cihla pískovcová, 3. řádek – Pórobeton, 4. řádek – zdící malta 1, 5. řádek – zdící malta 2)..... 155
- Obr. P10: Pozorování míry penetrace tří nejperspektivnějších gelů B, C a D při vlhkosti 100 % (1. řádek – cihla plná pálená, 2. řádek – cihla pískovcová, 3. řádek – Pórobeton, 4. řádek – zdící malta 1, 5. řádek – zdící malta 2)..... 156
- Obr. P11: Zdění zkušebních pilířů dle směrnice WTA 4-4-04/D..... 157
- Obr. P12: Prostup vztlínající vlhkosti ve zděných pilířích (1. řádek – cihla plná pálená, 2. řádek – cihla pískovcová, 3. řádek – Pórobeton – klasické zdění, 4. řádek – pórobeton přesné zdění..... 158

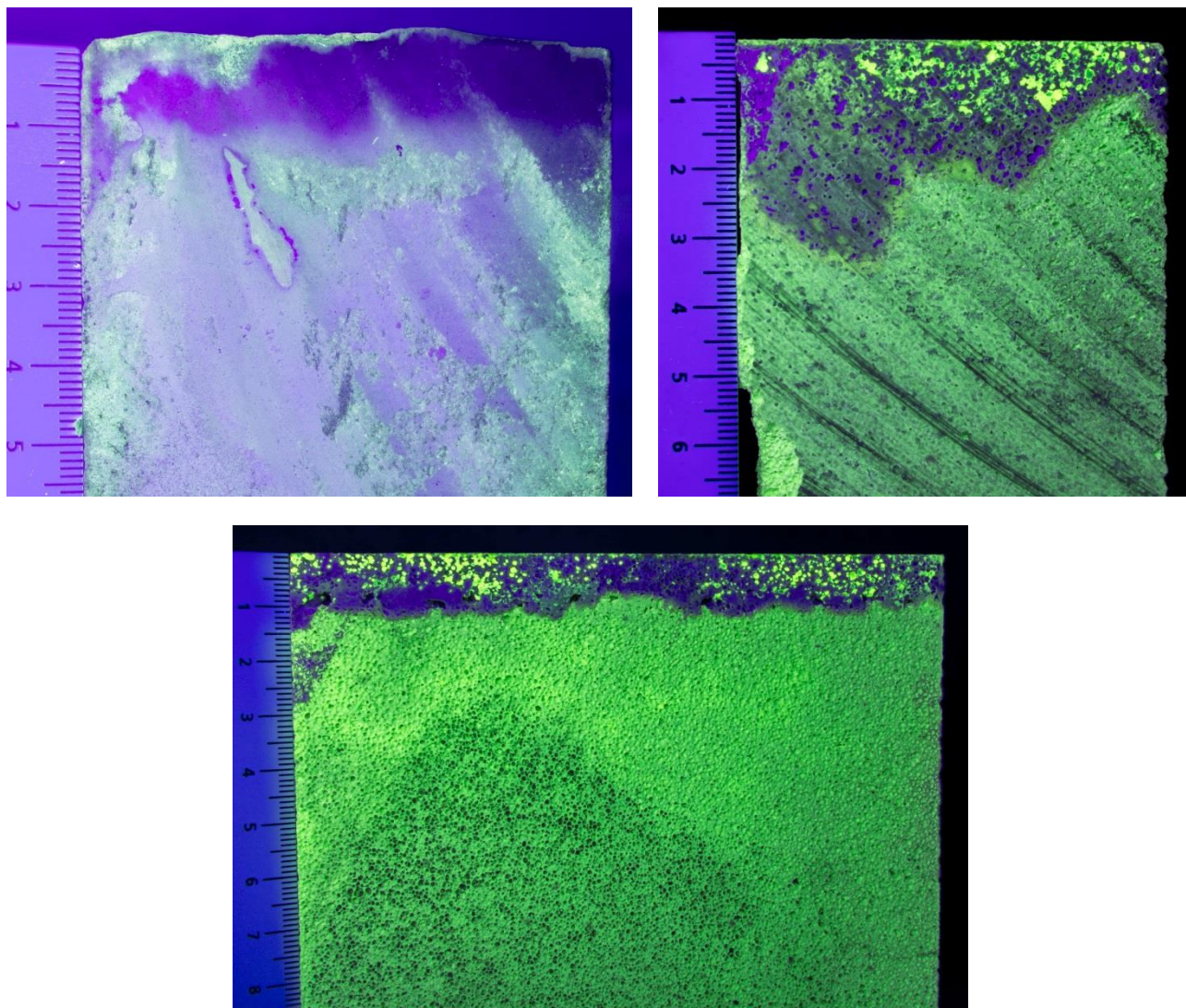
SEZNAM ZKRATEK A SYMBOLŮ

atd.	– a tak dále
popř.	– popřípadě
např.	– například
resp.	– respektive
cca	– cirka (přibližně)
CSH	– kalcium silikát hydrát (C-S-H)
kPa	– kilo Pascal
SBS	– styren-butadien-styrenový kaučuk
aj.	– a jiné
hm.	– hmotnostní
ang.	– anglicky
atp.	– a tak podobně
ČR	– Česká republika
IČ	– infračervená analýza
kap.	– kapitola
Obr.	– obrázek
pH	– vodíkový exponent [-]
ppm	– miliontina (ang. part per milion)
Tab.	– tabulka
tis.	– tisíc
tj.	– tak jest
tzv.	– takzvaně
UV	– ultrafialové
viz.	– podívejte se na

