

**Hodnocení stavu dřeva prvků krovu  
kostela sv. Jakuba v Brně pomocí  
resistografu s vyhodnocením míry  
jejich poškození**

**Diplomová práce**

**BRNO 2017**

**JAKUB HAPALA**





**Poděkování:**

Rád bych poděkoval vedoucímu mé diplomové práce panu Ing. Janu Baarovi, Ph.D. za jeho čas, ochotu a cenné rady při řešení této závěrečné práce. Dále bych chtěl poděkovat panu Ing. Miroslavu Navrátilovi za umožnění, alespoň částečně, podílet se na rekonstrukci národní památky kostela sv. Jakuba v Brně. A v neposlední řadě bych rád poděkoval své rodině za podporu při studiu.

**Autor:** Jakub Hapala

**Název diplomové práce:**

Hodnocení stavu dřeva prvků krovu kostela sv. Jakuba v Brně pomocí resistografu s vyhodnocením míry jejich poškození.

**Abstrakt:**

V diplomové práci je hodnocen aktuální stav dřevěných prvků krovu kostela sv. Jakuba v Brně pomocí přístroje Resistograph 4453.

Základem je objevení poškození krovové konstrukce způsobené dřevokazným hmyzem a hnilobou, identifikace a následně zaměření přesného rozsahu biotického poškození. Pro tyto účely byla zvolena metoda měření odporu při vrtání. Po kompletním vyhodnocení naměřených hodnot přístrojovou metodou se výsledky vyznačily do výkresové dokumentace a zapsaly do tabulek. V tabulkách se uvedl stupeň poškození a jeho míra. V rámci sanačních opatření se určilo zda prvky vyměnit či zachovat.

**Klíčová slova:**

Krov, krovová konstrukce, dřevokazný hmyz, hniloba, Resistograph, odporová metoda, kostel.

**Author:** Jakub Hapala

**Title of diploma thesis:**

Assessing the state of wooden parts of timber roof truss of Saint James' church in Brno using Resistograph to evaluate the extent of internal damage.

**Abstract:**

Presented diploma thesis evaluates current state of wooden parts of timber roof truss of Saint James' church in Brno using Resistograph 4453.

The aim of presented diploma thesis is to discover internal defects of structural framework caused by wood-destroying insects and rotting, determination and exact inspection of the extent of biotic damage. For those purposes a method of resistance drilling was chosen. After a complete evaluation of the measured values, the results were marked in the drawings and enrolled into tables. The degree of damage of each part was stated in separate tables. Within remedial measures it was determined whether to maintain or replace parts of the structural framework.

**Keywords:**

structural framework of timbers, timber roof truss, wood-destroying insects, rotting, resistance drilling, church

## OBSAH

ÚVOD .....	- 7 -
CÍLE PRÁCE .....	- 8 -
PŘEHLED LITERÁRNÍCH POZNATKŮ .....	- 9 -
<hr/>	
I. Vývoj historických krovů .....	- 10 -
a) Etapy vývoje krovových konstrukcí .....	- 10 -
1) První starověké konstrukce .....	- 10 -
2) Románské konstrukce .....	- 11 -
3) Gotické (od poloviny 12. století až do začátku 16. století) .....	- 12 -
4) Renesanční (2. pol. 16 století - poč. 17. století) .....	- 15 -
5) Barokní (2.polovina 17. století - 18. století) .....	- 16 -
6) Konstrukce 19. století .....	- 17 -
7) Konstrukce 20. století .....	- 18 -
II. Diagnostické metody poškození dřeva krovů .....	- 20 -
a) Principy testování .....	- 21 -
1) Ultrazvukové testování .....	- 21 -
2) Odporové zarážení trnu .....	- 26 -
3) Odporové vrtání .....	- 29 -
4) Zkoušení radiálních vývrtů .....	- 34 -
III. Biotičtí škůdci dřeva krovových konstrukcí .....	- 36 -
Dřevokazné houby .....	- 36 -
1) Dřevomorka domácí - <i>Serpula lacrymans</i> .....	- 36 -
2) Koniofora sklepní - <i>Coniophora puteana</i> .....	- 38 -
3) Trámovka plotní - <i>Gloeophyllum sepiarium</i> .....	- 39 -
4) Trámovka trámová - <i>Gloeophyllum trabeum</i> .....	- 40 -
Dřevokazný hmyz .....	- 41 -
1) Tesařík krovový - <i>Hylotrupes bajulus</i> L. ....	- 42 -
2) Tesařík fialový - <i>Callidium violaceum</i> L. ....	- 43 -
3) Červotoč proužkovaný - <i>Anobium punctatum</i> .....	- 44 -
4) Červotoč umrlčí - <i>Hadrobregmus pertinax</i> .....	- 45 -
IV. Stavebně technický průzkum .....	- 46 -
Klimatické poměry lokality .....	- 47 -
Biotické napadení a technický stav Dřevěných prvků .....	- 49 -
1) Smyslové metody zjišťování poškození dřeva: .....	- 49 -
2) Přístrojové metody pro zjišťování poškození dřeva: .....	- 49 -
Tvar a upořádání, rozměry a dimenze prvků .....	- 51 -
Datování, změny vzniklé vývojem, Materiál .....	- 51 -

---

MATERIÁL A METODIKA .....	- 52 -
I. Kostel sv. Jakuba .....	- 52 -
II. Historie krovu kostela sv. Jakuba .....	- 53 -
III. Aktuální stav krovu .....	- 53 -
IV. Metodika průzkumu krovu kostela sv. Jakuba .....	- 56 -
Základní prohlídka krovové konstrukce .....	- 56 -
Průzkumové metody .....	- 56 -
1) Smyslové metody .....	- 56 -
2) Přístrojové metody .....	- 56 -
VÝSLEDKY .....	- 58 -
I. Identifikace dřeva krovu .....	- 58 -
II. Biocidní poškození .....	- 58 -
III. Vyhodnocení výsledků .....	- 59 -
IV. Návrh sanace dřevěných prvků .....	- 77 -
DISKUZE .....	- 78 -
ZÁVĚR .....	- 80 -
SUMMARY .....	- 81 -
SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK <b>CHYBA! ZÁLOŽKA NENÍ DEFINOVÁNA.</b>	
Seznam obrázků: .....	<b>Chyba! Záložka není definována.</b>
Seznam tabulek: .....	<b>Chyba! Záložka není definována.</b>
POUŽITÉ INTERNETOVÉ ZDROJE .....	- 83 -
POUŽITÁ LITERATURA .....	- 85 -
PŘÍLOHY .....	- 88 -

---



---

## ÚVOD

---

Dřevo představuje velmi důležitou přírodní surovinu. Mezi nejpodstatnější výhody patří jeho skvělé mechanické vlastnosti, nízká hmotnost oproti jiným materiálům, jeho všestrannost, obnovitelnost a také ekologičnost. Jeho využití snad nezná mezí a v dnešní době je z něj možné vyrobit prakticky vše. Používají jej nábytkáři, stolaři, truhláři, tesaři dokonce i šperkaři či hodináři. Jako stavební materiál je využíváno již ze samého prvopočátku stavebnictví.

Dřevo bylo prvním materiálem z něhož si lidé sami dokázali postavit svůj příbytek. V samých začátcích to byla prakticky jen střecha, která udávala prostor obydlí. Později se stavby zvyšovaly a začaly vznikat domy tvarem velmi podobné těm dnešním. V současné době se však lidé neomezují při využívání dřeva jen na domy obytné, stavějí se průmyslové a zemědělské haly, tělocvičny, kulturní budovy a jiné. Avšak dřevo pro tyto účely má zatím nejmenší zastoupení. Největší využití ve vztahu ke stavebnictví mělo dřevo vždy při výrobě střešních konstrukcí.

Historických krovů, zejména těch starších než 400 let, se dochovalo jen málo oproti jiným historickým konstrukcím. Kupříkladu gotických kleneb je zachováno poměrně velké množství, oproti tomu gotické krovy jsou poměrně vzácné, také románských kleneb známe celé řady, avšak románské krovy jsou zcela unikátní.

Na území České republiky je mnoho památkových budov, některé z nich jsou dokonce zapsány i v programu **Organizace OSN pro výchovu, vědu a kulturu (UNESCO)**, bohužel velká spousta z těchto objektů jen chátrá. Tesařští a klempířští mistři mají jedno takové pořekadlo, které zní: „*Rezavá střecha, vlhko ve sklepě.*“ Zjednodušeně se toto přísloví dá přenést i na chátrající památky. Poruchy střešních plášťů a následné poruchy krovových konstrukcí, mohou ve většině případů za poškození zdiva, základů nebo přinejmenším za zničení historicky cenného vnitřního mobiliáře.

I přes moderní nástroje nebo moderní technologie, které mohou velmi usnadnit, jak zjišťování těchto poruch, tak i následnou renovaci, bude vždy zapotřebí iniciativy lidského faktoru pro uskutečnění záchranné činnosti.

---

## CÍLE PRÁCE

---

Předmětem činnosti této diplomové práce bylo zhodnocení stavu dřeva prvků krovu kostela sv. Jakuba v Brně. Primárním cílem bylo co nejvíce zajistit ekonomičnost a efektivitu projektu *Monumentum sacrum Brunense*, která zahrnovala, mimo jiné, i opravu poškozených prvků konstrukce krovu dřevokazným hmyzem a hnilobou.

Pro základní diagnostiku bylo využito smyslových metod, především vizuálního prozkoumání. Při detailním prohlédnutí konstrukce bylo odhaleno poškození dřevěných prvků, které mělo příčinu v působení abiotických a biotických činitelů. Následně se uskutečnilo na kostelním zastřešení měření rozsahu poškození krovové konstrukce způsobené těmito činiteli. Měření bylo provedeno semidestruktivní metodou pomocí přístroje Resistograph 4453.

Dalším úkolem práce bylo, na základě naměřených hodnot a následného vyhodnocení co nejpřesnějšího poškození, zanést tyto výsledky do výkresové dokumentace a 3D modelu krovové konstrukce.

## PŘEHLED LITERÁRNÍCH POZNATKŮ

---

V této části práce se budeme moci blíže seznámit se základními teoretickými znalostmi, které slouží především pro seznámení čtenářů s tematikou, kterou obsahuje.

V následujících odstavcích budeme seznámeni s problematikou historických krovů (zejména jejich vývojem), o metodách a postupech, kterými se zjišťuje poškození krovových konstrukcí, a v neposlední řadě také o dřevokazných škůdcích či dřevokazných houbách poškozujících dřevo právě v již zmíněných expozicích.

## I. VÝVOJ HISTORICKÝCH KROVŮ

V průběhu vývoje krovů od počátků tesařství až po současnost, se několikrát změnil jejich tvar a především také sklon. Střechy románských kostelů měly velmi malé sklony a to od 30° do 40°, sklony pozdějších gotických staveb se pyšnily již úctyhodnými 60°, v období renesance se sklony nepatrně snížili (55° až 40°). V éře baroka se tento trend opět otočil a sklony nabíraly 40° až 55°. U klasicistních krovů se znovu objevují střechy s velmi malým sklonem 30°. Nakonec v průběhu 19. století se sklon ustálil na 45°, který se udržel i v průběhu 20. století.

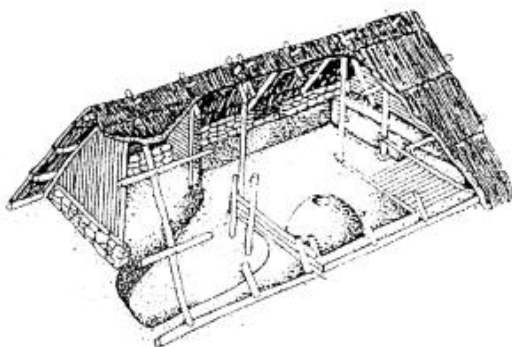
Proměna sklonů střech byla však tak nápadná, že se sklon konstrukce začal uplatňovat jako jeden z ukazatelů slohu. Potřeba je zohlednit také geografickou polohu, jenž hrála velmi významnou roli v množství zatížení působícího na konstrukce (déšť, sníh, vítr). V horských oblastech se střechy konstruovali s větším sklonem proto, aby napadaný sníh nepřetěžoval střešní konstrukci (Vinař 2010).

Ve změnách konstrukcí měla vliv i okolnost odkud k nám změny přicházely. Také fakt, že projevení změn slohu neprobíhalo ze dne na den, ale vždy delší dobu, má své opodstatnění. V závislosti na tomto faktu se mohly jednotlivé slohy prolínat a tím může být jednotlivé datování slohů nepřesné. Zanedbá-li se tento problém, je možné zařadit vývoj do následujících 8 etap.

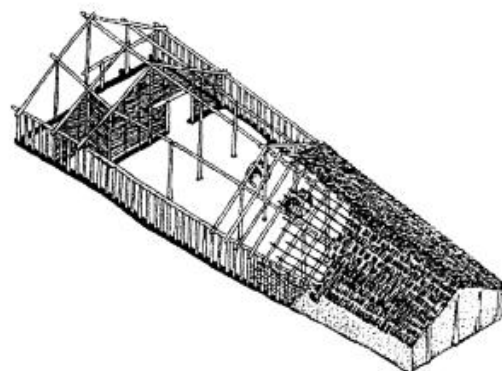
### A) ETAPY VÝVOJE KROVOVÝCH KONSTRUKCÍ

#### 1) První starověké konstrukce

Za první střešní konstrukce je možné považovat již stavby vystavěné na našem území Kelty asi 400 let před naším letopočtem. Právě střecha mnohdy tvořila celou konstrukci domu (viz obr. 1). Dalším případem jsou tzv. dlouhé domy (viz. obr. 2). I přes to, že lidé neměli ještě dostatek zkušeností pro konstruování příčných vazeb a zavětrování, byly tyto „domy“ relativně pevné a měly životnost cca 20 let. Základ konstrukce byl tvořen pěti řadami sloupů zakopaných do země z nichž vnitřní tři řady sloupů podepíraly dvě středové a jednu vrcholovou vaznici a krajní sloupy „pozednici“ (okapovou vaznici). Stěny byly vyplétané proutím a jako střešní krytina sloužily nejspíše slaměné došky (Kuklík 2005).



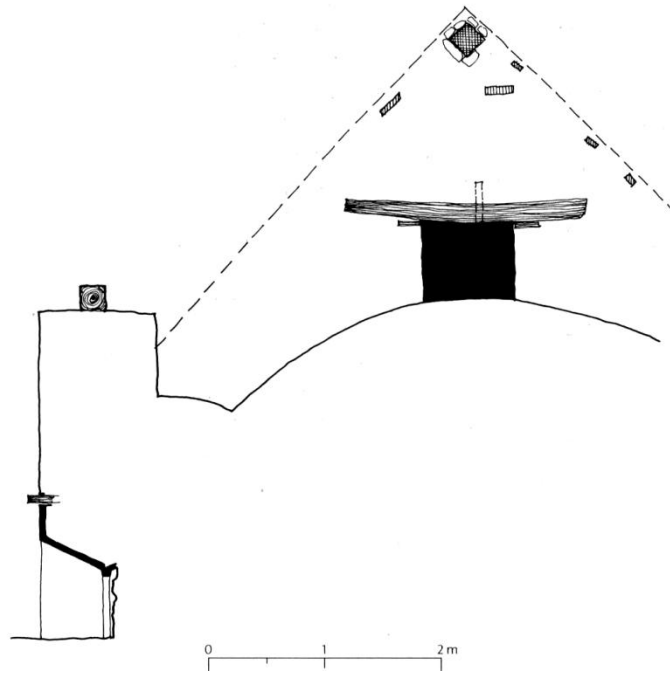
Obr.1 Keltský dům z období kolem roku 400 př.n.l. (Kuklík 2005).



Obr.2 Znárodnění střešní konstrukce na Dlouhém domě z období kolem roku 3000 př.n.l. (Kuklík 2005).

## 2) Románské konstrukce

Jelikož se těchto krovových konstrukcí dochovalo jen málo, ví se především jen to, že měli nižší sklon střechy oproti pozdějším gotickým. Tento fakt byl zjištěn z dochovaných štítových zdí, popřípadě z dochovaných dokladů o dodatečném zvyšování sklonů. Předpokládá se, že konstrukce byla velmi podobná „vlašským“ vaznicovým a věšadlovým typům (Škabrada 2003). V České Republice je zatím jedinou známou stopou románského krovu lůžko pro uložení hřebenové vaznice ve štítovém zdivu nad vítězným obloukem románského kostela ve Zbynicích u Sušice (viz obr.3). Skutečnost, že hřebenová vaznice byla v podobě hraněného nakoso uloženého trámu, dosvědčuje, že v prvním kroku se vyzdívaly štíty a později se konstruoval krov což v následujícím období bylo právě naopak (Vinař 2010).



Obr.3 Kapsa ve štítové zdi po masivní vrcholové vaznici osazené nakoso (kostel Zvěstování Panny Marie; 1. pol. 13. století) (Vinař 2010).

### 3) Gotické (od poloviny 12. století až do začátku 16. století)

Krovové konstrukce gotických staveb se v české republice dochovaly přibližně od poloviny 14. století. Je také známá základní typologie podle vývoje. Nejjednodušší typ obsahující jen hambalky a patní vzpěry a o něco složitější konstrukce využívající i ondřejské kříže mezi krokvy byly používány již od rané gotiky. Pro pozdní gotiku jsou typičtější krovy „klasové“ popřípadě „stromkové“ (pracovní názvy ing. Muka). Krovy v pozdní gotice již také obsahují důmyslnější zavětrování (podélné ztužení). Jelikož většina gotických krovových konstrukcí obsahují vazný trámy v každé vazbě je vhodnější nazývat vazby mezilehlými namísto zavedenějších pojmů vazba „prázdná“ popřípadě „jalová“. Tyto názvy je vhodnější využívat u vazeb bez vazných trámů (Škabrada 2003).

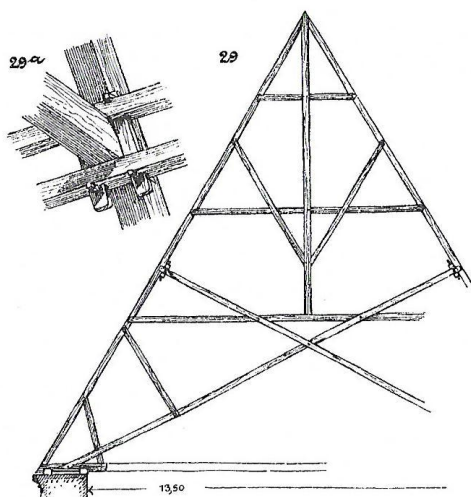
### **Raná a vrcholná gotika**

Jak již bylo zmíněno v předchozím odstavci je pro toto období typickým rysem absence podélného ztužení (zavětrování). V jednodušších případech je krov tvořen pouze vazbou krokví s hambálky, případně může být konstrukce doplněna sloupky umístěnými v patě krovu, spojujícími vazné trámy s krokve. Krovy rané a vrcholné gotiky postrádaly významnější podélné ztužení. Zavětrování bylo zajištěno pouze laťováním, štítovými zdmi u kterých byla vystavěna věž a valbou, která nahrazovala protilehlou štítovou zeď. Jako příčného ztužení bylo využíváno ondřejských křížů, které byly využívány až do konce gotiky (Škabrada 2003).

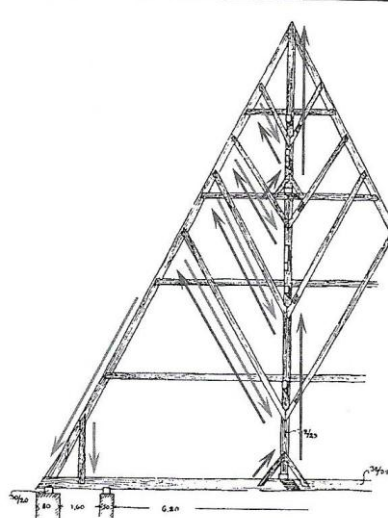
Ondřejský kříž byl v příčné vazbě velmi významným prvkem a to z toho důvodu, že bylo možné vynechat vazné trámy a tím vytvořit jakousi dřevěnou klenbu, zasahující do podkrovního prostoru (viz. obr.4). Pro tesaře však byla tato vazba krovu velmi náročná a to zejména proto, že se krov stavěl na improvizované podlaze. Bylo třeba smontovat postupně jednotlivé vazby a dočasně je zajistit do té doby než se vytvořilo ztužení celého krovu (Škabrada 2003).

### **Pozdní gotika**

Konstrukce krovů v období pozdní gotiky již obsahují ondřejské kříže i v podélném směru upnuté do sloupků v některých vazbách. Avšak nejtypičtějším znakem pro pozdní gotiku jsou v příčném směru vytvořené „klasové“ vzpěry spojující sloupky a krokve. Konstrukce je opět hambalková, alespoň se dvěma úrovněmi hambalků. V plných vazbách se objevuje věšadlo, dále je pod středem hambalku umístěna vaznice a v patě krovů se objevují sloupky či vzpěry (Škabrada 2003). Podobu takového krovu je možno vidět na obr. 5., kde je znázorněn klasový krov se čtyřmi hambalky, věšadlem a patními sloupky. Sloupek je nastavován a vaznice procházejí pod hambalky jedna, dvě a čtyři. Ve třetí hambalku je sloupek zavěšen pomocí pásků. Pomocí šipek je znázorněné tlakové a tahové namáhání prvků, v závislosti působení větru (Vinař 2010).

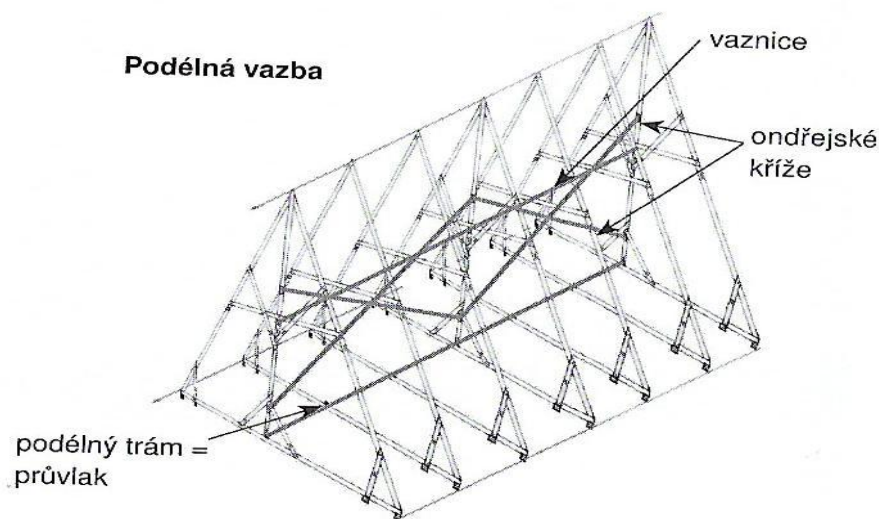


Obr.4 Chór katedrály v Sens (13. stol)  
(Ostendorf 1908).



Obr.5 Kostel sv. Bartoloměje v  
Gdaňsku (poč. 16. stol.)  
(Ostendorf 1908).

Podle (Škabrada 2003) je podstatným prvkem klasové soustavy specifický a velmi důkladný systém podélného ztužení. Kostra je konstruována ze středového rámu z věšadlových sloupků a podélně procházejících vaznic. Zavětrování rámu pak zajišťují ondřejské kříže (viz. obr. 6), které mohou být různých velikostí a tvarů - od dlouhých diagonál, prostupujících skrz několik „pater“ krovu, po „jednopatrové, které ovšem je možné v každém „patře“ krovu opakovat. U těchto vazeb se již běžně střídají vazby plné a prázdné. Prvky jsou spojovány výlučně tesařskými spoji.

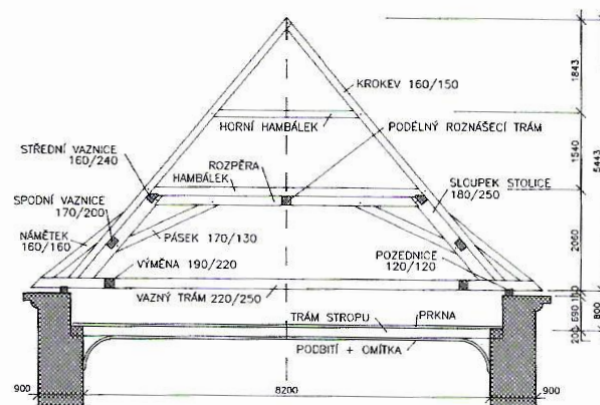


Obr.6 Příklad podélného zavětrování pomocí ondřejských křížů (Vinař 2010).



## 4) Renesanční (2. pol. 16 století - poč. 17. století)

V renesančních krovech přetrvává systém „klasového“ krovu spolu s věšadly a podélným ztužením v podobě ondřejských křížů zejména v horní části krovu, které se kombinují s ležatou stolicí. Tímto způsobem se uvolňuje spodní část krovu. Ležatá stolice je konstrukce kde jsou vaznice podepřeny ležatými (šikmými) podpěrami, které jsou přisazeny ke krokvím. Spodní část je začepována do vazného trámu. Ve vrchní části podepírá vaznici, která je usazena pod hambalkem. Stabilitu ležaté stolice zajišťují v příčném směru rozpěry, které byli dříve začepovány do horních částí sloupků a později přímo do vaznic. Pro další vyztužení rámu ležaté stolice bylo využíváno pásek umístěných mezi ležatými sloupky a rozpěrou (Škabrada 2003). Příklad a popis renesančního krovu je znázorněn na obr. 7.

