



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ

V PRAZE

Fakulta Stavební

Katedra konstrukcí pozemních staveb

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Kostel sv. Mikuláše – statické posouzení a návrh
sanačních metod

Vyhotovil(a): Lukáš Dejdar

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Aneta Maroušková



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební
Thákurova 7, 166 29 Praha 6

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: <u>Dejdar</u>	Jméno: <u>Lukáš</u>	Osobní číslo: <u>438075</u>
Zadávací katedra: <u>Katedra konstrukcí pozemních staveb</u>		
Studijní program: <u>Stavební inženýrství</u>		
Studijní obor: <u>Konstrukce pozemních staveb</u>		

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce: <u>Kostel Sv. Mikuláše - statické posouzení a návrh sanačních metod</u>	
Název bakalářské práce anglicky: <u>Sv. Mikuláš Church - Structural Check and Maintenance Methods Design</u>	
Pokyny pro vypracování: Zpracování stavebně technického průzkumu vybraného objektu včetně schémat se zakreslením zjištěných poruch Zpracování jednoduché výkresové dokumentace - schéma půdorysů, pohledy, řez Pořízení fotodokumentace objektu a poruch Analýza možných příčin poruch Statické posouzení konstrukcí objektu Zhodnocení možných sanačních metod Doporučení konkrétního řešení vhodného pro zadaný objekt	
Seznam doporučené literatury: Poruchy a rekonstrukce zděných staveb, Jaroslav Solař Historické krovky: Typologie, průzkum, opravy, Jan Vinař Odvlhčování staveb, Michael Balík a kol.	
Jméno vedoucího bakalářské práce: <u>Ing. Aneta Maroušková</u>	
Datum zadání bakalářské práce: <u>14.2.2018</u>	Termín odevzdání bakalářské práce: <u>27.5.2018</u>
<i>Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku</i>	
Podpis vedoucího práce	

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“.

<u>14.2.2018</u>	
Datum převzetí zadání	Podpis studenta(ky)

Anotace

Cílem této bakalářské práce je vyhotovit stavebně technický průzkum kostela svatého Mikuláše a provést statické posouzení vybraných konstrukcí včetně návrhu konkrétních sanačních opatření. Součástí práce je pořízení fotodokumentace, zpracování schematické výkresové dokumentace, včetně zakreslení vad a poruch. Příčiny poruch jsou v práci popsány a zanalyzovány. V závěru jsou pro sanaci těchto poruch nastíněny možné varianty oprav a prezentovány výsledky ze statického posouzení kostela.

Klíčová slova: klenba, zdivo, vlhkost, krov, poruchy, trhliny, sanace

Annotation

The bachelor thesis deals with structural and technical survey of St. Nicholas' Church including its static assessment. The structure is described in detail based on visual and laboratory survey. New building documentation was done together with extension photo documentation. Further, all defects and damages are described and results from numerical analysis are presented. Finally, possible remediation methods are proposed.

Keyword: vault, masonry, moisture, timber roof truss, defects, cracks, reconstruction

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, svou bakalářskou práci na téma Kostel sv. Mikuláše – statické posouzení a návrh sanačních metod jsem vypracoval samostatně, pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou na konci práce citovány v souladu s Metodickým pokynem o etické přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

V Praze dne

Poděkování

Zde bych velmi rád poděkoval především vedoucímu práce Ing. Anetě Marouškové za její ochotné rady a připomínky, bez kterých by tato práce nikdy nebyla dokončena.

Dále děkuji Ivaně Loušové za vstřícný přístup a její odborné vedení při laboratorních pracích a Zuzaně Rácové za její čas a pomoc s kapitolou vlhkostního průzkumu. Dále děkuji panu Pavlu Kodrasovi z římskokatolické farnosti Beroun za zpřístupnění kostela, zajištění informací o kostelu, a i děkuji panu Františku Čápovi za ochotu a pomoc při měřeních v kostele. Děkuji také rodičům za podporu ve studiu i v životě.

OBSAH

1.0.	ÚVOD.....	3
2.0.	STRUČNÁ CHARAKTERISTIKA OBJEKTU	5
2.1.	ÚDAJE O OBJEKTU A JEHO OKOLÍ	5
2.2.	UMÍSTĚNÍ STAVBY A SITUACE.....	6
2.3.	ZÁKLADNÍ POPIS OBJEKTU A JEHO DISPOZICE	7
3.0.	HISTORIE A PAMÁTKOVÁ OCHRANA	10
3.1.	HISTORIE KOSTELA SVATÉHO MIKULÁŠE.....	10
3.2.	PAMÁTKOVÁ OCHRANA	13
4.0.	KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ STAVBY	14
4.1.	ZÁKLADOVÉ KONSTRUKCE	14
4.2.	SVISLÉ NOSNÉ KONSTRUKCE.....	15
4.3.	VODOROVNÉ NOSNÉ KONSTRUKCE	19
4.4.	KROV	21
5.0.	PORUCHY KOSTELA SV. MIKULÁŠE	25
5.1.	ÚVOD	25
5.2.	PORUCHY VE SVISLÝCH NOSNÝCH KONSTRUKCÍCH.....	31
5.3.	PORUCHY VODOROVNÝCH KONSTRUKCÍ	38
5.4.	PORUCHY KROVU	41
5.5.	PORUCHY ŘÍMS, VÝKLENKŮ A NIK.....	46
5.6.	PORUCHY A SANACE OKOLNÍCH OBJEKTŮ	48
5.7.	SHRUTÍ MOŽNÝCH PŘÍČIN PORUCH.....	49
6.0.	VLKOSTNÍ PRŮZKUM A PRŮZKUM CHEMINISMU.....	50
6.1.	PRŮZKUM VLHKOSTI	50
6.2.	ZJEDNODUŠENÝ PRŮZKUM SALINITY	57
7.0.	SANAČNÍ OPATŘENÍ.....	63
8.0.	A JEJICH NÁVRH.....	63
7.1.	ÚVOD.....	63
7.2.	SANACE KROVU A SYSTÉMU TÁHEL.....	64
8.1.	NÁVRH POSTUPU SANAČNÍCH PRACÍ KROVU	70
8.2.	NÁVRH POSTUPU SANAČNÍCH PRACÍ TÁHEL.....	74
8.3.	NÁVRH SANACE TRHLIN V SVISLÝCH NOSNÝCH KONSTRUKCÍCH	

8.4.	NÁVRH SANACE TRHLIN VE VODOROVNÝCH KONSTRUKCÍCH....	79
8.5.	NÁVRH SANACE SALINITY	79
7.3.	SANACE VLHKÉHO ZDIVA.....	81
8.6.	NÁVRH POSTUPU SANACE VLHKOSTI.....	84
7.4.	SANACE ZÁKLADOVÝCH KONSTRUKCÍ.....	89
9.0.	METODA KONEČNÝCH PRVKŮ.....	90
9.1.	MKP.....	90
9.2.	VÝSLEDKY ZE SCIA ENGINEER.....	94
10.0.	ZÁVĚR.....	101

1.0. ÚVOD

Tato bakalářská práce se zabývá zpracováním stavebně technického průzkumu, analýzou poruch a návrhem sanačních opatření, které by pomohly stav kostela sv. Mikuláše pro další generace zachovat.

Předmětem stavebně technického průzkumu v téhle práci je v první řadě zpracování základních informací o objektu a jeho okolí a zpracování zjednodušené dokumentace. Další úlohou stavebně technického průzkumu je najít základní informace o kostelu a jeho blízkém okolí, dále informace o materiálovém řešení jednotlivých částí stavby, které jsou seřazeny do několika kapitol. Dělení těchto kapitol a jejich pořadí má přímou návaznost na další kapitolu analýzy poruch, a proto jsou jednotlivé typy konstrukcí děleny do těchto logických celků. První kapitola je věnována zakládání stavby včetně jejího geologického profilu s pravděpodobným historickým provádění základových konstrukcí. Druhá kapitola stavebně technického průzkumu uvádí stručný popis svislých nosných konstrukcí včetně jejich dimenzí, materiálu i doby ze které pocházejí, na ní navazuje kapitola zabývající se vodorovnými konstrukcemi a jejich popisem, které však musely být v jisté míře odhadnuty dle podobných konstrukcí z důvodu nemožnosti zásahu do stávající konstrukce. Mezi další kapitoly patří vybavení kostelního inventáře a popis konstrukce krovu kostela, jehož typ se během století již jednou změnil. Součástí průzkumu bylo i zpracování vlastní dokumentace se zakreslením poruch a trhlin.

Další částí bakalářské práce je analýza poruch konstrukce. Tato část je přímo navázána na předchozí, neboť téměř všechny zmíněné konstrukce vykazují poruchy, jejichž původ je v této části rozebrán. Součástí této kapitoly bylo provedení výkresové dokumentace zobrazující poruchy a trhliny objektu vhodným způsobem. Pro tento účel jsem poruchy zakreslil do půdorysu a pohledů, kde jsou stručně seřazeny do několika skupin dle svého původu.

Předposlední část se zabývá souborem sanačních opatření, jež by mohla kostel uvést do stabilizovaného stavu za použitím vhodných zásahů, respektujících skutečnost, že objekt je památkově chráněn a je významnou historickou dominantou.

Závěr práce se zabývá statickými modely vybraných konstrukcí kostela, tedy krovem kostela a klenby. Tyto konstrukce byly vymodelovány v programu SCIA Engineer a

vyhodnoceny. U krovní konstrukce (kombinace vzpěradla a věšadla) byla porovnána efektivita varianty skutečného modelu (ve 3D) s variantou bez věšadla. Pro další porovnání fungování krovu byla ve 2D vymodelována plná vazba, která se zatížila tak, aby přenášela veškeré zatížení působící na plášť (sníh, vítr, tíha pláště násobených vzdáleností plných vazeb). Na konci práce je uvedena tabulka porovnávající jednotlivé důležité prvky těchto dvou modelů krovu s referenčním krovem. Konstrukce valené klenby s lunetami a valenými pasy byla vymodelována ve 3D, kde byly především porovnány tahová napětí od zatížení vlastní tíhou, s trhlinami v klenbě. U tohoto modelu byly navíc zkoumány výsledky napětí, které byly odlišné podle zvolené velikosti sítě metody konečných prvků. Z tohoto důvodu se část vyhodnocení týká hustoty sítě MKP.

Toto téma bakalářské práce jsem si vybral, neboť mě problematika rekonstrukcí vždy zajímala, ale širěji jsem se jí nezabýval. Kostel v Praskolesech jsem si vybral, neboť mi připadá zajímavý z historického, památkového a především konstrukčního hlediska. Dochovaly se v něm historické stavební konstrukce, například barokní krov a gotické zdivo. Mým cílem bylo zjistit jakým způsobem jednotlivé konstrukce kostela fungují a pro jejich případné poruchy navrhnout citlivou sanaci, respektující jejich památkovou hodnotu.

2.0. STRUČNÁ CHARAKTERISTIKA OBJEKTU

2.1. ÚDAJE O OBJEKTU A JEHO OKOLÍ

Obec Praskolesy s katastrální výměrou 511 hektarů se nachází v okrese Beroun, zhruba 4 kilometrů jihovýchodně od města Žebrák a 5 kilometrů severovýchodně od Hořovic v průměrné výšce 320 metrů zde žije do 1000 obyvatel. První dochovaná písemná zmínka o vsi pochází z roku 1216, ale již dříve zde lze dočíst o kapli, kterou dle pověsti založil kníže Oldřich.

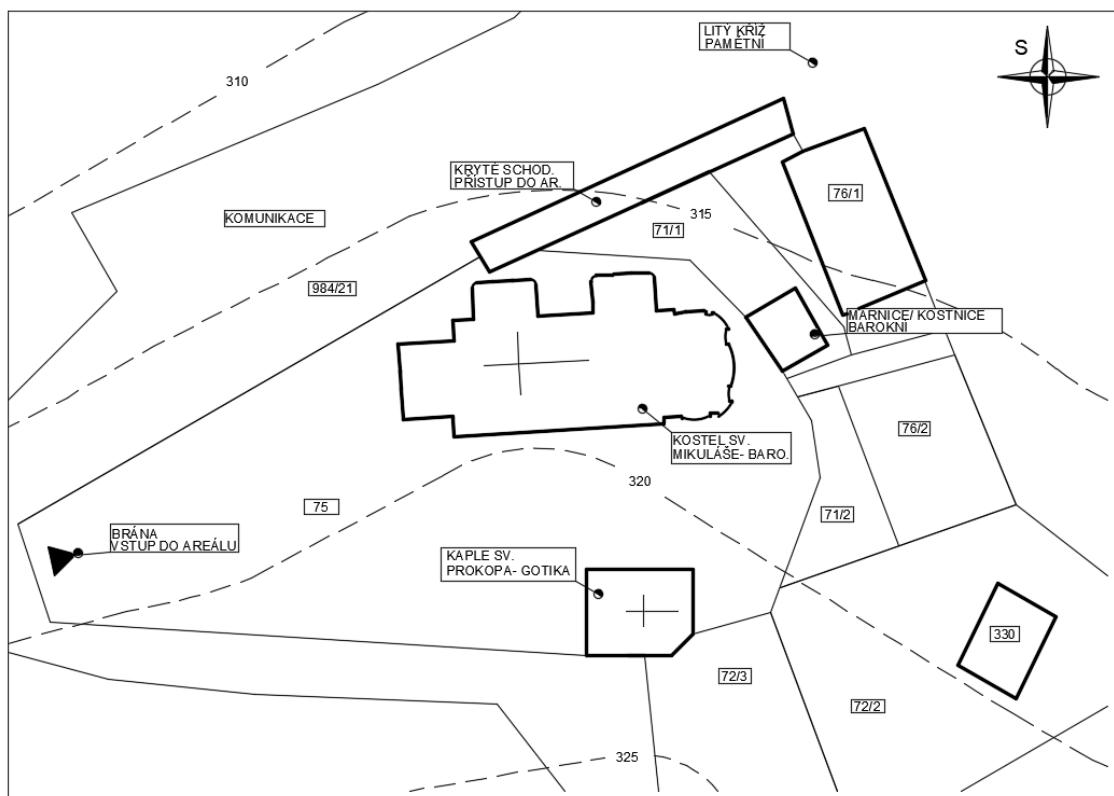
Dominantou obce je kostel svatého Mikuláše, který stál v Praskolesech nejpozději od 13. století a kaple svatého Prokopa s dochovanými freskami z 80.let 14. století. Církevní stavby v kostelním okrsku v minulosti byly značně poškozeny zejména zanedbanou údržbou, což vyústilo v dnešní nevyhovující stav. Drobné opravy prováděné zejména na kostelu svatého Mikuláše na konci 20. století řešily důsledek nikoliv příčinu, a tak stavby dále chátraly. [21]



Obr.001 Letecká mapa Praskoles, červeně znázorněn sv. Mikuláš [19]

2.2. UMÍSTĚNÍ STAVBY A SITUACE

Kostel spadá pro jurisdikci Římskokatolické farnosti Hořovice a je umístěn pod parcelním číslem 75. Kostel se nalézá ve stoupajícím skalnatém svahu nad centrem obce Praskolesy. Objekt je situován na původním (nyní již zrušeném hřbitově) a je ohraničen kamennou zdí se vstupní branou ze západu. V blízkém okolí kostela se nachází vrcholně gotická kaple sv. Prokopa a barokní márnice. Přístup od centra obce je umožněn stoupající krytou chodbou-schodištěm. V blízkosti kostelního okrsku je i barokní fara s mansardovou střechou vybudovaná v roce 1737 a barokní výklenková kaple sv. Jana Nepomuckého, které spolu s památným litým křížem jsou v pomyslném centru obce Praskolesy.



Obr.002 Situace církevního okrsku

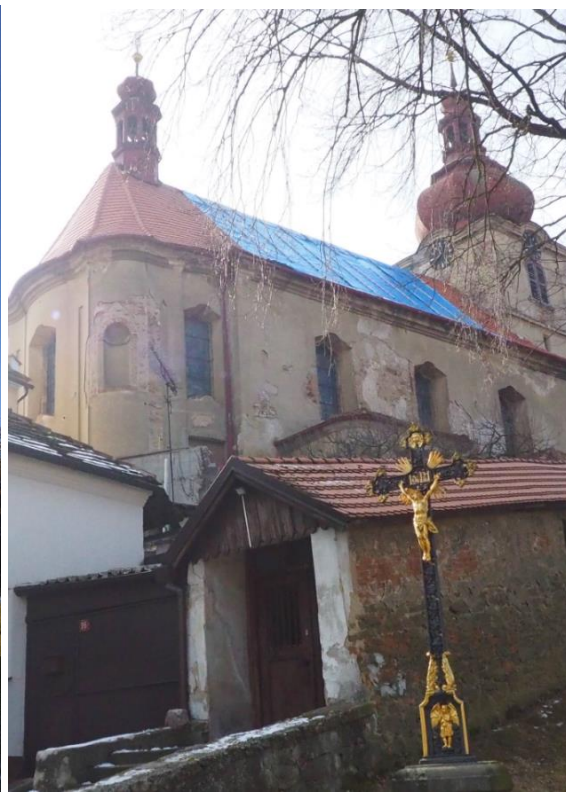
2.3. ZÁKLADNÍ POPIS OBJEKTU A JEHO DISPOZICE

2.3.1. ZÁKLADNÍ POPIS

Kostel sv. Mikuláše je jednolodní církevní stavba postavená ze smíšeného kamenného a cihelného zdiva, jeho hlavní část-loď je obdélníkového tvaru o délce 20 metrů a jeho prostor je zastropen valenou klenbou o rozpětí 10 metrů. Střecha je sedlová s valbou a její krovní soustava je vaznicová se vzpěradlem a věšadlem. Ke kostelu přistavěna několika úrovněv věž čtvercového půdorysu, která je zastřešena barokní bání. Z jižní strany ke kostelu přiléhají dva přístavky (sakristie a boční vstup).



Obr.003 Pohled na západní věž kostel sv. Mikuláše



Obr.004 Kostel svatý Mikuláš ze severovýchodní strany

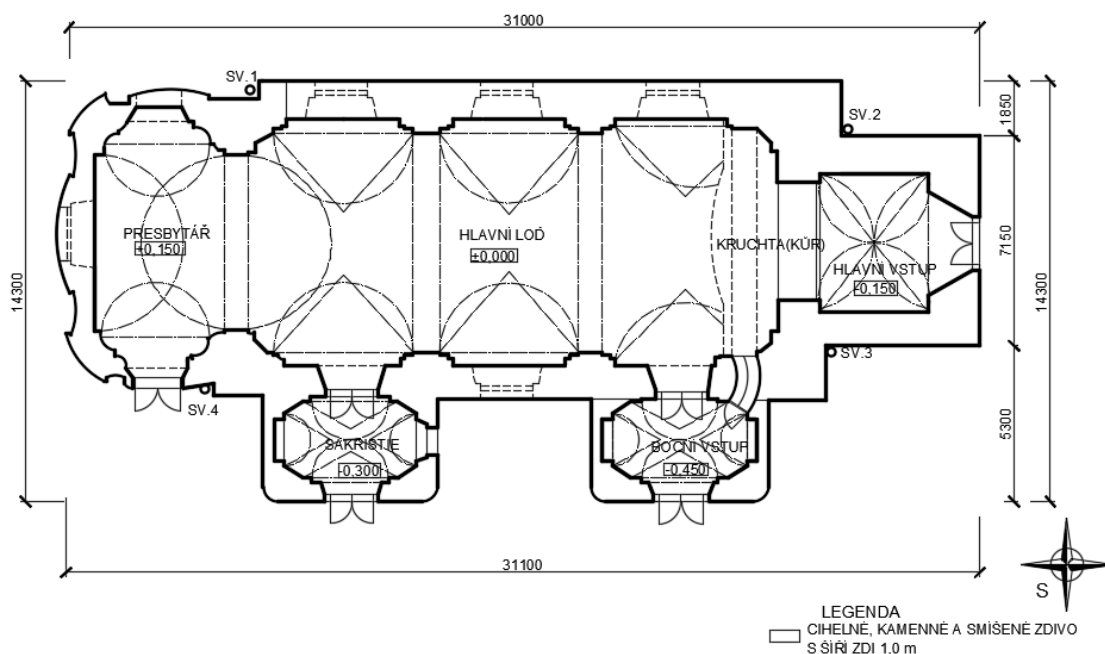
2.3.2. DISPOZICE

Kostel sv. Mikuláše je jednolodní obdélná stavba jednoduchého charakteru. Presbytář není od podélné lodi nijak oddělen, chybí tedy typický vítězný oblouk mezi lodí a presbytářem. Oltář je oproti lodi mírně zvýšen a od lodi vzdálen, což podporuje původní myšlenku, že člověk ke Kristovi přichází se skloněnou hlavou. Kostelní lavice

směřují k východu i k oltáři. Vnitřní stěny konvexně tvarovaného presbytáře a lodi jsou rozšířené cihelnými pilastry do kterých jsou zakončeny klenební pásy.

Na západní straně lodě se nachází hudební kruchta s nefunkčními varhany, která je vykonzolována z prostoru věže směrem k presbytáři, přístupná z bočního vstupu úzkým zatočeným schodištěm. Tato kruchta pravděpodobně souvisí s barokní přestavbou kostela. Ke kostelu je přistavěna věž, která je od kostela mírně odchýlena, ve věži je zároveň umístěn hlavní vstupní portál, který odděluje pomyslný duchovní svět od vnějšího světa. Jednotlivé podlaží věže jsou přístupné ocelovým schodištěm od kůru do dalšího patra, dále pak až ke zvonici dřevěným žebříkem. Vrchol věže po staletí sloužil pro uchovávání důležitých dokumentů již od dob Marie Terezie. Nad hlavním oltářem se nad hřebenem střechy nalézá malá věžička – sanktusová věž, na které je zavěšen malý zvon.

K lodi přiléhá na severní straně sakristie, která umožňuje osobní přístup kněžím do kostela a slouží zároveň jako prostor pro přípravu, převléknutí se na obřady a úschovnu vybavení a dále pak boční vstup s křtitelnicí a vstupem do hudební kruchty.



Obr.005 Půdorys dispozice kostel sv. Mikuláše

2.3.3 INTERIÉR

V interiéru se nasází bohatá interiérová výzdoba, která z velké většiny pochází z 18. a 20. století. Po obvodu jsou nástěnné obrazy podob světců a jejich života, které pochází z roku 1919 od známého malíře P. Majora. Figurální vitráže jsou ze 60. let 20. století.

Hlavní oltář je barokní, rámový s výzdobou na nástavci, pochází z druhé čtvrtiny 18. století. Obraz světce svatého Prokopa byl před několika lety zcizen, nyní se jedná o zapůjčení náhradního obrazu. Na severní straně lodi se nachází rokokový oltář svatého Jana Nepomuckého z druhé čtvrtiny 18. století, typ oltáře je skříňový se sochou světce a figurami po stranách. Na jižní straně se též nalézá kazatelna z druhé čtvrtiny 18. století a další barokní sloupový oltář svatého Václava z doby po roce 1700, vyzdobený obrazem od J. Hellicha z roku 1848 a s krucifixem v nástavci.

Na jižní straně je barokní skříňový oltář svaté Panny Marie z doby roku 1725 se sochami po stranách, dále pak oltář Srdce Páně, umístěn naproti svatému Václavovi, před kterým je socha Srdce Páně. Po stranách jsou naproti sobě sochy Bohorodičky Matky a socha Krista Trpitele ze pol. 18. století. [1]



Obr.006 Kazatelna – sever

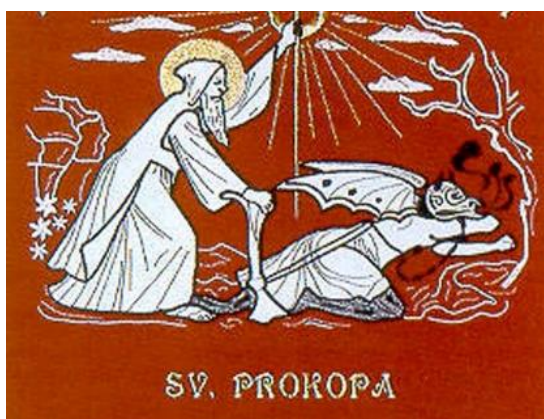


Obr. 007 Oltář panny Marie- jih

3.0. HISTORIE A PAMÁTKOVÁ OCHRANA

3.1. HISTORIE KOSTELA SVATÉHO MIKULÁŠE

První církevní stavba byla založena dle pověsti s knížetem Oldřichem, jenž byl značně znaven únavou po lovu v Brdských lesích, kde usedl pod strom pod svahem kopce a odebral se ke spánku. Ve snu spatřil svatého Prokopa, jak vede na řetězu ďábla a zvedá dva prsty k přísaze (toto vyobrazení viz níže). Ze snu byl probuzen svým koněm, který kopyty rozezněl zvon, který kníže našel zahrabaný pod kořeny stromu. Kníže považující to za boží vniknutí, tomto místě později založil kapli a zvon je dodnes zavěšen v gotické věži kostela svatého Mikuláše. [15]



Obr.008 svatý Prokop dle pověsti

Kostel svatého Mikuláše měl poměrně složitý stavební vývoj, byl původně románský doložen v roce 1216, poté v gotice přestavován a kdy k němu později byla přistavena i věž. Dále byl několikrát upraven, a to v letech 1620,1628, 1738 kde byla podoba kostela upravena do dnešní barokní podoby. Poslední větší změna kostel potkala v roce 1917, kdy byl opraven a zároveň byl osazen nový portál do západní části – hlavního vstupu do objektu.

Vedle pozorování od historiků lze dost věcí určit z fotografie/malby kostela z roku 1727. Z tohoto zobrazení lze vyčíst původní gotickou podobu před následnou přestavbou na barokní chrám. Největší změnou oproti dnešní podobě je tehdejší podoba věže, která zde má dřevěné horní patro s otvory v podsebití nesené na dřevěných krakorcích a její dlátkový tvar– vysoká valbová s okosenými nárožními, známý z gotických věží. Zajímavým faktem je, že analýza řeziva vynášející její původní nástavbu ukázala, že bylo

skáceno na přelomu let 1486/1487 a tedy potvrzují dataci věže z pozdní gotiky. Tehdejší vstup do objektu byl kamenný portál ve západní straně, velmi podobný portálu nyní umístěnému u vstupu do krovních prostor.

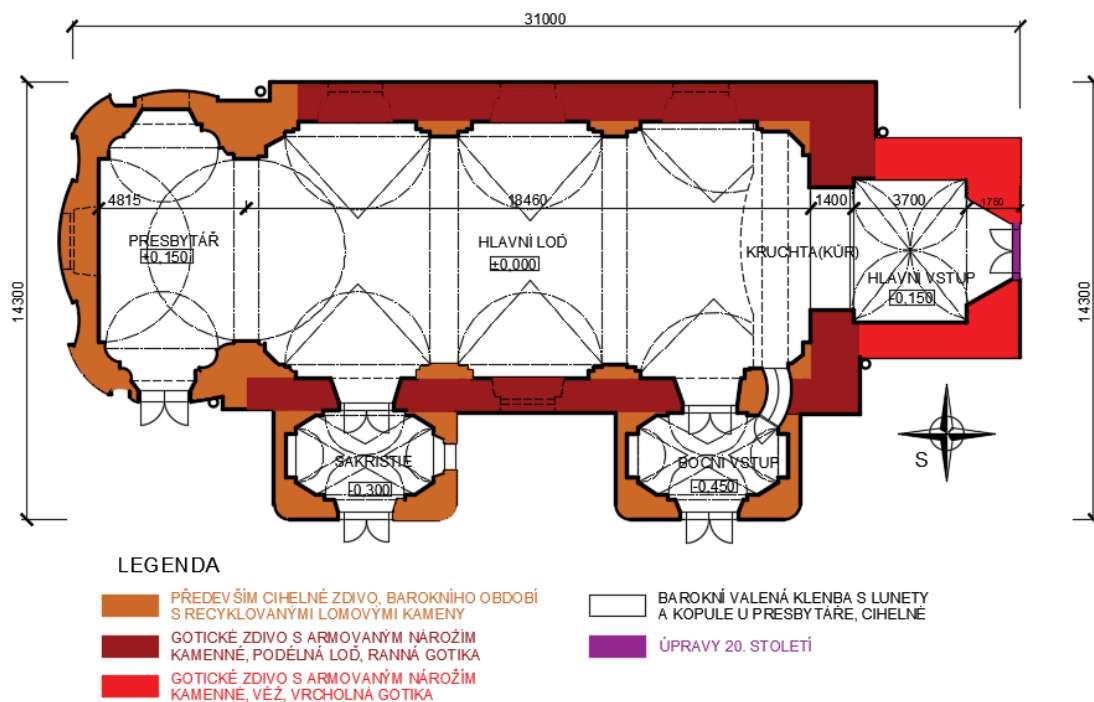
Kostel má neodsazený presbytář je jednolodní s přisazeným bočním vstupem situovanému na severní straně a zastřešení nad lodí, která má podstatně větší sklon než nyní. Na severní straně je možné si všimnout i kruhových drobných oken umístěných nad třemi vitrážovými okny směřujícími do vnitřnímu prostoru. Nad konstrukcí kostela je posazena malá věžička-sanktusník.

Zajímavým prvkem na jižní straně umístěný zadržovaný kamenný portál, tento portál má střešovitou trnož s členěnou dvojicí výžlabků a pravouhlým zářezem mezi nimi a je typický pro gotické stavby konce 13. století.

V říjnu roku 1639 švédská vojska vypálila zdejší obec, zpusťily zdejší faru, která byla po 60 let neobydlena. Za působení faráře Mikuláše Máši začaly stavební práce jak na faře, tak na kostele svatého Mikuláše, kde, jak je již naznačeno nastala nejzásadnější přestavba v roce 1736, kde kostel dostal již dnešní barokní podobu. Tato datace potvrzena díky krovu nad lodí, pro který bylo řezivo pokáceno na přelomu let 1735/1736 v místních Podbrdských lesích. Kostel po této přestavbě získal kompletní přestavbu věže s její dostavbou nad druhým podlažím věže. Rovněž zastřešení věže se změnilo na zvonovou báni. [1] [14] [22]



Obr.009 Vyobrazení kostela z malby roku 1727



Obr.010 Půdorys historie výstavby kostela sv.

Dnešní podoba pochází z roku 1917, kdy proběhla poslední zásadní rekonstrukce. Kromě vstupního portálu vsazeného do přízemí věže, byla rovněž vyměněna krytina a oplechování věžní bání. Z této doby pochází i dnešní podoba fasádního pláště, i nová profilace říms. Ve 50. letech 20. století kostel byl spravován státem, který jeho údržbu zanedbal, kostel (nebo jeho část) sloužil jednotnému zemědělskému družstvu (JZD), které ho údajně využívalo jako svůj sklad. Po pádu socialismu, byl kostel navrácen zpět do rukou církve, kde v současnosti slouží pro slavení mší a jiným městským kulturním akcím. O kostel a jeho okolí se nyní stará i Praskoleská společnost svatého Prokopa, která se vlastními silami snaží stav památek spolu s církví zachovat. [1]




Obr.011 Fotografie z roku 1904

3.2. PAMÁTKOVÁ OCHRANA

Kostel svatého Mikuláše byl památkově chráněn od 3. 5. 1958.

Církevní okrsek je v ÚSKP veden pod číslem 32596/2-373. Tento objekt spolu s kaplí svatého Prokopa byl zapsán do ústředního seznamu kulturních památek (ÚSKP) a to před rokem 1988. V ÚSKP lze rozeznat pod těmito kódy jednotlivé památky a to 373 Areál kostela sv. Mikuláše, 373/1 Kostel sv. Mikuláše, 373/2 Kaple sv. Prokopa, 373/3 Márnice (kostnice), 373/5 Kryté schodiště ,373/6 Litý kříž pamětní, 373/7 Ohradní zeď s branou, 374 Kaple sv. J. Nepomuckého, 376 Fara. [23]

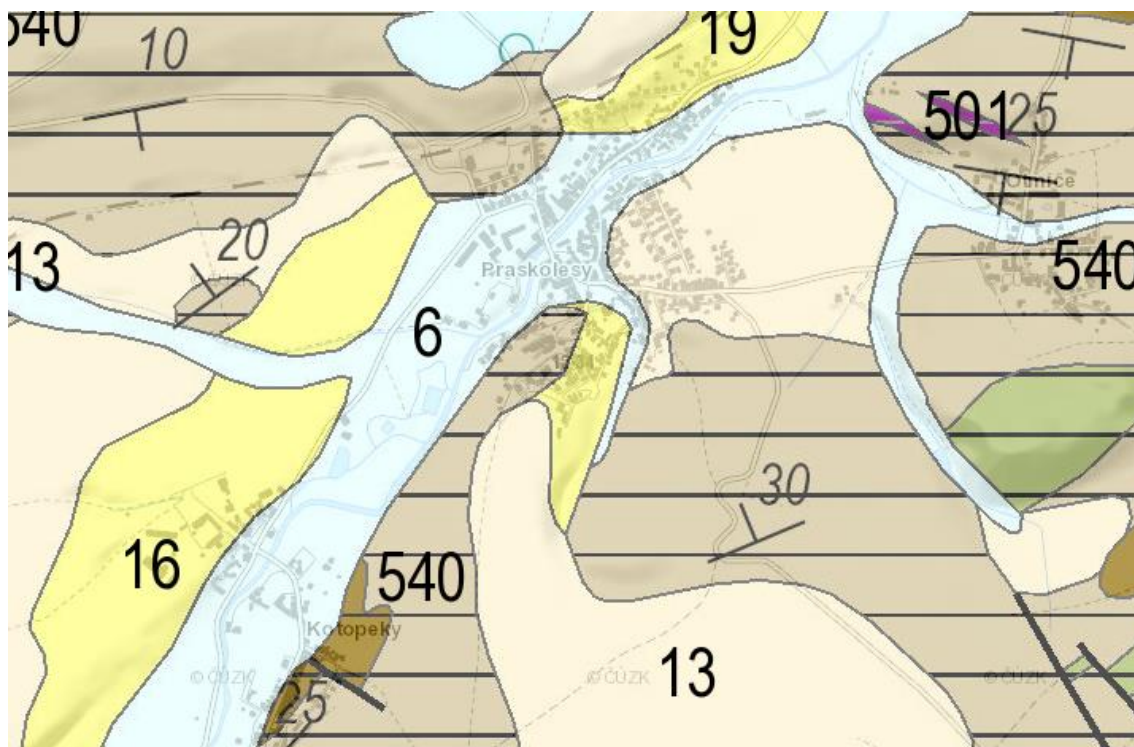
1. Obec: Fráskolesy	2. Okres: Beroun	3. Místnost: III, II, I	4. Zastavení: II, I	5. Využití: II, I	
EVIDENČNÍ LIST NEMOVITE KULTURNÍ PAMÁTKY		3. Kód: Středočeský	4. Příj. číslo: 373		
		5. Název (zastřešená památka): Kostel sv. Mikuláše	7. Ochranná pásmo:		
4. Bližší označení nemovité památky: místo (část): území (okraj, poz. v rámci ter. a výhledy atd.): sv. Mikuláš, kostel		8. Vlastník (osobně, třetí osobou): Církev římskokat.			
9. Popis památky (přesná uchování, umístění, pop. i jiné údaje): Původně byl kostel sv. Mikuláše v Fráskolesi, jehož zbytky v 17. století, jehož zbytky v 18. století v západní části a s pravděpodobně v 19. století v jižní části, přestavěl pláckou z Lunstani. Na jižní straně pozemní zbytky kostela v 19. století zrušeno a ve 20. století v západní části do kostela přeměněn ze zápisu do ÚSKP v r. 1958. Kostel je pravoúhelný, má vnitřní a vnější schodiště, křížovou věž v západní části. Vše ukončeno křížem, který má na vrcholu kříž. Kostel stojí uprostřed hřbitova, hřbitov strání, který má v západní části vchodovou věž, která je upravena chodba se schodištěm. Je přestavěn ve 20. století.					
10. Číslo, stavba a autorské údaje: gotický, přestavěn barokně v 17. století.		11. Památkově chráněná část: kamenitý obilný ohráděný, postavený v 18. století z cihly sv. Václava, socha Ježíše, socha Jana Nep. a P. Marie.			

