

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta lesnická a dřevařská

Katedra zpracování dřeva a biomateriálů



**Fakulta lesnická
a dřevařská**

Stavebně technické hodnocení historické dřevěné konstrukce

Bakalářská práce

Autor: Miroslav Kotmel

Vedoucí práce: Ing. Michal Kloiber, Ph.D.

2021

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma *Stavebně technické hodnocení historické dřevěné konstrukce* vypracoval samostatně pod vedením Ing. Michala Kloibera, Ph.D. a použil jen prameny, které uvádím v seznamu použitých zdrojů.

Jsem si vědom, že zveřejněním bakalářské práce souhlasím s jejím zveřejněním dle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách v platném znění, a to bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V..... dne.....

Podpis autora

Poděkování

Děkuji vedoucímu své bakalářské práce panu Ing. Michalu Kloiberovi, Ph.D. za užitečné rady při psaní bakalářské práce a za možnost realizace měření jednotlivých prvků krovu. Dále děkuji doc. Ing. Alešovi Zeidlerovi, Ph.D. za pomoc při identifikaci vzorků dřev, paní Haně Ficnarové, starostce Palonína, a všem dalším, kteří mi při psaní pomáhali svými radami. V neposlední řadě bych chtěl poděkovat své rodině za podporu při mém studiu.

V Praze, dne 20.04.2021

Abstrakt

Práce se věnuje stavebně technickému a stavebně historickému hodnocení krovu kostela svatého Josefa v Paloníně. Stavebně technické hodnocení bylo zaměřeno na posouzení abiotických a biotických poškození krovu kostela smyslovými a přístrojovými metodami. Ve stavebně historickém hodnocení byla určována trasologie stop tesařského opracování, tesařských značení a identifikace druhu dřev pro zjištění skladby krovu. Z archivních literárních pramenů byl sestaven stručný přehled historie kostela sv. Josefa.

Krov byl vážně staticky poškozen. Vazné trámy se začaly prohýbat důsledkem významného přetížení vazných trámů vynášejících věžičku. Dále se v krovu vyskytovala různá biotická poškození. Pro zjišťování podrobnější diagnostiky prvků byla využita metoda odporového vrtání. Tato metoda podává kompletní přehled o vnitřním stavu prvku a měří se pomocí přístroje Resistograph 4453-P. Práce je doplněna schematickou výkresovou dokumentací s vyznačenými místy poškození, tabulkami poškozených prvků a fotodokumentací. Tesařská značení byla zmapována a přepsána do tabulek. Na základě smyslových, přístrojových metod a vyhodnocení výsledků z měření byla navržena adekvátní sanační opatření.

Klíčová slova: dřevěná konstrukce, průzkum krovu, odporové vrtání, sanační opatření

Abstract

Main subject of submitted thesis is constructional and technical evaluation of roof structure of Saint Joseph church in Palonín. Both, constructional and technical evaluation, were focused on judgement abiotic and biotic damage of roof structure with sensual and instrumental methods. During constructional and historical evaluation, the feet traceology of lumber working, lumber marking and identification of kind of the wood for finding out composition of roof structure were determined. Brief review of history of Saint Joseph church was composed from archival literature sources.

Roof structure was seriously statically damaged. Binding beams, that carrying turret, have bent due to significant overload. There was different biotic damage it truss as well. More detailed diagnostic of elements was ensured with resistance drilling method. Mentioned method give us complete review of inner state of elements and it's measured with Resistograph 4453-P. Thesis contains schematic layouts with marked points of damage, charts of damaged elements and photodocumentary. Carpenter marks were mapped and inscribed to charts. Proper reconstruction arrangements were designed thanks sensual and instrumental methods and subsequential evaluation of results of measures.

Key words: wooden construction, exploration of the roof structure, resistance drilling, reconstruction arrangements

Obsah

1. Úvod.....	12
2. Cíle práce	13
3. Literární rešerše	14
3.1 Hlavní části kostela.....	14
3.1.1 Hlavní loď.....	14
3.1.2 Presbytář	14
3.1.3 Věž.....	14
3.2 Skladba krovu a základní prvky.....	14
3.3 Dřevěné historické krovky.....	16
3.4 Rozdělení klasických krovů podle typu konstrukce plných vazeb	17
3.4.1 Soustavy krokevní.....	17
3.4.2 Soustavy vaznicové.....	18
3.5 Základní rozdělení tesařských spojů dle ČSN 73 3150	19
3.6 Tesařské opracování kulatiny	23
3.6.1 Příprava kulatiny.....	23
3.6.2 Tesání kulatiny.....	24
3.7 Vlastnosti dřeva	25
3.7.1 Vlhkost.....	25
3.7.2 Točitost	25
3.7.3 Mechanická namáhání	26
3.8 Diagnostika dřevěných konstrukcí.....	26
3.8.1 Podmínky pro diagnostiku dřevěných konstrukcí	26
3.8.2 Metody diagnostiky dřevěných konstrukcí.....	27
3.9 Biotičtí škůdci dřevěných krovů	30
3.9.1 Dřevokazné houby	31
3.9.2 Dřevokazný hmyz	32
4. Materiál a metodika.....	34
4.1 Kostel svatého Josefa v Paloníně.....	34
4.1.2 Popis kostela	34
4.1.1 Historie kostela	35
4.2 Průzkum krovu kostela svatého Josefa	36

4.2.1 Průzkum – první fáze	36
4.2.2 Průzkum – druhá fáze	37
4.2.3 Diagnostika	38
5. Výsledky	39
5.1 Konstrukční skladba krovu	39
5.2 Vyhodnocení poškození.....	42
5.2.1 Hlavní loď.....	42
5.2.2 Presbytář	46
5.2.3 Pult u věže.....	48
5.2.4 Věžička	49
5.3 Trasologie stop tesařského opracování	50
5.3.1 Tesařská značení	52
5.3.2 Zjišťování druhu dřev	53
5.4 Návrh sanačních opatření.....	55
6. Diskuze.....	57
7. Závěr	60
8. Seznam literatury a použitých zdrojů.....	62

Seznam tabulek

Tabulka 1: Ukázka z měření – první vazba hlavní lodi	37
Tabulka 2: Přehled poškozených prvků hlavní lodi	43
Tabulka 3: Seznam poškozených prvků presbytáře	46
Tabulka 4: Přehled poškozených prvků pultu u věže	48
Tabulka 5: Přehled poškozených prvků věžičky	49
Tabulka 6: Tesařské montážní značky – příčné vazby	52
Tabulka 7: Tesařské montážní značky – podélné vázání	53

Seznam obrázků

Obrázek 1: Rozdělení klasických krovů podle typu konstrukce plných vazeb	19
Obrázek 2: Sraz čelní tupý a čelní šikmý	19
Obrázek 3: Plátování	20
Obrázek 4: Lípnutí kolmé a šikmé	20
Obrázek 5: Zapuštění kolmé	21
Obrázek 6: Zapuštění šikmé	21
Obrázek 7: Čep kolmý a šikmý	21
Obrázek 8: Ostřih	21
Obrázek 9: Přeplátování úplné, částečné, rybinovité	22
Obrázek 10: Kampování jednostranné	22
Obrázek 11: Kampování oboustranné dvojité	22
Obrázek 12: Osedlání krokve na vaznici	23
Obrázek 13: Navalování kulatiny na kozy přes vyšší podvaly	23
Obrázek 14: Zvedání kulatiny pomocí skoblic a vypodložení	23
Obrázek 15: Zvedání kulatiny na kozy pomocí dvojnožky a řetězového zvedáku ..	24
Obrázek 16: Vrubování a hrubování hlavatkou	25
Obrázek 17: Lícování širočinou	25
Obrázek 18: Ocelová špička wolframového vrtáku	28
Obrázek 19: RESISTOGRAPH® 650-SC s příslušenstvím	29
Obrázek 20: <i>Serpula lacrymans</i> (Wulfen) Schröt	31
Obrázek 21: <i>Coniophora Puteana</i> (Schumach.) P.Karst.	32
Obrázek 22: <i>Hylotrupes bajulus</i> – dospělec a larva	33
Obrázek 23: <i>Hylotrupes bajulus</i> – oválné výletové otvory	33

Obrázek 24: <i>Anobium punctatum</i> – dospělec a larva	33
Obrázek 25: <i>Anobium punctatum</i> – výletové otvory	33
Obrázek 26: Kostel svatého Josefa – SZ pohled	34
Obrázek 27: Kostel svatého Josefa – JV pohled	35
Obrázek 28: Vzorky určené k identifikaci	38
Obrázek 29: Krov presbytáře – západní podélné vazání	39
Obrázek 30: Krov hlavní lodi – čepované spoje pásků podélného vazání	39
Obrázek 31: Schematický půdorys krovu	40
Obrázek 32: Krov hlavní lodi – příčná vazba se vzpěrami, v pozadí konstrukce sanktusníku (věžičky)	41
Obrázek 33: Krov hlavní lodi – pultová část v místě věže	41
Obrázek 34: Řez plnou vazbou hlavní lodi	41
Obrázek 35: Poškozené vazby hlavní lodi	44
Obrázek 36: Poškozený hambalek v první vazbě	45
Obrázek 37: Točitost VT	45
Obrázek 38: Spoj VT a krokve poškozený biotickými škůdci	45
Obrázek 39: Zdeformovaný VT vlivem hmotnosti věžičky	45
Obrázek 40: Západní krokev 7. vazby poškozená hnilobou a tesaříkem	45
Obrázek 41: VT tlačící na klenbu	45
Obrázek 42: Poškozené vazby presbytáře	47
Obrázek 43: VT poškozený biotickými činiteli	47
Obrázek 44: Poškozené vazby pultu u věže	48
Obrázek 45: VT věžičky napadený tesaříkem a hnilobou	49
Obrázek 46: Poškozené vazby věžičky	50
Obrázek 47: Vrub po párovém vrubování	51
Obrázek 48: Šířka stopy po opracování hlavatkou	51
Obrázek 49: Stopa po lícování širočinou	51
Obrázek 50: Stopa po vrubování (zelená) a hrubování (bílá) hlavatkou	51
Obrázek 51: Tesařské montážní značení východního sloupku 15. vazby	53
Obrázek 52: Suk krokve 4. vazby (západ) s pryskyřičnými kanálky	54
Obrázek 53: Suky krokve 7. vazby (východ) bez pryskyřičných kanálků	54
Obrázek 54: Spoj na protézování krokví	56
Obrázek 55: Spoj na protézování vazných trámů	56

Seznam grafů

Graf 1: Průběh odporového vrtání – VT páté vazby	45
Graf 2: Průběh odporového vrtání – VT šesté vazby	46
Graf 3: Průběh odporového vrtání – východní krokev osmé vazby	46
Graf 4: Průběh odporového vrtání – západní část VT 15. vazby	47
Graf 5: Průběh odporového vrtání – západní část VT	50
Graf 6: Průběh odporového vrtání – východní část VT	50
Graf 7: Nevýrazný přechod křivky mezi jarním a letním dřevem	55

Seznam zkratk a symbolů

ad. – a další

b, h, l – šířka, výška, délka

C – výměna celého prvku

Č – poškození červotočem

č.v. – číslo vazby

d.č. – degradační činitel

H – poškození hnilobou

JV – jihovýchodní

kr. – krokev

n.s. – návrh sanace

obr. = Obr. – obrázek

pás. – pásek

P-x – protéza prvku-x [m]

P-x* – protéza prvku od vrchu-x [m]

RM – odporová charakteristika

sl. – sloupek

s.p. – stupeň poškození

s.s. – světová strana

SZ – severozápadní

T – poškození tesaříkem

tab. = Tab. – tabulka

Toč. – točitost

tzn. – to znamená

tzv. – takzvaný

V – východ

v.k.s. – výměra konstrukční sanace

VT – vazný trám

vz. – vzpěra

X – měření není k dispozici

Z – západ

1. Úvod

Lidstvo používá dřevo už od počátku své existence, nejprve bylo využíváno jako zdroj tepla, dále jako stavební materiál k vybudování jednoduchých obydlí a ve středověku se stavěly důmyslné nosné konstrukce střech – krovky.

Krovky sloužily nejen k zastřešení obyčejných stavení, ale také církevních staveb, jako např. chrámů, katedrál a kostelů, ty tvoří kulturní bohatství ještě v této době. Mnoho z nich se dochovalo dodnes, což svědčí o jedné z mnoha vlastností dřeva, a to trvanlivosti, o tu je ale důležité náležitě pečovat, protože dřevo podléhá různým biotickým i abiotickým vlivům, které vedou k nevratné destrukci dřevní hmoty.

Téměř každý složitější krov byl tvořen tesaři, kteří po sobě zanechali známky své práce, různá tesařská značení, která jim usnadňovala skládání příslušných vazeb do sebe a nejrůznější techniky opracování kulatiny, podle kterých lze určit, jakým způsobem byl každý jednotlivý prvek vyroben. Primárně se využívalo jehličnaté dřevo kvůli dostupnosti a lepším konstrukčním vlastnostem.

Dříve se tesala kvalitní kulatina ručním způsobem a byla plavena po řece. U jehličnatých dřevin bylo zachováno více bělové části na rozdíl od zpracování dnešní polomové kulatiny na pásových, rámových pilách a CNC obráběcích centrech, kdy běl má ve výsledné podobě podstatně menší zastoupení.

U sanace těchto historických budov je obzvlášť důležité zachovat co nejvíce původního materiálu a zasahovat do konstrukce krovu co možná nejméně, tzn. nepoužívat destruktivní metody pro zjišťování vlastností dřeva, ale spíše upřednostnit metody nedestruktivní či semidestruktivní, jako je vizuální prozkoumání problémové části nebo poklep kladívkem (vyhodnocení na základě sluchu). Tyto metody jsou ale často pro celkové určení vlastností prvků nedostatečné a je potřeba přistoupit k diagnostickým přístrojům, jenž za minimálního poškození dokážou vyhodnotit celkový mechanický i fyzikální stav prvku.

Zvolil jsem si toto téma z důvodu záliby v prozkoumávání veřejně nepřístupných míst, o to lépe, že místo, o kterém budu psát je tvořeno výhradně ze dřeva, a celá stavba tvoří památku pro obyvatele obce Palonín. Budu rád, když tato práce bude mít alespoň nepatrný praktický dosah na renovaci jejich kostela.

2. Cíle práce

Cílem práce je stavebně technické a stavebně historické hodnocení krovu kostela svatého Josefa v Paloníně. Hodnocení byla provedena na základě měření jednotlivých prvků smyslovými i přístrojovými metodami. Poškozené prvky budou zobrazeny ve schematické výkresové dokumentaci. Na základě naměřených hodnot budou určeny poškozené prvky a jejich následná sanace. V práci budou trasologicky vystopovány znaky po tesařském opracování včetně způsobů opracování. Dalším dílčím cílem bude určit druh dřevin pro získání přehledu o skladbě krovu.

3. Literární rešerše

3.1 Hlavní části kostela

3.1.1 Hlavní loď

Portál je bohatě zdobený nebo jednoduchý vchod a východ kostela, který odděluje světský svět od posvátného prostoru (Ching, 1997). Po vstupu do kostela se vchází do oblasti věže nebo do hlavní lodi, která je centrální a hlavní část vedoucí od vchodu k transeptu (příčná ulička protínající loď). Pokud se v kostele transept nevyskytuje, vede hlavní loď od vchodu k presbytáři. Prostor hlavní lodi sloužil výhradně pro shromažďování věřících. U větších kostelů nebo chrámů se objevovaly i lodě boční (Encyclopedia Britannica, 2016).

3.1.2 Presbytář

Presbytář (z latinského *presbyterium*) bylo místo určeno výhradně kněžím a jiným církevním hodnostářům. Presbytář by měl být vhodným způsobem rozlišitelný od hlavní lodi kostela. Často bývá vyvýšen nebo zvláště stavebně upraven a vyzdoben. Klade se u něj důraz na prostornost z důvodu bezproblémového průběhu bohoslužby. Většinou se v něm vyskytuje oltář, svatostánek, kříž, ambon a sedes (liturgie.cz).

3.1.3 Věž

Tento symbol zprostředkování nebe a posvátného místa může být pevně spjat s kostelem nebo volně stojící, v tom případě se jedná o zvonici. Věž nadměrně převyšuje ostatní části a je v nich umístěný zvon určený k liturgickému zvonění (Lunga, 2010). U některých kostelů se objevují i sanktusové věže, tzv. věžičky na hřebeni střechy, zejména presbytáře, vyjímečně hlavní lodi či v místě křížení hl. lodi a transeptu (Herout, 1994).

3.2 Skladba krovu a základní prvky

V krovu jsou všechny vazby stejné nebo rozlišené podle funkce. Tyto příčné vazby se dělí na plné, jalové, popřípadě věšadlové (Vinař, 2005). V plné vazbě se z konstrukčního hlediska nachází prvky nesené (podporované), jako např. krokve a vaznice, tak i části nesoucí (podpůrné), jako např. sloupy, vzpěry, pásy, kleštiny, vazní trámy ad. Tato vazba tvoří trojúhelníkovou kostru, která je nepoddajná a tuhá na rozdíl od čtverce, který lze tlaky přetvořit na kosočtverec. V jalové vazbě se vyskytují pouze

části nesené, tj. krokve, vaznice a někdy také kleštiny nebo hambalky. Funkcí jalové vazby je odlehčení celé konstrukce krovu a ušetření stavebního materiálu (Kohout, 1996). Věšadlová vazba se u některých krovů rozlišuje od vazby plné (Vinař, 2005).

Krokve jsou prvky nesoucí střešní plášť. Zpravidla se ukládají ve směru sklonu střechy. Ve starších krovech jsou většinou začepovány do vazného trámu nebo na vazný trám osedlány, v novějších krovech jsou osedlány na pozednici. Ve vrcholu se krokve spojují na jednoduchý nebo střední plát (ostřih), ve věšadlových krovech se ve vrcholu krokve zapouštějí do sloupku věšadla (Vinař, 2005). Pokládají se ve vzdálenosti 900 až 1100 milimetrů od sebe. Převísle konce krokví by neměly být delší než jeden až jeden a půl metru (Hájek, 1997).

Vazné trámy zachycují vodorovnou sílu, přenášejí zatížení od sloupků a vzpěr na zdivo a příčně ztužují krov. Ve většině historických krovů jsou do nich ukládány krokve. Vyskytují se v každé vazbě, pouze v některých vazbách nebo mimo vazby. Jsou zpravidla uloženy na pozednice, na obvodových i středních zdech. Zhlaví vazných trámů bývají zazděny, protože kotví krov a ztužují stavbu.

Výměny vazných trámů se používají tam, kde dochází k přerušení vazných trámů (klenby zasahující do krovu, komíny) nebo kde vazné trámy neleží v rovině vazeb krovu (styky střešních rovin a valby).