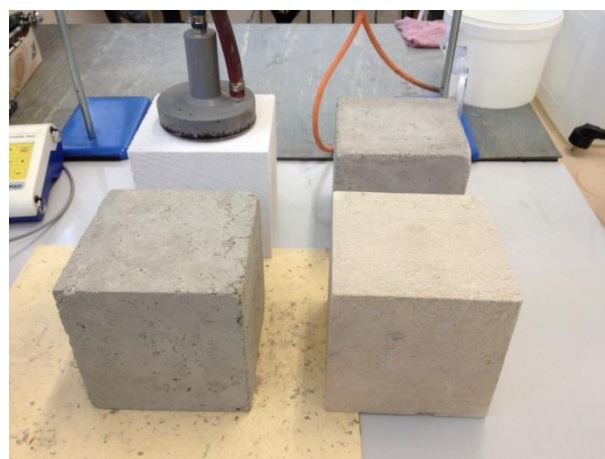
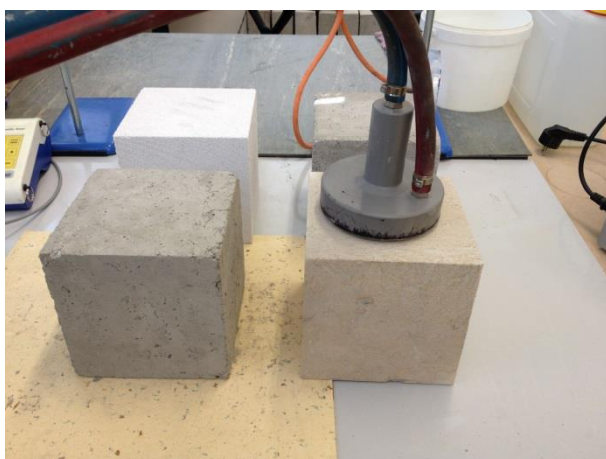
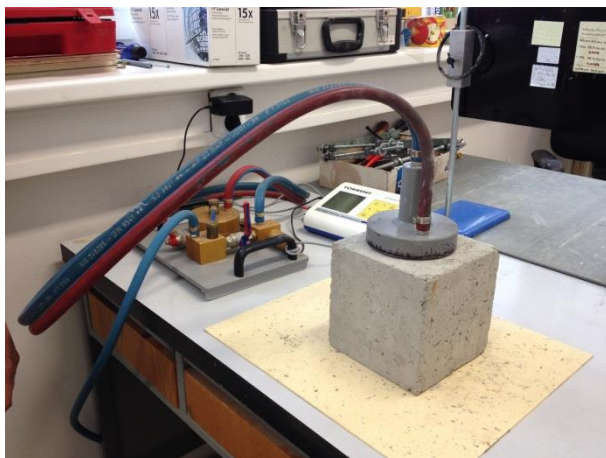
SEZNAM PŘÍLOH

- Příloha 1 - Testování aplikace hydroizolačního gelu na povrch zkušebních těles, *Obr. P1*
- Příloha 2 - Průběh stanovení vzduchové nepropustnosti metodou Torrent, *Obr. P2*
- Příloha 3 až 6 - Průběh stanovení míry penetrace tří nejperspektivnějších gelů B, C a D při teplotách 5, 10, 20 a 35 °C, *Obr. P3 až Obr. P6*
- Příloha 7 až 10 - Průběh stanovení míry penetrace tří nejperspektivnějších gelů B, C a D při vlhkostech 25, 50, 75 a 100 %, *Obr. P7 až Obr. P10*
- Příloha 11 - Průběh zdění zkušebních pilířů dle směrnice WTA 4-4-04/D, *Obr. P11*
- Příloha 12 - Prostup vzlínající vlhkosti ve zděných pilířích v závislosti na čase, *Obr. P12*

