

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta lesnická a dřevařská

Katedra zpracování dřeva a biomateriálů



**Fakulta lesnická
a dřevařská**

**Průzkum a dokumentace krovu Juditiny věže Karlova
mostu v Praze**

Bakalářská práce

Autor: Kryštof Mlázovský

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

2023

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Kryštof Mlázovský

Dřevařství
Zpracování dřeva

Název práce

Průzkum a dokumentace krovu Juditiny věže Karlova mostu v Praze

Název anglicky

Survey and documentation of the roof Judith Tower of the Charles Bridge in Prague

Cíle práce

Cílem práce bude zaměření a stavebně technický průzkum dřevěné konstrukce renesančního krovu. Závěrečná práce bude sloužit jako předprojektová příprava opravy krovu Juditiny věže Karlova mostu v Praze.

Metodika

Na vybrané konstrukci provést doplnění stavebně-historického vývoje pomocí dendrochronologie. Dále realizovat stavebně technický průzkum se zaměřením na specifikaci skrytých detailů (např. zadržné pozednice v koruně zdiva), zhodnocení stavu konstrukčních prvků, popis konstrukčních spojů. Vzhledem k tomu, že se jedná o významnou kulturní památku na území Prahy, vznikem sahající do raného středověku, všechny práce provést s náležitou péčí. Za účelem diagnostiky stavu konstrukčních prvků použít šetrně invazivní přístroje Resistograph a endoskop (ve spolupráci s ÚTAM AVČR). Závěrečná práce bude sloužit jako předprojektová příprava. Na základě výsledků práce bude vedena diskuze ohledně vhodného přístupu k opravě konstrukce krovu.

Harmonogram práce:

červenec – srpen 2022, literární rešerše

září – listopad 2022, měření v terénu

prosinec 2022 – leden 2023, vyhodnocení naměřených dat

únor – březen 2023, psaní závěrečné práce

duben 2023, odevzdání závěrečné práce

Doporučený rozsah práce

35

Klíčová slova

dřevěná konstrukce, dokumentace, zaměření, průzkum, poškození dřeva

Doporučené zdroje informací

- Bláha, J., Jesenský, V., Macek, P., Razím, V., Sommer, J., Veselý, J.: Operativní průzkum a dokumentace historických staveb. Národní památkový ústav, Praha: 2005. 112 s. ISBN 80-86516-18-0.
- Gerner, M. a kol.: Tesařské spoje. 1. vyd. Praha: Grada, 2003. 220 s. ISBN 80-247-0076-X.
- Kloiber, M., Drdácký, M.: Diagnostika dřevěných konstrukcí. IC ČKAIT, Praha, 2015. 168 s. ISBN 978-80-87438-64-0.
- Kunecký, J., Fajman, P., Hasníková, H., Kuklík, P., Kloiber, M., Sebera, V., Tippner, J.: Celodřevěné plátové spoje pro opravy historických konstrukcí. Metodika pro návrh a výrobu celodřevěných tesařských spojů. Certifikovaná metodika č. 113, Ministerstva kultury ČR, ze dne 24. 3. 2016. 63 s.
- Reinprecht, L.: Dřevěné stropy a krovy: Typy, poruchy, průzkumy a rekonstrukce. 1. vyd. Praha: ABF, 2000. 242 s. ISBN 80-86165-29-9.
- Reinprecht, L.: Ochrana dřeva. Zvolen: Technická univerzita, 2008. 453 s. ISBN 978-80-228-1863-6.
- Schmidt, O.: Wood and Tree Fungi: biology, damage, protection, and use. Springer, 2010, 334 s. ISBN 978-3-540-32138-5.
- Škabrada, J.: Konstrukce historických staveb. 1. vyd. Praha: Argo, 2003. 395 s. ISBN 80-7203-548-7.
- Veselý, J., Zahradník, P., Patrný, M., Kyncl, T., Tutr, V.: Menší malostranská mostecká věž Karlova mostu v Praze, při čp. 56/1 zvaná „Juditina věž“, Stavebněhistorický průzkum, 2005-2011.
- Vinař, J.: Historické krovy: typologie, průzkum, opravy. Praha: Grada, 2010. 448 s. ISBN 978-80-247-3038-7.

Předběžný termín obhajoby

2022/23 LS – FLD

Vedoucí práce

Ing. Michal Kloiber, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra zpracování dřeva a biomateriálů

Elektronicky schváleno dne 20. 7. 2022

doc. Ing. Roman Fojtík, Ph.D.

Vedoucí ústavu

Elektronicky schváleno dne 31. 8. 2022

prof. Ing. Róbert Marušák, PhD.

Děkan

V Praze dne 05. 04. 2023

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma Průzkum a dokumentace krovu JUDITINY věže Karlova mostu v Praze jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 5. 4. 2023

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval vedoucímu práce Ing. Michalu Kloiberovi, Ph.D. a svému otci Ing. Vítu Mlázovskému za všechny poskytnuté rady, čas a zkušenosti.

Dále bych chtěl poděkovat své sestře Mgr. Báře Mlázovské za jazykovou korekturu práce, Ing. arch. Matyáši Vávrovi za pomoc s programem SEMA, doc. Ing. Michalu Rybníčkoví, Ph.D. z Mendelovy univerzity v Brně za pomoc s dendrochronologickým datováním a Jaroslavu Navrátilovi z Klubu Za starou Prahu za umožnění přístupu do krovu Juditiny věže.

Abstrakt

Předmětem zkoumání této práce je renesanční krov menší Malostranské mostecké věže Karlova mostu v Praze, při čp. 56/1 zvané „Juditina věž“. Cílem je průzkum a dokumentace vzácné krovové konstrukce z 16. století. Základem hodnocení je vytvoření architektonického zaměření a popis konstrukce krovu. Diagnostika byla provedena pomocí vizuálního průzkumu doplněného o tři semi-destruktivní metody; dendrochronologické datování, endoskopii a odporové mikrovrtání. Výsledky průzkumu krovu poukazují na nutnost sanačního zásahu a dále poslouží jako podklad pro vypracování budoucí projektové dokumentace opravy.

Jedinečným přínosem práce je úspěšná geometrická analýza konstrukce, na základě které byla rekonstruována původní geometrická idea návrhu krovu.

Klíčová slova: dřevěná konstrukce, dokumentace, zaměření, průzkum, poškození dřeva

Abstract

The subject of this thesis is the Renaissance roof truss of the smaller tower of the Charles Bridge in Prague, at No 56/1 called „Judith's tower“. The aim is to investigate and document the rare 16th century truss structure. The basis of the evaluation is the creation of an architectural survey and description of the truss structure. Diagnostics was carried out by means of a visual survey complemented by three semi-destructive methods; dendrochronological dating, endoscopy and resistance micro-drilling. Results of the truss survey point to the need for remedial intervention and will also serve as a basis for future repair project documentation.

A unique contribution of this thesis is the successful geometric analysis of the structure, based on which the original geometric idea of the truss design was reconstructed.

Keywords: wooden construction, documentation, onsite measurement, survey, wood damage

Obsah

1 Úvod	7
2 Cíle práce	8
3 Přehled současného poznání	9
3.1 Počátky historie věže.....	9
3.2 Vývoj a proměny zastřešení věže.....	9
3.3 Památkový význam	11
3.4 Charakteristika objektu	11
3.5 Typologické zařazení krovu	12
3.6 Popis střechy a krovu	12
3.6.1 Konstrukční závady	14
3.6.2 Poruchy	15
4 Projekční část	17
4.1 Podrobné architektonické zaměření prvků ležatých stolic.....	17
4.1.1 Metodika	17
4.2 Geometrická analýza konstrukce krovu	18
4.2.1 Obecná část	18
4.3 Rekonstrukce ideálního tvaru krovu	19
4.4 Zaměření a analýza spojů.....	19
4.4.1 Metodika	19
4.4.2 Analýza	20
5 Diagnostika	21
5.1 Vizuální průzkum.....	21
5.1.1 Biotické poškození.....	21
5.2 Dendrochronologie.....	25
5.2.1 Metodika	26
5.3 Endoskopie.....	30
5.3.1 Metodika	30
5.4 Odporové mikrovrtání	33
5.4.1 Metodika	37
6 Výsledky	39
6.1 Doplnění informací o konstrukci krovu	39
6.1.1 Nově zjištěné poruchy	39
6.2 Projekční část	40
6.2.1 Architektonické zaměření prvků ležatých stolic.....	40
6.2.2 Geometrická analýza a rekonstrukce ideálního tvaru krovu.....	40
6.2.3 Zaměření a analýza vybraných spojů.....	40

6.3	Výsledky diagnostiky	40
6.3.1	Dendrochronologie	40
6.3.2	Endoskopie a odporové mikrovrtání	40
7	Diskuse	42
7.1	Stanovení nové hypotézy o historických opravách krovu.....	42
7.2	Nově zjištěné poruchy	42
7.3	Architektonické zaměření prvků ležatých stolic	42
7.4	Geometrická analýza a rekonstrukce tvaru krovu	42
7.5	Zaměření a analýza vybraných spojů	43
7.6	Dendrochronologie.....	43
7.7	Použité diagnostické metody.....	43
8	Závěr.....	44
9	Seznam literatury a použitých zdrojů	45
10	Samostatné přílohy	47

1 Úvod

Bakalářská práce byla vypracována v rámci předprojektové přípravy celkové opravy objektu menší Malostranské mostecké věže Karlova mostu v Praze, při čp. 56/1 zvané „Juditina věž“. Předprojektová příprava byla objednána v rámci komerční zakázky investorem (MČ Praha 1) u skupiny odborníků specializovaných na průzkumy historických objektů. Koordinátorem byla jmenována architektonická kancelář Atelier KAVA spol. s r.o. Tato kancelář poskytla zpracovateli bakalářské práce všechny dostupné podklady. Přístup do objektu umožnil nájemce části prostor Juditiny věže – Klub za starou Prahu. Diagnostické přístroje poskytl Ústav teoretické a aplikované mechaniky AV ČR. Vybavení nutné pro zaměření krovu zprostředkovala projekční kancelář Ing. Víta Mlázovského.

Ke dni vyhotovení bakalářské práce byly vypracovány následující dokumenty:

Kyncl (2006) a Kyncl (2008) provedl dendrochronologický výzkum krovu. Veselý a kol. (2011) zhotovili stavebně-historický průzkum objektu. Černý a Veselý (2011) vypracovali geodetické zaměření v měřítku 1:50. Atelier KAVA spol.s.r.o. (2011) připravil projektovou dokumentaci – projekt sond. Mlázovský (2012) vypracoval statický průzkum a vyhodnocení sond. Atelier KAVA spol.s.r.o. (2012) vypracoval stavebně-technický průzkum. Atelier KAVA spol.s.r.o. (2016) zhotovil návrh stavby – studie.

V roce 2018 objednal investor u Atelieru KAVA spol.s.r.o. vypracování materiálu „Doplňující průzkumy a vyhodnocení sond pro projektovou dokumentaci pro vydání stavebního povolení“.

V rámci Architektonické studie (Atelier KAVA spol.s.r.o., 2016) bylo navrženo vyrovnání podříznutého a značně pokleslého krovu Juditiny věže heverováním do původní pozice. Tento návrh byl rozporován Národním památkovým ústavem převším z důvodů nedostatečných znalostí o původním tvaru a výšce krovu. Z tohoto důvodu byl jedním z cílů bakalářské práce zvolen výzkum původního tvaru a výšky krovu, jehož výsledky se stanou podkladem pro diskusi projekčního týmu se zástupci památkové péče o způsobu opravy této architektonicky a památkově cenné konstrukce.

Předmětem této zakázky jsou následující práce:

- Stavebně-technický průzkum
- Statický průzkum
- Mykologický průzkum
- Měření a monitoring pohybu objektu a průzkum dřevěných konstrukcí
- Průzkum klimatu a vlhkostních poměrů

Z důvodu rozšíření nákazy Covid-19 byla tato akce zahájena až začátkem roku 2023 a to provedením sond do stropní konstrukce nejvyššího podlaží věže. Ostatní průzkumné práce nebyly před termínem odevzdání této bakalářské práce zahájeny.

2 Cíle práce

Hlavním cílem je příprava podkladů pro následný předprojektový průzkum krovu Juditiny věže. Dílčími cíli práce jsou:

- vyšetření ideového tvaru krovu na základě podrobného zaměření hlavní nosné konstrukce a její geometrické analýzy;
- analýza konstrukčních spojů;
- bližší poznání stavebních etap a oprav pomocí dendrochronologického datování;
- diagnostika vybraných poškozených prvků na základě vizuálního průzkumu, doplněného o dvě semi-destruktivní metody (endoskopie, odporové mikrovrtání).

Stanovené hypotézy:

Hypotéza 1: S pomocí dendrochronologického datování lze stavební zásahy přiřadit ke konkrétním stavebním etapám a tím rozšířit poznání o proměnách krovu v průběhu času.

Hypotéza 2: Podrobný průzkum sond do stropní konstrukce přinese nové informace o základovém roštu krovu, jehož poznání je zásadní pro stanovení původního tvaru krovu.

Hypotéza 3: Geometrická analýza podrobného zaměření s využitím historických geometrických postupů umožní odhalit původní ideový návrh krovu a zhotovení 3D modelu.

3 Přehled současného poznání

3.1 Počátky historie věže

Konkrétní doba výstavby věže nebyla doložena žádnými prameny. Poprvé se o věži na konci mostu zmiňuje tzv. Druhé pokračování kosmovo z roku 1249. Její vznik je spojován s předchůdcem Karlova mostu, mostem Juditiny, který byl postaven v druhé polovině 12. století. Nejnovější archeologická zjištění však hypotézu souvislosti Juditina mostu s věží nepodporují. Typologie a použitá technologie stavby věže vykazuje značné podobnosti s románskými věžemi Pražského hradu, které sice také nemají přesnou dataci, ale velmi pravděpodobně byly postaveny během obnovy knížecího sídla po roce 1135. Druhou hypotézou je tedy možnost výstavby věže v rámci přemyslovské levobřežní fortifikace. V obou případech Juditina věž po staletí plnila obrannou funkci na strategickém bodě při vyústění mostu Karlova, Juditina a možná i jejího dřevěného předchůdce. (Veselý a kol., 2011)

3.2 Vývoj a proměny zastřešení věže

„O původním horním zakončení věže nemáme žádné doklady. Pouze na základě srovnání s věžemi bran Pražského hradu můžeme předpokládat, že zde byl nejspíše ochoz s cimbuřím pojatý plně do hmoty obvodového zdiva. Jiná vodítka stavba sama neposkytuje.“ (Veselý a kol., 2011, str. 31)

V dobových pramenech se dochovala zpráva o vichřici z roku 1281. Během ní došlo k destrukci tehdejšího zakončení věže, které mělo nejspíše podobu hrázděného ochozu s výraznou střechou (viz obrázek 3.2.3). (Veselý a kol., 2011)

„Předpokládáme, že po zániku střechy v 80. letech 13. století vzniklo nové zastřešení, patrně s oním předsazeným ochozem, který spatřujeme ještě na tzv. Vratislavském dřevorytu z roku 1562.“ (Veselý a kol., 2011, str. 34)



Obrázek 3.2.1: Výřez z tzv. Vratislavského dřevorytu Prahy Jana Kozla a Michaela Peterleho z roku 1562.