Kráčata jsou zkrácené vazné trámy sloužící k přenesení zatížení do pozednic a opření krokví. Používají se především kvůli úspoře materiálu v konstrukci. Běžně se s nimi můžeme setkat u krovů 19. století, zejména pak u ležatých stolic.

Hambalky jsou typickými prvky většiny historických krovů, zajišťují příčné ztužení, zmenšují rozpětí krokví a přenáší zatížení od krokví do vaznic u krovů s podepřenými hambalky. Obvykle se vyskytují v každé vazbě a většinou jsou spojeny s krokvemi rybinovým plátem (styk namáhán tahem i tlakem). U krovů 18. - 19. století se hambalky do krokví čepovaly a zajišťovaly kolíkem, tento spoj však nepřenášel tah, proto se plátování používalo souběžně s čepem. Na konci 19. století se hambalky nahrazovaly kleštinami.

Vaznice jsou podélné vodorovné prvky přenášející zatížení od krokví (pomocí hambalku nebo přímo) do sloupků nebo stolic. Rozdělují se na hřebenové (podepírající krokve na vrcholu), vaznice pater (patra se počítají od prvního hambalku), spodní vaznice (uložené na vazném trámu, krokve jsou na ně osedlány nebo čepovány), okapové (leží na převíslejších koncích vazných trámů, nejedná se o pozednice), střední a mezilehlé vaznice.

Pozednice jsou podélné prvky položeny na zdivu, zpravidla se pokládají širší stranou profilu a na ně se dávají vazné trámy a kráčata na kámp, v některých případech i krokve na osedlání nebo čep. Stabilitu krovu zajišťuje správné ukotvení pozednice. V období renesance a baroka se pozednice zazdívala. Od 19. století se přestaly zazdívat a začaly se kotvit kleštinami ke sloupkům nebo ocelovými pásky ke stropům. Ve 20. století se většinou kotví do železobetonových pozedních věnců.

Sloupky podporují krokve nebo vaznice, eventuálně i jiné části krovu. Jedná se o svislé prvky a jejich hlavní funkcí je přenášení zatížení od vaznic do vazných trámů. Vyskytují se u krovů s podepřenými hambalky.

Vzpěry ztužují krov v příčném směru a přenáší převážně osová zatížení. Nejvyšší účinnosti dosahují při sklonu větším než 50°. V některých případech odlehčují sloupek i hambalek zároveň.

Rozpěry působí společně se vzpěrami a jsou namáhány tlakem. U stojatých stolic se někdy používají místo hambalků, nejvíce zastoupeny jsou v ležatých stolicích.

Pásky zkracují rozpětí prvků, ve stojatých stolicích jsou mezi sloupkem a vaznicí. Podílí se na celkovém příčném ztužení krovu a zmenšují rozpětí vaznice (Vinař, 2005).

3.3 Dřevěné historické krovky

Krov je nedílnou konstrukční částí budovy a hlavní nosnou konstrukcí střechy, závisí na něm trvanlivost a životnost celé stavby. Krovky musí dosahovat dostatečné tuhosti v příčném i podélném směru. Statická tuhost se v příčném směru dosahuje soustavou trojúhelníků, ve směru podélném pomocí pásků nebo zavětrovacími prkny (Ondřejskými kříži); (Hájek, 1997).

Krovové konstrukce byly v minulosti nejobvyklejším prostředkem zastřešení objektů pozemních staveb a z historického úhlu pohledu prodělaly dlouhodobý vývoj zejména z konstrukčního hlediska (fast10.vsb.cz). Sklon střechy se měnil v závislosti na daných uměleckých slozích. V románském období byl v rozmezí 30°- 40° , v gotice až 60°, postupná tendence snižování sklonu trvala přes baroko a renesanci až do klasicismu, kdy se sklon střech vrátil zpět na 30° a v 19. století se zvětšil a ustálil na 45°. Tyto změny jsou chápány jako slohový znak, lze podle nich odhadnout stáří původního krovu, nelze se však na tento znak spoléhat. Střecha má pro budovu několik významů, z nichž nejdůležitější jsou ochrana před deštěm, povětrnostními podmínkami, sněhem a jinými náhodnými zatíženími.

Šikmé prvky krovu jsou namáhané ohybem a tlakem. Při nižším sklonu se větší část zatížení přenáší ohybem, který klade větší nároky na rozměry prvku. Čím vyšší sklon, tím více je prvek namáhán tlakem, ve kterém dřevo dosahuje lepších pevnostních charakteristik než v ohybu. Vodorovná síla vzniká v uložení krovu, jejíž velikost se zmenšuje se zvyšujícím se sklonem střechy. Pokud není vodorovná síla zachycena konstrukcí krovu - vazným trámem, přenáší se do zdiva (Vinař, 2010).

Systematické dělení krovových soustav je problematické, proto se v odborné literatuře také často liší. Krovové soustavy je možno rozdělit například podle tvaru střechy, podle typu konstrukce, případně také podle období provádění (fast10.vsb.cz).

3.4 Rozdělení klasických krovů podle typu konstrukce plných vazeb

Konstrukce krovových soustav prošla dlouhodobým historickým vývojem a je pojmenována podle prvků užitých v plných vazbách. V současnosti se tyto krovy opravují nebo rekonstruují. Podstřešní prostory se v minulosti ponechávaly prázdné nebo se využívaly pro zemědělské účely. Celkové rekonstruování krovu se uskutečňuje za účelem užívání podstřeší pro obytné účely. Klasické krovové soustavy (Obr. 1) můžeme rozdělit na (Jelínek, 2008) :

3.4.1 Soustavy krokevní

Prostá krokevní soustava je nejjednodušším provedením krovu, kde se nosná konstrukce střešního pláště skládá z dvojice krokví, které se připojují ke stropním trámům nebo k pozednicím. Tato soustava se používá jen pro malá rozpětí cca do 7 metrů (Jelínek, 2008). Po dobu celé stavební historie se objevuje u primitivních, podružných, vesnických staveb ad. Absence vazných trámů v této soustavě způsobuje výrazné zatížení spodní stavby. Běžně se používá v horní části stojatých a ležatých stolic (Vinař, 2004).

Hambalková soustava je tvořena páry krokví rozepřenými hambalky. Hambalky mají stejný nebo o málo větší průřez než krokve a jejich funkcí je zmenšení rozpětí krokví a zajištění podélné tuhosti krovu. Při rozpětích do 7 metrů nejsou v hambalkové soustavě sloupky ani vaznice, při větších rozpětích už ano (Jelínek, 2008). Tato soustava je využívána od středověku až do 19. století a je výhodná při sklonu střechy větším než 50°, kdy jsou krokve namáhány tlakem. Charakteristickým tesařským

spojem v hambalkové soustavě je rybinový plát schopný přenášet tlak přes jádro připojovaného dřeva a tah přes plát ve tvaru rybího ocasu.

3.4.2 Soustavy vaznicové

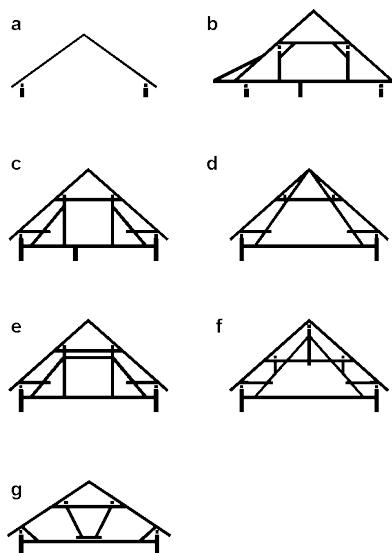
Vaznicová soustava s ležatou stolicí tvoří relativně tuhý rám z ležatých vzpěr. Vzpěry přejímají zatížení od vaznic a horních částí krovu do vazného trámu. Kromě tlaku je namáhána i ohybem, proto se pro její správnou funkci používají masivní profily. Nejlepší pevnostní parametry má stolice se sklonem vzpěr 50° – 60° , u které převládají namáhání tlakem, proto se při menších sklonech střech posunuje vzpěra dovnitř. Použití ležaté stolice umožnilo snížit výšku krovu a odlehčit tak jejich konstrukci. Největší rozmach této soustavy u nás nastal v 16. až 18. století, běžně se však používala od 15. do 19. století, postupně vznikla řada různých variant (Vinař, 2004).

Vaznicová soustava se stojatou stolicí je charakteristická šikmými a svislými sloupky doplněnými vzpěrami, které přenáší zatížení do vazných trámů nebo do vnitřních zdí. Stojatá stolice začala nahrazovat stolicí ležatou kvůli snížení sklonu střech v období klasicismu, objevovala se však mnohem dříve u krovů s podepřenými hambalky, v archaických středověkých krovech nebo v horních patrech ležatých stolic. Stojatá stolice s šikmými sloupky bývá zaměňována s ležatou stolicí, rozdíl spočívá ve způsobech namáhání šikmých vzpěr (sloupků). U ležaté stolice působí vzpěry jako vzpěradlový rám a jsou namáhány ohybem i tlakem, kdežto u stojaté stolice tvoří sloupky samostatné pruty namáhané pouze tlakem (Vinař, 2004).

Věšadlo je konstrukce vynášející prvky namáhané ohybem, tím dochází ke zmenšení jejich namáhání a rozpětí. Důležitým prvkem věšadla je tažený sloupek s různě řešenými závěsy. Věšadla se často kombinují se vzpěradly a jsou součástí mnoha velkých krovů (Vinař, 2004).

Vzpěradlo přenáší zatížení od vaznic blíže k podporám z důvodu snížení namáhání prvků ohybem. Největší uplatnění nachází v krovech, kde by sloupky příliš zatěžovaly vazný trám. Používá se v ležaté i stojaté stolicí (Vinař, 2004).

Ležatá stolice bez vazného trámu se používá u staveb s jednou nebo dvěma středními zdmi, zejména u střech s menším sklonem. Tento typ krovu se zavedl ve druhé polovině 20. století z důvodu úspory řeziva. Vazní trám je nahrazen krátkým pražcem, tzv. bačkorou. (Jelínek, 2008).

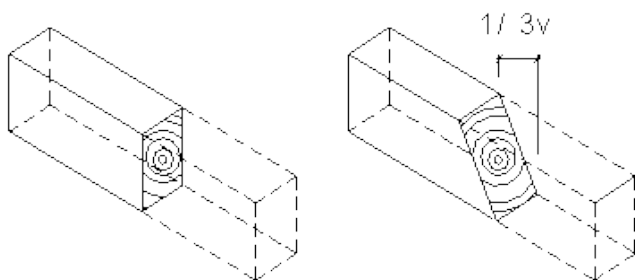


- a) prostá krokevní soustava
- b) hambalková soustava
- c) vaznicová soustava - stojatá stolice
- d) vaznicová soustava - ležatá stolice
- e) věšadlo
- f) vzpěradlo
- g) ležatá stolice bez vazného trámu

Obr. 1: Rozdělení klasických krovů podle typu konstrukce plných vazeb (fast10.vsb.cz)

3.5 Základní rozdělení tesařských spojů dle ČSN 73 3150

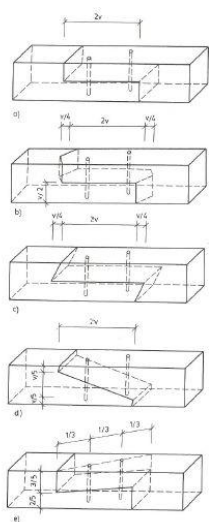
Sraz je jednoduchý spoj, kdy se spojované prvky k sobě přiloží buď čelními (sraz čelní) nebo bočními plochami (sraz boční nebo křížový). Čelní sraz tupý (Obr. 2) se používá při nastavování prvků, které jsou po délce nebo alespoň v místě spoje podepřeny zdí. Při užší podpoře zdi se provádí čelní sraz šikmý (Obr. 2) o délce rovné jedné třetině šířky podpory. Zajišťují se tesařskými skobami. Boční srazy se používají pro konstrukci dřevěných stěn.



Obr. 2: Sraz čelní tupý a čelní šikmý (fast10.vsb.cz)

Plátování (Obr. 3) se provádí spojením částí čel i částí podélných ploch a používá se pro prodlužování dřev. Délka plátu bývá dvojnásobek výšky dřeva. Plátování lze rozdělit podle počtu podélných stykových ploch, podle sklonu dosedacích ploch plátů

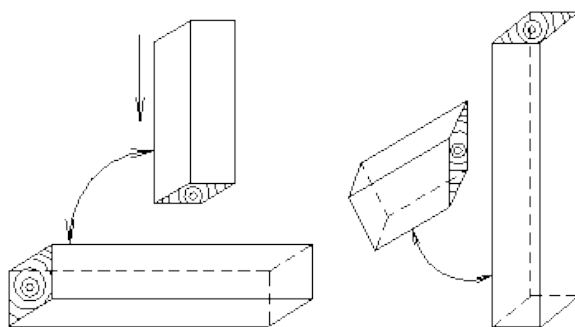
vzhledem k podélné ose spojovaných prvků a podle tvaru čel. Krátké pláty se zabezpečovaly dubovým nebo bukovým kolíkem, delší pláty dvěma kolíky.



- a) plátování rovné rovnočelné
- b) plátování rovné klínočelné
- c) plátování rovné šikmočelné
- d) plátování šikmé klesající rovnočelné
- e) plátování šikmé stoupající rovnočelné

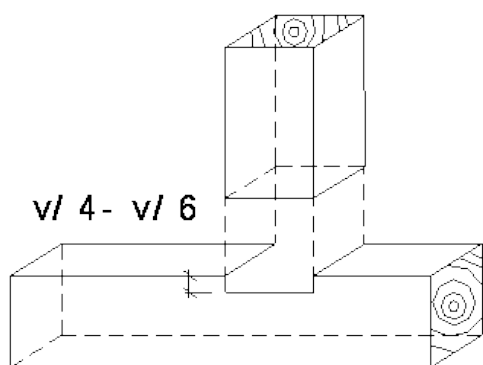
Obr. 3: Plátování
(krytiny-strechy.cz)

Lípnutí je jednoduchým spojením dvou vzájemně kolmých nebo šikmých prvků, kdy se čelo prvního prvku přiloží na podélnou plochu prvku druhého. Podle úhlu, který oba prvky svírají, se dá lípnutí rozdělit na kolmé nebo šikmé (Obr. 4) a podle tvaru lípnutí na rovnočelné, zaoblené a šikmočelné. Proti vybočení se zabezpečuje tesařskými skobami, hřebíky nebo příložkami.

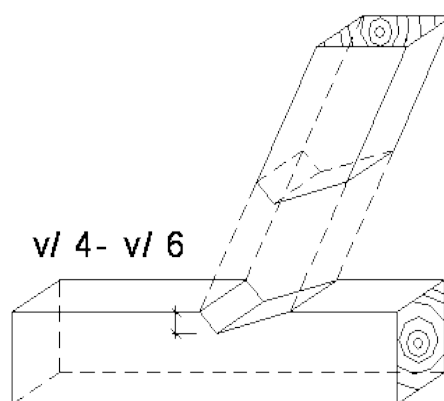


Obr. 4: Lípnutí kolmé a šikmé
(fast10.vsb.cz)

Zapuštění je spoj dvou vzájemně kolmých nebo šikmých prvků, při kterém se čelo jednoho prvku zapouští do odpovídajícího zářezu v druhém prvku. Zapuštění lze rozdělit na kolmé (Obr. 5) a šikmé (Obr. 6). Šikmým zapuštěním se někdy připojují tlačené vzpěry, hloubka zapuštění nesmí přesáhnout čtvrtinu výšky trámu.

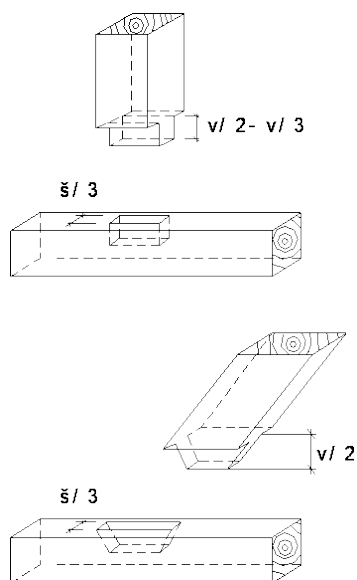


Obr. 5: Zapuštění kolmé
(fast10.vsb.cz)

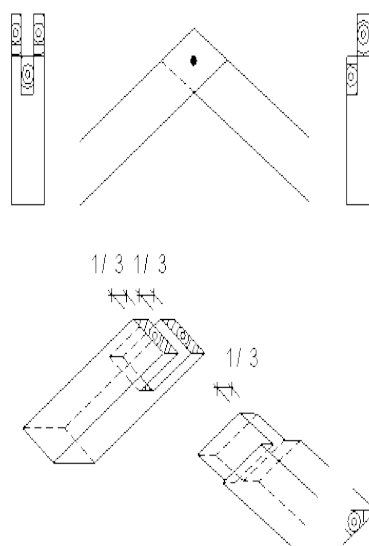


Obr. 6: Zapuštění šikmé
(fast10.vsb.cz)

Čepování se řadí k nejstaršímu a nejpoužívanějšímu způsobu spojování dřev. Jedná se o spoj dvou vzájemně kolmých nebo šikmých prvků (Obr. 7), z nichž konec jednoho je opatřen čepem a boční plocha druhého dlabem, tedy otvorem pro čep. Pokud je dlab otevřený, označuje se jako rozpor. Hloubka dlabu by měla být alespoň o 10 milimetrů hlubší, než je výška čepu, protože čep nesmí dosedat na dno dlabu. Tloušťka čepu odpovídá třetině tloušťky prvku. Pro masivní profily se používají dvojité čepy, jejichž tloušťka je pětina tloušťky prvku. Rozdělují se podle mnoha kritérií. Rohový čepový spoj u krokví se nazývá ostříh (Obr. 8).



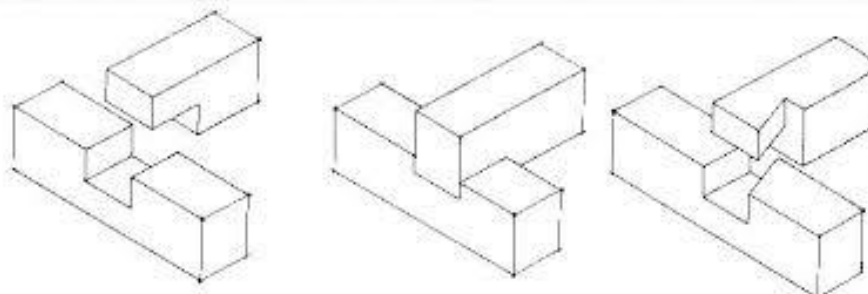
Obr. 7: Čep kolmý a šikmý
(fast10.vsb.cz)



Obr. 8: Ostříh
(fast10.vsb.cz)

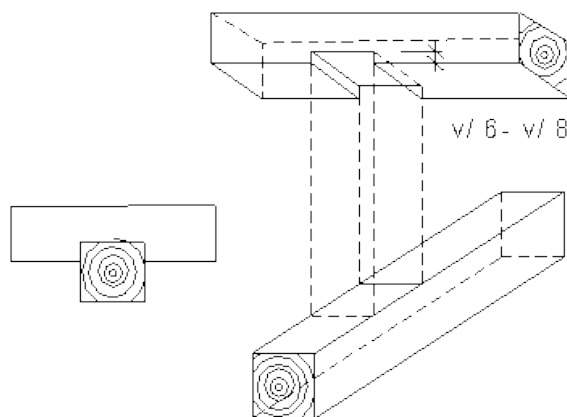
Překlátování (Obr. 9) vzniká spojením dvou vzájemně kolmých nebo šikmých prvků, které mají na podélných plochách v místě jejich křížení odpovídající si zářezy.

