

České vysoké učení technické v Praze
Fakulta stavební

Katedra konstrukcí pozemních staveb



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Sanace zvýšené vlhkosti historických objektů

Remediation of damp in historic buildings

Autor: Barbora Šiková

Vedoucí práce: doc. Ing. Eva Burgetová, CSc.

Praha, 2019

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem předloženou bakalářskou práci vypracovala samostatně a že jsem uvedla veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

V Praze dne

.....

Barbora Šiková

Poděkování

Tímto bych ráda poděkovala doc. Ing. Evě Burgetové, CSc. – vedoucí mé bakalářské práce za její odborné vedení, rady při vypracování a cenné připomínky k této práci. Dále bych ráda poděkovala Bc. Filipovi Hrubému, Bc. Lukášovi Bojčukovi a Janu Polívkovi za umožnění návštěv na historických objektech a za poskytnuté podklady s fotografiemi. Poděkování patří také zástupci firmy Řehák - SPELEO s.r.o., který mně umožnil přístup do štol v klášteře v Chotěšově.



ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Šiková	Jméno: Barbora	Osobní číslo: 458908
Zadávací katedra: k124 - katedra konstrukcí pozemních staveb		
Studijní program: Stavební inženýrství		
Studijní obor: Konstrukce pozemních staveb		

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce: Sanace zvýšené vlhkosti historických objektů	
Název bakalářské práce anglicky: Remediation of damp historic buildings	
Pokyny pro vypracování: -rešerše současných sanačních metod proti vztlínající vlhkosti -analýza užití moderních sanačních metod u historických objektů -případové studie	
Seznam doporučené literatury: R.Burkinshaw, M.Parrett: Diagnosing damp, RICS Book, 2003	
Jméno vedoucího bakalářské práce: doc. Ing. Eva Burgetová, CSc.	
Datum zadání bakalářské práce: 25.02.2019	Termín odevzdání bakalářské práce: 26.5.2019 <i>Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku</i>
Podpis vedoucího práce	Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v bakalářské práci a při citování postupovat v souladu s metodickou příručkou ČVUT „Jak psát vysokoškolské závěrečné práce“ a metodickým pokynem ČVUT „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.

Datum převzetí zadání	Podpis studenta(ky)
-----------------------	---------------------

Abstrakt

Bakalářská práce se zabývá velmi aktuálním tématem – ochranou historických objektů proti vodě a vlhkosti. V rešeršní části práce jsou prezentovány vybrané příklady historických izolací ze starověku a v kontrastu s přehledem nejnovějších trendů v oblasti dodatečných sanačních metod.

V rámci terénního průzkumu jsou hodnoceny provedené rekonstrukční zásahy na základě informací z dříve provedených stavebně historických průzkumů (SHP) ve srovnání se současným stavem historických objektů – vodní hrad Švihov, zámek Kozel a klášter v Chotěšově. Stavebně technický průzkum zaměřený na objekt s vysokou vlhkostí je popsán v případové studii kláštera Chotěšov, kde probíhá rehabilitace historického odvodňovacího a odvětrávacího systému. Průzkum je doplněn odběrem vzorků pro objektivní hodnocení vlhkostních parametrů zdiva, provedené v laboratoři FSv, které mohou sloužit jako dílčí podklad pro další rekonstrukční práce. V závěru práce je prezentován průzkum historického centra města Stříbra, jsou dokumentovány vlhkostní problémy spojené s vysokou hladinou podzemní vody (HPV) v celé lokalitě.

Klíčová slova

vlhkost, vztlínající vlhkost, metody sanace, průzkum, analýza vlhkosti

Abstract

The bachelor thesis deals with a very actual topic - the protection of historical buildings against water and moisture. In the research part of the thesis, selected examples of historical waterproofings from antiquity are presented in contrast with the latest trends of additional remediation methods.

In the field survey, reconstruction interventions of selected historical buildings are evaluated on the basis of information from previously performed historical survey and current state of selected historical buildings - the Švihov water castle, the Kozel castle and the monastery in Chotěšov - are evaluated. A structural survey and technical survey focused on a building with high moisture is described in the case study of the Chotěšov Monastery, where the drainage and ventilation system of the historic system is being rehabilitated. The survey is supplemented by removing of samples for objective evaluation of masonry moisture parameters, performed in the FSv laboratory, which can serve as a data for further reconstruction work.

At the end of the thesis there is a survey of the historical center of the city Stříbro, the documents refer to high HPV in the whole locality.

Keywords

moisture, rising damp, remediation methods, survey, analysis of the moisture

Metody

V rámci zpracování bakalářské práce byla provedena rešerše české i zahraniční odborné literatury a tématických časopisů se zaměřením na historické hydroizolace a na nejnovější trendy v oblasti sanačních metod. Praktická část práce zahrnuje vizuální terénní průzkum významných historických objektů Plzeňska. Pozornost byla soustředěna zejména na historické řešení ochrany budov proti vodě a vlhkosti, byly analyzovány stavební historické průzkumy (SHP) a byla provedena komparace nálezových zpráv se současným stavem objektů. Během stavebně technického průzkumu (STP) kláštera v Chotěšově byly odebrány vzorky stavebních materiálů a v laboratořích FSv byly analyzovány. V rámci laboratorního vyhodnocení vzorků byla stanovena hmotnostní vlhkost a stupeň zasolení zdiva. Současně byl proveden systematický průzkum, dokumentace a analýza vlhkostních poruch budov v historickém centru města Stříbra.

Obsah

Úvod	2
1 Vlhkost vzlínající z podzákladí	3
1.1 Transport vlhkosti v materiálu	3
1.2 Příčina vzlínající vlhkosti ve zdivu	3
1.3 Důsledky vzlínající vlhkosti ve zdivu	4
1.4 Sanace vlhkého zdiva	4
2 Ochrana budov proti vodě a vlhkosti v minulosti	6
2.1 Visuté zahrady v Babylónu	7
2.2 Přístav v Caesareji	8
2.3 Caracallový lázně	8
2.4 Velká lázeň v Mohenjo-daru	9
2.5 Palác a libosad v Sígiriji	10
2.6 Buddhistická svatyně v Borobuduru	11
3 Současné sanační metody proti vzlínající vlhkosti	13
3.1 Vzduchové systémy	17
3.1.1 Vzduchové dutiny	17
3.1.2 Podlahové systémy	17
3.1.3 Vzduchové kanálky	18
3.2 Mechanické metody	20
3.2.1 Strojní podřezávání zdiva	20
3.2.2 Zarážení izolačních desek do zdiva	21
3.3 Chemické metody	21
3.3.1 Beztlaková injektáž — infuze	22
3.3.2 Tlaková injektáž	22
3.4 Elektroosmotické metody	24
3.4.1 Aktivní elektroosmóza	25
3.4.2 Bezkontaktní elektroosmóza	26
4 Omítky na vlhkostí zatížené podklady	27
4.1 Sanační omítky	27
4.2 Sanačně tepelně-izolační omítky	28

4.3	Kompresní (obětované) omítky	29
4.4	Omítky pro historické budovy	29
5	Případové studie památkových objektů	31
5.1	Vodní hrad Švihov	32
5.1.1	Situace	32
5.1.2	Popis objektu	32
5.1.3	Stavebně-historický průzkum	33
5.2	Zámek Kozel	38
5.2.1	Situace	38
5.2.2	Popis objektu	38
5.2.3	Skutečnosti zjištěné průzkumem	39
5.3	Klášter premonstrátek v Chotěšově	44
5.3.1	Situace	44
5.3.2	Popis objektu	44
5.3.3	Skutečnosti zjištěné průzkumem	44
6	Experimentální analýza vlhkostních parametrů kláštera v Chotěšově	48
6.1	Stanovení vlhkosti stavebního materiálu	48
6.2	Stanovení salinity	50
6.3	Stanovení pH	51
7	Průzkum historického centra města Stříbra	54
	Závěr	60

Úvod

Jednou z hlavních příčin poškození zdiva je výskyt zvýšené vlhkosti. Degradální účinky vody (příp. difundující vodní páry) ve zdivu se projevují odlupováním omítky nebo solnými výkvěty. Vlhké prostředí vytváří vhodné podmínky pro plísně a biologické škůdce a tím zdivo znehodnocuje ještě více. V krajním případě může být vlivem zvýšené vlhkosti významně snížena pevnost zdiva, a tím i narušená stabilita konstrukce. K degradaci konstrukcí může také docházet vlivem nevhodného invazivního zásahu (zejména u historických objektů), dále volbou nesprávné příp. neúčinné sanační metody nebo špatně stanoveným zdrojem vlhkosti v rámci nedostatečného, resp. žádného průzkumu.

Cílem práce je přiblížit současné sanační metody a jejich možnou aplikaci na historických objektech. Dále zhodnotit provedené sanační zásahy na ochranu stavby proti vlhkosti dle SHP a terénního průzkumu in situ na třech historických objektech Plzeňska. Pro problematiku zvýšené vlhkosti jsem si záměrně vybrala vodní hrad Švihov, zámek Kozel a klášter v Chotěšově, kvůli mému zájmu a častým návštěvám těchto památek z dětství. Bakalářská práce byla vhodnou příležitostí zjistit o objektech více z hlediska mého studijního oboru a jejich stavebně historického vývoje.

V případové studii je uvedeno srovnání původního a současného stavu objektů, poznatky a vzájemné souvislosti, které vyplývají z terénního průzkumu. V další části práce je detailně popsána experimentální analýza vlhkostních parametrů zdiva, která byla provedena na objektu kláštera v Chotěšově. Z výsledku terénního průzkumu a analýzy na klášteře v Chotěšově vyplývá, že původní odvodňovací a odvětrávací systémy, které byly v minulosti nevhodným užíváním poškozeny, je nyní nutné opět obnovit. Hodnoty z laboratorní analýzy potvrzují snížení vlhkosti zdiva vlivem postupných oprav (od roku 2005) původního odvětrávacího a odvodňovacího systému.

V závěru práce je presentován terénní průzkum lokality historického města Stříbra, jsou popsány a analyzovány vlhkostní poruchy budov v rámci celého území historického centra města.

Kapitola 1

Vlhkost vzlínající z podzákladí

Jedním z nejčastějších důvodů poškození zdiva je vzlínající vlhkost, jejíž následky se projevují odlupováním omítky, poškozením cihel a spár či tvorbou výkvětů a plísní. Tyto poruchy se objevují na většině starších objektů. Vlhkost z podzákladí budovy stoupá díky kapilárnímu vedení do zdiva. K poškození zdiva dochází v důsledku působení mrazu a růstu krystalů solí obsažených ve vzlínající vodě. Ochrana budov před vzlínající vlhkostí je nezbytná z důvodu zajištění funkčnosti a dlouhodobé životnosti staveb. [1]

1.1 Transport vlhkosti v materiálu

Většina stavebních materiálů je tvořena pórovitou strukturou. Pokud je daný materiál v přímém kontaktu se zemínou, dostává se do pórů voda, která stoupá kapilární elevací vzhůru. Varianta transportu vody ve formě vodní páry je difuze. Rychlost a výška vzlínání je ovlivněna geometrií a velikostí pórů ve zdivu. Póry pro transport vlhkosti jsou otevřené, do uzavřených pórů se voda nedostane a nedochází k jejímu pohybu. Nejvíce kapilárně aktivní jsou otevřené póry o průměru 10^{-4} m až 10^{-7} m. Uzavřené póry mají cíleně některé tepelné izolace (pěnové sklo, pěnový polystyren, expandovaný perlit). Tyto materiály jsou označovány jako nenasákové. Z praxe je ověřeno, že vzlínající vlhkost vystoupá ve zdivu nejčastěji do výšky 1,5 m nad terén. Záleží však na stavebním materiálu, povrchové úpravě zdiva, možnosti odpařování vlhkosti, vlastnostech proudícího vzduchu kolem konstrukce atd. [2]

1.2 Příčina vzlínající vlhkosti ve zdivu

Vzlínající vlhkost se do konstrukce dostává nejčastěji v důsledku:

- působení zemní vlhkosti, spodní vody
- vsakování dešťové vody v okolí stavby
- stékání vody po terénu k patě zdiva



Při správném provedení stavby se vzlínající vlhkost z podzákladí zastaví na horizontální hydroizolaci. Pokud hydroizolace chybí nebo je důsledkem stáří porušena, vlhkost se dostává do nadzemního zdiva.

1.3 Důsledky vzlínající vlhkosti ve zdivu

Vzlínající voda často obsahuje rozpuštěné soli ze zdrojů, se kterými přišla do styku (podzemní voda, cihly, malta, chemické soli od posypu chodníků, kanalizace, hřbitovy atd.). Na povrchu difuzně otevřených zdí se voda začne odpařovat. Sůl, obsažená ve vzlínající vodě, začne krystalizovat buď přímo ve zdivu nebo na jeho povrchu. Na hranici mokré a suché části (tj. vysychající fronta) dochází k největšímu odparu vlhkosti. Solné výkvěty, krusty a mapy jsou zde nejvýraznější. Při krystalizaci sůl zvětšuje svůj objem a vyplňuje prázdné póry. Podobný účinek má mráz, kdy se neodpařená voda v konstrukci přeměňuje na led. Pokud jsou póry již zcela zaplněny, tlakové síly od přeměny krystalů začnou mít na strukturu materiálů destruktivní účinky.