Obr.012 Zápis do památkové ochrany 1958 [23]

4.0. KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ STAVBY

4.1. ZÁKLADOVÉ KONSTRUKCE

Založení kostela je dle geologické mapy na třech typech horninového podlaží. Horninový typ na mapě viz níže ukazuje toto rozdělení, z jižní a jihozápadní strany je kostel založen na nosné tmavé břidlici (540) avšak na severní se jedná především o spraše a sprašovou hlínu (16), z východní strany je částečně zastoupen nivní sediment (6). Provedení kopaných sond nebylo provedeno a hloubka založení není z původní dokumentace známa, ale vzhledem k dataci založení se dá předpokládat, že základy byly provedeny prostým vřazováním lomového kamene a malty do předem připravených výkopů. Tento předpoklad je viděn částečně v jižní části, kde v odvodním kanálu umístěného výrazně pod původním terénem, je viděn odpadaný lomový kámen. Barokní základ u presbytáře bude pravděpodobně podoben základům tehdejší doby kdy již základy prováděli zděním lomového kamene na maltu vápennou. Není známo, zda je kostel založený v nezámrzné hloubce či hlouběji. Hloubka by byla zjištěna právě provedením kopaných sond. [5] [20]



Obr.013 Geologická mapa Praskolesy

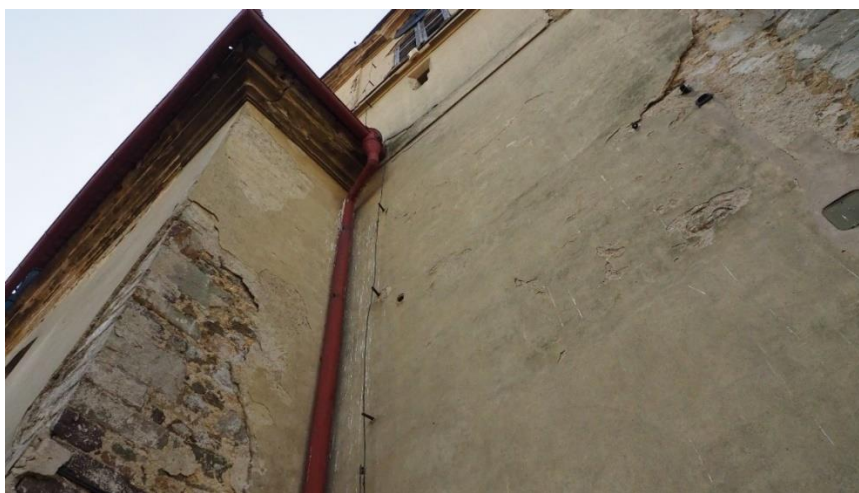
Měřítko 1:50 000 [20]

4.2. SVISLÉ NOSNÉ KONSTRUKCE

Historické přestavby kostela měly přímý vliv na používané materiály a dimenze konstrukcí kostela, v jehož důsledku se jedná o materiálově proměnný objekt. Tento objekt lze rozdělit do tří na sobě nezávislých historických celků s jiným materiálovým řešením. Veškeré obvodové zdivo je nosné o šířce od 1200 do 1600 mm s nejvyšší šířkou zdi v přízemí kostelní věže.

4.2.1. PODÉLNÁ LOŽ VYBUDOVANÁ V GOTICE

Na nárožích objektu se nalézají poměrně masivní opracované kamenné kvádry téže známy jako **armatury**, jejíž funkcí je ztuzit objekt v rozích. Tyto armatury jsou pravděpodobně pískovcového původu a jsou nyní vidět především na západních rozích kostelní lodi. Dle jeho barvy se jedná patrně o pískovce červené železité a zelené glaukonitické pískovce. Mezi armaturami se středověké zdivo skládá z lomového kamene, jeho pojivem je nekvalitní vápenno-hlinitou malta, jež je drolivá a nesoudržná. Středověké zdivo odděluje od zdiva vrcholně barokní novostavby presbytáře svislá spára, vytvářející rozhraní mezi kamenným a cihelným zdivem. Je zde vidět i další spára, která je pravděpodobně technologická, nebo ukazuje na dostavbu během gotiky (i je možné, že část dochovaných stěn je románského původu a spára je rozhraním mezi gotikou a románským obdobím).

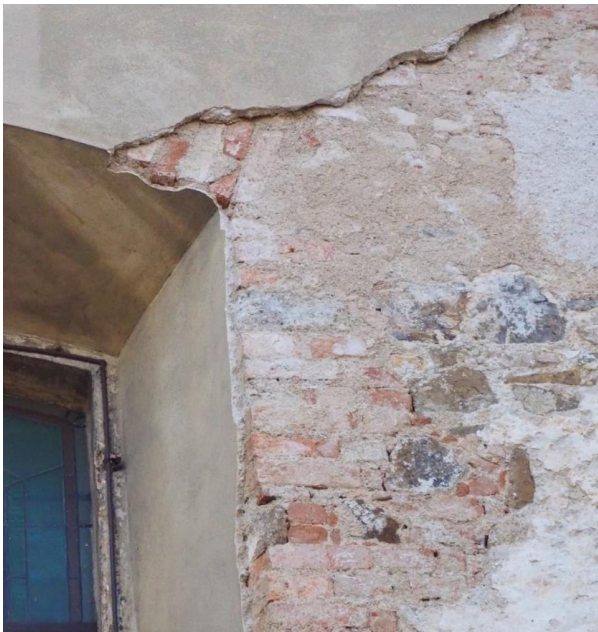


Obr.014 Detail nároží s pískovcovými armaturami

4.2.2. DOSTAVBA V BAROKU PRESBYTÁŘ

V předchozí části zmíněné barokní zdivo lze pozorovat odsazení barokního presbytáře od středověkého zdiva. Barokní zdivo je smíšené, z lomového kamene a cihel, rovněž byl druhotně použit kámen z původní východní stěny. Z barokní doby rovněž pochází nově vyzděné barokní špalety, které změnilly původní podobu oken na okna se zaobleným nadokenním i podokenním tvarem. Tyto špalety byly dozděny pouze z cihel různých výšek na vápennou maltu, a to zpravidla do šíře špalet 1 m, dále v lodi pokračovalo gotické/románské zdivo. Nad výškou oken lze pozorovat jistou abnormalitu, která připomíná dodatečně zazděnou svislou kapsu, ta může souviset s klenebním dubovým táhlem. Dále je vidět barokní nadezdívka v korunních partiích obvodových stěn.

Po severní straně kostelní lodi byla v této době přistavěna přibližně čtvercová sakristie i severní předsíň, přes kterou se vchází do lodi kostela.



Obr.015 Detail barokní špalety a středověkého zdiva



Obr.016 Převážně cihelný presbytář s druhotně použitým materiálem

4.2.3. VĚŽ SE SPODNÍ GOTICKOU ČÁSTÍ A HORNÍ BAROKNÍ NÁSTAVBOU

Základní charakteristikou věže je její takřka čtvercový tvar (6,85x7,15 m) přiléhající k západní straně/stěně lodi. Věž je třípatrová s mezipatrem umístěným mezi prvním a druhým patrem věže. V nárožích věže jsou stejně jako v západních rozích lodi **armatury**, na něž navazuje kamenné zdivo lomového charakteru, převázání zdiva mezi lodí a věží není viditelné.

Na obr.018 je v prostoru ze strany krovu jasně vidět vodorovná spára, kde končí gotické zdivo a přechází na zdivo barokní. Zajímavým zjištěním je záznam o původním sklonu zastřešení, který se dochoval otisk na vápenné bílé omítce ve původním gotickém zdivu. Fasáda má jednoduchou soklovou římsu, bohatší kordonovou římsu a více profilovanou korunní římsu pod věžní bání.



Obr.017 Opět cihelné zdivo u nástavby



Obr.018 Vodorovná dělicí spára a otisk původního sklonu

V přízemí není vidět ze strany interiéru typ zdiva (omítnuto), z exteriéru se však jedná o lomový kámen s vápenno-hliněnou maltou. V mezipatře je vidět charakteristické středověké zdivo i z interiérové strany, kde je zděno z lomového kamene na nekvalitní vápenno-hliněnou maltu. Vstup do tohoto patra je umožněn ocelovým schodištěm z prostoru za varhanami.

V dalším patře věže, jak lze pozorovat obr.019 režné gotické zdivo ve kterém jsou zděné niky, které mají okosená ostění. Okna jsou zaklenuta valenými záklenky, tyto záklenky jsou vyzděny především z kamenného zdiva.

Další patro věže má zdivo smíšeného charakteru, které je velmi podobné zdivu v barokním presbytáři, proto se domnívám, že toto patro je barokní nástavbou. Barokní původ patra rovněž navrhuje vyobrazení pocházející z doby před barokní přestavbou, kde je viditelné, že původní konstrukce byla dřevěná nástavba na krakorcích. Po přestavbě byla nástavba věže dozděna do dnešní podoby. Zdící prvky jsou nyní tvořeny lomovým kamenem a pálenými cihlami.

Ve východní stěně věže je umístěn portál, který částečně připomíná původní vstup do věže z vyobrazení z roku 1727. Tento portál má zkosené ostění a jeho zvláštností je, že u jeho ukončení stojky má úkos s jinou orientací.



Obr.019 Kamenný překlád v druhém patře věži

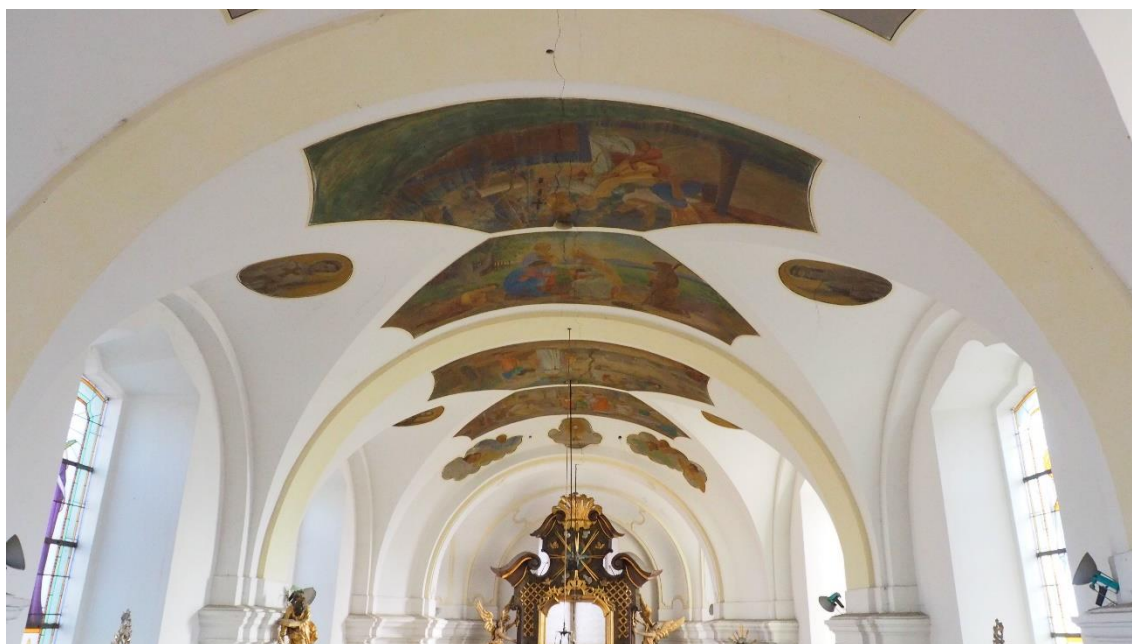


Obr.020 Kamenný portál gotický vstup ke zastřešení

4.3. VODOROVNÉ NOSNÉ KONSTRUKCE

V interiéru je kostelní loď zastropená valenou klenbou, do které od každého otvoru přichází lunety se stoupající vrcholnicí. Klenba je ztužena dělicími klenebními pásy z cihel, které jsou nad rub klenby vyvýšeny o cca 20 cm. Tloušťka kleneb bývala u valené klenby při tomto rozpětí 30 cm, u ztužujících pasů je uvažovaná tloušťka dvojnásobná, tedy okolo 60 cm.

V době barokní architektury se tyto pásové prvky (žebra) umisťovaly na rub klenby, naproti gotice, která je měla na líci. Rovněž statické fungování je odlišné, v gotice fungovala klenba prakticky pouze na žebrech, v baroku je funkce pásu ztužující. V krovním prostoru jsou vidět dřevěná dubová táhla o dimenzích 160x180 mm, která jsou kotvena ocelovými úzkými destičkami do zdi přímo nad ztužujícími rubovými žebry. Nad presbytářem je za nosnou konstrukcí kopule se třemi lunetami, jednou za hlavním oltářem další pak po stranách.



Obr.021 Celkový pohled na valenou klenbu s lunetami, u oltáře je vidět kopule

V západní části je vestavěna kruchta, jejíž nosnou konstrukci tvoří pravděpodobně trámový dřevěný strop s dřevěnou podlahou, který je vykonzolován z prostoru věže. Její tloušťka je okolo 20 cm.

Přízemí věže je překlenuto klášterní klenbou, která je spolu se segmentovou klenbou v patře je vyzděno z cihel a pochází pravděpodobně z barokní přestavby.

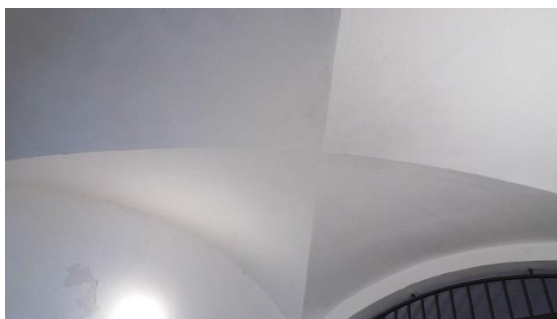
Na severní straně kostelní lodi čtvercové sakristie je spolu se severní předsíní zaklenuta klášterní klenbou s trojbokými výsečemi do pásů šířky 60 cm.



Obr.022 Pohled na valenou klenbu od kopule



Obr.023 Kopule a viditelné dřevěné táhlo v pozadí



Obr.024 Klášterní klenba, věž



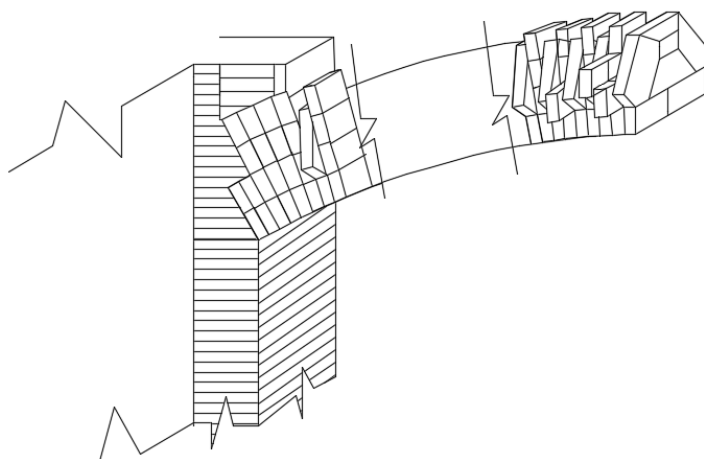
Obr.025 Klášterní klenba s pásy, boční vstup



Obr.026 Kruchta



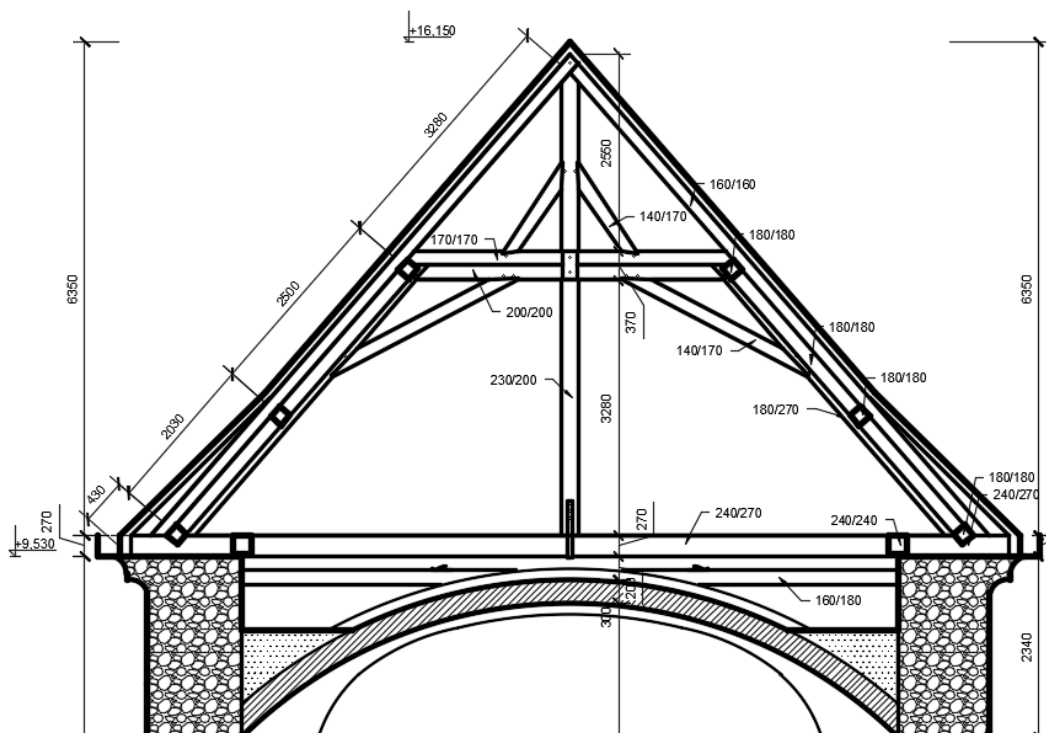
Obr.027 Segmentová klenba nad varhanami



*Obr.028 Skica napojení
klenebního pásu na klenbu*

4.4. KROV

Zastřešení kostela nad podélnou lodí je řešeno pomocí vaznicové soustavy s ležatou stolicí, ve starší literatuře se tento krov nazývá vzpěradlový krov. Vzpěradlo spolu s rozpěrou působí jako relativně tuhý rám přenášející zatížení od podélně jdoucích vaznic a zároveň vodorovnou sílu do vazného trámu. Ke spolehlivému působení „rámového rohu“ jsou třeba vzpěry v příčné rovině, které propojují ležatou stolicí s rozpěrou. Literatura uvádí, že nejefektivnější úhel má stolice se sklonem vzpěry mezi 50-60 °, u které převažuje výhodnější namáhání vzpěry tlakem. Řezivo použité pro tento krov je tesané, dubové z Podbrdských lesů, skácené na přelomu let 1735/1736. Vazný trám je vyvěšen pomocí věšadlového sloupu, který je zakotven dvojicí vzpěr do hambálku. Na tento krov bylo již použito železo ke kotvení věšadlového sloupu k vaznému trámu, což napovídá baroknímu krovu. Zvláštností tohoto krovu je chybějící pozednice.



Obr.029 Řez příčný krovem

Vzdálenost krokví od sebe je 900 mm a každá čtvrtá vazba s výjimkou poslední vazby u presbytáře je plná, tedy plná vazba je osově vzdálena 3,6m. Krokve v jalových vazbách jsou začepovány do krátkých trámů – krátčat, které jsou čepovány do podélných

trámů výměn, které jsou zakotveny ve vazných trámech. Krátčata pokračovala až za krokev kde byly do nich zakotveny námětky až ke korunní římse lodí. Všechny krokev jsou v příčném směru ztuženy hambálkem.



Obr.030 Krovní soustava



Obr.031 Ondřejské kříže

V podélném směru je zatížení přenášeno pomocí třech vaznic, mezi nimiž je umístěna dvojice šikmých výztuh, které se nazývají ondřejský kříž a jejichž hlavní funkcí je podélné ztužení krovu a zajištění spolupůsobení prvků při přenosu vodorovných sil. Další funkcí je zamezit zkosení polí smykovými silami a zvýšit tak celkovou tuhost konstrukce.

Jak bylo již zmíněno v kapitole o nosných svislých konstrukcích původní konstrukce krovu byla odlišná, původní krov měl výrazně vyšším spádem, původní gotický krov byl nejspíše hambálkový vyztužený ondřejským křížem v příčném směru. [2]



Obr.032 Vzpěradlo detail



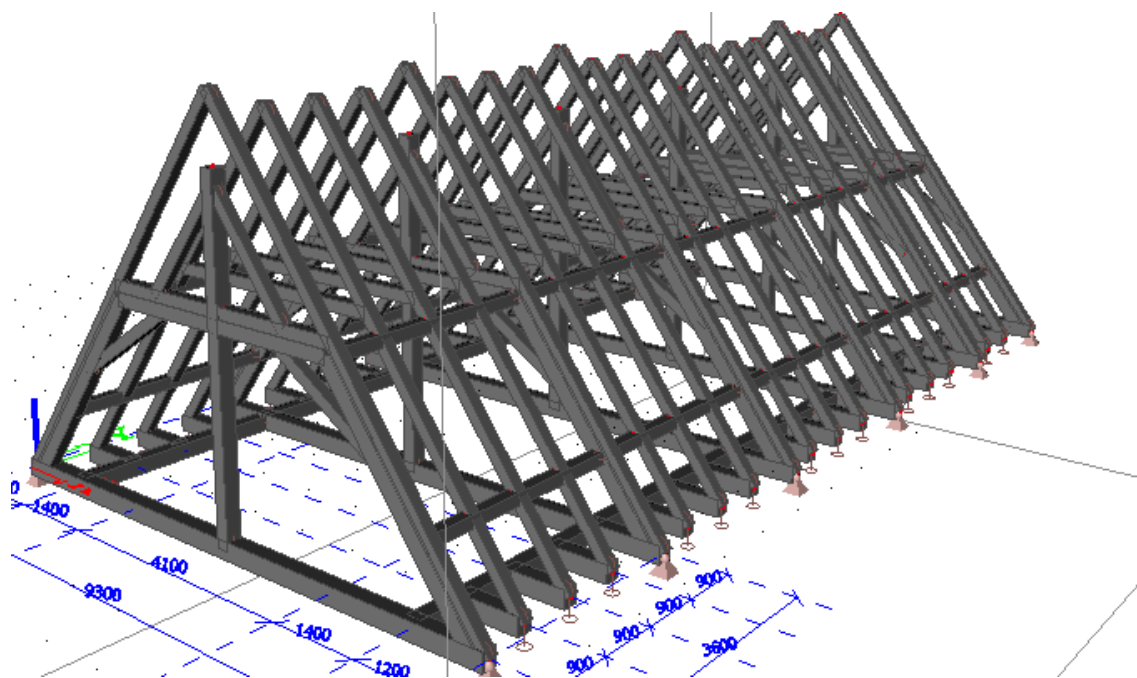
Obr.033 Napojení ondřejského kříže na vzpěradlo



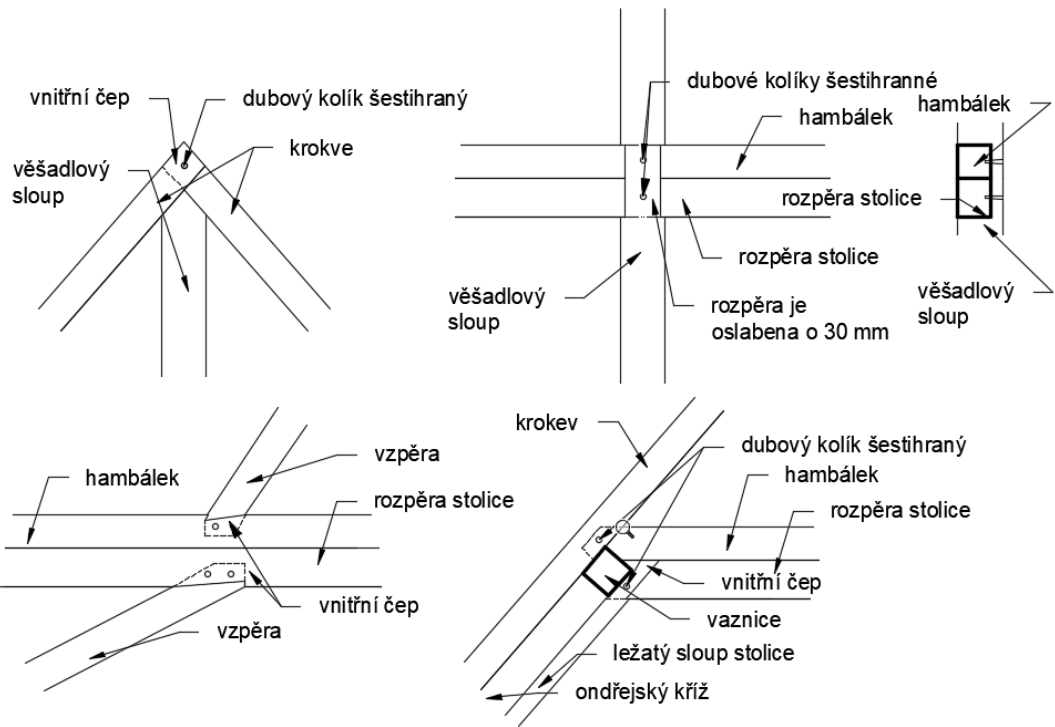
Obr.034 Pohled na horní část věšadla



Obr.035 Celkový pohled na krov

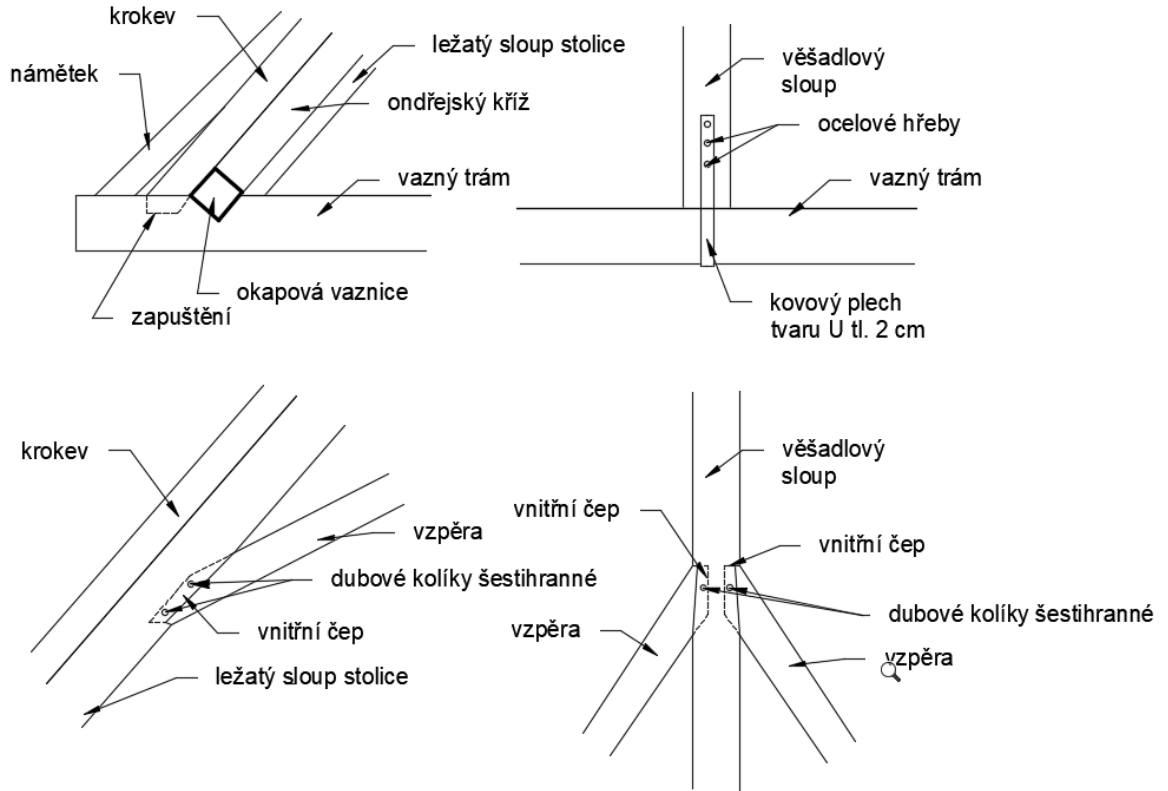


Obr.036 Model hlavních vazeb krovu



Obr.037 Tesařské čepované spoje, část I.

* na obrázcích jsou znázorněny spoje mezi jednotlivými prvky krovu, jedná se o tesařské čepované spoje typické pro barokní krov, zajištěné kolíky z tvrdého dubového dřeva



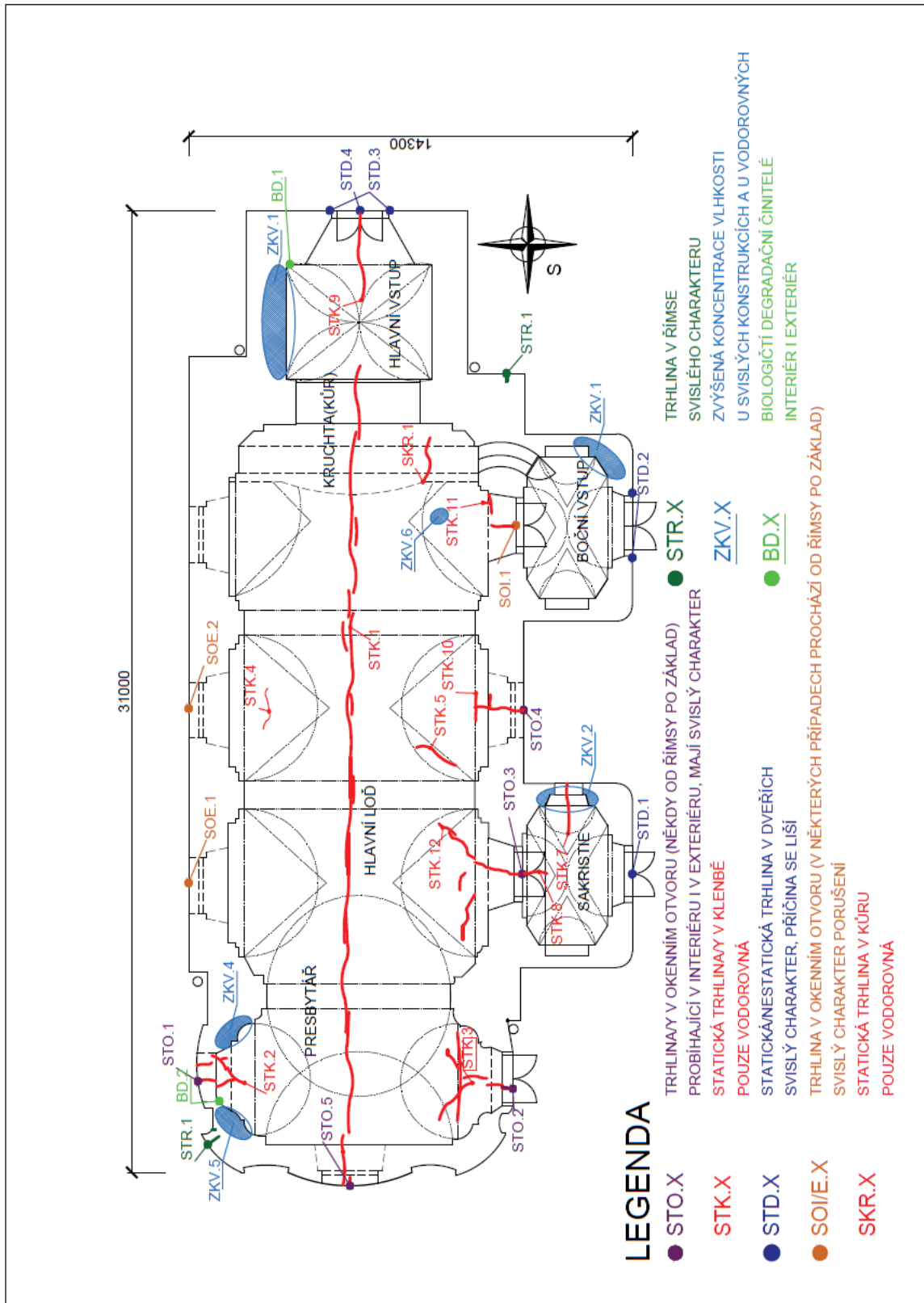
Obr.038 Tesařské čepované spoje, část II.

5.0. PORUCHY KOSTELA SV. MIKULÁŠE

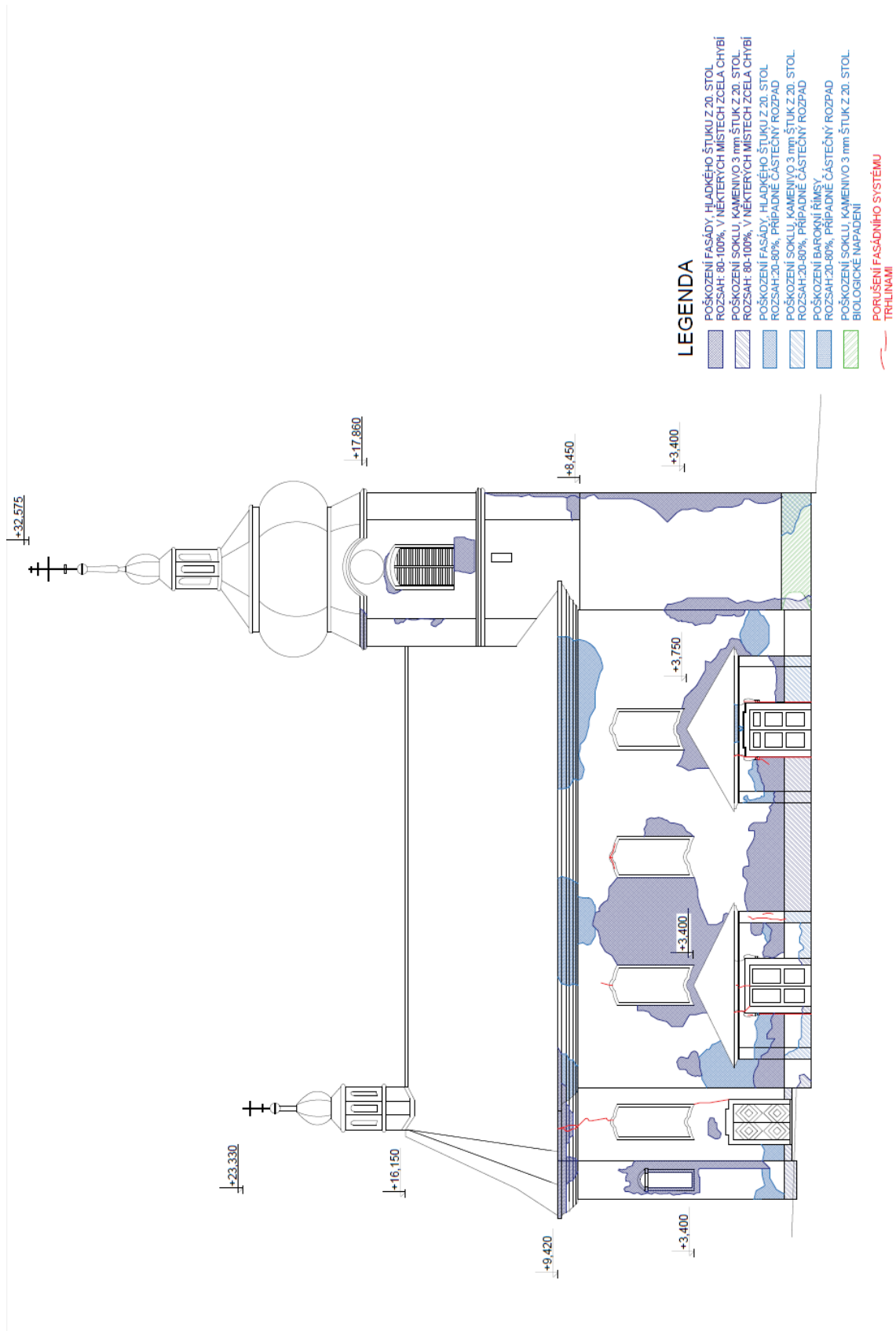
5.1. ÚVOD

V objektu kostela svatého Mikuláše se objevují poruchy, které budou v této kapitole popsány a zanalyzovány. Velmi důležitým se jeví jejich případná souvislost a interakce s vrchní i spodní částí stavby. Mezi důležité fakty bezesporu připadá rozdílný charakter podloží zmíněný v kapitole „ZÁKLADOVÉ KONSTRUKCE“, kde je část objektu založena na spraších a další části jsou založeny na tmavé břidlici či nivní sedimentu. Tento jev může vyvolávat nestejně sedání založených částí a vyvolávat značná napětí do vrchní části. Dalším možným původcem poruch mohla být historická přestavba konstrukce krovu nad podélnou lodí, který byl změněn z hambálkového typu na vaznicový, nebo podstatně přetížení věže jeho kamennou nadstavbou z původně dřevěné konstrukce na krakorcích. Zásadní příčinou poruch je degradace konstrukce krovu od zatékání, která způsobuje pokles tuhosti krovu a jiný způsob přerozdělení sil do svislé konstrukce. Toto přerozdělení sil společně s pravděpodobně uvolněnými dubovými táhly působí jisté vodorovné síly, které namáhají ohybovým momentem svislé nosné konstrukce, jejíž případné pootočení nebo posun podpor vyvolají poruchy ve vodorovných konstrukcích. Dalším problémem ohrožující životnost této památky je podmáčení základové spáry od nefunkčního či nesprávnému odvodnění srážkové vody, které může vyvolat pokles v základové spáře.

