

**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ
V PRAZE
FAKULTA STAVEBNÍ
KATEDRA KONSTRUKCÍ POZEMNÍCH STAVEB**



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Stavebně technický průzkum a návrh sanačních opatření kostela
sv. Kateřiny v Polné

Technical Survey and Design of Remediation Methods of Church
St. Catherine in Polná

Vedoucí práce: Ing. Aneta Libecajtová, Ph.D.

Kristýna Peřinová

Praha 2023

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Peřinová** Jméno: **Kristýna** Osobní číslo: **484423**
Fakulta/ústav: **Fakulta stavební**
Zadávací katedra/ústav: **Katedra konstrukcí pozemních staveb**
Studijní program: **Stavební inženýrství**
Studijní obor: **Konstrukce pozemních staveb**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Stavebně technický průzkum a návrh sanačních opatření kostela sv. Kateřiny v Polné

Název bakalářské práce anglicky:

Technical Survey and Design of Remediation Methods of Church St. Catherine in Polná

Pokyny pro vypracování:

provedení stavebně technického průzkumu kostela
pořízení fotodokumentace
zpracování jednoduché výkresové dokumentace
vlhkostní průzkum a průzkum chemismu
návrh sanačních opatření vybraných poruch

Seznam doporučené literatury:

Witzany, J. a kol. Poruchy, degradace, rekonstrukce – vysokoškolské skriptum. Nakladatelství ČVUT.
Pume, D.; Čermák, F. Průzkumy a opravy stavebních konstrukcí. 1993. ARCH.
Solař, J. Poruchy a rekonstrukce zděných staveb. 2008. Grada.
Balík, M. a kol. Odvlhčování staveb. 2008. Grada.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

Ing. Aneta Libecajtová, Ph.D. katedra konstrukcí pozemních staveb FSv

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:

Datum zadání bakalářské práce: **22.02.2023** Termín odevzdání bakalářské práce: **22.05.2023**

Platnost zadání bakalářské práce: _____

Ing. Aneta Libecajtová, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) práce

prof. Ing. Petr Hájek, CSc.
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

prof. Ing. Jiří Máca, CSc.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Studentka bere na vědomí, že je povinna vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

Datum převzetí zadání

Podpis studentky

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem samostatně vypracovala bakalářskou práci s názvem „Stavebně technický průzkum a návrh sanačních opatření kostela sv. Kateřiny v Polné“. V průběhu zpracování mé bakalářské práce jsem byla odborně vedena Ing. Anetou Libecajtovou, Ph.D. Všechny použité materiály a zdroje, ze kterých jsem čerpala při tvorbě práce, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

V Praze dne

.....

Kristýna Peřinová

Poděkování

Nejprve bych ráda poděkovala vedoucí mé bakalářské práce Ing. Anetě Libecajtové, Ph.D. za cenné rady, odborné vedení a za věnovaný čas při vypracování této práce. Dále bych chtěla poděkovat paní Ivaně Loušové za pomoc a odborné rady při provádění laboratorního průzkumu. Děkuji také Římskokatolické farnosti – děkanství v Polné za poskytnutí přístupu do objektu, umožnění odběru potřebných vzorků a za nahlédnutí do všech dostupných podkladů, bez nichž by tato práce nemohla vzniknout. V neposlední řadě patří velké poděkování mé rodině za jejich podporu a pomoc během celého mého studia.

Abstrakt

Tato bakalářská práce se zaměřuje na provedení stavebně-technického průzkumu kostela svaté Kateřiny v Polné, s cílem analyzovat poruchy v objektu a navrhnout možnosti jejich sanace.

Součástí obsahu této bakalářské práce je zpracování jednoduché výkresové dokumentace, která vychází z dostupných materiálů poskytnutých Římskokatolickou farností v Polné a dodatečné informace získané měřeními na místě. Dokumentace zahrnuje zakreslení stávajícího stavu s vyznačením nejvýznamnějších poruch, schématické znázornění navrhovaných sanačních opatření a dalších stavebních úprav. Dále práce zahrnuje laboratorní průzkum vlhkosti a chemismu zdiva u odebraných vzorků.

Po zhodnocení stavebně-technického průzkumu objektu a podrobného laboratorního průzkumu vlhkosti a chemismu zdiva byly navrženy adekvátní metody sanace zjištěných poruch. Závěrečná část práce obsahuje schématické znázornění navržených sanačních opatření a popis postupu jejich realizace.

Klíčová slova

- Stavebně-technický průzkum
- Stavební obnova
- Kostel
- Degradace
- Poruchy
- Sanace
- Vlhkost
- Zdivo

Abstract

This bachelor's thesis focuses on performing structural and technical survey of St. Catherine's Church in Polná, with the aim of analysing the defects and failures in the building and designing possible solutions for their remediation.

Part of the content of this bachelor's thesis is the preparation of a schematic drawing documentation, which is based on available materials provided by the Roman Catholic Parish in Polná and additional information obtained by on-site measurements. The documentation includes a depiction of the current state of the building with the most significant defects and failures highlighted, schematic representation of designed remedial measures and other structure modifications. Furthermore, the thesis contains a laboratory survey of the moisture and chemistry of the masonry collected samples.

After evaluating the structural and technical survey of the building and performing a detailed laboratory investigation of the moisture and chemistry of the masonry, appropriate methods for remediation the identified problems were designed. The final part of the thesis contains schematic illustrations of the designed remediation method and a description of the procedures for their implementation.

Keywords

- Technical survey
- Building renovation
- Church
- Degradation
- Failures
- Remedation
- Moisture
- Masonry

Obsah

Úvod	9
1. Základní informace o objektu	10
1.1. Údaje o stavbě – poloha a popis území	10
1.2. Stručný popis objektu	12
1.3. Historie objektu	14
1.4. Popis konstrukčního řešení	16
1.4.1. Základy	16
1.4.2. Svislé nosné konstrukce	16
1.4.3. Vodorovné nosné konstrukce	17
1.4.4. Střecha a krov	19
1.4.5. Podlahy	21
1.4.6. Omítky a malby	21
1.4.7. Okna a výplně otvorů	22
1.4.8. Schodiště	23
2. Popis stávajícího stavu a analýza možných příčin poruch	23
2.1. Základy	29
2.2. Svislé nosné konstrukce	30
2.3. Vodorovné nosné konstrukce	32
2.4. Konstrukce krovu a střechy	34
2.5. Podlahy, omítky, výplně otvorů, schodiště	36
2.5.1. Podlahy	36
2.5.2. Fasáda, omítky a malby	37
2.5.3. Výplně otvorů	39
2.5.4. Schodiště	40
2.6. Souhrn nejzávažnějších zjištěných poruch	41
3. Laboratorní průzkum – stanovení vlhkosti, chemismu zdiva a mikrobiologický průzkum	41
3.1. Stanovení vlhkosti zdiva	41
3.1.1. Postup stanovení vlhkosti zdiva	41
3.1.2. Vyhodnocení vlhkosti zdiva	47
3.2. Stanovení chemismu zdiva	49
3.2.1. Postup stanovení chemismu zdiva	49
3.2.2. Výsledky stanovení chemismu zdiva	55
3.3. Mikrobiologický průzkum zdiva	56

3.3.1.	Postup mikrobiologického průzkumu.....	57
3.3.2.	Výsledky mikrobiologického průzkumu.....	59
4.	Návrh sanačních opatření.....	61
4.1.	Dřevěné části poškozené biologickou degradací.....	62
4.1.1.	Sanace dřevěných prvků řešeného objektu	64
4.1.2.	Provedená sanační opatření – střešní krytina a krov	64
4.2.	Metody sanace staveb proti vlhkosti.....	68
4.2.1.	Sanační metoda vlhkosti řešeného objektu	71
	Závěr	75
	Seznam obrázků.....	76
	Seznam tabulek	79
	Rovnice	79
	Seznam použité literatury	80
	Seznam použitých norem	82
	Seznam použitých programů	82
	Seznam příloh	83

Úvod

Téma bakalářské práce jsem si zvolila v 7. semestru studia, kdy jsem zpracovávala stavebně technický průzkum kostela svaté Kateřiny v Polné v rámci předmětu 124PDRC – Poruchy a degradace. Jelikož se kostel nachází v místě mého bydliště, vídám ho v podstatě od raného dětství a považuji ho za neodmyslitelnou historickou dominantu města Polná. Historie, vzhled a současný havarijní stav kostela mě natolik zaujal, že jsem se rozhodla zpracovat návrh sanačních opatření pro konkrétní poruchy podrobněji.

Bakalářská práce se zaměřuje na stavebně technický průzkum a navržení sanačních opatření pro budovu kostela sv. Kateřiny v Polné. Stavba se nachází v kraji Vysočina, konkrétně ve městě Polná. Jedná se o jednolodní kostel z období gotiky s přilehlým hřbitovem. Kostel byl pravděpodobně dokončen v polovině 14. století.

V současnosti je kostel sv. Kateřiny ve vlastnictví Římskokatolické farnosti – děkanství Polná a chráněn jako kulturní památka České republiky. Kvůli havarijnímu stavu se kostel nyní příliš nevyužívá. Výjimečně zde probíhají církevní pohřby a jednou ročně se v kostele slouží poutní mše svatá.

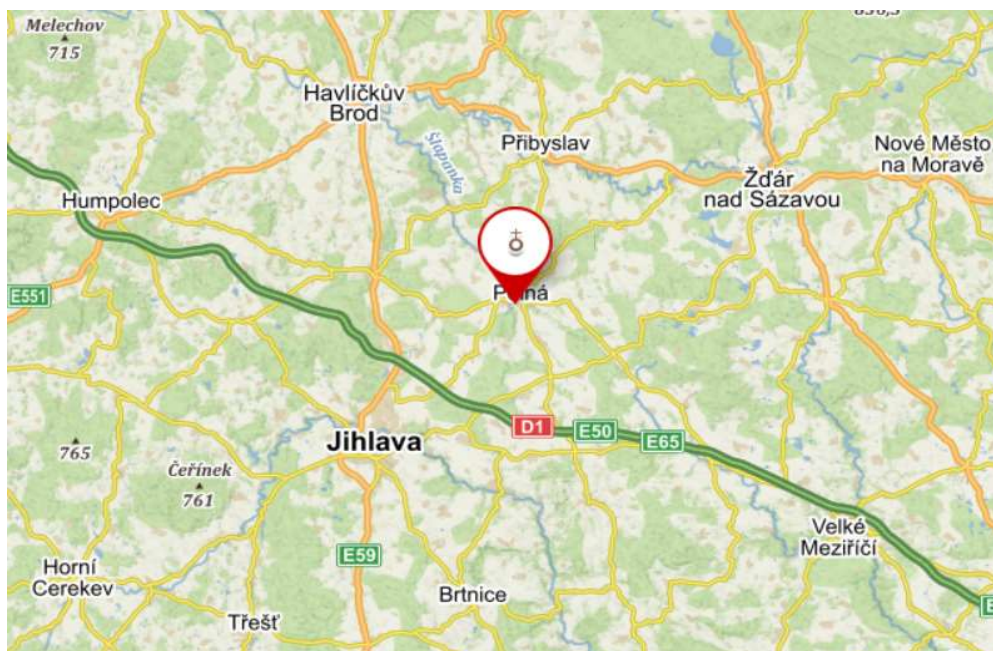
Cílem bakalářské práce je popsat současný stav objektu, což zahrnuje zmapování poruch a pořízení podrobné fotodokumentace. Dále bude proveden stavebně technický průzkum a analýza poruch konstrukcí, včetně identifikace jejich příčin. Na základě zjištěných informací bude navrženo řešení, které se zaměří na odstranění těchto poruch pomocí vhodných sanačních metod. Pro výběr nejvhodnějších sanačních metod bude proveden laboratorní průzkum vlhkosti a salinity na nejvíce postižených částech objektu a vyhotovena rešerše možných sanačních metod, včetně jejich výhod a omezení.

1. Základní informace o objektu

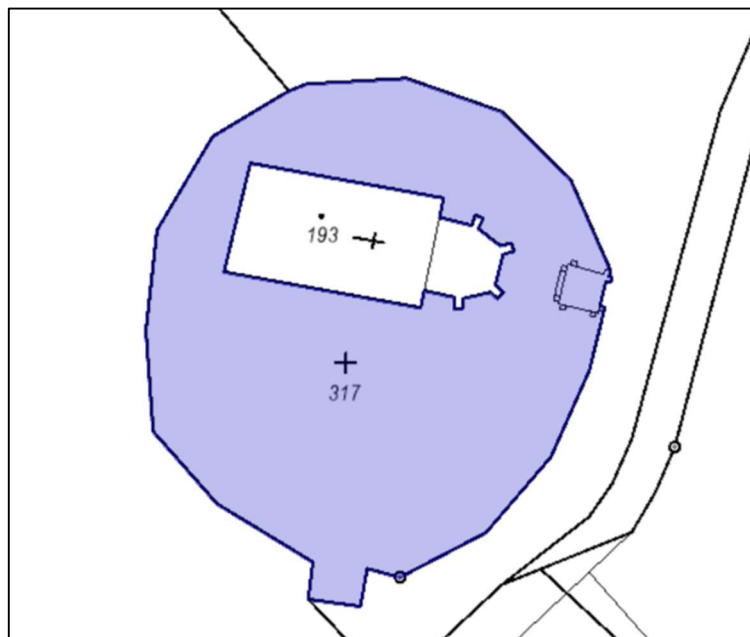
1.1. Údaje o stavbě – poloha a popis území

Zvolený objekt (Kostel svaté Kateřiny) se nachází v kraji Vysočina, konkrétně v městě Polná, které je asi 20 km vzdáleno od krajského města Jihlava. Lokalita kostela leží jižně od centra města na kopci zvaném dříve Strážný vrch. Dnešní pojmenování je příhodně Kateřinov. Jedná se o samostatně stojící sakrální stavbu s přilehlým hřbitovem. Objekt je po Polenském hradu nejstarší kulturní památkou v Polné. Kostel s hřbitovem tvoří výraznou, neodmyslitelnou a nejvýše položenou dominantu města. Bývá někdy označován jako "Polenský Vyšehrad". Odlehlost kostela od centra města v minulosti znamenala krádež vzácných částí mobiliáře a dalších cenných prvků kostela.

Stavba kostela se hřbitovem spadá do katastrálního území Polná [725498] s parcelním číslem st. 193. Celková výměra kostela je 265 m². Objekt je umístěn na pozemku s parcelním číslem 317 o celkové výměře 1 475 m². [2]




Obrázek 1: Mapa s vyznačenou polohou objektu [1]



Obrázek 2: Mapa katastru nemovitostí [2]

Informace o pozemku	
Parcelní číslo:	st. 193
Obec:	Polná [587711]
Katastrální území:	Polná [725498]
Číslo LV:	1299
Výměra [m ²]:	265
Typ parcely:	Parcela katastru nemovitostí
Mapový list:	DKM
Určení výměry:	Ze souřadnic v S-JTSK
Druh pozemku:	zastavěná plocha a nádvoří



Součástí je stavba	
Budova s číslem popisným:	Polná [412368] ; č. p. 1136; stavba občanského vybavení
Stavba stojí na pozemku:	p. č. st. 193
Stavební objekt:	č. p. 1136
Ulice:	Smetanova
Adresní místo:	Smetanova č. p. 1136

Sousední parcely	
Vlastníci, jiní oprávnění	
Vlastnické právo Podíl	
Římskokatolická farnost - děkanství Polná, Husovo náměstí 14, 58813 Polná	

Způsob ochrany nemovitosti	
Název	
ochr.pásma nem.kult.pam., pam.zóny, rezervace, nem.nár.kult.pam	

Obrázek 3: Informace z nahlížení katastru nemovitostí [2]

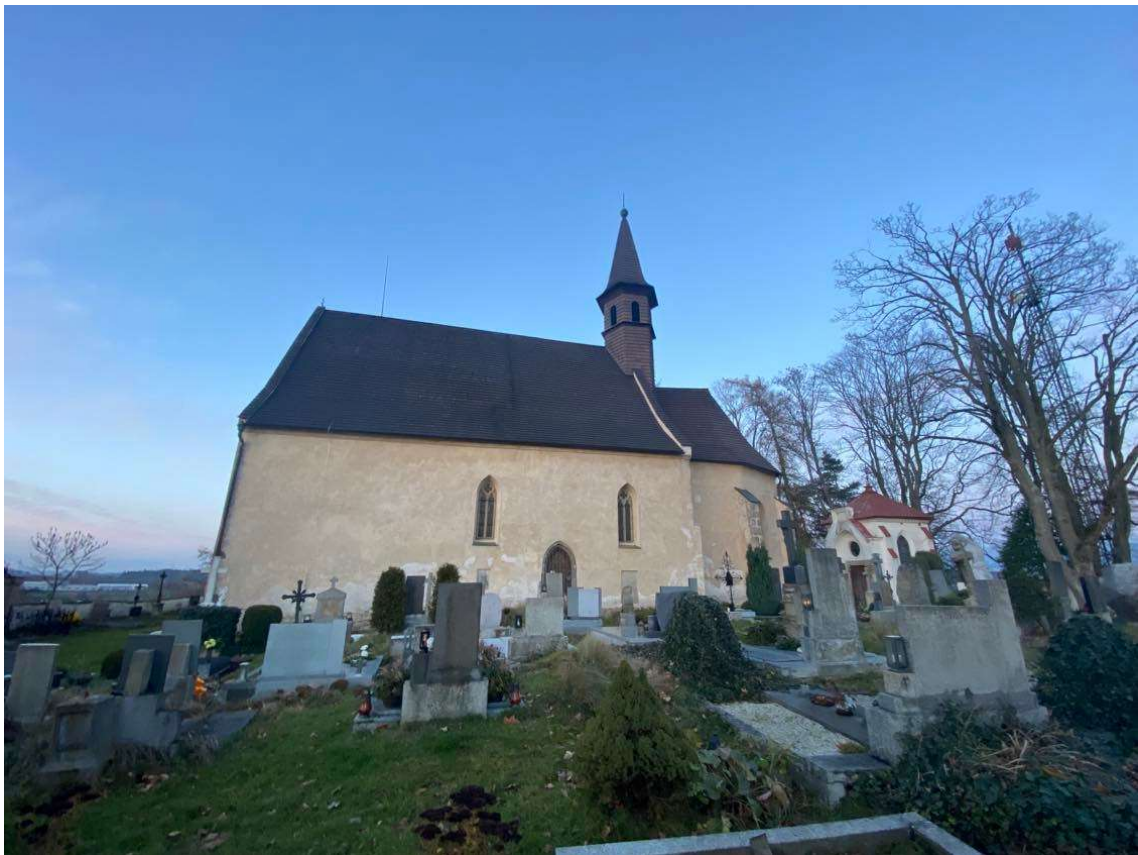
1.2. Stručný popis objektu

Kostel sv. Kateřiny byl postaven na místě původní románské kaple jižně od centra města. Stavba byla dokončena v polovině 14. století. Jedná se o gotický jednolodní kostel s pětibokým presbytářem (kněžištěm). Okolo kostela je zřízen malý hřbitov ohraničený kamennou hřbitovní zdí. Kostel má poměrně jednoduchý půdorys ve tvaru obdélníku s pětibokým kněžištěm. Jeho celková délka je 26,5 metrů a šířka 10,95 metrů. Samotné kněžiště má délku 8 metrů a šířku 7,3 metrů. Dominantou kostela je věž postavená též v gotickém slohu, vysoká více než 26 metrů. V kostele se dochovaly dva pozdně gotické lomené portály, jeden na západním průčelí a druhý na jižní zdi chrámové lodi. Kromě toho jsou z původní gotické podoby kostela zachována také okna v kněžišti. Během svého působení prošel kostel několika úpravami, které zapříčinily jeho současnou podobu. Svislé nosné konstrukce lodi i presbyteria tvoří kamenné zdivo. Schodiště vedoucí na emporu (balkón) v zadní části kostela je řešeno jako dřevěné. Chrámová loď je zakryta dřevěným trámovým stropem a nad presbyteriem je provedena křížová klenba. Střecha objektu je klasická sedlová formovaná dřevěným historickým krovem složeným z tesařských prvků. Střešní krytina prošla několika obnovami z původního dřevěného šindele na plechovou krytinu, jejíž výměna za nový dřevěný šindel proběhla teprve v minulém roce.

Kostel původně sloužil k bohoslužbám pro obyvatele nedalekého hradu. Nyní je kostel ve vlastnictví Římskokatolické farnosti – děkanství Polná. V současnosti není kostel přístupný veřejnosti a probíhají rozsáhlé stavební úpravy a sanace.