Nejčastějším projevem je odpadávání a odlupování omítky, poškození cihel a malty. Pokud dochází k odpařování vody pomaleji, může dojít na povrchu zdiva k uchycení plísní a řas. Mechanické poškozování zdiva má vliv na celkovou životnost konstrukce, především na pevnost a na tepelně-technické vlastnosti zdiva, tj. vlivem vlhkosti klesají tepelně izolační schopnosti materiálu. Tvorba plísní a řas má negativní důsledky na mikroklima vnitřního prostředí. [1], [2]

1.4 Sanace vlhkého zdiva

Sanace vlhkého zdiva je soubor hydroizolačních a stavebních úprav, které společně zajistí trvalé snížení obsahu vlhkosti ve zdivu. Při řešení sanace vlhkého zdiva je nezbytně nutné nejdříve odstranit zdroj vlhkosti. Dále je důležitý výběr optimální metody (často kombinace metod), které budou návrh řešit komplexně. Použitím nesprávného řešení nedojde k odstranění vlhkosti, ale zpravidla ke zhoršení stávajícího stavu. Výběr metody závisí na výsledcích STP, který je nezbytným podkladem pro návrh sanace každého objektu. Jedná se především o:

- hydrofyzikální namáhání podzemních a nadzemních částí objektu
- inženýrsko-geologické poměry v okolí stavby
- technické vlastnosti použitých materiálů
- osazení objektu v terénu
- obsah vlhkosti, solí a stupeň degradace v konstrukcích



Návrh sanace je definován v normě ČSN P 73 610. Norma stanovila zásady pro navrhování, provádění, průzkum, kontrolu a údržbu sanačních systémů ve vlhkém cihelném, smíšeném a kamenném zdivu, jehož zvýšená vlhkost je vyvolána působením zemní vlhkosti, prosakující vody, srážkové, povrchové i kondenzované. [3]

Sanaci můžeme provádět ve dvou úrovních. Jedná se v první řadě o jednodušší a levnější řešení, tj. zlepšení větracího režimu a aplikaci sanačních omítek. V případě, že toto řešení není dostačující, provádí se další stupeň zahrnující mechanické nebo chemické metody. Tato realizace je složitější a finančně náročnější. V obou případech je součástí projektu stanovení požadavků na vnitřní prostředí a na způsob jeho využití. [4]

Kapitola 2

Ochrana budov proti vodě a vlhkosti v minulosti

Ochrana staveb proti vlhkosti byla řešena již v minulosti s výstavbou prvních objektů. Jako izolace byly využívány přírodní materiály. Nejstarším typem hydroizolace byl přírodní asphalt, který se těžil a stále těží na několika místech světa. Největší naleziště bylo v okolí Mrtvého moře a v Evropě v Albánii. Přírodní asphalt od Mrtvého moře je označován „bitumenum“, jehož původ je z hebrejštiny. „Asfaltos“ původem z Albánie byl ve starověkém Řecku používán jako hydroizolace nebo jako náhražka malty, pro stmelení kousků cihel a kamene.

Další rozvoj stavebnictví přinesly materiály na bázi hydraulických pojiv (pojiva, která tuhnou a tvrdnou pod vodou). Řekové stavěli stavby z druhu zdiva – „emplekton“. Jednalo se o masivní zdi s dvěma lícovými stěnami z kamene. Mezeru mezi stěnami vyplňovala litá malta, která byla prokládána lomovým kamenem. Římané převzali od Řeků „emplekton“ a vylepšili jeho složení a technologii. Římský materiál zvaný „opus caementum“ obsahoval hydraulickou maltu a zrna kamene nebo cihel do průměru 70 mm.

Hydraulické malty se skládaly z dobře vyhašeného vápna společně se směsí sopečných popelů – tufů, pemzy nebo cihelné moučky. Sopečný popel, označován jako pucolán, byl objeven v Itálii poblíž města Pucoli u Neapolského zálivu. Vyznačuje se nejvyšší pucolánovou aktivitou (schopnost reagovat s hydroxidem vápenatým za vzniku pojivých vlastností). [5]



2.1 Visuté zahrady v Babylónu

Zaniklá starověká památka z 6. století př. n. l. se nacházela v Babylónu a patří mezi sedm starověkých divů světa. Jednalo se o soubor sedmi odstupňovaných zahradních teras, postavených vládcem Nebukadnezarem pro královnu Semiramis. Pohled na terasy měl v návštěvníkovi vzbuzovat dojem „vznášející“ se zahrady (proto název visuté zahrady). Řecké prameny uvádějí, že zahrady dosahovaly do výšky až 25 metrů. Na terasách byla vysázena nejrůznější vegetace např. stromy, keře, živé ploty, květiny anebo vinná réva. Systém zavlažování pro všechny terasy byl navrhnut pomocí Archimédových šroubů, které čerpaly vodu z blízké řeky. Z nejvyššího místa byla voda rozváděna pomocí soustavy potůčků do jednotlivých částí zahradních teras.

Hlavní problém stavby spočíval v návrhu ochrany nosných zdí od prosakující vody ze zeminy na terasách. Ochranná skladba obsahovala dvě vrstvy: první hydroizolační vrstva byla provedena z rákosu zalitého přírodním asfaltem. Druhá vrstva byla tvořena kamennými deskami (popřípadě olovenými pláty), které byly položeny na asfaltovou hydroizolaci. [6], [7]



Obr. 2.1: Visuté zahrady v Babylónu, převzato z [6]



2.2 Přístav v Caesareji

Jedná se o uměle vytvořený přístav postavený vládcem Hérodésem Velikým na počátku 1. století př. n. l. Přístav se nacházel na západním pobřeží Izraele u Středozemního moře. Stavbu tvořily dva mohutné, uměle vytvořené vlnolamy, které byly až 70 metrů široké. Předpokládá se, že na vlnolamech byly umístěny sochy a maják pro orientaci lodí při plavbě do přístavu.

Podle archeologického průzkumu bylo zjištěno, že na stavbu byly použity velké bloky z materiálu zvaného „opus caementum“, který byl ukládán do složitého dřevěného bednění, pro dosažení požadovaného tvaru. Rozbor materiálu potvrdil obsah vulkanického písku (známého jako pucolán) a vápna v poměru 2:1. Pucolán, pravděpodobně dovážený z Neapolského zálivu, zajišťoval hydraulické vlastnosti směsi, díky kterým mohly být bloky ukládány do moře. Tím byla pod vodou vytvořena obrovská masa hmoty, na které bylo možno dále stavět nadzemní části přístavu. [6]



Obr. 2.2: Přístav v Caesareji, převzato z [8]

2.3 Caracallový lázně

Jedná se o starověké veřejné lázně z 3. století n. l., postavené v Římě vládcem Caracallem (Marcus Aurelius Antonius). Lázně se nacházejí na uměle vytvořené plošině v jihovýchodní části města. Komplex o velikosti 412 x 383 m disponoval kapacitou až 1600 lidí, obsahoval šatny, horký bazén (caldarium), mírně zahřáté místnosti (tepidarium), místnosti s nižší teplotou (frigidarium) a mnoho dalších prostor.

Základním materiálem pro výstavbu lázní byly úlomky vulkanického tufu, o průměru kolem 10 cm, které byly spojené maltou. Tato směs se následně ukládala do



cihlových tvárnic s funkcí ztraceného bednění. Malé kusy zdících prvků umožňovaly snadnou dopravu a možnost přípravy materiálu s předstihem. Malta měla speciální složení. Obsahovala jeden díl kvalitního, důkladně hašeného vápna a dva díly vulkanického písku (pucolán). Tyto přísady zajišťovaly vysokou pevnost a odolnost vůči vodě, což bylo pro stavbu lázní nezbytné. [6]

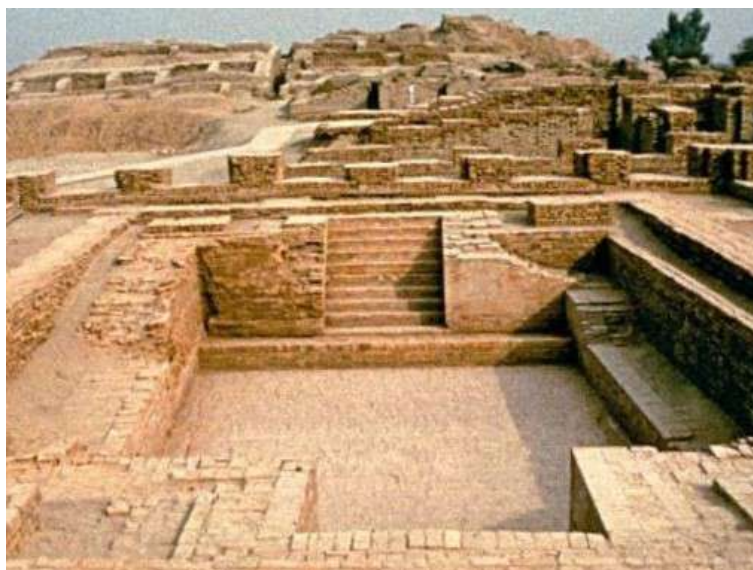


Obr. 2.3: Caracallové lázně, převzato z [9]

2.4 Velká lázeň v Mohenjo-daru

Jedná se o stavbu původně sloužící jako veřejné lázně, v dnes již zaniklém městě Mohenjo-daro v Pákistánu. Tato památka z 3. století př. n. l. byla objevena až při vykopávkách ve 20. století. Komplex lázní tvoří kolonáda, nádvoří, pokoje k odpočinku, bazén aj. Lázně se nacházejí na západní straně citadely, která je na pahorku poblíž řeky Indus.

Zajímavostí souboru staveb je bazén o rozměrech 12 x 7 m s hloubkou 2,4 m. Kromě hlavní nádrže byly vybudovány kanály pro napouštění a vypouštění vody. Voda byla složitě čerpána z velké studně umístěné poblíž bazénu. Podlahy i stěny bazénu byly vyzděny ze dvou plášťů pálených cihel s přírodní živičnou izolací, která bránila úniku vody. První vnější vrstva pálených cihel byla zpevněna dřevěnými podpěrami, aby mohla vzdorovat tlaku vody. Následovala živičná vrstva o tl. 3 cm, která plnila funkci hydroizolace. Poslední vnitřní vrstva byla opět z páleného cihelného zdiva. Tato třívrstvá skladba zajišťovala potřebnou hydroizolaci bazénu. [6]



Obr. 2.4: Velká lázeň v Mohenjo-daru, převzato z [10]

2.5 Palác a libosad v Sígiriji

Honosné sídlo z 5. stol. n. l. nacházející se v Sígiriji na Srí Lance je tvořeno citadelou, tyčící se na 200 m vysokém kopci. Součástí paláce jsou vnější a vnitřní nádvoří, vodní příkopy, rozlehlé zahrady s jezírky, vodotrysky a zábavné pavilony. Zajímavostí této stavby je zásobování rozlehlé zahrady vodou. Byly využity topografické podmínky kombinované s důmyslným uspořádáním koryt pro rozvod vody z nejvyššího místa. Dešťová voda byla zadržována v nádržích na vrcholu citadely a dále rozváděna pomocí vertikálních a horizontálních koryt a žlabů do vodních staveb. Koryta pro transport vody byla vytesaná do skal a žlaby byly vystavěny z kusů kamene a cihel. Pro zajištění nepropustnosti byly kameny a cihly ukládány do jílu, který zajišťoval funkci hydroizolace. [6]



Obr. 2.5: Palác a libosad v Sígiriji, převzato z [11]

2.6 Buddhistická svatyně v Borobuduru

Borobudur je stupňovitý buddhistický chrám postavený v 9. století n. l., na střední Jávě v Indonésii. Komplex tvoří zdobené terasy završené centrální kopulí, kolem které jsou umístěny sochy Buddha. Stavba leží na planině Kedy, nedaleko od řeky Progo. Chrám je postaven na přírodním kopci, díky kterému připomíná vzhledem pyramidu (Borobudur však nemá vnitřní prostory jako klasická pyramida). Objekt je postaven z kusů opracovaného kamene, který byl těžen v korytě nedaleké řeky. Kameny nebyly spojovány maltou, ale pouze čepy a drážkami. Tyto spoje vedly k nedostatečnému provázání zdí a k jejich následnému borcení. Dalším závažným problémem byla absence hydroizolace. Komplex byl opatřen drenážním systémem a řadou odvodňovacích žlabů s chrličí. Bohužel se tento systém po čase zanesl a začal působit kontraproduktivně. Voda se na terasách hromadila, čímž docházelo k sesedání podloží, ohrožení stability zdí a propadávání podlah.

Od 20. století probíhá na stavbě rozsáhlá rekonstrukce. Projekt podpořila organizace UNESCO, která v roce 1973 zahájila kampaň na záchranu stavby. Celý Borobudur byl rozebrán na jednotlivé kameny a zase opět složen. Odvodňovací a drenážní systém byl obnoven. Dále byla provedena rekonstrukce podlah a chrličů. Byly osazeny nové odvodňovací žlaby a proběhlo vyčištění žlabů stávajících, které byly již zaneseny. Navíc byly vytvořeny nepropustné vrstvy- viz obr. 2.6, 2.7., filtrační vrstvy a osazeny chrlice na odvod vody. Hlavním cílem provedené rekonstrukce bylo zajistit stabilitu objektu, odvést dešťovou vodu a následně zabránit jejímu hromadění u objektu. [6], [12]



Obr. 2.6: Buddhistická svatyně v Borobuduru, převzato z [13]



Obr. 2.7: Borobudur, dodatečně vložená hydroizolace, převzato z [14]



Obr. 2.8: Borobudur, detail napojení hydroizolace, převzato z [14]

Kapitola 3

Současné sanační metody proti vzlínající vlhkosti

Před použitím sanační metody musí být prokázáno, že k porušení konstrukce (vlhkost zdiva, povrchové mapy, výkvěty na omítce, výskyt plísní atd.) dochází vlivem vzlínající vlhkosti z podzákladí. Návrh sanace proto vždy začíná průzkumem a posouzením příčiny porušení objektu, případně stanovením zdroje vlhkosti. [15] Jedná se především o:

- posouzení stavby a jejího blízkého okolí, odvod vody od terénu
- stanovení obsahu vlhkosti a salinity ve zdivu
- stanovení zdrojů vlhkosti

Průzkum vlhkosti

Cílem průzkumu je zjištění obsahu vlhkosti v konstrukci. Sondy pro odběr materiálů provádíme ve svislých a hloubkových profilech (odběr vzorků nad sebou a v hloubce) na vnitřní i vnější straně, pro přesnější výsledky, odebíráme vždy jeden druh materiálu (cihly, maltu, beton) v místě největšího porušení vlivem vlhnutí:

- opadané, porušené omítky
- výkvěty solí, barevné mapy, skvrny
- místa s tvorbou plísní, mechů a řas

Metody stanovení vlhkosti materiálu dělíme z hlediska poškození a zásahu do konstrukce na destruktivní a nedestruktivní. [3]

Destruktivní průzkum vlhkosti

Jedná se o přímý zásah do konstrukce, kdy odebíráme vzorky z 100–150 mm pod povrchem, nejčastěji pomocí elektrického vrtacího kladiva a sekáče. [3]



Nedestruktivní průzkum vlhkosti

Nedestruktivní metoda se používá především na zjištění vlhkosti malt, omítek a betonových mazanin na povrchu konstrukce. K měření slouží elektrické kontaktní přístroje, které měří vlhkost na základě elektrického odporu nebo kapacity. [3]

Hmotnostní vlhkost materiálu se stanoví podle: ČSN P 73 610

$$w_m = (m_v - m_s) / m_s * 100$$

w_m ...hmotnostní vlhkost materiálu [%]

m_v ...hmotnost materiálu ve vlhkém stavu [kg]

m_s ...hmotnost materiálu v suchém stavu [kg]

