

**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ
V PRAZE**

**Fakulta stavební
Katedra konstrukcí pozemních staveb**



**Rehabilitace Santiniho vodního systému v klášteře
v Plasích**

**Diplomová práce
2022**

Jakub Řehák



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební
Katedra konstrukcí pozemních staveb

Rehabilitace Santiniho vodního systému v klášteře v Plasích

Rehabilitation of Santini water system in the Plasy Monastery

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Jakub Řehák

Studijní program: Stavební inženýrství

Studijní obor: Konstrukce pozemních staveb

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

Praha 2022

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Řehák	Jméno: Jakub	Osobní číslo: 460421
Zadávací katedra: k124		
Studijní program: Stavební inženýrství		
Studijní obor: Konstrukce pozemních staveb		

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce: Rehabilitace Santiniho vodního systému v klášteře v Plasích	
Název diplomové práce anglicky: Rehabilitation of Santini water system in the Plasy monastery	
Pokyny pro vypracování: -Analýza nevhodných zásahů do konstrukce provedených v minulosti -Návrh řešení úprav větracího systému -Popis Santinyho nouzového vodního režimu -Návrh řešení nových vodních zdrojů, jejich aplikace - pilotní projekt -Monitoring klimatických faktorů vnitřního a vnějšího prostředí v souvislosti s rehabilitací vodního systému	
Seznam doporučené literatury: R. Magnusson, Water Technology in the Middle Ages: Cities, Monasteries and Waterworks after the Roman Empire, Johns Hopkin University Press, 2018 B.M. Feilden, Conservation of historic building, Elsevier, 2008 J. Škabrada, Konstrukce historických staveb, Argo, 2003 M. Horyna, Santini: Jan Blažej Santini-Aichel. 1. vyd. V Praze: Univerzita Karlova, 1998 B. Štiess, Několik poznámek ke stavební historii kláštera v Plasech, KS SPPOP, 1967	
Jméno vedoucího diplomové práce: doc.Ing. Eva Burgetová, CSc.	
Datum zadání diplomové práce: 29.9.2021	Termín odevzdání diplomové práce: 2.1.2022 <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 diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v diplomové 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“.

29.9.2021

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

SPECIFIKACE ZADÁNÍ

Jméno diplomanta: Jakub Řehák

Název diplomové práce: Rehabilitace Santiniho vodního systému v klášteře v Plasích

Základní část: KPS podíl: 100 %

Formulace úkolů: - Experimentální ověření fungování Santiniho vodního systému: pilotní projekt obnovy systému pivovarnického odpařovacího systému, realizace projektu, monitoring parametrů vnitřního mikroklimatu a vyhodnocení
- Posouzení stavu obnovy vod. systému na chování objektu

Podpis vedoucího DP:

Datum: 4. 10. 21

Případné další části diplomové práce (části a jejich podíl určí vedoucí DP):

2. Část: podíl: %

Konzultant (jméno, katedra):

Formulace úkolů:

Podpis konzultanta:

Datum:

3. Část: podíl: %

Konzultant (jméno, katedra):

Formulace úkolů:

Podpis konzultanta:

Datum:

4. Část: podíl: %

Konzultant (jméno, katedra):

Formulace úkolů:

Podpis konzultanta:

Datum:

Poznámka:

Zadání včetně vyplněných specifikací je nedílnou součástí diplomové práce a musí být přiloženo k odevzdané práci. (Vyplněné specifikace není nutné odevzdat na studijní oddělení spolu s 1. stranou zadání již ve 2. týdnu semestru)

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma **Rehabilitace Santiniho vodního systému v klášteře v Plasích** zpracoval samostatně za použití uvedené literatury a pramenů.

Dále prohlašuji, že nemám závažný důvod proti užití tohoto školního díla ve smyslu § 60 zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

V Praze dne ...

.....
Jakub Řehák

Poděkování

Děkuji především doc. Ing. Evě Burgetové, CSc. za její odborné vedení, užitečné rady, trpělivost a odhodlání při průzkumech historického podzemí u zpracování diplomové práce.

Děkuji mému otci PhDr. Josefu Řehákovi a strýci Stanislavu Řehákovi za možnost s nimi pracovat, poznat známé historické stavby ve všech souvislostech, za jejich cenné rady a předání jejich letitých zkušeností. V rámci zpracování diplomové práce jim děkuji za konzultace, poskytnutí archivních materiálů a především finanční i materiální podporu obnovy přetlakového vodního systému konventu v Plasech.

Děkuji paní Ing. Kujalové Ph.D. za ochotu a nasazení při chemických analýzách, stopovacích zkouškách a konzultacích ohledně chemického složení vody.

Děkuji panu kastelánovi Mgr. Pavlu Duchoňovi a za čas strávený při průzkumech, konzultacích, a poskytnutí fotografií a informací z archivu kláštera Plasy.

Děkuji také paní Mgr. Monice Tukové za velkou pomoc při odebrání vzorků a zajímavé informace v rámci našich konzultací.

ANOTACE

Diplomová práce navazuje na bakalářskou práci *Současný stav historického odvodňovacího a odvětrávacího systému Plaského kláštera* a zabývá se navrženou obnovou Santiniho přetlakového vodního systému s následným vyhodnocením dopadu této opravy na vnitřní mikroklima konventu.

Původní vodní a odvětrávací systém konventu v Plasech je detailně popsán na základě zpracování archivních zpráv, provedených průzkumů a dlouhodobých terénních měření in-situ.

Dopad obnovy přetlakového vodního systému konventu na vnitřní mikroklima budovy byl vyhodnocen na základě ročního monitoringu (měření teploty a relativní vlhkosti vzduchu) v prostorech severního a jižního kontrolního zrcadla a Santiniho oválného schodiště v nemocničním křídle. Dále byla provedena chemická analýza vodního zdroje pro posouzení jeho vhodnosti ke konzervaci dubové základové konstrukce.

Výsledky chemické analýzy byly využity pro ověření změny chemického složení vody ve vodním systému konventu a srovnání anorganického složení vody s měřením z roku 1994.

Nedestruktivní průzkum vzlínající vlhkosti pomocí termokamery v nemocničním křídle byl proveden se zaměřením na funkčnost chemických clon provedených v minulosti. U jižního a severního kontrolního zrcadla se monitorovala výška vzlínající vlhkosti ve zdivu nechráněném horizontální hydroizolací. V odvětrávací štole byl v zimě pomocí termokamery ověřen princip předávání v létě naakumulovaného tepla otvory v parapetech oken do ambitové chodby.

Na závěr práce byla provedena stopovací zkouška pro ověření vzájemného propojení jednotlivých částí vodního systému konventu.

KLÍČOVÁ SLOVA:

Historický odvodňovací a odvětrávací systém, nevhodné zásahy, dřevěné piloty, monitoring vnitřního prostředí, degradace dřevěné konstrukce, stopovací zkouška, chemická analýza vody, vlhkostní průzkum termokamerou

SUMMARY

The diploma thesis follows the bachelor's thesis *Current state of the historical drainage and ventilation system of the Plasy monastery* and deals with the proposed restoration of Santini's pressurized water system of the Plasy monastery with subsequent evaluation of the impact of this repair on the building's internal microclimate.

The original water and ventilation system of the Plasy convent is described in detail on the basis of the processing of archival reports, of surveys conducted and a long-term in-situ measurements.

The impact of the renewal of the convent's pressurized water system on the building's internal microclimate was evaluated on the basis of annual monitoring (temperature and relative humidity measurements) in the north and south control mirrors and Santini's oval staircase in the hospital wing.

Furthermore, chemical analysis of the water source was used to verify the suitability for conservation of the oak foundation structure.

Chemical analysis was also used to assess the changes in the chemical composition of water in time and to compare the changes in inorganic water composition with measurements from 1994.

A survey of rising damp was conducted in situ using an infra-red camera in the hospital wing and focused on the functionality of previously applied chemical barriers. In the southern and northern control mirrors, the height of rising damp in the masonry without dpc. was assessed. In the crawlway ventilation cavity, the principle of transfer the accumulated heat from the summer time through the openings in the window sills to the cloister corridor was verified by means of an infra-red camera in the winter.

The final part of the work shows a tracking test to verify the interconnection of individual parts of the water system of the convent.

KEY WORDS:

Historical drainage and ventilation system, unfavourable interventions, wooden piles, monitoring of internal climate, degradation of timber structures, tracking test, suitability of water for conservation of wooden structure, moisture survey by infra-red camera

METODIKA ZPRACOVÁNÍ

V rámci zpracování diplomové práce byla provedena rešerše archivních průzkumů Plaského kláštera. Byly využity materiály poskytnuté archivem kláštera Plasy a další odborná literatura (knihy, články) zabývající se tematikou sanace historických konstrukcí a Plaským klášteřem.

Vliv přetlakového vodního systému konventu na vnitřní mikroklima budovy byl vyhodnocen na základě ročního monitoringu (měření teploty a relativní vlhkosti vzduchu) čidly Minikin TH, Testo 174 H a Hadex T113A – DS102. Měření probíhalo v prostorech severního a jižního kontrolního zrcadla a Santiniho oválného schodiště v nemocničním křídle.

Dále byla provedena chemická analýza vodního zdroje pro posouzení kvality vody pro použití ke konzervaci dubové základové konstrukce.

Současně byly ověřeny chemickou analýzou změny chemického složení vody ve vodním systému konventu v čase a porovnány změny anorganického složení vody s měřením roce 1994.

Nedestruktivní průzkum vlhkosti in situ provedený v nemocničním křídle ukázal pomocí termokamery FLIR-E63900, T198547 funkčnost v minulosti provedených chemických clon. U jižního a severního kontrolního zrcadla se posuzovala výška vztlínající vlhkosti ve zdivu nechráněném horizontální hydroizolací. V zimě se v odvětrávací štolě ověřoval termokamerou princip transportu v létě naakumulovaného tepla otvory v parapetech oken ambitové chodby. Získané termografy byly podrobně interpretovány.

V závěru práce je popsána stopovací zkouška ověřující vzájemné propojení jednotlivých částí vodního systému konventu. Jako stopovač ve vodě bylo využito fluorescenční barvivo uranin. Odebrané vzorky byly alkalizovány pomocí roztoku hydroxidu sodného a chelatonu na pH 8,5 – 9 (maximální intenzita fluorescence uraninu), pomocí jednopaprskového spektrálního fotometru byly analyzovány měřením absorbance při vlnové délce 491 nm a měření fluorescence.

OBSAH

ANOTACE	3
KLÍČOVÁ SLOVA:	3
SUMMARY	4
KEY WORDS:	4
METODIKA ZPRACOVÁNÍ.....	5
OBSAH	6
ÚVOD.....	10
1. SHRNUÍ DOSAVADNÍCH POZNATKŮ O KONVENTU KLÁŠTERA V PLASÍCH	11
1.1. ZÁKLADOVÁ KONSTRUKCE KONVENTU	11
1.2. POPIS HISTORICKÉHO ODVODŇOVACÍHO A ODVĚTRÁVACÍHO SYSTÉMU BUDOVY KONVENTU	14
1.2.1. Přívody čisté pramenité vody, filtrační a napouštěcí místnost.....	16
1.2.2. Rehabilitace Santiniho vodního systému v klášteře v Plasích Vodní bazény základové konstrukce	21
1.2.3. Hlavní odvodňovací štola, odvod splaškových vod, odvodňovací stoly povrchových a srážkových vod	24
1.2.4. Větrací systém.....	26
1.3. ANALÝZA NEVHODNÝCH ZÁSAHŮ DO KONSTRUKCE PROVEDENÝCH V MINULOSTI.....	30
1.3.1. Vodní základové bazény, odstranění přívodů čisté vody.....	30
1.3.2. Odvodnění povrchových vod.....	31
1.4. NOUZOVÝ REŽIM BUDOVY KONVENTU	31
2. REHABILITACE SANTINIHO PŘETLAKOVÉHO VODNÍHO SYSTÉMU	32
2.1. NÁVRH OBNOVY PŘETLAKOVÉHO VODNÍHO SYSTÉMU A JEHO REALIZACE	34
2.1.1. Stanovení kvality vody ze studny krytu CO pro stabilitu základů	35
2.1.2. Čerpací zkouška	37
2.1.3. Vodní systém – částečná rehabilitace	39
3. MONITORING SOUČASNÉHO STAVU	40
3.1. PRŮZKUM VZLÍNAJÍCÍ VLHKOSTI TERMOKAMEROU	40
3.1.1. Nemocniční křídlo.....	40
3.1.2. Severní a jižní kontrolní zrcadlo	41
3.1.3. Odvětrávací systém	42

3.2. ZNEČIŠTĚNÍ VODY VE VODNÍM SYSTÉMU A POROVNÁNÍ S VÝSLEDKY Z ROKU 1994	44
3.2.1. Porovnání současného stavu se stavem v roce 1994	48
3.3. MONITORING VNITŘNÍHO MIKROKLIMATU BĚHEM OBNOVY SANTINIHO PŘETLAKOVÉHO VODNÍHO SYSTÉMU	51
3.4. OVĚŘENÍ VZÁJEMNÉHO PROPOJENÍ VODNÍCH BAZÉNŮ ZÁKLADOVÉ KONSTRUKCE	54
4. OPTIMALIZACE MĚŘENÍ	58
5. ZÁVĚR	58
VLASTNÍ PUBLIKACE:	62
SEZNAM PŘÍLOH	63
SEZNAM TABULEK	63
SEZNAM OBRÁZKŮ	63
LITERATURA	66
DALŠÍ POUŽITÉ PODKLADY:	67



ÚVOD

Téma diplomové práce „*Rehabilitace Santiniho vodního systému v klášteře v Plasích*“ jsem zvolil v návaznosti na výzkum konventu Plaského kláštera započatý v bakalářské práci. Založení kláštera v obtížných geologických podmínkách je unikátní inženýrské dílo architekta J. A. Santiniho včetně důmyslného řešení odvodnění a větrání budovy. Ve své bakalářské práci jsem popsal a analyzoval současný stav odvodňovacího a odvětrávacího systému budovy konventu, hodnotil dříve provedené zásahy do systému a navrhl doporučení pro opravy.

Po absolvování bakalářského studia jsem se i nadále podílel na pracích spojených s obnovou konventu kláštera v Plasích (v rámci společnosti Řehák-SPELEO s.r.o), zejména když byly opravy navržené v mé bakalářské práci částečně realizovány.

Ačkoli jsem studiem objektu Plaského konventu strávil již mnoho času, stále nejsou všechny souvislosti Santiniho stavby známy či objasněny a často jsou předkládány a diskutovány nové hypotézy. Využil jsem tedy příležitost k dalšímu poznání Santiniho technického řešení založení konventu a tím i přispět ke zlepšení jeho stavu.



1. SHRNUTÍ DOSAVADNÍCH POZNATKŮ O KONVENTU KLÁŠTERA V PLASÍCH

Diplomová práce navazuje na moji bakalářskou práci¹, proto jsou v úvodní kapitole shrnuty a uvedeny pouze zásadní informace nezbytné pro komplexní pochopení problematiky odvodnění a odvětrání konventu Plaského klášteře řešené v rámci předložené diplomové práce. Zejména SHP objektu již není zmiňován, protože je detailně popsán v bakalářské práci.

1.1. Základová konstrukce konventu

Umístění konventu klášteře Plasy v údolní nivě na levém břehu řeky Střely ve zvodnělých nivních sedimentech bylo ve své době velice odvážné zadání. Primárně byla budova konventu založena na klastické fluvialní, písčité a pelitické zemině, nevhodné pro založení zděných staveb. Cisterciáckí mniši měli mnoho zkušeností s využitím vody a tuto variantu při výstavbě svých klášterů naopak upřednostňovali, neboť tak jim zůstalo více úrodné orné půdy. Architekt Santini tuto situaci obrátil ve svůj prospěch a založil objekt na konstrukci z dubových pilot a dubového roštu.

Dřevěná základová konstrukce se nachází pod obvodovým zdivem směrem do rajského dvora, pod nosným zdivem ve středním traktu a vnějším obvodovým zdivem. Příčky mezi vnějším obvodovým a středovým zdivem jsou založené na klenutých vynášecích pasech, opřených do těchto stěn. Způsobu založení příček klášteře odpovídá i vyjádření „klášter, který stojí na vlnách“ zmíněné v jednom z rukopisů Mauritiuse Vogta².

Založení konventu na dubových pilotách bylo potvrzeno již v 90. letech 20. století při provádění sondy v separačních šachtách. Piloty průřezu 17 x 20 cm a hloubky v rozmezí 5 až 10 metrů se nacházely pod křížením podélného a příčného trámu roštu v osové vzdálenosti 64 cm. Mezi pilotami byly také nalezeny krátké piloty délky zhruba

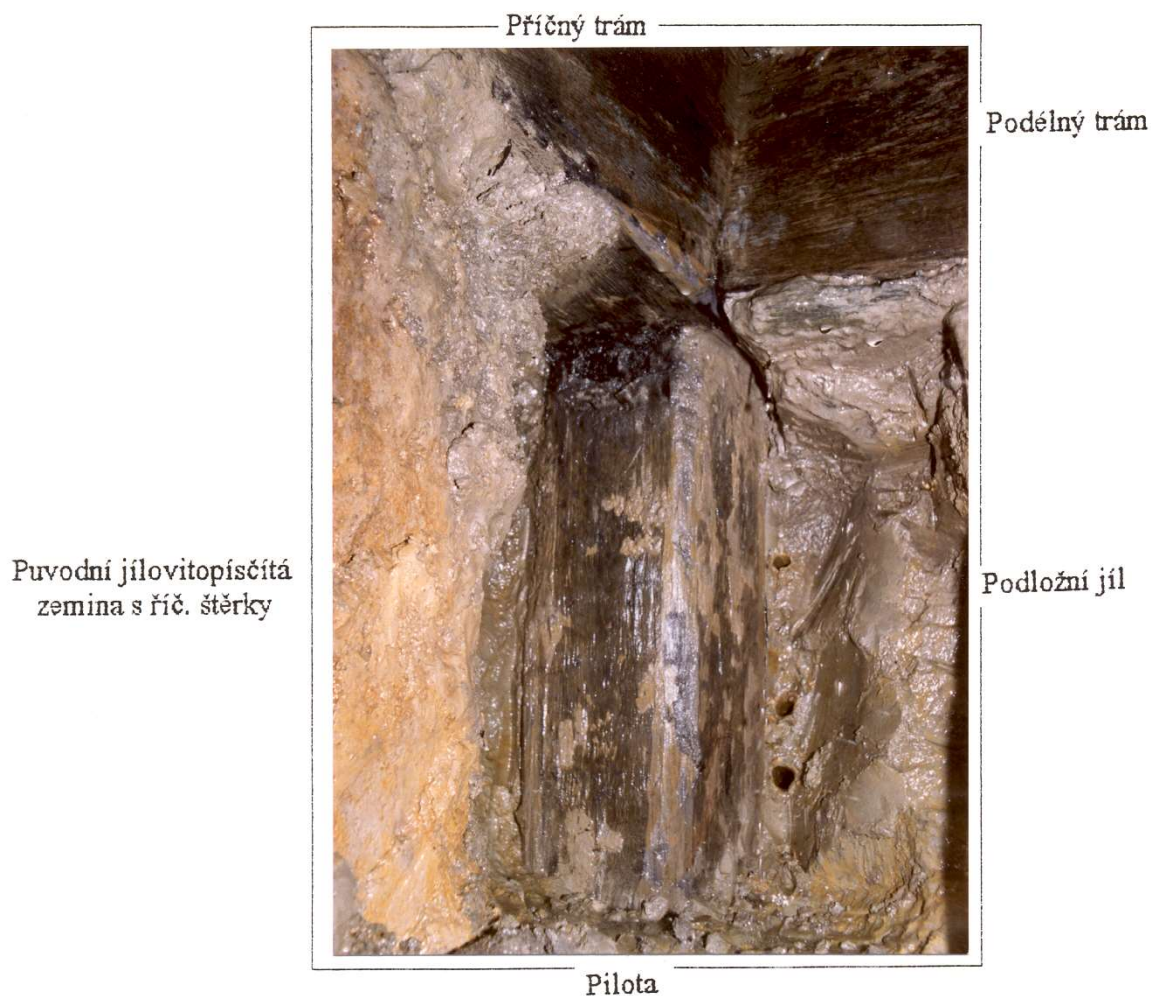
¹ ŘEHÁK, Jakub. *Současný stav historického odvodňovacího a odvětrávacího systému Plaského klášteře*. Praha, 2019. Bakalářská práce. České vysoké učení technické v Praze. Fakulta stavební. Vedoucí práce Eva BURGETOVÁ.