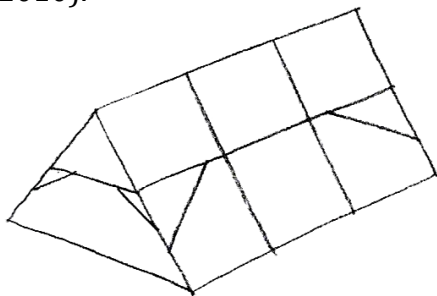


Obr.7 Kostel sv. Linharta v Cítově (1753) (Vinař 2010).

Podélné ztužení bylo nadále zajišťováno diagonálami popřípadě úplnými ondřejskými křížmi, avšak jen v horní části krovu. U pozdější krovů se začal klást důraz na úspornější řešení a tak se začali vazby dělit na plné a prázdné (jalové). Jalové vazby již neobsahovali vazný trám, který byly náročnější na spotřebu dřeva. Vazné trámy zůstávali pouze v plných vazbách. V prázdných vazbách byly nahrazovány výměnami s krácaty. Dřevo na krovech je stále opracováváno ručně s plátovými spoji a jištěním spojů dřevěnými kolíky (Škabrada 2003).

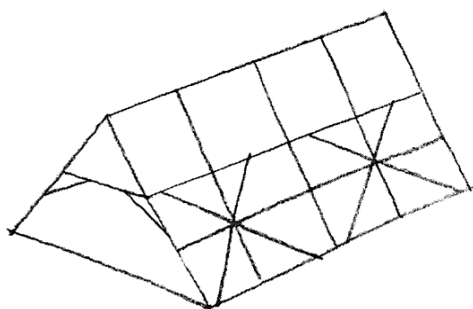
## 5) Barokní (2.polovina 17. století - 18. století)

Střechy staveb 2. poloviny 17. století a 18. století disponovali převážně již zavedenými konstrukčními systémy (Škabrada 2003). Převážně tedy ležatou stolicí, ta se od dřívějších ležatých stolic zdokonalila a bylo možné snížit dimenze prvků. Konstrukce se vzájemně lišily jen ve vzdálenostech vazeb a podélným ztužením, v závislosti na hmotnosti krytiny, jak je vidět na obr. 8 až obr. 10 (Vinař 2010).



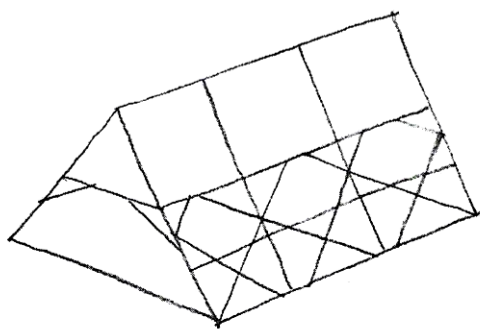
Vzdálenosti plných vazeb	4,5 až 6 m
Počet jalových vazeb mezi plnými	3 až 4 pole
Vzdálenosti jalových vazeb	1,2 až 1,5 m
Zavětrováno pouze diagonálami	

Obr.8 Krov pro lehkou krytinu (Vinař 2010).



Vzdálenosti plných vazeb	4,5 až 6 m
Počet jalových vazeb mezi plnými	4 až 5 pole
Vzdálenosti jalových vazeb	1,2 m
Zavětrováno ondřejskými kříži	

Obr.9 Krov pro lehkou krytinu (Vinař 2010).



Vzdálenosti plných vazeb	3,5 až 4,5 m
Počet jalových vazeb mezi plnými	3 až 4 pole
Vzdálenosti jalových vazeb	0,8 až 1,2 m
Zavětrováno mezilehlou vaznicí a zdvojenými ondřejskými kříži	

Obr.10 Krov pro těžkou krytinu (Vinař 2010).

V případech zastřešení rozsáhlých ploch se stále konstruovala ležatá stolice, pokud bylo nutné zastřešit velké rozpony využívala se ležatá stolice společně s věšáky, naskytl-li se konflikt s klenbami, vynechávali se vazné trámy s případným nahrazením ocelovými táhly. Pro bahnové tvary se využívala již běžně konstrukce skružová.

U barokních krovů mají hlavní vaznice převážně profil pětibokého hranolu. Také systém s výměnami vazných trámů s kráčaty se stával obvyklejšími. Ve složitějších krovech již mají převahu spoje čepované nad jednostrannými rybinovými pláty. Barokní krovy lze poznat mimo jiné i podle bohatého tesařsky domyšleného zdobení, jako to bývalo například u šikmých sloupků stolice, do kterých bylo potřeba usadit mezilehlou vaznici a zapustit rozpěru a pásky. Z tohoto důvodu se šikmé sloupky profilovaly do ozdobných konzol, které byly v hlavě sloupku rozšířeny. Podobně tak bylo i u sloupků věšadel.

Dalším inovativním prvkem bylo užívání kovových spojovacích materiálů. Kované hřebíky byly používány již v dřívějších konstrukcích, určitou modernizaci přinesly ocelové třmeny, táhla, svorníky. Typickým znakem barokních krovů jsou také ploché matice čtvercového tvaru. Přesto, že byly kovové spojovací materiály velkým přínosem, byly z hlediska náročnosti a tudíž i ceny používány jen na velké stavby.

Velmi oblíbenou náročnější konstrukcí z období pozdního baroka byla střecha mansardová. Tyto krovy měli od sebe vzájemně oddělenou část spodní, ve které mohla být zkonstruována jak ležatá tak stojatá stolice, a část horní, která nad hambalky tvořila podobu valby (Škabrada 2003).

## 6) Konstrukce 19. století

V závislosti se snížením sklonu střech v klasicistním období byly již ležaté stolice na ústupu a začínaly se sestavovat stolice stojaté. U stojatých stolic se v plných vazbách nacházely sloupky s pásky které podepíraly vaznice. Sloupky byly většinou doplněny šikmými vzpěrami, které přenášely zatížení blíže k podporám a tak snižovaly ohybový moment působící na vazný trám (Vinař 2010).

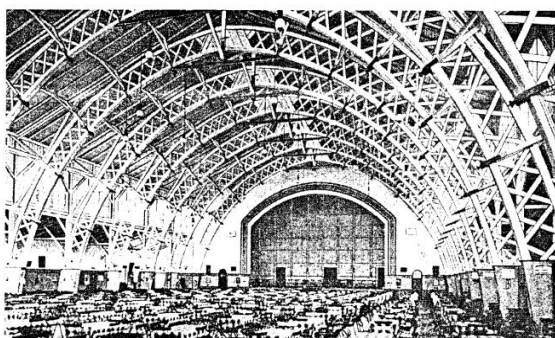
V konstrukcích se ustupovalo od hambalků, které byly do krokví plátovány jednostrannou rybinou, a nahrazovaly je kleštiny z fošen se svorníkovými spoji. Prvky krovů 19. století nebyly dimenzovány jen podle empirických vzorců, nýbrž již podle zásad moderní statiky (Vinař 2010).

Od 2. poloviny 19. století se běžně využívalo ocelových prvků ve spojích (svorníky), při kotvení pozednic nebo krokví do pozednic nebo vazných trámů. Také se ustupovalo od čepování krokví do krácat a krokve se osedlávaly na vaznice (Vinař 2010). Koncem 2. poloviny 19. století se pro velké rozpětí využívalo více konstrukcí ocelových, které vytlačily konstrukce dřevěné (Kuklík 2005).

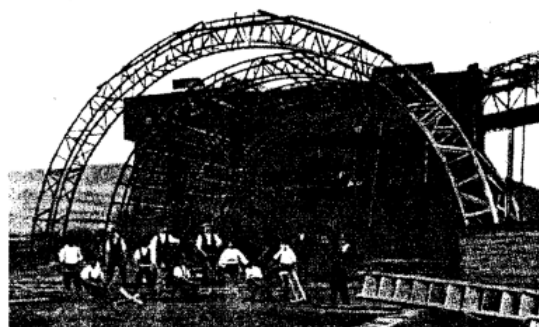
### 7) Konstrukce 20. století

Do střešních konstrukcí velkých rozpětí se postupně opět vrací dřevo, díky několika nových konstrukčních systémů (soustava Stephanova, Meltzerova, Tuchschererova a Noakova).

Nejznámější obloukovou příhradovou konstrukcí pro velká rozpětí byla **soustava Stephanova**. Konstrukce byla kombinací obloukových soustav de l'Ormeho a Emyho, které tvořily horní a dolní pas příhradového oblouku. Tyto pásy pak byly vyplněny příhradovinou tvořenou dřevěnými latěmi či prkny (viz. obr. 11). Oblouky Stephanovi konstrukce byly kladeny 4 až 5 m od sebe a zastřešovaly stavby do rozpětí asi 60 m (Kuklík 2005).



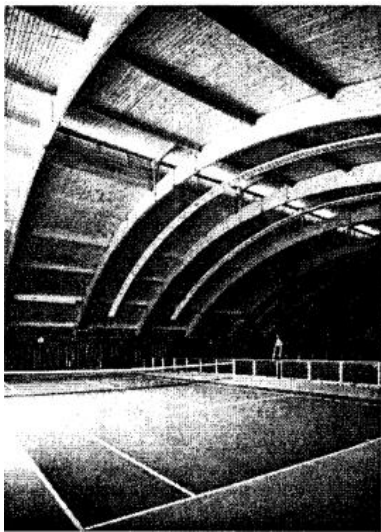
Obr.11 Příhradová konstrukce Stephanovy soustavy (Kuklík 2005).



Obr.12 Konstrukce Meltzerovy soustavy (Kuklík 2005).

**Soustava Meltzerova** byly realizována z dřevěných latí čtvercového nebo obdélníkového průřezu (40/40; 60/60; 30/50; 40/60 mm). Tato soustava se konstruovala na rozpětí přes 50 m. Konstrukce se díky dřevěným latím subtilnějších profilů podobali konstrukcím ocelovým, jak je možné vidět na obr.12.

Po 2. sv. válce se začalo ve stavebnictví praktikovat používání lepeného lamelového dřeva, které umožňovalo výstavbu velký prostorových střešních konstrukcí (viz. obr. 13 a obr. 14). V 80. letech přišly na řadu i kompozitní materiály ze dřeva jako například vrstvené dřevo (Kuklík 2005).



*Obr.13 Zastřešení tenisové haly v Průhonicích u Prahy (Kuklík 2005).*



*Obr.14 Dřevěná síťová konstrukce (Kuklík 2005).*

## II. DIAGNOSTICKÉ METODY POŠKOZENÍ DŘEVA KROVŮ

V této kapitole si přiblížíme čtyři nejběžněji používané nedestruktivní a semidestruktivní přístroje pro diagnostiku poškození zabudovaného dřeva. Seznámíme se s prováděním defektoskopického testování, s výhodami či nevýhodami a také s rozsahem využití jednotlivých metod.

Základem kteréhokoli rozboru tradičních dřevěných objektů je vizuální ohledání, které je jedním z nejjednodušších a nejstarších metod používané pro stavebně technické průzkumy. Pouhým zrakem je možné odhalit povrchové biotické a zároveň i zjevné mechanické poškození dřeva. Avšak k problému dochází ve chvíli, kdy je potřeba přesně vymežit sumární poškození jednotlivých prvků konstrukce (identifikovat míru vnitřního poškození, lokalizovat přechod mezi zdravým a již postiženým úsekem, popřípadě určit mechanické a fyzikální vlastnosti), které projektanti vyžadují jako základní materiály pro návrh sanačních postupů. Projekty sanací a oprav historických dřevěných konstrukcí by neměly obsahovat jen zajištění stabilizace konstrukce a prodloužení její životnosti, měli by se orientovat na zachování co možná největšího objemu původní dřevní hmoty, která nám dodává historický význam a celou řadu cenných informací. Však pro takové návrhy je vizuální průzkum nedostatečný a je nutné jej doplnit o testování pomocí nedestruktivních a semi-destruktivních přístrojů, pomocí nichž je možné zajistit přesné informace o poškození dřeva jak na povrchu, tak i v celém průřezu posuzovaného konstrukčního prvku ([www.stavba.tzb-info.cz](http://www.stavba.tzb-info.cz)).

## A) PRINCIPY TESTOVÁNÍ

### 1) Ultrazvukové testování

Metoda je založená na principu průchodu elastické vlny dřevem. Nejčastěji zjišťovanými veličinami jsou čas průchodu, nebo rychlost šíření vlny, případně útlum a frekvenční spektrum. Tento způsob měření nenarušuje strukturu dřeva a využívá se především pro odhalování vnitřních dutin, zhoršení vlastností konstrukčních prvků a pro vyvození mechanických vlastností (výpočet dynamických modulů pružnosti, korelace s mezí pevnosti aj.). Z rychlosti, hustoty popřípadě tlumení mohou být pro další použití vyvozeny i další parametry, jako například akustická konstanta, dynamický modul pružnosti, akustická impedance aj (Kloiber, Drdácký 2015).

Frekvence šíření zvukových vln je ve slyšitelné oblasti, frekvence vln ultrazvukových se nachází v oblasti neslyšitelné pouhým uchem a to nad 20 000 Hz. Vlny jsou šířeny pružným materiálem díky kmitavému pohybu hmotných částic. Druh vlnění je vymezen směrem pohybu vlny ve spojitosti ke směru pohybu hmotných částic. Tvarem obvyklým pro nedestruktivní testování je podélná postupná vlna, kdy se částice pohybují ve stejné orientaci jako vlny. Základními vlastnostmi vln jsou frekvence neboli počet kmitů za danou časovou jednotku, a vlnová délka neboli vzdálenost nezbytná k dokončení jednoho cyklu. Vlnová délka je nepřímo úměrná frekvenci. Vztah rychlosti vlny, vlnové délky a frekvence je dán:

$$\lambda = \frac{v}{f}$$

kde  $\lambda$  je vlnová délka [m]

$v$  rychlost šíření [m.s<sup>-1</sup>]

$f$  frekvence [Hz] = [s<sup>-1</sup>]

Rychlost šíření vln je hlavní veličinou pro nedestruktivní hodnocení. Rychlost se stanoví ze vztahu:

$$v = \frac{l}{t}$$

kde  $v$  je rychlost šíření [ $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ]

$l$  vzdálenost mezi dvěma body, kterými vlna prochází [m]

$t$  čas šíření [s]

Vlnová délka je klíčovou složkou pro odhalení poškození. V zásadě platí, že nelze detekovat poškození menší, než je polovina vlnové délky vyvolaného signálu. Ultrazvukové vlny, které mají vyšší frekvenci a menší vlnovou délku, jsou způsobilější detekovat jemné dutiny a mírné vady než zvukové vlny. Naproti tomu mají ultrazvukové vlny sklon k útlumu a ztrátě signálu. Tento fakt může mít negativní vliv na schopnost odhalit vady. Při odhalování větších dutin jsou účinnější zvukové vlny ve slyšitelném spektru (delší vlnová délka).

Pro měniče piezoelektrického materiálu v ultrazvukové technice je běžně využíváno křemenného krystalu, který převádí elektrickou energii na vlnový signál. Ten je následně orientován do materiálu. Systém sběru dat se skládá obvykle z detektoru signálu, analyzátoru a rekordéru, shromažďujícího a uchováujícího informaci pro další analýzu. Pro měření poškození dřeva se užívá následujících přístrojů: Arborsonic Decay Detector, Pundit, Fakopp Ultrasonic Timer, Sylvatest a Tico (Kloiber, Drdácký 2015)

Rychlost přenosu vlny může informovat o stavu materiálu. Se zhoršujícím stavem materiálu klesá i tuhost hmoty čili modul pružnosti. Rychlost vlny se rovná druhé odmocnině z podílu dynamického modulu pružnosti a hustoty materiálu. V případě znalosti rychlosti šíření vlny a objemové hmotnosti materiálu lze dynamický modul pružnosti rovnoběžně s vlákny vypočítat ze vztahu:

$$E_{dyn} = v^2 \cdot \rho$$

$E_{dyn}$  dynamický modul pružnosti [Pa]

$v$  rychlost šíření vln [ $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ]

$\rho$  hustota dřeva [ $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ]



Případné poškození může naznačovat buď prodlužující se doba přesunu vlny, popřípadě snižující se rychlost. Poškozené dřevo vykazuje nižší rychlost šíření zvuku. Rychlost šíření vln je závislá na velikosti úbytku stavebních složek dřeva (celulóza, hemicelulóza, lignin) na chemické úrovni. V mikroskopii se tyto úbytky projevují vznikem trhlin ve struktuře dřeva (Kloiber, Drdácký 2015). (Feio 2005) uvádí, že vlna prostupuje skrze nejkvalitnější zóny dřeva a obchází zóny s poškozením (trhlina, suky, hnilobu, odklon vláken), čímž dochází k prodloužení doby průchodu vlny. Z rozlišných rychlostí a časů lze zjistit aktuální stav materiálu.

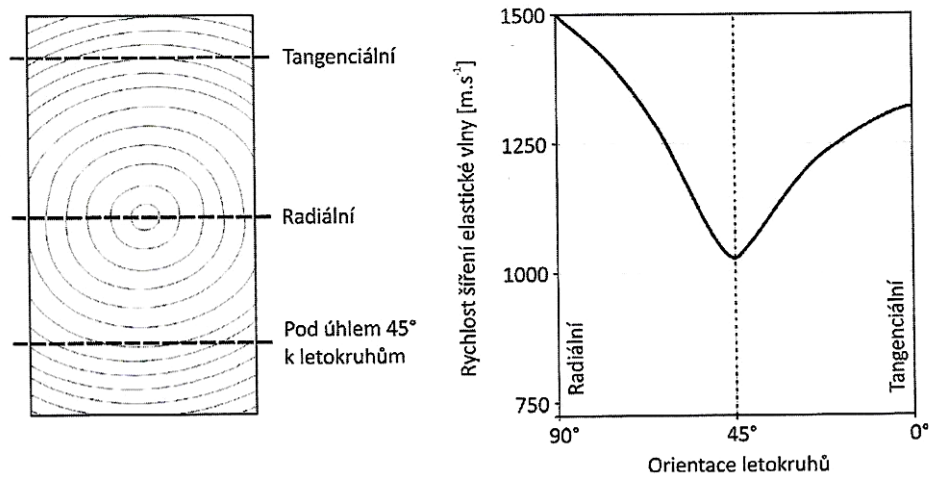
Podstatným problémem při využívání akustických metod je nepřímý vztah mezi parametry šíření vln a mechanickými vlastnostmi dřeva. Vlastnosti se zjišťují experimentálně pomocí empirických vztahů, které jsou ve vzájemném vztahu s rychlostí šíření vln, dynamickým modulem pružnosti popřípadě útlumem vlny (Kloiber, Drdácký 2015).

Důležitou veličinou pro odvozování modulů pružnosti je hustota dřeva. Hustota je v terénu velmi obtížně zjistitelná, proto je často užíváno průměrných hodnot z literatury, které ovšem negativně ovlivňují výsledek. Hustoty dřeva je možné zjišťovat i v terénu a to pomocí semi-invazivních metod. Tyto metody podávají pouze lokální informaci, čímž vzniká nutnost provést několikanásobné měření. Vícenásobným měřením lze vytvořit průřezové snímky dřevěných prvků (tomogramy). Tomografií je možné odhalit přirozené vady (suky), ale i vady způsobené například dřevokaznými houbami.

Tab. 1. Závislosti mezi statickým a dynamickým modulem pružnosti uváděných v literatuře (Kloiber, Drdácký 2015)

Zdroj	Rovnice	Koeficient determinace
Booker a kol.	$E_{\text{dyn}} = 1,693E_{\text{stat}} + 0,097$	-
Ross a kol.	$E_{\text{dyn}} = 0,979E_{\text{stat}} + 0,0408$	$R^2 = 0,9$
De Oliviera	$E_{\text{dyn}} = 1,12E_{\text{stat}} + 488,6$	$R^2 = 0,8$
Bonamini a kol.	$E_{\text{dyn}} = 0,9E_{\text{stat}}$	-
Reinprecht a Pánek	$E_{\text{dyn}} = -413 + 0,3928E_{\text{dyn}}$	$R^2 = 0,6$

Jedním z hlavních činitelů ovlivňujícím průchod vln dřevem je druh dřeva. Ve dřevě listnatých stromů lépe prochází zvuková vlna než ve dřevě jehličnanů. Dále je důležité dbát na úhel letokruhů a směr průchodu vlny. V příčném směru je doba prostupu vlny asi o jednu pětinu až jednu třetinu nižší než ve směru podélném. Příčně se může vlna ve dřevě pohybovat třemi různými směry: radiálním, tangenciálním popřípadě příčně k letokruhům v úhlu od  $0^\circ$  do  $90^\circ$  (obr.15).



Obr.15 Rychlost šíření vlny v příčném směru ve vztahu k orientaci letokruhů  
(Kloiber, Drdácký 2015)

Při měření je potřeba klást vysoký důraz na zabezpečení kontaktu mezi povrchem dřeva a senzory přístroje. Jelikož se zvukové vlny šíří ve vzduchu pomaleji, je nutné minimalizovat či nejlépe vyloučit vliv plynného prostředí při měření. Tento faktor je možné zabezpečit vyvozením dostatečně velkého tlaku senzorů na povrch při použití vhodného pojiva.

Pokud je provedeno vícenásobné měření, je možné zjistit odchylky naměřených hodnot, způsobené nesprávnou pozicí senzorů. V tomto případě je vhodné využít vodících pravítek pro zaručení přesné polohy senzorů proti sobě. Zlepšení kontaktu mezi povrchem dřeva a senzory lze dosáhnout také úpravou povrchu a to např. hoblováním nebo broušením (Kloiber, Drdácký 2015).

Při terénním měření na zabudovaných prvcích dřeva je vhodné provést následující kroky:

- **Identifikace měřeného místa** - Měření je prováděno v místech s vyšší možností výskytu hnilob. Tyto místa jsou nazývány „kritická místa“ (kontakt dřeva a zdiva - pozednice, zhlaví trámů; styky střešních ploch - nároží, úžlabí; místa s narušením střešního pláště - oplechování komínů, vikýře; apod.). Měření je nutné provádět v různých vzdálenostech od rizikových částí.
- **Připojení senzorů prvku** - důraz na správnou instalaci senzorů (v závislosti na druhu senzoru). Buď pevně spojeny se dřevem pomocí šroubů popřípadě trnu, nebo přitlačné senzory, kde je použito vazebného prostředku (např. gelu)
- **měření vzdálenosti mezi senzory** - nutnost změřit nejkratší vzdálenosti mezi dvěma body, kde jsou umístěny senzory; v případě použití některých přístrojů je nutné změřit vzdálenost mezi místem úderu a bodem kde je vložen snímač.
- **zapnutí elektronické jednotky** - před započítím měření je vhodné nechat přístroj a senzory alespoň několik minut zahřát.
- **excitace dřevěného vzorku kladivem** - při měření některými přístroji je nutné vyvodit zvukovou vlnu kladivem. Pro vyvození přesné excitace musí být úder proveden rovnoběžně s linií hrotu.
- **záznam doby šíření vlny** - doba průchodu vlny se zobrazuje na displeji přístroje, tato doba se musí zapsat do záznamového archu.
- **opakování zkoušky** - pro přesnější výsledky je vhodné měření opakovat. Čím více měření je provedeno, tím větší je pravděpodobnost získání přesného výsledku.
- **stanovení druhu dřeva** - jelikož druh dřeva má významný vliv na šíření vlny ve dřevě je potřeba pro správnost měření co nejpřesněji stanovit druh dřeva. Znalost dřeva je důležitá při zjištění rychlosti zvukové vlny. Pokud nelze druh dřeva identifikovat, nebo nejsou dostupné hodnoty rychlostí, je nutné vytvořit referenční rychlosti na zdravých prvcích stejného druhu.

- **měření hustoty** - v případě, že je účelem zjištění dynamický modul pružnosti, je zapotřebí stanovit hustotu dřeva.
- **měření vlhkosti a teploty** - (Kloiber, Drdácký 2015) uvádí, že by vlhkost měla být zjištěna přímou metodou, nebo za použití kalibrovaného vlhkoměru, při respektování vlivu teploty a dalších faktorů.
- **vyhodnocení výsledků zkoušek** - naměřené rychlosti se s ohledem na ovlivňující faktory porovnávají s referenčními hodnotami. Po vyhodnocení se rozhodne je-li potřeba vykonat další měření ve stejném místě popřípadě jeho blízkosti. V případě, že je zvuková vlna pomalejší o 25 % a více oproti referenčním hodnotám, vzniká podezření o poškození dané části hnilobou.
- **záznam podmínek provádění měření a jiných okolností** - jelikož v místě měření působí specifické podmínky, je potřeba tyto podmínky zaznamenat (vlhkost a teplota prvku a okolního prostředí; mechanické zatížení; vady prvku - suky, trhliny; aj.)

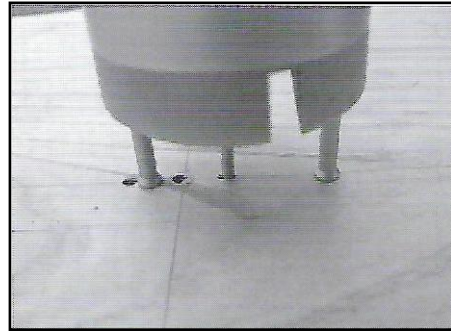
## 2) Odporové zarážení trnu

Měření je prováděno přístrojem Pilodyn 6J Forest, který se řadí mezi semidestruktivní diagnostické metody, poněvadž poškození testovaného prvku je velmi malé až téměř zanedbatelné. Principem metody je zarážení kovového hrotu o průměru 2,5 mm do materiálu. Mechanické zařízení umožňuje měřit hloubku průniku trnu vystřeleného do dřeva při stejnoměrné síle 6 J. Konstrukce přístroje omezuje hloubku zaražení trnu na 40 mm. S použitím Pilodynu lze stanovovat hustotu hmoty, čímž se stává rychlejší variantou pro pomalejší, dražší a destruktivnější jádrové vývrty. Podstatou zjišťování stupně rozkladu dřeva popřípadě posouzení biotického poškození je tedy hloubka průniku vystřelovaného trnu do dřeva ([www.stavba.tzb-info.cz](http://www.stavba.tzb-info.cz)). Odporové zarážení trnu může být i alternativou pro rychlý odhad hustoty (Kloiber, Drdácký 2015).