Zdroj: Veselý a kol., 2011, str. 154

Při prvním z požárů Malé Strany roku 1503 byly dle dobových spisů zničeny krovy obou mosteckých věží. Zajištění stavby po požáru není nijak doloženo. Předpokládaná doba rekonstrukce Juditiny věže je současně s výstavbou nové celnice, která proběhla roku 1591. To by však znamenalo, že věž nebyla obnovena téměř 90 let. Pravděpodobnou variantou, která překlenula toto období bylo provizorní zastřešení. Průzkum přízemí odhalil, že požár propukl i v celém interiéru. Z toho lze usuzovat, že přestavba byla poměrně dlouho odkládána a nejspíše probíhala ve více fázích. Po znovuvybudování všech stropů a schodišť pod provizorní střechou bylo již možné přistoupit k poslední fázi oprav: nahrazení stávajícího gotického ochozu s cimbuřím novým renesančním dlátovým krovem s vikýři, který se dochoval dodnes. Nová podoba věže je zobrazena na perokresbě Roelanta Saveryho z období kolem roku 1610. (Veselý a kol., 2011)

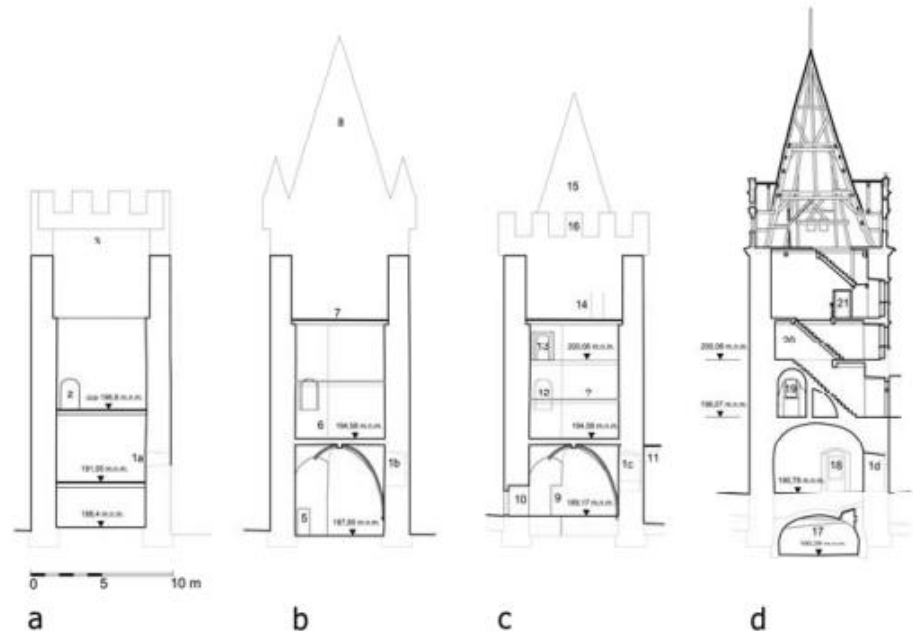


Obrázek 3.2.2: Pohled na malostranský konec Karlova mostu s věžemi od Roelanta Saveryho, kolem roku 1610.

Zdroj: Veselý a kol., 2011, str. 158

Nedlouho po dokončení krovu, kolem roku 1608, byly protézovány patní části některých krokví dubovými protézami (viz příloha 2.1). Z toho lze usuzovat, že krytina nebyla dobře provedena a pravděpodobně do krovu zatékalo. (Veselý a kol., 2011)

Významný zásah do konstrukce krovu proběhl v letech 1826 až 1828, kdy probíhala přestavba přilehlého Saského domu. Díky jeho navýšení došlo k zaslepení západního vikýře a pravděpodobnému odstranění podélného zavětrování na západní straně. Oprava roku 1924 značně poznamenala konstrukci krovu. Proběhla pravděpodobně z důvodu havarijního stavu patní části. Kromě přeložení břidlicové krytiny byl celý krov odříznut od patního roštu a uložen na rošt nový, který byl umístěn nad podlahu půdy. Během této opravy byly také pravděpodobně nahrazeny poškozené dřevěné prvky bočních stěn vikýřů zdivem. V roce 1969 proběhla oprava střešní krytiny. (Veselý a kol., 2011)



Obrázek 3.2.3: Náznaková rekonstrukce vývoje vnitřního členění a zastřešení Juditiny věže na svislém řezu. a) Románská epocha: předpokládaná podoba završení věže ochozem s cimbuřím. b) počátek 13. století: výrazné zastřešení stržené vychřící roku 1281. c) 1249-1503: cihelná střecha jejíž zánik je popsán roku 1503 a gotický ochoz s cimbuřím doložený ještě v roce 1562 (Vratislavský dřevoryt). d) věž po dokončení renesanční přestavby roku 1591.

Zdroj: Veselý a kol., 2011, str. 152

3.3 Památkový význam

„Tzv. Juditina věž tvoří součást jedné z nejvýznamnějších architektonických památek České republiky, národní kulturní památky Karlův most, zapsané ve státním seznamu nemovitého kulturního dědictví. Zároveň se nachází v jádře Pražské památkové rezervace a památky světového kulturního dědictví UNESCO.“ (Veselý a kol., 2011, str. 42)

Renesanční krovky jsou na našem území vzácné. Je to způsobeno velmi krátkým obdobím renesance vlivem husitských válek, následnými požáry a likvidací těchto krovů při pozdějších přestavbách.

Krov Juditiny věže má významnou hodnotu jakožto doklad dlouhého období, při kterém probíhala obnova Malé Strany po dvou rozsáhlých požárech v první polovině 16. století. Vysoká dlátová valbová střecha reprezentuje pražskou architekturu rudolfinského období a je nedílnou součástí pražského levobřežního panoramatu. (Veselý a kol., 2011)

3.4 Charakteristika objektu

Půdorys věže je obdélný o délkách 9,9 x 11,1 m. Při bližším zkoumání bylo zjištěno, že se jedná o kosodélník s úhlem 87°, což mělo zásadní vliv při navrhování konstrukce krovu. Koruna zdiva věže je ve výšce 19 metrů nad úrovní dvora. Věž je členěna do pěti nestejně vysokých podlaží: sklep, přízemí a tři patra.

3.5 Typologické zařazení krovu

Typologicky se konstrukce krovu řadí ke skupině nejstarších krovů s ležatou stolicí. Stolicí je označována nosná tesařská prostorová konstrukce podpírající vazby krovu. Stolice jako primární nosný systém zajišťuje stabilitu krovu, přenos svislých sil do zdiva a eliminaci vodorovných sil. Sekundární nosný systém tvořený krokvy a hambalky přenáší klimatické zatížení a váhu krytiny do stolice. (Škabrada, 2003)

Diferenciace funkcí umožňuje rozdělení vazeb na plné a jalové. Plná vazba obsahuje sloupky, vazný trám a prvky zavětrování. V jalové vazbě pak tyto prvky chybí. Vazný trám může být nahrazen krátcetem, čepovaným do výměny. (Vinař, 2010)

Základním konstrukčním prvkem ležaté stolice je příčná vazba lichoběžníkového tvaru, tvořená dole vazným trámem, nahoře vodorovnou rozpěrou a po stranách dvěma šikkými sloupky. Zavětrování této vazby zajišťují pásky. Tím vzniká tuhý rám. Sousední příčné vazby jsou v podélném směru propojeny vaznicemi a případně i mezilehlými podélnými rozpěrami. Zavětrování v podélném směru zajišťují vzpěry tvaru „V“ nebo ondřejského kříže, ležící v rovině střechy a propojující horní vaznici se sloupky, případně s prahovou vaznicí.

Konstrukce ležaté stolice prošla v průběhu historie technickým vývojem a z tohoto důvodu se ležaté stolice jednotlivých architektonických slohů v detailech liší. Tyto detaily lze využít k určení přibližného stáří krovu. Pro renesanční ležaté stolice jsou charakteristické následující atributy:

- Rozpěry příčných vazeb „se umísťují nikoli v rovině vaznic, tedy bezprostředně pod hambalky, ale níže, takže pod hambalky vzniká mezera.“ (Škabrada 2003)
- „pásky propojující sloupky s rozpěrami také zpravidla pokračovaly dále v obou směrech – na horních koncích až do hambalků a dole do krokví.“ (Škabrada 2003)
- Spoje pásků s prvky stolice jsou plátové s několikanásobnými ozuby.
- Hlavní vaznice mají převážně profil stojatého obdélníku, nebo později pětiboký průřez orientovaný ortogonálně.
- Podélné zavětrování je vzhledem k orientaci vaznice řešeno ne zcela vhodným způsobem, protože prvky zavětrování leží v rovině střechy, zatímco vaznice je ortogonální. To vytváří náročné podmínky pro tesařské spoje.

3.6 Popis střechy a krovu

Střecha je vysoká asi 12,25 m a má dlátový tvar s dvěma valbami. Sklon je v příčném směru cca 74° a v podélném směru cca 80°. Všechna čtyři nároží dlátové střechy jsou oříznuta diagonální rovinou. Horizontální řez střechy je z tohoto důvodu ve všech úrovních nad korunou zdiva osmiúhelníkový. Všechny čtyři strany jsou v první úrovni krovu osazeny velkými vikýři se zděnými štíty. Střechu pokrývá šedostříbrná břidlice, která je kladena šupinovitě v šikmých řadách (viz soubor příloh 1; obrázek 1.1). U spodní části vikýřů se nachází pultové stříšky, které jsou pokryty prejzy. Měděným plechem jsou opatřeny hrotnice, hřebeny a úžlabí. (Veselý a kol., 2011)

Nejvyšší patro věže bylo zastropeno pohledovým stropem složeným z deseti trámů orientovaných západ – východ a podepřených průvlakem. Trámy zdobené okosením byly zakryty záklopem ze širokých prken. Spáry byly kryty pohledovými lištami s okosením. Na tento záklop byl uložen násyp ze stavební sutě a cihelná dlažba do malty. Tyto trámy byly pravděpodobně uloženy na dvojici pozednic a zhlaví byla následně zazděna až po úroveň horní roviny trámů. Některé z těchto trámů měly zároveň funkci vazných trámů krovu. Do přízedních trámů jsou začepována krátkata jižní a severní valby.

Konstrukčně se jedná o hambalkový krov se třemi úrovněmi hambalků, podpíraný dvoupatrovou ležatou stolicí renesančního typu. Šest trojúhelníkových příčných vazeb tvoří jádro krovu. Jsou označeny tesařskými značkami III až VIII. Ležaté stolice s dvěma plnými vazbami s čísly III a VII podpírají jádro krovu. (Veselý a kol., 2011)

Vazba prvního patra stolice je tvořena dole vazným trémem, nahoře rozpěrou a po stranách dvěma šikmými sloupky. Na sloupky naléhají krokve propojené nad rozpěrou hambalkem. Mezi rozpěrou a hambalkem je mezera odpovídající přibližně výšce vaznice (viz soubor příloh 1; obrázky 1.14-1.16). Zavětrování vazeb je řešeno pásky. Tyto dlouhé prvky, které spojují hambalek, rozpěru, ležatý sloupek a krokev mají několikanásobně zazubené kryté pláty (viz soubor příloh 1; obrázky 1.19-1.21). V podélném směru jsou vazby stolice propojeny vaznicí a rozpěrou. Zavětrování v rovině střechy je řešeno vzpěrami tvaru ondřejského kříže vsazenými mezi vaznicí a rozpěrou (viz soubor příloh 1; obrázek 1.18). Vykonzolované přesahy vaznic jsou podepřeny pásky. Ležatá stolice druhého patra je konstruována obdobně s tím, že funkci vazného trámu přebírá hambalek prvního patra. Valby jsou podepřeny pouze v prvním patře polovičními ležatými stolicemi opřenými o vazby jádra. Vaznice jádra a valeb nejsou vzájemně propojeny, ale jsou ukončeny na styku s nárožní střešní rovinou.

Krokve krajních vazeb jádra (vazby III a VIII) jsou krokve nároží a ve hřebeni jsou doplněny hrotnicí (viz soubor příloh 1; obrázky 1.4 a 1.24). Valby tvaru trojúhelníku jsou tvořeny jednou střední a dvěma nárožními krokve, které jsou orientovány v rovině valby a jsou začepovány do krátkat. Krokve valeb jsou podepřeny hambalkovými krátkaty o hambalky krajních vazeb jádra. Spodní část střechy je opatřena námětky. Vikýře mají sedlový krov se dvěma prostými trojúhelníkovými vazbami (viz soubor příloh 1; obrázky 1.2 a 1.3). Boční stěny jsou původně hrázděné (viz soubor příloh 1; obrázek 1.10), štíty jsou plně vyzděné. Bednění je plnoplošné z prken širokých až 60 cm. Krokve vazeb V a VI a také středové krokve valeb jsou shora začepovány do hambalků v první úrovni krovu. Díky tomu krokve nezasahují do prostoru vikýřů.

Dlouhé krokve jsou nastaveny ve třetí úrovni krovu (viz soubor příloh 1; obrázek 1.23). Nad nastavovacím spojem jsou krokve podepřeny šikmými vzpěrami do hambalků (viz soubor příloh 1; obrázek 1.22). Do hambalků ve třetí úrovni jsou začepovány hrotnice. (Veselý a kol., 2011)

Střecha mezi oběma nárožími je podepřena středovou krokví, která je dole začepována do výměny v úrovni rozpěr prvního patra krovu. V úrovni vaznic je tato krokev podepřena nesystémovým diagonálním prvkem položeným přes hambalky a nahoře je lípnta do krajní krokev jádra. Krokve polovičních stolic jsou v úrovni druhého patra krovu lípnty do nárožních krokví valeb.