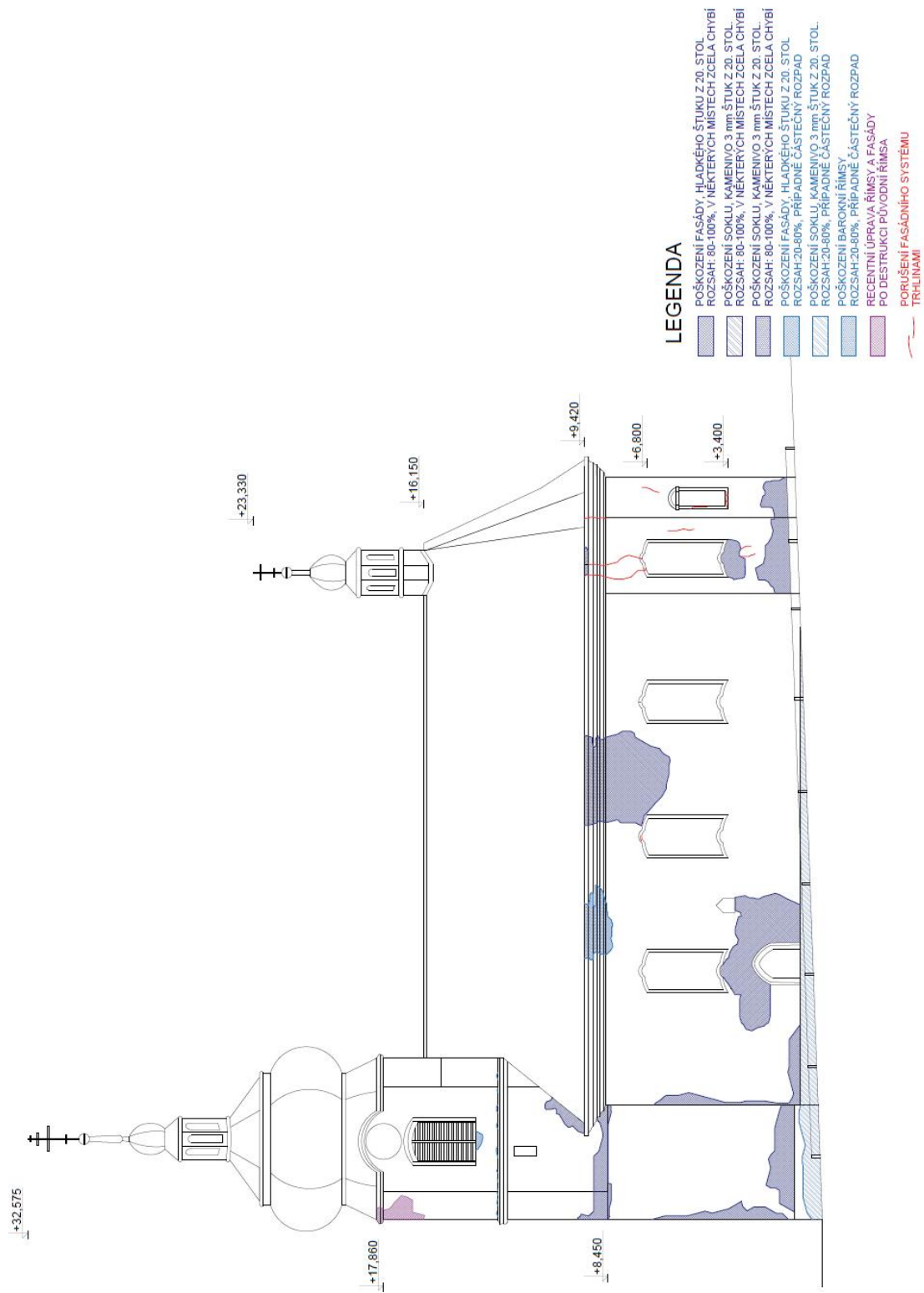
Pro tuto kapitolu byla rovněž zpracována výkresová dokumentace (níže), která zobrazuje v pohledech poruchy fasádního opláštění spolu s trhlinami ve svislých nosných stěnách, nadpražích, římsách či nikách v presbytáři a poruchy v půdoryse se zaznačením všech poruch včetně zvýšené vlhkosti či biologické degradace.



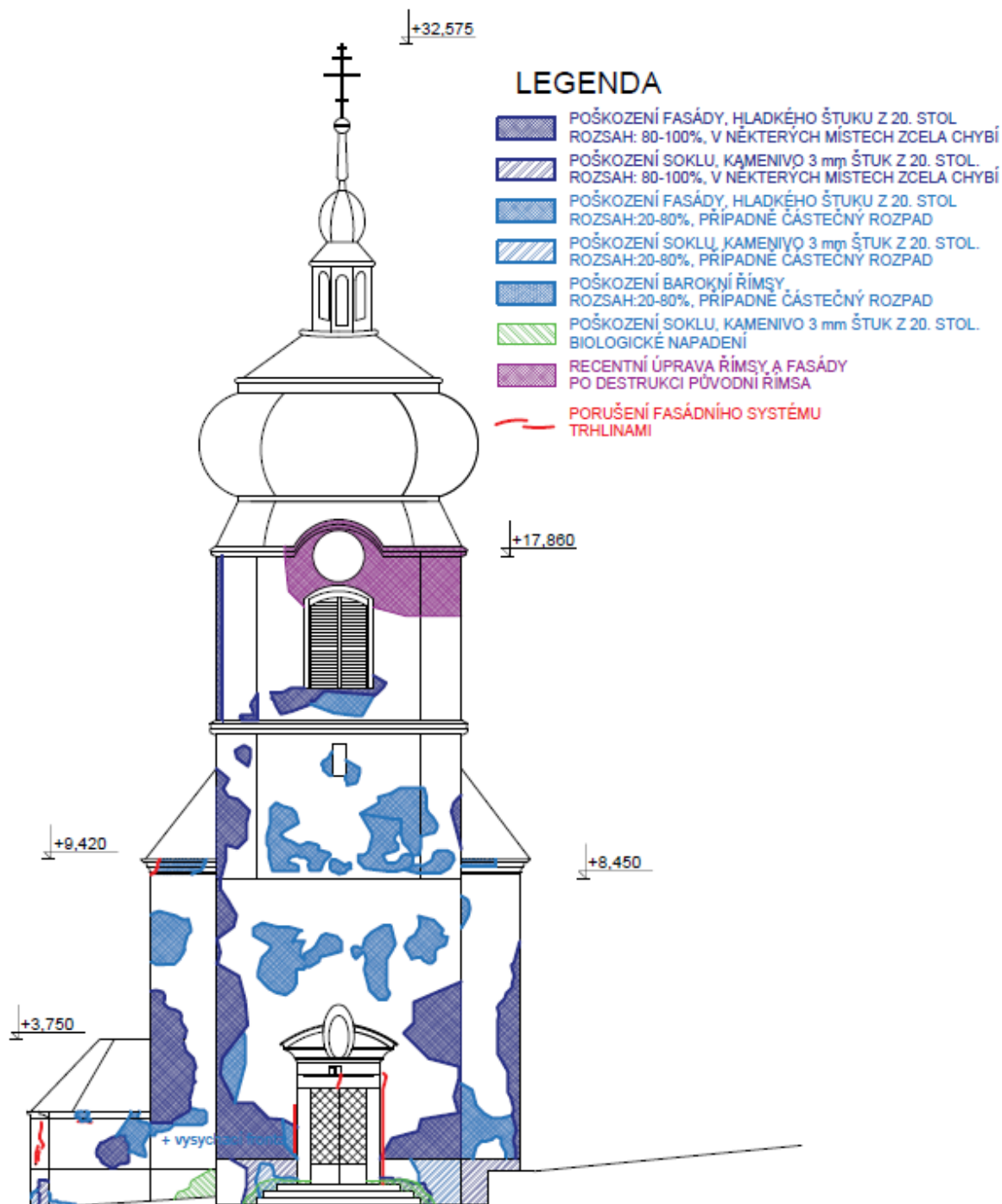
Obr.039 Půdorys se značením poruch (pro textový účel)



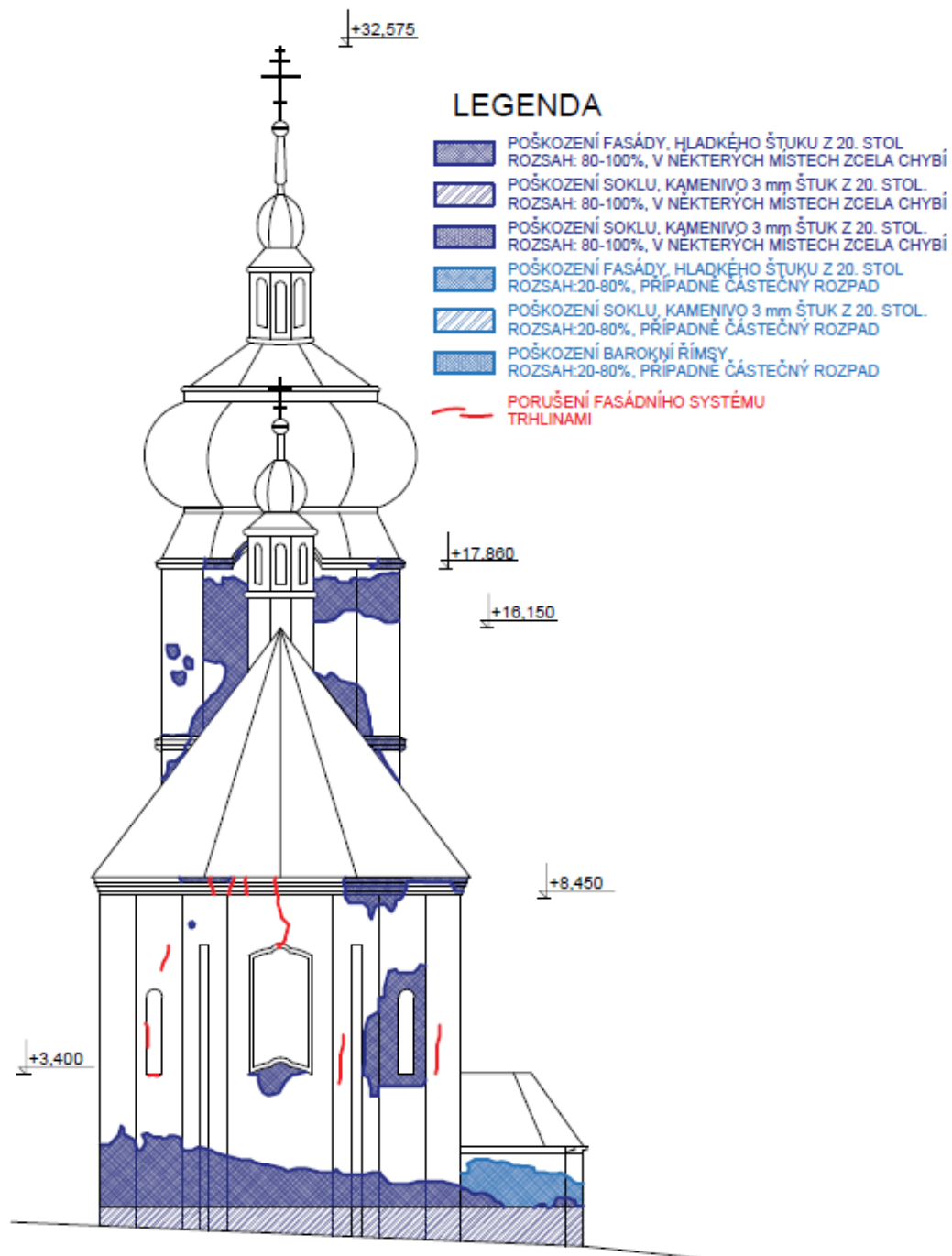
Obr.040 Pohled – sever, se zaznačením poruch (pro textový účel)



Obr.041 Pohled – jih, se zaznačením poruch (pro textový účel)



Obr.042 Pohled – západ, se značením poruch (pro textový účel)



Obr.043 Pohled – východ, se zaznačením poruch (pro textový účel)

5.2. PORUCHY VE SVISLÝCH NOSNÝCH KONSTRUKCÍCH

Poruchy v této kapitole jsou členěny do dvou podkategorií, první se zabývá statickými trhlinami, jejichž analýza bude provedena v dalším odstavci. Druhá pak poruchami nestatickými zobrazenými díky projevům zvýšené vlhkosti, či degradaci fasádního systému. Považuji za nutné dodat, že poruchy statické může vyvolat i zvýšená vlhkost (níže).

Nejvyšší četnost poruch se nalézá za hlavním oltářem v presbytáři, tedy na východní straně objektu. Šíře trhlin se s časem mění, trhliny jsou aktivní a zvětšují se, některé se objevily až v posledních měsících. Aktivitu trhlin dokazuje a potvrzuje stav po rekonstrukci interiéru (okolo roku 2010), kde trhliny nebyly známy a vidět. Lze proto předpokládat, že v průběhu psaní této práce se jejich šíře zvětší a vzniknou trhliny nové.

Trhlina v nadpraží vitráže umístěné za hlavním oltářem prochází celou šíří zdiva a pokračuje až k římsě, v interiéru navazuje na trhlinu ve vodorovné konstrukci – kopuli a pokračuje až k základům. Největší šířka trhliny je viditelná přímo v nadpraží okna z exteriérové části, kde dosahuje až několik cm. Trhliny podobného charakteru a velikosti se nacházejí na severní a jižní straně podélné lodi (v presbytáři), kde však přecházejí na lunetu a pokračují dále směrem šikmo ke středu kopule. Velikost a množství trhlin se směrem k věži zmenšuje, poslední dvě nadpraží oken v jižní části jsou prakticky neporušeny.

V části severní však poškození se nevyhnulo ani jednomu z nadpraží, i tam však šíře a velikost trhlin směrem k západu ustupuje a v poslední vitráži je poškození prasklinou pouze z interiérové strany. Mezi další viditelné poruchy patří drobné trhliny z vnější strany presbytáře (východní strana objektu), u nik a výklenků, či svislé trhliny u zlomů zdiva barokního presbytáře. U jižní části je počet a rozsah poškození u nadpraží podstatně menší a vyskytuje se především v presbyterni části, kde nejsilněji je zasaženo první nadpraží vitráže. To je poškozeno v interiérové i exteriérové části, hlavní směr trhliny pokračuje směrem k vrcholu kopule. Z exteriéru trhlina navazuje na trhlinu v římsě a pokračuje dále směrem k základům (k základům směřuje i ze strany interiéru).

Stanovení původu porušení těchto poruch není exaktní, a proto příčina může být jedna primární s dalšími podružnými, či se jedná o jejich kombinaci, u které nelze říci, který důvod dominuje. Prvním prapůvodcem trhlin má pravděpodobně svou spojitost

s krovní konstrukcí, která z důvodu uvolňování spojů a degradaci koncových vazeb vyvolává velkou šikmou sílu působící do stěn.

Vzhledem k však velké šíři nosných stěn a tím pádem velké vlastní tíze, je konstrukce díky přítěžování především tlačena (tlakové napětí je výrazně vyšší než napětí ohybové). Táhlá kotvená do klenebních pasů měly za účel zachytávat vodorovnou sílu jak klenby, tak případně i krovní konstrukce a redukovat ohybové namáhání stěn.

Schopnost táhel přenášet efektivně tahové síly, bude dále podrobněji rozebrána v kapitole vodorovných konstrukcí. U táhel je v některých místech vidět jejich přímá degradace a svislé trhliny v zídce, do které jsou táhlá kotvené (proto lze použít premisu o nefunkčnosti některých táhel).

Dalším důvodem, který bude rozebrán dále v podkategorii svislých poruch je podmáčení základové spáry a následné vzlínání zdiva, v jehož důsledku mechanické vlastnosti jako je pevnost v tlaku, tahu za ohybu, smyku či elastickému i plastickému modulu pružnosti jsou redukovány v přímé závislosti na stupni nasycení zdiva, kromě snížení pevnosti zdiva může aktivní podmáčení vyvolat pokles v základové spáře, který přidá další namáhání do vrchních částí stavby. V zimních měsících může zamrznutí vody (zvětšení objemu o 9%) vyvolávat nadzvedání nejsilněji zasažených částí a způsobit smykové namáhání horní části stavby. V této skupině možných příčin je zásadní především založení na zlomu různých typu podloží, jejichž rozdílní mechanické vlastnosti mohou být tím dominantním důvodem poruch z důvodu rozdílného sedání a následného smykového namáhání stěn.

U stěn v místech oslabení dochází ke zvýšené koncentraci tlakového napětí, v jehož důsledku vznikají tahové trhliny v místech hlavních tlakových napětí – špiček u krajů, na těchto místech se poškození objektu trhlinami objeví s největší pravděpodobností a jsou prvním důkazem, že se s konstrukcí „něco děje“.



Obr.044 Prasklina v nadpraží, presbytář exteriér



Obr.045 Prasklina v nadpraží, presbytář interiér



Obr.046 Prasklina v nadpraží, severní strana lodi



Obr.047 Prasklina v nadpraží, severní strana lodi



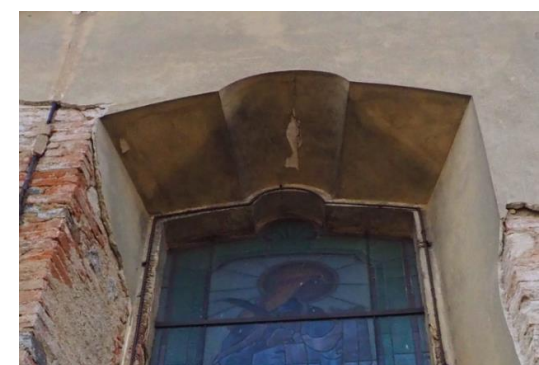
Obr.048 Prasklina v nadpraží, jižní strana lodi



Obr.049 Prasklina v nadpraží, jižní strana lodi



Obr.050 Prasklina v nadpraží, sever sv. Anežka



Obr.051 Prasklina v nadpraží, sever sv. Ludmila

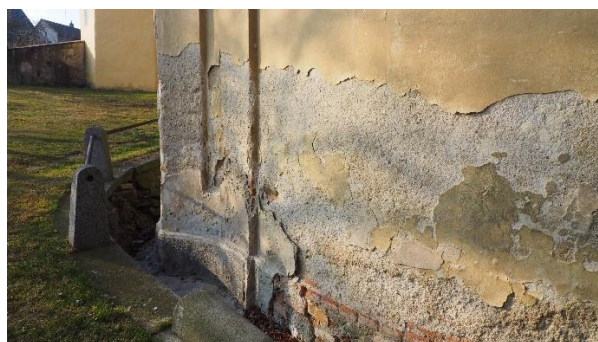
Další významnou poruchou svislých konstrukcí je degradace svislých konstrukcích. Primárním důvodem této degradace je působení srážkové vody a nedostatečný/nefunkční odvod této vody od objektu, které spolu se spádováním blízkého terénu směrem k objektu podmáčí tento objekt. Sekundární poškození, které bude dále rozebráno v poruchách říms je vyvoláno rozpadem klempířských prvků.

Zdrojem vlhkosti především poškozující soklovou část je voda srážková, která je buď hnaná větrem, nebo voda odstříkující. Voda hnaná větrem poškozuje také západní věž, která je vlivem svého zasazení do terénu nechráněna a rozpadá se po vrstvách, až se v některých slabých místech (například nárožích) dostane až na kámen. Další podpůrnou činností pro rozpad fasády je kapilární vztlínající vlhkost, nebo vlhkost pronikající difúzí vodní páry z oblasti podzákladí či z vnějšího prostředí.

Soklová část vlivem zmíněných faktorů vykazuje rozdílnou úroveň porušení, nejvyšší porušení se nalézá poblíže svodů odvodnění střešní konstrukce. Další původ porušení je způsoben nevhodně svahovaným terénem. Takřka úplný rozpad je však vidět ve východní části objektu, dále pak na jižní straně věže poblíž svodů, poškození soklové části dle procent poškození je zobrazeno na jednotlivých pohledech. Nutné je dodat, že poškození a vlhkost zdiva není vidět pouze z venkovního prostředí a v místech zvýšené koncentrace se rovněž projevuje ve vnitřních prostorech.

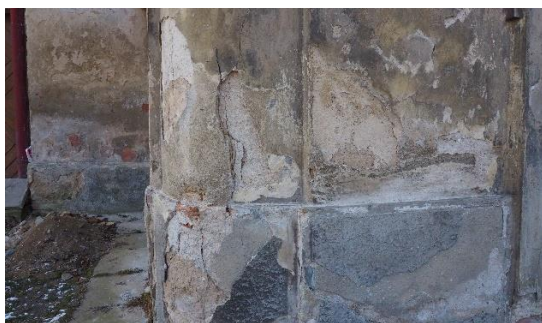


Obr.052 Zvýšená vlhkost presbytáře interiér



Obr.053 Zvýšená vlhkost presbytáře exteriér

Různý stupeň rozpadu omítek se nalézá soklové části bočního vstupu pro kněží do objektu a sakristie, kde některé jeho části úplně chybí, u dalších je vidět plošná spára mezi zdivem a soklovou vrstvou, tedy blížící se plošný rozpad pravděpodobně díky vlivu krystalizace, vysušení a pozdější rekrystalizace. Vlhkost je snadno viditelná i v interiéru díky vlhkostní mapě, u které je její nejvyšší úroveň vidět u stěny mezi sakristií s podélnou lodí, dále pak u odvodu dešťové vody ze zastřešení tohoto přístavku.



Obr.054 Poškození soklové části u sakristie

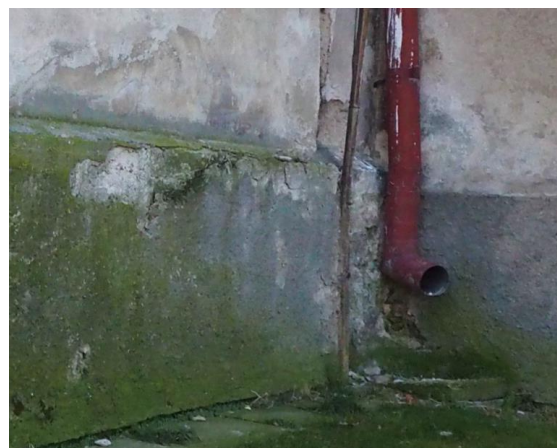


Obr.055 Vlhkostní mapa sakristie

Podobný případ je i u bočního vstupu pro návštěvníky kostela, kde je výška vlhkosti rovněž zvýšena a soklová část je porušena podobným způsobem. Na severní straně, v místě svislého svodu u věže je vidět degradace vlhkosti za současného napadání biologickými organismy.



Obr.056 Vlhkostní mapa sakristie



Obr.057 Degradace rohové části objektu

I přes nové malby prováděné před pár lety se úroveň vlhkosti vrátila na původní výšku, nezmizela-li příčina, nezmizí ani její důsledek (podobné jako u trhlin ve valené

klenbě, kde se příčina ignorovala pouze se provedl nový štuk). Historicky se jako ochrana proti zemní vlhkosti používala především ochrana pomocí břidlicových desek uložených do vápenné malty, či například ochrana jílovou vrstvou, avšak nebývá výjimečná ani úplně chybějící ochrana, v současné době však případná tato ochrana bude nefunkční nebo nedostatečná. Vzhledem k tomuto faktu, je projevem chybějící ochrany zdiva před zemní vlhkostí zvýšená vlhkost ve zdech v postižených kritických místech nevyhnutelná, proto bude následně řešena v kapitole sanací.

Jistý stupeň degradace je viditelný u hladké štukové části fasády. Její nejvíce zdegradovaná část je západní strana lodě kostela, kde její vysychací fronta je ve výšce 1,5-2,5 metrů nad terénem. Z důvodu zatékání okapové části je však chybí i podstatná část štukové vrstvy přibližně uprostřed lodi, vlhkost se uchovala pod vrstvou štuky, kde následně v zimním období expandovala a způsobila postupný rozpad pláště. Tento důvod se opakuje napříč celý pláštěm, nalézá se i na jižní části, kde však působením slunečního záření byl tento efekt podstatně snížen a kompatibilita pláště zůstala z většiny zachována (došlo k odlupování pouze povrchové vrstvy další byly z většiny ponechány). Poškození se rovněž nevyhnuli kritické části svislých konstrukcí a to nároží, napojení stěn, či úžlabí. V úžlabí dochází ke působení odstříkující vody a při chybějící ochraně klempířskými prvky dojde ke koncentraci vlhkosti v tomto detailu, následný rozpad byl popsán již výše. V nárožích dochází k degradaci fasády od teplotní roztažnosti omítky například na rozmezí severní chladné strany a od slunečního záření ohřáté západní strany.



Obr.058 Poškození soklové části u sakristie



Obr.059 Vlhkostní mapa sakristie



Obr.060 Kritické úžlabí lodi



Obr.061 Nároží budov

Poškození omítek z důvodu vody hnané větrem je vidět především na západní části věže, kde dochází k postupnému rozpadu vrstev s největším stupněm poškození v kritických místech a to korunních, či kordonových římsách. Poškození soklové části je ve značném stádiu rozpadu za současného působení vlhkosti a biodegradace.



Obr.062 Biodegradace soklu



Obr.063 Západní věž – poškození hnaným deštěm, mapy

5.3. PORUCHY VODOROVNÝCH KOSTRUKCÍ

Na zmíněných vodorovných konstrukcích v kapitole 4.3 jsou vidět poruchy, především statického původu, byť v některých místech je zřetelné poškození střešní krytiny, u které došlo k zatékání. Nejvyšší četnost těchto poruch je vidět na valené klenbě a kopule presbytáře, kde trhliny statického charakteru začínají na východní straně presbyterátu, pokračují podélnou lodí a končí ve klenbě mezipatra věže. Zmíněné trhliny vznikly porušením zděné konstrukce klenby po překročení tahové pevnosti zdiva. Jistému narušení se však nevyhnuly ani lunetové výseče, ve kterých skupiny trhlín začínají u nadpraží vitráží a dále pokračují směrem ke středu klenby v šikmém směru, v některých případech se trhliny objevují i ve směru kolmém k hlavní trhlině směřující od nadpraží. V klenebních ztužujících pasech se šíře trhlín nesnižuje, naopak se často dělí se na sérii trhlín o podobné šířce jako trhlina procházející lodí. Největší koncentrace trhlín v zastropení kostela, je právě v jeho východní části, kde trhliny v nadpražích zde mají největší šíři a počet a směřují nejdále do středu kopule.



Obr.064 Kontinuální trhlina procházející lodí



Obr.065 Prasklina ve klenebním pasu



Obr.066 Trhlina vycházející z nároží



Obr.067 Trhlina kolmá k lunetě

Poruchám se nevyhnuly ani jiné klenby v objektu. U sakristie a její klášterní klenby směr trhlin působí na podobném principu jako u valené klenby lodi či kopule. Trhliny začínají u otvorů a pak dále pokračují směrem do středu klenby. U zastropení přízemí věže, prochází trhlina kamenným překladem portálu a dále pokračuje do vnitřní klenby do přibližně jedné třetiny vzdálenosti k jejímu středu. Podobně jako nové malby svislých konstrukcí, proběhla i rekonstrukce maleb vodorovných, takže lze uvažovat, že celková šíře trhlin se ještě neprokreslila přes podklad a jejich šíře může být větší.

Vzhledem k bývalému zatékání do prostoru lodě a bočního vstupu do objektu, se jisté znaky vlhkosti objevují ve formě map a odlepování omítek od podkladu, vlhkost v klenbě je však viděna i ve věžní klenbě, kde k zatékání přes zastřešení dojít nemohlo, je však možné, že při prudkých deštích se srážková voda dostává do nad-klenebního prostoru zatékáním přes okenní rám.



Obr.068 Stopy vlhkosti v západní části lodi



Obr.069 Stopy vlhkosti v západní části lodi

Kontinuální trhlina ve středu klenbě mění původní působení dvouklobové neurčité konstrukce na konstrukci staticky určitou trojkloubovou, pomocí vytvoření plastického kloubu uprostřed této klenby. Klenby jako typický zástupce staticky neurčitých konstrukcí jsou citlivé na jakékoliv vnější jevy jako je například posun podpor, teplotní deformace, či dynamické účinky dopravy nebo strojů.

Důvod těchto poruch má stejný původ jako pravděpodobná příčina poškození svislých stěn a nadpraží, jedná se o kombinaci příčin, které utváří dnešní viditelné trhliny jak vodorovných, tak svislých konstrukcí. Na obr.070 je patrné, že zhlaví táhel jsou v uložení do zdi vlhké a u některých je vidět kosticový povrchový rozpad (indukující možnou dřevomorku), zároveň je vidět trhlina ve svislém směru, která prochází celou zídkou (zídky jsou nad klenebními pasy), do které je táhlo kotvené, trhlina je přítomna ve všech zídkách s kotveným táhlem. Důvod této trhliny může být dle mého názoru

způsobena dvojitým způsobem. Prvním je změna v působení táhla, táhlo, které přenášelo od svého kotvení jisté vodorovné síly se uvolnilo a pak následná změna tvaru a působení smrštěním mohla vyvolat tuto svislou prasklinu zídky. Tato možnost by znamenala, že žádná táhla neplní již svoji původní funkci a vodorovné síly přenáší pouze vlastní tíha konstrukce, tento stav by však měl větší důsledky, než jsou nyní viděny na vrchole klenby.

Druhá možnost, která se mě zdá pravděpodobnější je ta, že táhla plnila svoji funkci, dokonce přenášela větší síly, než na která byla původně navržena. Vlivem zvětšení zatížení došlo k většímu napětí v táhle, a i v zídce do níž je dřevěné táhlo zakotveno. Zídka však nedokázala přenést toto zatížení a dosáhla na svou mez únosnosti v tahu, po jejíž překročení vznikla trhlina a táhlo přestalo plnit svoji funkci. Nutno dodat, že v okamžiku, kdy první táhlo se část zatížení začala redistribuovat do dalších, a proto došlo postupně ke vzniku trhlin v prakticky každé zídce. Další fakt, který tuto teorii podporuje je boční trhlina u kapsy uložení táhla, která ukazuje snahu o vytržení taženého trámu. Na otázku, kde došlo k zmíněné změně zatížení, je potřeba podívat se výše, do krovní konstrukce, kde ve většině vazeb došlo k uvolnění spojů a krokve i vzpěradlo v nynějším působení přenáší šikmou sílu do podpor, tedy zdí, tato šikmá síla je nyní spolu ze zatížení od klenby složkou vodorovné síly, které by táhlo mělo přenést a nepřenáší, proto vznikají poruchy ve valené klenbě a kopuli presbytáře. Dalším problémem, co je zmíněn v předchozí části je možný posun podpor klenby tedy zdí způsobený nestejnorodostí založení za současného působení podmáčením stavby, tento problém by mohl být v budoucnosti nejzásadnější, protože možný větší nestejný posun naproti sobě umístěných stěnách by mohl vážně ohrozit stabilitu klenby a došlo by k jejímu kolapsu, tento stav však nyní nenastal a v dohledné době nenastane.



Obr.070 Kotvení táhla, strana jih

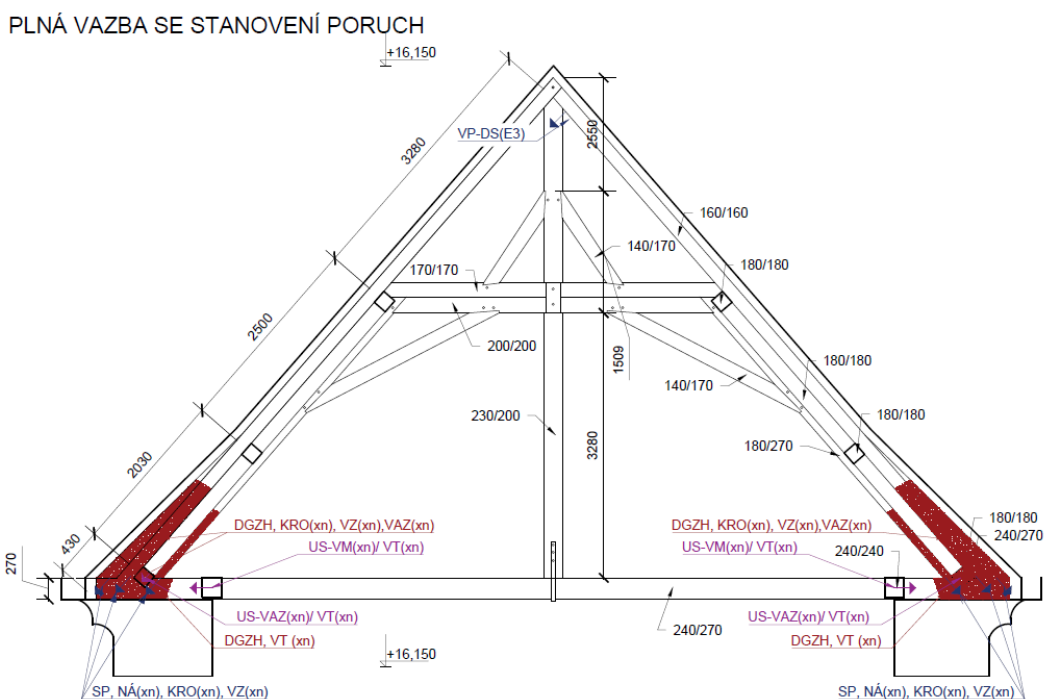


Obr.071 Trhliny v severní zídce

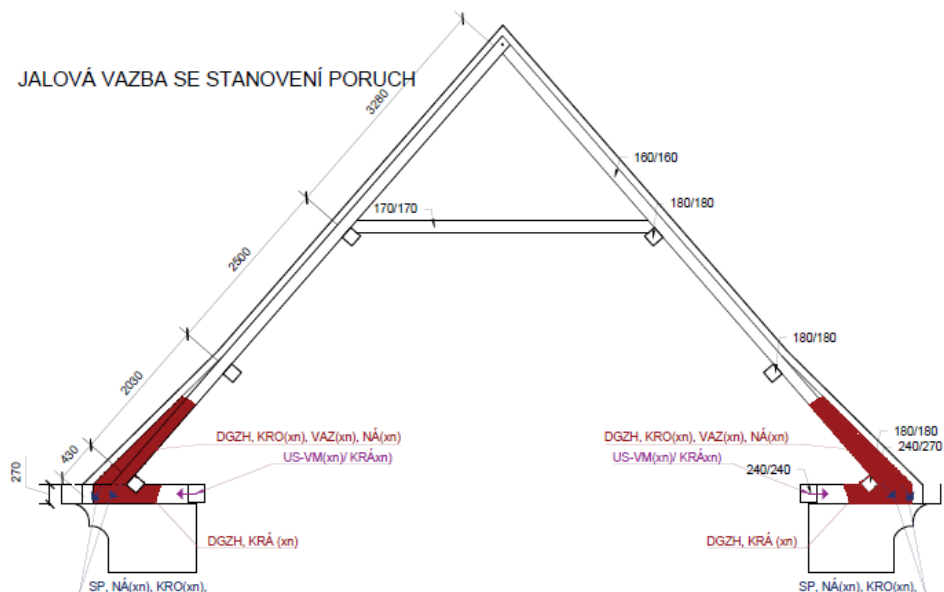
5.4. PORUCHY KROVU

5.4.1. OBECNĚ

Materiál dřevěného krovu se jako celek jeví v dobrém stavu, byť stářím došlo k přirozenému dotvarování a mírné deformaci tvaru. Problematický stav je však v místech jeho uložení, kde došlo k dlouhodobému zatékání, v jehož důsledku je většina prvků silně zdegradována. Na některých místech je zřetelný rozpad dřeva „dřevním morem“, další jsou napadeny plísněmi, poškození od dřevokazného hmyzu je málo časté s velmi malými výletovými otvory (do 2 mm), pravděpodobně díky tvrdému dubovému dřevu krovu. Rozsah poškozených trámů je přibližně do jejich 1/5-1/8 délky, s nejvyšším poškozením v místě římsy, některé prvky byly v posledních měsících nahrazeny, další budou vyměněny později. Zajímavým faktem je, že v na některých prvcích došlo již k částečné výměně vazného trámu v minulosti.



