

**ČESKÉ VYSOKÉ  
UČENÍ TECHNICKÉ  
V PRAZE  
FAKULTA STAVEBNÍ  
KATEDRA TECHNOLOGIE  
STAVEB**



**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE  
PROBLEMATIKA SANACE VLHKOSTI  
A SALINITY ZDIVA PROJEKTU  
NKP klášter Plasy – Staré opatství  
2022  
LADISLAV HEŘMÁNEK  
VEDOUCÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE:  
ING. KAREL POLÁK, PH.D.**

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem předkládanou bakalářskou práci vypracoval samostatně pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu citované literatury.

V Praze dne .....

.....

**Ladislav Heřmánek**

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

### I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Heřmánek	Jméno: Ladislav	Osobní číslo: 486025
Zadávací katedra: K122 - Katedra technologie staveb		
Studijní program: Stavební inženýrství		
Studijní obor: Příprava, realizace a provoz staveb		

### II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce: Problematika sanace vlhkosti a salinity zdiva projektu NKP klášter Plasy - Staré opatství	
Název bakalářské práce anglicky: Issues of moisture remediation and salinity of the brickwork in the project NKP klášter Plasy - Staré opatství	
Pokyny pro vypracování: Teoretická část: Problematika vlhkosti a salinity zdiva Problematika památkově chráněných objektů a jejich rekonstrukcí Informace o sanacích a salinitě. Metody řešení a technologické postupy s přihlédnutím na historickou hodnotu konstrukcí příp. památkovou ochranu Praktická část Seznámení s projektem - NKP klášter v Plasích - objekt Starého opatství Technologické posouzení návrhu postupu sanace dle PD a při vlastním provádění Vyhodnocení výsledného řešení	
Seznam doporučené literatury: SOLAŘ, Jaroslav. Odstraňování vlhkosti: sanace vlhkého zdiva [online]. 1. elektronické vydání. Grada, 2013 [cit. 2022-02-16]. Dostupné z: < <a href="https://www.bookport.cz/kniha/odstranovani-vlhkosti-2273">https://www.bookport.cz/kniha/odstranovani-vlhkosti-2273</a> >. ISBN 978-80-247-8606-3. BALÍK, Michael. Vlhkost v domě: odstraňování a prevence. První vydání. Praha: Grada Publishing, 2020. 91 stran. ISBN 978-80-271-2892-1. KUTNAR, Zdeněk. Sanace vlhkého zdiva budov. 1. vyd. Praha: Dům techniky, 1988. 139 s. Studijní texty.	
Jméno vedoucího bakalářské práce: Ing. Karel Polák, Ph.D.	
Datum zadání bakalářské práce: 15.2.2022	Termín odevzdání BP v IS KOS: 15.5.2022 <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)

## **Poděkování**

Chtěl bych poděkovat panu Ing. Karlu Polákovi Ph.D. za odborné vedení mé bakalářské práce, za cenné rady a připomínky, které mi byly při vypracování sděleny. Dále bych chtěl poděkovat panu Ing. Jiřímu Martínkovi za provedení a představení areálu kláštera Plasy.

## Obsah

1. Úvod .....	10
2. Cíl.....	11
3. Vlhkost .....	12
3.1. Veličiny a vztahy vlhkosti.....	12
4. Zdroje vlhkosti .....	14
5. Průzkumy vlhkosti .....	19
5.1. Vlhkostní průzkum.....	19
5.1.1. Gravimetrická metoda .....	20
5.1.2. Kapacitní metoda.....	21
5.1.3. Odporová metoda.....	23
5.1.4. Termografická metoda .....	23
5.1.5. Karbidová metoda .....	24
5.1.6. Mikrovlnná metoda.....	25
6. Soli .....	26
6.1. Zdroje solí.....	26
6.1.1. Soli ve stavebních materiálech.....	26
6.1.2. Soli z okolí .....	27
6.1.3. Soli vzniklé chemickou korozí materiálů .....	28
6.1.4. Soli z biologických zdrojů .....	28
6.1.5. Soli ze sanačních prostředků .....	28
6.2. Destruktivní vliv solí .....	28
6.2.1. Hydratace solí .....	29
6.2.2. Hygroskopická nasákavost.....	29
6.2.3. Krystalizace solí .....	30
6.3. Klasifikace salinity .....	31
7. Sanace vlhkého zdiva.....	32
7.1. Metody přímé .....	32
7.1.1. Mechanické metody .....	33
7.1.1.1. Probourávání zdiva .....	33
7.1.1.2. Ruční podřezání zdiva .....	34
7.1.1.3. Strojní podřezávání zdiva .....	35
7.1.1.3.1. Podřezání zdiva řetězovou pilou.....	35
7.1.1.3.2. Podřezání zdiva lanovou pilou.....	36
7.1.1.3.3. Podřezání zdiva kotoučovou pilou .....	37

7.1.1.4.	Zarážení izolačních plechů.....	37
7.1.2.	Chemické metody .....	38
7.1.2.1.	Základní metody aplikace injektážních prostředků.....	40
7.1.2.1.1.	Beztlaková injektáž .....	40
7.1.2.1.2.	Tlaková injektáž.....	41
7.1.2.2.	Zvláštní injektáže .....	41
7.1.2.2.1.	Termicky aktivované injektáže .....	41
7.1.2.2.2.	Metoda následné infuze .....	42
7.1.2.2.3.	Rubová injektáž .....	42
7.1.3.	Elektroosmotické metody .....	43
7.1.3.1.	Aktivní elektroosmóza .....	44
7.1.3.2.	Bezdrátová elektroosmóza .....	45
7.1.4.	Vzduchové izolační metody .....	45
7.1.4.1.	Vzduchové dutiny .....	45
7.1.4.2.	Ostatní vzduchové systémy .....	46
7.2.	Metody nepřímé .....	47
7.2.1.	Drenážní systém.....	48
7.2.2.	Terénní úpravy .....	48
7.3.	Metody doplňkové přímé.....	48
7.3.1.	Hydroizolační prostředky.....	48
7.3.2.	Vnější nátěry, nástřiky a těsnění spár .....	49
7.4.	Metody doplňkové nepřímé .....	49
7.4.1.	Sanační omítky .....	49
7.4.2.	Obětované omítky .....	49
8.	Památková ochrana.....	51
8.1.	Vývoj ochrany na území ČR.....	51
8.2.	Zajištění ochrany památek v České republice .....	52
8.3.	Sanace chráněných budov .....	53
9.	Praktická část.....	54
9.1.	Historie Plasů.....	54
9.2.	Řešený objekt .....	56
9.3.	Stavebně technický průzkum .....	59
9.4.	Stavebně technický průzkum z hlediska vlhkostní problematiky.....	61
10.	Navrhované řešení dle projektu.....	63

<b>11.</b>	<b>Provedené řešení .....</b>	<b>64</b>
<b>11.1.</b>	<b>Sanační metody .....</b>	<b>65</b>
<b>11.1.1.</b>	<b>Obětované omítky .....</b>	<b>65</b>
<b>11.1.2.</b>	<b>Propařování zdiva .....</b>	<b>67</b>
<b>11.1.3.</b>	<b>Úprava terénu .....</b>	<b>67</b>
<b>11.1.4.</b>	<b>Výměna střešní konstrukce .....</b>	<b>68</b>
<b>12.</b>	<b>Posouzení obětovaných omítek a propařování zdiva .....</b>	<b>70</b>
<b>13.</b>	<b>Závěr.....</b>	<b>73</b>
	<b>Zdroje a použitá literatura .....</b>	<b>75</b>
	<b>Použitá literatura .....</b>	<b>75</b>
	<b>Seznam obrázků.....</b>	<b>80</b>
	<b>Seznam tabulek.....</b>	<b>82</b>

## **Anotace**

Bakalářská práce se věnuje problematice sanace vlhkosti a salinity zdiva. Zabývá se postupně jak příčinami, tak řešením těchto problémů za pomoci různých sanačních metod, které podrobně popisuje. Dále se práce věnuje ochraně památek na našem území a způsobům, jakými by se mělo postupovat při jejich rekonstrukci a následně řeší konkrétní sanaci vlhkosti a salinity u objektu Starého opatství.

### **Klíčová slova**

sanace, vlhkost, salinita, zdivo, památková ochrana



## **Abstract**

The bachelor's thesis deals with the subject of rehabilitation of moisture and salinity of masonry. It gradually describes both the causes and the solutions of these problems with the help of various rehabilitation methods, which it follows up in detail. Furthermore, the work deals with the protection of monuments in our territory and the ways in which they should proceed in their reconstruction and then addresses the specific rehabilitation of humidity and salinity in the building of Old Abbey.

## **Keywords**

rehabilitation, humidity, salinity, masonry, monument protection

## 1. Úvod

Pro svou bakalářskou práci jsem si vybral téma problematiky sanace vlhkosti a salinity zdiva u projektu NKP kláštera Plasy - Staré opatství. K tématu jsem se dostal přes firmu, ve které pracuji a která je hlavním zhotovitelem stavební části projektu - Obnovy opatské rezidence. Téma týkající se sanací vlhkosti a salinity zdiva bylo, je a bude stále aktuální ve stavařině, proto mi přišel výběr tohoto tématu zajímavý a obohacující. Zde je problematika o to zajímavější, že zkoumaný objekt Starého opatství je na seznamu národních kulturních památek. Na začátku se bakalářská práce zabývá problematikou vlhkosti. Řeší, jak se vlhkost může do objektu dostat, jaké máme možnosti při jejím určování, co způsobuje a jak s ní souvisí salinita. Následně se věnuje sanačním řešením, která podrobně popisuje a jelikož je řešený objekt národní kulturní památkou, zabývá se tato práce i stručným vývojem ochrany památek na našem území a přístupy, jakými by se mělo postupovat při obnově těchto památek. Následuje představení kláštera a objektu opatství, u kterého je řešena problematika sanace vlhkosti a salinity.

## **2. Cíl**

**Cílem této práce je nastudovat a popsat problematiku sanace vlhkosti a salinity zdiva, zjištění možných řešení této problematiky a podmínek, při kterých je možné různé metody realizovat. Pojednat o úskalích spojených s rekonstrukcemi historických památek a následně aplikovat a vyhodnotit řešení na zkoumaném objektu.**

### 3. Vlhkost

Abychom se mohli zabývat sanací a salinitou vlhkého zdiva, je důležité si nejdříve říct něco o vlhkosti, která je spolu s objemovou hmotností, pórovitostí, zrnitostí a hustotou považována za jednu ze základních fyzikálních vlastností stavebních hmot. Vlhkostí je nutné se zabývat, protože nám ovlivňuje další vlastnosti stavebních materiálů, a to především jejich objemovou hmotnost, měrnou tepelnou kapacitu, měrnou tepelnou vodivost, mrazuvzdornost, pevnost a pružnost. Zvýšená vlhkost a s ní související jevy (např. salinita) nám ve stavebnictví zapříčiňují poruchy konstrukcí a ovlivňují tak životnost a provozuschopnost daných objektů. [1] [2]

#### 3.1. Veličiny a vztahy vlhkosti

*„Vlhkost materiálu je množství vody obsažené v pórovitém prostředí látky. Jedná se o vodu fyzikálně vázanou, a to v jakémkoliv skupenství (pevném, kapalném či plynném). Určité množství vody obsahuje za daných atmosférických podmínek každá pevná pórovitá látka. Jedná se o tzv. rovnovážnou (sorpční) vlhkost.“ [3]*

Dle ČSN 73 0540 - 1 rozlišujeme vlhkost hmotnostní a objemovou.

Hmotnostní vlhkost  $w_m$ :

Nám udává obsah volné vlhkosti obsažené v materiálu/výrobku v procentech v suchém stavu. [4]

$$w_m = \frac{m_{voda}}{m_s} = \frac{m_v - m_s}{m_s} 100 [\%]$$

Kde:  $m_{voda}$  [kg]                      hmotnost vody obsažená v materiálu

$m_v$  [kg]                                hmotnost vlhkého materiálu

$m_s$  [kg]                                hmotnost suchého materiálu

### Objemová vlhkost $w_v$ :

Udává objem volné vlhkosti v materiálu/výrobku v procentech objemu materiálu. [4]

Objemová vlhkost se vypočte na základě hmotnostní vlhkosti ze vztahu:

$$w_v = \frac{V_{voda}}{V} = \frac{w_m \rho_s}{\rho_{voda}} = \frac{w_m \rho_s}{1000} 100 [\%]$$

Kde:  $V_{voda}$  [ $m^3$ ]                      objem vody obsažené v materiálu

$V$  [ $m^3$ ]                                celkový objem materiálu

$w_m$  [%]                                hmotnostní vlhkost materiálu

$\rho_s$  [ $kg\ m^{-3}$ ]                      hustota vody ( $1000\ kg\ m^{-3}$ )

### Rovnovážná (sorpční) vlhkost:

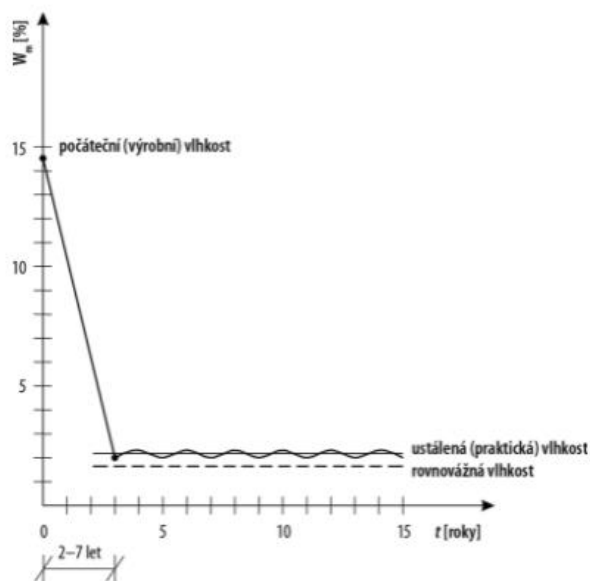
je maximální vlhkost materiálu na vzduchu za konkrétní teploty, vlhkosti a barometrického tlaku. Je to hodnota vlhkosti materiálu, která se v čase nemění. Pokud dochází ke zvyšující se relativní vlhkosti vzduchu za konstantní teploty, tak materiál přijímá vodní páru ze vzduchu a dochází tak k jevu, který nazýváme sorpce. V důsledku tohoto jevu dochází ke zvyšování rovnovážné vlhkosti. Pokud ale naopak začne za konstantní teploty relativní vlhkost vzduchu klesat, dojde k uvolnění vodní páry do okolního vzduchu. Jev opačný k sorpci se nazývá desorpce. [3]

## 4. Zdroje vlhkosti

Znát zdroj vlhkosti je jedním z faktorů, který potřebujeme, abychom mohli navrhnout takové opatření, které bude co nejefektivnější a nejekonomičtější. Dá se předpokládat, že u většiny starších budov jsou z hlediska vlhkosti namáhány nejvíce suterénní části konstrukce, u kterých se dá předpokládat absence či nefunkčnost původních hydroizolačních opatření. Tato vlhkost nám může zapříčiňovat celou řadu potíží od prvotních degradačních procesů, které se mohou projevit jako opadání omítky, zhoršující se fyzikální, mechanické a tepelné vlastnosti stavebních látek až po vznik a růst plísní, hniloby či vzniku biologických dřevokazných škůdců např. dřevomorky domácí. [2] [3]

Prvotním zdrojem vlhkosti, počáteční výrobní vlhkosti, je u konstrukcí mokrá technologický proces, kterým jsou realizovány. Tato hodnota počáteční výrobní vlhkosti nabývá po svém zhotovení vysoké hodnoty, které pak klesají s časem, když dochází k přirozenému způsobu vysychání a dostanou se až na hodnotu vlhkosti, které říkáme ustálená (praktická). Doba, za kterou se hodnota počáteční vlhkosti změní na vlhkost ustálenou (praktickou) se zpravidla pohybuje v rozmezí 2-7 let. Například cihly, které jsou použity v obvodové stěně mají tuto dobu kolem 2 let. Pokud by byla tato obvodová stěna realizována z pórobetonových tvárnic, můžeme počítat s dobou vysychání kolem 6-7 let. Obr. č. 1 níže nám tuto skutečnost ukazuje graficky.

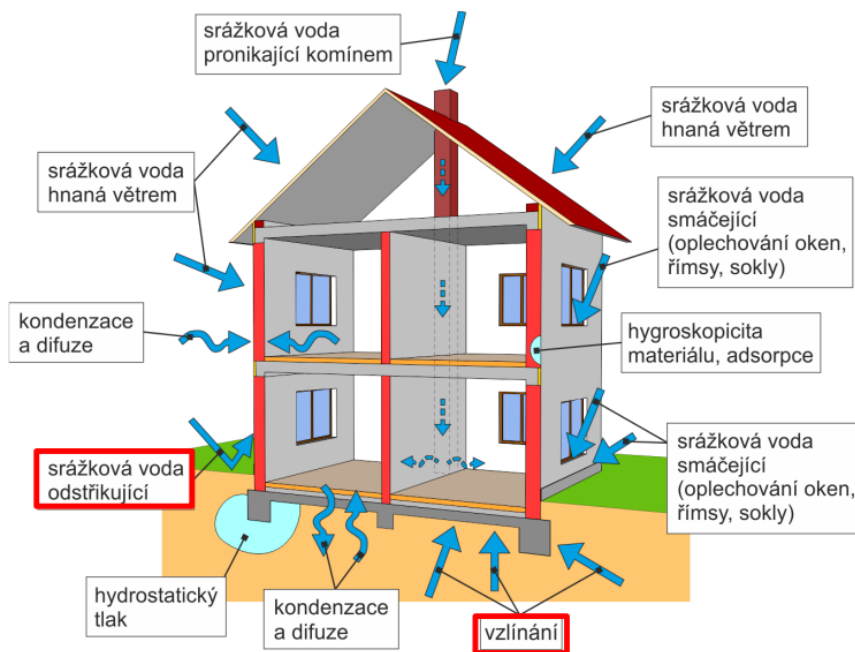
*„Znázornění časového průběhu změny hmotnostní vlhkosti ve stavebních konstrukcích realizovaných mokrým procesem od doby realizace po ustálený vlhkostní stav“. [3]*



Obr. č. 1 - Znázornění časového průběhu změny hmotnostní vlhkosti ve stavebních konstrukcích realizovaných mokrým procesem od doby realizace po ustálený vlhkostní stav (zdroj [3])

S výše uvedenou vlhkostí se počítá a není nijak pro konstrukci závadná. Nyní si ukážeme další zdroje vlhkosti, které mohou mít pro konstrukci i uživatele objektu negativní následky.