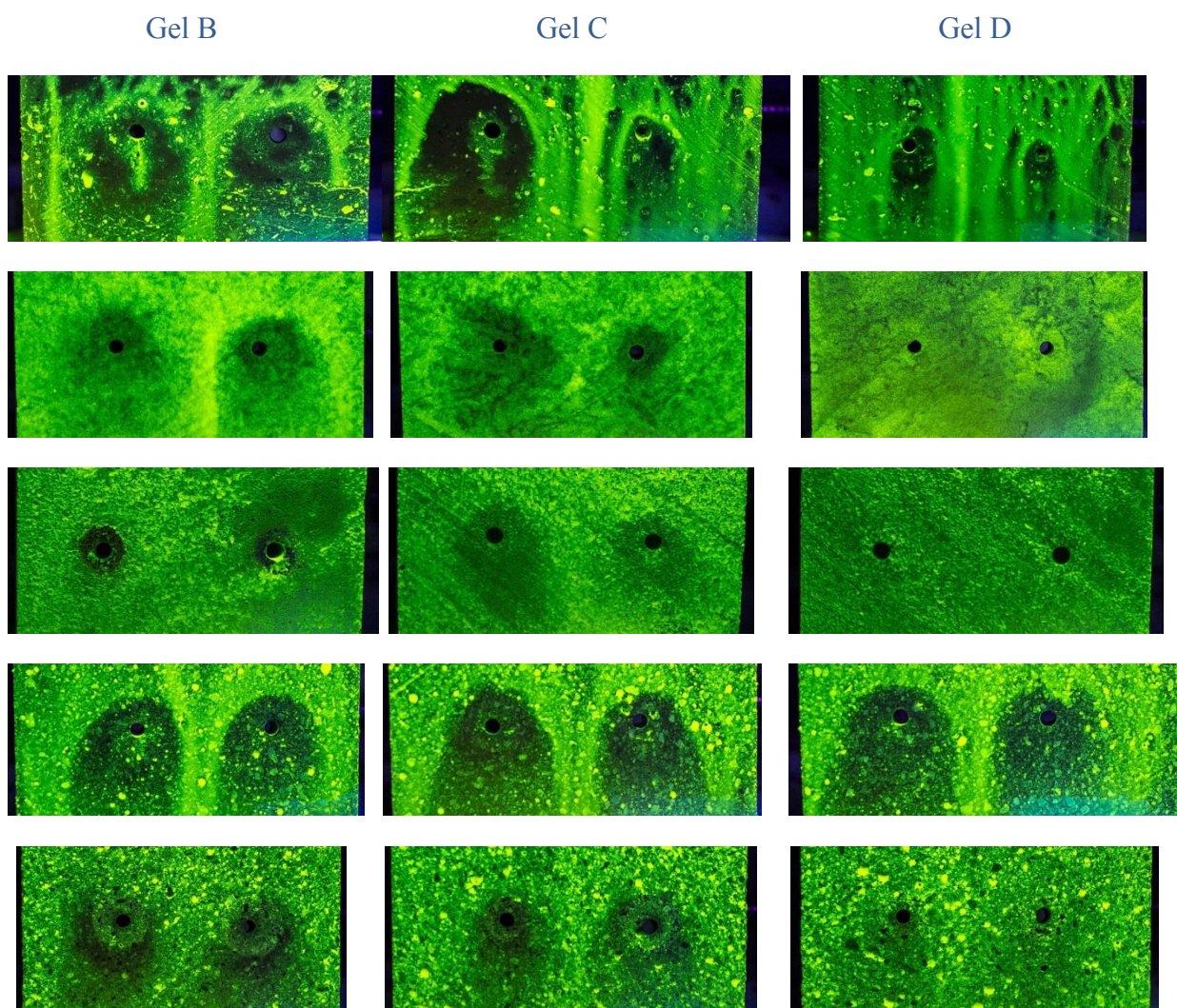
PŘÍLOHY



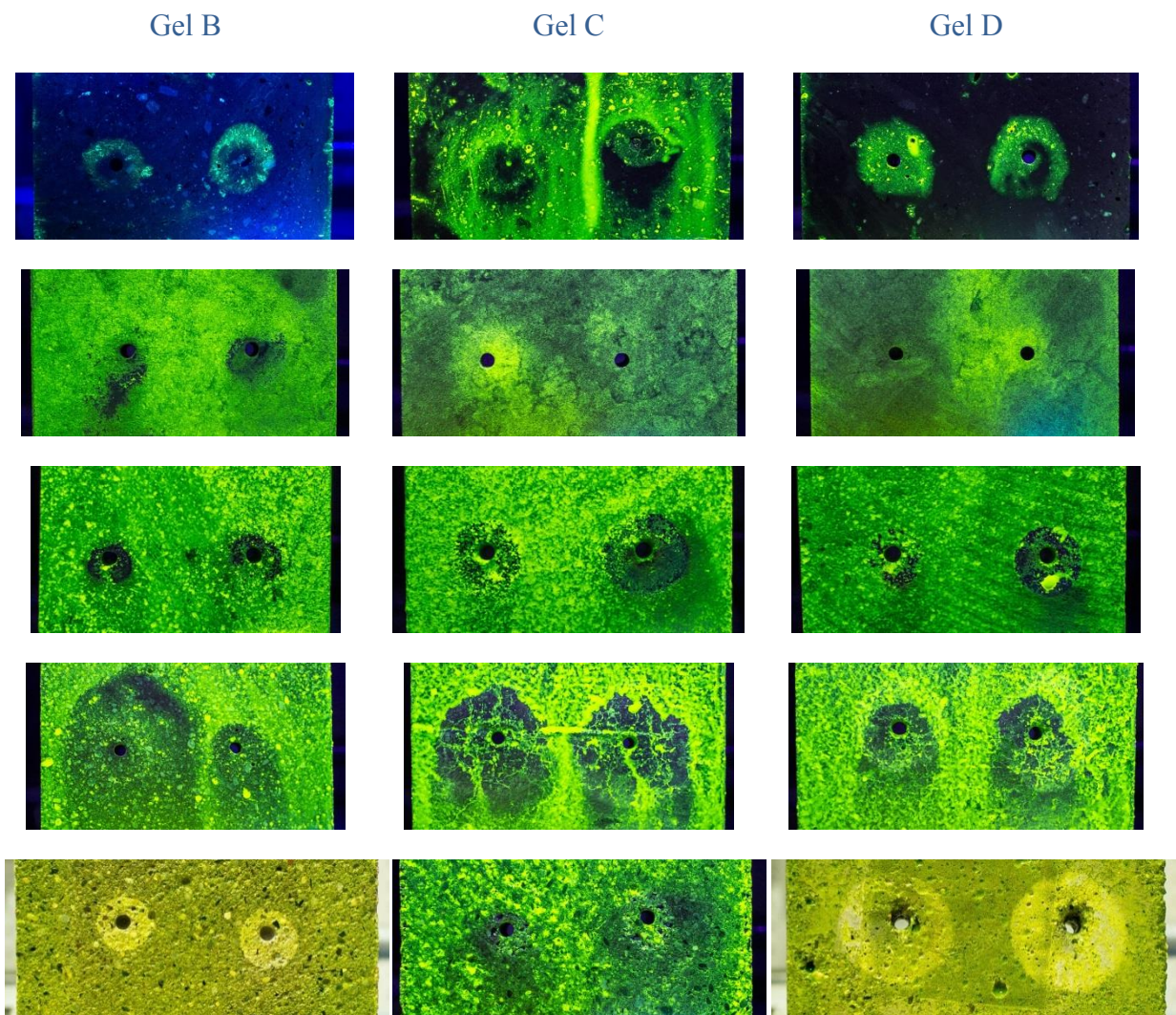
Obr. P1: První testy aplikace gelu A na povrch zkušebních těles (postupně: cihla pískovcová, cihla plná pálená a pórobeton)