Hloubka celého přeplátování se rovná součtu hloubek obou zářezů. Při tomto typu spoje dochází k oslabení průřezů, avšak prvky jsou mezi sebou dobře provázány. Charakteristickým spojem našich krovů bylo rybinovité přeplátování.

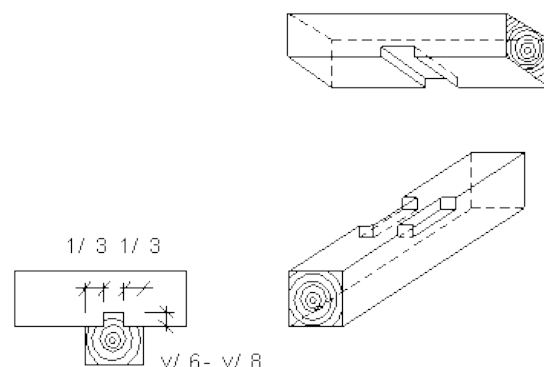


Obr. 9: Přeplátování úplné, částečné, rybinovité
(stavskola.cz)

Kampování je spoj dvou navzájem kolmých nebo šikmých prvků, jeden z prvků má na podélné ploše v místě křížení zářez, druhý má zářezy nezbytné pro vzájemné sesazení nebo je bez zářezu. Tento spoj dřevo nezeslabuje jako přeplátování, zamezuje pohyb prvků ve směru vlastních os a nedovoluje jejich pootočení. Hloubky zářezů jsou osmina až šestina tloušťky menšího spojovaného dřeva. Podle tvaru zářezů kampování lze rozdělit na rovné (Obr. 10, 11), rybinovité a křížové.

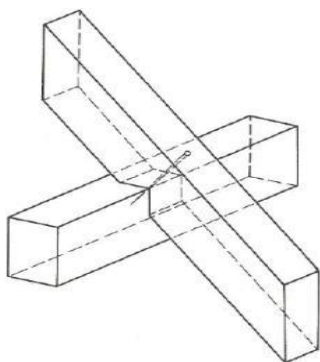


Obr. 10: Kampování jednostranné
(fast10.vsb.cz)



Obr. 11: Kampování oboustranné dvojité
(fast10.vsb.cz)

Osedlání spojuje dva prvky ležící v různých rovinách, z nichž jeden je opatřen zářezem (sedlem) a druhý je většinou bez zářezu. Podle tvaru a způsobu vytvoření je osedlání rozděleno na boční (Obr.12), nárožní, úžlabní a čelní. Vaznice a pozednice se s krokviemi spojují pomocí bočního průběžného osedlání. Maximální oslabení, kterého může krokev dosáhnout, je třetina její tloušťky (Jelínek, 2008).



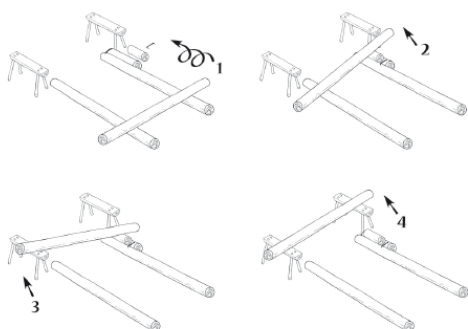
Obr. 12: Osedlání krokve na vaznici
(krytiny-strechy.cz)

3.6 Tesařské opracování kulatiny

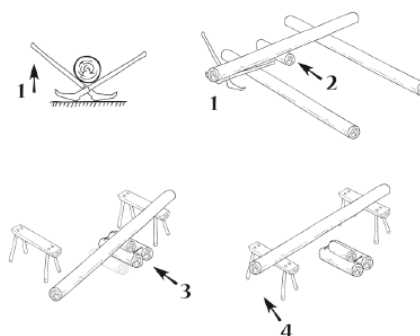
Historie tesařského opracování dřeva sahá až do pravěku. V roce 2018 bylo objeveno dřevěné obložení studny poblíž města Ostrov. Díky výborné ochraně dřevěných trámů se povedlo dendrochronologicky datovat vykácení stromů na rok 5256/55 př.n.l. (Rybníček, 2020). Techniky opracování kulatiny se dědily z generace na generaci a dochovaly se do dnešní doby, avšak s nástupem moderních technologií je tesařské řemeslo na ústupu.

3.6.1 Příprava kulatiny

Manipulační práce s kulatinou se nejčastěji provádí ve dvojici, protože pro jednotlivce by byla práce velice fyzicky i časově náročná. Základní pomůcky, které se využívají při manipulaci, je kruhový obracák (hák s okem určený k otáčení kulatiny) a skoblice (dřevěná násada se zahnutou železnou špicí, slouží jako páka). Nejdůležitější je dostat kulatinu na kozy a to se provádí nejčastěji třemi způsoby. Kulatina se navaluje na kozy přes vyšší podvaly (Obr. 13), zvedá se na kozy pomocí skoblic a vypodložení (Obr. 14) nebo pomocí dvojnožky a řetězového zvedáku (Obr. 15).



Obr. 13: Navalování kulatiny na kozy přes vyšší podvaly
(Kloiber, 2021)



Obr. 14: Zvedání kulatiny pomocí skoblic a vypodložení (Kloiber, 2021)



Obr. 15: Zvedání kulatiny na kozy pomocí dvojnožky a řetězového zvedáku (Kloiber, 2021)

Založení kulatiny má dvě hlavní pravidla. Tím prvním je co nejvíce omezit směřování suků na hrany trámu, druhým pravidlem je nasměrování největší křivosti do výšky profilu trámu. Kulatinu je na kozách potřeba zafixovat tak, aby se při tesání nepohnula, proto se na jejím širším konci v místě osazení na kozy vysekává ploška (líška). Kulatina se pak na lísku otočí. Dále se kulatina upevňuje na kozy pomocí speciálních dvoubřitých tesařských skob, které mají vykované konce do vzájemně kolmých krátkých čepelí. Skoby se někdy označují jako kramle (Kloiber, 2021).

3.6.2 Tesání kulatiny

Kulatina se nejlépe tesá ve směru vláken. Čím více je úhel úderu veden v příčném směru kulatiny, tím je tesání obtížnější. Opracování kulatiny má tři základní technologické kroky – vrubování, hrubování a lícování. Vrubování (Obr. 16) je první fází opracování, při které tesaři rozdělí oblinu (odstraňovaná část kulatiny) svislými záseky na krátké úseky takovým způsobem, aby šla v následujícím kroku opracovat na hrubo. Při hrubování (Obr. 16) je odsekávána krajina v jednotlivých navrubovaných polích, co možná nejbliže k vyměřené líci konečného profilu trámu, kvůli usnadnění posledního kroku tesání. Lícování (Obr. 17) je závěrečný proces, při kterém dochází k povrchové úpravě. Údery sekerou jsou vedeny šikmo po vláknech a běží po obloukové trajektorii. Působí na dřevo jako klín, který od sebe vlákna odtrhává. Vrubování a hrubování se provádí pomocí sekery zvané hlavatka, což je speciální tesařská sekera se symetricky úzkým ostřím pro opracování dřeva na hrubo. Lícování se provádí sekyrou zvanou širočina, používá se pro opracování kulatiny na čisto a je charakteristická širokým ostřím a zahnutým topůrkem doprava nebo doleva. Každá z těchto sekyr po sobě zanechává specifické znaky v závislosti na tvaru ostří a způsobu úderu (Kloiber, 2021). Pro lepší přehled skládání vytesaných prvků do vazby jsou dláty vydlabávána nebo sekerami vysekávána specifická značení.



Obr. 16: Vrubování a hrubování hlavatkou
(Kloiber, 2021)



Obr. 17: Lícování širočinou
(Kloiber, 2021)

3.7 Vlastnosti dřeva

Dřevo je přírodní, pevný, pružný a přitom lehký materiál, který má dobré tepelně-izolační vlastnosti, je schopné snášet velká zatížení a lehko se opracovává řeznými nástroji. Mechanické vlastnosti dřeva se odvíjí od anizotropie, což znamená odlišné pevnostní vlastnosti v různých směrech, tato vlastnost se u dřeva vyskytuje kvůli jeho anatomické stavbě (Požgaj, 1997).

3.7.1 Vlhkost

Vlhkostí dřeva se rozumí množství vody, které se nachází ve dřevě. Absolutní vlhkost se vyjadřuje jako poměr hmotnosti vody k hmotnosti absolutně suchého dřeva. Relativní vlhkost pak vyjadřuje poměr hmotnosti vody a hmotnosti dřeva mokrého (Horáček, 2008). Vlhkost dřeva se mění s relativní vlhkostí vzduchu a při jejím zvýšení dochází k většímu výskytu biotických škůdců. Voda se může do konstrukce dostat jako voda srážková (porušeným střešním pláštěm nebo spárami ve střešních spojích), kapilární (špatnou hydroizolací základové půdy a základů) a kondenzovaná (vzduchem ochlazeným pod teplotu rosného bodu vzniká kondenzát, který se sorpcí dostane do dřeva) (Reinprecht, 2008).

3.7.2 Točitost

Točitost se řadí mezi přirozené vady dřeva a jedná se o spirálovité uložení dřevních vláken, kdy směr vláken není rovnoběžný s osou kmene. Točitost lze rozpoznat podle závitnicovitě probíhajících trhlin v kůře. Tato vada snižuje možnosti užití dřeva pro konstrukční účely, mechanické vlastnosti jsou závislé na odklonu vláken. Nerovnoměrné sesychání má za následek zkrivení, borcení a praskání konstrukčního prvku (r.fld.czu.cz).

3.7.3 Mechanická namáhání

3.7.3.1 Tah a tlak

Tlak a tah vyjadřuje poměr velikosti tahové a tlakové síly působící kolmo na rovinnou plochu, odlišují se směrem působení. Při tahu se dřevní vlákna natahují a při tlaku stlačují. Po dosažení meze pevnosti v tahu se vlákna přetrhají a při tlaku roztlačí. V tahu se deformace značí kladně, v tlaku záporně (Požgaj, 1997).

3.7.3.2 Ohyb a smyk

Při zatížení dřeva v ohybu kolmo na vlákna vznikají pod silou tlaková a na vnější straně tahová napětí ve směru vláken. Za předpokladu, že vlákna netlačí vzájemně na sebe a vznikají jen pružné deformace, můžeme na výpočet použít Hookeův zákon. Čistý ohyb se v praxi objevuje jen ojediněle. Obvykle je nosník zatížený příčnými silami a potom vznikají v libovolném průřezu nosníku posouvající síly a ohybový moment. Ohybový moment vyvolává v průřezu normálová napětí a posouvající síly se snaží jednu část nosníku posunout oproti části druhé a vyvolávají tak napětí smykové. Zakřivená osa nosníku se nazývá ohybová čára (Požgaj, 1997).

3.8 Diagnostika dřevěných konstrukcí

Konstrukční hodnocení se používá v mnoha případech, nejčastěji však, když dojde k mechanickým poškozením a deformacím, způsobených vlivem vnějších činitelů nebo špatně navržených konstrukčních řešení. Platí obecná zásada, že průzkumy by měly být co nejméně invazivní, kromě malých vzorků určených k identifikaci druhu dřeva, mechanického a biotického poškození, nesmí být žádný prvek odstraněn a nesmí být odběrem narušeny jeho mechanické vlastnosti (Kloiber, 2015).

3.8.1 Podmínky pro diagnostiku dřevěných konstrukcí

Před vstupem do jakékoli dřevěné konstrukce je potřeba se ujistit, zda je konstrukce dostatečně bezpečná a při vstupu do ní a pod ní nehrozí zřícení. V případě zhoršených bezpečnostních podmínek je vhodné uvolněné prvky provizorně podepřít vzpěrami. Aby mohly být prvky správně hodnoceny, musí být dostatečně zpřístupněny. V některých případech se pro zlepšení dostupnosti používá jednoduchý žebřík, u vysokých krovových konstrukcí se uplatňuje lešení. Historické krovy často nebývají osvětleny, a proto je důležité kvalitní osvětlení pro vizuální prohlídku. Osvětlení

zajišťuje svítlna. Povrch dřeva nesmí být žádným způsobem znečištěný, skrytý v suti nebo zabetonovaný. Čištění povrchu dřeva se provádí výhradně suchými způsoby, aby nedošlo k poškození povrchu historického dřeva. Pro každý průzkum je potřeba mnoho druhů nářadí. Nejvíce se používá tesařské kladivo, šroubováky a dláta pro odběr vzorků. K záznamu naměřených hodnot se používá papír, tužka, pravítko s měřítkem, laserový dálkoměr, metry (skládací - 2 m, svinovací - 5 m, pásmo - 20 m), fotoaparát nebo videokamera se záložními bateriemi. K vizuálnímu průzkumu je zapotřebí kromě svítlny i lupa, popřípadě dalekohled a zrcátko. Vodováha a olovnice se používá na měření sklonů a náklonů. Doplnkovou výbavu tvoří skládací žebřík a čtyřhranné klíče k otevírání průlezů. Každý průzkumník by měl mít ochranné pracovní pomůcky (Kloiber, 2015).

3.8.2 Metody diagnostiky dřevěných konstrukcí

Pro určení správné diagnostiky se používají smyslové a přístrojové metody. V první fázi průzkumu se zhodnocují kritická místa za pomoci lidských smyslů a jednoduchých nástrojů (Pume, 1993). V těchto místech bývá zvýšená pravděpodobnost výskytu dřevokazných hub a dřevokazného hmyzu. Dále se zaměřuje pozornost na prvky, které jsou mechanicky a makroskopicky poškozené. V druhé fázi průzkumu se používají přístrojové metody kvůli specifickému určení poškození, které odhalí i vady smysly nerozpoznatelné.

3.8.2.1 Smyslové metody

Prvním smyslem používaným při průzkumu je zrak, podle kterého se dokáže zjistit poškození jakýmkoliv degradačním činitelem. Po vizuálním hodnocení se nejčastěji používá sluch, pomocí kterého lze rozeznat larvy a imaga některých druhů dřevokazného hmyzu. Při poklepu tesařského kladiva na prvek lze určit na základě ozvěny, jestli jsou v prvku přítomny dutiny. Dalším smyslem užívaným pro diagnostiku je hmat, pomocí kterého lze stanovit povrchová poškození a zvýšený výskyt vlhkosti. Nejméně používaným smyslem je čich, díky kterému můžeme určit přítomnost hub nebo následky požáru.

3.8.2.2 Přístrojové metody

K **měření vlhkosti** dřevěných stavebních prvků se používají vlhkoměry, v praxi se nejčastěji setkáváme s odporovým vlhkoměrem se zarážecími elektrodami, funguje na principu vztahu mezi elektrickým odporem a vlhkostí hygroskopického, v suchém stavu

málo vodivého nebo nevodivého materiálu. Platí obecné pravidlo, že měrný elektrický odpor klesá se zvyšující se vlhkostí. Tento typ vlhkoměrů měří pouze v lokální oblasti. Je výhodné jej používat u dřeva s vlhkostí 6-25 %. Další skupinu vlhkoměrů tvoří dielektrické vlhkoměry, které jsou založeny na vztahu mezi vlhkostí a dielektrickými vlastnostmi dřeva. Ovlivňuje je hustota dřeva, orientace vláken, teplota a frekvence střídavého proudu. Do dřeva se nezaráží, což je výhoda u zachování cenných povrchů. Měří vlhkost do 30 % s přesností na 1 % (Kloiber, 2015).

Odporové vrtání se provádí pomocí přístroje Resistograph (Obr. 19), což je odporová mikrovrtáčka s průměrem wolframového vrtáku 1,5-3,5 mm. Lze s ní vrtat až do hloubky 450 mm. Přístroj snímá potřebné množství energie pro udržení konstantní vrtné rychlosti při pronikání vrtáku do měřeného materiálu. (Bláha, 2007). Tento způsob hodnocení se řadí mezi částečně invazní in-situ metody přístrojové diagnostiky právě kvůli vrtání, které způsobuje malé kruhové otvory uvnitř prvku. Wolframový vrták má speciální úhlovou geometrii, díky níž se odpor soustředí v ocelové špičce (Obr. 18) a dochází tak k eliminaci tření vřetene. Vřeteno vrtáku se při vrtání neustále stabilizuje uvnitř vrtáku pomocí speciálního teleskopu. Resistograph je přes kabel napájený baterií, existuje i přístroj RESIF400, který je poháněn přímo akumulátorovou vrtáčkou. Metoda odporového vrtání poskytuje kompletní přehled o vnitřním stavu hodnoceného prvku v místě vrtu (Kloiber, 2015).



Obr. 18: Ocelová špička wolframového vrtáku

Řezný odpor vrtání je definován vztahem (Horáček, 2007):

$$R_D = T/\omega$$

R_Dodpor vrtání [$\text{Nm} \cdot \text{s} \cdot \text{rad}^{-1}$], (pozn.- výrobce Rinnetech používá rozměr [resi])

Ttočivý moment [$\text{Nm} \cdot \text{s}$]

ωúhlová rychlost [$\text{rad} \cdot \text{s}^{-1}$]

Výstupem z měření je grafický záznam v podobě křivky, který se zaznamenává na papírovou pásku, záznamník a zároveň elektronicky do počítače, kde je později zpracován ve vhodném programu. Křivka má rozdílný průběh u listnatých a jehličnatých dřevin způsobený odlišnou anatomickou stavbou (Kloiber, 2015). Přejed křivky v grafu značí změnu hustoty dřeva. Lze podle toho poznat přechod mezi jarním a letním dřevem. V oblasti, kde křivka probíhá atypicky, je pravděpodobný výskyt defektu. Na vodorovné ose x je vynesena délka měření od povrchu. Lokalizace poškození je z tohoto důvodu určena velice přesně (Bláha, 2007). Odporová charakteristika (RM – Resistance Measure) byla určena podle porovnávacích testů mezi destruktivními testy a odporovým vrtáním, je určena dle vztahu (Feio, 2007):

$$RM = S/h$$

RM.... odporová charakteristika

S..... plocha pod křivkou

h..... délka měřeného úseku

Při sestavování rentgenového hustotního profilu byla zjištěna hustota suchého dřeva, která úzce koreluje s průměrnými odporovými hodnotami, které byly zjištěny pomocí Resistographu (Rinn a kol, 1996). Pro zjištění kompletního stavu prvku je potřebné vrtat na více místech v rámci jednoho prvku, aby byl prvek zhodnocen po celé své délce. Nedostatkem používání resistographu je podmínka pro vrtání v čistě radiálním směru. Při vrtání v tangenciálním směru je průběh křivky podobný jako u poškozeného prvku, vrták je v tomto případě veden měkkým jarním dřevem mezi tvrdým dřevem letním. Výsledky měření bývají zkresleny i při vrtání do suku nebo trhlin, proto se do těchto míst vrtat nedoporučuje. Dalším nedostatkem přístroje je jeho neforemnost a těžkopádnost. V těžko přístupném terénu je velice obtížné s tímto přístrojem pracovat kvůli jeho rozměrům, příslušenství a hmotnosti. Pro měření je vyžadován volný povrch o rozměrech 100 x 100 mm kvůli přiložení vrtáku (Kloiber, 2015).



