

**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ  
TECHNICKÉ V PRAZE**

**FAKULTA STAVEBNÍ**

KATEDRA KONSTRUKCÍ POZEMNÍCH STAVEB



**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

Stavebně technický průzkum kostela  
sv. Jakuba ve Vidžíně a návrh sanačních  
opatření

Technical Survey of St. Jacob's Church in  
Vidžín and Design of Remediation Methods

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

**Matyáš Ratislav**

PRAHA 2022

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

### I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Ratislav Jméno: Matyáš Osobní číslo: 486148  
Zadávací katedra: Katedra konstrukcí pozemních staveb  
Studijní program: Stavební inženýrství  
Studijní obor: Pozemní stavby

### II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce: Stavebně technický průzkum kostela sv. Jakuba ve Vidžíně a návrh sanačních opatření  
Název bakalářské práce anglicky: Technical Survey of St. Jacob Church in Vidžín and Design of Remediation Methods

Pokyny pro vypracování:  
provedení stavebně technického průzkumu objektu,  
pořízení fotodokumentace stávajícího stavu,  
zpracování schematické výkresové dokumentace stávajícího stavu se zakreslením zjištěných vad a poruch,  
laboratorní průzkum vlhkosti a chemismu,  
analýza možných příčin zjištěných poruch,  
statické posouzení vybraných konstrukcí,  
zhodnocení možných sanačních metod a návrh řešení vybraných poruch,

Seznam doporučené literatury:

Průzkumy a opravy stavebních konstrukcí, Pume, Čermák a kol.  
Poruchy, degradace, rekonstrukce - skriptum - Jiří Witzany a kol.  
Poruchy a rekonstrukce zděných staveb - Jaroslav Solař  
Odvlhčování staveb, Michael Balík a kolektiv  
Historické krovy - konstrukce a statika, Jan Vinař, Václav Kufner

Jméno vedoucího bakalářské práce: Ing. Aneta Libecajtová, Ph.D.

Datum zadání bakalářské práce: 14.02.2022

Termín odevzdání BP v IS KOS: 15.05.2022

*Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku*

.....  
Podpis vedoucího práce

.....  
Podpis vedoucího katedry

### III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

.....  
Datum převzetí zadání

.....  
Podpis studenta(ky)

## Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma „Stavebně technický průzkum kostela sv. Jakuba ve Vidžíně a návrh sanačních opatření“ vypracoval samostatně, za odborného vedení vedoucí bakalářské práce Ing. Anety Libecajtové, Ph.D., a že jsem veškeré podklady, ze kterých jsem při tvorbě práce čerpal, uvedl v seznamu použité literatury.

V Praze dne .....

.....

Matyáš Ratislav

## **Poděkování**

Rád bych poděkoval vedoucí Ing. Anetě Libecajtové, Ph.D. za odborné vedení, rady, věnovaný čas a poskytovanou zpětnou vazbu. Dále děkuji P. Augustinovi Jánůvi Kováčikovi a rodině Svobodových z Vidžína za umožnění vstupu do kostela. V neposlední řadě bych chtěl poděkovat své rodině za podporu při tvorbě práce.

## **Abstrakt**

Předmětem bakalářské práce je provedení stavebně-technického průzkumu jednolodního raně gotického kostela sv. Jakuba ve Vidžíně – tedy popis konstrukčního řešení a identifikace poruch objektu, a to včetně analýzy možných příčin těchto poruch. Dále je součástí práce návrh sanačních opatření.

Práce se blíže zaměřuje na vlhkost svislých nosných konstrukcí, ta byla v rámci práce zkoumána i laboratorně spolu s měřením chemismu. Dále se práce zaměřuje na trhliny v konstrukcích objektu – vybrané byly analyzovány výpočetním modelem. Blíže se v práci též pojednává o dřevěném trémovém stropu hlavní lodi kostela.

Součástí práce je i fotodokumentace objektu a vyhotovení zjednodušené výkresové dokumentace současného stavu objektu včetně poruch.

## **Klíčová slova**

Kostel, průzkum, sanace, vlhkost, poruchy, trám, triumfální oblouk, trhliny

## **Abstract**

This bachelor thesis deals with a survey of the single-nave early-gothic St. Jacob's Church in Vidžín. The thesis includes description of structures and identification of failures and defects including the analysis of possible causes of these failures and defects. Extensive photographic documentation and drawing documentation of current state is also part of this thesis.

This thesis focuses, in particular, on moisture content in load-bearing structures. The level of moisture was examined in the laboratory together with measurements of pH and salt concentration. Furthermore, the thesis focuses on cracks in load-bearing structures and damages of wooden beam ceiling of the nave of the church. The cracks in triumphal arch were also theoretically investigated by means of numerical software.

The remediation methods of failures and defects were designed based on visual and laboratory survey and analysis of possible causes.

## **Keywords**

Church, survey, remediation, moisture, defects, beam, triumphal arch, cracks

# Obsah

Úvod .....	9
1. Základní informace o objektu .....	10
1.1. Umístění objektu .....	10
1.2. Stručný popis objektu .....	11
1.3. Historie objektu .....	11
2. Popis konstrukčního řešení .....	13
2.1. Základy .....	13
2.2. Svislé nosné konstrukce .....	14
2.3. Vodorovné nosné konstrukce .....	15
2.4. Krov .....	16
2.4.1. Krov hlavní lodi a presbyteria .....	16
2.4.2. Krov věže .....	18
2.5. Kompletační konstrukce .....	19
3. Popis stávajícího stavu a analýza možných příčin poruch .....	21
3.1. Základy .....	21
3.2. Svislé nosné konstrukce .....	22
3.2.1. Model triumfálního oblouku .....	24
3.2.2. Monitoring trhlin .....	30
3.3. Vodorovné nosné konstrukce .....	31
3.3.1. Posouzení neporušeného stropního nosníku .....	34
3.4. Krov .....	35
3.4.1. Krov hlavní lodi a presbyteria .....	35
3.4.2. Krov věže .....	37
3.4.3. Identifikace plísní .....	38
3.5. Kompletační konstrukce .....	40
4. Laboratorní průzkum vlhkosti a chemismu zdiva .....	42
4.1. Odběr vzorků .....	42

4.2.	Popis měřících metod.....	46
4.2.1.	Měření vlhkosti .....	46
4.2.2.	Měření chemismu .....	47
4.3.	Naměřené hodnoty a použité výpočty.....	49
4.3.1.	Naměřené a vypočtené hodnoty – vlhkost .....	49
4.3.1.	Naměřené hodnoty – chemismus.....	49
4.4.	Vyhodnocení průzkumu.....	50
4.4.1.	Vyhodnocení měření vlhkosti .....	50
4.4.2.	Vyhodnocení měření chemismu .....	51
5.	Návrh sanačních opatření.....	54
5.1.	Sanace trémového stropu hlavní lodi .....	55
5.1.1.	Sanace příčin zvýšené vlhkosti v oblasti stropu .....	55
5.1.2.	Návrh plombování roznášecího trému .....	55
5.1.3.	Odstranění podkladního trému a násypu .....	56
5.1.4.	Sanace uhnívajícího zhlaví trámů .....	56
5.1.5.	Závěrečné preventivní či represivní opatření .....	59
5.2.	Sanace vlhkosti .....	60
5.2.1.	Sanace provětrávanou dutinou .....	61
5.2.2.	Navrhovaná nepřímá sanační opatření .....	62
5.3.	Sanace trhlin.....	64
5.3.1.	Sanace trhlin ve svislých nosných konstrukcích.....	64
5.3.2.	Sanace trhlin v klenbách .....	64
	Závěr .....	66
	Seznam obrázků .....	67
	Seznam tabulek .....	69
	Seznam použité literatury.....	70
	Seznam použitých programů .....	73
	Seznam příloh .....	74



## Úvod

Tato bakalářská práce popisuje současný stav (z pohledu stavebně technického) kostela sv. Jakuba a zároveň obsahuje návrhy sanačních opatření zjištěných poruch. Jmenovaný kostel je jednodílnou stavbou postavenou v období rané gotiky.

Téma zachování a obnovy národních nemovitých kulturních památek, jako je tato, je podstatné, jelikož tyto objekty jsou dokladem historického vývoje společnosti. Do objektů tohoto rázu se promítají dřívější společenské hodnoty a to náboženské, kulturní i estetické. Objekty rovněž dokazují vývoj znalostí a umění řemesel. Z těchto důvodů je třeba tyto objekty zachovávat pro další generace.

Mým rozhodnutím pro zpracovávání tématu této bakalářské práce je v první řadě souhlas s výše uvedenou důležitostí zachování nemovitých kulturních památek, dále pak moje osobní vazba k danému místu a v neposlední řadě i můj zájem o tematiku sanací a rekonstrukcí, ve které jsem si mohl v rámci práce rozšířit obzory a vyzkoušet si práci tohoto typu.

Práce je členěná do pěti hlavních kapitol. Kapitoly základní informace o objektu a popis konstrukčního řešení popisují charakter objektu a jednotlivé dílčí konstrukce z pohledu jejich typu a řešení. Kapitola třetí popisuje současný stav objektu a jeho dílčích konstrukcí, zároveň dokumentuje zjištěné poruchy objektu pro následný návrh sanačních opatření. V rámci této kapitoly jsou provedeny i analýzy možných příčin těchto poruch. Na tuto kapitolu navazuje kapitola čtvrtá věnovaná podrobnějšímu průzkumu vlhkosti a chemismu svislých nosných konstrukcí kostela, který byl prováděn laboratorně. Poslední částí práce je návrh sanačních opatření, který se podrobněji věnuje vybraným významným poruchám: sanaci trémového stropu hlavní lodi, sanaci vlhkosti svislých nosných konstrukcí a sanaci trhlin. Obsahem práce jsou i schématické výkresy stávajícího stavu objektu včetně poruch a fotodokumentace stávajícího stavu.

Cílem práce je vytvoření podkladu popisujícího současný stavebně-technický stav objektu v rozsahu dostatečném pro návrh sanačních metod. Dalším cílem práce je návrh sanačních opatření, které dlouhodobě zamezí progresivnímu poškození objektu.

## 1. Základní informace o objektu

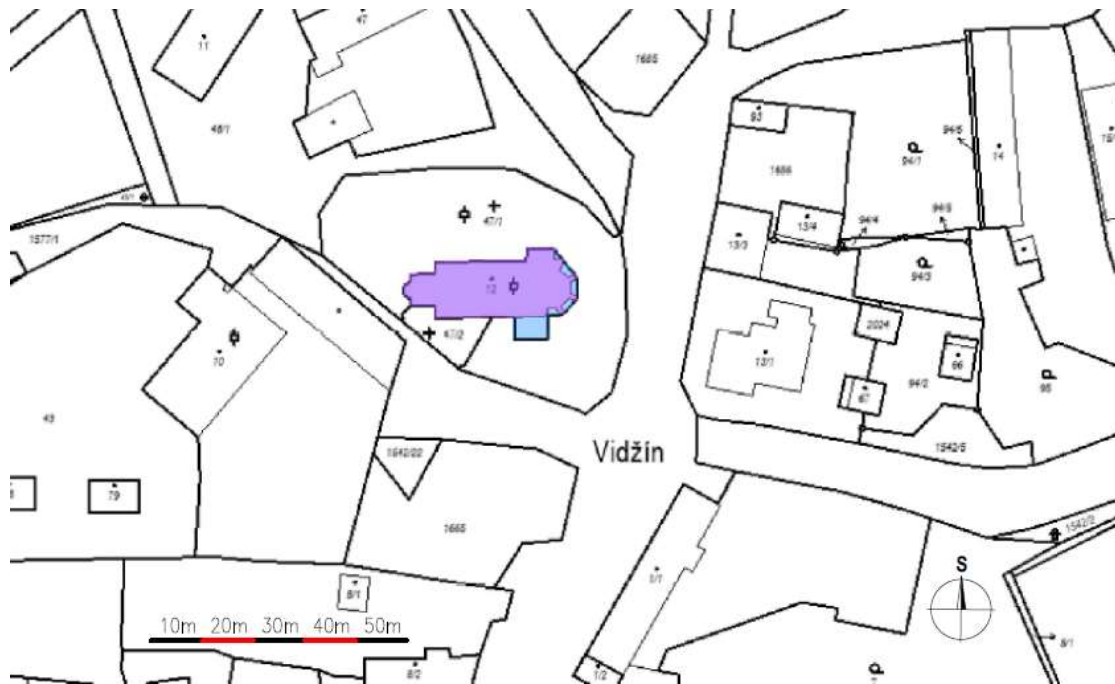
### 1.1. Umístění objektu

Kostel sv. Jakuba se nachází v okrese Plzeň-sever v obci Vidžín spadající do katastrálního území Úterý [775622]. [1] Lokace kostela dle WGS-84: 49,9658853 N, 12,9805433 E a S-JTSK: Y = 846933,92, X = 1041329,52. [2] Kostel má zastavěnou plochu 348 m<sup>2</sup>. [1] Podloží v této oblasti je tvořeno především svorem. Převažující kategorie radonového rizika z geologického podloží je pro tuto oblast střední. [3]

Objekt je situován na návsi na vyvýšeném zemním tělese opatřeném z východní, severní a jižní strany opěrnou zdí. Vyvýšená plocha okolo kostela slouží jako hřbitov – viz obrázek 2. Na této ploše je rovněž několik vzrostlých stromů. Situace objektu je dobře patrná z leteckých fotografií – viz obrázek 1. Kostel je orientován presbyteriem na východ, vstup do objektu je z jeho jižní strany – viz obrázek 3. Terén v bezprostřední blízkosti kostela je mírně svažité směrem od severozápadu na východ.



*obrázek 1 – obec Vidžín z výšky [4]*



obrázek 2 – situace: katastrální mapa [1]

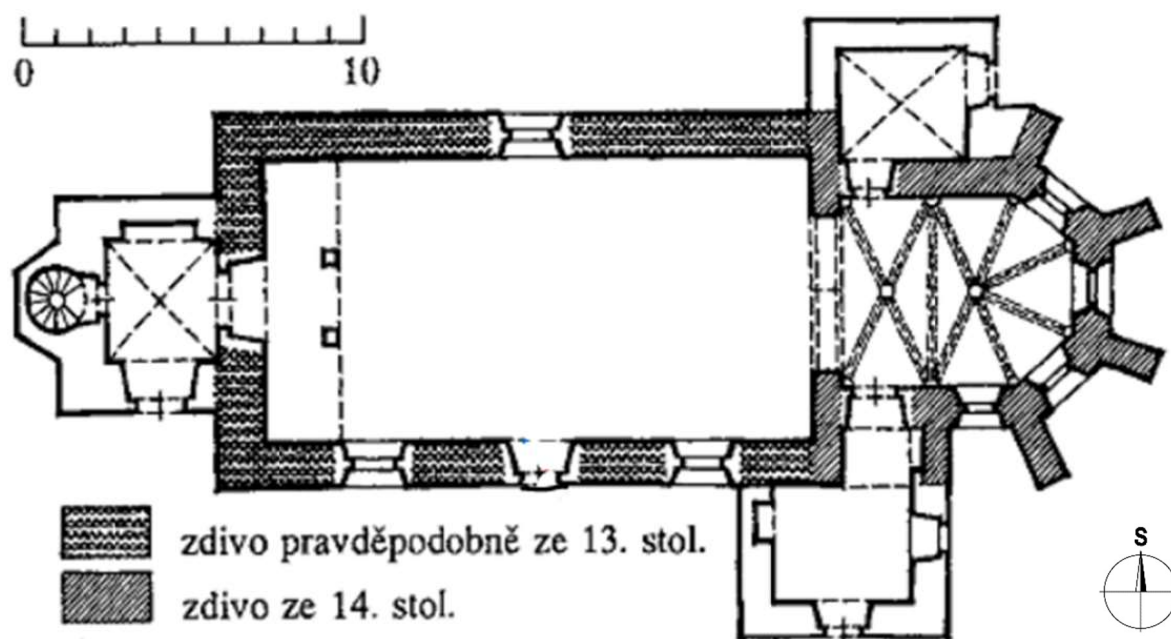
## 1.2. Stručný popis objektu

Jedná se o nepodsklepený jednoduší raně gotický kostel se zděným stěnovým konstrukčním systémem. Objekt je tvořen věží, hlavní lodí, presbytářem, předsíní a v současné době zazděnou sakristií. V hlavní lodi je realizována dvoupodlažní (2NP a 3NP) dřevěná kruchta (západní část) a pravidelná osmiboká dřevěná kazatelna s baldachýnem totožného půdorysu. Střecha nad hlavní lodí je sedlová, nad presbytářem zakončená trojcípou valbou. Mezi hlavní lodí a presbyteriem se nachází triumfální lomený oblouk.

Pata kříže umístěného na věži kostela slouží jako geodetický zhušťovací bod bodového pole s číslem 205.1 triangulačního listu 1225. [2] Objekt je nemovitou kulturní památkou. [1]

## 1.3. Historie objektu

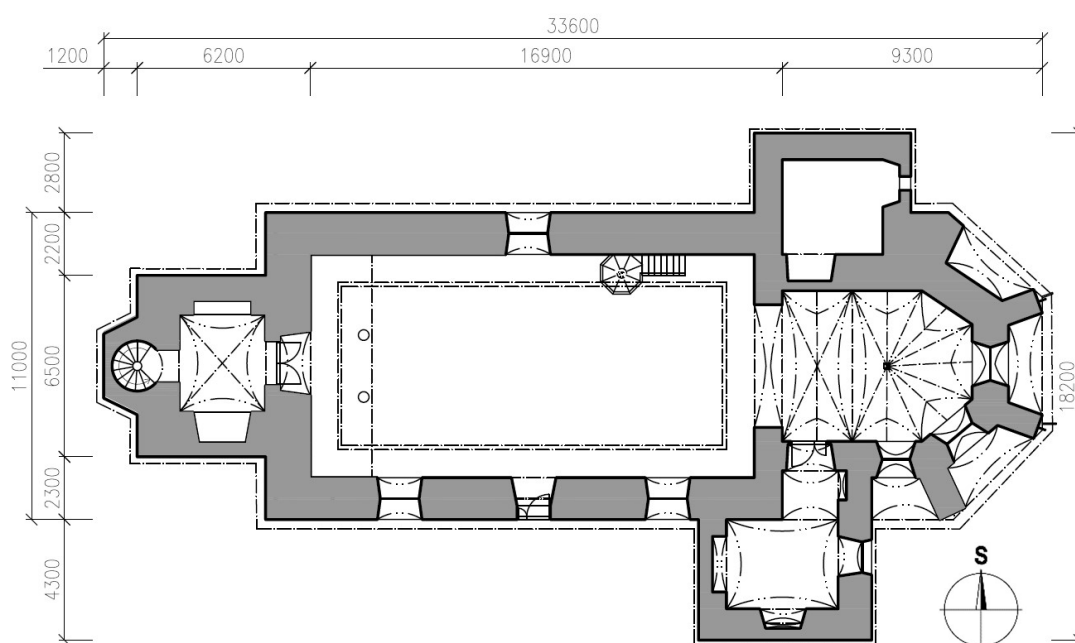
První zmínka o původně gotickém kostele je z roku 1415. Kostel byl v historii několikrát přestavován – presbytář je ze 14. století, barokní přestavba lodi a věže je z roku 1708, předsíň z roku 1856 od zednického mistra F. Fleschera. [5] Po roce 1945 zchátral a je bez využití [6]. V současné době objekt vlastní Kanonie premonstrátů Teplá (Kláster 1, Teplá 364 61). [1] Jednotlivé etapy výstavby objektu znázorňuje obrázek 3.



obrázek 3 – etapy výstavby kostela [6]

## 2. Popis konstrukčního řešení

Jedná se o jednolodní kostel s dvoupatrovou kruchtou nesenou dřevěnými sloupy, dvoupólově klenutým pětiboce zakončeným presbytářem, sakristií (severní strana), předsíní (jižní strana) a věží (viz obrázek 4). Konstrukční systém hlavní lodi budovy je stěnový podélný s dřevěným trámovým stropem a s hambálkovým krovem s ležatou stolicí – podle vzdálenosti vazeb se jedná o krov pro lehkou krytinu. Konstrukční systémy ostatních částí objektu jsou rovněž stěnové, zastropené většinou klenbou. V západní části objektu je podvěží s točitým schodištěm. Sakristie byla v době průzkumu nepřístupná.



obrázek 4 – půdorys 1. NP

### 2.1. Základy

Konstrukce základů stavby nebyla v rámci práce detailněji zkoumána. Dle stáří stavby je předpokládáno, že spodní stavba je tvořena kameny větší frakce, než je použito na zdění stěn, a to v širší nosných stěn objektu. Hloubka základů je ze stejného důvodu odhadována na minimálně 1 m (pravděpodobně více).

Dle online map České geologické služby by mělo být podloží, na kterém je kostel zakládán, tvořeno především svorem. [7]

U objektu nebyla v rámci průzkumů zjišťována původní vodorovná ani svíslá hydroizolace. Pokud by nějaká existovala (v době předpokládané výstavby kostela byla užívaná pevně tmelená vápenná malta a břidlice [8]), bude již vzhledem ke stáří objektu téměř nefunkční.



## 2.2. Svislé nosné konstrukce

Z vnější strany nosných stěn objektu je na mnoha místech poškozená omítka, na některých místech zcela chybí – díky tomu bylo možné identifikovat typ zdiva. Viz obrázek 5. Rozsah poškození a odhalený typ zdiva viz přílohy S.5 až S.8.

Svislé nosné konstrukce hlavní lodi jsou tvořeny stěnami zděnými pomocí kamenů (svor) (lokálně nahrazenými plnými pálenými cihlami – nejspíše v místech dřívějších sanací) na vápennou maltu. Jihozápadní nároží hlavní lodi je realizováno z velkých opracovaných kamenných bloků. Stěny hlavní lodi jsou masivní – šířky přibližně 1,5 m. Hlavní loď má světlou výšku přibližně 8 m. V hlavní lodi je umístěna kruchta podepřená na jedné straně nosnou stěnou a na druhé dvěma dřevěnými zdobnými kruhovými sloupy (v 1. NP o průměru 280 mm a v 2. NP kruchty 180 mm).