Na Obr. 16 a Obr. 17 je zobrazeno jak Pilodyn proniká do povrchu dřeva. Hloubka penetrace je zobrazena na stupnici na přístroji v rozmezí od 0 do 40 mm (Kotlínová 2008).



*Obr.16 Ukázka odporového zarážení trnu pomocí přístroje Pilodyn.*



*Obr.17 Detail měření přístrojem Pilodyn.*

S tvrdostí dřeva je velmi úzce spojena i hustota dřeva. Hustotu konstrukčního dřeva je možné odhadnout, v závislosti na měření vlhkosti a hloubky průniku trnu do dřeva, pomocí těchto vztahů (Kloiber, Drdácký 2015):

$$\rho_{12} = -0,027102 \cdot t_{p,12} + 0,727987$$

$$t_{p,12} = t_p (1 - 0,007 \Delta w)$$

$$\Delta w = w - 12$$

kde  $\rho_{12}$  hustota dřeva při vlhkosti 12 % [ $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ ]

$t_{p,12}$  hloubka zarážení trnu do dřeva o vlhkosti 12 % [mm]

$t_p$  hloubka zarážení trnu do dřeva o známé vlhkosti [mm]

$w$  vlhkost dřeva v době měření [%]

Hlavním ovlivňujícím faktorem měření při užívání Pilodinu je striktní dodržení pronikání hrotu v radiálním směru. Důvodem je stejnoměrné střídání jarního a letního dřeva. Pokud je přístroj použit v tangenciálním směru, hrot ve většině případů penetruje pouze jednu z částí letokruhu. Tím dochází ke významnému zkreslení měření (Kloiber, Drdácký 2015). Přesto, že pronikání trnu je omezeno na 40 mm, poskytuje nám přístroj při využití v oblasti krovových konstrukcí významné výsledky, jelikož napadení měkkou hnilobou je převážně v povrchových vrstvách. Stejně je tomu i v případě napadení dřeva hmyzem, např. tesaříkem krovovým, u něhož je také většina poškození způsobena ve svrchních vrstvách.

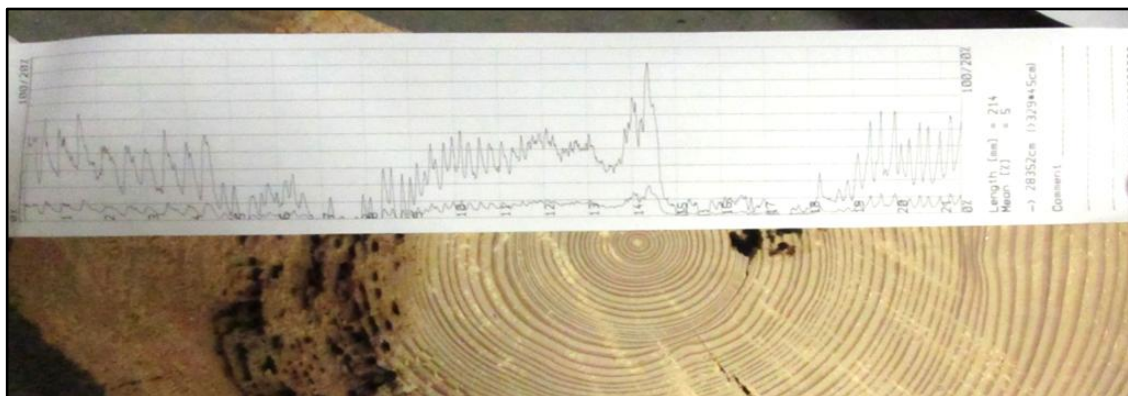
Hlavní výhodou tohoto přístroje je jeho subtilnější provedení a také malá semidestruktivní povaha. Odporové zarážení trnu je ve většině případů doplňováno jinou metodou testování, například testování ultrazvukem.

Nevýhodou odporového zarážení trnu je, že dochází pouze k průniku do povrchových vrstev dřeva prvku, čímž se nám nabízí data jen z těchto vrstev a ne informaci o komplexním stavu testovaného prvku. K získání relevantních dat o rozsahu poškození je nutno provést několik měření, jelikož výsledky jednoho průniku jsou pouze lokální povahy. Tím narůstá časová náročnost, náklady průzkumu a také se zvyšuje destruktivita. Při vyšší vlhkosti hrot snadněji proniká do hmoty, proto je nutné provést korekci výsledků pro všechna měření ([www.stavba.tzb-info.cz](http://www.stavba.tzb-info.cz)).

Pro měření s přístrojem Pilodyn je nutná volná plocha o minimálních rozměrech cca 80 x 80 mm pro přiložení aparátu. Jelikož vady dřeva (suky, trhliny) výrazně ovlivňují výsledky, je měření v těchto místech nevhodné. Přesnost měření je přesné pouze v případě dodržení orientace kolmo k vláknům a zarážení trnu v radiálním směru. Přijatelná odchylka od radiálního směru je až do 10°. Zkušební aparáty obsahují úderníky, které mohou způsobit velmi vážná až smrtelná zranění, proto je důležité klást důraz na bezpečnost. To také znamená, že by přístroj měla užívat pouze pověřená osoba seznámená se všemi zásadami bezpečnosti práce s daným přístrojem (Kloiber, Drdácký 2015).

### 3) Odporové vrtání

Zjišťování poruch dřeva odporovým vrtáním se řadí do tzv. semi-destruktivních metod. Základní tezí této metody je měření mechanického odporu materiálu při vrtání (Kloiber, Drdácký 2015). Dle (www.wikipedia.cz) je vrtání činnost, při které dochází k oddělování materiálu řezným točivým pohybem pomocí nástroje (vrtáku), při kterém nástroj zároveň postupuje do materiálu a odebírá třísku z materiálu, čímž vznikají otvory kruhového tvaru. K vrtání se využívají wolframové vrtáky s průměrem od 1,5 do 3,0 mm a specifickou úhlovou geometrií, zaručující soustředění vrtného odporu do ocelové špičky, čímž je zamezeno tření vřetene. Vřeteno vrtáku je při vrtání neustále stabilizováno pomocí speciálního teleskopu uvnitř přístroje. Metoda odporového vrtání nabízí kompletní zjištění stavu zkoumaného prvku v celém jeho průřezu (viz. obr. 18).



Obr.18 Zkušební vrt na vzorku poškozeného dřeva hnilobou (vlastní).

Řezný odpor vrtání definuje vztah (Horáček 2007):

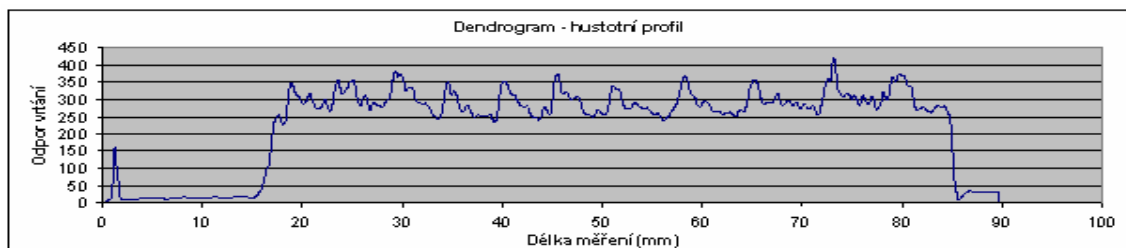
$$RD = \frac{T_n}{\omega}$$

RD odpor vrtání [ $\text{Nm}\cdot\text{s}\cdot\text{rad}^{-1}$ ], výrobce Rinntech používá označení rozměru [resi]

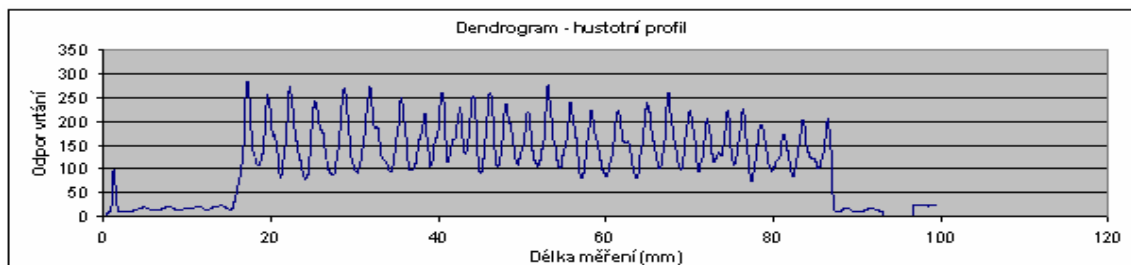
$T_n$  točivý moment [ $\text{Nm}$ ]

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

Rychlost posuvu vrtáku je konstantní (v závislosti na typu přístroje až 60 cm.min<sup>-1</sup> (Hrivnák a kol. 2013)) s kontinuální rychlostí otáček. Výsledky vrtání se automaticky zaznamenávají na papírovou pásku pomocí integrované termotiskárny a zároveň se elektronickou formou ukládají do interní paměti počítače přístroje (Kotlíková 2008). Uložené výsledky je následně možné ve vhodném programu pomocí osobního počítače zobrazit. Výsledky jsou zakreslovány pomocí grafické křivky, kde je uveden řezný odpor v závislosti na hloubce vrtání. Místa s větší hustotou se vyznačují vyšším odporem a v grafu jsou znázorněna jako vrcholy, oproti tomu místa s nižší hustotou jsou zakreslována jako nižší body. Příklady křivek jsou znázorněny na obr. 19 (pro dřevo listnáčů) a obr. 20 (pro dřevo jehličnanů).



Obr.19 Příklad grafické křivky Resistographu pro dřevo listnáčů ([www.stavba.tzb-info.cz](http://www.stavba.tzb-info.cz)).



Obr.20 Příklad grafické křivky Resistographu pro dřevo jehličnanů ([www.stavba.tzb-info.cz](http://www.stavba.tzb-info.cz)).

(Feio 2005) provedl porovnávací testy mezi destruktivními testy a odporovým vrtáním. Odporová charakteristika (Resistance Measure - RM) je určena podle následujícího vztahu:

$$RM = \frac{S}{h}$$

- |    |   |
|----|---|
| RM | Odporová charakteristika [mm], Feio ve své disertační práci používá rozměr [Bits] |
| S  | plocha pod křivkou [mm <sup>2</sup> ]   |
| h  | délka měřeného úseku [mm]   |

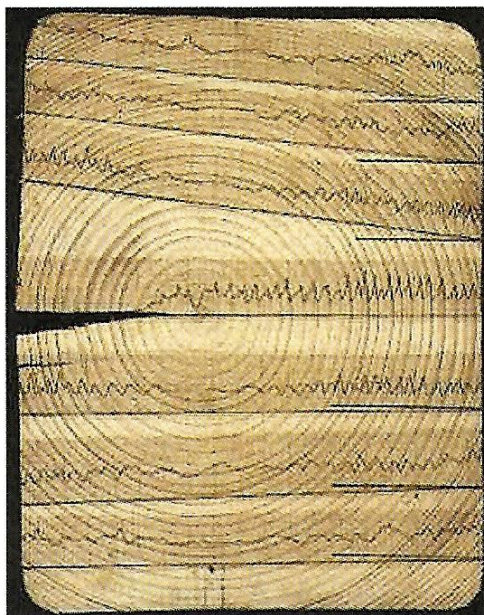


Pomocí odporové charakteristiky je možné provést srovnání výsledků odporového vrtání s hustotou popřípadě jinými vlastnostmi dřeva. Záznamy z měření podávají informace o stavu prvku pouze v místě vrtání. Pro zjištění stavu celého prvku je nutné provést několikanásobné měření (Kloiber, Drdácký 2015). Podle (Helms, Niemz 1994) existuje vztah mezi výsledky odporového vrtání a rentgenovou analýzou. (Rinn a kol. 1996) prokázali úzkou korelaci mezi průměrnými hodnotami odporového vrtání Resistographu s hustotou suchého dřeva, zjištěnou pomocí sestavení rentgenového hustotního profilu. Statisticky významný vztah mezi odporem vrtání a hustotou byl potvrzen koeficientem determinace  $R^2 = 0,85$ . Oproti tomu (Kasal, Anthony 2004) tuto hypotézu vyvracejí a tvrdí, že korelace kolísá a koeficient determinace činí pouze  $R^2 = 0,21 - 0,69$ . (Feio 2005) našli vztah mezi odporovou charakteristikou a hustotou, kde koeficient determinace je  $R^2 = 0,71$  pro nové dřevo a  $R^2 = 0,68$  pro dřevo staré.

Při měření pomocí Resistographu existují určitá omezení. Doporučuje se vrtání v čistě radiálním směru, z důvodu pravidelného střídání mezi zónami jarního a letního dřeva. Pokud vrt prochází vrstvami v tangenciálním směru mohou být výsledky matoucí a v křivce se prezentovat jako poškozené dřevo (převážně při průchodu vrtáku měkkou jarní vrstvou dřeva). Při měření je velmi důležitá ostrost nástroje (jeden vrták je možné použít přibližně na 300 vrtů). Průměr vrtáku neproказuje velkou ohybovou tuhost, tím pádem může dojít k vybočení vrtáku z osy vrtu a vedení v zóně měkčího jarního dřeva. Metodu odporového vrtání je v praxi doporučeno doplnit i jinou (např. neinvazivní) metodou měření. Metoda odporového vrtání je vhodná pro podání informace o stavu prvku v jeho průřezu, nikoli však v jeho délce. V případě požadavku zjištění stavu celého pomocí Resistographu je nutno provést vícenásobné měření, což je velmi časově náročné a také se zvyšují invazivní zásahy. Jako u většiny invazivních metod je i odporové vrtání ovlivňováno vlhkostí dřeva (Kloiber, Drdácký 2015).

Při provádění průzkumu na zabudovaném dřevě může v některých případech být zařízení Resistographu velmi neforemné až těžkopádné, což vede ke značnému omezení měření některých míst a zároveň se snižuje možnost měření čistě v radiálním směru (Kotlínová 2008). Měření vyžaduje volnou plochu o rozměrech cca 100 x 100 mm pro přiložení přístroje. Taktéž délka zařízení omezuje použitelnost, zvláště pak na místech s nedostatečným prostorem. Při měření se doporučuje vyhýbat místům s vadami dřeva jako jsou například suky a trhliny, které výrazně zkreslují výsledky. Při měření se doporučuje vytvořit vrtací schémata v pravidelných intervalech, jejichž cílem je dosažení průměrného profilu odporu jednotlivých částí prvků. Měření se provádí na místech s vyšší náchylností vzniku hniloby (kontakt dřevěných prvků se zdivem, v místech zatékání apod.), popřípadě při vizuálním detekování vnějšího napadení (např. poškození hmyzem).

Jak již bylo zmíněno, vrtání by mělo být provedeno striktně v radiálním směru. Pokud není možné tuto podmínku dodržet a vrták vniká do dřeva v tangenciálním popřípadě nespécifikovaném směru je nutné zvýšit počet vrtů (viz. obr.21) v daném místě, tak aby byl zajištěn dostatek informací pro správné vyhodnocení (Kloiber, Drdácký 2015).



Obr.21 Příklad změn profilu odporu v různých částech průřezu (Kloiber, Drdácký 2015).

Velkou výhodou měření pomocí Resistographu je vyhodnocování okamžitě in-situ. Pokud nelze výsledek interpretovat, provede se více měření v daném místě popřípadě v jeho okolí. I když čas jednoho vrtání přístrojem Resistograph je přibližně jedna minuta v závislosti na velikosti průřezu prvku, není tato veličina hlavním ovlivňujícím faktorem. Časově náročnější je pak interpretace výsledků a dokumentace místa vrtání.

Přístroje pro měření odporovým vrtáním vyrábí firmy IML a Rinntech. Příklady těchto přístrojů jsou znázorněny na obr. 22, obr. 23.



Obr.22 Přístroj 2450-S firmy Rinntech (Kloiber, Drdácký 2015).



Obr.23 Přístroj RESIF400 firmy IML (Kloiber, Drdácký 2015).

Kompletní vybavení přístroje Resistograph 4453-S je na obr. 24. Komplet obsahuje: integrovanou thermo tiskárnu, wolframové vrtáky (detail špičky na obr.25), PowerPack, řídicí elektroniku, paměť pro až 500 měření, PC interface, kabel USB adaptér pro přenos dat do PC, DECOM™ vědecký software pro přenos a zpracování dat (včetně analýzy letokruhů), systémový kufr pro celý systém, nástroje pro výměnu vrtáku (www.rinntech.de).



Obr.24 Kompletní vybavení přístroje Resistograph 4453-S firmy Rinntech (vlastní).



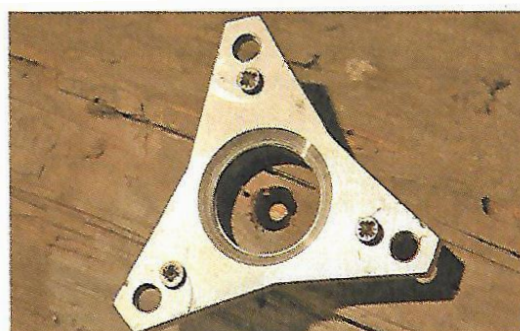
Obr.25 Detail špičky vrtáku (www.stavba.tzb-info.cz).

#### 4) Zkoušení radiálních vývrtů

Proces zkoušení radiálních vývrtů patří do skupiny částečně invazivních metod. Základním principem je odběr malých vzorků ve formě válečků, které jsou odebírány pomocí speciálního dutého vrták upevněného do elektrické vrtačky (viz. obr.26), který je upevněn do specifického držáku eliminujícího vybočení vrtáku a zabezpečujícího konstantní rychlost posuvu (viz. obr.27). Po odběru zůstává v prvku otvor o velikosti 10 mm, takže poškození není tak rozsáhlé, aby prvek narušilo do takové míry, která by zásadně ovlivnila pevnost prvku. Vzorky radiálních vývrtů mají průměr 4,8 mm a jejich délka by měla být minimálně 20 mm z důvodu prokazatelnosti výsledků. Při vrtání je potřeba dodržovat konstantní rychlost a postupovat po krocích, tak aby se odebíraný vzorek nepoškodil.



Obr.26 Úplné vybavení pro odběr radiálních vývrtů (Kloiber, Drdácký 2015).

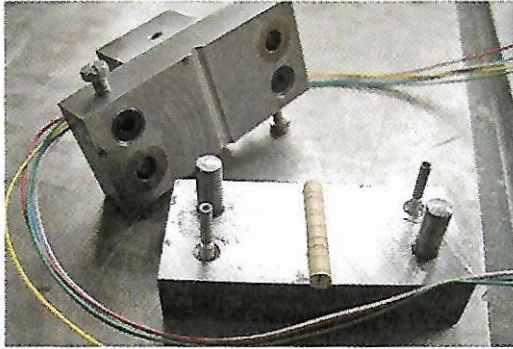


Obr.27 Speciální držák pro elektrickou vrtačku a detail odvrtného vzorku (Kloiber, Drdácký 2015).

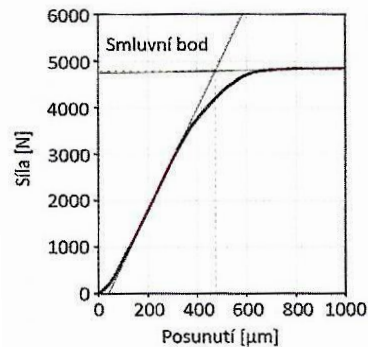
Vzorky jsou do laboratoře přenášeny v ochranných schránkách. Důvodem je zamezení změny vlhkosti vzorku a ochrana vzorku před samotným testováním. Každá ze schránek je opatřena pořadovým číslem vrtu, popisem místa odběru, datem popřípadě doplňujícími informacemi ([www.stavba.tzb-info.cz](http://www.stavba.tzb-info.cz)). Vývrty je nutné odebírat z míst, kde prvek není poškozen. Zároveň je kladen důraz na odběr v radiálním směru.

Pomocí metody odběru radiálních vývrtů je možné určit několik vlastností dřeva, jako například hustotu, vlhkost, modul pružnosti a mez pevnosti v tlaku rovnoběžně s vlákny. Vzorky lze využít také pro identifikaci druhu dřeva, dendrochronologické datování, mikroskopickou analýzu hniloby, popřípadě pronikání ochranných činidel (Kloiber, Drdácký 2015).

Testování se provádí v přístroji složeném ze dvou čelistí, ve kterých jsou vyfrézovány drážky (viz. obr. 28). Pomocí těchto čelistí se vyvozuje tlak kolmo na osu radiálního vývrtnu. Vzdálenost mezi čelistmi, určující i velikost deformace vzorku, je měřena dvěma lineárně proměnnými snímači.



Obr.28 Čelisti přístroje pro zkoušení radiálních vývrtů (Kloiber, Drdácký 2015).



Obr.29 Příklad zkušebního diagramu (Kloiber, Drdácký 2015).

Deformace vzorku v závislosti na velikosti působící síly se zaznamenává do pracovního diagramu (viz. obr. 29). Následně je možné vypočítat mez pevnosti a to ze vzorce:

$$f_c = \frac{F_{max}}{l \cdot d_c}$$

- $f_c$  mez pevnosti v tlaku [MPa]
- $F_{max}$  zatížení [N], zatížení  $F_{max}$  je odčítáno z diagramu (viz. obr. 29)
- $l$  délka radiálního vývrtnu [mm]
- $d_c$  průměr radiálního vývrtnu [mm]

Pro provedení odběru vzorku je nutná plocha o rozměrech 70 x 70 mm z důvodu upevnění držáku vrtacího přístroje. Při dosažení požadované vrtací hloubky (běžně 40 mm) se pomocí tenkostěnné trubice vylomí vzorek dřeva. V případě poškození nebo přelomení vzorku je takový vývrt vyřazen. (Kloiber, Drdácký 2015) doporučuje pro zkoušení radiálních vývrtů 12 % vlhkosti dřeva. Z důvodu ochrany místa odběru proti vnikání vlhkosti, vzniku hniloby či napadení dřevokazným hmyzem je doporučeno otvor po vývrtnu zazátkovat.

### III. BIOTIČTÍ ŠKŮDCI DŘEVA KROVOVÝCH KONSTRUKCÍ

Jestliže ve dřevě nastanou optimální podmínky pro aktivitu dřevokazných činitelů, vznikají ve dřevě degradační procesy, které ovlivňují vlastnosti dřeva jak estetické, tak i fyzikálně-mechanické (Svatoň 2000). Největším nebezpečím ovlivňující vlastnosti dřeva ve stavbách jsou dřevokazné houby, rozkládající dřevo, přičemž snižují jeho pevnost a nastává vážné ohrožení objektu (Baier 2001). V případě dřeva napadení dřevokazným hmyzem je degradační proces „nižší“. Ve dřevě vznikají otvory od hmyzu avšak okolní dřevo si ponechává své původní strukturu i vlastnosti, či-li pevnost je ovlivněna hustotou a velikostí otvorů (Svatoň 2000).

#### DŘEVOKAZNÉ HOUBY

K rozkladu dřeva dochází různě v závislosti napadení houbami celulózoformními nebo ligninovoformními. Celulózoformní houby se živí obzvláště celulózovou složkou dřeva, přičemž lignin se přetváří v látky humusové povahy. Dřevo napadené celulózoformními houbami postupně tmavne a kostkovitě se rozpadá. Takové napadení je běžně označováno jako červená či hnědá hniloba. V opačném případě ligninovoformní houby způsobují tzv. korozivní hnilobu. Tyto houby pro svůj růst využívají všech složek dřeva (celulóza, hemicelulóza, lignin). Působením těchto hub dřevo světlá, měkne, vznikají v něm výrazné komůrky až se nakonec začíná drobit a rozpadat. Takové napadení je označováno jako hniloba bílá (Baier 2001).

##### 1) Dřevomorka domácí - *Serpula lacrymans*

Celulózoformní saprofitická<sup>(1)</sup> dřevokazná houba vyskytující se po celé Evropě. Patří mezi nejnebezpečnější celulózoformní houby, kterou nacházíme ve vlhkých sklepích, suterénech, chatách, chalupách a nevětraných prostorách. Mycelium<sup>(2)</sup> je schopné rozkládat celulózu a hemicelulózu dřeva, dřevotřísky, textilu, papíru a zdivo, čímž způsobuje značné poškození ([www.atlasposkozeni.mendelu.cz](http://www.atlasposkozeni.mendelu.cz)).

<sup>(1)</sup> Saprofyt - rostlinný organismus živící se odumřelými organickými látkami ([www.wikipedia.cz](http://www.wikipedia.cz)).

<sup>(2)</sup> Mycelium - soubor veškerých houbových vláken, podhoubí ([www.wikipedia.cz](http://www.wikipedia.cz)).