Obecně se dá říct, že voda může do stavebních konstrukcí pronikat buďto ve skupenství plynném (jako vodní pára) nebo kapalném (voda, sníh). Voda se do konstrukce může dostat velkým množstvím cest viz. obr. č. 2. Vlhkost se ve stavebních materiálech vyskytuje díky jejich pórovité struktuře a schopnosti přijímat vlhkost. [2] [5]



Obr. č. 2 - Zdroje vlhkosti (zdroj [České vysoké učení technické v Praze. Fakulta stavební])

Jedním z možných zdrojů zvýšené vlhkosti stavebních konstrukcí může být atmosférická voda, což je voda, která vzniká v ovzduší a nachází se v něm ve všech skupenstvích. Obálka konstrukce je vystavena této vodě ve formě dešťových kapek. Ta může pronikat do konstrukce např. špatně zvolenou skladbou střechy, vadným provedením klempířských prvků, chybami ve stavebních detailech či jako voda zatékající do komínového tělesa.

Tato voda může být také na návětrné straně objektu hnaná větrem, čímž získají vodní kapky dostatečný tlak na to, aby se jim podařilo proniknout do velké hloubky zdiva a způsobit tak provlhnutí konstrukce, které závisí na vlastnostech daného materiálu, jeho povrchové úpravě, intenzitě a rychlosti větru a době trvání deště.

Nejvíce namáhané části obvodového zdiva jsou ty, kdy spolu s vodou srážkovou hnanou větrem spolupůsobí na konstrukci i voda srážková odšťikující, která vzniká převážně u nadzemní soklové části a u vodorovných vyčnívajících prvků fasády (např. římsy, balkony, lodžie). Dolní část zdiva může být namáhána i odtokem napršené vody, v zimním



období vodou z tajícího sněhu. To je zapříčiněno špatně zrealizovaným okolím objektu konkrétně nevhodně zvoleným sklonem u terénu, okapového chodníku či vozovky.

Pokud je u objektu dosluhující nebo úplná absence hydroizolace, může do objektu vniknout voda z podzákladí díky vztlínání. Vztlínání je pohyb vody nad úroveň okolní hladiny vody, které se odehrává díky pórovitosti materiálů za pomoci působení kapilárních sil. Pórovité materiály obsahují kapiláry, což jsou úzké trubičky s malým vnitřním průměrem. Čím jsou tyto trubičky užší, tím je voda schopna stoupat výše. [2] [3] [5]

Póry můžeme klasifikovat podle velikosti viz tabulka 1.

Typ pórů	Velikost pórů	Chování vody v pórech
Mikropóry	$< 10^{-7}$ m ( $< 0,1 \mu\text{m}$ )	Vodotěsnost, nenasákavost
Kapilárně aktivní póry	mezi $10^{-7}$ m až $10^{-4}$ m ( $0,1 \mu\text{m}$ až $0,1 \text{mm}$ )	Kapilární elevace (vzlínání), nasákavost
Makropóry	$> 10^{-4}$ m ( $> 0,1 \text{mm}$ )	Zatékání, nenasákavost

Tab. č. 1 - Klasifikace pórů podle velikosti (zdroj [3])

Pro vztlínání vody ve zdivu je jedním z typických znaků zhruba shodná výška úrovně okrajů vlhkostních map na obou stranách zdi. [3]



Obr. č. 3 - Objekt s převládajícím výskytem vztlínající vlhkosti (zdroj [2])

Pokud se v období dešťů nebo tání sněhu dostane větší množství vody do pórů v zemině vlivem gravitace, kde narazí na nějakou méně propustnou překážku (např. jílová hlína, rozšíření základů), hledá cestu nejmenšího odporu a díky vzedmuté svahové vodě a dočasně vyšší hladině podzemní vody začne působit hydrostatickým tlakem v kapilárním systému zdiva. Díky chybějící nebo špatně navržené hydroizolaci začne pronikat do zdiva.

Stavební materiály mohou v sobě obsahovat soli, které disponují hygroskopickou vlastností, což znamená, že je materiál schopný zachycovat a udržovat v sobě vzdušnou vlhkost. Pokud zdivo obsahuje velké množství takových solí, ovlivňuje to rovnovážnou vlhkost tohoto zdiva. Vlhkost pak může dosáhnout několikanásobku vlhkosti nezasoleného stavebního materiálu.

Náhlá havárie či poškozené rozvody vody nebo dešťové svody mohou být také zdrojem zvýšené vlhkosti. Pokud se jedná o havárii, obvykle ji objevíme poměrně rychle a učiníme její bezprostřední opravu. Může se ale také stát, že vinou např. netěsnosti potrubí nebo špatným těsněním bude docházet pouze k malému úniku vody. Následky se mohou pak objevit mimo místo poruchy a najít příčinu může být obtížné.

[2] [5]

## 5. Průzkumy vlhkosti

### 5.1. Vlhkostní průzkum

Abychom mohli zvolit ideální sanační metodu, je důležité určit konkrétní hodnoty a rozložení vlhkosti zdiva, a to jak z pohledu konkrétního, tak z hlediska budovy jako celku. Změna hodnoty vlhkosti v konstrukci by měla být sledována a měřena i v závislosti na čase.

Metod, kterými lze měřit obsah vlhkosti v konstrukci je celá řada a můžeme je rozdělit hned dle několika kritérií. Jedním z kritérií je to, jakým způsobem je vzorek z konstrukce odebrán. Tímto kritériem rozdělujeme způsob odběru vzorku na destruktivní a nedestruktivní. Destruktivním odběrem vzorku, jak už název napovídá, dochází k vyjmutí části materiálu z konstrukce, u kterého je následně změřena jeho vlhkost a nedestruktivním odběrem se rozumí taková metoda, při které nedochází k poškození konstrukce a vlhkost v ní je měřena za pomoci přístrojů, či čidel zabudovaných do konstrukce.

Další způsob rozdělení měření vlhkosti je na metodu přímou a nepřímou. U metody přímé dochází k měření množství vody, které je obsaženo v materiálu a je odděleno od jeho pevné fáze. Tato metoda je současně metodou destruktivní. Metoda nepřímá měří fyzikální veličiny jako jsou např. tepelná vodivost, elektrický odpor nebo elektrická kapacita v závislosti na měnících se hodnotách vlhkosti materiálu. Jedná se o nedestruktivní metodu.

V praxi se často používá kombinace těchto metod, tedy prvotní změření vlhkosti na místě pomocí nedestruktivní metody s využitím různých přístrojů a následné odebrání vzorků za pomoci destruktivní metody, převezení těchto vzorků do laboratoře k ověření naměřených hodnot metodou nepřímou.

Klasifikací vlhkosti zděných konstrukcí se zabývá norma ČSN P 73 0610, která nám udává různé stupně vlhkosti podle hmotnostní vlhkosti viz tab. č. 2. [6] [7]

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

Tab. č. 2 - Vlhkost zdiva (zdroj [6])

Konkrétní metody stanovení vlhkosti jsou blíže specifikovány níže.

#### 5.1.1. Gravimetrická metoda

Gravimetrická metoda, někdy též metoda hmotnostní, je metodou nejpřesnější a nejpoužívanější.

Postup při měření vlhkosti pomocí této metody je následující. Nejdříve musíme odebrat vzorek materiálu, který je určený rozměry a počtem zkušebních vzorků dle příslušné normy materiálu či jiného vhodného dokumentu. Následuje vážení a sušení. Pokud je vzorek odebírán na místě a následně přepravován do laboratoře, musí se vzorek umístit do kovové parotěsné nádoby, aby nedocházelo k změně vlhkosti před vážením a sušením. Před sušením tedy vzorky v laboratoři, ve které během zkoušky musí být teplota  $23 \pm 6 \text{ }^\circ\text{C}$ , zvážíme s přesností 0,1 % jejich hmotnosti. Vysušení vzorků probíhá za normou pro daný materiál stanovenou teplotou, pro zdivo je tato teplota  $105 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ , a probíhá do konstantní hmotnosti vzorku. To je taková hmotnost vzorku, u které je změna hmotnosti mezi 3 následujícími váženími, která jsou provedena nejméně po 24 hodinách, menší než 0,1 % celkové hmotnosti. Zvolit správnou teplotu sušení je velmi důležité, aby nedošlo k poškození zkušebního vzorku. Výsledky měření jsou pak vyjádřeny pomocí hmotnostní vlhkosti.

Přesnost měření vlhkosti pomocí této metody je dána i díky tomu, že není třeba znalosti technických parametrů daných měřených materiálů, které mohou být u starších objektů často obtížně zjistitelné, a zjištěné hodnoty není třeba kalibračními vztahy upravovat. Výsledky touto metodou neovlivňuje ani použití přístrojů, které s sebou často nesou různé rizikové faktory, a i proto se gravimetrická/hmotnostní metoda používá u metod nepřímých jako etalon potřebný pro kalibraci různých přístrojů.

Nevýhodou této metody je destruktivní odběr vzorku, což může být u historicky chráněných budov zakázáno. Dále je zde riziko ovlivnění výsledků měření zapříčiněné odběrem vzorku za pomoci vrtačky. Ta díky své rotaci materiál zahřívá a dochází tak k snížení vlhkosti v odebíraném vzorku. Proto se doporučuje vzorek odebírat za pomoci sekáče a kladiva. Metoda je také poměrně časově náročná a díky destruktivnímu odběru vzorku není možné sledovat dlouhodobě vlhkost v určitém místě. Tomuto způsobu měření vlhkosti se věnuje ČSN EN ISO 12570. [2] [7] [8] [9]

### 5.1.2. Kapacitní metoda

Jedná se nedestruktivní elektrickou metodu měření vlhkosti. Měření probíhá pomocí kapacitních vlhkoměrů, které pouze přiložíme na povrch zkoumaného povrchu. Před měřením je nutné vlhkoměr nastavit pro daný materiál.

Metoda zkoumá závislost materiálu na vlhkosti. Ve vlhkoměru jsou zabudovány dvě elektrody - jedna je přijímací a druhá vysílací, mezi nimiž dochází k přenosu signálu, který proniká do hloubky jen několika cm. Materiály, které obsahují vodu, jsou při měření touto metodou považovány za dielektrikum kondenzátoru, jehož změna kapacity nám udává množství vlhkosti v materiálu. Kapacitní metodou měříme relativní permitivitu materiálu, pro kterou platí vztah:

$$\varepsilon_r = \frac{A}{(B-u)^2} [-]$$

Kde:  $\varepsilon_r$  relativní permitivita [-]

$u$  hmotnostní vlhkost [-]

$A, B$  jsou konstanty závislé na objemové hmotnosti měřeného materiálu a jeho pórové struktuře

Hodnota relativní permitivity běžných stavebních materiálů, jako je např. zdivo nebo beton, se pohybuje v rozmezí 1-10. Pro představu hodnota relativní permitivity vzduchu se rovná přibližně 1 a pro vodu je tato hodnota rovna 82. Hodnota je závislá především na vlhkosti v materiálu.

Výhoda této nedestruktivní metody je v tom, že ji můžeme opakovat několikrát na daném místě, aniž bychom povrch nějak narušili (vhodné pro místa, kde je destruktivní způsob měření nevhodný např. cenné interiéry historických budov), na výsledky měření má zanedbatelný vliv okolní teplota i soli, rozpuštěné ve vodě uvnitř měřeného materiálu a měření samotné je poměrně rychlé. Metoda má však určitá omezení. Pokud chceme získat spolehlivou hodnotu vlhkosti zdiva, musíme měřit pouze místa s nízkou vlhkostí, a to do zhruba 6 %. Při měření nad touto hranicí nemůžeme počítat s přesnými spolehlivými výsledky. Dalším omezením je, jak už bylo řečeno, to, že kapacitní vlhkoměr je schopen měřit vlhkost pouze do omezené hloubky cca 3-5 cm (je to závislé na typu materiálu, jeho vlastnostech a typu přístroje). Tím pádem kapacitním způsobem není možné zaznamenat vlhkostní profil stěny, jelikož přístroje nejsou schopny zaznamenat vlhkost uvnitř konstrukce. Metoda se převážně používá na zjištění hranic vlhkostních map. [7][9]

### 5.1.3. Odporová metoda

Stejně jako u metody kapacitní se zde jedná o metodu elektrickou, v tomto případě ale destruktivní. Odporová metoda měření vlhkosti využívá vlastností pórovitých materiálů obsahujících vlhkost. Vlhkost (která se zde stává elektrolytem o různé koncentraci) v materiálu způsobuje elektrickou vodivost, pro kterou platí, že s rostoucím obsahem vlhkosti v materiálu roste jeho elektrická vodivost a elektrický odpor se zmenšuje. Metoda je založená na principu měření velikosti měrného odporu, který se mění s obsahem vlhkosti v materiálu. Vlhké zdivo je z hlediska vedení elektrického proudu polovodivý materiál.

Měření probíhá tak, že se do měřeného povrchu navrtají otvory zhruba do hloubky 40 % tělesa. Otvory se následně vyplní plastovými trubičkami a na 72 hodin se uzavřou záslepkou. Toto se dělá kvůli tomu, že při vyvrtání otvorů se vytváří teplo, které vysušuje okolní materiál. Následně se do otvorů aplikují kartáčové sondy a zahájí se měření.

Výhodou odporového měření je, že oproti kapacitní metodě jsme schopni měřit vlhkost téměř v jakékoliv hloubce zdiva a sestavit tak kompletní vlhkostní profil zdiva. Přesné výsledky je metoda schopna poskytnout u nezasoleného zdiva, je-li zde vlhkost rovnoměrně rozmístěna a u zasoleného zdiva se doporučuje použití této metody maximálně do 6 % hmotnostní vlhkosti. Přesnost měření touto metodou může být ovlivněna, dojde-li k přechodovému odporu mezi materiálem, který je měřený, a elektrodou, dále zde nepřesnost může způsobit vysoký obsah solí ve zdivu a značný vliv na měření vlhkosti zde má i teplota. [2] [7] [9]

### 5.1.4. Termografická metoda

Termografická metoda se využívá k rychlé a efektivní prvotní diagnostice konstrukce. Díky ní můžeme změřit velkou plochu konstrukce, najít místa s vyšší vlhkostí a odhalit tak možnou příčinu vlhkosti v konstrukci.

*„Při termovizním měření (stavební termografie) se vyhodnocuje dopadající záření v oblasti infračerveného spektra a získává se viditelná informace (tzv. termogram) o rozložení teplot na povrchu konstrukce. Převážná většina zobrazovacích systémů (zařízení) využívá jako signál k přenosu informací elektromagnetické vlnění v různých částech jeho spektra. Zařízení transformuje 3D scénu na obrazový tok, který je schopen vyvolat zrakový vjem“.* [10]

Rozložení teploty na povrchu homogenní konstrukce by mělo být poměrně rovnoměrné s výjimkou poklesu teploty v koutech. Když se nám povedou naměřit místa s výrazně nižší teplotou, lze předpokládat, že je v těchto místech zvýšená vlhkost. To vyplývá z vlastnosti součinitele tepelné vodivosti materiálů  $\lambda$  [ $\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$ ], která nám vyjadřuje schopnost materiálu vést teplo. Tento součinitel tepelné vodivosti je totiž závislý na vlhkosti a jeho hodnota s rostoucí vlhkostí roste.

Jak už bylo řečeno, metoda slouží pouze jako prvotní diagnostika konstrukce a ke konkrétnímu zjištění obsahu vlhkosti musí být použita nějaká z dalších metod. [10]

#### 5.1.5. Karbidová metoda

Karbidová metoda je metodou destruktivní chemickou využívající chemické reakce mezi vodou, která je obsažena v nadrceném materiálu, s karbidem vápenatým za vzniku hydroxidu vápenatého a acetylenu, který je ukazatelem množství vlhkosti ve vzorku.



Karbidová metoda se díky své jednoduchosti a možnosti provádění provádí přímo na místě odběru vzorku (in-situ). Odebere se vzorek materiálu za pomoci ručního vysekání. Ten se následně rozdrtí kladivem či paličkou na malé kousky, zváží se a vloží do CM přístroje skládající ho se z tlakové nádoby a manometru. Společně se vzorkem se do nádoby vloží kapsle karbidu vápničku a ocelové kuličky, kterou se kapsle rozbije a promísí se materiál s karbidem vápničku. Následuje



odečtení tlaku a za pomoci přepočítávací tabulky se určí vlhkost materiálu v CM %. Některé vlhkoměry obsahují již stupnice udávající vlhkost materiálu v CM % dle hmotnosti zkoušeného vzorku.