Obr. 19: RESISTOGRAPH® 650-SC s příslušenstvím (rinntech.de)

Reinprecht (2008) uvádí další metody přístrojové diagnostiky s širokým spektrem využití:

- **akustická tomografie** – analýza vnitřní hniloby na základě šíření elastických vln napříč vlákny
- **ultrazvuková metoda** – analýza vnitřní hniloby, resp. trhlin a požerků na základě rychlosti šíření ultrazvukových vln s možností stanovení modulu pružnosti dřeva
- **radiografická metoda** – zjištění vnitřní struktury dřeva (požerky, trhliny, suky) na základě absorpce X- nebo gama paprsků, CT dřeva
- **optická metoda** – pozorování změn struktury dřeva pomocí mikroskopů (světelný, elektronový), poškození v dutinách a stropech přenosem obrazu přes elektrická vlákna, analýza vlhkosti a hniloby pomocí absorpce infračerveného záření funkčními skupinami materiálu
- **elektromagnetická metoda** – použití radaru pro zjištění přítomnosti kovů, analýza trhlin pomocí mikrovln
- **termografická metoda** – zjištění odlišnosti barvy dřeva na základě radiofrekvenčního ohřevu
- **pevnostní metoda** – zjištění hniloby či chemické koroze a analýza vzorku odebraného dutým vrtákem, zjištění hniloby, požerků pomocí vniku tenké jehly, zatlačování trnu pro nepřímé stanovení hustoty a mechanických vlastností dřeva
- **chemická metoda** – detektor plynů identifikuje hnilobu a požár na základě koncentrace CO a VOC, typ a stupeň hniloby se určuje pomocí odběru vzorku, jejich separace a analýzy složek
- **biologická metoda** – určení druhu dřevokazné houby na základě DNA analýzy sekvence adeninu, guaninu, cytosinu a thyminu

3.9 Biotičtí škůdci dřevěných krovů

Biotičtí škůdci napadají dřevo už při růstu stromu a nakonec poškozují i různé dřevařské výrobky. Bakterie, houby a hmyz, ale i jiní škůdci hledají v dřevě živiny a energii pro život, případně ve dřevě nacházejí útočiště. Dřevokazné houby a hmyz způsobují významné ztráty dřevní hmoty a poškozují tím různé dřevěné konstrukce. K méně nebezpečným škůdcům dřeva patří bakterie, dřevozbarvující houby a plísně. Přirozená odolnost dřeva závisí hlavně na typu a podílu extraktivních látek, chemické a anatomické struktuře, na teplotě, vlhkosti a kontaktu s terénem (Reinprecht, 2008).

3.9.1 Dřevokazné houby

Při zvýšené vlhkosti v budově představují dřevokazné houby největší nebezpečí, protože dřevo je houbami rozloženo a tím se výrazně snižuje jeho pevnost. U rozkladu dřeva se rozlišuje, zda je způsobeno houbami hnědého nebo bílého tlení. Zdrojem výživy a energie pro houby hnědého tlení je především celulózová složka dřeva. Lignin se mění v látky humusové povahy. Z těchto důvodů dřevo postupně tmavne a kostkovitě se rozpadá, proto se rozpad dřevní hmoty v praxi označuje jako červená nebo hnědá hniloba. Tuto hnilobu způsobují nejčastěji houby rodu *Coniophora* a *Serpula*. Houby bílého tlení využívají pro svou výživu a energii všechny hlavní složky dřeva, tedy celulózu i lignin. Dřevo napadené těmito houbami zesvětlá, měkne, vytvoří se v něm komůrky a nakonec se drolí, nikdy se však kostkovitě netrhá. Hniloba způsobena houbami bílého tlení se označuje jako bílá hniloba dřeva kvůli bílému zbarvení (Baier, 2004). Bílá hniloba vzniká působením hub např. rodu *Trametes* a *Stereum*. Příkladem hub způsobujících měkkou hnilobu jsou např. houby rodu *Chaetomium* a *Alternaria*, napadají uhlovodíky v S2 vrstvě buněčné stěny listnatých i jehličnatých dřevin (Kloiber, 2015).

3.9.1.1 *Serpula lacrymans* (Wulfen) Schröt - Dřevomorka domácí

Serpula lacrymans (Obr. 20) je jednou z nejnebezpečnějších saprofytických hub způsobujících hnědou hnilobu. Vyskytuje se ve vlhkých sklepích, v suterénech, na půdách, výjimečně i ve volné přírodě (Baier, 2004). Plodnice má rozlité se síťnatě žláznatým povrchem o velikosti 50–300 mm, tloušťce 12 mm a délce až 1 m. Plodnice má žlutou barvu, později žlutohnědou, olivově hnědou až tmavohnědou (Kloiber, 2015). Mycelium (podhoubí) dřevomorky domácí je povrchové ve formě bílých vatovitých povlaků. Na větší vzdálenosti prorůstá pomocí rhizomorf, které se skládají z tenkých vláken, hrubostěnných vláken a cév. Cévy zajišťují transport vody z míst stávající aktivity houby do míst její aktivity budoucí. Dřevo napadené dřevomorkou domácí a dřevo zdravé 1–1,5 m od místa hniloby je nutné odstranit. Vyskytuje se v objektech už při vlhkosti 18–20 % a teplotě 3–26°C (Reinprecht, 2008).



Obr. 20: *Serpula lacrymans* (Wulfen) Schröt
(ochrana-dreva.cz)

3.9.1.2 *Coniophora Puteana* (Schumach.) P.Karst. – Popraška (Koniofora) sklepní

Coniophora Puteana (Obr. 21) je celulózovorní saprofytická houba vyskytující se na celém našem území. Napadá dostatečně shnilé dřevo jehličnatých i listnatých dřevin, např. stropní trámy, pozednice a různé jiné prvky dřevěných staveb (Reinprecht, 2008). Plodnice poprašky sklepní má hladký až hrbolkatý rozlitý tvar o velikosti 50–400 mm a tloušťky 2 mm. Barva plodnice je hnědá až olivově hnědá, jemné okraje jsou bílé nebo žlutavé (Kloiber, 2015). Popraška sklepní pro svůj vývoj potřebuje vlhkost 40–90 % a teplotu 3–35°C. Dřevo napadené touto houbou kostkovitě praská a zbarvuje se až do hnědo-černa (Reinprecht, 2008).



Obr. 21: *Coniophora Puteana* (Schumach.) P.Karst.
(skudci.com)

3.9.2 Dřevokazný hmyz

Dřevo je poškozováno nejen dřevokaznými houbami, ale i dřevokazným hmyzem. U hmyzu způsobují poškození dřeva požerky a výletové otvory od larev. Požerky mohou způsobit závažné poruchy statického charakteru, záleží na velikosti, lokalizaci a rozsahu požerků jednotlivých prvků dřevěné konstrukce. Dále pak narušují estetický vzhled prvků a poškozují stopy a značení tesařského opracování. Pro vizuální hodnocení je rozhodujícím faktorem četnost výletových otvorů. Důkazem aktivní přítomnosti hmyzu je čerstvý dřevní prach nebo drť na povrchu prvku nebo těsně pod ním. V dřevěných konstrukcích se nejčastěji vyskytuje dřevokazný hmyz čeledi *Anobiidae* (červotočovití), *Cerambycidae* (tesaříkovití), *Lyctidae* (hrbohlavovití) a *Bostrichidae* (korovníkovití) (Kloiber, 2015).

3.9.2.1 *Hylotrupes bajulus* (Linnaeus, 1758) – Tesařík krovový

Hylotrupes bajulus (Obr. 22) je jeden z největších a nejnebezpečnějších škůdců zpracovaného jehličnatého dřeva. Vyskytuje se hlavně v krovech, kde poškozuje vazné trámy, pozednice, krokve i jiné prvky. Kromě krovů napadá i jiné interiérové a exteriérové dřevěné části. Samička tesaříka krovového ve dvou až osmi zanáškách po dobu dvou až čtyř týdnů naklade pomocí vysouvateľného kladělka přibližně 140 až 180 (max. 420) vajíček dlouhých až 2 mm. Zasouvá je do štěrbin a trhlin ve dřevě

do hloubky 20–30 mm. Po jednom až třech týdnech se z vajíčka vylíhnou bílé larvy (Obr. 22), které se při vlhkosti dřeva 9–65 % (čerstvé dřevo jim nevyhovuje) a teplotě v rozmezí 12–38°C vyvíjejí několik let (Reinprecht, 2008). Larvy požírají především jarní bělové dřevo bohaté na živiny. Požerkové chodby jsou oválného až elipsového průřezu o rozměrech až 5 x 12 mm a rozléhají se až k povrchu prvku, zůstává pouze tenká krycí vrstva dřeva. Trus je válcovitého tvaru s rovnoměrně žlutavou barvou. Výletové otvory (Obr. 23) mají nepravidelný eliptický tvar (5–10 mm x 3–5 mm). Během letních měsíců lze zaslechnout škrábavé zvuky, které larvy vydávají při krmení (Kloiber, 2015).



Obr. 22: *Hylotrupes bajulus* – dospělec a larva (desinsekta.cz)



Obr. 23: *Hylotrupes bajulus* – oválné výletové otvory (thermosanace.cz)

3.9.2.2 *Anobium punctatum* (De Geer, 1774) – Červotoč proužkovaný

Anobium punctatum (Obr. 24) je hlavním a nejvíce se vyskytujícím zástupcem čeledi *Anobiidae* na našem území i v celé Evropě. Velmi vážným způsobem poškozuje opracované jehličnaté a listnaté dřevo. Kromě krovů škodí i na dveřích, oknech, obkladech, podlahách a schodech. Často se objevuje i v nábytku nebo v hudebních nástrojích (Reinprecht, 2008). Samičky kladou 20 – 40 vajec do drobných trhlin nebo do starých požerkových chodeb. Po 2 – 4 týdnech se larvy vylíhnou a v ten okamžik se zavrtávají do dřeva. Optimální podmínky pro vývoj larvy jsou teplota 21 – 24°C a vlhkost dřeva 28 – 30 % (blízko bodu nasycení buněčných stěn). U dubu se larvy zakuklí po 2 letech, u jehličnatých dřevina až po 4 – 8 letech. Z kukly se líhnou po 4 – 6 týdnech, kdy se dospělec provrtá skrz zbývající tenkou vrstvu dřeva a vznikají tak charakteristické kruhové výletové otvory (Obr. 25) s rozměry 1 – 2 mm v průměru. Zanechávají po sobě požerkové chodby zaplněné drobným trusem doutníkového tvaru (Kloiber, 2015).



Obr. 24: *Anobium punctatum* – dospělec a larva (desinsekta.cz)



Obr. 25: *Anobium punctatum* – výletové otvory (thermosanace.cz)

4. Materiál a metodika

4.1 Kostel svatého Josefa v Paloníně

4.1.2 Popis kostela

Obec Palonín leží v nadmořské výšce 272 m n.m., přibližně 6 km jihovýchodně od města Mohelnice a blízko zalesněné oblasti hradu Bouzov a oblasti Litovelského Pomoraví. Kostel svatého Josefa (Obr. 26, 27) se nachází na návsi obce Palonín, je to jednolodní stavba s pětibokým závěrem postavená v regionální formě klasicismu. Na jižní straně je přízemní sakristie připojena na presbytář, na kterou navazuje hasičská zbrojnice. Kostelní věž na severní straně předstupuje hlavní loď a je podepřena bočními schodišti. Kostel má sedlovou střechu, která se nad bočními schodišti věže tvaruje podle volutových křídel. Nad hlavní lodí je postaven sanktusník s lucernou a makovicí. U Presbytáře se sedlová střecha trojitě valbí. Krytinu střechy tvoří maloformátové eternitové šablony, na věži a sanktusníku je plech. Omítka kostela je hladká z brizolitu (pamatkovykatalog.cz).



Obr. 26: Kostel svatého Josefa – SZ pohled

4.1.1 Historie kostela

První písemná zmínka o obci Palonín pochází z roku 1353. V roce 1826 se začali obyvatelé Palonína radit, zda si vybudují svatyni Bohu a služby Jeho zasvěcené. Obzvláště se přičinil důstojný pán Josef Dostál, rodák z Palonína a arcikněz biskupství Vratislavského. Věnoval základní kámen a tím dílo započalo. Místní občané začali budovat kostel pod vedením faráře v Moravičanech v letech 1828–1829. Vrchním stavitelem kostela byl Antonín Honera z Králové. Dostavěno bylo roku 1829, ale Paloníctí se dlouho z nového kostela neradovali, protože zanedlouho po dostavění jejich arcikněz Dostál zemřel. Kostel tak zůstal opuštěn a nevysvěcen. Až v roce 1874 se staří obce, zejména starosta, radní a kaplan z Moravičan zasloužili o vysvěcení kostela a založení hřbitova, protože do té doby se pohřbívalo v Moravičanech. V období první světové války byly všechny kostelní zvony zrekvírovány pro vojenské účely. V roce 1927 se nové zvony instalovaly do kostela a v období druhé světové války byly opět využity pro vojenské účely. V komunismu se do kostela zavedla elektřina, elektrické topení a zvonění a tajně byl posvěcen zvon sv. Cyril a Metoděj. Přístavek u kostela postavený roku 1938 sloužil jako pobočka farního úřadu v Lošticích, dnes je z něj hasičská zbrojnice. V roce 2013 se kostel svatého Josefa a kamenné sousoší Kalvárie před kostelem staly národní kulturní památkou (Štipl, 2008).



Obr. 27: Kostel svatého Josefa – JV pohled

4.2 Průzkum krovu kostela svatého Josefa

Náradí, pomůcky a přístroje použité na průzkum:

- papír s šablonou na zápis měření, tužka s gumou, desky
- tesařské kladivo, dláta a šídlo
- svinovací metr (5 m), pásmo (20 m), laserový dálkoměr
- svítilna, čelovka se záložními bateriemi
- fotoaparát se záložními bateriemi
- skládací žebřík
- Resistograph s příslušenstvím, odporový vlhkoměr

4.2.1 Průzkum – první fáze

V první fázi průzkumu bylo zapotřebí seznámit se s kritickými místy v krovu a zjistit, zda je pohyb v krovu bezpečný. Následně se u každého prvku určil rozměr (šířka, výška) svinovacím metrem, poklepem kladívkem a vizuálním hodnocením se vyhodnotil degradační činitel (H – hniloba, T – tesařík, Č – červotoč, D – deformace, N – nevhodný nový prvek) i prvotní stupeň poškození. Stupeň poškození se čísluje od 1 do 4, kdy:

- 1 – prvek bez znatelného poškození dřeva. Dřevo má dobře čitelnou kresbu, je bez barevných změn a nemá stopy po biotických škůdcích. Konstrukční spoje jsou beze změn a deformace a průhyby jsou zanedbatelné.
- 2 – prvek s drobným poškozením dřeva. Dřevo má dobře čitelnou kresbu a lokálně se u něj mohou vyskytovat nepatrné známky biotického poškození, např. požerkové chodbičky od hmyzu nebo změna barvy kvůli dřevokazným houbám. Vady ve dřevě jsou v rámci normy. Konstrukční spoje jsou beze změn a deformace a průhyby jsou zanedbatelné
- 3 – prvek s poškozením dřeva. Dřevo má špatně čitelnou kresbu, v požerkových chodbičkách je přítomnost prachu a drtě. Na dřevu se vyskytují místa se změnou barvy, kostkovitým a jiným rozpadem vlivem dřevokazných hub. Poškození nepřesahuje polovinu průřezu prvku. Místa se objevují suky a trhliny. Konstrukční spoje jsou místy rozvolněné a místy se objevují deformace a průhyby.
- 4 – prvky s rozsáhlým poškozením dřeva. Dřevo se rozpadá na prach a kostky. Vně i uvnitř dřeva se objevují plodnice dřevokazných hub a hmyz ve všech

vývojových stádiích. Dřevo ztrácí své mechanické vlastnosti, poškození přesahují polovinu průřezu prvku. Konstrukční spoje jsou rozvolněné, vyskytují se deformace, průhyby, suky a trhliny (Kloiber, 2015).

Dále se u každého prvku musel určit i jeho polohopis v konstrukci. Postupovalo se od první vazby (východ) hlavní lodi po každé vazbě až k 20. vazbě presbytáře a zpět k první vazbě (západ) hlavní lodi. Následně se pokračovalo východní částí pultu u věže, západní částí pultu u věže a nakonec se měřily prvky ve věžičce, pro kterou se zavedlo specifické označení vazeb od 1 do 4. Pro měření prvků věžičky byl použit žebřík kvůli lepší dostupnosti. V každé vazbě krovu byly označeny prvky (vazný trám, krokev, hambalek, atd.) náležející dané vazbě. Na základě určení stupně poškození se navrhla předběžná sanace. Jako sanační opatření se navrhla výměna celého prvku (C), protézování (P) nebo konstrukční vyspravení prvku (V). Na úplný závěr první fáze průzkumu se laserovým dálkoměrem měřila délka prvků. V první fázi průzkumu byly využívány především smyslové metody za pomoci jednoduchých pomůcek a nástrojů.

