

**ČESKÉ VYSOKÉ
UČENÍ TECHNICKÉ
V PRAZE**

**FAKULTA
STAVEBNÍ**

**KATEDRA
OCELOVÝCH A DŘEVĚNÝCH
KONSTRUKCÍ**



**BAKALÁŘSKÁ
PRÁCE**

BARBORA BŘINČILOVÁ

2018

**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA STAVEBNÍ
KATEDRA OCELOVÝCH A DŘEVĚNÝCH KONSTRUKCÍ**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Degradace dřeva a ochrana nosných konstrukcí

JMÉNO STUDENTA: Barbora Břinčilová
STUDIJNÍ PROGRAM: Stavitelství
STUDIJNÍ OBOR: Realizace pozemních
a inženýrských staveb

VEDOUCÍ PRÁCE: Ing. Robert Jára

ROK: 2018



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební
Thákurova 7, 166 29 Praha 6

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Barbora Jméno: Břinčilová Osobní číslo: 409712
Zadávající katedra: Ocelových a dřevěných konstrukcí
Studijní program: Stavitelství
Studijní obor: Realizace pozemních a inženýrských staveb

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce: Degradace dřeva a ochrana nosných konstrukcí
Název bakalářské práce anglicky: Wood degradation and protection of load-bearing structures
Pokyny pro vypracování:
Bakalářská práce bude obsahovat dvě části
- rešerši na téma degradace dřevěných konstrukcí a jejich ochrana
- návrh sanace dřevěného krovu a posouzení vybraných nosných prvků krovu, včetně výkresové části

Seznam doporučené literatury:

Jméno vedoucího bakalářské práce: Ing. Robert Jára
Datum zadání bakalářské práce: 18.10.2017 Termín odevzdání bakalářské práce: 14.1.2018
Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku

Podpis vedoucího práce Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

Datum převzetí zadání

Podpis studenta(ky)

Prohlášení

Prohlašuji, že bakalářskou práci na téma degradace dřeva a ochrana nosných konstrukcí, jsem vypracovala samostatně. Veškeré použité informační zdroje jsem uvedla v seznamu použitých zdrojů.

V Praze dne 14. 1. 2018

.....
podpis studenta

Poděkování

Především bych chtěla poděkovat vedoucímu této bakalářské práce Ing. Robertu Járovi za odborné vedení a pomoc při jejím zpracování. A dále bych chtěla poděkovat své rodině za projevenou podporu a trpělivost po celou dobu mého studia.

Degradace dřeva a ochrana nosných konstrukcí

Anotace

Práce se zabývá degradací dřeva a ochranou dřevěných nosných konstrukcí, především se zaměřením na problematiku ochrany konstrukce krovu.

V první části práce jsou popsány možní degradační činitelé dřeva a způsoby ochrany, proti těmto činitelům.

Ve druhé části je u vybraného objektu provedeno posouzení krovů hambalkové a vaznicové soustavy, provedeno jejich vzájemné porovnání. Dále byl vypracován návrh sanace stávajícího degradovaného krovu objektu.

Klíčová slova

Dřevo, degradace, degradační činitelé, biotičtí škůdci, ochrana konstrukce, krov

Annotation

This work is about wood degradation and protection of wooden supporting structures, focusing mainly on protection of wooden roof trusses.

In first part there is a description of possible degradation agents and ways of protection of the wood from these degradation agents.

In second part of this work, there is assessment and comparison of collar beam roof and purlin system. Next, the rehabilitation of current degraded roof truss was made.

Keywords

Wood, degradation, degradation agents, biotic pests, construction protection, roof trusses

OBSAH

| | |
|--|----|
| OBSAH..... | 7 |
| 1 ÚVOD | 8 |
| 1.1 Úvod..... | 8 |
| 1.2 Cíl práce | 8 |
| 2 TEORETICKÁ ČÁST | 9 |
| 2.1 Co znamená pojem degradace dřeva | 9 |
| 2.2 Biotičtí škůdci dřeva..... | 9 |
| 2.2.1 Dřevokazné houby | 11 |
| 2.2.2 Dřevokazný hmyz..... | 13 |
| 2.3 Abiotické vlivy dřeva..... | 17 |
| 2.4 Řešení příčin poruch | 18 |
| 2.4.1 Likvidace dřevokazných hub a plísní..... | 18 |
| 2.4.2 Likvidace dřevokazného hmyzu | 19 |
| 2.5 Diagnóza konstrukce krovu..... | 20 |
| 2.5.1 Průzkum statické funkce..... | 21 |
| 2.5.2 Posouzení krovu..... | 23 |
| 2.5.3 Diagnostika poškozeného dřeva..... | 24 |
| 2.6 Konstrukční ochrana dřeva..... | 26 |
| 2.7 Hydroizolace stavby..... | 29 |
| 2.7.1 Hydroizolace střešního pláště..... | 29 |
| 2.8 Chemická ochrana dřeva..... | 32 |
| 2.8.1 Ochranné látky proti biotickým škůdcům | 33 |
| 2.8.2 Způsoby impregnace dřeva | 34 |
| 3 PRAKTICKÁ ČÁST | 39 |
| 3.1 Posouzení variant krovu | 40 |
| 3.1.1 Výpočet zatížení | 40 |
| 3.1.2 1. varianta – hambálek..... | 43 |
| 3.1.3 2. varianta – vaznicová soustava..... | 46 |
| 3.2 Sanace krovu | 49 |
| 4 ZÁVĚR | 50 |
| SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY A ZDOJŮ | 52 |
| SEZNAM OBRÁZKŮ | 54 |
| SEZAM TABULEK..... | 55 |

1 ÚVOD

1.1 Úvod

Dřevo je přírodní a ekologický materiál. Přes řadu výborných vlastností, díky kterým je dřevo hojně využíváno má své nedostatky. Hlavním problémem je časté napadání dřevokaznými houbami a dřevokazným hmyzem, dále pak působení povětrnostních vlivů. Proto je vhodné dřevo chránit a ošetřovat. Způsob ochrany je závislý na místě použití, díky různé aplikaci dřeva je také mnoho potřebných způsobů ochrany.

Ve stavebnictví lze dřevo použít nejen na výstavbu mostů či lávek ale i kompletních budov, dále je také používáno na pomocné konstrukce. Tedy při vhodném výběru dřeva jej můžeme použít na konstrukce základů, pro stavbu stěn, stropní konstrukce či konstrukce krovu.

1.2 Cíl práce

Tato práce si klade za cíl popsat možné degradační činitele dřeva a způsoby ochrany před těmito činiteli.

Práce je zejména zaměřena na problematiku konstrukce dřevěného krovu, jeho ochranu a sanaci.

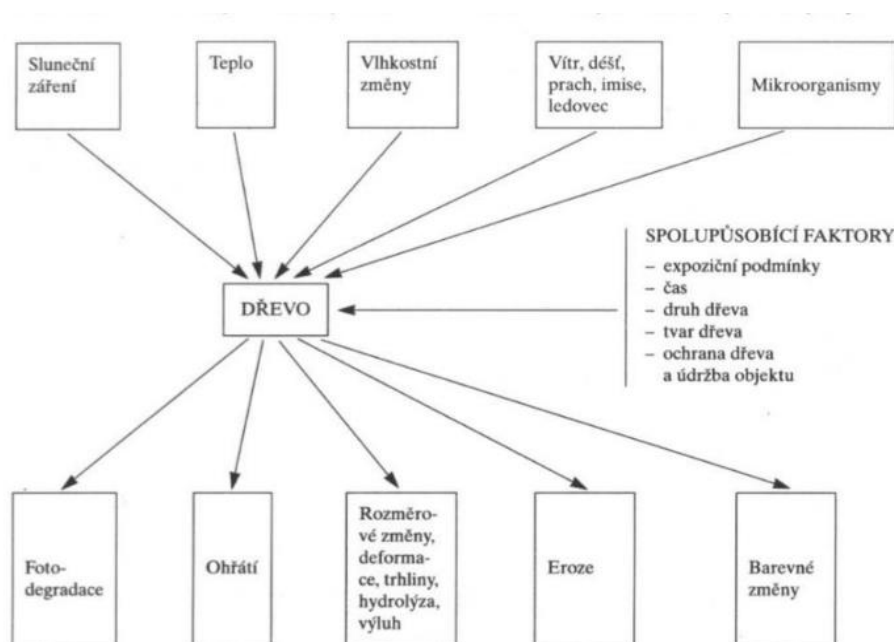
V praktické části bylo cílem posoudit vybrané nosné prvky krovu a porovnat stávající hambálkový krov, ve zvoleném objektu, s obdobným krovem vaznicové soustavy.

Dále v rámci této práce byl proveden návrh sanace konstrukce stávající degradované hambálkové soustavy, zvoleného objektu.

2 TEORETICKÁ ČÁST

2.1 Co znamená pojem degradace dřeva

Obecně pojem degradace znamená ztrátu funkce nebo pokles, znehodnocení či zhoršení kvality. Degradace dřeva znamená snižování kvality přirozených vlastností dřeva, vlivem abiotických a biotických činitelů. Tito činitelé mění vzhled dřeva, jeho mechanické a fyzikální vlastnosti.



Obr. 1 Nejvýznamnější zdroje abiotických a biotických poškození [1]

2.2 Biotičtí škůdci dřeva

Působení vnějších činitelů, které znehodnocují dřevo rozdělujeme podle doby, kdy ho napadnou. První skupina dřeva napadá ještě jako rostoucí strom. Další druh škůdců napadá dřevo při skladování a poslední druh škůdců napadá dřevo v konstrukci. V mojí práci se zaměřím jen na škůdce, kteří napadají dřevo jako hotový výrobek.

Máme čtyři optimální podmínky k napadení dřeva škůdci [2]:

- *Dostatečná vlhkost* – u střešní konstrukce se jedná vlhkost vlivem kondenzace páry
- *Kyslík* – čerpaný ze vzduchu, kterého je vždy dostatek
- *Teplo* – jarní až podzimní období je nejideálnější
- *Výživný substrát* – samotné dřevo

Vlhkost u krovu je způsobena špatným provedením konstrukčních detailů nebo difuzně otevřeně či uzavřeně konstrukce střechy. Další z příčin zvýšení vlhkosti dřevěného krovu je porušení hydroizolace. Pokud se zabýváme hydroizolací, musíme si dát pozor na kondenzaci par, aby se nevytvořil skleníkový efekt. Tomu se dá zabránit použitím hydroizolace difuzně otevřeně. Jedná se o fólie z netkané textilie z umělých vláken. Tyto folie jsou schopné na vnějším povrchu odolávat hydrostatickému tlaku a spodní stranou umožnit prostupu vodní páry. Poslední případ napadení biotickými škůdci vyplývá z běžného provozu domu, což je nedostatečné větrání prostoru [3].

Na biotickém znehodnocení dřeva se podílí současně více činitelů (mikroorganismy, rostliny, živočichové). Ti si ze dřeva berou živiny, které potřebují pro svůj život. Odolnost dřeva je závislá na jeho druhu. Tedy jakou má dřevo stavbu a chemické složení [4]. Biotické škůdce dělíme na plísně napadající nedokonale natřené dřevo, dřevozbarvující houby a dřevokazné houby. *Plísně* pro svůj vývoj mají vhodné podmínky jako většina biotických škůdců dané vysokou vlhkost dřeva. Avšak plísně nemění fyzikální ani mechanické vlastnosti. *Dřevo zbarvující houby* jsou většinou prvním stádiem před působením dřevokazných hub. Způsobují nežádoucí zbarvení dřeva [3]. V rámci práce se zaměřuji na střešní konstrukci, proto se budu z těchto kategorií věnovat dřevokazným houbám.

2.2.1 Dřevokazné houby

Houby jsou nejvýznamnějším destruktivním činitelem dřeva z hlediska podílu na celkovém objemu znehodnoceného dřeva za rok, a to jak na skladových zásobách a výrobě, tak v oblasti zabudovaného dřeva [4]. Houby organickou hmotu (dřevo) rozkládají, proto se nazývají rozkladači neboli destruenti. Zvládnou rozložit dřevo na nejjednodušší složky a to vodík, dusík, anorganické prvky. Houby se rozmnožují výtrusy, které vnikají pohlavním i nepohlavním způsobem [4]. Vylučují vodorozpustné enzymy, které zapříčiňují rozklad makromolekul dřeva. Zhuštěním nebo přestavbou hyfy houby vytvářejí plodnici, na které vznikají spory a ty jsou pak díky tomu všude přítomné [1]. Schopnost rozkládat dřevní hmotu je u různých druhů hub velice rozdílná.

Houby rozdělujeme do dvou základních skupin [1], [3]:

Celulózožravé houby rozkládají celulózu a hemicelulózy. Jedná se o velmi složitý děj způsobující hnědou hnilobu dřeva. Průběh rozkladu materiálu začíná zhnědnutím, ztrátou pevnosti až na příčné praskání v tzv. kostkách. K těmto houbám patří dřevomorka, koniofora, pornatka, trámovka.

Ligninožravé houby rozkládají lignin i celulózu a hemicelulózy. Degradace probíhá velmi pomalu, závisí na prostředí. Způsobuje bílou hnilobu dřeva. Poškození materiálu je brzo vidět pouhým okem, díky díram a dutinám, které vznikají na povrchu dřeva. Mezi tyto houby patří václavka, která není typ hniloby ve vnitřním prostředí.