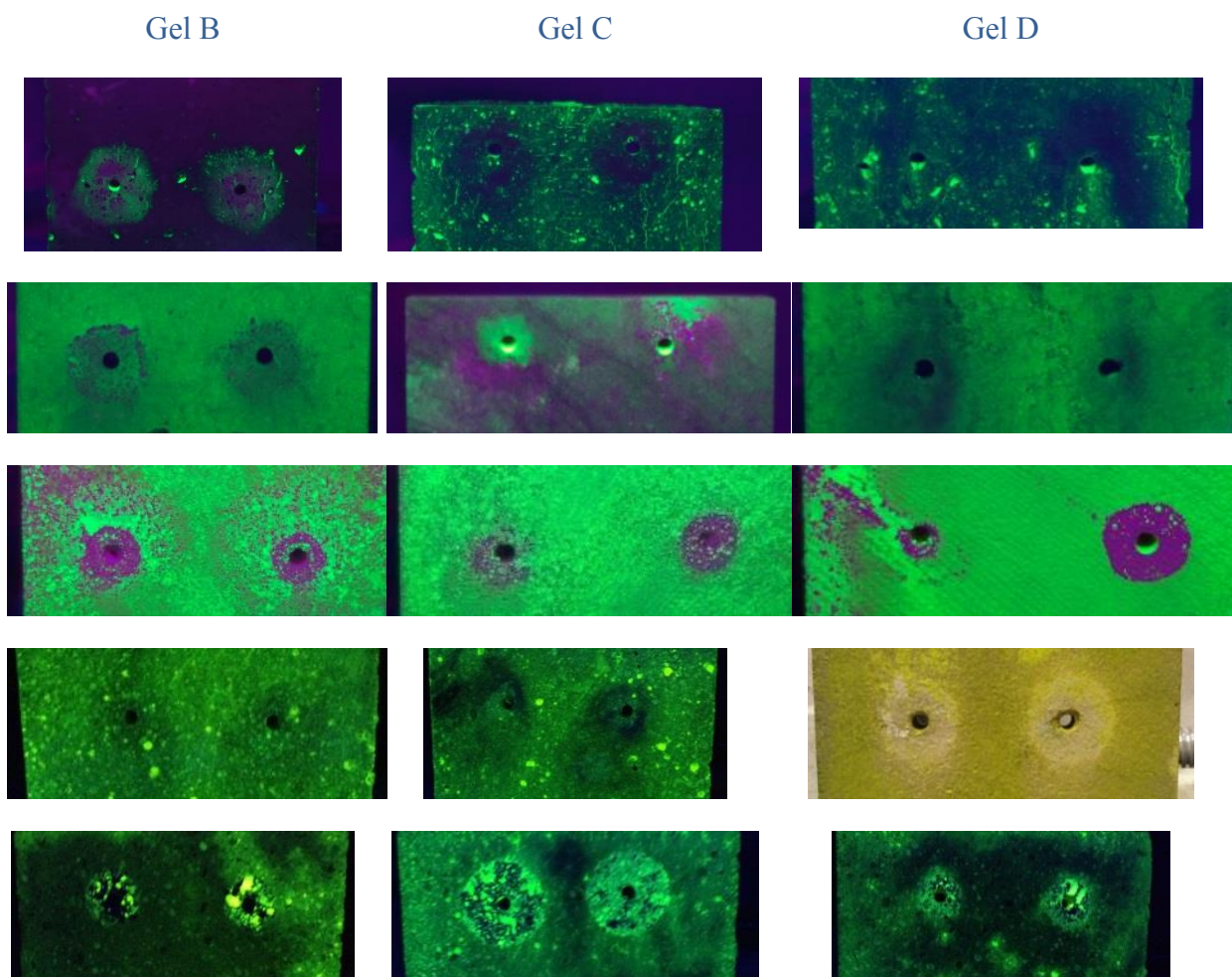
Obr. P2: Průběh stanovení hodnot vzduchové nepropustnosti metodou Torrent (postupně: zdicí malta 1, zdicí malta 2, cihla pískovcová a pórobeton)