² VOGT, Mauritius. *Chronici plassensis privati "Tilia plassensis"*, 1909,



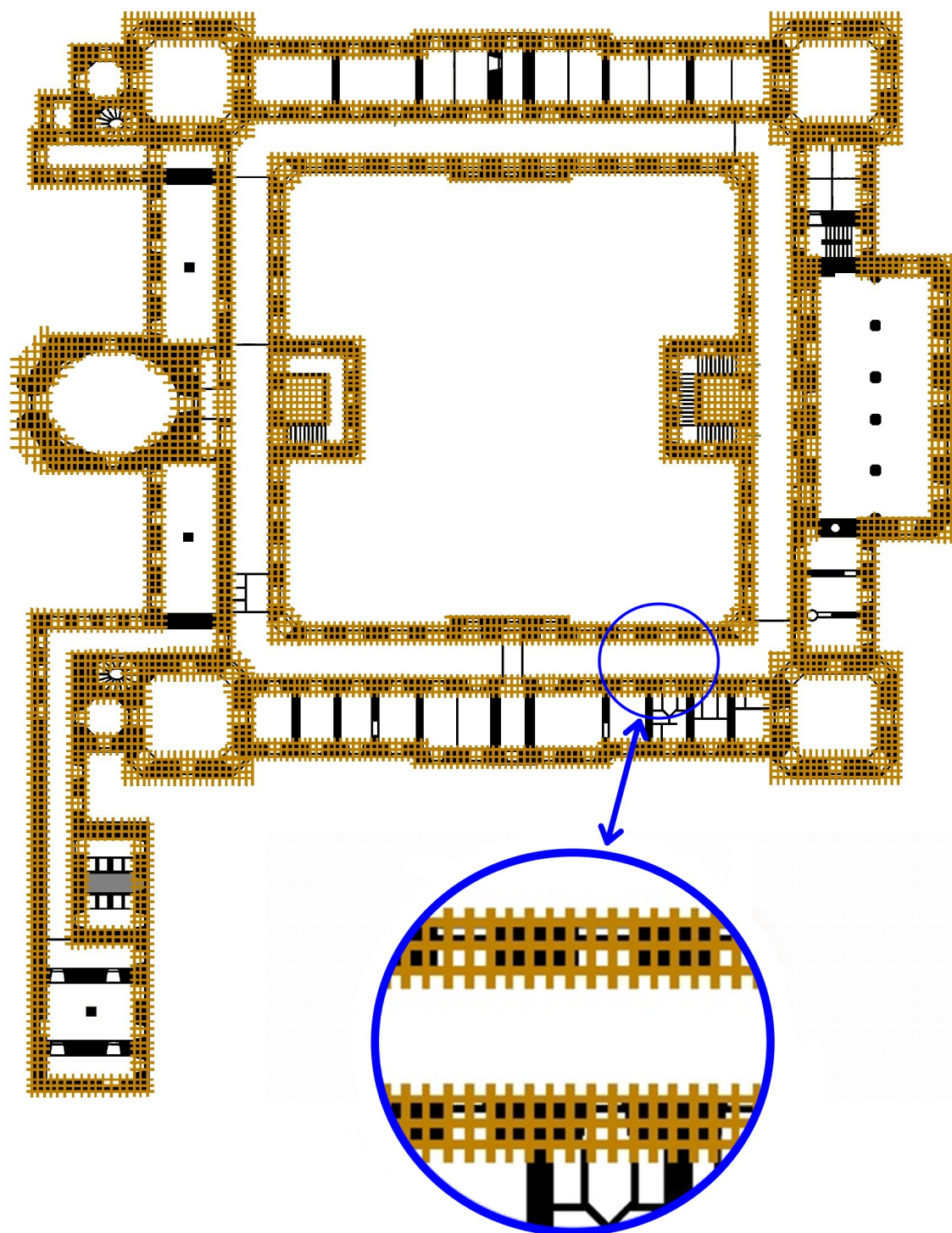
0,5 metru (pacholata), které plnily pomocnou funkci při provádění stavby a později se staly součástí základů budovy.

Piloty se před samotným beraněním nejčastěji zašpičatily a spodní konec trámu se opálil (případně i okoval). Po zaberanění na únosnou hloubku se vrchní konec piloty seřízl na požadovanou výšku a opálil, aby byla zajištěna odolnost konstrukce v klíčových bodech.³



Obr. 01: Pohled na dubovou pilotu pod základovým roštem (archiv SPELEO-Řehák)

³ ŘEHÁK, Josef, Radka TĚŠÍNSKÁ LOMIČKOVÁ a Stanislav ŘEHÁK. Proměny plaského klášteřa (1145-2015). In: *Proměny plaského klášteřa (1145-2015)*. V Mariánské Týnici: Muzeum a galerie severního Plzeňska, p.o. ve spolupráci s Národním technickým muzeem a Národním památkovým ústavem - Správou klášteřa Plasy, 2015. ISBN 978-80-87185-20-9.



Obr. 02: Schématický náčrt rozložení základového roštu (P. Duchoň),
v místě křížení trámů byla zaberaněna pilota – celkem 5600 kusů



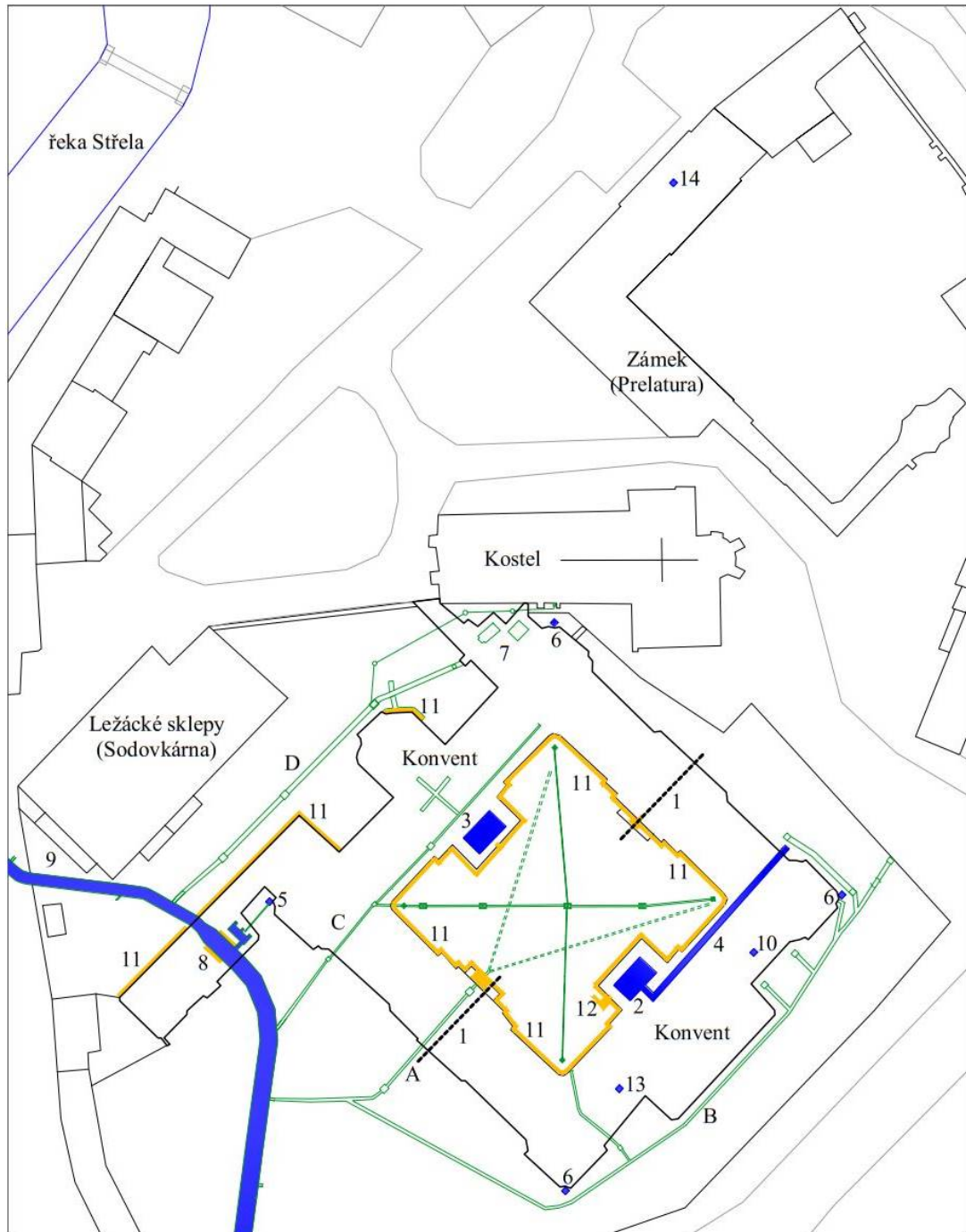
1.2. Popis historického odvodňovacího a odvětrávacího systému budovy konventu

Vzhledem k charakteru základů, je odvodňovací systém kláštera nejdůležitějším prvkem stavby. To potvrzuje kamenná deska s latinským nápisem „*Aedificium hoc sine aquis ruet*“ v překladu „Bez vody se tato stavba zřítí“ umístěná v jednom z kontrolních zrcadel. Vzhledem k vyšší úrovni terénu rajské zahrady nacházející se uprostřed konventu je důležitou částí i odvětrávací systém, který zabraňuje pronikání vlhkosti do konstrukcí a podporuje jejich aktivní vysoušení.

Na území České republiky je několik klášterních budov vystavěných na obdobných principech ve složitých základových podmínkách, například benediktinský klášter na Břevnově nebo premonstrátský klášter na Strahově. V Plaském klášteře je tento systém vypracován do nejmenšího detailu a z dosavadních poznatků se jeví jako nejsofistikovanější, nejpropracovanější a nejpokročilejší. Všechny prvky systému mají svůj účel, ale jen společně vytvářejí funkční celek. Celý systém konstrukce založení je rozdělen na jednotlivé části zajišťující konkrétní funkce:

- přívody čisté pramenité vody,
- filtrační a napouštěcí místnost,
- dva vodní bazény základové konstrukce
- kontrolní místa v zrcadlech tříramenných schodišť a v rozích budovy konventu,
- hlavní odvodňovací štola,
- odvod splaškových vod,
- odvodňovací štoly srážkových a povrchových vod,
- větrací systém.⁴

⁴ ŘEHÁK, Josef, Radka TĚŠÍNSKÁ LOMIČKOVÁ a Stanislav ŘEHÁK. Vodní svět plaského kláštera. Nепublikováno. archiv firmy SPELEO-Řehák, 2009,



Obr. 03: Schéma odvodňovacího a odvětrávacího systému Pláského kláštera (Jakub Řehák, Josef Řehák), 1 předpokládána hranice mezi severním a jižním vodním bazénem 2-3 severní a jižní kontrolní bazén v zrcadlech tříramenných schodišť (severní a jižní kontrolní zrcadlo), 4 Modrá štola, 5 regulační šachta, 6 kontrolní šachty základového roštu, 7 filtrační a napouštěcí místnost, 8 prevetové šachty, 9 Královská štola, 10 studánka pod schody, 11 odvětrávací štoly, 12 srdce ovětrávacího systému, 13 separační šachta (pro nápravu neposlušných mnichů), 14 studna ve krytu civilní obrany A-D odvodňovací štoly srážkových a povrchových vod.



1.2.1. Přívody čisté pramenité vody, filtrační a napouštěcí místnost

Voda byla pro život v klášteře velice důležitým prvkem a pro cisterciácký řád obzvlášť. Cisterciáci v ideálním plánu pro výstavbu kláštera počítali s vodním tokem vedoucím napříč areálem. Voda byla využívána na pohon vodních kol, pěstování ryb v sádkách, pro potřeby kuchyně, na provoz v hospodářských dvorech (Obr 5) a v případě budovy konventu v Plasích hlavně na konzervaci dubové základové konstrukce.

Ne všechna dostupná voda však byla vhodná pro využití všech potřeb, klášter proto měl několik nezávislých zdrojů užitkové i pramenité vody. Voda z řeky Střely plnila primárně funkci užitkovou. Sloužila k proplachování štol pod prevety a k pohonu mlýnských a dalších vodních kol.⁵

Některé zdroje vody pramenily přímo v areálu kláštera, kde na jejich místě byly vybudovány studny. Původně se studny nacházely ve výrobním dvoře, v rajske zahradě a v opatském dvoře. Dnes jsou známy jen dvě studny, a to vedle kuchyně pod bočním schodištěm v jihovýchodním křídle budovy konventu a studna mezi mlýnem a sodovkárnou. Ostatní prameny byly vedeny i ze vzdálených míst od kláštera.⁶

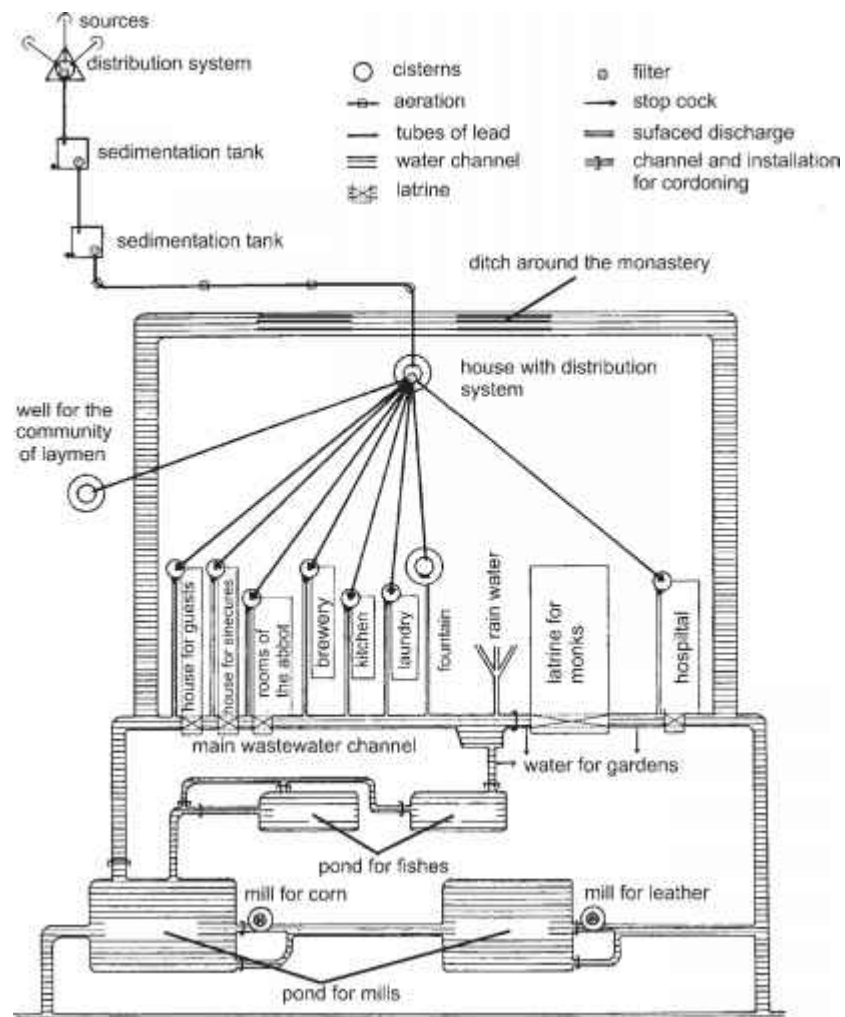
Jak je uvedeno výše, řeka Střela ale nebyla využita pro konzervaci základového roštu, jak by se na první pohled nabízelo. Pro Santiniho a lokátora cisterciáckého řádu nejspíše voda v řece Střele nepředstavovala dostatečně kvalitní zdroj pro zakonzervování nejdůležitější části objektu, proto pro tento účel byly zvoleny prameny i ve značné vzdálenosti od kláštera. Vzhledem k rozloze základů bylo zapotřebí velké množství neustále proudící vody z několika různých, na sobě nezávislých zdrojů.

⁵ ŘEHÁK, Josef, Radka TĚŠÍNSKÁ LOMIČKOVÁ a Stanislav ŘEHÁK. Vodní svět plaského kláštera. Nепublikováno. archiv firmy SPELEO-Řehák, 2009,

⁶ Klášter Plasy – Fotodokumentace, SPELEO – Řehák 1997. Archiv firmy SPELEO.



Obr. 04: Scéna ze Saského zrcadla – lokátor (osoba v klobouku) předkládá plán kostela
(Eike von Repgow)



Obr. 05: Schéma užívání vody kláštery (Bond 1991)



Základovou konstrukci dotovalo vodou několik pramenů nacházejících se přímo pod konstrukcí základů a hlavně 3 vzdálené prameny. Cihlářský pramen je jedním ze vzdálených pramenů severovýchodně od budovy konventu v dnešní ulici K Cihelně. Ve strmém údolí nedaleko cihelny byl v potoku nasypán šterkový filtr, ve kterém je uloženo jímací litinové potrubí průměru 100 mm. 240 metrů dlouhá část potrubí s dvěma revizními šachtami je dodnes funkční. Potrubí je navedeno do vyzdžené sedimentační sběrné jímky s cementovou vyhlazenou omítkou, kde dochází k sedimentaci nezachycených nečistot a kalu. Odtud voda pokračuje litinovým potrubím průměru 80 mm směrem k 750 m vzdálenému klášteře. Původně byl vodovod sestaven z dřevěných žlabů, k zatrubnění došlo až za působení L. Metternicha v Plasích. Vodovod byl dle pamětníků přerušen při výstavbě sušičky Lesního závodu Plasy v druhé polovině 20. století u hospodářských dvorů kláštera. Tento pramen původně zásoboval pramenitou vodou hospodářské dvory a opatské zahrady, odkud byl kolem sýpek naveden do jižní části konventu.⁷



Obr. 06: Lokalizace místa jímání vody z potoka u Cihelny (foto: I. Kornatovský, Vyznačení: P. Duchoň)

Obr. 07: Jímací šachta z potoka u Cihelny (Jakub Řehák)

Obr. 08: Jímací potrubí z potoka u Cihelny (Jakub Řehák)

⁷ ŘEHÁK, Josef, Radka TĚŠÍNSKÁ LOMIČKOVÁ a Stanislav ŘEHÁK. Vodní svět plaského kláštera. Nепublikováno. archiv firmy SPELEO-Řehák, 2009,



Další důležitý vodní pramen se nazývá Viniční. Údajně byl původně přiveden otevřeným příkopem až z Hlubočnice nad Verkem kolem severní hradby klášteřa, odkud dále pokračoval do hospodářského dvora a klášterní obce. Ve 40. letech 18. století byl vodovod kvůli výstavbě stáji zatrubněn, dnes se ale žádný úsek tohoto vodovodu nenalezl.

Z Mozolínského údolí západně od klášteřa byl veden třetí pramen. Tento pramen zásoboval nejnižší část klášteřa se sádkami, konventní kuchyňskou zahradou, hospodářský dvůr a hlavně severozápadní část základů konventu. Při pohledu na mapu je zřejmé, že voda z tohoto pramene na cestě do klášteřa musela překonat řeku Střelu.⁸ Opět z rukopisu Mauritiuse Vogta se dozvídáme: „(...) *per ingentem ac artificiosum arcum super fluvium Strzelam positum*“ přeloženo: „*V mozolínském údolí je pramen, jehož přejasná voda se snadno na dva tisíce kroků kanály doprostřed klášteřa dostává a odtud přes velký umělý oblouk přes řeku Střelu položený vede*“.⁹ Z předchozích řádků lze usuzovat, že třetí - Mozolínský pramen se nacházel zhruba 2 kilometry od klášteřa a řeku Střelu překonal vybudovaným akvaduktem obloukovitého tvaru. Důležitá je i zmínka o čisté průzračné vodě z pramene. Z tohoto vodovodu nebyly bohužel nalezeny žádné pozůstatky.

Kromě tří výše popsaných pramenů Santini zabezpečil systém i pro období sucha a vybudoval filtrační a napouštěcí místnost (Obr 3. – bod 7). Jedná se o 2 sklepní prostory v severním rohu konventu. Vybrané dešťové svody v objektu byly svedeny do těchto místností, kde se pomocí valounového filtru v podlaze voda vsakovala do základové konstrukce. V případě dlouhodobého sucha mohli cisterciáckí mniši vodu dovážet z větších vzdáleností a potom v přízemí napouštěcím otvorem ve stěně nebo v podlaze chodby konventu (Obr 10, 11) vodu vlévat do těchto místností, čímž opět zajistili nezbytné ponoření dřevěných základů do vody.