Plodnice Dřevomorky domácí bývají rozlité, 2 - 10 mm tlusté. Dospělé plodnice mají po obvodu 1 až 3 cm široký plstnatý val. Za ideálních podmínek může plodnice dorůstat průměru až 30 cm (někdy i více) (Baier 2001). Plodnice roste velmi rychle. Tvoří myceliové provazce (viz. obr. 30), pomocí kterých nasává vodu ze vzdálenějších míst, z čehož plyne, že může vyrůstat i na relativně suchých místech ([www.atlasposkozeni.mendelu.cz](http://www.atlasposkozeni.mendelu.cz)). Zprvu vypadají plodnice jako měkké, okrouhlé, sněhobílé nebo nažloutlé vatovité bochánky. Později dorůstají v polštářkovité nebo nepravidelné terčovitě útvary. Po nějaké době se dřevomorka začíná zbarvovat do žlutooranžové barvy, která přechází přes oranžovou, červenohnědou až do hnědozrzavé (viz. obr. 31), která indikuje vyžralost výtrusů. Houba se orientuje na místa s nízkým prouděním vzduchu. Proudění vzduchu pak roznáší výtrusy do celého objektu. Není-li provedena včasná a důkladná sanace, může vést poškození až k demolici objektu (Baier 2001).



Obr.30 Myceliové provazce ([www.atlasposkozeni.mendelu.cz](http://www.atlasposkozeni.mendelu.cz)).



Obr.31 Plodnice dřevomorky ([www.atlasposkozeni.mendelu.cz](http://www.atlasposkozeni.mendelu.cz)).

Sanace dřevomorky domácí je velice obtížná. Tato houba je velmi odolná a v některých podmínkách prakticky nezničitelná. Ke zničení výtrusů je nutné vyhřát prostředí výskytu na teplotu 100 °C po dobu 6 hodin, popřípadě snížit teplotu na -20 °C po dobu 3 hodin, což ovšem platí pouze pro odkryté mycelium. Výtrusy dovedou snést teplotu až -75 °C trvající 24 hodin aniž by ztratily svou klíčivost.

Tab.2. Podmínky růstu Dřevomorky domácí (Baier 2001):

Hodnoty	Minimální	Optimální	Maximální
Vlhkost (%)	20	30	55 až 130
Teplota (°C)	3	22	27

## 2) Koniofora sklepní - *Coniophora puteana*

Saprofytická houba hnědého tlení vyskytující se na celém našem území v lesích i ve stavbách. Období výskytu je od léta do podzimu na dřevě listnáčů i jehličnanů. Roste v místech se zvýšenou vlhkostí dřeva. Jedná se o druhou nejnebezpečnější dřevokaznou houbu hned po dřevomorce domácí. Nákaza se šíří z povrchu dřeva směrem dovnitř průřezu ([www.ochrana-dreva.cz](http://www.ochrana-dreva.cz)).



Obr.32 *Koniofora sklepní - Coniophora puteana* ([www.ochrana-dreva.cz](http://www.ochrana-dreva.cz)).

Plodnice jsou ploché, tenké v podobě kůrovitých povlaků tloušťky 4-10 mm. Celým svým povrchem přirůstají ke dřevu. Výskyt v kruhovém popřípadě podlouhlém tvaru průměru 25 cm i větší. Povrch Koniofory je hladký, případně mírně bradavicovitý se žlutavým až okrovým zbarvením se světlým lemováním (viz. obr.32). Dřevní hmota se rozkládá formou destruktivní hniloby, přičemž dřevo rychle přichází o své fyzikálně-mechanické vlastnosti. Dřevo se působením hniloby zbarvuje od okrově žluté s vláknitým lomem, přes hnědožluté a v konečné fázi je dřevo tmavohnědé až černé barvy kostkovitě se rozpadající. Po povrchu dřeva se rozlévají vějířovité provazce šedohnědé až tmavě hnědé barvy tloušťky 0,3 až 1,5 mm (Svatoň 2000).

Tab.3. Podmínky růstu *Koniofory sklepní* (Baier 2001):

Hodnoty	Minimální	Optimální	Maximální
Vlhkost (%)	22	34 až 46	70 až 130
Teplota (°C)	3	23	35



### 3) Trámovka plotní - *Gloeophyllum sepiarium*

Saprofitická houba čeledi chorošovitých, která se vyskytuje po celé Evropě. Trámovka plotní napadá mrtvé dřevo jehličnanů, především borovic, smrků a jedlí. Lze ji nalézt na plotech, zábradlích, lesních stavbách, na skládkách dřeva a velmi často také na konstrukcích krovů, na které zatéká (Reinprecht 2008).



Obr.33 Hymenofor Trámovky plotní  
([www.atlasposkozeni.mendelu.cz](http://www.atlasposkozeni.mendelu.cz)).



Obr.34 Plodnice Trámovky plotní  
([www.atlasposkozeni.mendelu.cz](http://www.atlasposkozeni.mendelu.cz)).

Napadené dřevo je na povrchu celistvé a nerozpadá se. Nejdříve má infikované dřevo žlutou barvu, později se zbarvuje do červena až hněda. Trámovka rozkládá dřevo zevnitř, proto může napadnout i dřevo, které je ošetřené fungicidními látkami pouze povrchově. Provazce jsou slabé, oranžové barvy. Hymenofor tvoří lupeny, žluté až hnědé barvy (viz. obr.33). Plodnice mají zprvu žlutorezavou barvu později se zbarvují do kaštanové a jsou hrubě chlupaté a hrbolaté na povrchu o velikosti 2-8 cm (viz. obr.34). Přirůstají bokem nebo středem ke dřevu ([www.ochrana-dreva.cz](http://www.ochrana-dreva.cz)).

Trámovka odolává i silnějším mrazům a dlouhodobému seschnutí. Je-li odstraněna vlhkost přestává růst, avšak obnoví-li se do tří let vhodné podmínky začíná zase růst (Baier 2001).

Tab.4. Podmínky růstu Trámovky plotní (Baier 2001).

Hodnoty	Minimální	Optimální	Maximální
Vlhkost (%)	22	34 až 46	70 až 130
Teplota (°C)	3	23	35

#### 4) Trámovka trámová - *Gloeophyllum trabeum*

Houba napadající dřevo jehličnanů se zvýšenou vlhkostí, převážně krovy střech a stropní trámy, na které zatéká. Tato houba je nebezpečná hlavně tím, že dřevo napadá zevnitř. Jelikož okolní dřevo tvoří něco jako ochranou schránku, je Trámovka prezentována jako nenápadný škůdce, který dlouho uniká pozornosti. Hniloba bývá odhalena až v pokročilém stádiu, což je indikováno výskytem plodnic na povrchu dřeva. Podobně jako Trámovka plotní odolává nepřejícím podmínkám, jako jsou silné mrazy a dlouhodobé vyschnutí. Pokud se vrátí příznivé podmínky zpět, opět se rozrůstá (Svatoň 2000).



Obr.35 Výtrusorodé rouško *Gloeophyllum trabeum* ([www.ohoubach.cz](http://www.ohoubach.cz)).



Obr.36 Plodnice *Gloeophyllum trabeum* ([www.ohoubach.cz](http://www.ohoubach.cz)).

Rozdíl od ostatních Trámovek je ten, že rouško není tvořeno lupeny, nýbrž velkými póry (2 - 4 póry na 1 mm) (viz. obr.35). Plodnice jsou tmavohnědé barvy (viz. obr.36). Zpočátku má podobu malých bochánků, které nejčastěji vycházejí z trhlin ve dřevě. Mycelium způsobuje hnědou hnilobu, kdy se dřevo kostkovitě rozpadá a končí úplnou destrukcí dřeva. Napadené dřevo je zprvu světle žluté a postupně tmavne až do červenohnědé barvy (Baier 2001).

Tab.5. Podmínky růstu Trámovky trámové (Baier 2001).

Hodnoty	Minimální	Optimální	Maximální
Vlhkost (%)	20	40	60 až 130
Teplota (°C)	5	35	46

## DŘEVOKAZNÝ HMYZ

Dřevokazný hmyz napadá jak živé, tak i mrtvé stromy, kulatinu, řezivo a hotové výrobky ze dřeva. Pokud se zaměříme na hmyz napadající mrtvé dřevo jde o tzv. technické škůdce. Tito škůdci způsobují poškození na kulatině, řezivu, dřevěných konstrukcích a jiných výrobcích ze dřeva (Reinprecht 2008).

Podle (Baier 2001) je opracované dřevo dřevokazným hmyzem poškozováno jak přímo, tak i nepřímo. Přímo je dřevo degradováno larvami i dospělým hmyzem, ti požírají dřevo a vytvářejí v něm chodbičky skryté pod povrchem dřeva s vletovými a výletovými otvory. V případě většího napadení jsou chodbičky spojovány a vytvářejí tzv. kaverny, které jsou vyplněny odpadovou drtí. Je-li dosaženo významného poškození, dochází k narušení struktury dřeva a tím dřevo ztrácí pevnost a dochází k rozkladu, což například u nosných trámů a krovů znamená, že se vlivem působení tlaku vyvozeného například větrem začnou bortit. V případě nepřímého poškození je dřevo infikováno některými plísněmi, zavlečenými do dřeva právě dřevokazným hmyzem.

Pro existenci dřevokazného hmyzu je zásadní hlavně teplota a vlhkost prostředí. Teplota se většinou pohybuje kolem 18-25 °C (Svatoň 2000). Jak bylo již řečeno i vlhkost je pro vývoj hmyzu významným faktorem. pro technické škůdce je nutná vlhkost dřeva alespoň 10 %. Samozřejmě, že hodnoty jsou různé podle toho jaký dřevokazný hmyz je myšlen (tab.6). Například pro červotoče je optimální vlhkostí 20-35 % vlhkosti dřeva (Reinprecht 2008).

Tab.6. Vliv abiotických faktorů na vybrané druhy dřevokazného hmyzu (Reinprecht 2008).

Druh dřevokazného hmyzu	Požerky	Životní podmínky ve dřevě			
		Vlhkost (%)		Teplota (°C)	
	J - jehličnaté L - listnaté	W <sub>opt</sub>	W <sub>min-max</sub>	t <sub>opt</sub>	t <sub>min-max</sub>
Tesařík krovový (Hylotrupes bajulus)	Interiér (J)	30-35	9-65	28-30	12-38
Tesařík zavalitý (Ergates faber)	Exteriér (J)	60		30	
Červotoč proužkovaný (Anobium punctatum)	Interiér (J, L)	28-30	10-50	21-24	12-29
Červotoč umrlčí (Hadrobregmus pertinax)	Interiér (J - zhnílé)	30	19-55	25-26	
Hrbohlav hnědý (Lyctus brunneus)	Interiér (L)	14-16	7-23	26-27	18-30

### 1) Tesařík krovový - *Hylotrupes bajulus* L.

Jedná se o nejnebezpečnějšího škůdce zpracovaného jehličnatého dřeva. Nejvíce napadá střešní konstrukce, kde škodí na vazných trámech, krokvích, pozednicích a dalších prvcích. Je možné jej nalézt i na stropních trámových či povalových konstrukcích, schodištích, srubových a hrázděných konstrukcích, případně i na dřevu v exteriérových expozicích jako jsou například mosty, balkóny apod. Škodlivost Tesaříka krovového v našich podmínkách se dá porovnávat se škodlivostí termitů v teplých oblastech světa. Od ostatních tesaříků se liší hlavně tím, že napadá pouze zpracované odkorněné jehličnaté dřevo. Mimo dřeva je schopen poškodit i plasty jako například fólie z PVC, PE i PU pěny (Reinprecht 2008).

Larvy (viz. obr.37) vytvářejí chodbičky oválného tvaru, převážně v podélném směru ve vrstvách jarního dřeva. Postupem času se požerkové chodby (viz. obr.38) zvětšují a vychylují z podélného směru. Jádrová dřeva jako borovice či modřín jsou napadány pouze v bělové části, avšak u bělových dřev - smrk, jedle - se napadání šíří v celém průřezu prvku. Larvy dorůstají do délky 15-22 mm. Požerky průřezu 12 x 7 mm jsou dokonale vyplněny drtí. Výletové otvory imág<sup>(3)</sup> jsou oválného tvaru o rozměrech 7 x 4 mm až 10 x 5 mm. Jelikož z jednoho výletového otvoru může vylézt i více než jeden dospělec, nemusí počet výletových otvorů souviset s rozsahem napadení či poškození (Reinprecht 2008).



Obr.37 Larva Tesaříka krovového (www.adera.cz).



Obr.38 Požerky způsobené Tesaříkem krovovým (*Hylotrupes bajulus*) (www.atlasposkozeni.mendelu.cz).

<sup>(3)</sup>**Imágo** - dospělec hmyzu. Při úplné přeměně se líhne z kukly. Základní úlohou imága je založení dalších generací (Reinprecht 2008).

Dospělý jedinec (viz. obr.39) je dlouhý 10 až 20 mm, zbarvený do hnědočerné barvy se dvěma méně zřetelnými světlejšími pruhy ve středu krovek. Tykadla má oproti jiným druhům tesaříků kratší - přibližně do poloviny krovek. Dospělý tesařík žije maximálně jeden měsíc (Baier 2001).



Obr.39 Dospělec (imágo) Tesaříka krovového (www.petersnature.com).

## 2) Tesařík fialový - *Callidium violaceum* L.

Škodí na dřevě ve skaldech suroviny a dřevnících, dále napadá i dřevo na krovech, laťování pod střešní krytinou, případně na jakémkoli dřevě se zbytky kůry. Častým je napadení staveb, kde je užito čerstvé dřevo. Ve dřevě se objevuje zároveň i několik generací za sebou do doby než dřevo zcela zničí. Imago Tesaříka fialového vylétá často i z okenních rámců nebo dveří zabudovaných do nových staveb (Vysoký 1995).

Samička Tesaříka fialového klade vajíčka bílé barvy o velikosti 1,7 x 0,5 mm a to buď jednotlivě, nebo ve skupinách maximálně po 5. kusech. Vylíhnuté larvy jsou délky od 16 do 26 mm (viz. obr.40). Požerky larev jsou oválného tvaru nejdříve ve vrstvách těsně pod kůrou. Před zakuklením pak prostupují 10-40 mm do bělového dřeva oválným otvorem o rozměrech 4-9 x 2-4mm. V těchto částech následně vytváří chodby dlouhé cca 30 až 80 mm ve směru s vlákny na jejichž koncích jsou kuklové komory (Reinprecht 2008).



Obr.40 Larva Tesaříka fialového - *Callidium violaceum* (www.skudci.com).



Obr.41 Dospělec Tesaříka fialového - *Callidium violaceum* (www.skudci.com).

Výletové otvory jsou oválné o rozměrech 6 x 4 mm. Imago je dlouhý od 8 do 18 mm. Tělo je kovově lesklé modrofialové barvy s krátkými tykadly i krovkami avšak dlouhými nohami (viz. obr.41).

### 3) Červotoč proužkovaný - *Anobium punctatum*

Jedná se o nejčastěji vyskytovaného červotoče škodícího jak u nás tak i v celé Evropě. Způsobuje značné škody na opracovaném jehličnatém i listnatém dřevě. Napadá převážně nábytek, ale i hudební nástroje, nářadí. Dále škodí na zabudovaném dřevě jako například na oknech, dveřích, podlahách, obkladech, schodech, stropěch, krovech.

Larvy jsou dlouhé 4-6 mm (viz. obr.42). Generace Červotoče proužkovaného je obvykle dvouletá. Požerky larev jsou kruhové o průměru 0,4 až 2 mm. Taktéž výletové otvory imag jsou kruhového tvaru běžně průměru 1,5 až 2 mm (Reinprecht 2008).

U jádrových dřev dávají larvy přednost bělovému dřevu. Ve dřevě bělovém pak prvně požírá jarní dřevo, přičemž vrstvy letního dřeva zůstávají neporušeny. Tesařík požírá dřevo téměř k povrchovým vrstvám, tím vzniká pouze tenká stěna, dřevo se zdá neporušené avšak uvnitř může být zcela zničeno (Holan 2006).

Tělo dospělce je dlouhé 3-4 mm válcovitého tvaru pokryté velmi jemnými šedými chloupky (viz. obr.43). Podobný Červotoči umrlčímu. Hlavu překrývá přední část štítu až je skoro znatelná. Zbarvený jednou barvou od hnědé až do černé, pouze nohy a tykadla jsou barvy světlejší. Krovky tesaříka jsou protáhlé, rýhované a opět pokryté jemnými a hustými hedvábnými chloupky. Na krovkách je znatelných cca 10 tečkovaných rýh (Vysoký 1995).



Obr.42 Larva Červotoče proužkovaného - *Anobium punctatum* ([www.skudci.com](http://www.skudci.com)).



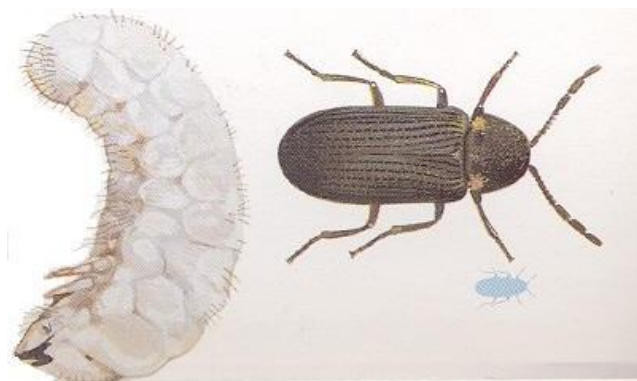
©WesDigital

Obr.43 Dospělec Červotoče proužkovaného - *Anobium punctatum* ([www.skudci.com](http://www.skudci.com)).

#### 4) Červotoč umrlčí - *Hadrobregnus pertinax*

Je téměř stejně rozšířen jako Červotoč proužkovaný. Napadá jehličnaté dřevo vyšší vlhkosti, především pak dřevo v pokročilém stádiu hnědé hniloby. Pokud ve dřevě klesne vlhkost pod 19 % přestává být tento škůdce aktivní. Je možné jej nalézt na střešních krovech, zhlavích povalových nebo stropních trámů, kde má ideální podmínky (Reinprecht 2008).

Podle (Vysoký 1995) klade samička vajíčka po jednom do trhlin ve dřevě, (Reinprecht 2008) tvrdí, že klade až 30 vajíček oválného tvaru 0,5 x 0,3 mm krom trhlin ve dřevě i na stěny starých požerků. Vajíčko je nejčastěji na jednom konci protáhlé a na druhém konci je zploštělé. Larva vytváří chodby do dřeva a poté je těsně ucpává drtí. Larva dorůstá délky až 5 mm, je bělavé barvy s dobře viditelnými nohama (viz. obr.44). Tělo larvy je pokryté krátkými chloupky a po stranách na osmého a devátého článku jsou zřetelné háčky, pomocí nichž se opírá při pohybu.



Obr.44 Larva a dospělec Červotoče umrlčího - *Hadrobregnus pertinax* ([www.skudci.com](http://www.skudci.com)).

Výletový otvor je kulatý průměru 2,5-3 mm. Dospělec je dlouhý 4 až 6 mm hnědé až černé barvy (viz. obr.44). Krovky jsou jemně rýhované s chloupky. Je ho přítomnost se zjišťuje podle výletových otvorů, vypadané drti a také podle specifického zvuku podobnému tikotu hodin (Vysoký 1995).

#### IV. STAVEBNĚ TECHNICKÝ PRŮZKUM

Při ochraně cenných historických konstrukcí je základním předpokladem jejich poznání, což obsahuje jejich průzkum, dokumentaci a popis. Opravy takovýchto konstrukcí a jejich průzkumy také přinášejí další nové poznatky o historických krovech. Jelikož se ochranou historických objektů a také jejich střešních konstrukcí zabývá stále více a více projektantů, památkářů, historiků a podobně, je nutné dbát na správnou terminologii, především z důvodu porovnávání výsledků průzkumů vytvořených různými osobami. Cíle průzkumu se mohou lišit podle toho, jakou specializaci má osoba provádějící průzkum. Osoba zabývající se památkovou péčí klade důraz převážně na historickou hodnotu krovu. Oproti tomu projektant bude klást důraz na technický stav konstrukce, avšak musí přihlížet i na historický vývoj krovu a zohlednit i památkovou hodnotu (Vinař 2005).

Před jakýmkoli zásahem do střešní konstrukce je tedy nutné provést důkladný průzkum, ať už jde o průzkum stavebně historický, uměleckohistorický, stavebnětechnický či jiný. Průzkum by pak měl podat informace o aktuálním stavu konstrukce, jejím materiálovém složení, rozsahu poškození eventuálně co je zapříčinilo. Před zahájením samotného průzkumu je vhodné pořídit fotodokumentaci (celku, jednotlivých částí, detailů) (Šefců a kol. 2000).

Průzkum informuje o:

- klimatických poměrech lokality - vlhkost okolního prostředí, zmapování zdrojů vlhkosti
- biotickém napadení - posouzení napadení dřeva houbami popřípadě hmyzem a v jaké míře
- technickém stavu - jeli ohrožena statická funkce konstrukce (v závislosti na míře poškození, zatížení, aktivitě dřevokazných činitelů, apod.)
- vlhkosti dřeva - souvisí s aktivitou dřevokazného hmyzu a dřevokazných hub
- tvaru a upořádání, rozměrech a dimenzích prvků
- datování a změnách vzniklých vývojem
- materiálu - jaký druh dřeva se objevuje v konstrukci, jaká barva či nátěry, impregnačních prostředcích atd.



Důkladnost průzkumu udává především účel, pro který je určen (Vinař 2005).

- pokud je záměr provést stavebně-historický průzkum, postačí běžně charakteristika konstrukce a jeho datování. Složitějším případem je stavebně-historický průzkum krovů, u nichž byl proveden zásah do konstrukčního systému, nebo také rozsáhlejší opravy. V takovém případě je možnost provést dendrochronologické datování, prozkoumání tesařských značek, případně trasologický průzkum.
- pro opravu krovu je nutné posoudit památkovou hodnotu, ale i technický stav. Je-li nezbytný zásah do konstrukčního systému (i jeho změna), je potřeba vyhotovit měřičskou dokumentaci a statický posudek.

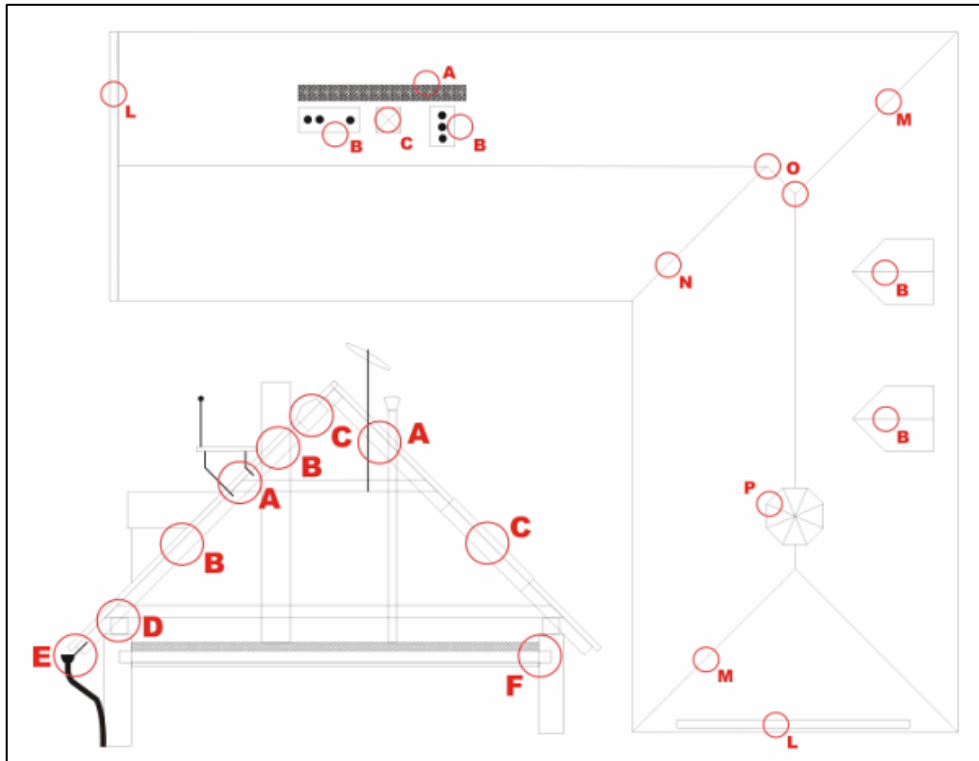
#### KLIMATICKÉ POMĚRY LOKALITY

K poškození dřevěných prvků střešních konstrukcí dřevokaznými škůdci dochází zpravidla v místech kde jsou ideální podmínky pro výskyt dřevokazného hmyzu či dřevokazných hub (místa s vlhkostí 18-20 a více %). Ke zvýšení vlhkosti dřeva v krovech přispívá jak voda srážková, tak i kondenzáty vzdušné vlhkosti.

Srážková voda (déšť, kroupy, sníh) se dostává do dřeva při poruchách nebo nevhodném konstrukčním řešení střešního pláště tvořeného v základě střešní krytinou. Pokud je krytina porušena dochází k zatékání. Ovšem k zatékání může vést i při nesprávně provedeném prostupu zdiva střešním pláštěm. V tomto případě hovoříme o zatékání kolem komínů, střešních oken, v místech vyvedení větracích šachet, světlovodů, antén, ukotvení komínových lávek, apod. Dále se objevují problémy v místech, kde se potkávají střešní roviny (nároží, úžlabí, zlomy mansardových střech, apod.) a v místech, kde se střešní konstrukce setkává se zdivem (štíty, atiky, vikýře, apod.) a v neposlední řadě v okolí střešních (nadokapních, podokapních) žlabů a svodů.