Tesařské značky jsou standardní. Prvky jsou značeny římskými číslicemi. Strany jsou odlišeny pomocí čárek a trojúhelníčků (viz soubor příloh 1; obrázky 1.25 a 1.26). Číslovací řada je však neúplná. Žádné prvky krovu na předpokládaných pozicích nejsou označeny čísly I, II, VIII a X. Avšak na konstrukci valem jsou číslicí X označeny všechny čtyři krátkata hambalků. U nastavovaných prvků jsou označeny obě části v blízkosti spoje. (Veselý a kol., 2011)

Ve 20. století byla zásadním způsobem opravena stropní konstrukce nad nejvyšším podlažím a s ní související patní části všech krokví a sloupků plných vazeb. V průběhu zpracování této práce byly provedeny pásové sondy do stropní konstrukce. Průzkumem sond byly zjištěny následující nové informace:

Stropní trámy č. III-VI, VIII-X byly nahrazeny novými prvky ze strojně řezaného smrkového dřeva. Zhlaví těchto trámů byla zkrácena cca 250 mm za líc stěny. Trámy č. I, II a VII jsou z původního dřeva. Pravděpodobně však byly demontovány a po zaříznutí zničených zhlaví znovu sesazeny ze dvou částí spojených nad průvlakem (viz soubor příloh 1; obrázek 1.27). Spoj je proveden natupo a zajištěn kramlí. Otevřené kapsy za zkráceným zhlavím byly zazděny včetně odhalené části pozednice.

Patní části všech krokví a též sloupků plných vazeb byly protézovány. Krokve a sloupky stolic byly zkráceny a nastaveny protézami zapuštěnými do nových vazných trámů a krátkat. Tento nový vazný rošt je umístěn nad původní podlahou podkroví a je založen na cihelných pilířích. Nový rošt byl opatřen fošnovou podlahou (viz soubor příloh 1; obrázky 1.9-1.13).

Protézy ostatních krokví byly opřeny o zadržky zhlaví nebo čepovány do zachovaných krátkat valem. Spoje převážně většiny protéz s opravovaným prvkem byly provedeny přímým plátem délky cca 500-600 mm, zajištěným dvěma ocelovými svorníky. Starší protézy z tvrdého dřeva jsou zajištěny dubovými kolíky.

První patro krovu je zpřístupněno původním dvouramenným dřevěným schodištěm. Prvky krovu, které zasahují do schodiště byly zaříznuty nebo odstraněny. Povrch všech původních prvků krovu, včetně schodiště a bednění je začernalý, pokrytý vrstvou dehtu a sazí.

3.6.1 Konstrukční závady

Z neúplného tesařského značení prvků lze usuzovat, že na tesárně byly v poloze naležato zhotoveny pouze označené vazby a ostatní byly konstruovány na mítě nastojato. Mezi těmito dvěma skupinami prvků lze vysledovat výrazný rozdíl v kvalitě provedení. Zatímco vazby označené značkami jsou řemeslně bezchybné, neoznačené vazby a prvky vykazují mnoho řemeslných nedostatků. Jedná se především o vaznice a krokve diagonálních ploch střechy, spojujících nároží. Tyto vaznice jsou evidentně zhotoveny ze zbytků a zkažených prvků a jsou umístěny nesystémově a bez spojů na rozpěry a hambalky sousedních vazeb. Zatížení střední krokve diagonální nárožní plochy nese pouze jediný nedostatečně dimenzovaný prvek. Je zřejmé, že tato krokev je částečně vynášena bedněním. Výška lípnutí těchto čtyř krokví na krokve nárožní není stejná, což svědčí o geometrické chybě nebo nedostatečné délce prvků. Další improvizace je patrná na dodatečných úpravách vaznic a rozpěr valem, které byly z důvodů kolize s nárožní rovinou nahrubo odtesány včetně šikmých pásků.

3.6.2 Poruchy

Krov je výrazně deformován a vykazuje nerovnoměrné poklesy vazeb o desítky centimetrů. Největší pokles vykazuje vazba IV a nejmenší valbová polovazba VII. Rozdíl výšek vaznic nad těmito vazbami činí 280 mm. Nerovnoměrný pokles má za následek deformace a kroucení konstrukce, zvýšené namáhání spojů, na které nebyly dimenzovány, prohnutí krokví konkávně na východní straně a konvexně na západní. Míra deformace je pozorovatelná i zvenku; naklonění hřebene směrem na jih.

Dle geodetického zaměření byl zjištěn pokles hřebene, který činí 262 mm a dále průhyb východních krokví, který přesahuje 100 mm. Napětí vzniklá těmito poklesy byla již pravděpodobně eliminována tvarovým přizpůsobením (otlačení dřeva ve spojích). Jižní sběžiště je výrazně posunuto západním směrem, což naznačuje rotaci celého krovu ve vodorovné rovině.

Poklesy byly v průběhu času způsobeny destrukcí základového roštu vlivem zatékání. Ve 20. století byl krov opraven v takto pokleslém stavu a deformace nebyly odstraněny.

Patní část krovu je výrazně poškozena biotickými škůdci. To je do značné míry ovlivněno zatékáním, především v místech námětkových ploch a úžlabí vikýřů. Zazděné pozednice jsou pravděpodobně zcela zničeny dřevokaznou houbou a hmyzem. Nákaza ze zazděných pozednic se ve větší či menší míře rozšířila do většiny prvků spodní části krovu. Nově opravená zhlaví stropních trámů jsou opětovně lokálně napadena. Napadeny jsou též některé protézy krokví a sloupků ležatých stolic.

V horních částech krovu je biotické poškození minimální s výjimkou vazby VII na západní straně. Prvky této vazby byly dlouhodobě vystaveny zvýšené vlhkosti vlivem zatékání oknem malého vikýře ve druhé úrovni krovu a následně neodborně opraveny ve 20. století. Jedná se především o dvojité protézování krokve, která nebyla spojena s hambalkem, jehož čep byl odstraněn. Zhlaví hambalku, které nese sloupek stolice druhé úrovně krovu je zcela zničeno hnilobou. Čep sloupku druhého patra a níže položená vaznice jsou napadeny pouze povrchově (viz soubor příloh 1; obrázek 1.14). Z původního hrázdění bočních stěn vikýřů zbyla pouze torza. Většina dřevěných prvků hrázdění byla odstraněna a drážky zazděny.

Při opravě ve 20. století nebyly obnoveny zničené pozednice, čímž je nepříznivě ovlivněna stabilita krovu i římsového zdiva. Pozednice má funkci svázání základového roštu krovu, zajišťuje přenos sil z krovu do zdiva a jako věnec svazuje zdivo koruny. Středověké krovky byly proti silám vyvozovaným větrem (posunutí, překlopení) zajištěny zazděním pozednice a zhlaví vazných trámů do koruny zdiva. Toto řešení, které je dnes nefunkční z důvodů destrukce většiny zazděných prvků, nebylo adekvátně nahrazeno. Nový základový rošt krovu je volně položen na zděných sloupcích a není nijak spojen se zdivem. Spoje sloupků ležaté stolice s novými vaznými trámy byly provedeny pouze mělkým zapuštěním bez čepu, zajištěným kramlí. Krov proti silám od větru vzdoruje pouze vlastní vahou. Dodatečná doba, která uplynula od této opravy, aniž došlo k poruchám krovu působením větru, naznačuje, že poměr mezi výškou střechy a její hmotností je pro danou lokalitu vyhovující. Vzhledem k měnícím se klimatickým podmínkám by však bylo vhodné krov proti větru zajistit.

Podélné zavětrování 1. úrovně krovu na západní straně bylo odstraněno pravděpodobně v souvislosti se zazděním západního vikýře při přestavbě Saského domu v letech 1826 až 1828. Dílčí poruchy jeví také střešní krytina a odvodnění; podokapní žlaby a svody.

4 Projekční část

Tato část vznikla ve spolupráci s projekční kanceláří Ing. Víta Mlázovského.

4.1 Podrobné architektonické zaměření prvků ležatých stolic

Geodetické zaměření (Černý a Veselý, 2011) bylo provedeno velmi kvalitně. Obsahuje však pouze jeden půdorys krovu na úrovni podlahy první úrovně a dva řezy vedené hlavními osami krovu. Tento rozsah měřičských informací je pro geometrickou analýzu konstrukce i následné vypracování prováděcí dokumentace opravy krovu nedostatečný. Z tohoto důvodu bylo provedeno architektonické zaměření všech vazeb ležatých stolic s důrazem na přesnost výšek vaznic a sklonu šikmých sloupků. Zaměření ostatních prvků krovu bylo převzato z geodetického zaměření (Černý a Veselý, 2011). Kromě této práce bude zaměření prvků ležatých stolic využito jako podklad pro prováděcí dokumentaci opravy krovu.

4.1.1 Metodika

Zaměření bylo provedeno pomocí ručního laserového dálkoměru Leica DISTO, skládacího a svinovacího metru a olovnice. V prvním i druhém patře krovu byla ustanovena vlastní výšková hladina ± 0 pomocí křížového laserového zaměřovače Bosch PLL 360. V prvním patře byla stanovena v nadmořské výšce 208,500 m.n.m. (dle geodetického zaměření). V druhém patře byla stanovena v nadmořské výšce 212,517 m.n.m. (dle geodetického zaměření). Rozdíl výšek obou hladin činí 4,017 m.

Ve všech vazbách stolice byly výškově zaměřeny spodní plochy vaznic. Za referenční bod byl zvolen průnik plochy spodní strany vaznice s plochou vnější strany sloupku. Z těchto bodů byla spuštěna olovnice a na úrovni ± 0 změřena vzdálenost k vnějšímu povrchu sloupku. Kontrolně byla zaměřena třetí strana trojúhelníku po vnějším povrchu sloupku. Z naměřených údajů byly stanoveny sklony střešních rovin a poklesy vazeb. Dále byly změřeny všechny profily prvků a jejich vzájemné polohy. Zaměření jednotlivých vazeb bylo vyneseno v programu autocad v měřítku 1:50. (viz samostatný soubor příloh 4; přílohy 4.2.1-4.2.5).



Obrázek 4.1.1.1: Zápis informací architektonického zaměření v terénu.

Kontrola byla provedena sesazením obou nezávisle zaměřených pater vazby stolice. Maximální zjištěná chyba v návaznosti společných prvků obou pater (krokv, hambalek) do 10 mm prokázala uspokojivou přesnost měření.

4.2 Geometrická analýza konstrukce krovu

4.2.1 Obecná část

Pro stanovení ideového tvaru krovu byl zvolen historický geometrický postup užívaný ve středověku pro navrhování i vytyčování staveb. Základním geometrickým prvkem této metody je kružnice, základní stavební jednotkou pak dvojice kružnic o stejném poloměru, které se protínají ve dvou bodech. V závislosti na vzájemné poloze středů této dvojice vzniká konkrétní geometrický vzorec. Rozvinutím kružnic do plochy podle tohoto vzorce vznikne síť bodů (všechny vzájemné průsečíky), která slouží k návrhu objektu (půdorys a řez stavby). Existuje několik známých vzorců a z nich odvozených sítí, užívaných v historii k návrhu architektury. Nejznámějším z nich je vzorec nazývaný „vesica piscis“ (měchýř ryby). Dvě základní kružnice tohoto vzorce vzájemně prochází svými středy a jejich rozvinutím do plochy vzniká šestiúhelníková síť. V architektuře hojně užívaný je obdélník odvozený z tohoto vzorce o poměru stran $1:\sqrt{3}$. Můžeme ho nalézt například v kostelních lodích nebo klášterních chodbách, kde tvoří půdorys klenebních polí. Trojúhelník vepsaný do tohoto obdélníku má patní úhel 74° . Tato hodnota leží v intervalu velikosti úhlů získaných architektonickým zaměřením viz Aplikovaná část. Vzhledem k této skutečnosti byl geometrický vzorec „vesica piscis“ zvolen za klíč k odhalení původní geometrické ideje tvaru krovu.

Cílem geometrické analýzy je vyšetření tvaru základového čtyřúhelníku krovu (průnik roviny povrchu krokví s rovinou povrchu vazných trámů), polohy nároží a sběžišť a tvar hlavní vazby jádra krovu. Tím je definována povrchová obálka krovu, ze které lze odvodit všechny další potřebné informace například sklon valby a nárožní roviny.

Z geodetického zaměření je zřejmé, že krov byl konstruován na půdorysu kosodélníku s okosenými rohy. To znamená, že vazby jádra krovu nejsou kolmé na příslušnou okapovou hranu, ale jsou rovnoběžné s okapovou hranou valby. Půdorys krovu tak reaguje na mírně kosodélný půdorys stavby. Volba kosodélného půdorysu podstatně ovlivňuje komplikovanost konstrukce a pracnost výroby spojů. Průřezy krokví jsou v tomto případě kosodélné a průřezy šikmých sloupků lichoběžníkové. Podstatně náročnější je též geometrická analýza takové konstrukce. Z důvodu názornosti byla analýza nejprve provedena na pravoúhlém půdorysu a následně byly ověřené postupy aplikovány na půdorys kosodélný.

V samostatném souboru příloh 4; příloha 4.3.1 je zobrazen obecný postup sestrojení základového obdélníku a z něho odvozeného osmiúhelníku na pravoúhlém půdorysu a dále aplikace tohoto postupu na půdorys kosodélný. Nad kratší stranou kosodélníků, která reprezentuje půdorys hlavní vazby je sestrojena kružnice k1. Tato kružnice je pak použita k vyšetření tvaru trojúhelníku hlavní vazby s využitím geometrického vzorce „vesica piscis“. Získaný obecný postup je následně aplikován na krov Juditiny věže s využitím vstupních dat získaných z geodetického a architektonického zaměření.