⁸ ŘEHÁK, Josef, Radka TĚŠÍNSKÁ LOMIČKOVÁ a Stanislav ŘEHÁK. Vodní svět plaského klášteřa. Nепublikováno. archiv firmy SPELEO-Řehák, 2009,

⁹ VOGT, Mauritius. *Chronici plassensis privati "Tilia plassensis"*, 1909,



Obr. 09: Místa jímání pramenných zdrojů pro konzervaci základové konstrukce
(Podklad: mapy.cz, lokalizace: Jakub Řehák)



Obr. 10: Filtrační místnost s napouštěcím otvorem ve stěně (Jakub Řehák)

Obr. 11: Napouštěcí otvor v podlaze chodby konventu (Jakub Řehák)

Obr. 12: Spadiště z otvoru chodby konventu do napouštěcí místnosti s valounovou podlahou (Jakub Řehák)

Z předchozích průzkumů vyplývá, že žádný z původních důležitých pramenů dnes nedodává do kláštera v dostatečném objemu čistou a kvalitní vodu potřebnou pro konzervaci dřevěné základové konstrukce. Jediné prameny, které stále pomáhají přítoku vody, se podařilo zastihnout při speleologickém průzkumu roku 1994. V rámci tohoto průzkumu se vyčerpala voda a vyčistila část základové konstrukce, čímž se podařilo



objevit pár míst průsaků vody do vodního systému, které však vykazovaly zvýšenou kontaminaci. Hlavní zdroje kontaminace vody se již podařilo vyčištěním a odstavením přilehlého netěsného septiku odstranit, avšak kvalitou ani objemem konzervující voda stále neodpovídá ideálnímu stavu. Pravděpodobně další vlastní pramenný zdroj vody je Studánka pod schody (Obr 3. – bod 10), která svým chemickým složením vykazuje lepší parametry než voda v současné době v systému.¹⁰

1.2.2. Vodní bazény základové konstrukce

Po přivedení proudící čisté vody k budově konventu bylo nutné vyřešit dopravu vody ke všem částem základové konstrukce a její stálou výměnu. K tomuto účelu byly vybudovány dva základové bazény s kanálky, distribuujícími vodu v základech a následně, po dosažení potřebné výšky pomocí regulační šachty, odvádějícími vodu mimo objekt.¹¹

Zdroje vody pro konzervaci základové konstrukce byly pečlivě vybrány, proto bylo také zajištěno oddělení těchto vod od okolních vodních zdrojů. Tuto separační funkci plnila vrstva jílu pod základovou konstrukcí tvořící pomyslný bazén, ve kterém je základová konstrukce ponořena. Jíl má černou až tmavohnědou barvu, a jelikož svým zabarvením ani texturou nezapadá do okolního georeliéfu, je odhadováno, že byl pro tyto účely speciálně vybrán a dovezen, nejspíše i kombinován se slámou zlepšující jeho vlastnosti. Vrstva jílu se potvrdila i při sondážních pracích roku 1996 na jižní straně objektu i v roce 2021 na severní straně objektu.

Skladba bazénů v místech sond odsopdu nahoru je následující:

- 1) Nepropustná jílová vrstva zabraňující průsaku okolní vody do systému
- 2) Kameny pro možnost proudění konzervační vody
- 3) Základové piloty a rošt
- 4) Vrstva kamenů o mocnosti přibližně 44 cm pro proudění konzervační vody
- 5) Vrstva slámy sloužící nejspíše jako separační vrstva

¹⁰ ŘEHÁK, Josef. *Kláster Plasy: Odvodňovací a zavodňovací systém, Speleologický průzkum druhá část*. Horská Kamenice 74 Železný Brod: SPELEO - Řehák, 1994.

¹¹ ŘEHÁK, Jakub. *Současný stav historického odvodňovacího a odvětrávacího systému Plaského kláštera*. Praha, 2019. Bakalářská práce. ČVUT v Praze. Fakulta stavební. Vedoucí práce Eva BURGETOVÁ.



- 6) Vrstva jílu proti vztlínání vlhkosti násypem podlahy a propadu násypu do vodních bazénů¹²

Udržování vodní hladiny nad dubovou základovou konstrukcí konventu je velmi důležité. Pro snadnou kontrolu, to znamená pro sledování výšky vodní hladiny i stavu základového roštu (Obr. 3 – bod 2 a 3), bylo vybudováno hned několik kontrolních míst. Nejfrekventovanějším místem v klášteře jsou severní a jižní tříramenná schodiště, v jejichž zrcadlech umístěné bazény umožňovaly snadnou kontrolu výšky vody v systému z kteréhokoli patra budovy (Obr 13.). Na dně těchto kontrolních zrcadel je viditelný dubový základový rošt, což umožňuje kontrolovat jeho stav. Další kontrolní místa byla vybudována v rozích budovy ve formě kontrolních šachet založených na dubovém roštu. Přístup ke kontrolním šachtám byl však obtížný a nejspíše se používal jen při vážných podezřeních na zhoršení stavu základového roštu.¹³



Obr. 13: Odhalený dubový rošt základové konstrukce po vyčerpání vody v severním zrcadle
(archiv SPELEO-Řehák)

¹² ŘEHÁK, Josef. *Kláster Plasy: Odvodňovací a zavodňovací systém, Speleologický průzkum čtvrtá část*. Horská Kamenice 74 Železný Brod: SPELEO - Řehák, 1996.

¹³ ŘEHÁK, Jakub. *Současný stav historického odvodňovacího a odvětrávacího systému Plaského kláštera*. Praha, 2019. Bakalářská práce. ČVUT v Praze. Fakulta stavební. Vedoucí práce Eva BURGETOVÁ.



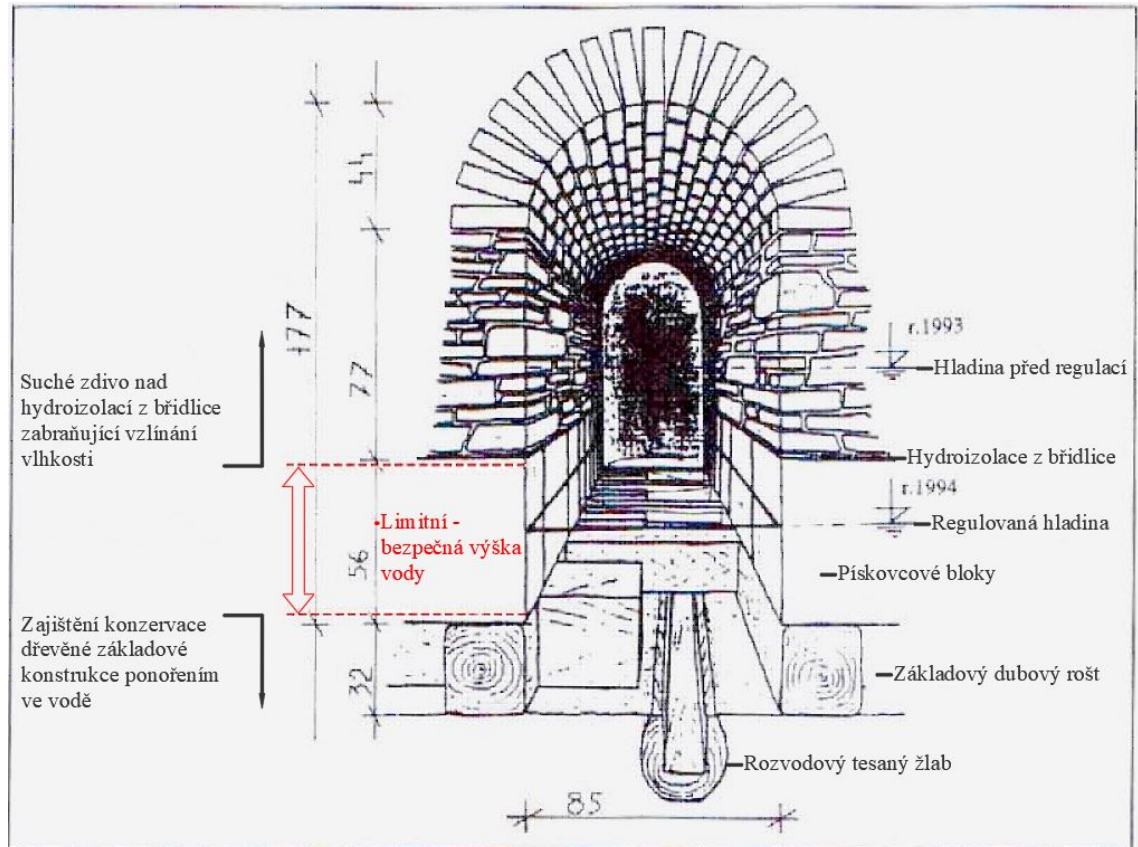
Vzhledem k nutnosti stále přivádět proudící vodu do základové konstrukce konventu a současně udržovat hladinu vody v předem dané úrovni byla vybudována regulační šachta v západním rohu objektu u vstupu do nemocničního křídla (Obr. 3 – bod 5). Po dosažení limitní výšky hladiny voda z této studny odtéká přepadem do hlavní odvodňovací (Královské) štolky. Přepad regulační šachty byl řešen svislou trubkou se čtyřmi vyvrtanými otvory v požadované výšce hladiny s otevřeným vrcholem. V případě klasického průtoku voda odtéká postranními otvory. Pokud vodní hladina vystoupá nad vrchol, voda začne přepadat otevřeným otvorem a zvýší se odtok pomocí efektu vodní zátky. Tím je docílena změna průtoku přepadu v závislosti na množství přiváděné vody a aktivní udržování vodní hladiny ve vyhrazené výšce.

System vodních bazénů základové konstrukce je rozdělen na severní a jižní část. Do obou částí byla nezávisle na sobě přiváděna pramenitá voda z různých zdrojů. Výška vodní hladiny bazénů se začíná navzájem ovlivňovat až po dosažení určité bezpečné výšky hladiny vody (Obr. 14), kdy se voda ze severního vodního bazénu začne přelévat do jižního vodního bazénu. Jižní vodní bazén je napojen na již zmiňovanou regulační šachtu, která tak ovlivňuje hladinu vody v celém systému. Pokud by ale došlo k poruše regulační šachty a unikalo by více vody, vyprázdní se jen jižní vodní bazén.

Konstrukce stěn vystavěná na dubovém roštu je uložena na cca 56 centimetrů vysokých pískovcových blocích, na kterých je na sucho (bez malty) položena horizontální hydroizolace z břidličných desek a na nich cihelné zdivo konventu. Výška pískovcových bloků tak určovala limitní hranice, ve kterých se mohla hladina podzemní vody bezpečně pohybovat, aby konzervovala základy a zároveň nehrozilo vzlínání vody nad hydroizolaci (Obr. 14).

Čistá studená voda z pramenů byla přiváděna olověným potrubím (Modrou štolou a štolou C) až do prostoru obou schodišťových zrcadel, kde se nacházejí kontrolní vodní bazény (kontrolní zrcadla). V nich byla přiváděná voda rozstříkována pomocí fontánek a docházelo tak k ochlazení okolního vzduchu, zajištění dynamiky proudění vzduchu v konventu a také jeho účinnému vysušování.¹⁴

¹⁴ ŘEHÁK, Jakub. *Současný stav historického odvodňovací a odvětrávacího systému Plaského kláštera*. Praha, 2019. Bakalářská práce. České vysoké učení technické v Praze. Fakulta stavební. Vedoucí práce Eva BURGETOVÁ.



Obr. 14: Axonometrický řez Modrou štolou v Pláském klášteře. (archiv SPELEO-Řehák)

1.2.3. Hlavní odvodňovací štola, odvod srážkových vod, odvodňovací štoly povrchových a srážkových vod

Hlavní odvodňovací štola, nazývaná Královská (Obr. 3 – bod 9), vede pod nemocničním (západním) křídlem objektu a odvádí do řeky Střely veškeré vody z odvodňovací štoly srážkových vod, z přepadu vodních bazénů základové konstrukce a také z prevetů v nemocničním křídle. Štola je na svém začátku i konci napojena na řeku Střelu, čímž dochází k proplachování Královské štoly (Obr. 16). Po vybudování jezu na řece pod místem odklonu vody do štoly došlo ke zvýšení hladiny a odvedení části vody přes Královskou štolu. Vzhledem k neustálému proplachování štoly bylo vhodné ji využít i jako kanalizační stoku. V případě ucpání štoly by došlo ke zvýšení vodní hladiny a přímému ohrožení základových bazénů.

Královská štola je tvořena pískovcovými kvádry a pálenými cihlami většího formátu. Založena je obdobně jako budova konventu na dubovém roštu podpíraném dubovými pilotami. Aby nedocházelo ke kontaminaci pracně dovedené čisté vody ve vodních bazénech základové konstrukce, byla kolem budovy konventu vystavěna síť povrchových kanálků a štol (Obr. 3 – bod A-D) zajišťující rychlý odtok povrchových a



srážkových vod z okapních svodů a zpevněných ploch kolem budovy konventu. Kanálky jsou rozděleny do čtyř hlavních větví:

- štola A odvodňuje rajský dvůr konventu,
- štola B odvodňuje jihovýchodní stranu od konventu,
- štola C odvodňuje severozápadní část ambitové chodby s kaplí sv. Bernarda,
- štola D odvodňuje prostor před severozápadní částí konventu.

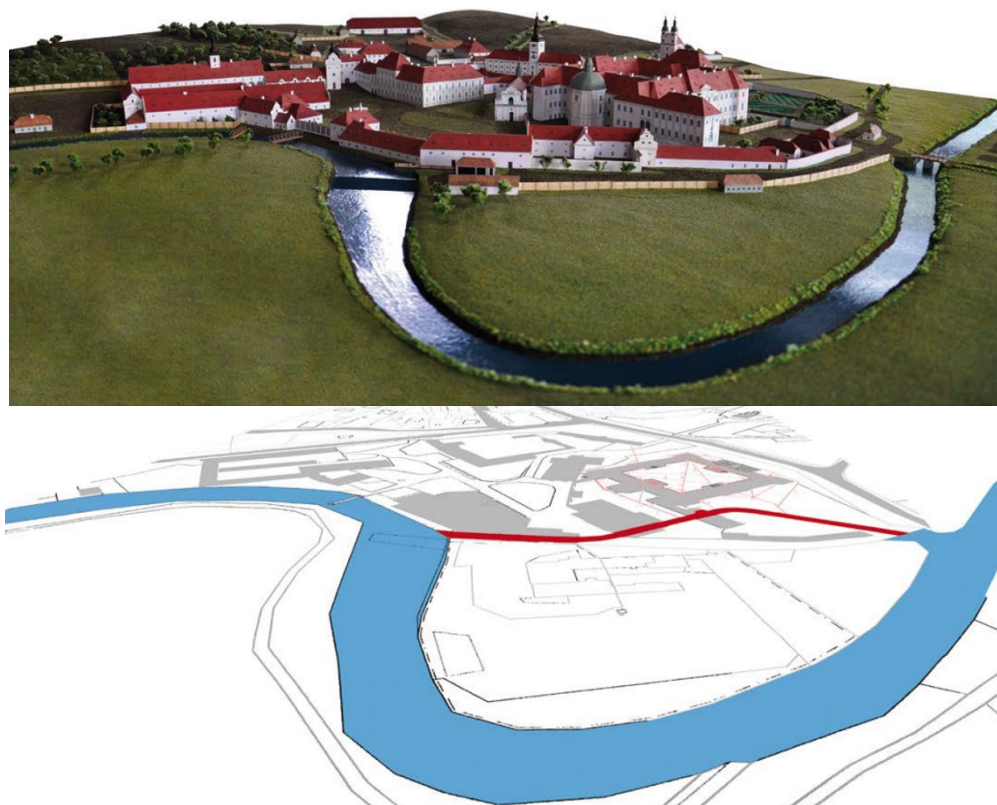
Nakonec jsou všechny povrchové odvodňovací kanálky svedeny do hlavní – Královské odvodňovací štoly pokračující do vodoteče řeky Střely.¹⁵ Všechny odvodňovací štoly byly zděny v průlezných rozměrech a v určitých intervalech osazeny revizními šachtami pro možnost pravidelné údržby.¹⁶



Obr. 15: Výtok Královské štoly do řeky Střely (Jakub Řehák)

¹⁵ ŘEHÁK, Jakub. *Současný stav historického odvodňovací a odvětrávacího systému Plaského kláštera*. Praha, 2019. Bakalářská práce. České vysoké učení technické v Praze. Fakulta stavební. Vedoucí práce Eva BURGETOVÁ.

¹⁶ ŘEHÁK sen., Josef a Josef ŘEHÁK jun. *Plaský klášter a jeho minulý i současný přínos pro kulturní dějiny*. In: *Plaský klášter a jeho minulý i současný přínos pro kulturní dějiny*. V Mariánské Týnici: Městský úřad Plasy a Muzeum a galerie severního Plzeňska v Mariánské Týnici, 2005. ISBN 80-903165-3-0.



Obr. 16: Schéma Královské štoly pod budovami kláštera zbudované při jeho založení
(P. Duchoň)

1.2.4. Větrací systém

Důmyslný větrací systém byl zbudován kolem rajského dvora a na severozápadní straně budovy konventu (Obr. 3 – bod 11). Terén rajského dvora je kvůli zakrytí trosek původního kostela a pro zabránění promrzání konstrukce navýšen zhruba o 3,5 metru vzhledem k úrovni přízemí konventu. Zabránění šíření vlhkosti z rajského dvora do zdiva konventu bylo řešeno po celém obvodu rajského dvora průleznou vzdušnickovou chodbou tzv. vzdušníkem. Voda, která zkondenzuje na stěnách vzdušnickové chodby, steče na zem, odkud je odváděna do základových bazénů. Volnému průtoku vody ve vzdušnickové chodbě jsou přizpůsobeny i rozpěrné pasy tzv. prampouchy. Prampouchy zajišťují přenos tlaku zeminy do obvodových zdí kláštera a nalezneme je ve vzdušnickové chodbě kolem rajského dvora celkem ve čtyřech variantách. Jedna z variant (Obr. 18 - bod 2) má i rozpěrnou zídku vystavěnou na podlaze vzdušnickové chodby, ve které vede kanálek pro odvod vody.¹⁷

¹⁷ ŘEHÁK, Josef, Radka TĚŠÍNSKÁ LOMIČKOVÁ a Stanislav ŘEHÁK. Vodní svět plaského kláštera. Nепublikováno. archiv firmy SPELEO-Řehák, 2009,



Pro zajištění dynamiky vzduchu v systému se vzdušník napojil přes místnost přezdívanou „srdce větracího systému“ (Obr. 18 – bod 1) na komínek vedoucí na rajský dvůr, čímž se zajišťoval rozdíl tlaků pro pohyb vzduchu. V této místnosti na chladných stěnách dochází v létě ke kondenzaci vzdušné vlhkosti nasáté komínkem z venkovního prostředí. Vysrážená voda stéká na podlahu tvořenou valounovou dlažbou, odkud se vsakuje do vodních bazénů základové konstrukce.

Na vzdušnou chodbu jsou napojené všechny parapety oken ambitové chodby v přízemí (Obr. 18 – bod 3), které směřují do rajského dvora. Těmito otvory dochází k proudění vzduchu kolem oken a zabraňuje se tak jejich rosení.¹⁸

Větrání je důležité převážně na jaře, kdy teplota a vlhkost venkovního vzduchu roste, zatímco masivní stěny budovy konventu zůstávají chladné. Aby bylo zamezeno výskytu povrchové kondenzace na vnitřních stěnách objektu, větrání v tomto kritickém jarním období začíná od nejvyššího patra směrem dolů. Po prohřátí zdí v horním patře konventu dojde k částečnému zvýšení teploty zdí o patro níže a je bezpečné otevřít okna i zde, aniž by došlo ke kondenzaci. Obdobným způsobem se pokračuje až k dosažení přízemního podlaží.¹⁹



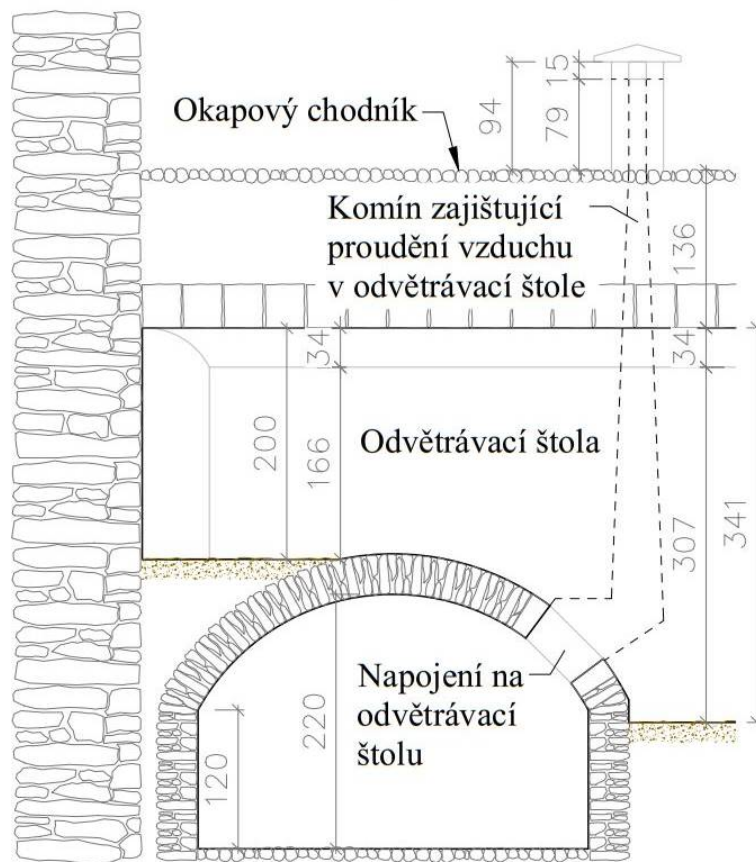
Obr. 17: Zborcené prampouchy ve vzdušníku (1972), (archiv kláštera Plasy)

¹⁸ ŘEHÁK, Jakub. *Současný stav historického odvodňovací a odvětrávacího systému Plaského kláštera*. Praha, 2019. Bakalářská práce. České vysoké učení technické v Praze. Fakulta stavební. Vedoucí práce Eva BURGETOVÁ.