Stupeň vlhkosti	Vlhkost zdiva w v % hmotnosti
<i>velmi nízká</i>	$w < 3$
<i>nízká</i>	$3 \leq w < 5$
<i>zvýšená</i>	$5 \leq w < 7,5$
<i>vysoká</i>	$7,5 \leq w < 10$
<i>velmi vysoká</i>	$w > 10$

Tab. 3.1: Klasifikace vlhkosti dle ČSN P 73 610, převzato z [3]

Průzkum salinity

Slouží pro zjištění obsahu solí (sírany, chloridy, dusičnany a příp. amonné soli) v konstrukci. Vzorčky malt a zdícih prvků odebíráme destruktivní metodou z různých míst a hloubek pod povrchem. Malty nejčastěji odebíráme z ložných nebo styčných spár zdiva z hloubky 20 mm pod lícem zdi. Pokud se na povrchu zdiva tvoří souvislé povrchové výkvěty, provádíme mineralogické hodnocení těchto výkvětů. [3]

Stupeň zasolení zdiva	Chloridy [mg/g]	Dusičnany [mg/g]	Sírany [mg/g]
<i>nízký</i>	$< 0,75$	$< 1,0$	$< 5,0$
<i>zvýšený</i>	$0,75 - 2,0$	$1,0 - 2,5$	$5 - 20,0$
<i>vysoký</i>	$2,0 - 5,0$	$2,5 - 5,0$	$20,0 - 50,0$
<i>velmi vysoký</i>	$> 5,0$	$> 5,0$	$> 50,0$

Tab. 3.2: Klasifikace stupně zasolení dle ČSN P 73 610, převzato z [3]



Posouzení stavby a jejího blízkého okolí

Celou stavbu je nutné prohlédnout a posoudit všechny možné příčiny vlhnutí zdiva. Opadávání omítky a vlhnutí paty zdiva u terénu nemusí být způsobeno vždy vztlínající vlhkostí. Před zahájením sanace je vždy třeba tyto poruchy vyloučit. [15] Příklady častých poruch, které se vyskytují na objektech a způsobují vlhnutí konstrukcí, je uveden níže:

- chybně instalované okapní svody, jejich špatná dimenze, absence, napojení, zanesenost, netěsnost, absence čistících kusů, chybějící části



Obr. 3.1: degradace omítky v důsledku chybějící části svodu, převzato z [14]

- odstříkující voda v oblasti soklů nebo oplechování říms



Obr. 3.2: degradace zdiva v důsledku odstříkující vody, převzato z [14]



- chybné zakončení hydroizolace nad terénom



Obr. 3.3: nopová fólie není ukončena, stékající voda se vsakuje do zdiva

- chybějící části okapních žlabů, špatně provedené oplechování střechy a úžlabí



Obr. 3.4: destrukce římsy vlivem chybějícího nebo poničeného okapního žlabu, špatné oplechování

- kondenzace, zatékání, průsakem v důsledku havárie
- nedůsledné odvedení srážkové vody do kanalizace, voda je vyvedena pomocí chrličů na terén, kde se zpětně zasakuje v přilehlé zemině

V případě, že k vlhnutí zdiva nedochází vlivem jedné nebo kombinací výše uvedených příčin, lze stanovit jako příčinu vztlínající vlhkost. Dále jsou uvedeny možné sanační metody proti vztlínající vlhkosti včetně rizikových faktorů jejich aplikace.



3.1 Vzduchové systémy

Metoda je založena na principu proudícího vzduchu kolem konstrukce a odvádění vlhkého vzduchu, čímž dochází k vysychání. Podstatnou roli na odvlhčení stavby má rychlost proudění vzduchu, relativní vlhkost a teplota v provětrávané dutině. Dále je důležitý výškový rozdíl mezi nasávacími a výdechovými otvory, kdy díky atmosférickému tlaku dochází ke komínovému efektu. Výrazná změna vnějšího nebo vnitřního prostředí může zásadně ovlivnit proces odvlhčení. Důsledky se mohou projevit změnou směru proudícího vzduchu nebo kondenzací vody uvnitř dutin. Ke kondenzaci často dochází vlivem změny ročního období (důležité je ověření zvláště pro jaro a podzim). [4], [7]

3.1.1 Vzduchové dutiny

Svislé dutiny tl. 100-300 mm jsou nejčastěji vytvářeny pomocí předstěn (zděné, monolitické, prefabrikované), které jsou umístěny před obvodovou zdí, popřípadě z obou stran zdi. Pokud je provedena předstěna pouze z vnitřní strany, může dojít na povrchu (líci) předstěny ke kondenzaci vody. Případné kondenzaci se předejde umístěním tepelné izolace na vnitřní straně předstěny. [16]

Z hlediska proudění vzduchu můžeme dutiny dělit na:

- **nevětrané** — vzduchová dutina nemá nasávací a výdechový otvor, je málo účinná, nedochází k proudění vzduchu kolem konstrukce, jedinou výhodou je zamezení přímému kontaktu interiéru s vlhkým zdivem
- **odvětrávané do interiéru** — nasávací otvor je umístěn u podlahy, výdechový otvor u stropu interiéru, je účinnější než metoda s nevětranou dutinou, vlhký vzduch je však pořád v místnosti a není odváděn (odvod vzduchu by měl být řešen pomocí jiného systému), řešením nedochází k velkým tepelným ztrátám
- **odvětrávané z interiéru do exteriéru** — nasávací otvor je u podlahy v interiéru a výdechový otvor je u stoupu vyústěn do exteriéru, nejlepší návrh vzduchových dutin, vlhký vzduch je odváděn pryč, dochází k výraznějším tepelným ztrátám, riziko kondenzace uvnitř dutiny
- **odvětrávané z exteriéru do exteriéru** — nasávací i výdechový otvor je v exteriéru, nedochází k odvádění vnitřního vlhkého vzduchu, konstrukce však díky odvětrávané dutině vysychá

3.1.2 Podlahové systémy

Vodorovná odvětrávací dutina je tvořena z tvarovek tvaru kopule (iglů). Tvarovky jsou umístěné pod podlahou, mají formu ztraceného bednění a umožňují průchod vzduchu. Systém je doplněn nasávacími (nemusí být vždy) a výdechovými otvory s kanálky, které přivádějí a odvádějí vzduch - viz obr. 3.5. Je doporučen min.



1,5 m výškový rozdíl nasávacího a výdechového otvoru, pro zajištění správného komínového efektu. Na proudění vzduchu mají vliv také další okolnosti: rozdíl teplot a tlaku vzduchu, vítr, umístění domu v krajině – řadový, samostatný dům atd. Variantou může být návrh systému i jako izolace proti radonu. [17]



Obr. 3.5: podlahový odvětrávací systém, ztracené bednění IGLU, převzato z [18]

3.1.3 Vzduchové kanálky

Vzduchové kanálky označovány jako vzdušníky jsou umístěvané u paty stěny z vnitřní nebo vnější strany obvodové zdi. Často používaná metoda u historických a památkově chráněných objektů z důvodu šetrného zásahu do konstrukcí. Systém se skládá ze vzduchového kanálku kolem paty obvodového zdiva (s vypádaným dnem a řešeným odvodem), dále obsahuje nasávací a výdechový otvor. Nejčastěji je nasávání na severní, návětrné straně, co nejbližší terénu. Výdech je pak na jižní, závětrné straně, co nejvýše (často realizováno pomocí falešného okapu, využívají se věže, schodišťové prostory atd.). Tímto řešením docílíme největšího rozdílu tlaků a následného proudění vzduchu. [16]

Rizika

Metoda sníží hmotnostní vlhkost nejvíce o 2,5 %, proto se použití doporučuje do vlhkosti zdiva max. 7 %. Účinnost metody je závislá na dostatečné dimenzi vzduchových kanálků a dutin, na jejich vedení, délce a na proudění vzduchu v nich. Pokud není potřebný rozdíl tlaku, lze systém doplnit ventilátorem např. ventilátor Sunvent na solární energii. [4]



Příklad realizace vzdušníků — Vila z počátku 20. stol. v Plzni

Odvlhčení stavby proti vzlínající vlhkosti bylo realizováno pomocí vzdušníků. Základy objektu tvoří cihelné a kamenné zdivo. Kolem vnější strany obvodového zdiva byl realizován vzduchový kanál (vzdušník) 300/1200 mm ze ztraceného bednění. Dno bylo vyspádované a napojené na kanalizaci, z vrchu byl kanál zakryt betonovými tvarovkami. Jako nasávací otvor je využita původní žumpa (již nefunkční), která je umístěna v severní části objektu. Výdechový otvor je na konci odtahového kanálu 300 mm pod korunní římsou. Odtahový kanál (falešný okap) je veden souběžně s okapem na jižní fasádě.



Obr. 3.6: Vzdušník, realizace pomocí tvarovek ztraceného bednění



Obr. 3.7: připravený otvor pro napojení odtahového kanálu



Obr. 3.8: Vzdušník zakrytý betonovými tvarovkami, odtahový kanál (falešný okap)

V praxi je vzdušník nejčastěji realizován pomocí ztraceného bednění a betonové tvárnice pro zakrytí shora. Dalším řešením je polymer-betonový prefabrikát ve tvaru obráceného písmene L. První řešení je výrazně levnější, z tohoto důvodu je také častěji realizováno.

3.2 Mechanické metody

Jedná se o vkládání dodatečné hydroizolace do ložné spáry zdiva, nejčastěji v podobě hydroizolačních pásů, desek, folií, popř. vkládání speciálních směsí. Metoda je velmi účinná a spolehlivá za předpokladu správného napojení a provedení spojů izolace. Životnost je dlouhodobá a záleží na vlastnostech vkládaného materiálu. Metoda není limitována obsahem solí a vlhkostí ve zdivu, velikostí a geometrií pórového systému jako je tomu u jiných metod. Nejsou však vhodné pro sanaci historických objektů z důvodu invazivního zásahu do zdiva a možného statického narušení. Na zarážení desek jsou především citlivé objekty s větším množstvím kleneb a se subtilními pilíři. [16]

3.2.1 Strojní podřezávání zdiva

Princip metody spočívá v podříznutí zdiva v ložné spáře a následným vložením hydroizolace, která je zafixována klíny, spáry jsou dále zaplněny cementovou zálivkou. Zdivo se podřezává ruční elektrickou pilou nebo diamantovým lanem (použití v cihelném zdivu tl. 600-1800 mm). Pro zdivo větší tl. zdi než 750 mm se provádí podříznutí zdi z obou stran. Zdivo pro podřezání musí být soudržné. Při realizaci se lano / kotouč chladí v rovině řezu tlakovou vodou, z tohoto důvodu je možné nasáknutí zdiva. Nové omítky provádíme s odstupem času, kdy je zdivo



již vyschlé. Lanovou pilou lze podřezávat i za sucha (rychlejší opotřebení rezných nástrojů).

Podříznutí cihelného, smíšeného a kamenného zdiva (opuka, pískovec, vápenné tufy) se provádí elektrickou pilou do tl. zdi 800 mm. Pro pevnější zdivo (z žuly, ruly, opuky, pískovce, betonu apod.) se využívá lanová diamantová pila, u které není tloušťka zdi omezená. [4]

3.2.2 Zarážení izolačních desek do zdiva

Princip spočívá v zarážení profilovaných desek do zdiva. Desky ze speciální oceli jsou odolné proti korozi. Zatlačují se do ložné spáry a pro napojení slouží tzv. zámek po stranách plechu.

Vložení plechu nesmí ohrozit stabilitu budov, proto se metoda nedoporučuje (popřípadě jen se statickým posouzením) u budov s četností kleneb nebo subtilních zděných pilířů. Obecně je lepší se návrhu vyvarovat u budov citlivých na změnu podpor.

Použití je nevhodné u smíšeného, vícevrstvého nebo velmi tlustého zdiva. Dále je realizace obtížná u složitého půdorysného tvaru vzhledem k vzájemným napojení plechů v rozích zdí. Nevhodné pro zdivo s velmi vysokým obsahem chloridů (může docházet ke korozi oceli). [16]

Rizika

Provedení návaznosti jednotlivých plechů v kolmých spojích. Musí být zajištěna odolnost zdiva pod provedenou hydroizolací, jinak může docházet k jeho destrukci vlivem zvýšené vlhkosti, biodegradacním procesům, agresivní vodě nebo solím. [4]

3.3 Chemické metody

Hydroizolační vrstva je vytvořena napuštěním pórů a kapilár ve vlhkém zdivu chemickou látkou, která brání průchodu vzlínající vodě. Princip metody spočívá v navrtávání zdiva a následného zavedení přípravku do vrtů, ve kterých vytvoří látka vodě nepropustnou bariéru. Tím dojde k vytvoření souvislé chemické hydroizolační clony. Clona má utěšňující nebo hydrofobizační vlastnosti, popřípadě jejich kombinaci. Vytvořená hydroizolační vrstva by měla souvisle navazovat na hydroizolaci podlahy. [4], [16]

Vrty se provádějí ve vodorovné linii, vzdálenost, průměr a sklon závisí na zvoleném typu injektážního prostředku a technologii zavádění. Zdivo se navrtává z jedné strany. Pokud je tl. zdi větší než 600 mm, je zdivo navrtáváno z obou stran v jedné nebo více řadách nad sebou. Délka vrtu je o 50–100 mm kratší, než tl. zdiva. Vrty se volí v místě nejúčinnějšího přerušování pronikání vlhkosti, lepší je umístění do malty než do cihly nebo kamene. Výběr chemického roztoku a metoda aplikace musí respektovat technické a technologické parametry zdiva.