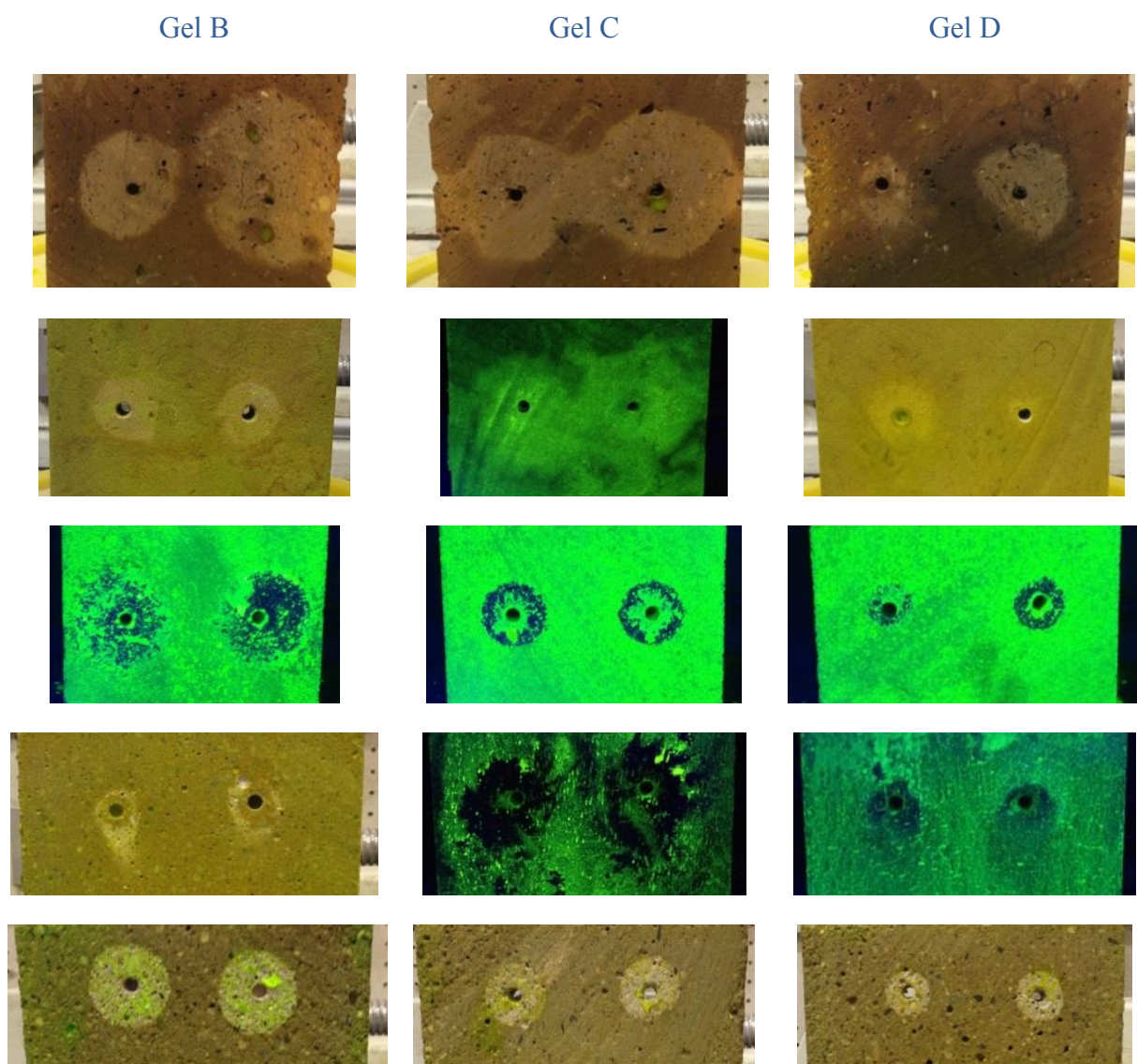
Obr. P3: Pozorování míry penetrace tří nejperspektivnějších gelů B, C a D při teplotě 5 °C (1. řádek – cihla plná pálená, 2. řádek – cihla pískovcová, 3. řádek – Pórobeton, 4. řádek – zdící malta 1, 5. řádek – zdící malta 2)