¹⁹ ŠIROKÝ, Michal. *Návrh prototypu pro stabilizaci klimatických podmínek v konventu plaského kláštera*. Plzeň, 2008. Bakalářská práce. Západočeská univerzita v Plzni.

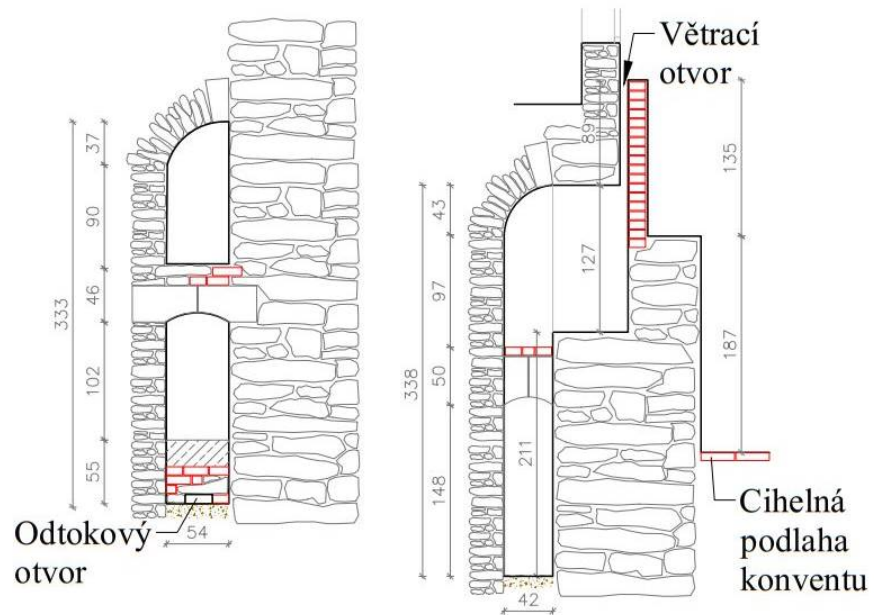


1



2

3



Obr. 18: Řez odvětrávacím systémem: 1) srdce větracího systému 2) prampouch 3) napojení parapetu na vzdušnickovou chodbu (Autor: Jakub Řehák)



Obr. 19: Klášter Plasy – větrání a prohřívání konventu zabraňující povrchové kondenzaci na masivních konstrukcích v jarních měsících (P. Duchoň)



1.3. Analýza nevhodných zásahů do konstrukce provedených v minulosti

1.3.1. Vodní základové bazény, odstranění přívodů čisté vody

V 18. století na základě dekretu vydaného Josefem II. došlo ke změně vlastníků kláštera a tím k přerušení kontinuity v údržbě konventu, a především ke ztrátě znalostí o funkci celého systému. Postupně tak došlo k odstranění všech tří vodovodů zásobujících vodní bazény základové konstrukce. Poslední z vodovodů nazývaný Cihlářský byl podle pamětníků přerušen při výstavě sušičky pro Lesní závod Plasy v druhé polovině 20. století. Aktuálně je vodní bazén základové konstrukce dotován místními prameny, které jsou však kontaminovány.

Pramenité vody, původně konzervující základy budovy, byly později nahrazeny splaškovou odpadní vodou z toalet, která byla zaústěna do Modré štoly v jižním vodním základovém bazénu. Napojení kanalizace do vodního bazénu zhoršilo kvalitu původní, relativně čisté vody, která se stala zdrojem bakterií a solí, což vedlo k degradaci dubové základové konstrukce a zdíva na ní postavené. V roce 1994 se čistila Modrá štola, podle výpovědi očitých svědků v ní bylo „po kolena hustého fekálního bahna“. Je zde tedy velká pravděpodobnost ucpání nepřístupných částí vodního systému. V době vzniku napojení kanalizace do Modré štoly nebyl znám způsob fungování vodního systému a domněnka, že regulační šachta na západní straně objektu je „děravá“ studna, vedla správce objektu k utěsnění přepadového regulačního potrubí. Správce tím získal studnu s větším objemem vody, než tomu bylo doposud.²⁰

Proudění splaškových vod do systému v kombinaci se vzdušnou vodou nad hydroizolaci mělo za následek kontaminaci vody v obou vodních základových bazénech, které spolu za normálních okolností vodu nesdílejí. Oba vodní bazény se na přístupných místech již mechanicky vyčistily a pomocí modré skalice se potlačil růst řas. Není ale jisté, že se celý systém vodních bazénů základové konstrukce podařilo zcela vyčistit a nenalézají se tam stále místa s nahromaděným kalem o velkém obsahu solí a organických látek ze splaškových vod.

²⁰ ŘEHÁK, Jakub. *Současný stav historického odvodňovací a odvětrávacího systému Plaského kláštera*. Praha, 2019. Bakalářská práce. České vysoké učení technické v Praze. Fakulta stavební. Vedoucí práce Eva BURGETOVÁ.



Do systému vodních bazénů se bohužel také infiltrovala zasolená voda z přilehlé silniční komunikace. Tento problém se podařilo vyřešit obnovením odvodňovací štolý B, která tyto vody odklání od vodního systému základové konstrukce konventu.

1.3.2. Odvodnění povrchových vod

Absence pravidelné údržby postupem času způsobila zanesení odvodňovacích štol sedimentem až z 80 % profilu. To mělo za následek kolísání hladiny ve vodních bazénech při přivalových deštích. Dešťová voda ze střechy a zpevněných ploch nemohla štolami odtékat, a tak se postupně infiltrovala do vodních základových bazénů. Dalším důsledkem bylo nadměrné vzlínání vlhkosti v obvodovém zdivu, jelikož v jeho blízkosti docházelo k akumulaci vody na terénu. (Obr. 20). Po vytěžení sedimentu a vyčištění odvodňovacích štol se vodní hladina ve vodních bazénech ustálila a současně se snížila vlhkost obvodových zdí.



*Obr. 20: Stojící voda po dešti u paty objektu před opravou podpovrchových kanálků
(archiv SPELEO-Řehák)*

1.4. Nouzový režim budovy konventu

Santini vynaložil velké úsilí na výběr vhodné pramenité vody, nechal vystavět dlouhé a nákladné potrubí pro přivedení čisté vody do klášteře a vytesat kamennou desku s varováním poukazujícím na důležitost vody pro budovu. Pro konzervaci základů, nejdůležitějšího nosného prvku celé budovy, byla využita nejkvalitnější voda, a



dokonce byla vytvořena záložní varianta pro případ úplného selhání dodávky vody, aby systém zůstal stále funkční.

Nouzový režim počítá s variantou ztráty všech vodovodů dodávajících vodu do vodních bazénů základové konstrukce. V situaci, ve které se stavba právě nachází, však dochází ke stahování a infiltrování vody do systému z okolních ploch a vodních zdrojů. Současné přilehlé zdroje vody zcela neodpovídají ideálním požadavkům pro konzervaci dubové základové konstrukce, se kterými počítal Santini, avšak na druhé straně je jakákoli voda vhodnější nežli žádná.

Nouzový režim by se ale neměl zaměřovat s normálním stavem. Mělo by se jednat pouze o dočasnou variantu po dobu vyřešení nejnnutnějších oprav. Budova se nachází v nouzovém stavu již zhruba 70 let (tj. 1/5 existence stavby), a proto je vhodné nouzový stav konečně vyřešit.²¹

2. REHABILITACE SANTINIHO PŘETLAKOVÉHO VODNÍHO SYSTÉMU

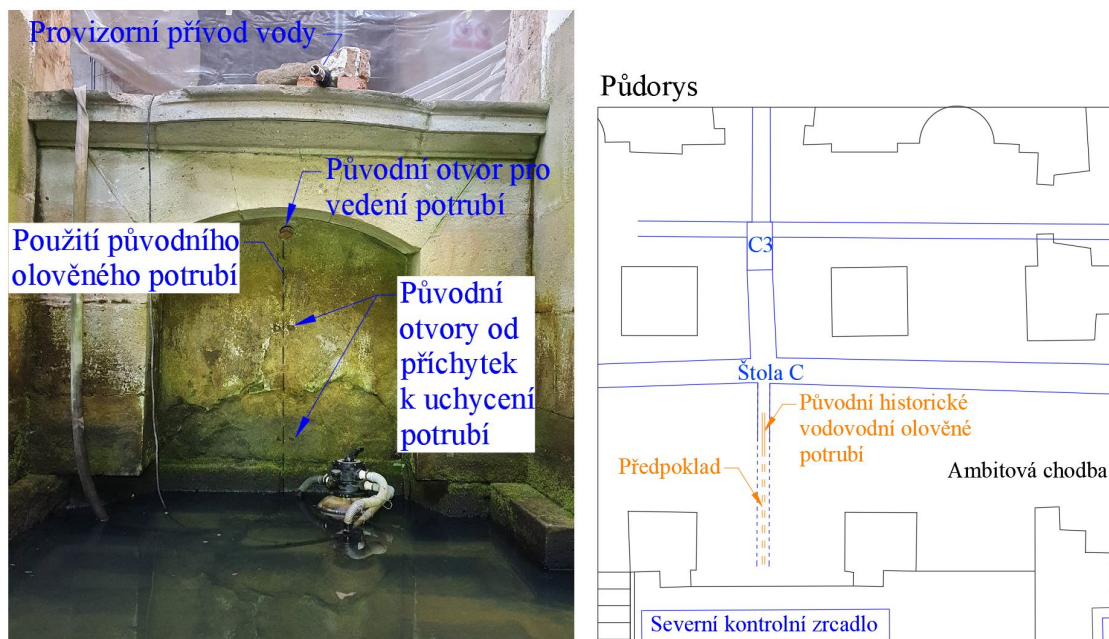
Projekt obnovení přívodů čisté studené vody do základového vodního systému počítá s čerpáním vody ze studny nedalekého krytu civilní obrany, nacházející se ve sklepních prostorách budovy prelatury (Obr 3. – bod 14). Ze studny bude voda samospádem nebo pomocí čerpadla transportována v nezámrzné hloubce polyethylenovým potrubím průměru 32 mm do šachty před severovýchodním vstupem do konventu. V šachtě, vystavěné za Metternicha v 19. století, se potrubí rozdělí na dvě větve pomocí T tvarovky osazené kulovými ventily na každé větvi. Jedna větev bude vedena k prodloužené části štoly C a následně zaústěna do severního kontrolního zrcadla, druhá větev do novodobé betonové šachty napojené Modrou štolou do jižního kontrolního zrcadla.

Při opravách a prodlužování odvodňovací štoly C se při výkopových pracích v prostoru ambitové chodby u severního zrcadla našla stará odbočka ze štoly C do severního kontrolního zrcadla s částí původního olověného potrubí. Projekt počítá s opatrným vytěžením zasypané odbočky, vyjmutím původního olověného potrubí a

²¹ ŘEHÁK, Jakub. *Současný stav historického odvodňovací a odvětrávacího systému Plaského kláštera*. Praha, 2019. Bakalářská práce. České vysoké učení technické v Praze. Fakulta stavební. Vedoucí práce Eva BURGETOVÁ.



využitím štoly a původních otvorů pro vedení nového potrubí. Otvor do severního kontrolního zrcadla se nachází ve vrcholu zaklenuté niky, odkud potrubí pokračovalo kolmo dolů pod hladinu kontrolního bazénu a po dně doprostřed zrcadla, kde se napojovalo na mosaznou rozstříkovací fontánku ukotvenou v kovových příchytkách do základového roštu (Obr. 21).



Obr. 21: Nika v severním kontrolním zrcadle (Jakub Řehák)

Nové potrubí bude vedeno k původní odbočce do severního kontrolního zrcadla, kde bude osazena T tvarovka s kulovým ventilem pro regulaci průtoku. Část větve zaústěné do štoly C s kulovým ventilem bude sloužit pro vypuštění vody z potrubí, která odečte štolou C až do Královské štoly a řeky Sřely. Viditelnou část potrubí mezi původním otvorem a hladinou severního kontrolního zrcadla bude tvořit původní olověné potrubí vyjmuté z odbočky ze štoly C pro zachování původního vzhledu. Do jižního zrcadla se čistá voda bude přivádět potrubím vedeným po dně Modré štoly a následně napojeným na fontánku uprostřed jižního kontrolního zrcadla. Tím bude v maximální možné míře dosaženo autenticity.

Zajištěním přítoku nové vody do vodních bazénů základové konstrukce dojde k navrácení vodního systému Plaského klášteře do původního stavu. Mírně se zvýší hladina vody v systému a tím by se měl systém změnit na přetlakový. Zlepší se kontrola kvality vody a případná možnost její úpravy na požadované hodnoty. Zvětšeným objemem vody v systému bude také docházet k rychlejšímu odplavování případných



kalů z nepřístupných míst v základovém bazénu, a tak se zvětší rychlost vyrovnání hladin severního a jižního kontrolního zrcadla.²²

2.1. Návrh obnovy přetlakového vodního systému a jeho realizace

Během zpracování diplomové práce došlo vlivem vnějších okolností (pandemická situace) k několika změnám v původním návrhu rehabilitace Santiniho přetlakového systému a vyhotovení provizorní verze obnovy.

První změnou je hloubka uložení přívodního potrubí mezi budovou prelatury, kde se nachází zdroj vody – studna v krytu CO, a konventem. Po dohodě s archeology bylo domluveno vedení potrubí v archeologicky bezpečné hloubce 20 až 30 cm pod terénem. Tato hloubka s sebou nese rizika zamrznání vody v potrubí a nedá se považovat za trvalou variantu. Jde pouze o dočasný stav, než se provede definitivní výkop v nezamrzné hloubce. V průběhu měření nedošlo k zamrznutí vody v potrubí, a tedy ani k ovlivnění výsledků měření.

Druhou změnou je přívod vody pouze do severního zrcadla, které umožňuje provedení dalšího měření vodního systému. Zvýšením hladiny pouze v severním kontrolním zrcadle dojde k proudění nově přiváděné vody do ostatních částí vodního systému. Po aplikaci stopovací látky do vody je tak možné sledovat propojení severního kontrolního zrcadla s ostatními částmi vodního systému.



Obr. 22: Výkop provizorní rýhy pro uložení vodního potrubí (Josef Řehák)

²² ŘEHÁK, Josef, Stanislav ŘEHÁK a Jakub ŘEHÁK. *Konvent Kláštera Plasy, zajištění přívodu vody do základového roštu*. Hradec Králové: Řehák – SPELEO, 2020.



2.1.1. Stanovení kvality vody ze studny krytu CO pro stabilitu základů

Před samotným spuštěním čerpadla bylo nutné provést analýzu chemického složení vody ve studni krytu civilní obrany a posoudit její vzájemnou kompatibilitu s dubovou konstrukcí základů a pískovcovými bloky. Ve zdivu v blízkosti studny chemická analýza potvrdila velmi vysoké zasolení chloridy, dusičnany i sírany dle ČSN 73 0610 (Tab. 1).

Analýza zasolení květen 2021			
označení odběrného místa	obsah chloridů [mg/g]	obsah dusičnanů [mg/g]	obsah síranů [mg/g]
1A	0,310	2,940	31,310
1B	0,630	1,670	2,680
1C	0,790	10,600	4,620
2A	13,180	36,260	13,380
2B	-	-	-
2C	3,570	16,710	6,430
3A	0,510	1,260	52,780
3B	-	-	-
3C	2,100	46,820	55,380
4A	1,700	11,970	4,270
4B	5,650	25,790	9,210
4C	3,760	30,780	14,780
5A	5,350	22,960	47,890
5B	-	-	-
5C	2,030	2,370	10,480

Tab. 1: Výsledky chemické analýzy zdiva v blízkosti studny CO (Zuzana Rácová)

Dle plánů krytu civilní obrany se voda do studny infiltruje z řeky Střely přes fluvialní sedimenty. Ze studny byly odebrány dva vzorky s odstupem 10 dní, což umožnilo zjistit proměnlivost chemického složení vody v čase. První odběr proběhl dne 12.11.2021 analyzovaný laboratoří ALS Czech Republic, s.r.o. Druhý vzorek byl odebrán 22.11.2021 ve spolupráci s Ing. Kujalovou Ph.D. (Ústav technologie vody a prostředí, VŠCHT Praha), tato analýza byla rozšířena o další ukazatele.

Z výsledků analýz vyplývá, že voda ve studni civilní obrany má velmi proměnlivé složení v čase. Dochází k velkému rozptylu obsahu chloridů, síranů a dusičnanů ve vodě, což pravděpodobně souvisí s pracemi stavební firmy na rekonstrukci budovy prelatury nebo splachy z přilehlých polí.



Obr. 23: Odběr vzorků vody ze studny v krytu civilní obrany (Josef Řehák)

Ve vodě ze studny byl rovněž potvrzen zvýšený výskyt koliformních bakterií, které podle dřívějších názorů ukazují na znečištění odpadními vodami. V dnešní době se od této interpretace ustupuje, protože tyto bakterie mohou indikovat například i rozklad listí ve vodě. Test na koliformní bakterie byl proveden ve vzorcích vody ze studny krytu civilní obrany, ze severního a jižního kontrolního zrcadla i z regulační studny. Ve všech odběrových místech – kromě regulační studny – se potvrdil nález bakterií ve větších koncentracích. Regulační studna disponuje největší dynamikou vody v celém systému. Koliformním bakteriím se nedaří v proudící vodě, proto bylo vyhodnoceno, že „rozprouděním“ vodního systému by se dal výskyt těchto bakterií v systému potlačit.

Pro analyzované vzorky byl vypočten také Langelierův index nasycení, podle něhož lze posoudit, zda bude docházet k vylučování uhličitanu vápenatého a k tvorbě inkrustací, nebo naopak k výluhu uhličitanu vápenatého z okolních materiálů – v našem případě korozi pískovcových bloků v přímém kontaktu s vodou. V celém vodním systému Plaského klášteřa včetně studny krytu CO byl Langelierův index mírně záporný, což nasvědčuje slabé agresivitě vody vůči vápenci. Nejnižší hodnoty Langelierova indexu v systému jsou -0,6 a potvrdily se u 50 % vzorků. Pro vodu ve studni krytu CO vychází hodnota -0,5 Langelierova indexu tzn. Agresivitu vody nezvýší. V případě potvrzení kladného vlivu obnovy přetlakového systému na stav konventu Plaského klášteřa je plánováno umístění kameniva uhličitanu vápenatého do



studny krytu CO a tím posunutí hodnot Langelierova indexu do kladných čísel. Vyhodnocení vzorků vody potvrzuje, že zdroj vody je vhodný pro testovací režim obnovy přetlakového vodního systému a přivedením vody ze studny krytu CO do vodního systému kláštera Plasy dojde ke zlepšení kvality vody.²³

2.1.2. Čerpací zkouška

Po potvrzení vhodnosti vody ze studny krytu civilní obrany bylo dne 22.11.2021 zapnuto čerpadlo a tím znovu obnovena část Santiniho přetlakového systému. Vzhledem k neznámému odtoku ze severního zrcadla a nemožnosti změřit objem celého severního bazénu byla provedena čerpací zkouška pro stanovení bezpečného přítoku, tj. přítoku, který zvedne hladinu severního bazénu pouze pod břídlíčnou horizontální hydroizolaci.

V pravidelných časových intervalech se měřil v obou kontrolních zrcadlech zdvih vodní hladiny nad základový rošt po dobu spuštění čerpadla a pokles vodní hladiny po vypnutí čerpadla (Tab. 2). Při dosažení hladiny 57,5 cm nad základový rošt severního kontrolního zrcadla se zvedla hladina v jižním kontrolním zrcadle o 0,7 cm na úroveň 44 cm nad základový rošt. Po dosažení těchto hodnot bylo čerpadlo vypnuto a měřila se změna výšky vodní hladiny v čase při odtoku vody ze severního zrcadla.

Datum	Čas [hod]	Výška vody nad základovým roštem [cm]		Poznámky:
		Severní kontrolní zrcadlo	Jižní kontrolní zrcadlo	
22.11.2021	20:05	39,7	X	Čerpadlo zapnuto
	20:24	41,2	X	
	21:00	47,1	43,3	
	22:30	55,5	43,3	
	23:00	57,5	44	
	23:07	57,5	X	Čerpadlo Vypnuto
23.11.2021	0:07	55,7	44,2	
	1:07	53,5	X	
	3:15	52,1	44	
	7:50	49	44	

Tab. 2: Čerpací zkouška (Jakub Řehák)

²³ KUJALOVÁ, Hana. Voda [elektronická pošta]. Message to: jakub@rehak-speleo.cz. 8. prosince 2021 03:58 [cit. 2021-12-12].



Obr. 24: Obnova přetlakového systému – nový provizorní přívod vody do severního kontrolního zrcadla (Josef Řehák)

Hodinu po vypnutí čerpadla se opět změřila výška hladiny v obou kontrolních zrcadlech:

- v severním zrcadle došlo ke snížení vodní hladiny o 1,8 cm na hodnotu 55,7 cm nad základový rošt,
- v jižním zrcadle se naměřil přírůstek 0,2 cm na hodnotu 44,2 cm nad základový rošt.