Svislé nosné konstrukce věže jsou rovněž tvořeny stěnami zděnými z kamenů na vápennou maltu, místně nahrazenými cihlami plnými pálenými v místech původních kleneb či odlehčujících pásů. Svislé nosné konstrukce presbytáře jsou ze smíšeného zdiva (kameny a plné pálené cihly na vápennou maltu) v tloušťkách přibližně 1 m. Přičemž pilíře podporující klenbu jsou z velkých opracovaných bloků pískovce – viz obrázek 6. Svislé nosné konstrukce předsíně a sakristie jsou rovněž ze smíšeného zdiva tloušťky přibližně 1 až 1,2 m. Nároží sakristie je realizováno z velkých opracovaných kamenných bloků. Část stěnových konstrukcí předsíně a sakristie (obzvláště ve štítech pod plochými střechami) je z cihel plných pálených.

Mezi presbyteriem a hlavní lodí je zeď z kamenného zdiva (obdobné ostatním stěnám hlavní lodi) s triumfálním lomeným obloukem, jehož lem (respektive ostění a nadpraží) je tvořen opracovanými masivními nejspíše pískovcovými zdíci prvky.



obrázek 5 – severní fasáda kostela  
s odhaleným zdivem



obrázek 6 – východní fasáda presbytáře –  
opracované kamenné bloky pilířů

### 2.3. Vodorovné nosné konstrukce

V objektu jsou užitý 2 typy vodorovných nosných konstrukcí: dřevěný trémový strop v hlavní lodi a věži a klenba v podvěží (křížová), presbytáři (žebrová klenba křížová a žebrová šestidílná) a předsíni (česká placka).

Stropní konstrukce hlavní lodi je realizována jako dřevěný trémový strop s podbitím a násypem. Trémy jsou pnuty příčně. Uloženy jsou prostě na nízké podezdívky umístěné na nosných stěnách. Mezi podezdívkami a římsou je podélně po obou stranách hlavní lodě umístěný dřevěný roznášecí trám, na kterém jsou rovněž uloženy stropní trémy. Podezdívky jsou ze stejného materiálu jako svislé nosné konstrukce. Zhlaví trámů jsou zadržena v kapsách zdiva římsy, místy i s vloženým klínem. Římsa je vyžděná z cihel plných pálených na vápennou maltu. Ve spodní části římsy je konzolově vyloženy (cihelnou římsou vynášející) opracovaný kámen přitížený částí nadezdívky a konstrukcí krovu. Stropní trémy jsou pnuty jako prosté nosníky na rozpon 9 m (světlost 8 m) a jejich rozměry se pohybují mezi 200/260 mm a 200/280 mm. Násyp na podbití má charakter stavebního odpadu.

Většina kleneb je zakrytá omítkami a není tedy možné identifikovat materiál a tloušťku. Výjimkou je klenba nad presbytářem, kterou je možné pozorovat z prostorů krovu. Klenba je realizována z kamenných zdících prvků nepravidelného tvaru. Další klenbou, jejíž konstrukce je alespoň z části odhalena, je křížová klenba v podvěží – ta je realizována z cihel plných pálených.



obrázek 7 – uložení trámů stropu lodi

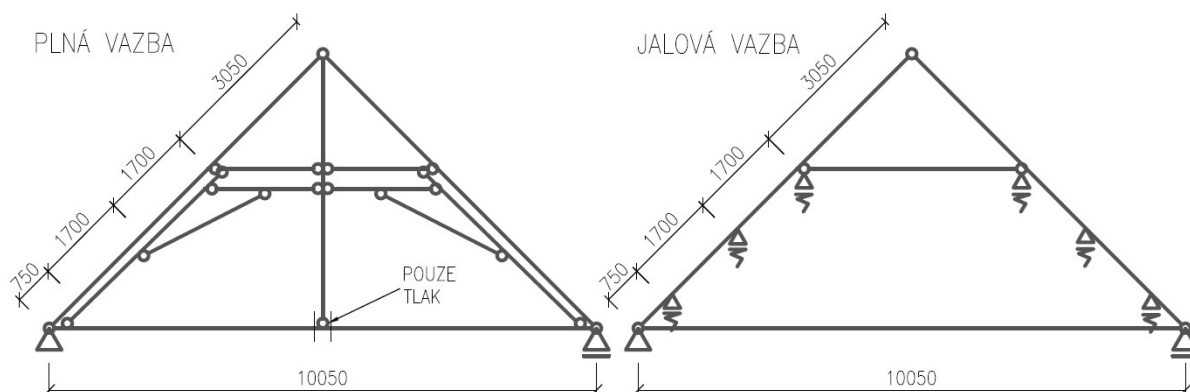


obrázek 8 – levá část klenby nad presbyteriem

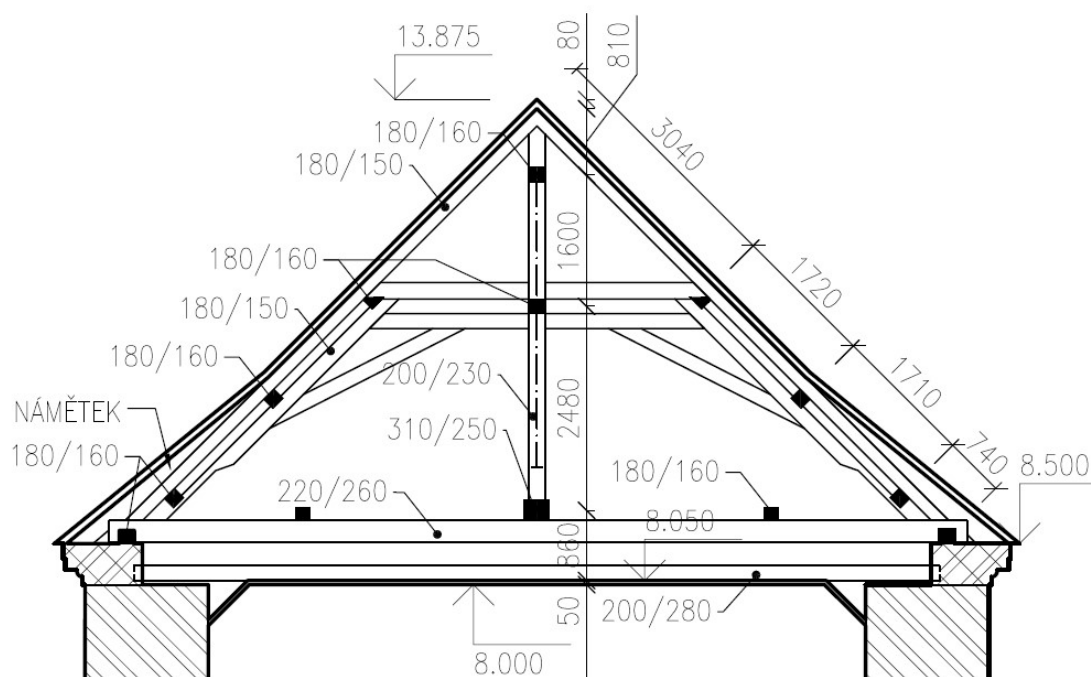
## 2.4. Krov

### 2.4.1. Krov hlavní lodi a presbyteria

Krov je realizován jako hambálkový s ležatou stolicí – viz obrázek 13. V krovu hlavní lodi je plná vazba každá třetí. Osová vzdálenost jednotlivých vazeb je 1,4m – jedná se tedy o krov na lehkou krytinu (v minulosti pravděpodobně šindel, v současnosti eternit na šindel nebo na prkna). Krov má tři vaznice na každé straně (střední, mezilehlou a spodní). Vrcholovou vaznici krov neobsahuje. Viz statické schéma krovu (obrázek 9) a schéma plné vazby (obrázek 10).

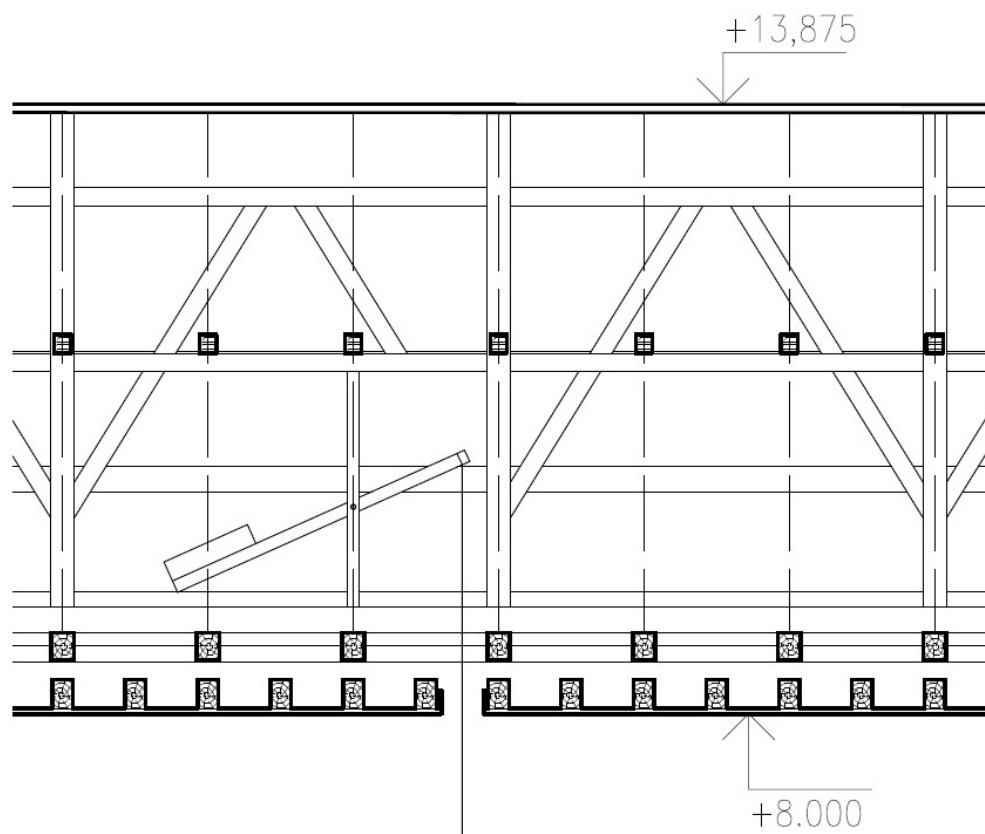


obrázek 9 – statické schéma krovu nad hlavní lodí kostela



obrázek 10 – schéma prvků plné vazby krovu





obrázek 11 – schéma podélného řezu krovem

Konstrukce krovu je podélně ztužena pomocí ondřejských křížů a masivní příhradové konstrukce vedoucí středem krovu (viz obrázek 11). Ta je tvořená třemi úrovněmi vodorovných podélných prvků a diagonál vždy v plné vazbě čepovaných do sloupků. Sloupky nejsou na spodní podélný prvek ztužidla (ani ten na vazné trámy) upevněny spojem, který by byl schopen přenášet tah – viz obrázek 14. Lze tedy vyloučit, že by tato část konstrukce sloužila jako věšadlo (svědčí o tom i skutečnost, že u sloupků nejsou vzpěry).

Veškeré spoje v krovu jsou provedeny jako tesařské – nejčastěji čep zajištěný dubovým kolíkem.

Přibližně ve čtvrtinách rozponu (z každé strany) vazných trámů jsou umístěny vynášecí trámy. Ty jsou položeny na vazných trámech a jsou pomocí železných tyčí na různých místech spojeny se stropními trámy nesoucími podhled. Viz obrázek 12.

V části krovu nad presbyteriem, kde je střecha zakončena trojcípou valbou, jsou některé krokve (dvě, jedna a dvě – vystřídány vaznými trámy) uloženy do kráčat.

Výkresy krovu viz příloha S.2.



*obrázek 12 – kotvení stropního trámu do vynášecího trámu*



*obrázek 13 – axonometrie plné vazby krovu*



*obrázek 14 – pohled zespodu na uložení  
spodního podélného prvku středového  
ztužidla na vazné trámy*

#### **2.4.2. Krov věže**

Jedná se o věžovou krokevní soustavu pro zvonovou střechu. Spodní část krovu tvoří dřevěný rošt usazený na koruně římsy tvořený 5 trámy v každém směru a kráčaty na nárožích pnutých do diagonál roštu. Na tomto roštu je obdélníková stojatá stolice s osmi sloupky (v každém rohu dva) s ondřejskými kříži v každé svislé rovině stolice. Na stolici je dvojvrstvý horní věnec tvořen dvěma plátovými hlavními trámy, čtyřmi výměnami a celkem osmi zkrácenými trámy pnutých (vždy po dvou) do výměn – viz obrázek 15. Do horního věnce jsou

pnuté ramenáty jak spodní, tak horní části – spodní se dále pnou do spodního roštu a horní do vrcholu krovu. Na horním věnci stojí ve středu kulatý sloup, jehož vrchol je i vrcholem krovu věže. Z horního věnce jsou do vrcholu pnuty krokve podporující ramenáty. Spoje v krovu věže jsou realizovány pomocí ocelových spojovacích prvků.



obrázek 15 – pohled na horní věnec krovu věže zespodu



obrázek 16 – pohled na sloupky, ztužení, ramenáty a část spodního roštu krovu věže

## 2.5. Kompletační konstrukce

Vnitřní omítky jsou vápenné tloušťky přibližně 1 cm, opatřené výmalbou, resp. několika výmalbami z různých období. V hlavní lodi nejsvrchnější výmalba zobrazuje iluzorní arkádu jakoby podpírající patu falešné klenby stropu. V oblasti kněžiště je užitě válečkování (to se uplatňovalo zpravidla v meziválečném období). Ostatní prostory nemají zdobnou výmalbu.

V hlavní lodi má trámový strop podhled vytvarovaný pomocí fabionů do falešné zrcadlové klenby. Podhled tvoří vápenná omítka s rákosem na nejspíš prkenném podbití (tloušťka pravděpodobně 24 mm).

Podlaha v přízemí je dlážděná – dlažba se tvarem liší v lodi a presbyteriu, obě jsou ale velkoformátové kamenné, nejspíše uloženy do pískového lože. V kruchtě je podlaha dřevěná.

Okenní otvory v hlavní lodi mají půlkruhové nadpraží. Výplněmi těchto otvorů jsou dělená dřevěná okna s jednovrstvým sklem. V presbyteriu mají otvory nadpraží do tvaru lomeného oblouku a výplně jsou realizovány dřevěnými okny s kružnicovou vitráží. Vnitřní i vnější parapet otvorů v lodi i presbyteriu má výrazný sklon směrem od výplně.

Střešní krytina hlavní lodi je kosočtvercová, eternitová, přibitá na severní střešní rovině na šindel a ten následovně k horizontálním latím pnutým na krokvích a na jižní střešní rovině na prkna pnutá na krokvích (oboje lehká krytina). Krytinu střechy nad částí schodiště věže tvoří pálená střešní taška – bobrovka. Krytinou zvonovité střechy věže je štípaný šindel na prkenném pobití.



*obrázek 17 – pohled na hlavní loď směrem od presbytáře*



## 3. Popis stávajícího stavu a analýza možných příčin poruch

### 3.1. Základy

U konstrukce triumfálního oblouku je při pohledu z lodi na presbytář na levé straně vidět zřetelná trhlinka. Na pravé straně na obdobném místě je již méně zřetelná trhlinka stejného typu. Rovněž se nachází trhlinka na severní stěně presbyteria pod nejzápadnější kápí (viz obrázek 22). Tyto trhlinky mohou svědčit o nerovnoměrném sedání obvodové zdi a oblouku.

Nerovnoměrné sedání může být způsobeno hromaděním vody v základové spáře, tomu napovídá i absence drenáže u objektu a svažitosť terénu (ze severozápadu směrem k objektu). Pro ověření příčiny vzniku trhlin ve svislých nosných konstrukcích zmiňovaných výše, byla provedena podrobnější analýza pomocí výpočtového modelu (viz kapitola 3.2.1) a monitoring zmíněných trhlin (viz kapitola 3.2.2).

V objektu dochází k vzlínání vody – zdivo je do výšky cca 1,5 m na základě vizuálního průzkumu vlhké. O vzlínání vody také vypovídá např. solný výkvět na svislé nosné konstrukci při vchodu do podvěží – viz obrázek 19.

Skutečnost zvýšené vlhkosti ve zdivu způsobuje nedostatečné odvádění vody od objektu a absence hydroizolační obálky konstrukce. Dešťové svody a žlaby jsou ucpané náletovou zelení nebo jsou dřevavé a neplní tak svoji funkci – viz obrázek 18. Okolo kostela není realizován žádný odvodňovací žlab či drenáž. Pro přesnější informace o vlhkovém stavu konstrukce byl proveden laboratorní průzkum vlhkosti a chemismu – viz kapitola 4.



obrázek 18 – podokapní žlab ucpaný náletovou zelení

## 3.2. Svislé nosné konstrukce

Svislé nosné konstrukce hlavní lodi jsou oslabeny zvýšenou vlhkostí zdiva, která se projevuje na některých místech i solnými výkvěty. Vzlínající voda transportuje rozpuštěné soli, které v zóně výparu krystalizují, tím vznikají v pórech zdiva tlaky. Při opětovném zvýšení vlhkosti sole rekrystalizují. Tímto opakovaným procesem krystalizace a rekrystalizace spolu s vymýváním pojivových složek malty postupně dochází k rozrušení struktury zdiva a omítek, což vede k snížení únosnosti zdiva a odpadávání omítek. [8] V konstrukcích hlavní lodi není patrné významné vymývání malty z ložných spár zdiva, nebyly identifikovány uvolněné prvky – vazba zdiva v lícových vrstvách stěn je kvalitní. Na jižní stěně je z exteriéru patrná část, kde je použité cihelné zdivo – jedná se patrně o dřívější sanaci (viz příloha S.5). Obvodové konstrukce hlavní lodi jsou porušeny trhlinami v klenutých nadpražích oken. Trhliny jsou typicky v kritických průřezech klenby (ve vrcholech na líci klenby). Ve stěně s monumentálním obloukem jsou patrné smykové trhliny způsobené pravděpodobně nerovnoměrným sedáním – viz kapitola 3.2.1 a 3.1.

Obvodové stěny schodiště, do kterých jsou uloženy schodišťové stupně, jeví známky poškození. Na povrchu konstrukce jsou vidět zřetelné svislé trhliny vycházející z míst oslabení uložením schodišťových stupňů – vznikají tedy v místech koncentrace napětí. V přízemní části je dokonce část stěny porušena (uvolnilo se několik zdících prvků), což vedlo ke kolapsu prvních tří schodišťových stupňů. Tyto poruchy jsou nejspíš způsobeny nízkou únosností a velkým zatížením krajních vrstev zdiva, které nespolutřísobí se zbytkem konstrukce díky nedokonalé vazbě. Únosnost konstrukce negativně ovlivňuje její stáří, zvýšená vlhkost a působení degradačních procesů s tím spojených (viz odstavec výše). Viz obrázek 20 a obrázek 21. Ve stěně podvěží přiléhající ke schodišti je rovněž uvolněno několik zdících prvků, nejspíše ze stejných důvodů.

Ve svislých nosných konstrukcích presbyteria je nejvýraznější poruchou trhlina v severní stěně. Trhlina je téměř svislá mírně nakloněna směrem k hlavní lodi. Trhlina je tvořená sadou krátkých trhlin a táhne se od napojení žebra křížové klenby až po podlahu. Trhlina je nejvíce otevřena v horní části konstrukce, ve spodní části trhlina „obchází“ zazděný otvor (původní vchod do sakristie). Charakter porušení svědčí o tom, že se jedná o trhlinu smykovou, nejspíš způsobenou poklesem základu na levé části triumfálního oblouku v pohledu na presbytář, popisovaným již výše. Obvodové konstrukce kněžiště jsou porušeny trhlinami v klenutých nadpražích oken. Trhliny jsou v kritických průřezech klenby.



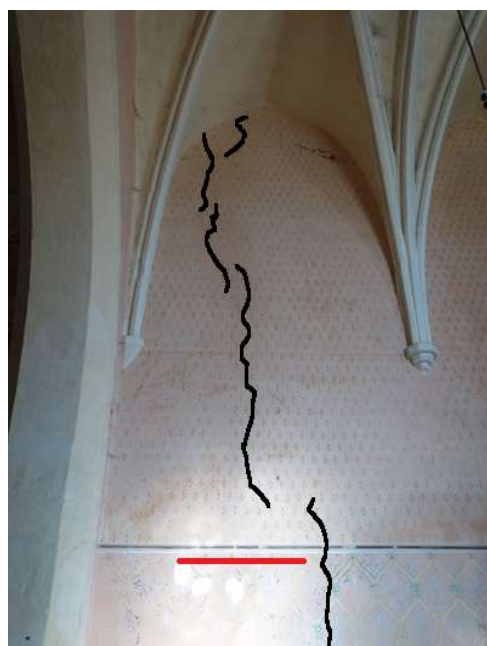
obrázek 19 – solný výkvět na nosné stěně  
v přízemí



obrázek 21 – přízemí – schodiště



obrázek 20 – trhlina ve stěně u točitého  
schodiště



obrázek 22 – severní stěna presbyteria –  
černě vyznačeny trhliny, červeně  
předpokládaná poloha překladu původního  
otvoru

Svislé nosné konstrukce kruchty (dřevěné sloupy) obsahují sesychací trhliny, které však svou hloubkou a šířkou nevypovídají o narušení konstrukce.