Nevýhoda metody je jako u gravimetrické metody nemožnost opakovat měření na stejném místě kvůli destruktivnímu odběru vzorku. Velká výhoda je však rychlost zjištění vlhkosti přímo na místě. [11] [2]

#### 5.1.6. Mikrovlnná metoda

Mikrovlnné vlhkoměry jsou výjimečné přístroje využívající nedestruktivního způsobu měření vlhkosti, a to do hloubek desítek cm. Měřenou hloubku můžeme díky hlavicím a nastavení v přístroji lehce měnit. Můžeme tak odhalit příčinu vzniku vlhkosti v konstrukci.

Přístroje vysílají do zkoumaného materiálu mikrovlnné záření, které je díky vodě obsažené v materiálu utlumováno a díky tomu může rychle a celkem spolehlivě zjistit vlhkost. Moderní přístroje jsou schopny si pamatovat naměřené hodnoty a díky moderním softwarům v počítači jsme schopni vytvořit vlhkostní mapu.

Výhodou této metody je, že množství solí vyskytujících se v konstrukci nemá na výsledky měření vliv a opět díky nedestruktivnímu způsobu měření můžeme vlhkost na daném místě v konstrukci sledovat pravidelně. [12] [13]

## 6. Soli

S problémem zvýšené vlhkosti u stavebních materiálů a konstrukcí úzce souvisí i výskyt solí a následné zasolení konstrukcí. Voda, která se nachází v konstrukci a pohybuje se v ní, zde totiž může sloužit jako transportní médium pro agresivní látky, které následně přispívají k degradaci stavebního materiálu a konstrukce. Poréznost stavebního materiálu umožňuje přesun těchto látek a následně jejich usazení. Zasolení se může projevovat různými způsoby od estetických konkrétně výskytem solných výkvětů na omítkách, tvorbě drobného chmýří bílé barvy, vznik solných krystalů demolujících omítku, až po opadávání povrchových vrstev zdiva. Důležitou vlastností u solí, co se týče následného poškození konstrukcí, je jejich rozpustnost. Soli nerozpustné ve vodě mají tak malý vliv na degradaci stavebních materiálů, že ho můžeme považovat za zanedbatelný. Naopak soli rozpustné ve vodě jsou ty, které se na poškození stavebních materiálů a konstrukcí podílejí. [2] [14]

### 6.1. Zdroje solí

Cest, kterými se můžou soli dostat do stavebních konstrukcí, je mnoho. Možné zdroje solí mohou být například už samotné stavební materiály, ve kterých se běžně vyskytuje několik druhů solí, tvořící konstrukci nebo třeba transport solí společně s vodou nebo v zimním období z posypových materiálů. [2] [14]

#### 6.1.1. Soli ve stavebních materiálech

Některé stavební materiály, zabudované do konstrukcí, už samy o sobě obsahují soli rozpustné ve vodě. Těmito materiály jsou například cihly, jejichž obsah solí je závislý na kvalitě jílu, z kterého se cihly vyrábí, cement, ve kterém se může vyskytovat sádra či alkálie (ty mohou být součástí i některých nátěrů) nebo i písek či různé kamenivo. U těchto materiálů dochází k uvolnění solí při jejich kontaktu s vodou a nejčastěji se zde jedná o sírany. [2] [14]

### 6.1.2. Soli z okolí

Tyto soli se většinou dostanou do konstrukce společně s vodou a to díky vzlínání z okolí konstrukce, u které bývá těmito solemi nejčastěji postihnuta spodní stavba, jelikož ta je vystavena celé řadě zdrojů vody například srážková voda, voda odstříkující, podzemní voda, voda ze špatných dešťových svodů a další.

Vzlínání vody neboli kapilarita je fyzikální jev, při kterém dochází k vedení vody (společně se solemi vázanými v ní) směrem vzhůru, proti působení gravitační síly. Vzlínání v materiálu je možné díky jejich pórovité struktuře a platí zde, že čím jsou póry menší, tím sice sají vodu pomaleji, ale voda je zde schopná vystoupat do větší výšky.

K usazení solí dochází při odpaření vody a soli se tak koncentrují na různých místech zdiva, nejčastěji však na povrchu čili na omítkách nebo v nátěrech. Usazené soli ve zdivu začínají krystalizovat, čímž zužují kapiláry ve zdivu a je tedy možné vzlínání vody do větších výšek. V důsledku toho dochází k zpomalení vysychání zdiva.

Důležité při transportu solí pomocí vzlínání je také rozpustnost solí a pohyblivost iontů. Mezi dobře rozpustné soli s malými a dobře migrujícími ionty patří chloridy a dusičnany. Díky těmto vlastnostem a vzlínání vlhkosti můžeme tyto soli najít na poškozených fasádách objektů výše, než bychom zde našli sírany.

Chloridy se do okolí budov a následně do konstrukcí dostávají především v zimním období, a to z materiálů, které se používají jako posypové materiály komunikací. Dusičnany vznikají v místech spojených se zemědělskou činností, dále pak tam, kde dochází k úniku vody z kanalizace nebo například na hřbitovech. Sírany pak můžeme najít v mineralizované podzemní vodě, ve znečištěném ovzduší nebo v různých chemických hnojivech. [2] [14]

### 6.1.3. Soli vzniklé chemickou korozí materiálů

Chemickou korozí materiálů se rozumí procesy a děje, které vznikají při reakci stavebních hmot s atmosférickými škodlivinami, mezi které patří oxidy, dusíky a síry, ozón, oxid uhličitý, uhlovodíky... a tím dochází ke změně chemického složení a určitých vlastností jako jsou - pórovitost, hygroskopicitu, nasákavost, modul pružnosti a pevnosti. Chemická koroze je závislá na množství vody obsažené ve stavebních hmotách. Většina chemických reakcí je závislá na vlhkosti materiálu, a bez ní by neprobíhala. [2] [17]

### 6.1.4. Soli z biologických zdrojů

Existují i organismy, jejichž činnost může vyvolat vznik chemické koroze a solí ve stavebních materiálech. Například nitrifikační bakterie je schopna této činnosti. Dokáže totiž přeměnit procesem oxidace amoniak nebo amonné soli na dusitany. Organismů, které jsou tohoto schopny je celá řada, patří sem dále různé typy plísní, lišejníků, řas či mechů. [2] [18]

### 6.1.5. Soli ze sanačních prostředků

Použití některých sanačních metod může vést k značnému zasolení konstrukce. V minulosti se při čištění nebo odstraňování různých fasádních vrstev používaly čisticí prostředky, které obsahovaly velké množství silných kyselin a louhy. Ty byly součástí čisticích prostředků a díky nim bylo dosaženo efektivního čištění. Následně se však ukázalo, že díky tomu dochází k velkému zasolení stavebního materiálu. Jedním z materiálů, který se používal u sanace vlhkého zdiva, metodou injektážní, bylo vodní sklo. Účinnost použití tohoto materiálu neměla dostačující výsledky, ba naopak se ukázalo, že díky použití toho materiálu došlo k zvýšení obsahu solí v konstrukci. [2]

## 6.2. Destruktivní vliv solí

Hlavní destruktivní procesy způsobené vlivem vodorozpustných solí jsou hydratace a krystalizace solí v pórovitých materiálech.

### 6.2.1. Hydratace solí

V pórovité struktuře stavebních látek může docházet ke krystalizaci solí nebo k působení hydratačních tlaků. To postupně tuto strukturu narušuje a způsobuje zde fyzikální degradační procesy. Některé vodonepropustné soli mají schopnost ve své krystalové mřížce vázat na sebe určitý počet molekul a tím přecházet na hydráty. Tento jev je doprovázen značnými změnami objemu, které vyvolávají ve struktuře stavebních látek velké krystalizační hydratační tlaky dosahující hodnot desítek MPa. Tyto hodnoty pak překračují běžné pevnosti v tahu stavebních látek (tab. č. 3). Krystaly vznikající uvnitř stavebních hmot a vyvíjející značné tlaky jsou závislé na velikosti pórů a teplotě. S vyšší teplotou jsou tyto expanzní tlaky větší. Následně dochází k odpařování vody, což způsobí dehydrataci a rozpad krystalů. Jakmile se opět dostane voda do materiálu, soli v něm začnou rekrystalizovat. Tento proces krystalizace a rekrystalizace se stále opakuje a přispívá k rozpadu struktury materiálu. Pro konstrukce jsou nejvíce nebezpečné ty soli, u nichž dochází k hydrataci při běžných teplotách. [2] [17]

Výchozí látka	Vznikající látka	Vyvozený přetlak [Mpa]
CaSO <sub>4</sub>	CaSO <sub>4</sub> ·2H <sub>2</sub> O	110
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ·2H <sub>2</sub> O	25
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> ·2H <sub>2</sub> O	30

Tab. č. 3 - Hydratační tlaky vznikající při rekrystalizaci některých solí (zdroj [17])

### 6.2.2. Hygroskopická nasákavost

Mezi další negativní vlastnosti solí patří jejich vlastnost hygroskopická nasákavost. Látky s touto vlastností jsou schopny vázat na sebe vzdušnou vlhkost a zadržovat ji v kapalném stavu. Jedná se zde o zadržování fyzikálně vázané vody. V případě stavebních látek se této vlastnosti říká hygroskopická nasákavost, která při určitých klimatických podmínkách může napáchat značné škody. Tato schopnost přijímat

určité množství vody se u jednotlivých solí liší, je závislá na teplotě a hodnotě rovnovážné relativní vlhkosti. Pokud je hodnota této relativní vlhkosti vyšší než hodnota rovnovážné vlhkosti soli, bude docházet k pohlcování vlhkosti, a to do doby, než se obě hodnoty dostanou do rovnováhy. Při opačné situaci, tedy když je vyšší rovnovážná vlhkost soli než relativní vlhkost okolí, dochází k uvolňování vody do okolí.

Hygroskopicitu může přispívat k destrukci zdiva, celkovému zavlhčení materiálu, tvorbě výkvětů, estetickému znehodnocení omítek ve formě vlhkostních map či zasolení. Tato vlastnost solí, které jsou obsaženy ve stavebních materiálech, může být zdrojem vlhkosti v konstrukci i po provedení efektivních sanačních opatření, a to díky tomu, že nebude docházet k úplnému vyschnutí konstrukce. [2]

### 6.2.3. Krystalizace solí

Voda pronikající a putující póry či trhlinami stavebních materiálů s sebou nese různé vodorozpustné soli, které se v důsledku odpařování vody usazují na různých místech, čímž zde zvyšují svou koncentraci. Problém nastává po určité době, kdy koncentrace soli překročí svou hodnotu rozpustnosti soli a nadbytečná sůl začne krystalizovat. Krystaly se postupem času zvětšují, zaplňují prostory pórů a začínají působit krystalizačními tlaky na své okolí. Tyto tlaky mohou opět dosahovat velmi vysokých hodnot, jsou závislé na teplotě, stupni přesycení roztoků a mohou přispívat k rozrušení materiálu.

Pórovité materiály obsahují různé velikosti pórů, od malých až po velké. Krystalizace začíná ve větších pórech, krystaly zde rostou z nasyceného solného roztoku, který je doplňován o roztok z pórů menších (viz obr. č. 4) a pokračuje do té doby, než je zásoba roztoku z malých pórů vyčerpána. Z hlediska odolnosti pórovitých materiálů jsou tudíž odolnější ty materiály, u kterých je početnější zastoupení větších pórů než pórů menších, protože zde není tolik podporován růst krystalů

ve velkých pórech roztoky z malých pórů. V tomto případě tedy vyšší porozita neznamena nižší odolnost materiálu vůči působení solí.



Obr. č. 4 - Schématické znázornění nárůstu krystalů soli v porézním systému (zdroj [2])

Poškození vlivem krystalizace se může projevovat jak na povrchu porézního materiálu, tak uvnitř. Na povrchu dochází ke krystalizaci díky transportu roztoku soli způsobeným pomalým vypařováním vody. Vizuálně tento děj poznáme díky eflorescenci (solné výkvěty), která nemusí sice způsobovat porušení zdiva, ale napohled působí velmi nelichotivým vzhledem.

K destruktivnímu poškození naopak dochází uvnitř porézních materiálů tvorbou krystalů, kdy v důsledku rychlého odpařování vody vznikají subflorescence. Krystalizace uvnitř pórovitého materiálu mohou vznikat současně s těmi na povrchu.

### 6.3. Klasifikace salinity

Klasifikací salinity zdiva se zabývá norma ČSN P 73 0610, odkud je i převzata tab. č. 4. Salinita se ve zdivu hodnotí podle obsahu dusičnanů, síranů a chloridů. Tabulka udává obsah těchto solí v mg na g zkušebního vzorku stavebního materiálu a dále pak v % hmotnosti soli.

Stupeň zasolení zdiva	Obsah solí v mg / g vzorku a v procentech hmotnosti					
	Chloridy		Dusičnany		Síraný	
	mg/g	% hmotnost	mg/g	% hmotnost	mg/g	% hmotnost
nízký	< 0,75	< 0,075	< 1,0	< 0,1	< 5,0	< 0,5
zvýšený	0,75 až 2,0	0,075 až 0,20	1,0 až 2,5	0,1 až 0,25	5,0 až 20	0,5 až 2,0
vyšoký	2,0 až 5,0	0,20 až 0,50	2,5 až 5,0	0,25 až 0,50	20 až 50	2,0 až 5,0
velmi vyšoký	> 5,0	> 0,50	> 5,0	> 0,50	> 50	> 5,0

Tab. č. 4 - Salinita zdiva (zdroj [6])

## 7. Sanace vlhkého zdiva

Sanace vlhkého zdiva se skládá z kombinace vysušovacích, hydroizolačních a stavebních úprav. Sanace se provádí jak u zdiva podzemního, tak nadzemního, a to v důsledku dlouhodobého namáhání zdiva vodou z různých zdrojů viz. kapitola Zdroje vlhkosti, které následně způsobí zvýšenou vlhkost ve stavebním materiálu. Vlhkost je často doprovázena o zvýšenou salinitu, tvorbu plísní, řas či různých mechů. Sanace se realizují na objektech, u nichž jejich původní hydroizolace přestala plnit svoji úlohu nebo u objektů, které hydroizolaci zcela postrádají, což bývají často starší nebo památkově chráněné objekty.

Účelem sanačních opatření je tedy dosáhnout zřetelného a dlouhodobého snížení vlhkosti ve stavebním materiálu, konstrukcích a docílit tak vyhovujících tepelně izolačních vlastností konstrukce i s tím související vlhkosti vzduchu uvnitř budovy.

Dle normy ČSN P 73 0610 dělíme sanační metody na:

- Metody přímé
- Metody nepřímé
- Metody doplňkové přímé
- Metody doplňkové nepřímé

Sanace vlhkého zdiva je následně provedena kombinací přímých, nepřímých a doplňkových hydroizolačních metod, tak aby bylo vytvořeno co nejúčinnější sanační opatření. [6]

### 7.1. Metody přímé

Přímé sanační metody slouží k zabránění transportu vlhkosti konstrukcí, průniku vlhkosti do konstrukce, ale mohou také sloužit k zamezování úniku vlhkosti z konstrukce. Přímé metody se dále rozdělují a člení níže. [6]



### 7.1.1. Mechanické metody

Mechanické metody spočívají v zabudování nové hydroizolační bariéry do konstrukce za účelem zamezení průniku vztlínající vody z podloží a redukce difuze vodní páry z nižší do vyšší úrovně zdiva. Metoda je vhodná v případě, že stávající hydroizolace proti vztlínající vlhkosti dosluhuje nebo ji stavba úplně postrádá.

Konkrétní výběr mechanické metody závisí na místních podmínkách, typu materiálu v konstrukci, kvalitě provedení výplní spár, statických podmínkách, rozměrech zdiva atd. Pokud je však zvolena správná metoda, ta je kvalitně provedena, tak u těchto metod můžeme mluvit až o stoprocentní účinnosti.

Mechanické metody využívají radikálních, destruktivních a nevratných zásahů do konstrukce, díky čemuž mohou ohrozit statiku a jejich použití u historických a památkově chráněných objektů není možné. [2] [3]

#### 7.1.1.1. Probourávání zdiva

Probourání zdiva je jedna z možných mechanických metod, která se hojně používala dříve, dnes se tato metoda používá zřídka a to u menších staveb nebo staveb s komplikovanou skladbou zdícího materiálu, kde není z nějakého důvodu možnost použití jiné mechanické metody. Metoda je velmi náročná na čas i na pracnost a hrozí při ní narušení statiky objektu.