3.3.1 Beztlaková injektáž — infuze

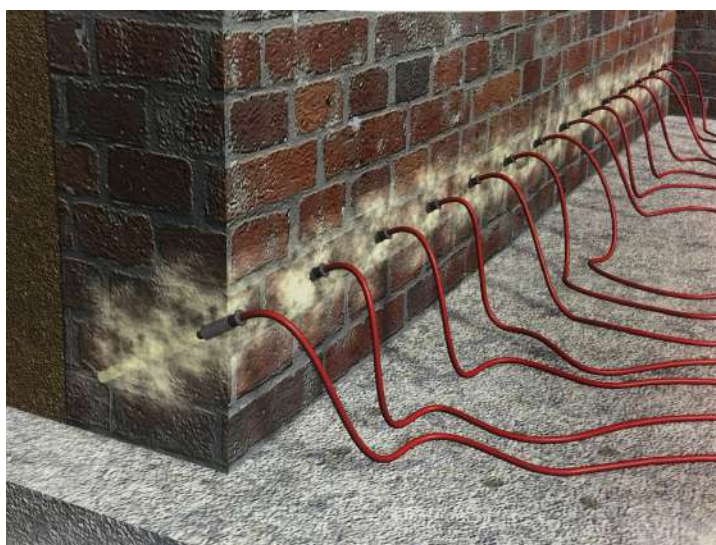
Infuzní přípravky jsou zaváděny do vrtu samospádem z nádob umístěných nad nimi. Průměr vrtu je 12–32 mm, sklon navrtání je vodorovný (popřípadě uvedený výrobcem), vzdálenost vrtů je v rozmezí 100–125 mm, možnost provádět infuze je do 50 % stupně zvlhčení. [19], [1]



Obr. 3.9: beztlaková injektáž (infuze), převzato z [19]

3.3.2 Tlaková injektáž

Injektáž se provádí při tlaku 5 barů pomocí injektážních pakrů. Výhodou metody je rychlost a možnost provádět injektáž až do 95 % vlhkosti materiálu. [19], [20]

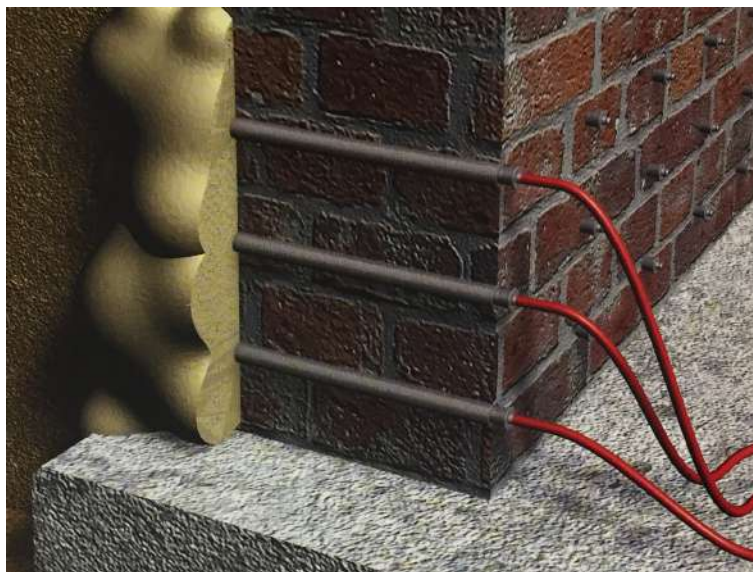


Obr. 3.10: tlaková injektáž, převzato z [19]



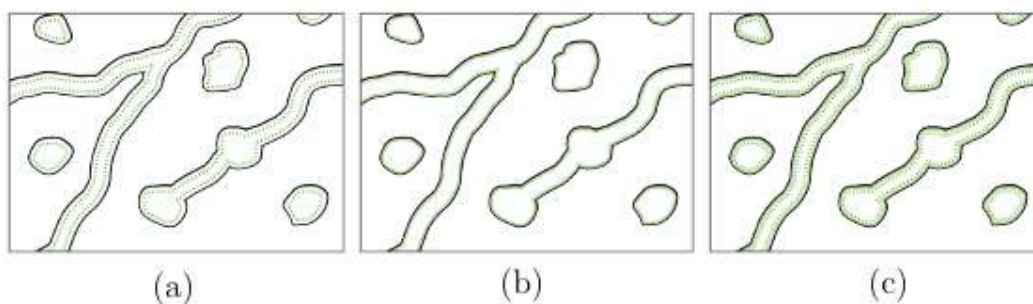
Rubová injektáž se používá při vytvoření (obnovení) vnějšího hydroizolačního systému, kdy není možný přístup ke konstrukci z exteriéru. Důvodem může být okolní zástavba, výskyt inženýrských sítí či velká hloubka výkopu atd.

Aplikační postup: Celá tloušťka stěny je provrtána vrty ve vzdálenosti podle údajů výrobce. Pomocí pakrů a injektážní pumpy je vtlačěn gel z interiéru do zdiva až do vnější přilehlé zeminy. Injektáž je ve formě bobtnavého hydrofilního gelu na akrylátové bázi (pryskyřice a aktivátor gelu). [19]



Obr. 3.11: rubová injektáž, převzato z [19]

Rozdělení chemických clon dle principu funkce injektovaného přípravku:



Obr. 3.12: principy injektáže: (a) hydrofobizace kapilár, (b) zužení kapilár, (c) kombinace účinků, převzato z [20]

Hydrofobizační

Chemická látka vytvoří na povrchu kapilár film, který má hydrofobizační účinek. Průřez kapilár zůstane zachován, dochází k přerušení transportu vody. Difuze vodní páry může probíhat i nadále. [20]



Zužující

Vlivem injektáže dochází k zúžení kapilár. Transport vody kapilárami je omezen, voda se ze zdiva rychleji odpařuje než je do něj transportována. [20]

Hydrofobizační a zužující

Jedná se o kombinaci hydrofobizačních a zužujících účinků.

Injektážní a infuzní přípravky [21]:

Nevhodné:

- sodné vodní sklo - vznikají škodlivé výkvěty sody

Vhodné:

- silikonová mikroemulze (SMK)
- hydrofilní gel na akrylátové bázi
- prostředek na bázi vodného roztoku methylsilanolátu draselného
- směs organicky modifikovaných siloxanů

Rizika

Účinnost injektáže je dána volbou vhodné chemické injektážní látky, která je závislá na pH zdiva, na chemickém složení zdiva, na salinitě a na zbytkové vlhkosti. Dále je účinnost závislá na pórové struktuře injektovaného stavebního materiálu, na výskytu dutin, na rozložení injektážní substance v pórovém systému a průběhu jejího působení (vznik hydrofobity).

Rizika aplikace jsou závislá na velmi rozdílných fyzikálně technických vlastnostech stavebních materiálů, vzájemném napojení injektovaných úseků zdiva a komplikovaném řešení izolace koutů stěn (vějířovitě provedené vrty). [22]

Situace se často liší od předpokladů: zdivo není v celém rozsahu stejně kvalitní, pod omítkou nelze identifikovat dozdivky, trhliny, kaverny. Je-li stará omítka odstraněna před injektáží, musí být zabezpečeno dostatečné utěsnění zdiva tak, aby injektovaný prostředek nemohl ze zdiva unikat.

3.4 Elektroosmotické metody

Technologie využívá elektrického potenciálu ve zdivu a v zemi, čímž ovlivňuje pohyb mineralizované vody. Voda je zpětně zatlačována do podloží a vně z konstrukcí objektu. Ke vzlínání dochází díky proudovému potenciálu — stěna kapiláry má záporný náboj, voda v blízkosti stěny kapiláry má kladný náboj.



Aplikací systému se potenciál obrátí. Anody (+) jsou umístěné do vlhkého zdiva, které má za normálních podmínek kladný potenciál. Katody (-) umístěné do okolní zeminy, mají za normálních podmínek záporný potenciál. Do elektrod je nepřetržitě dodáván stejnosměrný proud, čímž dochází k obrácení polarity. Vzniklé elektrické pole nejprve odvlhčí zdivo (vlhkost se přesouvá směrem do podzákladí) a poté brání zpětnému vzlínání vlhkosti do zdiva. Metoda je snadná, nezasahuje příliš do konstrukce (možnost využití pro památkově chráněné objekty), staticky konstrukce nezatěžuje, je však požadavek na stálé dodávky el. proudu. [16]

3.4.1 Aktivní elektroosmóza

Elektrody (anody) ve formě grafitové mřížky se vkládají do předem vyfrézované drážky v šířce (2/3 tl zdiva), 20-30 cm nad podlahou - viz obr. 3.13. Uzemňovací tyč délky 100-120 cm (katoda) se zarazí do země na nižší úroveň než je anoda. Prvky jsou navzájem spojené vodiči z titanzinku potaženého platinou (nekorodují) a jsou napojeny na řídicí jednotku, která reguluje přívod el. proudu v závislosti na stupni odvlhčení. Přístroj je vybavený digitální indikací proudu, aby umožnil sledování procesu vysychání zdiva. [23]



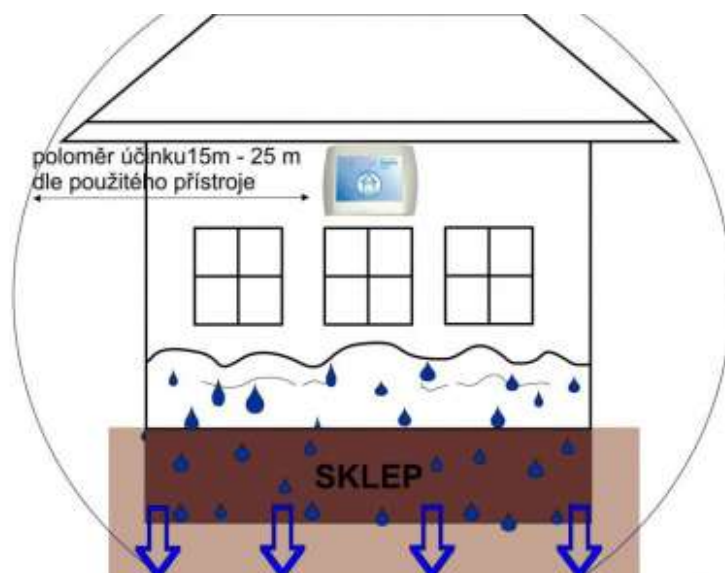
Obr. 3.13: aktivní elektroosmóza, příprava drážky pro elektrody, převzato z [23]

Omezení metody je při výskytu pórů o poloměru menším než 10^{-5} m a salinita zdiva max. do 1 %, poté je vyžadováno zařízení s 10x větším přívodem el. proudu. Účinnost snižuje rozdílné pH, limitující pH > 6. Vlhkost zdiva max. do 12 %. Nevhodné použití je proti tlakové vodě, dále metoda nezamezuje průchodu vodní páry difúzí. Účinnost instalace vzrůstá u stěn menších tloušťek, nejlépe do 0,5 m, v blízkosti by se neměly vyskytovat kovové konstrukce. Metoda se obecně považuje za méně spolehlivou [4].



3.4.2 Bezkontaktní elektroosmóza

Vytvořené speciálně polarizované slabé elektromagnetické pole, ovlivňuje orientaci molekul vody a tím obrací el. potenciál ve zdivu. Zároveň uvádí do pohybu rozpuštěné částice soli obsažené ve vodě pomocí antén a větvených vodičů s uzemněnou řídicí jednotkou. U metody nebyla dosud prokázána účinnost. [16]



Obr. 3.14: bezkontaktní elektroosmóza, vysoušení zdiva - přístroj DryPol system, převzato z [24]

Kapitola 4

Omítky na vlhkostí zatížené podklady

4.1 Sanační omítky

Jsou využívány jako součást návrhu odvlhčení staveb. Omítky nezabraňují přísunu vlhkosti do konstrukce, ale svými vlastnostmi napomáhají k odvlhčení a vysušování zdiva. Pro provedení obnovy hydroizolační vrstvy zůstane ve zdivu poměrně dlouhou dobu ještě velké množství vlhkosti a rozpuštěných solí. Sanační omítky napomáhají odpaření vlhkosti a umožňují ukládání solí do omítek, přičemž zdivo působí suchým dojmem. [16]

Princip

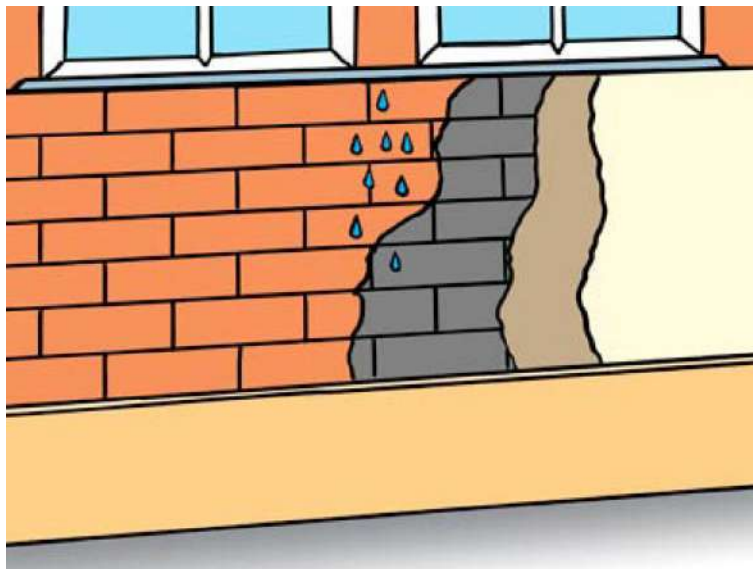
Rozdíl od běžných omítek je v možnosti transportu vlhkosti na povrch. Sanační omítky umožňují kapilární transport vlhkosti doprovázený transportem roztoku solí do několika milimetrů omítky. Na povrch může pronikat pouze vodní pára. Díky tomu dochází ke krystalizaci solí uvnitř omítky. Vykrytalizované soli se ukládají do pórové struktury a vnitřní povrch omítky je čistý, bez výkvětů a map. Životnost sanačních omítek je omezena, při naplnění pórů omítky vykrytalizovanými solemi, dochází k výkvětům, vlhkostním mapám na povrchu nebo k odpadávání omítky. [1].

Vrstvy sanačních omítek [1]

- Sanační postřík — zajišťuje přilnavost dalších vrstev k podkladu. Musí být odolný proti působení solí a nasákový, aby nebránil průchodu vlhkosti do dalších vrstev. Je nanášen síťovitě.
- Podkladní omítka — vyrovnává podklad a nerovnosti ve zdivu. Má pórovitou strukturu, která slouží jako vrstva pro ukládání vykrytalizovaných solí. Je nanášena v tl. 40 mm.

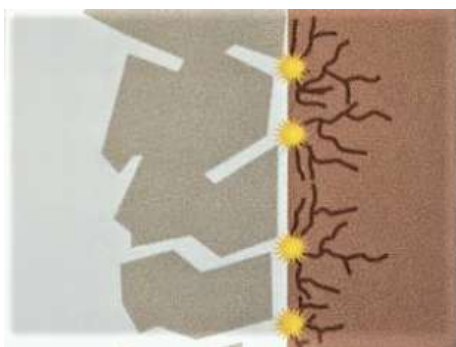


- Sanační omítka — hydrofobizovaná vrstva, umožňující průchod pouze vodní páry. Je nanášena v tl. 10- 40 mm.
- Sanační štuk — finální vrstva souboru sanačních vrstev. Je nanášena zpravidla v tl. 2 mm.