Dřevomorka domácí – Nejnebezpečnější a nejznámější houba na zabudovaném dřevě pod střechou. Její výskyt je v obytných prostorech, sklepech i na půdě. Nosné prvky (trámy, pozednice, krokve, polštáře atd.) napadá všude tam kde dlouhodobě zatéká. Pro výskyt potřebuje vlhkost pouze na počátku svého vývoje. Poté se metabolickým procesem množí sama. Díky této dovednosti se nazývá „suchá“ hniloba. Další z podmínek pro její růst je kyslík a teplo. Mimo budovu se

s dřevomorkou nesetkáme. Na novém dřevě se neobjevuje. Dřevomorka plodí bílé vatovité povrchové povlaky nazývané mycelia. Pokud jsou vhodné podmínky dřevomorka vytváří nepravidelné hnědé plodnice s bílým okrajem. Jejím působením na dřevě vznikne hnědá hniloba a dřevo se rozpadá ve velkých kostkách. Konečným stadiem dřeva napadeného dřevomorkou je zobrazeno na obrázku č.2 [1], [3].



Obr. 2 Dřevomorka [13]

Koniofora sklepní – další druh velmi agresivních hub. Svým chováním a činností na dřevě se může rovnat dřevomorci a většinou se vyskytují společně. Důležité pro růst koniofory je vlhkost dřeva nad 40 %. Vyskytuje se na dřevě, které je trvale v kontaktu s vodou (mokré zdi, mokrá zem s vodní párou) najdeme ji tedy ve sklepech, ale i na dřevě umístěné venku. Podhoubí se vybarvuje žlutě s hnědými provazci. Rozpadá dřeva je na malé kostky, na rozdíl od dřevomorky. Plodnice se vytváří zřídka, bývají přisedlé těsně na dřevo, většinou 1 mm silné a díky tomu se špatně identifikují [1], [5]



Obr. 3 Koniofora sklepní [14]

Trámovky – způsobuje velké škody na většině dřevěných stavebních dílů, ve venkovním prostředí, pod střechou a na místech, kde dlouhodobě zatéká [1]. Snáší vysokou teplotu a periodické střídání sucha a vlhka, což je typické pro půdní prostory. Trámovky potřebují vyšší vlhkost pro svůj růst. Při snížení nebo zastavení vlhkosti se její proces zastaví a následně může odumírat [2]. Spory bývají usazeny v trhlinách dřeva, kde vzniká hnědá hniloba. Podhoubí na povrchu dřeva se většinou nenajde, díky tomu se jeví prvek povrchově zdravý, což tak není, protože uvnitř je zcela vyhnílý a škody se poznají až když je pozdě. Rozpoznání nám ulehčuje vytváření typických plodnic [1]. Trámovku lze určit pomocí diagnostické metody – akustická tomografie. Prováděná přístrojem Fakopp, který funguje na základně principu určování pomocí rychlosti zvukových vln napříč vláken dřeva [5].



Obr. 4 Plodnice trámovky [15]

2.2.2 Dřevokazný hmyz

Dřevokazný hmyz rozdělujeme na *hmyz napadající čerstvé dřevo* – vzrostlý strom, kdy hmyz potřebuje k napadení vysokou kůru a lýko nacházející na stromě. *Hmyz napadající zpracované dřevo* – stavební dřevo, kdy škůdců je mnoho [1]. Škůdců je mnoho, ale pro naše klimatické podmínky a specifickému umístění konstrukce krovu se budu zabývat jen těmi nejběžnějšími. Dřevokazný hmyz je v konstrukci nebezpečný kvůli schopnosti vyvíjení se po dlouho dobu a vzniku nových generací. Tato schopnost vede ke zmenšení fyzikálních, mechanických i estetických vlastností. Pokud je dřevo napadeno dřevokazným hmyzem je

oslabeno a stává se vhodným pro napadení dřevokaznou houbou [3]. Škody způsobují nejvíce larvy brouků, které dřevo poškozují požerky a částečně ho stravují. Způsobené požerkové chodbičky jsou vyplněné jemnými pilinkami. Po zakuklení se vylíhnou brouci, kteří opustí dřevo výletovými otvory, jež jsou důkazem aktivního napadení. Brouk má jedinou úlohu, a to založit novou generaci. Škůdci potřebují pro svůj vývoj vlhkost nad 10 %. Jako příklad objektu, kde není dřevo napadáno mohou uvést panelové byty. Vývoj larev se spojuje s potřebným rozmezím teploty, ale musí být nižší než 55 °C. Pokud teplota přesáhne uvedenou mez dochází k usmrcení všech stádií dřevokazného hmyzu (vajíčko, larva, kukla, brouk) [1]. Při přesáhnutí teplot nad 55 °C se jedná o termosanaci, je to metoda likvidace škůdců horkým vzduchem. Smysl má při aktivním napadením škůdci, ale neposkytuje ochranu proti opětovnému napadení. Proto se musí po každé termosanaci dřevo preventivně opatřit ochranným nátěrem. Z dřevokazného hmyzu napadajícího zabudované dřevo se nejčastěji vyskytují dále uvedené druhy [5].

Tesařík krovový – nejčastěji vyskytovaný škůdce napadající zabudované dřevo v konstrukci. Pro svůj vývoj potřebuje teplo. V zimním období se aktivita larvy snižuje, ale neznamená to, že uhyne, jen se její vývoj pozastaví. Tesařík je teplomilný brouk, proto je jeho místo výskytu nejčastěji ve dřevě na půdě. Nejčastěji na hranách jehličnatých trámů, protože larvy tesaříka jsou větších rozměrů. Vylíhnutí brouci dobře létají a napadají ostatní dřevo v blízkosti ohniska napadení. Cyklus vývoje tohoto brouka je od vajíčka přes larvu k zakuklení až po vylíhnutí v časové ose 3 až 6 let a více. Larva hlodá oválné výletové otvory o rozměrech délky 4 až 7 mm. Prožrané chodbičky s vlnitým vyhlodáním vyplňuje jemnou práškovou drtí, která po delší době vypadává z výletů. Tento průvodní znak nám prozradí, že je hmyz pořád přítomný ve dřevě [1], [2], [6].



Obr. 5 Tesařík Korový [16]



Obr. 6 Larvy Tesaříka [17]

Červotoč proužkováný – na rozdíl od tesaříka nemá rád teplo, ale preferuje spíše chlad a vlhko. Napadá listnaté i jehličnaté dřevo. Škody, které způsobuje, bývají na stavebním dřevě menšího rozsahu než na bytovém zařízení. Najdeme ho na konstrukci větších rozměrů, soklech, nohách nábytku a v podlaze [1]. Pokud máme prostor delší dobu přetopený a suchý, na takovém místě se červotoč neobjeví. Optimální vlhkost dřeva pro larvy červotočů je 18 % [6]. Požerkové chodbičky červotoče jsou vystlané jemnou drtí a kuličkami výkalů. Výletové otvory zanechává po sobě kulaté o průměru 1-3 mm. Tyto okrouhlé otvory od červotoče můžeme vidět hlavně na trámecích a stavebním dřevě mlýnů či zemědělských objektů se senem [1]. Dospělí jedinci toho brouka se pohybují velmi málo, a proto nová generace je zakládána ve stejném dřevě. Délka života červotoče se pohybuje 1 až 2 roky [2].



Obr. 8 Červotoč proužkováný [18]



Obr. 7 Dřevo napadené červotočem [19]

Pilořitka velká – je hmyzem čerstvého dřeva, napadá převážně jehličnaté stromy. V zabudovaném dřevě ji najdeme jen výjimečně. Riziko nastává, pokud jsou ve dřevě larvy, ty se dokážou během dvou let vyvinout v dospělého jedince připomínajícího vosy nebo sršně [1]. U pilořitky cyklus končí vylétnutím, protože vyschlé zabudované dřevo není vhodné pro kladení jejích vajíček, i kdyby se zvýšila vlhkost [2]. Výletové otvory jsou okrouhlé s hladkými okraji, vyhlodané rovnoběžně s vlákny o velikosti 4 až 7 mm. Vzhledem připomínají napadení tesaříka, ale jsou pevně ucpané moučkou v barvě dřeva díky tomu škody můžeme poznat až po vylétnutí hmyzu [1].



Obr. 9 Pilořitka Velká [20]



Obr. 10 Dřevo napadené pilořitkou [21]

Další dřevokazný hmyz je např. Hrbohlav parketový, který napadá spíše tropické dřeviny. U nás většinou napadá jen dubové dřevo. Podmínky k vývoji jsou pro něj podobné jako u tesaříka. Jeho nejčastější výskyt je v nábytku, či obložení. Další dřevokazný hmyz, co nenapadá konstrukce krovu jsou mravenci [1].

2.3 Abiotické vlivy dřeva

Abiotické vlivy dřeva jsou:

- Teplo
- Sluneční záření
- Dešťové srážky a povětrnostní vlivy
- Kyseliny a zásady

Teplo je abiotický vliv, který způsobuje ohřátí dřeva. Teplo ve střešní konstrukci pomáhá, ale i škodí. Pomáhá, pokud dřevo má vyšší obsah vlhkosti, která se díky teplu odpaří. Na druhé straně, pokud se teplota zvýší nad 150 °C způsobí termický rozklad dřeva [7]. Při dosažení vysokých teplot přesahující 300 °C a přítomnosti kyslíku, může docházet k hoření organické hmoty dřeva během jedné či dvou minut [5]. Příčinou hoření dřeva je jeho složení. Dřevo se skládá z uhlíku (50%), kyslíku (44%), vodíku (6%). K těmto částem dřeva je potřeba ještě vzdušný kyslík. Což jsou všechny potřebné faktory pro samotné hoření. Dřevo se vyznačuje výbornými vlastnostmi jako opracovatelnost, poměr pevnosti k hmotnosti konstrukce, ale je snadno zápalné a hořlavé [1]. Na první pohled se jeví dřevo jako nevhodný konstrukční materiál, ale při porovnání ocelového nosníku s dobře dimenzovaným dřevěným nosníkem, výsledek není špatný. Hlavním důvodem, proč má lepší vlastnosti oproti oceli je schopnost při požáru zachovat svoji únosnost, díky postupnému hoření od vnějšího povrchu k vnitřnímu, což ocelový nosník nemá. Ten se většinou během 5-15 minut prohřeje na teplotu 500 °C, poklesne modul pružnosti a tím ztrácí svoji tuhost, stabilitu a pevnost, tím dojde ke zborcení prvku. Rychlost hoření povrchu dřeva je naměřena cca 0,7 – 1 mm/min [1].

Dalším abiotickým vlivem je sluneční záření způsobující fotodegradaci dřeva. Způsobena ultrafialovým zářením. Projevem fotodegradace je zbarvení dřeva,

tedy tmavnutí povrchu. Tento proces začíná pozvolně a trvá několik desítek let. Hloubka zničeného povrchu se pohybuje okolo 2 milimetrů. Působením slunečního záření z chemické stránky dřeva degraduje lignin. Sluneční záření také zvyšuje povrchovou teplotu podle druhu dřeva. U světlého dřeva až na 40 °C, u tmavých dřev až na 80 °C. Dřeviny, které mají velké množství pryskyřice urychlují vznik trhlin v důsledku malé tepelné vodivosti [1], [7].

Pokud na dřevo působí *povětrnostní vlivy* neznamena to, že klesne pevnost dřeva, jen díky tomu vznikají vhodné podmínky pro napadení dřeva škůdci. Při špatném zabudování dřeva nám dešťové srážky způsobují změny vlhkosti a bobtnání. Posléze nastane sesychání, které způsobí povrchové trhliny. Ty se rozšiřují a prohlubují do celého prvku a dále do konstrukce. Trhliny vnikající na povrchu dřeva jsou vhodným místem pro spory hub, kdy dochází obvykle nejprve k zabarvení a plesnivění dřeva. Nakonec dochází k rozvoji dřevokazných hub [1].

Působení *kyselin a zásad* na dřevo nazýváme jako chemickou korozi dřeva. Jedná se o způsob poškození struktury dřeva působením agresivních chemikálií (zásady, kyseliny, soli a oxidační látky). Dřevo jehličnaté oproti listnatému je více odolné vůči kyselinám a zásadám. Fáze působení těchto abiotických vlivů se projevuje nejdříve zabarvením, poté změnou vlastní struktury dřeva, a nakonec úplným rozkladem dřeva [6].

