

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta lesnická a dřevařská

Katedra dřevěných výrobků a konstrukcí



**Možnosti měření a monitorování deformací
konstrukčních prvků dřevěné rozhledny**

Bakalářská práce

Autor: Eva Sedláčková

Vedoucí práce: Ing. Martin Sviták, Ph.D.

2014

"Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma Možnosti měření a monitorování deformací konstrukčních prvků dřevěné rozhledny vypracovala samostatně pod vedením Ing. Martina Svitáka, Ph.D. a použila jen prameny, které uvádím v seznamu použitých zdrojů.

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

V Praze dne 30. 4. 2014

Eva Sedláčková

Poděkování

Ráda bych touto cestou poděkovala za odborné vedení a pomoc vedoucímu mé bakalářské práce panu Ing. Martinu Svitákovi, Ph.D. Dále patří poděkování Bc. Tomášovi Svobodovi, za konzultaci a poskytnutí projektového materiálu. Velký dík patří také rodině a všem lidem, kteří mě podporovali v průběhu studia.

Abstrakt

Bakalářská práce se zabývá analýzou a zhodnocením metod monitorování a měření deformací dřevěných prvků rozhledny na bázi dřeva při konkrétní lokalizaci v Ašském výběžku. U rozhledny na bázi dřeva je stanoven předpoklad, že vzhledem ke svým rozměrovým parametrům, polohovému umístění i použitému materiálu, může být velmi namáhanou stavbou, u které hrozí výskyt deformací. V práci jsou zmapovány a analyzovány vybrané současné metody měření deformací dřevěných konstrukčních prvků a také celkové konstrukce. Všechny metody jsou na principu nedestruktivních, nebo semi-destruktivních zkoušek. Pro měření deformací v důsledku dynamického namáhání, je pro praktické použití rozepsána metoda pomocí video extenzometru Mercury. Z analýzy vyplynulo, že při měření deformací jednotlivých dřevěných konstrukčních prvků, se jeví jako nejvhodnější metoda tenzometrického měření. Je to hlavně díky nenáročnosti při aplikaci na konstrukci rozhledny na bázi dřeva. Jako vhodný postup pro posouzení deformací celkové konstrukce rozhledny, byla vybrána metoda geodetické mikrosítě. Tato metoda byla vybrána pro svou vysokou přesnost a možnost dlouhodobějšího zkoumání.

Klíčová slova: deformace, konstrukční prvky, nedestruktivní diagnostika, dřevěná rozhledna

Abstract

Bachelor's work occupies with analysis and evaluation methods of monitoring and measuring deformations of wooden elements on observation, based on wood at concrete location in Aš headland. At observatory based on wood is set precondition, that considered on it's dimensions parameters, location and used material, can be very stained building and there is an opportunity for deformation occurrence. In this work, there is mapped and analysed choosed up to date methods of measuring deformations of wooden construction elements and whole construction too. All of these methods are on principle of undestructive or semi-destructive tests. For measuring of deformations as consequence of dynamic stain, is for practical use described method, which helps because of video extensometer Mercury. We can see from analysis, that during measuring of deformations of each wooden construction elements, that this method looks like the most suitable method of tenzometric measuring. Generally it's because easy application on the construction of observatory, based on wood. As suitable procedure for consideration of deformation of whole observatory construction, was choosed for it's high exaction and possibility of long-time research.

Keywords: deformation, constructional elements, non-destructive diagnostics, wooden lookout, tower

Obsah

1. ÚVOD.....	10
1.1. CÍLE PRÁCE	10
1.2. METODIKA	11
2. VSTUPNÍ INFORMACE	12
2.1. VÝHODY A NEVÝHODY DŘEVA	12
2.2. ROZMĚROVÉ SPECIFIKACE ROZHLEDNY	12
3. MECHANICKÉ VLASTNOSTI DŘEVA	15
3.1. NAPĚTÍ.....	19
3.2. DEFORMACE DŘEVA	20
3.2.1. <i>Hookeův zákon</i>	21
3.3. NAVRHOVÁNÍ DŘEVĚNÝCH KONSTRUKCÍ	22
3.3.1. <i>Mezní stav únosnosti</i>	23
3.3.1.1. Tah rovnoběžně s vlákny	23
3.3.1.2. Tah kolmo k vláknům.....	24
3.3.1.3. Tlak rovnoběžně s vlákny	24
3.3.1.4. Tlak kolmo k vláknům.....	24
3.3.1.5. Vzpěrný tlak	24
3.3.1.6. Namáhání v ohybu.....	25
3.3.1.7. Namáhání ve smyku	25
3.3.1.8. Kombinace uvedených namáhání	25
3.3.2. <i>Mezní stav použitelnosti</i>	26
3.3.2.1. Průhyb	26
3.3.2.2. Kmitání.....	27
3.3.2.3. Seizmické namáhání konstrukce.....	27
4. ZDROJE INFORMACÍ	29
5. PŘÍČINY PORUCH DŘEVĚNÝCH KONSTRUKCÍ	31
5.1. OBECNÉ ROZDĚLENÍ VAD	31
5.2. KONKRÉTNÍ ROZDĚLENÍ VAD	32
5.2.1. <i>Chyby dřeva ve struktuře</i>	32
5.2.2. <i>Chyby dřevěné konstrukce</i>	33
5.2.2.1. Poruchy svislých konstrukcí	33
5.2.2.2. Poruchy vodorovných konstrukcí	34
5.2.2.3. Poruchy schodišťových konstrukcí	35
5.3. BĚŽNÉ OPOTŘEBENÍ.....	35
5.4. NEVÝZNAMNÉ PORUCHY	36
5.5. VÝZNAMNÉ PORUCHY	37

5.6.	HAVARIJNÍ PORUCHY	38
5.7.	VANDALISMUS	38
6.	DIAGNOSTICKÉ METODY MĚŘENÍ DEFORMACÍ KONSTRUKČNÍCH	
	PRVKŮ ROZHLEDNY	40
6.1.	TENZOMETR	41
6.1.1.	<i>Popis nalepovacího foliového tenzometru</i>	<i>43</i>
6.2.	RENTGEN	45
6.3.	PILODYN	47
6.4.	ODPOROVÁ MIKROVRTAČKA	49
6.5.	BAUMANNOVO KLADÍVKO	51
6.6.	POMOCÍ JÁDROVÝCH VÝVRTŮ	52
6.7.	AKUSTICKÉ METODY	53
6.7.1.	<i>Ultrazvukové.....</i>	<i>54</i>
6.8.	VLHKOMĚRY	57
6.9.	MĚŘENÍ POMOCÍ DIGITÁLNÍCH ÚCHYLOMĚRŮ	58
7.	MĚŘENÍ PROSTOROVÝCH DEFORMACÍ ROZHLEDNY POMOCÍ ZA	
	POMOCI GEODETICKÝCH METOD	60
7.1.	MĚŘÍCÍ SYSTÉM - GEODETICKÁ MIKROŠÍŤ	60
7.2.	TECHNOLOGIE LASEROVÉHO SKENOVÁNÍ	62
7.3.	MĚŘENÍ POMOCÍ VIDEO EXTENZOMETRU MERCURY RT	62
8.	SHRnutí A PRAKTICKÉ POUŽITÍ.....	66
9.	ZÁVĚR	71
10.	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ.....	73
10.1.	KNIHY A ODBORNÉ PUBLIKACE	73
10.2.	NORMY	74
10.3.	INTERNETOVÉ PORTÁLY	75
10.4.	SBORNÍKY	78
10.5.	AKADEMICKÉ PRÁCE.....	78

Seznam obrázků

Obrázek 1 Konstrukce rozhledny-pohled, návrh	14
Obrázek 2 Základní druhy namáhání	20
Obrázek 3 Obecný tvar pracovního diagramu	22
Obrázek 4 Složky průhybu	26
Obrázek 5 Mapa seizmických oblastí ČR.....	28
Obrázek 6 Svislá trhлина ve sloupu	34
Obrázek 7 Drátkový tenzometr	42
Obrázek 8 A-vložka, b-mřížka, c-přípojky d-délka mřížky.....	42
Obrázek 9 Tenzometr s podložkou	43
Obrázek 10 Přenosný rentgen	46
Obrázek 11 Pilodyn 6 J stadard	48
Obrázek 12 Pilodyn	48
Obrázek 13 Odporové vrtání v praxi pomocí Resistographu	50
Obrázek 14 Princip zkoušky podle Brinella	51
Obrázek 15 Závislost útlumu na frekvenci	54
Obrázek 16 Detail přístroje Arborsonic Decay Detektor.....	56
Obrázek 17 Zatloukáací sonda pro vlhkoměry	57
Obrázek 18 Digitální úchylkoměr.....	58
Obrázek 19 Návrh měřičských značek	60
Obrázek 20 Rozmístění geodetické mikrosítě	61
Obrázek 21 Typická konfigurace jedno-kamerového systému	64
Obrázek 22 Připojení kamery na stativ	64
Obrázek 23 Dvou-kamerový systém.....	65
Obrázek 24 Experiment na rozhledně v Židlochovicích	69

Obrázek 25 Naznačení výkyvu rozhledny v Ašském výběžku.....	69
Obrázek 26 Monitorování rozhledny při experimentu	70
Obrázek 27 Graf výstup z měření	70

Seznam tabulek

Tabulka 1 Dovolená vlhkost dřeva na stavební konstrukce dle.....	16
Tabulka 2 Třídy trvání zatížení.....	18
Tabulka 3 Parametry digitálního úchylkoměru	59
Tabulka 4 Srovnání metod na měření jednotlivých konstrukčních prvků	67
Tabulka 5 Vyhodnocení metod.....	68

1. Úvod

V celé je práci probírána problematika měření deformací na konstrukčních prvcích rozhledny na bázi dřeva, bude tedy v úvodu objasněno, co deformace vlastně je, a proč k deformacím dochází. Deformací je nazývána změna rozměrů a tvaru dřevěného prvku, vyvolaná působením mechanických sil na těleso (GANDELOVÁ a Kol., 2009). Příčinou změny tvaru dílce je mechanické pnutí- působení sil, které jsou větší než setrvačné síly udržující původní tvar. Mezi faktory, kterými je zapříčiněn vznik výsledné deformace, může být řazeno: rozložení vlhkosti, změna klimatických podmínek, materiálové vlastnosti, struktura a vlastnosti použitých dřevin, pevnost a pružnost slepených vrstev, vliv povrchové úpravy na příjem vodních par z ovzduší a mnoho dalších faktorů kterými může být zapříčiněn vznik nebo rozšíření deformace. (BUREŠ, 2014)

1.1. Cíle práce

Cílem práce je sumarizovat dostupné metody monitorování deformací konstrukčních prvků rozhledny na bázi dřeva. Tato rozhledna byla navržena s primárním účelem intenzivního výzkumu, který bude probíhat na konstrukci rozhledny za běžného provozu. Monitorování rozhledny bylo rozděleno na dvě části. V první části byly monitorovány jednotlivé konstrukční prvky, a v druhé části je analyzováno měření celkového sedání rozhledny v průběhu používání v delším časovém rozsahu.

Monitorování prvků rozhledny na bázi dřeva je zachycováno z důvodu, aby po uvedení stavby do provozu, byl ověřen stav a reakce konstrukce v konkrétních podmínkách. Vlivem působení vnějších podmínek, mohou být způsobovány postupné vzájemné změny prostorových vztahů různých částí konstrukce, jako je dotvarování a dosednutí, což se projevuje měřitelnými deformacemi geometrických parametrů. Tyto přetvárné jevy na konstrukci je možno zachycovat pravidelným měřením ve vhodných intervalech (BUREŠ a Kol. 2012).

1.2. Metodika

Bakalářská práce byla z pohledu metodiky sestavena na základě následujících bodů:

- Základní informace o rozhledně a namáhání dřeva.
- Mezní stav únosnosti a použitelnosti.
- Zdroje informací.
- Poruchy dřevěných konstrukcí, rozdělení, specifikace.
- Měření jednotlivých konstrukčních prvků.
- Analyzování celkového sedání rozhledny.
- Volba konkrétní metody.
- Závěr.

2. Vstupní informace

2.1. Výhody a nevýhody dřeva

Úvodem je zdůvodněno, proč bylo dřevo použito ke stavbě rozhledny, a proč je dřevo velice vhodným konstrukčním materiálem. V minulosti bylo hlavním důvodem jeho používání jednoduchá vytěžitelnost, obrobitelnost a obnovitelnost z přírodních zdrojů. Ale proč se k jeho použití vracíme dnes, když jsou k dispozici materiály jako cihelné tvárnice, železobeton, či ocel? Je všeobecně známo, že dřevo je velice estetickým, přírodním a ekologickým materiálem. Je však schopno konkurovat ve fyzikálních a mechanických vlastnostech materiálům syntetickým vytvořených přímo na stavební účely (ŠTEFKO a kol. 2009)?