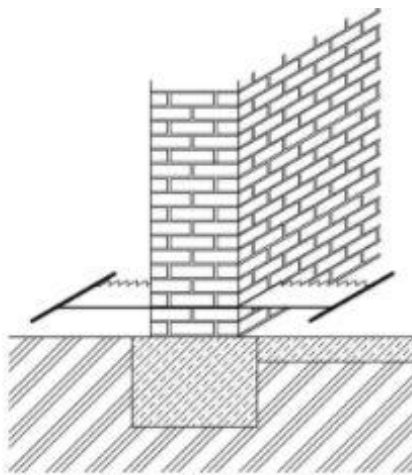
Postup při provádění této metody je následující. Nejdříve se musí odstranit omítky všude tam, kde bude metoda použita, aby byla známa skladba konstrukce a abychom přesně viděli spáry. Pak dojde k vybourání části zdiva v závislosti na kvalitě, materiálu, rozměrech a zatížení zdiva. Dno vybouraného otvoru se musí začistit, vyrovnat a nanese se zde cementový potěr. Jakmile je podklad dostatečně zatvrdnutý, položí se na něj povlaková hydroizolace s oboustranným

dostatečným přesahem, aby bylo následně možné hydroizolace správně na sebe napojit. Nakonec dojde k dozdění zbylého prostoru. [2] [3]

#### 7.1.1.2. Ruční podřezání zdiva

Tato metoda je nejjednodušší a nejlevnější mechanická metoda. Metoda je však použitelná pouze u zdiva s vodorovnou ložnou spárou. Řezání se provádí pomocí pily břichatky, jejíž délka musí být minimálně o 40-50 cm delší než podřezávané zdivo. Za pilu tahají dvě osoby, i přesto je zde práce velmi fyzicky náročná. Začíná se s prořezáváním spár v rozích a pokračuje se po úsecích šířky 80-120 cm. Snaha je zde odstranit maltu ve vodorovné ložné spáře po celé výšce. Následně se do vyčištěné spáry vloží hydroizolace s příslušnými přesahy sloužícími k napojení na hydroizolaci podlahy. Pak už se jen spára vyklínuje plastovými klíny a vyplní cementovou maltou.

S rozvojem technologie se tato metoda používá čím dál méně. Je nahrazována strojními pilami, s kterými lze dosáhnout vyšší efektivity. [2] [3]



Obr. č. 5 - Princip ručního podřezávání zdiva (zdroj [3])

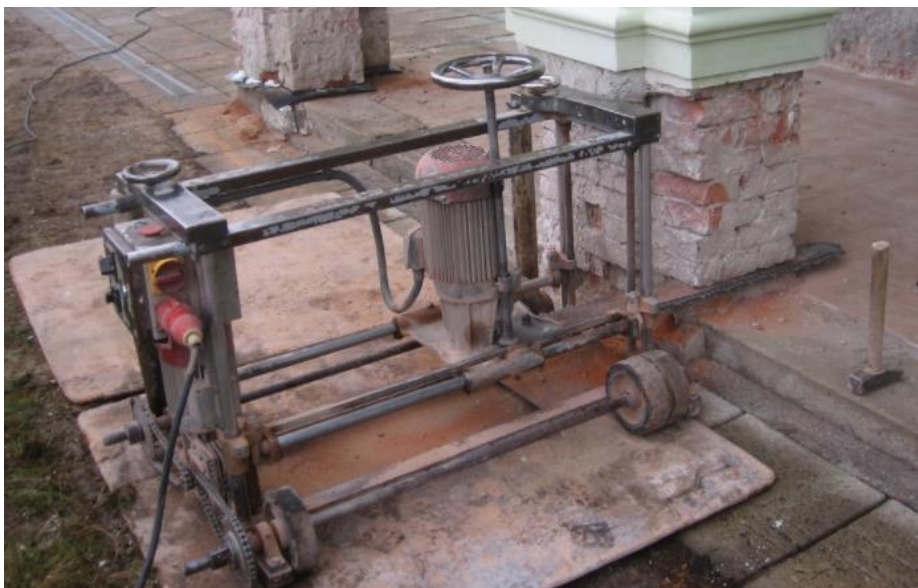
### **7.1.1.3. Strojní podřezávání zdiva**

Strojní podřezání zdiva pomocí strojních elektrických pil se začalo používat místo ručního podřezání. Tyto metody jsou velmi podobné a díky použití strojních pil dochází k výraznému ulehčení práce, ke zvýšení produktivity a některé z pil jsou schopny podřezávat zdivo i mimo vodorovné průběžné spáry. [2] [3]

#### **7.1.1.3.1. Podřezání zdiva řetězovou pilou**

Použití řetězové pily k podřezání zdiva je možné pouze u cihelného nebo kvádríkového zdiva s vodorovnou ložnou spárou a to do tloušťky zhruba 1 m. Postup práce je následující. Nejdříve se musí oklepat omítka, abychom přesně věděli, kde se ložná spára nachází. Následuje nastavení vodící lišty s osazeným řetězem do požadované výšky. Lišta s řetězem jsou na pohyblivém podvozku. Tomuto podvozku musíme zajistit dostatečně pevný a rovný podklad, po kterém se bude pohybovat. Spustí se pohon pily, prořízne se zdivo po celé své tloušťce, zapne se pohon pojezdu a prořízne se daný úsek zdiva o délka cca 80-120 cm. Prořízlá spára se vyčistí a vloží se zde navržené hydroizolace (např. izolační pásy PE fólie) s překrytím minimálně 10 cm. Hydroizolace se ve spáře upevní pomocí plastových klínů a zbylá mezera se pod tlakem vyplní cementovou maltou.

Tato metoda není nijak finančně nákladná a dá se s ní denně zvládnout podřezat kolem 30 bm zdiva. [2] [3]



Obr. č. 6 - Podřezávání zdiva řetězovou pilou (zdroj [ESTAV.cz])

#### 7.1.1.3.2. Podřezání zdiva lanovou pilou

Podřezávání zdiva lanovou pilou s diamantovým lanem má oproti podřezávání zdiva řetězovou pilou tu výhodu, že tento způsob není limitován tloušťkou zdiva ani materiálem a řezat lze zdivo jak svisle, tak vodorovně. U zdiva je pouze nutné, aby mělo takovou soudržnost, kdy nebude docházet ke drolení.

Postup začíná vyvrtáním otvorů ve zdivu, provlečením řezacího lana, které se obvykle skládá ze segmentů dlouhých zhruba 30 cm, a nasazením lana na připravenou soustavu vodících kladek. Při samotném řezání musí být lano chlazeno vodou přímo v řezané spáře. Pak už jen následuje vyčištění spáry, klínování a vyplnění cementovou maltou, což je stejné jako u předchozí metody.

Tento způsob podřezání je dražší než předchozí metoda a můžeme zde počítat s pracovním výkonem okolo 10 m. [2] [3]



Obr. č. 7 - Podřezávání zdiva lanovou pilou (zdroj [ESTAV.cz])

#### 7.1.1.3.3. Podřezání zdiva kotoučovou pilou

Tato metoda je v praxi velmi málo využívána. K podřezání se používají ruční kotoučové pily s různými průměry kotoučů. Ty jsou závislé na tloušťce zdiva a musí vůči ní disponovat určitou rezervou, tudíž při větší tloušťce zdiva dochází k obtížné manipulaci s pilou. [3]

#### 7.1.1.4. Zarážení izolačních plechů

Metoda zarážení izolačních plechů, též HW systém, je v Rakousku patentovaná metoda spočívající v zarážení ušlechtilých nerezavějících vlnitých plechů do vodorovných ložných spár zdiva libovolného materiálu. Zdivo se při této metodě nepodřezává, tudíž je metoda šetrnější ke statice objektu. Jednotlivé plechy jsou navrženy a střiženy na danou tloušťku zdiva a sousedící plechy musí být vždy aspoň o 5-8 cm překryty. Takto zaražené plechy vytvoří ve zdivu clonu proti vzlínající vlhkosti.

Použitím této metody jsme schopni izolovat zdivo o tloušťce až 1 m. Pokud jsme schopni zarážet plechy do zdiva z obou stran, můžeme pak metodu aplikovat i na zdivo o větší tloušťce. [2] [3] [19]



Obr. č. 8 - Vlnité izolační desky (plechy) z ušlechtilé nerezavějící oceli (zdroj [19])

### 7.1.2. Chemické metody

Společně s mechanickými metodami patří do skupiny přímých metod i metody chemické. Chemické metody neboli injektáže fungují na principu umístění chemických látek do vyvrtaných děr ve zdivu. Vniknutím chemických látek do zdiva se zde vytvoří hydrofobní clona, chránící zdivo proti vztlínající vlhkosti.

Chemické látky mají vyšší propustnost vztlínající vlhkosti i difuze oproti mechanickým metodám. Chemických látek i způsobů aplikací je velké množství a budou blíže specifikovány níže.

Tato metoda je vhodná pro uplatnění u kamenného, cihelného i smíšeného zdiva, pokud se v tomto zdivu vyskytuje velké množství kapilárně aktivních pórů. Pokud zvolíme vhodnou injektážní techniku a prostředek, je možné díky injektáži zpevnit poškozené zdivo uvnitř konstrukce doplněním pojiva obsahujícího chemické látky zabraňující

vzlínající vlhkosti. U zdiva obsahujícího velké dutiny jsou injektážní metody obtížně použitelné.

Chemické metody jsou velmi oblíbené z důvodu ekonomických, nenarušují statiku tolik jako metody mechanické a dají se realizovat svépomocí. Dnes se dá na internetu najít celá řada materiálů s podrobnými návody jak na realizaci a člověk se tak může pokusit o sanaci vlhkého zdiva sám, bez shánění odborné firmy.

Chemické metody se dají provádět různými způsoby např. beztlakově nebo tlakově. My však už dnes víme, že zrovna toto rozdělení nemá na výsledný efekt příliš velký vliv. Nejdůležitější je zde, jak je daná chemická látka schopna reagovat s vodou.

### **Injektážní prostředky**

Injektážních prostředků je na trhu opravdu hodně a aby měla injektáž požadovaný efekt, musí být při výběru zohledněny hlavně tyto skutečnosti - typ zdiva a jeho materiálové složení a vlhkost zdiva. To vše by měly obsahovat dokumenty (průzkum zdiva, technická a projektová dokumentace sanace), potřebné pro ideální volbu prostředku.

Pro injektáž se používají např. tyto hmoty: parafíny, silikáty, siloxany, akryláty, epoxidové pryskyřice, hydrogely a další.

Injektážní materiály, vytvářející ve zdivu chemickou clonu, fungují na odlišných mechanismech a lze je rozdělit podle principů působení na:

- Utěsňující kapiláry

Tyto chemické látky pronikají do pórů zdiva, kde za pomoci chemických reakcí tuhnou a ucpou tak póry sloužící k transportu vlhkosti.

- Zužující kapiláry

Zde aplikací injektážní látky dochází k zúžení průřezu pórů a tím ke snížení kapilární nasákavosti.

- **Hydrofobizační**

V současnosti nejpoužívanější princip, který je založen na aplikaci nejčastěji mikroemulzí nebo silikonových roztoků do pórů zdiva, kde dojde k hydrofobní úpravě stěn, čímž dojde k zamezení kapilární vzlínivosti. Struktura a velikost pórů se prakticky nezmění a aplikace těchto materiálů se po uplynutí jejich životnosti dá zopakovat.

- **Kombinace**

Využití kombinace látek jak hydrofobizačních, tak utěsňujících. [2] [3]

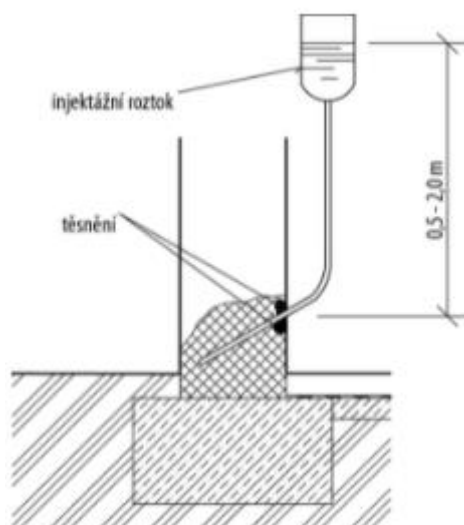
**7.1.2.1. Základní metody aplikace injektážních prostředků**

Podle toho, jakým způsobem je injektážní látka aplikována do struktury zdiva, je možné infuzní metody rozdělit na 2 základní způsoby aplikace. [2]

**7.1.2.1.1. Beztlaková injektáž**

Beztlaková injektáž patří mezi hojně používané metody. Chemické látky se do předem připravených vrtů dostávají beztlakově, z nálevek zavěšených nad otvory zhruba ve výšce 0,2 m, nebo z nádobek umístěných ve větších výškách nad otvorem s využitím hydrostatického tlaku viz obr. č. 9. Vzdálenost jednotlivých vrtů závisí na typu a nasákavosti stavebního materiálu. Nejčastěji se však vrty dělají ve vzdálenosti 100-125 mm od sebe a pod úhlem 15°-45°. Úhly se volí podle typu technologie, skladby a tloušťky zdiva. Vrty u zdiva s menší tloušťkou musí procházet alespoň jednou ložnou spárou a u zdiva s větší tloušťkou alespoň dvěma. Po navrtání a před injektáží je nutné otvory očistit od zbytků vývrtů a od prachu, aby nebylo injektážním prostředkům bráněno v plnění kapilár ve zdivu. Pro tuto metodu jsou vhodné nízkoviskózní, rozpustné injektážní prostředky, což jsou například silikáty, silany, silikonové mikroemulze nebo ohřáté parafíny. [2] [3]





Obr. č. 9 - Princip beztlakové injektáže (zdroj [3])

#### 7.1.2.1.2. Tlaková injektáž

Metoda tlakové injektáže je vhodná pro použití ve stavebních materiálech s vysokou vlhkostí. Vrtý o průměrech 10-12 mm, roztečí 100-300 mm jsou realizovány na základě předpokládaných hloubek pronikání injektážní látky do materiálu. Vrtý mohou být realizovány ve více řadách a provádí se dle technologického postupu výrobce a v požadovaném sklonu. Po vyvrtání se do otvorů osadí injektážní ventily a začne se otvor plnit pomocí vysokotlaké pumpy. Tlaková injektáž se provádí do té doby, než není v konstrukci vytvořena dostatečná chemická hydroizolační clona. [2]

#### 7.1.2.2. Zvláštní injektáže

##### 7.1.2.2.1. Termicky aktivované injektáže

Tato metoda zahrnuje oproti ostatním injektážním metodám i proces vysušování zdiva. Vysušování podporuje účinnost metody a pevnost zdiva. Jako infuzní materiál se u této používá roztavený parafín, který je aplikován do teplotně připravených a vysušených vrtů (materiál

se ohřívá na teplotu kolem 200 °C), aby došlo k ideálnímu vstřebání. Zdivo se plní pomocí zabudovaných injektážních jehel.

Jelikož je metoda prováděna ve vysušeném zdivu, nemá na ni vliv stupeň vlhkosti. Jelikož se při metodě vůbec nepoužívá voda, dochází zde ke zrychlení vysušování konstrukce oproti ostatním metodám zhruba o polovinu času a dochází ke zlepšení tepelně technických parametrů zdiva. [2]

#### 7.1.2.2.2. Metoda následné infuze

U této metody dochází k napouštění konstrukce dvěma infuzními materiály. První z nich má těsnící funkci a druhý hydroizolační. Používají se zde materiály, které velmi dobře pronikají do stavebního materiálu. Nejčastěji jsou to materiály na vodné silikátové a rozpouštědlové organokřemičité bázi. [2]

#### 7.1.2.2.3. Rubová injektáž

Rubová injektáž, jak můžeme vidět na obrázku níže, se neprovádí ve zdivu, ale v místě, kde dochází ke kontaktu mezi zeminou a vnějším lícem zdiva, které je situováno pod úrovní terénu.

Injektáž se tedy provádí z interiérové stěny, vrty jsou vedeny skrz celou tloušťku zdiva a následně se několikrát aplikuje injektážní hmota za účelem vytvoření souvislé svislé hydroizolační clony. Jako injektážní hmoty se zde používají hmoty dobře reagující s vodou a vytvářející mezi zdivem a zeminou vodotěsnou vrstvu.

Řešení touto metodou je ideální, pokud potřebujeme zajistit svislou vnější hydroizolaci a není zde možné odkopat zeminu podél objektu např. kvůli vedlejšímu objektu nebo inženýrským sítím. [2] [3] [20]



Obr. č. 10 - Rubová injektáž zdiva (zdroj [20])

### 7.1.3. Elektroosmotické metody

Elektroosmotické metody sanace zvýšené vlhkosti vytvářejí ve zdivu elektrický potenciál stejnosměrného proudu potlačující kapilární vztlínání vody ve zdivu. Jde o metody vhodné pro všechny typy pórovitých stavebních materiálů u nichž dochází k šíření vlhkosti působením vztlínající vlhkostí.

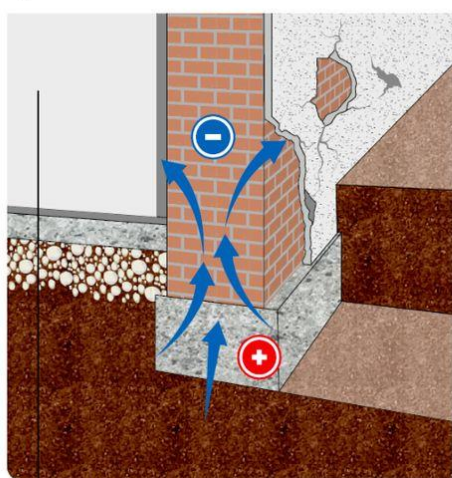
Transportem vody porézním materiálem vzniká elektrický potenciál proudění na elektrodách. Pevná fáze neboli stěny kapilár mají záporný elektrický náboj a voda, pohybující se poblíž stěn kapilár, náboj kladný.

Ve zdivu je trvale umístěna anoda (+) a v zemi katoda (-). Elektrodami prochází stejnosměrný proud a dochází k obrácení polarity. Elektrické pole nejprve zdivo zbaví vlhkosti a následně brání vztlínání.