Obr.071 Degradace napříč plnou vazbou



LEGENDA ZNAČENÍ PORUCH

OZN.	NÁZEV A PŮVOD PORUCHY	ZASAŽENÉ PRVKY	OZN.	NÁZEV A PŮVOD PORUCHY	ZASAŽENÉ PRVKY
DGZH	DEGRADACE ZHLAVÍ	KRO-krokev, VZ-vzpěradlo, VAZ-vaznice	SP	SVISLÝ POSUN	
DGZH	DEGRADACE ZHLAVÍ	KRÁ-krátčata	SP	SVISLÝ POSUN	
DGZH	DEGRADACE ZHLAVÍ	KRO-krokev, NÁ-námětek, VAZ-vaznice	VP	VODOROVNÝ POSUN	
DGZH	DEGRADACE ZHLAVÍ	VT-vazný trám			
US	UVOLNĚNÝ SPOJ	VM-výměna/KRÁ-krátče			
US	UVOLNĚNÝ SPOJ	VM-výměna/VT-vazný trám			
US	UVOLNĚNÝ SPOJ	VAZ-vaznice/VT-vazný trám			

Obr.072 Degradace napříč jalovou vazbou

5.4.2. PORUŠENÍ OD ZATĚKÁNÍ

Nejkritičtější poruchy vznikly zatékáním zejména na krajích lodi, kde došlo v této souvislosti k mnohému vylomení částí říms. V nejhorším stavu jsou prvky přímo uložené na zdivu, tedy vazné trámy, krátčata a výměna kotvená do vazných trámů. Do nich kotvené prvky tedy námětky, krokve, vzpěry, a trámy ondřejského kříže jsou již napadeny a zdegradovány méně. U vazných trámů a krátčat, kde poškození týkající se procentuálního rozpadu plochy dosahuje v některých případech až na plnou výšku prvku, dochází zároveň k výraznému poklesu poškozených částí krovu. Délka narušení jednotlivých prvků se liší, ale zpravidla nepřesahuje u vazných trámů dále než hranu zdi, pak pokračuje již zdravé dřevo, u krátčat se jedná však o plnou jejich délku alespoň částečně ze spodní strany narušenou.

Mnohem větší problém z hlediska dnešního působení je uvolnění a rozpad spojovaných prvků, které mění původní podporový systém na systém nestabilní. Původní fungování bylo založeno u jalových vazeb na přenosu vodorovné složky šikmé síly od krokve do krátčete, přes které zatížení bylo přeneseno do ohýbaných výměn. Výměny

byly kotveny ve vazném trámu (plné vazbě) a jednalo se tedy o klasický prostě podepřený nosník namáhaný ohybem. Vlivem degradace nefunguje samotné spojení krokvi a krátkat, dále je výměna volná, nespojená s vaznými trámy. A tedy nefunguje původní způsob přenosu do podpor je nyní takový, že se celá šikmá síla přenesou do zdí. Obdobně nyní funguje i plná vazba včetně vzpěradla, pod jehož vahou je původní vazný trám v některých vazbách zcela od jeho tíhy zcela rozdrcen. Dalším napadnutým prvkem je okapová vaznice, ta je částečně uhníla v místě svého uložení do vzpěradla plné vazby. Úroveň poškození mnoha zmíněných prvků by se dala předejít, kdyby pod krátkaty a vazným trámem byla pozednice – ta však vzácně v tomto krovu chybí.



Obr.073 Lignivorní houby



Obr.074 Degradace krátkčete a námětku



Obr.075 Uvolnění spojů



Obr.076 Zajímavá historická náhrada



Obr.077 Kritický roh lodi



Obr.078 Detail „napojení“ výměn

Co se týká přesného určení typu biologické degradace dřeva, tak se zde vyskytují dva druhy současně působících hub. První viditelným zástupcem hub jsou lignivorní dřevokazné houby, které rozkládají kromě celulózní a hemicelulózní složky dřeva také lignin, který dodává dřevu především pevnost v tlaku. Z původní barvy se dřevo napadené lignivorní dřevokaznou houbou postupně vlivem uvolněné celulózy mění ve světle hnědou až žlutobílou, houba působí bílou hnilobu napadeného dřeva, dřevní hmota se rozpadá korozivně, ale dřevo neubývá na objemu. Dřevo je měkké a drobivé, na rozdíl od hniloby červenohnědé se nevytvářejí kostkovité útvary, příklad napadení touto houbou je vidět na spojení námětku a krátkete obr.073.

Další skupinou, která rozkládá dřevo jsou celulózovorní houby, které vytvářejí destrukční hnilobu dřeva a za zdroj výživy postupně využívají především celulózovou složku dřeva, jak je vidět na obr.079 dřevo je podstatně tmavší a kostkovitě se rozpadá, a tato hniloba se označuje jako červená. Některé prvky byly napadeny pravěpodobně díky lokálnímu narušení části krytiny, kde došlo k zatékání a následně napadení celulózovorní houbou jako zde ondřejský kříž na obr.080. Pro přesné stanovení typu hub by bylo vhodné provést mykologický průzkum se stanovením rozsahu porušení jednotlivých prvků, byť pravděpodobně se jedná o jednoho ze typických a běžných zástupců dřevokazných hub jako je Dřevomorka domácí a Trámovka polní z kategorie celulózovorních, nebo pak Outkovka pestrá z lignivorních.

Na nemálo površích prvků krovu je přítomný holubí trus, který je chemicky agresivní a společně z vodou nebo vlhkostí způsobí chemickou reakci, při které dochází ke rozpadu dřeva zvětráváním.



Obr.079 Napadení celulózoými houbami



Obr.080 Ondřejský kříž

5.4.3. PORUŠENÍ OD VYBOČENÍ PRVKŮ

Na obr.81 je vidět vybočení horní části věšadla včetně pásků z roviny působení, jedná se o čtvrtou vazbu od vstupu do krovního prostoru. Důvodem bude pravděpodobně větší zatížení, kde poté došlo k průhybu vazného trámu a následnému vypadnutí věšadla. Důsledkem tohoto spojení je mírná excentricita ve směru působení tlačných pásků, věšadla a šikmé namáhání čepovaných spojů vazby, následkem je pak snížení únosnosti věšadlové vazby. Přes toto vybočení a částečnou ztrátu únosnosti je věšadlová vazba stále funkční a dokáže stále vynášet průhyb tohoto vazného trámu.



Obr.81 Vybočení z roviny působení

5.5. PORUCHY ŘÍMS, VÝKLENKŮ A NIK

V části zabývající se poruchami svislých nosných konstrukcí byla zmíněna i porušení říms, nik a výklenků, jakožto kritických míst fasády a jejich rozpad zatékáním a usazováním srážkové dešťové vody. Porušení těchto míst se z časem postupně zhoršuje a dochází ke postupnému rozpadu ochranné vrstvy až dojde k úplnému odhalení celého podkladu, případně k narušení nosného systému. Příčinou je v případě korunních říms především zatékání vlivem špatného stavu okapů a svislých svodů. Kromě narušení ochranné vrstvy dochází ke kumulaci vlhkosti v místě ukládání krovu, který pak degraduje viz kap. 5.4 a jehož roztlačování způsobuje u některých říms i statické porušení. V případě nik, výklenků, kordonových a věžních říms u kterých degradaci způsobuje hnaná voda deštěm a její následné působení v místech jejího působení. Zvyšování vlhkosti a rozpad ochranné vrstvy může v první fázi způsobit snížení mechanické únosnosti nosné konstrukce a v další fázi znamenat její materiální poškození. U cihelných zděných předsazených konstrukcích může dojít při kyselých deštích ke snižování obsahu pojiva a rozpadu povrchových vrstev či dílčím rozpadům kusového staviva, obdobnému problému se rovněž nevyhýbají vyložené kamenné desky viditelné na obr. 088, tyto desky jsou použity jako hlavní nosný prvek konzol, a proto jejich porušení má za následek ztrátu stability římsy a může dojít k jejímu zřícení (jako již se stalo u západní věže).



Obr.082 Porušení severní niky



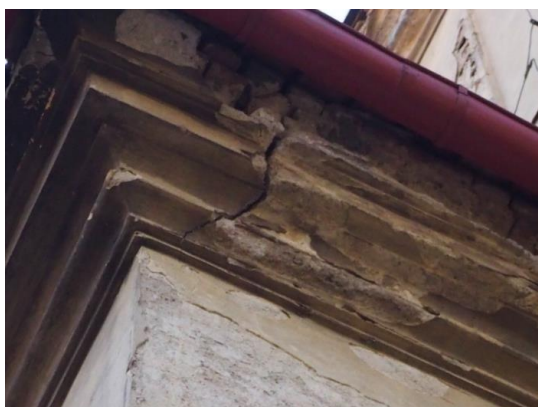
Obr.083 Porušení jižní niky



Obr.084 Porušení severní niky



Obr.085 Porušení jižní niky



Obr.086 Porušení severní niky



Obr.087 Porušení jižní niky



Obr.088 Porušení severní niky



Obr.089 Porušení jižní niky

5.6. PORUCHY A SANACE OKOLNÍCH OBJEKTŮ

Porušení okolních staveb bylo vyvolané geologickým podložím a postihlo i dva památkově chráněné objekty v církevním okrsku svatého Mikuláše. U barokní kostnice/márnice došlo k narušení četnými trhlinami tloušťky dosahujícími až řádu desítek centimetrů a hrozil její kolaps, jemuž se zabránilo sanačním opatřením provedeného stažením rozevíraných stěn, díky patentovanému ocelovému drátu v horní oblasti stěn – ztužením konstrukce provedením věnce. Trhliny se vyplnily vápennou maltou a v současné době se hlídá jejich aktivita.

U krytého schodiště docházelo k vodorovnému posunu stěn, v jehož důsledku vznikly praskliny v kamenných stupních, šikmé trhliny skrz stěny a vodorovné trhliny na pomezí stěn a zastropení. Sanací bylo statické zajištění proti posunu stěn, které bylo provedeno díky stažení stěn táhlem v oblasti základů. Táhlo se kotvilo do dodatečně provedeného železobetonové pasu umístěného po obvodě stěn schodiště, pas zároveň stěny stabilizuje vlastní vahou a zamezuje jejímu případnému naklopení.



Obr.090 Roh porušené barokní márnice



Obr.091 Porušení u stěny s oknem



Obr.092 Roh porušené barokní márnice



Obr.093 Porušení u stěny s oknem



Obr.094 Táhlo procházející schodištěm [13]



Obr.095 Základový pás s kotvením táhel [13]

5.7. SHRnutí MOŽNÝCH PŘÍČIN PORUCH

1) *Svislé nosné konstrukce*

- a) Rozdílný charakter podloží
- b) Nefunkční odvod dešťové vody – podmáčení základové spáry
- c) Vlhkost – snížení mechanických vlastností zdiva

2) *Vodorovné nosné konstrukce*

- d) Nefunkčnost táhel – chybí ztužení objektu
- e) Posun nebo odklon podpor klenby v důsledku (f)

3) *Krov*

- f) Zatékání – degradace spojů – přerozdělení sil
- g) Zatékání – degradace prvků – pokles vazby

6.0. VLKOSTNÍ PRŮZKUM A PRŮZKUM CHEMINISMU

6.1. PRŮZKUM VLHKOSTI

Kostel svatého Mikuláše vykazuje poruchy, způsobené od vzlínající vlhkosti, neboť hydroizolace bránící vlhkosti nebyla nikdy provedena. Objekt je bohatě dotován vodou do spodní stavby nevhodným spádováním terénu, díky nefunkčnímu odvodu srážkové vody ze svodů a usazování vody pod opěrnou zdí v jižní části. U vlhkého zdiva dochází k rozpadu jeho pojiva a snížení mechanických vlastností.

Pro zjištění zdrojů vlhkosti a hmotnostní vlhkosti stavby byly u kostela vybrána vhodná místa, u kterých se předpokládala zvýšená vlhkost. Zároveň pro zjištění stavu celého kostela byly vzorky doplněny o další. Celkem byly vzorky odebrány ze 14 odběrových míst ve 3 výškových úrovních v polovině března 2018. Vzorky byly provedeny vrtem průměru 1 cm do hloubky 10 cm z vnější i vnitřní strany (s výjimkou přístavku). Problematické bylo nepatrné snížení vlhkosti, neboť při vrtání docházelo k jistému odpařování. Vrtný prach byl přesunut do polyesterových sáčků a na zip zapnut a popsán. Poté byly uchovávány v chladu a dovezeny do Chemické a mikrobiologické laboratoře ČVUT Katedry konstrukcí pozemních staveb v Praze. Zde byly vzorky prvotně zváženy a následně byly v sušárně při teplotě 110 °C vysoušeny po dobu 5 pracovních dnů, během níž byly pravidelně váženy. Po ustálení hmotnosti se vypočítala hmotnostní vlhkost.

$$w_h = \frac{m_w - m_d}{m_d} * 100 [\%]$$

kde je: w_h =hmotnostní vlhkost m_w = hmotnost vlhkého vzorku m_d = hmotnost suchého vzorku

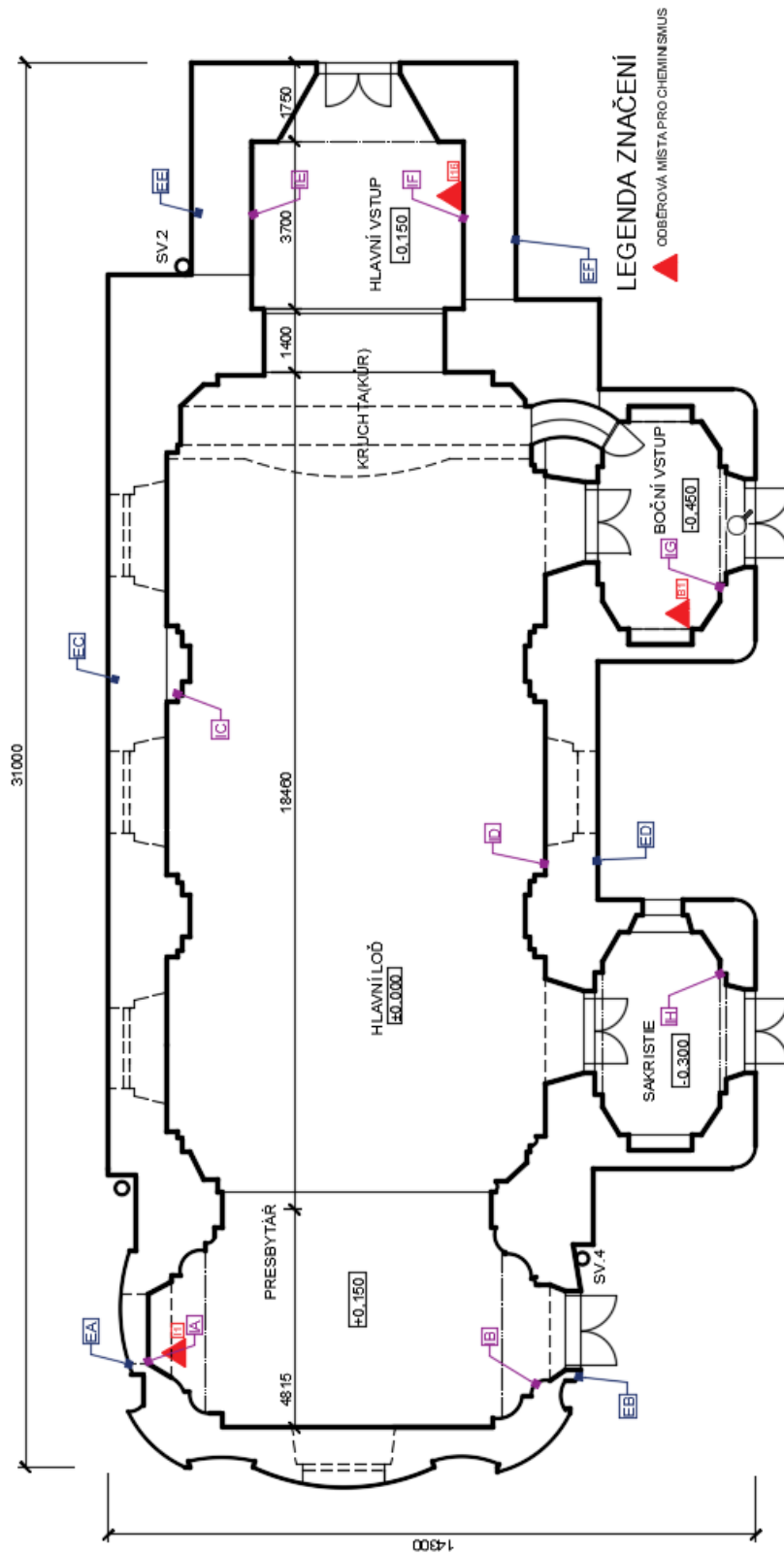


Obr.095 Vzorky pro pracovní měření



Obr.096 Vzorky ve sušárně

PŮDORYS ODBĚROVÝCH MÍST PRO VÁŽKOVOU METODU A SALINITU



LEGENDA ZNAČENÍ

ODBĚROVÁ MÍSTA PRO CHEMISMUS



Obr.097 Půdorys odběrových míst

TABULKA NAMĚŘENÝCH HODNOT HMOTNOSTNÍCH VLKHOSTÍ V INTERIÉRU I EXTERIÉRU

Číslo vzorku	Hmotností vlhkost w_h	Lokace	Hodnocení vlhkosti dle ČSN P 73 0610
[-]	[%]	[-]	
I1	14,11042945	Interiér-presbytář – jih	Velmi vysoká >10 %
I2	9,947643979		Vysoká 7,5-10 %
I3	4,95049505		Nízká 3-5 %
I4	6,862745098	Interiér-presbytář – sev	Zvýšená 5-7,5 %
I5	5,357142857		Zvýšená 5-7,5 %
I6	1,683501684		Velmi nízká <3,0 %
I7	5,431309904	Interiér-hlavní loď – jih	Zvýšená 5-7,5 %
I8	3,619909502		Nízká 3-5 %
I9	3,212851406		Nízká 3-5 %
I10	6,493506494	Interiér-hlavní loď – sev	Zvýšená 5-7,5 %
I11	6,435643564		Zvýšená 5-7,5 %
I12	4,098360656		Nízká 3-5%
I13	12,87878788	Interiér-věž-jih	Velmi vysoká >10 %
I14	2,732240437		Velmi nízká <3,0 %
I15	1,814516129		Velmi nízká <3,0 %
I16	14,97005988	Interiér-věž-sever	Velmi vysoká >10 %
I17	11,31386861		Velmi vysoká >10 %
I18	3,649635036		Nízká 3-5 %
B1	9,292035398	Interiér-boční vst. – sev	Vysoká 7,5-10 %
B2	2,564102564		Nízká 3-5 %
S1	5,952380952	Interiér-sakristie – sever	Zvýšená 5-7,5 %
S2	1,801801802		Velmi nízká <3,0 %
E1	2,850356295	Exteriér-presbytář – jih	Velmi nízká <3,0 %
E2	1,993355482		Velmi nízká <3,0 %
E3	1,892744479		Velmi nízká <3,0 %
E4	2,819548872	Exteriér-presbytář – sev	Velmi nízká <3,0 %
E5	4,011461318		Nízká 3-5 %
E6	1,643835616		Velmi nízká <3,0 %
E7	6,4	Exteriér-hlavní loď – jih	Zvýšená 5-7,5 %
E8	1,863354037		Velmi nízká <3,0 %
E9	1,17370892		Velmi nízká <3,0 %
E10	4,87012987	Exteriér-hlav. loď-	Nízká 3-5 %
E11	4,347826087		Nízká 3-5 %
E12	3,682719547		Nízká 3-5 %
E13	3,544303797	Exteriér-věž-jih	Nízká 3-5 %
E14	2,033898305		Velmi nízká <3,0 %
E15	2,452316076		Velmi nízká <3,0 %
E16	9,140767824	Exteriér-věž-sever	Vysoká 7,5-10 %
E17	2,077922078		Velmi nízká <3,0 %
E18	2,013422819		Velmi nízká <3,0 %

**TABULKA HODNOCENÍ VLHKOSTI DLE
ČSN P 73 0610**

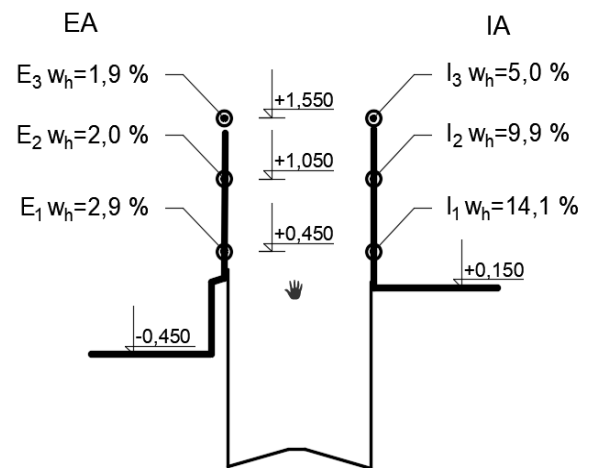
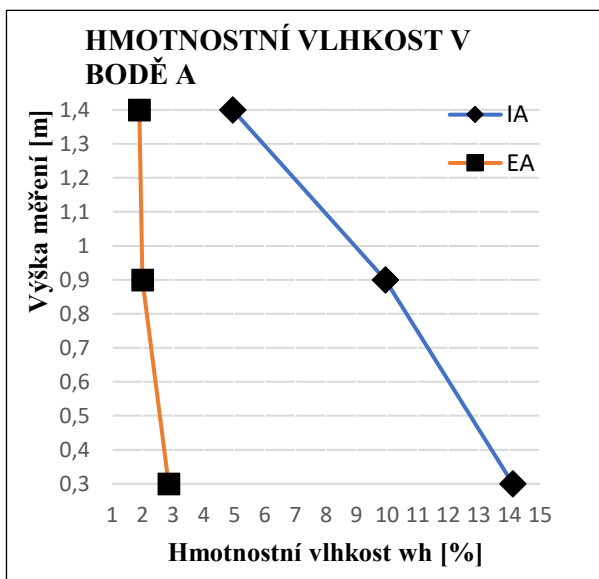
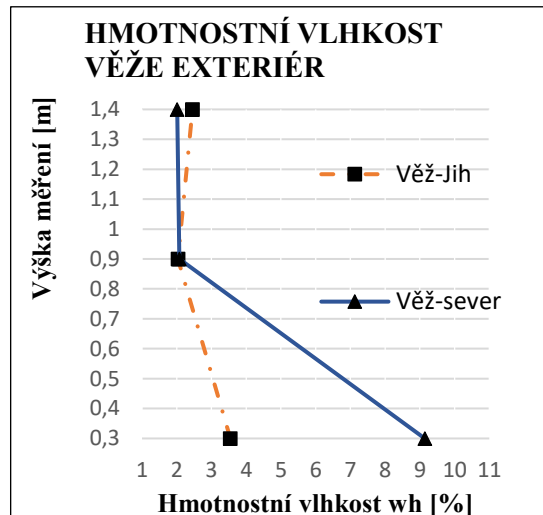
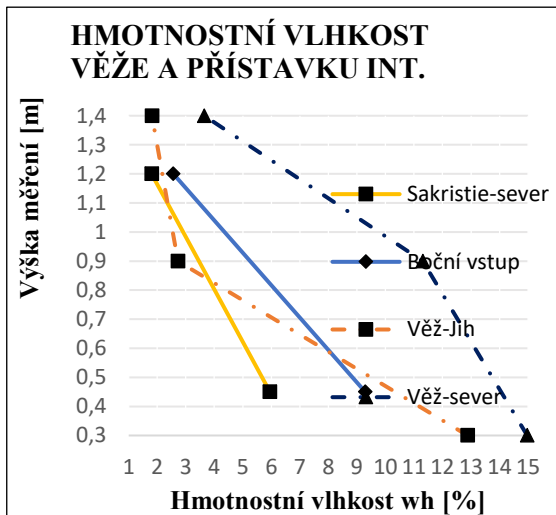
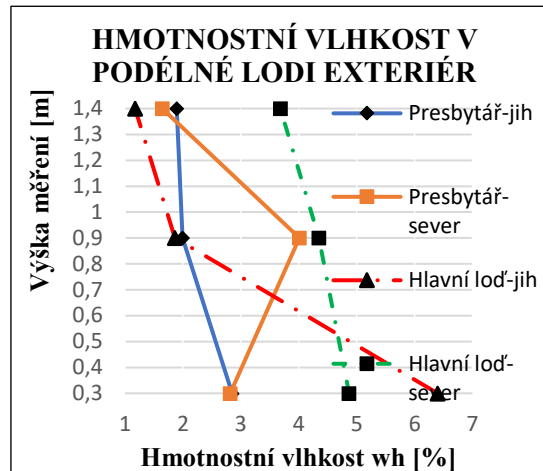
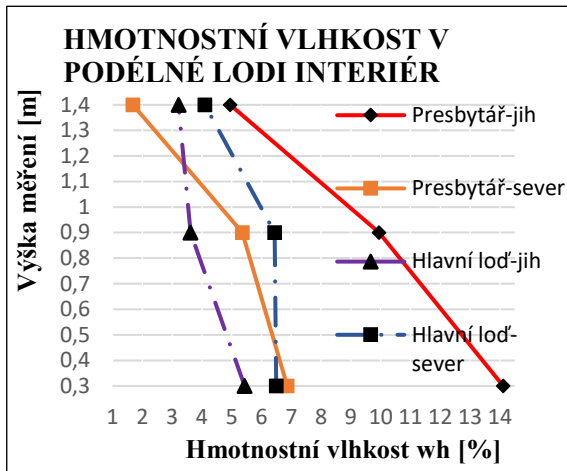
	Vlhkost zdiva (% hm.)
velmi nízká	<3,0
nízká	3-5
zvýšená	5-7,5
vysoká	7,5-10
velmi vysoká	>10
Důležitá místa	

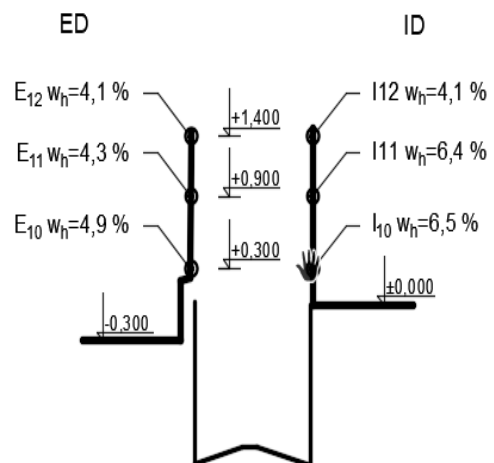
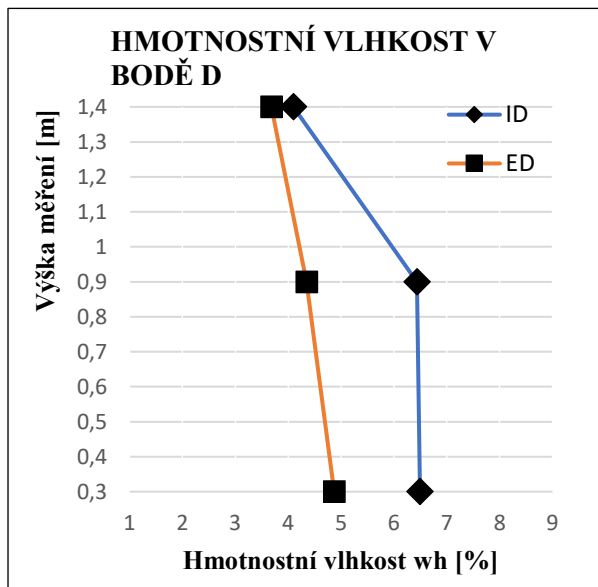
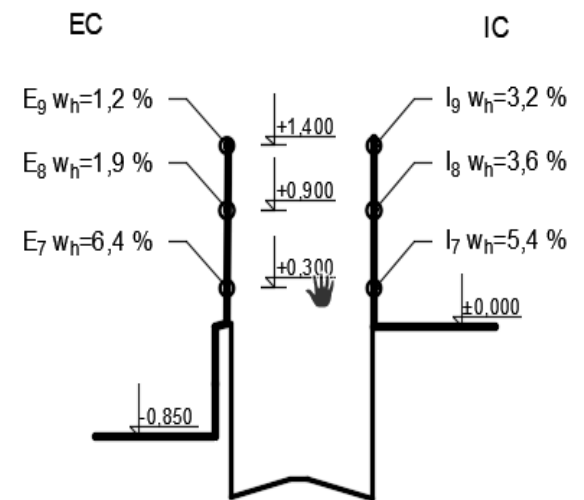
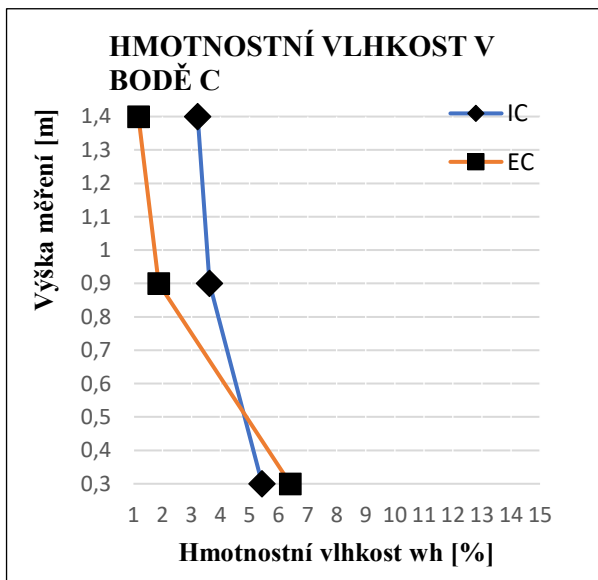
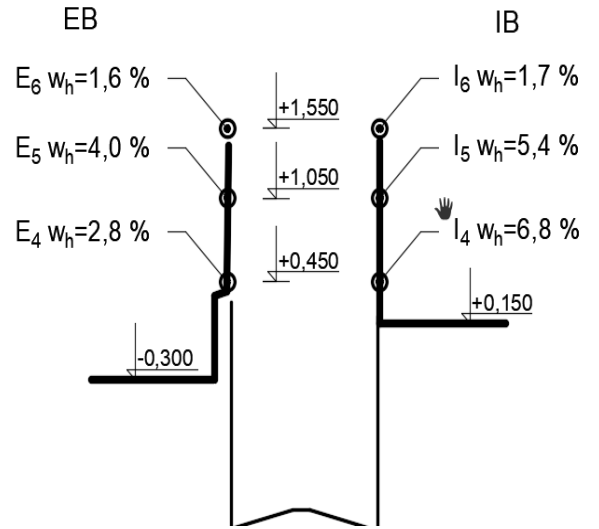
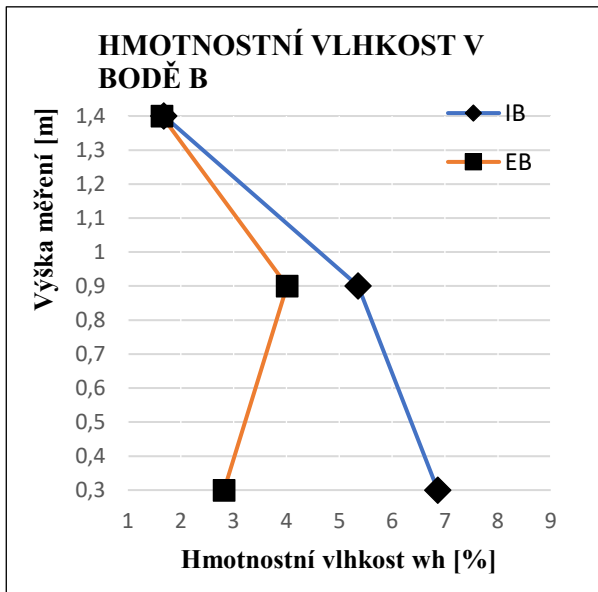
Z výsledků měření lze konstatovat, že příčinou zvýšené vlhkosti kostela je především vztlínající a srážková voda. Největší vlhkost (na jižní straně a věži) je způsobena velkým množstvím srážkové vody z terénu a střechy, která podtéká skrz zdivo a usazuje se na vnitřní straně, kde kapilárním systémem póru stoupá. Z interiérové strany je hmotnostní vlhkost ve zdivu podstatně vyšší, z důvodu větší vysychající plochy z exteriéru. Měření z interiéru a exteriéru je v celém objektu ve stejné výšce, tedy z interiéru je výška nad podlahou 30 cm, z exteriéru se jedná o rozmezí 60-120 cm nad terénem. Část vlhkosti je způsobena sorpcí povrchových solí, které přejímají vodu z okolního prostředí. Na severní straně kostela lodi není tak velký rozdíl mezi hmotnostní vlhkostí v interiéru a exteriéru a zároveň jsou stěny převážně méně vlhké než na straně jižní. Tento rozdíl je způsoben podobnou výškou terénu v exteriéru a interiéru a spádováním terénu od objektu. Nejvyšší koncentrace vlhkosti byla stanovena v přízemí věže, kde je zdivo navíc poškozováno srážkovou odstříkující a hnanou vodou. Na jižní straně věže končí také postranní příkop a veškerá voda je sváděna právě do příkopu a není již dále efektivně odváděna.