Zobrazení poloh a rozsah poruch viz přílohy S.1, S.3 a S.4

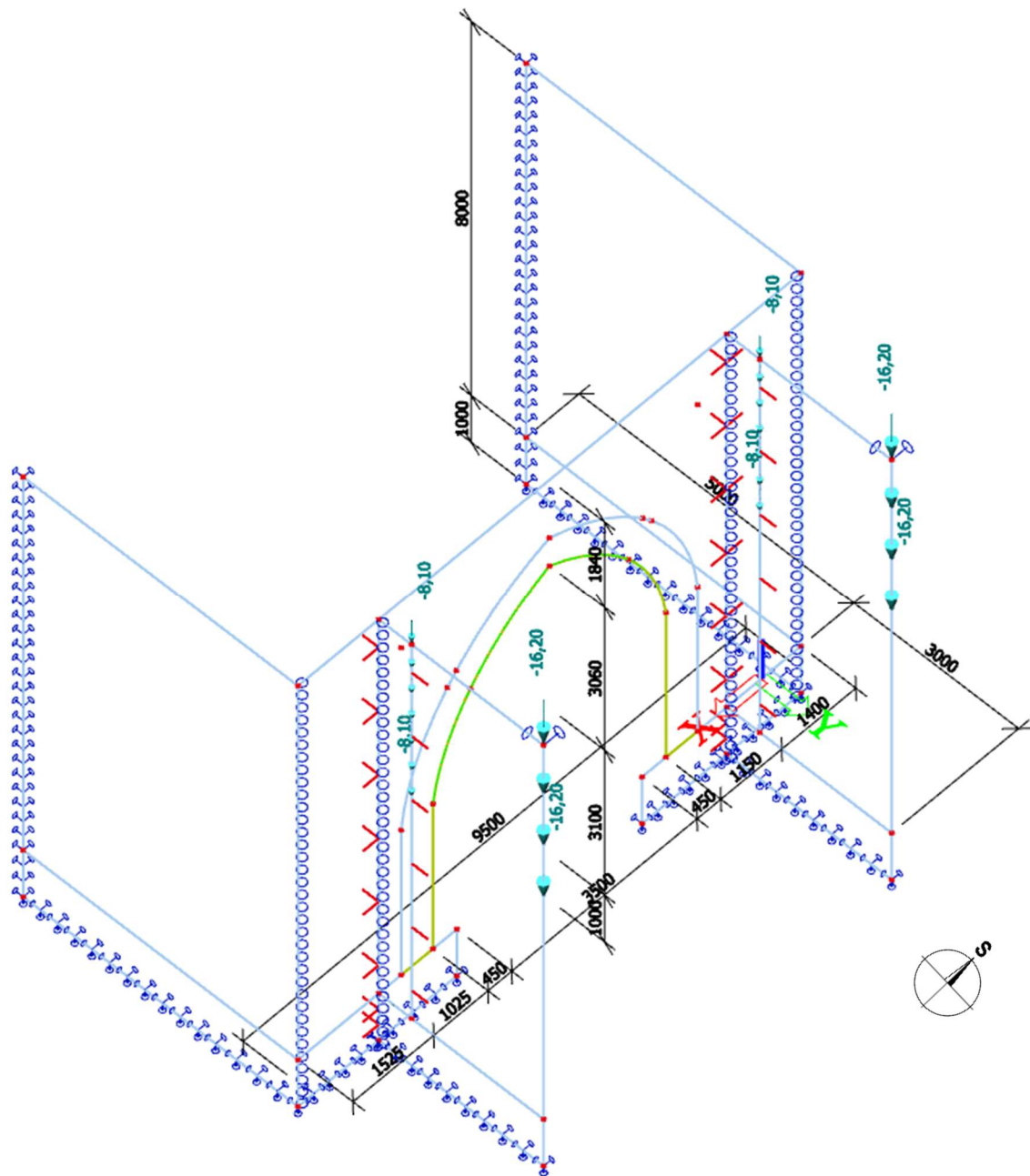
### 3.2.1. Model triumfálního oblouku

Pro ověření předpokladu příčin poruch (trhlin) ve svislé nosné konstrukci s triumfálním obloukem byl vytvořen 3D model části objektu ve výpočetním softwaru SCIA Engineer 21.1. Předpokládanou příčinou je nerovnoměrné sedání objektu (viz kapitola 3.1) v kombinaci se stářím materiálů, lokálním zatékáním a dalšími příčinami způsobenými zanedbanou údržbou. Byl vytvořen konečně prvkový model vítězného oblouku, navazujících podélných stěn a předpokládaných základů. Analyzovány byly deformace a průběhy napětí – a to z hlediska směru hlavních napětí (trajektorie) a z hlediska lokálních koncentrací napětí. Směr trajektorií byl porovnán s reálnými trhlinami a byly diskutovány možné způsoby jejich vzniku.

Konstrukční model byl vytvořen na základě změřených (a z nich dopočtených) přibližných rozměrů během stavebně technického průzkumu. Délka navazujících stěn na tu zájmovou (viz obrázek 24 – stěna S1) byla zvolena 5 m u obvodových stěn hlavní lodi (obrázek 24 – stěna S2) a délka jednoho pole křížové žebrové klenby kněžiště (3 m) u stěn presbyteria (obrázek 24 – stěna S3). Co se týče geometrie, jedná se téměř o symetrickou úlohu (obvodové stěny presbyteria nemají stejnou tloušťku a jejich střednice mírně nerespektují symetrii). Stěny jsou ve výpočetním programu na sebe napojeny pomocí liniových kloubů „na vnitřní hraně“, umožňujících vzájemné natočení stěn a zabraňujících jejich vzájemné rozdílné deformaci ve směrech os X, Y a Z.

Konstrukce je zatížena vlastní vahou (gravitační zrychlení  $g = 10 \text{ ms}^{-2}$ ) a v místě žeber liniovým zatížením vycházejícím z vlastní váhy klenby, kterou žebro vynáší (toto bodové zatížení je rovnoměrně rozloženo do linie dlouhé 3,5m – délce uložení žebra na stěně). Rozměry a poloha základů byla odhadována (viz kapitola 2.1). Zmíněné zatížení a geometrie modelu viz obrázek 23.





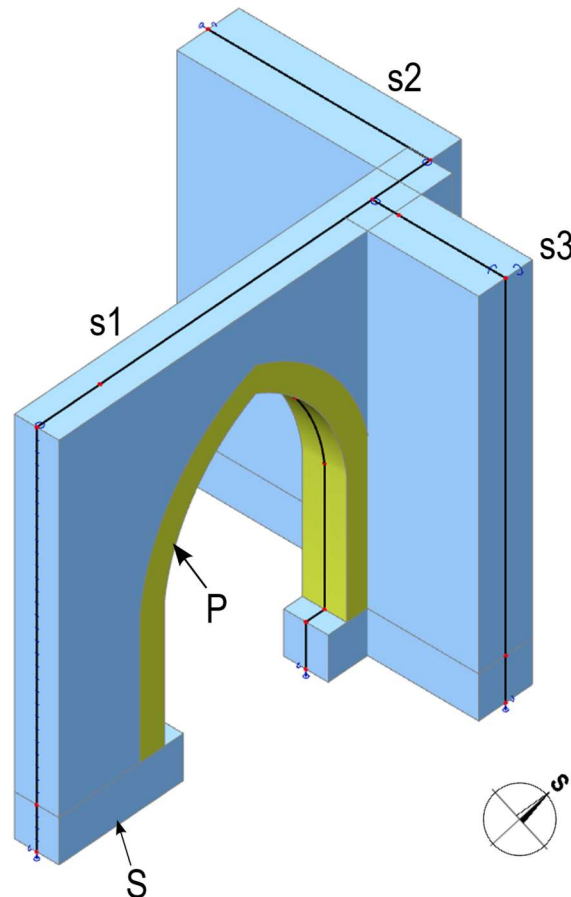
obrázek 23 – model triumfálního oblouku: geometrie, vazby, klouby a zatížení

V modelu konstrukce jsou použity dva druhy materiálu – kamenné zdivo (svor na vápennou maltu) a pískovcové masivní bloky. Kamenné zdivo je zobrazováno modře a je značeno šipkou s „S“ – viz obrázek 24. Pískovec je na zmíněném obrázku zobrazován žlutě a je označen šipkou s „P“. Pískovec je uvažován pouze v ostění/nadpraží vítězného oblouku. Materiálové vlastnosti byly odhadnuty následovně:

- Pískovcové zdivo:
  - o Objemová hmotnost  $\rho = 2400 \text{ kg/m}^3$

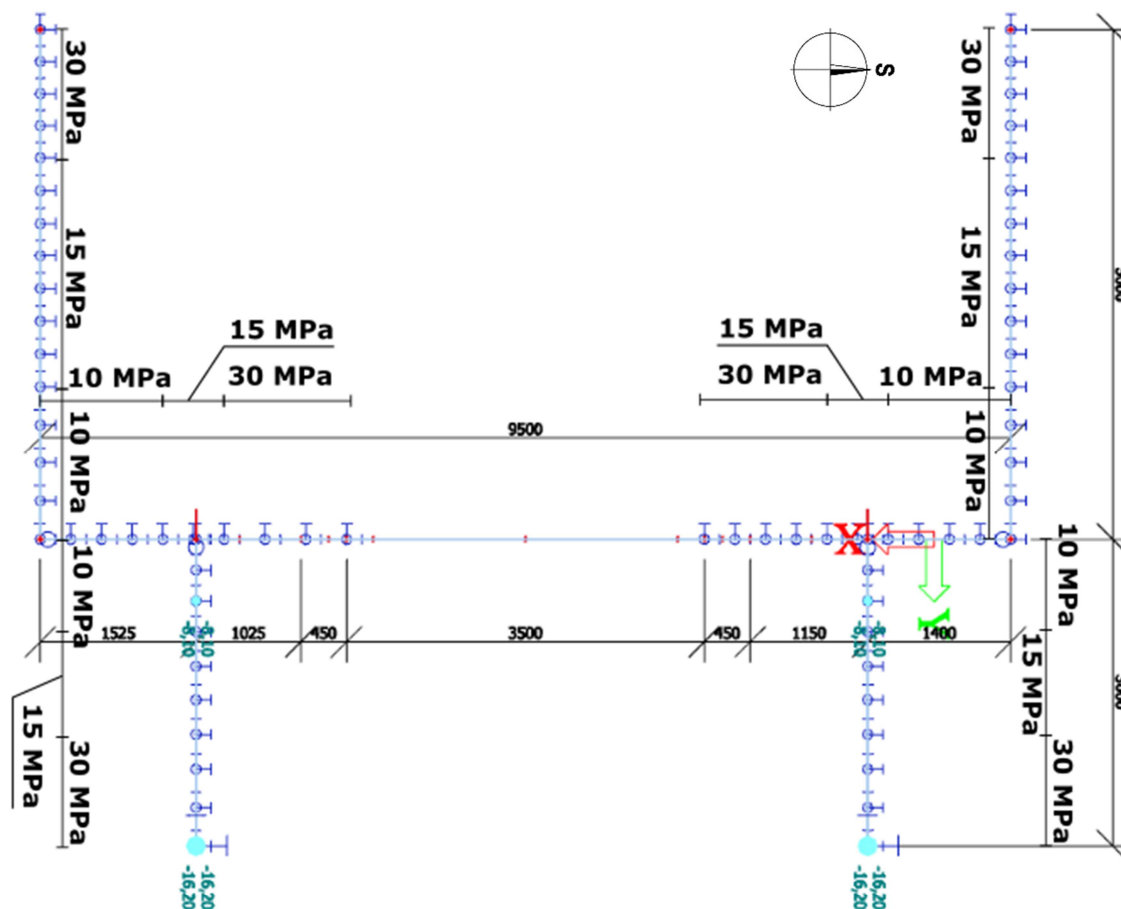


- Youngův modul pružnosti  $E = 4 \text{ GPa}$
- Poissonův součinitel  $\nu = 0,2$
- Kamenné zdivo (svor):
  - Objemová hmotnost  $\rho = 2600 \text{ kg/m}^3$
  - Youngův modul pružnosti  $E = 2,5 \text{ GPa}$
  - Poissonův součinitel  $\nu = 0,2$



obrázek 24 – model triumfálního oblouku: axonometrie na tělesa, materiály

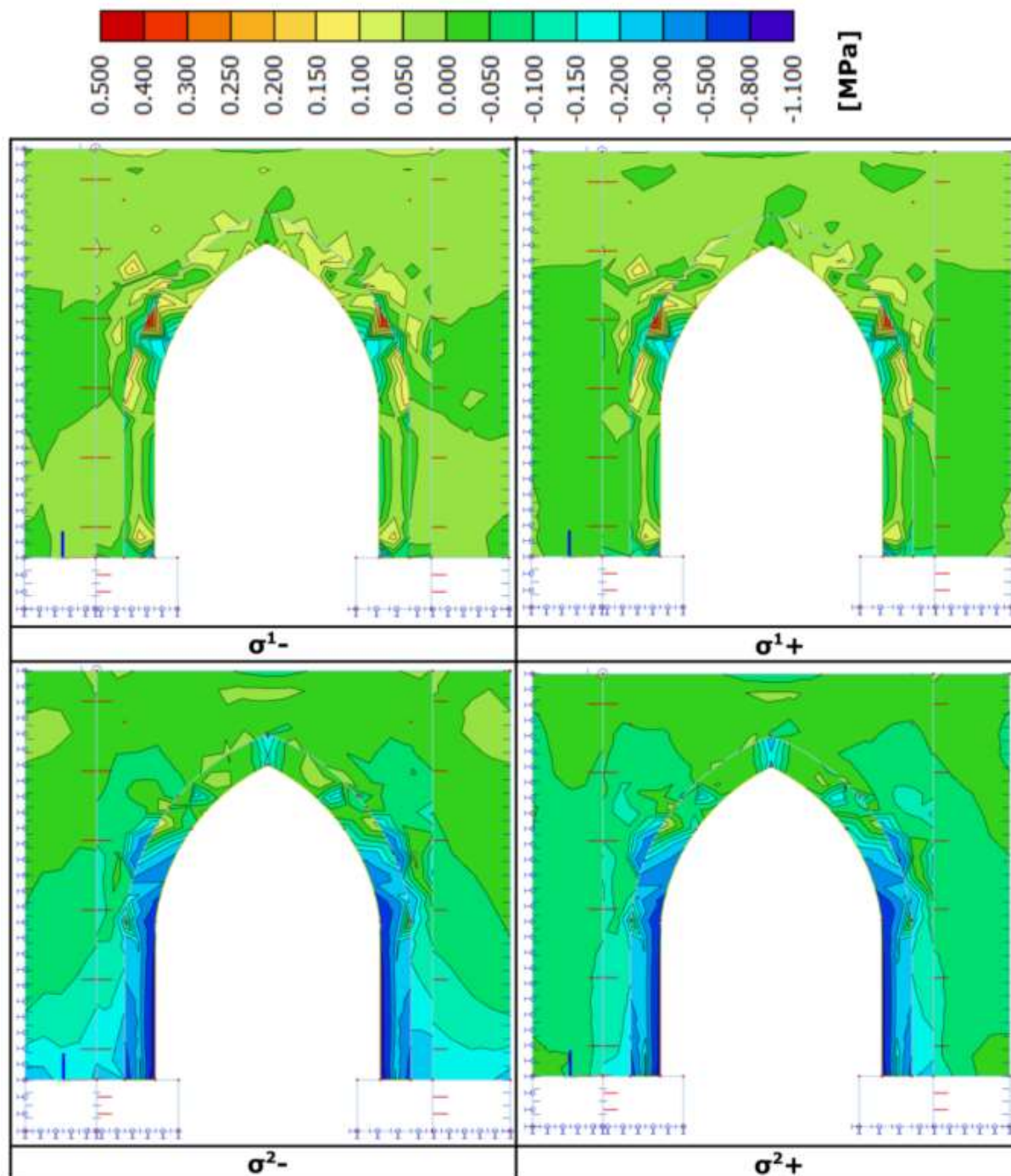
Nerovnoměrné sedání bylo simulováno úpravou tuhostí podpor v ose Z. Základ byl podepřen liniovými kloubovými podporami s nekonečnou tuhostí pro posun ve vodorovných směrech a s proměnnou tuhostí (dle úrovně předpokládaného snížení únosnosti základové zeminy) pro posun ve svislém směru. Základová půda se standardními vlastnostmi byla modelována podporou s tuhostí 30 MPa, půda narušená (se sníženou únosností) byla modelována podporou s tuhostí 10 MPa. Mezilehlé oblasti pro snížení chybovosti v singularitách byly modelovány podporami s tuhostí 15 MPa. Pro rozložení tuhostí podpor ve svislém směru viz obrázek 25.



obrázek 25 – model triumfálního oblouku: modelované tuhosti podpory ve svislém směru

Z výsledného vykreslení hlavních napětí jsou patrná tahová napětí na rubu vítězného oblouku v kritickém průřezu v přibližně 60° od horizontály (typické). Dále jsou patrná silná tlaková napětí v patách pískovcového lemu oblouku – ten má větší tuhost a není u něj modelován pokles, a proto přebírá zatížení z okolních konstrukcí. Ve vrcholu klenby vzniká pouze tlakové napětí, což je dáno lomeným tvarem oblouku (u klasické klenby bez lomení na líci klenby často v tomto průřezu vzniká tah). Tahové napětí zhruba 150 kPa se objevuje v jednom bodě na levé části nad kritickým průřezem v klenbě (60°) – toto místo je zajímavé tím, že skrz něj ve skutečnosti prochází trhлина. Výsledky odpovídají předpokládanému rozložení napětí v konstrukci.

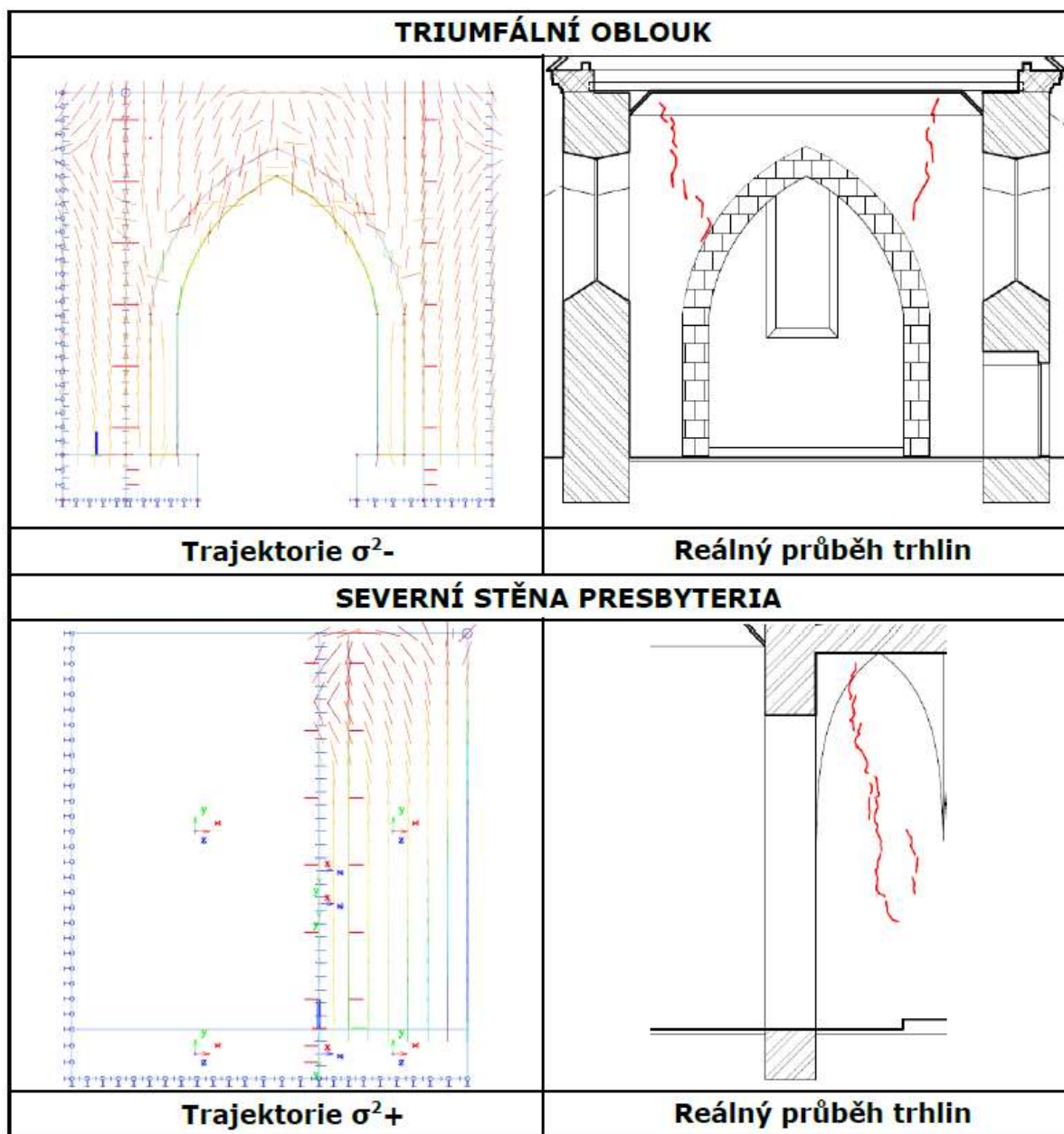
Výsledky výpočtu – viz obrázek 26. Napětí s indexem „1“ jsou hlavní napětí s maximální hodnotou (hlavní tahová), napětí s indexem „2“ jsou s nejmenší hodnotou (hlavní tlaková). Index „+“ značí napětí na povrchu konstrukce blíže ke kněžišti a index „-“ značí napětí u povrchu blíže k hlavní lodi. Pohled na oblouk na zmíněném obrázku je vždy z hlavní lodi na presbyterium (pohled směrem na východ).



obrázek 26 – model triumfálního oblouku: hlavní napětí

Směr trajektorií hlavních napětí přibližně odpovídá směru reálných trhlin. Napětí  $\sigma^2$  (tedy hlavního tlakového napětí) by mělo svou trajektorií souhlasit se směrem trhlin – svislé zatížení stěny a oblouku vyvozuje příčné tahy (kolmo na své působení) a ty trhají zdivo (v kolmém směru na své působení) – pevnost zdiva v tahu se pohybuje v rozmezí 5 až 12 % pevnosti zdiva v tlaku. [8] U modelu byly sledovány i trajektorie na severní stěně v presbyteriu,

kde se rovněž vyskytují trhliny. Porovnání trajektorií napětí a reálného průběhu trhlin viz obrázek 27.



obrázek 27 – model triumfálního oblouku: porovnání trajektorií modelu a reality

Model svými výsledky potvrzuje, že vzniklé trhliny ve stěně s vítězným obloukem a trhliny v severní stěně presbyteria nejspíše vznikly poklesem podpor v oblastech styků stěn, kde se pravděpodobně vlivem působením vlhkosti snížila únosnost zeminy v základové spáře.



### 3.2.2. Monitoring trhlin

V objektu byl zahájen monitoring šířky vybraných trhlin. Jedná se o 3 měřící místa tvořená vždy dvěma měřícími body – hřebíky s velkou plochou hlavičkou, která je přilepená ke konstrukci tmelem. Aby nedocházelo ke zbytečnému poškozování omítek, nejsou hřebíky lepeny na obnažené zdivo, ale na omítku – to by mohlo způsobovat chybu měření, ale ta by neměla být výrazná. Cílem monitoringu je zjištění, zdali se jedná o aktivní či pasivní trhliny – od toho se následně odvíjí vhodná sanační metoda.