Obrázek 4: Čelní pohled na kostel – severní pohled



Obrázek 5: Pohled na kostel ze hřbitova – jižní pohled



Obrázek 6: Pohled západní



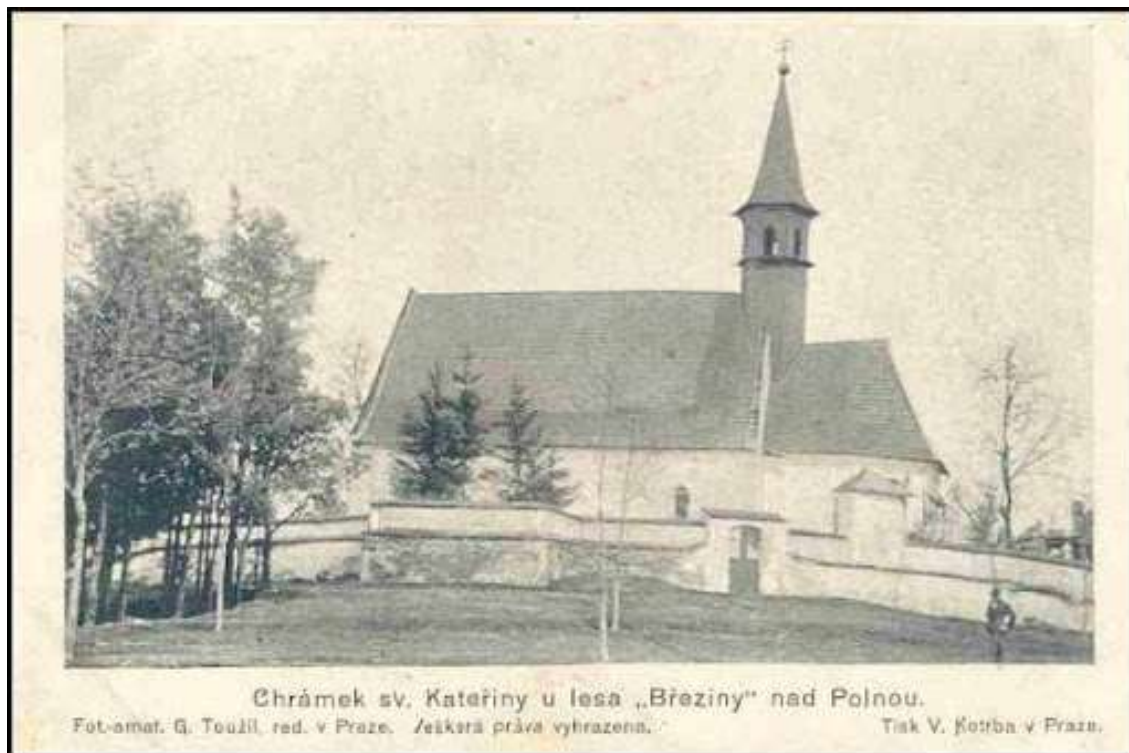
Obrázek 7: Pohled východní

1.3. Historie objektu

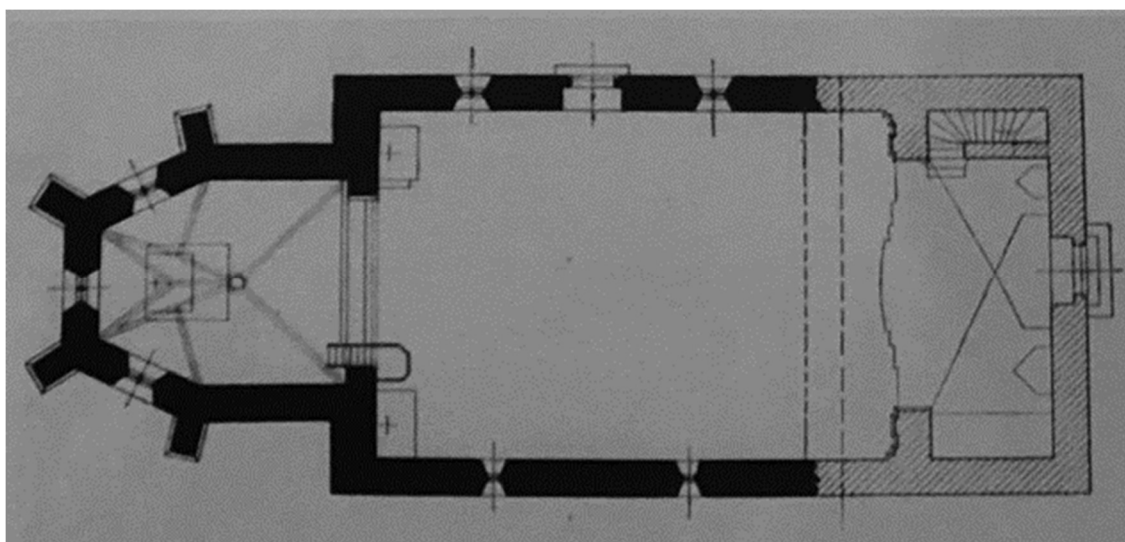
Hřbitovní gotický kostel svaté Kateřiny pochází z poloviny 14. století (pravděpodobně již z roku 1340). Stavba je druhou nejstarší dochovanou památkou ve městě Polná. Objekt postavený jižně od centra města, na místě zvaném Strážný vrch (dnes Kateřinov), sloužil zřejmě jako kaple na bohoslužby pro obyvatele nedalekého Polenského hradu. Na začátku 15. století byl u kostela založen hřbitov, na kterém byli pohřbíváni obyvatelé hradu a podhradí, později obyvatelé dnešní městské části Kateřinov. Hřbitovní kamenná zeď byla postavena v letech 1592 a 1593. Později v 16. století byl založen i druhý hřbitov pro nepokřtěné děti, lidi jiné víry a sebevrahy, který se nacházel na svahu směrem k rybníku Peklo. [3]

Kostel v průběhu svojí existence prošel několika úpravami. V roce 1488 byl kostel rozšířen. V 17. století (roku 1647) byl poškozen švédskými vojsky během třicetileté války a následně roku 1658 znovu opraven. V roce 1785 byl kostel zrušen a přestal sloužit svému účelu. O deset let později byla jeho funkce obnovena a přetrvala do současnosti. V interiéru kostela najdeme části vzácných fresek z 15. století, které vyobrazují Krista a svatou Kateřinu. Kromě toho se zde nachází také fresky od malíře Jiříka Jircháře z poloviny 16. a začátku 17. století. V sousedství kostela v 17. a 18. století žili poustevníci, kteří pečovali o nemocné během epidemie cholery a moru. Přilehlá poustevna byla v roce 1886 zbořena. V roce 1847 byl kopec kolem kostela zalesněn. V roce 1910 prošel kostel významnou úpravou podle návrhů architektů Duchka a Heraina. [4]

V současnosti kostel prochází rozsáhlou stavební obnovou, která započala v roce 2022 výměnou střešní plechové krytiny za dřevěný štípaný šindel. Kostel je nyní uzavřen a nepřístupný pro veřejnost.



Obrázek 8: Historická fotografie r. 1899 [5]



Obrázek 9: Schéma půdorysu kostela [Dokumentace z roku 1975]

1.4. Popis konstrukčního řešení

1.4.1. Základy

Předpokládají se základové pasy z lomového kamene. Šířku a hloubku základů nelze přesně určit, protože nebyla provedena kopaná sonda. Z dostupných výkresů je odhadována úroveň základové spáry cca 800 mm pod úrovní terénu. Možná i méně vzhledem k tomu, že byl terén okolo objektu v poslední době snížen. Viditelný je pouze nevyhovující sokl, který je taky proveden z lomového kamene.



Obrázek 10: Kamenný sokl



Obrázek 11: Kamenný sokl

1.4.2. Svislé nosné konstrukce

Zdivo chrámové lodi i presbyteria (kněžiště) je provedeno z lomového kamene. Kamenné bloky byly spojeny na vápennou maltu. Zdivo kostela o celkové tloušťce 900 mm je velmi masivní. Tato tloušťka přispívá také k jedinečné akustice v interiéru kostela.



Obrázek 12: Kamenné obvodové zdivo kostela

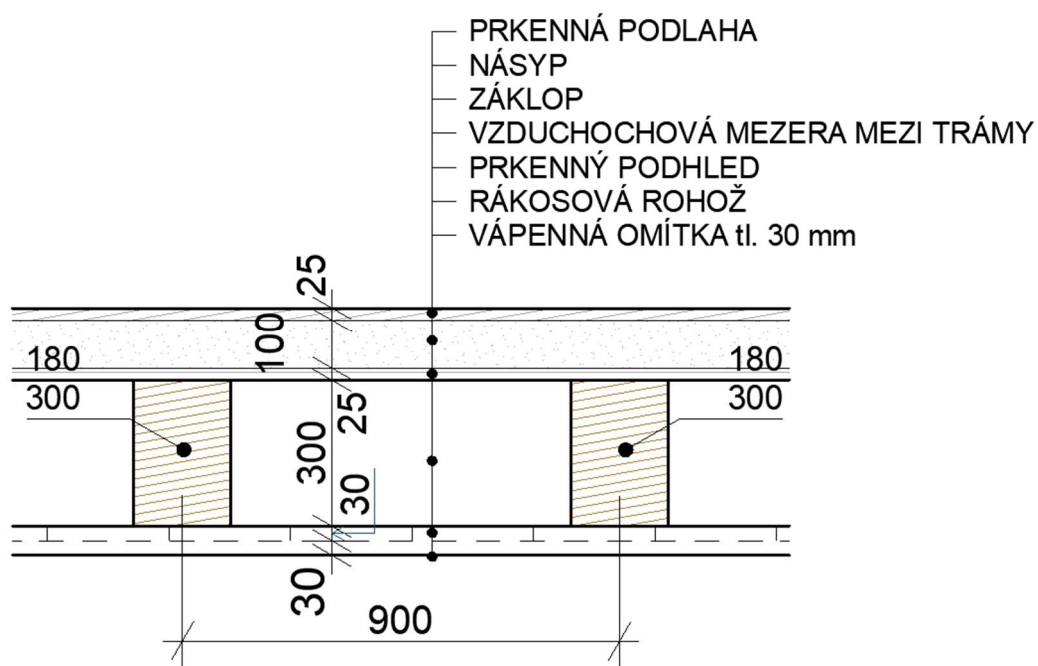
1.4.3. Vodorovné nosné konstrukce

Nad presbyteriem je provedena křížová klenba, v závěru se dvěma cípy hvězdicové klenby. Vnitřní prostor kostela je rozdělen na dvě hlavní části – presbytář a hlavní loď. Ty jsou od sebe odděleny vítězným obloukem, který slouží jako symbolická hranice mezi sakrálním prostorem a prostorem pro věřící.

Chrámová loď je zakryta trámovým stropem s dřevěným záklopem a vápennou omítkou na rákos v tloušťce cca 500 mm. Osová vzdálenost dřevěných trámů je cca 900 mm. Dřevěné trámy stropu jsou současně i vaznými trámy konstrukce krovu.



Obrázek 13: Křížová klenba nad presbyteriem a vítězný oblouk
[archiv]



Obrázek 14: Dřevěný trémový strop nad chrámovou lodí kostela

1.4.4. Střecha a krov

Střecha objektu prošla v roce 2022 stavební obnovou a předchozí plechová krytina byla nahrazena dvojitým dřevěným šindelem (štípaný – modřín), který dle historicky ověřených informací byl úplně původní krytinou kostela. Při výměně došlo i k odstranění původního celoplošného bednění a vytvoření nového bednění. Předchozí výměna krytiny proběhla v roce 1975, kdy šindel nahradila nevhledná plechová krytina, která byla naprosto nevhodnou volbou vzhledem ke statutu kulturní památky.



Obrázek 15: Kostel před výměnou střešní krytiny – plechová krytina



Obrázek 16: Kostel po výměně střešní krytiny – dřevěný šindel

Krov se skládá z dřevěných prvků spojených tesařskými spoji. Jedná se o gotický krov s dvoupatrovým hambálem s ležatou stolicí, se středovým sloupkem a s klasovými vzpěrami (klasový krov). Konstrukce krovu je doplněna námětky. Vzdálenost krokví je cca 1000 mm. Prvky krovu (středové sloupky) jsou kotveny do vazných trámů.

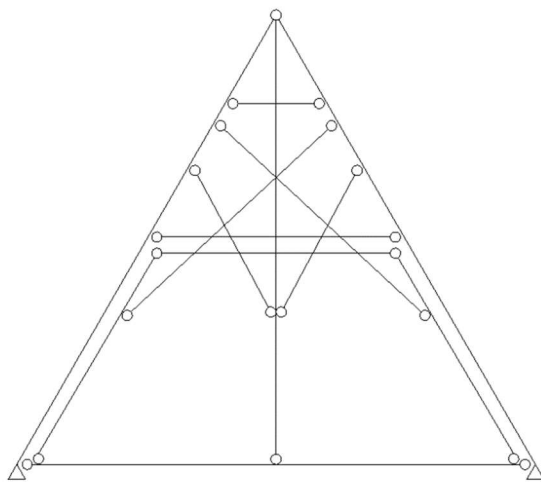


Obrázek 17: Konstrukce krovu [archiv]

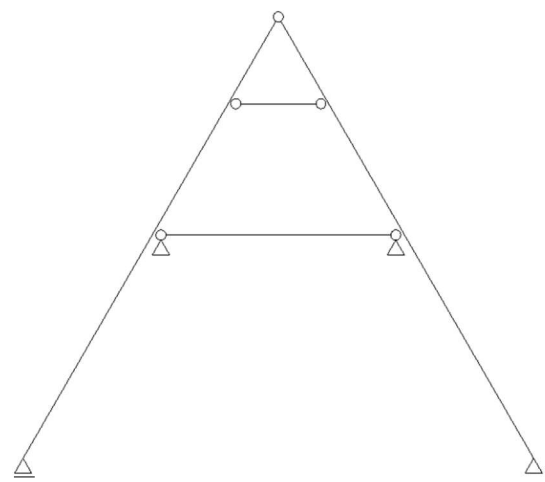


Obrázek 18: Konstrukce krovu [archiv]

Statické schéma krovu



Obrázek 19: Statické schéma – plná vazba



Obrázek 20: Statické schéma – jalová vazba

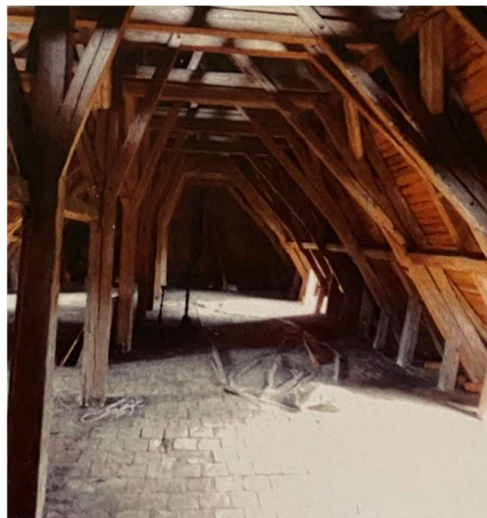
1.4.5. Podlahy

V celé chrámové lodi i v presbyteriu jsou jako nášlapná vrstva použity cementové dlaždice. Cementové dlaždice nejsou příliš vhodné pro řešení vlhosti v kostele a také neodpovídají historickému statutu památky. Jsou příčinou částečné kondenzace.

V podkrovní části kostela v současnosti tvoří nášlapnou vrstvu podlahy dřevěná prkna. Před výměnou střešní krytiny zde byla jako nášlapná vrstva použita klasická keramická dlažba tzv. půdovky. Půdovky byly kladeny do škvárového zásypu, který je součástí skladby stropní konstrukce.



Obrázek 21: Cementová dlažba v interiéru kostela



Obrázek 22: Podlaha v podkrovní [archiv]

1.4.6. Omítky a malby

V celém interiéru objektu je použita vápenná omítka. Na stěnách kostela dožívá silně znečištěná a zpráškovatělá výmalba z počátku 20. století a téměř nečitelné jsou odkryté fragmenty pozdně gotických nástěnných maleb. Jedná se o zbytky vzácných fresek z 15. století.



Obrázek 23: Fresky na jižní stěně kostela [archiv]



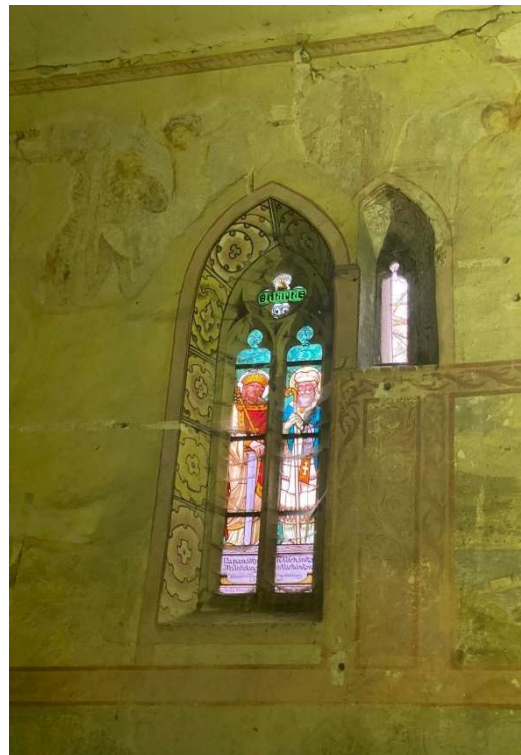
Obrázek 24: Detail malby [archiv]

1.4.7. Okna a výplně otvorů

Okna v presbytáři jsou uzavřená lomeným obloukem a jsou původní z období gotiky. Okna v chrámové lodi jsou pseudogotická, jen jedno malé okénko se zachovalo z původní stavby ze 14. století. Některá okna jsou vitrážová.



Obrázek 26: Vitrážové okno – jižní stěna



Obrázek 25: Vitrážové okno – severní stěna

1.4.8. Schodiště

V zadní části chrámové lodi se nachází schodiště půdorysného tvaru L, které slouží pro přístup na oddělenou emporu (balkón), kde byly před stavebními opravami umístěny varhany. Konstrukce schodiště je řešena jako dřevěná. Schodiště je provedeno mezi stěnami a není opatřeno zábradlím.



Obrázek 28: Dřevěné schodiště

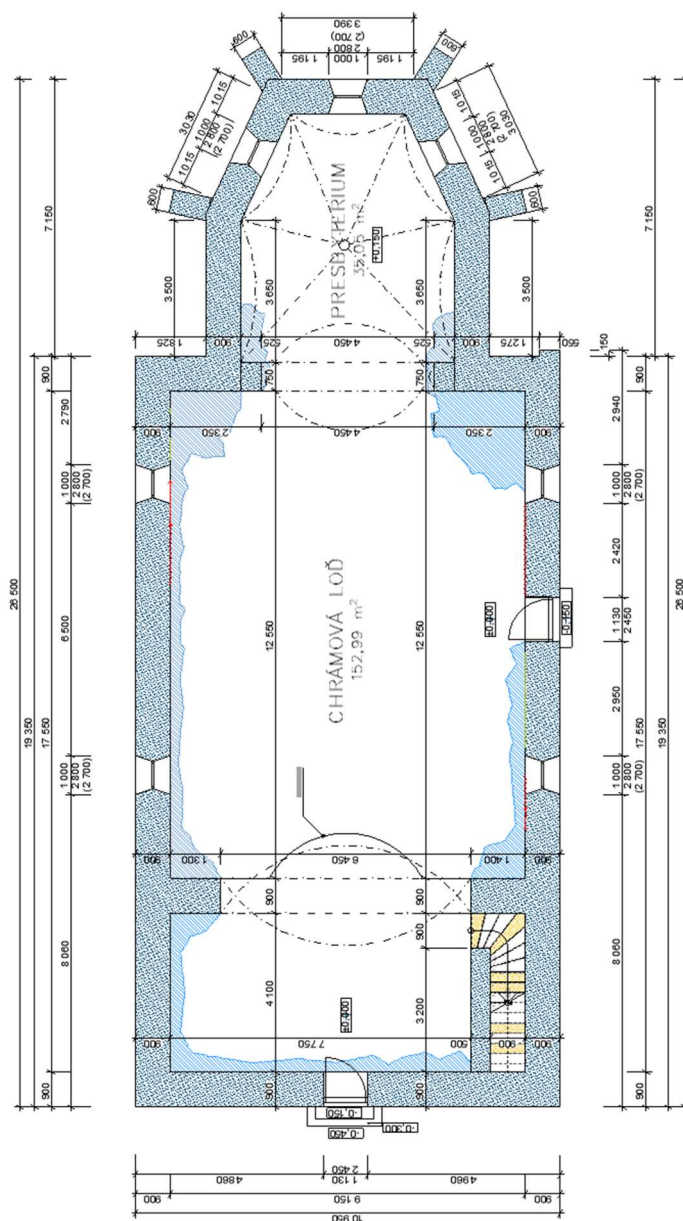


Obrázek 27: Dřevěné schodiště

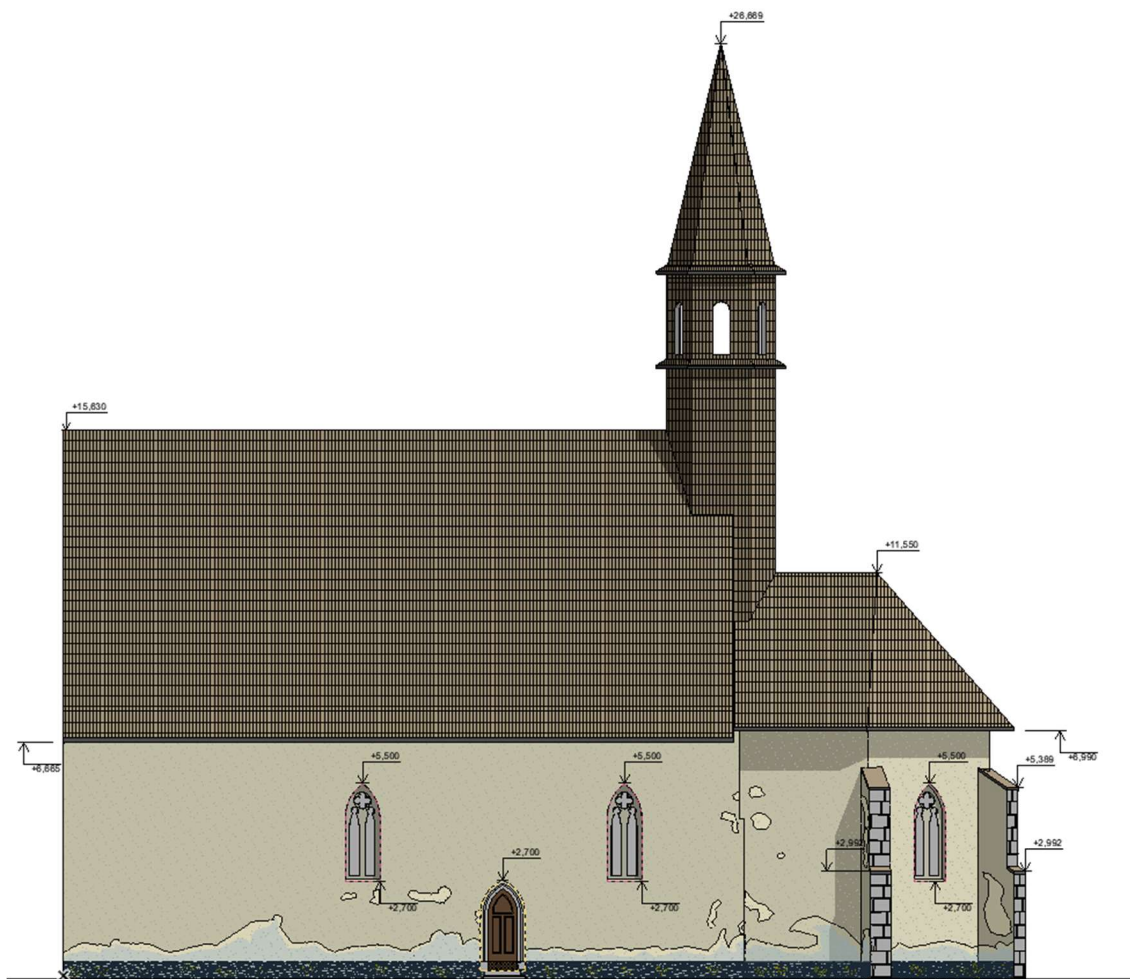
2. Popis stávajícího stavu a analýza možných příčin poruch

Objekt je ve velmi špatném technickém až havarijním stavu. Havarijní stav zapříčinilo dlouhodobé zanedbávání údržby kostela a nedostatečné řešení četných poruch včetně návrhu nevhodných sanačních opatření.