Tab. 1: Ukázka z měření – první vazba hlavní lodi

Příčné vazby - hlavní loď												
Číslo vazby	Prvek	Část krovu	Rozměry			Foto	Poškození	Stupeň poškození	Návrh sanace	absolutní vlhkost	odporové vrtání	Konst. sanace výměra
			šířka	výška	délka							
			(mm)	(mm)	(mm)							(m ³)
1	Vazný trám	Východ	200	220	5500	9009	H,T,Č	3			3973	
	Krokev		160	120	8000		H,T,Č	3	C			0,15
	Sloupek		170	160	3000		T,Č	2				
	Vzpěra		130	130	4000		T	1-2				
	Hambalek		140	160	3000	9010	H,T	3	C			0,07
	Vazný trám	Západ	200	230	5500	9013	H,T	2			3994	
	Krokev		120	150	8000	9012	H,T,Č	3	C			0,14
	Sloupek		150	190	3000		H,T,Č	3	C			0,09
	Vzpěra		120	130	4000		T,Č	2-3	C			0,06
	Hambalek		140	160	3000	9011	H,T,Č	3-4	C			0,07

4.2.2 Průzkum – druhá fáze

Ve druhé fázi průzkumu šlo především o specifitější a důkladnější určení rozsahu skrytého poškození za pomoci přístrojových metod. K těmto účelům byl použit přístroj Resistograph 4453-P na odporové vrtání. Pomocí semi-destruktivní metody odporového vrtání byl určen vnitřní příčný profil prvku. Ve většině případů se vrtalo pouze 10 cm od koruny zdiva a to u prvků podezřelých z vnitřního poškození nebo u prvků, u kterých bylo zapotřebí se ujistit, zda diagnóza na základě poklepu kladívkem byla správná. Pro správné měření bylo potřeba vrtat čistě v radiálním směru, aby výsledky nebyly zkreslené. Data z měření se ukládala pomocí termotiskárny na roli papíru a zároveň do

počítače, kde byly výsledky později hodnoceny pomocí programu Microsoft Excel. Další částí druhé fáze byla fotodokumentace. Bylo potřeba vyfotit téměř každý poškozený prvek kvůli lepší orientaci při závěrečné diagnostice. Kromě poškozených prvků byly foceny i prvky, na kterých se vyskytovaly známky po tesařském opracování. V různých částech krovu byla náhodně zjišťována vlhkost prvků odporovým vlhkoměrem. Na závěr druhé fáze bylo odebráno osm malých vzorků (Obr. 28) z různých částí krovu kvůli identifikaci druhu dřev z důvodu výskytu pryskyřičných kanálek u některých prvků. Vzorky byly odebrány dlátem. Každý vzorek byl popsán a očíslován, aby se mezi sebou nezaměnily. Na základě přístrojové metody byly poupraveny stupně poškození některých prvků a jejich následná sanační opatření.

4.2.3 Diagnostika

Ručně naměřené hodnoty bylo potřeba přepsat do elektronické podoby (Tab. 1). Z výsledků měření Resistographem se pomocí programu Microsoft Excel zjišťovala hodnota RM a průběh křivky, na jejichž základě byla určena závěrečná sanační opatření. Vzorky se nařezaly na tenké plátky v tangenciálním, podélném a příčném směru a druhy dřev byly identifikovány světelným mikroskopem.



Obr. 28: Vzorky určené k identifikaci

5. Výsledky

5.1 Konstrukční skladba krovu

Konstrukce krovu je krokevní s hambalky v každé příčné vazbě a s rozvinutým podélným vázáním dvojitou stojatou stolicí (Obr. 29). V podélném směru jsou stolice zavětrovány oboustrannými pásky na koncích čepované do sloupku a vaznice, zajištěné dřevěnými hřeby (Obr. 30). Vazné trámy jsou zde ve všech příčných vazbách (pod sloupky stolic), pouze ve třetí a osmé vazbě jsou krátkata čepované do výměny vazných trámů. Sloupky jsou v příčném směru zpevněné vzpěrami, přibližně rovnoběžné s krokvemi, na koncích jsou jednostranně rybinovitě plátované do hambalků a čepované do vazných trámů (Obr. 32). Uložení pat krokví je provedeno čepováním přímo do zhlaví vazných trámů a krátkat. Konstrukce krovu je rozdělena na širší část nad hlavní lodí a užší část nad presbytářem, přechod tvoří úžlabní a nárožní krokev. V místě mezi šestou a desátou příčnou vazbou je na vazných trámech osazen prahový rošt vynášející konstrukci osmibokého sanktusníku (Obr. 32).

V místě věže pokračuje krov hlavní lodi pultovou konstrukcí, kde jsou krokve osazeny na vaznici a čepovány do vazných trámů, podepření vazných trámů zajišťuje pozednice a u stěny věže prahový trám, vaznici podpírá dvojice sloupků s tím, že ve vazbě u štítové zdi je sloupek zajištěn vzpěrou (Obr. 33). Podélné vázání pultové konstrukce obstarávají plátované pásky do sloupků a vaznice zajištěné dřevěnými hřeby. Příčné vazby jsou mezi sebou rozestoupeny 1 m. Příčné rozpětí krovu v hlavní lodi činí 11 m, v presbytáři 9 m.

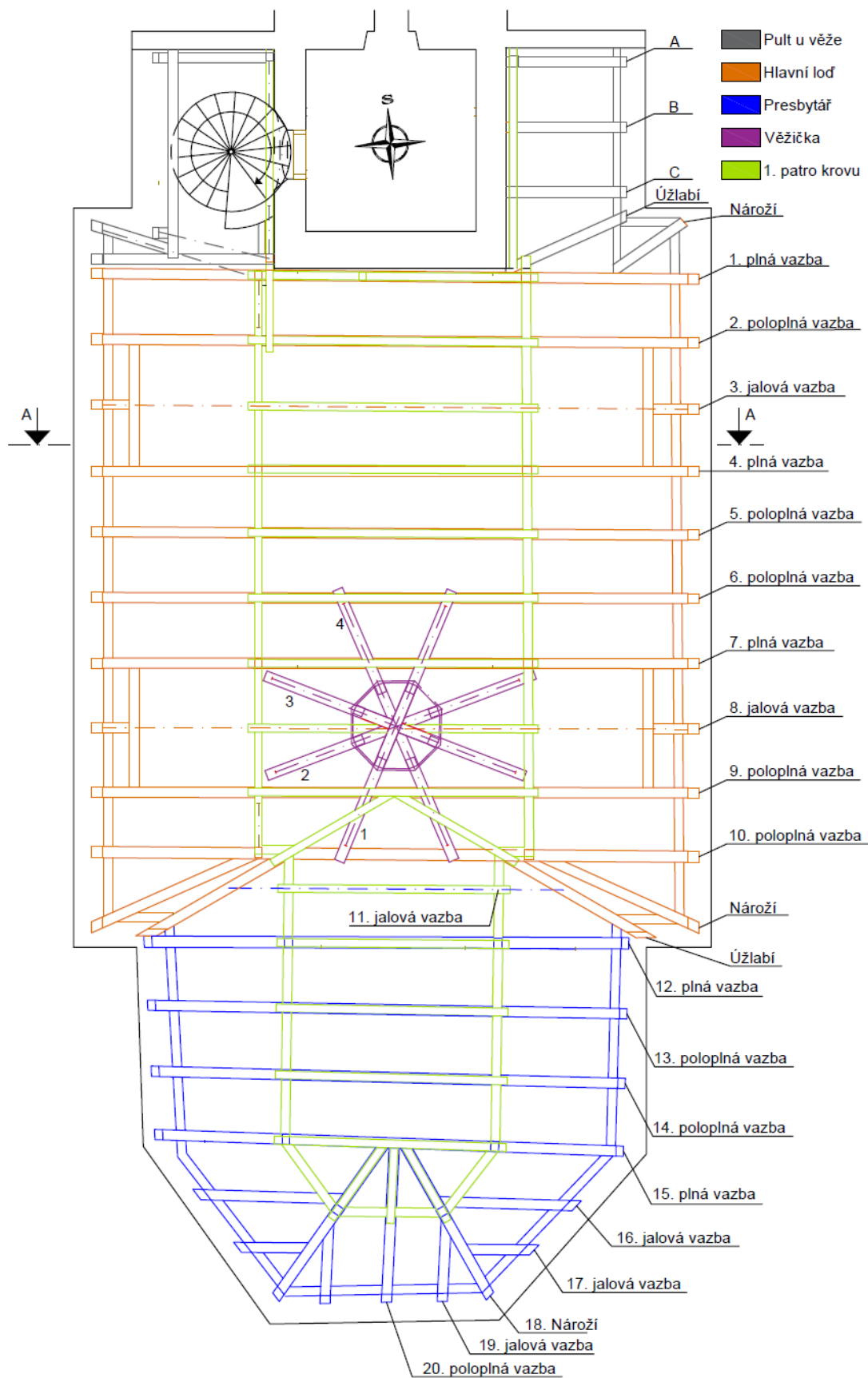
Pro zpřehlednění popisu je zde uveden schematický půdorys s vyznačením jednotlivých dílčích částí krovu (Obr. 31) a řez čtvrtou hlavní vazbou (Obr. 34), ve které se vyskytuje nejvíce prvků.



Obr. 29: Krov presbytáře – západní podélné vázání



Obr. 30: Krov hlavní lodi – čepované spoje pásků podélného vázání



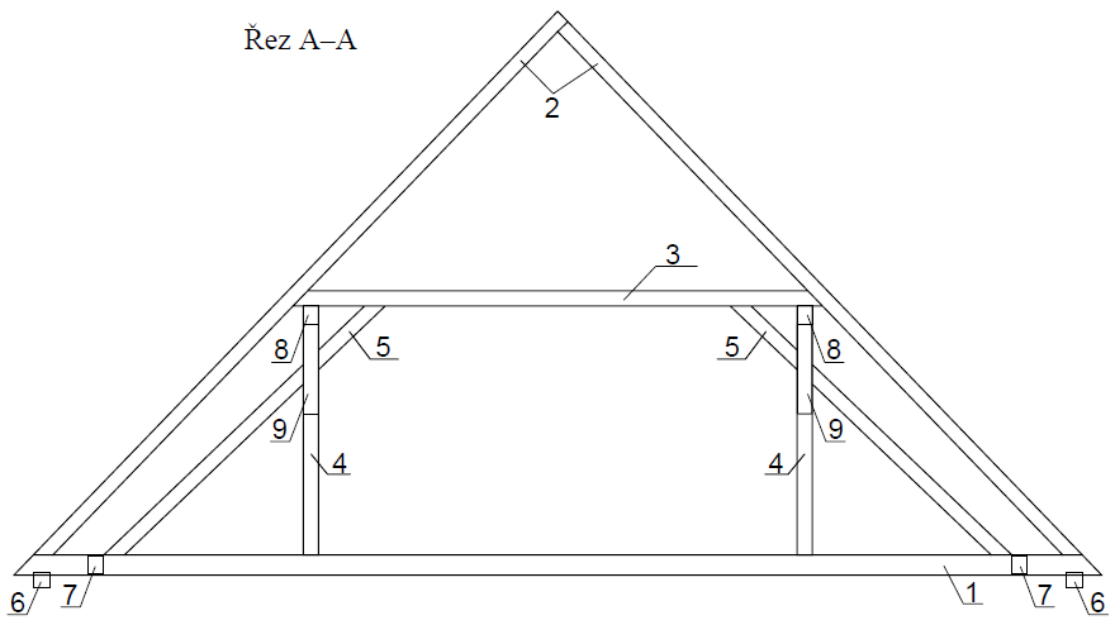
Obr. 31: Schematický půdorys krovu



Obr. 32: Krov hlavní lodi – příčná vazba se
vzpěrami, v pozadí konstrukce sanktusníku
(věžičky)



Obr. 33: Krov hlavní lodi – pultová část v místě
věže



Obr. 34: Řez plnou vazbou hlavní lodi

- 1) vazný trám (VT)
- 2) krokve
- 3) hambalek
- 4) svislé sloupky
- 5) šikmé vzpěry
- 6) pozednice
- 7) výměna VT
- 8) středové vaznice
- 9) zavětrovací pásy

5.2 Vyhodnocení poškození

5.2.1 Hlavní loď

První vazba byla velice poškozena biotickými činiteli, zejména hnilobou a tesaříkem. V této vazbě by bylo potřeba vyměnit pět příčných prvků. Nejvíce poškozen byl hambalek (Obr. 36).

Ve druhé vazbě byly výrazně poničeny krokve. Vnitřní diagnostika západní krokve byla provedena pomocí Resistographu 4453-P. Hambalek byl z východní strany poškozen v místě spoje s krokví, ze západní strany pak v rozsahu jeden metr. Třetí vazba byla vyhodnocena jako vazba bez výrazného poškození.

U vazného trámu ve čtvrté vazbě byla lokalizována výrazná točitost (Obr. 37). V místě spoje levotočivého vazného trámu a vzpěry se vazný trám roztrhal v místě výsušné trhliny vlivem enormní rotace při vysychání významně levotočivého dřeva. Provizorně byl ocelovou objímkou přichycen ke zbytku vazného trámu. Vzhledem k průběhu točitosti byla navržena protéza 7 m z východní strany. Krokev na východní straně byla určena k protéze 4 m kvůli biotickým poškozením. Jako výrazně levotočivá byla určena i středová vaznice na východní straně.

Metoda odporového vrtání byla uplatněna i v páté vazbě. U vazného trámu (Obr. 38) byla naměřena jedna z nejmenších hodnot RM z celého krovu (Graf 1). Kromě vazného trámu byla poškozena i východní krokev.

V šesté až desáté vazbě byly vazné trámy zdeformovány vlivem významného přetížení vazných trámů vynášejících věžičku. Vlastní hmotnost věžičky způsobila průhyb vazných trámů do takové míry, že vazné trámy v sedmé (Obr. 39) a deváté (Obr. 41) vazbě začaly tlačit na klenbu kostela, která začala místy praskat. Vazné trámy umístěny v šesté až desáté vazbě byly při tvorbě krovu špatně staticky navrženy. Tato statická porucha byla vyhodnocena jako jedna z nejzávažnější poškození celého krovu, protože při ignorování této poruchy by mohlo dojít k značnému poškození klenby hlavní lodi. Vazný trám šesté vazby nebyl výrazně napaden biotickými škůdci (Graf 2), hodnoty RM a průběh křivky odpovídaly zdravému dřevu. Kromě statické deformace se v šesté až desáté vazbě převážně u krokví vyskytovala i biotická poškození (Graf 3, Obr. 40), kvůli kterým bylo potřeba navrhnout adekvátní sanační opatření.

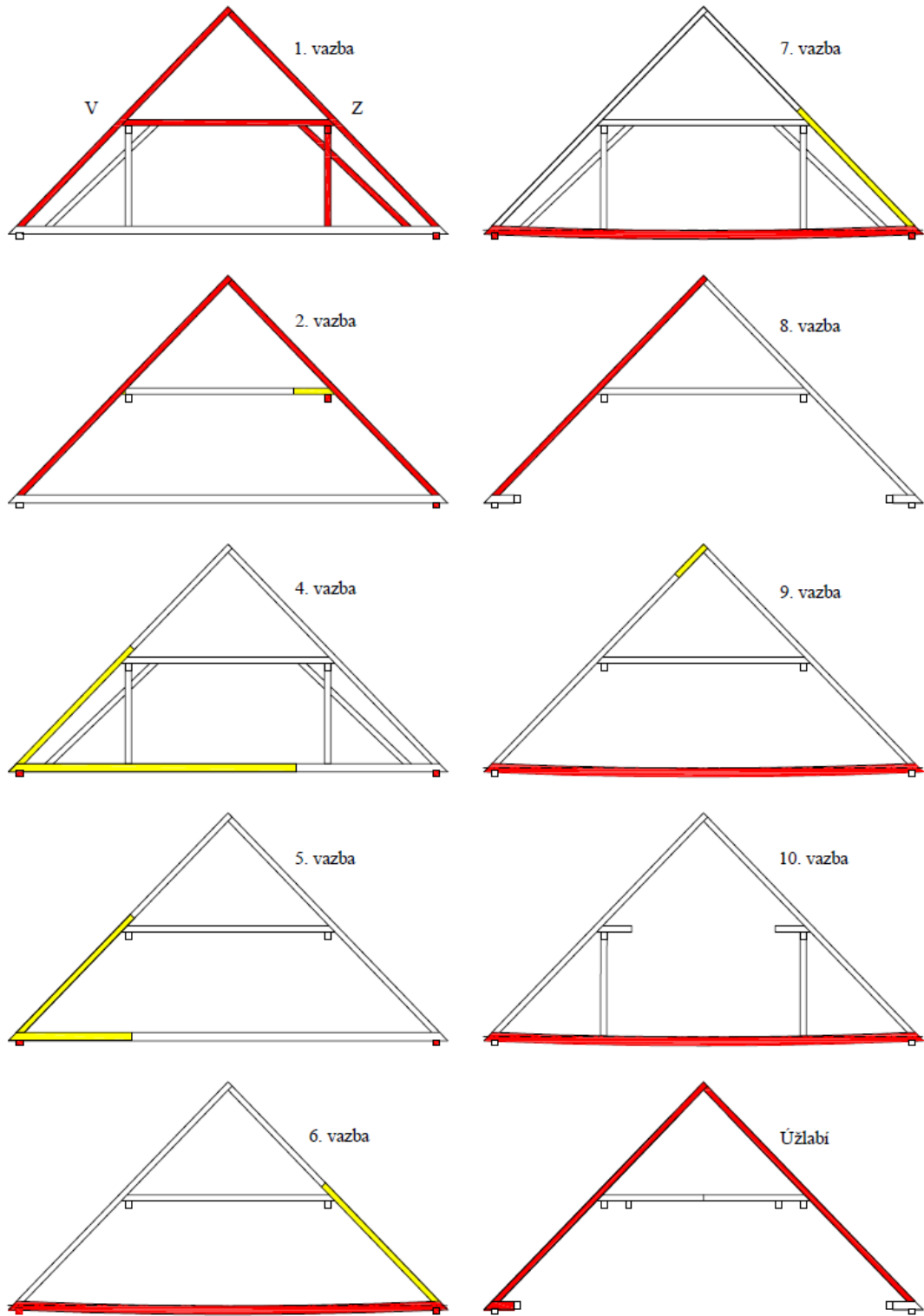
V následujících schematických obrázcích všech částí krovu jsou znázorněny vazby s vyznačenými poškozeními (Obr. 35). V tabulce 2 je zobrazen přehled všech poškozených prvků hlavní lodi.