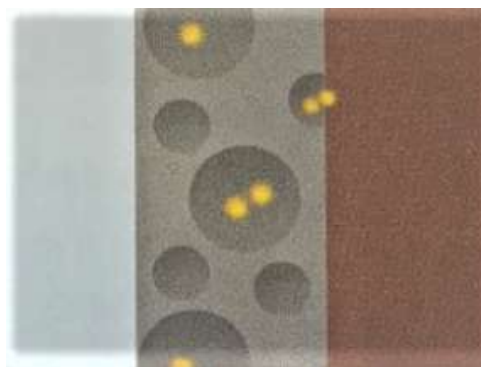


Obr. 4.1: vrstvy sanační omítky, převzato z [1]

Princip ukládání solí v běžné a sanační omítce



Obr. 4.2: běžná omítka odpadává díky krystalizaci solí na povrchu zdiva, převzato z [1]



Obr. 4.3: sanační omítka umožňuje usazování krystalů solí v pórech, převzato z [1]

4.2 Sanačně tepelně-izolační omítky

Jedná se o sanační omítky, které mají navíc tepelně izolační vlastnosti. Výrobce udává součinitel tepelné vodivosti $\lambda = 0,07 \text{ W}/(\text{m} * \text{K})$ (8x lepší tepelně-izolační



vlastnosti než běžné sanační omítky). Tepelně-izolačních vlastností je docíleno díky velmi lehkým plnivům s objemovou hmotností $< 400 \text{ kg/m}^3$. Na trhu jsou také tepelně-izolační omítky, které neobsahují cement (plnivem je metakaolín), jsou vhodné pro památkově chráněné stavby. [1]

4.3 Kompresní (obětované) omítky

Kompresní omítka slouží pro odsolování zdiva. Omítka je nanášena na zasolené zdivo, které je před aplikací navlhčeno. Soli se při odpařování vlhkosti ukládají do celé tloušťky kompresní omítky. Po ukončení transportu solí se omítka odstraní. Při vyšším zasolení je nutné postup víckrát opakovat. [19]

4.4 Omítky pro historické budovy

Pokud objekt není příliš zasažen vlhkostí a zasolením zdiva, je snaha využít tradiční technologie pro sanaci. Omítky určené pro historické budovy neobsahují cement, ale vápno a tradiční pucolánové pojivo. Samotné vápenné omítky by měly nízkou pevnost, proto je snaha přidávat pojiva pro zlepšení pevnostních vlastností. Jednou z hlavních přísad jsou pucolánová pojiva. [25]

Pucolány

Jsou látky, které za přítomnosti hydroxidu vápenatého hydratují a vytváří produkt podobný cementu. Jedná se o anorganické (křemičité nebo hlinitokřemičité) látky.

- přírodní pucolány — penza, tufy, popílek, tras, křemelin
- pucolány umělého původu — suchý elektrárenský popílek, kalcinované břidlice, metakaolín

Pucolány vedou ke zlepšení mechanických vlastností omítek, lepší odolnosti vůči působení kyselého prostředí, zvyšují odolnost proti korozi a zvyšují trvanlivost.

Příklady používaných omítek na historických objektech:

- Trasové omítky — omítky využívány pro restaurování a sanaci historických objektů. Trasem je nazýváno pojivo s hydraulickými vlastnostmi vulkanického původu (vulkanický tuf) objevený Holanďany v 16. století u pohoří východního Eifelu. Jedná se o přírodní stav. materiál, který tvrdne ve spojení s vápenným hydrátem, hydraulickým vápnem nebo cementem.

Vápenné malty s obsahem trasu se vyznačují prodyšností, omezeným vztlínáním vody, odolností proti kyselým dešťům, omezením vzniku vápenných výkvětů a kapalného transportu vody. Tras-vápnité omítky jsou využívány na historické zdivo, které je vystaveno silnému zatížení vlhkostí. [26]



- Maltová směs s vápennými hručkami — malta vyráběná podle tradičních receptur pro použití na historických objektech. Plnivem jsou prané přírodní písky střední a jemné zrnitosti. Pojivem je pálené vápno hašené suchým způsobem. [27]
- Románský cement — směs vyráběná pálením slínovců s jílovou složkou. Vzniká vysoce hydraulické pojivo. Pojivo se svými vlastnostmi nachází mezi hydraulickým vápnem a portlandským cementem. [28]

Kapitola 5

Případové studie památkových objektů

U historických objektů je poměrně složité zjistit příčinu vlhkosti respektive stanovit zdroj. Rovněž není jednoduché zvolit optimální návrh sanace, protože u památek jsou kladeny speciální požadavky na jejich rekonstrukci. Způsob sanace by měl být konzultován s pracovníky Národního památkového ústavu (NPÚ) a dle Benátské charty by měly být všechny prováděné zákroky neinvazivní a reverzibilní. Tato druhá část práce uvádí příklady těchto památkově chráněných staveb, jejich historické i současné řešení sanace vlhkosti.

5.1 Vodní hrad Švihov



Obr. 5.1: vodní hrad Švihov, převzato z [29]

5.1.1 Situace

Hrad se nachází ve výšce 375 m n. m. na rovinném terénu v nivě řeky Úhlavy. Geologické podloží je nezpevněný sediment (nivní sediment). [30]

5.1.2 Popis objektu

Hrad byl založen na konci 13. století pány z Rýzmburka. Po dobytí hradu husity zbylo jen torzo a hrad chátral. V 15. století došlo ke gotické přestavbě hradu. Bylo postaveno vnitřní opevnění se severními nárožními baštami, vnitřní příkop kolem vnitřního opevnění, polygonální bašta pod kaplí, hranolovitá vstupní věž, nový západní palác, jižní nárožní bašty u hradního jádra a západní části vnějšího opevnění u náhonu. Zlatá bašta společně s jižním a východním opevněním byly v 17. století na rozkaz císaře zbořeny. V letech 1700-1945 byl hrad využíván k hospodářským účelům. Od té doby je postupně rekonstruován. Dnes je hrad členěn na hlavní jádro a na předhradí s opevněním. Jádro tvoří věž, bašty, kaple a paláce. Předhradí je tvořeno vstupní bránou, přístavbami a špýcharem. Kolem předhradí je stále dochovaný vodní příkop. Terén okolo hradu byl z důvodu obrany ve středověku záměrně upraven tak, aby mohl být příkop regulovaně zaplavován. V minulosti byl vodní příkop i před vnitřními hradbami, ten se však nedochoval. [31]

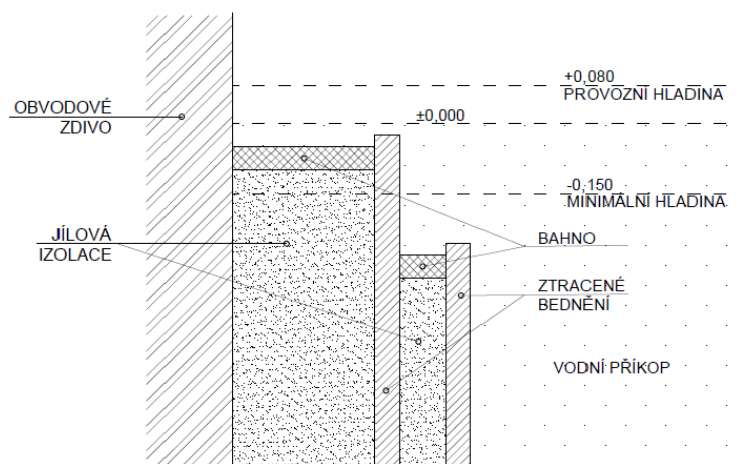
Popis konstrukcí: zdivo hradu je kamenné, částečně cihelné, základy kamenné, fasády jsou omítané, z velké části již opadané, okna a dveře jsou dřevěná, krov je dřevěný, střešní krytina je keramická tašková. Budova vnitřního hradu je nevytápěna, větrána, přístavba v předhradí je vytápěna, větrána.

5.1.3 Stavebně-historický průzkum

V minulosti byla na hradě provedena řada výzkumů, které zdokumentovaly jeho historický vývoj včetně založení a systému odvodnění. Průzkumy potvrdily gotickou přestavbu z 15. století, při které došlo k vybudování nového odvodňovacího systému dešťové vody. Časem a provedenými průzkumy byl však odvodňovací systém narušen a začalo docházet k hromadění dešťové vody uvnitř objektu. Vsakující se voda v objektu začala způsobovat značnou degradaci zdiva a statické potíže. [31]

Vodní příkop

Objekt byl založen na mocné vrstvě jílu, včetně jílových izolací u paty stěn, které bránily průsaku vody z přímo přiléhajícího vodního příkopu. Historicky byla pata stěny pod hladinou vody dostatečně izolována, časem byla jílová izolace odplavena a obvodové zdivo bylo v přímém kontaktu s vodou. Začalo docházet k průsaku vody do objektu a k nadměrnému namáhání zdiva. Tento problém byl řešen obnovou a rehabilitací jílové vrstvy v roce 1988-1989 - viz obr. 5.2. V rámci obnovy byla nová jílová vrstva provedena v tl. min 150 mm po celé délce zdi. Přesto, že jílová izolace je funkční, dříve poničená koruna zdiva způsobuje její degradaci. Dále k rozkladu napomáhá i kolísání hladiny vody v příkopu, kdy dochází k odplavování a odmrzáení jílové vrstvy. [31]



Obr. 5.2: hrad Švihov, jílová izolace při patě obvodové stěny, převzato z [31]

Odvodňovací systém ze 13. století

Dešťová voda z vnitřního nádvoří a parkánů byla pravděpodobně svedena samospádem do sklepa. Dle speleologického průzkumu se přitékající voda ve sklepech volně vsakovala. Tento fakt je však nepravděpodobný, jelikož vsakování vody dnes způsobuje značné statické a degradační problémy. Proto je možné, že voda byla vyvedena do vodního příkopu před vnitřními hradbami. Není však známo jakým způsobem skutečně bylo odvodnění provedeno. [31]



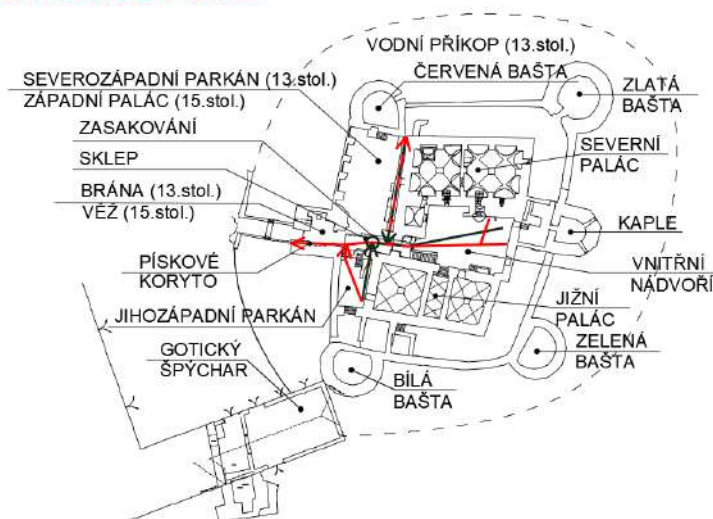
Odvod vody po gotické přestavbě v 15. století

Při přestavbě byla provedena rekonstrukce paláců, přistaven západní palác, vstupní hranolová věž a vnitřní a část vnějšího opevnění.

Dále byl nově proveden systém odvodnění. Odvod dešťové vody z vnitřního nádvoří byl pouze rekonstruován. Došlo k přeskládání podlahy a vytvoření žlábků - viz obr. 5.3, který odváděl vodu do sklepa pod spojovací křídlo. Do tohoto místa byla svedena voda i z JZ parkánu. Voda dále pokračovala do suterénu věže, kde přes pískovcové koryto voda odtékala do příkopu před hradem. SZ parkán byl zastavěn novým západním palácem, vznikla tak úzká soutka v místě staršího zděného kanálku mezi dvěma paláci. Původní kanál byl při vstupu do sklepa zazděn a celý prostor byl zasypan, navýšen a vyspádován na sever parkánu. Informace ohledně jímky v rohu JZ parkánu jsou nejasné. Průzkumy se v informacích o realizaci a zasypaní jímky rozcházejí. [31]

SCHÉMA ODVODNĚNÍ ZE 13.století

SCHÉMA ODVODNĚNÍ Z 15.století



Obr. 5.3: hrad Švihov, schéma odvodnění z 15. a 13. století, převzato z [31]

Narušení odvodu dešťové vody po gotické přestavbě [31]

- Prvním problémem bylo zasypaní suterénu věže a ucpání pískovcového koryta pro odtok vody z vnitřního nádvoří a JZ parkánu. Ucpání odtoku ve věži způsobilo hromadění přivedené vody u paty stěny.
- V letech 1991-1993 byla objevena gotická podlaha tvořena hrubým štípaným kamenem, uloženým do jílového lůžka. Jíl zabraňuje prosakování vody do podložních vrstev a vsakování vody do sklepních prostor. Původní podlaha se nacházela 60 cm pod navázkou na vnitřním nádvoří. Navážka způsobovala vlhnutí okolních konstrukcí a jejich následnou degradaci, proto byla po nálezu odtěžena.



- Výzkum v letech 1992 odkryl části obou dřív. systémů odvodnění v parkánech.
- V roce 1994 byla ve sklepě pod korytem provedena sonda v dlažbě, která nebyla zpět vydlážděna, ale jen zasypána. V místě sondy dochází k vsakování vody a následnému vzlínání vlhkosti do okolních konstrukcí.
- Další nezasypané sondy z roku 2010-2011 v místě SZ parkánu odkryly původní systém odvodnění, voda je tudíž odváděna do nefunkčních svodů, do jímky a do sklepa pod spojovacím křídlem, čímž opět podporuje vsakování vody a její vzlínání do okolních konstrukcí.

Závěr

Neobnovené dlažby v místě sond narušují odvod vody a přispívají ke zvýšené vlhkosti v objektu. Je vhodné obnovit dlažbu a na základě podrobného průzkumu zjistit možnosti rehabilitace původního systému odvodnění.