Na následujících obrázcích jsou zakresleny nejvýznamnější poruchy, které se v budově vyskytují. (Obrázek 29–37).



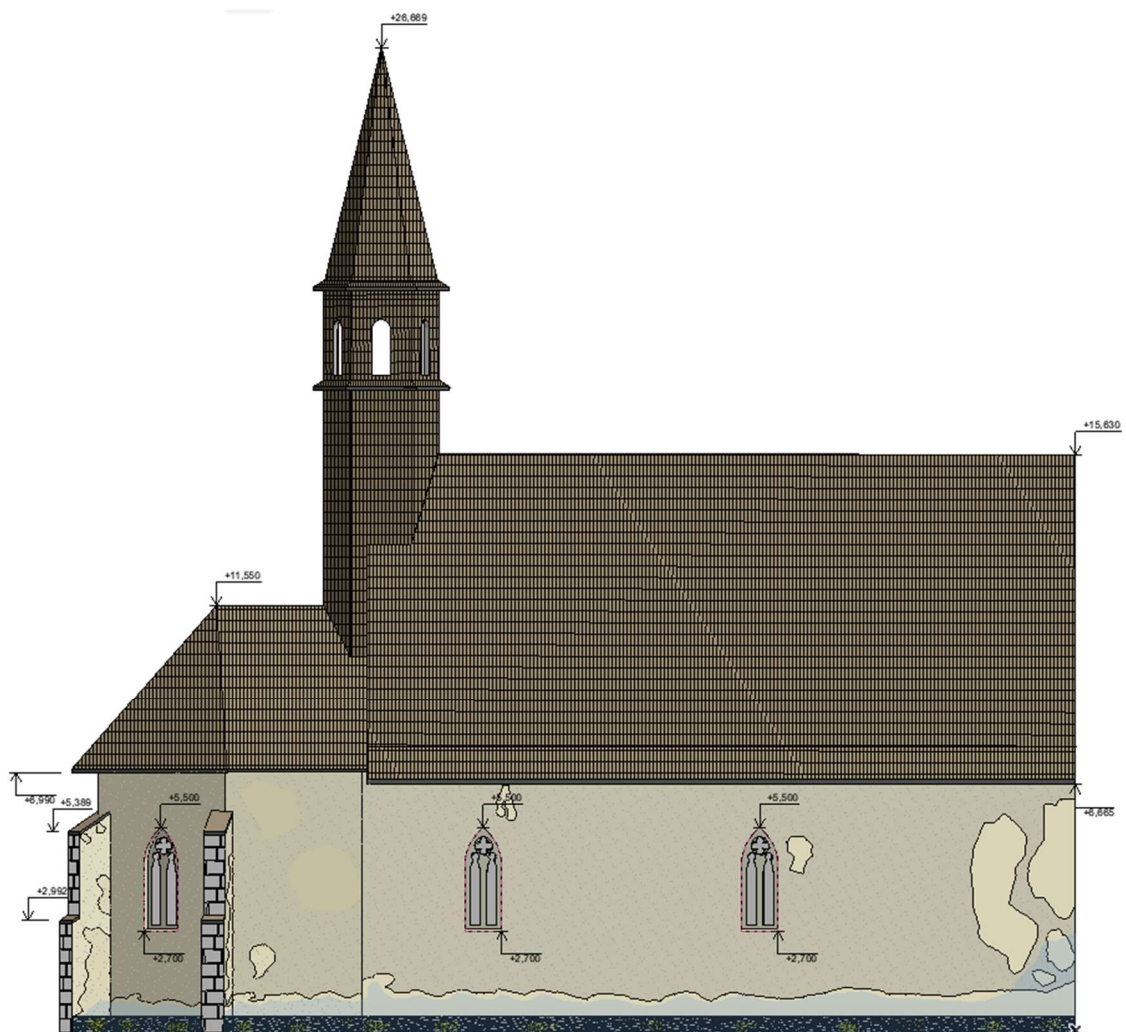
Obrázek 29: Půdorys stávajícího stavu kostela



Obrázek 30: Jižní pohled stávajícího stavu



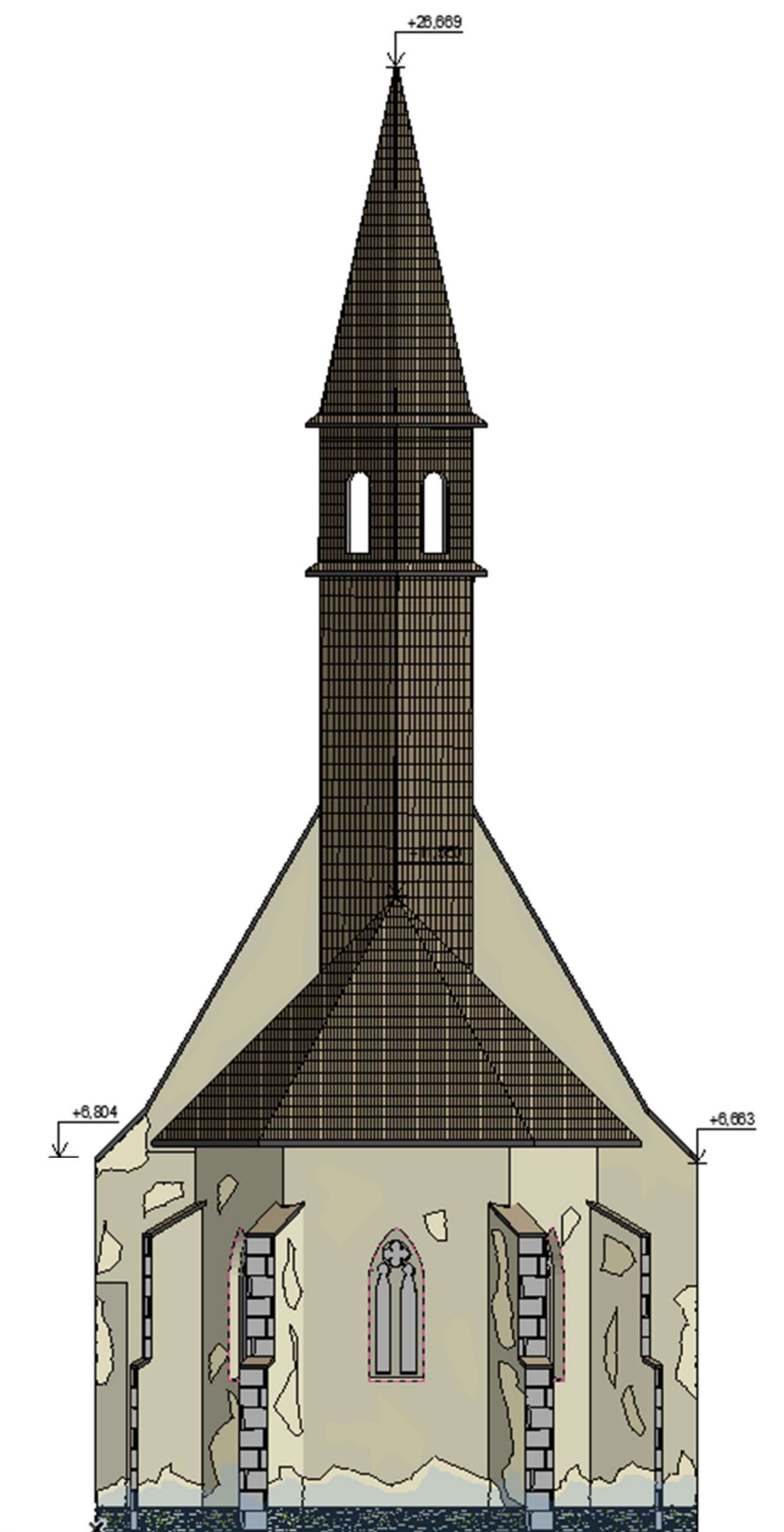
Obrázek 31: Jižní pohled stávajícího stavu – vizualizace



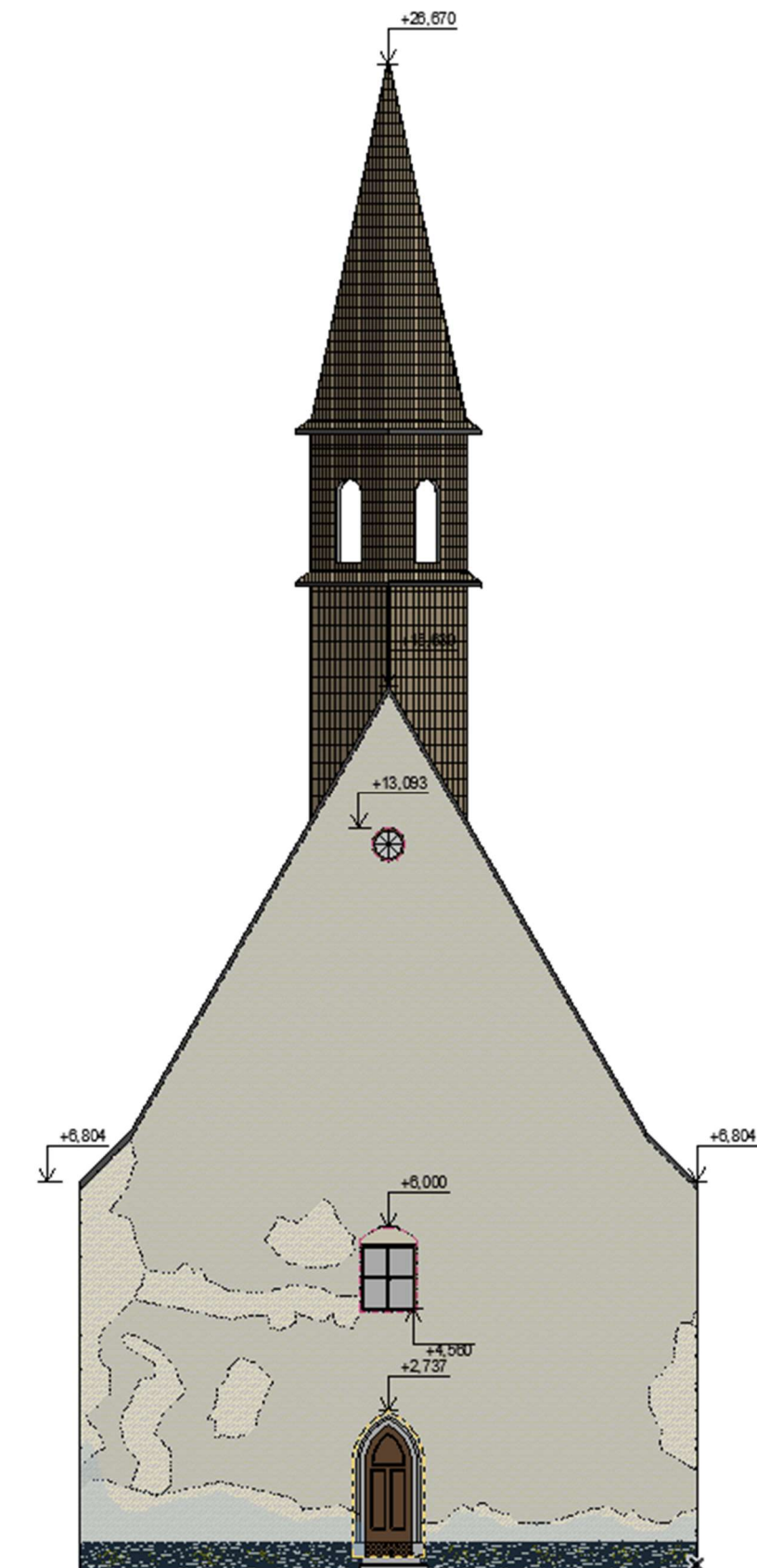
Obrázek 32: Severní pohled stávajícího stavu



Obrázek 33: Severní pohled stávajícího stavu – vizualizace



Obrázek 34: Východní pohled stávajícího stavu



Obrázek 35: Západní pohled stávajícího stavu



Obrázek 36: Východní pohled stávajícího stavu – vizualizace



Obrázek 37: Západní pohled stávajícího stavu – vizualizace

2.1. Základy

V části 1.4.1. Základy bylo zmíněno, že objekt je pravděpodobně založen na základových pasech z lomového kamene. Vzhledem k tomu, že nebylo možné v rámci této práce provést kopané sondy k základům, vycházím v hodnocení z archivních materiálů dostupných na Farnosti v Polné. Na základě vizuální prohlídky celého objektu a absenci výrazných šikmých trhlin se nepředpokládá, že by založení objektu bylo nedostatečné. Na objektu nejsou viditelné poruchy, které by indikovaly poškození základů objektu.

Soklové zdivo z lomového kamene na vápennou maltu, které je obnažené cca 330–400 mm nad úrovní terénu, vykazuje známky degradace způsobené vzlínející vlhkostí. Pravděpodobně se voda hromadí v oblasti základové spáry a vzlínející voda potom zapříčiňuje extrémní vlhkost zdiva. Malta mezi kameny je vydrolena a vymyta vodou místy až do hloubky několika centimetrů. Kameny v patách pilířů jsou uvolněny, klesá únosnost zdiva, a pilíře tak neplní svou funkci opěrného prvku klenby. Stejná situace nastává v patě vítězného oblouku.

Vzhledem ke stáří objektu a poznatkům získaných z vizuální prohlídky je předpokládána úplná absence drenážního odvodnění a hydroizolací celého objektu.



Obrázek 38: Degradace v oblasti soklu – zvýšená vlhkost

2.2. Svislé nosné konstrukce

Kamenné zdivo kostela je v interiéru na mnoha místech narušeno svislými a šikmými trhlinami, které však na venkovní fasádě díky poměrně novodobé omítce nejsou patrné. Špatný technický stav zdiva je v patě vítězného oblouku, v opěrných pilířích, nad klenbou v podkroví a v pokračování zdi nad vítězným obloukem v podkroví.

Omítka fasády se odlupuje v plátech štuky. Spodní omítka je v pásu nad podlahou vydrolena, směrem vzhůru se rozsah poškozené omítky snižuje. Místa jsou viditelné patrné vysprávkky, bohužel nejspíš za použití cementu, který není vhodný používat při řešení vlhkého zdiva a nehodí se ani z historického hlediska, protože se jedná o novodobý materiál.

Na severní stěně je pod stropem velká plocha odpadlé omítky a zdiva. Otvorem je vidět do podkroví. Ze strany podkroví bylo v tomto místě zjištěno, že stropní trámy jsou v oblasti uložení na zdivu značně narušeny hmyzem i hnilobou. Dřevní hmotu lze odlamovat rukou a po stisknutí se drolí.

V meziprostoru mezi podlahou a podbitím bylo zjištěno značné množství rozložené dřevní hmoty. Zdivo je zde výrazně vykloněno směrem ven z budovy. Vzhledem ke ztrátě únosnosti napadených dřevěných prvků stropu a krovu došlo k přerozdělení sil. Stěny jsou kromě svislého zatížení zatěžovány i vodorovnou silou, která je vychyluje.



Obrázek 39: Degradace obvodového zdiva – exteriér



Obrázek 40: Degradace obvodového zdiva – exteriér



Obrázek 41: Degradace obvodového zdiva – interiér (jižní stěna)

2.3. Vodorovné nosné konstrukce

Stropní konstrukce je tvořena podhledem zavěšeným na konstrukci krovu, konkrétně na dřevěných vazných trámech, jak je popsáno v části 1.4.3. Vodorovné nosné konstrukce.

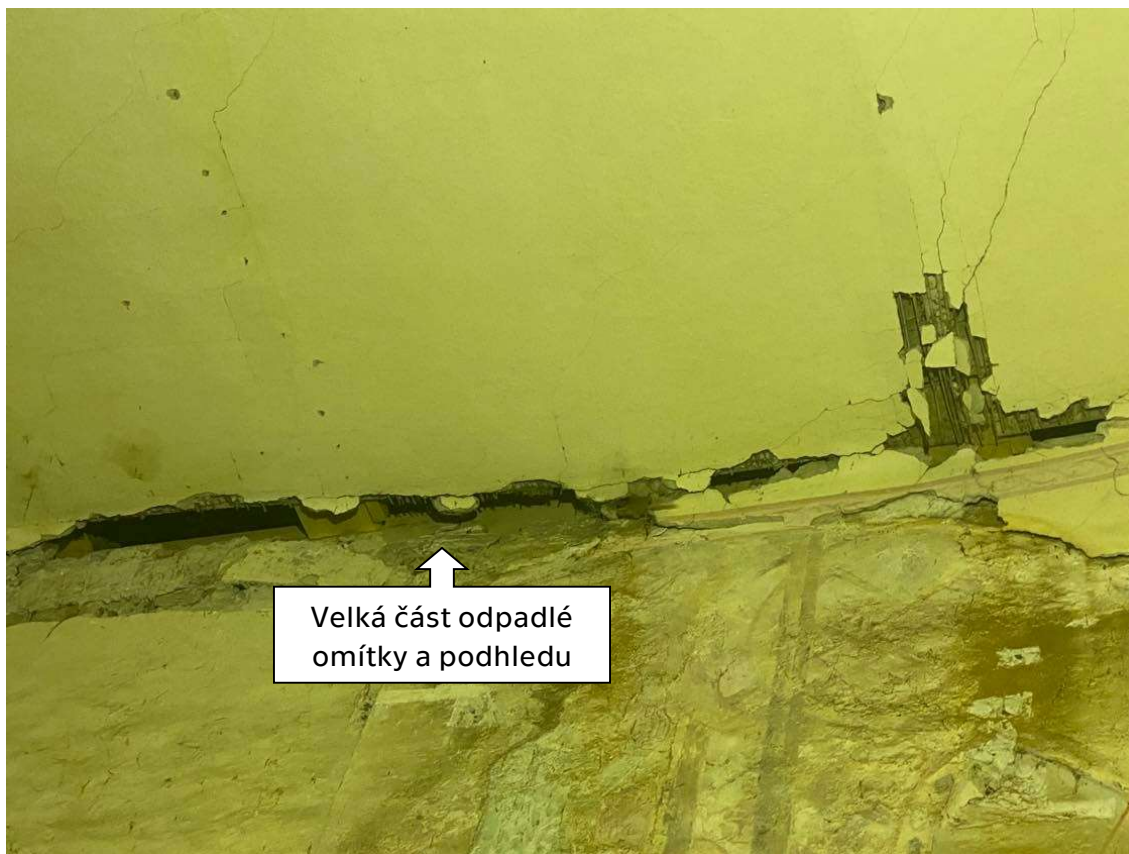
Bylo zjištěno značné poškození dřeva dřevokazným hmyzem a houbou hnědého tlení. Namátkovým zaměřením stropního podhledu byly zjištěny i výrazné výškové odchylky. Omítka stropu je v podélném směru rozdělena souvislými pásy trhlin, které jsou typické pro podhledy na vazných trámech.

V místě severní stěny je i výrazná trhlina pod poškozeným stropním trámem. Téměř souvislá trhlina je na přechodu stěny a stropu. Místy je omítka i odpadlá, zejména na západní stěně. Lze předpokládat, že vzhledem k viditelnému rozsahu napadení dřevokazným hmyzem a trvale nepříznivým vlhkostním poměrům budou poškozeny i ostatní trámy stropu.

Nad presbyteriem (kněžištěm) je provedena křížová klenba a v závěru zakončena dvěma výběžky, které tvoří podobu hvězdicové klenby. Klenby se na první pohled zdají jako dobře zachovalé a neporušené. Jediná viditelná porucha je na omítkách a malbě.



Obrázek 42: Pohled na severní stěnu – degradace v oblasti stropu



Obrázek 43: Degradace stropní konstrukce – severní stěna



Obrázek 44: Degradace stropní konstrukce [archiv]

2.4. Konstrukce krovu a střechy

Dochází k výraznému poškození dřeva vlivem dlouhodobého působení zvýšené vlhkosti. To se projevuje na vazbě krovu, která je značně nakloněna směrem k západní štítové stěně. Tesařské spoje jsou na několika místech uvolněné a některé středové sloupky jsou dokonce vytrženy z dlabu stropního trámu a visí volně ve vzduchu, zavěšeny na zbytku konstrukce krovu.

Nahnílé části krovu přiléhající k uložení na zdivu způsobily přerozdělení sil v konstrukci, což znamená, že krov bude pravděpodobně namáhat zdivo vodorovnými silami. Krov nad klenbou presbyteria je výrazně poškozen hnědou hnilobou, která postihla prakticky všechny prvky ležící nebo sousedící se zdivem. Některé krokve místy zcela chybí a byly neodborně nahrazeny prkny.

V posledním roce byla předchozí plechová krytina nahrazena dvojitým dřevěným šindelem (štípaný šindel – modřín), který dle historických pramenů byl původní použitou krytinou na kostele. S touto výměnou došlo také k odstranění dřevěného bednění pod plechovou krytinou a nahrazení bedněním novým. S novou střešní krytinou bylo také nutné provést novou hromosvodnou soustavu, která se také nacházela v havarijním stavu a některé zemnicí dráty byly stářím rozpojeny. S výměnou krytiny došlo i k obnově dešťových žlabů a svodů.