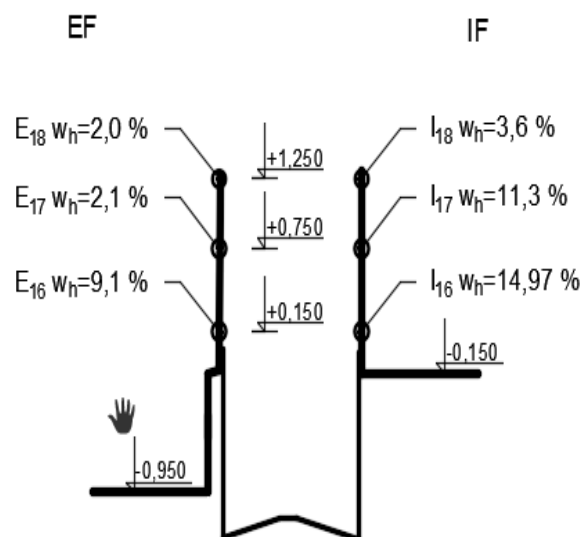
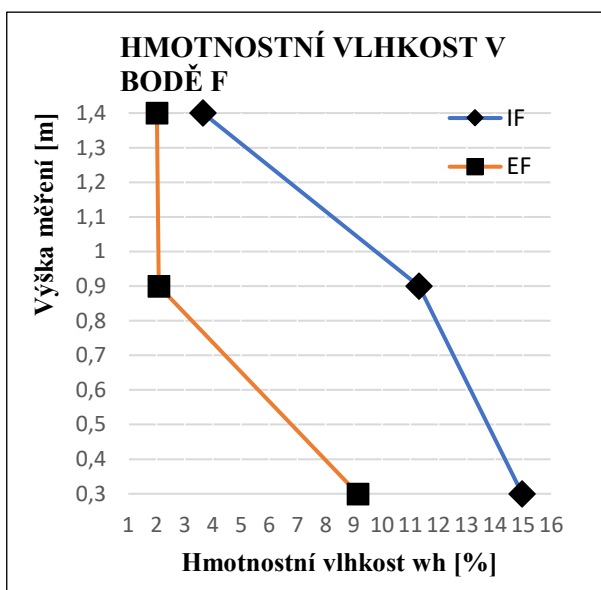
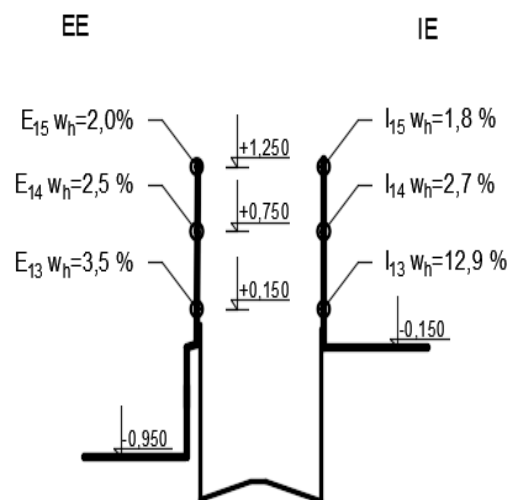
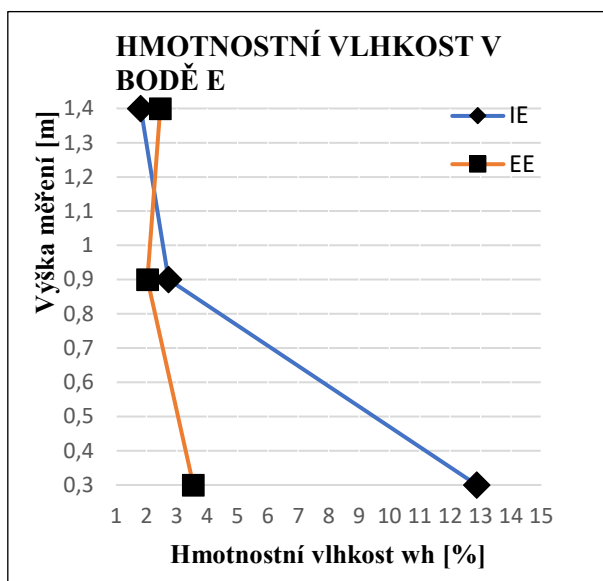
Venkovní podmínky při odběru vzorků: Datum: 7.dubna 2018, Teplota: 15-18 °C,
Srážky: Sucho, déšť před třemi týdny od odebraní vzorků

Grafy

Na základě výsledků uvedených výše byly zhotoveny grafy porovnávající vlhkost v daných částech objektu. Grafy ukazují závislost výšky odběrového místa vzorku (m) na hmotnostní vlhkosti (%). První skupina grafů ukazuje vlhkosti v dané oblasti kostela zvláště v exteriéru a interiéru, druhá skupina pak grafů ukazuje vlhkost v daném bodě.







Grafy zobrazují závislost hmotnostní vlhkost ku výšce odběrového místa.

1 skupina grafů porovnávající vlhkost pro danou část kostela

2 skupina vlhkost v daném bodě, vpravo pak řez stěnou, ve které byly vzorky odebrány

*podle charakteru křivek (se vzrůstající výškou odběru klesá vlhkost) lze stanovit, že se jedná o vztlínání vlhkosti

6.2. ZJEDNODUŠENÝ PRŮZKUM SALINITY

Jednou z příčin poškozování vlhkého zdiva, fasád a nátěru je přítomnost vodorozpustných anorganických solí, které se spolu s vlhkostí pohybují v pórovém prostředí zdiva. Nejvíce poškozují zdivo sírany, chloridy a dusičnany, které jednak reagují s některými složkami materiálů a způsobují chemickou korozi, tak i působí krystalizačními a rekrystalizačními tlaky a fyzikálně degradují zdivo. Dusičnany a chloridy na sebe váží vzdušnou vlhkost, proto se sice některá místa na povrchových místech zdála vlhká a dotují objekt vlhkostí. Typ solí rovněž může pomoci identifikovat v některých případech zdroj vlhkosti (například v případě vysokých hodnot chloridů od posypových solí, by se mohlo jednat o zatékání z chodníku nebo komunikace).

Z výše uvedených důvodů bylo provedeno měření obsahu dusičnanů, chloridů, síranů a amoniaku ve laboratoři ČVUT. Ze všech odebraných vzorků byly vybrány 3 vzorky s uvažovanou nejvyšší koncentrací solí. Aby výsledky měření byly co nejpřesnější byly vzorky odebrány z jiných částí objektu a vyvrtány přibližně 10 cm hlubokými vrty. Pro potřeby analýzy solí byly odebrány přibližně 2 g zdiva, které byly smíchány se 100 ml destilované vody. Aby došlo k rozpuštění solí, se vzorky ošetřily s pomocí ultrazvuku a zvýšené teploty 40 °C a přes noc louhovaly. Druhý den se vzorky přefiltrovaly. Vyhodnocení vzorků proběhlo fotometricky, kdy byl roztok ozářen monochromatickým světlem, jehož část je pohlcena vzorkem. Měří se intenzita nepohlceného světla, která se srovnává s referenčním světlem a vyhodnocuje se. U testování síranů a chloridů byly vzorky zředěny destilovanou vodou, neboť při orientačním měření papírky vyšly hodnoty mimo stupnici obr. 100 a 101.

TABULKA HMOTNOSTI VZORKŮ

Název vzorku [-]	Hmotnost [g]	Lokace [-]
I1	2,8	Presbytář-jih
I16	2,1	Věž-sever
B1	2,5	Boční vstup-sever



Obr.098 Přístroj pro fotometrické měření



Obr.099 Ošetřování ultrazvukem



Obr.100 Orientační měření dusičnanů



Obr.101 Orientační měření síranů

6.2.1. pH

O metodě

Pro měření pH se z přefiltrovaných vzorků byl odpipetován 1 ml, který se umístil do zkumavky a dále byly přidány 4 kapky pH indikátoru (Merck). Celá směs byla důkladně promíchána a podle barevné shody byl určen stupeň pH. V případě jednoho vzorku se pH pohybovalo mimo stupnici 4-10 a proto se vzorek umístil do elektronického přístroje pro stanovení pH, který stanovil značně zásaditou hodnotu pH (12,657).

TABULKA URČENÍ pH

Název vzorku [-]	Stupeň pH	Lokace [-]	Vyhodnocení
I1	7,5	Interiér-presbytář-jih	zásadité
I16	12,663	Věž-sever	zásadité
B1	7	Boční vstup-sever	neutrální

Vyhodnocení

Analýza pH roztoku z odebraných vzorků zdiva pomáhá mapovat napadení objektu. Zvýšená vlhkost a snížené pH vytváří vhodné prostředí pro růst mikroorganismů (plísní, bakterií a řas). U starších historických objektů bývá hodnota pH většinou kyselé <7 , u nových staveb se vyskytuje zásadité pH >10 . Při provedení nových omítek z hašeného nebo vzdušného vápna se hodnota pH stěn skokově zvýší. Naměřeného hodnota vzorku I16 indikuje nově provedenou omítku věže a velmi zásadité pH. U ostatních vzorků je pH také na historickou budovu (neutrální a zásadité) vysoké a lze tedy předpokládat, že omítky v celém kostele jsou novodobé.



Obr.102 pH metr



Obr.103 pH metr

6.2.2. Chloridy Cl^-

O metodě

Chloridové ionty, které se nacházejí ve vzorku, reagují s thiokyanátem rtuťnatým za vzniku mírně disociovaného chloridu rtuťnatého. Uvolněný thiokyanát reaguje s železitými ionty a vytváří červený thiokyanát železitý, který se vyhodnocuje fotometrem za použití testovací sady pro zjištění obsahu chloridů ve vzorku (Merck). Tato metoda je analogická s **EPA 325.1** a **US Standard Methods 4500-Cl E**.

TABULKA ZMĚŘENÝCH HODNOT CHLORIDŮ

Název vzorku [-]	Obsah chloridů [mg/l]	Obsah chloridů [mg/g]
I1	2	0,071428571
I16	11,6	0,552380952
B1	21,3	0,852

Zdroje chloridů v okolí

Podle změřených výsledků hodnot chloridů ve zdivu je jejich koncentrace nepatrná, tomu odpovídá značná vzdálenost kostela od blízké komunikace. Kostel tedy je chráněn svou polohou před zdrojem chloridů (především od zimního ošetřování komunikací). V blízkosti kostela se rovněž nenachází potravinářská výroba, chladírenské zařízení ani úpravna vody. Nízká koncentrace chloridů vylučuje mineralizované spodní vody.

6.2.3. Amoniak NH₄⁺

O metodě

Amonikální dusík (NH₄-N) se vyskytuje částečně ve formě amonných iontů a částečně jako amoniak, mezi těmito formami existuje rovnováha závislá na hodnotě pH, u které by vzorek měl být v rozsahu pH stupnice 4-13. V silně alkalických roztocích je NH₄-N přítomný téměř výhradně jako amoniak, který reaguje s chlornany a vzniká monochloramin, ten dále reaguje s thymolem a vzniká modrý infofenol. Jehož koncentrace se poté stanoví fotometricky za použití testovací sady pro zjištění obsahu amoniaku ve vzorku (Merck). Použitá metoda je analogická s **EPA 350.1, APHA 4500 - NH₃ D a ISO 7150/1**.

TABULKA ZMĚŘENÝCH HODNOT
AMONIAKU

Název vzorku [-]	Obsah amoniaku [mg/l]	Obsah amoniaku [mg/g]
I1	0,17	0,006071429
I16	0,14	0,006666667
B1	0,12	0,0048

Zdroje amoniaku v okolí

Amoniak vzniká od živočišné výroby rozkladem močoviny. Zvýšené hodnoty amoniaku by byly zjištěny v případě, že by se kostel nacházel poblíž farem, chlévů, případně drůbežáren. Kostel je však od případných producentů amoniaku vzdálen, a proto je obsah amoniaku velmi malý.

6.2.4. Dusičnany NO_3^-

O metodě

V koncentrované kyselině sírové reagují deriváty dusičnanů s derivátem kyseliny benzoové a vytvářejí červeně zbarvenou nitro sloučeninu, jejíž obsah se stanovil fotometricky za použití testovací sady pro zjištění obsahu dusičnanů ve vzorku (Merck).

TABULKA ZMĚŘENÝCH HODNOT
DUSIČNANŮ

Název vzorku [-]	Obsah dusičnanů [mg/l]	Obsah dusičnanů [mg/g]
I1	3,1	0,110714286
*I16	7,5	3,571428571
*B1	6,5	2,6

Zdroje dusičnanů v okolí

Hodnoty koncentrace dusičnanů již podstatně vyšší, dusičnany pochází jak od rozkladu organických hmot (původní hřbitov v blízkosti kostela), tak od znečištění chemickými hnojivy a holubím trusem. V době socialismu kostel částečně sloužil jako sklad pro JZD a lze tedy předpokládat, že zde byla skladována hnojiva a další materiály zvyšující obsah solí ve zdivu.

6.2.5. Sírany SO_4^{2-}

O metodě

Ionty síranů reagují s jodičnanem barnatým, uvolňují se ionty jodičnanu. Tyto ionty oxidují tanin a vytváří se hnědočervená sloučenina, která se vyhodnotila fotometricky za použití testovací sady pro zjištění obsahu síranů ve vzorku (Merck).

TABULKA ZMĚŘENÝCH HODNOT
SÍRANŮ

Název vzorku [-]	Obsah síranů [mg/l]	Obsah síranů [mg/g]
*I1	327	116,7857143
**I16	74	352,3809524
*B1	277	110,8

Zdroje síranu v okolí

Nejvyšší koncentrace ze solí poškozující fasádu a objekt byla nalezena u síranů. Ty mohou pocházet od spalování uhlí, výroby stavebních hmot, nebo od chemických hnojiv. Chemická hnojiva považuji v tomto případě za nejpravděpodobnější zdroj síranů. Síraný tak mohou pocházet jak z blízkých polí, tak od přechodného užívání kostela JZD, které zde mohlo chemická hnojiva skladovat. Další eventuální možností je spalování uhlí v obci a dotaci síranů ze znečištěné atmosféry.

6.2.6. Vyhodnocení

Při vyhodnocování obsahu solí záleží na hloubce odběru vzorku (soli se nejvíce koncentrují na povrchu v odpařovací zóně), proto skutečná salinita zdiva může být odlišná. Ze 2 g odváženého vzorku byla například u vzorku I16 část vzorku ze zasolené omítky, proto je koncentrace síranů tak vysoká. I tak je salinita zdiva značná, nejen v případě věže, ale i v dalších vzorcích. Pro přibližné posouzení stavu lze použít směrnici WT A E-2-6-99, nebo normu ČSN P 73 0610. Návrh sanace salinity bude zmíněn v kapitole sanací. [25]

Název vzorku	Chloridy		Dusičnany		Síraný		Celkový obsah	
	[mg/g]	[%]	[mg/g]	[%]	[mg/g]	[%]	[mg/g]	[%]
I1	0,0714	0,00714	0,11	0,011	116,78	11,678	116,98	11,698
I16	0,55	0,055	3,57	0,357	352,38	35,238	356,91	35,691
B1	0,852	0,0852	2,6	0,26	110,85	11,085	114,64	11,464

	Chloridy		Dusičnany		Síraný	
	[mg/g]	[%]	[mg/g]	[%]	[mg/g]	[%]
Nízký	< 0,75	< 0,075	<1,0	<0,1	<5,0	<0,5
Zvýšený	0,75-2,0	0,075-0,20	1-2,5	0,1-0,25	5,0-20	0,2-2,0
Vysoký	2,0-5,0	0,20-0,50	2,5-5,0	0,25-0,50	20-50	2,0-5,0
Velmi vysoký	>5,0	>0,5	>0,5		>50,0	>5,0

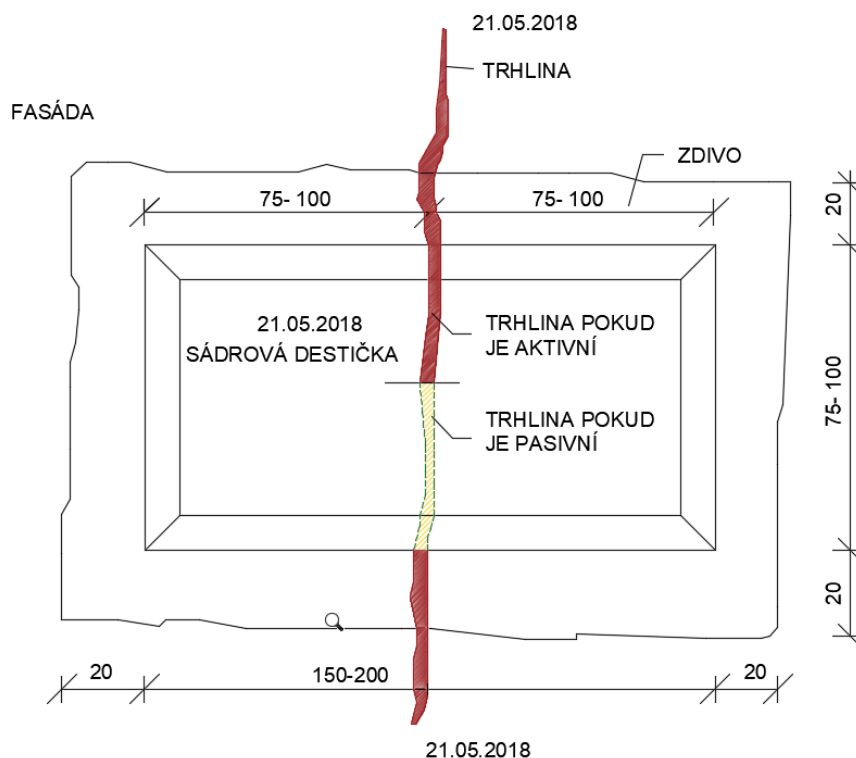
7.0. SANAČNÍ OPATŘENÍ

8.0. A JEJICH NÁVRH

7.1. ÚVOD

V kapitole analýz poruch vykazovala nadzemní konstrukce četné množství poruch jejíž příčina má souvislost jak změnou působení původní konstrukce (nefunkčnost táhel, degradace krovu), tak i sedáním spodní části stavby. Tyto poruchy, pokud by se neodstranil jejich důvod, by mohly vést k ohrožení této kulturní památky.

Velká část trhlin statického charakteru se dá považovat za aktivní, během psaní této práce se jich šíře a délka nepatrně zvětšila (aby trhlina mohla být prohlášena za pasivní je třeba ji sledovat po dobu 1 roku a pokud je registrován jakýkoliv pohyb jedná se o trhlinu aktivní*Solař). Pro sledování jednotlivých trhlin by bylo vhodné sledovat jejich aktivitu pomocí vložení sádrových destiček (alt. ocelových trnů) přímo na trhlinu. V případě, že je v konstrukci zaznamenán pohyb a šíře trhliny se zvětší, dojde ke prorýsování trhliny o stejné šíři jak v podkladu, tak i na sádrové destičce.



Obr.104 Schéma sádrové destičky (červeně aktivní, žlutě pasivní)

Při zpracování dokumentace poruch byla jistá míra poškození odhadnuta a bylo by třeba provést odborný průzkum. Mykologický průzkum týkající se především oblasti krovní konstrukce a systému táhel podélné lodi, kde je nutné vědět procenta poškození jednotlivých prvků zasažených dřevokaznými houbami či hmyzem. Pro zjištění základových poměrů by bylo vhodné rovněž provést sérii kopaných, případně vrtaných sond za účelem přesného stanovení hloubky, typu založení a geologických základových poměrů ze všech stran objektu.

Při výběru vhodných sanačních opatření je nutné zohlednit památkovou ochranu a navrhnout vhodné neinvazivní opatření, proto nemohou být některá opatření v případě této památky použita. Jednotlivá sanační opatření budou dělena do kapitol podle příčin poruch a typu konstrukce. [3]

7.2. SANACE KROVU A SYSTÉMU TÁHEL

Důvodem tohoto sanačního opatření je navrátit původní statické působení krovu s nahrazením napadených částí dřevěných prvků. V presbyterní části již byla poškozené prvky odstraněny a vyměněny, částečně napadené prvky byly metr za hranici zdravého dřeva nahrazeny novým trámem a spojeny. Rovněž byla již odstraněna celoplošně krytina společně s laťováním a zakryta provizorní fólií.

V nesanované části jsou nejvíce poškozeny prvky v přímém kontaktu s podkladem tedy zdi, jedná se především o vazné trámy a krátčata. U většiny krátčat je možné mluvit o napadení prvku po celé délce, proto je nutná jejich kompletní výměna za nové. Vazný trám je však napaden pouze v místě svého uložení na zdi, dále pak pokračuje zdravé dřevo. Menší poškození je u okapové vaznice, která je po celé své délce narušena přibližně do 20 % svého průřezu, lokálně je poškozen ondřejský kříž u 4. vazby. U krokví, námětku a vzpěradla je poškození do 1/7 výšky střechy.

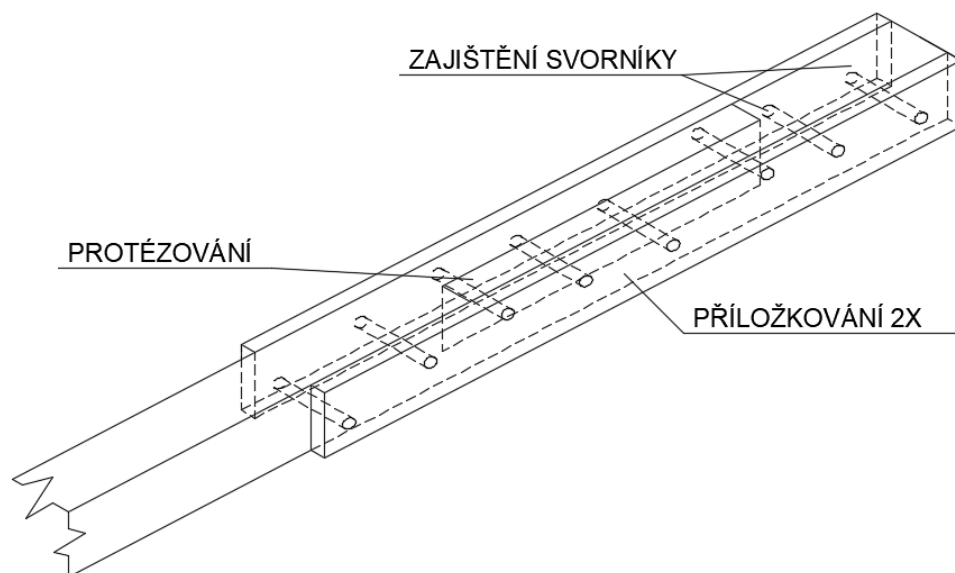
U některých dřevěných dubových táhel je degradace a rozpad dřeva vidět v místě uložení táhla do obvodové stěny. Aby bylo možné ověřit jejich funkčnost a napadení, měl by být proveden mykologický průzkum a dále pak vnější kontrola táhla.

Vhodným sanačním opatřením je nahrazení pouze poškozené části za současného zachování maximálního možného původního dřeva. Sanační zásah by měl být komplexní

a skládat z postupných na sebe navazujících kroků. V prvním řadě je potřeba především o důkladnou diagnostiku narušeného dřeva (mykologický průzkum) s následné odstranění degradačních činitelů (dřevokazný hmyz, hniloba), dále navazuje obnova původních vlastností dřeva (především mechanické vlastnosti) a nakonec obnovení statického fungování dřevěných prvků i celé konstrukce s užitím vhodných metod mezi něž patří v tomto případě příložkování, plombování, protézování, případně protézování z chemické náhražky (Beta-Německo, Tac-Francie).

Příložkování je jednostranné nebo oboustranné zesílení narušeného prvku příložkou, která je spojena hřebíky (šrouby, dřevěnými kolíky), nebo stažena zpravidla svorníky. Jako příložky mohou být použity dřevěné desky, hranoly nebo ocelová deska, případně válcovaný profil (tvaru U, L). Případné příložky je vhodné dát u namáhání ohybem na výšku, kde mají podstatně vyšší ohybovou únosnost. Tento způsob zesílení lze použít pouze na zdravé dřevo, u neošetřeného poškozeného dřeva vzniká nebezpečí šíření biologické degradace i do dřevěných příložek. Příložkování se u značně narušených částí používá často v kombinaci s protézováním, případně plombováním.

PŘÍLOŽKOVÁNÍ V KOMBINACI S PROTÉZOVÁNÍM

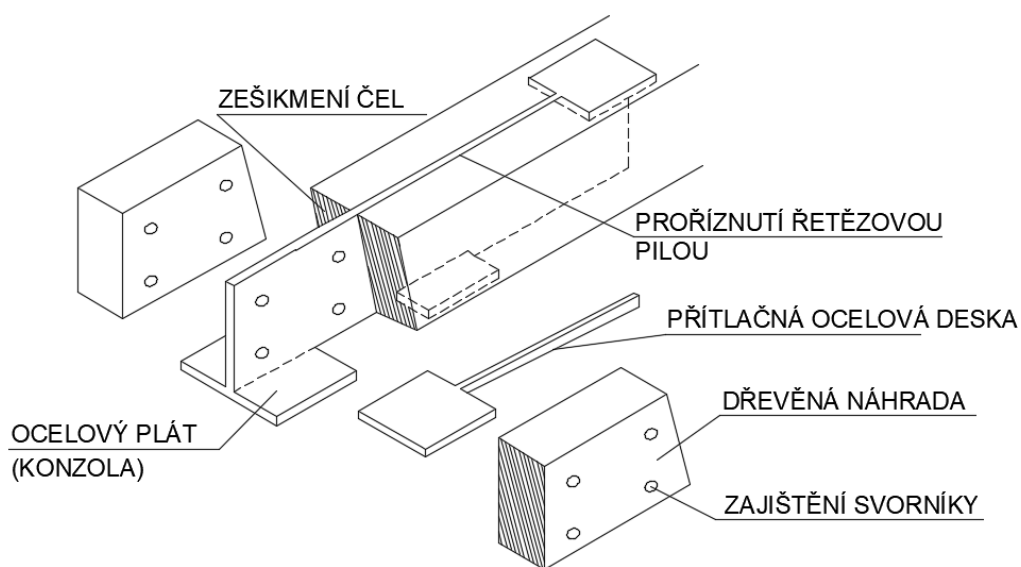


Obr.105 Kombinace příložkování a protézování (příložky fošny)

Protézování je nahrazení případně doplnění poškozeného prvku novým, který má většinou stejné rozměry jak prvek původní, rovněž bývá vhodné použít i stejný typ dřeva (estetické požadavky, stejné mechanické vlastnosti). Nejčastěji používaný typ protézování je klasický tesařský s použitím dřevěné protézy, se spojovacími prostředky tvrdých dřev (například dubové kolíky, jasanové klíny), zatímco alternativní varianta s chemickou náhražkou se používají zřídka u specifických konstrukcích. Při rekonstrukci prvků zatíženého prostým tlakem mohou být použity rovné plátované spoje, pokud jsou namáhány zároveň i na kroucení a vzpěr, je vhodné použít nůžkové spoje. Pro nastavované spoje namáhané i jednostranným ohybem se používá sofistikovanější způsob spojení, umožňující přenášet i ohybové momenty. Naproti spojům s rovnými (pravoúhlými) čely nedojde při namáhání spoje ohybem u spojů šikmým zkosením ke svislému posunu (poklesu). Obecně pro tyto spoje platí, že nový díl by měl být delší než čtyřnásobek výšky opravovaného prvku. Existuje několik variant provedení, které se dělí do dvou skupin – podélné podkosené čepy, nebo pláty podkosené zámkové. Spoje s podélnými podkosenými čepy mají mít čep delší než $1/7$ délky rozponu opraveného prvku, úhel zkosení je 45° a šířka čepu se provádí okolo $3/7$ šířky prvku, tedy pro každý boční plát zůstávají $2/7$ šířky. Čep se zajišťuje jedním velkým rybinovým svorníkem, nebo alespoň čtyřmi kolíkovými svorníky. Kromě prostého podélného čepu existuje i varianta krytého (Otakar Hrdlička), která umožňuje vizuálně zachovat stejnou podobu prvku ze všech stran, a proto je vhodný například pro rekonstrukci malovaných stropních trámů. Do „plátové“ skupiny patří plát šikmočelný a podkosený zajištěný svorníky (Vít Mlázovský, Otakar Hrdlička), ozubový šikmočelný utažený klínovým hmoždíkem (Vít Mlázovský, Petr Růžička), pak šikmý plát sbíhavý ozubový s podkosenou šikou a vnitřními osovými čepy utažený klínovým hmoždíkem (Petr Růžička). U plátu šikmočelného se délka výměny (plátu) stanovuje podle velikosti namáhání a velikosti prvku, která by však neměla být menší než šestnásobek výšky prvku. U spojovacích prvků (klínové hmoždíky) by měly být od sebe vzdáleny minimální vzdálenost alespoň jedenapůlnásobek výšky prvku. Obousměrným zešikmením umožní zaražený klínový hmoždík, že spoj je uzavřen a bez vyrazení klínového hmoždíku jej není možno rozebrat. U dalšího typu spoje-ozubového plátu platí opět stejný požadavek na rozměr a šikmost plátu. Klínový hmoždík v tomto spoji není namáhán na stříh, a proto je jeho velikost podstatně menší. Nevýhodou je zúžení profilu nastavovaného profilu, které pak u jeho alternativy sbíhavého se řeší zešikmením plochy pomocí osových vnitřních čepů. Obě

tyto alternativy jsou náročné na výrobu. Účelem protézování je obnovit původní únosnost a tuhost prvku.

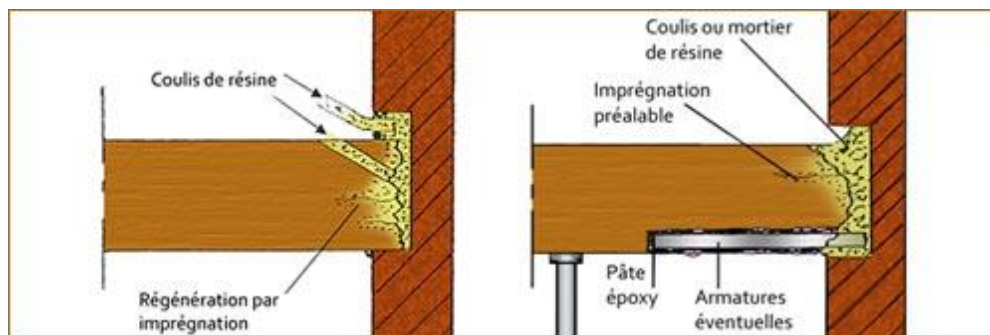
Další možností protézování je rozdělení prvku s vložením ocelového plátu do středové kapsy. Tato metoda je vhodná především u poškozených trámů, které se neumožní přenést odpovídající zatížení samy a je výhodná, že se poškozený prvek naruší méně. Pro ocelový plát platí, že musí oslabené otvory (od svorníků) přenést stejné ohybové namáhání jako původní trám v místě styku. Pro tento typ spojení je vhodná úprava šikmých čel (s ohledem na výsušné trhliny), které mají odlišný směr naproti sobě. Ohybový moment a normálová síla jsou přenášeny svorníky (moment dvojice normálových sil na rameni), únosnost lze zvýšit přidáním hmoždinek (Geka, Bulldogy). Při použití svorníku je vhodné prostřídat jejich polohu v příčném směru, aby nedošlo k rozdělení prvku podél vláken vlivem menší pevnosti v tahu.



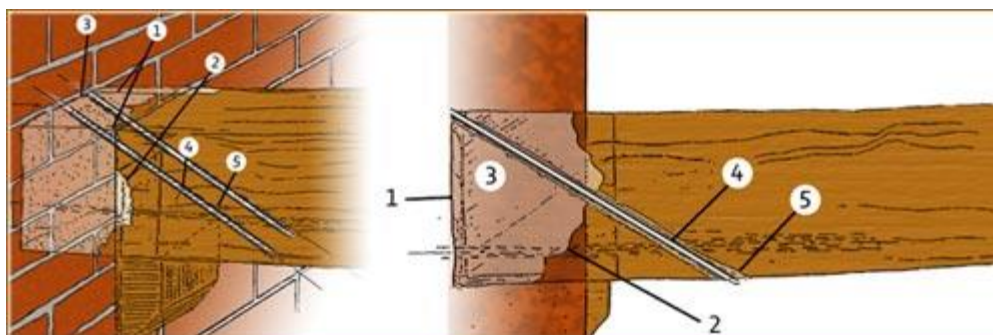
Obr.106 Protézování pomocí speciální ocelové konzoly

Protézování chemickou náhražkou má podobný přístup jak metoda vložením ocelového plátu, je založena na nahrazení nosné funkce cizím prvkem. Francouzský systém TAC (v originále TTBH) je založen na přenášení sil pomocí běžné stavební oceli, která je doplněna speciálními nanášenými, či litými umělými pryskyřicemi. Používají se

dva typy těchto pryskyřic v závislosti na svém použití. První je hluboká impregnace s použitím epoxidové pryskyřice s rozpouštědly, které regenerují hluboce degradované dřevo a zpevní ho. Druhou je vstřikováním epoxidové pryskyřice bez rozpouštědel, která jsou speciálně navržena tak, aby nevytvářela vnitřní napětí mezi dřevem a vstřikovanými oblastmi, proto se používá jako injektážní pojivo. U německého způsobu Beta se na rozdíl od francouzského používají pruty ze skleněných vláken. Výztužné pruty se ukládají buď do navrtaných otvorů, nebo do bočně vyfrézovaných drážek. Protéza se přitom vkládá přímo do odřezané dutiny původního prvku. Princip metody protézování dřevěných prvků pomocí chemické náhražky spočívá ve spojení dřeva a výztužných armatur (ať už ocelovými, či skleněnými) se syntetickým polymerem, kde výztužné pruty zachytávají tahové (tlakové) a ohybové síly. Je možné spočítat počet, délku a průměr výztužných prutů, vezme-li se v úvahu napětích v opravovaném prvku, o působení příčných sil, přilnavosti pryskyřice k armaturám a k podkladu (dřevo), mechanické vlastnosti prutů (především pevnost v tahu a tahu za ohybu), a další jiné podmínky.



Obr.107 Protézování Beta metodou, překlad vlevo: Coulis de résine – Impregnace pryskyřicí, Régénération par imprégnation – Regenerace pomocí impregnace, Pâte époxy – epoxidová pasta, Imprégnation préalable – Předcházející impregnace, Armatures éventuelles – Eventuální výztuž



Obr.108 Protézování Beta metodou, 1 • Bednění 2 • Omezení oblasti řezu 3 • Náhradní hmota (epoxidová pryskyřice + plniva) 4 • Armatura 5 • Vrtání O 25 mm

Plombování se používá na lokálně poškozené prvky, jejímž účelem je odstranit poškozenou část a vrátit původní tlakovou pevnosti. Plombují se lokálně degradované části, štěrbiny či dutiny vzniklé lokálním zatékáním, nebo stárnutím konstrukce. Plombuje se pomocí přesně upravené vložky do upraveného prostoru, který je nutný pečlivě zbavit shnilých částic vyřezáním, vydlabáním atd. Plombu je vhodné umístit tak, aby směr a hustota letokruhů byla co nejpodobnější rekonstruovanému prvku a vložená plomba přenášela zatížení se svým okolím, proto se doporučuje užít plombu vyráběnou ze staršího dřeva s podobnými vlastnostmi, ideálně pak ze stejného dřeva. Plomba bývá připevněna ocelovými svorníky, či kolíky z tvrdého dřeva a doporučuje se doplnit lepením tmelem, nebo lepidlem. Plombování se zpravidla používá do 30 % poškození průřezu, při vyšším poškození se používají metody zmíněné výše. [5] [6] [10] [11] [12] [25]

8.1. NÁVRH POSTUPU SANAČNÍCH PRACÍ KROVU

Nejdříve je potřeba vyklidit prostor krovu, pro zajištění přístupu ke všem prvkům krovu, především pak k zhlaví vazných trámů, krácat, patám krokví i šikmým sloupům – vzpěradlu. Následuje důkladné vyčištění a vysátí krovu kostela od zanechaných nečistot spolu s očištěním konstrukčních prvků mechanicky, především od zbytků biologického nánosu (holubí trus) a stop biotického napadení (houby, plísně). Očištění se provádí měkčím nástrojem, než je povrch dřeva například rýžovými kartáči, nebo špachtlí z tvrdého dřeva.

Dalším krokem je podepřít vždy dvě plné vazby z obou stran a rektifikovat je na stejnou úroveň do požadované výšky s přesností poloviny centimetru. Vazba se zdvihne speciálním hydraulickým zařízením (heverem) a výšková rektifikace, která by měla být průběžně kontrolována horizontálním laserem na stanovanou úroveň. Pak je nutné plnou vazbu zabezpečit proti svislému i vodorovnému posunu pomocí dřevěné podpůrné konstrukce ze svislých sloupků a šikmých vzpěr. U takto zabezpečené podepřené konstrukce může být přikročeno k mechanickému odstranění napadených částí. U mírně narušených a narušených prvků lze odstranit napadenou část až na zdravé dřevo, u značně narušených prvků je třeba zvětšit odstranění narušené části o 500-1000 mm.