Odpovědí je vzrůstající trend používání dřeva ve stavebnictví nejenom v ČR ale i v ostatních zemích. Dřevo je používáno pro svoje výhody, mezi které mohou být řazeny: dobré tepelně technické vlastnosti, nízká objemová hmotnost, velmi dobré akustické vlastnosti, příznivé mechanické vlastnosti, dobré technologické vlastnosti, estetické vyzařování dřeva, příznivá ekonomická stránka věci atd. Nevýhody v podobě anizotropie, nehomogenity a hydroskopicity jsme většinou schopni eliminovat správným konstrukčním návrhem, či ošetřením chemickými prostředky (GANDELOVÁ a Kol. 2009).

2.2. Rozměrové specifikace rozhledny

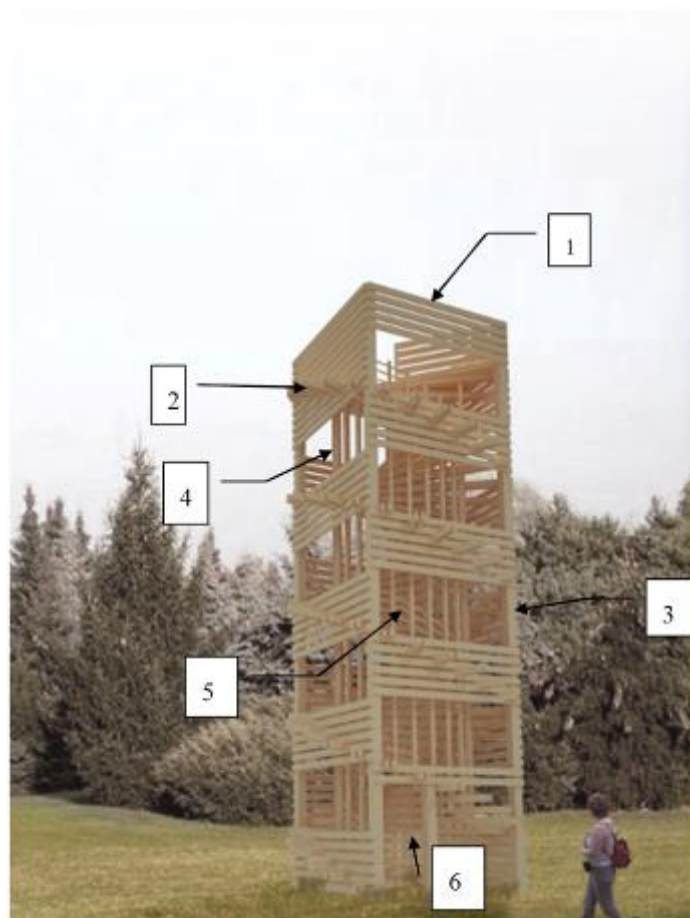
Rozhledna je navržena v Ašském výběžku na kopci s nadmořskou výškou 560 m n. m., s požadavkem na nízko-rozpočtovost stavby. Hlavním účelem, za kterým by měla být rozhledna postavena, je měření a monitorování deformací konstrukčních prvků a interakcí spojů dřevěných konstrukčních prvků s ocelovými prvky rozhledny. Dalším cílem je, aby mohla být užívána širokou veřejností. Při návrhu rozhledny, byl kladen důraz na lehkou proveditelnost stavby a také variabilitu konstrukce.

Konstrukce je tvořena dílci z modřínového dřeva, se středovou ocelovou tyčí uprostřed kvůli prostorové tuhosti. Založení je provedeno za pomoci zemních vrutů Krinner. Tento způsob může být proveden bez výkopů a betonování, bez ohledu na podloží, s nosností až 72 KN na vrut (HRUBÝ, 2011). Spoje dřevěných prvků jsou

řešeny pomocí svorníků. Půdorys základny rozhledny je 3,5 x 3,5 metrů, výška rozhledny dosahuje 12,4 m. Základ rozhledy je tvořen jedním výškovým modulem o výšce jeden metr, který je navržen ze čtyř sloupků, na nichž jsou připevněny fošny, které tvoří nosné prvky pro schodnice a zároveň plní funkci obvodového pláště.

Popis jednotlivých prvků na obrázku:

Nosný obvodový plášť (1) je tvořen z vodorovných dřevěných fošen o dimenzi 60 x 140 mm. Jako schodnice (2), jsou použity dvě sružené dřevěné fošny o rozměrech 60 x 140 mm, které přesahují obrys konstrukce. Nosné rohové sloupy (3) jsou z dřevěných lepených trámů o rozměrech 200 x 200 mm, v celé konstrukci jsou čtyři. Oproti tomu sloupek na zábradlí (4) je z dřevěného hranolku o rozměrech 80x80 mm. Zábradlí (5) je tvořeno z dřevěných latí 60 x 20 mm, a středový ztužující ocelový sloup (6) má průměr 80 mm, a jsou do něj upevněny všechny dřevěné schodnice (2).



Obrázek 1 Konstrukce rozhledny-pohled, návrh (AUTOR, 2014)

3. Mechanické vlastnosti dřeva

Pro bližší pochopení tématu je vhodné zmínit základní mechanické vlastnosti dřeva a jeho reakce na různá namáhání. Hodnocení stavebních materiálů, se bez těchto znalostí neobejde. (CHYBÍK, 2010)

Pojmem mechanické vlastnosti dřeva jsou popisovány schopnosti dřeva odolávat účinkům vnějších sil. Mechanické vlastnosti byly rozděleny do základních skupin- základní, odvozené a technologické (GANDELOVÁ a Kol. 2009).

Dřevo má v různých směrech různé vlastnosti proto je nazýváno anizotropním materiálem. Při zatěžovacích zkouškách bylo zjištěno, že sledované vlastnosti se od sebe výrazně liší ve směru rovnoběžně a kolmo na vlákna. Největší pevnost i tuhost a současně nejmenší deformace jsou dřevěným prvkem vykazovány ve směru rovnoběžném s vlákny. Ve směru kolmo na vlákna je dřevem vykazována nižší pevnost a tuhost, a současně největší deformace při různorodém zatížení, změně teploty nebo vysychání (DUTKO a Kol. 1976).

Mechanické vlastnosti dřeva, jsou ovlivněny jeho vlhkostí, hustotou a dalšími vlivy. Mezi vlhkostí a pevností platí závislost- čím vyšší vlhkost dřeva, tím nižší pevnost. Mechanické vlastnosti jsou v důsledku vlhkosti zhoršovány, ale jen do meze nasycení vláken, která je uvažována okolo 30 % (ŠEFCŮ a Kol. 2000).

Mezi základní mechanické vlastnosti byly zařazeny též pružnost, pevnost, plastičnost a houževnatost dřeva. Odvozené vlastnosti jsou tvrdost, odolnost proti tečení, odolnost proti trvalému zatížení a únavovému lomu. Technologickými vlastnostmi jsou označeny vlastnosti jako ohýbatelnost, štípatelnost a opotřebovatelnost. Mechanické vlastnosti dřeva podléhají anizotropnímu charakteru struktury dřeva, tu zapříčiňuje uspořádání a orientace molekul stavebních látek ve dřevě (GANDELOVÁ a Kol. 2009).

Mechanickým namáháním je nazýván děj, při kterém dochází k interakci mezi dřevem a působícími silami. Namáhání dle fyzikální podstaty může být rozděleno na mechanické, vlhkostní, tepelné, případně další (GANDELOVÁ a Kol. 2009).

Při namáhání prvků dřevěné rozhledny dochází převážně k zatížení mechanického a vlhkostního charakteru. Důsledkem těchto dějů jsou pro stavebnictví nežádoucí dočasné nebo trvalé změny tvaru. Míra deformace je závislá na velikosti vnitřního odporu dřeva, který je dřevem kladen, jako reakce namáhajícím silám. Tento odpor závisí na směru vláken, vlhkosti dřeva, teplotě a vadách dřeva.

Na stavbu rozhledny bylo použito dřevo z modřínu. Toto dřevo obsahuje velké množství pryskyřice, kterou je nerovnoměrně prosyceno. U modřínového dřeva je v menší míře pozorováno bobtnání a sesychání, je také velmi odolné povětrnostním vlivům. Má úzkou nažloutlou až načervenalou bělu, jádro mohutné červenohnědé (NĚMĚC a Kol. 2005).

Jeho hustota se pohybuje na hranici 480 kg/m³, a v případě těžších druhů 610 kg/m³. Dobře odolává střídání sucha a vlhka proto je vhodné podle ČSN EN 1995-1-1, (Tabulka 1.) do nechráněné expozice (tato třída použití je charakterizována klimatickými podmínkami vedoucí k vlhkosti 20 %). Modřínové dřevo může být uspokojivě natíráno, lakováno i mořeno a je trvanlivé (MIKULKA, 2010). Prvky rozhledny jsou vystaveny působení povětrnosti. Proto je dřevo vhodně ošetřeno. V případě rozhledny byla použita nátěrová hmota na bázi oleje.

Tabulka 1 Dovolena vlhkost dřeva na stavební konstrukce dle (ČSN EN 1995-1)

Vlhkost dřeva (%)	Použití dřeva
nejvýše 10%	Spojovací součásti a prvky vystavené dlouhodobým zvýšeným teplotám nepřevyšujícím 55°C.
nejvýše 15%	Lepené prvky.
nejvýše 20%	Konstrukční prvky spojované hřebíky, svorníky, kovovými hmoždíky apod.
nejvýše 25%	Prvky vystavené nechráněné expozici, u kterých vysychání dřeva není na závadu.
bez omezení	Prvky, které budou trvale ve vlhkém nebo mokřem prostředí

Při namáhání již zabudovaného dřeva v konstrukcích, záleží na uložení a orientaci prvku. Stavební prvky dřevěné rozhledny jsou jednoduše rozděleny na svisle a vodorovně orientované prvky. Těmito prvky je tvořen ucelený konstrukční systém. Při vodorovné orientaci prvku je dřevo pravděpodobně nejvíce namáháno ohybem, při svislém uložení prvku může docházet k namáhání tahem, tlakem, nebo vzpěrným tlakem (u extrémně štíhlých prutů).

Konkrétně se jedná o sestavu čtyř nosných dřevěných lepených sloupů, do kterých jsou vetknuté vodorovné trámy, které drží posuvnou vazbou schodnice. Celá konstrukce je ztužována svislým ocelovým prvkem (vřetenem). Konstrukce je zajímavá tím, že nemá vodorovné podlahy a stropy a je tvořena z výškových modulů, díky nim je zachována výšková variabilita rozhledny.

Mechanické vlastnosti dřeva jsou ovlivňovány mnoha činiteli, mezi ty nejdominantnější může být podle (ŠEFCŮ a Kol. 2000), zařazen například způsob namáhání. Podle směru a způsobu namáhání, dochází k odlišení hodnot pevností dřeva a modulů pružnosti. U dřeva je dosahováno nejvyšší pevnosti v ohybu, téměř stejná pevnost je vykazována v tahu rovnoběžně s vlákny. Při monitorování pevnosti v tahu a tlaku kolmo na vlákna a ve smyku je dosahováno hodnot řádově nižších. Vlhkostí dřeva jsou také velmi výrazně ovlivňovány mechanické vlastnosti. Při zvyšování vlhkosti se jeho mechanické vlastnosti, především pevnost dřeva v tlaku, zhoršují. Tento proces je limitován mezi nasycení buněčných stěn, která se pohybuje okolo 30 %. Při zvyšování nad tuto vlhkost již nedochází k významné změně mechanických vlastností. Vlhkost je sledována právě kvůli užití dřeva na konstrukční účely. Normou ČSN 73 1701 bylo rozlišeno dřevo do 3 tříd vlhkosti. Rozhledna je zařazena do třídy vlhkosti 3 kde může být překročena vlhkost 20 %, a tím může být snížena pevnost v tlaku přibližně o 25 % pevnost v tahu o 20 % a pevnost ve smyku o 15 %, průhyb může být navýšen o přibližně 15 %. U dřevěných konstrukcí, které jsou vystaveny povětrnostním podmínkám (mezi které byla zařazena rozhledna na bázi dřeva) může vlhkost dosahovat hodnot i vyšších (ŠEFCŮ a Kol. 2000).