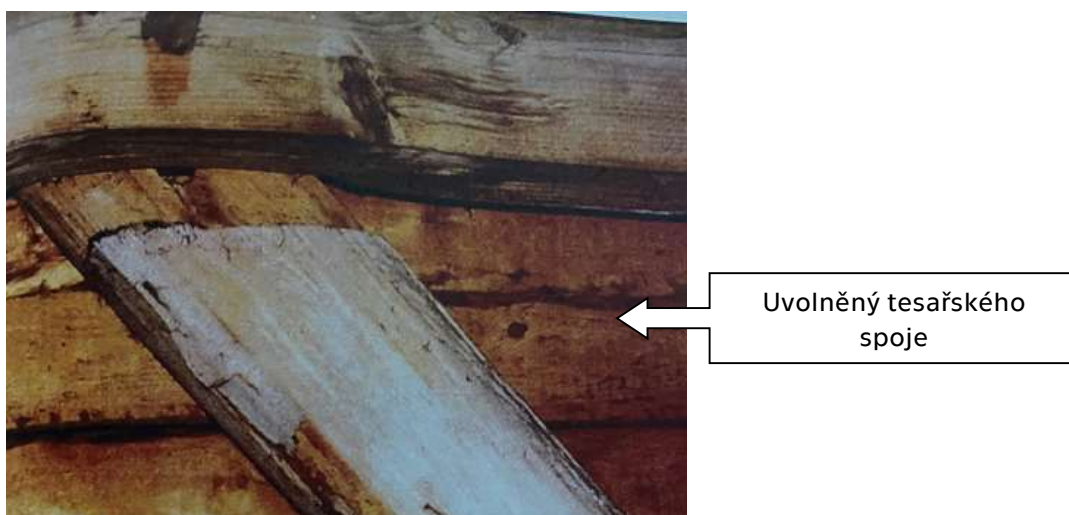


Naklonění krovu směrem
k západní štítové stěně

Obrázek 45: Konstrukce krovu – pohled na středový sloupek [archiv]



Obrázek 46: Konstrukce krovu [archiv]



Obrázek 47: Degradace dřevěných prvků krovu [archiv]



Obrázek 48: Degradace dřevěných prvků krovu [archiv]

2.5. Podlahy, omítky, výplně otvorů, schodiště

2.5.1. Podlahy

V rámci vizuální prohlídky interiéru jsem si povšimla, že podlahy, zejména v chrámové lodi, jsou v nepříliš dobrém stavu. Špatný stav zapříčiňuje hlavně zvýšená vlhkost, která je obecným problémem v interiéru kostela.

Konkrétně cementová dlažba, která tvoří nášlapnou vrstvu v celé chrámové lodi i presbyteriu, je hlavně u obvodových stěn zcela porušená. Trvalé působení zvýšené vlhkosti má za následek rozvolnění vazeb mezi jednotlivými dlaždicemi. Ostatní dlaždice jsou povrchově opotřebeny a vyžadují rozsáhlé opravy. Tento typ nášlapné vrstvy není vhodné požívat v místech se zvýšenou vlhkostí, ani v historicky významných objektech.



Obrázek 49: Zcela chybějící podlaha u obvodových stěn

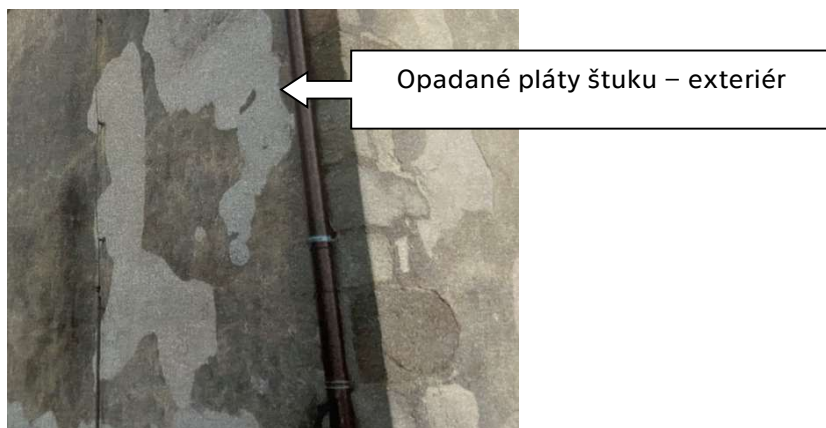


Obrázek 50: Povrchové opotřebení cementové dlažby

2.5.2. Fasáda, omítky a malby

Vzhledem k tomu, že vnější omítka kostela byla provedena v 70. letech minulého století, je důležité ověřit její současný stav a funkčnost. Kvůli významu, který kostel zaujímá jako kulturní památka, je nezbytné zohlednit přítomnost vzácných fresek v interiéru. Fresky jsou velmi citlivé na vlhkost, a proto je důležité zajistit, aby omítka byla dostatečně paropropustná a nepřispívala k vysoké vlhkosti v interiéru kostela. Z vizuální prohlídky je zřejmé, že na některých místech vnější fasády dochází k opadávání celých plátů štuky. Degradace omítky v exteriéru je patrná zejména v oblasti soklu, z důvodu vztlínající vlhkosti. Potom v místě střešní římsy, kvůli ostříkovaní srážkovou vodou.

Ve velmi špatném stavu se nachází vnitřní omítky a vzácné fresky, které jsou na mnoha místech už těžko rozlišitelné. Dle dostupných informací byly malby naposled restaurovány v roce 1911 v rámci novogotických úprav interiéru. Zásadním problémem, ovlivňující současný stav vnitřních omítek a maleb, je zavlhčení spodní částí zdiva vlivem vztlínající vlhkosti. Této skutečnosti nepomáhá ani nevhodně zvolená podlahová krytina v podobě cementové dlažby. Vysoká vlhkost zdí vede k aktivaci agresivních solí, jejich vylučování a rekrystalizaci na povrchu omítky. Tato skutečnost zapříčiňuje destrukci omítek po celém obvodu kostela. Podkladové omítky jsou ve značném rozsahu uvolněné od zdiva a hrozí destrukcí při jakémkoli mechanickém podnětu. Barevná vrstva u dolních částí stěn je zpráškovatělá, uvolňuje se od podkladu a opadává. Stav maleb a omítek v interiéru kostela lze v současnosti označit jako havarijní.



Obrázek 51: Degradace vnější omítky



Obrázek 52: Degradace vnější omítky



Obrázek 53: Degradace vnitřní omítky – značné poškození vnitřních maleb

2.5.3. Výplně otvorů

Vitrážová okna v chrámové lodi a v presbyteriu budou muset projít restaurátorskými úpravami. Nicméně v celkovém pohledu se zdají být poměrně zachovalá.

Problémy nastávaly u oken v úrovni podkroví, která byly v havarijním stavu. Konstrukce rámu a zasklení byly zcela narušené, což způsobovalo průnik vody do podkroví a zvyšovalo klimatické zatížení na prvky krovu. Proto došlo k výměně poškozených oken v rámci obnovy střešní krytiny, aby nedocházelo ke zhoršení stavu a potenciálnímu poškození dalších částí chrámu.



Obrázek 54: Zachovalé vitrážové okno – interiér



Obrázek 55: Zachovalé vitrážové okno – exteriér



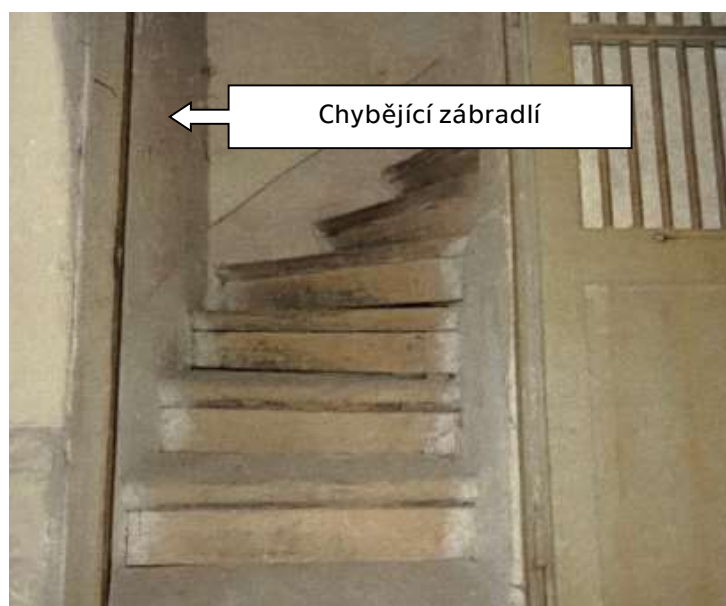
Obrázek 56: Vyměněná okna v rámci obnovy střechy

2.5.4. Schodiště

Samotná dřevěná konstrukce schodišťového ramene není zřejmě staticky porušena. Vizuální stránka dřevěných stupňů však není vyhovující. Schodišťové stupně jsou provedeny z neopracovaného dřeva a vykazují známku značného opotřebení. Schodiště je využíváno jako doplňkové. Není dominantou interiéru kostela, takže na jeho úpravu nebyla zřejmě brána zřetel. Schodiště by mělo být opatřeno zábradlím, které nyní chybí.



Obrázek 57: Dřevěné schodiště



Obrázek 58: Dřevěné schodiště

2.6. Souhrn nejzávažnějších zjištěných poruch

Určení stavu objektu je klíčové pro jakékoli stavební práce, a proto byl proveden stavebně-technický průzkum. Z tohoto průzkumu vyplývají následující nejzávažnější technické problémy: vliv zvýšené vlhkosti, průsak vody, dlouhodobé nevyužívání objektu, nedostatečná údržba a opotřebení. Tyto faktory mají negativní dopad na stav objektu a vyvolávají různé poruchy, které byly identifikovány.

Kromě toho bylo zjištěno, že některé stavební úpravy provedené v minulosti byly nevhodné a nepřispěly k udržení kvalitního stavu objektu. Tyto špatně provedené opravy se projeví jako další faktor zhoršující celkový technický stav objektu.

Konkrétně nejvíce postižené je obvodové zdivo ve spodní části, trémová dřevěná stropní konstrukce a také dřevěná konstrukce krovu. Tyto části objektu vyžadují nejvíce pozornosti a oprav, aby bylo zajištěno bezpečné a funkční užívání objektu. Celkově tedy stavebně-technický průzkum ukázal, že je nutné provést důkladné opravy a údržbu objektu, aby bylo zajištěno jeho dlouhodobé a bezproblémové užívání.

Před započítáním celkových stavebních úprav objektu se tedy nezbytně musí vyřešit hlavní příčina zvýšené vlhkosti. Nutností je návrh opatření k sanaci obvodového zdiva a odstranění plísní a hub. Tyto kroky jsou klíčové pro úspěšnou celkovou obnovu budovy.

3. Laboratorní průzkum – stanovení vlhkosti, chemismu zdiva a mikrobiologický průzkum

V kapitole 2.1. Základy je vysvětlena pravděpodobná příčina zvýšené vlhkosti zdiva v celém objektu. Skutečnost, že ve zdivu je zvýšená vlhkost, byla patrná na první pohled ze stavebně technického průzkumu, proto jsem se rozhodla provést v rámci své bakalářské práce laboratorní průzkum pro stanovení vlhkosti a chemismu obvodového zdiva.

3.1. Stanovení vlhkosti zdiva

Pro stanovení vlhkosti obvodového zdiva byla vybrána destruktivní, gravimetrická metoda. Tato metoda vychází z normy ČSN EN ISO 12570 a zároveň z normy ČSN EN 772-10.

Před provedením samotného odběru vzorků je nezbytné sledovat počasí týden předem, sledujeme teplotu a vlhkost vzduchu. Po tomto týdnu se provede odběr vzorků zdiva o hmotnosti 20–100 g.

Stanovení vlhkosti spočívá v měrné změně hmotnosti vzorku před a po procesu sušení. Proces sušení probíhá v laboratorní sušárně při teplotě 105-110 °C. Sušení probíhá po dobu 24 až 48 hodin. Teplota a doba sušení závisí na složení zkoumaného materiálu. [6]

3.1.1. Postup stanovení vlhkosti zdiva

Odebrání vzorků zdiva proběhlo v úterý 4.4. 2023 v ranních hodinách mezi 7. a 8. hodinou. Před samotným odebráním vzorků byly po dobu jednoho týdne sledovány klimatické podmínky, především teplota a vlhkost vzduchu. Během tohoto týdne bylo převážně zataženo až polojasno, s přeháňkami a nejvyšší průměrná rychlost větru v kraji Vysočina byla 17,7 km/h.

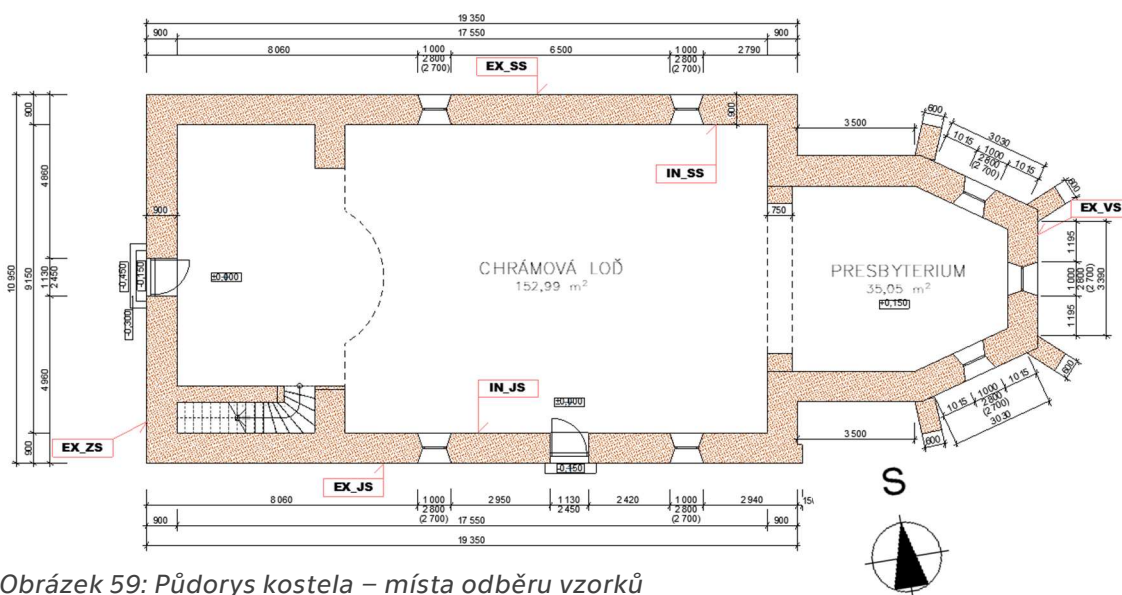
V následující tabulce jsou uvedeny hodnoty sledovaných klimatických podmínek v celém týdnu před odběrem vzorků. [7]

Stavebně technický průzkum a návrh sanačních opatření kostela sv. Kateřiny v Polné
4. Laboratorní průzkum – stanovení vlhkosti, chemismu zdiva a mikrobiologický průzkum

Datum	Minimální teplota	Maximální teplota	Relativní průměrná vlhkost vzduchu	Srážky
	[°C]	[°C]	[%]	[mm]
29.03.2023	-3,9	6,8	57	0
30.03.2023	3,2	12,4	77	7,4
31.03.2023	6,0	12,7	71	4,4
01.04.2023	5,8	13,0	57	1,4
02.04.2023	2,1	7,8	72	1,4
03.04.2023	-1,2	2,3	53	0
04.04.2023	-3,2	3,8	46	0

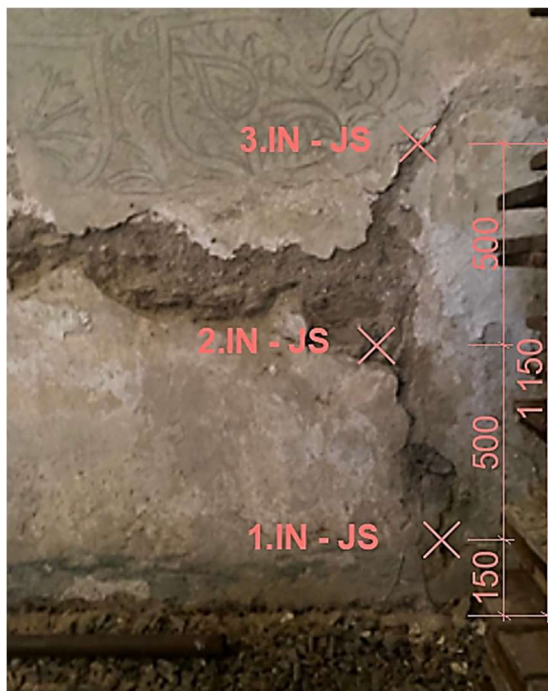
Tabulka 1: Sledované klimatické podmínky týden před odběrem vzorků

K odebrání vzorků došlo v úterý 4.4. 2023 přímo z chrámové lodi kostela na místech s nejvýraznějším výskytem vlhkosti. Odběr vzorků je proveden na základě půdorysu 1.NP (viz Obrázek 59), kde jsou tato místa vyznačena.



Obrázek 59: Půdorys kostela – místa odběru vzorků

Celkově bylo odebráno 18 vzorků zdiva s viditelným výskytem vlhkosti. Vzorky získané z interiéru kostela pochází pouze ze dvou odběrných míst. Odebrání vzorků bylo provedeno s co největší šetrností, aby nedošlo k mechanickému poškození vzácných maleb v interiéru kostela. Odběr proběhl ve třech výškách nad stávající podlahou a to ve 150 mm, dále v 650 mm a následně v 1 150 mm. Přesná místa jsou vyznačena na následujících obrázcích.

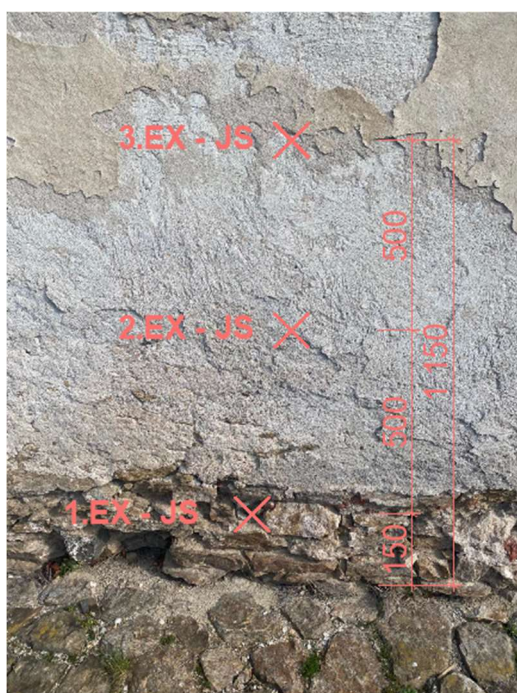


Obrázek 60: Interiér – jižní stěna

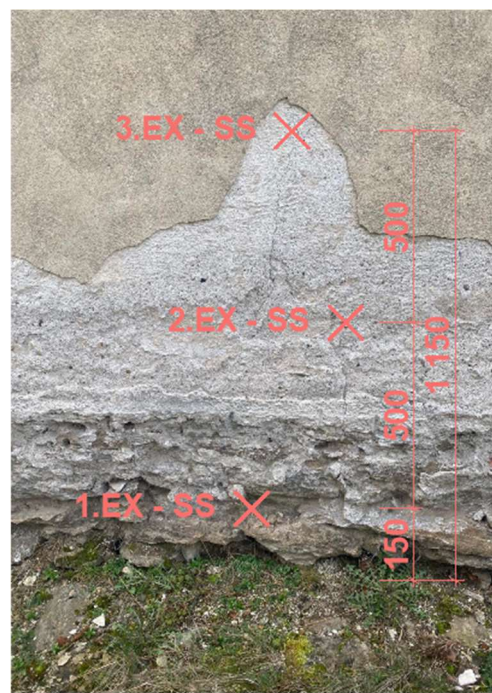


Obrázek 61: Interiér – severní stěna

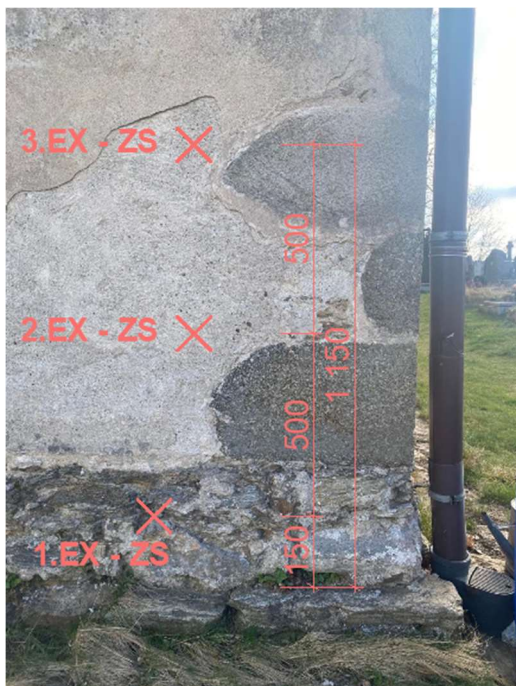
V exteriéru byl odběr proveden celkem ze čtyř míst, která jsou také vyznačena v půdorysu (Obrázek 59). V exteriéru bylo možné odebrat vzorky zdiva z každé obvodové stěny kostela. Odebrání proběhlo stejným způsobem jako v interiéru ve třech výškách nad terénem (150 mm; 650 mm; 1150 mm).



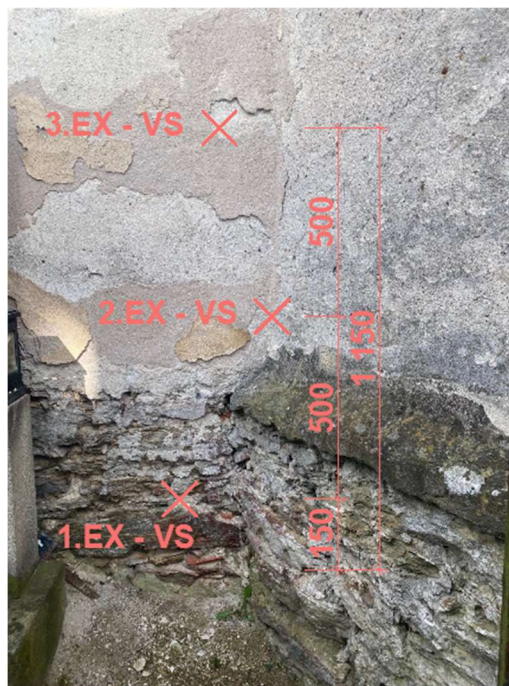
Obrázek 62: Interiér – jižní stěna



Obrázek 63: Interiér – severní stěna



Obrázek 64: Exteriér – západní stěna



Obrázek 65: Exteriér – východní stěna

Vzorky zdiva byly odděleny od stěn pomocí kladívka a ploché ocelové špachtle a umístěny do igelitových sáčků s uzavíratelným zipovým systémem. Odběr proběhl v brzkých ranních hodinách a vzorky byly neprodleně dopraveny do laboratoře pro chemické a mikrobiologické testování na katedře pozemních staveb ČVUT v Praze.