Vysvětlivky : (viz seznam zkratk a symbolů)

Tab. 2: Přehled poškozených prvků hlavní lodi

č.v.	prvek	s.s.	rozměry (b,h,l) [mm]	d.č.	s.p.	RM [mm]	n.s.	v.k.s. [m ³]
1	Krokev	V	160×120×8000	H,T,Č	3	X	C	0,15
	Hambalek		140×160×3000	H,T	3	X	C	0,07
	Krokev	Z	120×150×8000	H,T,Č	3	X	C	0,14
	Sloupek		150×190×3000	H,T,Č	3	X	C	0,09
	Vzpěra		120×130×4000	T,Č	2-3	X	C	0,06
	Hambalek		140×160×3000	H,T,Č	3-4	X	C	0,07
2	Krokev	V	150×130×8000	H,T	3	X	C	0,16
	Hambalek		120×160×3000	H,T,Č	2	X	V-čep	
	Krokev	Z	140×150×8000	H,T,Č	3-4	161,7	C	0,17
	Hambalek		120×160×3000	H	2-3	X	P-1	0,02
4	VT	V	180×220×5500	Toč	3-4	X	P-6	0,22
	Krokev		160×140×8000	H,T,Č	3	X	P-4	0,09
5	VT	V	210×240×5500	H,T,Č	3	143,2	P-3	0,15
	Krokev		160×130×8000	H	3	X	P-4	0,08
6	VT	V	210×230×5500	T+D	2-3	X	C	0,27
	VT	Z	180×240×5500	T+D	2	216,6	C	0,24
	Krokev		160×130×8000	T,H	3	X	P-4	0,08
7	VT	V	220×230×5500	T,Č,D	2-3	X	C	0,28
	VT	Z	210×220×5500	H,T,D	3	X	C	0,25
	Krokev		160×160×8000	H,T	3	X	P-4	0,10
8	Krokev	V	150×130×8000	H,T,Č	2-3	169,3	C	0,16
9	VT	V	180×240×5500	H,T,D	2	X	C	0,24
	Krokev		160×130×8000	H,T	2-3	X	P-1*	0,02
	VT	Z	180×200×5500	T,Č,D	2	X	C	0,20
10	VT	V	200×240×5500	T,Č,D	2	X	C	0,26
	VT	Z	190×240×5500	T,Č,D	1-2	X	C	0,25
Úž.	Krátče	V	180×210×3000	T,Č	2	164,1	C	0,11
	Krokev		140×120×7500	H,T,Č	3	X	C	0,13
	Krokev	Z	160×130×7500	T,Č	3	X	C	0,16
1-4	Pozednice	Z	180×150×4000	H,T,Č	2-3	X	C	0,11
	Vaznice		150×180×4000	T	3	X	P-3,5	0,09
4-7	Pozednice	V	180×150×4000	H,T	2-3	186	C	0,11
	Pozednice	Z	180×150×4000	T,Č	2-3	175,8	C	0,11

- Prvky určené k celkové výměně
- Prvky určené k protézování



Obr. 35: Poškozené vazby hlavní lodi



Obr. 36: Poškozený hambalek v první vazbě



Obr. 37: Točitost VT



Obr. 38: Spoj VT a krokve poškozený biotickými škůdci



Obr. 39: Zdeformovaný VT vlivem hmotnosti věžičky

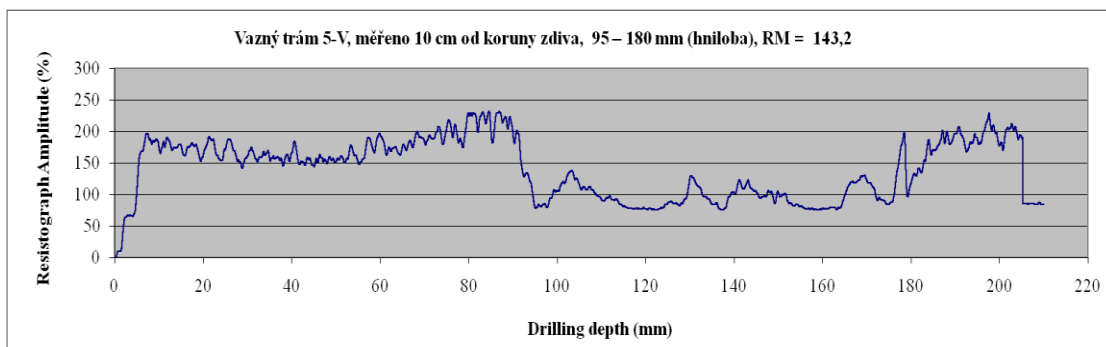


Obr. 40: Západní krokve 7. vazby poškozená hnilobou a tresářikem

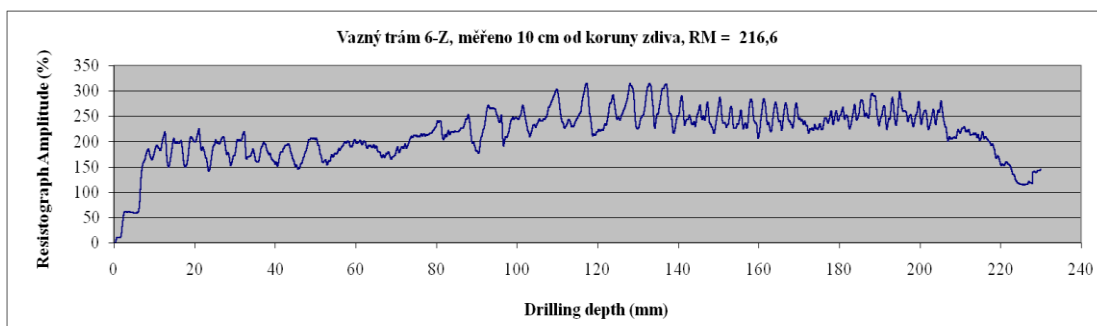


Obr. 41: VT tlačící na klenbu

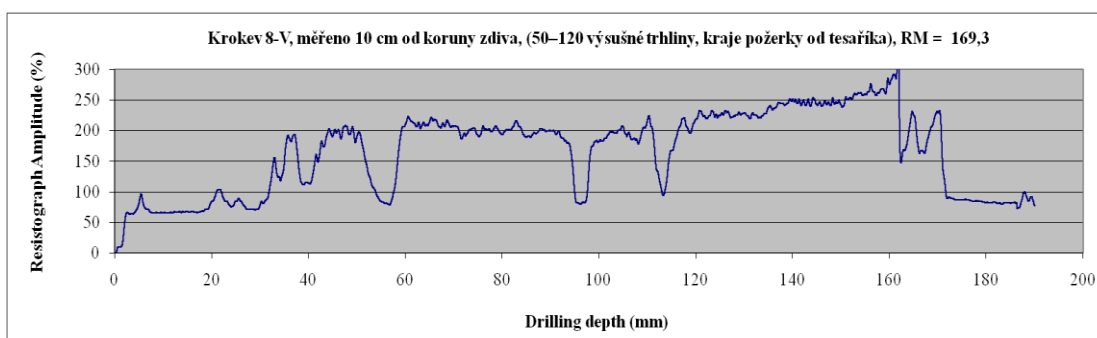
Graf 1: Průběh odporového vrtání – VT páté vazby



Graf 2: Průběh odporového vrtání – VT šesté vazby



Graf 3: Průběh odporového vrtání – východní krokev osmé vazby

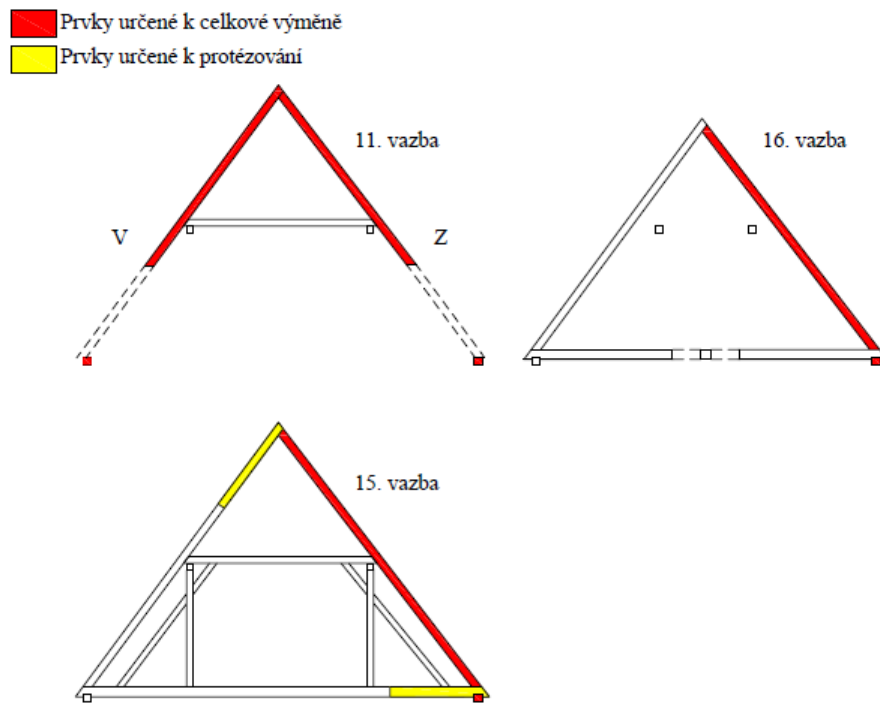


5.2.2 Presbytář

V presbytáři bylo v příčných vazbách objeveno poškození pouze v 11., 15. a 16. vazbě (Obr. 42). Nejvíce poničeny byly krokve. V 15. vazbě byl na západní straně poškozen vazný trám (Obr. 43). Na tomto vazném trámu bylo provedeno odporové vrtání (Graf 4), které ukázalo, že je prvek zdravý, nakonec bylo rozhodnuto tento prvek oprotézovat 2 m kvůli napadení biotickými škůdci. V presbytáři bylo výrazně méně poškozených prvků než v hlavní lodi. Seznam poškozených prvků je zobrazen v Tab. 3.

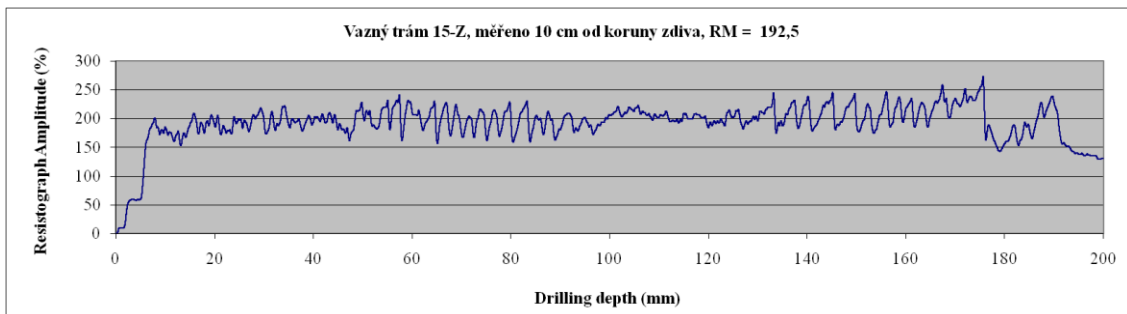
Tab. 3: Seznam poškozených prvků presbytáře

č.v.	prvek	s.s.	rozměry (b,h,l) [mm]	d.č.	s.p.	RM	n.s.	v.k.s. [m ³]
11	Krokev	V	150×130×5000	H,T,Č	3	X	C	0,10
	Krokev	Z	150×130×5000	H,T,Č	3	X	C	0,10
15	Krokev	V	170×140×7000	H,T,Č	1-2	X	P-2*	0,05
	VT	Z	210×210×4500	H,T,Č	2	192,5	P-2	0,09
	Krokev		150×130×7000	H,T	3	X	C	0,14
16	Krokev	Z	130×140×5000	T,Č,D	3	X	C	0,09
10–15	Pozednice	V	160×170×4500	H,T	3	171,5	P-2	0,05
	Pozednice	Z	190×150×4500	H,T,Č	2-3	X	C	0,13
15–18	Pozednice	Z	160×150×4500	H,T	3	X	C	0,11



Obr. 42: Poškozené vazby presbytáře

Graf 4: Průběh odporového vrtání – západní část VT 15. vazby




Obr. 43: VT poškozený biotickými činiteli

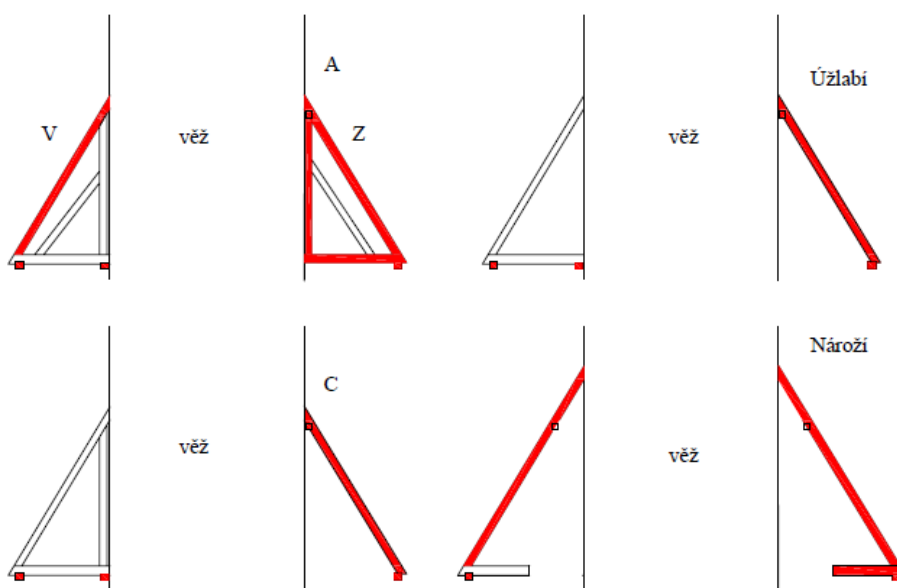
5.2.3 Pult u věže

Na západní straně pultu u věže se vyskytovaly převážně nové, nevhodně ošetřené prvky. Tyto prvky byly určeny k celkové výměně. Z východní strany byly krokve nejvíce poškozeny hnilobou, tesaříkem a červotočem. V podélných vazbách nejen pultu u věže byly nejvíce poničeny pozednice. Pozednice byly v přímém kontaktu se zdí a díky přítomnosti kapilární vody byly náchylnější k biologickým poškozením. Seznam všech poškozených prvků je zaznamenán v tab. 4. a obr. 44.

Tab. 4: Přehled poškozených prvků pultu u věže

č.v.	prvek	s.s.	rozměry (b,h,l) [mm]	d.č.	s.p.	RM [mm]	n.s.	v.k.s. [m ³]
A	Krokev	V	130×130×4000	H,T,Č	2-3	X	C	0,07
	Krátče	Z	200×200×2500	T	3	X	C	0,10
	Krokev		120×160×4000	H,T,Č	3	X	C	0,08
	Sloupek		150×190×3000	N		X	C	0,09
	Vzpěra		150×130×3000	N		X	C	0,06
C	Krokev	Z	120×140×4000	H,T,Č	3	X	C	0,07
Úž.	Krokev	Z	120×130×4000	N	3	X	C	0,06
Nároží	Krokev	V	160×120×5000	H,T,Č	3	X	C	0,1
	VT	Z	180×180×2000	T	3	X	C	0,06
	Krokev		120×120×5000	H	3-4	X	C	0,07
A-D	Pozednice	V	140×160×4000	T	3	X	C	0,09
	Práh		140×160×4000	T	3	X	C	0,09
	Pozednice	Z	160×180×4000	H,T	3	X	C	0,12
	Vaznice		130×170×4000	N		X	C	0,09
	Pásek A-B		130×160×1500	N		X	C	0,03
	Pásek C-B		130×160×1500	N		X	C	0,03

 Prvky určené k celkové výměně



Obr. 44: Poškozené vazby pultu u věže

5.2.4 Věžička

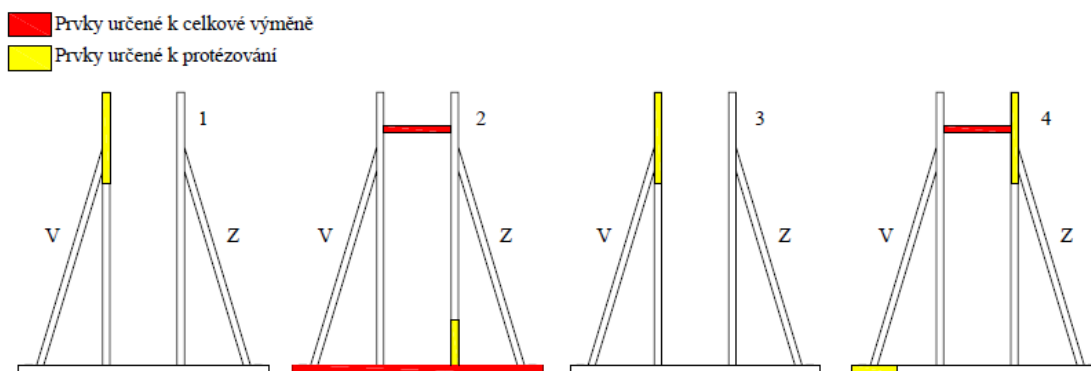
Ve věžičce bylo provedeno odporové vrtání u všech vazných trámů, nejmenší hodnotu RM z celého krovu měl západní vazný trám 2. vazby věžičky. Na východní straně odpovídaly hodnoty zdravému dřevu (Graf 6), avšak poškození na západní straně vazného trámu (Graf 5) bylo rozsáhlé (Obr. 45). Z tohoto důvodu bylo určeno celý prvek vyměnit za nový. Dále byly poničeny sloupky pod lucernou vlivem napadení tesaříka. U těchto sloupků by bylo potřeba navrhnout 2 m protězy od lucerny. Konstrukce věžičky byla téměř celou svou hmotností opřena o klenbu kostela. Poškození jsou zobrazena v tab. 5 a obr. 46.