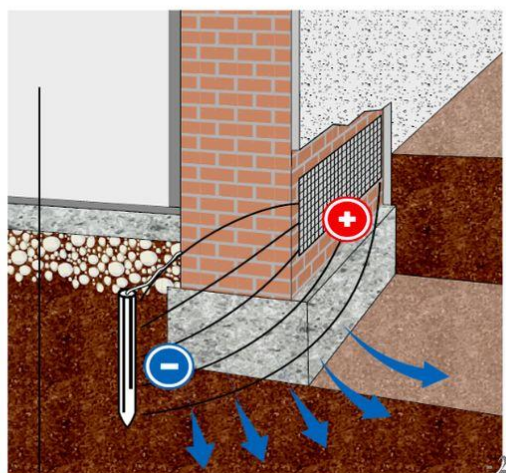
I tato metoda má svá omezení, kterými jsou např. metodu nelze použít u zdiva se salinitou větší než 1 %, u zdiva s  $\text{pH} > 6$ , je nevhodná proti působení tlakové vody, mohou ji ovlivnit bludné proudy v zemině, nezabraňuje průchodu vodní páry difusí, účinnost ovlivňují kovy v konstrukci (např. výztuž).

Elektroosmotické metody se téměř vždy používají v kombinaci se sanačními omítkami. Jejich instalace je poměrně snadná a nedochází při ní k téměř žádným zásahům do zdiva. Proto jsou metody velmi dobře aplikovatelné u historických a památkově chráněných budov. [2] [3] [6] [21] [17]

*Obr. Přirozená polarita zdiva systému EO*



*Obr. Otočení polarity prvky*



Obr. č. 11 - Přirozená polarita zdiva systému EO a otočení polarity prvky (zdroj [LIVING])

### 7.1.3.1. Aktivní elektroosmóza

Aktivní elektroosmotická metoda (AEO) je v praxi nejpoužívanější a jako jediná je uvedena v normě ČSN P 73 0610 u elektroosmotických metod. AEO dost často bývá součástí tzv. dvoufázové sanační metody. Jelikož jsou elektroosmotické metody citlivé na obsah solí a vlhkosti ve zdivu, dochází v první fázi k odsolení a částečnému vysušení zdiva za pomoci některé z dalších sanačních metod. Následuje použití druhé fáze, kdy AEO začne zdivo dosušovat a bránit vzlínající kapilární vlhkosti.

Metoda AEO využívá elektrického potenciálu v zemi a zdivu. Při použití této metody se do zdiva instalují kladné elektrody, anody, a do zeminy záporné elektrody, katody. Katody a anody jsou napojeny na řídicí jednotku, která do systému dodává stejnosměrný proud a tím

dochází k obrácení polarity a vlhkost se díky tomu začne dostávat z konstrukce pryč. [6] [15] [17]

#### 7.1.3.2. Bezdrátová elektroosmóza

Tato poměrně nová metoda funguje na principu indukce elektromagnetického pole, které působí na molekuly vody, zvyšuje jejich kladný náboj, obrací potenciál ve zdivu a nutí vodu obsaženou ve zdivu k transportu směrem k zemině. Možnost aplikace systému je na jakýkoliv typ zdiva a systém je bezúdržbový. [16] [17]

#### 7.1.4. Vzduchové izolační metody

Metody vzduchoizolačních systémů se v současné době u nových staveb nerealizují. Tyto metody se dnes používají na sanaci vlhkého zdiva např. u historických památek, kde nemůžeme razantně zasahovat do konstrukce.

Metody odstraňují vlhkost za pomoci proudícího vzduchu. Využívají se zde různé systémy mezer, dutin, kanálku či štol, ve kterých dochází k proudění vzduchu a odvodu vlhkosti díky přirozenému větrání.

Vzduchové izolační systémy lze rozdělit na vzduchové dutiny a ostatní systémy. [2] [3] [6]

##### 7.1.4.1. Vzduchové dutiny

Snížení vlhkosti pomocí této metody není moc účinné. Dá se počítat zhruba s 2-3 % snížením hmotnostní vlhkosti u zdiva a proto je použitelná pouze u zdiva s vlhkostí  $w_m < 10$  %.

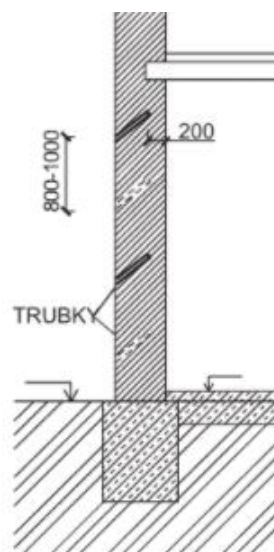
Princip této metody spočívá v oddělení konstrukce od zeminy vzduchovou mezerou, ve které dochází k proudění vzduchu, který přispívá k odvlhčování zdiva. Vzduchové mezery mohou být jak svislé (stěnové), tak vodorovné (podlahové), dají se realizovat jak na vnější, tak vnitřní straně zdiva, vzduch v nich může proudit přirozeně nebo nuceně a odvětrání může být do interiéru, exteriéru či mohou být neodvětrávané. [3]

#### 7.1.4.2. Ostatní vzduchové systémy

Do ostatních vzduchových systémů sloužících k sanaci vlhkého zdiva patří použití systému kanálků, profilových fólií a provětrávané drenážní systémy.

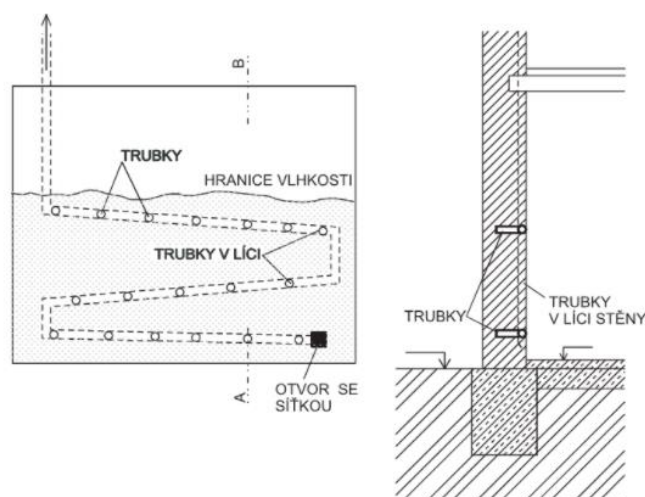
Způsoby využívající systémy kanálků jsou dva. Knapenovy kanálky a kanálkový způsob. Ani jeden z těchto způsobů však nedosahuje v našich klimatických podmínkách požadovaných výsledků, proto se s jejich návrhem už skoro nesetkáváme.

U Knapenových kanálků jsou na vnější straně zdiva pod úhlem 10°-15° osazeny trubky z porézního materiálu. Princip metody pak počítá s odpařováním vlhkosti ze zdiva do kanálků. To je možné díky přítomnosti vzduchu v kanálkách, který se nasycuje vodní párou, snižuje svou teplotu a zvyšuje hmotnost. Tím by v kanálkách mělo docházet k přirozené cirkulaci vzduchu, neboli vlhký vzduch by měl být nahrazen čerstvým vzduchem z vnějšího prostředí. Tento jev se děje pouze za určitých klimatických podmínek. Problém nastává, pokud klimatické podmínky nejsou pro tento jev vhodné, čímž může dojít k jevu opačnému, tudíž přísunu vlhkosti z kanálků do zdiva.



Obr. č. 12 - Knapenovy kanálky (zdroj [2])

Kanálkový způsob odvodu vlhkosti ze zdiva využíval soustavu vodorovných děr spojených lomeným kanálkem. Metoda je však neúčinná a navíc dochází ke snížení součinitele prostupu tepla U.



Obr. č. 13 - Příklad řešení kanálkového způsobu (zdroj [2])

Použití profilovaných fólií z plastových hmot je vhodné spíše na vodorovnou a svislou hydroizolační ochrannou vrstvu. Při špatně zrealizovaném ukončení této fólie může dojít ke zhoršení vlhkostního stavu zdiva vlivem zatékající vody.

Provětrávané drenážní systémy slouží spíše k odvětrávání radonu z podloží. Drenážní systém může za jistých okolností částečně snížit vlhkost zdiva. Realizují se však výjimečně. [2] [3]

## 7.2. Metody nepřímé

Nepřímé sanační metody neovlivňují vlhkost v konstrukci napřímo, ale za pomoci různých prostředků a úprav redukují hydrofyzikální namáhání působící na tuto konstrukci. Dle ČSN P 73 0610 se tyto metody používají nejvíce v kombinaci s metodami přímými tam, kde to provedené průzkumy uznají za vhodné. Mezi tyto metody patří

např. použití drenáží, terénní úpravy povrchu kolem objektu, zhotovení hydroizolačních zábran kolem objektu nebo větrání objektu. [6]

### 7.2.1. Drenážní systém

Drenážní systémy slouží k odvodu vody srážkové nebo podzemní z okolí objektu. Drenáže se především navrhují jako doplňkové opatření k některé z přímých sanačních metod.

Drenáže je dobré navrhovat, pokud:

- se základy budovy nachází v nepropustném podloží a nad úrovní hladiny podzemní vody. V nepropustném podloží se navrhují proto, aby se zde netvořil vodní sloupec, který by následně působil hydrostatickým tlakem na konstrukci.
- se budova nachází ve svahu za účelem odvedení srážkové vody stékající po svahu pryč od budovy.
- již hlavní hydroizolace neplní svou funkci a konstrukce je dlouhodobě hydrofyzikálně namáhána tlakovou a gravitační vodou. [3]

### 7.2.2. Terénní úpravy

Vhodnými terénními úpravami přispívajícími ke snížení vlhkosti zdiva se rozumí hlavně vhodné vyspádování terénu v okolí objektu a to směrem od paty zdí, snížení úrovně terénu okolo stavby nebo realizace okapového chodníku. [3] [6]

## 7.3. Metody doplňkové přímé

### 7.3.1. Hydroizolační prostředky

Hydroizolační prostředky jsou dle ČSN P 73 0610 vodotěsné malty a silikátové materiály s krystalizačními účinky. Prostředky chrání konstrukci před vzlínající vlhkostí a před účinky hydrostatického tlaku. Dají se aplikovat jak v exteriéru tak v interiéru. [6]



### 7.3.2. Vnější nátěry, nástřiky a těsnění spár

Všechny tyto úpravy jsou používány, aby docházelo k co nejmenšímu pronikání srážkové vody do konstrukce a kvůli snížení smáčivosti fasád. Materiály jsou zde používány takové, které nebrání výměně vlhkosti mezi okolními prostory a materiálem a mají dlouhou životnost i v agresivních podmínkách. [6]

### 7.4. Metody doplňkové nepřímé

#### 7.4.1. Sanační omítky

Pokud provedeme nějakou ze sanačních metod snížení vlhkosti např. chemické injektáže, elektroosmotické metody a další, neznamená to, že ke snížení vlhkosti dojde okamžitě. Záleží na spoustě faktorů, jako je tloušťka zdiva, materiál, použitá metoda atd. Zdivo tedy i po sanaci obsahuje nějakou vlhkost, které se díky sanaci zbaví za určitý čas. Prostory sanovaného objektu však chceme užívat, ale u zdiva dost často chybí jeho povrchová úprava, což není moc estetické.

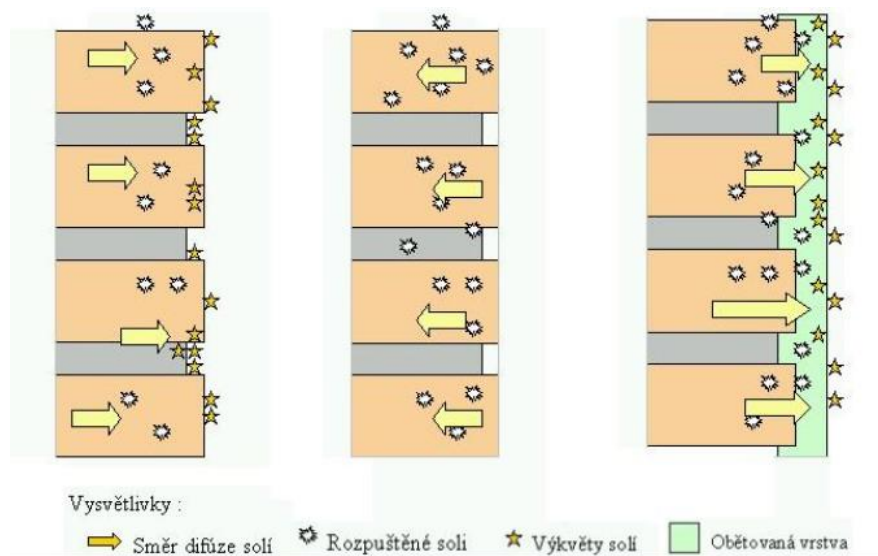
Jelikož je tedy zdivo ještě vlhké, nelze zde použít klasickou úpravu povrchů, ale je třeba použít speciální sanační omítky, které mají nízký difuzní odpor ( $\mu < 12$ ), pórovitost větší než 40 % a póry větší než běžné vápenocementové či vápenné omítky. Díky těmto vlastnostem nedochází v sanačních omítkách ke vzlínání vlhkosti, naopak odvod vody ze zdiva je možný a solím ze zdiva je zabráněno tvořit na povrchu výkvěty, protože se usazují v pórech omítky. [3]

#### 7.4.2. Obětované omítky

Obětované neboli kompresní omítky slouží k eliminaci a snížení koncentrace vodorozpustných stavebně škodlivých solí. Princip, který metoda používá, je vidět na obr. č. 14. První obrázek je zasolené zdivo obsahující jak rozpuštěné soli uvnitř materiálu, tak výkvěty solí na povrchu. Na druhém obrázku došlo k očištění a namočení zdiva. Na třetím obrázku je vidět aplikace obětované, silně nasákové omítky, do které se začínají koncentrovat soli ze zdiva. Tento proces trvá nějakou

dobu. Následuje „obětování“ omítky, odvoz omítky na skládku, aby nedošlo k zpětné kontaminaci a celý proces se opakuje.

Tím, že zbavíme zdivo solí, hygroskopických solí, které mají schopnost do své struktury vázat vodu, zbavíme částečně zdivo vlhkosti. [22] [23]



Obr. č. 14 - Princip odsolení (zdroj [22])

## 8. Památková ochrana

Na území dnešní České republiky má ochrana památek dlouhou a bohatou tradici a patří k nejrozvinutějším v Evropě. To, jak země zachází, zkoumá a dokumentuje své historické stavby, především jsou-li památkově chráněné, se dá považovat za měřítko kulturní vyspělosti země. [17] [25]

### 8.1. Vývoj ochrany na území ČR

Ochrana památek na území České republiky se začala formovat již v 18. stol za vlády Marie Terezie a Josefa II. Vznikly první legislativní akty chránící významné rukopisy a dále dekrety, které zakazovaly přivlastnění starých historických mincí.

Postupem času prošla ochrana památek na našem území značnými změnami spojenými s vývojem společnosti, rozvojem ekonomiky, vědy a dalšími vlivy. V druhé polovině 19. století zde docházelo k industrializaci. Díky ní byla zničena spousta staveb, které v tu dobu nebyly považovány za památky a které bylo potřeba odstranit pro uvolnění pozemků pro jiné např. stavební účely. Až koncem 19. století se na památky začalo díky profesorovi Aloisi Riegrovi nahlížet jinak. Díky němu „začaly být památky hodnoceny jako doklady vývoje, na kterých všechna období zanechala hodnotné stopy“. [25] Některých jeho myšlenek se držel a postupně je rozvíjel Státní památkový úřad zřízený po vzniku Československa. V době komunismu byl přijat první zákon o kulturních památkách, podle kterého byl ustanoven Státní ústav památkové péče a ochrany přírody (SÚPPOP), jehož úkolem bylo vytvoření odborné památkové péče. V roce 1987 byl přijat nový památkový zákon č. 20/1987 Sb., který je dnes platný ve svém aktuálním znění od 01.02.2022 do 30.06.2023 (verze 28). V roce 1990 se oddělila ochrana přírody a vznikl Státní ústav památkové péče (SÚPP), který se v roce 2003 změnil na Národní památkový ústav (NPÚ).

Ministerstvo kultury České republiky je dnes ústředním orgánem, co se týče státní správy v oblasti památkové péče a „je současně zřizovatelem odborné organizace památkové péče - Národního památkového ústavu (NPÚ) - vědecké rady pro státní památkovou péči jako vědeckého poradního orgánu a památkové inspekce jako specializovaného kontrolního orgánu“. [25] Dalšími stupni jsou krajské úřady a obecní úřady obcí s rozšířenou působností. [17] [25]

## 8.2. Zajištění ochrany památek v České republice

Základním zákonem zabývajícím se ochranou památek v České republice je již zmiňovaný zákon č. 20/1987 Sb. v jeho aktuálním znění. Tento zákon nám definuje podmínky ochrany kulturních památek (nejen těch, které již byly vyhlášeny za kulturní památky, ale i ty, u kterých se jedná o vyhlášení za kulturní památku), upravuje kompetenci státních a samočinných orgánů, určuje práva a povinnosti vlastníků památek, definuje podmínky vyhlášení objektů kulturní památkou, vymezuje pomoc při obnově, definuje Ústřední seznam kulturních památek ČR a definuje jednotlivé pojmy jako např.:

**Kulturní památka.** „Za kulturní památky podle tohoto zákona prohlašuje ministerstvo kultury České republiky nemovité a movité věci, popřípadě jejich soubory, které jsou významnými doklady historického vývoje, životního způsobu a prostředí společnosti od nejstarších dob do současnosti, jako projevy tvůrčích schopností a práce člověka z nejrůznějších oborů lidské činnosti, pro jejich hodnoty revoluční, historické, umělecké, vědecké a technické a které mají přímý vztah k významným osobnostem a historickým událostem“. [26]

**Národní kulturní památka (NKP)** - tyto památky jsou pro kulturní bohatství České republiky ty nejcennější. Prohlašuje je nařízením vláda ČR a stanovuje podmínky jejich ochrany.