2.4 Řešení příčin poruch

2.4.1 Likvidace dřevokazných hub a plísní

Nejjednodušší prevence proti dřevokazným houbám či plísním je snížení nebo odstranění zdroje vlhkosti dřeva pod hranici 20 %. Dřevo napadené hnilobou se rozkládá až na vodík a oxid uhličitý, kdy vodík při reakci se vzdušným kyslíkem vytváří vodu, a to vede k trvalému zvlhčování [5]. Nesmí se zapomínat ani na

skutečnost, že plísňové povlaky brání volnému odpařování vody ze dřeva. Nestačí vytvořené klima, odpovídající rovnovážné vlhkosti dřeva těsně pod hranici 20 %, ale dřevo je potřeba důkladně prosušit v celém průřezu, tak zlikvidovat všechny vývojová stadia houby v dřevě, na povrchu i v jeho blízkosti [1]. Plodnice a povrchová mycelia je nutné důkladně oddělit od dřeva a zlikvidovat mimo objekt, aby se nestaly zdrojem další nákazy. K likvidaci výtrusů a substrátových mycelií hub lze využít různé sterilizační metody, přičemž volba závisí na konkrétní situaci. Součástí boje proti houbám likvidující dřevo se podle konkrétní situace stává i následná chemická ochrana poškozeného i nového dřeva vhodným prostředkem [5]. Cílem chemické ochrany dřeva je vyloučit možnost opětovného poškození konstrukce houbami a chemická ochrana je pojistka pro možné nedůsledné provedení sterilizace. Velmi obtížně se likviduje zejména dřevomorka domácí. Při její likvidaci platí, že z objektu se musí odstranit napadené dřevěné prvky nebo jejich části, ale také sousedící dřevo zdánlivě zdravé, a to do vzdálenosti minimálně 1 m od hranice viditelného napadení. Kromě dřeva je nutno odstranit a mimo objekt zlikvidovat i omítku a maltu ze spár, a to do vzdálenosti alespoň 0,5 m od míst viditelného růstu silných provazcových hyf (rizomorf) ve zdivu či v jiných minerálních materiálech. Případně odstranit celé zdivo [2].

2.4.2 Likvidace dřevokazného hmyzu

Preventivní ochrana dřeva proti dřevokaznému hmyzu spočívá ve snížení jeho vlhkosti pod hranici 10 %. V dřevěných krovech lze však tak nízké vlhkosti dosáhnout trvale jen výjimečně. Proto prevence a boj proti dřevokaznému hmyzu je náročnější než proti houbám. Při likvidaci dřeva s aktivním dřevokazným hmyzem je nutné dodržovat následující zásady [3].

Z povrchu dřeva odstranit veškerou kůru. Tak se zabrání vzniku dalších generací Tesaříka fialového, který vytváří požerky těsně pod a kůrou v bělovém dřevu jehličnanů. Odstranění kůry nemá, ale žádný vliv na aktivitu většiny červotočů

nebo Tesaříka krovového. Dřevěné prvky poškozené požerky Tesaříka krovového se doporučuje buď vyměnit za nové, nebo před sterilizací a chemickým ošetřením otesat až na nepoškozené dřevo. Pokud se takový zásah týká nosných prvků, pak vzhledem k jejich zeslabení může nastat potřeba je vhodným způsobem zpevnit, např. příložkami [1], [6].

Likvidace všech vývojových stádií hmyzu se zajistí sterilizací dřeva nebo celého prostoru konstrukce. Nelze-li důkladnou sterilizaci provést, je nutné použít vhodný ochranný prostředek s insekticidy (účinné látky v prostředí proti hmyzu). Insekticid se aplikuje obvykle postřikem nebo nátěrem, ale současně se doporučuje použití i injektáže přímo do výletových otvorů. Nevhodnější období pro ošetření je obvykle duben–květen tedy před rojením hmyzu.

Sterilizace dřeva je ochranná metoda prováděná horkým vzduchem nebo mikrovlnným zářením. Horkým vzduchem se ohřívá dřevo na teplotu 55 °C po dobu 60 minut, kdy dochází k usmrcení všech vývojových stádií dřevokazného hmyzu. Mikrovlnná energie je velice účinná sterilizace, při které se zbavíme dřevokazného hmyzu, ale i dřevokazných hub, což u sterilizace horkým vzduchem není. Po sterilizaci se musí dřevo opatřit ještě chemickou ochranou k zabránění opětovnému napadení dřevokazným hmyzem.

Dřevěná konstrukce krovu se chrání insekticidem nejlépe postřikem – tak lze zajistit i ošetření obtížně přístupných prvků a spojů, např. čepů a dlabů, různých trhlin a spár [1].

2.5 Diagnóza konstrukce krovu

Na začátku diagnózy krovu je velmi důležité určit druh konstrukce krovu, porovnat s dokumentací a popisem krovu. V technické dokumentaci najdeme náležitě informace o popisu krovu, ten by měl obsahovat:

Popis druhu konstrukce, dimenze prvků a spojů, určení materiálu, popis a výkresy tvaru, uspořádání určené konstrukce. Pokud historický krov nezbytně potřebuje zásah do konstrukce, je nutné pečlivě analyzovat, které složky tvoří jeho památkovou hodnotu a které ne. Poté se posuzuje, zda je prvek konstrukční. Diagnóza konstrukce krovu se zabývá úkony jako je průzkum konstrukce krovu, zjištění poruch a určení jejich příčin s posouzením krovu. V mnoha případech je nutné zkoumat nejen krov, ale i konstrukce s krovem spojené. Posouzení pro dřevěné konstrukce je komplexní činnost, ve většině případů nestačí posouzení stavu dřeva. Musí se také lokalizovat místo napadení, jehož původce je přesně určen a navrhnout způsob likvidace. Jako u jiných nosných konstrukcí se provádí průzkum krovu výhradně odborníkem s příslušnou kvalifikací. Stanovení druhu napadení a návrh na jeho likvidaci je velmi složitý proces, takže většinou je doporučeno nechat průzkum dělat specialistu [3].

2.5.1 Průzkum statické funkce

U konstrukce krovu musíme postupovat v průzkumu systematicky po krocích a podle pravidel. Důležité je si uvědomit si, že prvotním ukazatelem existence poruch na dřevěných konstrukcích je deformace, a to především průhyb prvků konstrukce, deformace ve spojích a deformace celé konstrukce. Trhliny smykové a tahové vzniklé porušením pevnosti materiálu u dřevěných konstrukcí na rozdíl od zdiva vznikají až na druhém místě. Tahové trhliny najdeme v tažené části ohýbaných prvků a smykové trhliny vznikají ve spojích. Deformace prvků jsou viditelné. Posuny v uložení se mohou projevit otiskem v maltě, na které je krov uložený. Napětí lze orientačně poznat poklepem na prvek. Při terénním průzkumu krovu sledujeme [3]:

1. Deformace a vznik napětí v konstrukci:

- Průhyb, pootočení či zkroucení prvků
- Posun v uložení

- Změnu tvaru konstrukce
- Nadměrné tlakové či tahové napětí ve dřevě

2. Poruchy spojů:

- Vysunutí prvků ve spoji
- Pootočení prvků ve spoji
- Nadměrné otláčení a rozštípnutí dřeva ve spojích

3. Trhliny ve dřevě:

- Smykové
- Tahové

4. Vlhkost a odvodnění

- Vlhkost od dřeva či zdiva
- Závady na krytině a oplechování
- Závady odvodu povrchové vody

5. Napadení dřeva škůdci

- Plísně na dřevě
- Hniloba dřeva
- Výskyt houby
- Napadení hmyzem

6. Konstrukční systém

- Dimenze prvků

- Původní konstrukce
- Změny, možné opravy
- Provedení spojů
- Ostatní konstrukce (provedení úžlabí, stropu, klenby)

7. Konstrukční závady

- Způsob zachycení vodorovných sil v konstrukci
- Prostorová tuhost v konstrukci
- Provedení spojů

8. Opravy konstrukce

- Určit příčiny poruchy
- Rozdělit opravy na provozní a definitivní
- Posoudit stav dřevěné konstrukce

2.5.2 Posouzení krovu

Důležitá zjištění při posuzování krovu jsou určení původního konstrukčního systému. Jestli byl vhodně zvolen a jaké má konstrukční závady. Poté se posuzuje, jakými změnami krov prošel, například změna krytiny, narušení konstrukce požárem. V dalším kroku posuzujeme, zda daný konstrukční systém bude vyhovovat staticky. Při posuzování konstrukčního systému jsou tyto varianty [3]:

- Původní konstrukční systém či systém v minulosti změněný či upravený vyhovuje.

- Stávající konstrukční systém bude vyhovovat po odstranění konstrukčních závad.
- Stávající konstrukční systém bude vyhovovat po zesílení prvků a spojů.
- Stávající konstrukční systém nevyhovuje (je nutno navrhnout nový konstrukční systém nebo vložení nové konstrukce).

Konstrukční závady jsou další, které posuzujeme. Nejrozšířenější závada je nevhodná dimenze konstrukčních prvků. Většinou se tento případ stává u krovů, kde byla vyměněna krytina. U hambálkového krovu se objevuje nedostatečné vyztužení. V případě, že u krovu stanovíme tyto poruchy, následuje nutné posouzení, tedy statický výpočet. Krov posuzujeme jako celek, zvláštní pozornost věnujeme uložení a zachycení vodorovné síly jednotlivých prvků či spojů. Po analýze konstrukčního systému posuzujeme krov na původní zatížení i na zatížení, které bude po zvažované opravě [3].

2.5.3 Diagnostika poškozeného dřeva

Rozhodnutí, zda se jedná o dřevo poškozené či nepoškozené, stanovíme podle diagnostických metod. Na výběr jsou tyto metody [5]:

- Analýza struktury materiálu (struktura, vlastnosti).
- Potřeba přístrojové techniky (smyslové, přístrojové metody).
- Prozkoumání materiálu při zkoušce (nedestruktivní, semidestruktivní, destruktivní).
- Místo provádění zkoušky (přímo na místě, v laboratoři).

U dřevěných konstrukcí se nejčastěji řídíme podle kritéria na přístrojovou techniku – smyslové a přístrojové metody.

Smyslová diagnostika – mezi tyto diagnostiky patří většina smyslů, které člověk má, tedy zrak, čich, hmat a sluch. Používají se při prvotním posouzení konstrukce krovu. Odhalí např. o jaký druh hniloby se jedná, jaký tvar mají požerky ve dřevě,

jakou texturu má odpadající dřevo či přítomnost larev. Přítomnost larev dřevokazného hmyzu (např.: červotoče, lze slyšet díky jeho pohybu). Odborníci s dlouholetou praxí, zvládnou rozsah poškození dřeva odhadnout poklepem na dřevo. Při těchto metodách se používají různé pomůcky: lupa, světlo, posuvné měřítko, dláto, mikrofon nebo zařízení Fakopp [5].

Přístrojová diagnostika – přístrojové metody slouží k přesné analýze struktury a vlastnosti poškozeného dřeva a současně k objektivnímu posouzení typu, stupně a rozsahu příčin jeho poškození [1]. Při poškození dřeva se mění molekulární, anatomická struktura. Následně se opticky, akusticky, mechanicky či tepelně změní jeho vlastnosti. Tyto změny vlastností stanovíme přístroji, pro lepší a přesnější odhalení poruch se tyto metody kombinují. Přehled přístrojových metod je uveden v následující tabulce č. 1 [5].

Tabulka 1 – Přístrojové metody na zjištění poškození a kvality dřeva [5]

| METODA | ZAŘÍZENÍ | ZÁKLADNÍ PRINCIP | APLIKACE |
|----------------------------|---|--|---|
| Optická | Světelný mikroskop | - zvětšení obrazu, barvení | - změny ve struktuře dřeva vybarvení hyf hub |
| | Elektronový mikroskop (SEM) | - zvětšení obrazu, pokovení | - detailnější změny ve struktuře dřeva |
| | Endoskop | - přenos obrazu přes optická vlákna | - poškození v dutinách, ve stopech, apod. |
| | Kolorimetr | - absorpce viditelného spektra 400 - 700 nm | - stupeň barevné změny vlivem stárnutí |
| Holograf IR, FTIR a NIR | Holograf | - optoelektronický | - vlhkost, trhliny, hniloba |
| | IR, FTIR a NIR | - absorpce infračerveného záření funkčními skupinami materiálu | - vlhkost, analýza hniloby a povětrnostního zatížení |
| Elektrická | Vitamat | - konduktivita | - aktivní hniloba |
| | Dielektrik EIS | - frekvence, permitivita - elektrická impedanční spektroskopie | - vlhkost - gradient vlhkosti povrchu |
| Ultrazvuková | Pundit Arborsonic Sylvatest | - rychlost ultrazvukových vln (v), s možností stanovení modulu pružnosti dřeva (MOE) | - analýzy vnitřní hniloby, resp. I trhlín a požerků |
| Akustická tomografie | Fakopp 2D | - rychlost zvukových vln (v) napříč vlákny dřeva | - analýza vnitřní hniloby (lokalizace, stupeň, rozsah) |
| Radiografická | RTG radiografie CT | - absorpce X- nebo gama záření, energie 59,54 keV (²⁴¹ Am) | - vnitřní struktura dřeva (boule, trhliny, hniloba, požerky, apod) |
| Elektro - magnetická | Radar Mikrovlnný senzor NMR tomograf | - krátké pulzy do dřeva - mikrovlny do dřeva - vlny s energií fotonu mezi dvěma spinovými hladinami | - přítomnost kování, hřebíků - analýza boulí, trhlín, apod. - vlhkostní mapa dřeva, s indikací vnitřní hniloby |
| Termo - grafická | Termograf | - radiofrekvenční ohřev dřeva | - odlišná barva samotného dřeva a boulí, dutin, apod. |
| Pevnostní | Dutý vrták + Fractometr Pilodyn Resistograph | - odběr vzorků dřeva a jeho analýza na ohyb - hloubka vniku tenké jehly - odpor vůči tenkému vrtáku při konstantní rychlosti | - hniloba, chemická koroze - hniloba, požerky, apod. - hniloba, dutiny, apod. |
| Chemická | Detektor plynů Chromatografy a spektroskopie | - koncentrace CO ₂ , VOC - odběr vzorků dřeva a jeho separace a analýza složek | - hniloba, požár - typ a stupeň hniloby, apod- |
| Biologická | DNA analyzátor | - sekvence A, G, C, T | - druh dřevokazné houby |

2.6 Konstrukční ochrana dřeva

Konstrukční ochranou dřeva se snažíme docílit dlouhé životnosti zabudovaných konstrukčních prvků, ruku v ruce se zachováním funkční a estetické vlastnosti. Konstrukční ochrana dřeva patří mezi nejzákladnější a nejzásadnější ochranu dřeva v objektu. V podstatě se jedná o souhrn všech konstrukčních zásad a hledisek, která vedou k minimalizaci vytváření podmínek vhodných pro degradaci dřeva. Vhodnou volbou a umístěním konstrukčních prvků se snižuje i riziko zahoření a požárů, zároveň snížení vlhkosti pro omezení působnosti biotických činitelů. Houby a hmyz potřebují ke svému životu teplo, vzduch a vodu. Ve většině případů jim můžeme odejmout pouze vodu a pomocí konstrukční ochrany její obsah ve dřevě udržovat na nízké úrovni [4].