V laboratoři bylo nejprve nutné popsat a označit příslušný počet hliníkových misek. Poté následovalo vážení prázdných misek a zaznamenání těchto hodnot. Následně se misky naplnily příslušnými vzorky a vážení probíhalo znovu, teď už s plnými miskami. Váhové hodnoty byly opět zapsány a po odečtení hmotností samotných misek byla zjištěna počáteční hmotnost vzorků před sušením v laboratorní sušárně.

Podle příslušného materiálu vzorků byla určena vhodná teplota pro jejich sušení. U vzorků se jedná o materiál, jehož struktura se nemění, takže na základě normy ČSN EN ISO 12570 by mělo sušení probíhat při teplotě 105 °C po dobu 24 až 48 hodin. Hliníkové misky se vzorky byly poté umístěny do laboratorní sušárny (viz Obrázek 67). Vzorky se sušily při teplotě 105 °C po dobu 48 hodin. Laboratoř katedry pozemních staveb fakulty stavební ČVUT v Praze poskytla laboratorní vybavení potřebné k analýze vlhkosti zdiva.

Po vysušení vzorků v sušárně následovalo jejich opětovné zvážení i s miskami na laboratorní digitální váze. Zjištěné hodnoty se po odečtení hmotnosti jednotlivých misek dosadily do následujícího vzorce společně s hodnotami hmotností vzorků před vysušením a pomocí vzorce byla vypočtena vlhkost každého vzorku. (viz kapitola 3.1.2. Vyhodnocení vlhkosti zdiva)

$$w = \frac{m - m_0}{m_0} \times 100 [\%]$$

Rovnice 1: Určení hmotnostní vlhkosti dle normy ČSN EN ISO 12570

w = hmotnostní vlhkost [%]

m = hmotnost před vysušením [g]

m₀ = hmotnost po vysušení [g]



Obrázek 66: Nevysušené vzorky v hliníkových miskách umístěné do sušárny

Stavebně technický průzkum a návrh sanačních opatření kostela sv. Kateřiny v Polné
4. Laboratorní průzkum – stanovení vlhkosti, chemismu zdiva a mikrobiologický průzkum



Obrázek 67: Laboratorní sušárna



Obrázek 68: Vzorok po vysušení – exteriér



Obrázek 69: Vzorok po vysušení – interiér

3.1.2. Vyhodnocení vlhkosti zdiva

Po dokončení měření vlhkosti zdiva byla získaná data vyhodnocena a zaznamenána v tabulce a síťovém grafu. Stupeň vlhkosti zdiva byl stanoven v souladu s normou ČSN P 73 0610.

Stupeň vlhkosti zdiva	Vlhkost zdiva
	[% hm.]
Velmi nízká	wh < 3,0 %
Nízká	3,0 % ≤ wh < 5,0 %
Zvýšená	5,0 % ≤ wh < 7,5 %
Vysoká	7,5 % ≤ wh < 10,0 %
Velmi vysoká	10,0 % < wh

Tabulka 2: Klasifikace vlhkosti zdiva dle ČSN P 73 0610

Vyhodnocení vlhkosti zdiva dle ČSN P 73 0610								
Místo odběru	Vzorek	Výška odběru	Materiál	Hmotnost misky	Hmotnost vzorku bez misky [g]		Vlhkost	Vyhodnocení vlhkosti dle ČSN P 73 0610
		[mm]		[g]	Před sušením	Po sušení	[% hm.]	
IN_JS	1.	150	Zdivo	1,61	35,90	32,64	9,99	Vysoká
	2.	650	Zdivo	1,57	41,80	39,44	5,98	Zvýšená
	3.	1 150	Zdivo	1,59	33,73	32,54	3,66	Nízká
IN_SS	1.	150	Zdivo	8,27	86,91	78,65	10,50	Velmi vysoká
	2.	650	Zdivo	8,21	76,92	70,12	9,70	Vysoká
	3.	1 150	Zdivo	1,59	28,51	26,24	8,65	Vysoká
EX_JS	1.	150	Zdivo	1,57	41,55	37,56	10,62	Velmi vysoká
	2.	650	Zdivo	1,57	25,54	24,02	6,33	Zvýšená
	3.	1 150	Zdivo	1,55	23,22	22,49	3,25	Nízká
EX_SS	1.	150	Zdivo	1,57	46,85	41,61	12,59	Velmi vysoká
	2.	650	Zdivo	1,60	37,43	33,87	10,51	Velmi vysoká
	3.	1 150	Zdivo	1,61	59,01	54,23	8,81	Vysoká
EX_ZS	1.	150	Zdivo	1,56	25,24	22,62	11,58	Velmi vysoká
	2.	650	Zdivo	1,56	23,22	21,49	8,05	Vysoká
	3.	1 150	Zdivo	1,56	28,89	27,45	5,25	Zvýšená
EX_VS	1.	150	Zdivo	8,37	56,11	51,98	7,95	Vysoká
	2.	650	Zdivo	1,61	34,75	32,45	7,09	Zvýšená
	3.	1 150	Zdivo	1,56	36,66	34,95	4,89	Nízká

Tabulka 3: Celkové vyhodnocení vlhkosti zdiva dle ČSN P 73 0610

Zkratky:

IN – interiér kostela

EX – exteriér kostela

JS – jižní stěna

SS – severní stěna

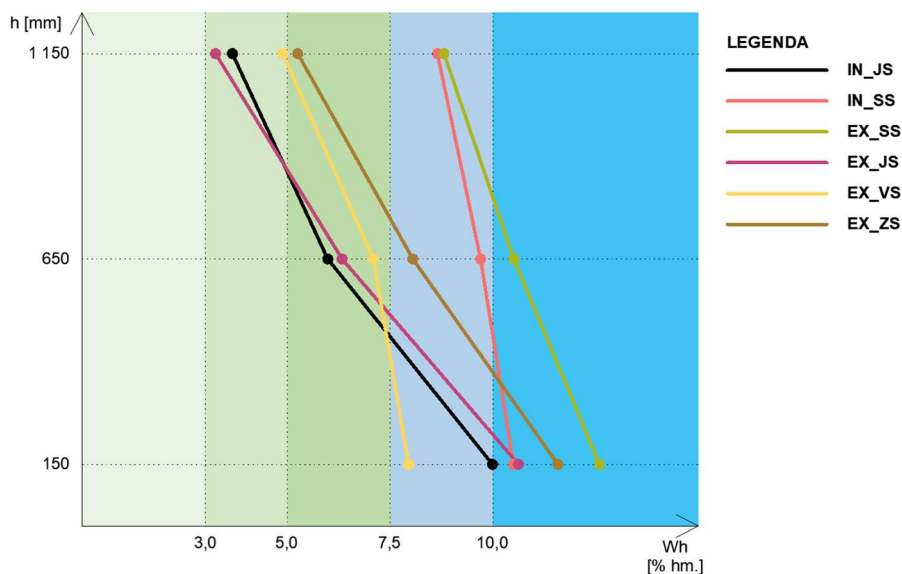
ZS – západní stěna

VS – východní stěna

Ze zjištěných hodnot u jednotlivých vzorků plyne, že vlhkost zdiva je vysoká až velmi vysoká. Výsledky hmotnostní vlhkosti u odebraných vzorků se pohybují mezi 7,5 % až 10 %, což odpovídá vysoké vlhkosti dle ČSN P 73 0610. U některých vzorků přesáhla hodnota hmotnostní vlhkosti 10 %, což je podle stejné normy klasifikováno jako velmi vysoká vlhkost. S rostoucí výškou místa odběru se vlhkost zdiva postupně snižuje. U vzorků odebraných nejvýše nad úrovní terénu se dostáváme na hodnoty zvýšené nebo nízké vlhkosti.

Ve stanovení vlhkosti zdiva bylo zjištěno, že zejména vzorky (EX_SS, IN_SS) odebrané ze severní stěny chrámové lodi kostela vykazují velmi vysokou vlhkost. Tento výsledek odpovídá předpokladům, které byly stanoveny ještě před provedením vlhkostní analýzy. Ostatní stěny kostela vykazují vysokou vlhkost, což bylo také očekáváno vzhledem k provedené vizuální prohlídce a viditelným degradacím zdiva, které jsou způsobené výskytem zvýšené vlhkosti. Výsledky vlhkostní analýzy mohou být částečně ovlivněny poměrně deštivým počasím během týdne před odběrem vzorků. Vysoká vlhkost zdiva přispívá k řadě negativních dopadů na stavbu. Zvýšená vlhkost mimo jiné podporuje růst plísní a mikroorganismů, které mohou ohrožovat funkci stavby, a především zdraví jejich uživatelů.

Ze získaných výsledků lze tady konstatovat, že vysoká vlhkost zdiva kostela představuje závažný problém, který vyžaduje co nejdůkladnější nápravu. Pokud tento problém nebude řešen, může to vést ke zhoršení celkové bezpečnosti kostela a způsobit další degradace zdiva. Dále na základě výsledků lze předpokládat, že příčinou zvýšené vlhkosti zdiva je vzlínající voda, pravděpodobně s vodou odstříkující. Vlhkost zdiva klesá s výškou odběru vzorků, což potvrzuje předpoklad vzlínající vlhkosti. Vzhledem k natočení objektu vůči světovým stranám bylo předpokládáno, že severní stěna objektu obsahuje největší hmotnostní procento vlhkosti. Tento předpoklad dokazovaly i nejvíce viditelné degradace na severní stěně chrámové lodi kostela. Vlhkostní analýza potvrdila toto očekávání. U jižní stěny objektu, kde stupeň vlhkosti zdiva rovněž dosáhl klasifikace velmi vysoký, byla patná přítomnost plísní. Z tohoto důvodu byl následně proveden odběr vzorků i pro mikrobiologickou analýzu.



Obrázek 70: Graf – Závislost vlhkosti zdiva na výšce odběru vzorků

3.2. Stanovení chemismu zdiva

Během stanovení chemismu byly zkoumány parametry zasolení zdiva zahrnující koncentrace chloridů, amoniaku, dusičnanů a síranů, a také hodnota pH u dvou vybraných vzorků, které byly označeny dle místa odběru jako 1.EX_SS a 1.EX_VS.

3.2.1. Postup stanovení chemismu zdiva

Stanové vzorky zdiva byly nejdříve pomocí kladiva rozdraceny do zrnitosti hrubšího písku. Následně se rozdracené vzorky umístily do Erlenmeyerovy baňky a pomocí kalibrované digitální váhy byla odvážena hmotnost každého vzorku přibližně 2 g, přičemž jsme se odečetli hmotnost Erlenmeyerovy baňky (viz Obrázek 71).

Poté jsme v odměrném válci naměřili 100 ml destilované vody a vodu přidali do Erlenmeyerových baněk ke každému vzorku. Po jemném promíchání vzorku s destilovanou vodou bylo hrdlo obou baněk obaleno a uzavřeno alobalem. Následovalo vložení baněk do ultrazvukové lázně po dobu přibližně 5 minut a baňky byly zatíženy gumovými kroužky.

Po vyjmutí z ultrazvukové lázně se vzorky nechaly 24 hodin odstát kvůli rozvířeným částicím a vyluhovat, abychom získali roztok bez zákalu potřebný k testování. Vodný roztok u vzorku 1. EX-SS zůstal i po 24 hodinách mírně zakalený, proto je pravděpodobné, že tento zákal ovlivnil jednotlivé výsledky zasolení zdiva.



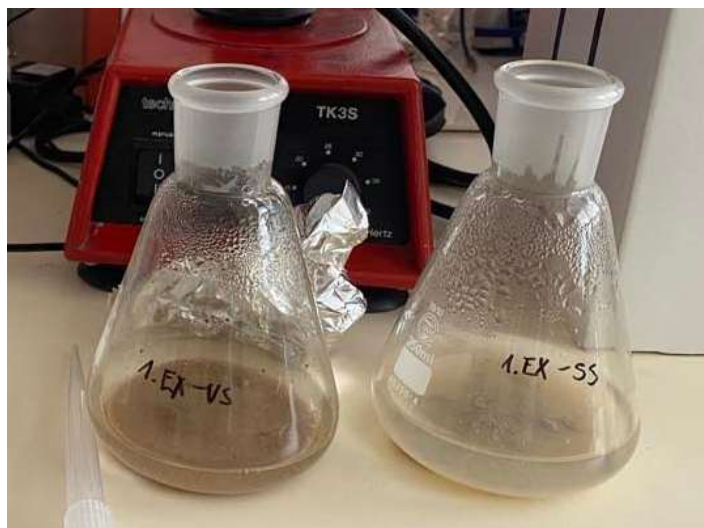
Obrázek 71: Erlenmeyerovy baňky s cca 2 g vzorku



Obrázek 72: Vzorky se 100 ml destilované vody



Obrázek 73: Ultrazvuková lázeň



Obrázek 74: Vzorky po 24 hodinách

Vodný roztok jsme odebrali pomocí automatické pipety do čistých Erlenmeyerových baněk a poté použili pro určení zasolení zdiva a stanovení hodnoty pH. Při provádění jednotlivých zkoušek byly dodržovány manuály výrobců testovacích sad. Provedené testování bylo umožněno díky zapůjčení laboratorních pomůcek a sad chemikálií, které poskytla laboratoř katedry pozemních staveb fakulty stavební ČVUT v Praze. Mezi laboratorní pomůcky potřebné ke stanovení zasolení zdiva patřil fotometr, Erlenmeyerovy baňky, zkumavky, automatická pipeta atd.



Obrázek 75: Vodný roztok



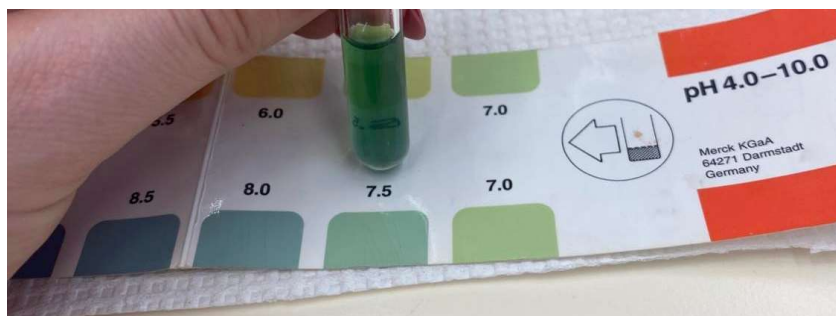
Obrázek 76: Fotometr pro stanovení zasolení

Stanovení hodnoty pH

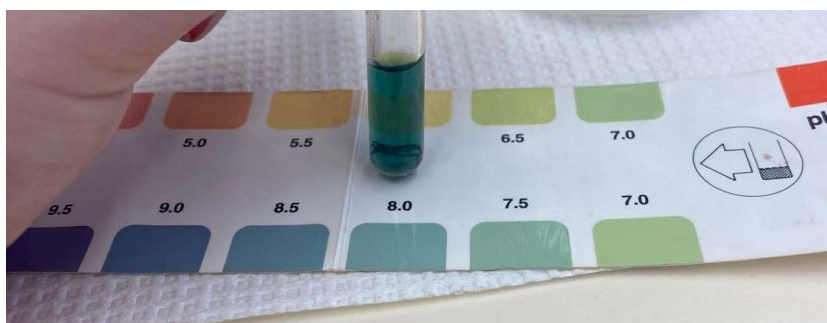
Hodnota pH obou vzorků byla stanovena na základě kolorimetrické metody. Acidobazický indikátor pH, který se přidal do vodného roztoku, zareagoval změnou barvy na základě prostředí pH. Vzniklé zabarvené vzorky byly porovnány s kolorimetrickou stupnicí, která byla součástí balení acidobazického indikátoru pH. Výsledné hodnoty pH jsou uvedeny v části 3.2.2. Výsledky stanovení chemismu zdiva.



Obrázek 77: Kolorimetrická stupnice a acidobazický indikátor pH



Obrázek 78: Stanovení hodnoty pH u vzorku 1.EX-SS



Obrázek 79: Stanovení hodnoty pH u vzorku 1.EX-VS

Amoniak NH_4^+

V případě stanovení výskytu amoniaku ve vodném roztoku se jedná o fotometrickou metodu. Amoniakální dusík ($\text{NH}_4\text{-N}$) se vyskytuje v podobě amonných iontů a částečně jako amoniak. Tyto formy jsou v rovnováze závislé na pH roztoku. V silně alkalických roztocích se $\text{NH}_4\text{-N}$ téměř výhradně nachází jako amoniak, který následně reaguje s chromany, čímž vzniká monochloramin. Tento produkt dále reaguje s thymolem, čímž vzniká modrý indofenol. Koncentrace modrého indofenolu se poté stanovuje pomocí fotometrické metody. Tato metoda je analogická s EPA 350.1, APHA 4500- NH_3 D a ISO 7150/1.

U zkoumaných vzorků byl zjištěn nulový výskyt amoniaku viz. 3.2.2. Výsledky stanovení chemismu zdiva.

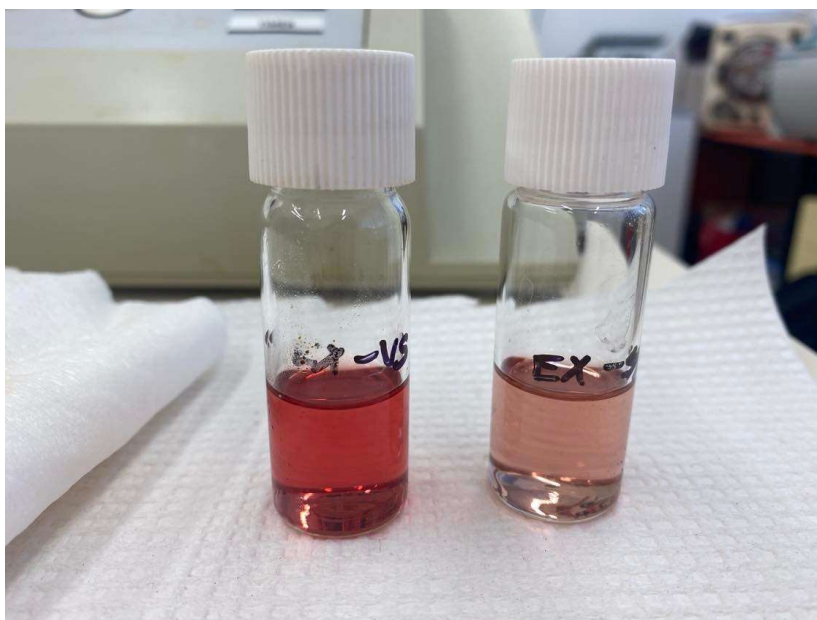
Chloridy Cl^-

Výskyt chloridů ve zkoumaných vzorcích byl stanoven na základě fotometrické metody. Tato metoda se zakládá na tom, že chloridové ionty reagují s thiokyanátem rtuťnatým, přitom vytvářejí mírně disociovaný chlorid rtuťnatý. Uvolněný thiokyanát reaguje se železitými ionty a vytváří červený thiokyanát železitý. Metoda je analogická a s EPA 325.1 a US Standard Methods 4500-CTE. Výsledky metody jsou uvedeny v části 3.2.2. Výsledky stanovení chemismu zdiva.

Dusičnany NO_3^-

V koncentrované kyselině sírové dojde k reakci iontů dusičnanů s derivátem kyseliny benzoové, což má za následek vznik červeně zbarvené sloučeniny. Koncentraci této sloučeniny lze stanovit fotometricky za použití fotometru.

Před samotným měřením byla provedena orientační zkouška s použitím indikátorových proužků na přítomnost dusičnanů v připravených vzorcích. U vzorku 1. EX – VS byla ještě před použitím fotometru znatelná vyšší přítomnost dusičnanů než u vzorku 1. EX-SS, což se poté potvrdilo i při fotometrické metodě viz. 3.2.2. Výsledky stanovení chemismu zdiva.



Obrázek 80: Sloučeniny před použitím fotometrické metody

Sírany SO_4^{2-}

V roztoku dojde k reakci iontů síranů s ionty baria. Reakce má za následek vznik mírně rozpustného síranu barnatého, který způsobuje zákal roztoku. Tento zákal lze stanovit za použití fotometru.

Před samotným měřením byla provedena orientační zkouška na přítomnost síranů v připravených vzorcích pomocí indikátorových proužků. Výsledné hodnoty přítomnosti síranů ve zdivu jsou uvedeny v části 3.2.2. Výsledky stanovení chemismu zdiva.

3.2.2. Výsledky stanovení chemismu zdiva

Klasifikace salinity zdiva probíhá dle normy ČSN P 73 0610. Pro klasifikaci salinity zdiva se bere v úvahu koncentrace síranů, chloridů a dusičnanů v materiálu. Tyto hodnoty jsou udávány buď jako procento hmotnostního obsahu každé soli, nebo jako množství soli v miligramech na gram vzorku stavebního materiálu, nebo na 10 gramů (100 gramů) vzorku. Salinita zdiva se pak ohledně možných škodlivých účinků klasifikuje podle následující tabulky.

Stupeň zasolení zdiva	Obsah soli v mg/g vzorku a v procentech hmotnosti					
	Chloridy		Dusičnany		Sířany	
	mg/g	% hmotnost	mg/g	% hmotnost	mg/g	% hmotnost
Nízký	< 0,75	< 0,075	< 1,0	< 0,1	< 5,0	< 0,5
Zvýšený	0,75 až 2,0	0,075 až 0,20	1,0 až 2,5	0,1 až 0,25	5,0 až 20	0,5 až 2,0
Vysoký	2,0 až 5,0	0,20 až 0,50	2,5 až 5,0	0,25 až 0,50	20 až 50	2,0 až 5,0
Velmi vysoký	> 5,0	> 0,50	> 5,0	> 0,50	> 50	> 5,0

Tabulka 4: Klasifikace zasolení dle ČSN P 73 0610

Vyhodnocení salinity odebraných vzorků									
Vzorek	Hmotnost	Chloridy		Amoniak		Dusičnany		Sířany	
	[g]	[mg/l]	[mg/g]	[mg/l]	[mg/g]	[mg/l]	[mg/g]	[mg/l]	[mg/g]
1.EX-SS	2,06	6,9	0,33495	0	0	8	0,38835	32	1,5534
1.EX-VS	2,08	6,8	0,32692	0	0	30,6	1,47115	45	2,16346

Tabulka 5: Vyhodnocení chemismu

Stanovení hodnoty pH	
Vzorek	Hodnota pH
1.EX-SS	7,5
1. EX-VS	8,0

Tabulka 6: Vyhodnocení hodnoty pH

U vybraných vzorků zdiva se nepřepokládalo zvýšené nebo vysoké množství chloridů z důvodu poměrně velké vzdálenosti objektu od pozemních komunikací, jejichž ošetřování v zimním období může způsobit vysoký obsah chloridů ve zdivu. U vybraných vzorků vyšel obsah chloridů v nízkých hodnotách.