V současnosti se na našem území nachází přes 40 tisíc nemovitých kulturních památek, to jsou ty, které jsou pevně spojeny se zemí např.

hrady, kláštery, domy, sloupy atd. a přes 300 národních kulturních památek. [25] [26] [27]

### 8.3. Sanace chráněných budov

Sanace historických památkově chráněných budov je co do návrhu a provedení velmi obtížná. Neexistují zde žádné obecné zásady, které by se daly aplikovat na těchto chráněných budovách. Každá stavba je jiná. Liší se stářím, materiálem, provedením, vlhkostní příčinou a mnoha dalšími aspekty. A i proto si každá památkově chráněná budova žádá svoje konkrétní řešení problému.

Památkově chráněny mohou být historické budovy jako celek nebo mohou být chráněny jejich části a jsou spojené s potřebou zachovat co nejvíce původních materiálů. Zde je třeba říci, že všechno stárne. Jak my, lidé, tak i stavby, které budujeme a opravovat je do nekonečna bez větších, radikálnějších zásahů do konstrukce není možné.

U návrhu sanace musí vždy probíhat diskuse mezi investorem, projektantem a zástupcem památkové péče. Cílem této diskuse je najít kompromis mezi technickými potřebami stavby a zachováním památkových konstrukcí. Projektantům jsou v těchto případech často doporučovány historické metody jako jsou například vzduchové mezery nebo úprava terénu kolem stavby. Tyto metody dost často nesplňují technické potřeby stavby. Projektanti pak musí složitě dokazovat nevhodnost jejich provedení a obhajovat své řešení problému. Proto je v tomto případě velmi důležitá spolupráce a hledání daného kompromisu. [2] [31]

## 9. Praktická část

Doposud byly v této bakalářské práci řešeny teorie problematiky vlhkosti, salinity zdiva a ochrany památek s přihlédnutím na jejich rekonstrukci.

Nyní se dostáváme ke konkrétnímu řešení problematiky vlhkosti a salinity zdiva u objektu Starého opatství, který je součástí národní kulturní památky areálu kláštera v Plasích.

Ze začátku bude představena stručná historie kláštera v Plasích a následně konkrétní řešený objekt Starého opatství a jeho problematika vlhkosti a salinity zdiva.

Plasy jsou město, které je, co se týče rozlohy, poměrně malé, ale co se týče historické a kulturní stránky velmi bohaté a jedinečné svým geniem loci.

### 9.1. Historie Plasů

První prokazatelné zmínky o Plasích se vztahují k založení kláštera, který svou existencí dal celému kraji zvláštní ráz. Cisterciácký klášter založil kníže Vladislav II. v roce 1144. V roce 1145 přišli do Plas první mniši z německého Langheimu. O rok později vydal kníže klášteru zakládací listinu. Jméno kláštera i sídla bylo pravděpodobně dáno dle původního knížecího dvorce nebo podle úzkých polí ve svazích kotliny, kterým se říkalo plasa.

Založením kláštera byla dovršena snaha Přemyslovců o kolonizaci neosídlených území českého státu. O podobě kláštera po jeho založení máme málo pramenů, ale podle dochovaných písemných zpráv již v roce 1202 byla vybudována románská kamenná bazilika. Největší rozvoj zaznamenal klášter za vlády krále Václava I. Slibný rozvoj kláštera byl přerušen husitským hnutím, kdy dokonce v roce 1421 byl tímto husitským vojskem vypálen. Celé 15. a 16. století pak pro klášter znamená dobu hlubokého úpadku. Až po bitvě na Bílé hoře došlo

ke zlepšení majetkových poměrů kláštera a vrací se mu větší část majetku, který dříve vlastnil. V tomto období dochází k velké vlně nové výstavby, která začala již v první čtvrtině 17. století. Za opata Trojera a Tyttla dochází k výstavbě barokních staveb konventu, prelatury, sýpek a přestavbě dalších objektů. Na výstavbě se podíleli tehdejší evropští stavitelé, jako Jean Baptiste Mathey, Jan Blažej Santini-Aichel a Kilián Ignác Dientzenhoffer. Fresky a obrazy tvořili věhlasní malíři Jakub Antonín Pink, František Antonín Müller, Josef Kramolín nebo Petr Brandl. Stavitelům se podařilo mistrovské zvládnutí hmoty a prostoru zařadit do přírodního koloritu Plaské kotliny. Hodnota tohoto barokního areálu je v Evropě ojedinělá. V roce 1785 za doby osvícenského císaře Josefa II. byl cisterciácký klášter zrušen a majetek připadl správě Náboženského fondu. Ten celý areál roku 1826 prodal kancléři K. L. Metternichovi. Tento muž, nejmocnější politická osobnost tehdejší Evropy, významně zasáhl do dalších osudů kláštera i města Plas. Podpořil rozvoj hutního průmyslu a uskutečnil mnoho přestaveb v celém intravilánu. V té době Plasy zaznamenávají největší přírůstek obyvatel a dochází k oživení kulturního a společenského života Plas. Z města se tak stává kulturní a historické centrum. Významnou změnou byla i úprava říční nivy, která byla přeměněna na volný anglický park a až do současné doby nese název Velká louka. Majetek vlastnili Metternichové až do roku 1945. Dnes jsou jednotlivé budovy klášterního areálu ve vlastnictví státu, obce a soukromých vlastníků. [28] [29]



Obr. č. 15 - Klášter Plasy (zdroj [30])

## 9.2. Řešený objekt

Řešeným objektem této bakalářské práce je již několikrát zmiňovaná budova Starého opatství (obr. č. 16 zobrazena černým obdélníkem), která je součástí areálu prelatury a tvoří severovýchodní část kláštera. Areál prelatury je přibližně čtvercového půdorysu a je tvořen samotnou prelaturou, ambitem, oranžérií, Starým opatstvím a ohradní zdí. Uprostřed těchto objektů se nachází opatský dvůr s kašnou.

O budově Starého opatství se v poslední době díky archeologickým a stavebně historickým výzkumům dozvídáme důležité informace o historii tohoto objektu. V budově byly objeveny například torza středověkého hostinského domu a vstupní budovy kláštera. Díky těmto nálezům můžeme budovu datovat zhruba do poloviny 13. století.

*„Staré opatství bylo tolikrát přestavováno, že se skutečně velice obtížně hledá jeho skutečná původní podoba.“ [37]*

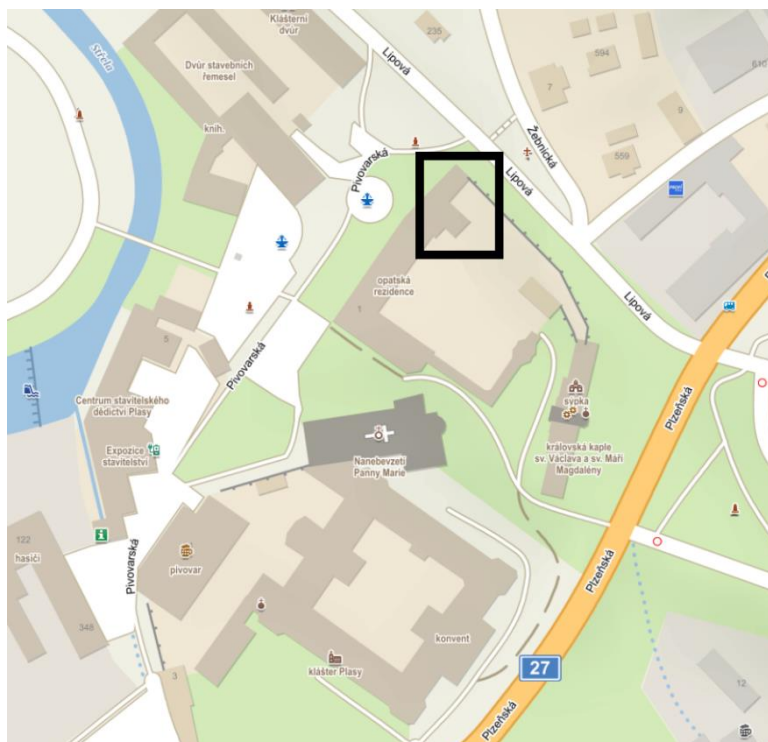
Staré opatství, ve své současné podobě, vzniklo na počátku 18. století, když došlo ke spojení části hostinského domu původního středověkého opatského dvorce s budovou se vstupním průjezdem do



kláštera, postavenou kolem roku 1610. Poslední proměna budovu ještě čekala. V roce 1913 došlo totiž v budově k požáru. A při následné nešetrné opravě se pak změnila dispozice interiéru, došlo k zvýšení budovy o patro a v 50. letech se u východní části budovy vybuodovala kotelna pro účely stanice SNB.

Budova byla ještě nedávno díky nešetrným zásahům z minulosti a zanedbané údržbě v dosti zchátralém stavu. V současné době se stav objektu zlepšuje, a to díky probíhajícímu projektu Cisterciácký klášter Plasy - Obnova opatské rezidence, jehož jedním z cílů je rehabilitace a obnova chátrající budovy Starého opatství. Objekt po rehabilitaci bude sloužit pro prohlídkové trasy klášterem se vstupním centrem a zázemím správy kláštera.

V textu níže se bude tato práce věnovat potřebným činnostem, které se týkají problematiky vlhkosti a salinity zdiva u objektu Starého opatství a řešení tohoto problému. [30] [35] [36] [37]



Obr. č. 16 - Poloha budovy Starého opatství (zdroj [MAPY.cz])



Obr. č. 17 - Cisterciácký klášter Plasy (zdroj [30])



Obr. č. 18 - Cisterciácký klášter Plasy (foto autora)



Obr. č. 19 - Budova prelatury a Starého opatství (foto autora)

### 9.3. Stavebně technický průzkum

Cílem stavebně technologického průzkumu je získat informace o konstrukci, zjištění současného technického stavu jak svislých, tak vodorovných konstrukcí a stanovení příčin poruch. Nás budou zajímat pouze ty činnosti, které jsou spojené s tématem této práce.

Zdivo je většinou cihelné až smíšené s charakterem zdiva z lomového kamene. Zdivo má nedokonalou vazbu a je bez horizontálních ložných spár. Hydroizolace spodní stavby zde nebyla provedena.

V místech, kde dochází ke společnému působení vlhkosti a vodorozpustných solí, je zdivo degradováno a tam, kde dochází ke kontaktu se dřevem, které je napadené hnilobou, je i napadeno myceliem dřevokazných hub.

Zdrojů vlhkosti u budovy Starého opatství je díky zanedbané péči více. Jedním ze zdrojů vlhkosti byly chyby ve střešní konstrukci, díky kterým docházelo k zatékání do objektu. Úroveň terénu byla v minulosti kolem objektu zvýšena, což přispívalo k namáhání obvodového zdiva zemní vlhkostí a srážkovou vodou, která byla k objektu přiváděna také poškozenými okapovými svody a z okolí objektu, které zde není



dostatečně odvodněno. Společně s vodou se do konstrukce dostávají i soli, které svým působením ve stavebním materiálu přispívají k jeho degradaci.

Na fotce a výkresu níže můžeme vidět východní pohledy na budovu Starého opatství. Na obou obrázcích si pak můžeme všimnout výše zmiňovaných zdrojů vlhkosti. [34]



Obr. č. 20 - Staré opatství (foto autora)



Obr. č. 21 - Pohledy - omítkové plochy I. (zdroj [Projektový ateliér pro architekturu a pozemní stavby])

#### 9.4. Stavebně technický průzkum z hlediska vlhkostní problematiky

Aby bylo možné zvolit vhodné sanační metody a provést je v takovém rozsahu, který by vedl ke snížení vlhkosti a salinity ve zdivu a mohly tak být dodrženy požadované záruky za provedené práce, je třeba určit hmotnostní vlhkost a salinitu zdiva.

Měření vlhkosti proběhlo v únoru 2021 nedestruktivní metodou pomocí kapacitního přístroje GREISINGER GMK 100 v povrchové vrstvě do hloubky cca 25-50 mm. Místa, na kterých byla vlhkost měřena, a to v různých výškách, jsou zobrazena na obr. č. 22 - půdorys vlhkostního průzkumu 1.NP - SO 01 OPATSTVÍ modrými značkami. Naměřené hodnoty byly následně přehledně zapsány do tabulky a bylo provedeno vyhodnocení dle ČSN P 73 0610 - Klasifikace vlhkosti zdiva.

Č. sondy	Výška nad podlahou v [m]	Hmotnostní vlhkost w [%]
M2	0,5	6,2
	1	6
	1,5	7,5
M4	0,5	7,9
	1	8,3
	1,5	9,1
M6	0,5	7,7
	1	5,3
M7	0,5	9,3
	1	10
	1,5	9,1
M8	0,5	7,6
	1	5,1
	1,5	4,7
M9	0,5	8,3
M10	0,5	5,3
	1	4,1
	1,5	4,8
M11	0,5	7,4
	1	7,6
	1,5	6
M12	0,5	7,1
	1	4,6
	1,5	4,4
M13	0,5	8,3
	1	7,6
	1,5	5,7
M14	0,5	8,7
	1	6,6
M15	0,5	8,2
	1	7,2
	1,5	8,8
M16	0,5	8,3
	1	5,6
	1,5	5,1
M17	0,5	7,2
	1	4,8

Č. sondy	Výška nad podlahou v [m]	Hmotnostní vlhkost w [%]
M18	0,3	8,6
	0,5	6,9
M19	0,5	9,4
M20	0,5	10,1
	1	9,2
M21	0,5	6,4
	1	4,9
	1,5	3,8
M22	0,5	10,1
	1	9
	1,5	7,6
M23	0,5	6,3
	1	3,3
M24	0,5	9,5
	1	6,4
M25	1	8,5
	1,5	9,1
M26	0,5	7,3
	1	6,4
	1,5	5,1
M27	0,5	6,8
	1	3,2
M28	0,5	7,9
	1	6,8
	1,5	7,5
M29	1	10,6
M30	0,5	8,6
	1	6,8
	1,5	7
M32	0,5	7,6
	1	9,1
M33	0,5	10,8
	1	9,4

KLASIFIKACE VLHKOSTI ZDIVA DLE ČSN 73 0610	
Stupeň vlhkosti	Vlhkost zdiva w v % hmotnosti
Velmi nízká	w < 3
Nízká	3 < w < 5
Zvýšená	5 < w < 7,5
Vysoká	7,5 < w < 10
Velmi vysoká	w > 10

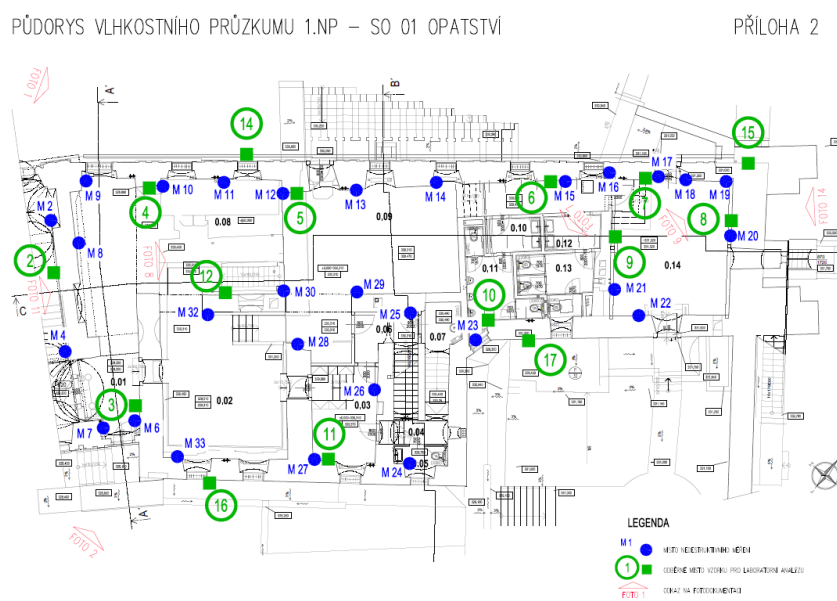
Tab. č. 5 - Naměřené hodnoty vlhkosti a Klasifikace vlhkosti zdiva dle ČSN P 73 0610 (zdroj [33])

Dále bylo odebráno několik vzorků stavebního materiálu, které byly v laboratoři podrobeny analýze salinity a opět porovnány s hodnotami uvedenými v ČSN P 73 0610 - Klasifikace obsahu solí ve zdivu.