Po odstranění napadených částí navrhuji vložit novou pozednici kvůli lepšímu roznosu sil do svislých nosných konstrukcí, pozednice zároveň zabráni přímému vzlínání vlhkosti do vazných trámů a krácat. Zabránění vlhkosti do pozednice může zabránit i asfaltová lepenka (nebo impregnační podkladek), avšak její použití v případě zatékání má negativní důsledek na vysychání prvku a degradaci, proto je její funkčnost diskutabilní. Přes tyto negativní aspekty z důvodu současné vlhkosti v oblasti korunního zdiva se kloním k jejímu provedení pod pozednicí. Protože je nemožné pozednici provést jako jeden kus, bude napojována po dvou plných vazbách rovným plátováním se spojem přibližně v polovině mezi plnou a jalovou vazbou.

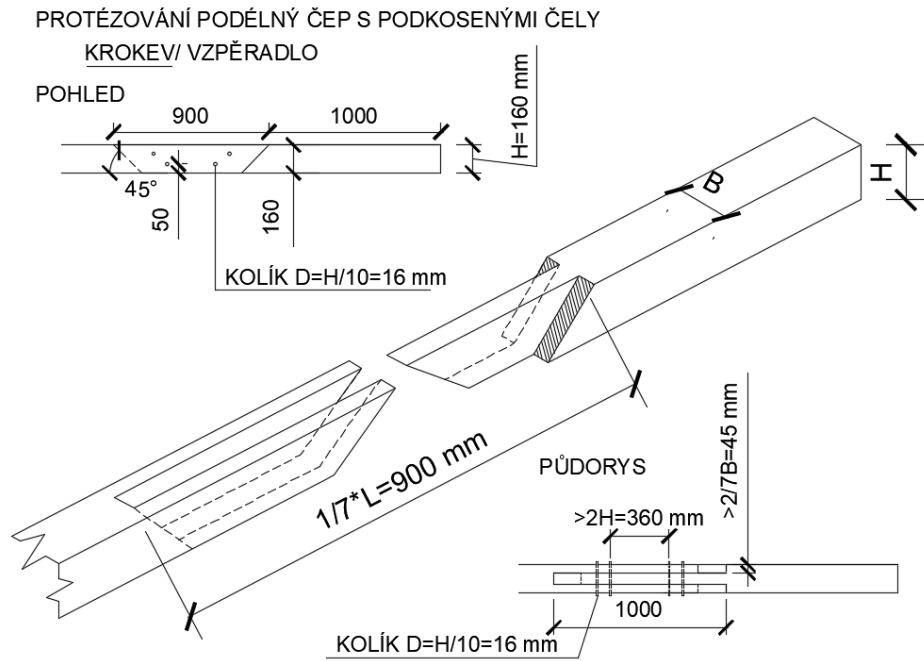
Většina výměn částí prvků by byla ideálně provedena přímým zpevněním prvku – protézováním jednotlivých prvků, při této technologii se nahradí chybějící nebo poškozená část vyměněna novým dřevěným prvkem stejných rozměrů a vlastností. Pro opravu protézováním v šikmém prvku (krokve, vzpěradlo) lze použít čepované spoje (podélnými podkosenými čepy), pro vodorovné prvky a krokve (vazné trámy, výměny) spoje plátované (plát šikmočelný). U plátovaných spojů a čepů je počet kolíků (a

hmoždíků v případě plátů) pouze orientační a byl by třeba ověřit statickým výpočtem. Lokálně poškozené prvky budou plombovány a lepeny epoxidem, některé lokálně poškozené krokve lze protézovat falešným čepem ob. 110. Všechny spoje budou zajištěny stejně jako v původní konstrukci, pomocí dřevěných kolíků a hmoždíků. Jak již bylo zmíněno existuje několik dalších možností sanace zhlaví prvků – je například možné použít TAC metodu a napojit ocelovou výztuž ve styku – vazný trám/ krokev a vzpěradlo, nicméně pro provádění této metody je nutné mít mezinárodní atest. Konečný názor na výběr vhodné metody záleží na názoru národního památkového ústavu.

Co se týká statického působení je jednohmoždíkový spoj se šikmými podkosenými čely zajištěný dvěma kolíky/ třemi kolíky výhodný, neboť přenáší všechny uvedené druhy zatížení (tah, tlak, ohyb). Proto ho lze využít na opravu jak táhel přenášející primárně tah (sanace v další kapitole), tak i vazného trámu (ohýbaný+ tažený prvek). Co se týká čepovaných spojů, tak ty mohou efektivně přenést pouze tlakové namáhání a ohýbané. Problematické u čepovaných spojů je rozdělení prvku na třetiny, proto použití pro úzké prvky (krokví) je otázkou a vhodnější by byla pravděpodobně varianta šikmočelných plátů. Důležité je i dodat, že únosnost čepovaných spojů je nižší než u plátovaných.

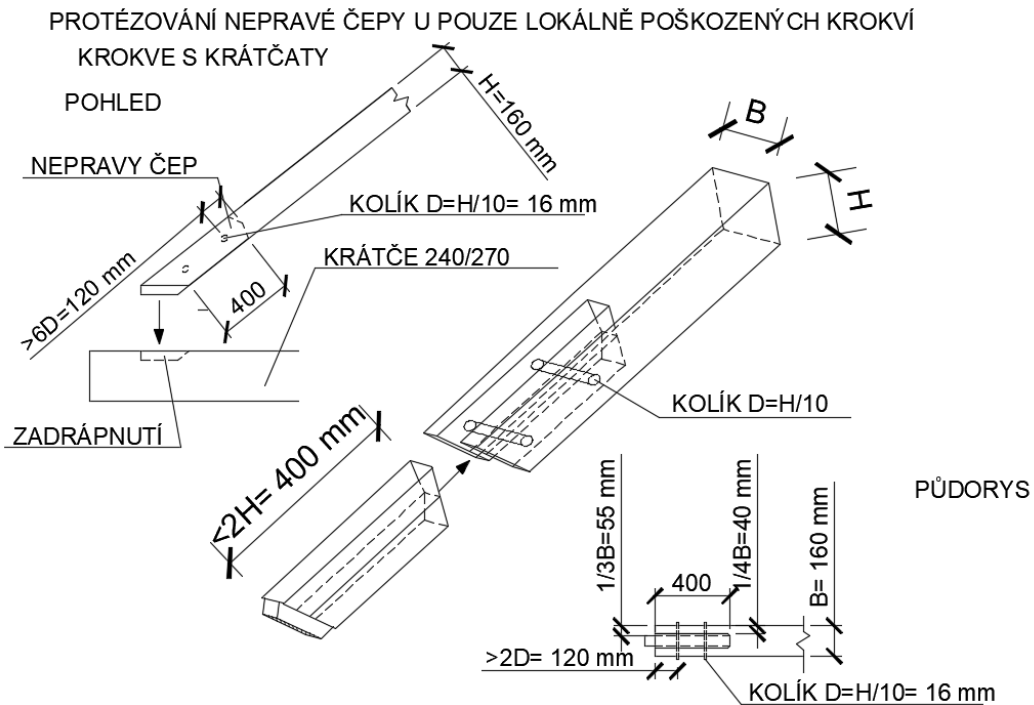
Nově zabudované dřevěné výměny je před zabudováním do konstrukce preventivně chemicky ošetřit. Vhodné je použít impregnační nátěr, který má za úkol zvýšit jejich odolnost vůči degradačním činitelům a zároveň nenarušovat estetický vzhled konstrukce. Je možné provést techniku máčením přímo na stavbě před zabudováním prvku, nebo je možné prvek tlakově impregnovat před doručení na stavbu. Krov v celém rozsahu je vhodné preventivně ošetřit vhodným chemickým ochranným prostředkem proti biotickým škůdcům a sterilizovat všechny ostatní konstrukce, tak aby byly odstraněny všechny zárodky, které by mohly nastartovat znovu dřevokazné procesy. Vhodný způsob aplikace je nátěr nebo postřik, který zajistí nanesení látky na všechny plochy konstrukčních prvků. V případě postřiku, který se nenanese na všechny konstrukční prvky je bezpodmínečně nutné provést ruční nátěr hůře přístupným místům a detailům krovu. Jako ochranné chemické nátěry se užívají olejové, roztoky fungicidů, insekticidů a biocidy. Počet nátěrů se stanovuje dle poškození prvku, u zdravých prvků a mírně poškozených lze provést jednonásobný až dvojnásobný nátěr, u značně narušených se trojnásobný až čtyřnásobný nátěr doplní polohloubkovou ochranou injektáží do vrtů.

[25] [6] [5]



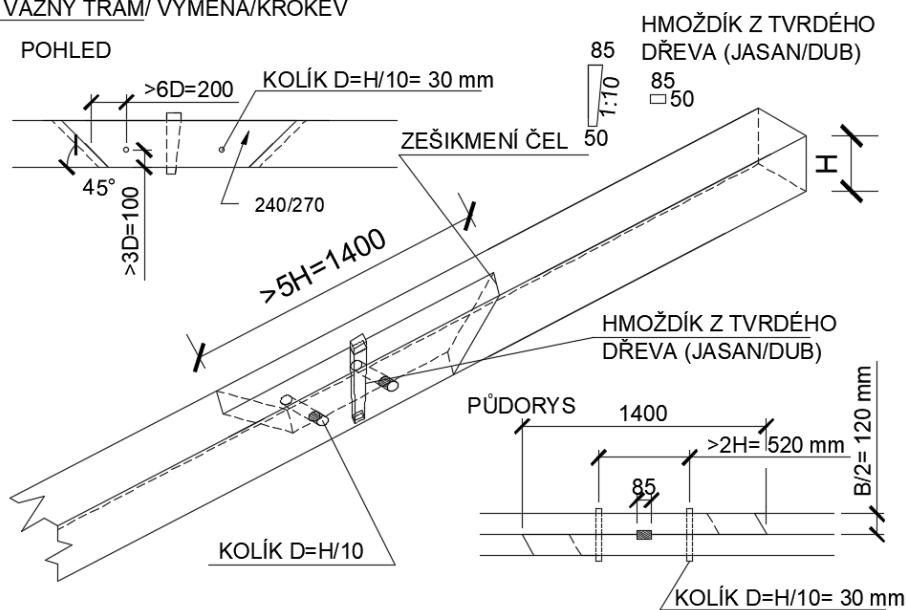
Obr.109 Protézování podélný čep s podkosenými čepy

*použití u krokve je otázkou, při šířce prvku 150 mm, vychází šířka pouze na 4,5 cm



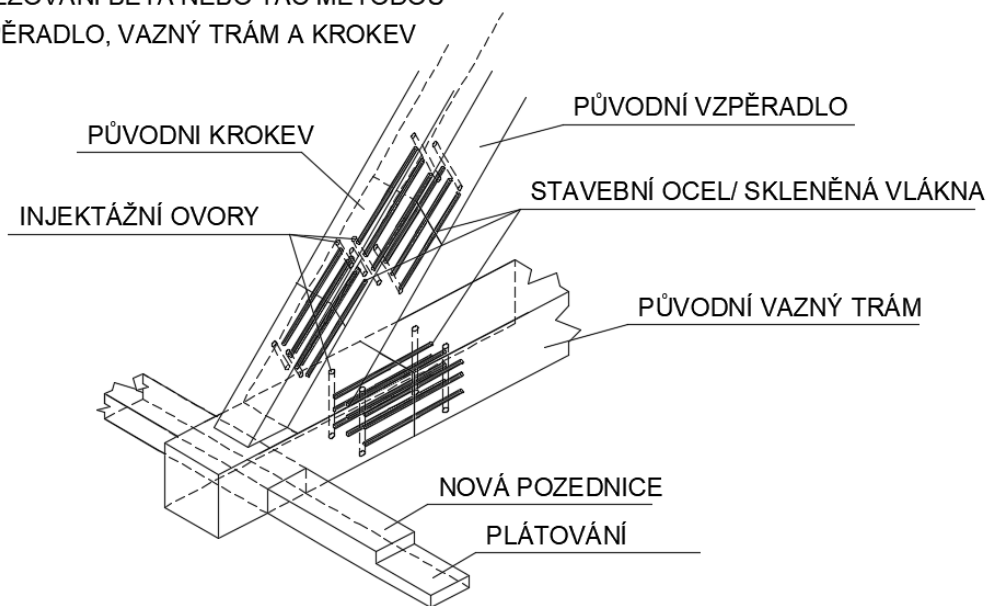
Obr.110 Protézování nepravý čep u lokálně poškozených krokve

PROTÉZOVÁNÍ PLÁTY PODKOSENÉ ZÁMKOVĚ zajištěný dvěma kolíky s středovým hmoždíkem
VAZNÝ TRÁM/ VÝMĚNA/KROKEV



Obr.111 Protézování pláty podkosené jednohmoždíkové

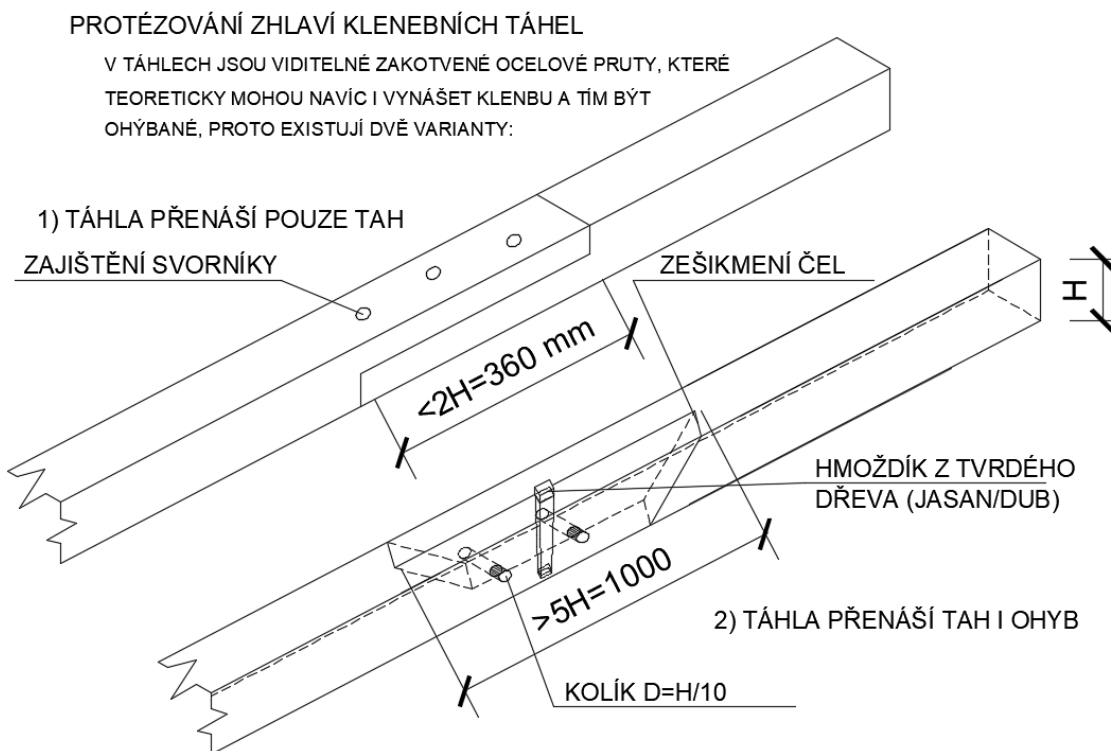
PROTÉZOVÁNÍ BETA NEBO TAC METODOU
VZPĚRADLO, VAZNÝ TRÁM A KROKEV



Obr.112 Protézování Beta nebo TAC metodou

8.2. NÁVRH POSTUPU SANAČNÍCH PRACÍ TÁHEL

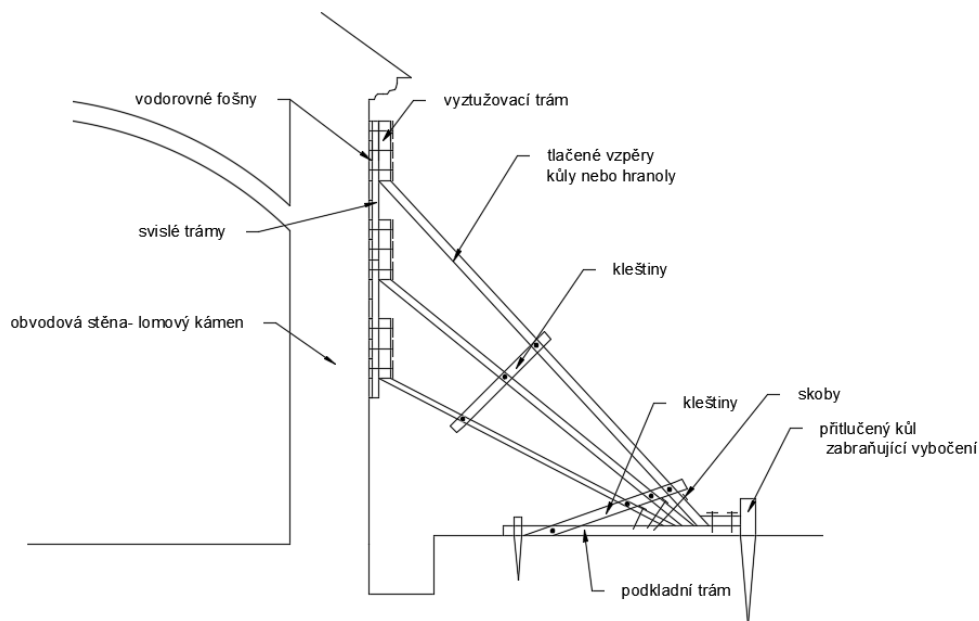
U dřevěných táhel bude provedena rekonstrukce jejich funkčnosti po sanačních opatřeních krovu. Tento postup je důležitý především proto, že současná krovní konstrukce roztlučuje svým působením stěny a v případě uvolnění systému táhel by mohlo dojít k porušení klenby (klenba je velmi citlivá na vodorovný posun podpor). Po zjištění stavu táhel, budou nefunkční táhla navržena na výměnu či částečné nahrazení jiným prvkem podle stupně své degradace (protézování).



Obr.113 Protézování táhel, jednoduché a plátové s podkosenými čely

Pro prvky, které budou napadené pouze v místě svého uložení (zazděné kapse) lze provést částečnou výměnu a odstranit pouze narušenou část zvětšenou o 500 mm. Výměna všech táhel zároveň není možná s ohledem na náhlé uvolnění potencionálního ztužení stěn a následné naklonění stěn (opět možnost zřícení klenby). Vhodnějším postupem je postupná výměna jednotlivých táhel, v ideální případě by výměna byla provedena nejdříve sudých táhel (2,4) a dále výměna zbývajících lichých (1,3,5). Při tomto provádění bude vždy část zatížení přenášet další táhlo v řadě, proto se podstatně se sníží možnost ztráty stability stěn a dále pak klenby. Další možností je vybudovat vnější podpurný systém dočasnými šikmými vzpěrami, u nich lze buď v případě lokálního

podepření (přes dvě pole) vyměnit jedno táhlo, případně v celoobvodovém podepření vyměnit všechna zároveň.

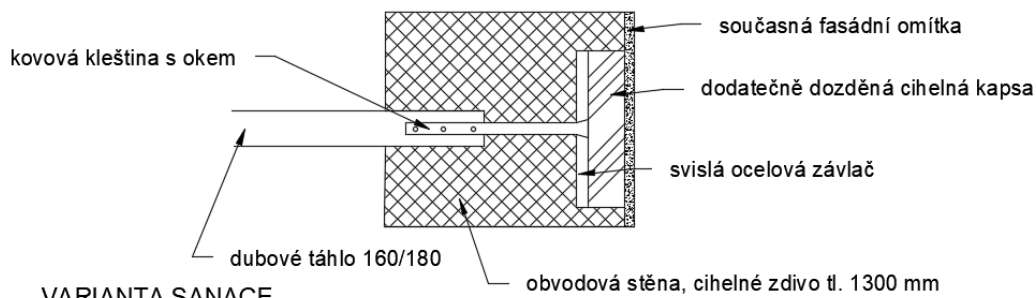


Obr.114 Provizorní zajištění obvodové stěny

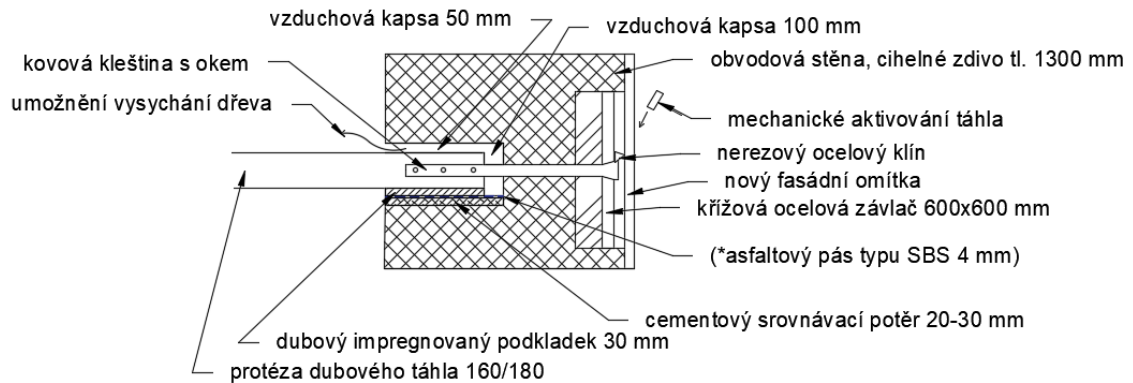
Aby již nedocházelo k degradaci nového dřeva, bude před uložením opraveného táhla kapsa zvětšena. Dřevěné táhlo bude nově pokládáno na dubový impregnovaný podkladek, který bude chráněn před vzlínáním vody díky asfaltovému pásu (povrch bude srovnán cementovým ložem). Je pravděpodobné, že může docházet v místě uložení kapsy ke kondenzaci vodní páry, proto bude horní části kapsy volná mezera umožňující přirozené vysychání dřeva.

Na nově zabudované protězy (přenášející tah) budou kotvené nová nerezová kleština (závlač) s okem ke které bude připevněna ocelová závlač s antikorozi úpravou (křížového tvaru natočeného o 45°). Nevýhodou se jeví, že nepředepjatý a opravený systém táhel se aktivuje až v případě působení vodorovných sil (například o větru, nebo od klenby), problematické je i protažení táhla po tomto zatížení – nemusí zabránit částečnému posunu podpor klenby. Proto táhla musí být před opravou dalších táhel aktivována. Táhla, aby začalo fungovat stačí aktivovat poměrně malou silou – například klínem (ocelovým) vsazeným do oka závlače.

PŮVODNÍ VARIANTA



VARIANTA SANACE



Obr. 115 Návrh uložení táhla

Další možností, jak zajistit stabilitu konstrukce je sepnutí konstrukce ocelovými táhly, popřípadě předpínacími kabely. Ocelová táhla mohou být povedena z ploché nebo kruhové oceli, lze však použít i speciální vysokopevnostní šroubovicové profily. Táhla se vkládají do předem vysekaných nebo vyřezaných drážek a kotví se po určité vzdálenosti sponami do $\frac{3}{4}$ tloušťky stěny. Kotvení táhel se umísťuje v rozích objektu, na roznos předpínací síly se používají ocelových kotevních destiček, svislých zvláčů, nebo ploten. Táhla se uvedou do funkce předpětím šrouby, ocelovým klínem, či speciálním předpínacím zařízením. Problémem je však při větším předpětím dotlačování zdiva v místě jeho kotvení, v jehož důsledku dojde k smrštnutí táhla a ztrátě předpětí (u méně kvalitního zdiva). Po provedení předpětí se táhla chrání proti degradaci ochranným nátěrem (stejný postup jak u krovu). [5] [3]

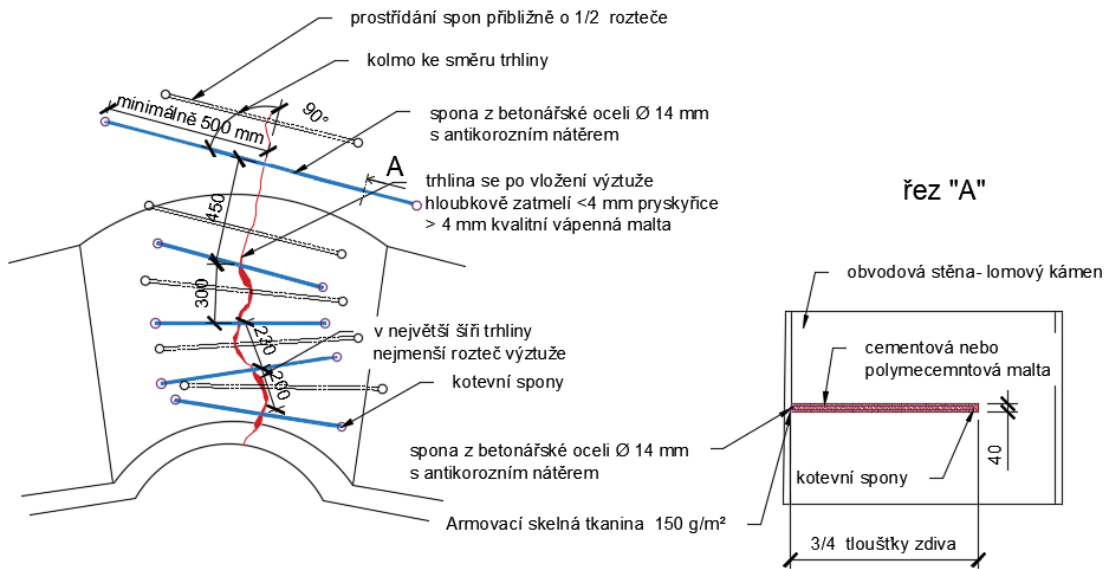
8.3. NÁVRH SANACE TRHLIN V SVISLÝCH NOSNÝCH KONSTRUKCÍCH

Po statickém zajištění konstrukce znovu funkčními dřevěnými táhly nebo stažením celého objektu, následuje sanace aktivních i pasivních trhlin. Před samotnou sanací se zjistí aktivita jednotlivých trhlin pomocí sádrových terčíků, po provedené sanaci trhlin (ať již v případě spon, nebo helikální výztuže) následuje **hloubkové zatmelení** trhlin. Na injektáž do 2 mm se provádí nízkoviskózní pryskyřice, do 4 mm se používá pryskyřice s písky, při šíři větší jak 4 mm již lze používat cementovou maltu. Památková péče však dává přednost vyplnění trhlin tradičním způsobem pomocí kvalitní vápenné malty. Použití moderních metod injektáže (polyuretanové a epoxidové pryskyřice) u historických materiálů a konstrukcí nepovažuje za dostatečně ověřené a vyzkoušené.

Pasivní i aktivní trhliny se musí zajistit proti dalšímu rozvoji a šíření. Nejčastěji užívanou metodou se používá metoda **stehování**, která má dvě alternativy. První metoda je založena na stažení trhliny pomocí ocelových spon z kruhové oceli Ø 14 mm až Ø 25 mm. Spony se vždy umísťují kolmo na trhlínu do předem provedených drážek s přesahem minimálně půl metru a maximální vzdáleností 50 centimetrů jednotlivých spon od sebe. Vzdálenost spon se stanovuje podle velikosti šíře trhliny, uprostřed trhliny jsou spony blízko sebe. Do předvrtaných otvorů ve zdivu (od Ø 30 mm) se spony kotví pomocí koncových kotev zapuštěných přibližně do $\frac{3}{4}$ tloušťky stěny. Pokud se trhlina nachází přes celou šíři stěny, pak se trhliny stehují oboustranně s vystřídáním spon (spony by neměly být naproti sobě – ideálně prostřídat o polovinu rozteče spon). Výztuž se chrání před korozí pomocí cementové nebo polymercementové malty v drážkách.

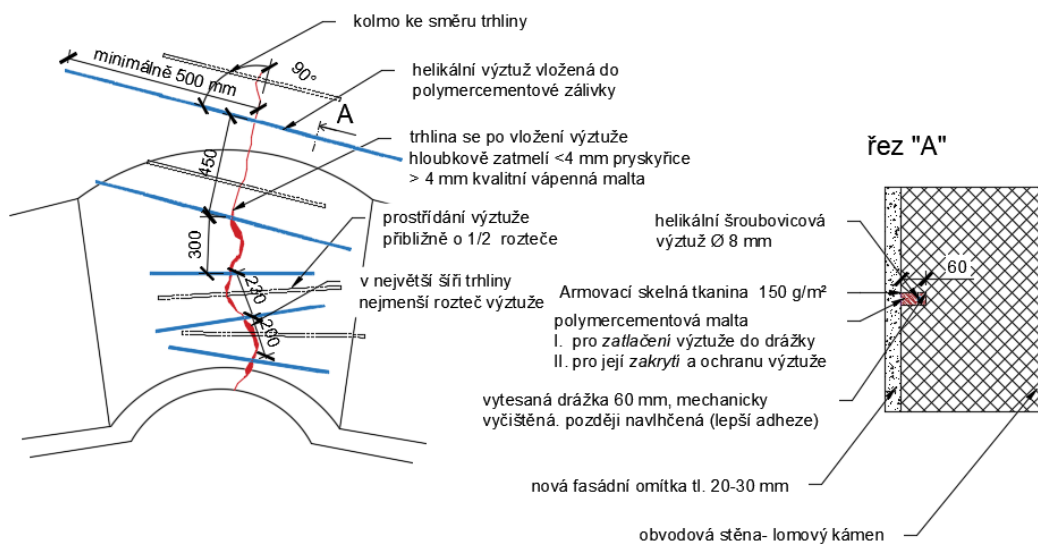
Další variantou je použití šroubovicové výztuže z vysokopevnostní oceli-helikální výztuž. V první fázi se cca 450 mm (každé šesté ložné spáře) se mechanicky vyčistí ložná spára zdiva do hloubky 30-60 mm a nejméně 500 mm na každou stranu trhliny. Vyčištěná spára se pak navlhčuje vodou z důvodu lepší soudržnosti s podkladem. Na zadní stěnu spáry se pomocí speciální aktivační pistole nanese vrstva polymercementové zálivky (nebo vápenocementové), do které se postupně vtlačí helikální výztuž. Na nezakrytou část prutu se nanese další vrstva zálivky, drážka se nakonec zakryje tkaninou. Po zatvrdnutí malty (okolo 14 dnů) lze tkaninu odstranit a provést novou omítku. [5] [3]

SANACE TRHLINY V NADPRAŽÍ OKEN- stehování ocelovými sponami



Obr.116 Sanace trhliny pomocí ocelových spon

SANACE TRHLINY V NADPRAŽÍ OKEN- HELIFIX



Obr.117 Sanace trhlín pomocí helikální výztuže

8.4. NÁVRH SANACE TRHLIN VE VODOROVNÝCH KONSTRUKCÍCH

U trhlín v klenbě existují dva přístupy. První přístup říká, že když v klenbě vznikne po překročení tahové pevnosti zdiva tahová trhlinka, tak i po sanaci vznikne znova, proto doporučuje trhlínu vyklínovat a doplnit vápennou maltou. Druhý přístup se snaží o redistribuci tahového namáhání do co největší plochy, aby trhlinka nevznikla. Možné je použít metodu stehování stejné jako v předchozí kapitole s helikální výztuží kolmo na trhlínu do předem vytesané drážky v líci klenby. Doporučuje se vystřídat vzdálenosti alespoň na šíři poloviny cihly – aby nedošlo porušení vlivem soustředění napětí v jedné linii. Vzhledem ke štukové výzdobě však použití helikální výztuže nepřipadá v úvahu. **CFRP tkaniny** ovšem takovou překážkou nejsou, drážky jsou podstatně méně hluboké a nenaruší tolik původní konstrukci. Drážka se musí důkladně vyčistit, aby bylo možné tkaninu lepit epoxidovým lepidlem a přilnout k povrchu klenby. Na tkaninu je v dalším kroku proveden adhezní můstek, aby bylo možné nanést jádrovou omítku. Po provedení tkaniny se trhlinka vyklínuje a vyplní se vápennou maltou, následně se štuková výzdoba zrestaurouje. [5]

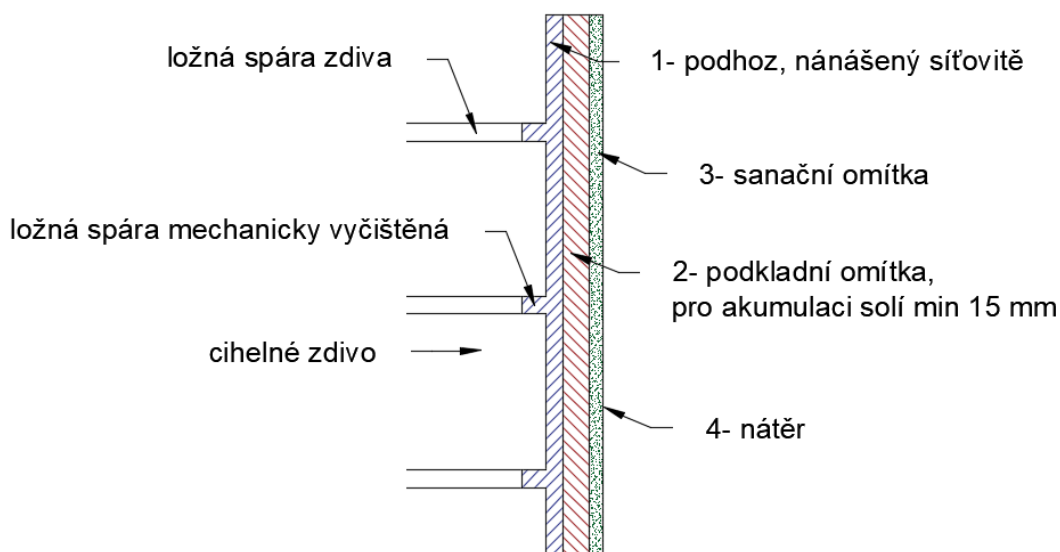
8.5. NÁVRH SANACE SALINITY

Z výsledků průzkumu salinity byl prokázán vysoký obsah solí především síranů a dusičnanů. V místech vyznačujících se vysokou salinitou je provedení klasických omítek problémem a je nutné navrhnout opatření, které obsah solí sníží.

První možností odsolení je varianta, kterou doporučují často památkáři. Princip je jednoduchý, na stěnu se nahodí přibližně 4 cm hrubé speciální vápenné malty. U ní se do pórů začnou usazovat soli a až dojde k jejich zaplnění tak se vrstva odstraní. Následně se tento postup opakuje, než dojde k požadovanému snížení obsahu solí.

Druhou možností je aplikace sanační omítky, která splňuje fyzikální a technické požadavky uvedené ve směrnici **WTA 2-2-91** a je dle této směrnice certifikována. Sanační omítky jsou vhodné pro omítání vlhkého a zasoleného zdiva. Od běžných omítek se liší vysokým obsahem pórů a otevřeným systémem pórů, v jehož důsledku soli

nekrystalizují na povrchu, ale do nitra sanační omítky. Sanační omítka je zároveň vodoodpudivá, nenasákavá a umožňuje i odpařování vlhkosti ze zdiva. Sanační omítka se skládá ze tří (nebo dvou u méně poškozeného zdiva) typů omítkových vrstev podhozu, podkladní omítky a sanační omítky. Podhoz se nenanáší celoplošně ale síťovitě a jeho hlavním požadavkem přilnavost k podkladu a odolnost vůči solím. Podkladní omítka má tloušťku 15 mm a slouží jako akumulární vrstva pro usazování solí. Poslední vrstva – sanační omítka zajišťuje povrch bez výkvětů solí a poruch. Celková tloušťka této omítky je třívrstvé omítky od 25 mm do 50 mm. Při aplikaci sanační omítky je nutné počítat s tím, že soli nikam nezmizí, ale budou se usazovat. Živnost této omítky závisí na celkové tloušťce, vzhledem k vysoké salinitě však nelze očekávat dlouhou životnost ani při větší tloušťce. Po určité době by bylo potřeba sanační omítku provést znova. Třetí možností je využít elektroosmotické metody (8.6.). [5] [24]



Obr.118 Skladba sanační omítky

7.3. SANACE VLHKÉHO ZDIVA

Při měření vázkovou metodou byla potvrzena vysoká vlhkost ($> 10 \%$) ve zdivu, z tohoto důvodu je potřebné navrhnout vhodnou sanační metodu. Požadavkem pro jakoukoliv metodu je zamezení opakovaného výskytu vlhkosti, kterému předchází omezení zdrojů a příčin vlhkosti. Přímá sanační metoda musí být doplněna dalšími opatřeními, které omezí dotaci vlhkosti z vnějšího okolí. Mezi tyto opatření doplňující přímou sanaci patří účinný odvod srážkové vody ze střechy mimo objekt, odvodnění terénu, provedení drenážního systému zajišťujícího od základového zdiva a odstranění nepropustných venkovních vrstev (například nepropustného soklu). Odstranění vzlínající vlhkosti je i ohledem na památkovou ochranu obtížné zvolit.