Tab. 5: Přehled poškozených prvků věžičky

č.v.	prvek	s.s.	rozměry (b,h,l) [mm]	d.č.	s.p.	RM	n.s.	v.k.s. [m ³]
1	Sloupek	V	190x160x6000	T,Č	2-3	X	P-2*	0,12
2	VT	V	180x220x5500	T,Č	2	192	C	
	Rozpěra		140x170x1500	T,H	2-3	X	C	0,04
	VT	Z	200x220x5500	T,H	3	135,6	C	0,24
	Sloupek		160x170x6000	H,T,Č	2-3	X	P-1	0,03
3	Sloupek	V	160x160x6000	T	3	X	P-2*	0,10
4	VT	V	190x210x5500	T,Č	2	155,1	P-1	0,20
	Rozpěra		140x170x1500	T,H	2-3	X	C	0,05
	Sloupek	Z	170x200x6000	T,Č	3	X	P-2*	0,14

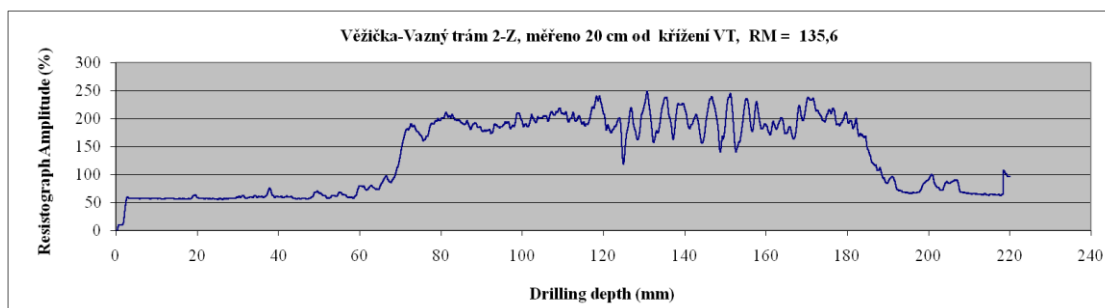


Obr. 45: VT věžičky napadený tesaříkem a hnilobou

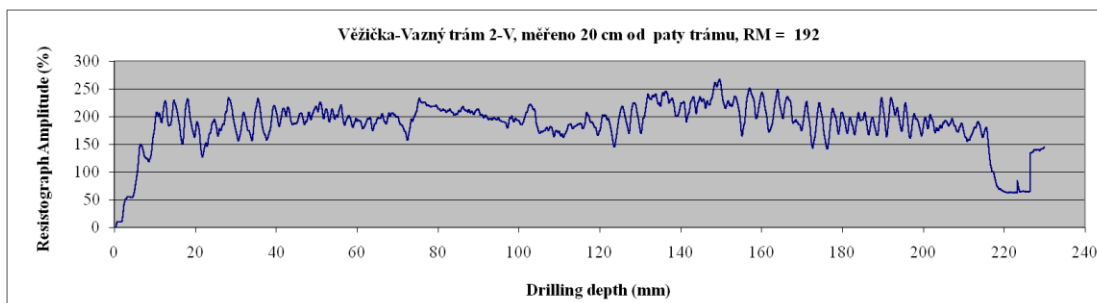


Obr. 46: Poškozené vazby věžičky

Graf 5: Průběh odporového vrtání – západní část VT



Graf 6: Průběh odporového vrtání – východní část VT



5.3 Trasologie stop tesařského opracování

Dřevo bylo tradičně tesařsky opracováno na kozách (vysoká práce), což lze na povrchu konstrukčních prvků doložit vruby po párovém vrubování (Obr. 47), kdy tesaři stáli vedle kulatiny uložené v úrovni pasu na kozách. Vruby se vyskytovaly pouze u trámů ostře hraněných, prvky s oblinou byly přímo lícované (Obr. 49). Vruby od sebe byly vzdáleny 50–80 cm. Dřevo bylo sekáno praváky do čtyř linek. Nejprve byly opracovány 2 linky, následně se dřevo otočilo na jednu z opracovaných stran a vytvořily se zbývající 2 linky. Na prvcích byly znatelné stopy po vrubování a hrubování

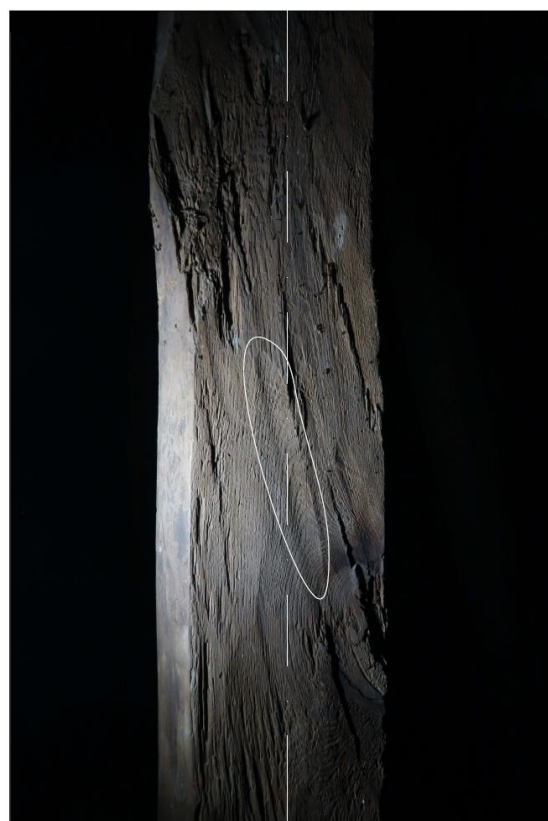
(Obr. 50). K finálnímu opracování bylo použito specializovaných tesařských seker (hlavátka – hrubování, širočina – lícování), které na povrchu prvků zanechaly typické stopy – záštěpky, rýhy, zatrhnutí. Šířka čepele použité hlavátky byla přibližně 55 mm (Obr. 48).



Obr. 47: Vrub po párovém vrubování



Obr. 48: Šířka stopy po opracování hlavátkou



Obr. 49: Stopa po lícování širočinou



Obr. 50: Stopa po vrubování (zelená) a hrubování (bílá) hlavátkou

5.3.1 Tesařská značení

Tesařské značky (Tab. 6) usnadňovaly vztyčování samotné konstrukce. U většiny vazeb bylo objeveno specifické značení z východní i západní strany. Detaily řemeslného opracování a především systém průběžného postupného montážního číslování jednotlivých krovových vazeb potvrzují, že krovy nad hlavní lodí i presbytářem vznikly ve stejné době a jsou bezpochyby i dílem stejné skupiny tesařů či řemeslně zručných obyvatel Palonína a blízkého okolí. Značky byly vydlabány dlátem nebo jednoduchými záseky sekerou. Východní strana byla označena jednoduchými římskými číslicemi, na západní straně se kombinoval symbol trojúhelníku a římských číslic. Vazby byly číslovány od jedné do dvaceti. V patnácté vazbě byl identifikován specifický symbol spojeného X a V na východní straně (Obr. 51). Tento symbol se pak objevuje i u vazeb na západní straně.

Tab. 6: Tesařské montážní značky – příčné vazby

č.v.	1						3		4						5	
prvek	kr.	sl.	vz.	kr.	sl.	vz.	kr.	kr.	kr.	sl.	vz.	kr.	sl.	vz.	kr.	
s.s.	V			Z			V	Z	V			Z			Z	
značka				◁	◁	◁		≡				≡	≡	≡	≡	
č.v.	6		7						8		9		10			
prvek	kr.	kr.	kr.	sl.	vz.	kr.	sl.	vz.	kr.	kr.	kr.	kr.	kr.	sl.	kr.	
s.s.	V	Z	V			Z			V	Z	V	Z	V			Z
značka	∨	∨◁	∨	∨	∨	∨≡	∨≡	∨≡	∨	∨≡	∨	∨≡	∨≡	∨	∨	X
č.v.	11		12						13		14					
prvek	kr.	kr.	kr.	sl.	vz.	kr.	sl.	vz.	kr.	kr.	kr.	kr.				
s.s.	V	Z	V			Z			V	Z	V	Z				
značka	X	X▷	X	X	X	X≡	X≡	X≡	X	X≡	X	X≡				
č.v.	15						16	17	18	19		20				
prvek	kr.	sl.	vz.	kr.	sl.	vz.	kr.	kr.	kr.	kr.	kr.					
s.s.	V			Z			Z	Z	Z	V	Z	J				
značka	X∨	X∨	X∨	X≡	X≡	X≡	X▷	X▷	X▷	X	X▷	XX				
věžička																
č.v.	1						2									
prvek	VT	sl.	vz.	VT	sl.	vz.	VT	sl.	vz.	VT	sl.	vz.				
s.s.	V			Z			V			Z						
značka	∨	∨	∨				∨	∨	∨							
č.v.	3						4									
prvek	VT	sl.	vz.	VT	sl.	vz.	VT	sl.	vz.	VT	sl.	vz.				
s.s.	V			Z			V			Z						
značka	∨	∨	∨				∨	∨	∨							

U podélných vazeb bylo zjištěno značení pouze u zavětrovacích pásků. Značení západního pásku 3–4 a pásku 4–5 bylo totožné. V místě závěru presbytáře měl stejné označení i pásek 18–20. Přehled označení pásků je zobrazen v tab. 7.

Tab. 7: Tesařské montážní značení – podélné vázání

č.v.	1–4				4–7			
prvek	pás. 1–2	pás. 3–4	pás. 1–2	pás. 3–4	pás. 4–5	pás. 7–6	pás. 4–5	pás. 7–6
s.s.	V		Z		V		Z	
značka			∇	∇			∇	∇

č.v.	7–Nároží				10–15			
prvek	pás. 7–8	pás. 10–9	pás. 7–8	pás. 10–9	pás. 12–11	pás. 12–13	pás. 12–11	pás. 12–13
s.s.	V		Z		V		z	
značka	∇	∇	∇∇∇∇	∇∇	∇	∇	∇∇	∇∇∇

č.v.	15–18				18–18	
prvek	pás. 15–16	pás. 18–16	pás. 18–16	pás. 15–16	pás. 18–20	pás. 18–20
s.s.	V		Z		V	Z
značka	∇	X∇	X∇	∇∇∇	X	X∇



Obr. 51: Tesařské montážní značení východního sloupku 15. vazby

5.3.2 Zjišťování druhu dřev

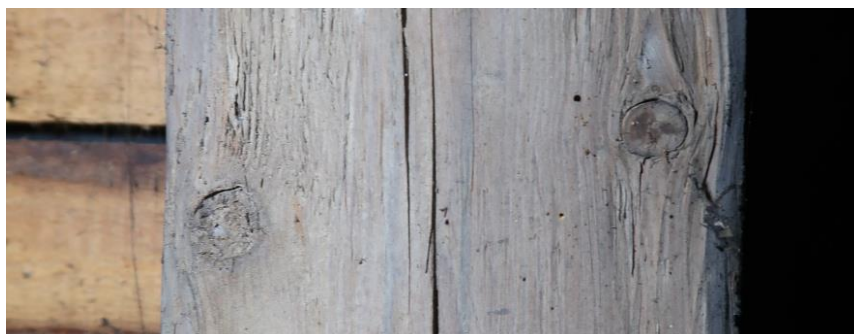
Vzorky byly odebrány z důvodu určení skladby dřevin v krovu. Na základě makroskopických znaků nebylo možno určit, o jaké dřeviny se jedná, avšak u některých

prvků bylo možno rozpoznat přítomnost pryskyřičných kanálek v místě suků (Obr. xx). Vzorky byly identifikovány pomocí světelného mikroskopu na základě jejich anatomických znaků. V krovu byla určena tato skladba – borovice lesní, jedle a smrk. Při mikroskopickém určování dřevin bylo zjištěno, že letokruhy všech dřevin byly velice úzké. Šířka letokruhů byla pod 1 mm. Dřevo bylo nejspíše dopraveno z blízkých vrchovin, Možným zdrojem dřevin by mohl být les okolo hradu Bouzov. Jemnoletost dřevin dokazují i některé výsledky odporového vrtání (Graf 7).

- vzorek 1 – pásek 12–11 západ – smrk (*Picea*)
- vzorek 2 – vzpěra (věžička) 1 východ – jedle (*Abies*)
- vzorek 3 – VT 13 východ – borovice lesní (*Pinus sylvestris*)
- vzorek 4 – VT 2 východ – borovice lesní (*Pinus sylvestris*)
- vzorek 5 – sloupek 15 západ – borovice lesní (*Pinus sylvestris*)
- vzorek 6 – krokev 7 východ – jedle (*Abies*)
- vzorek 7 – krokev 4 západ – borovice lesní (*Pinus sylvestris*)
- vzorek 8 – sloupek (věžička) 2 západ – borovice lesní (*Pinus sylvestris*)

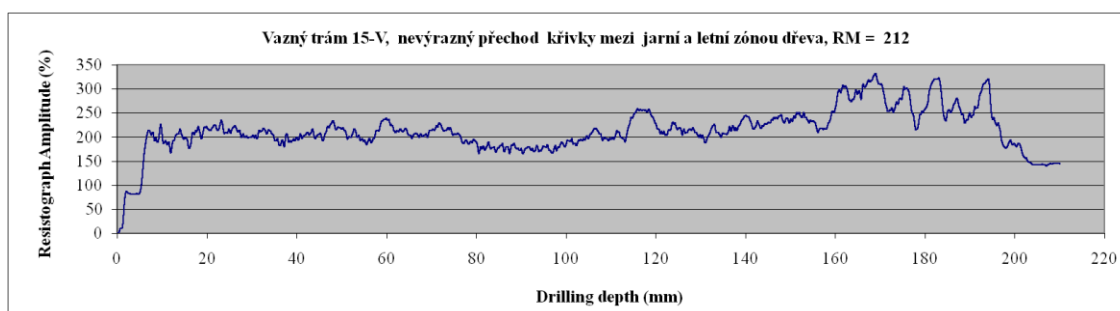


Obr. 52: Suk krokve 4. vazby (západ) s pryskyřičnými kanálky



Obr. 53: Suky krokve 7. vazby (východ) bez pryskyřičných kanálek

Graf 7: Nevýrazný přechod křivky mezi jarním a letním dřevem



5.4 Návrh sanačních opatření

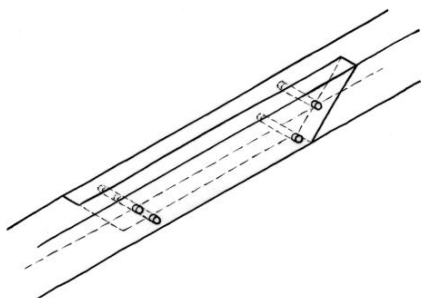
Cílem návrhu sanačních opatření bylo ponechat co nejvíce původních prvků v krovu. Sanační opatření byla navržena jen v nezbytně nutných případech. Návrh sanace slouží jako vyústění předprojektové přípravy, která bude staticky řešena v projektu pro stavební povolení opravy krovu. Aby byl návrh sanace kompletní, musí být schválen orgány památkové péče.

Krov byl částečně využíván jako půdní prostor, nacházelo se v něm mnoho nepatřičných věcí, zejména okolo pozednic, které by mohly ztěžovat sanační práce. Dále byl krov velice zanesen prachovými nečistotami. Z těchto důvodů by bylo potřeba krov řádně vyklidit a zaprášené prvky očistit kartáčem, který na prvcích nebude dělat rýhy.

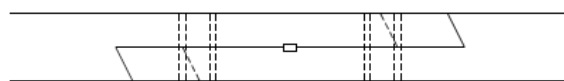
Na protézování krokví byl určen čtyřkolíkový plátový spoj se sklonem čel 60° (Obr. 54). Tento spoj je vhodný na zatížení prvků na ohyb a tlak, pro prvky větších profilů. Vyměněné vzpěry budou překlátovány přes sloupek a přes hambalek na jednostrannou rybinu. U vazných trámů byl doporučen na protézu jednohmoždíkový plátový spoj s podkosenými čely zajištěný čtyřmi kolíky (Obr. 55). Spoj má dobré pevnostní vlastnosti díky hmoždíku, který pomáhá zajišťovat kontakt čel plátů přenášejících většinu sil ve spoji. Podkosená čela znemožní pootočení hmoždíku (Kunecký, 2015). Svislé prvky byly určeny k protéze se spojením na průběžný čep a dlab jištěné kolíky. Kolíky a hmoždíky budou z dubového dřeva. Při výměně pozednic bude nutné vyměnit i bednění. U pozednice bude orientace plátu ve vodorovné rovině s korunou zdiva a délka plátu bude menší, vaznice budou protézovány stejně jako vazné trámy. Všechny ostatní vyměněné prvky budou přizpůsobeny spojům původní konstrukce.

Pro nadlehčení věžičky a zamezení opětovné deformace vazných trámů budou stávající vazné trámy 6., 7., 9., 10. nahrazeny novými o profilu 24×26 cm. Pro zpevnění podkladu pro věžičku budou nově vloženy vazné trámy mezi 6., 7. a 9., 10. vazbu. Při provádění konstrukční sanace bude nutné neosekávat prvky s poškozením od larev tesaříka, larvy hmyzu byly v době průzkumu ve většině případů neaktivní. Při výměně střechy bude potřeba opravit fasádu na věži.

Celkem bylo poškozeno 60 z 221 prvků (27 % krovu). 44 prvků bylo určeno k celkové výměně, 16 prvků k protézové náhradě. Výměra konstrukční sanace v hlavní lodi a pultu u věže byla vyměřena na 5,82 m³, v presbytáři 0,85 m³ a ve věžičce na 0,76 m³. Nové podpůrné vazné trámy byly vyměřeny na 1,4 m³. Celkem tedy bylo vyměřeno 9,14 m³ nového řeziva. Výpočty byly provedeny pomocí programu Microsoft Excel. V krovu byla náhodně měřena vlhkost odporovým vlhkoměrem na náhodných místech. Průměrná vlhkost prvků v krovu činila 16 %.



Obr. 54: Spoj na protézování krokví (Kunecký, 2015)



Obr. 55: Spoj na protézování vazných trámů

6. Diskuze

Zkoumaný objekt této práce byl kostel svatého Josefa v Paloníně. Podle Štípla (2008) byl kostel vybudován v roce 1828–1829. Ve skutečnosti je ale na portálu kostela napsán rok 1832. Na vstup do kostela se ve většině případů uvádí rok, kdy byl kostel postaven. Přístup do kostela nám byl umožněn díky paní starostce Palonína. Z jejích zdrojů bylo zřejmé, že v současnosti se o kostel už nikdo příliš nestará a ani nebývá příliš často navštěvován obyvateli Palonína. Místní zasvěcení do této činnosti již bohužel zesnuli. Nyní je kostel pod správou římskokatolické církve a je evidován jako nemovitá kulturní památka.

Vinař (2010) tvrdí, že podepřená hambalková soustava byla podepřena vaznicemi na sloupcích. Vaznice často bývaly vázány diagonálami nebo Ondřejskými kříži. U hambalkových krovů se rozlišují funkce příčných vazeb na plnou a jalovou. Plná vazba hambalkové soustavy bývala často podepřena vzpěrami. Tyto krovky se začaly stavět v období gotiky. Vaznicové krovky stojaté stolice byly charakterizovány obdobně, avšak začaly se stavět v období klasicismu a vyskytovaly se v nich zavětrovací pásy. Dle mapakrovu.cz byl v kroevním krovu konstrukční systém tvořen trojúhelníky, kde každý základní trojúhelník byl složen ze dvou krokví a jednoho vazného trámu. Vše ostatní (hambalky, sloupky, vzpěry, pásy...) mělo v krovu své opodstatnění, ale kdyby se všechny tyto prvky z příčné vazby vyřezaly, základní trojúhelník by zůstal stále stát. S narůstajícími rozměry krovů se začalo používat podélné vázání krovů různými stolicemi a rámy vsazenými v podélném směru do konstrukce krovu. Krov kostela sv. Josefa v Paloníně byl na základě skutečnosti, že hambalky byly čepovány do krokví a krokve byly čepovány do vazných trámů, nikoliv osazeny na spodní a středové vaznice, určen jako krov kroevní s hambalky v každé příčné vazbě a s rozvinutým podélným vázáním dvojitou stojatou stolicí.