Obsah solí	Síraný [mg/g]	Chloridy [mg/g]	Dusičnany [mg/g]	Výška odběru vzorku nad podlahou [m]	Obsah solí v mg/g vzorku a v % hmotnosti					
					Chloridy		Dusičnany		Síraný	
		mg/g	%	mg/g	%	mg/g	%	mg/g	%	
S1	1,26	1,33	3,59	1,8	< 0,75	< 0,075	< 1,0	< 0,1	< 5,0	< 0,5
S2	4,24	2,66	11,6	1,8	0,75 - 2	0,075 - 0,2	1,0 - 2,5	0,1 - 0,25	5,0 - 20	0,5 - 2,0
S3	0,8	0,096	0,819	1,2	2,0 - 5,0	0,20 - 0,50	2,5 - 5,0	0,25 - 0,5	20 - 50	2,0 - 5,0
S4	2,62	1,62	3,56	1,2	> 5,0	> 0,50	> 5,0	> 0,5	> 50	> 5,0
S5	3,51	1,83	4,94	1,2						
S6	1,11	0,242	0,969	1,2						
S7	0,552	1,97	4,22	1,2						
S8	1,95	0,168	0,403	1,2						
S9	0,343	3,13	8,47	1,2						
S10	1,53	2,94	11,1	1,2						
S11	0,14	4,52	10,5	1,2						
S12	0,299	0,718	1,23	1,2						
S14	4,93	0,847	2,04	1,2						
S15	2,76	2,66	1,04	1,2						
S16	0,82	0,63	1,91	1,2						
S17	2,99	3,38	13,7	1,2						

Tab. č. 6 - Výsledky laboratorní analýzy salinity a Klasifikace obsahu solí ve zdivu dle ČSN P 73 0610 (zdroj [33])

Výsledky nedestruktivního měření vlhkosti nám ukázaly, že jsou zde zvýšené až vysoké hodnoty vlhkosti zdiva a laboratorní analýzou bylo zjištěno, že jsou zkoumané vzorky velmi silně zasaženy solemi, nejvíce dusičnany. [33]



Obr. č. 22 - Půdorys vlhkostního průzkumu 1. NP – SO 01 Opatství (zdroj [33])

## **10. Navrhované řešení dle projektu**

Po provedení stavebně technologických průzkumů a vyhodnocení zjištěných skutečností o stavu zdiva u objektu Starého opatství byly po vzájemné spolupráci mezi projektanty a zástupci památkové péče vybrány sanační metody, které jsou zaměřeny na eliminaci vlhkosti a salinity zdiva. Konkrétně se jedná o metody obětovaných omítek a propařování zdiva. Tyto metody byly vybrány s přihlédnutím a respektem k historické a kulturní hodnotě objektu. Dále u metod byla zohledněna i skutečnost, že součástí stavebních úprav realizovaných na objektu a v jeho okolí jsou takové práce a úpravy, které povedou ke snížení namáhání zdiva vlhkostí a salinitou.

## 11. Provedené řešení

Při návrhu sanace vlhkosti zdiva u objektu Starého opatství se musí počítat s tím, že se jedná o velmi významnou národní kulturní památku. To v praxi znamená, že jsou zde v maximální možné míře využívány a upřednostňovány tradiční technologické postupy a materiály, které jsou shodné s původními.

Dále musíme u historických objektů počítat s tím, že nemůžeme realizovat sanační metody, které jsou radikální, destruktivní, které často ke své realizaci potřebují vodorovnou ložnou spáru a jejich použití v našem případě by mohlo značně ovlivnit statiku objektu. Tyto metody např. mechanické se při návrzích ani neuvažují, protože by neprošly schválením od zástupce památkové péče.

Sanační metody musí být takové, aby díky nim došlo nejen ke snížení vlhkosti a salinity zdiva, ale také k zredukování příčin těchto problémů. Z tohoto vyplývá, že použití jedné metody by nic neřešilo. Metod musí být použito více, musí se vzájemně doplňovat a tvořit spolupůsobící ochranu objektu před těmito škodlivými vlivy.

Budovu negativně ovlivnil požár v roce 1913 a následné necitelné úpravy v minulém století. V probíhající rekonstrukci, jejíž snahou je dostat velmi zchátralou budovu do její podoby před požárem, je celá řada stavebních úprav, které přispějí k eliminaci vlhkosti a stavebně škodlivých solí a ke snížení namáhání budovy vlivem vlhkosti a salinity. Tyto stavební úpravy a použité sanační metody jsou popsány níže.



## 11.1. Sanační metody

### 11.1.1. Obětované omítky

Hlavní sanační metodou, která zde byla použita pro snížení koncentrace vodorozpustných stavebně škodlivých solí a vlhkosti, je metoda obětovaných omítek. Metoda byla použita na zdivu jak v interiéru, tak v exteriéru, a to ve třech cyklech. Obětované omítky jsou vápenná malta, složená z písku a vápna v poměru 7:1. Tyto omítky jsou porézní, disponují velkým obsahem kapilárních pórů, jsou velmi nasákové a mají nízkou pevnost. Díky těmto vlastnostem jsou schopny do sebe přesunout škodlivé soli a vlhkost ze zdiva. Omítka se následně oklepe, odveze ze stavby, aby nešlo ke zpětné kontaminaci a následně se celý proces opakuje. Oklepání musí být provedeno bez použití techniky, aby nedošlo k porušení zdiva.

#### Technologický postup obětovaných omítek

Před aplikací obětovaných omítek je nutné provést plnoplošné otlučení omítek a proškrábnout spáry do zhruba 1-3 cm. Otlučený materiál musí být okamžitě odvezen, aby nedošlo k sekundární kontaminaci. Následuje technologická pauza trvající zhruba 15-30 dní, aby mohlo dojít k částečnému proschnutí stěny. Po technologické pauze aplikujeme obětované omítky (písek + vápno v poměru 7:1) v tloušťce 2 cm. Vrstvu vlhčíme, abychom zamezili jejímu vysychání. Omítka se na zdivu nechá zhruba 30-45 dní. Po této době dojde k jejímu ručnímu „obětování“ a odvezení od objektu pryč (opět kvůli riziku opětovné kontaminace). Po technologické pauze trvající 15-30 dní se tento celý cyklus opakuje ještě 2x. [33]



Obr. č. 23 - Obětovaná omítka (foto autora)



Obr. č. 24 - Obětované omítky (zdroj [32])

### 11.1.2. Propařování zdiva

Po obětovaných omítkách bude následovat další sanační metoda pro snížení koncentrace solí v konstrukci. Ve dvou fázích bude použita technologie propařování zdiva využívající vysokotlakého čističe s ohřevem a vodou chlazeným motorem. Čistič produkuje páru o teplotě 100-130 °C a tlaku 50 barů. Při propařování zdiva dojde k uvolnění nesoudržného zdiva a omítek.

#### Technologický postup propařování zdiva

Ze začátku je nutné provést otlučení omítek, hrubé očištění zdiva a proškrábnutí spár do 1-3 cm. Otlučený materiál je nutné odvést od objektu kvůli riziku případné kontaminace. Zdivo se dočistí ocelovým kartáčem a následuje první stupeň sanace zasoleného zdiva parním čištěním. Technologická pauza minimálně 4 dny. Zdivo se dočistí ocelovým kartáčem, proškrábnou se spáry a provede se druhý stupeň sanace zasoleného zdiva parním čištěním. [33]

### 11.1.3. Úprava terénu

Mezi použité nepřímé metody sanace vlhkosti zdiva patří i terénní úpravy. Výšková úroveň dvora SO.04 byla v minulosti, hlavně při stavbě krytu civilní obrany, který se nachází pod objektem SO.02, nepříznivě zvýšena. Tento navýšený terén negativně ovlivňuje vlhkost vstupující nejen do Starého opatství, ale i všech ostatních přilehlých objektů. Po konzultaci se zástupci památkové péče bude výšková úroveň dvora snížena o 70 cm na historickou úroveň. Podél objektů bude vytvořen okapový chodník šířky 100 cm spádovaný směrem od objektu. Terén na dvoře bude dále spádován do čtyř poldrů, které slouží k odvodnění plochy. Kolem poldrů a kašny se nachází mlatové cesty. [38]



Obr. č. 25 - Situace architektonická (zdroj [38])

#### 11.1.4. Výměna střešní konstrukce

Výměna střešní konstrukce sice není žádná sanační metoda, ale určitě stojí za zmínku. Starou střechou do objektu zatékalo a poškozenými svody docházelo k viditelnému poškození fasády a zvyšování vlhkosti v těchto místech. Střecha byla dokončena v červenci 2021. Výplně otvorů jsou opravovány mimo objekt. Díky tomu může objektem volně proudit vzduch, čímž dochází k přirozenému vysychání zdiva.





Obr. č. 26 - Budova Starého opatství před zahájením rehabilitace (zdroj [32])



Obr. č. 27 - Budova Starého opatství (foto autora)

## 12. Posouzení obětovaných omítek a propařování zdiva

Zdivo u objektu Starého opatství je velmi silně zasaženo vodorozpustnými stavebně škodlivými solemi a vlhkostí. Proto u volby sanačních metod byl kladen důraz na takové metody, které zajistí požadovanou eliminaci a snížení koncentrace škodlivých solí a vlhkosti ve zdivu a zároveň budou respektovat historickou a kulturní hodnotu objektu. Na obr. č. 28 se nachází souhrn probíraných sanačních metod v této práci a jsou uvedeny důvody, díky kterým nemohly být jednotlivé metody použity u objektu Starého opatství.

Po zohlednění stavu objektu a stavebních úprav realizovaných na objektu byly vybrány výše zmiňované metody obětovaných omítek a propařování zdiva.

Tyto metody nejsou nijak technologicky ani časově, co se týče realizace, náročné. Celkově však tyto postupy trvají velmi dlouho, obzvláště obětované omítky, které potřebují dostatek času, aby se do nich přesunuly soli ze zdiva. Celková doba trvání byla stanovena na 279 dní viz tab. č. 7.

DOBA TRVÁNÍ METODY OBĚTOVANÝCH OMÍTEK A PROPAŘOVÁNÍ ZDIVA	DOBA TRVÁNÍ (den)
<b>NÁZEV ČINNOSTI</b>	
Otlučení omítek + vyškrabání spár + odvoz suti	1
Technologická pauza	25
Aplikace obětovaných omítek	2
Technologická pauza	35
Otlučení omítek + vyškrabání spár + odvoz suti	1
Technologická pauza	25
Propařování zdiva	4
Technologická pauza po propařování	4
Obětované omítky (1 cyklus)	89
Propařování zdiva (1 cyklus)	4
Celková doba trvání metody (3 cykly obětovaných omítek +2x propařování zdiva)	279

Tab. č. 7 - Stanovení časové náročnosti (tabulka autora)

Celkové náklady na provedení těchto prací byly vyčísleny za pomoci programu euroCALC 3 a byly stanoveny na 418 968 Kč viz. tab. č. 8.

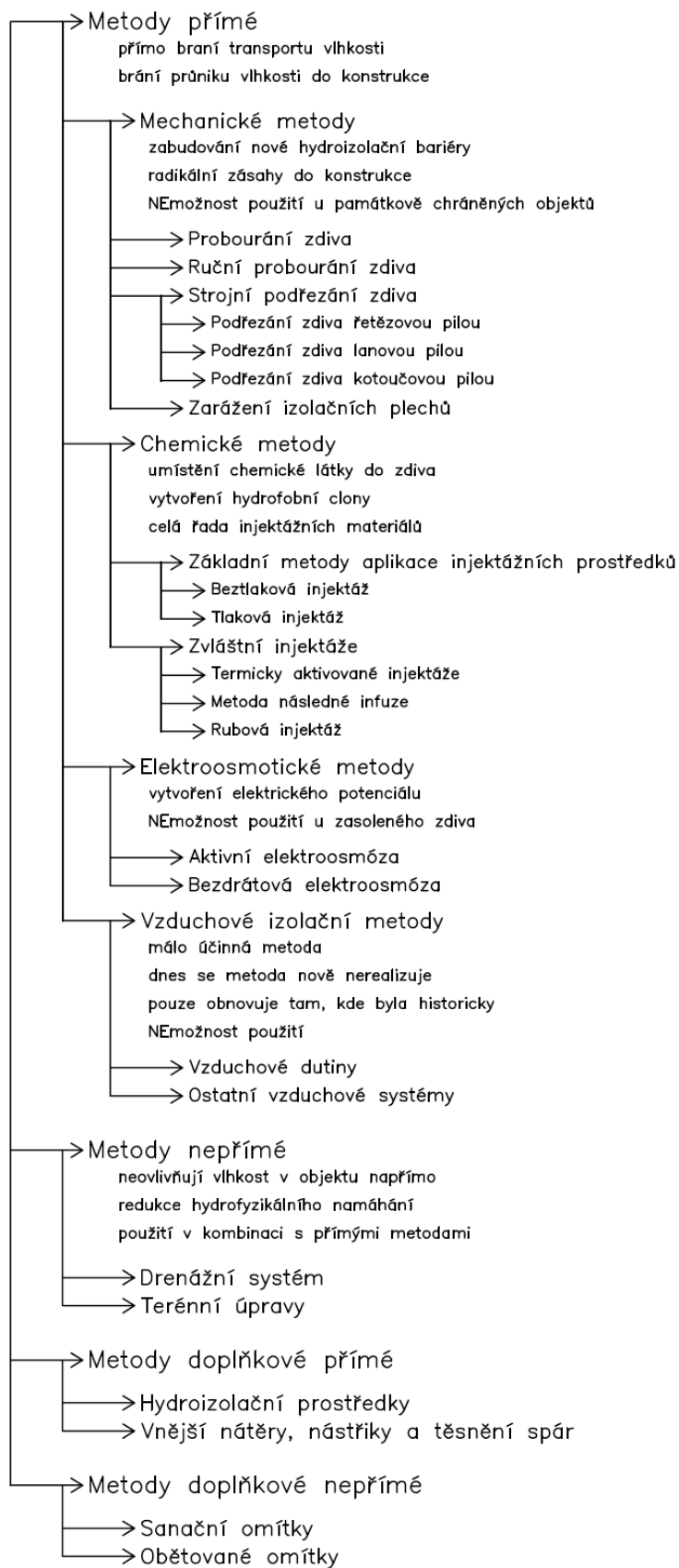
### KALKULACE OBĚTOVANÝCH OMÍTEK A PROPAŘOVÁNÍ ZDIVA

P.č.	Číslo položky	Název položky	MJ	Množství	Cena / MJ	Celkem Kč	Hmotnost / MJ	Hmotnost celk.(t)
1	978013161	Otlučení omítek vápenných nebo vápenocementových vnitřních s vyškrábáním spár, s očištěním zdiva stěn, v rozsahu do 50 %	m2	116,08	50,1	5 816 Kč	0,020	2,32
2	978015261	Otlučení omítek vápenných nebo vápenocementových vnějších s vyškrábáním spár, s očištěním zdiva 1. až 4. stupni složitosti, v rozsahu do 50 %	m2	204,00	38,5	7 854 Kč	0,029	5,92
3	997013213	Vnitrostaveništní doprava sutí a vybouraných hmot pro budovy v přes 9 do 12 m ručně	t	8,24	2090	17 217 Kč		8,24
4	997013501	Odvoz sutí a vybouraných hmot na skládku nebo meziskládku do 1 km se složením	t	8,24	286	2 356 Kč		8,24
5	997013509	Příplatek k odvozu sutí a vybouraných hmot na skládku ZKD 1 km přes 1 km	t	181,23	12,5	2 265 Kč		181,23
6	612311101	Vápenná omítka hrubá jednovrstvá nezatřená vnitřních stěn nanášená ručně	m2	116,08	229	26 582 Kč	0,015	1,71
7	622311101	Vápenná omítka hrubá jednovrstvá nezatřená vnějších stěn nanášená ručně	m2	204,00	247	50 388 Kč	0,021	4,28
8	629995101	Očištění vnějších a vnitřních ploch tlakovou vodou	m2	320,08	71,9	23 014 Kč		

1		Obětované omítky (1 cyklus)	kpl	1		112 478 Kč		
2		Propařování zdiva (1 cyklus)	kpl	1		23 014 Kč		
3		Celkem za metody (3x obětované omítky + 2x propařování zdiva)	kpl	3		418 968 Kč		

Tab. č. 8 - Kalkulace obětovaných omítek a propařování zdiva (tabulka autora)

## SANAČNÍ METODY



Obr. č. 28 - Sanační metody (přehled autora)



### 13. Závěr

Problematika vlhkosti a salinity zdiva je v dnešní době aktuální, a to hlavně u historických objektů u nichž hydroizolace už neplní svou funkci, nebo nebyla realizována vůbec. Takové to objekty bývají často památkově chráněny. Volba sanačních metod je tak dosti omezená, a to díky destruktivním způsobům realizace těchto metod. U historických objektů je kladen důraz na používání, v co největší možné míře, původních materiálů a postupů. Radikálním zásahům do konstrukce se snažíme vyhnout. Jsou nevratné, mohly by ovlivnit například statiku budovy a postupem času by se velmi těžko nahrazovaly novými moderními technologiemi.

V bakalářské práci byly vytyčeny tyto cíle, a to dostatečně nastudovat a popsat problematiku sanace vlhkosti a salinity. Dále pak zjistit, jakými způsoby a za jakých podmínek je možné odlišné sanační metody realizovat a pojednat o úskalích, která jsou spojena s rekonstrukcí historických památek. Získané informace pak aplikovat a vyhodnotit na řešeném objektu.

Po teoretické části, kde jsem se věnoval problematice vlhkosti a salinity zdiva od příčin, přes měření a klasifikaci až po různá řešení problematiky. Následně jsem popsal ochranu historických památek na našem území a představil objekt Starého opatství a na něm simuloval rozhodovací proces volby efektivní sanační metody a výsledek porovnal s praxí.