Dalším faktorem, kterým můžou být ovlivněny mechanické vlastnosti dřeva, je výskyt vad ve dřevě. Mezi vady jsou řazeny například výsušné trhliny, suky, hniloba,

poškození hmyzem a houbami, je zvyšována jeho nepříznivá vlastnost- nehomogenita. Na kvalitě dřeva je závislá především pevnost. Obecně je považováno dřevo s vyšší objemovou hmotností, tedy hustší, pomalu rostlé za kvalitnější materiál z hlediska mechanických vlastností (ŠEFCŮ a Kol. 2000). Problematika vad, bude podrobně probrána v dalších kapitolách práce.

Kvalita dřeva je vyjadřována pomocí jakostních tříd podle normy ČSN 49 15311. Pro konstrukční prvky, jsou podle ČSN 73 1701 doporučovány jakostní třídy S I, a třída S II může být použita pouze pro méně namáhané a podružné nosné prvky. U jakostní třídy S II jsou vykazovány o 25-33 % nižší pevnosti oproti S I. Dalším faktorem, kterým jsou mechanické vlastnosti ovlivněny, je doba trvání zatížení. U trvale zatížených dřevěných nosníků, je výrazně zvětšován průhyb. Podle normy ČSN 73 1701 dochází při dlouhodobém zatížení ke snížení mezní únosnosti dřeva o 15 %. Trvale zatížené nosníky podle ČSN 73 1701 mají 1,5-2,5 krát větší průhyb než nosníky se stejně velkým zatížením, ale pouze krátkodobým. Výraznějšími teplotami a změnami vlhkosti jsou průhyby zatížených nosníků také zvětšovány (ŠEFCŮ a Kol. 2000).

Pro mezní úchytky rozměrů lepeného dřeva, kterým jsou tvořeny nosné sloupce, platí ČSN EN 14080. Požadavky na lepené rostlé dřevo v ohledu pevnosti plošných a podélných spojů, reakce na oheň, trvanlivosti dřeva, emise formaldehydu, prokazování shody, certifikace a značení jsou také stanoveny v ČSN EN 14080 (KOŽELOUH, 2014).

V ČSN EN 1995-1-1 Tabulky 2, jsou třídy trvání zatížení rozděleny od okamžitého přes krátkodobé, střednědobé, dlouhodobé po stálé. Dále je v normě uvažován vliv trvání dlouhodobého zatížení až 40 %, o které je snižována hodnota pevnosti, oproti zatížení krátkodobému. Průhyb stálého zatížení je zde uvažován o 1,6 - 3 x větší (dle třídy vlhkosti), než u stejně velkého zatížení krátkodobého.

Tabulka 2 Třídy trvání zatížení (ČSN EN 1995-1-1. Navrhování dřevěných konstrukcí: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby 2006)

Třída trvání zatížení	Řád souhrnného trvání charakteristického zatížení
Slabé	déle než 10 let
Dlouhodobé	6 měsíců - 10 let
Střednědobé	1 týden - 6 měsíců
Krátkodobé	méně než 1 týden
Okamžité	

3.1. Napětí

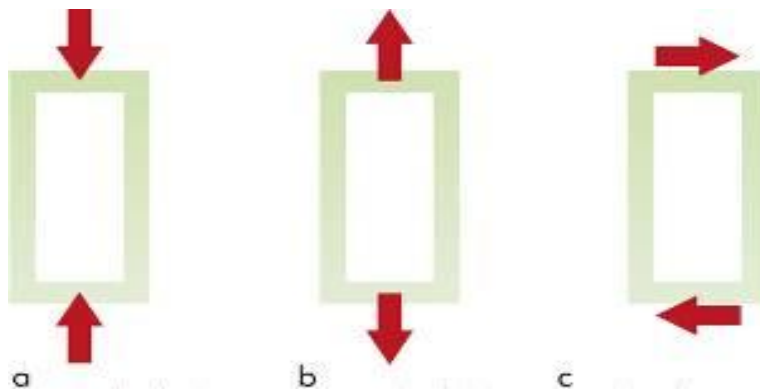
Pro posuzování únosnosti jednotlivých prvků rozhledny na bázi dřeva musí být známo jejich napětí. Napětí je reakce dřeva na působení vnějších mechanických sil v podobě vnitřních sil uvnitř prvku. Napětí bylo definováno jako velikost vnitřní síly, která je vztažena na jednotku plochy tělesa (GANDELOVÁ, a Kol. 2009).

$$\sigma = \frac{F}{S} \quad (1.1.)$$

Napětí je rozděleno, podle směru síly působící na průřezovou plochu prvku. Pokud síla působí kolmo na průřez prvku, jedná se o normálové napětí, které je označováno δ , naproti tomu tangenciální napětí je označováno symbolem τ a jedná se o působení síly v rovině průřezu. Pokud na prvek působí jak normálové, tak tangenciální napětí, je tento jev nazýván napětí v ohybu. Napjatost dřeva byla definována počty, druhy a průběhy napětí v objemu dřeva a jejich vzájemnými interakcemi. Podle počtu působících hlavních napětí byla rozdělena na: jednoosý, dvouosý nebo víceosý stav. Napětí může být následováno deformací prvku. Vztah mezi deformacemi těles a vnějšími silami popisuje část mechaniky zvaná pružnost a pevnost (KRETSCHMANN, 1999), (GANDELOVÁ, a Kol. 2009).

Pružností byla stanovena vlastnost materiálu, která po uvolnění vnějších sil zajišťuje vrácení původních rozměrů dřeva. Při výpočtu jednotlivých prvků musí být zkontrolováno, zda deformace tělesa či konstrukce nepřesáhne dovolenou hodnotu (KRETSCHMANN, 1999)

Pevnost dřeva byla charakterizována jako schopnost dřeva odolávat vnějším silám. Lze rozeznávat různé druhy pevností, které se dále liší směrem působení na vlákna, viz Obr. 2, kde je označena písmenem a pevnost v tlaku, písmenem b pevnost v tahu a písmenem c smyková pevnost. Dřevěné konstrukce musí být dimenzovány tak, aby při působení vnějších sil vyhověly pevnostně, tzn., aby za provozu nedošlo k jejich porušení nebo ke vzniku plastických deformací, které by znemožnily funkci konstrukce (PLÁNIČKA a Kol. 2007).



Obrázek 2 Základní druhy namáhání (PAROC, 2014)

3.2. Deformace dřeva

Při posuzování a měření konstrukčních prvků rozhledny na bázi dřeva je třeba znát deformace, které jsou významným indikátorem, jak byla konstrukce přetvořena. Deformace mohou být zachyceny pomocí různých měřících přístrojů. Deformací je označena změna rozměrů a tvaru dřevěného prvku, vyvolaná působením mechanických sil na těleso (GANDELOVÁ a Kol. 2009).

Základní deformací je označeno prodloužení a zkrácení prvků. Tento stav je vyvolán napětím v tahu či tlaku, a vyjadřujeme ji jako poměrné prodloužení či zkrácení tělesa. Tuto hodnotu lze vypočítat jako podíl změny rozměru Δx k celkovému původnímu rozměru prvku x . Při prodlužování profilu dochází zároveň k zúžení průřezu a při tlačení k jeho rozšiřování. Jelikož dřevo je řazeno mezi anizotropní materiály, má ve třech základních směrech jiné vlastnosti tudíž dochází ke vzniku rozdílných deformací. Poměr mezi příčnou a podélnou deformací je ukazatelem anizotropie dřeva (SIMPSON, WOLDE, 1999), (GANDELOVÁ a Kol. 2009).

Dřevo může být při návrhu považováno za lineárně pružný materiál, ve skutečnosti však dřevěné materiály vykazují i plastickou odezvu na účinky zatížení. Na dřevo tedy může být nahlíženo jako na vazko-pružný materiál (LOKAJ, 2000).

Na rozhlednu na bázi dřeva je aplikováno rozdělení deformací podle LOKAJE (2000).

Pružná vratná deformace

Časově závislá deformace

Částečně nevratná deformace-plastická

Jako **pružná deformace** je definována vratná změna původních rozměrů i tvaru tělesa. Po skončení působení vnější síly se těleso okamžitě vrátí na původní tvar a rozměr. Na rozhledně si lze pružnou deformaci představit například jako působení návštěvníka neboli osamělé břemeno působící v jednom místě prvku, pouze určitou krátkou dobu. Po opuštění tohoto člověka z určitého zatěžovaného místa dojde ihned k navrácení původního tvaru nosníku. Jako **časově závislá** deformace byla definována vratná změna původních rozměrů a tvaru prvku po odtížení vnějších sil. Těleso není uvedeno do počátečního stavu hned po uvolnění sil, ale až po uplynutí určitého času. Na konstrukci rozhledny může být toto zatížení prezentováno například velkou vrstvou sněhu, která působí dostatečně dlouhou dobu na nosník, a po roztátí sněhu uplyne delší doba, potřebná k navrácení nosníku do počátečního stavu před deformací. Posledním druhem je **nevratná deformace plastická**, které je časově závislá na deformaci vyvolané účinky dlouhodobého zatížení. Tato deformace je nazývána trvalou, změny rozměrů a tvaru jsou nevratné po odtížení vnějších sil. Tato deformace nenastává rovnou, ale je předcházena předchozími dvěma případy, a vede ke změně rozměrů a tvaru prvku. Na rozhledně by mohla nastat při působení zatížení dlouhodobě na jednom místě. V tomto případě dojde k překročení návrhové pevnosti dřeva, prvek je přetížen a dojde k trvalé deformaci (GANDELOVÁ a Kol. 2009), (LOKAJ 2000).

V normě ČSN EN 1995-1-1 pro navrhování dřevěných konstrukcí je problematika dotvarování řešena pomocí součinitele dotvarování k_{def} ten je na době zatížení a vlhkosti prostředí. Jak již bylo řečeno, podle normy ČSN EN 1995-1-1 jsou třídy zatížení rozděleny do 5 kategorií, podle doby trvání zatížení (stálé, dlouhodobé, střednědobé, krátkodobé a okamžité) viz Tab. 2.

3.2.1. Hookeův zákon

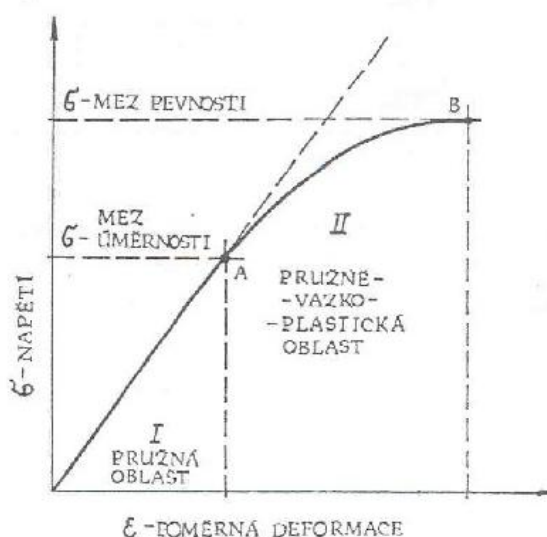
Deformaci konstrukčních prvků rozhledny na bázi dřeva, lze posuzovat podle Hookeova zákona. Hookeův zákon byl definován Robertem Hookem v roce 1676, tak že: Příslušná složka napětí je přímo úměrná příslušné složce deformace. Z toho vyplývá, že do určité hranice zatížení je deformace úměrná působícímu napětí. Platí vzorec 1.2.

$$\sigma = E \cdot \varepsilon \quad (1.2.)$$

σ [Pa] - normálové napětí

ε [-] - relativní prodloužení

E [Pa] - konstanta úměrnosti, nazvaná Youngův modul pružnosti (modul pružnosti v tahu)



Obrázek 3 Obecný tvar pracovního diagramu (MATOVIČ1993)

Křivka pracovního diagramu, viz Obr. 3 z počátku do bodu A by měla mít dle Hookeova zákona tvar přímý, protože napětí má být přímo úměrné poměrné deformaci. V této oblasti prvek podléhá pružné deformaci. V tomto intervalu se prvek po odtížení vnějších sil bez problémů vrátí do původního stavu. Z bodu A do bodu B již prvek podléhá pružně-vazko-plastické deformaci, zde k navrácení původních rozměrů dojde až po určité době. Bod B je ohraničen mezí pevnosti materiálu. Při jejím překročení se mohou vyskytovat vážné poruchy (GANDELOVÁ a Kol.).