Metodu vytvoření bariéry ve zdivu vložením nepropustného materiálu lze považovat dlouhodobě jako nejspolehlivější a zároveň nejúčinnější sanaci nadzemního zdiva. U podzemního zdiva, pak v případě, že není dostatečně odolné proti působení vlhkosti, dochází k rozpadu (především pojiva) a znehodnocení základových konstrukcí (snížení pevnosti). Protože se jedná z většiny o smíšené cihelné a kamenné zdivo se jeho podříznutí musí provést diamantovým lanem za stálého chlazení lana stálým přívalem vody (tedy se zdivo dotuje vodou). Do zdiva po vyčištění spáry se vloží požadovaný typ hydroizolace. Hlavní důvody, proč tuto metodu nelze použít je působení dynamických sil na klenební konstrukci a její nepřipustnost z hlediska památkové ochrany – jedná se o závažný zásah do konstrukce.

Další možné sanační opatření vytváření infuzní clony funguje na podobném principu jako předchozí metoda. Jedná se o přerušení kapilárního vzlínání a omezení difúze vodních par skrz pórovým systémem zdiva. Pro vytváření hydroizolační clony se rozlišují tři typy injektážních prostředků – utěšňovací, hydrofobizační a kombinované. Pro jejich konkrétní použití je důležitá především vlhkost a velikost pórů. Do vlhkosti $w_{hm} 5-7 \%$ lze použít jednosložkové hydrofobizační přípravky, při vlhkosti $w_{hm} > 10 \%$ je účinné použít dvousložkovou injektáž (hydrofobizační a utěšňovací), při ještě vyšší vlhkosti (okolo 11%) je doporučeno vysoušení zdiva pomocí elektrických topných tyčí – termické předsušení. Použití této metody je též limitováno velikostí pórů $r < 10^{-7}$, kdy infuzní metoda nelze použít. Další omezení u této metody nastává oslabení zdi vlivem početných injektážních vrtů – je nutné staticky posoudit oslabenou konstrukci. Počet vrtů lze snížit provedením tlakové injektáže, která má i menší průměr vrtů a větší rozsah

naproti injektáži beztlakové. U historických staveb se provádějí ideálně maloprofilové jádrové vývrty, které se pak vracejí zpět do otvoru. U použití injektážních látek je nutné z památkového hlediska brát ohled, aby vybrané látky nevytvářeli na fasádě jiný barevný odstín nebo solné výkvěty, jak je to u **methylosilikonátů**. Komplikací je neznalost pórového systému, která tuto metodu limituje. Sanace provedením infuzní clony patří mezi méně spolehlivé, které vyžadují pro své fungování kombinaci s odlišnými opatřeními.

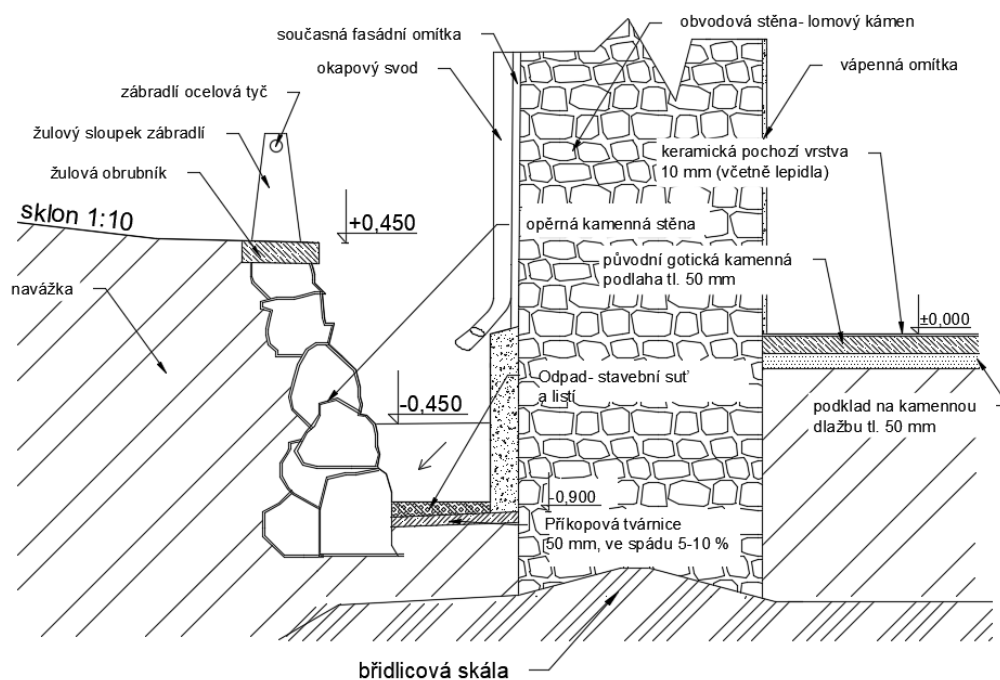
Další možné sanační opatření jsou elektroosmotické metody. Obecně se jedná o zabudování kladných elektrod – anody umístěné v nadzemním zdivu a elektrod záporných – katody v zemi tak, aby se pomocí elektrického pole nadměrná vlhkost „posouvala“ do určených oblastí a potlačovala vztlínající vlhkost. S přibývajícím obsahem vody ve zdivu se zdivo stává elektricky vodivější, a naopak – při vysušování se zvyšuje elektrický odpor. V normě ČSN / 73 0610- Hydroizolace staveb je zakotven pouze jeden typ elektroosmotické metody – aktivní elektroosmózy. Jedná se o dvoufázový sanační systém, u něhož v první fázi dochází k odsolení a předsušení zdiva. Ve druhé fázi se vytváří aktivní elektroosmóza bariéru proti kapilární vztlínající vlhkosti. Na zdi v určené výšce se položí velkoplošné prvky sloužící jako anody, ty se dále omítnou. Pro katody se používají speciální tyče o průměru \varnothing 30 mm uložené do vývrtů v pravidelně rozmístěných řadách. Vývrty jsou po vsazení tyčí vyplněny vodivou hmotou. Tato metoda vykazuje větší spolehlivost u zdiva menší tloušťky (500-700 mm) a aktivní napojení k elektrické síti. Účinnost této metody je diskutabilní a do nynější doby nejsou jasné a přesné instrukce pro její použití, proto je její použití spíše jako doplňkové a nejisté sanační opatření.

Další alternativou je provést sanaci vzduchovými dutinami. Tato metoda je výhodná zejména proto, že se jedná o demontovatelnou neinvazivní sanaci, která se i historicky u některých typů staveb již užívala (klášter v Plasech). U této metody je přerušen přímý styk svislých nosných konstrukcí a zeminy a tím i omezen přenos vlhkosti do zdiva. Účinnost této metody je úměrná velikosti dutiny, která čím je větší tak zvyšuje difúzi vodních par a odpařování z povrchu konstrukce, avšak vyžaduje jistou intenzitu proudění suchého vzduchu. Systém má dvě základní alternativy, otevřený a uzavřený systém. Otevřenému systému se říká anglický dvorek, je tvořen opěrnou stěnou odsazené od exteriérové stěny objektu a dnem. Jedná se o se otevřenou konstrukci, u které musí být odváděna srážková voda. Uzavřený systém se skládá ze čtyř stran, naproti anglickému

dvorku je zakrytý stropní deskou. U této metody existují dvě možnosti proudění vzduchu. První varianta je využít takzvaného komínového efektu, kde převýšení mezi vstupem (nádech) a výstupem (výdech) zajistí nezbytný pohyb vzduchu. Druhou možností je umělé větrání – například pomocí ventilátoru. Velikost intenzity vzduchu je potřeba ověřit výpočtem s ohledem na teplotu vzduchu, tlakovém rozdílu v odlišných ročních obdobích, vlhkosti venkovního vzduchu. Dle odborné literatury jsou vzduchoizolační metody vhodné pro snížení vlhkosti w_h 4-7 % a využívají se jako doplňková sanační metoda. Funkční alternativou vzduchových dutin je provětrávaná podlaha například z Iglú tvarovek. Tato metoda nebyla navržena kvůli původní kamenné historické podlaze a pravděpodobně krytě pod podélnou lodí.

Původní řešení odvodu vlhkosti bylo již částečně řešeno v předchozích kapitolách (poruch a průzkumu vlhkosti). Vysoká vlhkost je dotována zejména nefunkčními svody, nevhodnou profilací terénu a zanedbané údržbě odvodňovacího příkopu. Původní řešení (na jižní straně) rovněž neřeší ochranu zdiva od průtoku příkopem. Voda proto protéká skrz obvodovou stěnu a zvyšuje podstatně vlhkost zdiva a konstrukce. [5] [4] [9]

PŮVODNÍ VARIANTA



Obr.119 Původní varianta odvádění vody od objektu

8.6. NÁVRH POSTUPU SANACE VLHKOSTI

Návrhové řešení pro sanaci vlhkosti má tři varianty, které se skládají z několika výše zmíněných sanačních opatření.

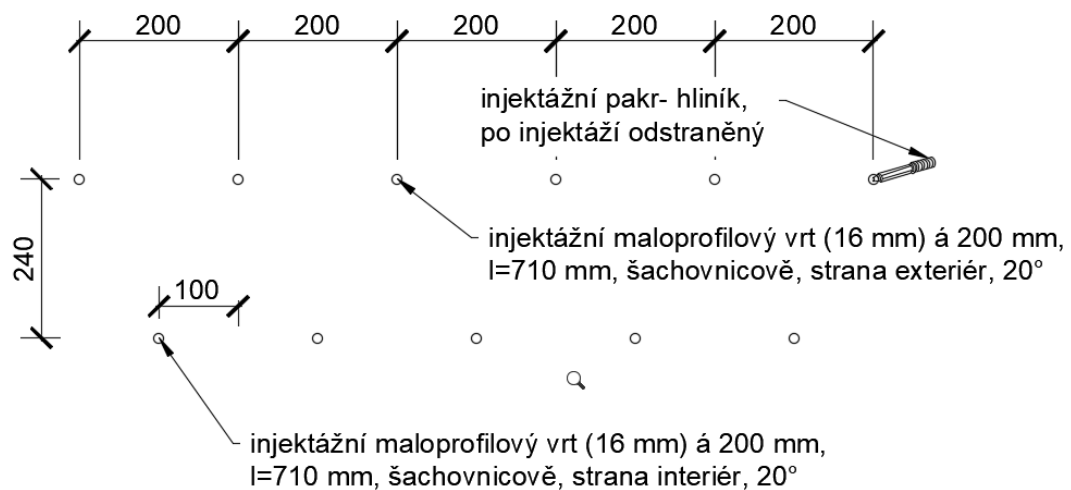
První varianta kombinuje princip vzduchových dutin s injektážní chemickou clonou. V prvním kroku se provedou ručním výkopem jednotlivé větve venkovních větraných štol po obvodě kostela. Profil odvětrávacího kanálu by měl být široký minimálně 400 mm a vysoký od 800 mm do 1700 mm. Do připravených rýh se zhotoví vyrovnávací podsyp ze suchého betonu v tloušťce 50 mm, na nějž bude vybetonována podkladová betonová deska tloušťky 80 mm. Odsazená stěna může být vyzděna buď z kanalizačních tvarovek CKa, klinkerových cihel, nebo tvárnic ztraceného bednění na podkladní desku. V jižní části vzhledem k vysoké výšce svahu bude mít vyzděná předstěna funkci i opěrnou – je proto potřeba její ohybová únosnost. Proto je vhodné použít tvárnice ztraceného bednění, která budou zároveň vyztuženy betonářskou výztuží B500b a navrženy na namáhání od zemního tlaku. Tvárnice budou zaplněny betonem z minimální pevnostní třídy C20/25 XC2 vzhledem k agresivitě prostředí. Z povrchu stěn se odstraní část povrchové soklové vrstvy i hlazená štuková omítka do výšky větrané štoly pro zvýšení difúze a odvětrání stěn. Zakrytí se provede prefabrikovanou železobetonovou deskou, která bude kotvena (na straně obvodové stěny) do ocelového nerezového profilu tvaru L, který bude připojen do stěny kostela nekorodujícími šrouby průměru \varnothing 8 mm a délky 100 mm. Šachty pro nadechovací otvory budou zděné, rozdělené do několika větví na sobě nezávislých větví. Protože vzduch volí jen cestu s nejmenším odporem je zbytečné mít pro jednu větev více přírodních šachet. Otvor pro nádech se musí zvolit takový, aby jímal chladný a suchý vzduch. K tomu je vhodná severní a východní strana objektu přibližně 20 cm nad terénem. Vývod pro výdech veden po fasádě až k úrovni střešního pláště, k tomuto účelu je navržen falešný „dešťový svod“ z mědi. U vrcholu bude měděná trubka chráněna ventilační turbínou.

Aby byl odvod vody účinný a sanace měla smysl je nutné doplnit štoly o drenážní systém. Pro drenážní systém musí být původní výkop širší o 300 mm, do tohoto rozšíření se vloží geotextílie vyšší gramáže (500) na kterou se vsype 100 mm propustného kameniva frakce 32/64 mm (šterk, prané říční kamenivo). Do takto připraveného výkopku se vloží celoperforovaná drenážní trubka DN 150 mm ve spádu. Proplachovací, kontrolní a sběrná PVC-U šachta s lapačem písku bude umístěna ve stykách jednotlivých větví

(tedy v rohách budovy). Odvod této vody musí být mimo objekt, ať již do veřejné kanalizace města, nebo do retenční nádoby na kraji pozemku.

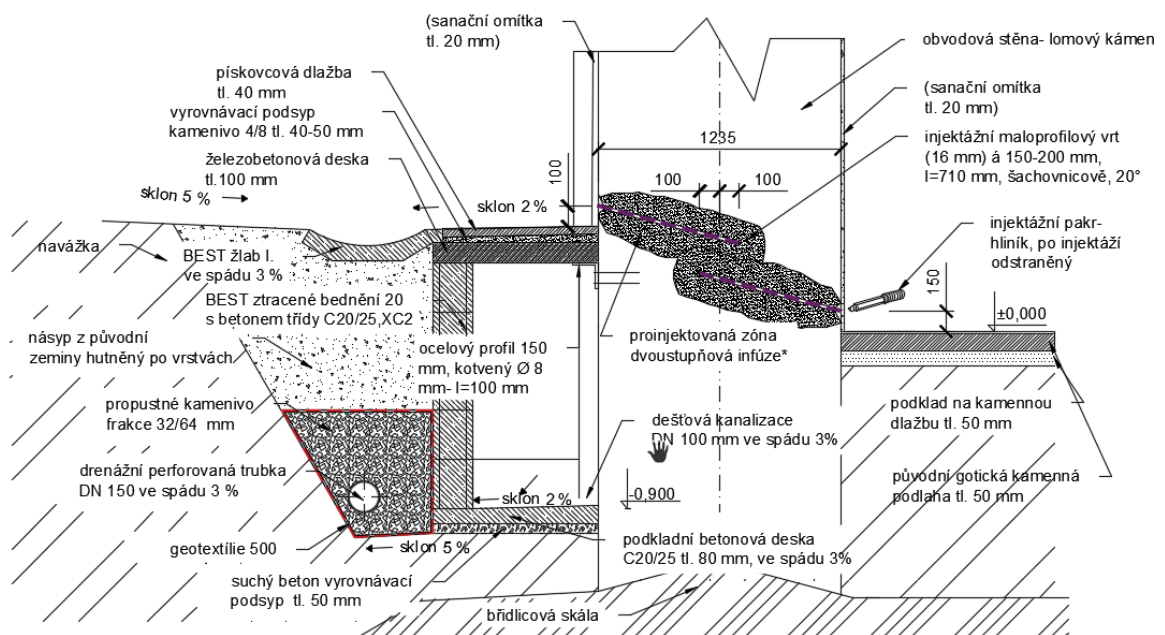
Aby došlo k požadovanému snížení vlhkosti na požadovanou hodnotu 3-5 % musí být toto opatření snižující vlhkost do 6 % doplněno v kombinaci s dalším sanačním opatřením. Jak již bylo zmíněno varianty jsou dvě: injektážní chemické clony, nebo elektroosmózy. Pro provádění chemické injektáže je nutné z důvodu velké tloušťky stěny injektovat oboustranně. Protože se jedná o historickou památku tak se doporučuje použít tlakovou injektáž s maloprofilovými vrtvy s co nejmenším zásahem do konstrukce kostela. Vrtvy z exteriérové strany se navrtají ve výšce přibližně 10-30 cm nad konečnou výškou obvodového chodníčku. V interiéru se vrtvy provedou v úhlu 15-20 ° přímo nad podlahou. Vhodná by v tomto případě byla dvoustupňová šachovnicová injektáž (dvě řady nad sebou). Provedení jednostupňové injektáže je z hlediska provádění komplikované (injektážní látky by mohla vytékat, prostor pro injektážní pistoli je omezen). Vzdálenost vrtů bude dle konkrétního výrobce, v případě tlakové injektáže se osová vzdálenost vrtů může zvýšit. Do vrtů se osadí injektážní ventily a pomocí injektážního čerpadla se napustí vhodným injektážním prostředkem, v tomto případě je vhodná dvoustupňová infúze z důvodu vysoké vlhkosti (v místech kde je $w_h > 11$ % předchází termické předsoušení). Konkrétní injektážní látku a její případné použití je nutné probrat s památkovým ústavem a výrobcem injektážní látky. Obecně se používají hydrofobizační clony například od značky Remmers Kiesol, Kiesol IK, Injektionscreme, nebo od společnosti Trumf AquaStop Cream. Tyto přípravky jsou siloxanový mikroemulzní mísitelné s vodou, bez rozpouštědel splňující směrnici WTA 4-4-04. Pro injektážní těsnící hmoty lze navrhnout polyuretanové nebo akrylátové pryskyřice od společnosti Sika například Injection-201 CE, Injection-203, Injection-304, případně od Stado – Stado PurInjekt Stop.

ŠACHOVNICOVÁ INJEKTÁŽ



Obr.120 Šachovnicová injektáž

VARIANTA VZDUCHOVÁ DUTINA S INFÚZNÍ CLONOU

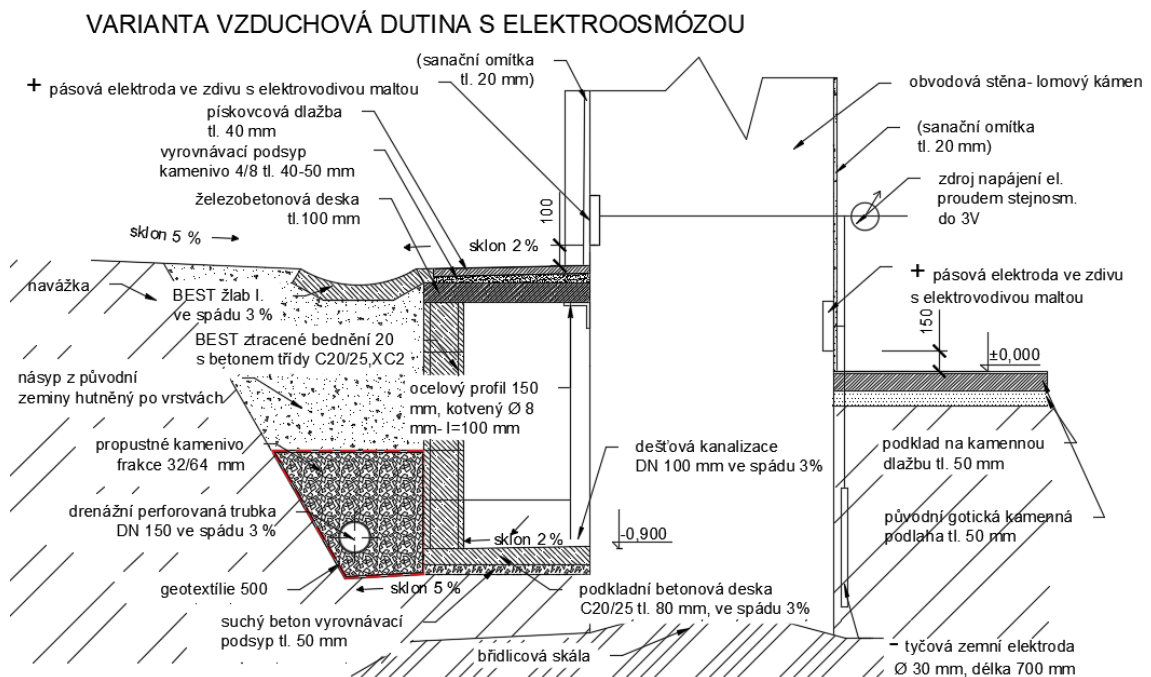


* injektáž bude provedena 5. měsíců po provedení drenáže a vzduchových dutin, pak se dle výsledků vlhkosti navrhne stupeň injektáže a její složení, případně pokud hodnota vlhkosti ve zdivu klesne pod < 5 % injektáž nebude provedena

Obr.121 Varianta kombinující vzduchovou dutinu a injektáž

Druhou možností je použít některou elektrofyzikální metodu, jejíž předností je zabránění usazování solí na povrchu a zatlačení vlhkosti směrem k zemi záporné elektrodě. Vzhledem k tomu, že nesmí obsah soli přesáhnout 1 % je tato metoda v první

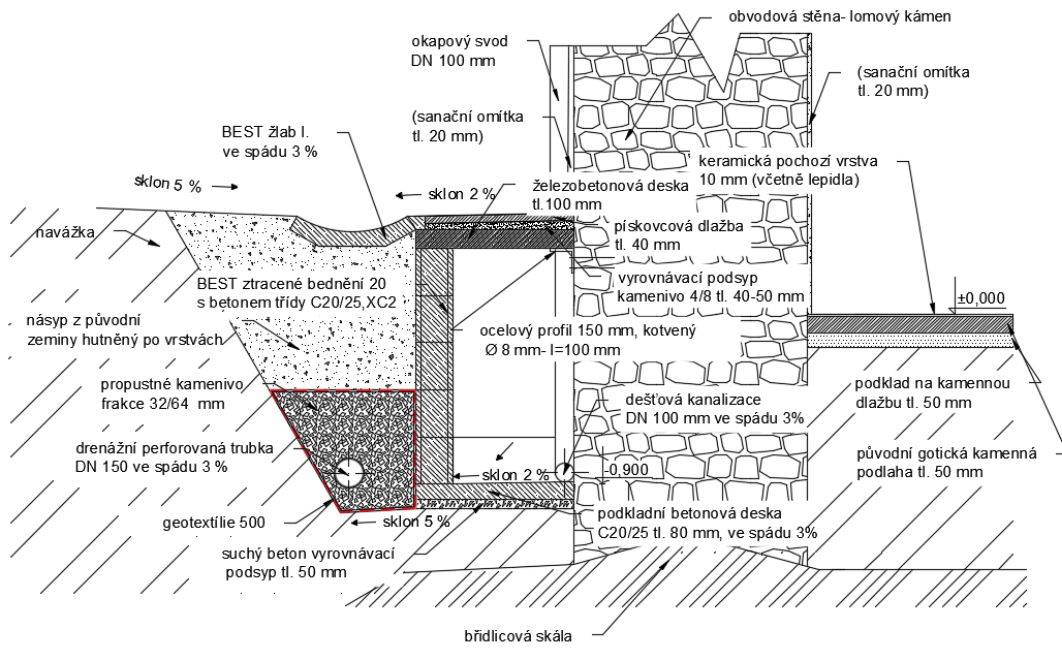
fázi pro sanaci vlhkosti neúčinná a nevhodná, ale lze ji použít k snížení obsahu solí v první fázi, ve druhé pak dochází ke snížení vlhkosti. Před započítím sanačních prací se odstraní solemi prosycené omítky a vyškrábnou se hloubkově spáry. Princip odsolování používá princip elektroforézy. Účelem elektrod, které jsou napájeny stejnosměrným elektrickým proudem, je přitáhnout a absorbovat soli ze zdiva. Shromážděné soli vznikají mezi postříbeným měděným lankem a pláštěm z elektricky vodivého plastu. Elektrody jsou válcové o průměru \varnothing 30-40 mm a jsou schopny přijmout až 500 g solí, po jejich zasolení je možné je vyměnit. Pro vyšší účinnost je vhodné použít pro anodu po celé délce skleněné pásy s grafitovým lakem z obou stran příslušné stěny. Pro řídicí přístroj není potřeba obsluha a je dobré přístroj umístit se do prostoru blízko elektrických rozvodnic.



Obr.122 Varianta kombinující vzduchovou dutinu a elektroosmózy

Třetí varianta se oproti první a druhé variantě liší pouze v tom, že se provede pouze vzduchová dutina v kombinaci s drenážním systémem a vhodným spádováním terénu. Tato varianta ve skutečnosti předchází injektáž a elektroosmotické metodě. V případě, že by vlhkost klesla na požadovanou hodnotu (jedná se o historickou budovu, takže požadavek na $w_h < 3\%$ je příliš přísný, proto navrhuji hodnotu $< 5\%$) bylo by další opatření nákladné a prakticky zbytečné.

VARIANTA VZDUCHOVÁ DUTINA BEZ DALŠÍ PŘÍMÉ SANAČNÍ METODY



Obr.123 Varianta základní pouze s vzduchovou dutinou

7.4. SANACE ZÁKLADOVÝCH KONSTRUKCÍ

V kapitole poruch byl uveden jako možný důvod porušení svislých nosných konstrukcí rozdílným sedáním presbyterní barokní dostavby naproti gotické původní části. Předpokládaný důvod tohoto sedání je především rozdílné mechanické vlastnosti podloží. Sedání však může být způsobeno i trvalým podmáčením základové spáry, proto by k sanaci a jejímu návrhu mělo dojít až po provedení ztažení objektu, opravě krovu a sanaci vlhkosti společně s odvodem dešťové vody od objektu. Pokud by i nadále vznikaly poruchy a trhliny je potřeba provést sanační opatření základových konstrukcí.

Není možné určit přesný typ základové konstrukce, protože nebyly dodnes provedeny kopané sondy pro zpřístupnění základů. Lze však předpokládat stejný typ založení jako v okolních církevních památkách, u nichž základy vidět byly. Pravděpodobně se jedná o prostě naházené lomové kamenivo spolu s vápenou nekvalitní maltou do předem připraveného výkopu (širšího než stěny), nicméně je nutné tento předpoklad potvrdit. Proto před návrhem konkrétního sanačního opatření je po obvodě ručně vykopat sondy pro zjištění hloubky založení a materiálu základů. Mezi používané metody sanace základových konstrukcí budov patří trysková injektáž, podchycení základů mikropilotami, konsolidace základové zeminy nebo rozšíření. Rozšíření základové konstrukce zvyšuje únosnost, avšak u stlačitelných zemín může vyvolat zvětšené sedání- což by v tomto případě konstrukcí přitížilo. U podchycení základů mikropilotami se vyžaduje jistá soudržnost základů, což nebývá případ základu vhazovaného lomového kamenivo, proto tato metoda není vhodná. Trysková injektáž se jeví jako vhodná metody, neboť zlepšuje soudržnost základových konstrukcí a zvyšuje únosnost geologického podloží. Její princip spočívá v tom, že je zemina rozpojována injekčním paprskem a současně smíchána s injekční cementovou směsí. Podél injekčního vrtu se díky otáčením trysek současně s plynulým vytahováním vytváří pilíř injektáží zpevněné zeminy strukturou podobný betonu. Výhodou je, že dojde v blízkosti injektovaného sloupu ke zpevnění základů a ke komprimaci a konsolidaci zeminy. Teoretické provádění tryskové injektáže by bylo pouze z vnější strany stěn presbytáře. Pro schválení této metody a případně injektážní směsi je nutná konzultace s památkovým úřadem a jedná se o poměrně drahou metodu, která není vhodná pro aplikaci na venkovský kostel.

9.0. METODA KONEČNÝCH PRVKŮ

9.1. MKP

9.1.1. Úvod do MKP

V této práci bylo pro modelování krovní konstrukce a klenby využito statický program SCIA Engineer, která pro výpočet používá metodu konečných prvků. Pro prezentaci výsledků vzniklých touto metodou považuji za nutné tuto metodu krátce vysvětlit.

Metoda konečných prvků (Finite element method) je metoda nejčastěji užívaná, systematická a univerzální metoda pro numerické řešení problému mechaniky. Tato metoda vznikla již v roce 1943, kdy matematik Courant položil matematický základ MKP. Obecně existují tři typy variant MKP: **deformační** (založená na posunech), silová (řeší úlohu v napětích) a hybridní využívající kombinaci předchozích. Program SCIA Engineer využívá deformační variantu MKP založenou na principu virtuálních **posunutí**. Výpočetní model hledá funkce deformace, tak že rozdělí dané těleso pomocí uzlů na **konečný počet prvků** vybraného tvaru.

Program nalezne funkce mezi posuny v uzlech a v libovolném místě prvku pro každý prvek dané soustavy. Po zavedení vnějších sil (zatížení prvku) se vypočte energie (pro pružné těleso) jako rozdíl energie vnější virtuální práce a energie vnitřní práce, ze které lze vyjádřit aplikací Lagrangeova variačního principu minimum energie a ze kterého se určí deformační posuny jednotlivých bodů. Z těchto bodů lze vyjádřit tenzory přetvoření, ze kterých lze následně určit složky napětí.

[16] [17].

9.1.2. Postup pro MKP

1) CAD Model

2) Diskretizace modelu

Diskretizací se nazývá nahrazení nekonečného objemu modelu konečným počtem prvků, resp. uzlových bodů.

3) Pro každý diskretní bod získáme 3 rovnice - pole posuvů do všech směrů (x,y,z) a snažíme se spočítat pole deformací (6 rovnic) a pole napětí (6 rovnic)

Základní rovnice a neznámé pro výpočet MKP (fyzikální, geometrické, parciální diferenciální rovnice rovnováhy)

3 funkce posunutí – u_x, u_y, u_z ; které vyjadřují posun konstrukce ve směrech x, y, z

6 funkcí deformací – $\varepsilon_{xx}, \varepsilon_{yy}, \varepsilon_{zz}, \varepsilon_{xy}, \varepsilon_{yz}, \varepsilon_{zx}$; které zaznamenávají normálové a smykové deformace ve směrech xx, yy, zz, xy, xz, yz

6 funkcí napětí – $\sigma_{xx}, \sigma_{yy}, \sigma_{zz}, \sigma_{xy}, \sigma_{yz}, \sigma_{zx}$; které stanovují normálová a smyková napětí ve směrech xx, yy, zz, xy, xz, yz

4) Nahrazení funkce posuvů polynomem a vyjádření funkce posuvů

5) Zavedení okrajových podmínek

6) Výpočet soustavy lineárních algebraických rovnic

7) Výpočet deformací a napětí pro jednotlivé uzlové body

8) Většinou grafické zobrazení na modelu s výpisem důležitých hodnot

[18]

Lokalizace

Program, aby našel řešení soustavy rovnic sestavuje globální soustavu rovnic (Master stiffness equation). Před určením okrajových podmínek tato soustava rovnic řeší vztah mezi uzlovými silami f a styčnickovými posuny r celé konstrukce. Výsledná soustava má vztah $f = K \cdot r$ (K je globální matice tuhosti). K lokalizaci prvků z globální matice tuhosti se užívají kódová čísla. Prvním číslem v tomto kódování je síla, druhým deformace (u, w, φ). Například pro oboustranně vetknutý prvek platí při zápisu $K(2, 5)$ platí, že 2 je posouvací síla v prvním bodě od jednotkového posunu w v druhém bodě.

9.1.3. Výhody a nevýhody MKP

Mezi výhody především patří: 1) Zkrácení vývojového času, 2) Snížení výrobních nákladů na zavedení do výroby, 3) Zvyšování kvality, 4) Inovace a dodržování norem,

Nevýhodu metody konečných prvků je: 1) výsledkem je pouze přibližné řešení jehož přesnost je ovlivněna diskreditací (volbou typu MKP, velikosti jednotlivých prvků), 2) nepředpokládá reálné chování materiálu, 3) neuvažuje s proměnlivou tuhosti prvku během zatěžování (vznik trhlin – snížení tuhosti). [18]

9.1.4. Typy MKP

V rovině je základní prvek čtyřúhelník, v prostoru pak šestistěn (anglicky se užívá termín brick = kostka). V některých případech lze použít i zjednodušené tvary prvku jako trojúhelník v rovině a čtyřstěn v prostoru. Rohy těchto prvků a otvory, případně další důležitá místa, jsou uzlovými body, v nichž se určují neznámé hodnoty posuvů. Strany (hran) prvků vytvářejí síť, jejíž hustota je rozhodující pro přesnost výsledků. Hraný prvků jsou u lineárních prvků přímé, u kvadratických prvků lze realizovat i zakřivené. Kvadratické prvky se liší od lineárních prvků tím, že mají kromě rohových uzlů ještě další uzly uprostřed stran (resp. hran). V rovině je prvek osmiuzlový a v prostoru prvek (brick) dvacetiuzlový. Při diskreditaci s hrubou sítí je při použití lineárních prvků chyba mnohem větší než při použití prvků kvadratických.

Dělení prvků v rovině

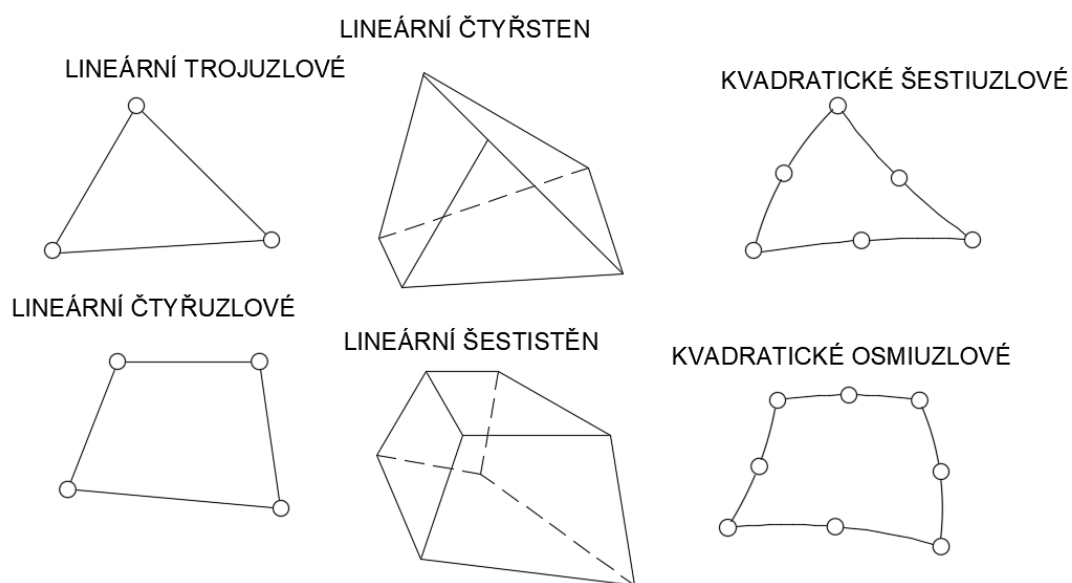
Lineární trojuzlové

Lineární čtyřuzlové

Lineární víceuzlové

Kvadratické osmiuzlové

Kvadratické víceuzlové



Obr.124 Typy prvků MKP

9.1.5. SCIA pro prutové konstrukce

Program SCIA Engineer umožňuje v současnosti počítat prutové a plošné konstrukce. Pro klasický prutový prvek, který je zatížen normálovou, posouvací síly, ohybovými, případně kroutícími momenty vzniká pouze posun $u_{(x)}$, pootočení q , průhyb $w_{(z)}$ a $v_{(y)}$. Pro tyto neznámé pak dále vyjádří náhradní deformační funkce, ze které vznikne 12 řádů matice tuhosti.