Po ukončení měření 23.11.2021 v 7:50 se hladina jižního kontrolního zrcadla ustálila na hodnotě 44 cm nad základovým roštem. Nárůst výšky hladiny jižního kontrolního zrcadla po vypnutí čerpadla poukazuje na jistou setrvačnost vodního systému, která může být způsobena usazeninami v prostoru mezi vodními bazény.

Čerpací zkouška v severním kontrolním zrcadle umožnila „vyladit“ přítok na udržování hladiny vody v požadované výšce, tj. v rozmezí 49 – 52 cm nad základovým roštem. Pro toto rozmezí je přírůstek vodní hladiny při čerpání 0,574 l/s 5,6 cm/h a pokles hladiny při vypnutí čerpadla 0,68 cm/h. Na základě výsledku měření se stanovila bezpečná doba čerpání vody do severního kontrolního zrcadla vždy 15 minut ze tří hodinového intervalu, čímž se zvedne vodní hladina o 1,4 cm. Severní zrcadlo za zbývajících 2:45 hodiny sníží svoji hladinu o 1,87 cm, nastavený přítok tak má 25% bezpečnostní rezervu.



2.1.3. Vodní systém – částečná rehabilitace

V rámci obnovy je prozatímní přetlakový vodní systém poháněn čerpadlem zapojeným do mechanických spínacích hodin nastavených na sepnutí vždy 15 minut ve tříhodinovém intervalu. Přítok vody do severního kontrolního zrcadla je v úrovni podlahy přízemí, tj. zhruba 2 metry nad plánovaným trvalým vyústěním vodotrysku (Obr. 24). I při vypnutém čerpadlu z tohoto potrubí občas vytéká proud vody o malé vydatnosti 0,006 l/s, který dává naději, že při zhotovení finální fontánky s vyústěním zhruba o 2 metry níže poskytne dostatečný tlak pro trvalé gravitační proudění.



Obr. 25: Čerpadlo ve studni krytu CO (Jakub Řehák)

Obr. 26: Mechanické spínací hodiny čerpadla (Jakub Řehák)

Vypočtený cyklus čerpadla byl ověřen 1.12.2021, kdy před sepnutím čerpadla byla hladina vody v severním kontrolním zrcadlu 47,5 cm nad dubovým roštem a po 15minutovém čerpacím cyklu 49,5 cm. Při druhém měření 23.12.2021 vodní hladina před čerpáním byla 45,4 cm nad dubovým roštem a po čerpání 46,9 cm nad dubovým roštem. Vodní hladina obnoveného přívodu vody se tak pohybuje v předem stanovené bezpečné výšce.

Rozhodnutí zavést vodu pouze do severního vodního bazénu umožní průzkum propojení severního kontrolního zrcadla s ostatními částmi vodního systému a případné odplavování sedimentů z nepřístupných částí vodních bazénů. Aktuální vyústění přívodního potrubí 2,2 metru nad vodní hladinou severního kontrolního zrcadla dostatečně simuluje plánovanou fontánku pro vyhodnocení změny mikroklimatu po přívodu studené vody. V prostoru severního kontrolního zrcadla bylo schodiště vedoucí z přízemí do 1. patra konventu v minulosti zbouráno, což omezí případný negativní vliv tohoto experimentu na dřevěnou konstrukci schodiště. Z tohoto důvodu je tento prostor vhodný pro ověření teorie vysušování vzduchu rozstříkující studenou vodou.



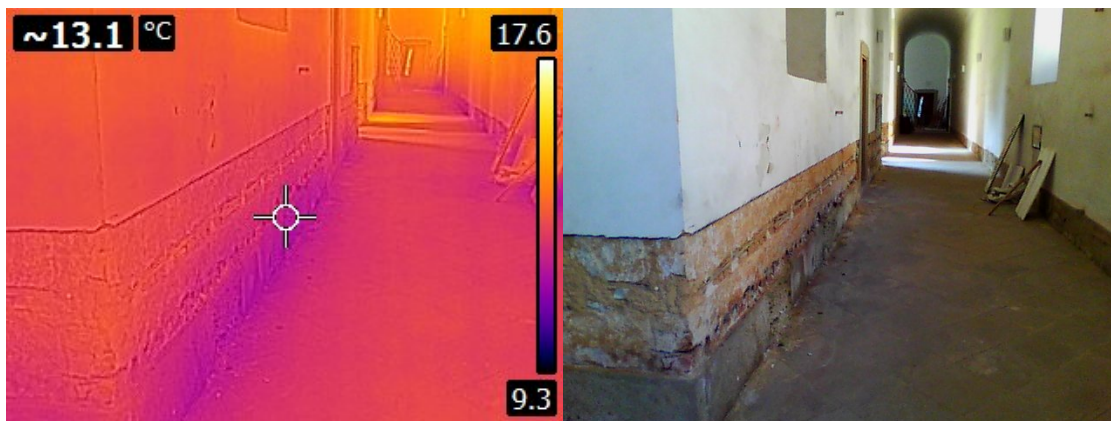
3. MONITORING SOUČASNÉHO STAVU

3.1. Průzkum vztlínající vlhkosti termokamerou

Vzhledem k charakteru práce zabývající se vlhkostí v budově konventu Plaského kláštera byl 11.6.2021 proveden nedestruktivní průzkum vlhkosti termokamerou v přízemní části nemocničního křídla a v prostoru severního a jižního kontrolního zrcadla. Měření bylo zopakováno 23.12.2021 se zaměřením na historický odvětrávací systém, jeho termo-akumulační vlastnosti a následnou distribuci tepla v zimě parapetními otvory v ambitové chodbě v přízemí konventu. Pro termografický záznam byla použita termokamera FLIR-E63900, T198547.

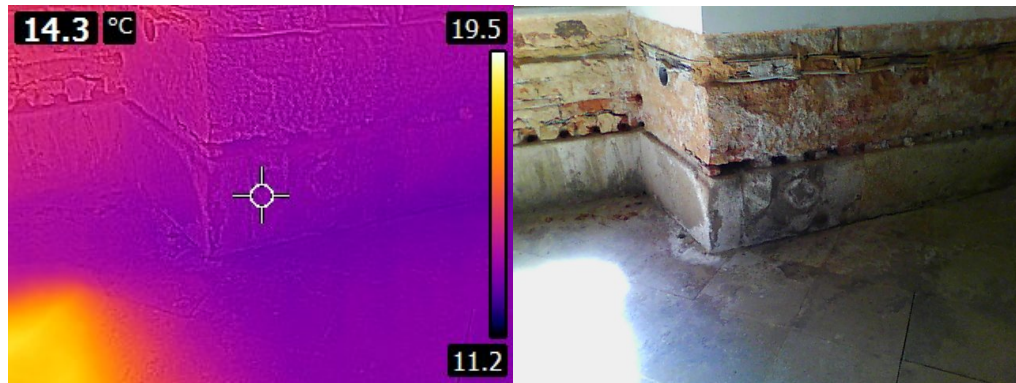
3.1.1. Nemocniční křídlo

V druhé polovině 80. let byla snaha vyřešit problémy se vztlínající vlhkostí v nemocničním křídle konventu pomocí chemické clony Tosil Hydrofob infuzně aplikované. Podmínka pro použití této látky je neustálá dotace vlhkostí,²⁴ protože v případě dočasného vysušení zdiva dochází k zpráškování gelové konzistence (tzv. synerezi), která ztrácí své hydroizolační vlastnosti. Vzhledem k nedostatečné spolehlivosti se tento materiál od 90. let minulého století přestal používat.



Obr. 27: Pohled chodbou nemocničního křídla (Foto: Jakub Řehák)

²⁴LEBEDA, Jaroslav, Arnošt KALIGA, František KAMENČÁK a Karel RETZ. *Sanace zavlhého zdiva budov*. Praha: Nakladatelství technické literatury, 1988.

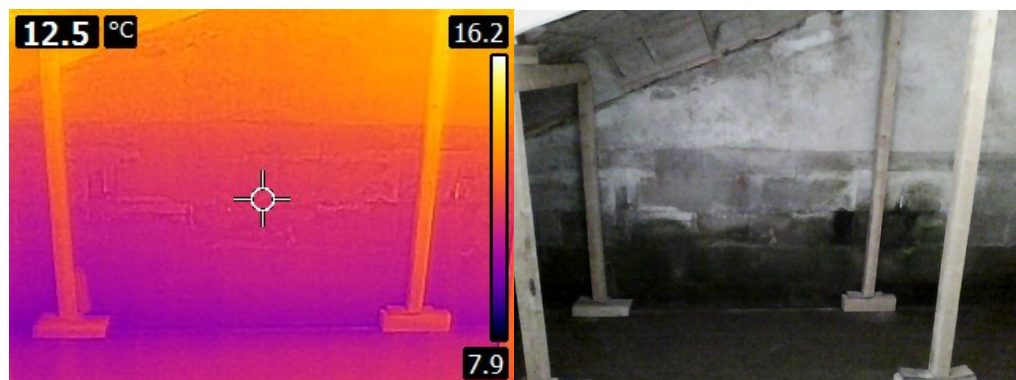


Obr. 28: Vrty vyčištěné od HI (Foto: Jakub Řehák)

3.1.2. Severní a jižní kontrolní zrcadlo

Kontrolní vodní bazény umístěné v severním a jižním zrcadle tříramenného schodiště jsou nejnižše položenými běžně dostupnými místy v budově konventu. Podlaha u kontrolních bazénů je v těsné blízkosti vodní hladiny systému a dochází zde ke kapilárnímu vztlínání vody z vodních bazénů. Při výstavbě objektu byl tento problém vyřešen opatřením, kdy dolní část zdiva byla vyzděna z odolných pískovcových hraněných bloků do výšky zhruba 2,5 metru nad podlahu u kontrolních zrcadel.

Termovizní snímky z jižního zrcadla potvrdily vztlínající vlhkost ve zdivu (Obr 29). Současně se ukazuje, že výška pískovcových bloků je dostatečná a vztlínající vlhkost se výše na omítaném zdivu již neprojevuje.

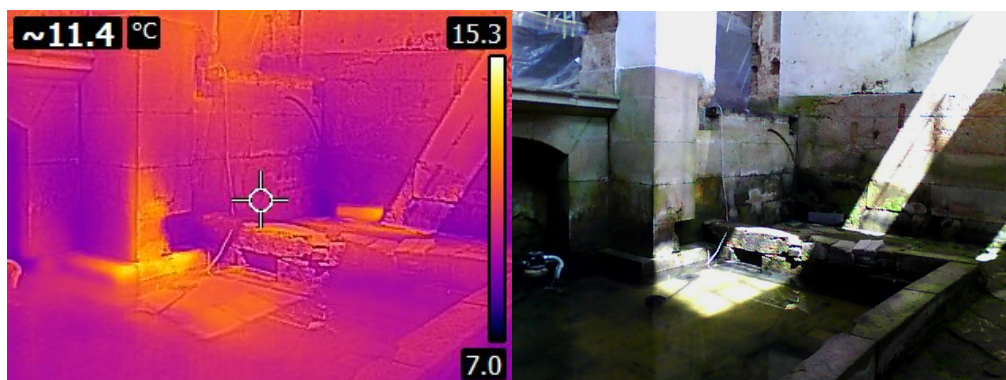


Obr. 29: Jižní kontrolní zrcadlo, pohled pod schodišťové rameno (Jakub Řehák)

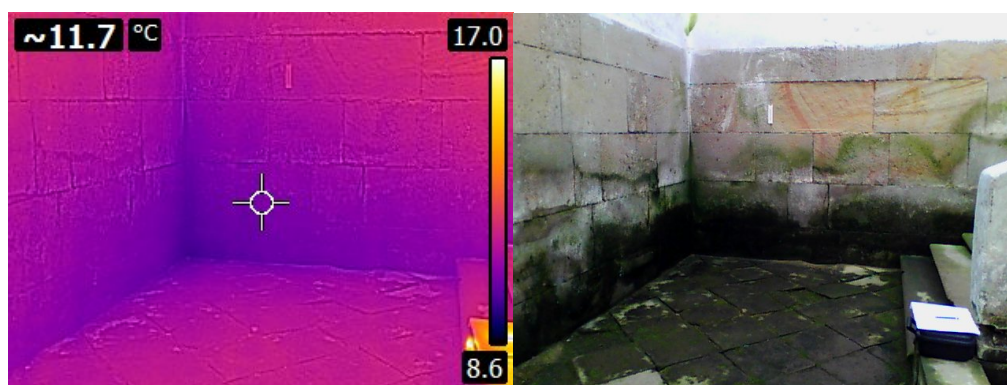
U severního zrcadla je situace znatelně horší. Je zde patrné vztlínání vlhkosti nad pískovcové bloky a degradace omítky v úrovni přízemí konventu. Zhoršený stav u severního kontrolního zrcadla může být způsoben nedostatečným prouděním vzduchu v plachtou uzavřeném prostoru schodiště (vzhledem k probíhající stavbě). Největší vlhkost se nachází v severovýchodní stěně, která je nejméně osluněna a zdivo tak



nevysychá (Obr 30). Jižní roh je méně vlhký, stále ale více než povrchy jižního zrcadla (Obr 31).



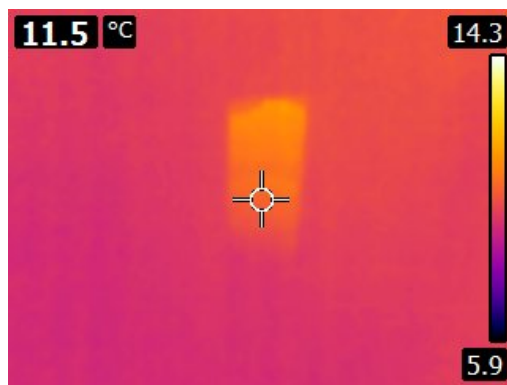
Obr. 30: Severní kontrolní zrcadlo, pohled na severovýchodní zeď (Jakub Řehák)



Obr. 31: Severní kontrolní zrcadlo, pohled na jižní roh (Jakub Řehák)

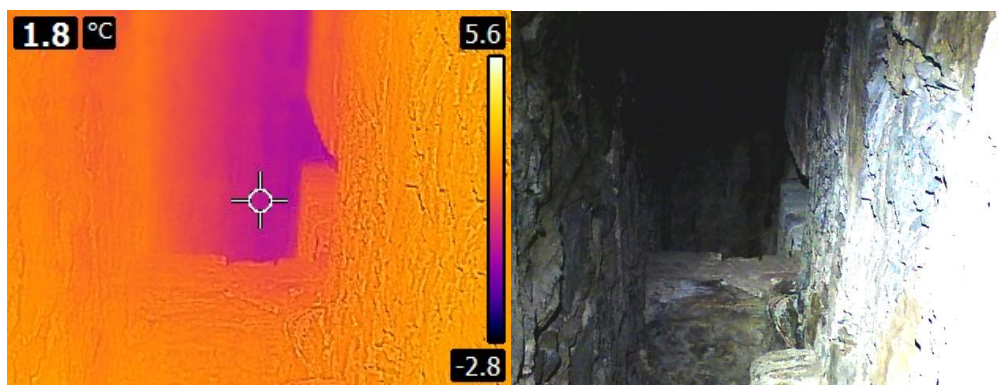
3.1.3. Odvětrávací systém

U severního zrcadla byly pořízeny snímky ze vzdušnickové chodby. V době průzkumu byla venkovní teplota vzduchu 24 °C a teplota uvnitř vzdušnickové chodby v nejbližší části od komínku ústícího do rajského dvora byla 11,5 °C, což odpovídá teplotě zdi u severního kontrolního zrcadla. Ve vzdušníku na stěně přilehlé k zemině rajského dvora byla naměřena teplota cca o 2 °C nižší než na protilehlé stěně konventu (Obr 32 – levá stěna). V případě infiltrace vlhkého vzduchu až do vzdušnickové chodby bude kondenzace vodní páry probíhat na chladnější stěně přilehlé k zemině rajského dvora a obvodové nosné zdivo zůstane relativně suché.

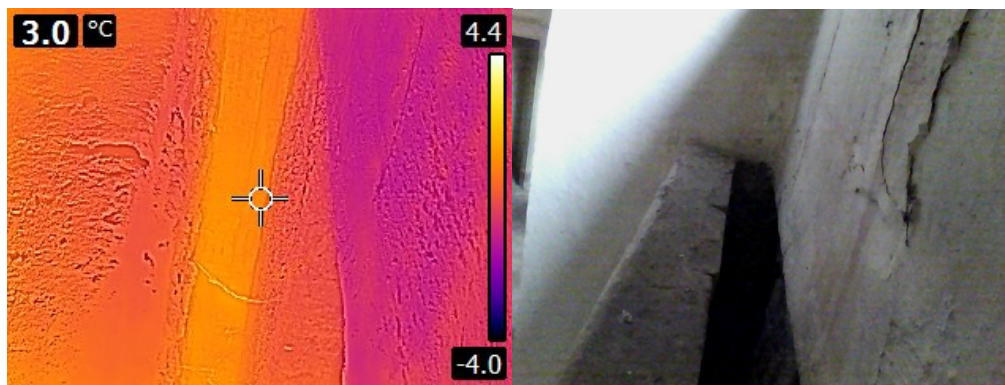


Obr. 32: Severní kontrolní zrcadlo, pohled vzdušňikovou chodbou (Jakub Řehák)

Dne 23.12.2021 bylo měření termokamerou opakováno v poledních hodinách s teplotou vnějšího vzduchu -3°C . Teplota stěny ve vzdušňikové chodbě se u podlahy pohybuje kolem 6°C a ve vrcholu, kde se nad klenbou nachází jen 5 cm. zeminy $1,8^{\circ}\text{C}$. Relativně zahřátý vzduch na 3°C ze vzdušňikové chodby proudí otvory v parapetech oken ambitové chodby v přízemí a ohřívá zdivo kolem okna, jehož teplota se pohybuje kolem 0°C .



Obr. 33: Pohled na vrchol vzdušňikové chodby (Jakub Řehák)



Obr. 34: Pohled parapetním otvorem napojeným na vzdušňikovou chodbu (Jakub Řehák)



3.2. Znečištění vody ve vodním systému a porovnání s výsledky z roku 1994

Jak je uvedeno v kapitole 2.1.1., byly ve dnech 12.11.2021 a 22.11.2021 z kritických míst vodního systému odebrány vzorky vody pro chemickou analýzu. Ve vzorcích odebraných 12.11.2021 se stanovila konduktivita, pH, acidita, alkalita, uhličitany, hlavní anionty (Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- , NO_3^-), hlavní kationty (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+) a následně se dopočetla tvrdost vody a celková mineralizace. U čtyřech vzorků se také prováděl test na výskyt *Escherichia coli* a koliformních bakterií. Analýza vzorků odebíraných 22.11.2021 byla rozšířena o stanovení fosforu, chemické spotřeby kyslíku manganistanovou metodou (CHSK_{Mn}) a celkového organického uhlíku (C_{org}), který společně s CHSK reprezentuje obsah organických látek ve vodě. Z naměřených hodnot se vypočetl Langelierův index určující agresivitu vody vůči vápenci. Byla porovnána změna hodnot v čase a výsledky rozboru jsou uvedeny v tabulce (Tab. 3).

Nejvíce proměnlivé složení vykazovaly vzorky odebírané z řeky Střely (Tab. 3 – vzorek 15), a to změnou celkové mineralizace až o 170 %. Tato změna je pochopitelná, jelikož složení vody v řece a zejména celkový obsah anorganických složek je nejvíce ovlivněn četností srážek. Ostatní vzorky vykazují v čase stabilitu ve svém chemickém složení.

Pro účel konzervace základové konstrukce je nutné dodat vodu, která nebude obsahovat nevhodné látky, a to zejména dusičnany, chloridy, organické látky, fosfor a současně nesmí být agresivní dle Langelierova indexu (záporné hodnoty). Mezní hodnoty pro pitnou vodu dle zákona o ochraně veřejného zdraví č. 258/2000 Sb. a vyhlášky č. 252/2004 Sb. jsou:

- Dusičnany <10 mg/l
- Chloridy <250 mg/l u přírodních zdrojů
- CHSK_{Mn} <3 mg/l
- Organický uhlík <5 mg/l
- Fosforečnany <3,5 mg/l, pro teplou vodu



a z hlediska agresivity vůči uhličitanu vápenatému (převážně zahrnuté v Langelierově indexu):

- pH > 6,5 (kyselé vody)
- $KNK_{4,5}$ (alkalita) > 2 mmol/l nebo celková mineralizace > 200mg/l (hladové vody)
- CO_2 agresivní < 10 mg/l
- Sírany < 250 mg/l
- Hořčík < 500 mg/l²⁵

Zdrojem dusičnanů v podzemních vodách mohou být splachy z přilehlých polí nebo zahrad, dále kontaminace srážkovou vodou, případně infiltrace odpadní vody a zejména mikrobiální rozklad dusíkatých organických látek (původu jak přírodního, tak antropogenního) v oxickém prostředí. Dusičnany zpravidla nepocházejí z horninového podloží.