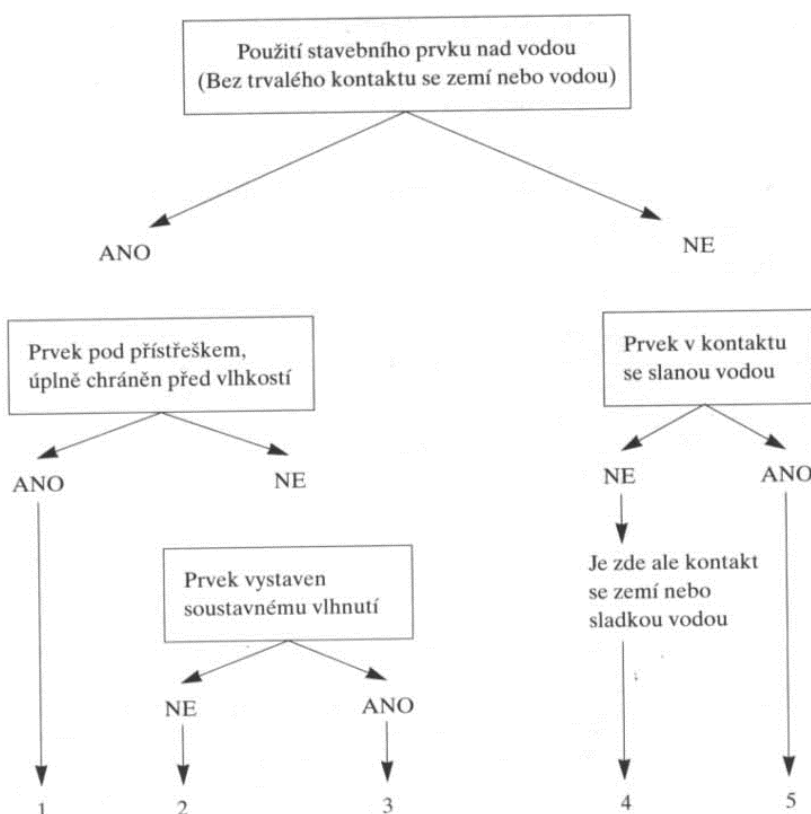
Další z ochran, která doprovází konstrukční ochranu je ochrana chemická, u které si, ale musíme uvědomit, že je to jen doplňková ochrana a nenapravuje špatnou technologii nebo konstrukční dispozici [4].

Konstrukční ochrana dřeva zahrnuje metody a opatření [1]:

- Výběr vhodného druhu dřeva a materiálu na bázi dřeva,
- Tvarové optimalizace výrobků na objektu,
- Izolace výrobků od degradačních činitelů,
- Vytvoření a udržení klimatu v objektu, aby se biotické a abiotické činitele omezili až vyloučili

Pokud vybíráme jakékoliv dřevo, musíme vybírat podle umístění, kde se dřevěný prvek bude nacházet. Přesná lokalizaci prvku nám jasně stanoví, jaký *druh dřeva* potřebujeme. Pro konstrukce krovu používáme nejčastěji smrk, borovici, jedli nebo modřín [3]. Smrk se vyznačuje nižší hmotností, což je velký argument pro volbu tohoto dřeva. Borovice obsahuje vyšší množství pryskyřic díky, které má vyšší hmotnost, ale na druhou stranu umožňuje použití tam, kde na něj budou

působit velké povětrnostní podmínky [7]. Konstrukce z dřeva modřínu či jedle se využívali hlavně v minulosti. Najdeme je tedy hlavně na cenných historických objektech [3]. Porovnáním cen na internetu se ukázalo, že smrkové dřevo je cenou příznivější na rozdíl od borovicového. Vhodným výběrem dřeva zohledňujeme také rizika poškození biologickými škůdci. Toto téma uvádí norma ČSN – EN 335. Kde je uvedeno, jakým principem se řídíme ke stanovení ohrožení dřeva podle tříd [1].



Obr. 11 Vylučovací schéma pro určení třídy ohrožení dřeva biotickými škůdci [1]

Pro orientaci v normě: stručná charakteristika tříd [1].

Třída ohrožení 1 se nachází pod střechou, je zcela chráněna před povětrností a nevystavena působení vlhkosti. Toto dřevo může napadnout dřevokazný hmyz. Napadení houbami či plísní je vyloučeno.

Třída ohrožení 2 má podobné podmínky, ale vysoká vlhkost nad 20 % z okolního prostředí je přítomná. To vede k tomu, že se dřevo většinou zabarví dřevokaznými houbami a riziko napadení dřevokazným hmyzem je stejné jako u třídy 1.

Třída ohrožení 3 dřevo není zakryto, ale bez styku se zemí. Je tedy nepřetržitě vystaveno povětrnostním podmínkám, nebo opakovaně vystaveno zvýšené vlhkosti (nad 20 %). Dřevo napadají dřevokazné, dřevozabarvující houby a plísně, dřevokazný hmyz je stejné jako u třídy 1.

Třída ohrožení 4 zde je dřevo ve styku se zemí nebo sladkou vodou či působení vlhkosti. Napadené je pravděpodobně dřevokaznými houbami a hmyzem.

Třída ohrožení 5 dřevo se nachází v kontaktu s mořskou vodou. Problém této třídy je bezobratlý mořský organismus jako *Limnoria* spp a *Teredo* spp. Díky nim může docházet k vážným škodám. Prvky nad vodou bývají napadeny dřevokazným hmyzem včetně termitů.

Tvarová optimalizace se řeší hlavně u dřevěných prvků určených do exteriéru. U krovu si dáváme pozor na přesahy krokví za pozednicí. Hlavní zásadou je omezení či vyloučení působení vody. Tvarovou optimalizací se snižuje vlhkost, poškození povětrnostními vlivy či poškození od dřevokazných hub i hmyzu [4].

Zásady tvarové optimalizace, které se na konstrukci střechy mohou objevit [5]:

- Nepoužívat prvky s výraznějšími trhlinami
- Nepoužívat takové typy spojů, do nichž voda snadno zatéká a těžko se odpařuje
- Hrany dřevěných prvků je třeba vhodně zaoblit, hlavně před jejich úpravou nátěry

- Střechy řešit s dostatečnými přesahy, aby se venkovní stěny chránily před vodními srážkami

2.7 Hydroizolace stavby

Hydroizolace je nejdůležitější konstrukční ochranou dřeva. Uchovává dřevěné prvky v objektech v suchém stavu. Mimo objekt máme dřevo v permanentním kontaktu s vodou, kdy tuto problematiku většinou řešíme jinak než v interiéru.

Hydroizolace zajišťuje ochranu proti kondenzované vodě, ale i proti spodní, kapilární a případně i srážkové vodě při poškození střešního pláště. Pro interiéry je důležitá správná instalace. Opomenout se nemůže ani řešení izolací ve skladbě pláště střechy s cílem trvalého provětrávání a omezení tvorby kondenzované vody [5].

Hydroizolační vrstva je nepropustná pro vodu v kapalném skupenství v důsledku hydroizolačních vlastností použitých materiálů, které izolují dřevo [5].

2.7.1 Hydroizolace střešního pláště

Jako u každé konstrukce i u střešního pláště musíme dávat pozor na vznik poruch v případě špatně provedených konstrukcí. Tomu se vyvarujeme, pokud kvalitně navrhne správnou skladbu střechy, technologicky správně se zhotoví a budeme věnovat větší pozornost na riziková místa.

Riziková místa jsou napojení různých rovin střech (např. nároží či úžlabí) nebo v místech technických otvorů (např. komíny, střešní okna). Jde o kritické zóny, které je potřeba kontrolovat a věnovat jim zvýšenou kontrolu, neboť zde dochází k častým poruchám a následnému zatékání vody do dřeva. Při zjištění porušení krytiny musíme okamžitě poškozené místo opravit. Bráníme tím vnikání dešťové vody do střešní konstrukce. Faktor, který hodně ovlivňuje střešní konstrukci je vzduchová vrstva. Slouží k odvětrávání střešní krytiny, zabraňuje vnikání

vodních par z vnitřní strany objektu a zkondenzované vody na krytině do latí, kontralatí či do tepelné izolace [9].

Kondenzaci vody na povrchu a v průřezu materiálu lze zabránit pomocí stavebně-konstrukčního opatření a regulací vzdušné vlhkosti v interiéru. Střešní konstrukce musí mít dostatečné tepelně izolační vlastnosti odpovídající platným normám a musí se zamezit vytváření tepelných mostů uvnitř stavebních dílů. Tvorba zkondenzované vody uvnitř materiálu je nebezpečná tím, že je zpočátku neviditelná a stane se zřetelnou teprve tehdy, kdy už způsobila nevratné škody [1]. Ke kondenzaci dochází například při špatném navržení detailu, kdy vznikne tepelný most, nebo špatně zvolená skladba střešní konstrukce. Při těchto situacích se teplota sníží, blíží se teplotě rosného bodu a při prostupu vzdušné vlhkosti v místě začne kondenzovat. Kondenzaci zabraňujeme vhodným návrhem střešního pláště. Na výběr skladby střešního pláště máme difuzně otevřenou konstrukci nebo difuzně uzavřenou konstrukci. Ve výběru z těchto dvou variant nelze říct, která by byla lepší, protože není znám jednoznačný názor. Difuzně otevřená konstrukce umožňuje vstup vzdušné vlhkosti z interiéru přes konstrukci do exteriéru. Tento vstup je umožněn vhodným návrhem materiálu, který má otevřenou pórovitost. Difuzně uzavřená konstrukce střechy zabraňuje vzniklé vlhkosti vstoupit do konstrukce. Zabránění vstupu vlhkosti je způsobeno parotěsnou vrstvou. Pro správné fungování parotěsné vrstvy ve střešním plášti je důležité správné umístění a vytvoření parotěsných spojů. Při špatném provedení kotvení nebo spár se musí poškozené místo opravit pomocí samolepící pásky od výrobce parotěsné vrstvy. Umístění ve střešním plášti je co nejbližší vnitřnímu prostředí. Velký pozor si dáváme u sádkartonu, kdy se parozábrana nemůže umístiti přímo pod vnitřní povrchové desky. Provedením závěsu by se parozábrana poškodila [9].

Pro udržení přijatelného množství vzdušné vlhkosti v interiéru slouží také větraná vzduchová mezera. Vzduchová mezera odvádí prouděním přebytečnou vlhkost ze střešního pláště do vnějšího prostředí. Tato vrstva se umísťuje mezi tepelnou

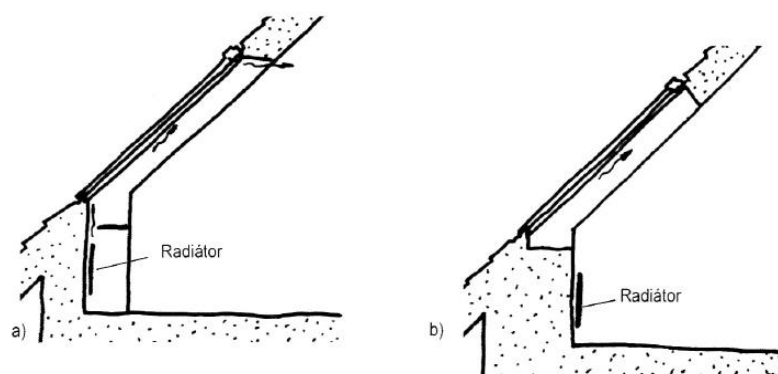
izolací a pojistnou hydroizolací v horní části krokví nebo mezi pojistnou hydroizolací a skládanou střešní krytinou. V prvním případě umístěná větraná vzduchová mezera slouží k odvodu vlhkosti, která může kondenzovat v tepelné izolaci a také zaručuje jistotu spodních vrstev skladby střechy. Pokud se vrstva umístí mezi pojistnou hydroizolaci a střešní krytinu, odvádí kondenzační vlhkost ze spodního povrchu krytina. Druhou a docela podstatnou vlastnost tohoto umístění větrané vrstvy je schopnost odolnosti proti vlhkosti a mrazu. Při použití difuzně otevřené pojistné hydroizolace rovněž napomáhá režimu difuze vodní páry z interiéru. Nespornou výhodou je dále zajištění příznivých podmínek v zimním i letním období [9].