9.1.6. SCIA pro plošné konstrukce

U plošných prvků (mezi něž skořepiny jistě patří) u geometrického dvojrozměrného modelu je neznámých podstatně více, jde o neznámé parametry deformací v každém uzlu, tedy za předpokladu 4 deformací (stejných jako v předchozím případě). Při modelování této konstrukce je třeba na hranicích prvku a specifických oblastech (otvory) síť MKP zahustit. Co týče hustoty sítě, tak příliš jemná síť vede k singularitám a hustá k nepřesným výsledkům. Optimální velikost se považuje přibližně rovná tloušťce uvažované konstrukce, tedy v případě posuzované klenby 300 mm. Problematické pro posuzování je, že zobrazovaná napětí jsou stanovena výpočtem podle teorie pružnosti předpokladu plného působení prvků v tahu a pro zděné konstrukce je tedy jejich použití omezené. Základní napětí jsou hodnoty normálových a smykových napětí v systémových osách x a y na kladném a záporném povrchu plochy ve směru osy z . Vysvětlení hlavních napětí viz níže. [7]

Hlavní napětí

σ_{1+} = maximální hlavní napětí na kladném

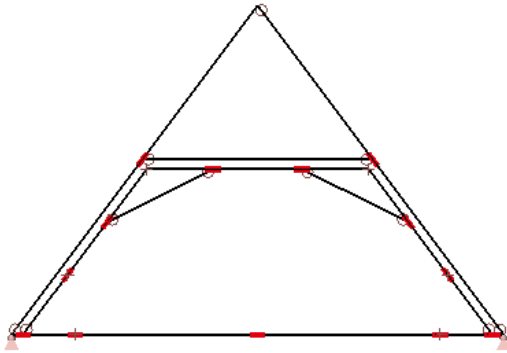
σ_{2+} = minimální hlavní napětí na kladném povrchu

σ_{1-} = maximální hlavní napětí na záporném povrchu

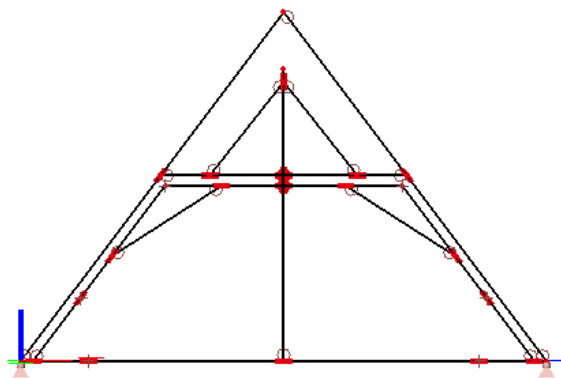
σ_{2-} = minimální hlavní napětí na záporném povrchu

9.2. VÝSLEDKY ZE SCIA ENGINEER

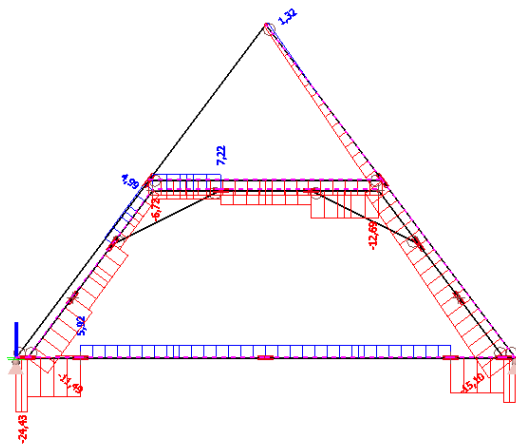
9.2.1. Krov



Obr.125 Vlevo bezvěšadlový 3D model, plná vazba

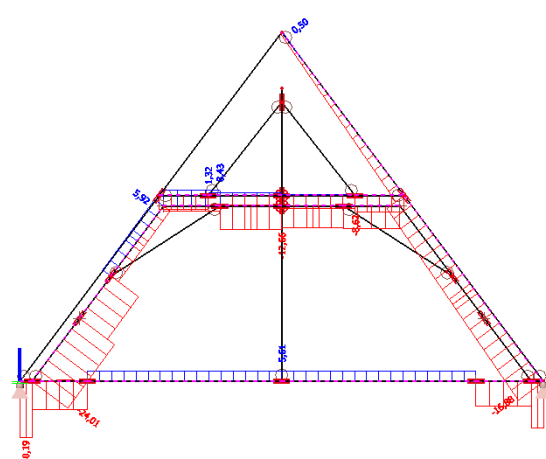


Obr.126 Vpravo věšadlový 3D model, plná vazba

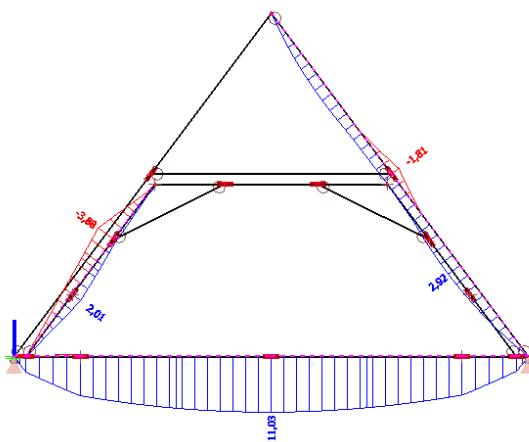


Obr.127 Bezvěšadlový model N (kN)

3D

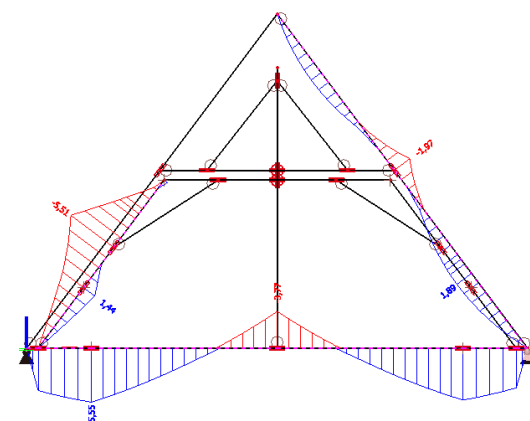


Obr.128 Věšadlový model N (kN)

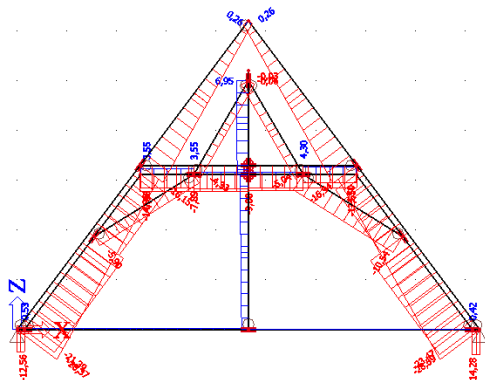


Obr.129 Bezvěšadlový model M (kN*m)

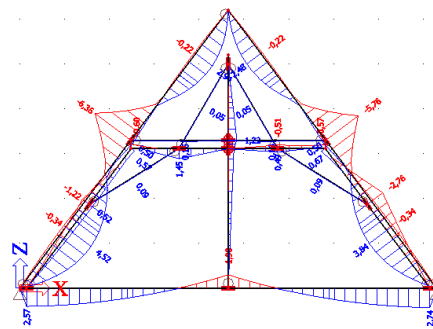
3D



Obr.130 Věšadlový model M (kN*m)



Obr.131 Věšadlový model M (kN*m) 2D



Obr.132 Věšadlový model M (kN*m)

Tabulka srovnání modelů:

TABULKA POROVNÁNÍ MODELŮ

Název Modelu	Prvek [-]	N_{ed} [kN]	M_{ved} [kN*m]	w [mm]	Veličina	2D [%]	3D- VĚŠ [%]
2D + VĚŠ	Hambálek	-14,96			N	42,51	-27,98
3D+ VĚŠ		-8,6			M		
3D- VĚŠ		-6,72			w		
2D + VĚŠ	Vazný trám	0,53	2,74	0,9	N	-960,38	5,07
3D+ VĚŠ		5,62	5,53	1,1	M	-101,82	99,46
3D- VĚŠ		5,92	11,03	14,4	w	-18,18	1209,09
2D + VĚŠ	Rozpěra stolice	-9			N	-41,11	-0,08
3D+ VĚŠ		-12,7			M		
3D- VĚŠ		-12,69			w		
2D + VĚŠ	Krokev	-28,39	-6,36		N	40,65	-3,00
3D+ VĚŠ		-16,85	-5,76		M	9,43	-29,17
3D- VĚŠ		-16,36	-4,08		w		
2D + VĚŠ	Věšadlo	6,97			N	-20,52	
3D+ VĚŠ		8,4			M		
3D- VĚŠ					w		
2D + VĚŠ	Vzpěradlo	-23,47			N	-2,51	-109,40
3D+ VĚŠ		-24,06			M		
3D- VĚŠ		-11,49			w		
kladné hodnoty : nižší 3D věšadlo. Prvek je o X% více zatížen oproti 3D modelu s věšadlem							
záporné hodnoty : vyšší 3D věšadlo							

Vyhodnocení modelu a efektivity:

Pro posouzení působení krovní konstrukce a její efektivity byly vymodelovány 3 prutové modely s kloubovými styky. Pro porovnání byla vybrána 3. plná vazba od počátku. První model je 3D model, odpovídající stávající konstrukci dle zpracované dokumentace v příloze. Jedná se o krov, kombinující princip vzpěradla (ležaté sloupky rozpírající krov) a věšadla se vzpěrami (vynášení vazného trámu). Tento model byl zatížen zatížením od sněhu, větru, vlastní tíhy a tíhy pláště (i s ondřejskými kříži). Kombinace zatížení na MSÚ byla stanovena dle Eurokódu Souboru B a příslušná kombinace pro MSP. Podepření plných vazeb je pevné kloubové, jalových posuvné kloubové (krátčata začepována do výměny). Zatížení klimatické, sněhem a větrem je vlivem výhodné polohy z hlediska zatížení sněhem a větrem velmi malé, krov a jeho rozměry jsou předimenzované, krov je schopen přenést několikanásobně vyšší namáhání (v případě jeho dobrého stavu). Vysoký sklon zároveň takřka maximálně redukuje zatížení sněhem (sklouzává). Zároveň je krov vyroben z tesaného dubového dřeva, která má i vyšší pevnost než řezané a vzdálenost suků je místy větší jak 2 m, proto dle vizuálního zařazení je krov minimální pevnostní třídy D40.

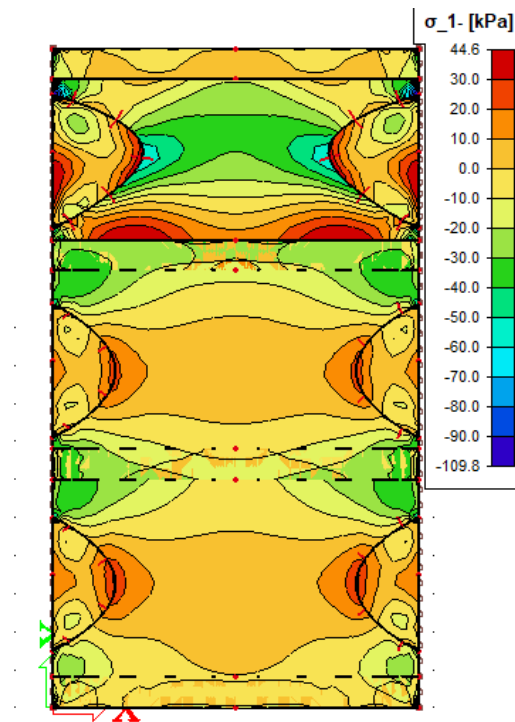
Druhý model byl navržen 3D model, nyní nekombinující zmíněné principy s pouze vzpěradlem zatížený stejnými silami a totožnými kombinacemi. Třetí model je pouze 2D s plnou vazbou odpovídající 3D modelu s věšadlem. Zatížen je ovšem tak, aby veškeré zatížení sněh, vítr, tíha pláště (kromě vlastní tíhy) přenášela spojitě pouze plná vazba (zatížena je krokev z obou stran). Toto zjednodušení, které zvyšuje nepoměrně síly především v krokvi, je částečně sníženo vlivem nezařazování vlastní tíhy prázdných vazeb z obou stran (jedná se především o tíhu krokví a vaznic).

Věšadlový model má prakticky totožné normálové síly v porovnání se bezvěšadlovým v hambálku, rozpěře, vazném trámu a krokvi. U ohybových momentů vazného trámu je rozdíl dvojnásobný, zásadním rozdílem je menší namáhání vzpěradla, které je zde méně namáháno než krokev, což není efektivní. Největší rozdíl je v průhybech vazného trámu, které jsou více než 12x vyšší. Navíc nebyla započítána „lávka“ uprostřed rozpětí, která slouží k omezenému pohybu v prostorech krovu. V případě jejího započítání a zatížení užitého (osoby) by se průhyb a momenty podstatně zvednuly a použití věšadla by bylo nevyhnutelné. Pro zadané namáhání ovšem použití věšadla otázkou, krov totiž s rezervou vyhoví i bez jeho přítomnosti.

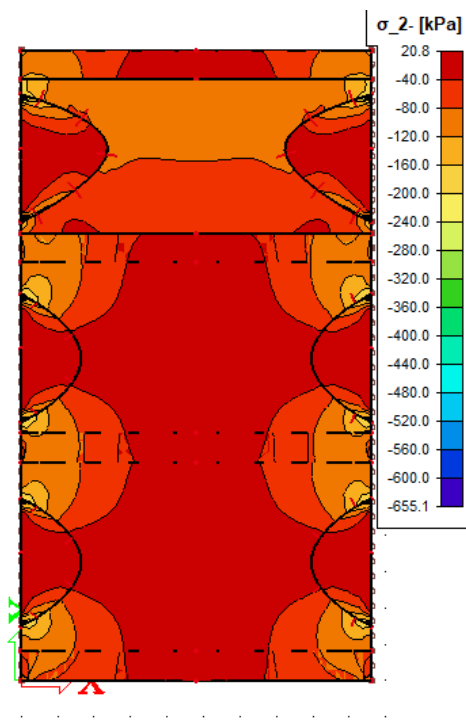
V případě srovnání 2D modelu, je vidět větší normálové síly v hambálku a krokvi (o 40% vyšší). Průhyby jsou prakticky totožné, ohybové momenty u vazného trámu jsou přibližně dvojnásobně sníženy (vlastní tíha od výměny). Podstatné se jeví stejné síly ve vzpěradle a věšadle. Ohybový moment v krokvi je pouze nepatrně vyšší (o 9%). Z výsledků je očividné, že byť je model ve 3D komplexnější a přesnější, tak i 2D model dokáže poskytnout poměrně spolehlivé výsledky, které lze použít i pro posouzení prvků s malou chybou.

9.2.2. Klenba

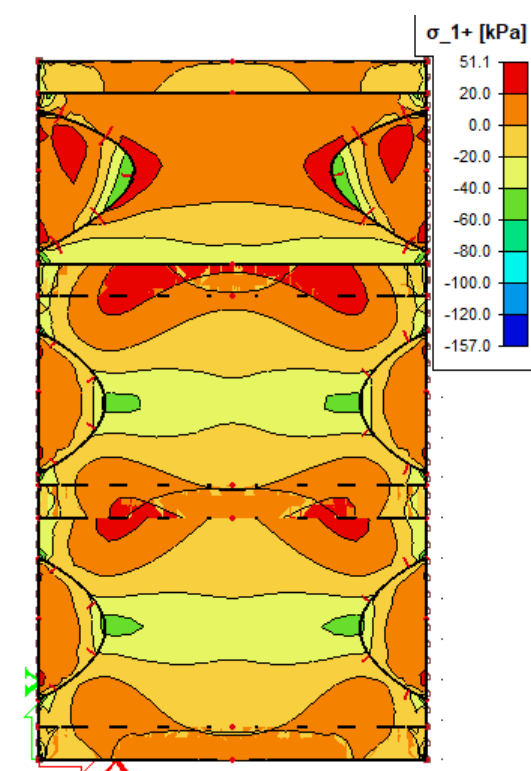
Hlavní napětí



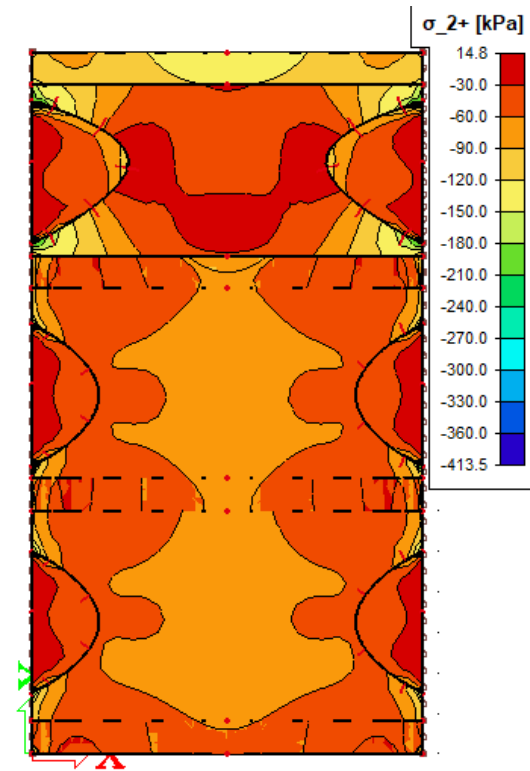
Obr.133 Hlavní napětí 1-



Obr.134 Hlavní napětí 2-

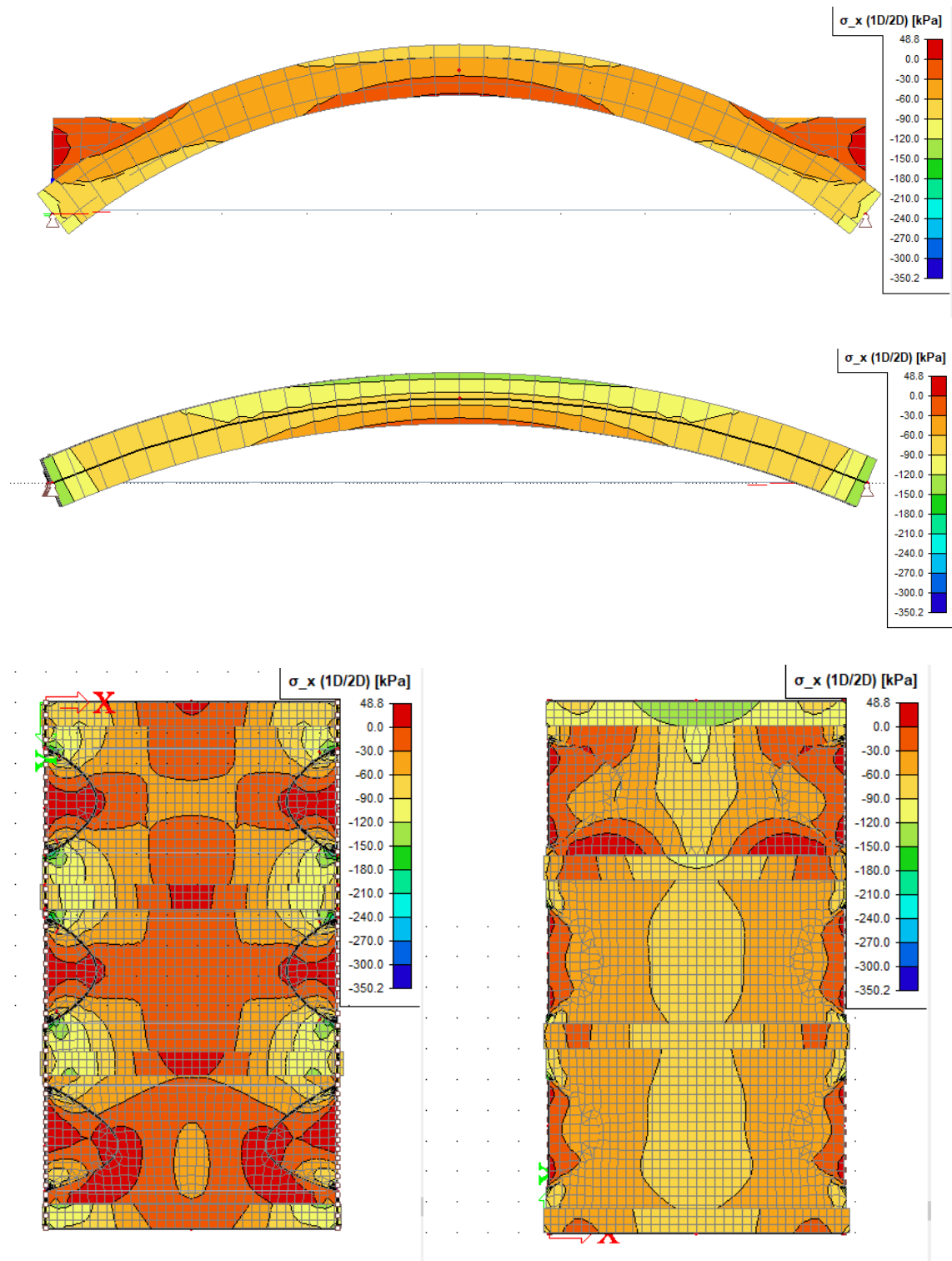


Obr.135 Hlavní napětí 1+



Obr.136 Hlavní napětí 2+

Základní napětí:



Obr. 137-140 Základní napětí σ_x , pohled 1. západ, 2. východ, pak vlevo dole ze shora, vpravo ze zdola

Vyhodnocení modelu:

Model klenby byl vyhodnocen s hrubě nastavenou hodnotou sítě (přednastavení SCIE) a jemnou sítí (300 mm) se zatížením pouze vlastní tíhou. Rozdíl mezi těmito modely byl především v dílčích změnách napětí (zpřesnění) v okrajích středové oblasti a v oblastech podpor, kde došlo k opačnému problému (napětí neodpovídá reálnému – extrémně zvýšený tlak lokálně).

Předpokládám, že v případě zatížení násypem, který je přibližně do 1/3 výšky klenby, dojde ke snížení excentricity působení normálové síly a k redukci tahového napětí, za současného značného zvýšení tlakové napětí v místech uložení klenby. Model poměrně věrně ukazuje tahové napětí v místech tahových trhlin klenby, s nejvyšším tahovým napětím uprostřed a v místech lunet. Zvýšená tahová napětí odpovídají trhlinám v klenbě a potvrzují předpokládaný jejich původ (uprostřed valené klenby a lunet z lícové strany). Klenba tedy vlivem nově vytvořeného kloubu v současnosti začíná působit jako trojkloubový podepřený nosník. Zajímavé je i značné tahové napětí v místech rubu valených pásů, které odpovídá svislému charakteru trhlin v zídkách nad klenebními pásy, ve kterých jsou zakotveny táhla.

Je nutné dodat, že naproti věrným taženým napětím je s tlakovým napětím dochází u průniků lunety s valenou klenbou k neodpovídajícímu tlakovému namáhání naproti zbytku konstrukce. Z hodnot napětí a vypočtené pevnosti zdiva, je ale očividné, že co se týče únosnosti klenba má jisté rezervy, což podporuje známý fakt, že klenby nepadají z důvodu ztráty pevnosti, ale stability.

$$R_d = 1,6 * R_{ms,d} * \frac{\gamma_{in} * \gamma_{rm}}{\gamma_{mm}} = 1,6 * 1000 * \frac{1,0 * 0,85}{2,0} = 680 \text{ MPa}$$

Kde $R_d = 1000$ kPa za použití P10 a MVC 1,0 (návrhová pevnost zdiva)

$\gamma_{in} = 1,0$ (součinitel vyjadřující stav zdiva), $\gamma_{rm} = 0,85$ (součinitel vyjadřující celistvost zdiva), $\gamma_{mm} = 2,0$ (součinitel pro vlhkost $w_h < 20\%$)

[8]

10.0. ZÁVĚR

Cílem této bakalářské práce bylo provést statické posouzení kostela a navrhnout konkrétní sanační opatření, které by pomohly stav této historické památky zachovat. V první fázi bylo třeba zpracovat základní zjednodušenou výkresovou dokumentaci a provést stavebně technický průzkum objektu. V první fázi musely být poruchy nalezeny a schematicky zakresleny do příslušných výkresů (půdorysy a pohledy). Jejich původ byl pak dále analyzován především teoreticky. Vzhledem k tomu, že část poruch byla připsána zvýšené vlhkosti, tak byla bakalářská práce rozšířena nad rámec zadání o průzkum vlhkosti a salinity, která tento předpoklad potvrdila. Z výsledků analýz a nově zjištěných informací byla vypracována další kapitola – sanační opatření a jejich konkrétní návrh vhodný pro tento typ památkově chráněného objektu. Další důležitou částí bylo posoudit jednotlivé konstrukce kostela (krov, klenba) s pomocí vhodného statického programu (v tomto případě programu SCIA). U klenby byly ověřeny především tahová napětí, u krovu byla zkoumána efektivita a únosnost vybraných prvků.

Na počátku této práce bylo nutné shromáždit co největší množství informací o kostele a jeho okolí, historii a případně jeho dokumentaci. Existující dokumentace mi byla přidána, nicméně byla místy neúplná, nepřesná (ručně zakreslená), a proto bylo potřeba některé vzdálenosti a rozměry změřit a ověřit. Na základě těchto měření byla vytvořena nová dokumentace (v přílohách) zachycující současný stav. Dalším krokem bylo provedení fotodokumentace, která sloužila jako základ k popisu konstrukcí kostela a zakreslení poškození a trhlin do dokumentace. Z těchto fotografií a informací od místního občana byl zpracován stručný popis historie, interiéru, dispozice a jednotlivých dílčích konstrukcí. Veškeré otevřené prostory mi bylo umožněno navštívit a zdokumentovat, výjimkou byly pouze základy jejíž popis byl odhadnut podle staveb stejného typu a stáří.

Další část popisuje poruchy konstrukcí zmíněných v předchozí kapitole a jsou stejným způsobem rozčleněny. Popis porušení těchto konstrukcí je dán charakterem, způsobem a příčinou jejich vzniku. Ve zjednodušené výkresové dokumentaci jsou jednotlivé typy poruch od sebe barevně odděleny. Kromě výkresu poruch v půdorysu a pohledech byla zakreslena i poškození krovní konstrukce a systému táhel (v příloze, není součástí textové části BP). Za původ části poruch především ve svislých konstrukcích

byla označena vlhkost. Vlhkost je do objektu značně dotována od nevhodného a nefunkčního odvodu vody od objektu a dalšími okolnostmi (poruchy svodů, spádování terénu). Na povrchu omítek se našly zkrystalizované soli, byť byly před nedávnou dobou provedeny nové omítky. Proto byly v půdorysu vytypována místa pro odběr vzorků, u kterých se předpokládala vyšší vlhkost a obsah solí.

V těchto místech byly provedeny vrty hloubky 10 cm ve 3 výškových úrovních z interiéru i exteriéru. Vyvrtaný materiál se uložil do uzavřených pytlíků na zip a přivezl se na fakultu pro stanovení vlhkosti a salinity. Výsledky z těchto měření potvrdily v objektu značnou vlhkost a velmi vysoký obsah síranů (měření solí je zkruseno vrtem v místě výkvětů solí).

Na základě těchto měření byla navržena sanace vlhkosti. Celkově byly vypracovány 3 návrhy sanace vlhkosti. Základem všech 3 sanačních opatření je odvětrávaná vzduchová dutina po obvodu kostela, úprava odtoku vody (spádování) a obvodová drenáž. První základní typ je sanace pouze zmíněných opatření, zbylé dvě varianty jsou kombinací systému vzduchových s chemickou injektáží nebo elektroosmózy. Tento koncept dalších návrhů je dán účinností základního opatření, které by v případě, že vlhkost by neklesla na požadovanou hodnotu bylo třeba doplnit o další opatření. Pro sanaci obsahu solí bylo navrženo odsolení pomocí nahazovaných vápenných omítek, které by se po zasolení odstranily a provedly znova.

Další navržené opatření je sanace ztužení objektu (systému táhel), které je pro životnost kostela nezbytné. Návrh počítá s postupnou výměnou, nebo protézováním zhlaví, a částečným předeptnutím těchto táhel. Uložení těchto táhel bude odlišné, aby se zamezilo další degradaci. Sanace trhlin v nosných konstrukcích je navržena standardně helikální výztuží. Dalším zásadním opatřením je návrh sanace degradovaného krovu, který počítá s protézováním zhlaví prvků (šikmočelné pláty a čepy), plombováním lokálně zasažených prvků a úplnou výměnou krátkých zasažených prvků.

V poslední kapitole jsou prezentovány a porovnány výsledky z přílohy A. V první části je stručně vysvětlena metoda konečných prvků, na kterém je program SCIA, použitá pro výpočet vnitřních sil a napětí, založena. V další části jsou porovnány jednotlivé modely krovní konstrukce (3D věšadlový a bezvěšadlový, 2D věšadlový) mezi sebou a vyhodnoceny. Nejzajímavější částí je 3D model valené klenby s lunetami, tento model prokázal vznik trhlin od tahového napětí v lici klenby a u některých lunet.

V závěru mohu říci, že tato práce pro mě byla velkým přínosem a naučil jsem se mnoho nových poznatků, především co se týká specifik a náročnosti problematiky rekonstrukcí a práci s programem SCIA Engineer. Za ochotu a trpělivost při zpracování této práce bych ještě jednou rád poděkoval své vedoucí, Ing. Anetě Marouškové.

Seznam použité literatury

Publikované tištěné zdroje

- [1] POCHE, Emanuel. *Umělecké památky Čech III*. Praha: Academia, 1982.
- [2] VINAŘ, Jan. *Historické krovy: typologie, průzkum, opravy*. Praha: Grada, 2010. Stavitel. ISBN 978-80-247-3038-7.
- [3] SOLAŘ, Jaroslav. *Poruchy a rekonstrukce zděných staveb*. Praha: Grada, 2008. Stavitel. ISBN 978-80-247-2672-4.
- [4] BALÍK, Michael. *Odvhlčování staveb*. 2., přeprac. vyd. Praha: Grada, 2008. Stavitel. ISBN 978-80-247-2693-9.
- [5] WITZANY, Jiří. *PDR – poruchy, degradace a rekonstrukce*. V Praze: České vysoké učení technické, 2010. ISBN 978-80-01-04488-9.
- [6] GERNER, Manfred. *Tesařské spoje*. Praha: Grada, 2010. ISBN 978-80-247-0076-2.
- [7] BÍLÝ, Petr. *Vyztužování poruchových oblastí železobetonové konstrukce: Komentované příklady návrhu výztuže konstrukčních prvků pomocí programových nástrojů*. 6. dubna 2018.
- [8] LIPANSKÁ, Eduarda. *Historické klenby*. Praha: El Conzult, 1998. ISBN 80-902076-1-8.

Internetové zdroje:

- [9] BALÍK, Michael. *Kombinace klasických stavebních opatření a metody mírné elektroosmózy* [online]. 03.2008 [cit. 2018-05-18]. Dostupné z: https://www.casopisstavebnictvi.cz/kombinace-klasickych-stavebnich-opatreni-a-metody-mirne-elektroosmozy_N663
- [10] REINPRECHT, Ladislav. *REKONSTRUKCE DŘEVĚNÝCH PRVKŮ PROTÉZOVÁNÍM, PŘÍLOŽKOVÁNÍM A UKOTVENÍM DO OCELOVÝCH KONZOL* [online]. 25.07.2008 [cit. 2018-05-18]. Dostupné z: <https://www.asb-portal.cz/stavebnictvi/drevostavby/rekonstrukce-drevenych-prvku-protezovanim-prilozkovanim-a-ukotvenim-do-ocelovych-konzol>
- [11] VENKOVSKÝ DŮM. *JAK OPRAVIT STROP* [online]. [cit. 2018-05-18]. Dostupné z: <http://www.venkovskydum.cz/rekonstrukce-stropu/>
- [12] TTBH SYSTEM. *RENOVATION DES BOIS : TECHNIQUES DE REGENERATION ET DE REPARATION DU BOIS* [online]. [cit. 2018-05-18]. Dostupné z: <http://www.ttbhsystem.fr/renovation-bois.html>

- [13] *Záchrana památek – Kostel sv. Mikuláše* [online]. [cit. 2018-05-18]. Dostupné z: <http://www.svprokop.cz/koste-sv-mikulase/>
- [14] GOTTFRIED, Libor. *Pout' k sv. Prokopovi do Praskoles* [online]. [cit. 2018-05-18]. Dostupné z: <http://www.poutnik-jan.cz/zpravy-z-pouti--c/pout-k-sv-prokopovi-do-praskoles-plz-kraj-2-7-2016/>
- [15] HOLEČKOVÁ, Marie. *Zvon pod kořeny dubu a gotický příběh o bojovníkovi s d'áblem* [online]. [cit. 2018-05-18]. Dostupné z: <https://idobnet.cz/zvon-pod-koreny-dubu-a-goticky-pribeh-o-bojovnikovi-s-dablem/>
- [16] BROZOVSKÝ. *Metoda konečných prvků* [online]. [cit. 2018-05-18]. Dostupné z: <http://fast10.vsb.cz/brozovsky/data/zmkp/p3.pdf>
- [17] PRUŠKA, Jan. *Princip a možnosti matematického modelování* [online]. [cit. 2018-05-18]. Dostupné z: https://www.ita-aites.cz/files/Seminare/2014_01_to/pruska-princip-matematickeho-modelovani.pdf
- [18] Metoda konečných prvků. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2018-05-23]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Metoda_kone%C4%8Dn%C3%BDch_prvk%C5%AF
- [19] *Seznam mapy* [online]. [cit. 2018-05-24]. Dostupné z: <https://mapy.cz/zakladni?x=13.9345653&y=49.8676505&z=14&source=muni&id=3632&q=Praskolesy>
- [20] *Geologické mapy* [online]. [cit. 2018-05-24]. Dostupné z: http://www.geology.cz/app/ciselniky/lokalizace/show_map.php?mapa=g500&y=774384&x=1058216&r=40000
- [21] Praskolesy. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2018-05-24]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Praskolesy>
- [22] KAIGL, Jan. *Gotické portály* [online]. [cit. 2018-05-24]. Dostupné z: <https://www.npu.cz/uop/plzen/pdf/pzc-2012/pzc-ii-2012-sep.-01---goticke-portaly.pdf>
- [23] *Památkový katalog* [online]. [cit. 2018-05-24]. Dostupné z: <http://pamatkovykatalog.cz/?element=2153724&action=element&presenter=ElementsResults>
- [24] KOLÍSKO, Jiří, Lukáš BALÍK a Tomáš KLEČKA. *Sanační omítky* [online]. [cit. 2018-05-24]. Dostupné z: <https://www.asb-portal.cz/stavebnictvi/materialy-a-vyroby/omitky/sanacni-omitky>

[25] KUNECKÝ, Jiří a Petr FAJMAN. Celodřevěné plátové spoje pro opravy historických konstrukcí [online]. [cit. 2018-05-24]. Dostupné z: <http://www.itam.cas.cz/miranda2/export/sitesavcr/utam/publications/10.21495/67-3/67-3.pdf>

[25] MERCK [online]. [cit. 2018-05-24]. Dostupné z: <http://www.merckmillipore.com/CZ/>