Fotodokumentace



Obr. 5.4: hrad Švihov, odvodňovací žlab v podlaze vnitřního nádvoří



Obr. 5.5: hrad Švihov, pohled na gotickou valounovou dlažbu vnitřního nádvoří hradu



Obr. 5.6: hrad Švihov, pohled na vstup do sklepa pod spojovacím křídlem, patrný odvod vody z vnitřního nádvoří



Obr. 5.7: hrad Švihov, pohled na jímku v rohu JZ parkánu



Obr. 5.8: hrad Švihov, omítka narušená vysokou vlhkostí ve sklepe pod jižním palácem



Obr. 5.9: hrad Švihov, vodní příkop izolovaný vrstvou jílu

5.2 Zámek Kozel



Obr. 5.10: zámek Kozel - pohled, převzato z [32]

5.2.1 Situace

Zámek se nachází ve výšce 374 m n. m. na rovinném terénu. Geologické podloží je zpevněný sediment (droby, prachovec a břidlice) [30]. Na jihu od objektu je svah, pod kterým teče řeka Úslava.

5.2.2 Popis objektu

Zámek Kozel je klasicistní lovecký zámek postavený na konci 18. století. Jedná se o částečně podsklepenou jednopodlažní budovu ve tvaru obdélníku s vnitřním nádvořím. Zámek je ve správě NPÚ. Je zpřístupněn a je zajímavý zejména dobovou atmosférou bydlení na loveckých zámcích šlechty na přelomu 18.-19. století.

Při patě obvodové stěny jsou odvětrávací příkopy, které brání pronikání vlhkosti z boku do základů - viz obr. 5.11. Z jižní stany objektu přilehá dlážděné nádvoří. Na dvoře objektu je kamenná dlažba, nad kterou je 3 cm mezera bez omítky pro lepší odvětrávání vlhkosti a podzákladí.

Popis konstrukcí: zdivo zámku je smíšené, místy z plné pálené cihly, obklad soklu z kamenných desek, základy kamenné, fasády jsou omítané bez znatelného poškození, okna a dveře jsou dřevěná, krov je dřevěný, mansardový s vikýři, střešní krytina je z břidlice. Budova je vytápěna, pravidelně větrána.



Obr. 5.11: zámek Kozel, odvětrávací příkop při patě vnějšího obvodového zdiva

5.2.3 Skutečnosti zjištěné průzkumem

Stavebně-historický průzkum

Zámek byl postaven jako lovecké sídlo na sezónní pobyt hraběte Jana Vojtěcha Černína. Ochrana proti vzlínající vlhkosti byla navržena pomocí provětrávaných vzduchových mezer. Jednalo se o příčné a podélné vzduchové kanály pod podlahou, které byly doplněny nasávacími a výdechovými otvory.

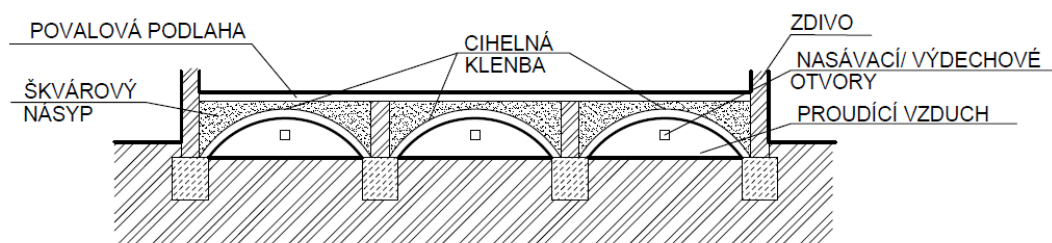


Obr. 5.12: zámek Kozel, pohled severní

Takto navržená ochrana účinně sloužila až do roku 1816, kdy hrabě Černín zemřel. Poté přešel zámek na jeho prasynovce (hrabě Kristian Vincent Valdštejn-Vartenberk), který začal využívat zámek nepřetržitě. Za pobytu hraběte na zámku

byly lehké dřevěné podlahy se vzduchovou mezerou vyměněny za podlahy polštářové. Dutina byla zasypána škvárou, nasávací a výdechové otvory byly ucpány - viz obr. 5.13. V historických pramenech není dochováno, proč se tomu tak stalo, ale můžeme předpokládat, že proudící vzduch příliš ochlazoval interiér a tyto změny byly provedeny pro úsporu na vytápění.

Důsledkem tohoto opatření bylo hromadění vlhkosti v dutině pod podlahou. Tím docházelo ke zvýšení vlhkosti vzduchu v interiérech a následné degradaci konstrukcí. Jednalo se především o biologické napadení dřevěných prvků hnilobou, dřevokaznými houbami, řasy, mechy a plísní. V roce 1982 došlo k závažnému problému, který dal podnět k rekonstrukci, v jedné místnosti zámku byly dřevěné konstrukce natolik napadené, že se podlaha zcela propadla.



Obr. 5.13: zámek Kozel, schéma řezu podlahou a odvětrávacím systémem

Rehabilitace odvětrávacího systému

V 90. letech 20. století proběhla rozsáhlá obnova (rekonstrukce) odvětrávacího systému zámku. Důvodem byla vysoká vlhkost v interiéru a trouchnivění dřevěných podlah.

Při průzkumu bylo zjištěno, že dřevěné konstrukce byly porušeny díky poškození původního větracího systému. Původní systém byl obnoven, což představovalo vytěžit škvárový zásyp, znovu otevřít větrací otvory a umožnit proudění vzduchu. Současně byly položeny nové podlahy a vyměněny napadené dřevěné konstrukce.

Rekonstrukce probíhala za plného provozu zámku v průběhu 3 let. Byla členěna do etap, aby nebyl omezen prováděcí okruh pro veřejnost. Došlo k vyvezení více jak 500 m^3 stavební suti, znovu se do fasády otevřelo kolem 83 otvorů, vzduchové kanály byly opraveny, případně znovu vyzděny (pomocí PZD desek), nově byly provedeny podlahy, dřevěné konstrukce byly vyměněny a natřeny biocidními přípravky. [33]

Z důvodu uložení mobiliárních fondů (předměty představující historické, kulturní a umělecké hodnoty), byly do dutin pod podlahu a nad podlahu instalována čidla, která slouží pro měření relativní vlhkosti a teploty vzduchu a pro případnou včasnou diagnostiku závad.

Závěr

Od roku 1985, kdy skončila rekonstrukce, nejsou na zámku patrné závažné problémy týkající se zvýšené vlhkosti. Otvory jsou otevřené, vzduch jimi proudí. V současné době je zdivo suché. Pouze ve sklepě jsou mírné známky vlhkostních map, jinde se symptomy zvýšení vlhkosti ani výkvěty solí nebo problémy dřevěných konstrukcí spojené s vlhkostí nevyskytují.

Fotodokumentace



Obr. 5.14: zámek Kozel — rehabilitace odvětrávacího systému, nasávací otvor, převzato z [34]



Obr. 5.15: zámek Kozel — rehabilitace odvětrávacího systému, průběh těžení škvárového záspy, převzato z [34]



Obr. 5.16: zámek Kozel — rehabilitace odvětrávacího systému, pohled na klenbu po vytěžení škvárového zásypu, převzato z [34]



Obr. 5.17: zámek Kozel — rehabilitace odvětrávacího systému, nově vyzděná konstrukce pro odvětrávací systém, převzato z [34]



Obr. 5.18: zámek Kozel — rehabilitace odvětrávacího systému, stopy po vlhkosti, mokré zdivo u paty, převzato z [34]



Obr. 5.19: zámek Kozel — rehabilitace odvětrávacího systému, pokládka nové podlahy, převzato z [34]



Obr. 5.20: zámek Kozel — stav 2019, nasávací a výdechové otvory

5.3 Klášter premonstrátek v Chotěšově



Obr. 5.21: klášter Chotěšov, převzato z [35]

5.3.1 Situace

Klášter Chotěšov se nachází ve svažitém terénu směrem na západ k řece Radbuze v 360 m n. m. Geologické podloží je zpevněný sediment, kaustobiolit (valounové pískovce, slepence, pískovce, prachovce, jílovce, uhelné sloje, brekcie, tufy a tufity) [30]. Okolní terén tvoří převážně náletová zeleň přiléhající k patě obvodové zdi, místy okapový chodníček tvoří betonové desky.

5.3.2 Popis objektu

Klášter je bývalý ženský klášter premonstrátek. Budova kláštera postavená na začátku 13. století je čtyřpodlažní, z toho dvě podlaží jsou umístěna ve svahu. Budova má čtyři křídla ve tvaru obdélníku s vnitřním nádvořím. V roce 2010 se stal klášter Chotěšov kulturní památkou ČR a je spravován Národním památkovým ústavem. Dnes je klášter využíván pro přednášky, expozice, svatby a koncerty.

Popis konstrukce: zdivo smíšené, místy vyplněno plnými pálenými cihlami, sokl je z části z kamenných desek, základy jsou kamenné, fasády omítané, okna i dveře jsou dřevěné vyměněné, krov je dřevěný, valbový, střešní krytina je po rekonstrukci ze skládaných tašek, klempířské prvky vyměněny.

5.3.3 Skutečnosti zjištěné průzkumem

Klášter byl na základě reformy Josefa II. v roce 1785 zrušen a od tohoto roku začal chátrat. V letech 1950-1973 jej obývala armáda, která objekt zcela zdevasto-



vala. Jednalo se především o zničení historického odvodňovacího a odvětrávacího systému, což způsobilo na objektech milionové škody, které armáda nikdy neuhradila. Následky poničených konstrukcí jsou na klášteře patrné dodnes a postupně se s vynaložením velkých finančních prostředků odstraňují. [36]

Historický odvodňovací a odvětrávací systém

Klášter umístěný ve svahu využívá systém podzemních štol. Skládá se z různých velkých a dlouhých štol s nasávacími otvory, množstvím spadišť, studen a prevetových komor (tj. komor, do kterých dříve padaly výkaly). Štoly provětrávaly a odváděly vodu i vlhkost, pomocí vzduchu přiváděného z vnějšího prostředí. Odvod prosakující dešťové vody, splaškové vody z prevetových komor a podzemní vody zajišťovala soustava štol ve spádu. Rozměr štol byl 30/30 cm až 80/190 cm, měly vypádované dno, někdy opatřené korýtky. Vyzděny byly z cihel a kamene. Nad prevetovými komorami byly štoly namáhány pouze prosakující a dešťovou vodou, mohly být proto vyzděny z méně odolného materiálu — pálených cihel. Splašky z prevetových komor ohrožovaly materiál štol více, a proto byly štoly vyzděny z kvalitní žuly. Je třeba poznamenat, že rozsáhlý systém štol vyzděných ze žuly představoval mimořádně vysoké finanční náklady, což ukazuje velkou důležitost, kterou tehdejší stavitelé celému systému přikládali. Na štoly byla napojena i dešťová kanalizace. Ta byla tvořena žlaby kolem objektu, do kterých byly vyústěny svody. Při velkých deštích byl systém kanalizačních štol propláchnut vodou z dešťové kanalizace. V případě sucha proplachovaly štoly rybníčky umístěné nad klášteřem, které schraňovaly vodu. [36]

Obývání kláštera armádou

Po příchodu armády byl historický odvětrávací a odvodňovací systém včetně žlabů pro odvod dešťové vody zavezen hlínou a odpadním materiálem. Přestalo docházet k odvětrání budovy, k odvodu podzemních a povrchových vod. Vlivem zanesení žlabů se dešťová voda začala shromažďovat a vsakovat v blízkosti základů. Důsledky se projeví zvýšenou vlhkostí v objektu, opadáváním vnější i vnitřní omítky, tvorbou výkvětu solí, praskáním cihel, tvorbou plísni a i statickými poruchami. [36]

Rekonstrukce štol a dešťové kanalizace

Od roku 2005 probíhá rehabilitace historického odvětrávacího a drenážního systému. Zasypané a poničené štoly, studny a spadiště se postupně čistí, opravují, popř. znovu vyzdívají. Dodnes nejsou všechny štoly identifikovány a průzkum systému stále probíhá.

Současně je prováděna rekonstrukce dešťové kanalizace, která bude odvádět vodu od objektu, aby nadále nedocházelo k jejímu vsakování u objektu. [36]

Fotodokumentace

(byla pořízena v období od března do května roku 2019, kdy jsem se zúčastnila průzkumu štol objektu kláštera v Chotěšově).



Obr. 5.22: klášter Chotěšov, štol vyzděná ze žuly, ve vrcholu klenby jsou partné průsaky vody tvořící krápníky



Obr. 5.23: klášter Chotěšov, pohled na částečně rekonstruovanou štolu



Obr. 5.24: klášter Chotěšov, vyspádané dno štoly



Obr. 5.25: klášter Chotěšov, pohled do žulové šachty



Obr. 5.26: klášter Chotěšov, opravená odvodňovací štola

Kapitola 6

Experimentální analýza vlhkostních parametrů kláštera v Chotěšově

Laboratorní analýza zdiva

V rámci průzkumu byly dne 25. 3. 2019 v prvním podzemním podlaží (podlaží umístěné ve svahu) odebrány vzorky stavebního materiálu ve třech výškových profilech pro zjištění vlhkosti a stupně zasolení. Vzorky byly neprodyšně zabaleny a dopraveny do laboratoře FSv.

Postup laboratorní analýzy

Laboratorní analýzy v laboratořích FSv ČVUT zahrnovaly:

- Stanovení hmotnostní vlhkosti stavebního materiálu [%]
- Stanovení obsahu solí (dusičnany, chloridy, sírany)
- Stanovení pH

6.1 Stanovení vlhkosti stavebního materiálu

Hodnoty vlhkosti zdiva byly stanoveny gravimetrickou metodou dle ČSN P 73 0610. Vzorek byl v laboratoři zvážen a následně při teplotě 105 °C vysušen do konstantní hmotnosti.



Laboratorní vyhodnocení hmotnostní vlhkosti materiálu bylo stanoveno dle [3]:

$$w_m = (m_v - m_s) / m_s * 100$$

w_m ...hmotnostní vlhkost materiálu [%]

m_v ...hmotnost materiálu ve vlhkém stavu [kg]

m_s ...hmotnost materiálu v suchém stavu [kg]

Vzorek č.	Hodnota vlhkosti [%]	Výška sondy nad podlahou [cm]	Materiál
1	7,5	20	omítka
2	4,3	20	kámen
3	4,1	50	kámen
4	5,2	50	omítka
5	8,2	20	cihla
6	8,4	50	cihla
7	7,6	20	omítka
8	5,1	20	omítka
9	6,3	20	omítka
10	2,2	70	kámen
11	4,9	70	omítka

Tab. 6.1: Hodnota vlhkosti odebraných vzorků

Stupeň vlhkosti	vlhkost zdiva v procentech
velmi nízká	$w < 3$
nízká	$3 \leq w < 5$
zvýšená	$5 \leq w < 7,5$
vysoká	$7,5 \leq w < 10$
velmi vysoká	$w > 10$

Tab. 6.2: Klasifikace vlhkosti dle ČSN P 73 610, převzato z [3]

Závěr

Zjištěné vlhkosti vzorků kamene (žula) v rozmezí 4,1-5,1 % odpovídají dle klasifikace ČSN mírné až zvýšené vlhkosti. Vzorky 5-7 (malta, cihly) vykazují zvýšenou až vysokou vlhkost. Z naměřených hodnot vlhkosti je patrné, že dochází k postupnému obnovení odvětrávacího systému. Vyčistění štol umožňuje proudění vzduchu a spodní stavba se stává opět funkční.