Voda vzniklá kondenzací je úzce spjata s prouděním vzduchu v objektech. Ve vzduchu je obsažena, krom základních složek (kyslík, dusík, oxid uhličitý), i vodní pára. K její kondenzaci dochází v případě, kdy se vodní páry ochladí pod teplotu rosného bodu, při přesycení vodními parami nebo na povrchu materiálu, který je chladnější než teplota rosného bodu.

V místech, s výše popsanými podmínkami je velká pravděpodobnost napadení dřevokaznými houbami a dřevokazným hmyzem a všeobecně se nazývají kritická či riziková a jsou znázorněna na obr. 45 ([www.stavba.tzb-info.cz](http://www.stavba.tzb-info.cz)).



Obr.45 Kritická místa střešních konstrukcí ([www.stavba.tzb-info.cz](http://www.stavba.tzb-info.cz)).

Legenda k obr.45:

A - okolí vedení technologických zařízení skrze střešní plášť (ventilační šachty, antény, komínové lávky); B - prostup zdiva střešním pláštěm (komíny, vikýře, světlíky); C - okolo uživatelských prostupů (střešní okna, výlezové a servisní otvory); D - pata krovové konstrukce; E - okapové žlaby, svody, chrliče; F - zhlaví vazních a stropních trámů uložených na (ve) zdivu; L - napojení střešního pláště ke zdivu přecházejícího přes rovinu střechy (štíty, nadstavby, apod.); M - nároží; N - úžlabí; O - styk několika střešních rovin; P - napojení menších konstrukčních celků

## BIOTICKÉ NAPADENÍ A TECHNICKÝ STAV DŘEVĚNÝCH PRVKŮ

Průzkum se dělí na dvě fáze. První část se nazývá předběžný průzkum. V této fázi je pozornost věnována kritickým místům (viz. klimatické poměry lokality). V těchto místech je zvýšená pravděpodobnost narušení konstrukce dřevokaznými houbami a dřevokazným hmyzem. Tento průzkum se provádí smyslovými metodami (čich, hmat, sluch, zrak). Podle zjištěných poruch se rozhoduje o druhé fázi průzkumu, při které je využito přístrojových metod, k získání úplného obrazu o stavu konstrukce a vlastnostech dřeva (Pume, Čermák 1993).

### 1) Smyslové metody zjišťování poškození dřeva:

- Čich - smysl, umožňující zjistit přítomnost hub, požáru nebo následky požáru, zvýšenou vlhkost.
- Hmat - pomocí hmatu se zjišťuje například povrchové poškození dřeva (vyšší stupeň poškození indikuje obvykle změna tvrdosti materiálu a jeho integrity) a také zvýšenou vlhkost dřeva.
- Sluch - pomocí sluchu je možné zachytit přítomnost larev či imag některých druhů dřevokazného hmyzu (brouci jako Červotoč proužkovaný (*Anobium punctatum*), Tesařík krovový (*Hylotrupes bajulus*) nebo termiti, vytvářejí při pohybu dřevem a jeho požírání zvukové signály), poruchy dřevěných prvků (poklepání na předmět).
- Zrak - vizuální metoda, která umožňuje zjistit poškození dřeva způsobené jakýmkoliv degradačním činitelem (dřevokazné houby a hmyz, požár, dřevozbarvující houby a plísně), trhliny, deformace tvaru apod.

### 2) Přístrojové metody pro zjišťování poškození dřeva:

Pomocí nejrůznějších přístrojů je využíváno při podrobnější analýze struktury a mechanicko-fyzikálních vlastností, přičemž je zachována objektivnost posouzení poškození. Přístroje je možné využít v různých oborech věnující se vlastnostem dřeva od lesnictví, přes výrobní podniky, které kontrolují kvality vstupní suroviny, až po posuzování archeologického dřeva či zjišťování poškození historicky cenného dřeva kulturních památek atd. Přístrojové metody nejsou vždy zapotřebí, nicméně velmi přispívají ke zvýšení kvality i kvantity posouzení poškození (Reinprecht 2008).

Tab.7. Přístrojové metody pro zjištění poškození a kvality dřeva (Reinprecht 2008).

Metoda	Zařazení	Základní princip	Aplikace
Optická	Světelný mikroskop	- zvětšení obrazu	- Změny ve struktuře dřeva vybarvení hyf hub
	Elektronový mikroskop (SEM)	- zvětšení obrazu	- detailnější změny ve struktuře dřeva
	Endoskop	- přenos obrazu přes optické vlákna	- poškození v dutinách a stropích
	Kolorimetr	- absorpce viditelného spektra 400-700 nm	- Stupeň barevné změny vlivem stárnutí
	Holograf IR, FTIR a NIR	- optoelektronický - absorpce infračerveného záření funkčními skupinami materiálu	- vlhkost, trhliny, hniloba - vlhkost, analýza hniloby
Elektrická	Vitamat Dielektrik	- konduktivita - frekvence, permitivita	- aktivní hniloba - vlhkost, analýza hniloby
	EIS	- elektrická impedanční spektroskopie	- gradient vlhkosti povrchu
Ultrazvuková	Pundit Arborsonic Sylvatest	- rychlost ultrazvukových vln (v) s možností stanovení modulu pružnosti dřeva (MOE)	- analýza vnitřní hniloby, resp. trhlín a požerků
Akustická tomografie	Fakopp 2D	- rychlost zvukových vln (v) napříč vláken dřeva	- analýza vnitřní hniloby (lokalizace, stupeň, rozsah)
Radiografická	RTG radiografie CT	- absorpce X- anebo gama-paprsků, energie 59,54 keV ( <sup>241</sup> Am)	- vnitřní struktura dřeva (trhliny, hniloba, požerky, atd.)
Elektromagnetická	Radar Mikrovlnný senzor NMR tomograf	- krátké pulzy do dřeva - mikrovlny do dřeva - vlny s energií fotonu mezi dvěma spinovými hladinami	- přítomnost kovů - analýza trhlín, apod. - vlhkostní mapa dřeva s indikací vnitřní hniloby
Termografická	Termograf	- radio-frekvenční ohřev dřeva	- odlišná barva samotného dřeva
Pevnostní	Dutý vrták + Fractometr	- odběr vzorků dřeva a jejich analýza na ohyb	- hniloba, chemická koroze
	Pilodin Resistograph	- hloubka vniku tenké jehly - odpor vůči tenkému vrtáku při konstantní rychlosti	- hniloba, požerky, apod. - hniloba, dutiny, apod.
Chemická	Detektor plynů Chromatografy a spektroskopy	- koncentrace CO, VOC - odběr vzorků dřeva a jejich separace a analýza složek	- hniloba, požár - typ a stupeň hniloby, apod.
Biologická	DNA analyzátor	- Sekvence A, G, C, T	- druh dřevokazné houby

## TVAR A UPOŘÁDÁNÍ, ROZMĚRY A DIMENZE PRVKŮ

- Měřičská dokumentace historicky cenných popřípadě památkových objektů musí přesně vyobrazovat stav objektu, který odpovídá době provádění měřičských prací (také archivní důvody)
- Než-li jsou zahájeny veškeré měřičské práce, je vhodné se seznámit s lokalitou kde se měření provádí a také se stávající výkresovou dokumentací.
- Důležité je i seznámení se základními aspekty historie majících vliv na vývoj stavby a její úpravy a zásahy do ní.
- V případě nalezení původních plánů či byla již vytvořena dřívější dokumentace, je nutné ji doplnit o změny a úpravy, které vedly k současnému stavu.
- Pokud se stavební dokumentace nezachovala a ani nebyla vytvořena, musí se dokumentace vytvořit na základě současného stavu konstrukce.
- Podle toho jak je konstrukce složitá se určuje, zda-li bude použito běžných měřičských prostředků (metr, pásmo apod.), stavební (zjednodušené) měřičské metody, nebo v případě velmi složitých a nepravidelných konstrukcí (většinou historické povahy) , kde je malá pravděpodobnost pravoúhlosti apod., je zapotřebí využít geodetických měřičských metod.

## DATOVÁNÍ, ZMĚNY VZNIKLÉ VÝVOJEM, MATERIÁL

Výsledkem datování je informování o dějinách stavby, ze kterých lze vyčíst předpokládané konstrukční řešení, stáří konstrukcí popřípadě i místa přestaveb. Dále je vyhotoven architektonický rozbor stavby obsahující popis exteriéru a interiéru objektu včetně výpisu materiálů. Umělecko-historické hodnocení zahrnuje třídění a hodnocení veškerých dat vyplívajících ze slohových etap objektu. Změny provedené v různých slohových vývojových etapách je možné ve výkresové dokumentaci barevně rozlišit (Vlček 2001).

---

## MATERIÁL A METODIKA

---

### I. KOSTEL SV. JAKUBA

Kostel sv. Jakuba se nalézá na Rašínově ulici v Brně nedaleko náměstí Svobody. Kostel byl vystavěn na přelomu 14. a 15 století na místě, kde se nacházel dřívější románský chrám sv. Jakuba Většího z počátku 13. století. V období husitské revoluce byly přerušeny stavební úpravy na kostele a v jeho pozdně gotické přestavbě se pokračovalo až v roce 1460. Nový chór byl vystavěn do roku 1473. V roce 1502 se k chóru navázalo stavbou trojlodí a také západní věže kostela podle projektu A. Pilgrama. Roku 1515 kostel vyhořel. Do roku 1592 byl kostel znovu obnoven. Přesto byl kostel ještě několikrát stavebně upraven. Do konce 18. století byl obklopen hřbitovem s několika kaplemi.

Průčelí kostela disponuje mohutnou hranolovou věží (viz. obr. 46) o výšce úctyhodných 94 m, v jejíž patě se nachází hlavní vchod do kostela. Délka celé stavby činí bez mála 76 m o šířce 25 m. Po levé straně navazuje na kostel kaple se sakristií, jak je vidět na obr. 47.



*Obr. 46 Pohled na věž kostela sv. Jakuba z Rašínovi ulice.*



*Obr. 47 Západní strana kostela sv. Jakuba se sakristií (www.wikipedia.cz).*

## II. HISTORIE KROVU KOSTELA SV. JAKUBA

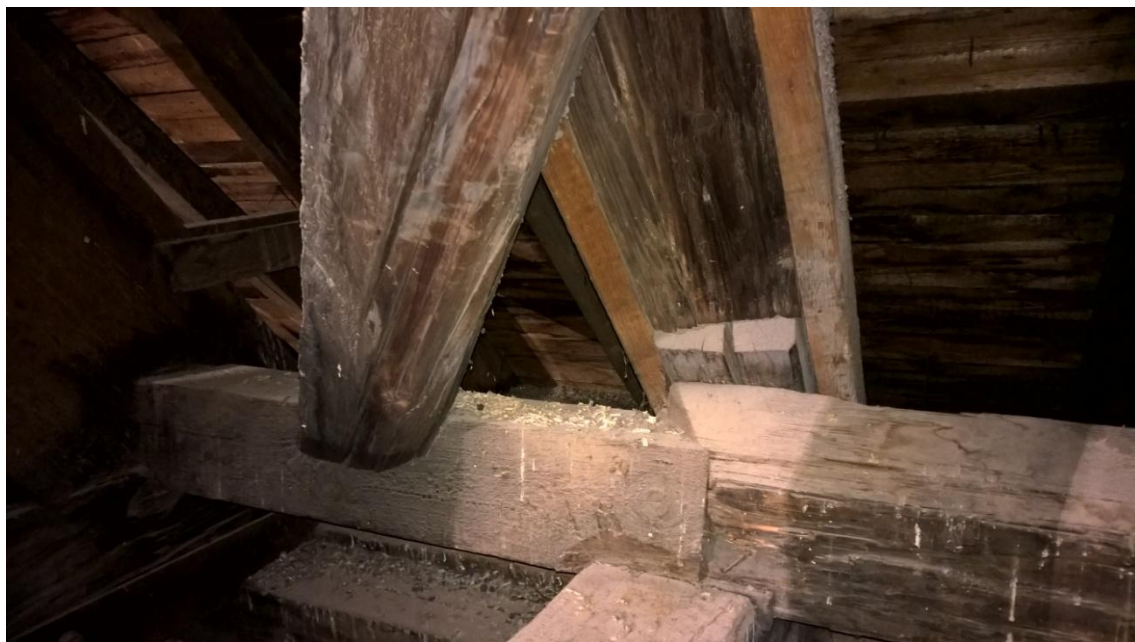
V roce 1515 byla stavba kostela postižena požárem což zapříčinilo i pád zastřešení. Nového krovu se kostel dočkal patrně až roku 1530. Dalších oprav došlo na přelomu 17. a 18. století, kdy bylo zapotřebí vyměnit celá střecha včetně krovu a to kvůli špatnému stavu. O tyto opravy se postaral tesař Johannes Ebenberger ve spolupráci s mědikovcem Sebastianem Riedlem. Práci dokončili v letech 1724-1725.

Roku 1958 byl celý kostel prohlášen za kulturní památku a v roce 1995 za Národní kulturní památku a to především díky své historické hodnotě. V roce 2015 v rámci projektu Monumentum sacrum Brunense započali na kostele práce, které měli za úkol kostel rekonstruovat a rehabilitovat. Mimo jiného se tedy zahájily i opravy krovu ([www.wikipedia.cz](http://www.wikipedia.cz)).

## III. AKTUÁLNÍ STAV KROVU

Jde o ležatou stolicí z roku 1724, tedy z období baroka, kterou jak již bylo zmíněno zkonstruoval tesařský mistr Johannes Ebenberger. Výborně technicky zpracované řešení barokního stavitelství. V konstrukci je využito podélných rámu a věšadel [Navrátil]. Důmyslně bylo vyřešeno i podélné zavětrování v podobě dvojitých ondřejských křížů. V konstrukci krovu bylo zaznamenáno při ohledání několik míst s poškozením způsobeným dřevokaznými houbami i hmyzem.

Na konstrukci krovu byly provedeny i nevhodné opravy prvků, v některých případech neslučitelné se statickou funkcí. Tyto prvky se postupně také vyměňují. Několik z nich je možné zhlédnout na fotografiích (viz. obr. 48 a obr. 49). Na dalších fotografiích jsou již vyměněné prvky (viz. obr. 50 - obr. 52). V rámci oprav probíhajících v rámci projektu Monumentum sacrum Brunense, je v krovu užito pouze jedlové dřevo, což obsahoval i původní krov.



*Obr. 48 Nevhodné nahrazení původního pětibokého prahu řezaným hranolem. Foto: Bc. Radomír Dvořák*



*Obr. 49 Opět nevhodné nahrazení pětibokého prahu řezaným hranolem z borovice. Spojení je provedeno na „tupo“, zajištěno pouze párem tesařských kramlí. Foto: Bc. Jakub Hapala*





Obr. 50 Správné provedení výměny krokve, hlavy hambalku a krokevní vzpěry v rámci projektu Monumentum sacrum Brunense. Foto: Bc. Jakub Hapala



Obr. 51 Výměna krokve s částí mezilehlé vaznice, zhlaví hambalku a krokevní vzpěry. Všude využito pouze celodřevěných spojů. Foto: Bc. Radomír Dvořák



Obr. 52 Nahrazení zhlaví vazných trámů a části pětibokého prahu z jedlového dřeva. Foto: Bc. Radomír Dvořák

#### IV. METODIKA PRŮZKUMU KROVU KOSTELA SV. JAKUBA

V následující kapitole je popsán postup provádění hodnocení stavu dřeva prvků krovu kostela sv. Jakuba v Brně. Postupně se podrobně seznámíme jak se v jednotlivých krocích postupovalo, a to od základní prohlídky krovu, přes přístrojové měření, vyhodnocení výsledků, až po jejich zpracování.

##### ZÁKLADNÍ PROHLÍDKA KROVOVÉ KONSTRUKCE

Před základní prohlídkou byla provedena instruktáž v rámci bezpečnosti. Jelikož je krov opravdu obrovský, je zde zapotřebí velké obezřetnosti. Při nedbalosti je zde možnost pádu a ublížení si na zdraví. Poté co jsme vypočetly bezpečnostních pokynů, přesunuly jsme se k samotné prohlídce. Postupně jsme měli možnost prohlédnout si celou konstrukci krovu, při které nám mimo jiné bylo představeno několik míst s vytipovaným poškozením prvků. Pro lepší orientaci bylo požádáno pana Ing. Miroslava Navrátila, který je zodpovědný za projektování oprav na kostele sv. Jakuba, o zprostředkování výkresové dokumentace .

##### PRŮZKUMOVÉ METODY

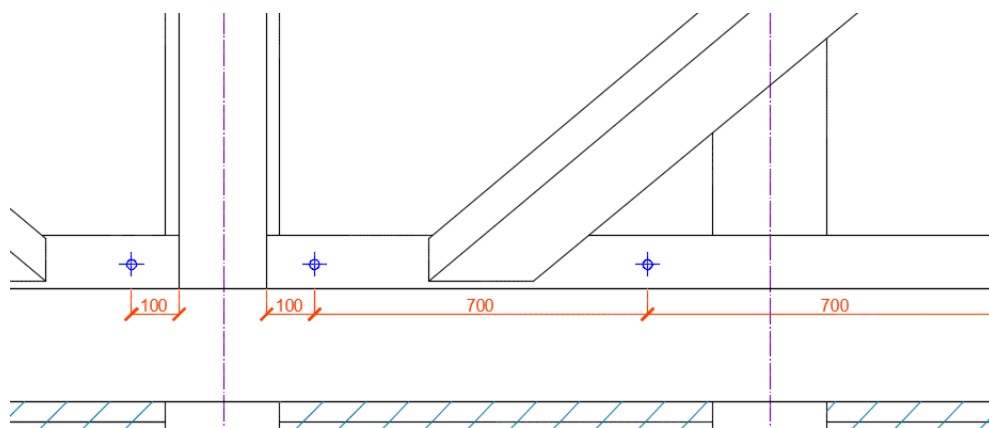
###### 1) Smyslové metody

Ještě před započítím měřičských prací byl krov ještě jednou prozkoumán smyslovými metodami. Ze smyslů bylo nejvíce využito vizuální prohlídky a hmatu. Prostřednictvím smyslů jsme se ujistily v jakém stavu se konstrukce přibližně nachází. Vizuálně byl také určován druh dřeva a o jaké poškození respektive čím byly degradační procesy způsobeny. Identifikace jak druhu dřeva, tak i degradačních činitelů byla provedena na základě získaných znalostí. Jelikož nebyla provedena laboratorní mikroskopická analýza vyskytuje se možnost nepřesného určení.

###### 2) Přístrojové metody

K zjišťování stavu prvků bylo využito semi-destruktivní metody měření odporu při vrtání pomocí přístroje Resistograph 4453 od firmy Rinntech. Jelikož kompaktnost přístroje nedovoluje užití v každém části konstrukce, musela být určena struktura měřícího postupu. Proto se určilo v jakých intervalech a na kterých místech budou vrty provedeny.

Většinou se vrty prováděli u prvků s předem identifikovaným poškozením a to tak, že se první vrt provedl uprostřed vytipovaného úseku a od tohoto místa se vrty posouvali do stran cca po 50 cm (viz. obr.53), dokud vrt neprokázal zdravé dřevo. V rámci vrtání do pětibokého prahu v patě krovové konstrukce byla omezena pohyblivost a využití přístroje, což vedlo k úpravě vzdálenosti měření, která se z 50 cm posunula na cca 70 cm s tím, že v místech začepování ležaté stolice do pětibokého prahu se provedli vrty z obou stran plné vazby jak je znázorněno na obr. . Pokud situace vyžadovala bylo provedeno více násobné měření v podobě vykonání kolmého vrtu. Takovýto vrt byl proveden v případech, kdy z grafu nebylo možné usoudit zda se jedná o prvek porušený či nikoli.



Obr. 53 Znázornění provedení vrtů do pětibokého prahu(vlastní).

Zjišťována byla také vlhkost dřeva při měření a to pomocí vlhkoměru Elbez WHT - 680. Základní princip přístroje je měření elektrického odporu mezi elektrodami (zarážecími hroty) měřící sondy. Měření vlhkosti se zjišťovalo téměř u každého posuzovaného prvku. Hodnoty vlhkosti se pohybovaly v intervalu od 13,2 do 16,8 %. Pomocí aritmetického průměru se pak vypočetla výsledná vlhkost na 15,3 %. Vlhkost okolního vzduchu ani teplota měřena nebyla. Jelikož měření se vykonávalo v každém z ročních období a hodnoty měření se neměnily, byla vyvozena domněnka, že tyto veličiny nemají rapidní vliv na měření přístrojem Resistograph.

Dále se pomocí běžných měřících pomůcek (svinovacího a skládacího metru) změřily průřezy a délky poškozených prvků. Pomůcky byly využity i při měření vzdálenosti provedených vrtů.

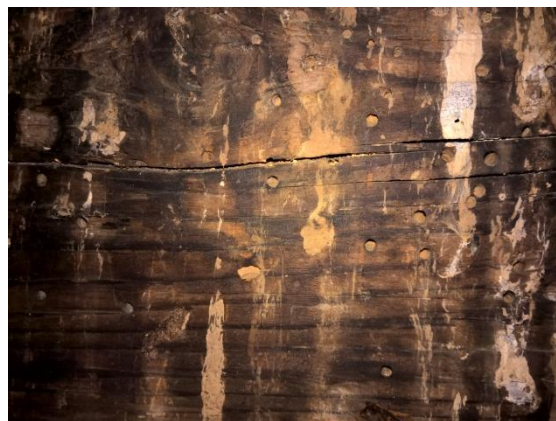
## VÝSLEDKY

### I. IDENTIFIKACE DŘEVA KROVU

Dřevo použité v krovové konstrukci nebylo nutné v každém případě identifikovat, jelikož s dochovanými historickými záznamy víme, že bylo použito jedlové dřevo. Dřevo prvků, které se zde zaneslo spolu s novodobými opravami je také z jehličnatých dřevin. V tomto případě by bylo nutné odebrat vzorky a ty pak mikroskopicky analyzovat v laboratoři. Makroskopickým odhadem jsme určili, že prvky jsou vyrobeny ze dřeva borového a smrkového.

### II. BIOCIDNÍ POŠKOZENÍ

Identifikováno poškození dřevokazným hmyzem z čeledi *Anobiidae* (červotočovití) a *Cerambycidae* (tesaříkovití). Bylo tak určeno podle velikosti a tvaru výletových otvorů. Ze zástupců čeledi *Anobiidae* napadl dřevo krovu Červotoč proužkovaný (*Anobium punctatum*), jehož výletové otvory jsou kruhového tvaru o velikosti 1,5 až 2 mm (viz. obr. 55). Dále byly nalezeny oválné výletové otvory velikosti cca 7-9 x 4 mm, které vytváří Tesařík krovový (*Hylotrupes bajulus*).



Obr. 54 Uhnílý čep sloupku ležaté stolice v osazení do pětibokého prahu způsobené proužkovaného (*Anobium punctatum*).  
Trámovkou

Obr. 55 Výletové otvory Červotoče proužkovaného (*Anobium punctatum*).

Další poškození bylo způsobeno dřevokaznými houbami a to Trámovkou. Napadení dřevěných prvků Trámovkou bylo identifikováno podle toho, že tato houba napadá dřevo od středu prvku zatím co povrch zůstává celistvý. Trámovka způsobuje hnědou hnilobu, kdy se dřevo kostkovitě rozpadá. Příklad takového poškození je vyobrazeno na fotografii (viz. obr. 54)

### III. VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ

Zpracování naměřených hodnot bylo v převážném množství prováděna „*in situ*“. V případě výsledků, u kterých nebylo jednoznačně prokázáno poškození, se hodnocení vyhotovilo dodatečně ve vzájemné spolupráci s Bc. Radomírem Dvořákem, jehož práce bylo hodnotit prvky nedestruktivní metodou pomocí ultrazvukových přístrojů. Po té co došlo ke shodě se výsledky zapsaly do tabulky a následně byly zaneseny i do poskytnuté výkresové dokumentace (viz. Příloha č.1).

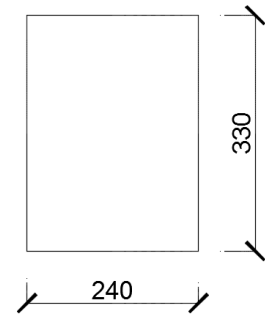
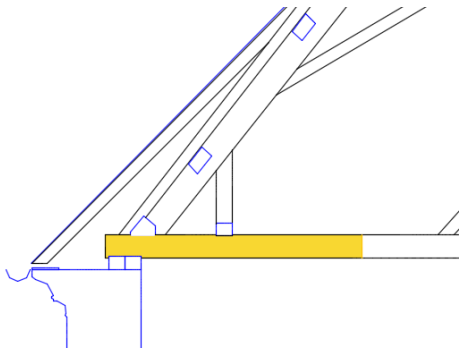
Tab. 8: Hodnocení poškození prvků krovu.