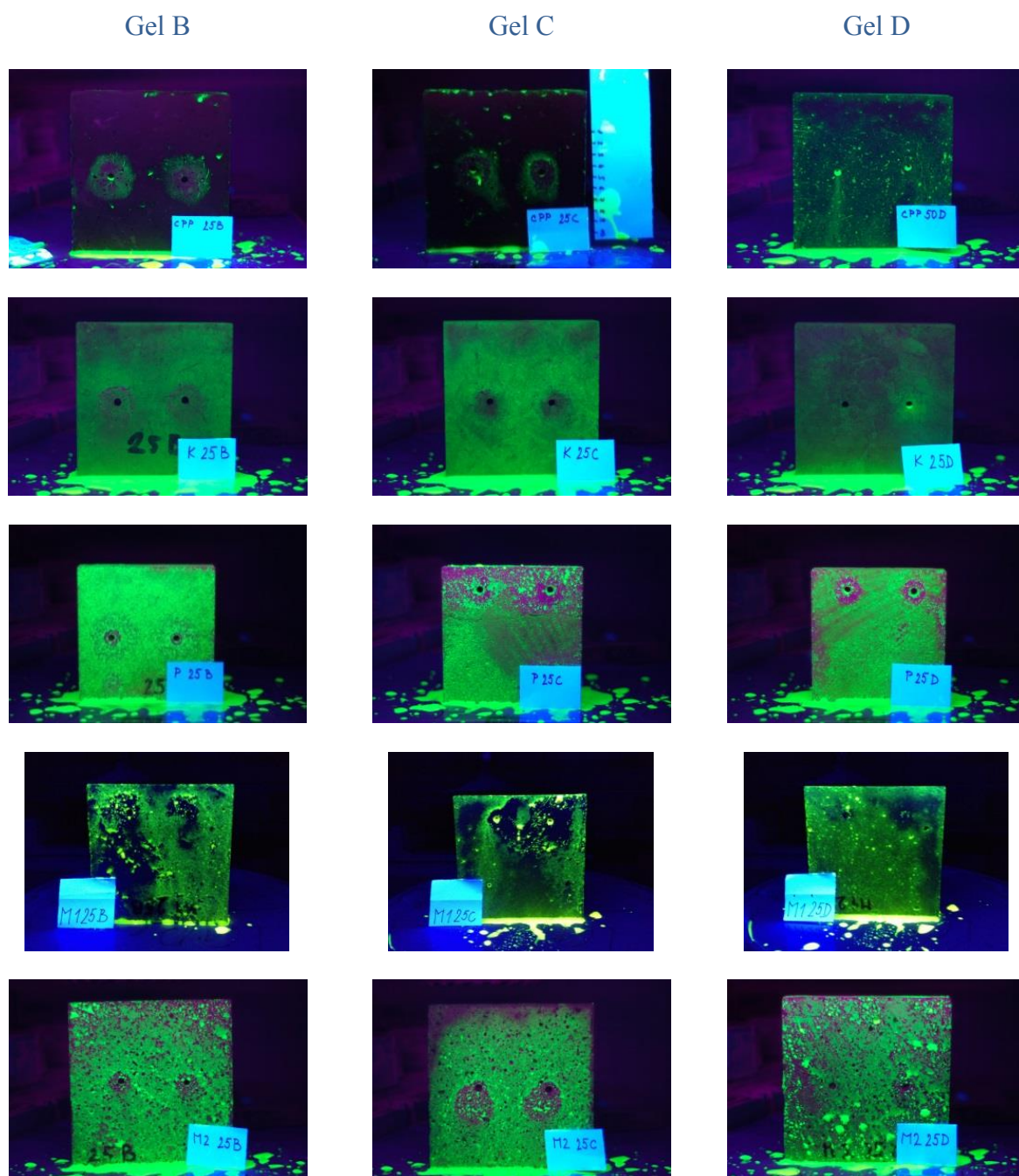
Obr. P4: Pozorování míry penetrace tří nejjperspektivnějších gelů B, C a D při teplotě 10 °C (1. řádek – cihla plná pálená, 2. řádek – cihla pískovcová, 3. řádek – Pórobeton, 4. řádek – zdící malta 1, 5. řádek – zdící malta 2)



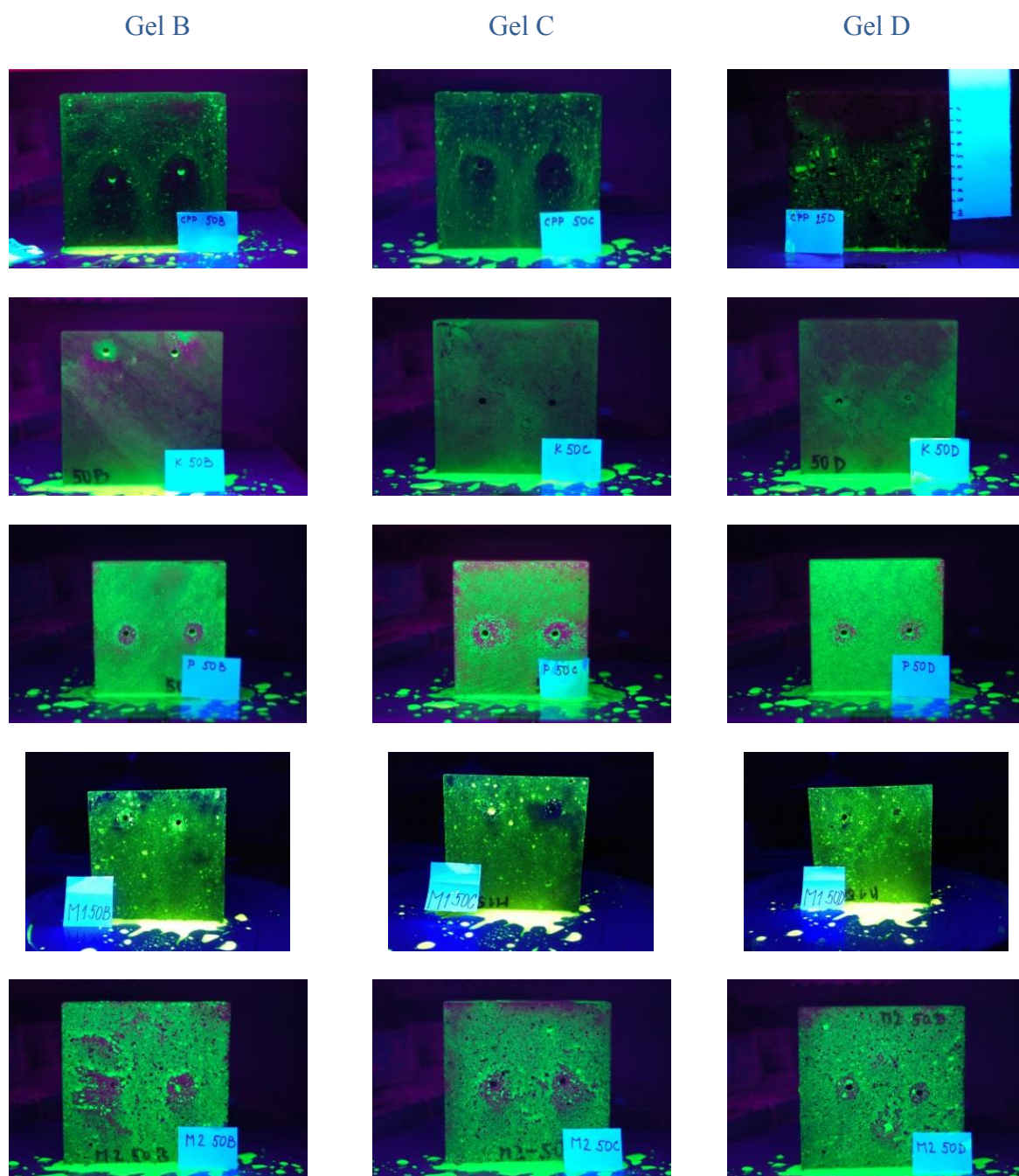
Obr. P5: Pozorování míry penetrace tří nejjperspektivnějších gelů B, C a D při teplotě 20 °C (1. řádek – cihla plná pálená, 2. řádek – cihla pískovcová, 3. řádek – Pórobeton, 4. řádek – zdící malta 1, 5. řádek – zdící malta 2)