Stupeň zasolení zdiva dusičnany u vzorku 1.EX-SS vyšel nízký. Avšak u druhého odebraného vzorku 1. EX-VS se obsah dusičnanů ve zdivu ukázal jako zvýšený. Tuto skutečnost nejspíš způsobila pronikající vzlínající voda s vyšším

obsahem dusičnanů z důvodu blízkosti hrobů u východní stěny kostela. Zvýšené množství dusičnanů zapříčiňuje rozklad organických látek a holubí trus.

Původní hypotéza, že se ve zdivu bude vyskytovat vyšší množství síranů se nepotvrdila. Vysoký obsah síranů ve zdivu mohou způsobovat různé faktory, jako je znečištění ovzduší, mineralizace spodní vody, výroba stavebních hmot a okolní zemědělská činnost. Avšak, jak se později ukázalo, tato hypotéza nebyla potvrzena, což znamená, že zdivo obsahuje běžné množství síranů.

Z výsledků zasolení zdiva plyne, že zkoumané vzorky obsahují minimální množství síranů, chloridů a nízké až zvýšené množství dusičnanů. Na základě těchto výsledků není nutné v rámci návrhu sanačních opatření přijímat jakákoliv řešení k odstranění těchto chemických látek. S výsledky úzce souvisí i skutečnost, že rozsáhlé degradace soklového a obvodového zdiva kostela jsou způsobeny zvýšenou vlhkostí, a ne zasolením zdiva. Při vizuálním průzkumu degradovaných částí zdiva nebyly viditelné výluhy, vykrystalizované soli ani další změny způsobené zasolením zdiva.

3.3. Mikrobiologický průzkum zdiva

Pro podrobné zkoumání odolnosti stavebních materiálů vůči mikroorganismům se postupuje podle norem ČSN 72 4310, ČSN 67 3095 a ČSN 91 7825, které stanovují specifické požadavky na odolnost materiálů proti mikroorganismům. Jednotlivé kroky a experimentální podmínky jsou stanoveny po konzultaci s odborným pracovníkem laboratoře a pro identifikaci mikroorganismů se používá optický mikroskop.

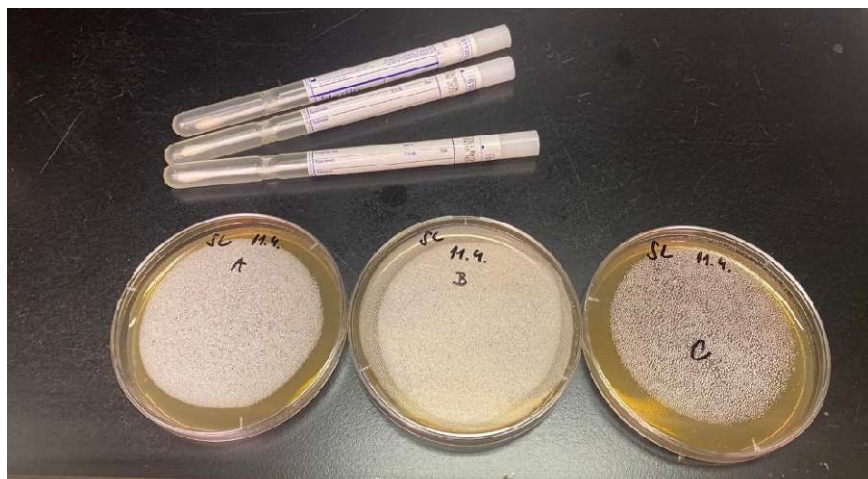
Přítomnost biologických faktorů, jako jsou plísně, bakterie a další mikroorganismy, může být způsobena různými vlivy. Jedním z nejčastějších vlivů je vysoká vlhkost v prostorách budov, která vytváří ideální podmínky pro růst mikroorganismů. Biologická znečištění jsou nebezpečná pro lidské zdraví a obecnou hygienu a také mohou být příčinou degradací materiálů. Mikroorganismy mohou způsobovat alergické reakce, infekce a další zdravotní problémy. Proto je důležité, aby byla všechna biologická znečištění v budovách řádně identifikována a odstraněna pomocí vhodných prostředků a postupů údržby.

3.3.1. Postup mikrobiologického průzkumu

Ze západní a jižní stěny chrámové lodi kostela byly odebrány vzorky mikroorganismů k laboratorní analýze a určení druhu. Odběr proběhl dne 11.4. 2023 v ranních hodinách za pomoci speciálních pomůcek poskytnutých laboratoří katedry pozemních staveb na fakultě stavební ČVUT. Tento průzkum může poskytnout užitečné informace o typu mikroorganismů, které se vyskytují na zdivu kostela, což umožní vyvinout účinné řešení na ochranu kostela a zachování jeho krásy a historické hodnoty.

Provedení mikrobiologické analýzy je klíčové pro identifikaci a diagnostiku mikroorganismů. Pro zajištění přesných výsledků je důležité použít vhodné prostředí pro růst a vývoj mikroorganismů. V této souvislosti byla část odebraného vzorku umístěna na sterilní Petriho misku s agarovým médiem, které bylo speciálně navrženo ke stimulaci růstu plísní, řas a mechů. Toto agarové médium se skládá z několika složek, včetně bakteriologického agarového gelu, sladidového extraktu, peptonu a destilované vody. Aby bylo možné agarové médium správně použít, musí být směs sladového roztoku nejprve zahřátá a sterilizovaná po dobu 25 minut při teplotě 120°C. Poté se připravená směs nalije do sterilní Petriho misky a nechá se zchladnout na pokojovou teplotu. Následně se na agarové médium aplikuje část odebraného vzorku, aby mohl růst a vývoj mikroorganismů být pozorován a analyzován.

Pro správný vývoj a růst mikroorganismů z připravených vzorků je důležité zajistit vhodné podmínky, proto se vzorky vložily do biologického termostatu udržujícího teplotu 25 °C. Vzorky zde byly umístěny po dobu 14 dnů a následně dále analyzovány.



Obrázek 81: Vzorky před vložením do biologického termostatu



Obrázek 82: Vzorky mikroorganismů po 14 dnech

Po 14 dnech se přistoupilo k další analýze narostlých mikroorganismů pod laboratorním mikroskopem. K dalšímu zkoumání bylo nutné si nejprve připravit vzorek pod mikroskop. Pro tento účel bylo použito podložní sklíčko, na které se aplikovala jedna kapka destilované vody. Pomocí předem sterilizované mikrobiologické jehly se odebral vzorek narostlých mikroorganismů a přenesl se do kapky destilované vody na podložní sklíčko. Celý proces přípravy vzorku probíhal pod laboratorní digestoří, aby se minimalizovalo riziko kontaminace. Vzorek se potom zaklopil krycím sklíčkem a vložil se pod mikroskop k dalšímu zkoumání a určení typu plísní, které se vzorcích vyskytovaly.

Kromě toho byly vzorky také prozkoumány v Petriho misce, aby se zkontrolovalo, zda nebyly opomenuty žádné druhy plísní. Tento proces poskytuje další jistotu, že byla provedena kompletní identifikace všech druhů plísní v daném vzorku.



Obrázek 83: Laboratorní optický mikroskop

3.3.2. Výsledky mikrobiologického průzkumu

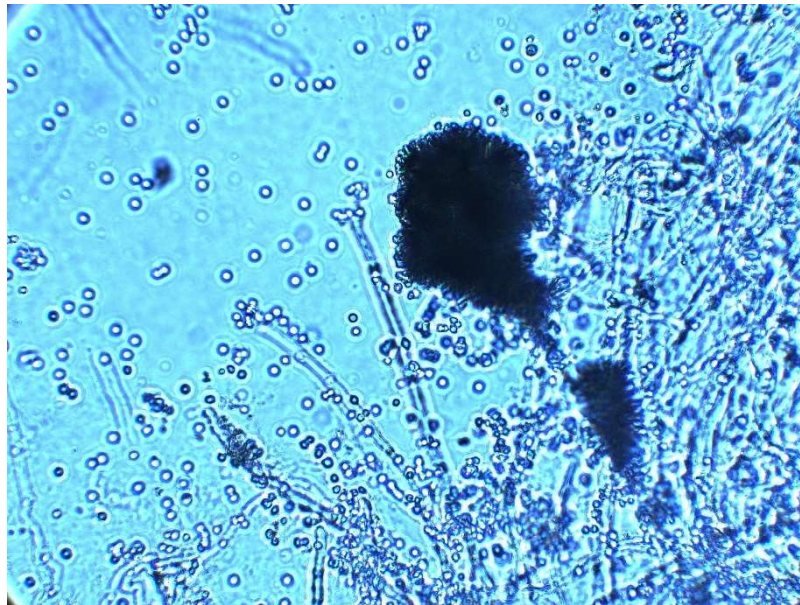
Za pomoci zkušené laboratorní pracovnice byly vzorky pečlivě analyzovány a jednotlivé části identifikovány na základě specifických charakteristik jednotlivých plísní.

V odebraných vzorcích se zjistila přítomnost dvou různých rodů plísní, konkrétně se jedná o *Aspergillus sp.* a *Mucor sp.* Pro úplnou identifikaci druhu plísní by bylo nutné provést další vyhodnocení odebraných vzorků pomocí molekulárně biologických metod.

Aspergillus sp.

Rod *Aspergillus* zahrnuje širokou skupinu plísní, které jsou rozšířené v půdě, vodě a ovzduší. Tyto plísně se podílejí na rozkladu organické hmoty, ale mohou také být parazity pro živočichy nebo člověka. Makroskopicky se nejčastěji vyskytují jako sametové zelené nebo šedo-zelené až šedo-černé porosty, přičemž některé druhy mohou mít odlišné zbarvení. Některé druhy *Aspergillus* produkují toxiny,

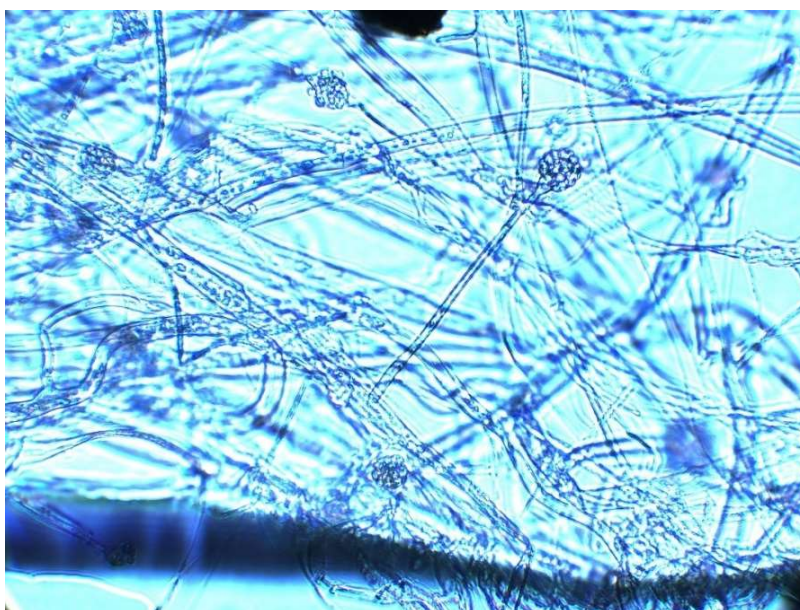
jako jsou například aflatoxiny, které jsou karcinogenní a mohou poškozovat játra.
[8]



Obrázek 84: Mikroskopický snímek – *Aspergillus sp.*

Mucor sp.

Rod *Mucor* zahrnuje asi 40 druhů plísní patřících do čeledi Mucoraceae. Tyto druhy se často vyskytují v půdě, trávicím traktu živočichů, na povrchu rostlin, v rozkládající se rostlinné hmotě a také při procesu biosorpce oxidu železa. Typické kolonie tohoto druhu hub jsou rychle rostoucí a mají bílou až béžovou nebo šedou barvu. Na kultivačním médiu se mohou rozrůst do výšky několika centimetrů. [9]



Obrázek 85: Mikroskopický snímek – *Mucor sp.*

Výskyt hub a plísní v interiéru kostela představuje závažný problém. Tyto mikroorganismy potřebují k růstu především zvýšenou vlhkost, a proto se nejčastěji vyskytují v místech s narušenou nebo nedostatečnou hydroizolací, nebo špatným větráním, kde se hromadí vlhkost ve zdivu i ve vzduchu. Jejich přítomnost v interiéru kostela může mít negativní dopad na zdraví uživatelů.

Plísně a houby jsou schopny degradovat organickou hmotu, což může mít za následek poškození materiálů. Pokud není z objektu odstraněna vysoká vlhkost, produkují navíc mikroskopické spory, které mohou zůstat aktivní po mnoho let a při vdechování mohou způsobit zdravotní problémy, zejména u osob s alergiemi nebo oslabenou imunitou.

4. Návrh sanačních opatření

Sanační metody jsou navrženy pro dlouhodobou ochranu objektu před jeho postupnou degradací a zachování jeho původního rázu a charakteru. Všechny sanační práce by měly být prováděny s ohledem na památkovou ochranu objektu. Záměrně jsou navržena opatření, která se snaží minimalizovat velké zásahy do konstrukcí. Během oprav bude objekt obnoven do svého původního stavu, který byl narušen neohledupnými zásahy provedenými v minulých letech, které nebraly ohled na jeho historickou hodnotu a jedinečnost.

Následující kapitoly se zabývají zejména navržením řešení degradací způsobených zvýšenou vlhkostí. Dále se práce zaměřuje na popis již provedených sanačních opatření, která byla realizována v rámci probíhající stavební obnovy kostela. Zvláštní pozornost je věnována výměně střešní krytiny a stavební obnově historického krovu, který představuje jednu z nejvýznamnějších částí konstrukce kostela a podtrhuje jeho jedinečnou hodnotu. Kromě podrobného popisu uvedených sanací, jsou v práci rovněž uvedena další navrhovaná sanační opatření, která jsou popsána v následujících odstavcích.

Znatelné poškození dřevěného schodiště v interiéru kostela vyžaduje pozornost zejména z hlediska nevyhovujících a degradovaných schodišťových stupňů. V rámci stavební obnovy objektu dojde k jejich nahrazení za nové dřevěné stupně stejného druhu a rozměrů. U schodišťového ramene musí být rovněž doplněno chybějící zábradlí z důvodu bezpečnosti.

Nosné kamenné obvodové zdivo z hlediska jeho statického působení splňuje svoji funkci dostatečně. Trhliny statického charakteru se na objektu nevyskytují. Viditelné známky degradace omítek v interiéru a exteriéru způsobuje zvýšená vlhkost v objektu. Po vyřešení problému vysoké vlhkosti ve zdivu dojde ke stavební obnově exteriérové fasády. Náletová zeleň zejména v oblasti soklového zdiva bude odstraněna. Degradované omítky budou opraveny (v případě potřeby zpevnit vápennou vodou) a doplněny rovněž vápennými omítkami. Zdivo bude přespárováno za použití vhodných stavebních materiálů – např. vápenná malta s trasem. Degradované omítky budou odstraněny a znovu obnoveny. Zdivo bude znovu omítnuto tak, aby byla zachována difuzní otevřenost fasády objektu. Využití

vápna má navíc za následek dezinfekci objektu, která je zde z důvodu přítomnosti řas a hub vhodná.

Obnova vnitřních fresek a maleb se skládá z náročného a citlivého procesu, který začíná zjištěním míry degradace těchto uměleckých děl. Po vypracování analýzy následuje výběr vhodných metod pro restaurování maleb a fresek. Tyto způsoby obnovy určí zkušený restaurátor historických maleb. Kromě restaurování maleb a fresek v interiéru kostela dojde k obnově dalších prvků, jako je oltář, varhany a další dekorativní prvky kostela.

Po dokončení sanačních opatření souvisejících s vlhkostí dojde také neprodleně k výměně nevhodné cementové dlažby za dlažbu kamennou, která je v tomto případě vhodnou volbou při zachování historického charakteru objektu a vytvoření autentické atmosféry. Výměna vyžaduje pečlivé odstranění cementové dlažby, přípravu podkladu a kvalitní provedení pokládky nové kamenné dlažby do maltového lože.

4.1. Dřevěné části poškozené biologickou degradací

Dřevěné konstrukce jsou nejčastěji poškozovány hnilobou, plísněmi, dřevokaznými houbami nebo hmyzem. Nejúčinnějším způsobem ochrany dřeva proti těmto biologickým faktorům je prevence a ochrana proti nadměrné vlhkosti (více než 15 %) [10].

Existují různé způsoby ochrany dřeva a dřevěných konstrukcí, například chemická ochrana, fyzikální ochrana a mechanická ochrana. Chemická ochrana může být prováděna různými způsoby, jako je vakuotlaková, tlaková nebo vakuová impregnace, máčení, postřik nebo natírání ochrannými prostředky. Fyzikální ochrana zahrnuje procesy jako vysoušení horkým vzduchem nebo sterilizaci. Mechanická ochrana může zahrnovat bandážování nebo opláštování, ale pouze u dřeva, které není napadeno biotickými činiteli, má vlhkost pod 5 % a je skladováno v suchém prostředí [10].

Při sanaci degradovaných dřevěných prvků je důležité zohlednit příčinu poškození a před provedením příslušných opatřeních tuto příčinu eliminovat. Sanace napadených dřevěných konstrukcí závisí na rozsahu jejich degradace:

- Dřevěné trámy, které jsou vystaveny zvýšenému riziku napadení hmyzem nebo houbami (zejména u konstrukcí umístěných v exteriéru), jsou preventivně chráněny dvojitou povrchovou úpravou.
- Pokud jsou trámy jen mírně poškozené, odstraňují se poškozené části až k zdravému dřevu a provádí se několik vrstev chemické ochrany na povrchu nebo do hloubky dřeva podle doporučení mykologa. Kromě toho se místo, kde bylo dřevo odstraněno, posiluje příložkami nebo protézami.
- Při narušení trámů se nejdříve odstraní poškozené části až na zdravé dřevo. Poté se provede polohluboká injektáž v několika řadách. Nakonec se dřevo ošetří povrchovým nátěrem a na místě, kde bylo dřevo odstraněno, se provede zesílení pomocí příložek nebo protézování.
- Trámy, u kterých je narušení větší než délka uložení, musí být značně upraveny. Postižená část musí být odstraněna včetně 0,5 až 1 metru zdravého dřeva, zdivo v okolí poškozeného místa musí být sanováno a zdravá část trámu musí být chráněna 3 až 4 nátěry. V místech přiléhajících k poškozené části je třeba provést tlakovou injektáž a nahradit odstraněnou část trámu (protézování) [10].

Nahrazení poškozených částí dřevěného prvku, jako je trám, může být provedeno pomocí příložek, buď dřevěných nebo ocelových, nebo pomocí protézování. Příložky se obvykle přikládají na jednu nebo obě strany trámu a zvyšují jeho výšku. Připojují se ke stávajícímu trámu pomocí hřebíků, vrutů, svorníků, šroubů nebo lepidla. Ocelové příložky se vyrábějí z válcovaných profilů, páskové oceli nebo výztužných tyčí a zajišťují se do drážky vyplněné epoxidovým lepidlem. Protézování se používá k nahrazení nebo doplnění poškozené části trámu novou částí - tzv. protézou. Materiál protézy se obvykle shoduje s materiálem poškozeného prvku, ale lze použít i jiné materiály, jako je jiný druh dřeva, polymerbeton v kombinaci se sklolaminátovými pruty nebo sklolaminát. Cílem protézy je obnovit pevnost a tuhost prvku, aniž by se změnil jeho původní průřez [10] [11].

4.1.1. Sanace dřevěných prvků řešeného objektu

Konstrukční řešení krovu objektu bylo ověřeno časem, a proto budou sanovány pouze poškozené části. Během procesu sanace krovu bude provedeno pečlivé vyhodnocení rozsahu poškození. Pokud se jedná o části krovu, které nebyly narušeny a jsou stále v dobrém stavu, zůstanou nedotčené. Zaměříme se především na části krovu, které vyžadují opravu nebo nahrazení. V rámci sanace budou odstraněny již provedené nevhodné úpravy, které by mohly ohrozit celkovou stabilitu a pevnost krovu. Důraz bude kladen na obnovení původního stavu krovu, aby se zajistila jeho správná funkčnost a dlouhodobá životnost.

Vzhledem k historické hodnotě krovu bude při sanaci použita sanační metoda protézování, tzn. technika výměny pouze poškozených částí dřevěných prvků krovu. Protézy budou vyrobeny ze stejného druhu dřeva a s totožnou dimenzí jako prvky původní. Spojování nových a stávajících částí se předpokládá pomocí tesařských dřevěných kolíků a klínů. V případě klíčových spojů a významných detailů, které jsou vystaveny většímu zatížení, lze zvážit použití ocelových spojovacích prvků. Veškeré nové a dostupné stávající dřevo bude chemicky ošetřeno transparentním nátěrem proti dřevokazným houbám a hmyzu. Kromě toho budou do krovu instalovány sítě, které zabrání vniknutí hmyzu do podkrovního prostoru.

4.1.2. Provedená sanační opatření – střešní krytina a krov

V rámci právě probíhající stavební obnovy kostela se už uskutečnila výměna střešní plechové krytiny za dvojitý dřevěný štípaný šindel. Plechová krytina z roku 1975 vypadala nevzhledně a neplnila svou funkci. Stejně tak není tento typ střešní krytiny vhodný pro kulturní památku. Modřínový šindel splňuje veškeré požadavky na historický statut kostela a dle dochovaných informací byl původní krytinou na kostele svaté Kateřiny. Při výměně krytiny bylo také odstraněno původní celoplošné bednění a vytvořeno bednění nové, které bylo provedeno v souladu s dřevěným šindelem.