Na základě architektonického zaměření byly zjištěny úhly sklonu všech vazeb stolic. U vazeb jádra krovu byly naměřeny hodnoty úhlů 73° , 74° a 75° , u polovazeb valby pak úhly 79° , 80° , 81° . Veselý a kol. (2011) uvádí, že sklon jádra krovu v příčném směru je 74° a sklon valby je 80° . Z geodetického zaměření byly zjištěny úhly kosodélného půdorysu krovu. Pro aplikovanou analýzu byl zvolen úhel půdorysu 87° (úhel mezi osou vazby VII' a východní okapovou hranou) a úhel sklonu hlavní vazby 74° s tím, že tyto hodnoty budou případně optimalizovány ve druhém pokusu na základě porovnání modelu se zaměřením. Ze vstupních dat byl zkonstruován kosý osmiúhelník půdorysu krovu, stanoveny polohy všech osmi nároží, sběžišť a hřebene. V geodetickém zaměření jsou zobrazeny průniky všech krokví s podlahou podkroví, která se nachází 560 mm nad horní plochou vazných trámů. Aby bylo možné porovnat ideový půdorys s půdorysem skutečným, bylo nutné vyšetřit tvar horizontálního řezu krovem v rovině podlahy podkroví.

Z ideového půdorysu je odvozena šířka vazby jádra krovu a nad ní opsána kružnice k1. Z kružnice k1 je pak odvozen tvar příčné vazby krovu. Takto získaný tvar byl kontrolně porovnán s geodetickým zaměřením. Na obou řezech hlavní vazby byly porovnány vodorovné vzdálenosti vaznic prvního a druhého patra s maximální chybou +17 mm v prvním patře a +28 mm ve druhém patře, a to ve prospěch geodetického zaměření. Ostříh ideální vazby byl porovnán s ostříhem nejvyšší vazby krovu (VIII). Výškový rozdíl činí 195 mm, komentář viz Diskuse. Výše popsané postupy jsou graficky znázorněny v samostatném souboru příloh 4; příloha 4.3.2.

4.3 Rekonstrukce ideálního tvaru krovu

Na základě dat získaných z geometrické analýzy byl vypracován ideový 2D návrh konstrukce krovu v programu autocad. V rámci tohoto návrhu byly odvozeny tvary valbových vazeb a zavětrování (viz samostatný soubor příloh 4; přílohy č. 4.4.1 a 4.4.2). Výsledný úhel valeb 80° byl porovnán s architektonickým zaměřením se zjištěnou chybou max. 1° . Tyto podklady byly následně použity pro vypracování 3D modelu krovu v programu SEMA (viz samostatný soubor příloh 4; přílohy č. 4.6.1-4.6.3).

4.4 Zaměření a analýza spojů

Dílčím cílem bakalářské práce byla analýza charakteristických spojů ležaté stolice. Jedná se o spoje prvků v oblasti vaznice.

4.4.1 Metodika

Většina spojů je nepřístupná a nelze zjistit jejich tvar. Ke stanovení tvaru byly využity různé štěrbinové spáry a nepřesnosti na styku dvou prvků. Zásadní informace byly získány z vazby VII, která je významně poškozena biotickými škůdci. Díky tomu bylo možné nahlédnout do vnitřní struktury konstrukce a spoje zaměřit. Zjištěné spoje a jejich rozměry byly vyneseny v programu autocad (viz samostatný soubor příloh 4; přílohy č. 4.5.1-4.5.3).

4.4.2 Analýza

Staticky významný spoj šikmého sloupku s rozpěrou je proveden středovým čepem s jednostranným zapuštěním. Jedná se o klasické řešení, používané u ležatých stolic. Zajímavostí je podstatně zmenšená výška a šířka čepu. Důvodem tohoto řešení byla zřejmě snaha o redukci oslabení hlavy sloupku, již tak oslabené protilehlým spojem s vaznicí. Spoj sloupku s vaznicí je řešen čepem orientovaným ve směru vláken sloupku. Zajímavostí je, že čep není proveden na celou šířku sloupku, ale je z rubové strany krytý. Spoj hambalku s vaznicí je řešen klasicky jednostranným kampem. Čepový spoj krokve s hambalkem je u renesančních krovů neobvyklý. Lze ho označit za progresivní. Toto řešení podstatně ovlivňuje způsob vztyčování krovu. Staticky významný spoj sloupku druhé úrovně krovu s hambalkem je řešen středovým čepem bez zapuštění. Čep šířky 40 mm má šikmo seříznutou čelní plochu. Takovéto řešení není schopno efektivně přenášet vodorovné síly. To, že tyto spoje i přesto nemají poruchy lze vysvětlit velkým sklonem střechy a omezením vodorovných sil tuhým rámovým rohem renesanční stolice. Spoj pásku se dvěma vodorovnými a dvěma šikmými prvky vazby je proveden několikanásobně zazubeným krytým plátem zajištěným dubovými kolíky.

5 Diagnostika

Prvním krokem při diagnostice dřevěných konstrukcí je vizuální průzkum. Řadí se mezi nedestruktivní metody a patří mezi nejdéle užívané způsoby diagnostikování vad dřeva. S pomocí vizuálního průzkumu je možné odhalit především viditelné poškození dřeva biotického, abiotického a mechanického původu, druh použité dřeviny, dodatečné úpravy, rekonstrukce a v neposlední řadě je možné odhadnout i stáří konstrukce na základě její skladby, použitých spojů apod. (Heřmánková a kol., 2011)

Vizuální průzkum je třeba vhodně doplnit dalšími metodami ve chvíli, kdy je nutné identifikovat rozsah vnitřního poškození, určit hranici mezi zdravou a poškozenou částí prvku, případně určit fyzikální a mechanické vlastnosti. Tyto informace jsou nedílnou součástí předprojektové přípravy v případě nutnosti sanačního zásahu. Hlavním nedostatkem vizuálního průzkumu je složitost stanovení hodnotících kritérií, které budou vždy do jisté míry ovlivněny subjektivním názorem diagnostika. Z tohoto důvodu je vizuální hodnocení vhodné pro objevení kritických míst, kde následně proběhne detailnější průzkum pomocí nedestruktivních, či semi-destruktivních metod. (Kloiber, Bláha, 2005)

Tato práce představuje zjištění vizuálního průzkumu a tři semi-destruktivní metody, které byly použity pro diagnostiku renesančního krovu Juditiny věže. Jedná se o dendrochronologické datování, endoskopii a odporové mikrovrtání.

Rozdělení diagnostických metod

1. **nedestruktivní:** zcela neinvazivní (vizuální hodnocení, ultrazvuk, radiometrie, poklep apod.)
2. **semi-destruktivní:** malý, téměř zanedbatelný destruktivní zásah v podobě vývrtu apod. (dendrochronologické datování, odporové zarážení trnu, odporové mikrovrtání, zkoušení radiálních vývrtů, endoskopie aj.)
3. **destruktivní:** odběr vzorků pro laboratorní zkoušky

5.1 Vizuální průzkum

Díky velkému sklonu střechy je horní část krovu i po staletích ve velmi dobrém stavu. Jedinou výjimku tvoří dvě hrotnice, které byly vyměněny v 60 letech. 20 století. Kritická místa konstrukce se nacházejí v patní části krovu. Díky malému sklonu námětkových ploch, kontaktu dřevěných prvků se zdívem a poměrně vysoké vlastní váze celé střechy je tato část nejvíce náchylná na biotické, abiotické i mechanické poškození.

5.1.1 Biotické poškození

Rozvoj biotických škůdců je závislý především na vlhkosti a obsahu kyslíku ve dřevě. Na rozdíl od dřevokazných hub a plísní, které k rozvoji potřebují, aby mělo dřevo kolem 20% absolutní vlhkosti, dřevokazný hmyz napadá dřevo již při absolutní vlhkosti kolem 10%. Průměrná vlhkost dřevěných prvků konstrukce krovu byla odporovým vlhkoměrem stanovena na 17 %. U některých částí krovu, především u konstrukcí námětků, do kterých zatéká skrze porušenou střešní krytinu a prvků v kontaktu se zdívem, bude vlhkost vyšší.



Obrázek 5.1.1.1: Stanovení vlhkosti pomocí odporového vlhkoměru.

Určení biotických škůdců proběhlo pouze na základě vizuálního hodnocení. Není podpořeno mykologickým průzkumem ani laboratorními analýzami. U dřevokazného hmyzu byla poznávacím kritériem velikost výletových otvorů, neboť žádné larvy ani dospělí jedinci nebyli pozorováni.

Plísně

Plísně ovlivňují pouze estetický vzhled napadeného prvku, nemají vliv na mechanické vlastnosti. Nicméně svým působením vytvářejí vhodné podmínky pro další biotické činitele, jako jsou dřevokazné houby a hmyz (Šefců a kol., 2000).



Obrázek 5.1.1.2: Šíření plísní na spodní ploše bednění jihovýchodního námětku z důvodu zatékání.

Trámovka trámová (*Gloeophyllum trabeum*)

Na jehličnatém dřevě se vyskytují trámovky, které potřebují vysokou vlhkost a žijí uvnitř dřeva. Pokud jsou podmínky příznivé, vytvoří plodnice. Umí přežít i ve vysokých teplotách a po vyschnutí mohou růst znovu obnovit. U nás je však jejich výskyt ojedinělý.



Obrázek 5.1.1.3: Plodnice trámovky na spodní ploše bednění jihovýchodního námětku.

Červotoč umrlčí (*Anobium petrinax*)

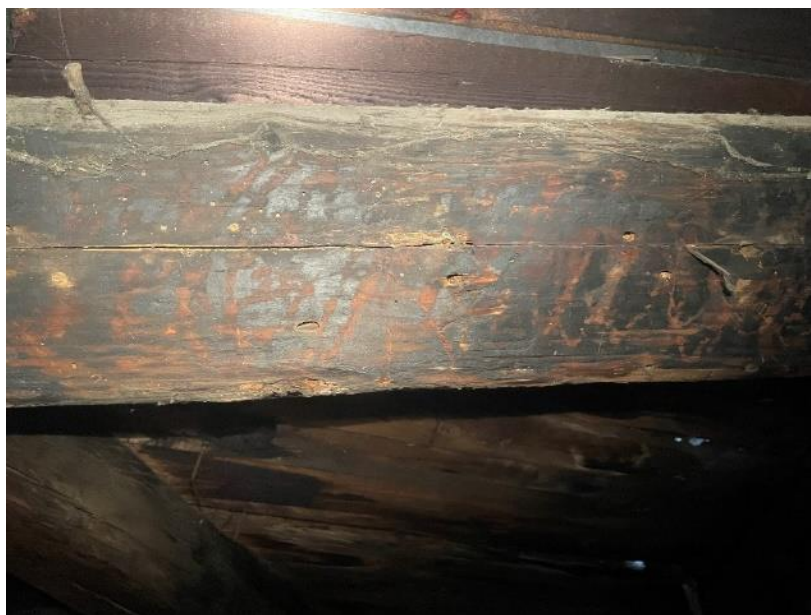
Pro rozvoj potřebuje poměrně vysokou vlhkost (18–20 %). Je aktivní především v noci, kdy klepáním hlavou o dřevo vábí partnera (tzv. „umrlčí hodiny“). Larvy se ve dřevě vyvíjejí zhruba tři roky. Dřevo napadené červotočem často napadá i tesařík. Poznávacím znakem jsou četné výletové otvory ve dřevě.



Obrázek 5.1.1.4: Poškození stropního trámu způsobené symbiotickým působením dřevokazné houby a červotoče.

Tesařík krovový (*Hylotrupes bajulus*)

Dává přednost měkkému dřevu. Vývojové stádium larev trvá 2–3 roky v závislosti na vlhkosti dřeva. Poznávacím znakem jsou poměrně velké výletové otvory o velikosti 6-10 mm.



Obrázek 5.1.1.5: Výletové otvory tesaříka krovového.

Dřevomorka domácí (*Serpula lacrymans*)

V našich podmínkách je dřevomorka domácí jedním z nejhorších škůdců. Bez včasné diagnostiky a vhodného zásahu může vyvolat kompletní destrukci konstrukce. Dlouhodobě promáčené dřevo, které je navíc napadené jinými druhy hub vytváří optimální podmínky pro rozvoj dřevomorky. Její podhoubí roste na kontaktu dřeva se zdivem, v násypu, ale i ve zdivu samotném, kterým může prorůstat. Z tohoto důvodu je do sanačních opatření nutno zahrnout i ostatní konstrukce, především zdivo, které je v kontaktu s napadenými prvky. V rozvinutém stádiu již nepotřebuje vnější zdroj vlhkosti. V latentním stavu může poměrně dlouhou dobu přežívat ve formě spor i vláken (hyf) podhoubí. Po dosažení vhodných podmínek dojde k obnovení růstu (Šefců a kol., 2000).



Obrázek 5.1.1.6: Zcela zničená jižní pozednice dřevomorkou (patrný kostkový rozpad) a čevotočem.

Hnědá hniloba

Konkrétní druh celulózovorní houby nebylo možné určit. Rozklad dřeva je zapříčiněn působením dřevokazné houby, která rozkládá celulózu a hemicelulózy. Lignin, který není působením celulózovorních hub ovlivněn má hnědou barvu. Z tohoto důvodu mají poškozené části světle až tmavě hnědé zbarvení. Odtud pochází označení hnědá hniloba.



Obrázek 5.1.1.7: Zhlaví hambalku vazby VII (1.úroveň, západ) významně poškozené hnilobou.

5.2 Dendrochronologie

Zabývá se dešifrováním záznamu, který je obsažen v letokruzích stromů. Tento záznam si lze představit jako čárový kód, který je specifický nejen pro druh dřeviny a konkrétní stanoviště, ale i každý strom.

Dendrochronologie se rozděluje do dvou hlavních směrů. Prvním je dendroarcheologie, která umožňuje datování dřevěných objektů a předmětů. Druhým je dendroklimatologie, která se zabývá změnami stavu ekosystémů, rekonstrukcí klimatu dřívějších období a odhalováním dávných katastrofických událostí. (Kyncl, 2017)

Vzhledem k charakteru této práce a objektu jejího zkoumání je tato kapitola dále zaměřena pouze na dendroarcheologii.