Vyšší hodnota dusičnanů nad kvalitu pitné vody se potvrdila u pěti vzorků (5, 8, 10, 11) a u dvou vzorků (14, 15) jen v jednom měření. Jižní kontrolní zrcadlo (Tab. 3 – vzorek 5) a regulační studna (Tab. 3 – vzorek 8) jsou dle chemického složení vody propojeny a voda v obou těchto místech je v podstatě identická. Zdrojem dusičnanů pro jižní kontrolní zrcadlo i regulační studnu může být fekální znečištění a zanesení tohoto kalu do míst nedostupných pro čištění. Zvýšený výskyt dusičnanů u východní kontrolní studny (Tab. 3 – vzorek 10) by mohl být způsoben nedalekým umístěním netěsného septiku, který byl vyčištěn a vyřazen z provozu v roce 2005. Severní kontrolní studna a studna krytu CO (Tab. 3 – vzorek 11, 14) mohou mít zvýšený výskyt dusičnanů také v důsledku probíhajících stavebních prací na budově prelatury (rapidní nárůst koncentrace chloridů během několika dnů svědčí o čerstvém zdroji znečištění).

Chloridy se do podzemní vody mohou dostat z horninového podloží a splachy ze zasolených vozovek nebo únikem odpadních vod. Při odstranění zdrojů se chloridy vyplavují z vody velice rychle. Proto je nepravděpodobné, že by jejich zdrojem mohl být fekální kal v nepřístupných částech systému. Splachy chloridů z přilehlé silnice se odtékají vybudovanou štolou B, takže zdroj chloridů bude nejspíše z horninového podloží nebo ze stavební činnosti. Až na východní kontrolní studnu splňují všechny

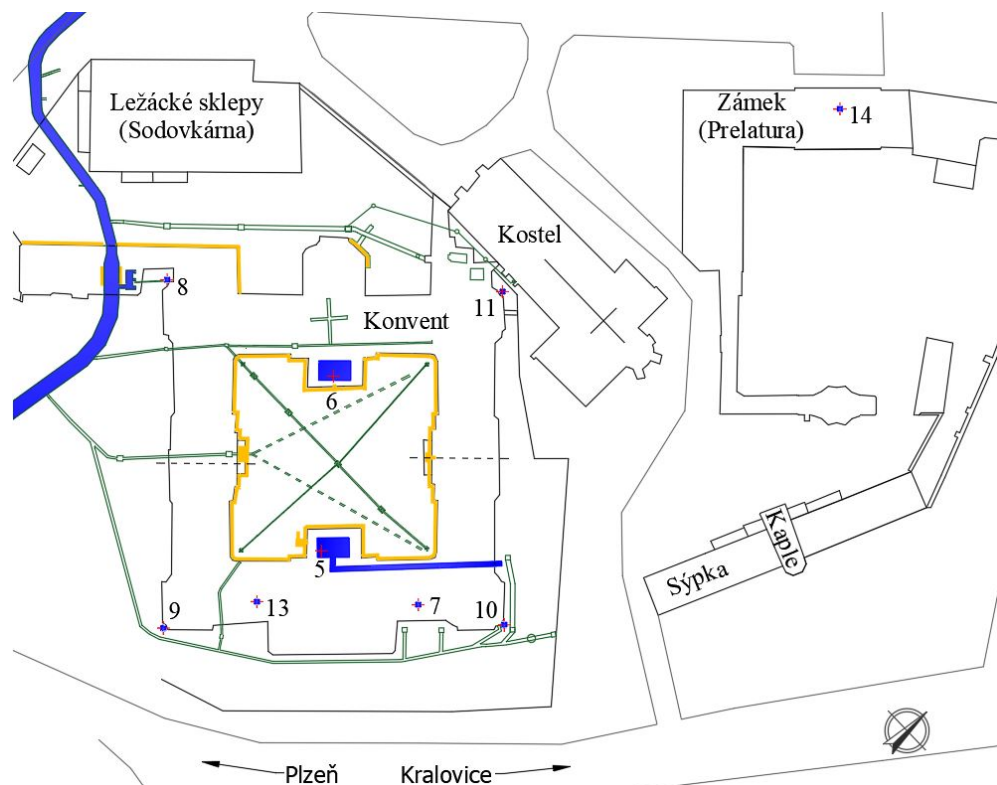
²⁵ PITTER, Pavel. Hydrochemie. 4. Praha: VŠCHT, 2009. ISBN 978-80-7080-701-9.



vzorky mezní hodnotu chloridů do 250 mg/l pro přírodní vodní zdroje. Mírné zvýšení obsahu chloridů se pak ukazuje u jižního kontrolního zrcadla, regulační studny a severní kontrolní studny.

Organické látky a určité druhy bakterií jsou ukazatelem znečištění vody fekáliemi. Na čtyřech vzorcích odebraných 12.11.2021 se provedla analýza výskytu koliformních bakterií a *Escherichia coli*. Ačkoli by se podle těchto výsledků dalo usuzovat, že systém je stále kontaminován splaškovými vodami, ukazatele $CHSK_{Mn}$ a organicky vázaný uhlík vykazují téměř u všech vzorků kvalitu na úrovni pitné vody. Z tohoto hlediska určitě došlo ke zlepšení kvality znečištěné vody v jižním vodním bazénu. Fosfor se ve vzorcích vyskytuje ve velmi nízkých koncentracích (desetiny až jednotky mg/l), které však mohou být dostačující pro růst mechu a řas.²⁶

Agresivní CO_2 se nad hodnotu 10 mg/l v obou odběrech potvrdil u regulační studny (Tab. 3 – vzorek 8) a v jednom z odběrů u čtyř vzorků (Tab. 3 – vzorek 5, 10, 14, 15), včetně studny krytu CO. Koncentraci agresivního CO_2 lze snížit přidáním vápence do vody nebo provzdušňováním vody fontánkami v severním a jižním kontrolním bazénu.



Obr. 35: Vyznačení míst odběru vzorků vody pro chemickou analýzu (Jakub Řehák)

²⁶ KUJALOVÁ, Hana. Voda [elektronická pošta]. Message to: jakub@rehak-speleo.cz. 8. prosince 2021 03:58 [cit. 2021-12-12].



vzorek

ukazatel	jednotka	5		6		7		8		9		10		11		13		14		15	
		Jižní zrcadlo 2021	Severní zrcadlo 2021	Studna pod schody 2021	Regulační studna 2021	Jižní kontrolní studna 2021	Východní kontrolní studna 2021	Severní kontrolní studna 2021	Separáčnická šachta 2021	Zdroj vody ve studni CO 2021	Reka šifeľa nad splavem 2021										
konduktivita	mS/m	102,00	116,70	52,90	52,30	20,80	39,60	112,00	113,90	47,10	48,70	148,00	149,00	69,50	95,50	37,60	77,10	79,30	104,00	101,00	37,20
pH		7,13	7,01	7,53	7,42	7,64	7,38	6,93	6,87	7,56	7,36	6,94	6,90	7,25	7,23	7,99	7,85	7,91	7,09	7,01	7,96
Escherichia coli	KTJ/100ml	20,00	X	203,00	X	X	X	6,00	X	X	X	X	X	X	X	X	X	169,00	X	X	X
koliiformní bakterie	KTJ/100ml	>3000	X	>3000	X	X	X	216,00	X	X	X	X	X	X	X	X	X	>3000	X	X	X
ZNK _{3,3} (acidita)	mmol/l	0,55	1,05	0,27	0,19	<0,15	0,24	0,85	1,07	0,27	0,45	0,92	1,30	0,32	0,43	<0,15	0,17	0,19	0,68	0,57	0,05
KNK _{4,5} (alkalita)	mmol/l	3,68	3,90	3,80	4,08	1,55	2,63	4,01	4,15	3,76	4,62	4,53	4,96	2,64	3,72	2,13	6,46	6,44	3,42	2,96	2,20
CO ₂ agresivní	mg/l	6,88	25,38	0,00	-6,22	2,54	6,50	12,00	22,81	0,00	-1,58	8,52	22,39	6,92	2,09	0,00	-48,18	0,00	14,69	13,00	-0,35
CO ₂ agresivní dle TNV	mg/l	X	23,47	X	1,13	X	8,34	X	32,02	X	6,02	X	31,76	X	10,79	X	-14,84	X	13,52	X	0,93
CO ₂ volný	mg/l	24,00	46,41	11,90	8,14	3,78	10,63	37,50	47,04	11,80	19,86	40,70	56,99	13,90	19,00	1,85	7,55	8,49	29,93	25,00	2,13
Langellerův index nasycení		X	-0,63	X	-0,23	X	-0,61	X	-0,64	X	-0,30	X	-0,60	X	-0,49	X	0,25	X	-0,53	X	-0,29
Cl ⁻	mg/l	138,00	176,11	47,90	59,76	9,46	34,14	158,00	167,74	17,20	20,50	250,00	249,66	96,80	137,35	25,30	64,67	65,90	160,95	141,00	27,21
SO ₄ ²⁻	mg/l	65,10	86,90	9,26	90,00	5,30	8,05	81,80	88,50	7,10	7,19	82,70	92,70	45,30	68,20	38,00	3,73	<5,0	77,90	72,40	40,00
HCO ₃ ⁻	mg/l	224,00	237,88	232,00	248,63	94,80	160,18	245,00	253,42	229,00	282,10	276,00	302,43	161,00	227,12	130,00	393,87	393,00	208,59	180,00	134,48
NO ₃ ⁻	mg/l	53,60	61,05	<2,0	<2,0	5,66	12,04	59,30	57,04	<2,0	2,09	54,60	65,24	30,90	54,25	4,63	7,50	2,17	190,13	62,00	2,35
Ca ⁺⁺	mg/l	86,80	107,49	56,00	67,17	28,90	46,48	96,30	109,11	70,00	77,88	91,90	109,39	63,70	94,79	35,80	103,88	96,00	101,32	85,60	39,75
Mg ⁺⁺	mg/l	22,30	23,07	14,10	12,06	23,70	4,03	27,00	23,66	5,66	3,17	21,60	20,45	16,80	21,33	13,00	13,97	18,10	22,26	24,30	10,85
Na ⁺	mg/l	67,30	75,80	15,10	15,30	5,80	14,80	73,90	68,50	13,40	12,20	145,00	143,00	42,50	57,80	15,20	25,10	27,40	62,90	65,90	14,20
K ⁺	mg/l	14,10	19,90	12,50	16,50	3,97	8,21	14,60	19,80	11,40	14,80	29,20	35,70	5,48	12,80	5,49	28,00	23,90	9,92	8,04	1,27
P _{celk}	mg/l	X	0,66	X	1,21	X	1,93	X	0,57	X	2,83	X	0,50	X	0,55	X	2,18	X	0,09	X	0,07
CHSK _{Min}	mg/l	1,51	X	3,91	X	2,23	X	1,31	X	3,62	X	1,51	X	1,44	X	1,46	X	2,28	X	1,16	X
C _{org}	mg/l	1,48	X	1,98	X	1,82	X	1,61	X	3,32	X	1,83	X	1,46	X	1,44	X	2,74	X	1,42	X
tvrdost	mmol/l	3,08	3,64	1,98	2,18	1,70	1,33	3,51	3,70	1,98	2,08	3,18	3,58	2,28	3,25	1,43	3,17	3,14	3,45	3,14	1,44
celková mineralizace	mg/l	671,20	788,20	386,86	509,00	177,59	287,97	755,90	787,76	353,76	419,94	951,00	1018,56	462,48	673,65	267,42	640,71	626,47	833,99	639,24	270,18

Tab. 3: Výsledky rozborů vody, 2021 (Jakub Řehák, Hana Kujalová)



3.2.1. Porovnání současného stavu se stavem v roce 1994

V roce 1994, kdy probíhaly práce na čištění jižního kontrolního zrcadla a Modré štoly, byla provedena analýza vzorků vody v systému. Výsledky byly prezentovány v koláčových grafech, kde průměr kruhu grafu znázorňoval měrnou vodivost neboli konduktivitu, která odráží celkový obsah iontově rozpuštěných látek, horní polovina kruhu zobrazovala anionty v milivalech/litr, dolní polovina zobrazovala kationty v milivalech/litr.²⁷

Měření z let 2021 a 1994 bylo analyzováno a vzájemně porovnáno, výsledky jsou uvedeny v tabulce (Tab. 4). Jelikož se jednotka milival/l již nepoužívá, byla nahrazena jednotkou mmol/l a výsledky z roku 1994 byly přepočteny. Výsledné grafy prezentují výsledky z míst odběrů a přehledně ukazují změny v období 1994 - 2021 (Obr 36).

Z porovnání výsledků základního rozboru vody (zahrnujícího anorganické makrosložky) z let 2021 a 1994 vyplývá, že hydrochemický typ vody je stále stejný, jelikož matrice vzorků se nemění, tzn. proporce koláčových grafů se významně neliší. V některých odběrových místech (např. východní kontrolní studna, regulační šachta) lze pozorovat zvýšení celkové mineralizace, což může být způsobeno např. infiltrací rovněž silněji mineralizované vody z řeky Střely. Ukazatele organického znečištění vody (chemická spotřeba kyslíku, celkový organický uhlík) nebyly v roce 1994 stanoveny a nelze je tedy porovnat. Proto lze brát tento rozbor vody ve vodním systému v klášteře Plasy provedený v roce 2021 jako „odrazový můstek“ pro následující monitoring a porovnání organického znečištění systému.

Z pohledu konduktivity a celkové mineralizace došlo ke zvýšení skoro ve všech částech systému, ve většině odběrových míst však nepříliš dramatickému. Ze samotné hodnoty konduktivity nebo mineralizace však nelze usuzovat na znečištění vody. Všechny anorganické součásti zvyšují konduktivitu i mineralizaci vody, avšak jen některé z nich lze považovat za znečištění, resp. za látky závadné ve vodním systému základové konstrukce. Z tohoto hlediska se jeví nežádoucí zvýšené koncentrace chloridů, dusičnanů a síranů. Naopak žádoucí je přítomnost hydrogenuhličitanů, z kationtů vápník a hořčík, vše v přiměřeném koncentračním rozmezí.

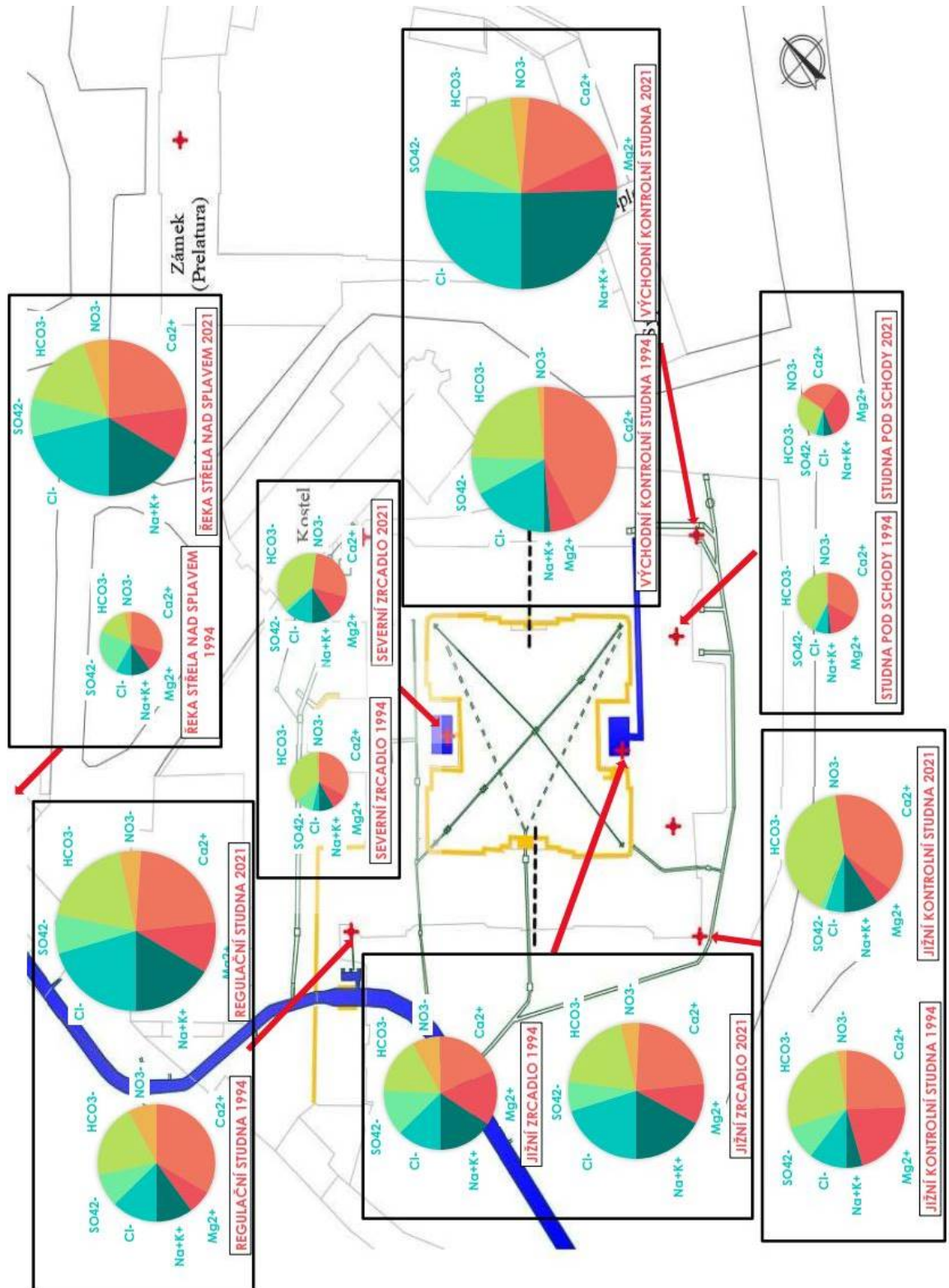
²⁷ ŘEHÁK, Josef. *Kláster Plasy: Odvodňovací a zavodňovací systém, Speleologický průzkum druhá část*. Horská Kamenice 74 Železný Brod: SPELEO - Řehák, 1994.



Ukazatel	jednotka	vzorek													
		Jižní zrcadlo		Severní zrcadlo		Studna pod schody		Regulační studna		Jižní kontrolní studna		Východní kontrolní studna		Řeka Šifela nad splavem	
		2021	1994	2021	1994	2021	1994	2021	1994	2021	1994	2021	1994	2021	1994
konduktivita	mS/m	102	> 65	52,9	> 40,98	20,8	< 39,8	112	> 79,73	47,1	< 48	148	> 107,71	101	> 40,44
pH	-	7,13	> 6,7	7,53	> 7,35	7,64	> 7,4	6,93	> 6,9	7,56	> 7	6,94	> 6,7	7,01	< 7,65
<i>Escherichia coli</i>	KTJ/100ml	20	X	203	X	X	X	6	X	X	X	X	X	X	X
koliformní bakterie	KTJ/100ml	>3000	X	>3000	X	X	X	216	X	X	X	X	X	X	X
ZNK8,3 (acidifita)	mmol/l	0,55	X	0,27	X	0,00	X	0,85	X	0,27	X	0,92	X	0,57	X
KNK4,5 (alkalifita)	mmol/l	3,68	X	3,80	X	1,55	X	4,01	X	3,76	X	4,53	X	2,96	X
CO2 agresivní	mmol/l	0,16	X	0	X	0,06	X	0,273	X	0	X	0,19	X	0,30	X
CO2 volný	mmol/l	0,55	X	0,27	X	0,09	X	0,85	X	0,27	X	0,93	X	0,57	X
Cl ⁻	mmol/l	3,89	> 1,92	1,35	> 0,30	0,27	< 0,60	4,45	> 1,78	0,48	< 1,31	7,04	> 2,51	3,97	> 0,52
SO ₄ ²⁻	mmol/l	1,36	< 1,96	0,19	< 0,75	0,11	< 0,20	1,70	> 1,27	0,15	< 1,17	1,72	> 1,22	1,51	< 1,52
HCO ₃ ⁻	mmol/l	3,67	> 2,45	3,80	> 2,88	1,55	< 3,35	4,02	> 2,87	3,75	> 3,45	4,52	> 3,35	2,95	> 0,98
NO ₃ ⁻	mmol/l	0,86	< 1,23	0,00	< 0,09	0,09	< 0,11	0,96	< 1,11	0,00	< 0,32	0,88	> 0,23	1,00	> 0,25
Ca ²⁺	mmol/l	4,34	> 2,80	2,80	> 2,65	1,45	< 2,81	4,82	> 4,70	3,50	> 3,05	4,60	< 6,20	4,28	> 1,90
Mg ²⁺	mmol/l	1,86	< 2,40	1,18	> 0,71	1,98	> 1,31	2,25	> 0,92	0,47	< 2,65	1,80	> 0,90	2,03	> 0,72
Na ⁺ K ⁺	mmol/l	3,29	> 2,36	0,98	> 0,66	0,35	> 0,14	3,59	> 1,41	0,87	> 0,55	7,05	> 0,21	3,07	> 0,65
tvrdost	mmol/l	6,20	> 5,20	3,98	> 3,36	3,42	< 4,12	7,07	> 5,62	3,97	< 5,70	6,40	< 7,10	6,31	> 2,62
celková mineralizace	mmol/l	19,27	> 15,12	10,30	> 8,04	5,80	< 8,52	21,78	> 14,06	9,23	< 12,50	27,62	> 14,62	18,81	> 6,54
změna mineralizace	%	22		22		-47		35		-35		47		65	
změna Cl ⁻	%	102		350		-56		150		-63		181		664	
změna NO ₃ ⁻	%	-30		-100		-17		-14		-100		283		300	

Tab. 4: Komparace výsledků rozborů vody z 12.11. 2021 a z roku 1994

(Jakub Řehák, Hana Kujalová, archiv Řehák - SPELEO)



Obr. 36: Porovnání chemického složení vody z roku 1994 a 2021 v mmol/l (Jakub Řehák)



Na základě výsledků rozborů z 1994 a 2021 lze tedy konstatovat, že chloridy se významně zlepšily v jižní kontrolní studni, nejspíše odklonem znečištěné vody odvodňovací štolou B. Zbytek systému se na chloridy obsažené ve vodě až řádově zhoršil.