Obr. 6.1: stanovení obsahu solí, přístroj UV–VIS fotometru Spectroquant Pharo 300, vodný roztok

6.2 Stanovení salinity

Kvantitativní stanovení solí bylo provedeno z vodného výluhu (2,0 g analyzovaného materiálu na 100 ml destilované vody). Vodný výluh byl zahřán (100 °C, 10 minut), následující den přefiltrován.

Pomocí přístroje UV–VIS fotometru Spectroquant Pharo 300. Fotometricky byly stanoveny sírany, chloridy a dusičnany. [37]

1, metoda – Stanovení chloridů

Obsah chloridů byl stanoven dle metodiky EPA 325.1 a US Standard Methods navazující na ISO 8466-1 a DIN 38402 A51 a dle normy EN 14629. Chloridové ionty reagují s thiokyanátem rtuťnatým, přičemž vytvářejí mírně disociovaný chlorid rtuťnatý. Uvolněný thiokyanát reaguje s železitými ionty a vytváří červený thiokyanát železitý, který se stanovuje fotometricky.

2, metoda – Stanovení dusičnanů

Obsah dusičnanů se stanovil fotometrickou metodou podle ISO 8466-1 a DIN 38402 A51. V koncentrované kyselině sírové reagují ionty dusičnanů s derivátem kyseliny benzoové a vytvářejí červenou zbarvenou nitro sloučeninu, jejíž koncentrace se stanovuje fotometricky.

3, metoda – Stanovení síranů

Síranové ionty reagovaly s iontem barya z lehce rozpustného síranu barnatého. Výsledné zakalení bylo měřeno ve fotometru. [37]



Obr. 6.2: vzorek odebraný ze zdiva kláštera připravený pro stanovení síranů

Vzorek č.	Chloridy [mg/g]	Dusičnany [mg/g]	Sírany [mg/g]
1	0,55	5,85	47,00
4	0,31	6,32	43,00
5	0,35	7,01	36,00
6	0,40	6,56	45,00
7	0,29	8,03	49,00

Tab. 6.3: Hodnoty stupně zasolení

Stupeň zasolení zdiva	Chloridy [mg/g]	Dusičnany [mg/g]	Sírany [mg/g]
nízký	< 0,75	< 1,0	< 5,0
zvýšený	0,75 – 2,0	1,0 – 2,5	5 – 20,0
vysoký	2,0 – 5,0	2,5 – 5,0	20,0 – 50,0
velmi vysoký	> 5,0	> 5,0	> 50,0

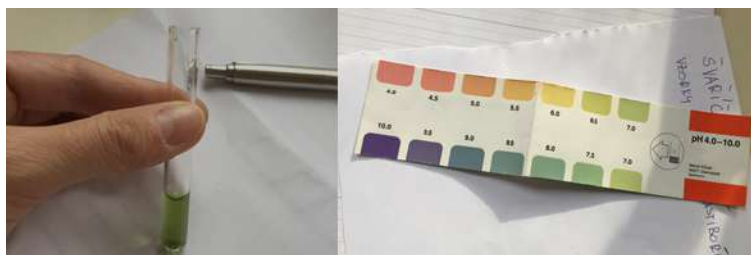
Tab. 6.4: Klasifikace stupně zasolení dle ČSN P 73 610, převzato z [3]

V obvodovém zdivu kláštera Chotěšov byly zjištěny následující hodnoty:

- Chloridy 0,29 - 0,55 [mg/g] nízký stupeň zasolení
- Dusičnany 5,85 - 8,03 [mg/g] velmi vysoký stupeň zasolení
- Sířany 36,00 - 49,00 [mg/g] vysoký stupeň zasolení

6.3 Stanovení pH

pH určuje kyselost či zásaditost prostředí. pH bylo stanoveno pomocí acido-bazických indikátorů. Roztok indikátoru byl přidán do zkoumaného roztoku, po protřepání bylo zbarvení roztoku porovnáno s barevnou stupnicí. pH vzorku bylo stanoveno 7,5, jedná se tedy o mírně zásaditý materiál.



Obr. 6.3: stanovení pH, zbarvený roztok po přidání indikátoru, pH stupnice

Závěr

Zjištěné hodnoty rozpustných solí ve zdivu korespondují s reálnou situací. Zdivo bylo v minulosti zatíženo především splaškovou vodou (spadiště, prevetové komory apod.). Tomu odpovídá velmi vysoký obsah dusičnanů. Vysoký stupeň zasolení sírany lze přisuzovat vztlínající vlhkosti z podzákladí.

Na základě stanovené chemické analýzy bude třeba:

- cihelné zdivo před rekonstrukcí nejprve odsolit, odstranit starou omítku do výšky 0,8 m nad hranici zvýšené vlhkosti
- v případě kamenného zdiva je nutné žulové bloky omýt
- provést vyčistění spár do 2-3 cm a odstranit zbytky solí z povrchu (pro očistění nikdy nepoužívat tlakovou vodu)
- dále případně opravit a dozdit poškozené části zdiva

Desalinace

V případě vysokého stupně zasolení, je třeba zdivo před aplikací odsolit. Doporučuje se postup opakovaného namočení zdiva a nanesení kompresní hmoty (omítky).

Zdivo určené k odsolení se zbaví omítky a namočí vodní mlhou, která musí být jemná, aby nestékala, ale aby se nasákla do podkladu (cihel a spár). Množství vody, které se do podkladu dostane, určuje i množství solí, které se jím může k povrchu vynést.

Na zdivo se nanese kompresní hmota např. Remmers, Sakret, KVK (omítka – lehká, pemzou plněná, pojená vápnem s hydraulickou příměsí nebo hmota na bázi buničiny, bentonitu, písku a přísad zpomalujících vysychání) v tloušťce 1-3 cm dle plošné hmotnosti a přídržnosti. Kompresní hmota přestane účinkovat, jakmile vyschne (cca po 10-30 dnech). Poté se odstraní kompresní vrstva, která je díky absorpci zaplněná solemi (omítku odvezeme — ponecháním tohoto odpadu v blízkosti stavby by se sůl mohla koloběhem vrátit do stavby). Celý proces opakujeme 2–3x dle stupně zasolení.

Pokud se na zdivu vyskytuje plíseň, ošetříme zdivo fungicidními přípravky.



Fotodokumentace



Obr. 6.4: klášter Chotěšov, opadaná vnitřní a vnější omítka vlivem vzlínající vlhkosti



Obr. 6.5: klášter Chotěšov, výkvěty solí na povrchu zdiva

Kapitola 7

Průzkum historického centra města Stříbra

Hornické město Stříbro, které leží 25 km západně od Plzně bylo založeno ve 13. století. Město je situováno ve svahu, historické centrum se nachází ve východní části nad protékající řekou Mží, která dělí město na dvě části. Historické centrum je ze 13. století, jedná se převážně o zděné domy z plně pálené cihly, které jsou bez vodorovné hydroizolace nebo jiných opatření na ochranu proti vlhkosti. Svody dešťové kanalizace jsou nově napojeny na veřejnou kanalizaci. Komunikace jsou dlážděné nebo asfaltové. [38]

Většina objektů vykazuje poruchy způsobené vztlínající vlhkostí, opadávání a odlupování vnější omítky, narušení soklového zdiva, výskyt vlhkostních map a výkvěty solí na obvodovém zdivu.

Terénní průzkum historického centra města

Terénní průzkum byl proveden v historické části města dne 17. 3. 2019 a zahrnoval:

- zmapování terénu a okolí staveb včetně informací z geologické mapy
- vizuální prohlídku budov, se zaměřením na poruchy nadzákladového zdiva staveb
- fotodokumentaci

Popis historické části města z hlediska vlhkosti

Na domech a památkách byly pozorovány vlhkostní mapy dosahující shodně 1-2 m nad terén, opadávání vnější omítky u nadzákladového zdiva a ojediněle se vyskytovala tvorba plísní.

Po vyhodnocení dostupných informací lze s určitou pravděpodobností konstatovat, že výše uvedené poruchy (vlhkostní mapy, opadávání omítky a tvorba plísní) jsou způsobeny zejména vysokou hladinou podzemní vody v celé lokalitě.



Současně jsou způsobené poruchy také:

- chybějící hydroizolaci spodní stavby
- odstříkem vody, zatékáním
- dřívější absencí napojení svodu na dešťovou kanalizaci

Dokumentace vybraných poruch staveb



Obr. 7.1: Budova č. p. 719. Vzlínající vlhkost způsobuje destrukci kabřincového obkladu, tvorbu solných výkvětů, vlhkostních map a opadávání omítky nad kabřincovým obkladem. Mapy a výkvěty dosahují díky nepropustnému obkladu až do výšky 2 m nad terén.



Obr. 7.2: Budova č. p. 267. Rozklad a opadávání vnější omítky v místech styku obvodové stěny a dlážděné cesty vlivem odstříkující a vzlínající vody.



Obr. 7.3: Budova č. p. 528. Vlivem odstříkující vody dochází k odlupování omítky nad kordonovou římsou. Destrukce zdiva v místě okapu a podokapového žlabu způsobuje zatékání. Vlhkostní mapy a výkvěty solí ve výšce 1,5 m na soklovém a nadsoklovém zdivu jsou způsobeny vzlínající vlhkostí.



Obr. 7.4: Budova č. p. 93. Vlivem odstříkující vody nad oplechováním kordonové římsy dochází k odlupování omítky. Degradace soklového zdiva, absence malty ve spárách a výkvěty solí je způsobeno vzlínající a odstříkující vodou.



Obr. 7.5: Kostel Všech Svatých. Odlupování relativně nové vnější omítky ve spodních částech objektu je způsobeno vzlínající vlhkostí. Poruchy jsou doprovázeny výskytem řas *Chlorella* v místech odstříkující vody nad oplechováním říms.



Obr. 7.6: Budova č. p. 53. Opadávání vnější omítky, degradace soklového zdiva, absence malty ve spárách způsobuje vzlínající vlhkost, odstříkující voda a zatékání od porušeného napojení okapového svodu do gajgru.



Obr. 7.7: Budova č. p. 55. Vzlínající vlhkost způsobuje destrukci a odpadávání vnější omítky na soklovém a nadsoklovém zdivu východní fasády.



Obr. 7.8: Budova č. p. 20, městské muzeum. Neřešená vzlínající vlhkost při rekonstrukci objektu způsobuje odlupování nové omítky nad kamenným soklem budovy.



Obr. 7.9: Budova č. p. 17. Odlupování nové vnější omítky na soklovém zdivu je způsobeno vzlínající vlhkostí a zejména odstříkující vodou.

Závěr

Rehabilitace historických staveb je v dnešní době velmi aktuální. V minulosti byly často prováděny nevhodné zásahy do historických objektů z neznalosti historických technologií a konstrukcí nebo aplikací nových, často neprověřených materiálů. V současné době by se na základě těchto zkušeností měly upřednostňovat zejména takové technologie, které jsou neinvazivní a vratné tak, aby případně nové a lepší technologie a materiály je mohly nahradit. V předložené práci jsou na základě terénního průzkumu hodnoceny provedené rekonstrukční zásahy na vybraných historických objektech – vodní hrad Švihov, zámek Kozel a klášter v Chotěšově.

V rámci experimentálního řešení dané problematiky byl proveden stavebně technický průzkum historického objektu s vysokou vlhkostí. V případové studii kláštera Chotěšov, kde probíhá rehabilitace historického odvodňovacího a odvětrávacího systému, je průzkum doplněn odběrem vzorků pro objektivní hodnocení vlhkostních parametrů zdiva. Vlhkostní a chemická analýza byla provedena v laboratoři FSv a její výsledky mohou sloužit jako důležitý podklad pro další rekonstrukční práce.