Dendroarcheologie umožňuje na rok přesné datování stáří dřevěných objektů, předmětů, případně i stojících stromů. Tím se stala nedílnou součástí diagnostiky historických stavebních konstrukcí v rámci památkové péče. Řadí se mezi semi-destruktivní metody diagnostiky, která je vhodná pro doplnění stavebně historického průzkumu. Aby však odborníci získali informaci o stáří stavby, musí být k dispozici již sestavená tzv. standardní chronologie pro co nejdelší období a pro příslušnou dřevinu a oblast. Sestavování těchto chronologií – datovacích kalendářů je samostatný směr v rámci dendrochronologie. (Kyncl, 2017)

Vlivem klimatických podmínek, střídáním ročních období, množstvím světla a živin které má strom k dispozici a dalších faktorů je každý letokruh trochu jiný. Základním principem,

který umožňuje datování je měření šířky letokruhů, které probíhá ve směru růstu, tedy od středu kmene k obvodu. Výsledkem je letokruhov \acute{a} řada, které se v grafickém výstupu říká letokruhov \acute{a} křivka. Zvlášt \prime charakteristické tvary těchto křivek, zpravidla maxima a minima, se nazývají signatury. (Kyncl, 2017)

Při srovnání letokruhov \acute{y} ch křivek několika stromů téhož druhu rostoucích na stejném místě je zřejmé, že jsou téměř totožné. Z toho lze vyvodit, že tvorba letokruhů je sice ovlivněna individuálními růstovými podmínkami každého stromu, nicméně mnohem více letokruhy reflektují společné vlivy a změny charakteristické pro dané stanovišt \acute{e} . Neshodné části porovnávaných letokruhov \acute{y} ch křivek, způsobené jedinečností každého jedince, se označují jako šum. Ten se dá do značné míry eliminovat průměrováním šířek letokruhů v celém souboru stromů stejného druhu na daném stanovišti. Čím větší soubor, tím více je průměrná letokruhov \acute{a} křivka očišt \acute{e} na od šumu. (Kyncl, 2017)

Tímto způsobem lze postupovat o úroveň výše a získat tak průměrnou letokruhov \acute{a} křivku celé širší oblasti, která ješt \acute{e} více reflektuje to, co mají stromy daného druhu společné. Postupnou sumarizací velkého množství letokruhov \acute{y} ch křivek je sestavena standardní chronologie pro konkrétní dřevinu, oblast a časový rozsah. (Kyncl, 2017)

5.2.1 Metodika

Smysl druhotného datování

V letech 2003, 2005 a 2008 byl na krovu Juditiny věže proveden dendrochronologický průzkum Ing. Tomášem Kyncl \acute{e} m (viz soubor příloh 2; příloha 2.1). Odběry z původní konstrukce krovu byly datovány do let 1589/90. Také byla datován odběr z patní protězy jihovýchodní nárožní valbové krokve do roku 1607/08.

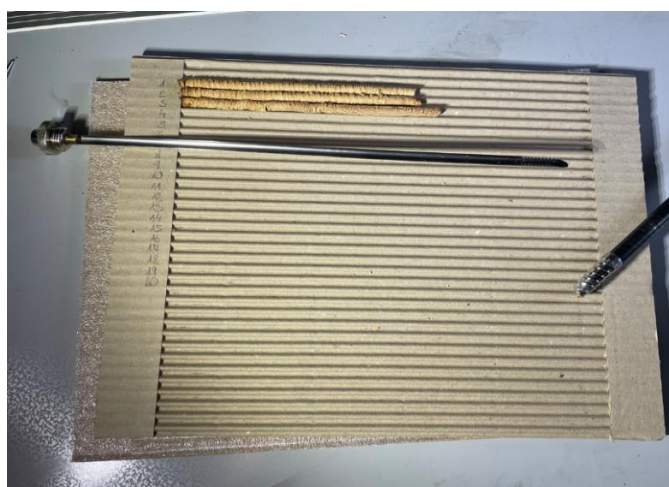
Hlavním cílem, krom \acute{e} osvojení si postupů dendrochronologického datování autorem práce, byla bližší identifikace stavebních etap a oprav. Z tohoto důvodu bylo odebráno celkem patnáct vzorků, především z protéz a kritických míst patní části krovu (námětky, hrázděné konstrukce vikýřů). Čtyři referenční vzorky byly odebrány z původní konstrukce jádra krovu pro porovnání s odběry Ing. Tomáše Kyncl \acute{a} a pro ověření datování krovu Juditiny věže.

Odběr vzorků

Vzorky byly odebrány „in situ“ pomocí Presslerova vrtáku (viz obrázek 5.2.1.1). Ze dřeva je kruhov \acute{y} m nožem vyříznut vývrt ve tvaru válce o průměru 5 mm. Vzniklý otvor má průměr 10 mm. V laboratoři se šířka letokruhů měří na ploše příčného řezu. Z tohoto důvodu musí být osa vrtání vedena v rovině kolmé na podélnou osu původního kmene, ze kterého byl dřevěný prvek vyroben. Z důvodu bezpečné přepravy se vzorky ukládají do desek. Ukládací plocha je tvořena vlnitou lepenkou (viz obrázek 5.2.1.2).



Obrázek 5.2.1.1: Odběr vzorku pro dendrochronologické datování pomocí Presslerova vrtáku.



Obrázek 5.2.1.2: Ukládání odebraných vzorků do přepravních desek.

Pro přesné určení roku skácení stromu je nutná přítomnost podkorního letokruhu (v tabulce označen zkratkou wk). Klíčový je tedy výběr místa odběru na trámu a také i výběr prvků pro datování. Důležité je proto hledat zbytky kůry a obliny na prvcích, tím lze nalézt vhodné místo odběru. Pokud takové místo není na prvku k dispozici, vzorek lze odebrat i bez podkorního letokruhu. V takovém případě se dá určit pouze část období, ve kterém strom rostl. V tabulce s výsledky se pak do kolonky datum skácení uvádí např. 1570+, tedy zdrojový strom byl pokácen někdy po roce 1570.

Odebrané vzorky by měly mít alespoň 50 letokruhů. To zajistí dostatečné překrytí porovnávaných letokruhových křivek (viz níže).

Příprava vzorků

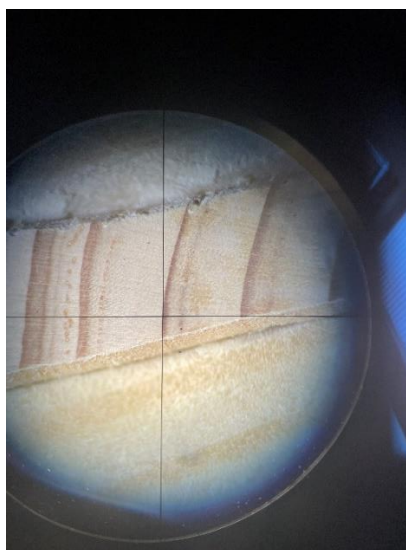
Odebrané vzorky byly vlepny do drážek dřevěných podložek tak, aby byl směr vláken kolmý na rovinu podložky. (viz obrázek 5.2.1.3) Toto je zvlášť důležitá operace, neboť přesné měření šířek letokruhů lze provést pouze na ploše příčného řezu. Po zaschnutí lepidla se zbrousí, případně i zahladí žiletkou plocha příčného řezu do roviny. Vzorky jsou připraveny na měření.



Obrázek 5.2.1.3: Příprava vzorků před měřením.

Měření v laboratoři

Připravené vzorky byly umístěny pod mikroskop na přesný měřicí stůl, který posílá signál do počítače. Každá šířka letokruhu je měřena zvlášť s přesností 0,01 mm pomocí zaměřovacího kříže v zorném poli mikroskopu (viz obrázek 5.2.1.4). obrázek Pravá ruka ovládá klíčku pro posun měřícího stolu, levá ruka myš měřícího systému. Kliknutím se do měřícího systému uloží data a následně vynuluje naměřená vzdálenost letokruhu. Proces je opakován, dokud nejsou změřeny všechny přítomné letokruhy na daném vzorku. Výsledkem je číselná řada, která je uložena do systému a pomocí specializovaného softwaru převedena na grafický výstup – letokruhovou křivku.



Obrázek 5.2.1.4: Pohled do mikroskopu během měření šířky letokruhů.

Konce vzorků bývají nekompaktní z důvodu drobení, případně neodborným provedením odběru. V takovém případě není možno změřit šířku rozpadlých letokruhů, je však možné určit jejich počet. Do tabulky se pak uvádí počet změřených letokruhů plus počet letokruhů, u kterých nebylo možno změřit jejich šířku (např. 50+6).

Určení druhu dřeviny

Pro porovnání zjištěných letokruhových křivek se standardní chronologií je nutné určit druh dřeviny. Určování probíhá pod mikroskopem na základě anatomických znaků mikrostruktury. Pro objektivní určení je důležité prozkoumat všechny tři řezy, tj. příčný, radiální a tangenciální. Ze změřených vzorků je proto dlátkem, či jiným vhodným nástrojem vymanipulována malá část, ze které jsou žiletkou odebrány tenké plátky z příslušných rovin. Ty jsou umístěny na podkladní sklo, překryty krycím sklíčkem a pokapány vodou z pipety. Vzorky lehce nabobtnají a anatomické znaky jsou tak zřetelnější.

Datování

Konečně je možné s pomocí specializovaného softwaru porovnat naměřené letokruhové křivky neznámého stáří se standardními chronologiemi daných dřevin. Tomuto procesu se říká křížové datování neboli synchronizace. Výsledkem je na rok přesné datum pokácení stromu použitého pro výrobu konstrukčního prvku, pokud je přítomen podkorní letokruh. To však nutně nemusí znamenat datum vzniku konstrukce, protože použité dřevo mohlo být nějakou dobu uskladněno. U konstrukcí z tesaného dřeva byla však prodleva mezi smýcením stromu a zabudováním do konstrukce minimalizována z technologických důvodů. Hlavním z nich je snazší opracovatelnost kulatiny tesáním v čerstvém stavu. Vázání konstrukce tesařskými spoji bylo prováděno téměř výhradně z mokrého dřeva a k vysušení docházelo až v zabudovaném stavu. Důvodem je eliminace ztrát vytesaných polotovarů vlivem deformací způsobených nerovnoměrným sesycháním.

Křížové datování osamělé letokruhové křivky s velmi obecnou standardní chronologií však zpravidla vykazuje určité rozdíly. Tyto neshodné části jsou způsobeny individuálními růstovými podmínkami každého stromu. Nicméně vzájemná podobnost je zřejmá především v extrémech – signaturách. Pouze tím však omyl založený na náhodné shodě nelze vyloučit.

Vzhledem k přítomnosti šumu je pro objektivní datování nutné provést ověření spolehlivosti datování. Ta závisí na délce společného úseku – překrytí porovnávaných křivek (50 letokruhů optimum) a na míře podobnosti jejich průběhu. Oba parametry se vyhodnocují pomocí statistické matematiky, konkrétně procentem souběžností a výpočtem hodnoty t-testu. Tyto statistické operace provádí specializovaný software automaticky. (Kyncl 2017)

„Všeobecně uznávaná dohoda stanoví, že za spolehlivé se pokládá datování, které možnost chybné datace způsobené náhodnou podobností letokruhových řad snižuje na hodnotu $\alpha \leq 0,0005$, tedy pravděpodobnost menší než 0,05 %. To znamená, že se požaduje statistická spolehlivost 99,95 %.“ (Kyncl, 2017, str. 132)

Z takto přísného požadavku vyplývá, že velké množství pravděpodobně správných datací podmínku spolehlivosti nesplní, což znamená, že mohou být považovány pouze za hypotézu.

Výsledky dendrochronologického datování vzorků odebraných z krovu Juditiny věže jsou dostupné v souboru příloh 2.

5.3 Endoskopie

Patří mezi semi-destruktivní metody diagnostikování dřevěných konstrukcí. Vhodně rozšiřuje možnosti a dosah vizuálního průzkumu. Pomocí této metody lze získat informace ze skrytých dutin nebo i větších nepřístupných prostorů.

„Pomocí endoskopu lze vizuálně posuzovat biotické poškození dřeva, dále je možné odhadovat vývojové stádium hub, změny barvy, zborcení, povrchový nebo kostkovitý rozklad a mechanické poškození“. (Heřmánková a kol., 2011, str. 92)

Pro přesné určení druhu dřevokazné houby, či hmyzu je však nutný odběr vzorku, který se podrobí laboratorní analýze. V dnešní době již však existují endoskopy, které dokážou odebrat vzorek během průzkumu.

Endoskop se skládá ze zdrojové jednotky, na které je umístěn ovládací panel s displejem. Do zdrojové jednotky je zapojen pružný kabel, na jehož konci se nachází mikrokamera se světlem. Přístroj přenáší obraz z mikrokamery na displej panelu. Záznam je možné uložit ve formě videosouboru, případně pořídit snímek obrazovky. Soubory jsou následně importovány do počítače.

5.3.1 Metodika

Průzkum pomocí endoskopu byl proveden na zhlaví dvou stropních trámů (I a II) a jednom vazném trámu vazby VII. Z původní konstrukce roštu krovu se dochovaly pouze tyto tři. Z tohoto důvodu bylo nutné zjistit stav jejich zhlaví na obou koncích pro budoucí sanační zásahy. Dále bylo zkoumáno krátce jihovýchodní valbové nárožní krokve a vnitřní jižní pozednice nacházející se pod ním. Stav těchto prvků bylo možné diagnostikovat až v březnu 2023 kdy byly provedeny pásové sondy do podlahy podkroví.

V každém prvku byly předvrtány zpravidla dva otvory o průměru 8 mm. Osa vrtání byla vedena pod takovým úhlem, aby protнула čelo trámu. U krátčete byla osa vrtu vedena kolmo dolů tak, aby prošla pozednicí pod ním. Během měření je také možné využívat různé štěrby apod. bez nutnosti vrtání otvorů.



Obrázek 5.3.1.1: Předvrtání otvoru pro endoskop.