Podle počtu větraných mezer nám jsou známé skladby střešních plášťů:

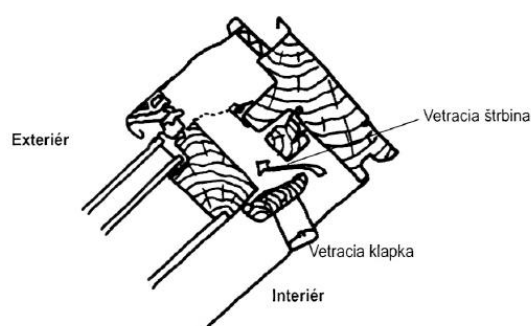
- Jednoplášťové – bez větrané mezery
- Dvoupplášťové – mezera se nachází mezi pojistnou hydroizolací a střešní krytinou
- Tříplášťové – větrané vzduchové mezery jsou mezi tepelnou izolací a pojistnou hydroizolací i mezi pojistnou hydroizolací a střešní krytinou

Dimenze větracích otvorů pro přívod a odvod vzduchu závisí na typu střešního pláště, difuzního odporu pojistné hydroizolace, délce krokví a sklonu střechy. Pro přesné určení se řídíme tabulkou z normy ČSN 73 1901 [9].

Při návrhu střešní konstrukce musíme také brát v úvahu, že ve většině případů se provádějí podkrovní byty. Nejenže si musíme pohlídat správné umístění okna, ale i radiátoru. V případě správného umístění se zvětší součinitel prostupu tepla z vnitřku okna, tím se zvýší povrchová teplota a omezíme i tvorbu kondenzátoru. Vysvětlení na obrázku č. 13. S problémem kondenzace vody souvisí i odvětrávání v konstrukci oken. Pro úplné vyřešení problému s kondenzační vodou věnujeme pozornost i střešním oknům. Ty musí být také odvětrávány viz obrázek č. 14 [5].



(a)- zabraňuje (b)- nezabraňuje
Obr. 12 Geometrie ostění střešního okna nad radiátorem [5]



Obr. 13 větrací klapka a štěrbina v konstrukci střešního okna [5]

2.8 Chemická ochrana dřeva

Tento způsob ochrany se zakládá na aplikaci ochranných chemických prostředků. Aplikací těchto prostředků zaručíme vyšší trvanlivost a odolnost dřeva vůči abiotickým faktorům a biotickým škůdcům. Použití ochranných prostředků je většinou směřováno proti určité skupině vlivů, které dřevo degradují [7]. Odlišnost chemických prostředků je podle žádané ochrany dřeva. Odolnost proti houbám zajišťuje chemická látka s názvem fungicid a odolnost napadení dřeva způsobuje insekticid. Jestli se dřevo má chránit či nemá doporučuje tabulka z normy ČSN 335-1[1].

Tabulka 2 – Třídy ohrožení rostlého dřeva biologickými škůdci z hlediska vlhkosti dřeva a jeho používání podle ČSN-EN 335 [1]

| Třída ohrožení | Expozice dřeva | Vlhkost dřeva | Výskyt biologických činitelů | | | | |
|----------------|--|----------------|------------------------------|----------------------------------|---------------------------|--------|-------------------|
| | | | Dřevokazné houby | | Dřevozbarvující houby | | Hmyz |
| | | | Basidiomycetes | Houby způsobující měkkou hnilobu | Houby způsobující modráni | Plísně | Brouci |
| 1 | dřevo v interieru staveb, pod střechem, bez styku se zemí, trvale suché | max. 20 % | ne | ne | ne | ne | ano ¹⁾ |
| 2 | dřevo bez styku se zemí, zcela chráněné před povětrností a vyluhováním vodou, možné je přechodné navlhnutí | občasně > 20 % | ano | ne | no | ano | ano |
| 3 | dřevo vystavené vlivu povětrnosti ale bez přímého a trvalého styku se zemí | často > 20 % | ano | ne | ano | ano | ano |
| 4 | dřevo ve styku se zemí a/nebo sladkou vodou | trvale > 20 % | ano | ano | ano | ano | ano |
| 5 | dřevo v trvalém a přímém styku se slanou vodou ²⁾ | trvale > 20 % | ano | ano | ano | ano | ano |

¹⁾ Ochrana není nutná:
- je-li dřevo zabudováno v prostorách s běžným klimatem tak, že ho možno pravidelně kontrolovat;
- použijí-li se dřeviny s jádrovým dřevem, mající podíl bělového dřeva menší než 10%.

²⁾ Toto riziko se v ČR nevyskytuje a proto dále tato třída ohrožení není uváděna.

Hlavní u chemické ochrany je určení patřičného ochranného prostředku a způsob aplikace. Určení, jakou chemickou ochranu potřebujeme, najdeme v normě ČSN 490600- ČÁST 1, kde je uvedeno písemné typové označení prostředku. Účinnosti prostředku, způsob aplikace a použitelnost pro třídy ohrožení.

2.8.1 Ochranné látky proti biotickým škůdcům

Tyto roztoky se skládají ze dvou základních částí biocidů a nosičů. Látka, která zabíjí po vstřebání do dřeva biotické škůdce je biocid. Aby se roztok dobře šířil ve dřevě musí obsahovat nosič, který je buď na principu vodní, nebo rozpouštědlový (olejový) roztok. Na ochranu krovu můžeme použít vodní vyluhovatelné ochranné prostředky. Ty se skládají z vodního roztoku a anorganických biocidů (především solí). V případě styku s vodou by došlo k vyloučení ochranných látek (biocidů) ze dřeva, tím pádem by přestal být přípravek účinný [1], [7].

2.8.2 Způsoby impregnace dřeva

Impregnace dřeva je chemicko-fyzikální proces, při kterém se ochranná látka vnáší do kapilárního systému dřeva, aby se dřevo stalo odolné vůči účinkům biologických škůdců a činitelů nebo, aby změnilo nějaké své vlastnosti. Než se dřevo impregnuje, musíme věnovat pozornost stavbě a vlastnostem dřeva. Poté z jakého druhu dřeva je daný prvek vyroben. Dřevo se skládá z jádrové a bělové části. Bělová část se po skácení vysušuje a podléhá dřívě zkáze. Proto je nutné při impregnaci proimpregnovat celou bělovou část. Vlastnosti dřeva ovlivňují množství příjmu a rozložení ochranné látky ve dřevě. Mechanismus impregnace je jiný pro jehličnaté a jiný pro listnaté dřevo – velký význam zde sehrává i pronikání impregnační látky v jednotlivých směrech. Těžko impregnovatelné dřeviny jsou smrk, jedle nebo borovice. Impregnační prostředky nejlépe pronikají do dřeva ve směru vláken, z čelní plochy. Hustota a objemová hmotnost určí množství příjmu ochranné látky do dřeva. Dále se musí vybrat vhodný druh použité látky. Poté už zbývá zvolit vhodný způsob impregnace [4].

Způsoby impregnace [7]

- Beztlaková impregnace
 - Natírání
 - Stříkání
 - Ponořování
 - Máčení
 - Bandážování
 - Injektáž
- Tlaková impregnace

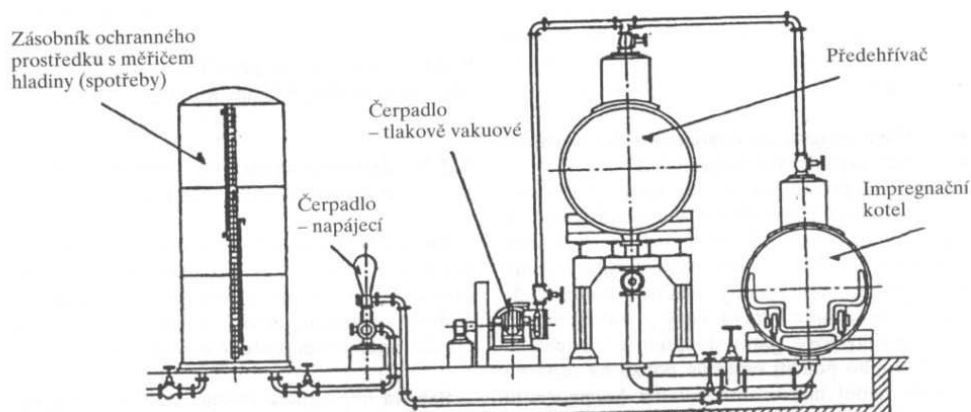
- Injektáž
- Vakuová impregnace
- Stupňová impregnace
- Cyklická impregnace
- Impregnace pulzací tlaku

Nejprve se zaměříme na beztlakou impregnaci. Tento druh impregnace lze použít k chemické ochraně konstrukce krovu. Nejpoužívanějším způsobem je natírání a stříkání. *Natírání* (nános) provádíme nejčastěji štětcem nebo válečkem lze i použít mechanizaci. Nejjednodušší a nejlevnější forma chemické ochrany. Množství přípravku proniklého do dřeva záleží, na drsnosti povrchu. Neohoblované dřevo přijme mnohem větší množství látky než frézované. Jedním nátěrem se dosahuje příjem cca 70-300 g/m². Vícenásobné nátěry zaručují větší kvalitu ochrany. Při aplikaci druhého nátěru bývá příjem o 25-60 % nižší než u prvního nátěru [7]. Delší dobou vysychání zaručuje účinnější ochranu. *Nástřik* oproti nátěru se jeví v ochraně dřeva jako kvalitnější, díky lepšímu pronikání ochranné látky do povrchu. Stříkáme ochrannou látku pod tlakem pomocí stříkací pistole nebo stříkací růžicí v lince. Jako u nátěru nástřik musíme opakovat. Výhodou je, že se dostane i do těžce přístupných míst (složitě spoje prvků nebo praskliny). Nevýhodou u dodatečné ochrany dřeva je 50-80% ztráty přípravku. Nevýhoda u těchto způsobů aplikace impregnace je, že se pohybuje v několika milimetrech. Při práci se musí používat ochranné prostředky jako respirátor, ochranné agrofolie apod. [4]. *Ponořování* oproti uvedeným způsobům impregnace se jeví jako nejúčinnější, z důvodu většího vnikání látky do dřeva (u hladkého povrchu o 15-20 % a drsného o 45-50 % více) [7]. *Máčení* dělíme na krátkodobé a dlouhodobé impregnování. Podle druhu dřeva a doby impregnace docílíme hloubky od desetin milimetrů do několika milimetrů. Při máčení se často roztok zahřívá. Zahřívání zajišťuje urychlení pronikání látky do dřeva. Před každým máčením musíme dřevo vysušit pod bod nasycení vláken,

což je 30 % vlhkosti. Impregnace se provádí ve specializovaných firmách, většinou na pilách. Jednak je to z důvodu správné technologie, ale také ekologie a práce s nebezpečnými látkami či odpady [4]. Nejznámější způsob máčení známe pod názvem kyanizace. Jde o máčení v sublimátu – chlorid rtuťnatý, který je silně jedovatý a nejedná se o kyanid. Proces probíhá v rozmezí 8-12 dní, kdy se dřevo nachází v nádrži minimálně 5 cm pod hladinou. Množství látky, které dřevo přijme se pohybuje 110-140 litrů roztoku na 1 metr krychlový, což odpovídá jednomu kilogramu pevného sublimátu. Poté se dřevo vyjme z nádrže a hromadí se několik měsíců. V tomto časovém období začíná vnikání ochranné látky difúzí hlouběji do dřeva. Tento způsob ochrany má větší účinky proti dřevokazným houbám oproti hmyzu [7]. U bandážování a injektáže se jedná o ochranu, kdy se do dřeva dělají otvory. Pro konstrukci krovu jsou dost nevhodné jako způsob chemické ochrany a nebudu se jimi zabývat.

Tlaková impregnace – vzniká proces, při kterém prostředek pro ochranu dřeva se natlačí do dřevěného prvku pomocí rozdílu tlaku a podtlaku v okolí dřeva a ve dřevě. Tyto způsoby se snaží o dosažení hluboké impregnace, aby se proimpregnovala celá bělová část [7]. Zajišťuje nejúčinnější ochranu pro celkovou chemickou ochranu dřeva. Tlaková impregnace vyžaduje stojní zařízení, budovy a skladovací prostory. To znamená, že tento způsob impregnace se provádí, než je dřevo dopraveno na stavbu. Rozdíl v jednotlivých metodách je o používání různých fází tlaku, vakua, vzduchu, ochranné látky, času impregnace a teplotní hladiny [4]. Požíváme je hlavně pro těžko impregnované dřeviny (smrk, jedle či borovice). Výhodou toho způsobu impregnace je, že víme, kolik přesně se dává impregnačního prostředku a můžeme to snadno měřit či kontrolovat [7].

Tlaková impregnace je nejrozšířenější způsob průmyslové ochrany dřeva. Je prováděná impregnační stanicí, jejíž skladba se nachází na obrázku č. 14, na další stránce zjednodušený popis jednotlivých částí [4].