3.3. Navrhování dřevěných konstrukcí

Pro návrh dřevěných konstrukcí byly v minulosti používány různé výpočetní postupy, které byly dány většinou národními předpisy. Dřevěná konstrukce rozhledny může být označena za spolehlivou, pokud je dostatečně únosná, tuhá a polohově stabilní. Únosnost jednotlivých prvků je zabezpečena, pokud není překročena přípustná

návrhová hodnota. Dostatečná tuhost je zabezpečena, pokud nejsou překročeny přípustné mezní hodnoty přetvoření konstrukce nebo jejích částí. Konstrukce může být označena za polohově stabilní, pokud je prokázána dostatečná bezpečnost proti překlopení, posunutí a nadzdvihnutí (ČSN EN 1995-1-1).

Spolehlivost konstrukce rozhledny na bázi dřeva, musí být prokázána statickým výpočtem. Musí být zvolen vhodný výpočtový model, aby bylo výstižně popsáno chování konstrukce s přihlédnutím k předpokládané úrovni kvality výroby a ke spolehlivosti informací, z nichž návrh vznikl. Celkové chování konstrukce může být stanoveno pomocí výpočtu účinků zatížení při použití lineárního modelu materiálu (pružné chování) (KUKLÍK a Kol. 2009).

Při návrhu dřevěné konstrukce rozhledny, bylo postupováno podle Eurokódu 5: Navrhování dřevěných konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla – Společná pravidla a pravidla pro pozemní stavby. Postupováno bylo podle teorie mezních stavů- únosnosti a použitelnosti. Ani jeden z mezních stavů nesmí být při provozu rozhledny překročen. Pokud by byl překročen mezní stav únosnosti, mohly by dojít ke zřícení, nebo jiného vážného poškození konstrukce, při níž je ohrožena bezpečnost lidí. Při překročení mezního stavu použitelnosti by mohlo docházet k nezpůsobilosti konstrukce v podobě například kmitání či přetvoření. Dochází k němu tehdy, pokud je v libovolném prvku nebo spoji dosažena, nebo překročena mez výpočtového namáhání. Výpočtem musí být zabezpečeno, aby v konstrukci jako celku, ani v žádné z částí nebyl dosažen ani jeden z uvedených stavů (DUTKO a Kol. 2009).

3.3.1. Mezní stav únosnosti

Dle Eurokódu 5: Navrhování dřevěných konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla – Společná pravidla a pravidla pro pozemní stavby bylo rozděleno namáhání do 6 základních způsobů, u každého musí být splněna podmínka rovnováhy.

3.3.1.1. Tah rovnoběžně s vlákny

U prvků namáhaných tahem rovnoběžně s vlákny musí být splněna podmínka:

$$\sigma_{t,0,d} \leq f_{t,0,d} \quad (1.3.)$$

$$\sigma_{t,0,d} = N_{t,d} / A_{nt} \text{ [MPa]}$$

$\sigma_{t,0,d}$ - návrhové napětí v tahu [MPa]

$f_{t,0,d}$ - návrhová pevnost v tahu [MPa]

A_{nt} - oslabená (účinná) plocha průřezu [mm²]

$N_{t,d}$ - návrhová osová síla [N]

3.3.1.2. Tah kolmo k vláknům

U prvků namáhaných tahem rovnoběžně s vlákny musí být splněna podmínka:

$$\sigma_{t,90,d} \leq f_{t,90,d} \quad (1.4.)$$

$\sigma_{t,90,d}$ - návrhové napětí v tahu kolmo k vláknům [MPa]

$f_{t,90,d}$ - návrhová pevnost dřeva v tahu kolmo k vláknům [MPa]

3.3.1.3. Tlak rovnoběžně s vlákny

$$\sigma_{c,0,d} \leq f_{c,0,d} \quad (1.5.)$$

$f_{c,0,d}$ - návrhová pevnost dřeva v tlaku rovnoběžně s vlákny [MPa]

$\sigma_{c,0,d}$ - návrhové napětí v tlaku rovnoběžně s vlákny [MPa]

3.3.1.4. Tlak kolmo k vláknům

$$\sigma_{c,90,d} \leq k_{c,90} \cdot f_{c,90,d} \quad (1.6.)$$

$\sigma_{c,90,d}$ - návrhové napětí v tlaku kolmo k vláknům ;

$f_{c,90,d}$ - návrhová pevnost dřeva v tlaku kolmo k vláknům ;

$k_{c,90}$ - součinitel zohledňující uspořádání zatížení, možnost rozštěpení a stupeň deformace v tlaku.

Hodnota $k_{c,90}$ se má uvažovat 1,0, pokud se pro prvek nepoužijí postupy dále uvedené.

V těchto případech může být použita vyšší předepsaná hodnota $k_{c,90}$ až do mezní hodnoty $k_{c,90} = 4,0$.

3.3.1.5. Vzpěrný tlak

Kritická napětí (1.7.)

$$\sigma_{c,crit,y} = \frac{\pi^2 \cdot E_{0,05}}{\lambda_y^2} \qquad \sigma_{c,crit,z} = \frac{\pi^2 \cdot E_{0,05}}{\lambda_z^2}$$

λ_z - Relativní štíhlostní poměry [-]

$\sigma_{c,crit,y,z}$ - Kritická napětí ve směru z, y [MPa]

$E_{0,05}$ - Modul pružnosti [MPa]

3.3.1.6. Namáhání v ohybu

$$k_m \cdot \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad (1.8.)$$

Pro šikmý ohyb v obou hlavních rovinách musí být splněny tyto podmínky :

V případě jednoduchého ohybu pouze v jedné hlavní rovině je jedna ze složek nulová a vztahy se zjednoduší.

$\sigma_{m,y,d}$; $\sigma_{m,z,d}$ - návrhová napětí v ohybu k hlavním osám průřezu ;

$f_{m,y,d}$; $f_{m,z,d}$ - návrhové pevnosti dřeva v ohybu;

k_m - součinitel tvaru pro šikmý ohyb – bere v úvahu redistribuci napětí a vliv nehomogenity materiálu v průřezu ; pro rostlé dřevo, lepené lamelové dřevo a vrstvené dřevo (LVL)

$k_m = 0,7$ pro obdélníkové průřezy

$k_m = 1,0$ pro jiné průřezy

$k_m = 1,0$. pro ostatní konstrukční výrobky na bázi dřeva, pro všechny průřezy

3.3.1.7. Namáhání ve smyku

Musí být splněna podmínka:

$$\tau_{v,d} \leq f_{v,d} \quad (1.9.)$$

$\tau_{v,d}$ - návrhové napětí ve smyku [MPa]

$f_{v,d}$ - návrhová pevnost dřeva ve smyku [MPa]

3.3.1.8. Kombinace uvedených namáhání

V některých případech může dojít ke kombinaci těchto namáhání. Nejčastěji se může vyskytovat ohyb a osový tah, ohyb a osový tlak, kombinace smyku a kroucení

3.3.2. Mezní stav použitelnosti

Při používání konstrukce nesmí být překročena příslušná mez deformací od účinku zatížení či vlhkosti.

Do této problematiky lze podle Eurokódu zařadit i prokluz spoje. V případě rozhledny na bázi dřeva byly použity svorníky, které lze zařadit do spojovacích prostředků kolíkového typu. Tato třída má svoji charakteristickou hodnotu K_{ser} , ta je v našem případě:

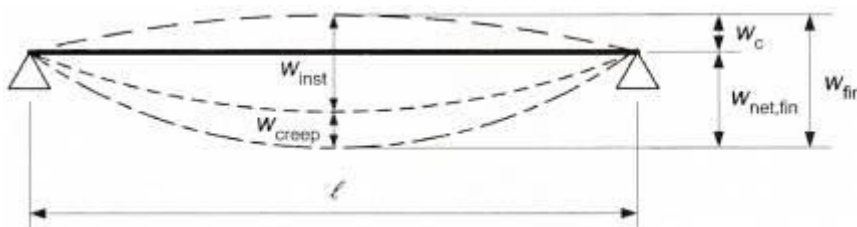
$$K_{ser} = \rho_m^{1,5} d / 23 \text{ [N/mm]} \quad (1.10.)$$

ρ_m - hustota [kg/m³]

d - průměr [mm]

3.3.2.1. Průhyb

U vodorovných nosníků, které jsou u konstrukce rozhledny zastoupeny fošnami kterými je tvořen nosný obvodový plášť, nesmí být podle ČSN EN 1995-1-1 překročeny mezní hodnoty průhybu viz Obr. 4.



Obrázek 4 Složky průhybu (ČSN-EN-1995-1-1)

w_c nadvýšení nosníku

w_{inst} okamžitý průhyb

w_{creep} průhyb od dotvarování

w_{fin} konečný průhyb

$w_{net,fin}$ čistý konečný průhyb

3.3.2.2. Kmitání

U konstrukce rozhledny můžou být deformace způsobeny kmitáním. Pokyny pro měření vibrací a hodnocení jejich účinků na konstrukce jsou předmětem normy ČSN ISO 486.

Dle této normy má vyhodnocení vlivu vibrací zahrnovat: Přímé účinky, které jsou výsledkem odezvy konstrukce v reálném čase na indukované vibrace.

Nepřímé účinky, které mohou být iniciovány nejrůznějšími faktory a navýšeny vibracemi (v důsledku stavebních aktivit, sedání podloží)

Při měření jsou obvykle zachycovány kinematické veličiny jako rychlost a zrychlení. Sledované hladiny vibrací pro analýzu a popis odezvy konstrukce jsou v rozsahu od několika setin milimetru za sekundu výše v závislosti na frekvenci. Většinou poškozených konstrukcí od zdrojů způsobených člověkem je v rozsahu od 1 Hz do 150 Hz. Přírodním zdrojům vibrací, typu zemětřesení nebo větru, může být naměřena hladina buzení, vedoucí k poškození od 0,1 do 30 Hz.

Zdroje vibrací mohou být různého původu, k jejich výskytu může docházet například v okolí silniční nebo kolejové dopravy, z podloží při práci stroji, vlivem větru, zemětřesení a aktivity osob uvnitř. (ČSN ISO 486)

3.3.2.3. Seizmické namáhání konstrukce

Pro stanovení seizmického namáhání je třeba aby bylo prověřeno místo stavby z hlediska seizmické aktivity oblasti.



Obrázek 5 Mapa seizmických oblastí ČR (SCHENK, SCHENKOVÁ, 2005)

Ašský výběžek, (označen na mapě modrou šipkou) který náleží okresu Cheb, který dříve nebyl považován za seizmicky ohrožený, ale nyní, ohrožený je (EUROKÓD 8). Přesto není seizmicita na území ČR dramatická, a při dodržení konstrukčních zásad jakými jsou: jednoduchost konstrukce, dostatečně silné svislé nosné prvky, dostatečně únosné základy neměl by to být v této oblasti podstatný problém.

Pro hodnocení, diagnostiku či monitorování konstrukce rozhledny na bázi dřeva bude použita zjednodušená metoda měření výkyvu konstrukce při simulovaném dynamickém namáhání viz kapitola 7. Touto metodou jsou zjednodušeně simulovány výše uvedená namáhání, hlavně větrem a pohybem osob uvnitř, ostatní dynamická namáhání se z důvodů obtížné realizace simulace zanedbávají.

4. Zdroje informací

V úvodu je analyzován popis návrhu podle ČSN EN 1995-1-1, a příruček k ní. Protože všechny země Evropské unie zapracovávají do svých soustav technických norem Eurokódy v podobě evropských norem, které by do března 2010 měly být jedinými pravidly pro navrhování stavebních konstrukcí v Evropě. Dále bylo využito ještě Eurokódu 8 „Navrhování konstrukcí odolných proti zemětřesení“, při posuzování vlivu kmitání a chvění na konstrukci rozhledny v Ašském výběžku. Dále bylo k analýze návrhu konstrukce, použito základní shrnutí poznatků podpůrných materiálů pro studium předmětu Pružnost a pevnost.

K pochopení mechanických vlastností dřeva, převážně modřínového, z kterého je rozhledna postavena, bylo využito zdroje „Historického lexikonu“ (JANÁČEK, HURDA, 2005) a nauky o dřevě (ŠLEZINGEROVÁ A Kol., 2009).