číslo vady	název prvku	specifikace poškození	rozměry [mm]		stupeň poškození	rozsah poškození [mm]
			š	h		
1	Vazný trám	napadení červotočem	240	330	3	3700
2	Zhlaví krokve	napadení červotočem	170	200	3	1300
3	Zhlaví krokve	hniloba	170	200	3	1300
4	Zhlaví vazného trámu	hniloba	240	330	3	1850
5	Pětiboký práh	hniloba	350	290	3	3550
6	Zhlaví vazného trámu	hniloba	240	330	3	1300
7	Zhlaví vazného trámu	hniloba	240	330	4	4200
8	Práh pod patním sloupkem	Hniloba	230	190	3	2250
9	Pětiboký práh	nahrazení řezaným hranolem	350	290		2500
10	Zhlaví krokve	hniloba	170	200	4	2300

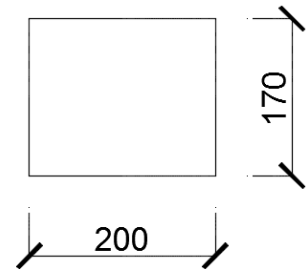
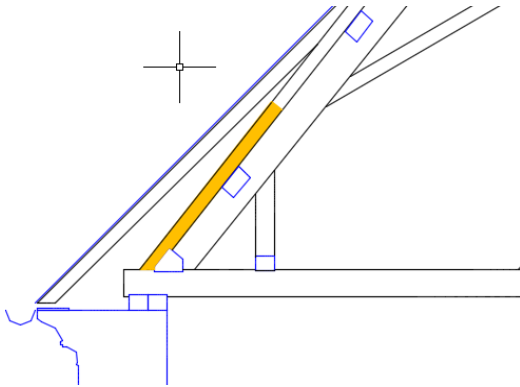
11	Pětiboký práh	nahrazení řezaným hranolem	350	290		3500
12	Čep sloupku ležaté stolice v osazení do pětibokého prahu	hniloba	190	360	5	1000
13	Zhlaví krokve	hniloba	170	200	3	1700
14	Zhlaví vazného trámu	hniloba	240	330	3	1400
15	Pětiboký práh	hniloba	350	290	3 až 4	13 850
16	Zhlaví vazného trámu	napadení červotočem	240	330	2	1850
17	Pětiboký práh	nahrazení řezaným hranolem	350	290		5900
18	Pětiboký práh	hniloba	350	290	3	2550
19	Pětiboký práh	hniloba	350	290	3	2800
20	Pětiboký práh	hniloba	350	290	4	1200
21	Pětiboký práh	hniloba	350	290	4	9550
22	Vazný trám	napadení červotočem a tesaříkem	240	330	2	3200
23	Vazný trám	napadení červotočem a tesaříkem	240	330	2	2150
24	Vazný trám	napadení červotočem a tesaříkem	240	330	2	4250
25	Pětiboký práh	nahrazení řezaným hranolem	350	290		4400
26	Pětiboký práh	hniloba	350	290	2	1950
27	Pětiboký práh	nahrazení řezaným hranolem	350	290		5750
28	Pětiboký práh	hniloba	350	290	2	2650
29	Vazný trám	napadení červotočem	240	330	2	3700
30	Pětiboký práh	napadení červotočem	350	290	2	1150
31	Vazný trám	napadení červotočem	240	330	2 až 3	3700

32	Zhlaví ondřejského kříže	hniloba	200	170	3	800
33	Vazný trám	napadení červotočem	240	330	3	2850
34	Pětiboký práh	hniloba	350	290	3	1250
35	Vaznice	hniloba	200	415	2	1150
36	Hambalek	hniloba	170	220	2	5000
37	Krokevní podpěra	hniloba	160	180	3 až 4	2050
38	Vaznice	hniloba	200	415	4	2100
39	Krokevní podpěra	hniloba	160	180	4	2050
40	Zhlaví hambalku	hniloba	170	220	3 až 4	1150
41	Zhlaví hambalku	hniloba	170	220	3 až 4	600
42	Zhlaví hambalku	hniloba	170	220	3	2000
43	Krokevní podpěra	hniloba	160	180	5	2050
44	Zhlaví hambalku	hniloba	170	220	4	2050
45	Zhlaví hambalku	hniloba	170	220	3	1000
46	Krokev	hniloba	170	200	3	3000
47	Vaznice	hniloba	200	415	3	3450
48	Hambalek	hniloba	170	220	3	2900
49	Krokevní podpěra	hniloba	160	180	3	2050

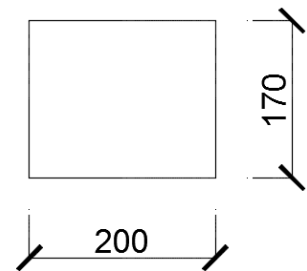
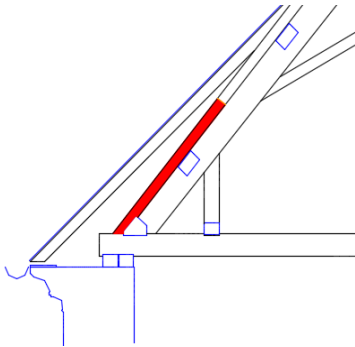
1	Vazný trám	napadení červotočem	N	3	3700
---	------------	---------------------	---	---	------



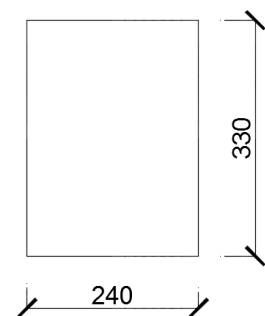
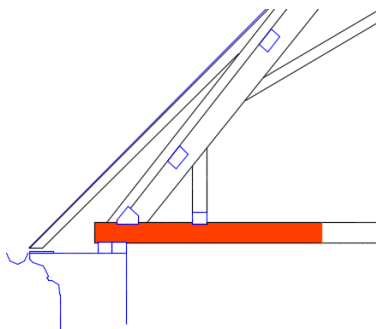
2	Zhlaví krokve	napadení červotočem	NNV	3	1300
---	---------------	---------------------	-----	---	------



3	Zhlaví krokve	hniloba	V	3	1300
---	---------------	---------	---	---	------

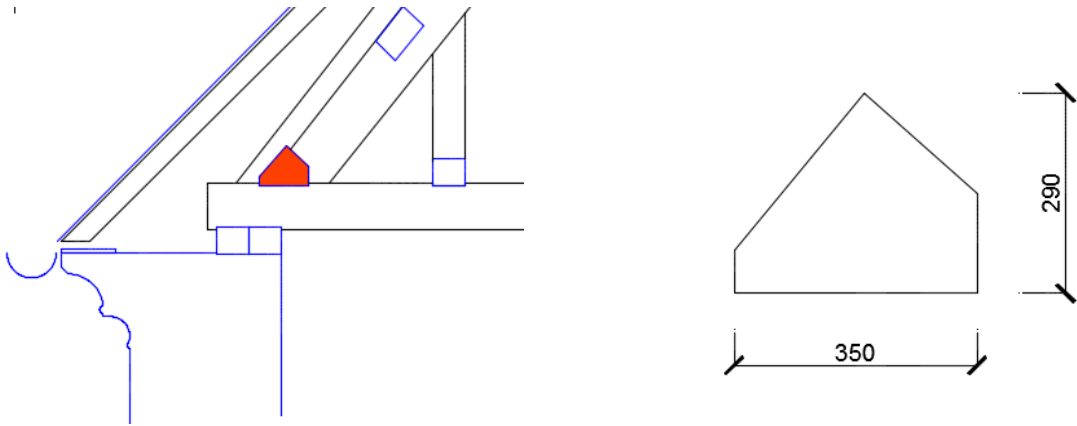


4	Zhlaví vazného trámu	hniloba	V	3	1850
---	----------------------	---------	---	---	------

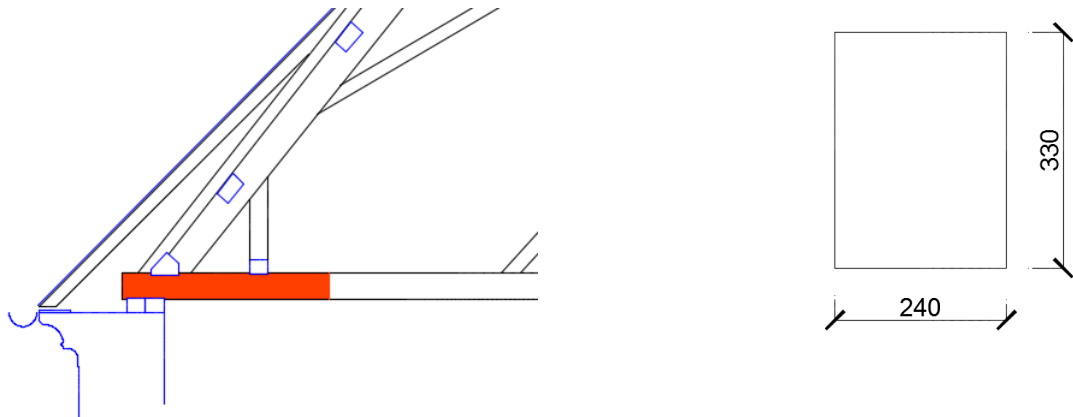




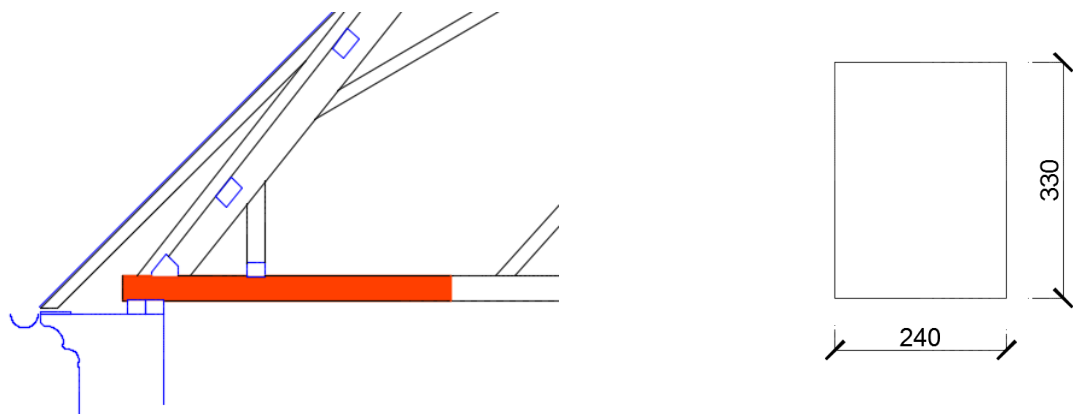
5	Pětiboký práh	hniloba	V	3	3550
---	---------------	---------	---	---	------



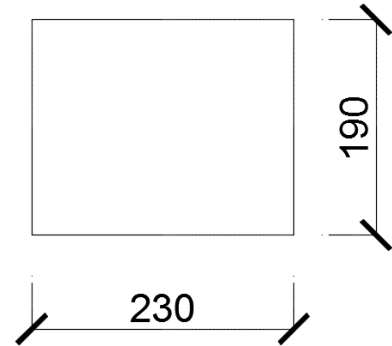
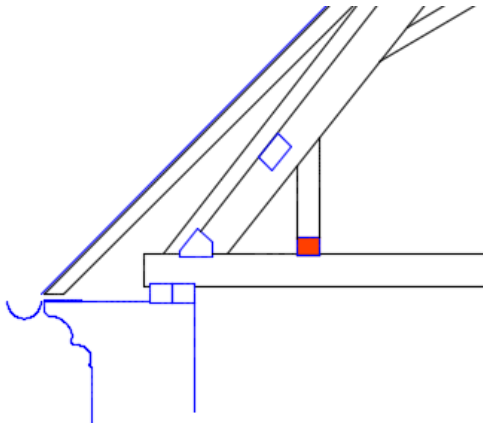
6	Zhlaví vazného trámu	hniloba	V	3	1300
---	----------------------	---------	---	---	------



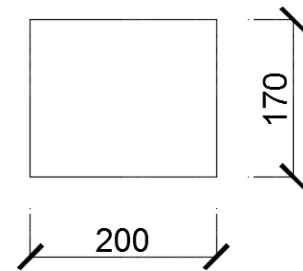
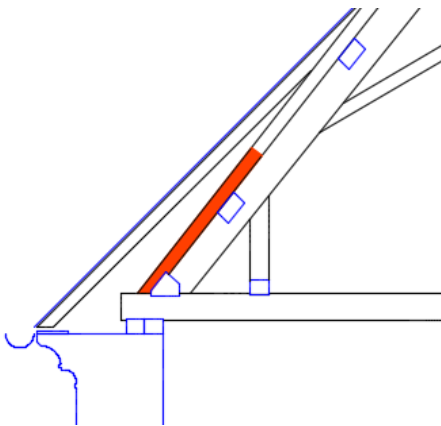
7	Zhlaví vazného trámu	hniloba	V	4	4200
---	----------------------	---------	---	---	------



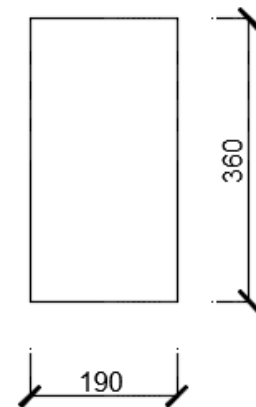
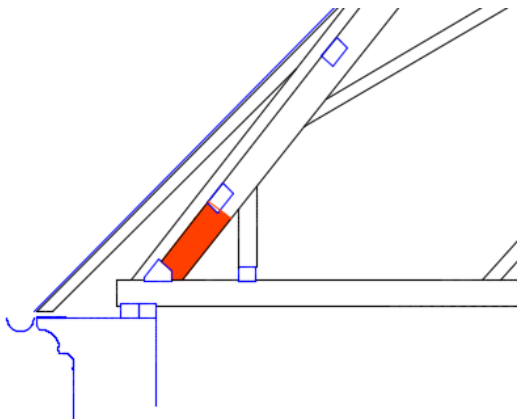
8	Práh pod patním sloupkem	hniloba	NNV	3	2250
---	--------------------------	---------	-----	---	------



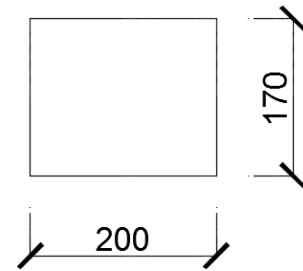
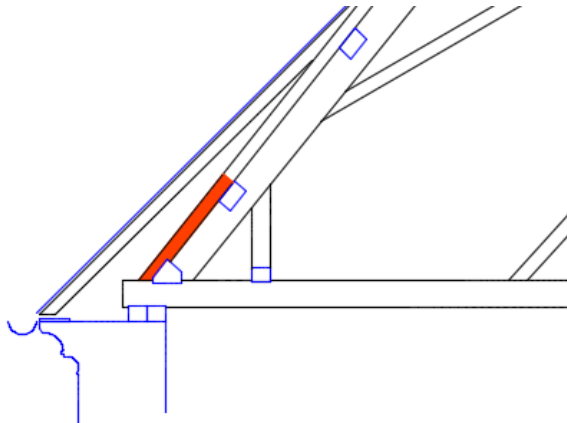
10	Zhlaví krokve	hniloba	V	4	2300
----	---------------	---------	---	---	------



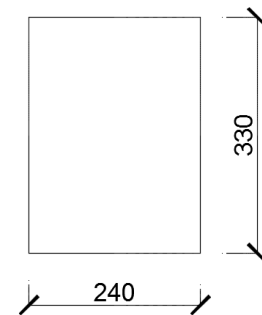
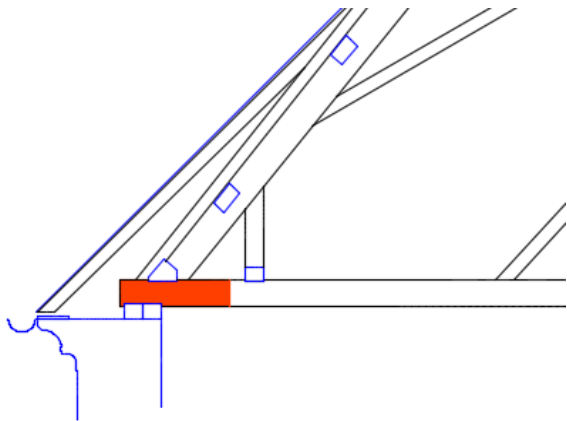
12	Čep sloupek ležaté stolice v osazení do pětibokého prahu	hniloba	NV	5	1000
----	--	---------	----	---	------



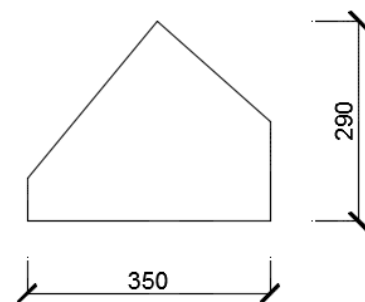
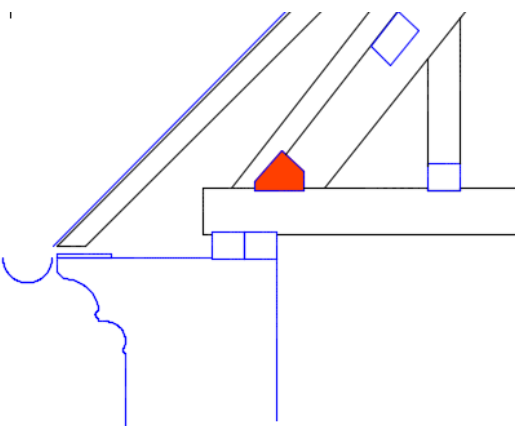
13	Zhlaví krokve	hniloba	V	3	1700
----	---------------	---------	---	---	------



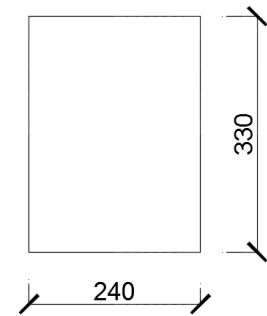
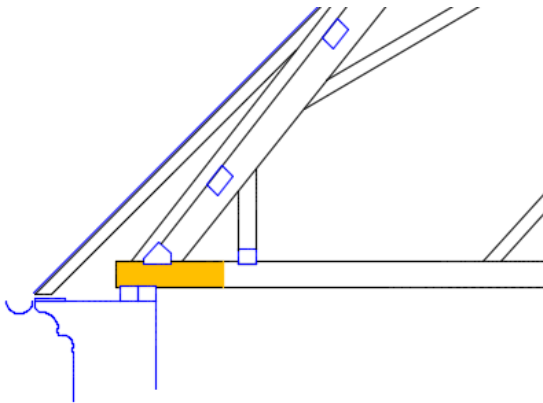
14	Zhlaví vazného trámu	hniloba	V	3	1400
----	----------------------	---------	---	---	------



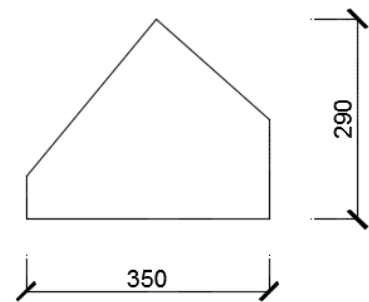
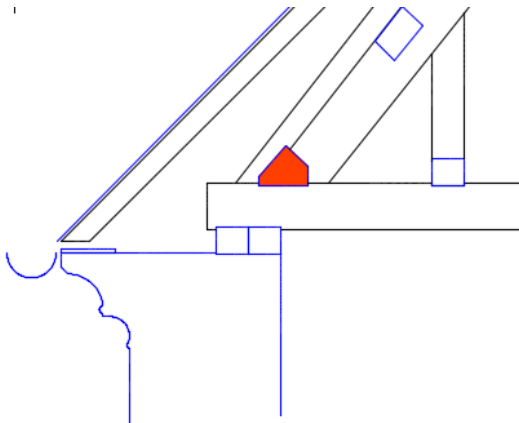
15	Pětiboký práh	hniloba	V	3 až 4	13 850
----	---------------	---------	---	--------	--------



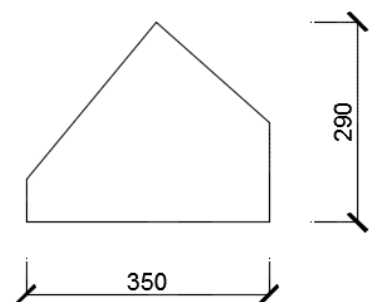
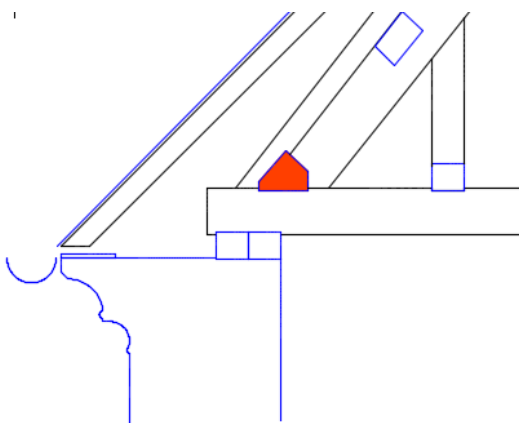
16	Zhlaví vazného trámu	napadení červotočem	NNV	3	1400
----	----------------------	---------------------	-----	---	------



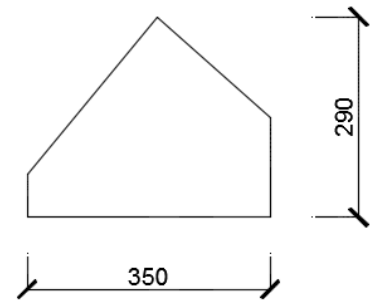
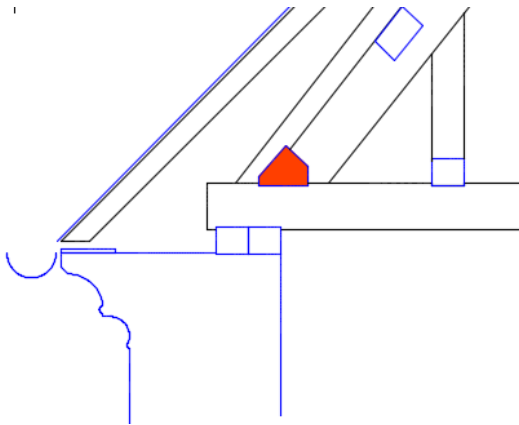
18	Pětiboký práh	hniloba	V	3	2550
----	---------------	---------	---	---	------



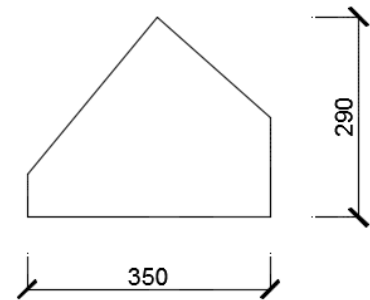
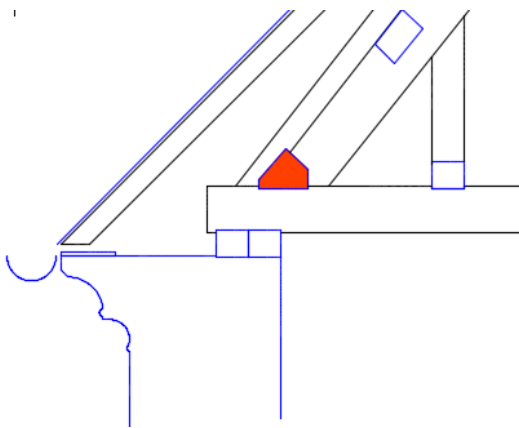
19	Pětiboký práh	hniloba	V	3	2800
----	---------------	---------	---	---	------



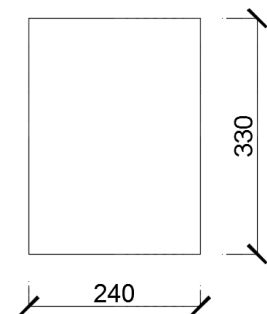
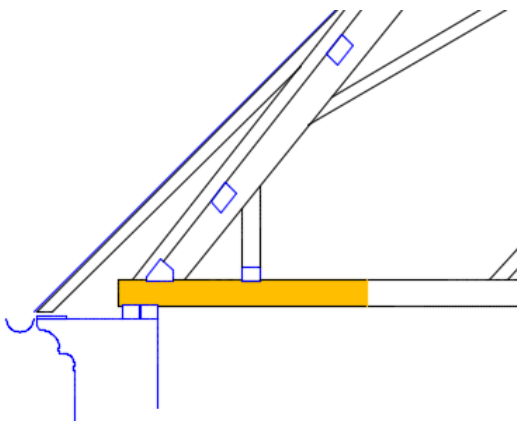
20	Pětiboký práh	hniloba	V	4	1200
----	---------------	---------	---	---	------



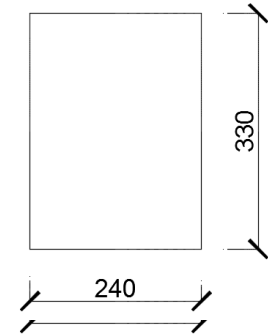
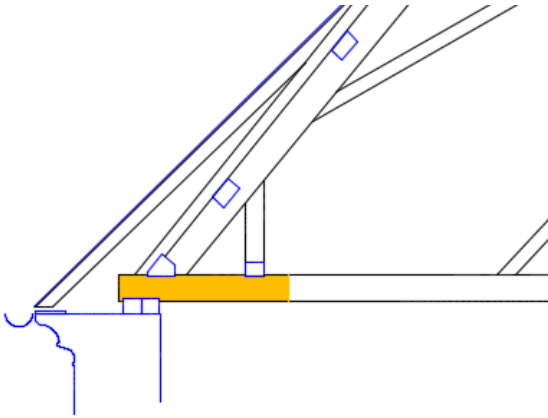
21	Pětiboký práh	hniloba	V	4	9550
----	---------------	---------	---	---	------