Obr. 14 Schéma zařízení pro tlakovou impregnaci [1]

Strojní výbava – kompresory, čerpadla, vývěva a jiné. Dimenzovaná na plynulý chod impregnace, spíše větší, aby bylo možné provádět opravy a údržbu [4].

Chladič s kondenzační nádobou – zabraňuje páře z impregnační látky, aby vnikla do pomocného zařízení.

Odměrné nádoby – ukazují impregnační schopnost dřeva – rychlost impregnace a používají se u přípravy roztoků impregnačních látek.

Přehříváč – ocelová tlaková nádoba umístěná nad impregnačním kotlem, slouží k přehřívání impregnace na potřebnou teplotu. Obsah přehříváče musí být minimálně stejný, jako má impregnační kotel.

Filtrační zařízení – odstraňuje disperzní nečistoty z impregnací, bývá umístěn mezi přehříváčem a impregnačním kotlem.

Impregnační kotel – je to ocelová tlaková nádoba s délkou 15-30 m a průměrem 1,5 – 2 m. Otvírání kotle se nachází na jedné nebo na obou koncích. Víko musí být těsněné a přitlačeno šrouby. Do kotle musí ústít přívod a odvod impregnační látky, tlakového vzduchu, přívod páry a odvod kondenzátu s čidly na zjišťování potřebných hodnot.

Sklad impregnačních látek – zabezpečuje plynulost výroby a zároveň uložení látek s ochrannou životního prostředí i přípravků samých.

Manipulační zařízení a váhy – kolejové impregnační vozíky, na nichž se provádí kontrola kvality, množství a hmotnost dřeva.

Zařízení pro přípravu vodních roztoků ochranných látek – směšovací a odměřovací zařízení, zajišťující přesnost dosažených koncentrací.

Zdroj tepla – musí být kapacitně dostatečný pro dostatečný ohřev impregnačních látek.

Měřicí a kontrolní zařízení – tlakoměry, teploměry, váhy a podobně.

Provozní laboratoř – kontrola kvality impregnace podle norem či obchodní smlouvy.

Pulzační impregnace - pracuje na principu vtlačení vodního roztoku ochranné látky do dřeva krátkými impulsy tlaku a vakua. Hloubka vložení ochranné látky je 2-4 cm. Cyklu pulzační impregnace závisí na druhu dřeviny a její vlhkosti např. vzduchosuchá borovice má 2 hodiny s provedením 40-120 period, smrk po těžbě – 20hod. s provedením 400-500 period [7]. V okamžiku přetlaku dochází k zatlačování přípravku vhodné koncentrace do dřeva. Při podtlaku dochází k vysání z části zředěného přípravku ze dřeva. Difuzní ředění ochranného přípravku v mokřém dřevě vlivem koncentračních gradientů probíhá především při přetlaku. Konstantní koncentrace ochranného přípravku je v impregnačním kotli zajišťována průběžným doplňováním koncentrátu do roztoku. Doby změny tlaku jsou velmi krátké. Přetlak 700 kPa dosáhne za 4 sekundy. Zvýšení přetlaku na 800 kPa probíhá až do konce fáze tlaku. Vyrovnání tlaku s atmosférickým trvá jednu sekundu. Dosažení podtlaku cca 75kPa je za 2 sekundy a zvýšení podtlaku se potom provádí během dalších deseti sekund. Délka trvání se mění poměrem mezi tlakem a vakuem z počáteční převahy vakua (70 %) do konečné převahy tlaku (85 % z doby periody). Tento způsob je velmi dokonalý, je však velmi náročný na energie a na dokonalé technické zařízení [4].

3 PRAKTICKÁ ČÁST

V rámci této části bakalářské práce, byl proveden návrh sanace a variantní posouzení krovu na vybraný historický objekt v blízkosti centra Kutné Hory. Posouzení krovu – vybraného nosného prvku, bylo provedeno ve dvou variantách. V první variantě byl posouzen stávající krov objektu hambáلكové soustavy, ve druhé variantě byl krov upraven ve vaznicové soustavě. Pro stanovení vnitřních sil byl použit program Scia Engineer 17. 1. Ostatní výpočty a posouzení byly provedeny ručně. Výpočetní model byl předběžný.

Posouzení krovu bylo provedeno v několika jednotlivých krocích. Nejdříve bylo určeno zatížení větrem (ČSN EN 1991-1-4) a sněhem (ČSN EN 1991-1-1-3). Dále zatížení střešního pláště a vlastní tíhy konstrukce. Vlastní posouzení krovu (krokve) na tlak s ohybem a smykem bylo provedeno pro nejnepříznivější kombinaci předchozích zatížení.

Popis objektu

Zkoumaný objekt je rodinný dům postavený v 18. století, nacházející se u historického centra v Kutné Hoře. Dům je jedno podlažní, z části podsklepen. Obvodové zdi jsou kamenné v kombinaci s klasickými pálenými cihlami. Stropní konstrukce je tvořena dřevěným trámovým stropem. Pro konstrukci krovu byla použita hambáلكová soustava. Střešní pláště je tvořen eternitovou krytinou s prkenným podbitím.



Obr. 16 vybraný rodinný dům



Obr. 15 Vybraný rodinný dům

3.1 Posouzení variant krovu

V rámci zamýšlené rekonstrukce objektu je uvažováno využití podkrovního prostoru pro obývání. Při tomto druhu užívání podkroví se zvyšuje riziko opětovného vzniku podmínek pro degradaci i za použití chemické ochrany a dodržení konstrukčních opatření. Z tohoto důvodu lze uvažovat i o kompletní výměně krovu. Při výběru konstrukčního řešení lze vybírat mezi hambálkovou či vaznicovou soustavou. Konstrukce krovu z příhradových vazníků nepřichází v úvahu z důvodu zamýšleného obývání podkrovních prostor. Nosné prvky krovu budou ve shodných/obdobných dimenzích se stávajícím krovem a posuzovány s třídou pevnosti dřeva je C 20.

3.1.1 Výpočet zatížení

1) Zatížení větrem [10]:

a) Základní rychlost větru

$$V_b = C_{dir} \cdot C_{season} \cdot V_{b,0} = 1 \cdot 1 \cdot 27,5 = 27,5 \text{ m/s}$$

b) Charakteristická střední rychlost větru

$$K_r = 0,19 \cdot \left(\frac{z_0}{z_{0,II}}\right)^{0,07} = 0,19 \cdot \left(\frac{1}{0,05}\right)^{0,07} = 0,17$$

$$C_{r_z} = 0,17 \cdot \ln(10) = 0,39$$

$$V_{m_z} = C_{r_z} \cdot C_{o_z} \cdot V_b$$

$$V_{m_z} = 1 \cdot 0,39 \cdot 27,5 = 10,75 \text{ m/s}$$

c) Dynamický tlak

$$q_b = \frac{1}{2} \cdot e \cdot V_b \cdot z^2 = \frac{1}{2} \cdot 1,25 \cdot 27,5 \cdot 10^2 = 1,72 \text{ kN/m}^2$$

d) Součinitelé vnějšího tlaku vítr příčný

$$W_e = q_b \cdot C_{pe}$$

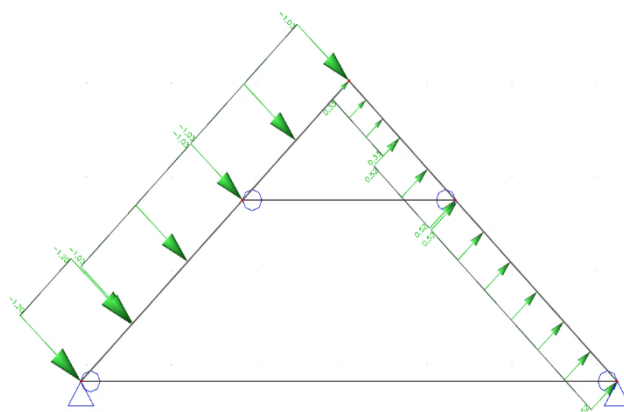
$$W_{eF} = 1,72 \cdot (+0,7) = 1,20 \text{ kN/m}$$

$$W_{eG} = 1,72 \cdot (+0,7) = 1,20 \text{ kN/m}$$

$$W_{eH} = 1,72 \cdot (+0,6) = 1,03 \text{ kN/m}$$

$$W_{eI} = 1,72 \cdot (-0,2) = -0,33 \text{ kN/m}$$

$$W_{eI} = 1,72 \cdot (-0,3) = -0,52 \text{ kN/m}$$



Obr. 17 zatížení: vítr příčný [23]

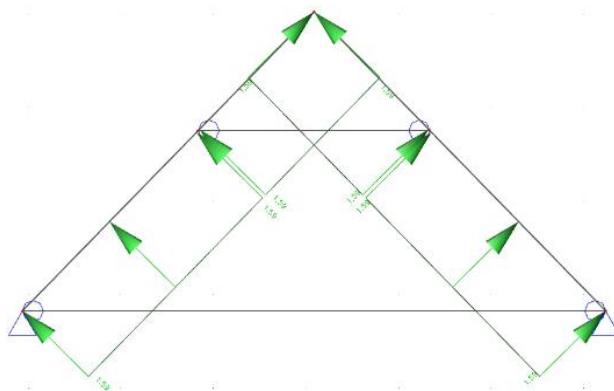
d) Součinitelé vnějšího tlaku vítr podélný

$$C_{pe} = C_{pe,1} + (C_{pe,10} - C_{pe,1}) \cdot \log_{10} A$$

$$C_{peH} = (-1,2) + [(-0,9) - (-1,2) \cdot \log_{10} 8,0] \cdot \log_{10} 8,03 = -0,93$$

$$W_e = q_b \cdot c_{pe}$$

$$W_{eH} = 1,72 \cdot (-0,93) = -1,54 \text{ kN/m}$$



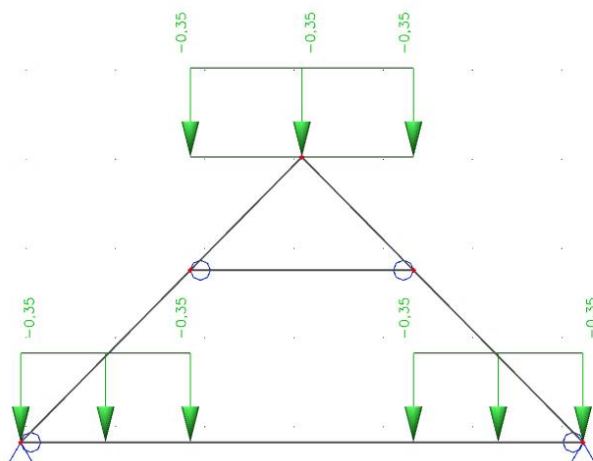
Obr 18 zatížení : vítr podélný [23]

2) Zatížení sněhem [11]:

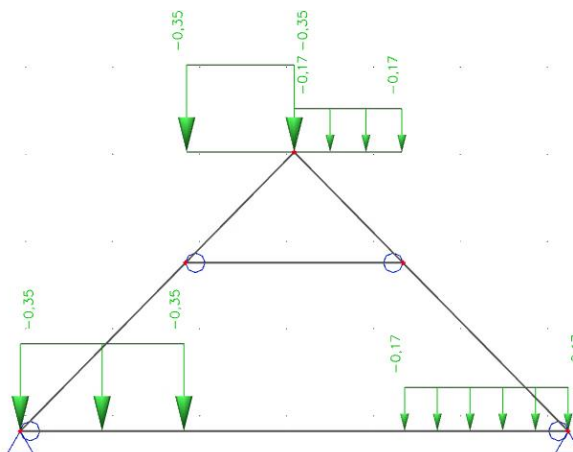
$$S = u_i \cdot C_e \cdot C_t \cdot S_e$$

$$S = 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,7 = 0,7 \text{ kN/m}^2$$

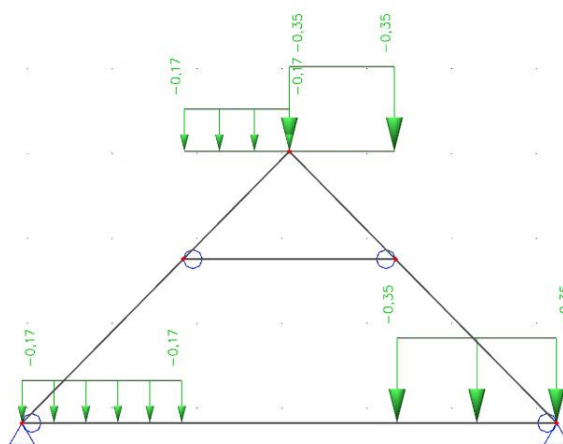
$$S = 0,35 \text{ kN/m}$$



Obr. 19 zatížení sněhem [23]



Obr. 20 zatížení sněhem z levé strany [23]



Obr. 21 zatížení sněhem z pravé strany [23]