V kapitole kde byla řešena problematika vad ve struktuře dřeva, bylo čerpáno z Lexikonu vad (ZEIDLER, 2011) a z dalších odborných portálů a článků, na základě kterých byla tato problematika v práci shrnuta. K poruchám stavebního charakteru byla použita publikace „Poruchy a rekonstrukce staveb“ (VLČEK, MOUDRÝ, 2001) a „Havárie a poruchy a rekonstrukce dřevěné a ocelové konstrukce“ (VAŠEK, 2011)

K hlavní kapitole byla využita publikace „In-situ evaluation“ (DRDÁCKÝ, JÍROVSKÝ, 2006). V této publikaci byl autory kladen důraz na zjišťování a provádění nedestruktivních nebo šetrně destruktivních zkušebních metod. Jedná se vlastně o sborník, kterým jsou shrnovány poznatky v oblasti nedestruktivního zkoušení mechanických vlastností a chování dřevěných historických konstrukcí. Tato publikace byla vybrána hlavně kvůli detailnímu popisu jednotlivých měřících metod, i přesto že konstrukce rozhledny není historická. Důležitým zdrojem informací byly také normativní dokumenty a odborné internetové portály, sborníky a akademická práce, kde byla probírána problematika měření dřevěných konstrukčních prvků, ve většině případů hlavně v návaznosti na praxi.

V práci byly použity také zahraniční odborné články, například při podrobnějším sledování problematiky elektronických vlhkoměrů. Důležitým zdrojem byla také publikace z laboratoře „Wood Handbook“ kde jsou shrnuty základní informace o dřevě. Při zpracování měření za pomoci tenzometrů, byla využita příručka podle

(HOFFMANN, 1987), v které se zabývá touto problematikou do hloubky. Díky použití zdrojů z cizích zemí, jsou v práci zmíněny informace mezinárodního charakteru.

Při analýze jednotlivých metod měření pomocí přístrojové techniky, byly použity i materiálové podklady a prospekty jednotlivých firem, kterými jsou tyto přístroje nabízeny a prodávány. Čerpání z těchto zdrojů bylo důležité, aby byl vhodně zmapován a prozkoumán český trh s měřicí technikou. Z těchto zdrojů bylo citováno, hlavně ve zkoumání tenzometrického měření, úchylkoměru a měření při dynamickém namáhání. Při měření dynamického namáhání byla aplikována metoda a postup přímo podle konkrétní firmy, kterou je měřicí technika nabízena a odzkoušena.

5. Příčiny poruch dřevěných konstrukcí

Životnost staveb na bázi dřeva není absolutní. Při znalosti příčin vzniku poruch může být však riziko těchto poruch na konstrukci minimalizováno, a konstrukce si tak ponechá svoji hodnotu a spolehlivost. Při analyzování konstrukce na bázi dřeva, musí být prověřeno, jaké se na konstrukci mohou vyskytovat poruchy (VIDHOLDOVÁ, 2009).

Vada dřeva je pojem, který byl uměle a účelně vytvořen člověkem, v přírodě vady neexistují. Termín je zaveden, aby bylo možné vyjádřit vhodnost či nevhodnost materiálu pro daný způsob použití, a tím aby mu byla přidělena odpovídající cena (ZEIDLER, 2010).

5.1. Obecné rozdělení vad

U konstrukce rozhledny na bázi dřeva se může vyskytovat dvě skupiny nejzákladnějších vad a to:

Porucha dřeva je podle GANDELOVÉ a Kol., (2009) definována jako změna vnějšího vzhledu neboli zásah do pravidelné struktury průřezu, která může vykazovat jiné fyzikální a mechanické vlastnosti.

Porucha dřevěné konstrukce, za poruchu konstrukce, je podle REINPRECHT a ŠTEFKA, (2000) považována každá změna stavu oproti stavu původnímu, projevuje se snížením její užitkové, estetické nebo památkové hodnoty i životnosti.

Zdrojem vad může být vliv klimatických podmínek, které na rozhlednu působí. Zde může být zařazeno: přirozené stárnutí dřeva a i dalších konstrukčních materiálů, nadměrné zatížení konstrukce rozhledny a jejích prvků, pružně-plastické přetvoření nosné konstrukce, objemové změny dřevěných prvků, dynamických rázů z okolí, sluneční záření, kyslík, voda, rozdílné působení denních, nočních a střídajících se ročních teplot, působení prachu atd. Mezi další významné činitele vedoucí k poruchám dřevěných konstrukcí mohou být biotičtí činitelé-dřevokazné houby a hmyz. Výrazné či degradující poškození může nastat při živelných pohromách. Příkladem u nás jsou požáry, povodně a vichřice (REINPRECHT, ŠTEFKO, 2000). Při posuzování spolehlivosti konstrukce rozhledny z hlediska pevnosti musí být vycházeno z normy

ČSN 73 1702. Analyzována musí být i změna po zabudování dřeva do konstrukce a po působení času a okolních vlivů.

5.2. Konkrétní rozdělení vad

Příčiny poruch dřevěných konstrukcí jsou v kapitole rozděleny:

5.2.1 Chyby dřeva ve struktuře

5.2.2 Chyby dřevěné konstrukce

5.2.2.1 Poruchy svislých konstrukcí

5.2.2.2 Poruchy vodorovných konstrukcí

5.2.2.3 Poruchy schodišťových konstrukcí

5.2.3 Běžné opotřebení

5.2.4 Nevýznamné poruchy

5.2.5 Významné poruchy

5.2.6 Havarijní poruchy

5.2.7 Vandalismus.

(VLČEK a Kol., 2001)

5.2.1. Chyby dřeva ve struktuře

Chybou dřeva jak již bylo uvedeno, je změna jinak pravidelné struktury dřeva, se kterou nelze v návrhu počítat. Za chybu dřeva mohou být považovány suky. V důsledku výskytu suku může být odkloněno a zakřiveno dřevní vlákno a letokruhy. Tato vada může být charakterizována jako poměrná velikost suku, lze ji vypočítat vydělením nejmenšího průměru viditelného suku a příslušnou šířkou průřezu. Poměrnou velikostí suku je ovlivněno pevnostní kritérium.

Pro rozřídění dřeva do těchto pevnostních tříd byly vypracovány normy ČSN EN 384 a ČSN EN 408, které popisují průkazné zkoušky některých fyzikálně-mechanických vlastností. Když je hodnoceno starší konstrukční dřevo, do kterého prvky na stavbu rozhledny patří, musí být dosažena pevnostní třída C16, C 24, C30. Je to

z důvodu, aby vada neovlivnila dostatečné pevnost a bezpečnost konstrukce (HEŘMÁNKOVÁ, 2013). Kvalita řeziva minimálně této pevnostní třídy musí být garantována dodavatelem materiálu.

Konstrukce dřevěné rozhledny může být ohrožena výskytem těchto trhlin, protože jsou často viděny i u jiných konstrukcí. Mohou jimi být ovlivněny mechanické vlastnosti dřeva, které by mohly narušit celou statiku konstrukce. Můžeme jim předcházet již při pořezu správnými ochrannými opatřeními.

Další veličinou, kterou lze charakterizovat stav konstrukce je hustota a modul pružnosti. Hodnotou hustoty může být zjištěna jakost dřeva ze zabudovaného prvku pomocí vývrtů. Další spolehlivou veličinou pro klasifikaci kvality stavebního dřeva je modul pružnosti E. Ten koreluje s pevností v ohybu, pevností v tlaku, a pevností v tahu. K jeho určení jsou využity metody, při nichž se stanoví průhyb konstrukčního prvku při určitém zatížení. Pak se vypočte modul pružnosti pomocí teorie ohybu. Podle způsobu namáhání byly rozpoznány tři druhy: Modul pružnosti v tahu (Youngův modul,) modul pružnosti ve smyku, modul pružnosti v tlaku. Youngův modul pružnosti je pro danou látku konstantní, jeho hodnota vyjadřuje pevnost a možnosti její deformace. Označen byl písmenem E, čím je hodnota E větší, tím větší je napětí je potřebné na dosažení stejné deformace (KRETSCHMANN, 1999).

5.2.2. Chyby dřevěné konstrukce

Chyby dřevěných konstrukcí mohou být zaviněny nesprávným návrhem nosné konstrukce, nebo nesprávnou realizací související s nesprávnou výrobou nosné konstrukce nebo jejích částí. Váha vad být různorodého charakteru, od estetických nedokonalostí až po havarijní stavy konstrukce (ŠMAK, STRAKA, 2013).

Poruchy rozhledny na bázi dřeva byly rozděleny podle konstrukčního řešení do třech základních skupin: svislých, vodorovných a schodišťových prvků, z kterých je rozhledna navržena.

5.2.2.1. Poruchy svislých konstrukcí

Ke svislým konstrukčním prvkům rozhledny na bázi dřeva, jsou řazeny sloupy. K poruchám svislých konstrukcí, může docházet v důsledku chyb v návrhu konstrukce

(například v důsledku chyby ve výpočtu je navržena menší dimenze sloupu než je třeba). Tyto chyby nejsou zaznamenávány příliš často, jestliže jsou respektovány normy a předpisy. Výskyt chyb může být na základě špatného projektu, chybně navrženého konstrukčního systému s nevyřešenými konstrukčními detaily (ŠMAK, STRAKA, 2013).

Další chyba svislých stavebních prvků-sloupů, hrozí při použití nekvalitních dřevěných hranolů. Tyto chyby jsou zaznamenávány častěji, neboť kvalita dřeva nemusí být vždy odpovídající. Nevhodnost materiálu může být rozpoznána již v prvopočátku návrhu a navrhovaný materiál vyměněn za kvalitnější. Další chyby mohou být zaviněny špatným zpracováním materiálu, nedostatečnou pevností lepidla, nevhodným použitím, či nedostatečným dohledem nad pečlivým prováděním.

Nedodržením konstrukčních zásad může docházet k výskytu trhlin, viz Obr. 6, kterými může být narušena rozhodující nosná konstrukce a stabilita rozhledny.



Obrázek 6 Svislá trhlina ve sloupu (ŠMAK, STRAKA, 2013)

5.2.2.2. Poruchy vodorovných konstrukcí

Podle normy ČSN 73 0035 *Zatížení stavebních konstrukcí* mají být vodorovnými konstrukcemi přenášena nahodilá zatížení (způsobená lidmi, stroji, materiálem) do svislých nosných konstrukcí.

Obecně lze konstatovat, že poruchy stavebních konstrukcí bývají zpravidla způsobeny kombinací nepříznivých okolností, jakými jsou například: nadměrná vlhkost, špatné tepelně-technické vlastnosti konstrukce, nerovnoměrné sedání základové půdy,

konstrukční vady vyvolány chybným materiálem, nedodržením navrhovaných technologií, provádění apod.

Poruchy vodorovných konstrukcí mohou být způsobeny:

- vadami použitého dřeva
- vadami v projektu
- vadami v důsledku špatného provedení díla
- chemickým působením prostředí
- přetížením konstrukce- nadměrný průhyb
- přetvoření nosné konstrukce nebo jejích prvků
- stárnutím konstrukce.
- mimořádnými událostmi

(VLČEK a Kol. 2001)

5.2.2.3. Poruchy schodišťových konstrukcí

Výškový rozdíl mezi terénem a vrcholem rozhledny, je řešen točitým schodištěm. Tato konstrukce je namáhána přímo lidskými kroky. Schody mohou být opotřebovávány vlivem statických poruch nosné konstrukce, nesprávného užívání, či přetížení. Mezi poruchy schodišť mohou být řazeny proslápnuté schodišťové stupně, ty jsou považovány za nejběžnější závadu, se kterou se na stavbě setkáme. Další poruchou může být prasklý nebo zlomený schodišťový stupeň, trhlina v podestách či schodnicích (VLČEK a Kol. 2001).

5.3. Běžné opotřebení

Mezi běžné opotřebení dřevěné rozhledny lze zařadit opotřebení v důsledku klimatických podmínek- slunečního záření, deště, mrazu, vlhkosti. Dále sem může být zařazena změna barvy, která dřevu v nechráněné expozici hrozí. Dřevo může časem šednout, zamodrat, či se jinak zbarvit, to je odvozeno od charakteru opotřebení.