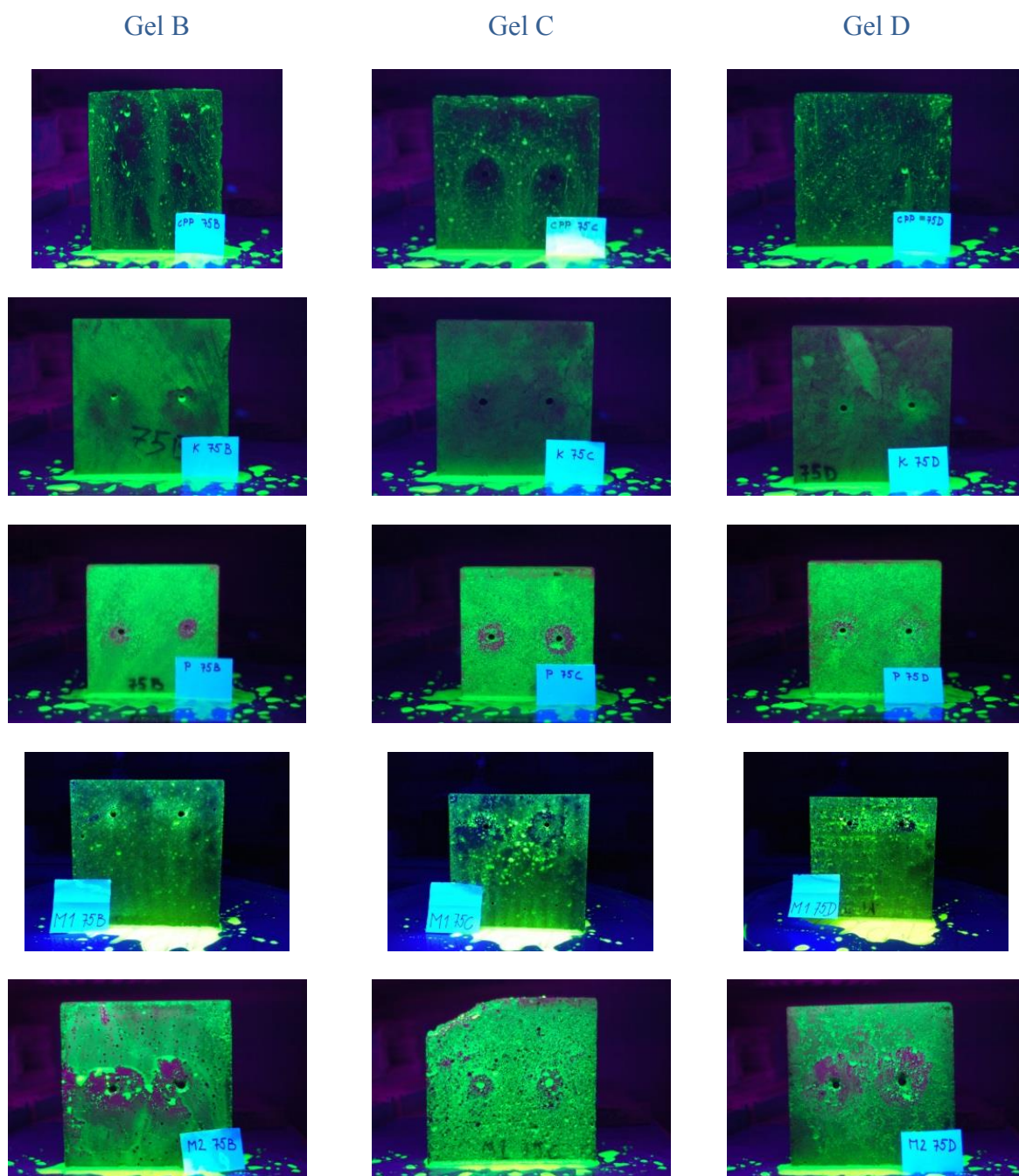
Obr. P6: Pozorování míry penetrace tří nejperspektivnějších gelů B, C a D při teplotě 35 °C (1. řádek – cihla plná pálená, 2. řádek – cihla pískovcová, 3. řádek – Pórobeton, 4. řádek – zdící malta 1, 5. řádek – zdící malta 2)