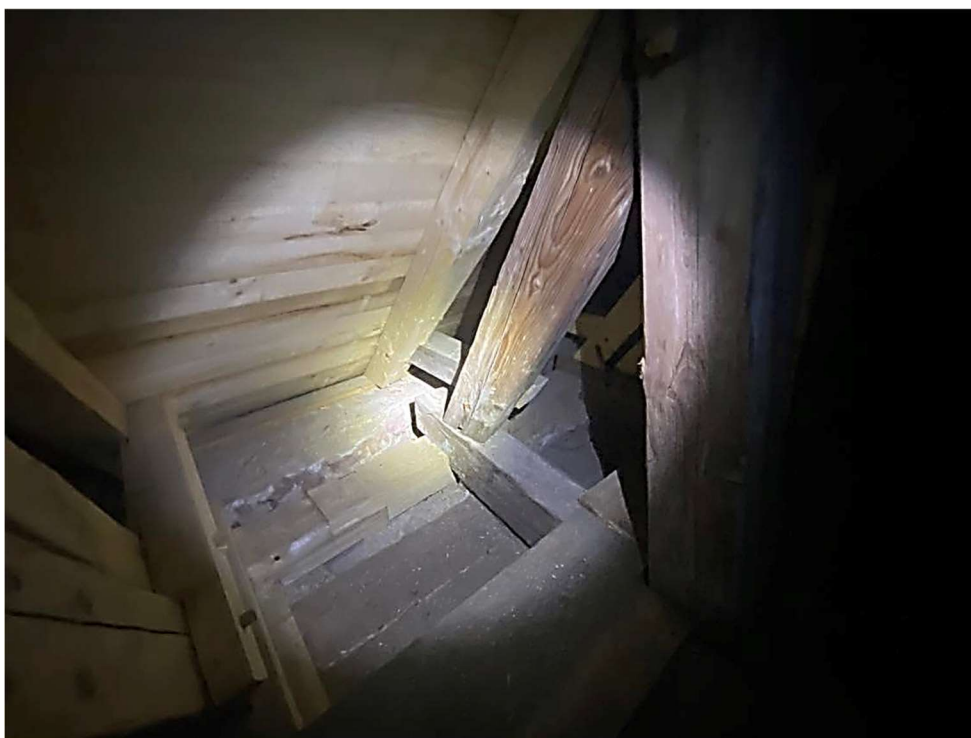


Obrázek 86: Kostel před výměnou střešní krytiny – plechová krytina



Obrázek 87: Kostel po výměně střešní krytiny – dřevěný šindel

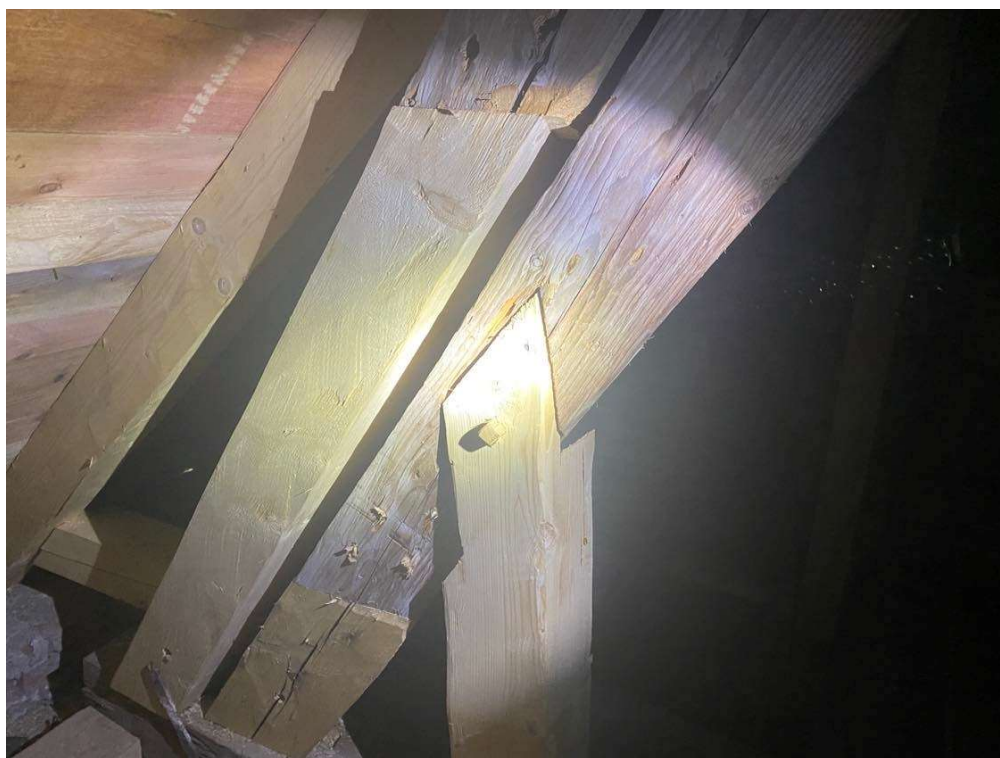
Během stavební obnovy došlo nejen ke změně krytiny kostela, ale také k obnově u poškozených částí krovu a stropní konstrukce. Zatékající voda způsobila degradaci některých prvků krovu, zejména námětků, které byly napadeny biologickými škůdci. Tyto prvky byly kompletně nahrazeny a v některých případech byla použita metoda protézování pro nahrazení poškozených částí. V průběhu stavební obnovy kostela došlo k identifikaci velmi porušených trámů, které vyžadovaly náročnější způsob obnovy. Pro tyto prvky byla navržena také metoda protézování s použitím plátového spoje, která byla zvolena z důvodu největší vhodnosti této metody při přihlédnutí k rozsahům poškození a charakteru objektu [17].



Obrázek 88: Sanované části krovu

Na obrázku 88 je patrné použití metody protézování s plátovým spojem. Zároveň zde jasně rozeznáme nové dřevěné prvky od původních částí krovu. Na obrázku si lze všimnout také nového celoplošného bednění, které bylo provedeno v rámci stavební obnovy střešní krytiny. Bednění slouží jako pevná a rovná podkladová deska pro šindel a zajišťuje jeho rovnoměrné uložení a fixaci. Díky

použití celoplošného bednění se také snižuje riziko průsaku vody a dalších nežádoucích účinků, které by mohly ovlivnit stav kostela a jeho střechy.



Obrázek 89: Sanované části krovu

Pro efektivní a dlouhodobé řešení odstranění biologických škůdců dřeva bylo nezbytné provést odborný zásah, zejména v případě závažných infekcí. Ideální je obrátit se na profesionální firmu specializující se na tento typ prací, která bude mít potřebné vybavení a znalosti pro účinnou sterilizaci dřeva. V první řadě je třeba dřevo sterilizovat, aby se zničila všechna vývojová stadia houby a dřevokazného hmyzu. To lze provést například pomocí zvýšení teploty nad kritickou hodnotu, ultrazvukem nebo zavedením inertních nebo toxických plynů do dřeva [12].

Sterilizace sama o sobě nezaručuje dlouhodobou ochranu proti biologickým škůdcům. Proto je nezbytné prvky trámového stropu a krovu opatřit také chemickou ochranou. Nové i stávající prvky by měly být ošetřeny fungicidním a insekticidním nátěrem nebo hloubkovou injektáží dle doporučení odborné firmy. Nátěr by měl být pravidelně obnovován v souladu s technickým listem výrobce, aby byla zajištěna dlouhodobá ochrana proti biologickému poškození [12].

4.2. Metody sanace staveb proti vlhkosti

Mezi klíčová opatření pro zajištění životnosti budovy patří ochrana před vodou a vlhkostí. Sanace vlhkého zdiva může být provedena pomocí přímých a nepřímých metod, s cílem odstranit nebo trvale snížit vlhkost v konstrukci objektu. Při výběru správné metody sanace dbáme na provedení podrobného průzkumu konstrukce a zjištění příčiny vzniku vlhkosti. V průzkumu musí být zohledněna ochrana proti povětrnostním vlivům, srážkové vodě, tepelnému režimu budovy po celý rok, provozu objektu a vnějším klimatickým podmínkám, které ovlivňují zvýšenou vlhkost [10].

Nesprávně provedená sanační opatření zpravidla zhoršují situaci a mohou zvýšit vlhkost v konstrukci. Pokud se jedná o sanaci vlhkosti na památkově chráněných objektech, je nutné pečlivě analyzovat důsledky změny vlhkosti v dané konstrukci. Je třeba zvážit, jak vysoušení zdiva ovlivní jeho pevnost, redistribuci napětí po průřezu konstrukcí nebo možné poškození nástěnných maleb a štukatérské výzdoby [10].

Ochrana staveb před zvýšenou vlhkostí

Pro účinnou sanaci vlhkého zdiva je nezbytné zpravidla aplikovat několik sanačních metod současně. Použití pouze jedné metody nezaručuje plnou efektivitu, obvykle se dosáhne pouze dočasného řešení [10].

Metody přímé

- Dodatečná hydroizolace zdiva a vnějších povrchů konstrukce
- Použití provětrávaných vzduchových dutin
- Instalace větracích kanálků
- Elektrofyzikální metody (elektroosmotické a magnetokinetické metody)
- Chemické injektážní metody
- Aplikace speciálních omítek a potěrů
- Nanášení konzervačních nátěrů a nástřiků [10]

Metody nepřímé

- Instalace drenážního systému a odvodnění základového a podzemního zdiva, spolu se systémem odčerpávaných studní
- Ochrana spodní stavby pomocí odvětrávacích příkopů a kanálů
- Úprava terénu v okolí stavby (spádování terénu, odvodnění střech)
- Úprava hydrogeologických podmínek základové půdy
- Úprava vnitřního prostředí stavby
- Vytvoření vodonepropustných clon pomocí injektáže základové půdy a štětovými stěnami [10]

Pro řešení zvýšené vlhkosti kostela svaté Kateřiny byly uvažovány následující sanační metody:

Mechanická metoda – dodatečné provedení hydroizolace

- Proces zahrnuje prořezání zdiva pomocí ruční nebo elektrické pily, nebo diamantového lana a následné vložení hydroizolačních pásů nebo plechů do vytvořené spáry [10] [16]. Nicméně tato metoda není vhodná pro kamenné zdivo bez průběžné ložné spáry a také vzhledem k tloušťce obvodového zdiva řešeného objektu, a to z důvodu nebezpečí zhoršení únosnosti základů a případného dalšího poškození stavby [10] [13] [16].
- Použití této sanační metody v řešeném objektu není vhodné z důvodu aplikace novodobých materiálů do historických konstrukcí.

Metoda elektroosmotická – elektroosmóza

- Elektroosmotické metody představují formu sanace, při níž se ve zdivu vytváří potenciál stejnosměrného elektrického proudu, což brání procesu kapilárního vztlínání vody. Tuto metodu lze zařadit mezi přímé způsoby sanace vlhkého zdiva [13][16]. V tomto procesu jsou umístěny elektrody na konstrukci, která je sanována, a do okolní zeminy. Elektrody generují proudový potenciál, který přitahuje molekuly vody směrem k elektrodě (katodě) umístěné v zemině [16].

- Elektroosmotická metoda není vhodná pro tento typ objektu kvůli zvýšenému obsahu solí ve zdivu. Průzkum chemismu prokázal zvýšený obsah solí u vzorku 1.EX-VS zřejmě z důvodu umístění hrobů u východní stěny kostela. Zvýšený obsah solí lze předpokládat i v dalších místech, kde jsou situovány hroby. Elektroosmóza by nemusela být v těchto oblastech účinná při této míře zasolení zdiva.

Infuzní metody

- Tato technika slouží k zabránění kapilárního vztlínání, snížení nasákavosti a smáčení stěn pórů. Rozmístění injekčních otvorů se určuje na základě použité infuzní látky (utěšňující, hydrofobizační, nebo kombinované), propustnosti materiálu zdiva a injekčního tlaku. Obsah vlhkosti v zdivu by neměl přesáhnout 11-13% hmotnosti. Infuzní metoda se doporučuje používat pouze proti vztlínající zemní vlhkosti a není vhodná pro řešení problémů s tlakovými vodami nebo velmi agresivními vodami [10] [13] [14].
- Kvůli zjištění vysokého a velmi vysokého stupně vlhkosti zdiva by bylo nutné použít infuzní prostředek na bázi organických rozpouštědel pro sanaci. Na některých místech by bylo potřeba nejprve vysušit zdivo topnými tyčemi nebo mikrovlnnými zdroji. Tento postup lze také použít pro sanaci řešeného objektu, avšak pravděpodobně by nebyl příliš ekonomicky výhodný.

Vzduchově izolační systémy – provětrávané vzduchové dutiny

- Při použití metody sanace vzduchovými dutinami se přebytečná vlhkost v zdivu, stěnách a podlahových konstrukcích odvádí pomocí proudícího vzduchu v dutinách, mezerách a kanálcích. Tím se zároveň snižuje množství vlhkosti, které proniká do zdiva nebo podlahy z okolní zeminy. Pro cirkulaci vzduchu v dutinách se používají vhodně umístěné nasávací a výdechové otvory nebo ventilátory, které do dutin vtlačují nebo z nich odvádějí vzduch [10] [13] [16].

- Při detailním průzkumu historických budov je možné narazit na tento typ řešení a v některých případech je vhodné pouze obnovit tuto izolaci. Tato metoda se zdá být pro objekt nejvýhodnější a je proto dále navrhovaná.

4.2.1. Sanační metoda vlhkosti řešeného objektu

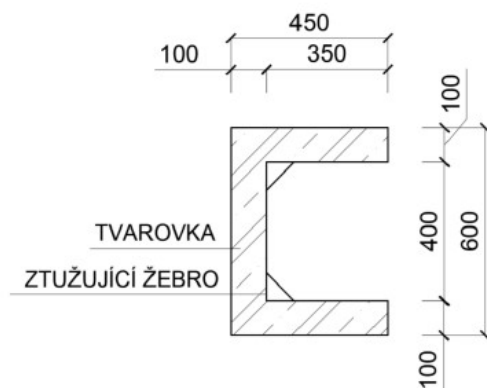
Při výběru konkrétní sanační metody pro kostel sv. Kateřiny je nutné vzít v úvahu, že se jedná o historicky významnou budovu a také, že stavba neslouží k trvalému pobytu osob. Není tudíž nutné splnit požadované hodnoty vlhkosti pro obytné budovy, ale pouze zajistit snížení vlhkosti natolik, aby nedocházelo k degradacím na konstrukci objektu.

Metodu provětrávaných železobetonových prefabrikovaných tvarovek jsem zvolila kvůli její účinnosti a zároveň kvůli nemožnosti použít přímou mechanickou metodu. Řešený objekt má historicky významnou hodnotu. Z hlediska památkové péče by tedy přímá mechanická metoda mohla narušit konstrukci kostela.

Provětrávané ŽB tvarovky spadají pod přímé vzduchově izolační metody, které snižují vlhkost ve zdivu na požadovanou hodnotu. Princip metody spočívá v odvádění vlhkosti ze stěn a podlahových konstrukcí pomocí proudícího vzduchu ve vzduchových mezerách, dutinách nebo kanálcích. Zajištění účinnosti vzduchových dutin a odvětrávacích kanálků vyžaduje jejich dostatečnou dimenzi a intenzivní proudění suchého vzduchu. Proudění vzduchu lze docílit přirozeně – rozdílem tlaků vzduchu na vstupu a výstupu. Případně lze zajistit proudění vzduchu uměle – ventilátorem [15].

Železobetonové prefabrikované tvarovky – profil C

Největší výhodou těchto tvarovek oproti tvarovkám zděným je delší životnost a jednodušší provádění. Tvarovky jsou v rozích vyztuženy ztužujícím žebrem, které zajišťuje jejich větší odolnost. Tvarovky jsou vzájemně spojovány systémem PERO + DRÁŽKA, což nám zajišťuje rovnoměrné sedání jednotlivých tvarovek [15].



Obrázek 90: Schéma prefabrikovaného profilu C

Provětrávanou vodorovnou dutinu z ŽB tvarovek profilu C navrhují jak ze strany exteriéru, tak ze strany interiéru kostela. V exteriéru budou ŽB tvarovky ukryty pod terénem u jižní, severní a západní stěny chrámové lodi kostela. Tvarovky nebudou provedeny okolo pětibokého presbyteria z důvodu blízkosti hrobů u jeho stěn. Ze strany interiéru bude dutina skryta pod podlahou. Existují dvě metody, jak docílit intenzivního proudění suchého vzduchu:

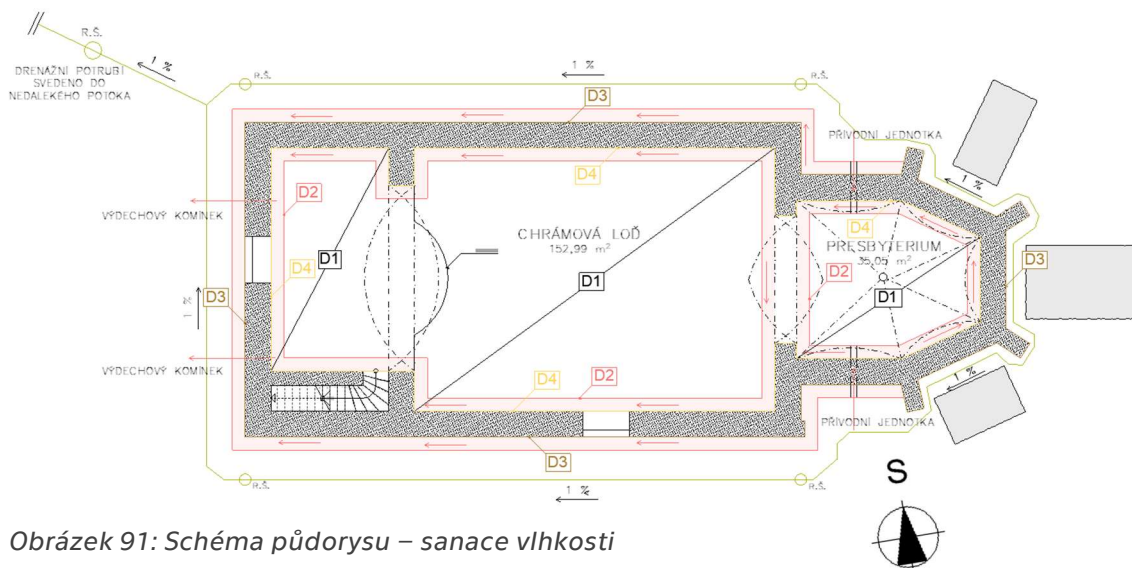
- Uměle – ventilátorem
- Přirozeně – rozdílem tlaků mezi vstupem a výstupem

Metoda – umělé větrání pomocí ventilátoru

Schéma půdorysu kostela znázorňuje provedení provětrávané vodorovné dutiny z obou stran stěn kostela a šipky znázorňují proudění suchého vzduchu uvnitř dutin. Jsou zde také označeny přívodní a odvodní komínky.

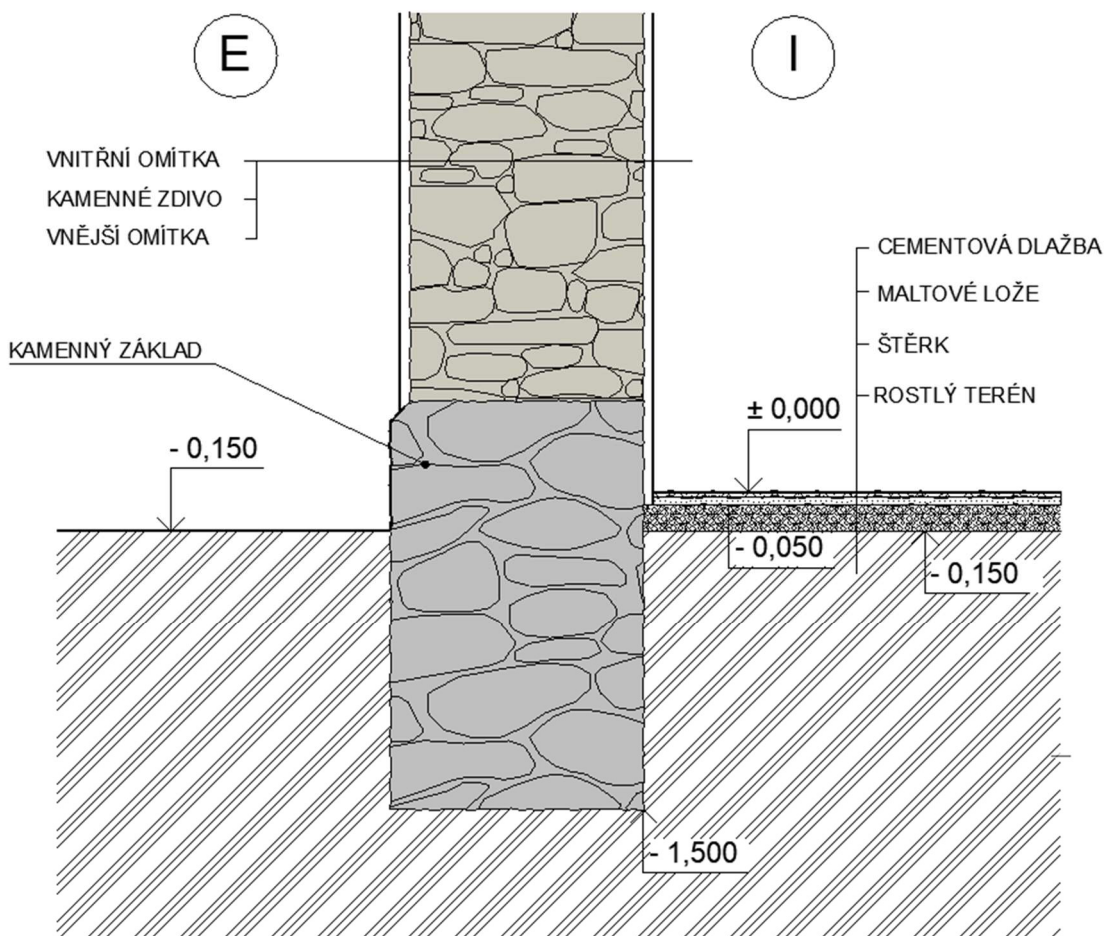
Exteriérový vzduch bude přiváděn pomocí přívodní jednotky u presbytáře. Odvod vzduchu je zajištěn pomocí výdechového potrubí na konci opatřeného ventilátorem (výdechovým) komínkem ve výšce 300 mm nad úrovní terénu. Tímto způsobem uměle docílíme rozdílů tlaků vzduchu.