V krovu byly objeveny i další různé druhy jiných vazeb. Dle Kohouta (1996) je hlavní vazba vaznicového krovu charakterizována jako vazba obsahující prvky nesené (krokve, vaznice) i prvky nesoucí (např. sloupy, vzpěry, pásy, kleštiny, vazné trámy ad). V jalové vazbě se vyskytují pouze části nesené, tj. krokve, vaznice a někdy také kleštiny nebo hambalky. Funkcí jalové vazby je odlehčení celé konstrukce krovu a ušetření stavebního materiálu. Podle Vinaře (2010) jsou vaznice v hlavních vazbách stojatých stolic podepřeny sloupky, často se v nich vyskytují vzpěry sloupků. Ve vaznicovém systému se dovoluje maximální vylehčení jalových vazeb, odstranění

mezilehlých vazných trámů a jejich nahrazení krátkaty. V krovu kostela sv. Josefa se střídaly tři druhy vazeb – plná vazba s vazným trámem, krokve, hambalkem, svislými sloupky a vzpěrami – jalová vazba s krátkaty, krokve a hambalkem – plná vazba s vaznými trámy, krokve a hambalkem. Podle Vinaře (2010) by se v poslední zmíněné vazbě mohlo jednat o jalovou vazbu s mezilehlými vaznými trámy, avšak podle definice jalové vazby (Kohout, 1996) se o jalovou vazbu nejedná, protože vazba obsahuje i části nesoucí, tj. vazné trámy. Podle mapakrovu.cz se jedná jednoznačně o plnou vazbu, protože zmíněná vazba odpovídá základnímu trojúhelníku kroevního krovu. Z tohoto důvodu je poslední zmíněná vazba krovu označena v této práci jako poloplňá (i když se ve skutečnosti jedná o vazbu plnou), protože se v ní nevyskytují vzpěry a svislé sloupky. Toto označení bylo použito pro odlišení a zpřehlednění vazeb v schematickém půdorysu krovu.

Při průzkumu a posuzování prvků byla používána přístrojová metoda odporového vrtání za pomoci přístroje Resistograph 4453-P. Odporové vrtání se řadí mezi částečně invazivní metody. S pomocí tohoto přístroje byl získán přehled o vnitřním stavu prvku v místě vrtu. Lze z průběhu křivky vyčíst, zda se v prvku nachází poškození přirozenými vadami (trhliny, suky), hnilobou a dřevokazným hmyzem. Měření však nebylo vypovídající o celkovém stavu prvků, protože probíhalo ve většině případů pouze lokálně. Pro zjištění komplexního stavu prvku by bylo potřeba vrtat s pravidelnými rozestupy až do místa výskytu zdravého dřeva. Podle Kloibera (2015) může být odporové vrtání použito pouze čistě v radiálním směru, jinak by byly výsledky zkreslené. Špatně zpřístupněné prvky se často nepodaří navrtat v radiálním směru a je nutné měření v tomto místě opakovat. Znehodnocení je na úrovni jednoho výletového otvoru červotoče, tedy naprosto zanedbatelné a okem téměř neregistrovatelné.

Z biotických činitelů byl v krovu rozpoznán dřevokazný hmyz čeledi červotočovití (*Anobiidae*) a tesaříkovití (*Cerambycidae*). Čeď červotočovití byla určena podle kruhových výletových otvorů a čeď tesaříkovití podle oválných výletových otvorů. Průměry výletových otvorů nebyly měřeny. Vzhledem k přítomnosti dřevního prachu těsně pod povrchem prvku a žlutavého válcovitého trusu byl z čeledi tesaříkovití určen tesařík krovový (*Hylotrupes bajulus*). U čeledi červotočovití nebyly objeveny žádné další charakteristické znaky. Mohlo by se jednat o zástupce červotoče proužkovaného (*Anobium punctatum*) nebo červotoče umrlčího (*Hadrobregmus partinax*), pro kterého je typické spolupůsobení s hnilobou (Kloiber, 2015). U dřevokazných hub byl

důkazným materiálem výskyt hnědé hniloby. Podle plodnice ani mycelia nebylo možno určit, o jaký druh dřevokazné houby se jedná.

Tesařská značení v krovu byla provedena za účelem zpřehlednění vztyčování konstrukce. Byly použity římské číslice v různých kombinacích na východní straně. Na západní straně se kombinovaly římské číslice a trojúhelníky. V místě přechodu z hlavní lodi do presbytáře se orientace trojúhelníků otáčí na druhou stranu (viz kapitola 5.3.1) V případě konstrukce krovu kostela sv. Ondřeje ve Starém Hobzí (Kloiber, 2004), kde se tesařské značení používala pro značení tesařských spojů, byly použity různě tvarovaná značení (čárky, přeškrtnuté čárky, obdélníky, elipsy, domečky, řecká písmena a další jednoduché geometrické útvary). Oproti pestrým značkám středověkého krovu ve Starém Hobzí bylo tesařské značení spojů v krovu sv. Josefa výrazně jednodušší. Naopak při mikroskopickém zkoumání druhu dřev byla zjištěna rozmanitost dřevin v krovu.

Sanační opatření byla řešena převážně z konstrukčního hlediska. Pro celkovou sanaci by bylo potřeba ke konstrukčním opatřením přidat i sterilizaci dřevokazného hmyzu pomocí mikrovlnného záření za předpokladu průkazné aktivity hmyzu. Chemická ochrana by měla být provedena ochranným postřikem a nátěrem, aby bylo zamezeno znovunapadení dřevokazným hmyzem.

7. Závěr

Předmětem této práce bylo celkové zhodnocení stavu krovu kostela svatého Josefa v Paloníně, které poslouží jako předprojektová příprava pro projekt opravy střechy. Krov se skládal ze tří hlavních posuzovaných částí – hlavní loď, presbytář a věžička. U hlavní lodi byl zkoumán stav i oblasti pultu u věže. Hodnocení probíhalo za pomoci smyslových metod s jednoduchými nástroji a metod přístrojových. Dále bylo hodnoceno tesařské opracování dřeva a tesařská značení.

Krov kostela byl charakterizován jako krokevní s hambalky v každé příčné vazbě a s rozvinutým podélným vázáním dvojitou stojatou stolicí. Hlavní vazba byla důkladně popsána. Dále byl v práci vyobrazen schematický půdorys krovu vyznačující jednotlivé části krovu s detailním popisem jednotlivých vazeb.

V šesté až desáté vazbě byly vazné trámy zdeformovány vlivem významného přetížení vazných trámů vynášejících věžičku a sedmý a devátý vazný trám tlačil přímo na klenbu kostela. Všechny vazné trámy budou nahrazeny a posíleny o nové mezi šestým až sedmým a devátým až desátým vazným trámem.

Biotická poškození byla způsobena především tesaříkem krovovým (*Hylotrupes bajulus*) a hnědou hnilobou. V menší míře se v krovu vyskytovali i zástupci z rodu červotočovití. Dále byla u sedmého vazného trámu a východní středové vaznice byla identifikována výrazná točitost doleva. Místy se vyskytovaly prvky s výsušnými trhlinami a se suky.

Přístrojové měření za účelem stanovení rozsahu poškození bylo provedeno pomocí přístroje Resistograph 4453-P. Semidestruktivní metoda odporového vrtání odhalila poškození uvnitř zkoumaného prvku. Výstupem z měření byl graf s vyobrazením křivky odpovídající průběhu vrtání. Nejvyšší hodnota RM (224,9 mm) byla naměřena u vazného trámu 13. vazby. Naopak nejnižší hodnota RM (135,6 mm) byla určena u vazného trámu věžičky. Spodní hranice hodnoty RM zdravého dřeva byla stanovena na 180 mm.

Prvky v krovu byly opracovány tradiční formou pomocí tesání na kozách (vrubování, hrubování, lícování). Kromě druhé vazby a pultu u věže byly v každé vazbě objeveny tesařské montážní značky. Pravidelně se vyskytují na krokvích. Z konstrukce krovu bylo odebráno celkem 8 vzorků za účelem mikroskopické identifikace druhu dřeva. Z odebraných vzorků byla nejvíce zastoupena borovice lesní, jedle a nejméně smrk. Tesařské spoje byly jištěny dubovými hřeby.

Na základě poznatků z literárních pramenů a z výsledků průzkumu byla navržena sanační opatření, zakládající se především na konstrukčních opatřeních.

8. Seznam literatury a použitých zdrojů

Tištěné monografie a elektronické zdroje

BLÁHA, J.; DRDÁČKÝ, M.; KLOIBER, M. *Vybrané diagnostické metody používané pro hodnocení dřevěných konstrukcí in-situ*. In: *Historické a současné dřevěné konstrukce* [online]. Kostelec nad Černými lesy, 2007 [cit. 2021-03-14]. s. 5-15. ISBN 978-80-213-1641-6. Dostupné z WWW:

<https://dnnt.mzk.cz/uuid/uuid:2b8e36b0-633f-11e8-8637-005056827e51>

FEIO, A. O. *Inspection and Diagnosis of Historical Timber Structures: NDT Correlations and Structural Behaviour* [online]. Ph.D. thesis – Universidade do Minho, Guimaraes, 2005 [cit. 2021-03-14]. 208 s. Dostupné z WWW:

<http://repositorium.sdum.uminho.pt/handle/1822/14697>

HÁJEK, V. *Stavíme ze dřeva*. Praha: Sobotáles, 1997. 154 s. ISBN 80-85920-44-1.

HEROUT, J.; KRYL, A. *Slabikář návštěvníků památek* [online]. 3. přepracované. vyd. Praha: Tvorba, s.r.o., 1994 [cit. 2021-02-25]. 341 s. ISBN 80-85386-92-5. Dostupné z WWW:

<https://dnnt.mzk.cz/uuid/uuid:77796c80-ca57-11e5-bef4-005056827e51>

HORÁČEK, P. *Nondestructive evaluation of timber structures - review*. In: *Historické a současné dřevěné konstrukce* [online]. Kostelec nad Černými lesy, 2007 [cit. 2021-03-14], s. 67-73. ISBN 978-80-213-1641-6. Dostupné z WWW:

<https://dnnt.mzk.cz/uuid/uuid:2b8e36b0-633f-11e8-8637-005056827e51>

HORÁČEK, P. *Fyzikální a mechanické vlastnosti dřeva I*. [online] 2., přeprac. vyd. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, 2008 [cit. 2021-03-10]. ISBN 978-80-7375-169-2. Dostupné z WWW:

<https://dnnt.mzk.cz/uuid/uuid:a6ac2780-5703-11ea-8f2f-005056827e52>

CHING, F. D. K. c2012. *A visual dictionary of architecture*. 2nd ed. Hoboken: John Wiley, c2012. 336 s. ISBN 978-0-470-64885-8.

JELÍNEK, L.; ČKAIT. *Tesařské konstrukce* [online]. Praha: Informační centrum ČKAIT, 2008 [cit. 2021-02-28]. ISBN 978-80-87093-74-0. Dostupné z WWW: <https://dnnt.mzk.cz/uuid/uuid:fff4ea30-ca1d-11e3-aec3-005056827e52>

KLOIBER, M. *Stavebně historický průzkum a návrh sanace krovu kostela ve Starém Hobzí*. Brno, Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně. Diplomová práce, 2004.

KLOIBER, M.; DRDÁČKÝ, M. *Diagnostika dřevěných konstrukcí*. Praha: ČKAIT. Technická knihnice (ČKAIT), 2015. 168 s. ISBN 978-80-87438-64-0.

KLOIBER, M.; RŮŽIČKA, P.; TIPPNER, J., KUNECKÝ, J.: *Metodika tradičního opracování stavebního dřeva pro konstrukční opravy historických staveb*. Certifikovaná metodika č. 218: Ministerstvo kultury ČR, 2021. 128 s. ISBN 978-80-7509-777-4

KOHOUT, J.; TOBEK, A.; MÜLLER, P. *Tesařství: tradice z pohledu dneška* [online]. Praha: Grada, 1996 [cit. 2021-02-28]. ISBN 80-7169-413-4. Dostupné z WWW: <https://dnnt.mzk.cz/uuid/uuid:15bf74e0-73af-11e8-87bd-005056827e52>

KUNECKÝ, J.; FAJMAN, P.; HASNÍKOVÁ, H.; KUKLÍK, P.; KLOIBER, M.; SEBERA, V.; TIPPNER, J. *Celodřevěné plátové spoje pro opravy historických konstrukcí: metodika*. Certifikovaná metodika č. 113: Ministerstvo kultury ČR, 2015. 81 s. ISBN 978-80-86246-67-3

LUNGA, R.; SOLAŘ, J. *Kostelní věže a zvonice: kampanologie, navrhování, poruchy, rekonstrukce a sanace* [online]. Praha: Grada, 2010 [cit. 2021-02-28]. s. 8. ISBN 978-80-247-1236-9. Dostupné z WWW: <https://dnnt.mzk.cz/uuid/uuid:72b30270-7499-11e4-9484-001018b5eb5c>

PUME, D.; ČERMÁK, F. *Průzkumy a opravy stavebních konstrukcí*. Praha: ABF, 1993.

POŽGAJ, A. *Štruktúra a vlastnosti dreva*. 2. vydanie. Bratislava: Príroda, 1997. 475 s. ISBN 80-07-00960-4.

REINPRECHT, L.; ŠTEFKO, J. *Dřevěné stropy a krovny: typy, poruchy, průzkumy a rekonstrukce*. Vyd. 1. Praha: ARCH, 2000. 242 s. ISBN 80-86165-29-9.

REINPRECHT, L. *Ochrana dreva: vysokoškolská učebnica*. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene, 2008. 453 s. ISBN 978-80-228-1863-6.

RINN, F.; SCHWEINGRUBER, F.-H.; SCHÄR, E. 1996. RESISTOGRAPH and X-Ray Density Charts of Wood. Comparative Evaluation of Drill Resistance Profiles and X-ray Density Charts of Different Wood Species. *Holzforschung* [online]. 50(4), s. 303-311 [cit. 2021-03-14]. ISSN 0018-3830. Dostupné z WWW: DOI: 10.1515/hfsg.1996.50.4.303

RYBNÍČEK, M.; KOČÁR, P.; MUIGG, B.; PEŠKA, J.; SEDLÁČEK, R.; TEGEL W.; KOLÁŘ T., 2020. World's oldest dendrochronologically dated archaeological wood construction. *Journal of Archaeological Science* [online], 2020 [cit. 2021-03-08]. 115 s. Dostupné z WWW: DOI: 10.1016/j.jas.2020.105082

ŠTIPL, C.; PYTLÍČEK, P.; KUSÝ, M. *Palonín*. Palonín: Obec Palonín (2008). ISBN 978-80-254-4335-4.

VINAŘ, J.; KUFNER, V. *Historické krovy, I: Konstrukce a statika* [online]. Praha: Grada, 2004 [cit. 2021-03-02]. 270 s. ISBN 80-7169-575-0. Dostupné z WWW: <https://dnnt.mzk.cz/uuid/uuid:7c94e3f0-023a-11e6-845a-005056827e51>

VINAŘ, J. *Historické krovy, II: Průzkumy a opravy* [online]. Praha: Grada, 2005 [cit. 2021-03-02]. 304 s. ISBN 80-247-1111-7. Dostupné z WWW: <https://dnnt.mzk.cz/uuid/uuid:c0c9d040-16fc-11e6-aded-001018b5eb5c>

VINAŘ, J. *Historické krovy: typologie, průzkum, opravy* [online]. Praha: Grada, 2010 [cit. 2021-03-02]. 448 s. ISBN 978-80-247-3038-7. Dostupné z WWW: <https://dnnt.mzk.cz/uuid/uuid:68fea730-39c8-11e5-a525-5ef3fc9ae867>

Internetové zdroje

Britannica, The Editors of Encyclopaedia. *Nave* [online]. Encyclopedia Britannica, 2016 [cit. 2021-02-25]. Dostupné z WWW:

<https://www.britannica.com/topic/nave>

Česká zemědělská univerzita. *Točitost* [online]. Praha: ČZU – Aleš Zeidler, 2011 [cit. 2021-03-14]. Dostupné z WWW:

http://r.fld.czu.cz/vyzkum/multimedia/lexikon_vad/tocitost.htm

Ing. Josef Charazma. *Tesařské spoje* [online]. Praha: OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost, [cit. 2021-03-10]. Dostupné z WWW:

https://www.stavskola.cz/userfiles/file/stavskola/materialy-ke-studiu/pozemni_stavitelstvi/charamza/POS2/Tesarske_spoje_II.pdf

Krytiny – střechy. *Tesařské spoje* [online]. Praha: Nakladatelství Sobotales, 2008–2020 [cit. 2021-03-10]. Dostupné z WWW:

https://www.krytiny-strechy.cz/technicke_info-k-navrhovani-strech/serial-tesarske-konstrukce-vlastnosti-dreva-rozdeleni-reziva-tesarske-spoje-2-dil/

Liturgie.cz; Pastorační středisko Arcibiskupství pražského. *Presbytář* [online]. Praha: Webdesign Fenomen multimedia, 2000–2021 [cit. 2021-02-25]. Dostupné z WWW:

<http://www.liturgie.cz/temata/liturgicky-prostor/liturgicka-mista/presbytar>

NAKI II. *Mapakrovu* [online]. Brno: Ministerstvo kultury, [2016] [cit. 2021-04-17]. Dostupné z WWW: <http://www.mapakrovu.cz/index.php?kam=typologie>

Národní památkový ústav. *Kostel sv. Josefa* [online]. Praha: Národní památkový ústav, 2015 [cit. 2021-03-22]. Dostupné z WWW:

<https://pamatkovykatalog.cz/kostel-sv-josefa-14258650>

Design Mountmedia. *Červotoč proužkovany* [online]. Desinsekta, 2021 [cit. 2021-04-03]. Dostupné z WWW: <https://www.desinsekta.cz/atlas-kdc/33-cervotoc-prouzkovany>

Rinntech-Metriwerk GmbH & Co. KG. *Resistograph* [online]. Heidelberg: Rinntech-Metriwerk GmbH & Co. KG, [2021] [cit. 2021-04-03]. Dostupné z WWW: <http://rinntech.de/content/view/8/34/lang,german/index.html>

Skudci.com. *Koniofora sklepní* [online]. Skudci.com, 2021 [cit. 2021-04-03]. Dostupné z WWW: <https://www.skudci.com/koniofora-sklepni>

Technická univerzita Ostrava. *Krovy* [online]. Ostrava: Operační program Rozvoj lidských zdrojů, 2006–2008 [cit. 2021-04-03]. Dostupné z WWW: <http://fast10.vsb.cz/studijni-materialy/ps4/8.html>

Thermo sanace s.r.o. *Dřevokazný hmyz* [online]. Ostrava-Kunčičky, Thermo sanace s.r.o., 2021 [cit. 2021-04-03]. Dostupné z WWW: <http://www.thermosanace.cz/drevokazny-hmyz/>

Normy

ČSN 73 3150 *Tesařské spoje dřevěných konstrukcí. Terminologie třídění*. Praha: Český normalizační institut, 1994.

Podklady zaměření kostela

ŠNAJDAR, J.; ŠNAJDAROVÁ, H.; STEJSKAL, P.; VÍTEK, J. *Geodetické zaměření pro projekt rekonstrukce střechy a fasády – půdorys krovy*. Olomouc: Geodetické práce Ing. Jan Šnajdar, 2017.