Naopak v jižní kontrolní studni a v severním zrcadle došlo k úbytku dusičnanů z 20 mg/l (1994) až k nule, což lze pravděpodobně přičítat činnosti denitrifikačních bakterií. V severním kontrolním zrcadle, kde lze kromě případné činnosti denitrifikačních bakterií v hlubších (anaerobních) zónách očekávat utilizaci dusičnanového dusíku řasami. Zbytek vodního systému naznačuje snížení koncentrace dusičnanů po odstranění fekálního kalu z jižního kontrolního zrcadla a Modré štolky.²⁸

3.3. Monitoring vnitřního mikroklimatu během obnovy Santiniho přetlakového vodního systému

Rozstříkující voda ve vnitřním prostoru konventu ovlivňuje jeho vnitřní mikroklima, význam jejího vlivu se objasní měřením relativní vlhkosti a teploty vzduchu. V budově konventu bylo celkově rozmístěno 18 čidel (Příloha č. 9, 10, 11) umístěných u obou kontrolních zrcadel a u Santiniho oválného schodiště. v nemocničním křídle konventu. Pro zaznamenávání relativní vlhkosti a teploty vzduchu byla použita tato čidla: čtyři čidla Minikin TH (čidla s označením MB1, M30, M31, M32), čtyři čidla Testo 174 H (čidla s označením T1, T2, T3, T4) a 10 čidel Hadex T113A – DS102 (čidla s označením 1 až 10).



Obr. 37: Čidlo Minikin TH (Jakub Řehák)

Obr. 38: Čidlo Testo 174 H (Jakub Řehák)

Obr. 39: Čidlo Hadex T113A – DS102 (Jakub Řehák)

²⁸ KUJALOVÁ, Hana. Voda [elektronická pošta]. Message to: jakub@rehak-speleo.cz. 8. prosince 2021 03:58 [cit. 2021-12-12].



Do prostoru severního a jižního kontrolního zrcadla bylo umístěno:

- 22.12.2020 prvních jedenáct čidel
- 5.3.2021 šest čidel do 2. patra

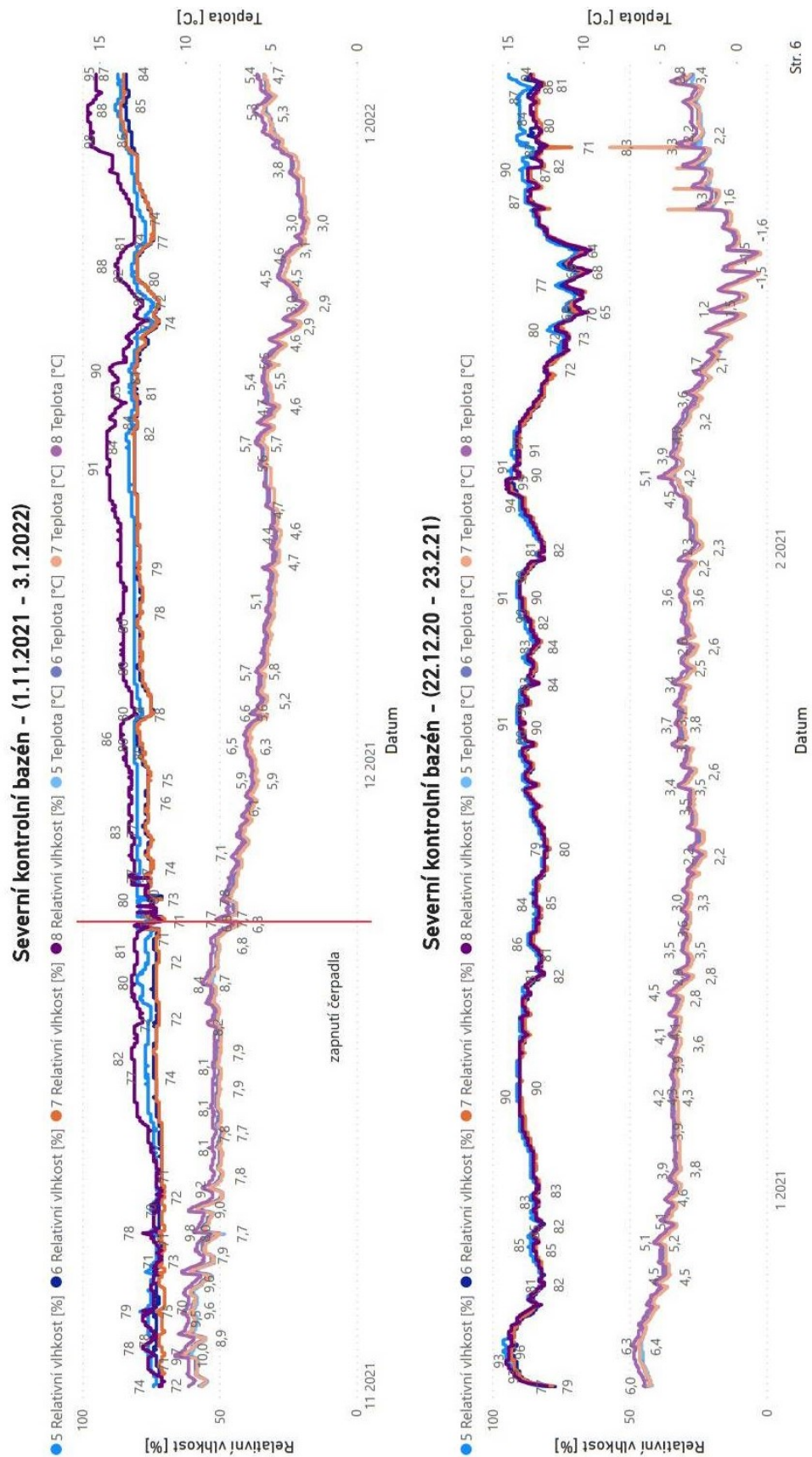
a k oválnému schodišti v nemocničním křídle konventu:

- 5.3.2021 do 1. a 2. patra
- 26.3.2021 do přízemí čidlo.

Čidla pro zaznamenávání hodnot relativní vlhkosti a teploty vzduchu byla nastavena na hodinový interval. Výsledné grafy (Příloha č. 12) dat ze severního kontrolního zrcadla po obnoveném přívodu vody byly porovnány s grafy z jižního kontrolního zrcadla, kde vodovod obnoven nebyl, a s grafy ze severního zrcadla z ledna roku 2021, tj. před obnovou systému.

Z průběhu grafů je patrné, že obnovený přetlakový systém v severním kontrolním bazénu neovlivňuje mikroklima u jižního kontrolního bazénu. Při porovnání severního a jižního kontrolního bazénu dochází k větším odchylkám relativní vlhkosti u severního zrcadla, přičemž teplota vzduchu je v obou bazénech téměř stejná. Porovnáme-li mikroklima ze severního kontrolního bazénu z období měření 22.12.2020 – 23.2.2021 s 1.11.2021 – 3.1.2022 (Obr 40), je patrná nižší relativní vlhkost z čidel u 5, 6 a 7 po obnovení přetlakového systému.

Naměřené hodnoty ukazují, že obnovou přetlakového vodního systému se vnitřní mikroklima nezhoršuje, a naopak dochází k nepatrnému zlepšení. Vzhledem ke krátkému intervalu měření po obnově přetlakového systému lze porovnat pouze reakci vnitřního mikroklimatu v zimním období. Vzduch v konventu bude pravděpodobně v jiných ročních obdobích reagovat odlišně, proto je třeba v monitoringu parametrů vnitřního mikroklimatu pokračovat a ověřit princip vysoušení vzduchu pomocí rozstříkující vody i v ostatních ročních obdobích.



Obr. 40: Porovnání parametrů vnitřního v mikroklimatu severním kontrolním bazénu v období 22.12.2020 – 23.2.2021 a 1.11.2021 – 3.1.2022 (Jakub Řehák)



3.4. Ověření vzájemného propojení vodních bazénů základové konstrukce

V diplomové práci byla dosud zmiňována pouze hypotéza – diskutovaná v odborných kruzích – rozdělení vodních bazénů na severní a jižní část, které se navzájem ovlivňují až po dosažení určité výšky hladiny vody v systému. Další hypotéza však naznačuje, že se jedná pouze o jeden velký vodní bazén pod celým konventem, který je v nepřístupných místech zanesený a ucpaný kalem znečišťujícím vodní bazén pravděpodobně 30 let, tj. od doby zaústění kanalizace do systému. Hypotéza rozdělení vodních bazénů vznikla na základě čerpacích zkoušek v roce 1994, kdy se voda v jižním kontrolním zrcadle po několik dní čerpala na úroveň pod vrchní hranu základového roštu, zatímco voda v severním kontrolním zrcadle stále neklesala. Tento způsob měření ale nevylučuje variantu ucpaných spojovacích částí mezi bazény.

Prvním pokusem ověření propojení jednotlivých částí vodního systému kláštera Plasy bylo porovnání výsledků chemického složení vody z odebraných vzorků prezentovaných v kapitole 3.2. Jediný jednoznačný výsledek zjištěný na základě tohoto měření je propojení jižního kontrolního zrcadla s regulační šachtou. Výsledky analýzy vykazaly identickou vodu v obou těchto místech vodního systému.

Následně byla tedy zvolena metoda stopování látky, která se ve vodě vodního systému konventu nevyskytuje a vpraví se do systému ve vhodně zvoleném místě. Stopovací látka (neboli stopovač), musí splňovat následující parametry:

- musí být konzervativní, pohybovat se stejným způsobem jako voda, nesorbovat se během stopovací zkoušky na kolektor a nesmí reagovat
- musí být jednoznačně odlišitelná od ostatních složek vody
- nesmí reagovat na chemické změny v roztoku ani změny pH
- musí být snadno měřitelná
- nesmí být toxická pro studované prostředí.

Z uvedených požadavků vyplývá, že najít ideální stopovač dnes v praxi nejde.²⁹ Pro Plaský klášter je zejména důležité, aby látka nereagovala se svým okolím (dřevěná základová konstrukce, pískovcové bloky, historické kovové úchytky fontánky

²⁹ FLURY, Markus, WAI, Nu Nu., *Dyes as Tracers for Vadose Zone Hydrology*. Reviews of Geophysics. 2003.



v severním kontrolním zrcadle) a nezanechávala po sobě barevnou stopu na stavebních materiálech.



*Obr. 41: Aplikace fluorescenčního barviva – zelená fosforeskující barva po zředění
(Jakub Řehák)*

Nakonec bylo zvoleno xanténové fluorescenční barvivo zvané uranin, tedy barvivo, které se nesorbuje, není toxické ani agresivní vůči vystaveným materiálům a je jednou z nejintenzivněji fluoreskujících látek.³⁰ Po zvolení stopovače se 30.11.2021 ve 14:15 za supervize Ing. Kujalové Ph.D. započala stopovací zkouška aplikací jednoho litru roztoku s 10 gramy barviva do severního kontrolního zrcadla. Od 16:00 tentýž den se začaly odebírat vzorky ze tří míst, klíčových pro objasnění vzájemného propojení těchto částí vodního systému:

- z jižního kontrolního zrcadla
- z regulační studny
- ze separační šachty
- navíc v podstatně menší četnosti ze severního kontrolního zrcadla a ze severní kontrolní studny.

Na místě byly vzorky alkalizovány pomocí roztoku hydroxidu sodného a chelatonu na pH 8,5 – 9 pro zlepšení detekovatelnosti jednopaprskovým spektrálním fotometrem (zapůjčeným VŠCHT), který měřil absorbancí vzorků. Přístroj se nastavil na vlnovou délku 491 nm, která odpovídá absorpčnímu maximu uraninu. Bohužel se ukázalo, že měřením absorbance vzorků nelze prokázat jednoznačné propojení jednotlivých částí vodního systému kvůli nedostatečné citlivosti přístroje na detekci stopovače. Archivované vzorky se proto musely ještě jednou analyzovat přímo v Ústavu

³⁰ KASS, Werner. *Tracing Technique in Geohydrology*. 1. Rotterdam: A.A. Balkema Publishers, 1998. ISBN 9789054104445.



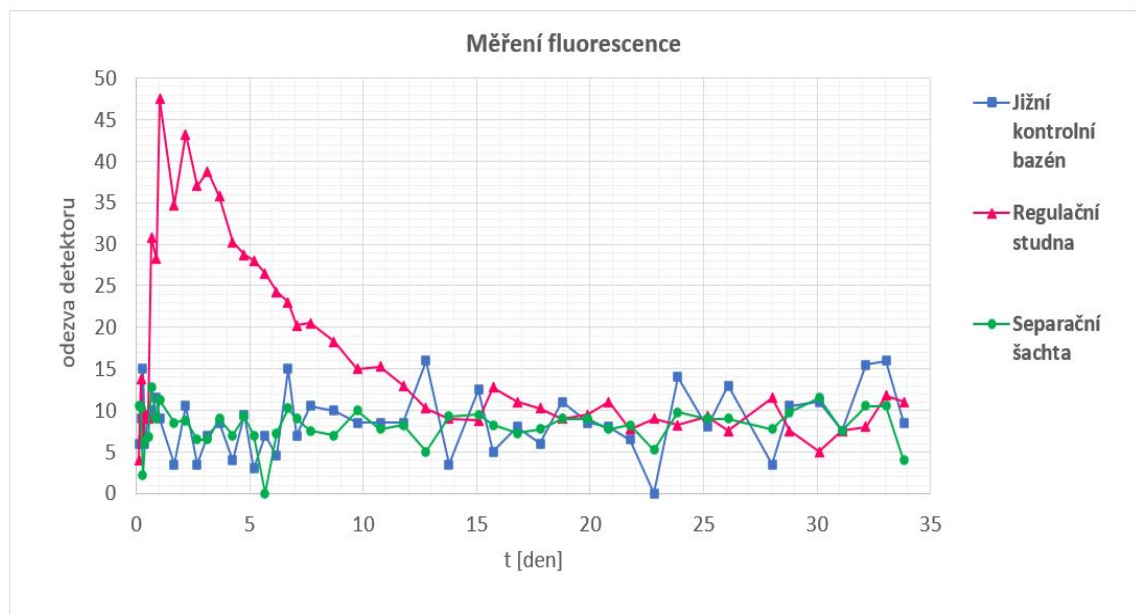
technologie vody a prostředí VŠCHT v Praze citlivějším přístrojem měřícím fluorescencí. Měření fluorescence dosahuje řádově větší citlivosti na fluorescenční stopovač a již vykazalo propojenost vodního systému.



Obr. 42: Jednopaprskový spektrální fotometr (Jakub Řehák)

Obr. 43: Koncentrovaný roztok uraninu s typickým červeným zabarvením (Jakub Řehák)

Pro měření fluorescence se vzorky nejdříve alkalizovaly roztokem hydroxidu sodného a chelatonu, stejně jako u měření absorbance. Filtr fluorimetru se pro excitaci nastavil na 485 ± 20 nm a pro fluorescenci na 528 ± 20 nm. U každého vzorku proběhla čtyři měření fluorescence, ze kterých byl vypočten aritmetický průměr, který je pro všechny vzorky vynesena v grafu (Obr 44). Pro detekci stopovače přístroj nebyl kalibrován, a proto naměřené výsledky nelze použít pro vyjádření koncentrace uraninu ve vodě.



Obr. 44: Výsledný graf měření fluorescence – (Hana Kujalová, Jakub Řehák)



Stopovací zkouška jednoznačně prokázala propojení severního kontrolního zrcadla s regulační šachtou, kde se uranin vyskytl již druhý den po aplikaci. Tento výsledek se předpokládal vzhledem k tomu, že regulační studna je jedinou nalezenou odtokovou částí vodního systému regulující jeho hladinu vody. Zajímavý je ale čas výskytu uraninu v regulační studni – až po 18 hodinách od aplikace (největší koncentrace bylo dosaženo po 27 hodinách). Výsledek zkoušky ukazuje možné omezení volného průtoku mezi severním kontrolním bazénem a regulační šachtou. Po obnově přetlakového vodního systému i v jižním kontrolním bazénu bude vhodné stopovací zkoušku zopakovat a porovnat časy výskytu stopovací látky v regulační studni ve vodě přitékající z obou kontrolních bazénů.

Vzájemné propojení se naopak neprokázalo v ostatních částech systému (separační šachta, jižní kontrolní bazén, severní kontrolní studna), kde se propojení očekávalo zejména u severního kontrolního bazénu a severní kontrolní studny. Zde pravděpodobně došlo k odtoku stopovací látky do regulační šachty, zatímco na vtlačení stopovače až do severní kontrolní studny již nebyl dostatečný tlak. Severní kontrolní studna se nachází v přímé blízkosti filtrační a napouštěcí místnosti, kde se do systému infiltruje voda z dešťových svodů. Tento výsledek tak potvrzuje pravděpodobný směr proudění vody v systému ze severovýchodu na jihozápad.

Dalšími důvody nepřítomnosti uraninu ve zbylých odběrových stanovištích může být nedostatečný přítok vody se stopovačem a případně jeho naředění pod mez detekce. Rovněž se nedá vyloučit mikrobiologický rozklad (nebo reakce s organickými polutanty např. fenoly)³¹ barviva v systému nebo výskyt materiálu, který na sebe uranin naváže.³²

Aktuálně lze předpokládat, že přímé propojení severního a jižního bazénu je nepravděpodobné, a tedy i teorie jednoho základového bazénu. Tyto dvě části vodního systému jsou nejspíše propojeny jen regulační šachtou. Měření také potvrzuje předpoklad proudění vody směrem od severovýchodu na jihozápad v severním základovém bazénu.

³¹ KASS, Werner. *Tracing Technique in Geohydrology*. 1. Rotterdam: A.A. Balkema Publishers, 1998. ISBN 9789054104445.

³² KUJALOVÁ, Hana. Výsledky stopovací zkoušky [elektronická pošta]. Message to: jakub@rehak-speleo.cz. 6. ledna 2021 00:32 [cit. 2022-01-06].



4. OPTIMALIZACE MĚŘENÍ

Ačkoli měření započalo již v prosinci 2020, dosud se nepodařilo zachytit dostatečně dlouhý časový úsek monitoringu hodnot parametrů vnitřního mikroklimatu konventu s již obnoveným přetlakovým vodním systémem. Z celoročního měření pro vyhodnocení vlivu opravy na stav mikroklimatu je naměřena pouze část zimního období, kterou je třeba prodloužit. Princip vysušování vzduchu pomocí rozstříkávání studené vody zcela jistě bude vykazovat rozdílné výsledky v průběhu roku a zlepšení chemického složení vody se také projeví až v delším časovém horizontu.

Vzhledem k velice omezenému rozpočtu se také počet čidel měřících vnitřní mikroklima musel omezit a některá zajímavá místa vynechat. Zejména podrobnější monitoring vzdušnickové chodby kolem rajskeho dvora by pomohl lépe pochopit odvětrávací systém budovy s retencí tepla v zemině rajskeho dvora a fungování otvorů v parapetech oken v přízemí ambitové chodby. Osazení zařízení, které se v rámci grantu (Evropské strukturální a investiční fondy, operační program – pól růstu ČR č. 24, dílčí koncept 07: Měřící soustava na popis vlastností a funkce štol historických objektů) nainstalovalo do podzemního systému klášteře Bosých karmelitek na Hradčanském náměstí s možností určování směru proudění vzduchu, by rovněž zlepšilo další poznání odvětrávacího systému.

V neposlední řadě by celý experiment podpořilo úplné obnovení Santiniho přetlakového vodního systému se zavedením čerstvé studené vody i do jižního kontrolního zrcadla. Po plném obnovení vodního systému a roce měření parametrů vnitřního mikroklimatu se získá ideální soubor dat pro vyhodnocení vlivu opravy na budovu konventu.

5. ZÁVĚR

Cisterciácký klášter v Plasích je unikátní stavba založená i na dnešní poměry v obtížných geologických podmínkách údolní nivy řeky Střely. Neobvyklé založení objektu na dubovém roštu podpíraném dubovými pilotami s sebou přineslo mnoho problémů, se kterými se architekt Santini s cisterciáckým lokátorem úspěšně vypořádali a dali podobu této technické památce bezpochyby na vrcholu stavitelských možností dané doby. Díky důmyslnému vodnímu i odvětrávacímu systému vytvořili objekt, který se i přes všechny překážky dochoval až do dnešní doby.