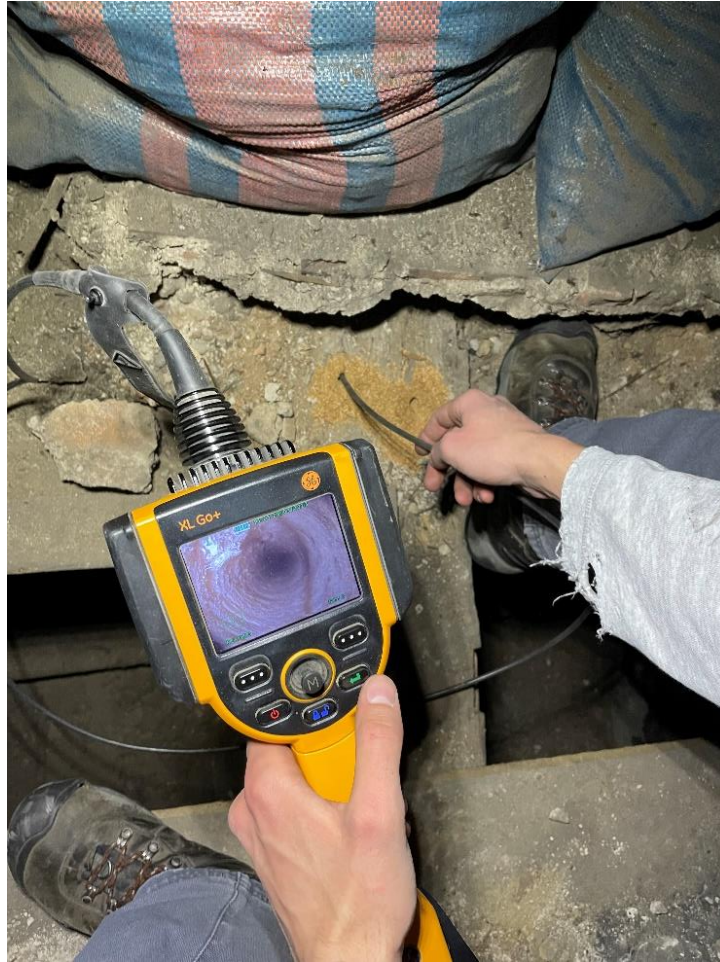
Již během vrtání je možné získat představu o vnitřním stavu prvku díky struktuře a zbarvení vznikajících pilin:

Hodnocení stavu podle pilin

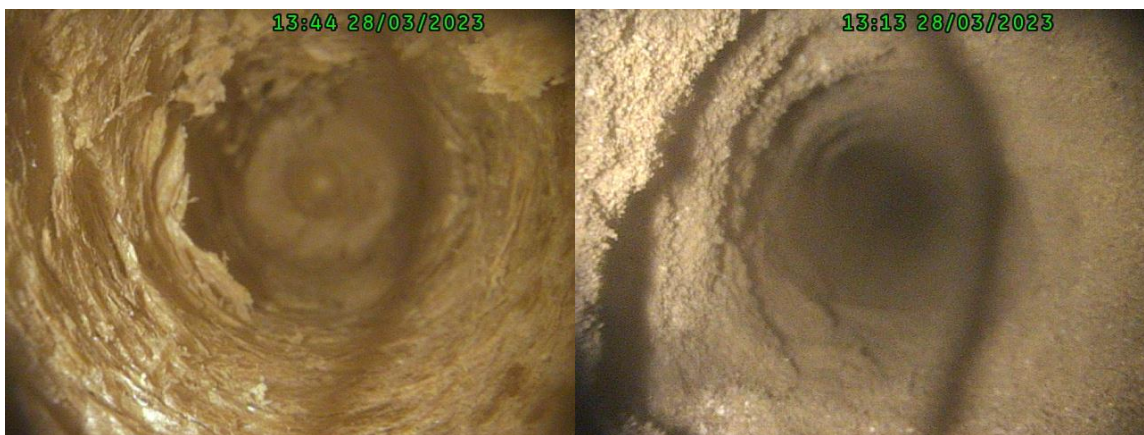
- **1** (zdravé dřevo): celistvé piliny, barva zdravé dřeviny, zřetelně čitelná struktura, žádné znaky napadení škůdců;
- **2** (prvky v dobrém stavu s malým biotickým poškozením): piliny jsou kratší, ale celistvé, zbarvení zdravé dřeviny s čitelnou texturou dřeva, malé množství změny barvy nebo otvorů dřevokazného hmyzu;
- **3** (prvky s výraznějším biotickým poškozením): piliny jsou malé, barva neodpovídající zdravému dřevu;
- **4** (prvky výrazně poškozeny biotickými vlivy – havarijní stav): piliny drobné až prachovité, zbarvení velmi výrazné oproti zdravému dřevu.

Do předpřipravených otvorů je následně zasunut pružný kabel s mikrokamerou o průměru 6 mm. Z každého otvoru se pořídí nejčastěji tři digitální snímky v různých hloubkách vrtu. Na základě těchto snímků se vyvozují závěry o stavu zhlaví a verdikt je i s číslováním snímků zapsán do diagnostické tabulky.

Pro relevantní hodnocení jsou nutné odborné znalosti a praxe v oboru. Z tohoto důvodu bylo měření prováděno za přítomnosti vedoucího práce Ing. Michala Kloibera, Ph.D. Výsledky endoskopie jsou společně s výsledky odporového mikrovrtání dostupné v souboru příloh 3.



Obrázek 5.3.1.2: Hodnocení vnitřního stavu prvku pomocí endoskopu.



Obrázky 5.3.1.3 a 5.3.1.4: Porovnání snímků z mikrokamery endoskopu. Zdravé dřevo (vlevo). Dřevo zcela zničené biotickým poškozením (vpravo).

5.4 Odporové mikrovrtání

Řadí se mezi semi-destruktivní metody diagnostiky, která se používá při stavebně technickém průzkumu dřevěných konstrukcí. Odhaluje vlastnosti vnitřní struktury zkoumaného prvku. Princip je založen na měření odporu vůči vrtáku s průměrem 1,5 - 3,0 mm. Speciální teleskop zajišťuje stabilitu vřetena vrtáku uvnitř vrtacího zařízení – Resistographu (viz obrázek 5.4.1), měřícího energii, která je potřebná k udržení konstantní rychlosti vrtáku při průchodu materiálem. (Heřmánková a kol., 2011)

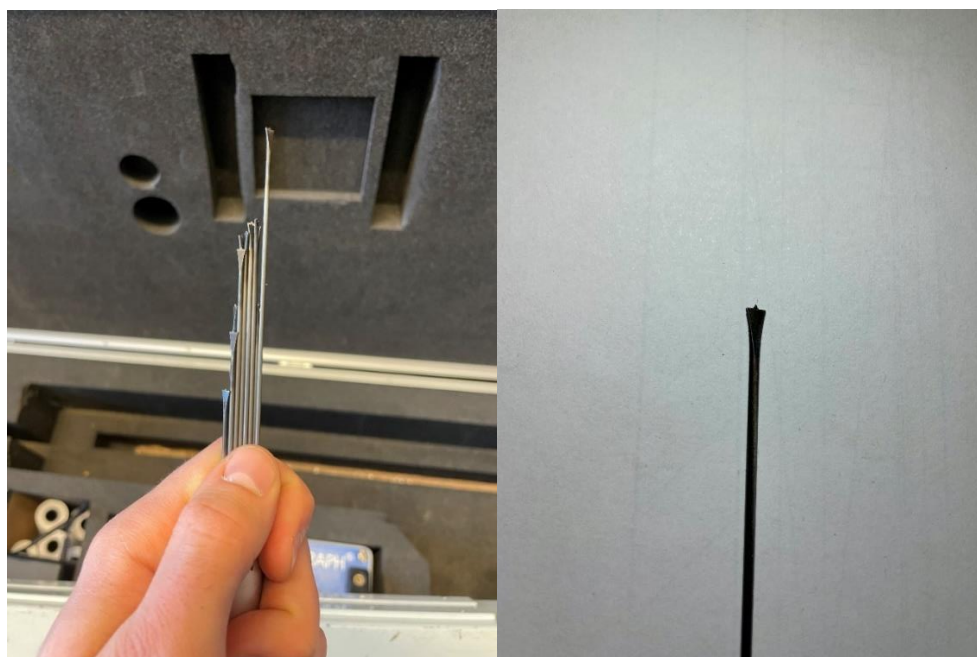
Hmotnost přístroje se pohybuje okolo 3 kg v závislosti na výrobci. Díky lehké váze je Resistograph vhodný pro měření v terénu neboli „in situ“. Zařízení má dva elektrické motory, které jsou napájeny z dobíjecí baterie (viz obrázek). První motor zajišťuje konstantní posun 30 cm × min⁻¹. Druhý zajišťuje neměnnou rychlost vrtání 6000 ot × min⁻¹. Wolframové vrtáky s ocelovým symetrickým hrotem mají specifickou úhlovou geometrii (viz obrázky). Odpor vrtáku je soustředěn v ocelové špičce, která má větší průměr než dřík, čímž se snižuje nežádoucí tření vrtáku v hlubších vrstvách materiálu. (Heřmánková a kol., 2011)



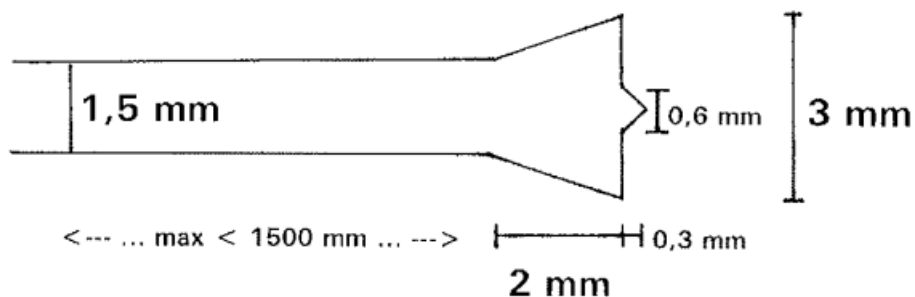
Obrázek 5.4.1: Resistograph 4453-S od firmy RINNTECH se všemi komponenty.



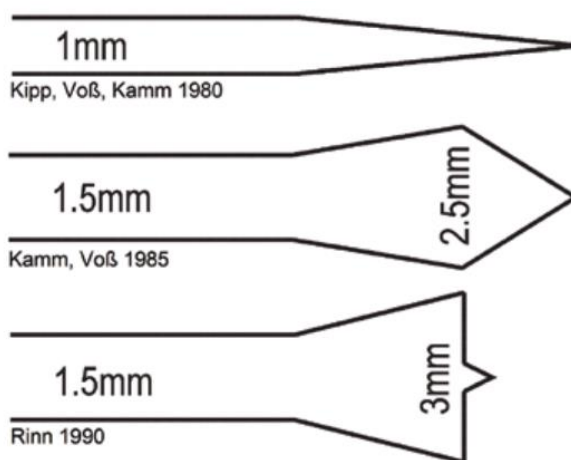
Obrázek 5.4.2: Dobíjecí agregát s baterií, paměťovou kartou a integrovanou termotiskárnou.



Obrázky 5.4.3 a 5.4.4: Náhradní vrtáky.

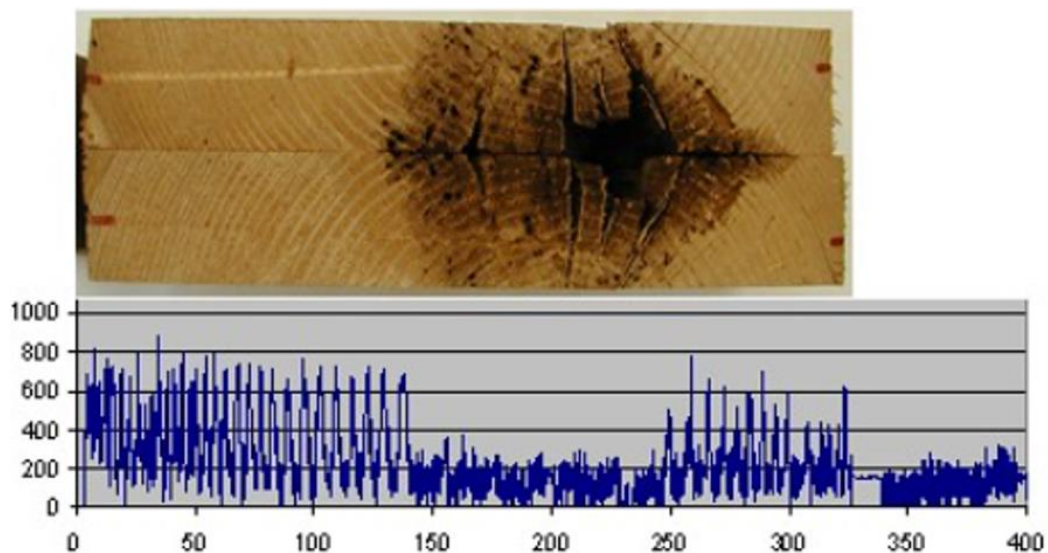


Obrázek 5.4.5: Úhlová geometrie vrtáku.
Zdroj: Rinn a kol., 1996



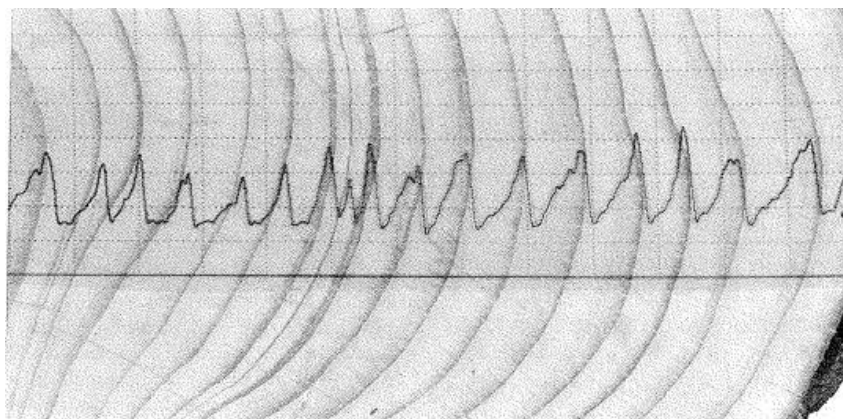
Obrázek 5.4.6: Optimalizace tvaru vrtáku v průběhu technologického vývoje odporového mikrovrtání.
Zdroj: Rinn, 2014

Výstupem je grafický záznam (dendrogram), který reprezentuje profil spotřeby energie neboli relativní odpor (viz obrázek 5.4.7). Osa y reprezentuje spotřebovanou energii potřebnou pro udržení konstantní rychlosti vrtání. Na ose x je znázorněna hloubka vrtání. Vrcholy v dendrogramu odpovídají vyšší hustotě dřeva, nižší body odpovídají snížené hustotě, která naznačuje určité poškození, dutiny, trhliny apod. Záznam je ihned po ukončení vrtání vytisknut integrovanou termotiskárnou na papírovou pásku a také digitálně uložen do flash paměti, která je umístěna u baterie. Pro přehled o stavu poškození konkrétního prvku je vhodné provést měření na několika místech (Heřmánková a kol. 2011).