Voda může být dřevem (díky jeho vlastnosti-hydróskopicitě) přijímána nebo vydávána. Po tomto procesu, je ve dřevě dosaženo rovnováhy, která odpovídá okolní

teplotě a relativní vlhkosti vzduchu (jde o takzvanou rovnovážnou vlhkost). Pokud dřevo přijímá vodu- zvětšuje svůj objem i hustotu, a ztrácí původní mechanické vlastnosti a dochází k tzv. bobtnání. Pokud dřevo vodu vydává, zmenšuje svůj objem a hmotnost tzv. sesychá. Tyto jevy jsou rozdílné v radiálním tangenciálním a příčném směru. Z tabulky (2.) dovolené vlhkosti dřeva na stavební konstrukce (ČSN 1995-1-1) je rozhledna zařazena do poslední kategorie, a to do prvků vystavených nechráněné expozici, u kterých vysychání dřeva není na závadu. Vlhkost dřeva v této kategorii přesahuje 25 %. (ČSN 1995-1-1)

Dřevěné konstrukce jsou vlhkostí ovlivňovány především negativně. Jejím vlivem je snižována pevnost dřeva. Se vzrůstající vlhkostí dochází ke změně příčného průřezu dřeva. Zvyšující vlhkost dřeva také zvyšuje pravděpodobnost napadení prvku biologickými škůdci, které také mohou velmi nebezpečně degradovat dřevní hmotu. Naopak při dlouhodobém slunečním záření, dochází ke snižování vlhkosti, a mohou se ve dřevě vytvořit trhliny, které mohou negativně ovlivnit vlastnosti prvků rozhledny na bázi dřeva. Mrazem, může být dřevo také negativně ovlivněno, dochází k tomu v důsledku zamrznání vody ve dřevě. Jak je známo, zmrzlá voda zvětšuje svůj objem oproti kapalně, a proto dochází ve dřevě k opotřebení (VIDHOLDOVÁ, 2013).

5.4. Nevýznamné poruchy

K **nevýznamným** poruchám dřeva zabudovaného v rozhledně lze zařadit například zbarvení dřeva, která jsou chemického původu, neovlivňují však mechanické vlastnosti dřeva. Zbarvení nejsou způsobeny houbami ale například sloučením tříslovinami a solemi. Poškozen je v tomto případě vnější vzhled dřeva což lze považovat z hlediska konstrukčního za bezvýznamné, narušuje to pouze estetické vlastnosti celku.

Podle způsobu zbarvení jsou tyto vady rozděleny na:

Zbarvení taninem – povrchové (do hloubky 2 až 5 mm) hnědorůžové nebo světle hnědé zbarvení řeziva listnatých dřevin, vznikající okysličením taninových látek.

Skvrnitost – místní zbarvení bělí listnatých dřevin ve formě proužků a skvrn bez snížení tvrdosti dřeva, které vzniká v době růstu stromu a barvou se podobá zbarvení jádra.

Ostatní zbarvení – například žluté po plavení dřeva, oranžové nebo nazelenalé (ZEIDLER, 2011).

5.5. Významné poruchy

Mezi významné poruchy, mohou být řazeny projekční a výrobní chyby. Konkrétní případy, které můžou na rozhledně na bázi dřeva nastat, jsou například: přetížení konstrukčních prvků během užívání stavby, poddimenzování konstrukčních prvků při návrhu, nesprávná montáž či výroba prvků, nesprávné uložení prvků, nevhodné použití druhu dřeva, nevhodné konstrukční řešení, použití dřeva s vadami nebo napadeného biologickými škůdci, kondenzace vlhkosti na neochráněných místech (VIDHOLDOVÁ, 2013).

Aby bylo zamezeno poruše nejvýznamnější a to poddimenzování konstrukčního prvku, musí být zvolen správný návrhový model. Model by měl být navržen s dostatečnou přesností, aby bylo výstižně popsáno chování konstrukce s přihlédnutím k předpokládané úrovni výroby a ke spolehlivosti informací, z kterých návrh vychází. Model, který byl navržen pro výpočet vnitřních sil v konstrukci, musel vzít v úvahu účinky deformací spojů (KUKLÍK a Kol. 2010).

Při pevnostním posuzování dřevěného prvku rozhledny muselo být bráno v úvahu oslabení spojovacími prostředky, v našem případě svorníky.

Při navrhování rozhledny na bázi dřeva byly zohledněny následující faktory:

- rozdílné vlastnosti materiálů (pevnost a tuhost)
- rozdílné na čase závislé chování materiálů
- rozdílné klimatické podmínky (teplota, kolísání vlhkosti, u rozhledny obzvláště)
- rozdílné návrhové situace (stadium výstavby, změny podmínek uložení)

Do významných poruch můžou být řazeny i poruchy z působení vibrací na pevně zabudované konstrukční prvky.

Působení vibrací v konstrukcích je dle normy ČSN ISO 4866 prováděno s nejrůznějšími záměry pro:

- poznání problému- je zde deklarováno, do jaké míry jsou kmitáním konstrukce ovlivňováni její uživatelé.
- kontrolní monitorování- při kterém je zjištěno, zda nejsou překročeny maximální stanovené přípustné hladiny vibrací.
- dokumentace stavu- měřením má být ověřena předpokládaná odezva a mají být stanoveny nové návrhové parametry.
- diagnostika- hladiny vibrací jsou měřeny, aby byly získány informace nutné pro prostupy, vedoucí ke snížení vibrací

(ČSN ISO 4866)

5.6. Havarijní poruchy

Pokud jsou nesprávně zhodnoceny jednotlivé profesní požadavky, nebo je potlačeno objektivní působení statických a pružnostech zákonů, například proto, aby byla upřednostněna estetická nebo ekonomická hlediska stavby rozhledny, jsou připraveny podmínky pro vznik havárie. Obvykle je před havárií kumulováno mnoho menších chyb při projektu či realizaci, výskyt jedné hrubé chyby či vadná koncepce celého návrhu. Bezpečnostními součiniteli při výpočtu konstrukce, mohou být do jisté míry pokrývány výskyty těchto hrubých chyb. Zkušenostmi je dokazováno, že tyto součinitele nejsou tolik nadhodnocené, jak se v počátku může zdát (MILAN, 2011).

5.7. Vandalismus

Vandalismus je označení svévolného poškozování a ničení veřejného nebo soukromého majetku či podobných statků, které nepřinášejí pachateli žádné materiální obohacení a pro které nemá pachatel zpravidla žádný motiv (KVASIL 1987).

Rozhledna je objekt, který je dostupný pro širokou veřejnost. Proto posledním druhem poškození, je vandalismus. Zde se může jednat o vyřezávání znaků, jmen či dat do konstrukčních prvků přístupných ze schodiště či z horní plochy. Tyto zásahy jsou brány jako nejnižší stupeň vandalismu a pravděpodobně by toto poškození nemělo být rozhodující pro statiku stavby nebo pro překročení některých z pevnostních podmínek dřeva, jelikož konstrukce bývá naddimenzována. Zásah do povrchu struktury by ji proto

neměl ohrozit. Horším případem je například nalomení či přelomení některých nosných prvků, kdy už statika stavby může být nevratně narušena. Posledním a nejhorším druhem vandalismu je založení ohně v blízkosti nebo přímo pod rozhlednou. Dřevo je hořlavým materiálem, dřevo z modřínu je řazeno podle (ŠEFCŮ a Kol., 2000) do stupně hořlavosti C2 (středně hořlavé stavební hmoty). Vysokou teplotou nad +100 °C dochází k rozkladu polysacharidů a uvolňují se hořlavé plyny, při teplotě nad +250 °C je dřevo ve stavu kdy dochází k hoření, a při teplotě +400 °C může dojít při přiblížení plamene k povrchu dřeva k vzplanutí. Hořením je rapidně snižována pevnost a další mechanické vlastnosti dřeva a tím může být rozhledna nevratně degradována (HUMULAK, 2012).

Požár a jeho hašení je pro dřevěnou konstrukci většinou zničující. Vandalismu může být zabráněno velmi těžce neboť žádnou předchozí ochranou či úpravou konstrukce nelze ovlivnit činy ostatních lidí.

6. Diagnostické metody měření deformací konstrukčních prvků rozhledny

K zjišťování stavu rozhledny na bázi dřeva, byly shrnuty metody, kterými můžou být měřeny deformace jednotlivých dřevěných konstrukčních prvků rozhledny.

Obecně byly diagnostické metody rozděleny dle REINPRECHTA A ŠTEFKA (2000)

do těchto hlavních kategorií:

a.) Dle kritéria porušení materiálu při průzkumu:

-Destruktivní metody, kde je konstrukce nevratně poškozena. Jako příklad lze uvést vpichy, vtisky, vrty. Můžou být také nazývány metodami invazivními.

-Nedestruktivními jsou nazývány metody, kde nedochází k trvalému poškození konstrukce, můžou být také nazývány metodami neinvazivními.

-Semi-destruktivní, u těchto metod, jde o nepatrný zásah do struktury vzorku, která nemá větší význam na jeho mechanické vlastnosti.

b.) Z hlediska místa provádění zkoušek:

-„in situ“ (přímo v místě objektu)

-laboratorní metody (po přenesení odebraného vzorku nebo celého objektu do laboratoře)

c.) Z hlediska nároků na přístrojovou techniku

-smyslové metody

-přístrojové metody

d.) Kritérium analýzy struktury materiálu, nebo jeho fyzikálních a mechanických vlastností

-přímé metody a analýza struktury

-nepřímé metody a analýza struktury

Destruktivní zásahy do zabudovaných konstrukcí a povrchů, by měly být aplikovány vždy až po zralé úvaze. Současně je třeba hledat alternativní cesty, jak tyto metody nahradit šetrnějšími způsoby. Významnou pomocí v tomto úsilí může být

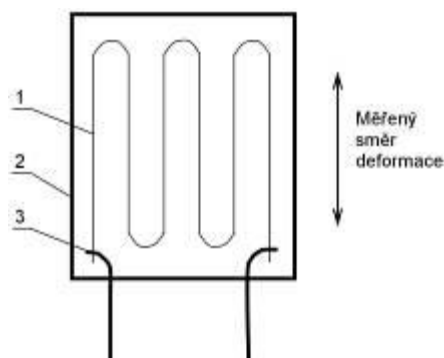
využití některé z moderních diagnostických metod, jakými jsou například ultrazvuk či rentgen. Tyto metody mohou být využity pro pomoc při zjišťování druhu skrytého poškození dřeva (DRDÁČKÝ, JÍROVSKÝ, 2013).

Při výběru vhodné metody je podle (ŠPAČKA, 2007) kladen důraz obzvláště na:

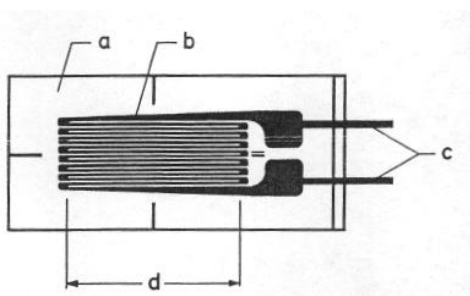
- Co nejmenší destruktivnost zkoušky.
- Jednoduchou aplikaci na rozhlednu na bázi dřeva.
- Rychlost získávání výsledků.
- Dostupnost přístroje.
- Zvládnutelnost obsluhy přístroje.

6.1. Tenzometr

Jako nejjednodušší metodou pro měření deformací na rozhledně na bázi dřeva, se jeví tenzometr. V dnešní době je tenzometr považován za jeden z nejdůležitějších prvků techniky elektrického měření, který je používán k monitorování mechanických veličin. Pasivní elektrická součástka je v přístroji používána k nepřímému měření prvků na povrchu konstrukčního dílce, prostřednictvím elektrických veličin. Jedná se v podstatě o snímač pnutí. Díky němu je síla, tlak, pnutí, apod. převáděna například na změnu elektrického odporu, který může být velmi dobře změřen a vyčíslen (K. JANÍČEK, 2000). Ukázka tenzometrů je zachycena na obrázku 7. Obrázek 8. obsahuje popis jednotlivých částí.



Obrázek 7 Drátkový tenzometr (HOMEL, 2013)



Obrázek 8 A-vložka, b-mřížka, c-přípojky d-délka mřížky (HOFFMAN,1987)

Elektrický odpor lze vyjádřit vztahem:

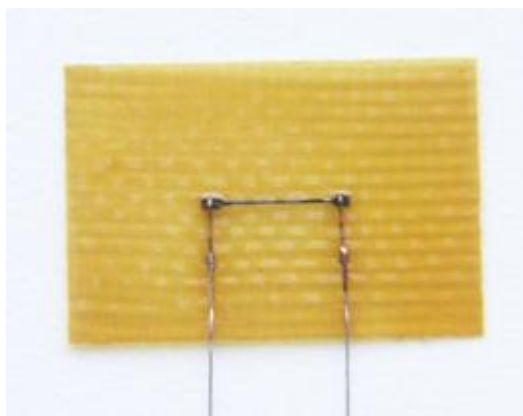
$$R = \rho \cdot l / S \quad (4.1.)$$

ρměrný elektrický odpor vodiče= cca.konstantní [Ω/m].

ldélka vodiče [m]

Sobsah příčného průřezu vodiče [m^2].