Nejdůležitější částí stavby jsou základy a stavitelé si toho byli vědomi. Pro zakonzervování dubové základové konstrukce se nespokojili s jakoukoli vodou a do kláštera dopravovali kvalitní vodu i ze značných vzdáleností. Do podzákladí budovy vyvěraly prameny, nacházející se přímo pod budovou a vodovody se přiváděla voda z celkem tří pramenných zdrojů. Tuto pečlivě vybranou vodu navedli do jílových vodních bazénů, které zabraňovaly průsaku nevhodné okolní vody do vodního systému. Přiváděnou čerstvou studenou vodu dokonce v prostorách kontrolních zrcadel tříramenných schodišť rozstříkovali fontánkou, a tak aktivně vysoušeli vzduch. Aby hladina vody ve vodních bazénech nekolísala při vydatných deštích, vybudovali štoly pro odvodnění dešťových vod.

Atypickým prvkem Plaského kláštera je také navýšení úrovně terénu rajského dvora uprostřed konventu zhruba o 3 metry nad úroveň podlahy přízemního podlaží. Zemina rajského dvora v kombinaci s promyšleným odvětrávacím systémem konventu tvořila pokrokovou metodu akumulace tepla z letních měsíců využívaného v zimních měsících. Vzdušník v zimě otvory v parapetech oken ambitové chodby v přízemí ohřívá okna a zabraňuje tak jejich rosení. V letních měsících se teplý vlhký vzduch při infiltraci do odvětrávacího systému dostane do místnosti určené ke kondenzaci přebytečné vlhkosti, která se následně vsákne do vodních bazénů základové konstrukce.

Složitá a provázaná povaha systému budovy konventu Plaského kláštera jej ale činila do určité míry zranitelným. V průběhu let došlo k vyvlastnění kláštera cisterciáckému řádu a informace o správné údržbě kláštera zanikly. Nastalo temné období Plaského kláštera, doprovázené mnoha nevhodnými úpravami a opravami až do devadesátých let dvacátého století. Postupem času zanikly všechny tři vodovody, dodávající čistou pramenitou vodu do základové konstrukce, úmyslně se utěsnila regulační studna s následným zvýšením vodní hladiny nad břídlíčnou hydroizolaci a vzlínáním vlhkosti. Splaškové vody byly zaústěny do jižního vodního bazénu, který se začal plnit fekálním kalem. U objektu je zhotoven netěsný septik dotující základové bazény další kontaminovanou vodou. Průlezný vzdušník kolem rajské zahrady byl zasypan ve skoro celém profilu popelem. V této době budova nejen že nebyla udržována, ale naopak nevhodnými zásahy její degradace akcelerovala.

Konvent přežil do dnešní doby pouze na základě důvtipu stavitelů, kteří mysleli i na variantu úplného odstranění přívodů vody do základové konstrukce (i přes varovné nápisy na kamenných deskách). Zhruba jednu pětinu své existence stavba setrvává



v tzv. „**nouzovém režimu**“, kdy dochází ke stahování **nevhodné** vody z okolí kláštera do vodních bazénů. Cílem diplomové práce bylo dokončit dlouholeté snahy tento sedmdesát let trvající nouzový režim ukončit a alespoň částečně rehabilitovat Santiniho původní myšlenku vodního přetlakového systému vytlačujícího nevhodnou vodu mimo základové bazény.

Před obnovením přetlakového vodního systému bylo nutné potvrdit vhodnost dostupného vodního zdroje ze studny krytu civilní obrany pod budovou prelatury. Za odborného dohledu Ing. Kujalové Ph.D. (Ústav technologie vody a prostředí, VŠCHT Praha) byly provedeny odběry vzorků ze všech důležitých míst vodního systému včetně dostupného vodního zdroje studny v krytu CO. Chemickou analýzou vody byla potvrzena kvalita vody vhodná pro konzervaci základové konstrukce a 22.11.2021 bylo zapnuto čerpadlo a tím začala obnova Santiniho přetlakového vodního systému, i když zatím pouze v provizorní dočasné verzi.

Ačkoli hypotéza, že vodní systém původně takto fungoval, je všeobecně přijímaná, je nutné tuto myšlenku měřeními parametrů vnitřního mikroklimatu ověřit. Od ledna roku 2021 bylo v budově konventu na kritických místech umístěno celkem 18 čidel zaznamenávajících teplotu a relativní vlhkost vzduchu v hodinových intervalech. Po spuštění přetlakového vodního systému byly 5 týdnů měřené výsledky monitoringu porovnány s výsledky měření v období, kdy přetlakový vodní systém ještě nebyl obnoven. Bohužel se vzhledem k pandemické situaci nepodařilo přetlakový vodní systém obnovit dříve, a tak získat časově delší úsek měření. Aktuálně můžeme pouze konstatovat velmi malé změny mikroklimatu na základě rozstříkující vody v kontrolním bazénu konventu, které nemají žádný dopad na vnitřní mikroklima v zimním období.

Pro objasnění vzájemné propojenosti jednotlivých částí vodního systému se za supervize Ing. Kujalové Ph.D. provedla stopovací zkouška. Jako stopovací látka bylo zvoleno fluorescenční barvivo uranin. Koncentrovaný roztok byl aplikován v severním kontrolním zrcadle a následně byly v určitých časových intervalech odebrány vzorky vody z jižního kontrolního zrcadla, regulační studny a separační šachty. Nejprve byl postup stopovače monitorován pomocí jednopaprskového spektrofotometru měřícího absorbanci, který se však ukázal jako nedostatečně citlivý. Proto byly archivované vzorky znovu změřeny pomocí fluorimetru na VŠCHT v Praze. Toto měření potvrdilo rozdělení vodních základových bazénů na severní a jižní s propojeností severního kontrolního bazénu pouze s regulační studnou.



Vzhledem k zaměření diplomové práce na vlhkostní problematiku byl proveden nedestruktivní průzkum vlhkosti zdiva termokamerou. V části nemocničního křídla byla provedena sanace vzlínající vlhkosti beztlakou injektážní látkou Tosil Hydrofob, která prokázala velmi negativní vliv na historické zdivo (zejména vysokou akumulaci vlhkosti ve zdivu pod clonou a současně degradovala zdivo objektu). Vztlínající vlhkost se potvrdila i u severního a jižního kontrolního zrcadla. S tímto jevem stavitelé počítali, a tak bylo zdivo do výšky zhruba tří metrů tvořeno hraněnými odolnými pískovcovými bloky. U severního kontrolního zrcadla ale dochází ke vztlínání vlhkosti nad tyto pískovcové bloky, nejspíše kvůli nedostatečnému proudění vzduchu a oslunění daných částí. Snímky pořízené v létě v odvětrávací štolě ukázaly teplotu zdi přilehlé k zemině rajského dvora o 2 °C nižší než u obvodové zdi konventu. Ke kondenzaci vlhkosti tak dochází hlavně na chladnější zdi a svislé obvodové zdivo konventu je chráněno před vlhkostí. V zimním období se termokamerou ověřila funkce odvětrávacího systému předávat naakumulované teplo parapetními otvory pod okny do přízemní ambitové chodby. Vzduch vycházející z těchto parapetních otvorů je zhruba o 3 °C teplejší než zdivo kolem okna, které tak ohřívá.

Podarilo se ověřit principy, na základě kterých byl klášter v Plasích postaven a opět jej více přiblížit k původnímu stavu. Voda rozstříkující z fontány neprokázala negativní vliv na mikroklima v zimním období. Anorganické složení vody v systému se porovnávalo s historickým měřením z roku 1994 a pro posuzování organických složek ve vodě bylo provedeno výchozí měření. V neposlední řadě se alespoň částečně obnovil Santiniho přetlakový vodní systém, který bude vytlačovat nevhodnou vodu z vodních bazénů základové konstrukce. Po potvrzení jeho pozitivního vlivu na chování konstrukcí bude zcela obnoven přívod vody, a to i do jižního kontrolního zrcadla. Klášter tak po dlouhém období chátrání a setrvání v nouzovém režimu zažije renesanci původního Santiniho řešení.



Cíle diplomové práce byly splněny v plném rozsahu i přes některé problémy vyvolané pandemickou situací. V rámci práce bylo dosaženo těchto výsledků:

- 1. kvalita vody vhodné pro konzervaci základové konstrukce byla potvrzena chemickou analýzou**
- 2. ukončení nouzového režimu vodního systému provizorním řešením přívodu čisté vody, která nahrazuje nevhodnou kontaminovanou vodu v Santiniho přetlakovém systému.**
- 3. ověření historických funkčních principů vodního a odvětrávacího systému, které přibližují konvent do původního stavu**
- 4. potvrzení dvou samostatných základových vodních bazénů stopovací zkouškou a vzájemného propojení severního kontrolního bazénu a regulační studny**
- 5. nedestruktivní průzkum vlhkosti zdiva termokamerou potvrzující zvýšenou akumulaci vlhkosti pod clonou a degradaci zdiva vlivem zasolení**
- 6. měření degradačních činitelů ve vodě – pilotní rozbor vody pro následující průzkumy**

VLASTNÍ PUBLIKACE:

- Řehák Jakub, Burgetová, E., Řehák Josef: Moisture Survey of Former Convent in the vicinity of Prague Castle, NaNs, Praha, 2016
- Řehák Jakub, Burgetová, E., Řehák Josef, Řehák S.: Reconstruction of the Monastery next to the Prague Castle, Sborník příspěvků ze studentské vědecké konference Moderní materiály a technologie ve stavebnictví 2018, ČVUT v Praze, 2018



SEZNAM PŘÍLOH

Příloha č. 1	Celková situace s vyznačením podzemních štol
Příloha č. 2	Příčné řezy podzemními objekty
Příloha č. 3	Sonda 1 – půdorys a řezy
Příloha č. 4	Odvodnění rajského dvora a odvětrávací štol - půdorys
Příloha č. 5	Odvětrávací systém – půdorysy a řezy
Příloha č. 6	Průchod štol A odvětrávací štolou – půdorysy a řezy
Příloha č. 7	Novodobé odvodnění rajského dvora – řezy
Příloha č. 8	Přívod čisté vody do vodních bazénu - půdorys
Příloha č. 9	Rozmístění čidel měřících vnitřní mikroklima konventu - půdorys
Příloha č. 10	Rozmístění čidel měřících vnitřní mikroklima konventu – řez C1
Příloha č. 11	Rozmístění čidel měřících vnitřní mikroklima konventu – řez C2, C3
Příloha č. 12	Grafy monitoringu vnitřního mikroklimatu konventu kláštera Plasy

SEZNAM TABULEK

Tab 1: Výsledky chemické analýzy zdiva v blízkosti studny CO (Zuzana Rácová)
Tab 2: Čerpací zkouška (Jakub Řehák)
Tab 3: Výsledky rozborů vody, 2021 (Jakub Řehák, Hana Kujalová)
Tab 4: Komparace výsledků rozborů vody z 12.11. 2021 a z roku 1994 (Jakub Řehák, Hana Kujalová, archiv Řehák – SPELEO)

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 01: Pohled na dubovou pilotu pod základovým roštem (archiv SPELEO-Řehák)
Obr. 02: Schématický nákres rozložení základového roštu (P. Duchoň)
Obr. 03: Schéma odvodňovacího a odvětrávacího systému Plaského kláštera (Jakub Řehák, Josef Řehák)
Obr. 04: Scéna ze Saského zrcadla – lokátor (osoba v klobouku) předkládá plán kostela (Eike von Repgow)
Obr. 05: Schéma užívání vody kláštery (Bond 1991)
Obr. 06: Lokalizace místa jímání vody z potoka u Cihelny (foto: I. Kornatovský, Vyznačení: P. Duchoň)
Obr. 07: Jímací šachta z potoka u Cihelny (Jakub Řehák)



- Obr. 08: Jímací potrubí z potoka u Cihelny (Jakub Řehák)
- Obr. 09: Místa jímání pramenných zdrojů pro konzervaci základové konstrukce
(Podklad: mapy.cz, lokalizace: Jakub Řehák)
- Obr. 10: Filtrační místnost s napouštěcím otvorem ve stěně (Jakub Řehák)
- Obr. 11: Napouštěcí otvor v podlaze chodby konventu (Jakub Řehák)
- Obr. 12: Spadiště z otvoru chodby konventu do napouštěcí místnosti (Jakub Řehák)
- Obr. 13: Odhalený dubový rošt základové konstrukce severního zrcadla po vyčerpání
vody (archiv SPELEO-Řehák)
- Obr. 14: Axonometrický řez Modrou štolou v Plaském klášteře. (archiv SPELEO-Řehák)
- Obr. 15: Výtok Královské štoly do řeky Střely (Jakub Řehák)
- Obr. 16: Schéma Královské štoly pod budovami kláštera zbudované při jeho založení
(P. Duchoň)
- Obr. 17: Zborčené prampouchy ve vzdušníku (1972), (archiv kláštera Plasy)
- Obr. 18: Řez odvětrávacím systémem (Autor: Jakub Řehák)
- Obr. 19: Klášter Plasy – větrání a prohřívání konventu zabraňující povrchové kondenzaci
na masivních konstrukcích v jarních měsících (P. Duchoň)
- Obr. 20: Stojící voda po dešti u paty objektu před opravou podpovrchových kanálků
(archiv SPELEO-Řehák)
- Obr. 21: Nika v severním kontrolním zrcadle (Jakub Řehák)
- Obr. 22: Výkop provizorní rýhy pro uložení vodního potrubí (Josef Řehák)
- Obr. 23: Odběr vzorků vody ze studny v krytu civilní obrany (Josef Řehák)
- Obr. 24: Obnova přetlakového systému – nový provizorní přívod vody do severního
kontrolního zrcadla (Josef Řehák)
- Obr. 25: Čerpadlo ve studni krytu CO (Jakub Řehák)
- Obr. 26: Mechanické spínací hodiny čerpadla (Jakub Řehák)
- Obr. 27: Pohled chodbou nemocničního křídla (Foto: Jakub Řehák)
- Obr. 28: Vrty vyčištěné od HI (Foto: Jakub Řehák)
- Obr. 29: Jižní kontrolní zrcadlo, pohled pod schodišťové rameno (Jakub Řehák)
- Obr. 30: Severní kontrolní zrcadlo, pohled na severovýchodní zeď (Jakub Řehák)
- Obr. 31: Severní kontrolní zrcadlo, pohled na jižní roh (Jakub Řehák)
- Obr. 32: Severní kontrolní zrcadlo, pohled vzdušnickovou chodbou (Jakub Řehák)
- Obr. 33: Pohled na vrchol vzdušnickové chodby (Jakub Řehák)
- Obr. 34: Pohled parapetním otvorem napojeným na vzdušnickovou chodbu (Jakub Řehák)



- Obr. 35: Vyznačení míst odběru vzorků vody pro chemickou analýzu (Jakub Řehák)
- Obr. 36: Porovnání chemického složení vody z roku 1994 a 2021 (Jakub Řehák)
- Obr. 37: Čidlo Minikin TH (Jakub Řehák)
- Obr. 38: Čidlo Testo 174 H (Jakub Řehák)
- Obr. 39: Čidlo Hadex T113A – DS102 (Jakub Řehák)
- Obr. 40: Porovnání mikroklimatu severního kontrolního bazénu z období
22.12.2020 – 23.2.2021 s 1.11.2021 – 3.1.2022 (Jakub Řehák)
- Obr. 41: Aplikace fluorescenčního barviva – zelená fosforeskující barva po zředění
(Jakub Řehák)
- Obr. 42: Jednopaprskový spektrální fotometr (Jakub Řehák)
- Obr. 43: Koncentrovaný roztok uraninu s typickým červeným zabarvením (Jakub Řehák)
- Obr. 44: Výsledný graf měření fluorescence – zprůměrované výsledky (Hana Kujalová,
Jakub Řehák)



LITERATURA

1. FLURY, Markus, WAI, Nu Nu., Dyes as Tracers for Vadose Zone Hydrology. Reviews of Geophysics. 2003.
2. KASS, Werner. Tracing Technique in Geohydrology. 1. Rotterdam: A.A. Balkema Publishers, 1998. ISBN 9789054104445.
3. Klášter Plasy – Fotodokumentace, SPELEO – Řehák 1997. Archiv firmy SPELEO.
4. KUJALOVÁ, Hana. Voda [elektronická pošta]. Message to: jakub@rehak-speleo.cz. 8. prosince 2021 03:58 [cit. 2021-12-12].
5. KUJALOVÁ, Hana. Výsledky stopovací zkoušky [elektronická pošta]. Message to: jakub@rehak-speleo.cz. 6. ledna 2021 00:32 [cit. 2022-01-06].
6. LEBEDA, Jaroslav, Arnošt KALIGA, František KAMENČÁK a Karel RETZ. Sanace zvlhlého zdiva budov. Praha: Nakladatelství technické literatury, 1988.
7. PITTER, Pavel. Hydrochemie. 4. Praha: VŠCHT, 2009. ISBN 978-80-7080-701-9.
8. ŘEHÁK sen., Josef a Josef ŘEHÁK jun. Plaský klášter a jeho minulý i současný přínos pro kulturní dějiny. In: Plaský klášter a jeho minulý i současný přínos pro kulturní dějiny. V Mariánské Týnici: Městský úřad Plasy a Muzeum a galerie severního Plzeňska v Mariánské Týnici, 2005. ISBN 80-903165-3-0.
9. ŘEHÁK, Jakub. Současný stav historického odvodňovací a odvětrávacího systému Plaského kláštera. Praha, 2019. Bakalářská práce. České vysoké učení technické v Praze. Fakulta stavební. Vedoucí práce Eva BURGETOVÁ.
10. ŘEHÁK, Josef, Radka TĚŠÍNSKÁ LOMIČKOVÁ a Stanislav ŘEHÁK. Proměny plaského kláštera (1145-2015). In: Proměny plaského kláštera (1145-2015). V Mariánské Týnici: Muzeum a galerie severního Plzeňska, p.o. ve spolupráci s Národním technickým muzeem a Národním památkovým ústavem - Správou kláštera Plasy, 2015. ISBN 978-80-87185-20-9.
11. ŘEHÁK, Josef, Radka TĚŠÍNSKÁ LOMIČKOVÁ a Stanislav ŘEHÁK. Vodní svět plaského kláštera. Nepsáno. archiv firmy SPELEO-Řehák, 2009,
12. ŘEHÁK, Josef, Stanislav ŘEHÁK a Jakub ŘEHÁK. Konvent Kláštera Plasy, zajištění přívodu vody do základového roštu. Hradec Králové: Řehák – SPELEO, 2020.
13. ŘEHÁK, Josef. Klášter Plasy: Odvodňovací a zavodňovací systém, Speleologický průzkum druhá část. Horská Kamenice 74 Železný Brod: SPELEO - Řehák, 1994.



14. ŘEHÁK, Josef. Klášter Plasy: Odvodňovací a zavodňovací systém, Speleologický průzkum čtvrtá část. Horská Kamenice 74 Železný Brod: SPELEO - Řehák, 1996.
15. ŠIROKÝ, Michal. Návrh prototypu pro stabilizaci klimatických podmínek v konventu plaského kláštera. Plzeň, 2008. Bakalářská práce. Západočeská univerzita v Plzni.
16. VOGT, Mauritius. Chronici plassensis privati "Tilia plassensis, 1909.

DALŠÍ POUŽITÉ PODKLADY:

17. Mapa stok a vodovodů plaských, 1882
18. ALBERTI, L.B.: Deset knih o stavitelství, SNKLHU Praha 1956
19. ASHURST, A. – Thomas, A.R. – WILLIAMS, G.: The Control of Damp in Old Buildings, Technical Pamphlet 8, Society for the Protection of Ancient Buildings, London 1992
20. ALBERTI, L.B.: Deset knih o stavitelství, SNKLHU Praha 1956
21. BROCKEN, H. – PEL, L.: Moisture transport over the brick/mortar interface, International symposium „Moisture problems in building walls“ Porto, Portugal 1995
22. BURGETOVÁ, E.: Fyzikální, chemické a biologické procesy ve zdivu pod dodatečnou hydroizolací, Tepelná ochrana budov 5/1999, vydavatel ČKAIT a CZB, s. 51-52
23. BURKINSHAW, R. - PARRETT, M.: Diagnosing Damp, RICS 2004
24. COLEMAN, G.R.: Guide to Identification of Dampness in Buildings, Wessex Publishing Ltd, Gillingham 1990.
25. ČMELÍK, J.: Injektážní metody dodatečných izolačních clon proti vzlínající vlhkosti zdiva – účinnost a chybné aplikace, 21. konference „Sanace a rekonstrukce staveb“, sborník s. 88-92, Česká stavební společnost, Praha 1999.
26. WITZANY, J. – ČEJKA, T. – ZIGLER, R.: Vliv vlhkosti na fyzikálně mechanické vlastnosti porézních materiálů a na únosnost zdiva, Stavební obzor 4/2003.