Monitorovány jsou dvě trhliny – první je na severní stěně presbyteria, kde jsou umístěna dvě měřící místa v různých výškových úrovních (D1 – přibližně 3,8 m a D2 - 5,2 m nad čistou stavební podlahou) a druhá je ve vrcholu klenby ve spojovacím krčku mezi kněžištěm a předsíní (měřící místo D3). Viz obrázek 28 a přílohy S1 a S3.



obrázek 28 – lokace měřících bodů pro monitoring trhlin

Měření je prováděno přiložením manuální šuplery s přesností na desetinu milimetru mezi dříčky hřebíků co nejbližší jejich hlavičce. Přesnost této metody je pro účel práce dostatečná. Naměřené hodnoty viz tabulka 1.



Měřicí místo	14.11.2021	28.11.2021	13.2.2022	30.4.2022
D1	Bod uvolněný	79,6 mm	79,5 mm	80,8 mm
D2	72,5 mm	73,2 mm	73,8 mm	73,25 mm
D3	143,4 mm	144,0 mm	144,3 mm	Bod uvolněný

tabulka 1 – naměřené hodnoty vzdáleností mezi měřicími body

Při interpretaci výsledků měření není hleděno na první měřené hodnoty, které byly vždy pořízeny v den umístění bodů a mohou tedy vykazovat významné odchylky. Měření v bodě D3 není dále interpretováno, jelikož došlo k uvolnění měřícího bodu před posledním měřením, což vede k relativně krátké době, po kterou měření v bodu probíhalo, a výsledky by mohly být zavádějící. Z toho důvodu nelze říci, zda trhlina ve vrcholu valené klenby ve spojovacím krčku mezi presbyteriem a předsíní je, nebo není aktivní.

Hodnoty z měření bodů D1 a D2 (měření trhliny v severní stěně presbyteria) lze interpretovat tak, že měřená trhlina je aktivní. U obou měřících bodů byly identifikovány změny v naměřených hodnotách v různých časech. Největší rozdíl naměřených hodnot v čase je 1,3 mm, což je rozdíl, který převyšuje předpokládaný rozsah nepřesnosti měřící metody. Rozdíly v po sobě jdoucích naměřených hodnotách nejsou vždy u bodů D1 a D2 stejné – tato skutečnost může být způsobena absencí rovnoběžnosti pomyslných linií, ve kterých bylo prováděno měření – viz obrázek 28.

Přesnějších výsledků by bylo možné dosáhnout použitím přesnější metody – například umístěním sádrových destiček na obnažené zdivo. Dále by bylo vhodné měření provádět po delší dobu. Z toho důvodu byly měřící body D1 a D2 na konstrukci ponechány pro možnost budoucího přeměřování.

### 3.3. Vodorovné nosné konstrukce

Stropní konstrukce hlavní lodi je na několika místech oslabena působením vlhkosti, která se do prostoru dostává porušenou střešní krytinou a dochází k zatékání. Na místech pod porušenou střešní krytinou a v jejich blízkém okolí jsou trámy stropu ztrouchnivělé či jsou napadeny plísní a hnilobou. Viz obrázek 32 a obrázek 30. Zhlaví trámů stropu hlavní lodi v jejím severozápadním rohu je vlivem zatékání silně porušena (viz obrázek 33) – autor práce hodnotí stav jako havarijní!

Zhlaví velkého množství trámů je ztrouchnivělé. Tato skutečnost je nejspíš způsobena tím, že jsou trámy v kapsách zazděny (nejsou tedy provětrávány) a není možnost vysychání

těchto částí trámů – viz obrázek 31. Při důkladnějším průzkumu dřevěných prvků stropu byl v oblasti zhlaví trámů identifikován výskyt červotoče (proužkovaného, umrlčího, nebo kostkovaného). Viz obrázek 29 – byly identifikovány výletové otvory (A), které mají průměr 1,5-2,5 mm (charakteristické pro červotoče) a požerky (B). Dřevo bývá červotočem napadeno opakovaně několika generacemi, což vede až k rozpadu dřevní hmoty. [8] Dále byly nalezeny výletové otvory tesaříka krovového (*Hylotrupes bujulus*), ty bývají oválné s nerovnými okraji a průměrem 5–10 mm [9]. Zde byly o průměru zhruba 4 mm - viz obrázek 29 (C). Roznášecí trám podpírající trámy stropní konstrukce je vlivem vlhkosti silně degradovaný (ztrouchnivělý) téměř po celé délce. Vlhkost se z prvku přirozeně neodpařuje – je ze dvou (místy tří) stran zadržena a zasypaná násypem stavebního odpadu, ve kterém se vlhkost rovněž drží.

Poloha a přibližný rozsah jednotlivých poruch trámového stropu jsou vykresleny na výkrese stávajícího stavu krovu viz příloha S.2.



obrázek 29 – vzorek zhlaví stropního trámu, napadení dřevokazným hmyzem



obrázek 30 – ztrouchnivělý stropní trám



obrázek 31 – ztrouchnivělé zhlaví trámu





*obrázek 32 – plíseň stropní konstrukce  
hlavní lodi*



*obrázek 33 – rozsáhlé poškození  
trámového zhlaví trámů stropu hlavní lodi*

Valená klenba v prostorech průchodu do předsíně je viditelně porušena – viz obrázek 34. Trhlina vede v kritickém průřezu (tj. ve vrcholu na líci klenby) celým průchodem z kněžiště do předsíně. Na tuto klenbu působí velké zatížení od nosné stěny nad ní. Zároveň má proměnou šířku – ta se mění skokově z důvodu rozšíření prostoru nejspíš pro původní boční vchod – v těchto místech je podepřena klenebním pásem otvoru. Tato klenba je situována v komunikačním prostoru mezi částmi objektu s různými stavebními výškami, které mohou z toho důvodu různě sedat. Tyto skutečnosti nejspíš vedly k posunutí otvorem oslabené podpory klenby, což vedlo k trhnutí klenby.

Klenba v 3NP krucht (u varháníště) je trhnutá neobvyklým způsobem – úzké trhliny jsou orientovány příčně a radiálně – viz obrázek 35. Tato klenba je umístěna mezi hlavní lodí a věží. Příčná trhlina mohla vzniknout působením podélného větru na věž, která se tím dynamicky odkláněla od konstrukce lodi. Radiální trhlina je vlásečnicová – nevypovídá o poruše nosných prvků, nýbrž pouze kompletačních konstrukcí.

Zakreslení poloh a rozsahu poruch viz příloha S.1.



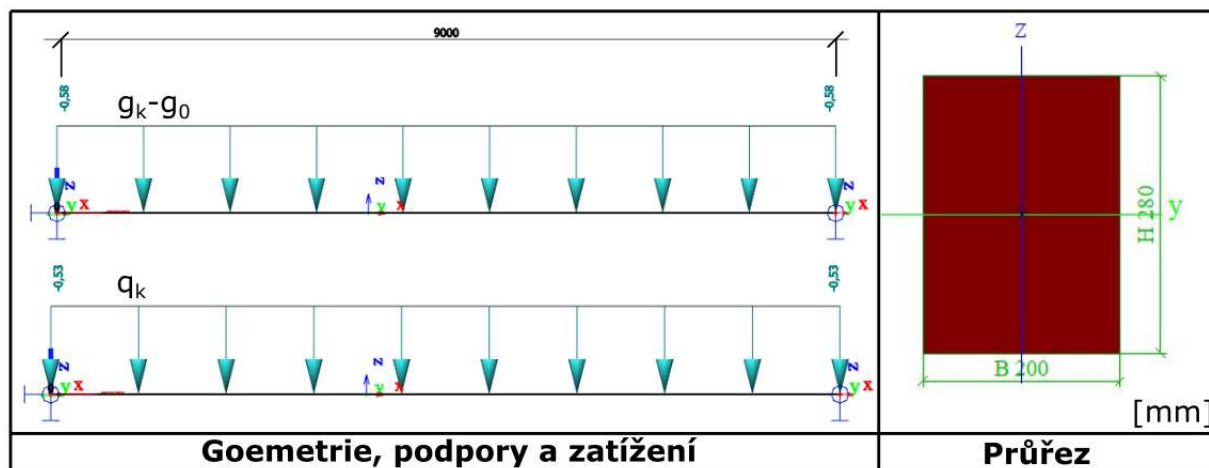
obrázek 34 – trhлина v klenbě předsíňe



obrázek 35 – trhliny v klenbě u varhanniště

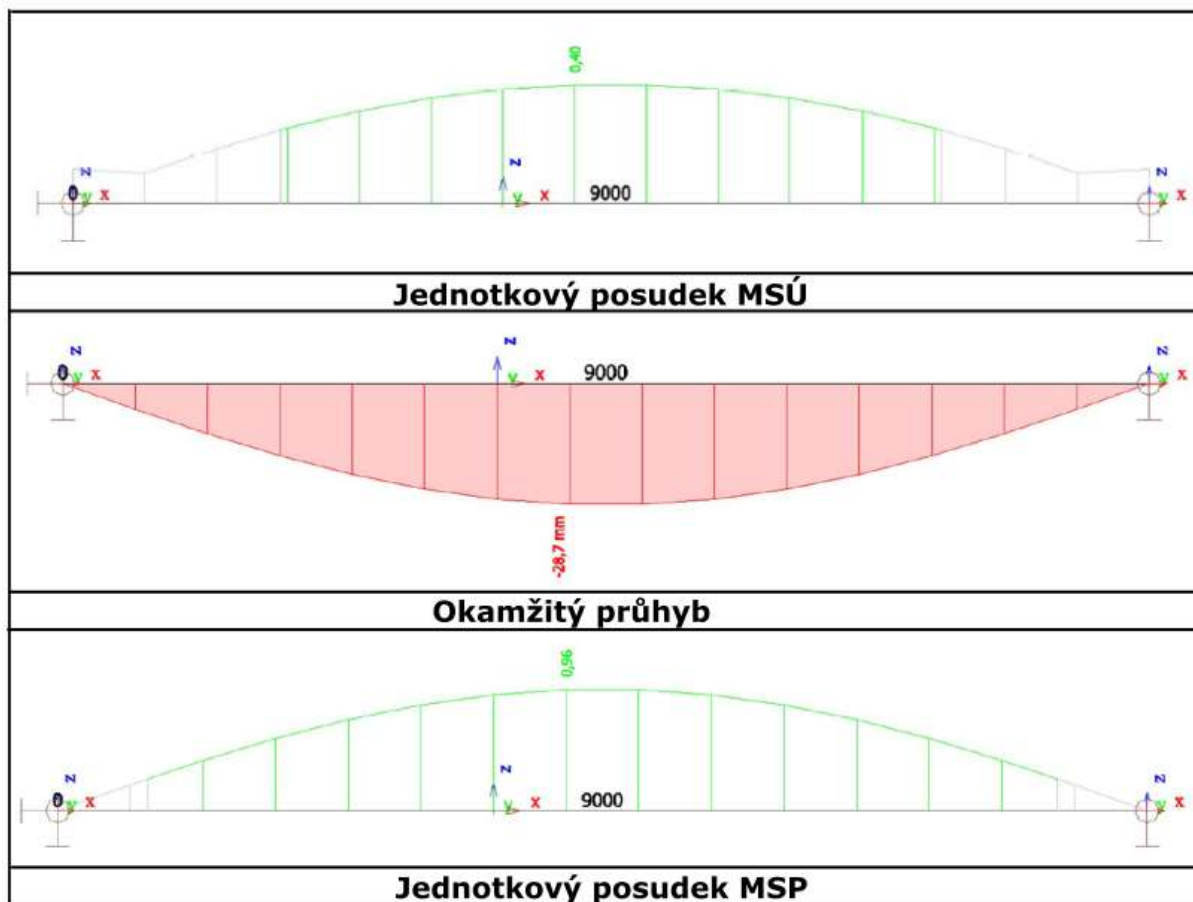
### 3.3.1. Posouzení neporušeného stropního nosníku

V rámci práce byl posouzen nepoškozený stropní trám hlavní lodě kostela. Trám byl modelován dle skutečných rozměrů ve výpočetním programu SCIA Engineer 21.1. Veškeré údaje o výpočtu (geometrie modelu, zatížení, materiálové charakteristiky, výsledné vnitřní síly a posouzení podle MSÚ a MSP včetně vykreslení) viz engineering report z programu SCIA engineer – příloha V.1. Zde je přehled pouze nejvýznamnějších údajů zadání – viz obrázek 36.



obrázek 36 – posouzení stropního nosníku: geometrie zadání

Navrhovaný trám vyhověl na MSÚ (využití až na 40 %) i na MSP (využití až na 96 %), při požadavku na okamžitý průhyb  $w_{inst} \leq \frac{l}{300}$  a požadavku na dlouhodobý průhyb  $w_{fin} \leq \frac{l}{200}$ . Stanovené limitní hodnoty jsou v souladu s eurokódem 5. [10] Grafické výsledky posouzení viz obrázek 37.



obrázek 37 – posouzení stropního nosníku: grafické výstupy posudku

## 3.4. Krov

### 3.4.1. Krov hlavní lodi a presbyteria

Vazné trámy a pozednice jsou na několika místech (obdobně jako stropní trámy) vlivem vlhkosti způsobené zatékáním střešní krytinou (obrázek 40) oslabeny. V místech pod narušenou střešní krytinou jsou vazné trámy (na několika místech i pozednice) ztrouchnivělé, místy i napadené plísní (obrázek 38) - identifikace rodů plísní byla předmětem laboratorního průzkumu (viz kapitola 3.4.3). V jihozápadní části krovu je vlivem zatékání a napadení plísní oslabená i mezilehlá vaznice. U zmiňovaných prvků a prvků v jejich blízkosti hrozí další rozvoj dřevokazných hub a plísní, snížení únosnosti prvků a jejich spojů, následně jejich porušení, což by vedlo k rozjetí krovu.

Nad presbyteriem je spodní část středového sloupku vyosená a excentricky zatěžuje vazný trám, na kterém je sloupek uložený – viz obrázek 39.

V místě nad křížovou klenbou je ztrouchnivělý střední vodorovný podélný prvek středního ztužidla, které se vlivem degradace porušilo a vypadlo z tesařského spoje, viz obrázek 41.

Vizuální prohlídkou nebyly nalezeny projevy celulozovorních hub (mezi které patří např. dřevomorka, koniofora, pornatka), které jsou typické rozkládáním dřeva hnědou hnilobou. Dřevo napadené celulozovorní houbou se rozpadá na kostičky hladkým lesklým lomem. [11]

Zakreslení poloh a rozsahu poruch viz příloha S.2.



*obrázek 38 – oslabení vazných trámů a pozednice zatékáním*



*obrázek 39 – vyosený středový sloupek nad presbyteriem*





*obrázek 40 – narušená střešní krytina*



*obrázek 41 – porušení středního  
vodorovného prvku středního ztužidla*

### **3.4.2. Krov věže**

V prostoru krovu věže je velké množství ptačích exkrementů, které urychlují degradaci dřevěných prvků. Ptactvo se do prostorů dostává skrz otvory ve věži bez výplní (viz kapitola 3.5). Do prostoru krovu nezatéká.

V konstrukci krovu jsou patrné dřívější sanace – některé prvky horního věnce byly sanovány výměnou části prvku. Nová část je napojená plátovým spojem a ocelovými svorníky na původní prvek. Viz obrázek 42.

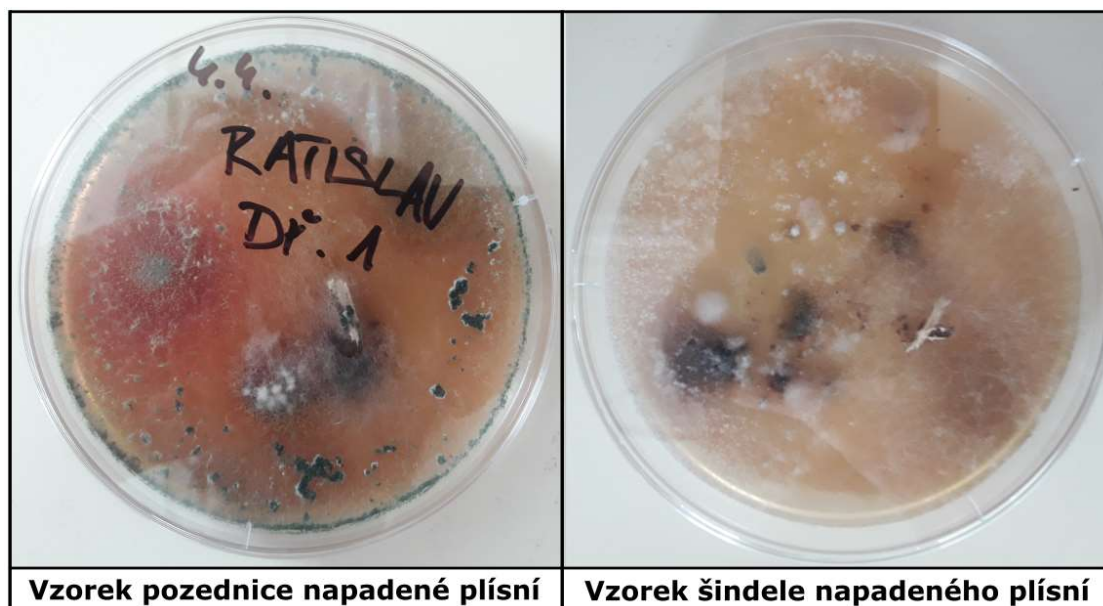


*obrázek 42 – dřívější sanace horního věnce krovu věže*

### 3.4.3. Identifikace plísní

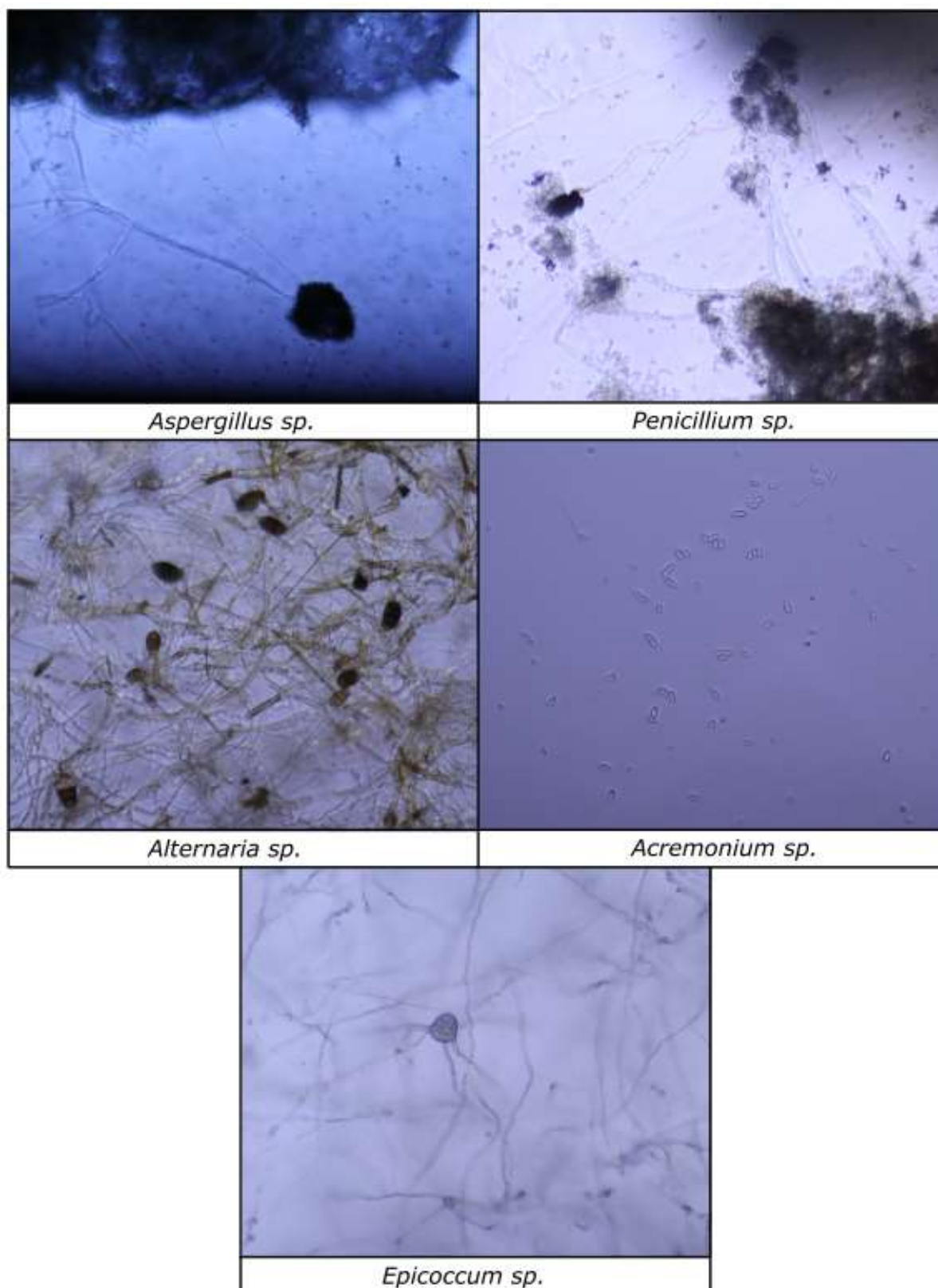
Vzorky pro analýzu plísní byly odebírány 29.3.2022 do plastových ZIP sáčků a byly označeny. Vzorek *Dř.1* byl odebrán z plesnivějící pozednice v severozápadním rohu podkroví – viz obrázek 38. Vzorek *Dř.2* byl odebrán z plesnivějících šindelů v blízkosti porušené střešní krytiny – viz obrázek 40. U obou vzorků byly odebrány pouze povrchové vrstvy v rozsahu několika třisek. V době odběru byly vzorky velmi vlhké (vizuální hodnocení).

Vzorky byly převezeny do mikrobiologické laboratoře Katedry pozemních staveb Fakulty stavební ČVUT v Praze, kde byly z odebraných vzorků vypreparovány malé třísky s plísněmi. Následně proběhla kultivace vzorků na živných půdách se sladovým extraktem. Kultivace probíhala celkem 17 dní od 4. 4. 2022 do 21. 4. 2022 v klimatické komoře. Vzorky v Petriho miskách po kultivaci viz obrázek 43.



obrázek 43 – vzorky plísní po kultivaci

V místech koncentrací jednotlivých plísní byly mikrobiologickými nástroji vypreparovány vzorky plísní, které byly následně zkoumány pod mikroskopem při zvětšení až 1:400. Jednotlivé rody plísní byly identifikované zaměstnankyní laboratoře paní Ivanou Loušovou. Zjištěnými rody byly: *Aspergillus sp.*, *Penicilium sp.*, *Alternaria sp.*, *Acremonium sp.* a *Epicoccum sp.* [12] Jedná se o běžně se vyskytující rody plísní ve stavbách. Přičemž některé druhy z rodů *Aspergillus sp.* a *Alternaria sp.* mohou být oportunními patogeny [13] – mohou způsobovat onemocnění, pokud je imunitní systém člověka oslaben. Identifikované plísně viz obrázek 44.