Stavebně technický průzkum a návrh sanačních opatření kostela sv. Kateřiny v Polné
 4. Návrh sanačních opatření



Obrázek 91: Schéma půdorysu – sanace vlhkosti

Detail základu – stávající stav

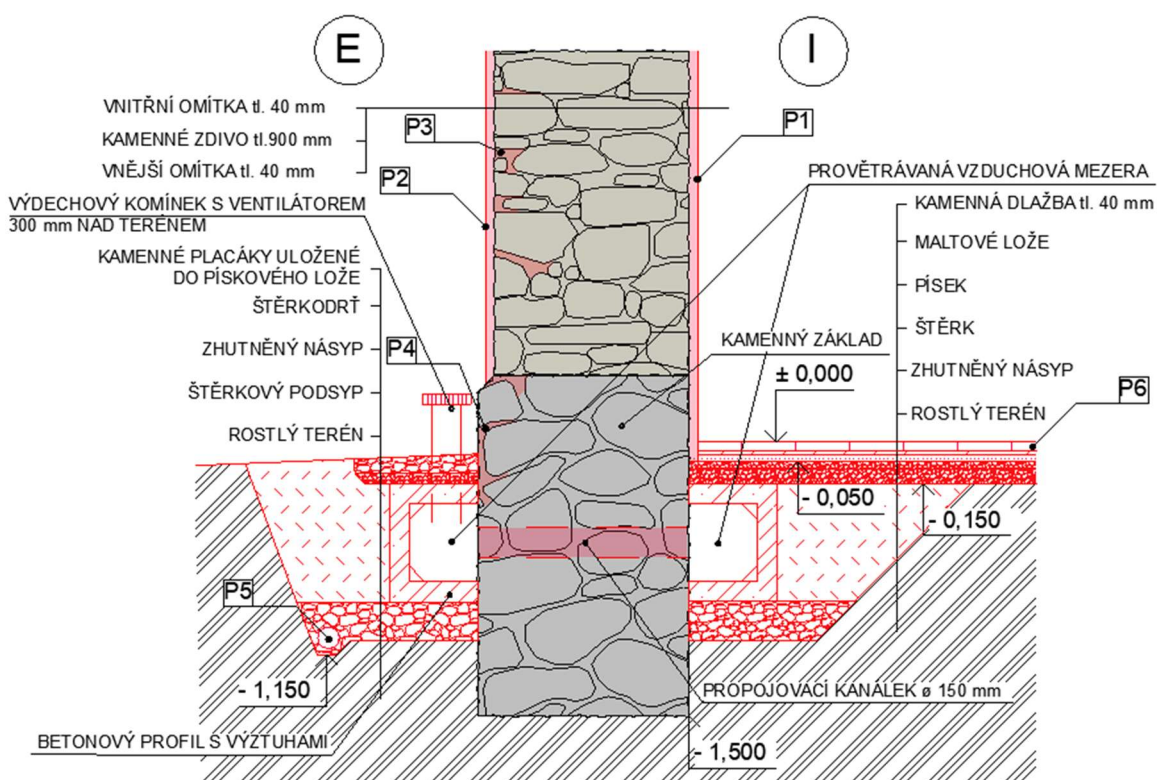


Obrázek 92: Detail základu – stávající stav

Vzhledem k tomu, že nebyla provedena kopaná sonda uvažují šířku a hloubku založení teoreticky. Založení objektu je na základových pásech z lomového kamene. Největším problémem kostela je vzlínající vlhkost ze země kvůli neexistující hydroizolaci a žádnému odvodnění základů.

Detail základu – nový stav

Nový stav znázorňuje umístění ŽB tvarovek po obou stranách základové konstrukce a spojení dutin propojovacím kanálkem. Vnitřní prostor tvarovek vytváří kontinuální vodorovnou provětrávanou vzduchovou dutinu, která je schopna odebírat vodní páru ze zdiva, a tak snižovat jeho vlhkost. Z detailu je patrné i provedení drenážního systému uloženého do štěrkopískového lože. Drenážní systém okolo objektu bude sveden do nedalekého potoka.



Obrázek 93: Detail základu – nový stav

Postup provedení sanačních metod

1. Nejdříve je nutné provést výměnu střešního pláště a odvodnění střešní roviny, aby přestalo do konstrukce zatékat. Tato stavební obnova objektu proběhla v minulém roce v rámci řešení největších degradací kostela.
2. Před provedením sanačního opatření je třeba degradovanou omítku odstranit. Očistit odkryté zdivo a vyškrábat spáry pro vytvoření co největší odpařovací plochy. Poté je vhodné zdivo nechat dostatečně vyschnout.
3. Během vysychání zdiva se provede vzduchově izolační dutina okolo celého objektu, a to jak ze strany exteriéru (kromě stěn presbyteria kvůli blízkosti hrobů), tak i interiéru. Před osazením ŽB tvarovek je nutné nejprve vykopat rýhy o šířce 500 mm po obou stranách základové konstrukce. Z hlediska podlahové krytiny nemusíme dbát na její zachování. Cementová dlažba není původní a bude nahrazena kamennou dlažbou.
4. Na dně výkopu vyhloubených rýh provedeme vrstvu ze zhutněného štěrkopískového lože. Lože bude provedeno minimálně ve dvou vrstvách o různých frakcích kvůli zamezení nadměrného sedání profilů. Na dně zhutněného štěrkopískového lože ze strany exteriéru bude uloženo drenážní potrubí DN 100 mm.
5. Následně dojde k osazení železobetonové tvarovky volnými konci směrem k obvodu objektu. Poté dojde k obsypání zhutněným násypem.
6. Vnější tvarovka bude opatřena ve spodní části odtokovým otvorem, který zajistí odtok vody do drenážního potrubí. Na horním povrchu vnější tvarovky bude osazeno v určitých místech výdechové potrubí (komínek) s ventilátorem.
7. Nakonec bude použita geotextílie umístěná na horní povrch tvarovek. Na geotextílii bude uložena vrstva štěrku ve spádu 1 %. Následovat bude uložení kamenných placáků do pískového lože.

8. Do interiéru bude opět navržena skladba podlahy s novou nášlapnou vrstvou v podobě kamenné dlažby.

Vlhkost a degradace jí způsobené budou monitorovány po dobu nejméně jednoho roku po dokončení sanačních opatření. Po této době bude nutné provést znovu analýzu vlhkosti zdiva. Pokud se ukáže, že navržené metody nejsou účinné, tzn. vlhkost ve zdivu nezačne klesat, bude nezbytně nutné provést další sanační opatření, nejlépe za použití tlakové injektáže.



Obrázek 94: Vizualizace nového stavu



Obrázek 95: Vizualizace nového stavu

Závěr

Bakalářská práce se zaměřila na provedení stavebně-technického průzkumu budovy kostela svaté Kateřiny ve městě Polná, v kraji Vysočina. Cílem této práce bylo analyzovat nejzávažnější poruchy v objektu, zjistit jejich možné příčiny a na základě získaných informací navrhnout vhodná sanační opatření.

Před samotným provedením stavebně-technického průzkumu budovy kostela bylo nutné shromáždit veškeré dostupné informace ohledně jeho historie poskytnuté Římskokatolickou farností v Polné. Stavebně-technický průzkum proběhl v rámci celého objektu. Během průzkumu byly zjištěny poruchy jak staticky nevýznamné, tak i závažné, které mohou snížit únosnost konstrukcí. V rámci textové části práce jsem popsala všechny poruchy, které jsem na objektu zaznamenala. Textová část je následně doplněna o fotodokumentaci jednotlivých poruch a také jsou zakresleny ve výkresech stávajícího stavu. Kromě toho byla v další části práce provedena laboratorní analýza vlhkosti a chemismu zdiva z odebraných vzorků. Z vyhodnocení vlhkostní analýzy zdiva vyplynulo, že jedním z nejzávažnějších problémů kostela je právě zvýšená vlhkost zdiva. Tato skutečnost byla předpokládána již při vizuální prohlídce objektu během stavebně-technického průzkumu. V minulém roce došlo k vyřešení jedné z příčin zvýšené vlhkosti kostela. Při výměně střešní krytiny se zamezilo pronikání vlhkosti při zatékání do budovy. Příčinou stále zvýšené vlhkosti zdiva však zůstává vzlínající vlhkost, která není nijak řešena. V závěru mé práce se zaměřuji na řešení poruch, které jsou způsobeny zvýšenou vlhkostí, ať už zatékáním do objektu v minulosti nebo vzlínáním z podloží.

Cíle práce spočívající v sestavení podrobného popisu současného stavebně-technického stavu objektu, aby bylo možné navrhnout efektivní sanační metody a dlouhodobá sanační opatření, která zabrání dalšímu poškození objektu, byly splněny. Kromě toho byl nad rámec původních cílů práce ještě proveden mikrobiologický průzkum a také vytvoření 3D modelu stávajícího a nového stavu.

Zpracováním své bakalářské práce jsem si rozšířila své předchozí znalosti v oblasti sanací a stavební obnovy historických objektů, a zároveň jsem si potvrdila svůj zájem o tuto oblast, které se chci v budoucnu věnovat ve své profesní kariéře.

Seznam obrázků

Obrázek 1: Mapa s vyznačenou polohou objektu [1].....	10
Obrázek 2: Mapa katastru nemovitostí [2].....	11
Obrázek 3: Informace z nahlížení katastru nemovitostí [3].....	11
Obrázek 4: Čelní pohled na kostel – severní pohled.....	12
Obrázek 5: Pohled na kostel ze hřbitova – jižní pohled.....	13
Obrázek 6: Pohled východní.....	13
Obrázek 7: Pohled západní.....	13
Obrázek 8: Historická fotografie r. 1899 [4].....	15
Obrázek 9: Schéma půdorysu kostela [Dokumentace z roku 1975].....	15
Obrázek 10: Kamenný sokl.....	16
Obrázek 11: Kamenný sokl.....	16
Obrázek 12: Kamenné obvodové zdivo kostela.....	17
Obrázek 13: Křížová klenba nad presbyteriem a vítězný oblouk [archiv].....	18
Obrázek 14: Dřevěný trámový strop nad chrámovou lodí kostela.....	18
Obrázek 15: Kostel před výměnou střešní krytiny – plechová krytina.....	19
Obrázek 16: Kostel po výměně střešní krytiny – dřevěný šindel.....	19
Obrázek 17: Konstrukce krovu [archiv].....	20
Obrázek 18: Konstrukce krovu [archiv].....	20
Obrázek 19: Statické schéma – plná vazba.....	20
Obrázek 20: Statické schéma – jalová vazba.....	20
Obrázek 21: Cementová dlažba v interiéru kostela.....	21
Obrázek 22: Podlaha v podkroví [archiv].....	21
Obrázek 23: Fresky na jižní stěně kostela [archiv].....	22
Obrázek 24: Detail malby [archiv].....	22
Obrázek 25: Vitrážové okno – jižní stěna.....	22
Obrázek 26: Vitrážové okno – severní stěna.....	22
Obrázek 27: Dřevěné schodiště.....	23
Obrázek 28: Dřevěné schodiště.....	23
Obrázek 29: Půdorys stávajícího stavu kostela.....	23
Obrázek 30: Jižní pohled stávajícího stavu.....	24
Obrázek 31: Jižní pohled stávajícího stavu - vizualizace.....	24
Obrázek 32: Severní pohled stávajícího stavu.....	25
Obrázek 33: Severní pohled stávajícího stavu – vizualizace.....	25
Obrázek 34: Východní pohled stávajícího stavu.....	26

Obrázek 35: Západní pohled stávajícího stavu	27
Obrázek 36: Východní pohled stávajícího stavu – vizualizace	28
Obrázek 37: Západní pohled stávajícího stavu – vizualizace.....	28
Obrázek 38: Degradace v oblasti soklu – zvýšená vlhkost	29
Obrázek 39: Degradace obvodového zdiva – exteriér	30
Obrázek 40: Degradace obvodového zdiva – exteriér	31
Obrázek 41: Degradace obvodového zdiva – interiér (jižní stěna).....	31
Obrázek 42: Pohled na severní stěnu – degradace v oblasti stropu.....	32
Obrázek 43: Degradace stropní konstrukce – severní stěna.....	33
Obrázek 44: Degradace stropní konstrukce [archiv]	33
Obrázek 45: Konstrukce krovu – pohled na středový sloupek [archiv].....	34
Obrázek 46: Konstrukce krovu [archiv].....	35
Obrázek 47: Degradace dřevěných prvků krovu [archiv]	35
Obrázek 48: Degradace dřevěných prvků krovu [archiv]	35
Obrázek 49: Zcela chybějící podlaha u obvodových stěn	36
Obrázek 50: Povrchové opotřebení cementové dlažby	36
Obrázek 51: Degradace vnější omítky	37
Obrázek 52: Degradace vnější omítky	38
Obrázek 53: Degradace vnitřní omítky – značné poškození vnitřních maleb.....	38
Obrázek 54: Zachovalé vitrážové okno – interiér.....	39
Obrázek 55: Zachovalé vitrážové okno – exteriér.....	39
Obrázek 56: Vyměněná okna v rámci obnovy střechy.....	39
Obrázek 57: Dřevěné schodiště	40
Obrázek 58: Dřevěné schodiště	40
Obrázek 59: Půdorys kostela – místa odběru vzorků	42
Obrázek 60: Interiér – jižní stěna.....	43
Obrázek 61: Interiér – severní stěna.....	43
Obrázek 62: Interiér – jižní stěna.....	43
Obrázek 63: Interiér – severní stěna.....	43
Obrázek 64: Exteriér – západní stěna	44
Obrázek 65: Exteriér – východní stěna	44
Obrázek 66: Nevysušené vzorky v hliníkových miskách umístěné do sušárny	45
Obrázek 67: Laboratorní sušárna	46
Obrázek 68: Vzorky po vysušení – exteriér	46
Obrázek 69: Vzorky po vysušení – interiér	46
Obrázek 70: Graf – Závislost vlhkosti zdiva na výšce odběru vzorků	49

Obrázek 71: Erlenmeyerovy baňky s cca 2 g vzorku.....	50
Obrázek 72: Vzorky se 100 ml destilované vody	50
Obrázek 73: Ultrazvuková lázeň.....	50
Obrázek 74: Vzorky po 24 hodinách	51
Obrázek 75: Vodný roztok.....	51
Obrázek 76: Fotometr pro stanovení zasolení	52
Obrázek 77: Kolorimetrická stupnice a acidobazický indikátor pH	52
Obrázek 78: Stanovení hodnoty pH u vzorku 1.EX-SS.....	53
Obrázek 79: Stanovení hodnoty pH u vzorku 1.EX-VS	53
Obrázek 80: Sloučeniny před použitím fotometrické metody.....	54
Obrázek 81: Vzorky před vložením do biologického termostatu.....	58
Obrázek 82: Vzorky mikroorganismů po 14 dnech.....	58
Obrázek 83: Laboratorní optický mikroskop	59
Obrázek 84: Mikroskopický snímek – <i>Aspergillus sp.</i>	60
Obrázek 85: Mikroskopický snímek – <i>Mucor sp.</i>	60
Obrázek 86: Kostel před výměnou střešní krytiny – plechová krytina	65
Obrázek 87: Kostel po výměně střešní krytiny – dřevěný šindel	65
Obrázek 88: Sanované části krovu	66
Obrázek 89: Sanované části krovu	67
Obrázek 90: Schéma prefabrikovaného profilu C.....	72
Obrázek 91: Schéma půdorysu – sanace vlhkosti	73
Obrázek 92: Detail základu – stávající stav.....	73
Obrázek 93: Detail základu – nový stav.....	74
Obrázek 94: Vizualizace nového stavu.....	76
Obrázek 95: Vizualizace nového stavu.....	76

Seznam tabulek

<i>Tabulka 1: Sledované klimatické podmínky týden před odběrem vzorků.....</i>	<i>42</i>
<i>Tabulka 2: Klasifikace vlhkosti zdiva dle ČSN P 73 0610</i>	<i>47</i>
<i>Tabulka 3: Celkové vyhodnocení vlhkosti zdiva dle ČSN P 73 0610</i>	<i>47</i>
<i>Tabulka 4: Klasifikace zasolení dle ČSN P 73 0610.....</i>	<i>55</i>
<i>Tabulka 5: Vyhodnocení chemismu</i>	<i>55</i>
<i>Tabulka 6: Vyhodnocení hodnoty pH.....</i>	<i>55</i>

Rovnice

<i>Rovnice 1: Určení hmotnostní vlhkosti dle normy ČSN EN ISO 12570.....</i>	<i>45</i>
--	-----------

Seznam použité literatury

- [1] Mapy.cz, [online]. [vid. 2023-03-01]. Dostupné z: <https://mapy.cz/zakladni?source=base&id=2075794&ds=1&x=15.7237692&y=49.5313808&z=10>
- [2] ČÚZK Nahlížení do katastru nemovitostí, [online]. [vid. 2023-03-01]. Dostupné z: https://nahlizeni.dokn.cuzk.cz/ZobrazObjekt.aspx?encrypted=NAHL~aStYCRAf7Bc1g5zR6jv4xCNGgKwoP8X8ehvdvnWXDptffT86sMAEBR9wSVwa4IZvUqMLQcMV4AfoN6RY5JjHR4IU02nf6K8vskY5d4t6jaMffLkQOSlrhO8dCFMxmXeV4OpCzDmR8C4Ce_nPzI5UiBhk0nFfSSAuaorenmfk7GQ2FKMMDtBSR69jr5RVJEVURIWb1HP8kht1xaysinOOQg==
- [3] Informační centrum Polná, [online]. [vid. 2023-03-15]. Dostupné z: <https://infocentrumpolna.cz/kostel-svate-kateriny/d-1254>
- [4] HRADY.cz, [online]. [vid. 2023-03-15]. Dostupné z: <https://www.hrady.cz/kostel-sv-kateriny-panny-a-mucednice>
- [5] FOTOHISTORIE, Polná – Kateřinov, [online]. [vid. 2023-03-15]. Dostupné z: http://www.fotohistorie.cz/Vysocina/Jihlava/Polna/Polna___Katerinov/Default.aspx
- [6] Chemická a mikrobiologická laboratoř katedra konstrukcí pozemních staveb, fakulta stavební, ČVUT, [online]. [vid. 2023-04-10]. Dostupné z: <https://kps.fsv.cvut.cz/index.php?lmut=cz&part=vyzkum&sub=53>
- [7] Meteoblue – Archiv počasí Polná, [online]. [vid. 2023-04-10]. Dostupné z: https://www.meteoblue.com/cs/po%C4%8Das%C3%AD/historyclimate/weatherarchive/poln%C3%A1_%c4%8cesko_3067870?fcstlength=1m&year=2023&month=3

- [8] PRAKTICKÝ PRŮVODCE MIKROSVĚTEM I., 102. Plísně III. – askomycety – kropidlák (Aspergillus), [online]. [vid. 2023-04-30]. Dostupné z: <https://mikrosvet.mimoni.cz/ulohy/102-plisne-3-askomycety-kropidlak-aspergillus>
- [9] www. wikipedia.org, Mucor, [online]. [vid. 2023-04-30]. Dostupné z: <https://en.wikipedia.org/wiki/Mucor>
- [10] WITZANY, Jiří, Richard WASSERBAUER, Tomáš ČEJKA, Klára KROFTOVÁ a Radek ZIGLER. *Obnova a rekonstrukce staveb: poruchy, degradace, sanace*. 2. přepracované vydání. V Praze: České vysoké učení technické, 2018. ISBN 978-80-01-06360-6.
- [11] Ing. Kunhartová, Silvie. *Metody sanací vlhkosti ve stavebních konstrukcích*. ASB-portal.cz. [online] Jaga Media, s.r.o., 18. červen 2009. <https://www.asb-portal.cz/stavebnictvi/zaklady-a-hruba-stavba/obvodove-konstrukce/metody-sanaci-vlhkosti-ve-stavebnich-konstrukcich>
- [12] REINPRECHT, Ladislav a ŠTEFKO, Josef. *Dřevěné stropy a krovy: typy, poruchy, průzkumy a rekonstrukce*. Praha: ARCH, 2000. ISBN 80-86165-29-9.
- [13] BALÍK, Michael. *Odvlhčování staveb*. Praha: Grada, 2005. Stavitel. ISBN 80-0765-9.
- [14] BALÍK, Michael. *Vysušování zdiva III*. Praha: Grada, 1999. Stavitel. ISBN 80-716-9737-0.
- [15] J. Pazderka. *Nová technická řešení pro sanaci spodní stavby vlhkých budov*, habilitační práce. 2015
- [16] ŠTEFEK, Zdeněk, a kol. *Spodní stavba historických budov*. Praha: Grada, 2016. ISBN 978-80-247-4846-7.
- [17] KUNECKÝ, Jiří, a kol. *Celodřevěné plátové spoje pro opravy historických konstrukcí: výsledek aplikovaného výzkumu – metoda navrhování*. [Dokument] Praha, 2015. ISBN 978-80-86246-64-2.

Seznam použitých norem

ČSN EN ISO 12570 – Teplotně vlhkostní chování stavebních materiálů a výrobků – Stanovení vlhkosti sušením při zvýšené teplotě, v platnosti od 10/2001

ČSN P 73 0610 – Hydroizolace staveb – Sanace vlhkého zdiva – Základní ustanovení, v platnosti od 12/2000

ČSN 72 4310 – Zkoušení odolnosti stavebních výrobků a materiálů proti plísním, v platnosti od 01/1977

Seznam použitých programů

Archicad 22

Twinmotion 2022

Microsoft Word 2010

Microsoft Excel 2010

Seznam příloh

A. PŘÍLOHA – SCHÉMATICKÁ VÝKRESOVÁ DOKUMENTACE

1. PŮDORYS STÁVAJÍCÍHO STAVU
2. JIŽNÍ POHLED – STÁVAJÍCÍ STAV
3. SEVERNÍ POHLED – STÁVAJÍCÍ STAV
4. VÝCHODNÍ POHLED – STÁVAJÍCÍ STAV
5. ZÁPADNÍ POHLED – STÁVAJÍCÍ STAV

B. PŘÍLOHA – NÁVRH SANAČNÍCH OPATŘENÍ

6. PŮDORYS – NOVÝ STAV (ZÁKLADY + PODLAHA)
7. PŮDORYS – NOVÝ STAV (ZDIVO)
8. DETAIL ZÁKLADU – NOVÝ STAV

C. PŘÍLOHA – VIZUALIZACE

9. JIŽNÍ POHLED – NOVÝ STAV
10. SEVERNÍ POHLED – NOVÝ STAV
11. VÝCHODNÍ A ZÁPADNÍ POHLED – NOVÝ STAV