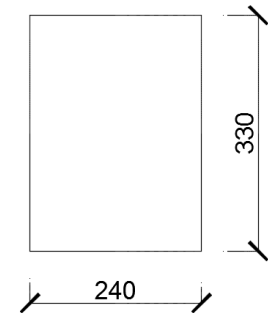
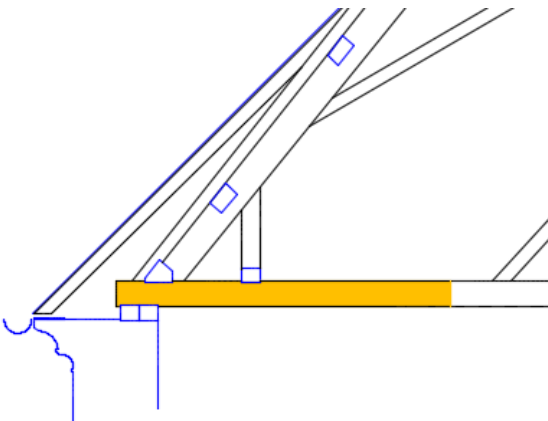
22	Vazný trám	napadení červotočem a tesaříkem	NNV	2	3200
----	------------	---------------------------------------	-----	---	------



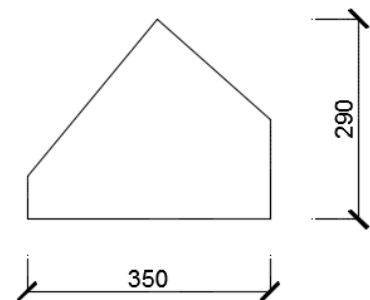
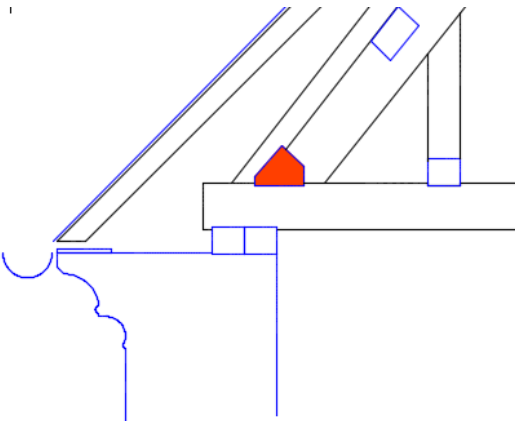
23	Vazný trám	napadení červotočem a tesaříkem	NNV	2	2150
----	------------	---------------------------------------	-----	---	------



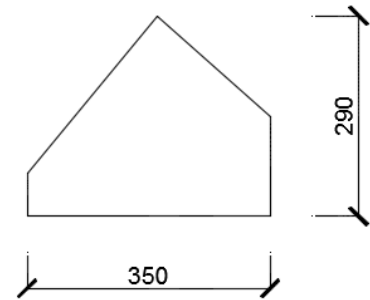
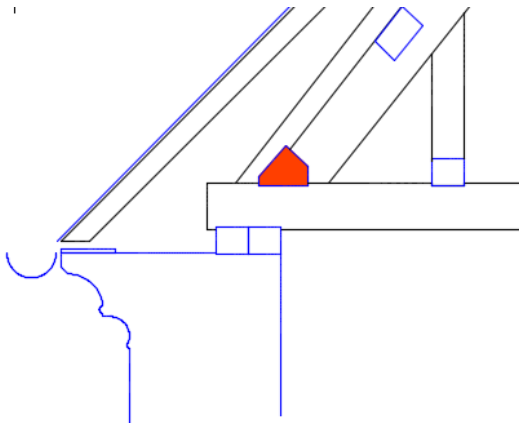
24	Vazný trám	napadení červotočem a tesaříkem	NNV	2	4250
----	------------	---------------------------------------	-----	---	------



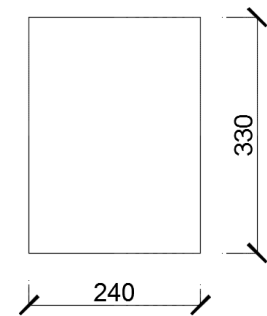
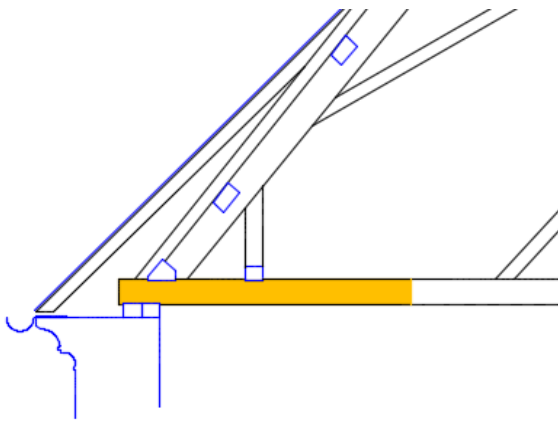
26	Pětiboký práh	hniloba	NNV	2	1950
----	---------------	---------	-----	---	------



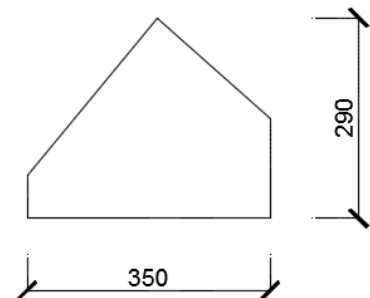
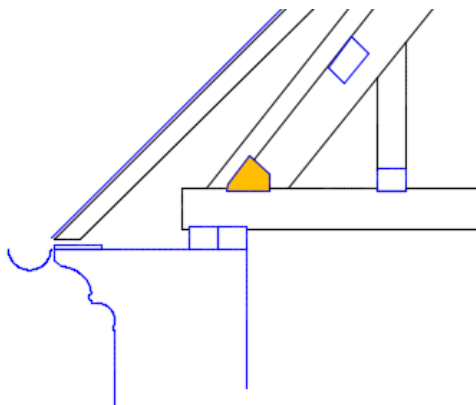
28	Pětiboký práh	hniloba	NNV	2	2650
----	---------------	---------	-----	---	------



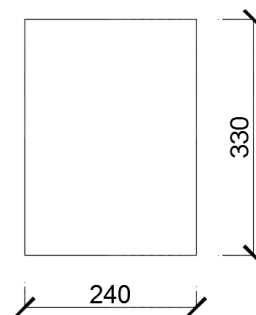
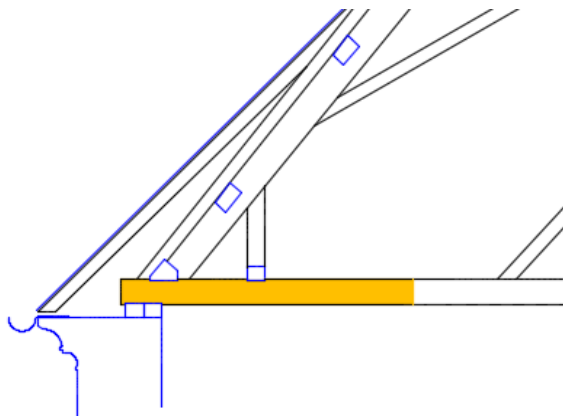
29	Vazný trám	napadení červotočem	NNV	2	3700
----	------------	---------------------	-----	---	------



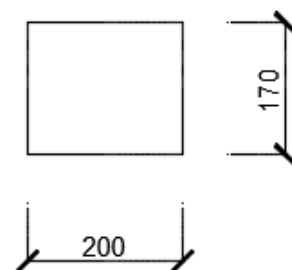
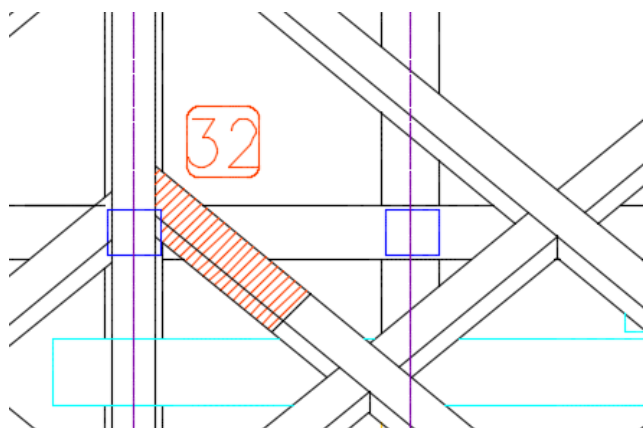
30	Pětiboký práh	napadení červotočem	NNV	2	1150
----	---------------	---------------------	-----	---	------



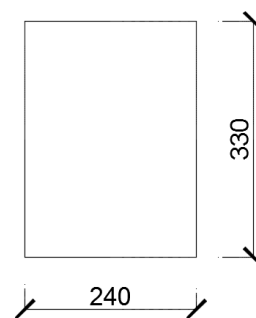
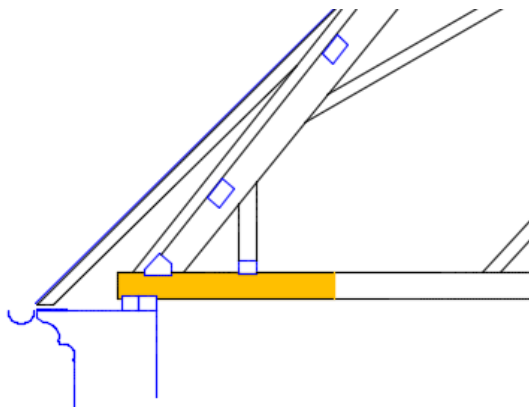
31	Vazný trám	napadení červotočem	NNV	2 - 3	3700
----	------------	------------------------	-----	-------	------



32	Zhlaví ondřejského kříže	hniloba	NNV	3	800
----	-----------------------------	---------	-----	---	-----

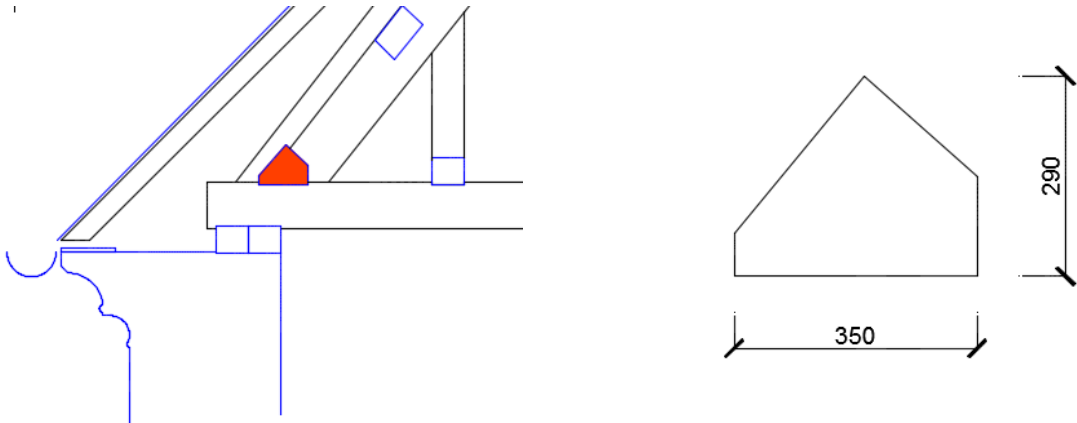


33	Vazný trám	napadení červotočem	NNV	3	2850
----	------------	------------------------	-----	---	------

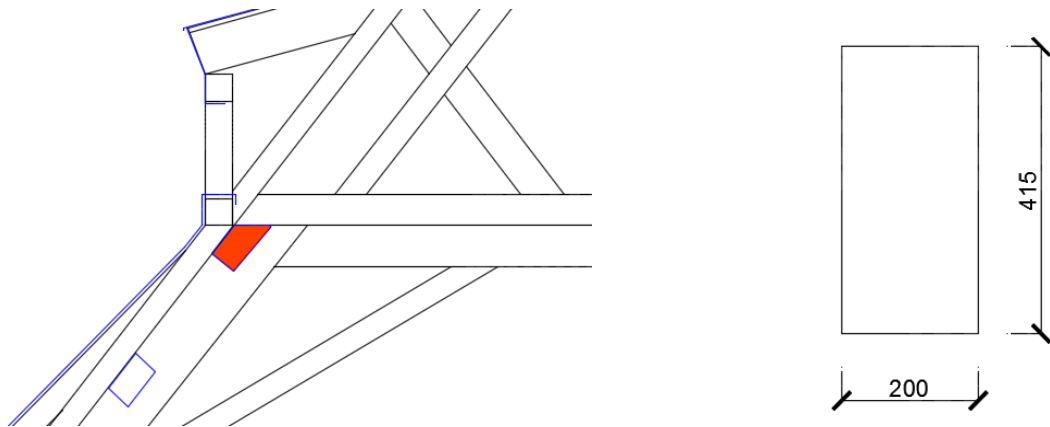




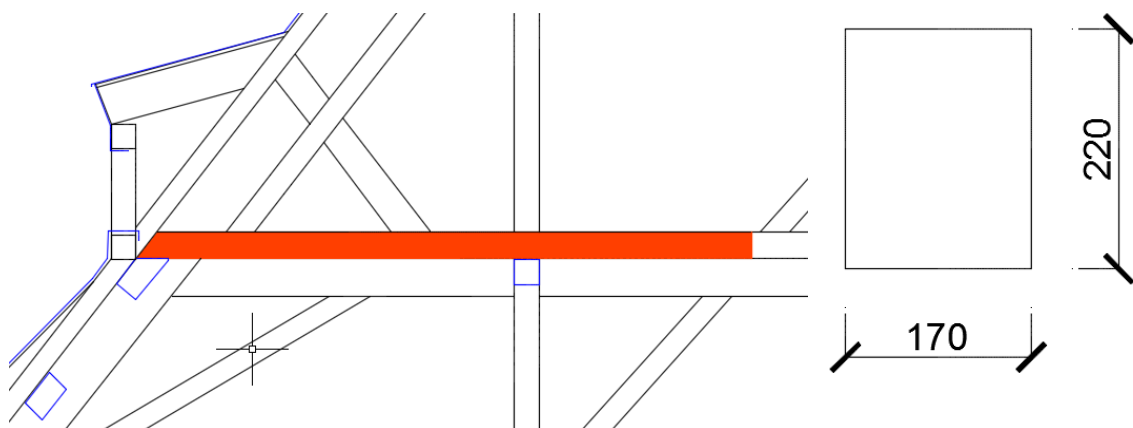
34	Pětiboký práh	hniloba	V	3	1250
----	---------------	---------	---	---	------



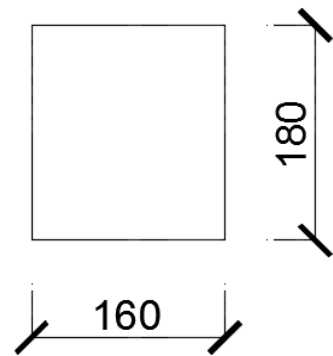
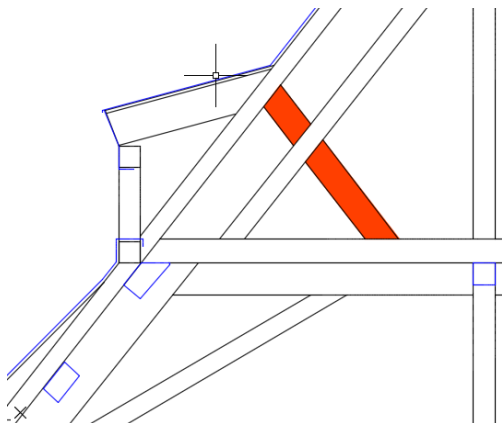
35	Vaznice	hniloba	NNV	2	1150
----	---------	---------	-----	---	------



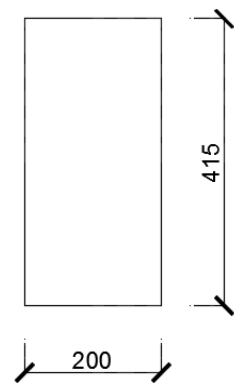
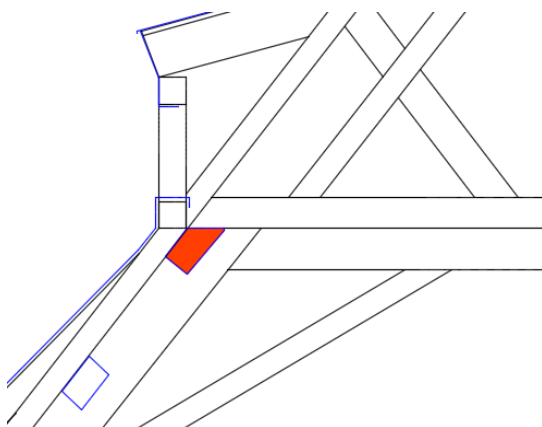
36	Hambalek	hniloba	NNV	2	5000
----	----------	---------	-----	---	------



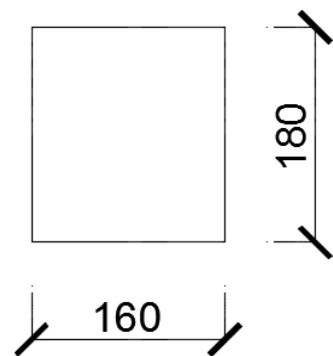
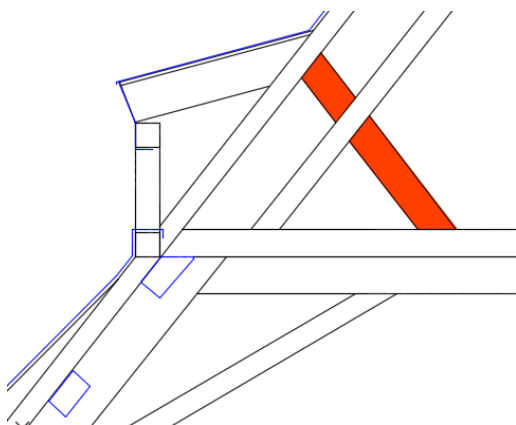
37	Krokevní podpěra	hniloba	V	3 - 4	2050
----	------------------	---------	---	-------	------



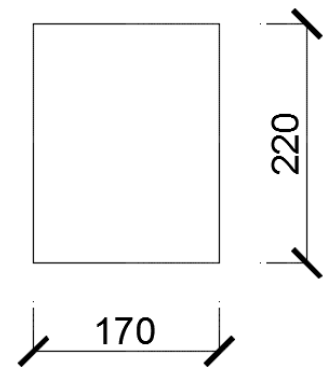
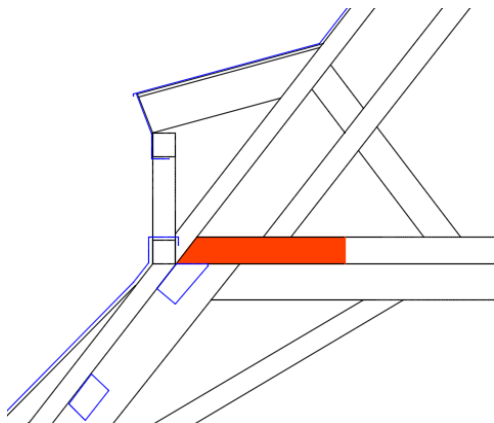
38	Vaznice	hniloba	V	4	2100
----	---------	---------	---	---	------



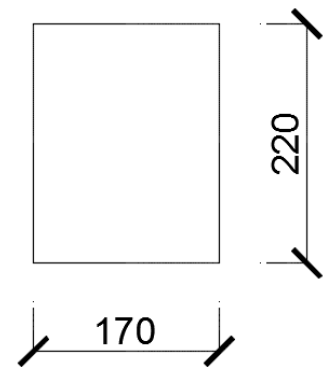
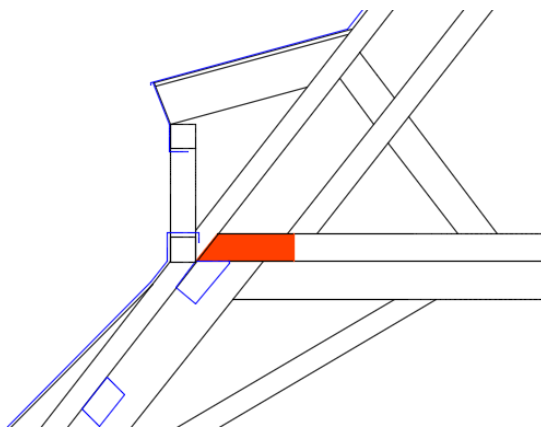
39	Krokevní podpěra	hniloba	V	4	2050
----	------------------	---------	---	---	------



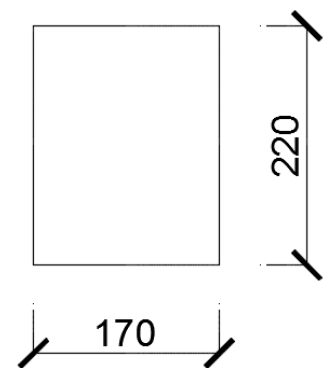
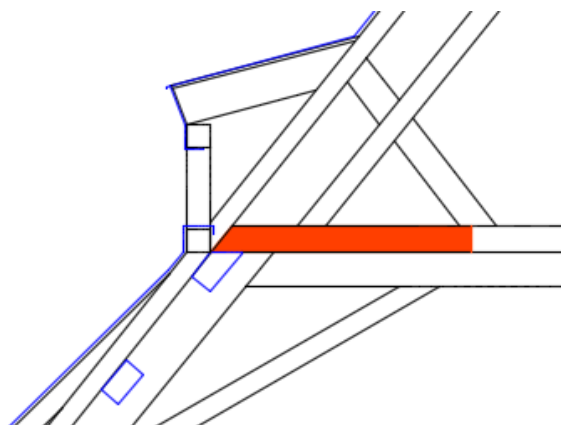
40	Zhlaví hambalku	hniloba	V	3 - 4	1150
----	-----------------	---------	---	-------	------



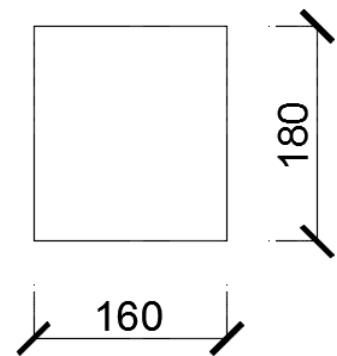
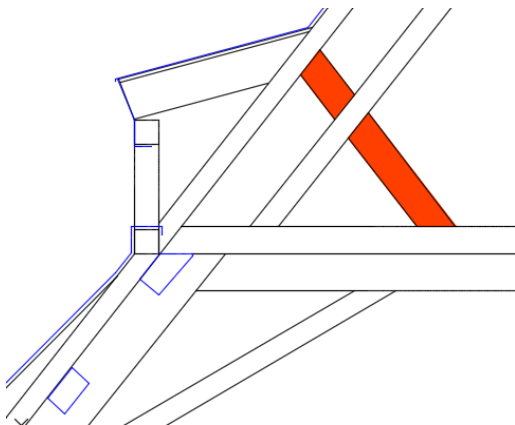
41	Zhlaví hambalku	hniloba	V	3 - 4	600
----	-----------------	---------	---	-------	-----



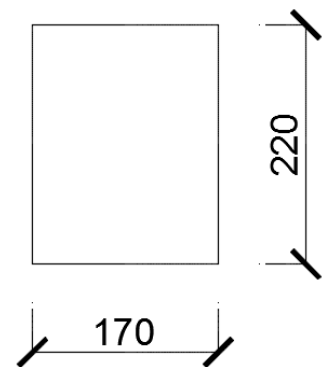
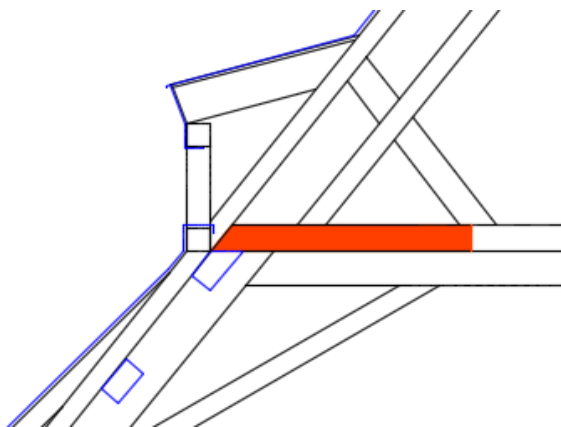
42	Zhlaví hambalku	hniloba	V	3	2000
----	-----------------	---------	---	---	------



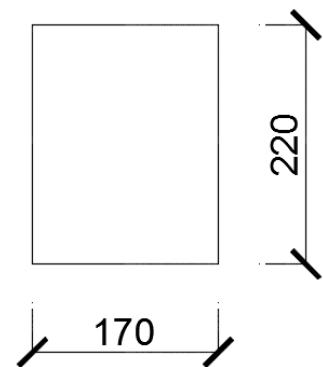
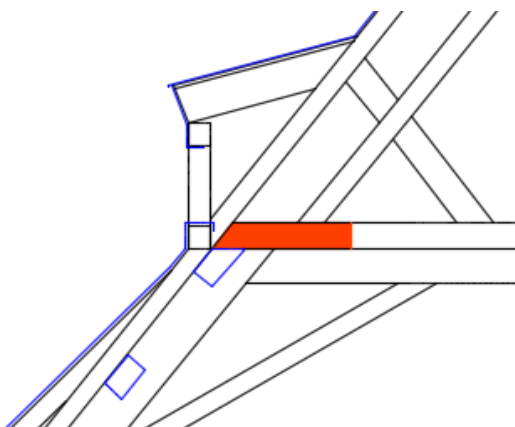
43	Krokevní podpěra	hniloba	V	5	2050
----	------------------	---------	---	---	------