Podstata zkušební metody pomocí tenzometru spočívá ve spojení vodiče tenzometru pevně s povrchem namáhaného dřevěného prvku. Deformace ve dřevě je tedy sdílána s povrchem tenzometru, kterým jsou tyto hodnoty převedeny na hodnoty elektrické. Mezi zkoumaný prvkem a vodičem může být umístěna ještě podložka viz Obrázek 9. Závislost mezi deformací a působící silou byla popsána v roce 1776 Robertem Hookem. Z tohoto vztahu byl vyvinut Hookeův zákon, kterým je tvořen základ tenzometrického měření. Tento způsob může být použit u již zabudovaných součástí konstrukcí, v našem případě na jednotlivé konstrukční prvky dřevěné rozhledny, které jsou v dostatečném dosahu a mohou být tenzometrem opatřeny (HOFFMANN, 1987), (KATTAUER, 2010).



Obrázek 9 Tenzometr s podložkou (KATTAUER, 2010)

6.1.1. Popis nalepovacího foliového tenzometru

První nalepovací tenzometr byl vyvinut roku 1938 a byl tvořen z mřížkově uložených vláknových polovodičů spojených s podložkou opatřenou epoxidovým lepidlem. Tenzometr je připevněn na zkušební prvek. Na povrchu prvku dochází k působení sil, kterými je změněna délka povrchu a tím i nalepeného drátkového odporu. Elektrický odpor se lineárně mění s deformační silou. Folie a vrstva adhezivního lepidla, je stejně roztahována při přenosu napětí. Lepidlem má být plněna funkce elektrické izolaci mezi drátky tenzometru a povrchem.

Pokud má být vybrán vhodný tenzometr má být kromě jeho citlivosti, brána v úvahu i jeho stabilita a teplotní citlivost (JANÍČEK, 2000).

Vyplývá to z teplotní změny, a změny odporu dřeva v čase. Tepelná roztažnost dřeva není při krátkodobých testech tolik podstatná, ale při měření kontinuální, musí být brána v úvahu možná variabilita v důsledku teplotní citlivosti při měření (BLÁHA, 2012). Převodníky Tenzometrů mají obvykle vstupy pro čtyři tenzometry spojeny do Wheatstoneova můstku. Tento můstek může být použit pro měření jak statického, tak dynamického elektrického odporu. Výstup měření je vyjadřován v milivoltech na Volt (mV/V) napájecího napětí.

Počet aktivních tenzometrů závisí na místě aplikace. V případě monitorování vodorovných nosníků dřevěné rozhledny, které jsou namáhány převážně ohybem, by měly být umístěny dva tenzometry na protilehlých stranách průřezu nosníku. Jedním je snímáno napětí kompresní, neboli tlakové, a na opačné straně je monitorováno napětí

tahové. Dochází tak k zdvojnásobení výstupního signálu při stejném pnutí, a zmenšuje se pravděpodobnost chybné hodnoty měření (BLÁHA,2012).

Mezi hlavní faktory ovlivňující tenzometrické měření je řazeno správné upevnění měřicího přístroje. Prvním krokem k dosažení správných výsledků měření je požadavek, aby byl tenzometr správně upevněn. Povrch musí být zbaven nečistot a povlaků nátěrových hmot. Aby byla zajištěna správnost měření, je také vhodné povrch obrousit například smirkovým papírem. Aktivní část je nalepena vhodným lepidlem na plochu podléhající deformaci. Teplotou může být měření také ovlivněno, díky ní je ovlivněna vodivost materiálu ale i teplotní roztažnost tenzometru. Teplotní roztažnost dřeva je vyjádřena koeficientem teplotní roztažnosti α , kterým je zároveň vyjádřena změna jednotkové délky dřeva při jeho ohřátí o 1°C. Tato veličina je ovlivněna anizotropií dřeva. Poměry jsou $\alpha_t : \alpha_r : \alpha_l = 15 : 10 : 1$ (BLÁHA,2012), (HOFFMAN, 1987).

Tečením dřeva je nazývána schopnost dřeva se deformovat po působení určitého konstantního mechanického zatížení v čase. Pokud je tenzometr namáhán konstantním mechanickým zatížením, po čase je ztracena jeho původní citlivost. Může to být způsobeno jevy v materiálech tenzometru, měřeného objektu či lepidla. Dalším faktorem zkreslující měření je hystereze. Hystereze samotného tenzometru je považována za téměř zanedbatelnou, větší hystereze může být vykazována dřevěným prvkem, na který je tenzometr nalepen. Vlhkost může být dalším důvodem nestability tenzometrů. Musí být zabráněno, aby vlhkost obsažena ve dřevě, nepronikala do povrchu tenzometru. Pro tento účel může být použit včelí vosk (viz Obr 7.) Výskyt vysoké vlhkosti může vést ke korozi přístroje. Problémy dále mohou nastat střídavým magnetickým polem a s ním spojenou indukcí v přívodních kabelech (BLÁHA,2012), (HOFFMAN, 1987).

Použití:

Vhodnost toho přístroje na měření deformací rozhledny na bázi dřeva je vysoká. Na stupnici se vzrůstající tendencí od 1 do 10 byla mnou ohodnocena číslem 9. Závisí samozřejmě na konkrétním druhu tenzometru. Vysoké hodnocení bylo přiděleno pro jeho citlivost, jednoduchost provedení, malou hmotnost i ekonomickou stránku věci.

Velkou výhodou lze přisoudit této metodě, protože díky ní může být zachycena přímá deformace objektu pomocí tenzometru.

6.2. Rentgen

Tato diagnostická metoda je zařazena mezi nedestruktivní, a za její pomoci lze odhalit vnitřní defekty konstrukce, v důsledku kterých může být konstrukční prvek později deformován. Toto zařízení pracuje na principu elektromagnetického záření známého jako rentgenové záření, které je tvořeno tokem fotonů. Ke vzniku obrazu dochází při nárazu elektronů, pohybujících se vysokou rychlostí, na překážku.

Zkušebním dřevěným prvkem prostupují rentgenové paprsky, přičemž dochází k řadě interakcí, které jsou ovlivňovány nehomogenitou materiálu. Rentgenové paprsky (RTG paprsky, X-paprsky) pronikají dřevem poměrně snadno, jejich pohlcování závisí na hustotě jednotlivých částí dřeva (ŠIMUNKOVÁ 1989). Při měření určeného objektu je vytvářena fotografie, která odráží hustotu, tloušťku, absorpci energie a chemické vlastnosti materiálu. Nízko-výkonové rentgeny jsou považovány za bezpečné a přitom vhodné pro průzkum dřevěných konstrukcí (DRDÁCKÝ, JÍROVSKÝ, 2006).

Použití:

V dřívějších dobách by bylo užití radiografie na měření konstrukčních prvků dřevěné rozhledny bylo téměř nemožné, z důvodu tíhy a obtížné dopravitelnosti měřícího zařízení. V dnešní době však byly vynalezeny digitální rentgenografie, díky kterým bychom mohli tuto metodu na monitorování prvků dřevěné rozhledny aplikovat. V dnešní době jsou však pro práci v terénu přenosné rentgeny viz obrázek 10.



Obrázek 10 Přenosný rentgen (BLÁHA, KLOIBER, 2008)

Mezi nevýhody této metody by dříve patřila nutnost dodržovat bezpečnostní opatření práce se zdrojem rentgenového záření, to však u digitální radioskopie neplatí. Digitální radioskopie má nevýhodu v nutnosti kabelového propojení s počítačem. Výhodou naopak je možnost následného zpracování rentgenových obrazů a přiblížení (zoom) do detailu. Radiografií může být určeno místo a rozsah poškozené části vzorku. Lze detekovat kovy ve dřevě, a vnitřní poškození dřeva hmyzem, hnilobou a dřevokaznými houbami.

Rentgenování se u průzkumů dřevěných konstrukcí osvědčuje všude tam, kde je třeba zjistit podrobnější informace o skrytých detailech, v nichž se uplatňují materiály s různou hustotou (BLÁHA, KLOIBER, 2008). Nejdůležitější funkcí rentgenu při monitorování rozhledny na bázi dřeva je možnost kontrolovat kovové spojovací prvky a spoje. Díky rentgenování může být včas odhaleno poškození deformace či koroze spojovacího prostředku. Tato metoda by byla nejlépe použita na monitorování prvků, které jsou spojeny spojovacími prostředky, v našem případě svorníky.

Obsluha rentgenu je jednoduchá. Po té co je vložena nabitá baterie, je nastaven počet potřebných pulzů a vykonána ozáření dálkovým spouštěčem. Rentgenogram, může být získán na skeneru, nebo na připojeném video-systému. Může být také použit polaroid na expozici filmu a tak lze získat obrázek (DRDÁCKÝ, JÍROVSKÝ, 2006).

Vhodnost této metody byla mnou bodově ohodnocena, na pomyslné stupnici se vzrůstající tendencí od 1 do 10, číslem 7. Bezesporu záleží na tom, co chceme na

rozhledně zjišťovat za vlastnosti. Přímé deformace touto metodou změřeny nejsou, ale mohou být zachyceny poruchy, ze kterých mohou deformace později vznikat. Za velmi užitečné bylo mnou shledáno zjišťování poškození spojovacích prostředků, které by některými jinými metodami nebylo možno zjistit.

6.3. Pilodyn

Měření pomocí přístroje pilodyn, je zařazeno do kategorie semi-destruktivního zkoušení, protože dřevo je po zkoušce poškozeno pouze zanedbatelně. Pomocí přístroje je zjišťována kvalita konkrétního dřevěného prvku rozhledny. K měření může být použit například pilodyn typu 6J značky Forest Obr. 12. Pilodyn 6J Forest je jednoduché mechanické zařízení, kterým je možno měřit hloubku průniku trnu s průměrem 2,5 mm, vystřeleného do dřeva při konstantní zárazecí energii 6J. Značka 6J udává zárazecí energii která je rovna 6 Joulů. Princip přístroje je ve zjišťování hustoty, která je určena hloubkou průniku trnu do dřeva. Přístroj tedy může být použit na určení hodnoty povrchové hustoty a garantuje vysokou přesnost. Na základě zkoušky Pilodynu 6J byly dle GORLACHERA (1987), stanoveny dobré korelační koeficienty mezi hustotou a hloubkou penetrace. Korelační koeficient byl stanoven v intervalu 0,74 až 0,92 a proto je nutno aby byl přístroj nakalibrován, s ohledem na druh dřeviny a množství měření a vlhkost vzorku, což potvrzují i studie BONAMINIHO a kol. (2001), RONCA a GUBANA (1998), SMITHA a MOREELLA (1986), KUKLÍKOVÉ (2004). Dle TURRINIHO a PIAZZA (1983) byla navržena empirická hodnota korelace mezi energií rázů a modulem pružnosti (DRDÁCKÝ, JÍROVSKÝ, 2006).

Modul pružnosti byl definován jako Poměr síly působící kolmo na jednotku plochy k deformaci, kterou tato síla působí (THOMAS YOUNG).

Tato veličina je velice potřebná při zkoumání a monitorování vlastností deformací rozhledny na bázi dřeva. Hustota je velmi důležitou charakteristikou, kterou je ovlivňována kvalita dřeva. Při praktickém použití Pilodynu, byla zjištěna lepší schopnost penetrace trnu do prvku, ve směru radiálním než tangenciálním. Tento jev může být vysvětlen pravidelným střídáním jarních a letních letokruhů v radiálním směru. Pokud dojde k zárazení trnu v tangenciálním směru například kvůli dostupnosti prvku, hodnoty výsledků mohou být zkresleny, protože může být chyba při měření v

tangenciálním směru, může dosahovat podle (RONCA a GUBANA, 1998) přibližně 5-6 % (DRDÁCKÝ, JÍROVSKÝ, 2006).



Obrázek 11 Pilodyn 6 J standard (BORACOL, 2000)



Obrázek 12 Pilodyn (BLÁHA, KLOIBER, 2008)

Technické parametry „Pilodyn 6J“

rázová energie 6 J

hloubka vniku kolíku do dřeva do 40 mm;

průměr kolíku 2,5 mm

Použití:

Vhodnost této metody byla mnou bodově ohodnocena, na pomyslné stupnici se vzrůstající tendencí od 1 do 10, číslem 8.

Argumentem jsou výhody přístroje Pilodyn, mezi které lze zařadit jednoduchost, skladnost a malou cenu přístroje, dále hloubku měření, která bývá pouze povrchová, korelace různých vlastností s měřenou veličinou. Použit může být v podstatě všude, kam má jeho obsluha dosah. Výhodou je, že Pilodyn může být použit i na nepřímé zjišťování hustoty, která souvisí s mechanickými vlastnostmi, se kterými deformace úzce souvisejí (DRDÁCKÝ, KLOIBER, 2011).