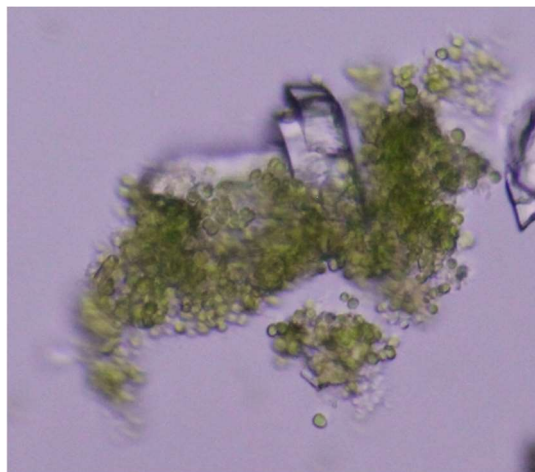


obrázek 44 – identifikované plísňe ve vzorcích dřeva, zvětšení 1:400



### 3.5. Kompletační konstrukce

Vnější omítky na velké části objektu zcela chybí – jejich porušení a odpadání je způsobeno kombinací mechanického namáhání a degradačních procesů souvisejících se zvýšenou vlhkostí omítek a zdiva. Při odparu vlhkosti z nosných konstrukcí se vodní pára kumuluje pod omítkou, která má větší difuzní odpor (dáno materiálovými vlastnostmi a znečištěním omítek – zvyšujícím difuzní odpor), vzniká tak přetlak mezi omítkou a konstrukcí. To vede k odlupování omítek. Sníženou pevnost omítek (vedoucí k jejich odpadávání) zapříčiňuje také opakovaná rekrystalizace solí v pórech omítek (popisovaná v kapitole 3.2). Na vnějších konstrukcích byly rovněž nalezeny řasy (vzorek řas byl odebrán a byl dále v laboratoři zkoumán pod mikroskopem – viz obrázek 45). To taktéž vypovídá o zvýšené vlhkosti konstrukcí. Řasy mohou vrústat do malých štěrbin a při zvětšování objemu způsobují narušení materiálu. [8] Primárními příčinami poruch vnějších omítek jsou tedy povětrnostní podmínky, blízkost větví stromů, nefunkčnost podokapních žlabů, znečištění málo prodyšných omítek a vzlínající vlhkost ve zdivu.



obrázek 45 – odebraný vzorek řas pod mikroskopem (zvětšení 400x)

Vnitřní omítky jsou na mnohých místech přibližně do úrovně 1,5 m nad čistou podlahou poškozeny vlivem vzlínající vody. Vnitřní omítky jsou v rozích hlavní lodi znečištěny vlivem hnízdění ptáků.

Podhled v hlavní lodi je poškozen zatékáním do prostoru krovu – jsou na něm viditelné vlhkostní mapy. Vlivem stáří a dotvarování prvků podhledu (fabionů, podbití) a jejich nesilovému zatížení došlo ke vzniku vlásečnicových trhlinek, které jsou vlhkostí zvýrazněny. Viz obrázek 46.

Střešní krytina podléhá biodegradaci – na střešní krytině (obzvlášť na severní straně střechy) jsou zřetelné mechy, které zpomalují odvodnění, což napomáhá k zatékání do skladby



střechy (obrázek 47). Mechy rovněž postupně rozrušují samotnou krytinu. Podokapní žlaby jsou ucpané náletovou zelení, nebo jsou dřevavé a neplní proto svoji funkci.

Výplně otvorů jsou v presbyteriu poškozeny – některé části vitráže chybí a je tedy umožněn vlet drobného ptactva do prostor presbytáře a hlavní lodi. Ve věži u některých otvorů výplň není, a je proto možný vlet i většího ptactva do prostor věže, což se projevuje množstvím ptačích exkrementů na konstrukcích věže. Absence otvorových výplní rovněž vede k zanášení vlhkosti hnaným deštěm do prostor věže. Tyto skutečnosti vedou k rychlejší degradaci nosných prvků, obzvláště dřevěných konstrukcí (vodorovné nosné konstrukce a konstrukce vynášející zvon).



*obrázek 46 – vlhkostní mapy a hnízda ptáků v hlavní lodi*



*obrázek 47 – pohled na střechu*

## 4. Laboratorní průzkum vlhkosti a chemismu zdiva

### 4.1. Odběr vzorků

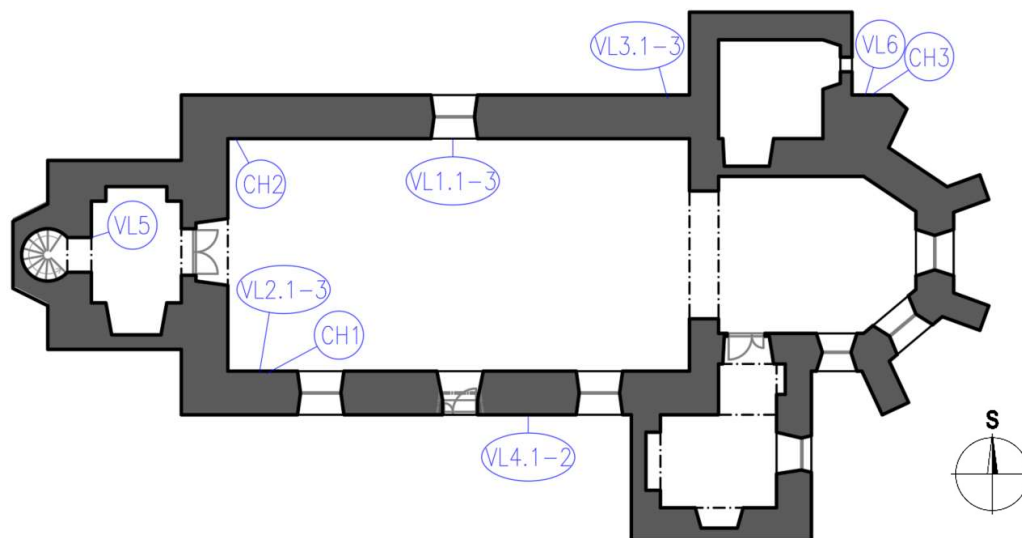
V objektu bylo odebráno celkem 16 vzorků – 13 na měření vlhkosti a 3 na měření salinity. Vzorky byly odebírány z povrchových vrstev zděných konstrukcí v místech již poškozených konstrukcí, aby nedocházelo k dalšímu poškození objektu. Na třech místech (2 z interiéru a 1 z exteriéru) byly vzorky pro stanovení vlhkostí odebrány v několika místech nad sebou v úrovních přibližně 150 mm, 650 mm a 1150 mm nad čistou stavební podlahou (u vnějších nad terénem) pro získání informací o vertikálním vlhkostním profilu. Vlhkost byla měřena na dalších 3 místech (1x z vnitřní stěny a 2x z obvodových konstrukcí z exteriéru) pouze v jedné či dvou výškových úrovních pro získání informací o míře vlhkosti v různých konstrukcích.

Místo odběru vzorků s označením *VL1.y* (a *CH2*) bylo vybráno jako charakteristické pro interiér hlavní lodi. Místo odběru vzorků s označením *VL2.y* (a *CH1*) bylo vybráno z důvodu intenzivního výskytu solných výkvětů v jeho okolí (úroveň výkvětů nad čistou stavební podlahou je přibližně 1 m). Místo odběru vzorků s označením *VL3.y* bylo vybráno z důvodu předpokladu poklesu základů v této oblasti, způsobeného zemní vlhkostí a zároveň jako vizuálně charakteristické pro vnější líc severní obvodové stěny hlavní lodi. Místo, odkud byly odebrány vzorky s označením *VL4.y*, bylo vybráno jako typické pro jižní fasádu objektu. Vzorek s označením *VL5* byl odebrán z vnitřní svislé nosné konstrukce v místě uvolněných zdících prvků v podvěží. Vzorky *VL6* a *CH3* byly odebrány z vnější lící části nosné stěny presbyteria poblíž vyústění dešťového svodu.

Poloha odběru vzorků je zobrazena ve výkresové dokumentaci současného stavu – přílohy S1, S3, S5 a S6. Půdorysné schéma viz obrázek 48. Poloha a charakter vzorků je rovněž popsán v přehledové tabulce – viz tabulka 2. Fotodokumentace vysušených vzorků užitých pro měření vlhkosti viz obrázek 49. Fotodokumentace míst odběru viz obrázek 50.

Vzorky byly odebírány do uzavíratelných ZIP sáčků, které byly následně označeny značkou – *VL x.y* a *CH z*. Velká písmena označují typ měření zamýšlený pro daný vzorek – *VL* je měření vlhkosti a *CH* je měření chemismu. Číselné hodnoty *x* a *z* označují půdorysné místo odběru vzorků a číselná hodnota *y* označuje výškové pořadí vzorků z téhož půdorysného místa (a to vzestupně). ZIP sáčky byly následně uloženy do skleněných uzavíratelných nádob, aby byl omezen únik vlhkosti ze vzorků.

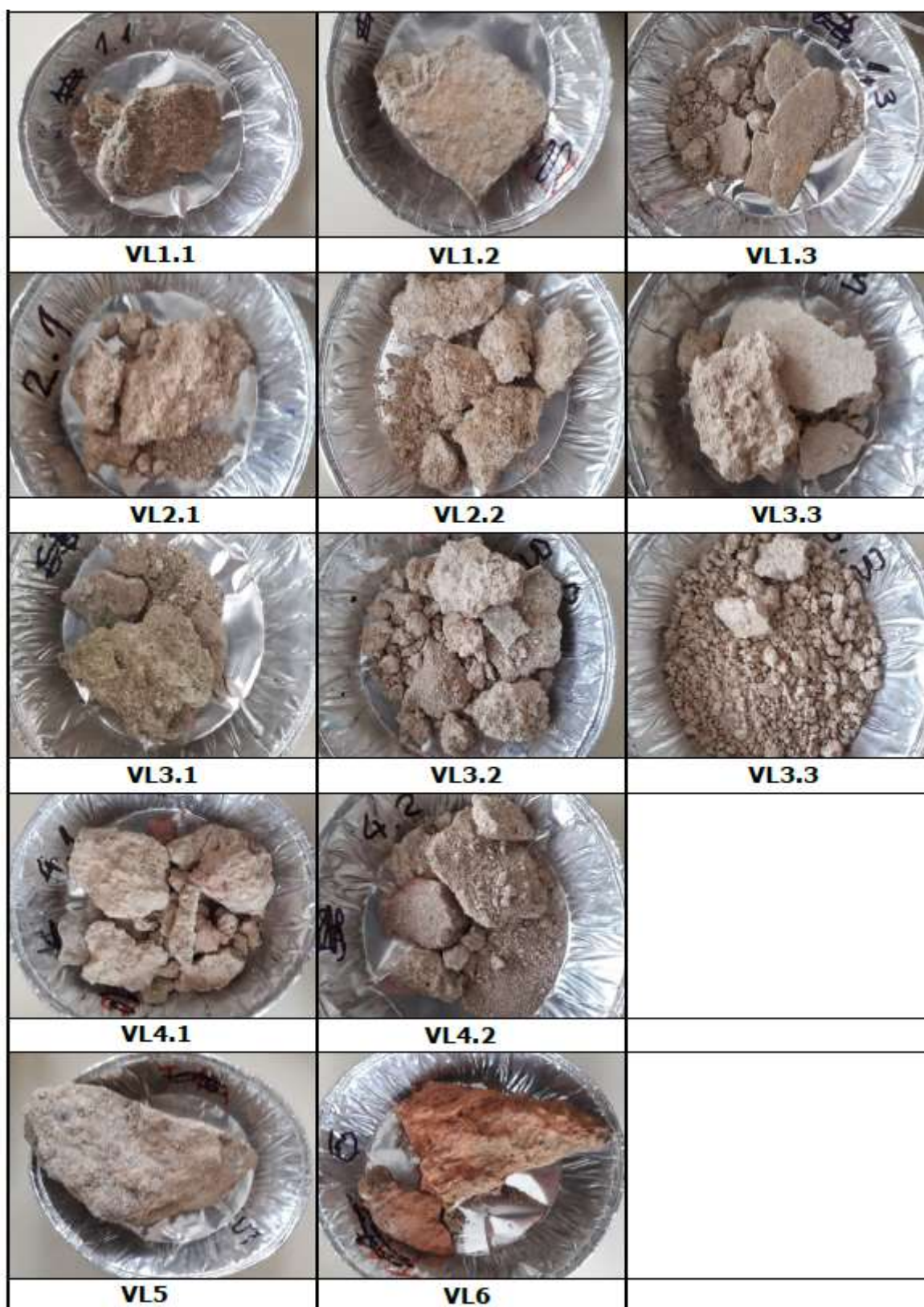
Vzorky byly odebírány 29. 3. 2022 v časovém rozmezí 8:00 až 9:30. Vnější teplota během odběru se pohybovala od 6 do 10 °C (měřeno venkovním rtuťovým teploměrem) a relativní vlhkost byla přibližně 80 % (odečteno z grafu záznamu soukromé meteorologické stanice v Konstantinových lázních – přibližně 10 km od místa odběru) [14].



obrázek 48 – půdorysné schéma odběru vzorků vlhkosti a chemismu

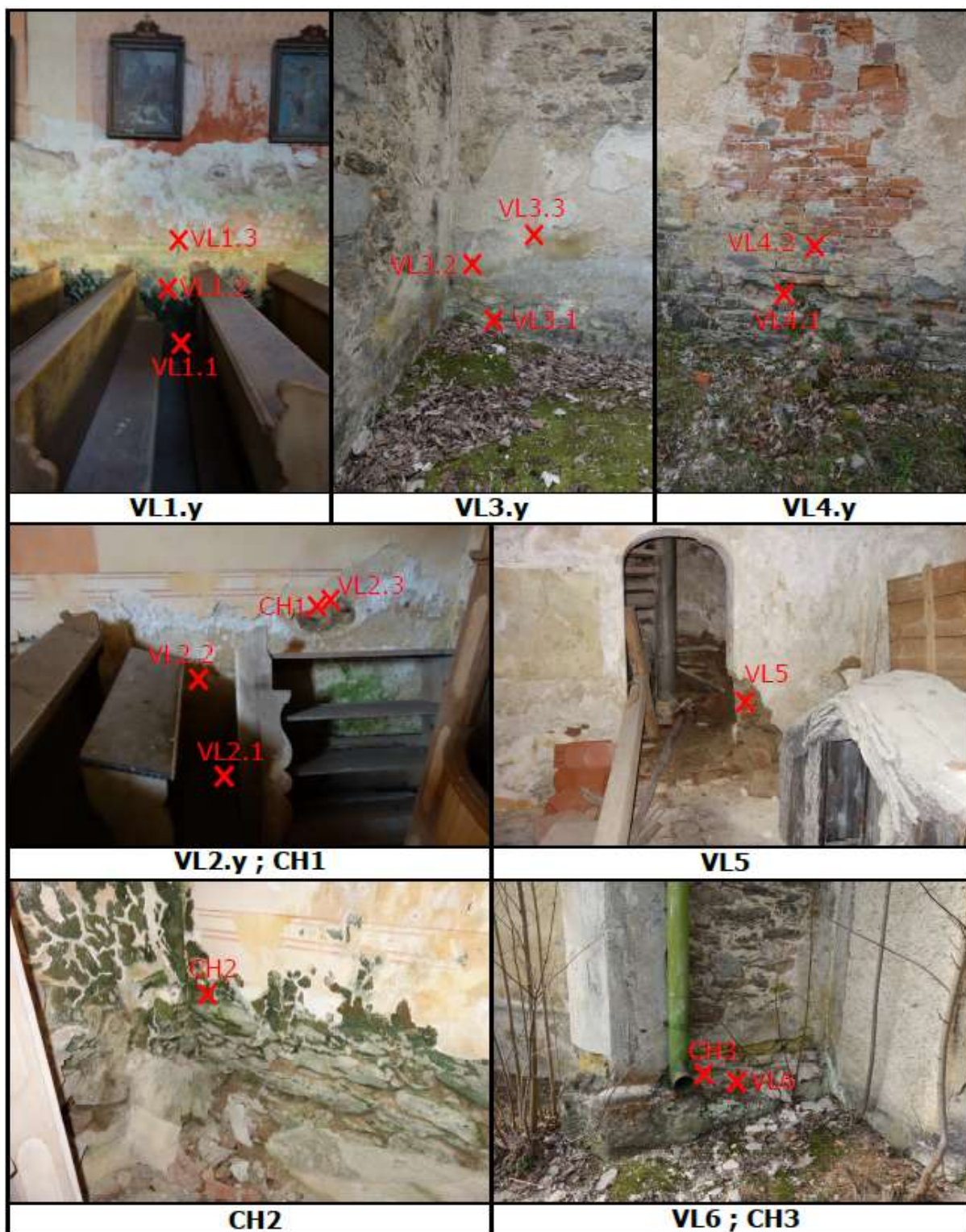
	Ozn.	Poloha	Typ vzorku	výška odběru
				[mm]
Vlhkost	VL 1.1	severní stěna hlavní lodi (int.)	kámen (svor)	150
	VL 1.2		omítka, kus	650
	VL 1.3		omítka, drť	1150
	VL 2.1	jižní stěna hlavní lodi (int.)	omítka, kus	150
	VL 2.2		omítka, kus	650
	VL 2.3		omítka, kus	1150
	VL 3.1	severní stěna hlavní lodi (ext.)	omítka, kus	150
	VL 3.2		omítka, kus	650
	VL 3.3		omítka, drť	1150
	VL 4.1	jižní stěna hlavní lodi (ext.)	cihla PP	550
	VL 4.2		cihla PP	1100
		VL 5	podvěží (int.)	kámen (svor)
	VL 6	presbyterium (ext.)	cihla PP	200
Chemismus	CH 1	jižní stěna hlavní lodi (int.)	omítka, kus	1150
	CH 2	severní stěna hlavní lodi (int.)	omítka, kus	900
	CH 3	presbyterium (ext.)	cihla PP	300

tabulka 2 – specifikace odběru vzorků



obrázek 49 – vysušené vzorky pro měření vlhkosti





obrázek 50 – lokace odběru vzorků pro měření vlhkosti a chemismu

## 4.2. Popis měřících metod

### 4.2.1. Měření vlhkosti

Stanovení vlhkosti vzorků (váha 20-100 g) je založeno na měrné změně hmotnosti vzorku před sušením a po něm. Toto stanovení je založeno na normách ČSN EN 1097-5, ČSN EN 772-10 a ČSN EN ISO 12570 (dle zkoušeného materiálu – zde ČSN EN ISO 12570). Sušení vzorků probíhá v laboratorní sušárně při teplotě 70–105 °C (dle složení materiálů – zde je to 105±2 °C, jelikož se jedná o materiály neměnní svou strukturou při teplotě 105 °C [15]) a to po dobu 24 až 48 hodin. [16]

Pro laboratorní měření byly využívány alobalové misky, laboratorní váha s přesností na dvě desetinná místa (tedy na setinu gramu) a sušička značky Venticell ECO line. Veškeré užívané laboratorní příslušenství bylo zapůjčeno laboratoří Katedry pozemních staveb Fakulty stavební ČVUT, kde měření probíhalo.

Jednotlivé alobalové misky byly nejprve popsány označením vzorku, pro který byly určeny. Následně byly misky zváženy a jejich hmotnost byla zaznamenána do tabulky ( $m_m$ ). Dále byly vzorky přemístěny z uzavíratelných sklenic a ZIP sáčků do misek s příslušným označením. Poté byly vzorky v miskách opět zváženy na laboratorní váze a byla zapsána jejich hmotnost ( $m + m_m$ ). Následovalo vysoušení vzorků, které probíhalo nepřetržitě při 105 °C po dobu 45 hodin v sušárně (počátek sušení 29. 3. 2022 v 13:30 a konec 31. 3. 2022 v 10:30). Po vynětí vzorků ze sušárny byly opět zváženy na laboratorní váze včetně misek ( $m_o + m_m$ ). Získaná data byla dále vyhodnocována v programu Microsoft Excel 365 – studentská licence.

Postup zkoušení se od normy ČSN EN ISO 12570 odchyloval v tom, že nebylo ověřováno ustalování hmotnosti – zmiňovaná norma říká: „*Konstantní hmotnosti je dosaženo, pokud změna hmotnosti mezi třemi následujícími váženými provedenými nejméně po 24 h je menší než 0,1 % celkové hmotnosti.*“ [15] Zde bylo předpokládáno, že vzhledem k menším rozměrům vzorků je 45 hodin dostatečné a že je dosaženo konstantní hmotnosti. Dále norma stanovuje chlazení vzorků v exikátoru na teplotu 30-40 °C. [15] To opět nebylo realizováno – vzorky díky své nízké hmotnosti vychladly na vzduchu rychle na teploty obdobné (ty však nebyly měřeny). Odchytky od normy vzhledem k rozměrům vzorků by neměly mít za následek výraznou chybu měření.



### 4.2.2. Měření chemismu

Předmětem měření chemismu bylo stanovení pH a obsahu solí (chloridů, amoniaku, dusičnanů, a síranů) u vybraných vzorků – CH1, CH2 a CH3. Jednotlivé vzorky byly nejprve nadrceny na zrnitost hrubšího písku, následně byly zváženy a smíchány s 100 ml vody. Pro navážené hodnoty hmotnosti vzorků viz tabulka 4. V Erlenmeyerově baňce se zrnka vzorků ve vodě rozrušila ultrazvukem. Samotné měření probíhalo následující den po usazení zrněk. Testovanými vzorky byly vodné roztoky po dni odebrané z baněk bez obsahu zákalu (disperze zrněk původních vzorků).