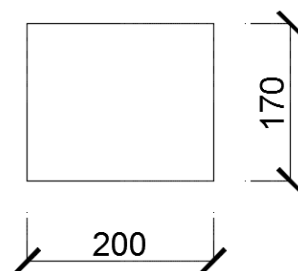
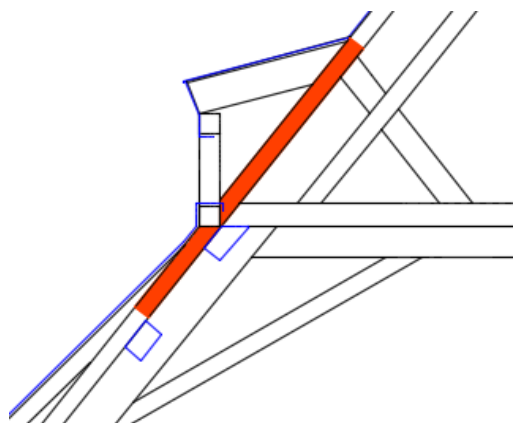
44	Zhlaví hambalku	hniloba	V	4	2050
----	-----------------	---------	---	---	------



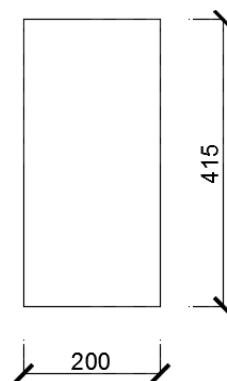
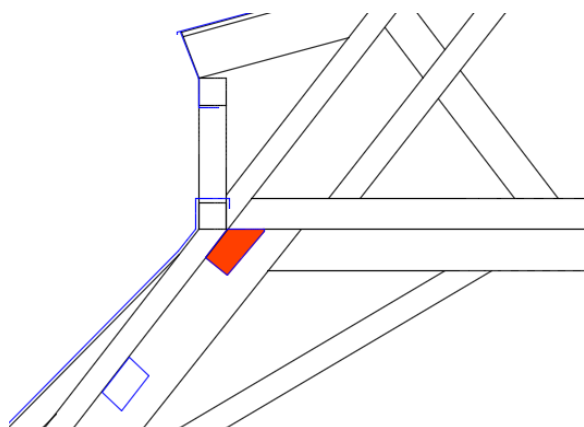
45	Zhlaví hambalku	hniloba	V	3
----	-----------------	---------	---	---



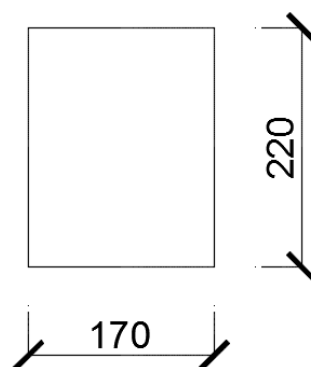
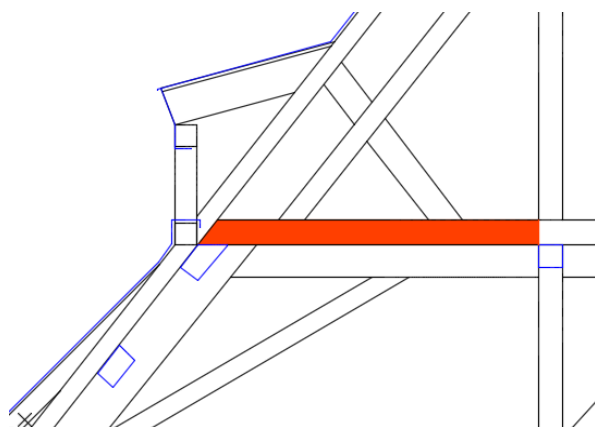
46	Krokev	hniloba	V	3	3000
----	--------	---------	---	---	------



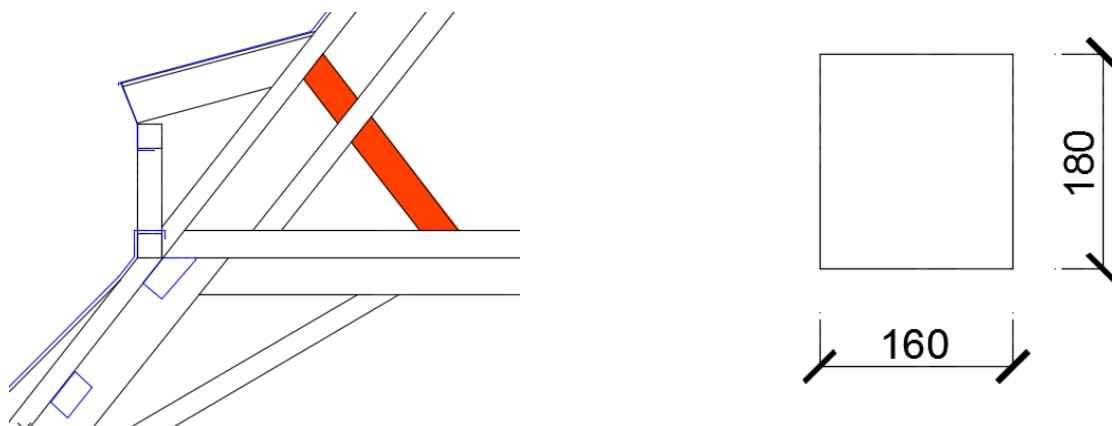
47	Vaznice	hniloba	V	3	3450
----	---------	---------	---	---	------



48	Hambalek	hniloba	V	3	2900
----	----------	---------	---	---	------



49	Krokevní podpěra	hniloba	V	3	2050
----	------------------	---------	---	---	------

**Vysvětlivky:**

Napadení dřevokazným hmyzem -



Napadení hnilobou -



Výměna prvku -

V

Nutná výměna prvku -

NV

Prozatím není nutná výměna prvku - NNV

**Stupeň poškození** – stupnice poškození prvků v rozsahu 1 až 5,

1 – žádné poškození, popřípadě povrchové,

2 – malé poškození, není nutná sanace

3 – střední poškození, potřebné sanovat

4 – velké poškození, nutná sanace

5 – destrukce prvku, provést akutní sanaci

#### IV. NÁVRH SANACE DŘEVĚNÝCH PRVKŮ

V konstrukci krovu se nalézají prvky napadeny jak dřevokazným hmyzem, tak i dřevokaznými houbami. V případě dřevokazného hmyzu nebyla prokázána aktuální aktivita a proto prvky již poškozené těmito škůdci není nutné hned měnit. Identifikace dřevokazného hmyzu byla zjištěna především podle velikosti výletových otvorů.

Přednostně by měli být vyměněny prvky napadené hnilobou, způsobující rozsáhlejší poškození.

Rozsah výměny by se měl rovnat rozsahu naměřeného poškození plus 1000 mm. Tato míra je přidávána z důvodu jistoty odstranění veškerého napadeného dřeva. Jelikož je objekt kostela historickou památkou budou zvoleny pouze celodřevěné spoje.

---

## DISKUZE

---

Krov kostela sv. Jakuba je konstruován z jehličnatého dřeva. Na stavbu původního krovu bylo výlučně použito dřevo z jedle. Výjimečně se zde nacházejí prvky z dřeva borovice a smrku, které se zde zavedlo postupem času nevhodnými opravami krovu. Základní myšlenkou této práce bylo posoudit stav prvků, tak aby se co nejpřesněji určil výskyt a rozsah poškození mající vliv na technický stav na konstrukce krovu.

Na základě přiložené výkresové dokumentaci, ve které již byly zakresleny některé části krovu s vytipovaným poškozením, se provedlo měření určených prvků. Při vizuální prohlídce krovu bylo nalezeno bezpočet míst potvrzujících napadení dřevokazným hmyzem a dřevokaznými houbami.

V případě dřevokazného hmyzu se jednalo o poškození hmyzem z čeledi *Anobiidae* (červotočovití) a *Cerambycidae* (tesaříkovití). Bylo tak určeno podle velikosti a tvaru výletových otvorů. Ze zástupců čeledi *Anobiidae* napadl dřevo krovu Červotoč proužkovaný (*Anobium punctatum*) jehož výletové otvory jsou podle (Holan 2006) kruhového tvaru o velikosti 1 až 2 mm, což odpovídá i otvorům nalezených na prvcích krovu. Dále byly nalezeny výletové otvory velikosti cca 7-9 x 4 mm, které podle (Reinprecht 2008) náleží Tesaříku krovovému (*Hylotrupes bajulus*). Jelikož nebyli spatřeni dospělí jedinci a i přes naměřenou průměrnou vlhkost 15,3 %, která je vyšší než minimální vlhkost pro výskyt těchto škůdců (Reinprecht 2008), nebylo možné prokázat aktuální aktivitu dřevokazného hmyzu. Poškození bylo lokalizováno v prvním patře krovu. Napadena byla především pozednice, která je trvale ve styku se zdivem. Dále byly poškozeny prvky v patě krovu jako například zhlaví vazných trámů, námětky, krokve, pětiboký práh. Poškození pozednice a vazných trámů nejspíše umožnila vyšší vlhkost, kterou dřevo přijímalo z nadezdívky. K napadení ostatních prvků nacházející se v patě krovu došlo díky rozšíření škůdců.



Protože nebyla provedena laboratorní mikroskopická analýza vzorků poškozeného dřeva, musel být druh dřevokazných hub pouze odhadován. Ve větší míře se předpokládá infikování konstrukce Trámovkou. V tomto případě však nebyly nalezeny plodnice. Napadení dřevěných prvků Trámovkou bylo identifikováno podle toho, že tato houba napadá dřevo od středu prvku zatím co povrch zůstává celistvý. Tato domněnka byla potvrzena i přístrojovou metodou, kdy na křivce bylo zřetelně rozpoznáno poškození středové části prvku. Podle literatury (Svatoň 2000) způsobuje Trámovka hnědou hnilobu, kdy se dřevo kostkovitě rozpadá, a také napadá dřevo jehličnatých dřev v konstrukcích krovů. Poškození na prvcích krovové konstrukce těmito faktům odpovídá. Vzhledem k tomu, že průměrná vlhkost dřeva byla v době měření 15,3 % a zmíněná houba potřebuje pro svůj růst podle (Baier 2001) minimální vlhkost 20 %, nepředpokládá se aktivní činnost dřevokazné houby.

Úkolem práce bylo zjistit také rozsah poškození dřevěných prvků. Pro tento účel byla zvolena metoda měření odporu při vrtání, konkrétně přístrojem Resistograph 4453. Velkou výhodou tohoto přístroje je, že lze vyhodnotit výsledky přímo na místě měření z vytisknuté grafické křivky. Křivka nám také relativně přesně znázorňuje stav v celém průřezu prvku. Další výhodou je pouze malá destruktivita, což je zároveň i nevýhodou, protože u prvků s větším průřezem zastupuje průměr vrtáku pouze malé procento celého profilu. V takových případech je nutné provést několikanásobné měření. To naneštěstí zvyšuje množství vrtů a dobu měření a tím i ekonomickou nákladnost. Další nevýhodou je malá kompaktnost celého zařízení. V některých částech krovu, jako například při vrtání do krokví je použití Resistographu velice komplikované z důvodu délky zařízení.

Díky naměřeným hodnotám bylo možné určit rozsah poškození, které se následně zapsalo do tabulky a poté zaneseno i do výkresové dokumentace. Jednotlivá poškození byla ohodnocena stupnicí od 1 do 5. U prvků poškozených stupni 3 až 5 byla navržena výměna.

---

## ZÁVĚR

---

Diplomová práce se zabývá hodnocením stavu dřeva prvků krovu kostela sv. Jakuba v Brně pomocí Resistographu s vyhodnocením míry jejich poškození. V roce 1995 byl kostel prohlášen za Národní kulturní památku. Na základě tohoto faktu byl vyvozen i požadavek na co nejmenší zásah do konstrukce, a tak zachovat co největší procento původního dřeva.

Při prozkoumání krovové konstrukce bylo zjištěno četné poškození dřevěných prvků. Zjištěné poškození způsobili dřevokazní činitelé. Z dřevokazného hmyzu se jednalo o Červotoče proužkovaného a Tesaříka krovového. Dřevokazným hmyzem byla napadena celá pozednice a několik dalších prvků (vazné trámy, pětiboký práh). Dřevokaznou houbou způsobující hnilobu dřevěných prvků byla Trámovka. Tato houba způsobuje hnědou hnilobu, která se šíří dřevem směrem od středu prvku. Tím pádem může napáchat rozsáhlé poškození bez povšimnutí. Naštěstí bylo napadení včas lokalizováno a některé z poškozených prvků již byly vyměněny. Další sanační práce jsou nyní ve fázi příprav.

Rozsah a stupeň poškození dřevokazným hmyzem a hnilobou bylo zkoumáno přístrojovou metodou a to již zmíněným Resistographem. Jedná se o semi-destruktivní metodu. Vrták vniká do dřeva a informuje o stavu celého průřezu prvku. Použití metody měření odporu při vrtání je velmi vhodná volba v oblasti hodnocení dřevěných konstrukcí památkově chráněných objektů. Zjistit rozsah poškození bylo nutné hned z několika důvodů. Prvním důvodem byla velká nákladnost a obtížná dostupnost materiálu. V druhém případě byl záměr zachovat co největší podíl původního dřeva. Největší poškození bylo detekováno v patě krovu, a to především na zhlaví vazných trámů, pětibokého prahu a pozednici. Aktivita dřevokazného hmyzu ani dřevokazných hub nebyla potvrzena, avšak není vhodné toto riziko podceňovat.

Krov kostela sv. Jakuba v Brně je nyní zpřístupněn veřejnosti a probíhají zde pravidelné prohlídky. Poté je možné nahlédnout i do zvonice. Myslím, že je vhodné památku navštívit a potěšit se pohledem na skvělé technické dílo tesařských mistrů.

---

## SUMMARY

---

Diploma thesis dealt with the evaluation of the state of wooden parts of timber roof truss of Saint James' church in Brno using Resistograph to evaluate the extent of internal damage. The church was categorized as a national monument in 1995. This fact requires the least possible interference with the structure, thus preserving the largest percentage of the original wood.

An examination of the timber roof truss structure revealed vast damage of the wooden parts. Identified damage has been caused by wood-decaying influences. Among wood-destroying insects there has been identified the Common house borer and the House longhorn beetle. Woodboring beetles attacked the whole wall plate and several other elements (bond beams, pentagonal threshold). Wood decaying fungi digesting moist wooden parts was *Gloeophyllum trabeum*. This species of fungus causes a brown rot, which spreads through the wood from centre of timber part. Thus it is able to cause extensive damage largely unnoticed. Fortunately wood-decay fungus was found in time and some of the damaged parts have already been replaced. Further renovation work is now being prepared.

The extent and degree of damage caused by wood-destroying insects and rot was investigated using above mentioned Resistograph. It employs a semi-destructive method. A thin, long needle is driven into the wood, providing status of the entire section of the element. Resistance drilling is appropriate method of evaluation of timber structures among categorized buildings. It was necessary to determine the extent of damage for several reasons. First of all the reasons was high value and low accessibility of used material. Secondly, there was intention to maintain largest portion of the original wood possible. The greatest extent of damage was detected in the common rafters of the timber roof truss, particularly on the gridiron binding beam, pentagonal threshold and wall plate. The activity of wood-destroying insects or wood decaying fungi was not identified, but it is appropriate not to underestimate risks related to wood-decaying influences.

The timber roof truss of Saint James' church in Brno is now open to the public and guided tours are taking place here on regular basis. It is also possible to see the belfry. In my opinion this monument is really worth a visit. Visitors can especially enjoy the view of great technical work of carpentry masters.

---

## POUŽITÉ INTERNETOVÉ ZDROJE

---

[online]. Dostupné z: <http://www.stavba.tzb-info.cz/drevostavby/6295-nedestruktivni-defektoskopicke-pristroje-pouzivane-pri-provadeni-stavebne-technickyh-pruzkumu-historickyh-drevenych-konstrukci>

Vrtání – Wikipedie. [online]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Vrt%C3%A1n%C3%AD>

Resistograph® 4453 [online]. Citováno 11. 3. 2017 Dostupné na World Wide Web: <<http://www.rinntech.de/content/view/8/34/lang,english/index.html>>

Atlas poškození dřevin. *Atlas poškození dřevin* [online]. Dostupné z: [http://atlasposkozeni.mendelu.cz/atlas/510-drevomorka\\_domaci.html](http://atlasposkozeni.mendelu.cz/atlas/510-drevomorka_domaci.html)

Koniofora sklepní | Ochrana-dreva.cz . *Vyženeme brouka z vaší střechy | Ochrana-dreva.cz* [online]. Copyright © 2017 Ochrana [cit. 12.03.2017]. Dostupné z: <http://www.ochrana-dreva.cz/koniofora-sklepni/>

Mycelium – Wikipedie. [online]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Mycelium>

Saprofág – Wikipedie. [online]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Saprof%C3%A1g>

Trámovka plotní | Ochrana-dreva.cz . *Vyženeme brouka z vaší střechy | Ochrana-dreva.cz* [online]. Copyright © 2017 Ochrana [cit. 14.03.2017]. Dostupné z: <http://www.ochrana-dreva.cz/tramovka-plotni/>

*www.ohoubach.cz - o houbách, houbaření, houbařích a o přírodě obecně.* [online]. Copyright © [cit. 15.03.2017]. Dostupné z: [http://www.ohoubach.cz/obrazky/galerie/22/31966\\_1.JPG](http://www.ohoubach.cz/obrazky/galerie/22/31966_1.JPG)

Trámovka trámová - *Gloeophyllum trabeum* (Pers.) Murrill | *www.ohoubach.cz. www.ohoubach.cz - o houbách, houbaření, houbařích a o přírodě obecně.* [online]. Dostupné z: <http://www.ohoubach.cz/atlas-hub/detail/620/Tramovka-tramova/>

Tesařík krovový (*Hylotrupes bajulus* L.) | Atlas škůdců | Adera. *Deratizace Praha, Dezinsekce, Dezinfekce | Adera* [online]. Copyright © svajcr [cit. 21.03.2017]. Dostupné z: <http://www.adera.cz/atlas-skudcu/tesarik-krovovy/>

Atlas poškození dřevin. *Atlas poškození dřevin* [online]. Dostupné z: [http://atlasposkozeni.mendelu.cz/atlas/477-tesarici\\_na\\_smrku.html](http://atlasposkozeni.mendelu.cz/atlas/477-tesarici_na_smrku.html)

*Hylotrupes bajulus*-Peter's Nature. [online]. Dostupné z: <http://www.petersnature.com/pagina.php?id=189>

tesařík fialový, *Callidium violaceum*, Cerambycidae, Callidiini (Brouci, Coleoptera). *Fotografie fauny, flóry - brouci, houby, motýli, obojživelníci, pavouci, plazi, ptáci | naturefoto2000.com* [online]. Copyright © 2017 Zdeněk Hromádko, [www.naturefoto2000.com](http://www.naturefoto2000.com) [cit. 31.03.2017]. Dostupné z: <http://www.naturefoto2000.com/cs/fotografie-119/brouci-coleoptera/tesarik-fialovy-callidium-violaceum-cerambycidae-callidiini/>

Škůdci [online]. Copyright © [cit. 31.03.2017]. Dostupné z: <http://www.skudci.com/files/tesarik-fialovy-1.jpg>

Škůdci [online]. Copyright © [cit. 31.03.2017]. Dostupné z: <http://www.skudci.com/files/cervotoc-prouzkovany-1.jpg>

Škůdci [online]. Dostupné z: <http://www.skudci.com/files/cervotoc-prouzkovany-4.jpg>

Škůdci [online]. Dostupné z: <http://www.skudci.com/files/cervotoc-umrlci-3.jpg>

[online]. Dostupné z: <http://www.stavba.tzb-info.cz/strechy/6694-poskozeni-drevenych-prvku-krovovych-konstrukci-drevokaznymi-houbami>

400 Bad Request. [online]. Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/Kostel\\_svat%C3%A9ho\\_Jakuba\\_Star%C5%A1%C3%ADho\\_\(Brno\)#Architektonick.C3.BD\\_popis\\_exteri.C3.A9ru](https://cs.wikipedia.org/wiki/Kostel_svat%C3%A9ho_Jakuba_Star%C5%A1%C3%ADho_(Brno)#Architektonick.C3.BD_popis_exteri.C3.A9ru)

---

## POUŽITÁ LITERATURA

---

ŠKABRADA, Jiří. *Konstrukce historických staveb*. Praha: Argo, 2003. ISBN 80-7203-548-7. Dostupné také z:

<http://www.digitalniknihovna.cz/mzk/uuid/uuid:3733d130-e720-11e4-b834-005056827e51>

VINAŘ, Jan. *Historické krovy: typologie, průzkum, opravy*. Praha: Grada, 2010.

Stavitel. ISBN 978-80-247-3038-7. Dostupné také z:

<http://www.digitalniknihovna.cz/mzk/uuid/uuid:e04966c0-2aa7-11e5-8cc8-005056827e52>

KUKLÍK, Petr. *Dřevěné konstrukce*. Praha: Česká technika - nakladatelství ČVUT, 2005. ISBN 80-01-03310-4.

OSTENDORF, F. *Die Geschichte des Dachwerks*. Leipzig und Berlin : B. G. Taubner, 1908

KLOIBER, Michal a Miloš DRDÁCKÝ. *Diagnostika dřevěných konstrukcí*. Praha: ČKAIT, 2015. ISBN 978-80-87438-64-0.

HRIVNÁK, Jaroslav, Michal KLOIBER, Ladislav REINPRECHT a Jan TIPPNER. *Skúmanie kvality a poškodenia ihličnatého dreva akustickými a mechanicko-odporovými metódami: Searching of quality and damage of structural coniferous wood with acoustic and mechanical-resistance methods*. I. vydanie. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene, 2013. ISBN 978-80-228-2552-8.

KOTLÍNOVÁ, Mária. *Nondestructive testing of wood*. Kostelec nad Černými lesy: Lesnická práce, 2008. ISBN 978-80-87154-14-4.

Feio, A. O. *Inspection and Diagnosis of Historical Timber Structures: NDT Correlations and Structural Behaviour*: Ph.D. thesis - Universidade do Minho, Guimaraes, 2005, s. 208.

WITZANY, Jiří. *PDR - poruchy, degradace a rekonstrukce*. V Praze: České vysoké učení technické, 2010. ISBN 978-80-01-04488-9.

Kloiber, M., Drdácký, M.: *Prediction of mechanical properties by means of semi-destructive methods*. In: Machado, J.S., Riggio, M., Descamps, T. (Eds) – State of the Art Report: Combine use of NDT/SDT methods for assessment of structural timber members, 2015. ISBN: 978-87325-094-2, pp. 69–91.

HORÁČEK, P. *Nondestructive Evaluation of Timber Structures - Review*. In: Historické a současné dřevěné konstrukce. Kostelec nad Černými lesy, 2007, s. 67 - 73.

HELMS, D., NIEMZ, P. *New applications of the drill resistance method for quality evaluation of wood and wood products. Proceedings of the Ninth International Symposium on Non-destructive Testing of Wood*. Madison, WI, Washington State University, 1994, s. 95 - 102.

RINN, F., SCHWEINGRUBER, F., SCHÄR, E. *Resistograph and x-ray density charts of wood komparative evaluation of drill resistance profiles and x-ray density charts of different wood species*. *Holzforschung - International Journal of the Biology, Chemistry, Physics and technology of Wood* 50(4): 1996, s. 303 - 311.

KASAL, B., ANTHONY, R. *Advances in in situ evaluation of timber structures. Progress in Structural Engineering and Materials*. John Villey & Sons Ltd. London. UK. Vol. 6 No 2 April-June 2004, s. 94-103.

SVATOŇ, Josef. *Ochrana dřeva*. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, 2000. ISBN 80-7157-435-X.

BAIER, Jiří a Zdeněk TÝN. *Ochrana dřeva*. 2. aktualiz. vyd. Praha: Grada, 2001. Profi & hobby. ISBN 80-247-0050-6.

REINPRECHT, Ladislav. *Ochrana dreva: vysokoškolská učebnica*. Vo Zvolene: Technická univerzita, 2008. ISBN 978-80-228-1863-6.

VINAŘ, Jan. *Historické krovy*. II, Průzkumy a opravy. Praha: Grada, 2005. Stavitel. ISBN 80-247-1111-7. Dostupné také z: <http://www.digitalniknihovna.cz/mzk/uuid/uuid:97fe4140-023a-11e6-845a-005056827e51>

ŠEFCŮ, Ondřej, Jan VINAŘ a Marie PACÁKOVÁ. *Metodika ochrany dřeva*. Praha: Jalna, 2000. Odborné a metodické publikace. ISBN 80-86234-14-2.



VYSOKÝ, Václav. *Přehled technicky škodícího hmyzu na dříví: Stručný souhrn znalostí z dostupné literatury*. Ústí nad Labem: Albis international, 1995. ISBN 80-901761-1-9.

HOLAN, Jiří. *Dřevo v domácnosti: ochrana, údržba, renovace*. Brno: ERA Group, 2006. ISBN 80-7366-049-0.

PUME, Dimitrij a František ČERMÁK. *Průzkumy a opravy stavebních konstrukcí*. 1. vyd. Praha: ARCH, 1993. 127 s. Stavby a konstrukce. ISBN.

VLČEK, Milan. *Poruchy a rekonstrukce staveb*. [I.]. Brno: ERA, c2001. Technická knihovna. ISBN 80-86517-10-1. Dostupné také z: <http://www.digitalniknihovna.cz/mzk/uuid/uuid:0ae5aa90-43a3-11e2-b246-005056827e52>

## PŘÍLOHY

---

PŘÍLOHA Č.1 - Výkres poškození krovu - půdorys