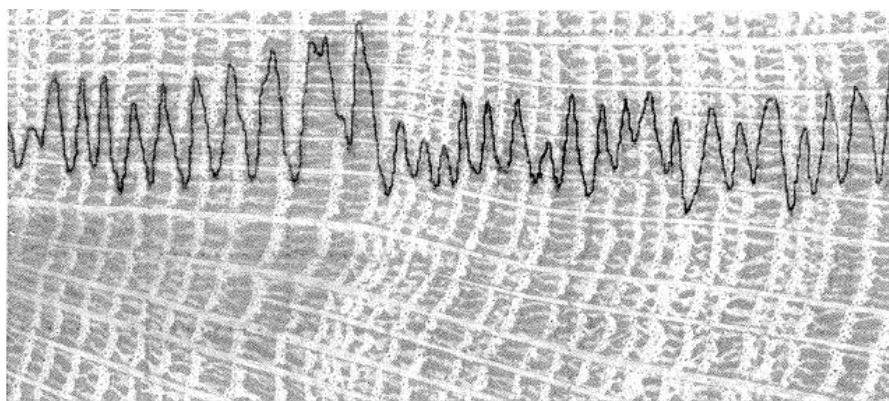


Obrázek 5.4.7: Digitální grafický výstup naznačující snížení odporu dřeva vlivem hniloby.
Zdroj: Heřmánková a kol., 2011

Rozdílný průběh křivky dendrogramu můžeme pozorovat jednak u dřeva napadeného dřevokaznými houbami nebo hmyzem, ale také u dřeva listnatého a jehličnatého. Tato skutečnost vyplývá z rozdílné anatomické stavby těchto skupin. Určitá specifika vykazují i konkrétní druhy dřevin.



Obrázek 5.4.8: Hustotní profil smrku ztepilého.
Zdroj: Rinn a kol., 1996



Obrázek 5.4.9: Hustotní profil dubu letního.
Zdroj: Rinn a kol., 1996

5.4.1 Metodika

Pomocí odporového mikrovrtání byly rozšířeny výsledky o stavu prvků získaných při průzkumu endoskopem. Soubor měřených prvků byl rozšířen o patní část jihovýchodní valbové nárožní krokve, do které se šíří nákaza z krátkčete, do kterého je začepována. Dále byl měřen hambalek vazby VII v první úrovni na západní straně, který je silně poškozen hnilobou. Měření byla podrobena také vaznice v okolí styku s tímto hambalkem.

U každého prvku byly provedeny zpravidla dva vrty. První byl veden v místě co nejbližší u líce zdiva, případně v blízkosti konce viditelného poškození. Druhý v optimální vzdálenosti 500 mm od prvního. Tuto vzdálenost však nebylo možno dodržet u trámů patního roštu na východní straně z důvodu překážejícího záklopu, který nebyl v době měření dostatečně odkrytý.



Obrázek 5.4.1.1: Měření poškozeného prvku pomocí Resistographu.

Z důvodu možnosti zkreslení výsledků je vhodné provádět odporové mikrovrtání pouze v radiálním směru. Při čelním, či tangenciálním vrtání má vrták tendenci stáčet se do zóny měkkého jarního dřeva. To je způsobeno především malou ohybovou tuhostí vrtáku, díky jeho malému průměru. Trajektorie vrtání poté vykazuje odchylky od předpokládaného směru měření, které nepříznivě ovlivňují celkové výsledky. Měkké jarní dřevo klade menší odpor, a tudíž vykazuje horší vlastnosti, než jaké jsou ve skutečnosti. Ostrost vrtáku je také důležitým faktorem ovlivňujícím přesnost měření. „Jeden vrták je možné použít přibližně na 300 vrtání“ (Rinn, 1994).

Dále je nutné brát v potaz, že Resistograph poskytuje pouze lokální informace. Je proto vhodné kombinovat odporové mikrovrtání s dalšími diagnostickými metodami. Stejně jako ostatní nedestruktivní a semi-destruktivní metody je odporové mikrovrtání závislé na vlhkosti dřeva (Heřmánková a kol. 2011).

Výhody

1. Okamžitá interpretace výsledků na základě grafického výstupu přímo v terénu.
2. Jednoduché ukládání naměřených digitálních dat, se kterými lze následně pracovat v laboratoři.
3. Relativně přesné určení vnitřního stavu prvku.

Nevýhody

1. Nutnost vrtání v čistě radiálním směru. V jiných případech dochází k výraznému ovlivnění výsledků.
2. Velikost přístroje vyžaduje dostatek prostoru pro optimální měření. Problematickými místy mohou být např. zhlaví trámů a krokví.
3. Časová náročnost měření.

Důležitým ukazatelem, který umožňuje porovnat výsledky odporového mikrovrtání s hustotou a dalšími vlastnostmi dřeva je odporová charakteristika. Je definována takto:

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

RM = odporová charakteristika (Resistance Measure) [mm]

S = plocha pod křivkou [mm²]

h = délka měřeného úseku [mm]

Zdroj: (Kloiber, Drdácký, 2015)

V diagnostické tabulce s výsledky měření se uvádí její hodnota pro celkový přehled o stavu prvku. Diagnostická tabulka a výsledky dílčích měření jednotlivých prvků se nachází v souboru příloh 3.

6 Výsledky

6.1 Doplnění informací o konstrukci krovu

Na základě průzkumu sond provedených v březnu 2023 bylo možné podrobněji analyzovat základový rošt krovu a stropní konstrukci nad nejvyšším podlažím. Bylo zjištěno, že konstrukci základového roštu původně tvořilo deset trámů orientovaných ve směru západ – východ, podepřených průvlakem. Pohledové trámy zdobené okosením byly zakryty záklopem ze širokých prken. Spáry byly kryty pohledovými lištami s okosením. Tyto trámy byly uloženy na pozednicový věnec a zhlaví byla následně zazděna až po úroveň horní plochy trámů. Některé z těchto prvků měly zároveň funkci vazných trámů krovu. Do přízedních trámů byla začepována krátkata jižní a severní valby.

Bylo zjištěno, že sedm z těchto trámů (č. III-VI, VIII-X) je nahrazeno novými prvky ze strojně řezaného smrkového dřeva. Zhlaví těchto trámů byla zkrácena cca 250 mm za líc stěny. Trámy č. I, II a VII jsou z původního dřeva. Pravděpodobně však byly demontovány a po zaříznutí zničených zhlaví znovu sesazeny ze dvou částí spojených nad průvlakem (viz soubor příloh 1; obrázek 1.27). Spoj je proveden natupo a zajištěn kramlí. Otevřené kapsy za zkráceným zhlavím byly zazděny včetně odhalené části pozednice (viz soubor příloh 1; obrázek 1.13). Pohledová stropní konstrukce byla v období baroka zakryta níže uloženým omítaným podhledem.

Z uvedených zjištění je zřejmé, že konstrukce základového roštu byla při opravě ve 20. století kompletně rozkryta. Tato informace umožní zpřesnit příslušné části stavebně – historického průzkumu (viz diskuse).

6.1.1 Nově zjištěné poruchy

Do přízedních trámů základového roštu (č. I a X), byla původně zakotvena krátkata valeb. Vzhledem k tomu, že tyto trámy byly při opravě ve 20. století nahrazeny, došlo k odstranění spojů krátkat. Následkem toho nejsou nárožní krokve valeb spojeny s konstrukcí roštu. Vodorovná síla vyvozovaná těmito prvky není zajištěna.

Do většiny zhlaví nově vložených stropních trámů se rozšířila nákaza z pravděpodobně zcela zničených zazděných pozednic. Míru poškození jižní vnitřní pozednice bylo možné posoudit ve dvou kapsách objevených pod původním rostem krovu (viz soubor příloh 3; přílohy 3.1 a 3.5).

Plná vazba VII v okolí vaznice 1. úrovně na západní straně je v havarijním stavu, který nebyl při poslední opravě náležitě sanován. Zhlaví hambalku, které nese ležatý sloupek 2. úrovně krovu, je významně poškozeno hnilobou a spojení pomocí čepu bylo odstraněno z důvodu neodborného dvojitého protézování krokve (viz soubor příloh 3; přílohy 3.1 a 3.9).

6.2 Projekční část

6.2.1 Architektonické zaměření prvků ležatých stolic

Na základě měření v terénu byla zhotovena podrobná výkresová dokumentace vazeb ležatých stolic v programu autocad v měřítku 1:50. Toto zaměření posloužilo k upřesnění výrazných poklesů jednotlivých vazeb a přispělo k poznání prostorových deformací krovu. Výsledky zaměření byly použity pro geometrickou analýzu krovu a následně budou použity jako podklad pro vypracování prováděcí dokumentace opravy krovu Juditiny věže.

6.2.2 Geometrická analýza a rekonstrukce ideálního tvaru krovu

S pomocí již existujícího geodetického zaměření (Černý, Veselý, 2011) doplněného o architektonické zaměření se podařilo ve spolupráci s projekční kanceláří Ing. Víta Mlázovského úspěšně analyzovat původní geometrickou ideu, na základě které byl krov navržen.

Tato idea byla aplikována na skutečné rozměry krovu Juditiny věže a ideální tvar byl porovnán s tvarem současným. Z takto ověřené tvarové studie byla vypracována dokumentace ideálního tvaru krovu ve 2D v programu autocad. Tyto podklady byly použity pro vytvoření ideálního 3D modelu krovu v programu SEMA.

6.2.3 Zaměření a analýza vybraných spojů

Zaměřeny byly spoje konstrukčních prvků ležatých stolic. Na základě zaměření byla vytvořena výkresová dokumentace v programu autocad v měřítku 1:20.

6.3 Výsledky diagnostiky

6.3.1 Dendrochronologie

V rámci bližší identifikace značného množství stavebních etap a oprav, které renesanční krov Juditiny věže v průběhu svojí existence prodělal, byly z vybraných konstrukčních prvků odebrány vzorky pro dendrochronologické datování. Celkem patnáct vzorků bylo odebráno z konstrukcí námětků, hrázděných vikýřů a protéz krokví a sloupků ležatých stolic. Čtyři referenční vzorky byly odebrány z původní konstrukce jádra krovu pro porovnání s odběry Ing. Tomáše Kyncla a pro ověření prvního datování krovu Juditiny věže. V laboratoři byl určen druh dřeviny každého vzorku na základě anatomických znaků makro i mikrostruktury. Následně byly vzorky datovány. Bohužel se podařilo odatovat pouze čtyři z původních patnácti vzorků, z čehož tři byly referenční. U těchto tří bylo možné sestavit průměrnou letokruhovou křivku a datovat ji do roku 1590, čímž byla ověřena původní datace. Dále se povedlo datovat vzorek odebraný z dubové protězy východní nárožní krokve vazby III. U vzorku však nebyl přítomen podkorní letokruh, takže zdrojový strom byl pokácen někdy po roce 1570 (viz soubor příloh 2).

6.3.2 Endoskopie a odporové mikrovrtání

V rámci diagnostiky krovu Juditiny věže byl proveden vizuální průzkum, který přinesl následující zjištění: Díky velkému sklonu střechy je horní část krovu i po staletích ve velmi dobrém stavu. Kritická místa konstrukce se nacházejí v patní části. Vysokou míru poškození vykazují prvky v kontaktu se zdívem a místa do kterých zatéká skrze porušenou střešní krytinu

(zpravidla námětkové plochy s malým sklonem). Zvýšená vlhkost konstrukčních prvků způsobila rozvoj mnoha biotických škůdců. Konkrétní druhy byly identifikovány na základě vizuálního hodnocení. Detailnější průzkum vybraných napadených prvků byl proveden pomocí dvou semi-destruktivních diagnostických metod. Vhodní kandidáti pro bližší diagnostiku byli zvoleni na základě památkové hodnoty a míry poškození. První užitou metodou bylo zhodnocení vnitřního stavu poškozených prvků, především zhlaví původních stropních a vazných trámů, pomocí endoskopu. Druhou užitou metodou bylo odporové mikrovrtání, které vhodně doplňuje endoskopický průzkum, neboť vymezuje rozsah poškození. Až na pár výjimek byly u vybraných prvků použity obě metody diagnostiky. Výstupy z obou měření byly sjednoceny do společného přehledu o stavu zkoumaných prvků (viz soubor příloh 3).

Z diagnostické tabulky níže je patrné, že naprostá většina měřených prvků je významně poškozena působením biotických škůdců. Tyto prvky vyžadují sanační zásah.

Juditina věž - 1.úroveň krovu									
Orientace	Název prvku	profil prvku		Mikrovrtání				Druh poškození	stupeň poškození
		šířka	výška	1.graf	2.graf	1.RM	2.RM		
		(mm)	(mm)						
východ	stropní trám I	220	250	5461	5462	167,6	271,4*	H	2-3
	stropní trám II	200	260	5457	5458	183,7	175,1	H	2
	vazný trám VII	180	240	5449	5450	131,0	134,6	H+Č	3-4
	jižní valbová nárožní krokev	170	250 (P)	5467	x	170,6*	x	H+Č	3-4
	krátče (tamtéž)	170	240	5468	x	193,5	x	H+Č	3
	jižní pozednice (tamtéž)	220	170	x	x	x	x	H+Č	4
západ	stropní trám I	200	260	5465	5466	152,0	148,2	H+Č	2-3
	stropní trám II	200	260	5463	5464	78,7	191,1*	H+Č	4
	vazný trám VII	180	240	5453	5454	160,5	194,0	x	1
	hambalek vazby VII	160	210	5485-	5487	148,8	186,8	H+Č	4
	vaznice (tamtéž)	x	205	5488-	5490	184,4	182,3	H	2

Tabulka 6.3.1: Zhodnocení stavu měřených prvků. Identifikace druhu poškození: H = prvek napaden dřevokaznou houbou, Č = prvek napaden červotočem. Stupeň poškození: 1 = zdravé dřevo, 2 = malé poškození, 3 = významné poškození, 4 = úplná destrukce prvku.

7 Diskuse

7.1 Stanovení nové hypotézy o historických opravách krovu

Veselý a kol. (2011) uvádí, že zásadní oprava spodní části krovu proběhla v roce 1924. Na základě průzkumu sond, které neměl zpracovatel SHP k dispozici, navrhuje autor této práce posunout dataci této opravy do 60. let 20. století, kdy proběhla výměna střešní krytiny. Nová hypotéza předpokládá, že protězy prvků patní části krovu byly provedeny ve stavební etapě 1924 a oprava stropní konstrukce – podřínutí krovu a jeho osazení na nový rošt v 60. letech.

Pro dataci protéz patní části krovu do 20. let 20. století svědčí povrchová úprava a barva dřeva těchto protéz a tvarosloví kovových spojovacích prostředků. Řemeslná kvalita provedení protéz je také výrazně lepší než kvalita nového roštu.