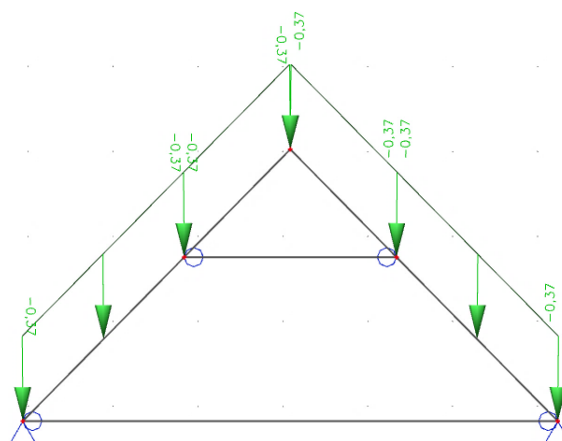
3) Zatížení stálé

Břídlice – $g_k = 0,35 \text{ KN/m}$

Prkna – $g_k = 0,0097 \text{ KN/m}$

Krokev – $g_k = 0,0065 \text{ KN/m}$

Celkem $g_k = 0,37 \text{ KN/m}$



Obr. 22 zatížení stálé [23]

3.1.2 1. varianta – hambálek

Posouzení ohybu a tlaku na krokev [12]:

$$\left(\frac{\sigma_{c,o,d}}{k_{c,y} \cdot f_{c,od}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} \leq 1$$

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_y}{W_y} = \frac{3,22 \cdot 10^6}{3,92 \cdot 10^5} = 8,21 \text{ MPa}$$

$$W_y = \frac{1}{6} \cdot b \cdot h^2 = \frac{1}{6} \cdot 120 \cdot 140^2 = 3,92 \cdot 10^5 \text{ mm}^3$$

$$f_{m,y,d} = \frac{k_{mod} \cdot f_{m,y,k}}{j_m} = \frac{0,8 \cdot 20}{1,3} = 12,31 \text{ MPa}$$

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} = \frac{1}{2,55 + \sqrt{2,55^2 - 1,94^2}} = 0,24$$

$$k_y = 0,5 \cdot (1 + B_c \cdot (\lambda_{rel,y} - 0,3) + \lambda_{rel,y}^2)$$

$$k_y = 0,5 \cdot (1 + 0,2 \cdot (1,94 - 0,3) + 1,94^2) = 2,55$$

$$i_y = \sqrt{\frac{I}{A}} = \sqrt{\frac{\frac{1}{12} \cdot 120 \cdot 140^3}{120 \cdot 140}} = 40,42 \text{ mm}$$

$$\lambda_y = \frac{L_{cry}}{i_y} = \frac{4530}{40,42} = 112,09$$

$$\lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_y}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,ok}}{E_{0,05}}} = \frac{112,09}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{19}{6400}} = 1,9$$

$$f_{c,od} = \frac{k_{mod} \cdot f_{cok}}{\gamma_m} = \frac{0,8 \cdot 19}{1,3} = 11,67 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{c,o,d} = \frac{N}{A} = \frac{6,50 \cdot 10^3}{120 \cdot 140} = 0,39 \text{ MPa}$$

$$\left(\frac{\sigma_{c,o,d}}{k_{c,y} \cdot f_{c,od}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} \leq 1$$

$$\left(\frac{0,39}{0,24 \cdot 11,67} \right)^2 + \frac{8,21}{12,31} \leq 1$$

0,68 ≤ 1...vyhovuje

Posouzení smyku na krokev [12]:

$$\frac{\tau_{v,c}}{f_{v,d}} \leq 1$$

$$f_{v,d} = \frac{k_{mod} \cdot f_{v,k}}{\gamma_m} = \frac{0,8 \cdot 3,6}{1,3} = 2,21 \text{ MPa}$$

$$\tau_{v,d} = \frac{V_{ed} \cdot S_y}{b_{eff} \cdot I_y} = \frac{3}{2} \cdot \frac{V_{ed}}{A_{eff}} = \frac{3}{2} \cdot \frac{3,33 \cdot 10^3}{11256} = 0,44 \text{ Mpa}$$

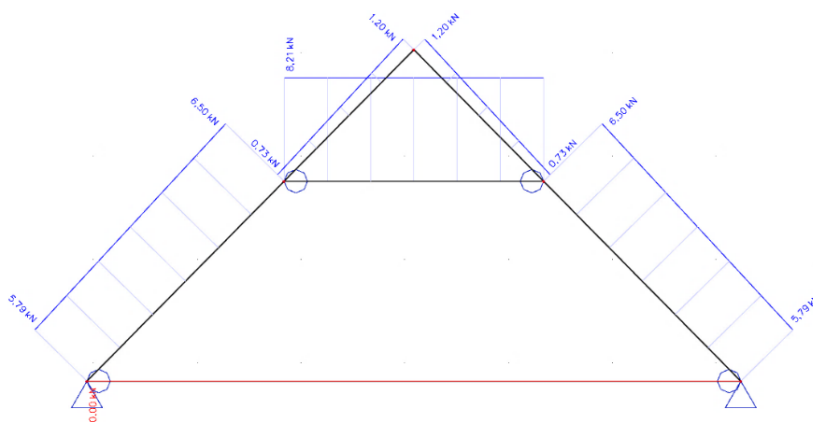
$$A_{eff} = b_{eff} \cdot h = 80,4 \cdot 140 = 11256 \text{ mm}^2$$

$$b_{eff} = k \cdot b = 0,67 \cdot 120 = 80,4 \text{ mm}$$

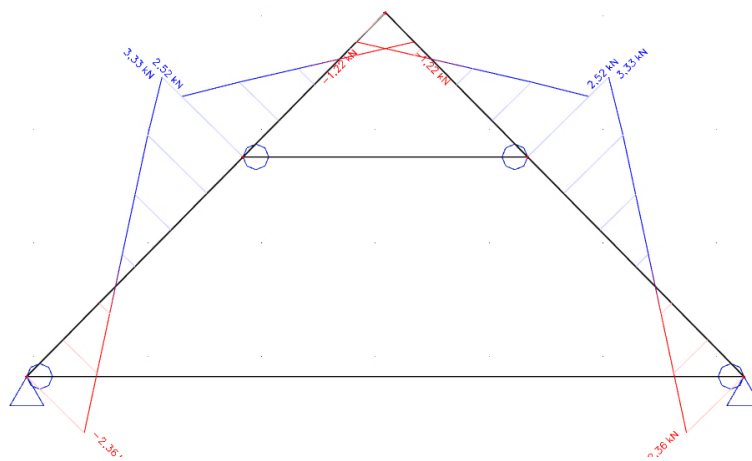
$$\frac{\tau_{v,c}}{f_{v,d}} \leq 1$$

$$\frac{0,44}{2,21} \leq 1$$

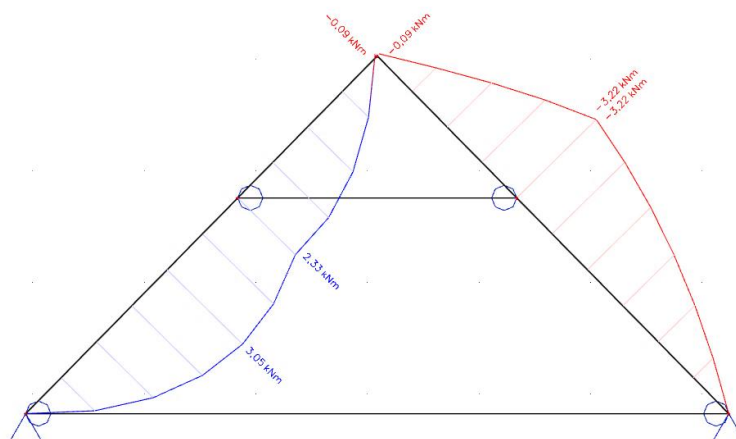
0,19 ≤ 1...vyhovuje



Obr. 23 Normálová síla na krokev Nx



Obr. 24 Posouvající síla na krokev Vz



Obr. 25 Moment na krokev My

Ve variantě řešení krovu s hambálkovou soustavou na dané zatížení krokev vyhoví.

3.1.3 2. varianta – vaznicová soustava

Posouzení ohybu a tlaku na krokev [12]:

$$\left(\frac{\sigma_{c,o,d}}{k_{c,y} \cdot f_{c,od}}\right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} \leq 1$$

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_y}{W_y} = \frac{1,29 \cdot 10^6}{3,92 \cdot 10^5} = 3,29 \text{ MPa}$$

$$W_y = \frac{1}{6} \cdot b \cdot h^2 = \frac{1}{6} \cdot 120 \cdot 140^2 = 3,92 \cdot 10^5 \text{ mm}^3$$

$$f_{m,y,d} = \frac{k_{mod} \cdot f_{m,y,k}}{\gamma_m} = \frac{0,8 \cdot 20}{1,3} = 12,31 \text{ MPa}$$

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} = \frac{1}{2,55 + \sqrt{2,55^2 - 1,94^2}} = 0,24$$

$$k_y = 0,5 \cdot (1 + B_c \cdot (\lambda_{rel,y} - 0,3) + \lambda_{rel,y}^2)$$

$$k_y = 0,5 \cdot (1 + 0,2 \cdot (1,94 - 0,3) + 1,94^2) = 2,55$$

$$i_y = \sqrt{\frac{I}{A}} = \sqrt{\frac{\frac{1}{12} \cdot 120 \cdot 140^3}{120 \cdot 140}} = 40,42 \text{ mm}$$

$$\lambda_y = \frac{L_{cry}}{i_y} = \frac{4530}{40,42} = 112,09$$

$$\lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_y}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,ok}}{E_{0,05}}} = \frac{112,09}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{19}{6400}} = 1,94$$

$$f_{c,od} = \frac{k_{mod} \cdot f_{c,ok}}{\gamma_m} = \frac{0,8 \cdot 19}{1,3} = 11,67 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{c,o,d} = \frac{N}{A} = \frac{6,49 \cdot 10^3}{120 \cdot 140} = 0,38 \text{ MPa}$$

$$\left(\frac{\sigma_{c,o,d}}{k_{c,y} \cdot f_{c,o,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} \leq 1$$

$$\left(\frac{0,38}{0,24 \cdot 11,67} \right)^2 + \frac{3,29}{12,31} \leq 1$$

0,29 ≤ 1...vyhovuje

Posouzení smyku na krokev [12]:

$$\frac{\tau_{v,c}}{f_{v,d}} \leq 1$$

$$f_{v,d} = \frac{K_{mod} \cdot f_{v,k}}{\gamma_m} = \frac{0,8 \cdot 3,6}{1,3} = 2,21 \text{ MPa}$$

$$\tau_{v,d} = \frac{V_{ed} \cdot S_y}{b_{eff} \cdot I_y} = \frac{3}{2} \cdot \frac{V_{ed}}{A_{eff}} = \frac{3}{2} \cdot \frac{3,34 \cdot 10^3}{11256} = 0,45 \text{ MPa}$$

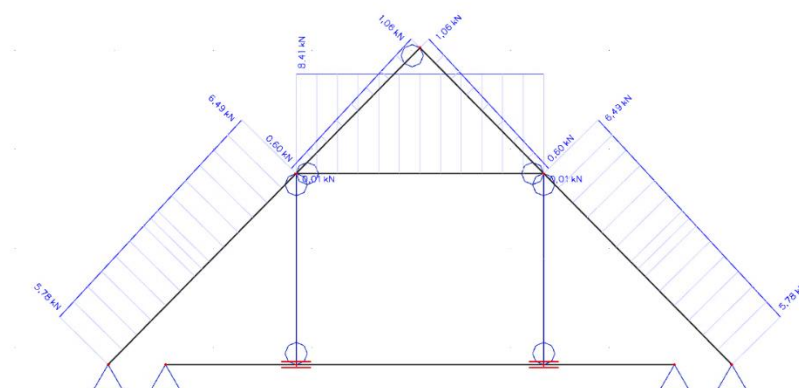
$$A_{eff} = b_{eff} \cdot h = 80,4 \cdot 140 = 11256 \text{ mm}^2$$

$$b_{eff} = k \cdot b = 0,67 \cdot 120 = 80,4 \text{ mm}$$

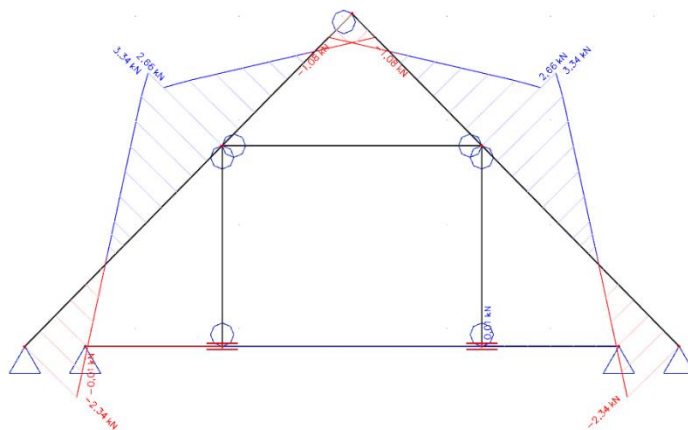
$$\frac{\tau_{v,c}}{f_{v,d}} \leq 1$$

$$\frac{0,45}{2,21} \leq 1$$

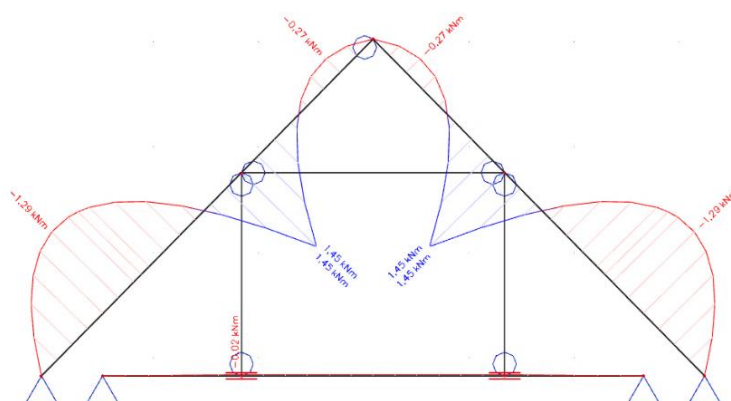
0,20 ≤ 1...vyhovuje



Obr. 26 Normálová síla na krokev Nx [23]



Obr. 27 Posouvající síla na krokev Vz [23]



Obr. 28 Moment na krokev My [23]

Ve variantě řešení krovu s vaznicovou soustavou na dané zatížení krokev vyhoví.