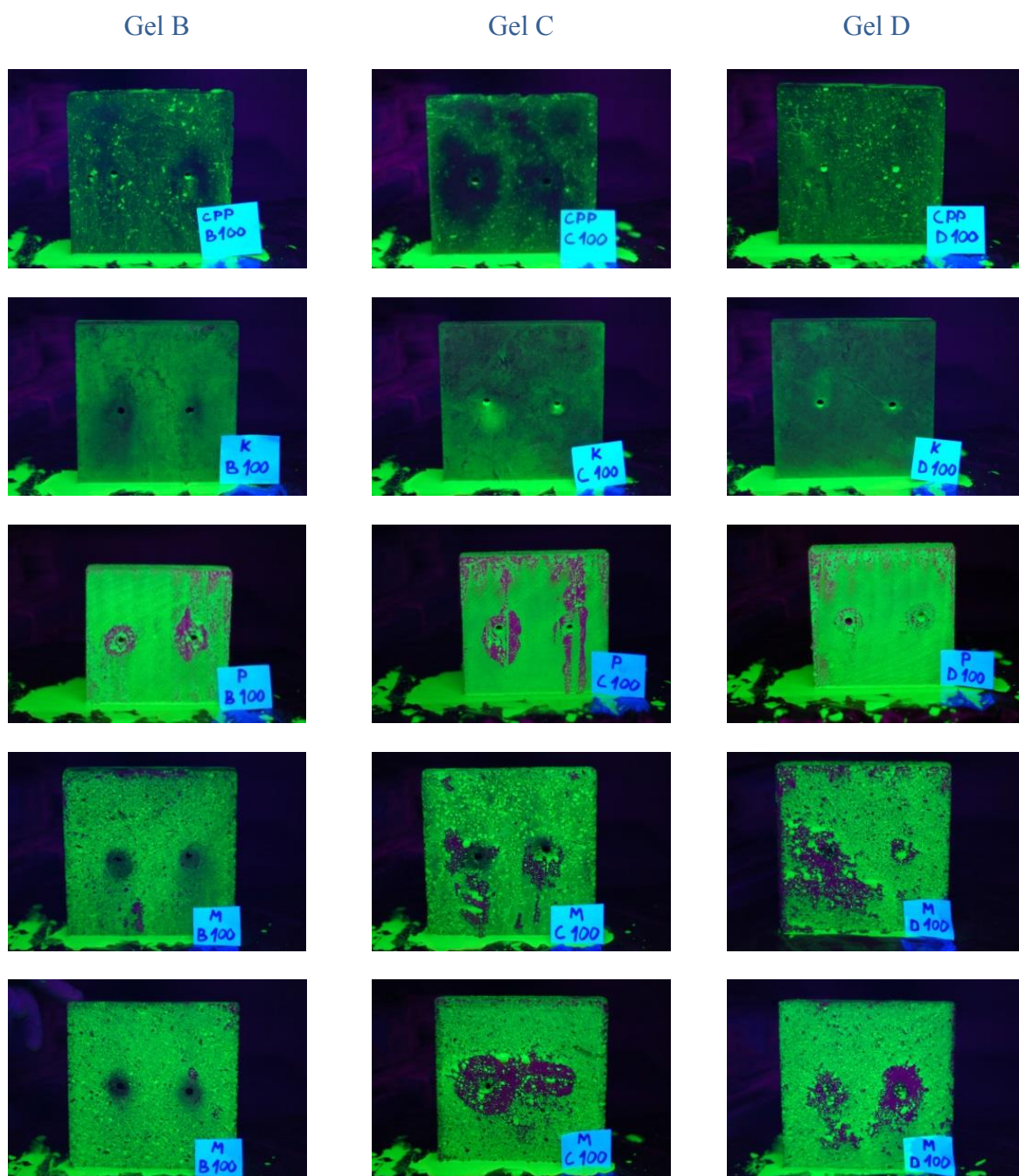
Obr. P7: Pozorování míry penetrace tří nejperspektivnějších gelů B, C a D při vlhkosti 25 % (1. řádek – cihla plná pálená, 2. řádek – cihla pískovcová, 3. řádek – Pórobeton, 4. řádek – zdící malta 1, 5. řádek – zdící malta 2)



Obr. P8: Pozorování míry penetrace tří nejperspektivnějších gelů B, C a D při vlhkosti 50 % (1. řádek – cihla plná pálená, 2. řádek – cihla pískovcová, 3. řádek – Pórobeton, 4. řádek – zdicí malta 1, 5. řádek – zdicí malta 2)



Obr. P9: Pozorování míry penetrace tří nejperspektivnějších gelů B, C a D při vlhkosti 75 % (1. řádek – cihla plná pálená, 2. řádek – cihla pískovcová, 3. řádek – Pórobeton, 4. řádek – zdící malta 1, 5. řádek – zdící malta 2)



Obr. P10: Pozorování míry penetrace tří nejperspektivnějších gelů B, C a D při vlhkosti 100 % (1. řádek – cihla plná pálená, 2. řádek – cihla pískovcová, 3. řádek – Pórobeton, 4. řádek – zdící malta 1, 5. řádek – zdící malta 2)



Obr. P11: Zdění zkušebních piliřů dle směrnice WTA 4-4-04/D

po 24 hodinách



po 120 hodinách



Obr. P12: Prostup vztlínající vlhkosti ve zděných pilířích (1. řádek – cihla plná pálená, 2. řádek – cihla pískovcová, 3. řádek – Pórobeton – klasické zdění, 4. řádek – pórobeton přesné zdění)