V následujících odstavcích jsou popsány principy jednotlivých zkoušek. Postupy zkoušek byly prováděny dle manuálů výrobců testovacích sad a nejsou zde blíže specifikovány. Veškeré užívané laboratorní příslušenství (fotometr, baňky apod.) a zkušební sady chemikálií byly zapůjčeny laboratoří Katedry pozemních staveb Fakulty stavební ČVUT, kde měření probíhalo.

#### pH

Měření pH bylo orientační kolorimetrické. Do části vzorku byl přidán acidobazický indikátor pH, který reagoval v závislosti na pH prostředí změnou barvy – viz obrázek 51. Zbarvení vzorků s indikátorem bylo porovnáno s barevnou stupnicí (po 0,5 pH). Rozsah pH měřený daným indikátorem byl od 5 do 10 pH.

#### Chloridy $\text{Cl}^-$

Chloridové ionty ve vzorku reagují s thiokyanátem rtuťnatým (přidaným do vzorku) za tvorby disociovaného chloridu rtuťnatého. Thiokyanát, který se v procesu uvolňuje, reaguje se železitými ionty (rovněž přidanými do vzorku), přičemž vytváří thiokyanát železitý – ten má červené zbarvení. Sytost zbarvení koreluje s jeho množstvím, a tím i s množstvím chloridových iontů. Standardně se množství chloridových iontů stanovuje fotometricky. Zde bylo orientačně určeno kolorimetricky – porovnáním zbarvení vzorku s barevnou paletou. [17]

#### Amoniak $\text{NH}_4^+$

Amoniakální dusík ( $\text{NH}_4\text{-N}$ ) se vyskytuje ve dvou formách (amonné ionty a amoniak), mezi kterými existuje rovnováha závisující na pH. V silně zásaditých roztocích je Amoniakální dusík přítomný téměř výhradně jako amoniak, ten reaguje s chloračným činidlem (přidaným do vzorku) za vzniku monochloraminu, který následně reaguje s thymolem (rovněž přidaným do vzorku) a vzniká indofenol s modrým zbarvením. Koncentrace indofenolu (které koreluje s koncentrací amoniaku) se stanovuje ve fotometru. [18]

### Dusičnany $\text{NO}_3^-$

V předem připraveném roztoku koncentrované kyseliny sírové a fosforečné reagují dusičnanové ionty ze vzorku s 2,6-dymethylfenolem za vzniku 4-nitro-2,6-dimethylfenolu, který má červené zbarvení. Jeho koncentrace (která koreluje s koncentrací dusičnatých iontů) se stanovuje fotometricky. [19]

Před měřením byla provedena orientační zkouška přítomnosti dusičnanů ve vzorcích pomocí indikátorových proužků (kolorimetricky). Vzorek CH1 vykazoval znatelný obsah dusičnanů a byl proto pro přesnější fotometrické měření naředěn v poměru 1:10. Tato skutečnost se promítá do výsledného výpočtu dusičnanů ve vzorku.

### Síraný $\text{SO}_4^{2-}$

Síranové ionty reagují s ionty barya za vzniku mírně rozpustného síranu barnatého tvořícího v roztoku zákal. Vzniklý zákal (korelující s množstvím síranových iontů) se měří fotometricky. [20]

Před měřením byla provedena orientační zkouška přítomnosti síranů ve vzorcích pomocí indikátorových proužků (kolorimetricky). Vzorek CH1 vykazoval znatelný obsah síranů a byl proto pro přesnější fotometrické měření naředěn v poměru 1:10. Tato skutečnost se promítá do výsledného výpočtu síranů ve vzorku.



obrázek 51 – vzorky po přidání pH indikátoru (zleva: CH1, CH2, CH3)



### 4.3. Naměřené hodnoty a použité výpočty

#### 4.3.1. Naměřené a vypočtené hodnoty – vlhkost

Získaná data z měření vlhkosti (tedy: hmotnost misek, hmotnost vzorků s miskami před vysušením a hmotnost vzorků s miskami po vysušení) byla dále vyhodnocována v programu Microsoft Excel 365 – studentská licence. Veškeré dílčí změřené hodnoty a mezivýsledky viz tabulka 3. Hmotnostní vlhkost  $u$  se vypočte dle následujícího vzorce [15]:

$$u = \frac{m - m_0}{m} [\%]$$

Ozn.	váha misky	miska + vzorek	vzorek před sušením	vzorek + miska po sušení	úbytek hmotnosti vzorku sušením	hmotnostní vlhkost
	$m_m$ [g]	$m + m_m$ [g]	$m$ [g]	$m_m + m_0$ [g]	$m - m_0$ [g]	$w$ [%]
VL 1.1	1,58	48,69	47,11	47,62	1,07	2,3%
VL 1.2	1,57	48,31	46,74	44,75	3,56	7,6%
VL 1.3	1,59	13,67	12,08	12,96	0,71	5,9%
VL 2.1	1,55	23,02	21,47	20,38	2,64	12,3%
VL 2.2	1,60	34,91	33,31	31,64	3,27	9,8%
VL 2.3	1,62	38,27	36,65	36,81	1,46	4,0%
VL 3.1	1,60	32,01	30,41	31,27	0,74	2,4%
VL 3.2	1,54	33,47	31,93	32,88	0,59	1,8%
VL 3.3	1,59	22,41	20,82	22,00	0,41	2,0%
VL 4.1	1,56	57,13	55,57	56,25	0,88	1,6%
VL 4.2	1,62	28,75	27,13	27,96	0,79	2,9%
VL 5	1,56	102,14	100,58	97,94	4,20	4,2%
VL 6	1,57	39,78	38,21	39,19	0,59	1,5%

tabulka 3 – naměřené hodnoty, dílčí výpočty a výsledná hmotnostní vlhkost

#### 4.3.1. Naměřené hodnoty – chemismus

Výsledky měření byly v případě solí získávány v jednotkách mg/l. Pro převod na jednotky mg/g bylo užito vztahu vycházejícího z hmotnostního poměru vody a vzorku zdiva/omítek. Objemová hmotnost vody byla uvažována  $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$ . Výsledky měření včetně převedených jednotek viz tabulka 4.

Vzorek	Váha vzorku	pH	Chloridy		Amoniak		Dusičnany		Sířany	
	g		[mg/l]	[mg/g]	[mg/l]	[mg/g]	[mg/l]	[mg/g]	[mg/l]	[mg/g]
CH1	2,04	$\geq 10$	75	3,68	0,20	0,010	-	3,68	-	8,82
CH1 1:10			-		-		7,5		18	
CH2	2,03	7,5	5	0,25	0,04	0,002	8,4	0,41	54	2,66
CH3	2,04	6,5	5	0,25	0,12	0,006	8,9	0,44	23	1,13

tabulka 4 – výsledky měření chemismu

## 4.4. Vyhodnocení průzkumu

### 4.4.1. Vyhodnocení měření vlhkosti

Pro vyhodnocení výsledků měření byla použita norma ČSN P 73 0610 Hydroizolace staveb – Sanace vlhkého zdiva – Základní ustanovení. Vlhkost zdiva se podle přílohy A zmíněné normy klasifikuje dle vlhkostní hmotnost zdiva  $w$  [%] do 5 stupňů – viz tabulka 5. Pro přehlednost jsou zde stupně charakterizovány barevně. Toto barevné třídění je dále užito v přehledové tabulce výsledků – viz tabulka 6.

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

tabulka 5 – klasifikace vlhkosti zdiva [21]

Ozn.	Poloha	Typ vzorku	výška odběru	hmotnostní vlhkost	Stupeň vlhkosti
			[mm]	$w$ [%]	
VL 1.1	severní stěna hlavní lodi (int.)	kámen (svor)	150	2,3%	velmi nízká
VL 1.2		omítka, kus	650	7,6%	vysoká
VL 1.3		omítka, drť	1150	5,9%	zvýšená
VL 2.1	jižní stěna hlavní lodi (int.)	omítka, kus	150	12,3%	velmi vysoká
VL 2.2		omítka, kus	650	9,8%	vysoká
VL 2.3		omítka, kus	1150	4,0%	nízká
VL 3.1	severní stěna hlavní lodi (ext.)	omítka, kus	150	2,4%	velmi nízká
VL 3.2		omítka, kus	650	1,8%	velmi nízká
VL 3.3		omítka, drť	1150	2,0%	velmi nízká
VL 4.1	jižní stěna hlavní lodi (ext.)	cihla PP	550	1,6%	velmi nízká
VL 4.2		cihla PP	1100	2,9%	velmi nízká
VL 5	podvěží (int.)	kámen (svor)	900	4,2%	nízká
VL 6	presbyterium (ext.)	cihla PP	200	1,5%	velmi nízká

tabulka 6 – klasifikace hmotnostní vlhkosti odebraných vzorků

Z měření vlhkosti vyplývá, že svislé nosné konstrukce z exteriéru vykazují velmi nízkou vlhkost (po relativně suchém období – z exteriérových částí se voda odpařila rychleji vlivem dynamičtějších změn teploty). Zvýšenou a vysokou vlhkost vykazují vzorky odebrané ze severní stěny hlavní lodi (z interiéru) mimo vzorek VL 1.1. U tohoto vzorku je možné, že měření ovlivnil

charakter vzorku (kamenný zdící prvek – svor), který má obecně nižší nasákavost než vápenná omítka (díky své nižší pórovitosti).

Vysokou a velmi vysokou vlhkost vykazují vzorky odebrané z interiéru na jižní stěně hlavní lodi do 650 mm nad čistou stavební podlahou. Měření zde souhlasí s doprovodnými jevy vlhkosti v konstrukci – vzorky VL 2.1 a VL 2.2 jsou v prostoru pod solnými výkvěty, kdežto vzorek VL 2.3 je nad úrovní solných výkvětů – kde se pravděpodobně nachází hranice odpařovací fronty. Příčinou velmi vysoké vlhkosti vzorku VL 2.1 je nejspíš intenzivní zasolení zdiva projevující se solnými výkvěty – zvýšený obsah solí brzdí vysychání zdiva, a tím dochází k postupnému stoupání vysychací fronty a zvyšování vlhkosti [22]. Soli jsou rovněž hydrokopické, takže v sobě drží déle vodu. Dále bylo nahlíženo na několik faktorů, ale žádný nepodporoval skutečnost velmi vysoké vlhkosti v této oblasti – objekt z vnější strany nejeví intenzivnější poškození vlhkostí než na jiných místech, podokapní žlaby a dešťové svody jsou zcela nefunkční (to ale platí pro celý objekt), jedná se o jižní fasádu (ta by měla lépe vysychat), sklon terénu je mírně směrem od objektu, v blízkosti se nevyskytuje žádný viditelný zdroj podzemní vody (studna, pramen apod.), k zatékání skrz střešní a stropní konstrukci na těchto místech nedochází.

Z výsledků lze tedy předpokládat, že je vlhkost obvodového zdiva hlavní lodi z vnitřní strany po většině obvodu vysoká do výšky minimálně 650 mm nad čistou stavební podlahou. To má za následek degradaci zdiva, omítek a rozvoj dalších degradačních činitelů (např. řasy) – viz kapitoly 3.5 a 3.2.

Jako příčiny vlhkosti v konstrukcích se předpokládají zejména: špatný stav dešťových svodů, vztlínající voda z podzákladí a absence drenáže kolem objektu. Dále se také vlhkost může do objektu dostávat díky hnanému dešti a odstříkující vodě.

#### **4.4.2. Vyhodnocení měření chemismu**

Pro vyhodnocení výsledků měření salinity byla použita norma ČSN P 73 0610 Hydroizolace staveb – Sanace vlhkého zdiva – Základní ustanovení. Salinita se hodnotí (podle přílohy B zmíněné normy) dle hmotnostního obsahu solí ve vzorcích [mg/g], a to do 4 kategorií – viz tabulka 7. Pro přehlednost jsou zde stupně charakterizovány barevně. Toto barevné třídění je dále užito v přehledové tabulce výsledků – viz tabulka 8 (stupeň zasolení u amoniaku norma neupravuje).



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

tabulka 7 – klasifikace salinity zdiva [21]

Vzorek	Poloha	Typ vzorku	výška odběru [mm]	Chloridy		Dusičnany		Sírany		Amoniak [mg/g]	pH
				[mg/g]	stup. zas.	[mg/g]	stup. zas.	[mg/g]	stup. zas.		
CH1	jižní stěna hlavní lodi (int.)	omítka, kus	1150	3,68	vysoký	3,68	vysoký	8,82	zvýšený	0,01	≥ 10
CH2	severní stěna hlavní lodi (int.)	omítka, kus	900	0,25	nízký	0,41	zvýšený	2,66	nízký	0,002	7,5
CH3	presbyterium (ext.)	cihla PP	300	0,25	nízký	0,44	zvýšený	1,13	nízký	0,006	6,5

tabulka 8 – přehled výsledků průzkumu chemismu s klasifikací salinity

Výsledky průzkumu chemismu lze interpretovat tak, že v obvodových konstrukcích je zvýšený obsah dusičnanů (veškeré odebrané vzorky měly minimálně stupeň zasolení zvýšený). Dále v objektu nebyla identifikována přítomnost amoniaku ve významném množství. Mimo vzorek CH1 byl obsah chloridů a síranů ve vzorcích nízký.

Vzorek CH1 vykazoval vysoký obsah chloridů a zvýšený obsah síranů. Tento vzorek byl odebírán v místě v blízkosti solných výkvětů a předpokládá se u něj tedy i vyšší obsah solí oproti jiným vzorkům. Zasolení zdiva sírany je oproti chloridům a dusičnanům pouze zvýšené pravděpodobně z důvodu výšky odběru vzorku (1150 mm nad čistou stavební podlahou) – chloridy a dusičnany mají malé a pohyblivé ionty, které migrují lépe do větších vzdáleností, na rozdíl od většiny síranů [22].

Výsledky měření pH u vzorků CH2 a CH3 vypovídají o tom, že se jedná o starší konstrukce. Vlivem karbonatce se snižuje pH – u vápenných malt má hydroxid vápenatý pH 12 až 13. Ten reaguje s oxidem uhličitým (karbonatce) za vzniku uhličitanu vápenatého, který má pH nižší – okolo 8 [23]. Naměřené pH u těchto vzorků souhlasí s nálezem řas v okolí odběrů těchto vzorků – ty se mohou rozvíjet na vlhkých konstrukcích, pokud klesne pH pod 9 [8]. U vzorku CH1 bylo identifikováno zásadité pH s hodnotou větší než 10 (limitní hodnota měřicí metody), což vypovídá o tom, že odebraná omítka je mladší. Nejspíše v místech odběru vzorku HC1 došlo v nedávných letech k sanačním opatřením.





Sole mohou do objektu pronikat spolu s vztlínající vodou – to je u tohoto objektu nejspíše případ dusičnanů, které pronikají z podloží, kde je jejich obsah vysoký z důvodu obklopení kostela hřbitovem (rozklad organických látek je zdrojem dusíku v půdě [24]). Dále se sole (obzvláště chloridy) mohou dostávat do konstrukcí vlivem solení komunikací v blízkosti objektů – k tomu nejspíš u zkoumaného objektu nedochází, jelikož nejbližší komunikace je zhruba 20 m od objektu, přičemž se jedná o příjezdovou cestu k faře vyskytující se jižně od objektu (což by ale odpovídalo vysokému obsahu chloridů v jižní obvodové konstrukci kostela – vzorek CH1). Zdrojem zasolení konstrukcí může být i použití čisticích prostředků s obsahem louhů a silných kyselin nebo užití jiných nevhodných sanačních metod. Vzhledem ke zvýšenému pH lze, jak již výše bylo popsáno, uvažovat, že v těchto místech došlo v minulosti k sanacím a je možné, že se soli dostaly do konstrukce právě tímto způsobem. [22]

## 5. Návrh sanačních opatření

Sanační opatření jsou navrhována tak, aby byla zajištěna dlouhodobější ochrana objektu proti jeho progresivní degradaci. Zároveň byl do návrhu metod zahrnut fakt památkové ochrany objektu – metody se tedy záměrně vyhýbají velkým zásahům do konstrukcí a respektují ráz objektu. V následujících kapitolách jsou podrobně navrženy následující sanace: sanace trámového stropu hlavní lodi, sanace vlhkosti a sanace trhlin v objektu – tyto sanace by měly být realizovány v tomto pořadí (popřípadě současně). Kromě jmenovaných sanací, kterým se práce věnuje detailněji, jsou navrhována další sanační opatření, ta jsou sepsána v následujících odstavcích.

Z konstrukcí bude odstraněna náletová zeleň. Poškozené zdivo bude opraveno a přespárováno za použití nových prvků z materiálu stejného, jako je okolní zdivo (svor/cihla plná pálená na vápennou maltu – dle konstrukce). Stejně tak budou dozděny chybějící části konstrukcí – týká se převážně podvěží a schodiště. Zároveň bude doplněna výplň maltových spár, v případě potřeby budou spáry proškrábnuty a nově vyplněny. Veškerý stavební odpad bude z objektu odstraněn.

V konstrukci schodiště budou poškozené stupně nahrazeny novými ze stejného druhu dřeva a s totožnými rozměry. Po odstranění stavebního odpadu v prostoru schodiště bude zkontrolován stav paty vřetenového sloupu a spodní část sloupu bude hloubkově impregnována, na konstrukci bude proveden fungicidní nátěr.

Nutná je rovněž sanace porušených částí krovu, její podrobný návrh ale není obsahem této práce. Navrženo by bylo obdobně jako u trámového stropu nahrazení poškozených částí konstrukce protézováním pomocí plátových spojů a další dílčí úpravy podmíněné rozebráním částí krovu hlavní lodi a presbyteria. Rozebrání částí krovu by bylo vhodné provést během výměny střešní krytiny, která je součástí sanace trámového stropu (viz kapitola 5.1.1).

Stávající podlahové konstrukce budou zachovány v maximální možné míře. Poškozené prvky mohou být nahrazeny novými prvky stejných rozměrů a materiálového řešení. Výplně otvorů budou restaurovány s maximální mírou zachování původních prvků. Do otvorů ve věži bez výplně budou instalovány sítě zamezující vletu ptactva do objektu.

Před sanací trhlin budou odstraněny vnější i vnitřní omítky nemající soudržnost s podkladem. Poklepem budou vyhledána dutá místa, na kterých je rovněž nutné omítky odstranit. Po ukončení sanací trhlin i vlhkosti budou v celém objektu obnoveny vápenné omítky (na poškozených místech doplněny novými) a bude na nich restaurována malba dle požadavků památkové péče.

## 5.1. Sanace trámového stropu hlavní lodi

Tato kapitola obsahuje několik dílčích sanací (sanace příčin vlhkosti, sanace roznášecích trámů, odstranění podkladního trámu a násypu, sanaci zhlaví trámů a závěrečná preventivní a represivní opatření) rozdělených do podkapitol, ty jsou seřazeny tak, aby odpovídaly návaznosti jejich provádění.

### 5.1.1. Sanace příčin zvýšené vlhkosti v oblasti stropu

Zcela zásadní je odstranění příčin zvýšené vlhkosti v prostorech krovu – je tedy nutno zamezit zatékání. Bude nutné střešní plášť, i vzhledem k biodegradaci krytiny, odstranit (v oblastech zatížených zatékáním i včetně laťování). Současná střešní krytina je eternitová. Pro demontáž krytiny bude nutno specializované prováděcí firmy, která eternitovou krytinu ekologicky zlikviduje.

Během instalace nové střešní krytiny budou instalovány nové klempířské prvky (hřeben střechy, okapní plechy a podokapní žlaby včetně nových svodů dešťové vody). Nová krytina bude vybrána dle konzultace s památkáři, aby byl zachován původní vzhled střechy. Nová krytina musí být rovněž lehká, aby se nezvětšilo zatížení na stávající konstrukci krovu – nabízí se tedy především různé druhy střešních šablon.

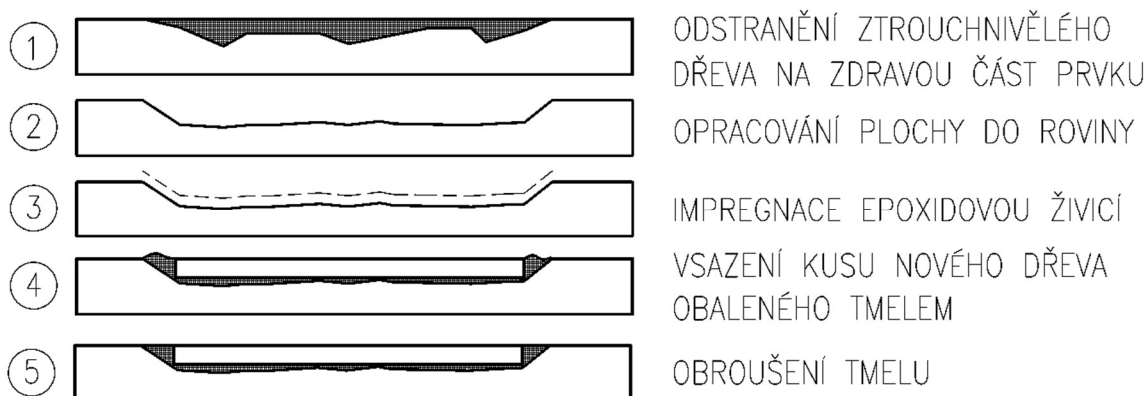
Během demontáže původní krytiny a při montáži nové musí být zamezeno pronikání srážek do prostoru krovu. Pokud by tomu zamezeno nebylo, mohlo by docházet k rychlé degradaci nosných i nenosných prvků trámového stropu či k vyplavování částí malty ve spárách kleneb, což by vedlo k jejich rychlé ztrátě únosnosti.

### 5.1.2. Návrh plombování roznášecího trámu

V oblasti krovu se nachází dva roznášecí trámy – viz kapitola 2.4.1. Tyto trámy jsou v dobrém stavu jen s dílčími poruchami. Roznášecí trámy bude nutno při rekonstrukci stropních trámů přesunout, jelikož by bránily provedení plátových spojů. Po opravě stropních trámů nebudou již stávající roznášecí trámy potřeba. Nabízí se tak jejich odstranění, anebo drobná oprava a jejich následné uskladnění v prostorech krovu pro budoucí možnost využití.