Důvody pro datování nového patního roštu a opravy stropu do 60. let 20. století jsou tyto: Porovnáním povrchu a zbarvení patních protéz se stropními trámy lze vyvodit, že byly opracovány odlišnou technologií. Mlázovský (2012) uvádí, že protězy sloupků a krokví s novým vazným trámem jsou spojeny pouze mělkým zapuštěním bez čepu, zajištěným kramlí. Tato informace podporuje hypotézu o dvou různých stavebních etapách, protože zhotovení protéz s kvalitním plátovým spojem na horním konci a bez čepu na dolním konci nedává smysl. Mělké zapuštění svědčí o nasazení nového vazného trámu z boku, pod již přítomnou zkrácenou protézu.

7.2 Nově zjištěné poruchy

Veselý a kol. (2011) v závěru SHP uvádí: „Krovová konstrukce nevykazuje zjevných aktivních poruch.“ Dle názoru autora bakalářské práce je toto tvrzení, na základě nových zjištění, zavádějící, protože stav některých částí krovu lze označit za havarijní.

7.3 Architektonické zaměření prvků ležatých stolic

Zaměření prvků ležatých stolic bylo provedeno poměrně primitivními postupy. Zvláště použití olovnice ke stanovení přesného sklonu střešních rovin vzbuzuje nedůvěru. Přesnost dosažených výsledků porovnaných ve styčných bodech s geodetickým zaměřením však překvapila samotného autora. Je zřejmé, že nejlepšího výsledku by bylo dosaženo při použití 3D skeneru. Zajistit takto pokročilou technologii se však autorovi práce z finančních důvodů nepodařilo.

7.4 Geometrická analýza a rekonstrukce tvaru krovu

Je zřejmé, že nejriskantnějším cílem práce byla rekonstrukce původního ideového tvaru krovu na základě geometrické analýzy s využitím historických geometrických postupů. Negativní výsledek by nutně vedl ke změně priorit práce. Řada geometrických analýz významných památkových objektů nevedla k uspokojivému výsledku. V případě zkoumaného krovu Juditiny věže byla vstupní data natolik kvalitně zpracovaná, že se s vysokou pravděpodobností podařilo původní geometrickou ideu zrekonstruovat. Z porovnání ideálního

tvaru půdorysu a řezu se skutečnou konstrukcí jsou patrné rozměrové rozdíly. Například výška hřebene vykazuje chybu 195 mm tj. 1,4% výšky střechy.

Tuto chybu lze zdůvodnit částečným poklesem vazby VIII, seschnutím vodorovných prvků vazby a dotvarováním konstrukce po jejím vztyčení vlivem zatížení spojů vlastní vahou konstrukce a střešního pláště. Předpokládat lze též chyby při vytyčování a výrobě vazeb na tesárně. Připustit je nutné též chyby ve vstupních datech geometrické analýzy, které významně ovlivňují výsledný tvar. Jedná se především o optimalizaci úhlu ideového kosodélníku (87 °) a volbu původní výšky vaznice (valbová polovazba VIII). V neposlední řadě je výsledek analýzy ovlivněn nepřesnostmi geodetického i architektonického zaměření.

7.5 Zaměření a analýza vybraných spojů

Současný trend ve zkoumání velkých středověkých a barokních krovů se zaměřuje na zkoumání postupu vztyčování konstrukce. Dochází k ocenění těchto krovů jako významných technických památek, jejichž výroba a vztyčování bez použití moderní techniky nás uvádí v úžas. Zvláště pak postup montáže krovů věží je vzhledem k jejich výšce a omezené ploše půdorysu věže hodný pozornosti. Je zřejmé, že uvedené postupy jsou přímo závislé na použití konkrétních tesařských spojů. Odborné literatury, která se věnuje krovům věží je v celém světě minimum. Výzkum a analýza spojů patří k moderním postupům v průzkumech památkových objektů.

7.6 Dendrochronologie

Bližší informace o stavebních etapách a opravách se získat nepodařilo, dendrochronologické datování nesplnilo cíle práce, protože většina vzorků neměla dostatečný počet letokruhů pro spolehlivou dataci, část vzorků se rozpadla a část byla znehodnocena neodbornou přípravou vzorků před měřením.

7.7 Použité diagnostické metody

Diagnostika dřevěných konstrukcí je u nás na vysoké úrovni a věnuje se jí celá řada odborníků i pracovišť (například ÚTAM AV ČR). K tématu existuje kvalitní odborná literatura. Použité diagnostické metody endoskopie a odporového mikrovrtání jsou v praxi používané již dlouhou dobu a postupy jsou standardizované. Autor práce se při diagnostice krovu Juditiny věže řídil obecně používanými postupy.

8 Závěr

Hlavní výsledky této bakalářské práce jsou následující:

- Na základě průzkumu provedených sond byly doplněny informace o základovém roštu krovu a stropní konstrukci nad nejvyšším podlažím. Dále byly popsány nově zjištěné poruchy dřevěných prvků konstrukce.
- Bylo provedeno architektonické zaměření prvků ležatých stolic krovu.
- Podařilo se rekonstruovat původní geometrickou ideu tvaru krovu.
- Bylo provedeno zaměření a analýza vybraných spojů ležaté stolice krovu.
- Na několika vzorcích bylo potvrzeno dendrochronologické datování stavby krovu.
- Na základě vizuálního průzkumu a diagnostických metod endoskopie a odporového mikrovrtání bylo provedeno posouzení stavu vybraných prvků konstrukce krovu.

Stanovené cíle se podařilo naplnit a hypotézy potvrdit, s výjimkou dendrochronologického datování, které vlivem chyb při zpracování vzorků nepřineslo očekávané výsledky.

Za jedinečný přínos této práce k problematice výzkumu historických krovů lze označit úspěšnou geometrickou analýzu konstrukce, na základě které byla rekonstruována původní geometrická idea návrhu krovu.

Dosažené výsledky jsou využitelné v praxi. Výsledky projekční části této práce mají z hlediska praxe největší přínos pro budoucí akce, týkající se krovu Juditiny věže. Zhotovené dokumenty poslouží jako podklad k diskusi projekčního týmu s pracovníky památkové péče o způsobu budoucí opravy krovu, k doplnění archivní dokumentace správce objektu MČ Praha 1 a Národního památkového ústavu, dále pro vypracování prováděcí dokumentace opravy krovu.

Zaměření a analýza spojů rozšíří poznání o vývoji konstrukčního systému ležaté stolice na našem území a způsobu vztyčování renesančních krovů.

Průzkum krovu přinesl následující zjištění: Díky velkému sklonu střechy je horní část krovu i po staletích ve velmi dobrém stavu. Kritická místa konstrukce se nacházejí v patní části, která díky zatékání skrze porušenou krytinu námětkových ploch, kontaktu dřevěných prvků se zdivem a poměrně vysoké vlastní váze krovu a střechy vykazuje značné poruchy, nejčastěji v souvislosti s působením biotických škůdců. Nejvíce poškozené konstrukční prvky byly diagnostikovány pomocí dvou semi-destruktivních metod; endoskopie a odporové mikrovrtání. Výsledky, byť pouze malého souboru diagnostikovaných prvků, jednoznačně poukazují na nutnost sanačního zásahu. dendrochronologické datování prvků protéz patní části krovu, prvků nového základového roštu a stropní konstrukce. Výsledky diagnostické části této práce budou zahrnuty do celkové diagnostiky krovu, která bude následovat.

Z této práce vyplývají náměty pro další výzkum a projekční práce:

- Provedení dendrochronologického datování prvků protéz patní části krovu, prvků nového základového roštu a stropní konstrukce, pro upřesnění jednotlivých stavebních etap historických oprav krovu.
- Vypracování studie postupu vztyčování renesančního krovu Juditiny věže.

9 Seznam literatury a použitých zdrojů

BLÁHA, Jiří a Michal KLOIBER. Diagnostické metody pro hodnocení dřevěných konstrukcí in situ. *Asb-portal.cz* [online]. 2008 [cit. 2022-12-02]. Dostupné z: <https://www.asb-portal.cz/architektura/rodinne-domy/drevostavby/diagnosticke-metody-pro-hodnoceni-drevenych-konstrukci-in-situ>

ČERNÝ, Martin, Tomáš VYLETA, Jan KOPECKÝ a Jan VESELÝ. *Geodetické zaměření stávajícího stavu Juditiny věže Karlova mostu*. Praha, 2011. Nepublikováno, Archiv Atelier KAVA spol. s.r.o.

HEŘMÁNKOVÁ, Věra, Michal KLOIBER, Jan TIPPNER a Ondřej ANTON. Diagnostické metody pro hodnocení konstrukčního dřeva. In: *Konference Zkoušení a jakost ve stavebnictví: sborník recenzovaných příspěvků konference*. Brno: VUT v Brně, 2011. s. 77-95. ISBN: 978-80-214-4338-9

KAVA spol. s.r.o. *Rekonstrukce objektu na parcele 231 (Juditina věž), Praha 1 – Malá Strana, Mostecká ulice: Návrh stavby - studie*. Praha, 2016. Nepublikováno, Archiv Atelier KAVA spol. s.r.o.

KAVA spol. s.r.o. a Vít MLÁZOVSKÝ. *Rekonstrukce objektu na parcele 231 Juditina věž, Praha 1, Malá Strana, Mostecká ulice: Doplnující průzkumy a vyhodnocení sond pro projektovou dokumentaci pro vydání stavebního povolení*. Praha, 2018. Nepublikováno, Archiv Atelier KAVA spol. s.r.o.

KAVA spol. s.r.o. a Vít MLÁZOVSKÝ. *Rekonstrukce objektu na parcele 231 Juditina věž, Praha 1, Malá Strana, Mostecká ulice: Statický průzkum*. Praha, 2012. Nepublikováno, Archiv Atelier KAVA spol. s.r.o.

KAVA spol. s.r.o. a Vít MLÁZOVSKÝ. *Rekonstrukce objektu na parcele 231 (Juditina věž), Praha 1, Malá Strana, Mostecká ulice: Projekt sond*. Praha, 2011. Nepublikováno, Archiv Atelier KAVA spol. s.r.o.

KAVA spol. s.r.o. a Vít MLÁZOVSKÝ. *Rekonstrukce objektu na parcele 231 Juditina věž, Praha 1, Malá Strana, Mostecká ulice: Stavebně-technický průzkum*. Praha, 2012. Nepublikováno, Archiv Atelier KAVA spol. s.r.o.

KLOIBER, Michal a Jiří BLÁHA. Nedestruktivní identifikace poškození dřevěných nosných konstrukcí u památkově chráněných objektů. In: *Drevoznehodnocující huby 2005: zborník vedeckých a odborných prác zo 4. medzinárodného sympózia*. Slovensko: Zvolen-Kováčová, 2005. s. 69-75. ISBN: 80-228-1535-7

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

KLOIBER, Michal a Mária KOTLÍNOVÁ. Nedestruktivní defektoskopické přístroje používané při provádění stavebně technických průzkumů historických dřevěných konstrukcí. *tzb-info.cz* [online]. 2010 [cit. 2022-12-02]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/drevostavby/6295-nedestruktivni-defektoskopicke-pristroje-pouzivane-pri-provadeni-stavebne-technicky-pruzkumu-historicky-drevenych-konstrukci>

- KYNCL, Josef. *Letokruhy jako kalendář i záznamník: zajímavosti z dendrochronologie*. Praha: Grada Publishing, 2017. ISBN 978-80-271-0198-6.
- KYNCL, Tomáš. *Závěrečná zpráva z dendrochronologického datování dřevěných konstrukcí Malé (jižní) věže Karlova mostu*. Brno, 2005. Nepublikováno, Archiv Atelier KAVA spol. s.r.o.
- KYNCL, Tomáš. *Závěrečná zpráva z dendrochronologického datování dřevěných konstrukcí Malé (jižní) věže Karlova mostu*. Brno, 2008. Nepublikováno, Archiv Atelier KAVA spol. s.r.o.
- RINN, Frank.: *Catalogue of relative density profiles of trees, poles and timber derived from Resistograph® microdrillings* [online]. 9th International Symposium on Non-destructive Testing. Madison, USA, 1994 s. 61–67 [cit. 2022-15-02]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/303073205_Catalogue_of_relative_density_profiles_of_trees_poles_and_timber_derived_from_ResistographR_microdrillings_9th_International_Symposium_on_Non-destructive_Testing
- RINN, Frank.: *Typical Trends in Resistance Drilling Profiles of Trees* [online]. Atlanta, USA: ARBORIST NEWS, 2014. s. 42-47 [cit. 2022-12-02]. Dostupné z: <https://www.ias.hk/wp-content/uploads/2016/04/Rinn-Typical-Trends-in-Resistance-Drilling-Profiles-of-Trees.pdf>
- RINN, Frank., Fritz H. SCHWEINGRUBER a E. SCHÄR: *RESISTOGRAPH and X-Ray Density Charts of Wood Comparative Evaluation of Drill Resistance Profiles and X-Ray Density Charts of Different Wood Species* [online]. Německo: Holzforschung, 1996. s. 303–311 [cit. 2022-12-02]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/249924311_RESISTOGRAPH_and_X-Ray_Density_Charts_of_Wood_Comparative_Evaluation_of_Drill_Resistance_Profiles_and_X-ray_Density_Charts_of_Different_Wood_Species
- ŠEFCŮ, Ondřej, Jan VINAŘ a Marie PACÁKOVÁ. *Metodika ochrany dřeva*. Praha: Jalna, 2000. Odborné a metodické publikace (Státní ústav památkové péče). ISBN 80-86234-14-2.
- ŠKABRADA, Jiří. *Konstrukce historických staveb*. Praha: Argo, 2003. ISBN 80-7203-548-7.
- VESELÝ, Jan, Pavel ZAHRADNÍK, Michal PATRNÝ, Tomáš KYNCL a Václav TUTR. *Menší malostranská mostecká věž Karlova mostu, zvaná „Juditina věž“*. Praha, 2011. Stavebněhistorický průzkum. Nepublikováno, Archiv Atelier KAVA spol. s.r.o.
- VINAŘ, Jan. *Historické krovy: typologie, průzkum, opravy*. Praha: Grada, 2010. Stavitel. ISBN 978-80-247-3038-7.

10 Samostatné přílohy

Soubor příloh 1 – Fotografická dokumentace

Soubor příloh 2 – Výsledky dendrochronologie

Soubor příloh 3 – Výsledky endoskopie a odporového mikrovrtání

Soubor příloh 4 – Výkresová dokumentace