Výsledkem práce je technologické posouzení zvolených sanačních metod. Posouzeny byly metody obětovaných omítek a propařování zdiva. Ty byly zvoleny na eliminaci a snížení koncentrace vodorozpustných stavebně škodlivých solí a vlhkosti zdiva. Tyto metody jsou nedestruktivní a plně respektují historickou a kulturní hodnotu objektu. Celkové náklady na provedení těchto prací byly vyčísleny na 418 968 Kč při stanovené době trvání 279 dní.

**Součástí probíhající rehabilitace Starého opatství je i realizace nové střešní konstrukce, okapových svodů a v rámci terénních úprav realizovaných na ploše dvora dojde ke snížení úrovně terénu a k vytvoření čtyř poldrů, které budou sloužit pro případnou kumulaci přívalových dešťových vod a jejího vsaku do podloží. Nová střešní konstrukce, okapové svody a terénní úpravy přispějí ke snížení namáhání zdiva všech přilehlých objektů vlivem vlhkosti a salinity.**

**Díky použití těchto metod a stavebních úprav by měla být zajištěna dostatečná eliminace a ochrana objektu před negativními vlivy vlhkosti a salinity. Staré opatství by tak po dokončení rehabilitace mělo plnohodnotně sloužit pro prohlídkové trasy a zázemí správy kláštera.**

**Lze tak konstatovat, že cíle práce byly naplněny.**

## Zdroje a použitá literatura

### Použitá literatura

- [1] SVOBODA, Luboš a kolektiv. *STAVEBNÍ HMOTY*. 4. vydání. Praha: Luboš Svoboda, 2018. Dostupné z: <https://k123.fsv.cvut.cz/media/subjects/files/123SH01/kniha-stavebni-hmoty.pdf>
- [2] BALÍK, Michael a kolektiv. *Odvhlčování staveb*. 2., přepracované vydání. Praha: Grada, 2008. Stavitel. ISBN 978-80-247-2693-9.
- [3] SOLAŘ, Jaroslav. *Odstraňování vlhkosti: sanace vlhkého zdiva*. Praha: Grada, 2013. Profi & hobby. ISBN 978-80-247-4708-8.
- [4] ČSN 73 0540-1 (730540). *Tepelná ochrana budov - Část 1: Terminologie*. Praha: Český normalizační institut, 2005.
- [5] VLČEK, Milan a Petr BENEŠ. *Poruchy a rekonstrukce staveb II*. Brno: ERA, 2005. Technická knihovna. ISBN 80-7366-013-X.
- [6] ČSN P 73 0610 (730610). *Hydroizolace staveb - Sanace vlhkého zdiva - Základní ustanovení*. Praha: Český normalizační institut, 2000.
- [7] PAZDERKA, Jiří a Eva HÁJKOVÁ. Použití odporové metody ke stanovení vlhkosti zdiva historických budov. *Stavební obzor*. Praha: České vysoké učení technické v Praze. Fakulta stavební, 2014, (5-6), 89-94. ISSN 1210-4027. Dostupné z: <https://profesis.ckait.cz/archiv/stavebni-obzor/2014/stavebni-obzor-2014-05-06.pdf>
- [8] ČSN EN ISO 12570 (730573). *Tepelně vlhkostní chování stavebních materiálů a výrobků - Stanovení vlhkosti sušením při zvýšené teplotě*. Praha: Český normalizační institut, 2021.
- [9] ŠULC, Rostislav. *Vlhkost materiálů*. Přednáška. Praha: České vysoké učení technické v Praze. Fakulta stavební, 2021.

- [10] HORKÝ, Ondřej a Jiří ZACH. Monitorování vlhkostního obsahu ve zdivu pomocí infračervené termografie. In: *tzbinfo* [online]. 26.11.2007 [cit. 2022-03-27]. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/4501-monitorovani-vlhkostniho-obsahu-ve-zdivu-pomoci-infracervene-termografie>
- [11] Sanujeme vlhké a zasolené zdivo. In: *tzbinfo* [online]. 5.8.2015 [cit. 2022-03-27]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/izolace-proti-vode-a-radonu/13061-sanujeme-vlhke-a-zasolene-zdivo>
- [12] Mikrovlnné vlhkoměry MOIST - nedestruktivní a spolehlivé měření vlhkosti stavebních materiálů. In: *tzbinfo* [online]. 5.2.2015 [cit. 2022-03-17]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/vlhkost-a-kondenzace-v-konstrukcich/12289-mikrovlinne-vlhkomery-moist-nedestruktivni-a-spolehlive-mereni-vlhkosti-stavebnich-materialu>
- [13] MĚŘENÍ VLHKOSTI ZDIVA MIKROVLNNOU METODOU. In: *DRYMAT CZ* [online]. [cit. 2022-03-17]. Dostupné z: <https://www.drymatsysteme.cz/mereni-vlhkosti-zdiva-mikrovlnnou-metodou>
- [14] ZASOLENÍ ZDIVA - VLIV VODOROZPUSTNÝCH SOLÍ NA ZDIVO A OMÍTKY. In: *DRYMAT CZ* [online]. 20.01.2021 [cit. 2022-03-20]. Dostupné z: <https://www.drymatsysteme.cz/blog/zasoleni-zdiva-vliv-vodorozpustnych-soli-na-zdivo-a-omitky>
- [15] AKTIVNÍ ELEKTROOSMÓZA. In: *DRYMAT CZ* [online]. [cit. 2022-03-20]. Dostupné z: <https://www.drymatsysteme.cz/aktivni-elektroosmoza>
- [16] BEZDRÁTOVÁ ELEKTROOSMÓZA. In: *DRYMAT CZ* [online]. [cit. 2022-03-26]. Dostupné z: <https://www.drymatsysteme.cz/bezdratova-elektroosmoza>

- [17] WITZANY, Jiří et al. *Obnova a rekonstrukce staveb: poruchy, degradace, sanace*. 2., přepracované vydání. Praha: České vysoké učení technické v Praze, Česká technika-nakladatelství ČVUT, 2018. ISBN 978-80-01-06360-6.
- [18] VIMMROVÁ, Alena. Biodegradace stavebních materiálů. In: *České vysoké učení technické v Praze. Fakulta stavební. Katedra materiálového inženýrství a chemie* [online]. [cit. 2022-03-16]. Dostupné z: [http://tpm.fsv.cvut.cz/student/documents/files/DSM/DSM\\_6.pdf](http://tpm.fsv.cvut.cz/student/documents/files/DSM/DSM_6.pdf)
- [19] HW-SYSTÉM, SANACE VLHKÉHO ZDIVA. In: *HW – PANTY.cz* [online]. [cit. 2022-04-04]. Dostupné z: <https://www.hwpanty.cz/hw-system-sanace-vlhkeho-zdiva/>
- [20] Rubová injektáž zdiva. In: *RS servis.cz* [online]. [cit. 2022-04-04]. Dostupné z: <https://www.rssg.cz/provadeni-sanacnich-praci/rubova-injektaz-zdiva>
- [21] BURGETOVÁ, Eva. *Transport vlhkosti*. Přednáška. Praha: České vysoké učení technické v Praze. Fakulta stavební. Katedra konstrukcí pozemních staveb.
- [22] Mýty o sanaci vlhkého zdiva. In: *ČESKÉ STAVBY.cz* [online]. 6.5.2010 [cit. 2022-03-14]. Dostupné z: <https://www.ceskestavby.cz/clanky/fasady-omitky-zdiva-sanace-6526.html>
- [23] Sanace vlhkostí a solemi zasaženého zdiva: Systémové řešení PCI Saniment®. In: *STOFFBAU.cz* [online]. [cit. 2022-02-27]. Dostupné z: [https://www.stoffbau.cz/upload/rady-a-navody/sanace-vlhkeho-dreva/Sanace\\_vlhkosti\\_a\\_solemi\\_zasazeneho\\_zdiva\\_\\_2015\\_\\_nahled.pdf](https://www.stoffbau.cz/upload/rady-a-navody/sanace-vlhkeho-dreva/Sanace_vlhkosti_a_solemi_zasazeneho_zdiva__2015__nahled.pdf)
- [24] Historie Národního památkového ústavu. *Národní památkový ústav* [online]. [cit. 2022-03-16]. Dostupné z: <https://www.npu.cz/historie-npu>

- [25] MAKÝŠ, Oto. *Technologie renovace budov*. Bratislava: Jaga, 2004. ISBN 80-8076-006-3.
- [26] *Zákon č. 20/1987 Sb.: Zákon České národní rady o státní památkové péči*. Praha, 1987.
- [27] *Národní památkový ústav* [online]. [cit. 2022-03-27]. Dostupné z: <https://www.npu.cz/cs>
- [28] *Plasy město: oficiální stránky města* [online]. [cit. 2022-03-27]. Dostupné z: <https://www.plasy.cz/mesto/historie/>
- [29] *Plasy: oficiální webová prezentace kláštera* [online]. [cit. 2022-03-27]. Dostupné z: <https://www.klaster-plasy.cz/cs/o-klasteru/historie>
- [30] Cisterciácký klášter Plasy - Obnova opatské rezidence. *Národní památkový ústav* [online]. [cit. 2022-03-30]. Dostupné z: <https://www.npu.cz/cs/ups-ceske-budejovice/cinnost/nase-projekty/Cisterciacky-klaster-Plasy---Obnova-opatske-rezidence>
- [31] BALÍK, Michael. *Vlhkost v domě: odstraňování a prevence*. První vydání. Praha: Grada, 2020. ISBN 978-80-271-2892-1.
- [32] Realizace projektu - aktuálně: Průběžně aktualizované informace o postupu realizace projektu "Cisterciácký klášter Plasy - obnova opatské rezidence." (2016 - 2022). *Plasy: oficiální webová prezentace kláštera* [online]. [cit. 2022-03-30]. Dostupné z: <https://www.klaster-plasy.cz/cs/obnova-klastera/obnova-opatstvi/aktualni-deni>
- [33] ŠTEFEK, Zdeněk a Lucie PILAŘOVÁ. *Stavebně technický průzkum z hlediska vlhkostní problematiky včetně návrhu řešení*. Praha: SAREP PROJEKTY, 2021.

- [34] DOSTÁL, Luděk, Zbyněk POTUŽÁK a Pavel POLÁK. *ZPRÁVA o technickém průzkumu v areálu prelatury kláštera v Plasích*. Praha: Diagnostika staveb Dostál a Potužák, 2015.
- [35] *NKP Klášter Plasy - Obnova opatské rezidence: průvodní a souhrnná zpráva*. Praha: Projektový ateliér pro architekturu a pozemní stavby, společnost s r.o., 2018.
- [36] *PAMÁTKY ZÁPADNÍCH ČECH VIII - 2021: Sborník Národního památkového ústavu, územního odborného pracoviště v Plzni*. Plzeň, 2021. ISBN 978-80-85035-56-8. ISSN 1805-8906. Dostupné z: <file:///D:/bp/Pamatky%20zapadnich%20Cech%20VIII-2021-od%20str%2085.pdf>
- [37] *PLASY stavebně historický průzkum: PRELATURA (opatství, zámek)*. Praha: SURPMO, 1976. Dostupné také z: [file:///D:/bp/SHP%20prelatura%20\(1976\).pdf](file:///D:/bp/SHP%20prelatura%20(1976).pdf)
- [38] ŠANTAVÝ, Tomáš, Svatoslav HLADNÍK a Zdeněk CHUDÁREK. "*NKP klášter Plasy - Obnova opatské rezidence*" SO.04 Dvůr. Praha: Projektový ateliér pro architekturu a pozemní stavby, společnost s r.o., 2018.

## Seznam obrázků

Obr. č. 1 - Znázornění časového průběhu změny hmotnostní vlhkosti ve stavebních konstrukcích realizovaných mokrým procesem od doby realizace po ustálený vlhkostní stav (zdroj [3]) .....	15
Obr. č. 2 - Zdroje vlhkosti. In: <i>České vysoké učení technické v Praze. Fakulta stavební</i> [online]. [cit. 2022-05-02]. Dostupné z: <a href="https://kps.fsv.cvut.cz/index.php?lmut=cz&amp;part=vyuka&amp;sub=typ&amp;type=p&amp;kod=124PDRC">https://kps.fsv.cvut.cz/index.php?lmut=cz&amp;part=vyuka&amp;sub=typ&amp;type=p&amp;kod=124PDRC</a> .....	16
Obr. č. 3 - Objekt s převládajícím výskytem vzlínající vlhkosti (zdroj [2]).	17
Obr. č. 4 - Schématické znázornění nárustu krystalů soli v porézním systému (zdroj [2]) .....	31
Obr. č. 5 - Princip ručního podřezávání zdiva (zdroj [3]) .....	34
Obr. č. 6 - Podřezávání zdiva řetězovou pilou. In: <i>ESTAV.cz</i> [online]. [cit. 2022-04-16]. Dostupné z: <a href="https://www.estav.cz/cz/3510.vlhke-zdivo-lze-resit-podriznutim-a-vkladanim-dodatecne-hydroizolace/gallery?photo=23">https://www.estav.cz/cz/3510.vlhke-zdivo-lze-resit-podriznutim-a-vkladanim-dodatecne-hydroizolace/gallery?photo=23</a> .....	36
Obr. č. 7 - Podřezávání zdiva lanovou pilou. In: <i>ESTAV.cz</i> [online]. [cit. 2022-04-16]. Dostupné z: <a href="https://www.estav.cz/cz/3510.vlhke-zdivo-lze-resit-podriznutim-a-vkladanim-dodatecne-hydroizolace/gallery?photo=28">https://www.estav.cz/cz/3510.vlhke-zdivo-lze-resit-podriznutim-a-vkladanim-dodatecne-hydroizolace/gallery?photo=28</a> .....	37
Obr. č. 8 - Vlnité izolační desky (plechy) z ušlechtilé nerezavějící oceli (zdroj [19]) .....	38
Obr. č. 9 - Princip beztlakové injektáže (zdroj [3]) .....	41
Obr. č. 10 - Rubová injektáž zdiva (zdroj [20]) .....	43
Obr. č. 11 - Přirozená polarita zdiva systému EO a otočení polarity prvky. In: <i>[LIVING]</i> [online]. [cit. 2022-04-18]. Dostupné z:	



<a href="https://www.living.cz/zbavte-vas-dum-vlhkosti-dratovou-osmozou-nadobro/">https://www.living.cz/zbavte-vas-dum-vlhkosti-dratovou-osmozou-nadobro/</a> .....	44
Obr. č. 12 - Knapenovy kanálky (zdroj [2]) .....	46
Obr. č. 13 - Příklad řešení kanálkového způsobu (zdroj [2]) .....	47
Obr. č. 14 - Princip odsolení (zdroj [22]) .....	50
Obr. č. 15 - Klášter Plasy (zdroj [30]) .....	56
Obr. č. 16 - Poloha budovy Starého opatství. In: <i>MAPY.cz</i> [online]. [cit. 2022-04-18]. Dostupné z: <a href="https://mapy.cz/zakladni?x=13.3903514&amp;y=49.9357501&amp;z=18">https://mapy.cz/zakladni?x=13.3903514&amp;y=49.9357501&amp;z=18</a> .....	57
Obr. č. 17 - Cisterciácký klášter Plasy (zdroj [30]) .....	58
Obr. č. 18 - Cisterciácký klášter Plasy (foto autora) .....	58
Obr. č. 19 - Budova prelatury a Starého opatství (foto autora) .....	59
Obr. č. 20 - Staré opatství (foto autora) .....	60
Obr. č. 21 - Pohledy - omítkové plochy I. (zdroj ŠANTAVÝ, Tomáš, Svatoslav HLADNÍK a Zdeněk CHUDÁREK. <i>NKP KLÁŠTER PLASY OBNOVA OPATSKÉ REZIDENCE SO.01 STARÉ OPATSTVÍ</i> . Praha: Projektový ateliér pro architekturu a pozemní stavby, 2018.) .....	60
Obr. č. 22 - Půdorys vlhkostního průzkumu 1. NP - SO 01 Opatství (zdroj [33]) .....	62
Obr. č. 23 - Obětovaná omítka (foto autora) .....	66
Obr. č. 24 - Obětované omítky (zdroj [32]) .....	66
Obr. č. 25 - Situace architektonická (zdroj [38]) .....	68
Obr. č. 26 - Budova Starého opatství před zahájením rehabilitace (zdroj [32]) .....	69
Obr. č. 27 - Budova Starého opatství (foto autora) .....	69
Obr. č. 28 - Sanační metody (přehled autora) .....	72

## Seznam tabulek

Tab. č. 1 - Klasifikace pórů podle velikosti (zdroj [3]) .....	17
Tab. č. 2 - Vlhkost zdiva (zdroj [6]).....	20
Tab. č. 3 - Hydratační tlaky vznikající při rekrystalizaci některých solí (zdroj [17]) .....	29
Tab. č. 4 - Salinita zdiva (zdroj [6]) .....	31
Tab. č. 5 - Naměřené hodnoty vlhkosti a Klasifikace vlhkosti zdiva dle ČSN P 73 0610 (zdroj [33]) .....	61
Tab. č. 6 - Výsledky laboratorní analýzy salinity a Klasifikace obsahu solí ve zdivu dle ČSN P 73 0610 (zdroj [33]) .....	62
Tab. č. 7 - Stanovení časové náročnosti (tabulka autora) .....	70
Tab. č. 8 - Kalkulace obětovaných omítek a propařování zdiva (tabulka autora) .....	71