Případná oprava by probíhala pouze na dvou místech – viz příloha N.1. Navrhovanou sanační metodou je plombování dřevěnou plombou v kombinaci s tmelením. Jednalo by se o odstranění ztrouchnivělého dřeva na zdravou část prvku, následné opracování plochy do roviny, impregnaci zdravé části prvku epoxidovou živicí, následné vsazení nového dřeva (stejný

druh jako dřevo stávajícího prvku) obaleného tmelem a závěrečné obroušení tmelu. [25]  
Schéma postupu viz obrázek 52.



obrázek 52 – schéma postupu provádění dřevěné plomby

### 5.1.3. Odstranění podkladního trámu a násypu

V současné době nemá podkladní trám žádný statický účinek, a proto je navrženo jeho celkové odstranění. Manipulace s likvidovaným materiálem musí probíhat opatrně a musí být zajištěn okamžitý odvoz, aby nedošlo rozptýlením úlomků k rozmnožování houby či dřevokazného hmyzu.

Z podkroví objektu by měl být odstraněn násyp stavebního odpadu – ten svým charakterem podporuje rozšiřování dřevokazných hub a dřevokazného hmyzu. Po odstranění násypu by měl být zkontrolován stav podbití a poškozené prvky by měly být nahrazeny novými.

Stavební úpravy jsou patrné z výkresu stávajícího a navrhovaného stavu – viz obrázek 53.

### 5.1.4. Sanace uhnívajícího zhlaví trámů

Dle stavebně technického průzkumu bylo zhlaví trámů rozřazeno do 3 kategorií – velmi porušené, mírně porušené a neporušené. Výsledky stavebně technického průzkumu trámového stropu viz příloha S2. Zhlaví trámů porušená mírně jsou označena „T\*“, velmi porušená „T“.

#### Velmi porušené prvky

Pro sanaci velmi porušených prvků se nabízí několik metod: [25]

- Náhrada zhlaví trámů bočními dřevěnými příložkami – u této metody by bylo třeba zhlaví odstranit, jinak by pravděpodobně vznikl v horizontu několika let problém s rozšířením hniloby, plísní a dřevokazného hmyzu na nové prvky. Tato

metoda není doporučovaná z důvodu její neestetičnosti v rámci historického krovu.

- Náhrada zhlaví trámu protézou z polymer-betonu – takzvaná Beta metoda. Metoda je založena na protézování zhlaví prvku pomocí epoxidové živice či polymer betonu v kombinaci s pruty z uhlíkových vláken, betonářské oceli, nebo sklolaminátu. Beta metoda má různé modifikace dle směru uložení výztužných prutů. [25] Užití této metody v objektu je možné. Zde by bylo nutné zvážení finanční výhodnosti metody oproti dále detailněji navrhovanému plátovému spoji.
- Vyvěšení zdravé části trámů na sousední zdravé trámy – zde by šlo provést pouze u menšího množství trámů, jelikož je zde často více velmi poškozených trámů vedle sebe. Navíc posouzení neporušeného stropního trámu (viz kapitola 1.1.1) ukazuje, že nepoškozené trámy jsou (co se týče MSP) využity na 96 % a s dalším přitížením by pravděpodobně prvky nevyhověly.
- Protézování pomocí plátového spoje – tato metoda je dále navrhována.

U velmi porušených prvků bylo navrženo protézování za použití plátového spoje, a to z důvodu největší vhodnosti této metody při přihlédnutí k rozsahům poškození a charakteru objektu. Plátový spoj byl navržen dle metodiky celodřevěných plátových spojů pro opravy historických konstrukcí certifikovanou ministerstvem kultury ČR. Dle ní je pro stropní trámy nejvhodnější jednohmoždinkový spoj. Rozměry částí spoje vychází přímo z rozměrů sanovaného trámu. [26] Konkrétní návrh spoje a rozsah sanace viz příloha N.1. Postup sanace je následující: [25]

- 1) Bude rozebrána část zděné římsy nad trámem, dále také podbití včetně fabionu a ramenátů pod odstraňovanou částí trámu.
- 2) Trám napadený hnilobou bude ve vzdálenosti 2,5 m od zjevného poškození dočasně vynesena na okolní stropní trámy (pokud budou okolní trámy poškozeny, lze trám dočasně vynášet na vazné trámy krovu) – nadzvednutí o zhruba 10 mm. V případě rozhodnutí o odstranění současných roznášecích trámů je možnost tyto trámy rozřezat a využít jejich neporušené části pro dočasné vynesení sanovaných trámů během montáže. Montážní stav je nutno staticky ověřit.
- 3) Ve vzdálenosti 1 m od zjevných příznaků napadení bude trám uříznut a napadená část trámu bude odstraněna. [8] Manipulace s likvidovaným materiálem musí probíhat opatrně a musí být zajištěn okamžitý odvoz.



- 4) Otvor v římsě (vzniklý odstraněním zhlaví trámu) se následně dozdí. Sanované trámy nebudou uloženy v kapsách v římsě, ale pouze na podezdívkách – toto uložení je dostatečné a bude tím eliminován tento problematický detail. Současná podezdívka sanovaného trámu bude minimálně o 30 mm (nejvýše o 50 mm) snížena. Dále bude realizováno maltové vyrovnávací lože, na které bude uložen dubový podkladek o tloušťce 30 mm a šířce 180 mm – předem hloubkově naimpregnovaný a ošetřený proti plísním a dřevokaznému hmyzu.
- 5) Stávající trám bude dále opracován pro následovné vytvoření plátového spoje – na stávajícím trámu bude 1280 mm dlouhý plát se šikmým a zároveň podkoseným čelem.
- 6) Na dubový podkladek bude uložena nová dřevěná protéza rozměrů stejných jako původní trám jen zkrácená o přibližně 320 mm (délka uložení v kapse římsy) a následně bude napojena jednohmoždinkovým plátovým spojem se šikmými podkosenými čely, zajištěném dvěma kolíky, na původní trám. Pro spoje bude využito dubových kolíků. [26] Výkres spoje a uložení viz příloha N.1 (pouze výkres uložení viz obrázek 53).
- 7) Následně bude odstraněno dočasné vynesení trámu. Znovu se realizují fabiony a podbití s rákosovou omítkou včetně malby replikující tu původní. Řešení fabionů bude odpovídat současnému stavu.

#### **Mírně porušené prvky**

Nabízí se dvě metody možné sanace – navrhovanou metodou je odstranění uhnílych zhlaví s případným doplněním dřevěnou plombou. Alternativou je injektáž kapes epoxidovou pryskyřicí pomocí polyesterových tyčí. [27] Návrh sanace je následující:

- 1) Nejprve se rozebere část římsy v okolí sanovaného zhlaví. Trám bude dále vyheverován tak, aby nezatěžoval spodní povrch kapsy (nadzvednutí o cca 10 mm).
- 2) Trám bude ve vzdálenosti 320 mm uříznut. Případně budou odstraněny i další poškozené části trámu. V případě zjištění většího poškození trámů, než stanovuje stavebně technický průzkum, je třeba začít postupovat dle postupu určeného pro velmi porušené prvky. Manipulace s likvidovaným materiálem musí probíhat opatrně a musí být zajištěn okamžitý odvoz.
- 3) Současné podezdívky budou minimálně o 30 mm (nejvýše o 50 mm) sníženy. Dále bude na realizováno maltové vyrovnávací lože, na které bude uložen dubový podkladek o tloušťce 30 mm a šířce 180 mm – předem hloubkově naimpregnovaný a ošetřený proti plísním a dřevokaznému hmyzu.
- 4) Poté bude trám spuštěn na podložky a hever se odstraní.

- 5) Na závěr je možné části trámu doplnit dřevěnou plombou obdobným způsobem, jako u plombování roznášecího trámu – viz kapitola 5.1.2.

**Neporušené prvky:**

U neporušených prvků je nutné vytvořit provětrávanou mezeru a chránit prvek proti navlhání z místa uložení. Sanace je navrhovaná následující:

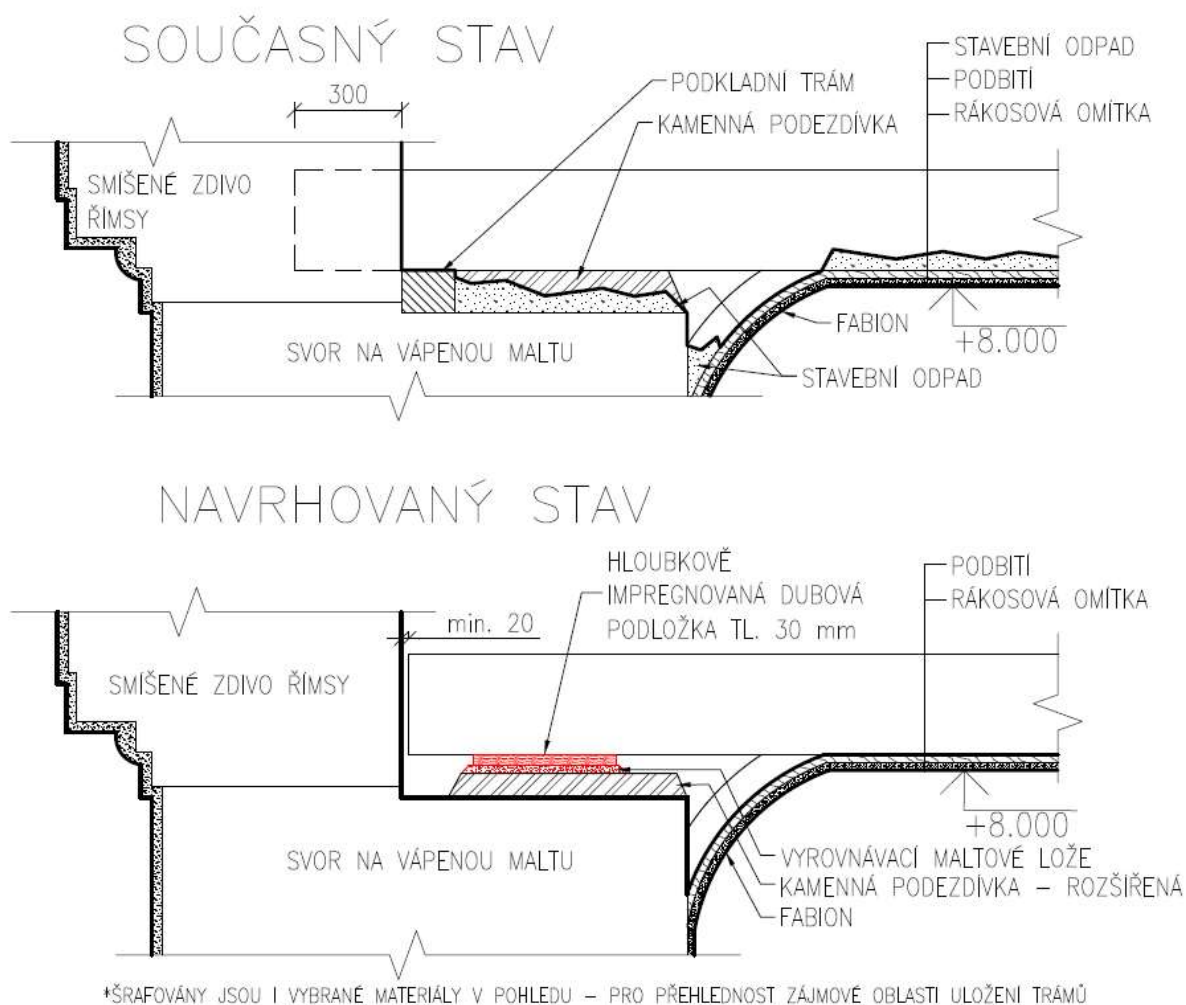
- 1) Část římsy bude odstraněna tak, aby byl vytvořen prostor 20 mm okolo zhlaví trámu v kapse pro vzduchovou mezeru. Při odstraňování části římsy v okolí zhlaví trámu je nutno provést vizuální a vrypovou kontrolu kvality dřeva trámu. V případě identifikace poškození, které nebylo při stavebně technickém průzkumu nalezeno, bude sanováno postupem odpovídajícím míře poškození trámu – viz výše.
- 2) Trám bude vyheverován tak, aby nezatěžoval spodní povrch kapsy (nadvvednutí o cca 10 mm).
- 3) Následně bude kapsa snížena o 30 až 50 mm. Stejný postup se provede i s podezdívkou podpírající trám před římsou. Dále bude realizováno maltové vyrovnávací lože, na které bude uložen dubový podkladek o tloušťce 30 mm a šířce 180 mm – předem hloubkově naimpregnovaný a ošetřený proti plísním a dřevokaznému hmyzu.

### **5.1.5. Závěrečné preventivní či represivní opatření**

Pro dlouhodobé řešení likvidace biotických škůdců dřeva je nutné provést zásah na profesionální úrovni – nejlépe odbornou firmou se specializací na tento typ prací.

Nejprve by mělo dojít ke sterilizaci dřeva, kdy se zlikvidují veškerá vývojová stadia houby i dřevokazného hmyzu, a to v celém prostoru konstrukce. To lze zajistit zvýšením teploty nad kritickou hodnotu (pomocí sálavého, kontaktního mikrovlnného, nebo dielektrického zdroje tepla), působením ultrazvuku, či zavedením inertních nebo toxických plynů do dřeva. Sterilizace konstrukcí ale nezajišťuje dlouhodobou ochranu, tu je nutné zajistit chemickou ochranou prvků. [25]

Dále budou tedy nové i stávající prvky trámového stropu a krovu opatřeny fungicidním a insekticidním nátěrem, popřípadě i hloubkovou injektáží dle doporučení odborné firmy. Nátěr bude třeba pravidelně obnovovat dle technického listu výrobce. [25]



obrázek 53 – stávající a navrhovaný stav uložení stropního trámu na zed'

## 5.2. Sanace vlhkosti

Sanaci zvýšené vlhkosti v objektu je nutno vždy doplňovat kombinací přímých a nepřímých metod, které výrazně omezují až zabraňují pronikání zemní vlhkosti do konstrukcí. Zároveň by mělo celkové řešení zajišťovat proudění vzduchu kolem konstrukcí, které je zároveň nejspolehlivějším přirozeným sanačním opatřením. Zvažované metody pro zájmový objekt byly následující: [8]

- Mechanické metody – provádění dodatečné hydroizolace zdiva. Při této metodě se prořezává zdivo pilou nebo diamantovým lanem a do vytvořené spáry se vkládají hydroizolační pásy či plechy. Tato metoda je vzhledem k charakteru (kamenné zdivo bez průběžné ložné spáry) a tloušťce obvodového zdiva nevhodná. Rovněž by této zásah pravděpodobně zhoršil únosnost základů, což by mohlo mít za následek další porušování

objektu. Tato metoda také není vhodná pro užití v tomto objektu z důvodu vnášení novodobých materiálů do historických konstrukcí při její aplikaci.

- Izolace provětrávanými vzduchovými dutinami – u této metody se systémem větracích kanálků vytváří tlakovým rozdílem proud vzduchu ve vzduchové dutině vytvořené kolem sanovaných konstrukcí. Při podrobných průzkumech se s tímto řešením u historických objektů můžeme setkat, a je tedy někdy možné tento typ izolací pouze obnovit. Tato metoda se jeví pro objekt jako nejvýhodnější a je dále navrhována.
- Elektroosmóza – zde se umísťují elektrody na sanovanou konstrukci a do přiléhající zeminy. Elektrody vytvářejí proudový potenciál, který stlačuje molekuly ke katodě v zemině. Tato metoda není pro objekt vhodná, jelikož se prokázal vysoký obsah solí ve zdivu – ve vzorku CH1 v průzkumu chemismu (viz kapitola 4.4.2) byl zjištěn celkový obsah solí větší než 1 hm. % - při této míře zasolení přestává být elektroosmóza účinná.
- Infuzní metody – při této metodě se do konstrukce provedou vrty, které se následně tlakem hydrostatickým, nebo tlakem čerpadla injektují chemickými prostředky (utěšňujícími, hydrofobizačními či kombinovanými). Vzhledem k nálezu vysokého a velmi vysokého stupně vlhkosti zdiva by bylo nutné pro sanaci užít infuzního prostředku na bázi organických rozpouštědel, a to na některých místech až po vysušení zdiva topnými tyčemi nebo mikrovlnnými zdroji. Tato metoda by byla rovněž pro užití sanace objektu možná, ale pravděpodobně neekonomická.

### 5.2.1. Sanace provětrávanou dutinou

Navrhovanou sanací je vytvoření provětrávacích vzduchových dutin pod úrovní terénu, a to jak na interiérovém, tak exteriérovém líci zdiva základu. Toto sanační opatření bude provedeno po obvodu objektu z jeho severní, západní a jižní strany – viz příloha F.2. Doplněné bude výměnou dešťových svodů a podokapních žlabů a realizací drenáže v blízkosti objektu. Před zahájením samotné sanace je nutné provést kopané sondy pro zjištění stavu základů v místech předpokládaných poklesů (viz kapitola 3.2.1) a případně základy sanovat. Kopané sondy by měly rovněž určit přibližnou hloubkovou úroveň základové spáry (lze předpokládat, že ta se může různit pro obvodové konstrukce hlavní lodi, presbyteria a předsíně se sakristií, jelikož tyto části byly realizovány v různých obdobích – viz obrázek 3). Hloubka základu je rozhodující pro volbu výšky provětrávaných dutin – ta musí být taková, aby dno dutiny bylo alespoň 800 mm nad základovou spárou, jinak by mohlo docházet k jejímu promrzání [22].

Konstrukci tvořící provětrávanou dutinu na vnitřním i vnějším líci lze realizovat z různých materiálů. Například lze v zemině vytvořit zděnou předstěnu s vlastním základem a uzavřít jí z horní strany betonovou deskou. Mezi objektem a předstěnou tak vznikne vzduchová mezera s odvodněným dnem. Provětrávací dutinu lze rovněž zajistit pomocí IPT desek s výškou nopu 100 mm ukončených pod povrchem. [28] Dále lze použít příkopové tvárnice z vnějšku zajištěné hydroizolací. Také je pro vytvoření odvětrání možné užití iglů tvarovek. Ty je třeba ze stran přiléhajících k zemině zajistit proti pronikání zeminy a vody do dutiny – k tomu lze využít systémových zakončovacích prvků. Všechny tyto materiálové varianty umožňují různé výškové řešení dutin a jsou použitelné. Dále je navrhována pouze varianta s příkopovými tvárnici v exteriéru a v interiéru iglů systém viz příloha F.3 či obrázek 54.

Provětrávání dutin je navrženo jako přirozené (gravitační). Nasávání vzduchu do dutiny je navrženo pomocí PVC potrubí DN200, vedených v zemi od komínků umístěných na severní hraně pozemku. Vedení těchto potrubí musí respektovat rozmístění hrobů v okolí objektu a musí být vedeno mimo ně. Odtah z provětrávaných dutin je řešen pomocí falešných dešťových svodů DN125 umístěných na jižní fasádě objektu.

Při realizaci výkopu pro provětrávanou dutinu je pro zvýšení účinnosti sanačního opatření třeba osekát ze základů vnější omítku a vyškrábat spáry mezi zdíci prvky do hloubky minimálně 20 mm pro maximalizaci odpařovací plochy.

### **5.2.2. Navrhovaná nepřímá sanační opatření**

V rámci sanace je nutné zajistit dostatečné odvedení vody od objektu. Veškeré stávající podokapní žlaby a dešťové svody je nutné odstranit a realizovat nové se stejným uspořádáním. Nové prvky budou realizovány z odolných materiálů daných památkáři (pozink, měď, titan-zinek), ze stejného materiálu budou rovněž řešeny další klempířské výrobky použité při opravě střešní krytiny (oplechování hřebene a nároží). Dešťové svody budou vést do nového svodného potrubí. Do svodného potrubí bude rovněž vyústěna zajišťovací drenáž vedená u vnějšího obvodu exteriérové provětrávané mezery ve šterkovém loži zajištěném geotextilií. Do svodného potrubí bude také odvedena voda z odtokových žlabů (zřízených po obvodu objektu, jako součást okapových chodníků) a voda z dna vnější provětrávané dutiny. Všechna tato napojení na svodná potrubí budou realizována pomocí kanalizačních šachet. Skutečná poloha svodného potrubí musí respektovat hroby v okolí objektu.

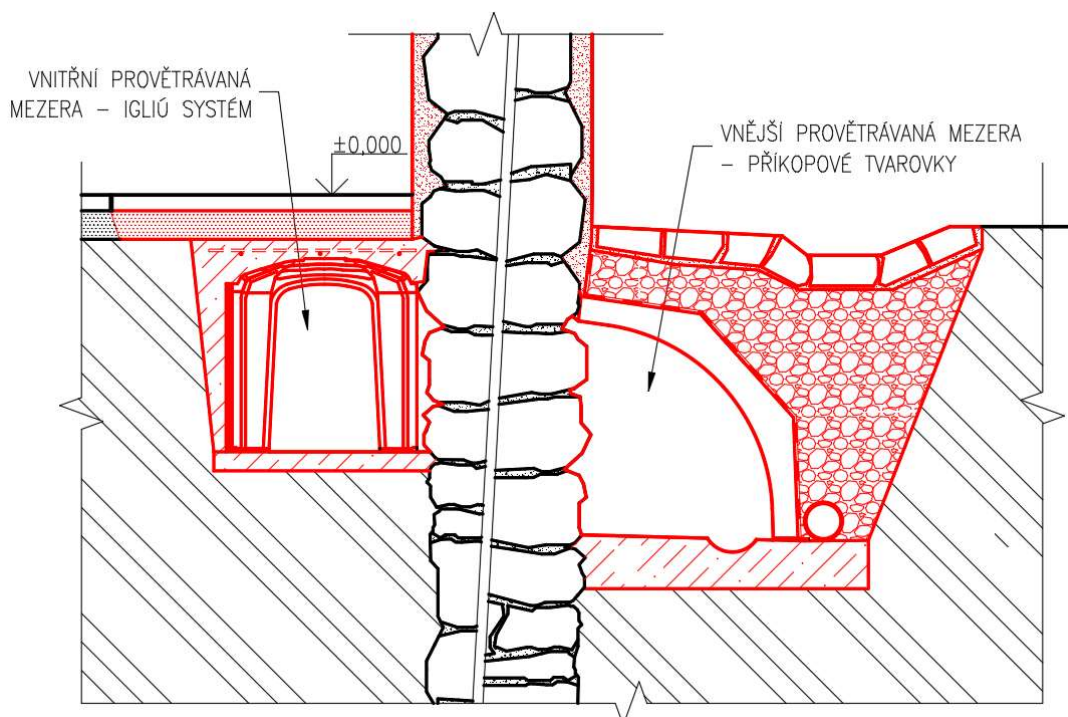
Voda odváděná od objektu musí být dle vyhlášky 268/2009 o technických požadavcích na stavby odváděna přednostně zasakováním, případně odvodem do povrchových vod. [29]



Vzhledem k situování kostela v obci by mohlo přicházet v úvahu zajištění zasakování pomocí vsakovací šachty, nebo odvodem do rybníku umístěného v obci jižně od objektu. Výsledné řešení by záviselo na povolení dotčených osob a orgánů.