Tabulka 3 – Souhrn hodnot vnitřních sil na napětí u hambálkové a vaznicové soustavy

| Vnitřní síly/napětí | jednotky | Hambálková soustava | Vaznicová soustava |
|---------------------|----------|---------------------|--------------------|
| N | kN | 6,5 | 6,49 |
| V_{ed} | kN | 3,33 | 3,34 |
| M_y | kNm | 3,22 | 1,29 |
| $\sigma_{m,y,d}$ | MPa | 8,21 | 3,29 |
| $\sigma_{c,o,d}$ | MPa | 0,39 | 0,38 |
| $\tau_{v,d}$ | MPa | 0,44 | 0,45 |

3.2 Sanace krovu

Stávající krov vybraného objektu byl, podle mého odhadu, napadnut jak dřevokazným hmyzem, tak i dřevokaznou houbou. Odhad byl proveden na zasaženém místě krokve. A to dle velikosti požerkových chodbiček s vlnitým vyhlodáním, také bylo využito optického porovnání s fotografiemi z dostupné literatury, zabývající se touto problematikou. Napadení krovu bylo určeno, jako napadení tesaříkem.



Obr. 29 napadení krokve

Určení druhu dřevokazné houby bylo složité. Přesný druh nebyl určen, z důvodu absence výrazného typového degradování části krovu, umožňující přesné zařazení napadení. Napadenými prvky byly: pozednice, některé vazné trámy, některé spodní části krokví a námětky. Protože se jedná o nosné prvky konstrukce, navrhuji jejich celkovou výměnu. Poté se dřevo odstranilo od zbylých starých nátěrů. Na základě získaných informací navrhuji termosanaci konstrukce pomocí mikrovlnné energie. K potvrzení výběru jsem vyhledala firmu, která termosanaci provádí. Tento způsob sanace je vhodný pro dřevokazný hmyz, houby i plísně. Po provedení termosanace, bude následovat preventivní ošetření krovu chemickou ochranou. Označení použitého prostředku s preventivní účinností proti dřevokaznému hmyzu ozn. Ip s insekticidní složkou v prostředku.

4 ZÁVĚR

Lze konstatovat, že při realizaci rekonstrukce obytných prostor v podkroví by bylo vhodné celý krov nahradit novým. A to nejen z důvodu zvýšení rizika opětovné degradace, vlivem využívání podkroví, ale také pro rozsah výměny nosných prvků a potřebné provedení termosanace dřeva s následným chemickým ošetřením dřeva. Dále je vhodné poznamenat, že nová konstrukce krovu by také měla být před montáží ošetřena proti degradačním činitelům, především s ohledem na již přítomné činitele v objektu.

Vzájemným porovnáním konstrukčních variant krovu bylo zjištěno, že by bylo možné použít obě z posuzovaných variant. Rovněž, že krokve krovu jsou u obou soustav namáhány srovnatelnými silami. Výjimku tvoří ohybový moment a normálové napětí při ohybu, jenž jsou u vaznicové soustavy menší – v daném případě téměř třetinové.

Pro realizaci nového krovu lze doporučit krov z hambálkové soustavy a to s ohledem na zachování stávajícího typu krovu. Dále také umožnění větší dispoziční rozmanitosti obytného prostoru oproti vaznicové soustavě a nižší náročnosti samotné konstrukce. Tyto vlastnosti konstrukce a jiné jsou uvedené v tabulce č.4 na následující straně.

Tabulka 4 výhody a nevýhody konstrukcí

| Konstrukce sedlové střechy | | | |
|--|---|---|---|
| Hambalková soustava | | Vaznicová soustava | |
| výhody | nevýhody | výhody | nevýhody |
| Uvolněná dispozice podkrovních prostor (do rozponu cca 7 m) | Namáhání pozednic vodorovnými silami (nutné kotvení – stropní konstrukce) | Namáhání pozednic svislými silami | Omezení podkrovního prostoru plnými vazbami, modulové vzdálenosti plných vazeb |
| Rovnoměrné zatížení nosné obvodové konstrukce (všude stejné „plné“ vazby), nezatěžuje střed budovy | Při větších rozponech-plné vazby jako u vaznicové soustavy (podepření hambalku) | Možnost tvorby teras u stávajících krovů (odstranění podvaznicových částí krokví) | Zatížení stropní konstrukce v místech plných vazeb/omezení v úrovni podlahy vazními trámy |
| Jednoduchá konstrukce (pozednice, krokve, hambalky, zavětrovací kříže, kotvící prvky) | Zavětrování Ondřejovými kříži (omezení osazení střešních oken) | Možnost zastřešení složitějších půdorysných tvarů | Složitější-více prvková soustava (pozednice, krokve, vaznice, sloupky, vzpěry, pásky, vazní trámy, kotvící prvky) |
| Rychlejší a snadnější montáž | | V základním provedení vyšší únosnost krovu | Výstavba rovu po jednotlivých prvcích krovu |
| Možnost částečné prefabrikace krovu (krokve+hambalek) | | Možnost tvorby přesahů krokví za obvodové | Větší spotřeba dřeva, pro malé rozpory (cca 6 - 8m) |

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY A ZDOJŮ

- [1] ŽÁK, J., REINPRECHT, L.: *Ochrana dřeva ve stavbě*. 1.vyd. Praha: Arch, ISBN 80-86165-00-0,
- [2] VINAŘ, J., KUFNER, V., HOROVÁ, I.: *Historické krovy*. 1.vyd.Praha: EL Consult, 1995. ISBN 80-902076-0-X
- [3] VINAŘ, J. a kol.: *Historické krovy II průzkumy a opravy*. 1.vyd.Praha 2005: Grada Publishing, a.s. ISBN 80-147-1111-7
- [4] SVATOŇ, Josef.: *Ochrana dřeva*. 1.vyd.Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, 2000. ISBN 9788071574354
- [5] REINPRECHT, L.: *Ochrana dřeva: vysokoškolská učebnice*. 1.vyd. Zvolen: Technická univerzita, 2008. ISBN 978-80-228-1863-6
- [6] URBAN, J., *Ochrana dřeva I hlavní hmyzí dřevokazní škůdci*. 1.vyd.Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, 1997. ISBN 80-7157-254-3
- [7] HOLAN, Jiří.: *Ochrana dřeva*. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita,
- [8] ŠTEFKO, J., REINPRECHT, L., KUKLÍK, P., *Dřevěné stavby-Konstrukce, ochrana a údržba*. 1.vyd. Praha: Jaga, ISBN80-8076043-8
- [9] FAJKOŠ, A., NOVOTNÝ, M.: *Střechy základní konstrukce*. 1.vyd.Praha 2000: Grada Publishing. ISBN 80-247-0681-4
- [10] Studijní materiály – zatížení větrem
Dostupné z:
<http://www.fce.vutbr.cz/BZK/svarickova.i/pdf/BL05/zatizeni%20vetrem.pdf>
- [11] studijní materiály – zatížení sněhem
Dostupné z: http://fast10.vsb.cz/sera/Zatizeni%20snehem__teorie.pdf
- [12] KUKLÍK, P., KUKLÍKOVÁ, A., *Dřevěné konstrukce 10 – příklady navrhování*. 2 vyd. Praha 2003: České vysoké učení technické, Fakulta stavební. ISBN 80-0102665-5
- [13] obrázek dřevomorky
Dostupné z: <https://img.ceskyinternet.cz/clanky/og/144049989528.jpg>
- [14] obrázek Koniofory

Dostupné z: http://www.pcm.cz/library/img_big/43.jpg

[15] obrázek trámovky

Dostupné z:

<https://www.myko.cz/myko/public/images/myko/0066/2008/0066-2008-0000-0186p.jpg>

[16] obrázek Tesaříka krovového

Dostupné z:

https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/0/02/Hylotrupes__bajulus01.jpg/258px-Hylotrupes__bajulus01.jpg

[17] obrázek larvy Tesaříka krovového

Dostupné z:

[https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/7/77/130312__Tesarik__krovovy__Hylotrupes__bajulus__\(6\).JPG/133px-130312__Tesarik__krovovy__Hylotrupes__bajulus__\(6\).JPG](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/7/77/130312__Tesarik__krovovy__Hylotrupes__bajulus__(6).JPG/133px-130312__Tesarik__krovovy__Hylotrupes__bajulus__(6).JPG)

[18] obrázek Červotoče proužkovaného

Dostupné z: [http://www.ochrana-](http://www.ochrana-dreva.cz/www/ckfinder/userfiles/images/Coleo__Anobium__punctatum3.jpg)

[dreva.cz/www/ckfinder/userfiles/images/Coleo__Anobium__punctatum3.jpg](http://www.ochrana-dreva.cz/www/ckfinder/userfiles/images/Coleo__Anobium__punctatum3.jpg)

[19] obrázek napadeného dřeva Červotočem proužkovaný

Dostupné z: https://i.ceskestavby.cz/clanky/odstavce/22208-549549-1__a1.jpg

[20] obrázek Pilořitky velké

Dostupné z: http://www.skudci.com/files/piloritka-velka-2_0.jpg

[21] obrázek dřeva napadeného Pilořitkou velkou

Dostupné z: http://www.skudci.com/files/piloritka-velka-1_0.jpg

[22] vylučovací schéma [1]

[23] obrázky z programu Scia Engineer 17.01

[24]

SEZNAM OBRÁZKŮ

| | |
|---|----|
| Obr. 1 Nejvýznamnější zdroje abiotických a biotických poškození [1] | 9 |
| Obr. 2 Dřevomorka [13]..... | 12 |
| Obr. 3 Koniofora sklepní [14]..... | 12 |
| Obr. 4 Plodnice trámovky [15] | 13 |
| Obr. 5 Tesařík Korový [16]..... | 15 |
| Obr. 6 Larvy Tesaříka [17]..... | 15 |
| Obr. 7 Dřevo napadené červotočem [19]..... | 15 |
| Obr. 8 Červotoč proužkovaný [18]..... | 15 |
| Obr. 9 Pilořitka Velká [20]..... | 16 |
| Obr. 10 Dřevo napadené pilořitkou [21]..... | 16 |
| Obr. 11 Vyluč. schéma pro určení třídy ohrožení dřeva biotickými škůdci [1] | 27 |
| Obr. 12 Geometrie ostění střešního okna nad radiátorem [5]..... | 32 |
| Obr. 13 větrací klapka a štěrbin v konstrukci střešního okna [5] | 32 |
| Obr. 14 Schéma zařízení pro tlakovou impregnaci [1]..... | 37 |
| Obr. 15 Vybraný rodinný dům..... | 39 |
| Obr. 16 vybraný rodinný dům..... | 39 |
| Obr. 17 zatížení: vítr příčný [23]..... | 41 |
| Obr. 18 zatížení : vítr podélný [23]..... | 41 |
| Obr. 19 zatížení sněhem [23] | 42 |
| Obr. 20 zatížení sněhem z levé stany [23]..... | 42 |
| Obr. 21 zatížení sněhem z pravé strany [23]..... | 42 |
| Obr. 22 zatížení stálé [23]..... | 43 |
| Obr. 23 Normálová síla na krokev N_x | 45 |
| Obr. 24 Posouvající síla na krokev V_z | 45 |
| Obr. 25 Moment na krokev M_y | 45 |
| Obr. 26 Normálová síla na krokev N_x [23]..... | 47 |
| Obr. 27 Posouvající síla na krokev V_z [23]..... | 48 |
| Obr. 28 Moment na krokev M_y [23]..... | 48 |
| Obr. 29 napadení krokve | 49 |

SEZAM TABULEK

| | |
|---|----|
| Tabulka 1 Přístrojové metody na zjištění poškození a kvality dřeva [5] | 25 |
| Tabulka 2 Třídy ohrožení rostlého dřeva biologickými škůdci z hlediska vlhkosti dřeva a jeho používání podle ČSN-EN 335 [1] | 33 |
| Tabulka 3 Souhrn hodnot vnitřních sil na napětí u hambáلكové a vaznicové soustavy | 48 |
| Tabulka 4 výhody a nevýhody konstrukcí..... | 51 |

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha I – Výkres Hambáلكová soustava

Příloha II – Výkres Vaznicová soustava