Obr. 7.10: klášter Chotěšov, prohlídka odvětrávacího a odvodňovacího systému

Literatura

- [1] *Sanace vlhkého zdiva*. [reklamní tiskovina]. SANAX GROUP s.r.o.[nedat.]. [cit.24.5.2019]
- [2] BALÍK, Michael a kolektiv. *Odvlhčování staveb 2., přepracované vydání*. Praha: Grada Publishing, a.s., 2008. ISBN 978-80-247-2693-9.
- [3] ČSN P 73 0610, *Hydroizolace staveb – Sanace vlhkého zdiva – Základní ustanovení*. Praha: Český normalizační institut, 2000.
- [4] BURGETOVÁ, Eva. *Metody sanace zdiva a jejich rizikové faktory* [přednáška]. [nedat.]. [cit.24.5.2019].
- [5] DOHNÁLEK, Jiří. *Beton a betonové stavby v průběhu století (1. část)*. In: stavba.tzb-info.cz [online]. 27.8.2017 [cit.23.4.2019]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/historicke-stavby/16171-beton-a-betonove-stavby-v-prubehu-stoleti>
- [6] SCARRE, Chris. *Sedmdesát divů světa*, Praha: Slovart, s.r.o., 2000. 978-80-7209-711-1.
- [7] ŠTEFEK, Zdeněk, Pavel ZEJDA a Václav KUPILÍK, *Spodní stavba historických budov*, Praha: Grada Publishing, a.s., 2016. 978-80-247-4846-7.
- [8] *The Best in Heritage*. In: presentations.thebestinheritage.com [online]. [cit. 24.5.2019]. Dostupné z: <http://presentations.thebestinheritage.com/2006/ATAT%20%20Continuum%20Group>
- [9] *Caracallový lázně milovali obchodníci i erotomani*. In: magazin.travelportal.cz [online]. [cit.24.5.2019]. Dostupné z: <https://magazin.travelportal.cz/2016/03/11/caracallov-y-lazne/>
- [10] *Mohenjo Daro site*. In: indiatoday.in [online]. 22.6.2016 [cit.24.5.2019]. Dostupné z: <https://www.indiatoday.in/education-today/gk-current-affairs/story/mohenjo-daro-in-reality-15650-2016-06-22>
- [11] *Sigiriya Srí Lanka*. In: horydoly.cz [online]. [cit. 24.5.2019]. Dostupné z: <https://www.horydoly.cz/cestovatele/pevnost-sigiriya-a-lvi-skala-nejdelsi-schody-sveta-pro-otrl.html?galerie=144307&image=61697&backId=144306>



- [12] *Borobudur*. In: *Wikipedie* [online]. Poslední aktualizace 11. srpna 2018 10:26 [cit.28.4.2019]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Borobudur>
- [13] HARIYADI, Mathias. In: *asianews.it* [online]. 21.8.2014 [cit.28.4.2019]. Dostupné z: <http://www.asianews.it/news-en/Borobudur,-Islamists-target-Indonesia%E2%80%99s-most-important-Buddhist-temple-31946.html>
- [14] BURGETOVÁ, Eva. *Borobudur* [fotografie].[nedat.].[cit.24.5.2019].
- [15] BURKINSHAW, Ralph, Mike PARRETT, *Diagnosing Damp*, UK, Coventry: RICS Books, 2004. ISBN 1842190975.
- [16] WITZANY, Jiří, *Obnova a rekonstrukce staveb. Poruchy, degradace, sanace*, Praha: ČVUT, 2018. 978-80-01-06360-6.
- [17] *Často kladené dotazy Iglú/Iglú+* In: www.gabex.cz [online]. [cit.24.5.2019]. Dostupné z: <https://www.gabex.cz/Casto-kladene-dotazy-Iglu/Iglu-plus.html>
- [18] *Ztracené bednění IGLU ® tvar H25 tvarovka 50 x 50 x 25 cm*. In: virtualtrade.cz [online]. [cit.24.5.2019] Dostupné z: <https://www.virtualtrade.cz/14512-ztracene-bedneni-iglu-r-tvar-h25-tvarovka-50-x-50-x-25-cm.html>
- [19] *Sklepy suché a izolované* [reklamní tiskovina]. Remmers s.r.o.[nedat.].[cit.24.5.2019].
- [20] *Technologie chemické injektáže*. In: www.stado.cz [online]. [cit.24.5.2019]. Dostupné z: <http://www.stado.cz/sanace-vlhkeho-zdiva-chemicka-injektaz>
- [21] *Vlhkost a zasolení 17*. In: [omniumos.cz](http://www.omniumos.cz) [online]. [cit.24.5.2019]. Dostupné z: <https://www.omniumos.cz/documents/PS-vlhkost-a-zasoleni-17-c2.pdf>
- [22] *Sanace vlhkosti zdiva III: Metoda chemické injektáže zdiva*. In: vyrobkyprostavbu.cz [online]. [cit.24.5.2019]. Dostupné z: <https://www.vyrobkyprostavbu.cz/sanace-vlhkosti-zdiva-iii-metoda-chemicke-injektaze-zdiva/>
- [23] *Elektroosmóza*. In: dryband.cz [online]. [cit.24.5.2019]. Dostupné z: <https://www.dryband.cz/elektroosmoza.php>
- [24] *Vysoušení zdiva elektroosmózou - přístroj DryPol system*. In: pujcovna-stavebni-leseni.cz[online]. [cit.24.5.2019] Dostupné z: <https://www.pujcovna-stavebni-leseni.cz/produkty/vysouseni-zdiva-elektroosmozou-pristroj-drypol-system>
- [25] *Možnosti využití pálených jílu ve vápenných maltách*. In: stavba.tzb-info.cz[online]. [cit.24.5.2019] Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/beton-malty-omitky/9554-moznosti-vyuziti-palenyh-jilu-ve-vapennyh-maltach>



- [26] *tubag-trass*. In: *zachranapamatek.cz*. [online]. [cit.24.5.2019] Dostupné z: <https://www.zachranapamatek.cz/cs/tubag-trass>
- [27] *Historické omítky s vápennými hrudkami*. In: *stavebnictvi3000.cz* [online]. [cit.24.5.2019]. Dostupné z: <https://www.stavebnictvi3000.cz/clanky/remmers-omitky-s-vapennymi-hrudkami>
- [28] *Co je románský cement?*. In: *vicat.cz*. [online]. [cit.24.5.2019] Dostupné z: <http://www.vicat.cz/product.html>
- [29] *Hrad Švihov*. In: *zemefilmu.cz* [online]. [cit.24.5.2019]. Dostupné z: <http://www.zemefilmu.cz/en/film-locations/462-svihov-castle/>
- [30] *Geovědní mapy*. In: *Geovědní mapy* [online] [cit.15.4.2019]. Dostupné z: <https://mapy.geology.cz/geocr50/?center=-814600%2C-1079000%2C102067&level=8>
- [31] ŠIROKÝ, Radek, Martin SWATZINA. *Průzkum historického odvodňovacího systému vnitřního hradu* [projekt]. Plzeň: ZIP o.p.s., 2016.
- [32] KOUBA, Jan. *Kozel*. In: *fotokouba.cz* [online]. 2010 [cit.24.5.2019]. Dostupné z: <http://www.fotokouba.cz/fotoalbum/ceska-republika—letecke-fotografie—airial-photography/ceska-republika—letecky-6/koz-el-02.jpg.html>
- [33] BOBEK, Karel [osobní sdělení], Šťáhlavy: zámek Kozel, 3. 4. 2019
- [34] POLÍVKA, Jan. Zámek Kozel - rehabilitace odvětrávacího systému [fotografie - osobní předání]. Šťáhlavy: zámek Kozel, 3. 4. 2019
- [35] *Klášter Chotěšov dostane 80 milionů, na obnovu by byla potřeba miliarda*. In: *blesk.cz* [online]. 23.5.2017 [cit.24.5.2019]. Dostupné z: <https://www.blesk.cz/clanek/regiony-plzen/470778/klaster-chotesov-dostane-80-milionu-na-obnovu-by-byla-potreba-miliarda.html>
- [36] *Spolek Klášter Chotěšov*. In: *klasterchotesov.eu* [online]. [cit.24.5.2019]. Dostupné z: <http://www.klasterchotesov.eu/>
- [37] *Příklady experimentálních postupů prováděných v chemické a mikrobiologické laboratoři*. In: *kps.fsv.cvut.cz* [online]. [cit. 24.5.2019]. Dostupné z: <http://kps.fsv.cvut.cz/index.php?lmut=cz&part=vyzkum&sub=53>
- [38] *Historie města Stříbra*. In: *stribro.cz*. [online]. [cit.24.5.2019]. Dostupné z: <http://www.stribro.cz/historie-mesta-stribra.php>

Seznam obrázků

2.1	Visuté zahrady v Babylónu, převzato z [6]	7
2.2	Přístav v Caesareji, převzato z [8]	8
2.3	Caracallový lázně, převzato z [9]	9
2.4	Velká lázeň v Mohenjo-daru, převzato z [10]	10
2.5	Palác a libosad v Sígiriji, převzato z [11]	11
2.6	Buddhistická svatyně v Borobuduru, převzato z [13]	12
2.7	Borobudur, dodatečně vložená hydroizolace, převzato z [14]	12
2.8	Borobudur, detail napojení hydroizolace, převzato z [14]	12
3.1	degradace omítky v důsledku chybějící části svodu, převzato z [14]	15
3.2	degradace zdiva v důsledku odšťikující vody, převzato z [14]	15
3.3	nopová fólie není ukončena, stékající voda se vsakuje do zdiva	16
3.4	destrukce římsy vlivem chybějícího nebo poničeného okapního žlabu, špatné oplechování	16
3.5	podlahový odvětrávací systém, ztracené bednění IGLU, převzato z [18]	18
3.6	Vzdušník, realizace pomocí tvarovek ztraceného bednění	19
3.7	připravený otvor pro napojení odtahového kanálu	19
3.8	Vzdušník zakrytý betonovými tvarovkami, odtahový kanál (falešný okap)	20
3.9	beztlaková injektáž (infuze), převzato z [19]	22
3.10	tlaková injektáž, převzato z [19]	22
3.11	rubová injektáž, převzato z [19]	23
3.12	principy injektáže: (a) hydrofobizace kapilár, (b) zužení kapilár, (c) kombinace účinků, převzato z [20]	23
3.13	aktivní elektroosmóza, příprava drážky pro elektrody, převzato z [23]	25
3.14	bezkontaktní elektroosmóza, vysoušení zdiva - přístroj DryPol system, převzato z [24]	26
4.1	vrstvy sanační omítky, převzato z [1]	28
4.2	běžná omítka odpadáá díky krystalizaci soli na povrchu zdiva, převzato z [1]	28
4.3	sanační omítka umožňuje usazování krystalů solí v pórech, převzato z [1]	28



5.1	vodní hrad Švihov, převzato z [29]	32
5.2	hrad Švihov, jílová izolace při patě obvodové stěny, převzato z [31]	33
5.3	hrad Švihov, schéma odvodnění z 15. a 13. století, převzato z [31]	34
5.4	hrad Švihov, odvodňovací žlab v podlaze vnitřního nádvoří	35
5.5	hrad Švihov, pohled na gotickou valounovou dlažbu vnitřního nádvoří hradu	36
5.6	hrad Švihov, pohled na vstup do sklepa pod spojovacím křídlem, pa- trný odvod vody z vnitřního nádvoří	36
5.7	hrad Švihov, pohled na jímku v rohu JZ parkánu	36
5.8	hrad Švihov, omítka narušená vysokou vlhkostí ve sklepě pod jižním palácem	37
5.9	hrad Švihov, vodní příkop izolovaný vrstvou jílu	37
5.10	zámek Kozel - pohled, převzato z [32]	38
5.11	zámek Kozel, odvětrávací příkop při patě vnějšího obvodového zdiva	39
5.12	zámek Kozel, pohled severní	39
5.13	zámek Kozel, schéma řezu podlahou a odvětrávacím systémem	40
5.14	zámek Kozel — rehabilitace odvětrávacího systému, nasávací otvor, převzato z [34]	41
5.15	zámek Kozel — rehabilitace odvětrávacího systému, průběh těžení škvárového zásypu, převzato z [34]	41
5.16	zámek Kozel — rehabilitace odvětrávacího systému, pohled na klenbu po vytěžení škvárového zásypu, převzato z [34]	42
5.17	zámek Kozel — rehabilitace odvětrávacího systému, nově vyzděná konstrukce pro odvětrávací systém, převzato z [34]	42
5.18	zámek Kozel — rehabilitace odvětrávacího systému, stopy po vlh- kosti, mokré zdivo u paty, převzato z [34]	42
5.19	zámek Kozel — rehabilitace odvětrávacího systému, pokládka nové podlahy, převzato z [34]	43
5.20	zámek Kozel — stav 2019, nasávací a výdechové otvory	43
5.21	klášter Chotěšov, převzato z [35]	44
5.22	klášter Chotěšov, štola vyzděná ze žuly, ve vrcholu klenby jsou partné průsaky vody tvořící krápníky	46
5.23	klášter Chotěšov, pohled na částečně rekonstruovanou štolu	46
5.24	klášter Chotěšov, vyspádané dno štoly	47
5.25	klášter Chotěšov, pohled do žulové šachty	47
5.26	klášter Chotěšov, opravená odvodňovací štola	47
6.1	stanovení obsahu solí, přístroj UV–VIS fotometru Spectroquant Pharo 300, vodný roztok	50
6.2	vzorek odebraný ze zdiva kláštera připravený pro stanovení síranů	51
6.3	stanovení pH, zbarvený roztok po přidání indikátoru, pH stupnice	52
6.4	klášter Chotěšov, opadaná vnitřní a vnější omítka vlivem vztlínající vlhkosti	53



6.5	klášter Chotěšov, výkvěty solí na povrchu zdiva	53
7.1	Budova č. p. 719. Vzlínající vlhkost způsobuje destrukci kabřincového obkladu, tvorbu solných výkvětů, vlhkostních map a opadávání omítky nad kabřincovým obkladem. Mapy a výkvěty dosahují díky nepropustnému obkladu až do výšky 2 m nad terén.	55
7.2	Budova č. p. 267. Rozklad a opadávání vnější omítky v místech styku obvodové stěny a dlážděné cesty vlivem odstříkující a vzlínající vody.	56
7.3	Budova č. p. 528. Vlivem odstříkující vody dochází k odlupování omítky nad kordonovou římsou. Destrukce zdiva v místě okapu a podokapového žlabu způsobuje zatékání. Vlhkostní mapy a výkvěty solí ve výšce 1,5 m na soklovém a nadsoklovém zdivu jsou způsobeny vzlínající vlhkostí.	56
7.4	Budova č. p. 93. Vlivem odstříkující vody nad oplechováním kordonové římsy dochází k odlupování omítky. Degradace soklového zdiva, absence malty ve spárách a výkvěty solí je způsobeno vzlínající a odstříkující vodou.	57
7.5	Kostel Všech Svatých. Odlupování relativně nové vnější omítky ve spodních částech objektu je způsobeno vzlínající vlhkostí. Poruchy jsou doprovázeny výskytem řas Chlorella v místech odstříkující vody nad oplechováním říms.	57
7.6	Budova č. p. 53. Opadávání vnější omítky, degradace soklového zdiva, absence malty ve spárách způsobuje vzlínající vlhkost, odstříkující voda a zatékání od porušeného napojení okapového svodu do gajgru.	58
7.7	Budova č. p. 55. Vzlínající vlhkost způsobuje destrukci a odpadávání vnější omítky na soklovém a nadsoklovém zdivu východní fasády.	58
7.8	Budova č. p. 20, městské muzeum. Neřešená vzlínající vlhkost při rekonstrukci objektu způsobuje odlupování nové omítky nad kamenným soklem budovy.	59
7.9	Budova č. p. 17. Odlupování nové vnější omítky na soklovém zdivu je způsobeno vzlínající vlhkostí a zejména odstříkující vodou.	59
7.10	klášter Chotěšov, prohlídka odvětrávacího a odvodňovacího systému	60

Seznam tabulek

3.1	Klasifikace vlhkosti dle ČSN P 73 610, převzato z [3]	14
3.2	Klasifikace stupně zasolení dle ČSN P 73 610, převzato z [3]	14
6.1	Hodnota vlhkosti odebraných vzorků	49
6.2	Klasifikace vlhkosti dle ČSN P 73 610, převzato z [3]	49
6.3	Hodnoty stupně zasolení	51
6.4	Klasifikace stupně zasolení dle ČSN P 73 610, převzato z [3]	51