Rovněž je nutné během provádění výše uvedených sanací mechanicky odstranit solné výkvěty a veškeré poškozené části omítek – na velmi poškozených místech včetně vyškrabání malty ze spár do hloubky 20 mm. Následně se místa (v interiéru i exteriéru) napadená řasami očistí tlakovou vodou a tato místa se opatří vhodným algicidním nátěrem či nástřikem, který nebude reagovat se stávajícími stavebními hmotami. V místech s vysokým obsahem solí (zejména jižní vnitřní stěna hlavní lodi v úrovni od podlahy do výšky zhruba 1,4 m – místa se solnými výkvěty) je doporučeno provedení odsolení pomocí obkladů – sorbentů na bázi buničiny, nebo jílových materiálů (případně kombinací, pak jsou účinnější, ale mohou poškodit omítku, na kterou jsou nanесeny). Obklad je nasycen destilovanou vodou a díky kapilárním silám a difuzi se do něj v rámci několika dnů až měsíců transportují sole. Obklad se užívá opakovaně, dokud se dostatečně nesníží obsah solí ve zdivu. [22]

Následně na svislé konstrukce v místech s obnaženým zdivem se do výšky zhruba 1,5 m nanесou obětované omítky (chudé vápenné), které se po roce až dvou odstraní (během své životnosti se v nich kumulují sole). [22] Po jejich odstranění dojde k obnovení vápenných vnitřních i vnějších omítek a restaurování nátěru – viz úvodní část kapitoly 5.



obrázek 54 – navrhovaná sanace vlhkosti provětrávanými mezerami

### 5.3. Sanace trhlin

Sanace trhlin v objektu bude následovat až po sanaci vlhkosti. V místě předpokládaného poklesu základu (viz kapitola 3.2.1) je doporučeno provést kopané sondy a zjistit stav základů. V případě nálezu jejich poškození, či nálezu kapsy od kumulace vody, je nutné základy dozdít z cihel PP. V případě zjištění nedostatečného založení objektu je nutné provést zesílení základů. Po těchto zásazích by bylo možné považovat trhliny ve svislých nosných konstrukcích u triumfálního oblouku a na severní stěně presbyteria za stabilizované (pokud se neprokáže jinak).

#### 5.3.1. Sanace trhlin ve svislých nosných konstrukcích

Po zajištění základů podezděním na poškozených místech lze považovat trhliny ve svislých nosných konstrukcích v blízkosti vítězného oblouku za pasivní. Z toho důvodu je navrhována jejich sanace hloubkovým zatmelením. Nejprve se v blízkosti trhlin odstraní omítka. Trhliny budou následně rozšířeny (vysekáním či vyříznutím) na trojúhelníkovou drážku v šířce minimálně 5 mm. Dále budou drážky vyčištěny a navlhčeny. [30] Do trhlin budou vloženy dřevěné klínky. Poté budou trhliny hloubkově zatmeleny vápenocementovou maltou – v případě širších trhlin budou při tmelení vloženy do trhlin úlomky svoru.

Spolehlivějšího zaplnění trhlin lze docílit tlakovou injektáží (0,2 – 0,8 MPa) [8]. U této metody by mohl vzniknout problém s památkovou ochranou stavby, jelikož by při injektáži byly užity moderní (resp. nepůvodní) stavební hmoty.

V případě pozdějšího zjištění, že se jedná o trhliny aktivní, by bylo nutné navrhnout další sanační opatření. Vhodným opatřením by bylo například stehování. Při stehování trhlin se umísťují do předvrtaných otvorů ocelové skoby (průměr 14–25 mm) tak, aby spony přesahovaly trhlínu na každou stranu minimálně o 0,5 m a byly od sebe vzdáleny 0,3 až 0,6 m. Stehování trhlin je vhodné provádět z obou stran stěny. [8]

#### 5.3.2. Sanace trhlin v klenbách

Dle dosavadních informací získaných o konstrukcích se jeví, že trhliny v klenbách v objektu mají spíše charakter pasivních trhlin, z toho důvodu je navrhována sanace vyklínováním a hloubkovým tmelením. Nejprve budou v okolí trhlin z lící strany klenob odstraněny omítky, narušené povrchové vrstvy zdících prvků a malty ve spárách, jimiž prochází trhlína. Následně budou spáry vyklínované a budou hloubkově tmeleny vápenocementovou maltou do hloubky 30 až 50 mm. [8]

V případě pozdějšího zjištění, že se jedná o aktivní trhliny, by bylo nutné navíc provést další sanační opatření. Vzhledem k památkové ochraně objektu se jeví jako nejvhodnější vložení helikální výztuže z lící strany klenby do spár zdiva klenby ve směru kolmém na trhliny. Přesný návrh rozmístění a rozměrů výztuže by musel být předmětem dalšího zkoumání. Místo helikální výztuže by bylo možné užití pásek s uhlíkovými vlákny.



## Závěr

Bakalářská práce se věnovala jednodílnému raně gotickému kostelu sv. Jakuba se zděným stěnovým konstrukčním systémem. V rámci práce bylo popsáno konstrukční řešení objektu a byl proveden stavebně technický průzkum. V práci byl popsán stávající stav objektu včetně analýzy možných příčin poruch – zjištěny byly mimo jiné trhliny v nosných konstrukcích, závažné poškození dřevěného trámového stropu hlavní lodi (v severozápadní části je stav havarijní) způsobené zatékáním a vysoká vlhkost zdiva. Veškeré zjištěné vady a poruchy byly popsány v textové části práce, doplněny o fotodokumentaci a zakresleny do výkresů stávajícího stavu. Součástí práce byla i laboratorní analýza vlhkosti a chemismu a numerická analýza vybraných konstrukčních prvků.

Závěrem byly v práci navrženy sanační opatření zjištěných poruch. Blíže byla navržena sanace vlhkosti, kde je navrhována provětrávaná mezera na vnější i vnitřní straně základu doplněná o další nepřímá sanační opatření. Dále byla řešena sanace trhlin. Rovněž byla navržena sanace trámového stropu převážně pomocí protézování za použití tradičního plátového spoje.

Cíle práce spočívající ve vytvoření podkladu popisujícího současný stavebně-technický stav objektu v rozsahu dostatečném pro návrh sanačních metod a návrhu sanačních opatření, která dlouhodobě zamezí progresivnímu poškození objektu, byly naplněny. Nad rámec práce byla provedena laboratorní analýza plísni krovu.

Z provedení práce si odnáším cenné zkušenosti z oblasti provádění stavebně-technických průzkumů a analýzy možných příčin poruch včetně práce s výpočetním softwarem a z práce v laboratoři. Rovněž jsem si rozšířil znalosti v oblasti užití jednotlivých sanačních metod. Zpracovávání práce bylo pro mě zajímavé vzhledem k rozmanitosti práce a tomu, že práce pojednává o tématu mi blízkém.

Obnova kostela Sv. Jakuba ve Vidžíně je vzhledem k jeho současnému stavu, který se obzvláště vlivem zatékání porušenou střešní krytinou, bude rapidně zhoršovat, nutná. Doufám, že tato práce a její závěry poslouží jako impulz pro správce kostela k provedení kroků k zachování této kulturní památky, případně poslouží i jako podklad pro získání finančních prostředků pro tento účel.



## Seznam obrázků

obrázek 1 – obec Vidžín z výšky [4].....	10
obrázek 2 – situace: katastrální mapa [1] .....	11
obrázek 3 – etapy výstavby kostela [6] .....	12
obrázek 4 – půdorys 1. NP.....	13
obrázek 5 – severní fasáda kostela s odhaleným zdivem .....	14
obrázek 6 – východní fasáda presbytáře – opracované kamenné bloky pilířů.....	14
obrázek 7 – uložení trámů stropu lodi.....	15
obrázek 8 – levá část klenby nad presbyteriem.....	15
obrázek 9 – statické schéma krovu nad hlavní lodí kostela.....	16
obrázek 10 – schéma prvků plné vazby krovu.....	16
obrázek 11 – schéma podélného řezu krovem.....	17
obrázek 12 – kotvení stropního trámu do vynášecího trámu.....	18
obrázek 13 – axonometrie plné vazby krovu.....	18
obrázek 14 – pohled zespodu na uložení spodního podélného prvku středového ztužidla na vazné trámy.....	18
obrázek 15 – pohled na horní věnec krovu věže zespodu.....	19
obrázek 16 – pohled na sloupky, ztužení, ramenáty a část spodního roštu krovu věže.....	19
obrázek 17 – pohled na hlavní loď směrem od presbytáře .....	20
obrázek 18 – podokapní žlab ucpaný náletovou zelení .....	21
obrázek 19 – solný výkvět na nosné stěně v přízemí.....	23
obrázek 20 – trhlina ve stěně u točitého schodiště .....	23
obrázek 21 – přízemí – schodiště.....	23
obrázek 22 – severní stěna presbyteria – černě vyznačeny trhliny, červeně předpokládaná poloha překladu původního otvoru.....	23
obrázek 23 – model triumfálního oblouku: geometrie, vazby, klouby a zatížení .....	25
obrázek 24 – model triumfálního oblouku: axonometrie na tělesa, materiály .....	26
obrázek 25 – model triumfálního oblouku: modelované tuhosti podpor ve svislém směru ....	27
obrázek 26 – model triumfálního oblouku: hlavní napětí .....	28
obrázek 27 – model triumfálního oblouku: porovnání trajektorií modelu a reality .....	29
obrázek 28 – lokace měřících bodů pro monitoring trhlin .....	30
obrázek 29 – vzorek zhlaví stropního trámu, napadení dřevokazným hmyzem .....	32





obrázek 30 – ztrouchnivělý stropní trám.....	32
obrázek 31 – ztrouchnivělé zhlaví trámu .....	32
obrázek 32 – plíseň stropní konstrukce hlavní lodi.....	33
obrázek 33 – rozsáhlé poškození trámového zhlaví trámů stropu hlavní lodi.....	33
obrázek 34 – trhlina v klenbě předsíně .....	34
obrázek 35 – trhliny v klenbě u varhaniště.....	34
obrázek 36 – posouzení stropního nosníku: geometrie zadání .....	34
obrázek 37 – posouzení stropního nosníku: grafické výstupy posudku .....	35
obrázek 38 – oslabení vazných trámů a pozednice zatékáním .....	36
obrázek 39 – vyosený středový sloupek nad presbyteriem.....	36
obrázek 40 – narušená střešní krytina .....	37
obrázek 41 – porušení středního vodorovného prvku středního ztužidla .....	37
obrázek 42 – dřívější sanace horního věnce krovu věžě .....	37
obrázek 43 – vzorky plísní po kultivaci .....	38
obrázek 44 – identifikované plísně ve vzorcích dřeva, zvětšení 1:400 .....	39
obrázek 45 – odebraný vzorek řas pod mikroskopem (zvětšení 400x).....	40
obrázek 46 – vlhkostní mapy a hnízda ptáků v hlavní lodi .....	41
obrázek 47 – pohled na střechu .....	41
obrázek 48 – půdorysné schéma odběru vzorků vlhkosti a chemismu .....	43
obrázek 49 – vysušené vzorky pro měření vlhkosti.....	44
obrázek 50 – lokace odběru vzorků pro měření vlhkosti a chemismu .....	45
obrázek 51 – vzorky po přidání pH indikátoru (zleva: CH1, CH2, CH3).....	48
obrázek 52 – schéma postupu provádění dřevěné plomby .....	56
obrázek 53 – stávající a navrhovaný stav uložení stropního trámu na zeď.....	60
obrázek 54 – navrhovaná sanace vlhkosti provětrávanými mezerami.....	63



## Seznam tabulek

tabulka 1 – naměřené hodnoty vzdáleností mezi měřícími body .....	31
tabulka 2 – specifikace odběru vzorků .....	43
tabulka 3 – naměřené hodnoty, dílčí výpočty a výsledná hmotnostní vlhkost.....	49
tabulka 4 – výsledky měření chemismu .....	49
tabulka 5 – klasifikace vlhkosti zdiva [21] .....	50
tabulka 6 – klasifikace hmotnostní vlhkosti odebraných vzorků .....	50
tabulka 7 – klasifikace salinity zdiva [21] .....	52
tabulka 8 – přehled výsledků průzkumu chemismu s klasifikací salinity .....	52



## Seznam použité literatury

1. ČÚZK Nahlížení do katastru nemovitostí. [Online] Český úřad zeměměřický a katastrální, 2004-2022. [Citace: 3. 10. 2021.]  
<https://nahlizeni.dokn.cuzk.cz/ZobrazObjekt.aspx?encrypted=1bTzzBCAoNaYn32QObfeXtXwJdDOGe5pCptWApFAfzliQIoJERcHAoeGEZ20f2uwLA8OvKOXE0eoQQu RDn0ag88se28T FOjy kCbnkQbdD7P4d7cUI4VrEwr XQGrEdXvIr4XXtW8CW3LVnichkcG3CmtC06qu REwREm6tMOmyA8q-MGP83mWyLbLY13 4Ff4ic>.
2. Geodetické údaje zhušťovacího bodu. *Zeměměřický úřad*. [Online] Zeměměřický úřad, 11. 2. 2022. [Citace: 6. 3. 2022.]  
<https://dataz.cuzk.cz/qu.php?1=12&2=25&3=205&4=z&stamp=Wjic8V8ICkmDAjkui0Yhs6DKFn9LasNe>.
3. Mapa radonového indexu. *geology.cz*. [Online] Česká geologická služba. [Citace: 18. 10. 2021.] [http://www.geology.cz/demo/CD\\_RADON50/1141/1141b.htm](http://www.geology.cz/demo/CD_RADON50/1141/1141b.htm).
4. *Mapy.cz*. [Online] 3. 8. 2019. [Citace: 18. 10. 2021.]  
<https://mapy.cz/zakladni?x=12.9810125&y=49.9681049&z=13&l=1&q=vid%C5%BE%C3%ADn&source=ward&id=11812&gallery=1&sourcep=foto&idp=2273562>.
5. POCHE, Emanuel a kol. *Umělecké památky Čech 4 T-Ž*. Praha : Academia, 1982.
6. GRISA, Ivan. *Hrady.cz*. [Online] 30. 8. 2009. [Citace: 3. 10. 2021.]  
<https://www.hrady.cz/kostel-sv-jakuba-vidzin>.
7. Geovědní mapy 1 : 50 000. *geology.cz*. [Online] Česká geologická služba. [Citace: 04. 10. 2021.] <https://mapy.geology.cz/geocr50/>.
8. WITZANY, Jiří, ČEJKA, Tomáš, WASSERBAUER, Richard a ZIGLER, Radek. *PDR - poruchy, degradace a rekonstrukce*. Praha : Česká technika - nakladatelství ČVUT, 2010. ISBN: 978-80-01-4488-9.
9. POKORNÝ, Zbyněk. Tesařík krovový. *chovzvirat.cz*. [Online] 9. 5. 2014. [Citace: 13. 3. 2022.]  
<http://www.chovzvirat.cz/zvire/1292-tesarik-krovovy/>.
10. ČSN EN 1995-1-1 Eurokód 5: Navrhování dřevěných konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla – Společná pravidla a pravidla pro pozemní stavby. [Dokument PDF] Praha : Český normalizační institut, 2006.
11. VINAŘ, Jan, KUFNER, Václav a HOROVÁ, Ivana. *Historické krovky*. Praha : EL CONSULT, 1995. ISBN: 80902076-0-X.

12. THRANE, Ulf at al. *Food and Indoor Fungi*. 2. ed. Utrecht : Westerdijk Fungal Biodiversity Institute, 2019. ISBN: 978-94-91751-18-9.
13. KUBÁTOVÁ, Alena. Miniatlás mikroorganismů. *old.vscht.cz*. [Online] [Citace: 28. 4. 2022.] <http://old.vscht.cz/obsah/fakulty/fpbt/ostatni/miniatlas/mikr.htm>.
14. Konstantinovy Lázně. *in-pocasi*. [Online] InMeteo, s.r.o., 2022. [Citace: 31. 3. 2022.] [https://www.in-pocasi.cz/aktualni-pocasi/konstantinovy\\_lazne/?detailed\\_typ=vlhkost&historie=2022-03-29&detailed\\_usek=24#daily\\_graph](https://www.in-pocasi.cz/aktualni-pocasi/konstantinovy_lazne/?detailed_typ=vlhkost&historie=2022-03-29&detailed_usek=24#daily_graph).
15. ČSN EN ISO 12570 *Tepelně vlhkostní chování stavebních materiálů a výrobků - Stanovení vlhkosti při zvýšené teplotě*. [Dokument PDF] Praha : Český Normalizační institut, 2001.
16. Chemická a mikrobiologická laboratoř katedry. *Příklady experimentálních postupů prováděných v chemické a mikrobiologické laboratoři; Katedra konstrukcí pozemních staveb Fakulta stavební, ČVUT v Praze*. [Online] 2008-2022. [Citace: 31. 3. 2022.] <http://kps.fsv.cvut.cz/index.php?lmut=cz&part=vyzkum&sub=53>.
17. 114401 - MQuant Chloride Test. *Merck millipore*. [Online] 6. 2020. [Citace: 7. 4. 2022.] [https://www.merckmillipore.com/CZ/cs/product/Chloride-Test,MDA\\_CHEM-114401#documentation](https://www.merckmillipore.com/CZ/cs/product/Chloride-Test,MDA_CHEM-114401#documentation).
18. 114752 - Spectroquant Ammonium Test. *Merck millipore*. [Online] 3 2021. [Citace: 7. 4. 2022.] [https://www.merckmillipore.com/CZ/cs/product/Ammonium-Test,MDA\\_CHEM-114752?ReferrerURL=https%3A%2F%2Fwww.google.com%2F#documentation](https://www.merckmillipore.com/CZ/cs/product/Ammonium-Test,MDA_CHEM-114752?ReferrerURL=https%3A%2F%2Fwww.google.com%2F#documentation).
19. 109713 - Spectroquant Nitrate Test. *Merck millipore*. [Online] 7. 2021. [Citace: 7. 4. 2022.] [https://www.merckmillipore.com/CZ/cs/product/Nitrate-Test,MDA\\_CHEM-109713#documentation](https://www.merckmillipore.com/CZ/cs/product/Nitrate-Test,MDA_CHEM-109713#documentation).
20. 102537 - Spectroquant Sulfate Test. *Merck millipore*. [Online] 2. 2020. [Citace: 7. 4. 2022.] [https://www.merckmillipore.com/CZ/cs/product/Sulfate-Test,MDA\\_CHEM-102537?ReferrerURL=https%3A%2F%2Fwww.google.com%2F#documentation](https://www.merckmillipore.com/CZ/cs/product/Sulfate-Test,MDA_CHEM-102537?ReferrerURL=https%3A%2F%2Fwww.google.com%2F#documentation).
21. ČSN P 73 0610 *Hydroizolace staveb – Sanace vlhkého zdiva -Základní ustanovení*. [Dokument PDF] Praha : Český normalizační institut, 2000.
22. BALÍK, Michael a kol. *Odvhlčování staveb 2., přepracované vydání*. Praha : Grada Publishing, a.s., 2008. ISBN: 978-80-247-2693-9.
23. ZEMANOVÁ, Lucie. Diplomová práce: Vliv vnitřní a vnější hydrofobizace na vlastnosti modifikovaných vápenných omítek. *ČVUT DSpace*. [Online] 8. 1. 2017. [Citace: 11. 4. 2022.]



<https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/68034/F1-DP-2017-Zemanova-Lucie-final.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

24. HRUŠKA, Jakub a OULEHLE, Filip. Dusík v lesních ekosystémech. *Vesmir.cz*. [Online] VESMÍR, spol. s r. o., 4. 12. 2008. [Citace: 11. 4. 2022.] <https://vesmir.cz/cz/casopis/archiv-casopisu/2008/cislo-12/dusik-lesnich-ekosystemech.html>. ISSN 1214-4029.
25. REINPRECHT, Ladislav a ŠTEFKO, Josef. *Dřevěné stropy a krovy: typy, poruchy, průzkumy a rekonstrukce*. Praha : ARCH, 2000. ISBN: 80-86165-29-9.
26. KUNECKÝ, Jiří at al. *Celodřevěné plátové spoje pro opravy historických konstrukcí: výsledek aplikovaného výzkumu - metoda navrhování*. [Dokument] Praha, 2015. ISBN: 978-80-86246-64-2.
27. PUME, Dimitrij, ČERMÁK, František a kol. *Průzkumy a opravy stavebních konstrukcí*. Praha : ARCH, 1993.
28. BALÍK, Michael. *Vysušování zdiva v příkladech*. Praha : Grada Publishing, a.s., 2010. ISBN: 978-80-247-3045-5.
29. Vyhláška č. 268/2009 Sb. *Zákony pro lidi*. [Online] AION CS, s.r.o., 2010-2022. [Citace: 24. 4. 2022.] <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2009-268>.
30. SOLAŘ, Jaroslav. *Poruchy a rekonstrukce zděných staveb*. Praha : Grada Publishing, a.s., 2008. ISBN: 978-80-247-2672-4.



## **Seznam použitých programů**

Microsoft 365 – studentská licence

- Word
- Excel

AutoCAD 2022 – studentská licence

SCIA Engineer 21.1 – studentská licence

Inkscape 1.1.2 – freeware





## Seznam příloh

### **Příloha S: výkresy stávajícího stavu**

S.1	Půdorys 1. NP – stávající stav	1:100
S.2	Půdorys krov – stávající stav	1:100
S.3	Řez „A-A“ – stávající stav	1:100
S.4	Řez „B-B“ – stávající stav	1:100
S.5	Pohled jižní – stávající stav	1:100
S.6	Pohled severní – stávající stav	1:100
S.7	Pohled východní – stávající stav	1:100
S.8	Pohled západní – stávající stav	1:100

### **Příloha N: výkresy návrhů sanací**

N.1	Návrh sanace trémového stropu	1:100 a 1:20
N.2	Návrh sanace vlhkosti – půdorys	1:100
N.3	Návrh sanace vlhkosti – řez „A-A“	1:20

### **Příloha V: výpočtová část**

V.1	Engineering report (SCIA Engineer) – dřevěný nosník	
-----	---	--