Tato metoda může být kombinována s jinou diagnostickou metodou, a může být použita i na měření poškozeného dřeva měkkou hnilobou. Povrchové měření může být zároveň považováno i za nevýhodu. Nedojde sice k poškození po průřezu dřevěného prvku, ale získaná informace je také pouze z povrchu prvku. Měření jsou ovlivňována obsahem vlhkosti dřevěného prvku. S vyšší vlhkostí je trn snadněji penetrován do dřeva. Proto je nutno zhotovit korelaci obsahu vlhkosti pro každé měření, a to je také považováno za nevýhodu (KLOIBER, KOTLÍNOVÁ, 2010).

6.4. Odporová mikrovrtáčka

Dalším přístrojem, který byl zařazen mezi semi-destruktivní způsoby zjišťování stavu prvků dřevěné rozhledny je Resistograph, který je zobrazen na obrázku 13. Odporové vrtání je založené na měření odporu vůči prostupu vrtákem malého průměru zkoumaným materiálem. Liší se od odporového zarážení trnu tím, že díky pozvolnému pronikání materiálem, nabízí přehled o jeho vnitřní struktuře (KLOIBER, KOTLÍNOVÁ, 2010).

Výstupem z měření je energie, která je zapotřebí k udržení konstantní rychlosti vrtáku při vrtání materiálem za pomoci odporové mikrovrtáčky. Tento výstup je zanesen v grafickém záznamu, který dopovídá vrtné rychlosti na ose y a šířky trámu na ose x. Zařízení Resistograph je složeno z: dvou motorů, vrtáku z wolframu s ocelovým zakončením hrotu, včetně vrtáku které je stabilizováno uvnitř vrtajícího zařízení speciálním teleskopem (RINN, 1994).

Princip měření spočívá v zaznamenání energie při vrtání (R_D , Nm.s/rad) (HORÁČEK, 2007). Čím menší je hustota materiálu, nebo čím více je materiál poškozen trhlinami tím menší vrtný odpor materiál vykazuje. Je tedy spotřebován menší točivý moment motoru. Proto extrémy vyskytující se v horní části grafů mohou znamenat vyšší energii tedy vyšší odpor a vyšší hustotu. Extrémy v dolní části grafu jsou signalizovány nižší energií, odporem a také hustotou. Záznamy mohou být uchovány v elektronické podobě v počítači. Při měření musí být brány v potaz všechny faktory, které nám můžou hodnotu zkreslit. Odporové vrtání je vhodné aplikovat pouze v radiálním směru měřeného prvku. Kdyby došlo k vrtání v jiném směru než radiálním, mohl by být vrták stáčen do zóny jarního dřeva. Jelikož jarní dřevo je měkké dojde k odchýlení vrtací dráhy a tím k nepřesnostem. Pokud je materiál poškozen, výsledky

měření budou vykazovat výrazně nižší odpor, než kdyby dřevo bylo zdravé. Proto je možné z grafu zjistit přítomnost defektů a biotického, nebo abiotického poškození. Pokud je dřevo absolutně degradováno hnilobou či poškozeno hmyzem nevzniká téměř žádný odpor proti vrtání (BLÁHA, 2007).

Použití:

Vhodnost toho přístroje na měření deformací rozhledny na bázi dřeva je střední. Na stupnici se vzrůstající tendencí od 1 do 10 je mnou ohodnocena číslem 5.

Mezi výhody odporového vrtání patří možnost okamžité interpretace naměřených výsledků na základě grafického výstupu přímo v terénu. Je také dosahováno poměrně přesných hodnot. Když však nedojde k průchodu vrtáku pouze radiálním směrem, (což je obtížně kontrolovatelné) dochází k ovlivnění výsledných hodnot, metoda je náročná časově, a vyžaduje jistý prostor okolo místa měření (což by na některých místech na rozhledně mohl být problém). Metodou je vyžadován volný prostor okolo místa měření viz Obr. 13, což by bylo na rozhledně nesnadné, ne však nemožné (KLOIBER, KOTLÍNOVÁ, 2010).



Obrázek 13 Odporové vrtání v praxi pomocí Resistographu (KLOIBER, KOTLÍNOVÁ 2010)

6.5. Baumannovo kladívko

Princip zkoušky spočívá ve vtláčování ocelové kuličky o průměru 5 nebo 10 milimetrů do zkoušeného prvku úderem razníku (BRINELL, 1900).

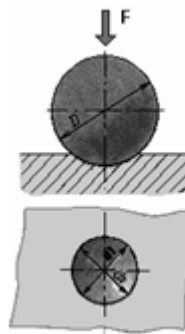
Vtláčovaná kulička je úderem razníku vymrštěna a stlačena pružinou do zkoušeného materiálu a otiskne se do měřeného materiálu.

Nejprve nastavíme velikost energie rázu, poté je vzorek položen na masivní podložku (z důvodu zabránění pružení)

Přístroj položíme na zkoušený povrch a stlačíme pružinu na požadovanou délku, tím dojde odjištění západky, která vymrští razník s kuličkou. Po dopadu dojde k obtisku kuličky do zkoušeného vzorku. Nakonec je lupou změřen průměr vtisku a porovnán s tabulkou- hodnotou tvrdosti HR BAUMANN, která může být součástí přístroje (FRANKOVÁ, 2009).

Použití:

Vhodnost této metody byla mnou ohodnocena na vzestupné stupnici od 1 do 10, číslem 4. Je to zdůvodněno jednoduchostí metody, kterou nejsou zaznamenány potřebné informace. Jde vlastně jen o zjištění tvrdosti prvku. Aplikovat tuto metodu lze pouze na prvku dostupné z vrchní plochy nebo ze schodiště.



Obrázek 14 Princip zkoušky podle Brinella (BUREŠ, 2002)

6.6. Pomocí jádrových vývrtů

Jádrové vývrtky jsou odebrány ze dřevěných prvků rozhledny, a dále jsou na speciálním zkušebním, tlakovém zařízení zkoušeny. Tato metoda je řazena mezi semi-destruktivní, neboť je prvek zkoušeného materiál poškozen minimálně, ovšem odebraný vzorek je zkoušen destruktivně. Pomocí této metody můžou být stanoveny veličiny jako pevnost v tlaku na základě měření posunutí zatěžovací hlavy zkušebního zařízení (KLOIBER, KOTLÍNOVÁ, 2010).

Z dostatečně masivního prvku konstrukce je speciálním vrtákem o vnějším průměru 9,5 mm odvrtán v radiálním materiálovém směru válcové jádro o průměru 5 mm a délce 30 mm. Toto jádro je následně ve zkušebně upnuto ve speciálním zkušebním zařízení a zatěžováno tlakem ve směru vláken. Během zkoušky jsou zaznamenávány hodnoty působící tlakové síly, a vzájemného posunutí čelistí. Pevnost v tlaku byla stanovena jako hodnota nominálního napětí na maximálním průřezu válcového vzorku. Poté dojde k porovnání výsledků zkoušky s odpovídajícími normami ASTM (2002), (DRDÁCKÝ, JÍROVSKÝ, 2006).

Podle výsledků (In-Situ Evaluation) bylo prokázáno, že pro stlačení vzorku má největší vliv modul pružnosti ve směru vláken, menší modul pružnosti kolmo na vlákna a nejmenší, ale přesto ještě významný vliv má modul ve smyku. Celkové stlačení je udáváno v milimetrech a odpovídá zatížení 1KN. Tlaková pevnost a deformační charakteristika může být odvozena ze zkoušky radiálních vývrtů, jejímž výsledkem je napěťovo-deformační diagram, (DRDÁCKÝ a Kol., 2004). Modul pružnosti nemůže být určen přímo z deformačního zatížení z důvodu víceosového zatížení, pro povrchová omezení a geometrii vývrtů. Odklon deformace při zatížení odpovídá přímo modulu pružnosti (DRDÁCKÝ, JÍROVSKÝ, 2006).

Použití:

Tato metoda může být aplikována na rozhlednu na bázi dřeva, pouze v malém množství odebíraných vzorků. Navrtat by bylo možné rozhlednu na svislých či vodorovných prvcích, spíše ve vrchní části stavby, aby nebyla porušena statika. Jako výhodu bych uvedla fakt, že průběh zkoušení pevnosti v tlaku je destruktivní, (prvek je upnut mezi čelisti, a když dojde k překročení jeho pevnosti nevratně se deformuje), přesto ale k významnému oslabení prvku dřevěné rozhledny nedojde. Za nevýhodu může být

považována nutnost laboratorního měření a výpočtu, požadavek aby byl zachován radiální vývrt, což je v praxi velmi nesnadné (KLOIBER, KOTLÍNOVÁ, 2010). S přihlédnutím na uvedené výhody a nevýhody zkušební metody, byla vhodnost této metody na aplikaci hodnocení prvků dřevěné rozhledny na stupnici od 1 do 10 se vzrůstající tendencí hodnocena číslem 6.

6.7. Akustické metody

U těchto metod je vycházeno z měření rychlosti zvuku ve dřevě a akustické emise. Díky šíření zvuku ve dřevě mohou být odhaleny vady dřeva, jakými jsou: suky, hustotní rozdíly ve dřevě nebo poškození hnilobou a hmyzem.

V nejjednodušším případě mohou být vady diagnostikovány pomocí mechanického úderu kladiva. ROSSEM a Kol. (1999) byly lokalizovány oblasti degradace dřeva pomocí inspekčního měření napěťové vlny. Mezi další nástroje patří ultrazvuk s rozsahem frekvence od 20kHz do 1GHZ.

Hustotou a vlhkostí je významně ovlivněno měření, hlavně během biologické degradace dřeva. Ultrazvuk, ke stanovení degradace byl použit ARGITEM a Kol. (1989), PRIETEM (1990) a dalšími. Byla zjištěna závislost mezi pevností v ohybu shnilého dřeva a jeho hodnocením na základě měření ultrazvukem. (NEUENSCHWANDER a kol. 1997). Dále byla prokázána vysoká míra závislosti mezi rychlostí šíření zvuku ve dřevě a pevností v tlaku rovnoběžně s vlákny. Tato metoda může být v našem případě aplikována na polotvrdou dřevinu-modřín (DRDÁCKÝ, JÍROVSKÝ, 2006).

Akustický vlnový odpor je definován jako součin hustoty ρ a rychlosti šíření vlny c .

(KOPEC, BERNARD, 2008)

$$Z = \rho \cdot c \tag{5.1}$$

(HOFFMAN, 1987)

Použití

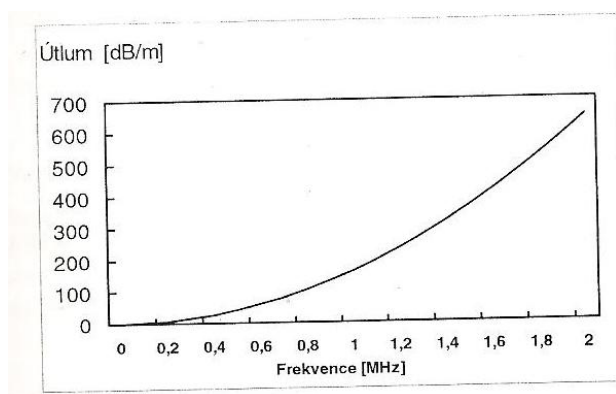
Akustická metody by byla mnou vyhodnocena jako nejlepší na měření prvků dřevěné rozhledny při podezření na výskyt dřevokazného hmyzu.

Akustické signály jsou rozličné při zatěžování, ale jsou také vysílány dřevokazným hmyzem.

6.7.1. Ultrazvukové

Metoda měření přenosu ultrazvukového vlnění, je založena na měření rychlosti šíření elastické deformace, která závisí na směru přenosu signálu (KLOIBER, KOTLÍNOVÁ, 2010). Hodnoty jakými jsou dynamický a statický modul pružnosti dřeva můžou být zjištěny na základě ultrazvukového testování. Přístroj, který pracuje na principu přenosu ultrazvukové vlny mezi dvěma sondami, které jsou přiloženy každá z protilehlé strany zabudovaného prvku. Těmito přístroji mohou být analyzovány dutiny, a stavy hniloby ve dřevě a další degradace a deformace. Zvukové vlny se šíří rychlostí, která je závislá jak na prostředí (druhu dřeva), tak může být ovlivněna i okolními podmínkami. (teplotou, vlhkostí, směrem a mírou degradace) (DRDÁCKÝ, JÍROVSKÝ, 2006).

K útlumu ultrazvuku dochází také ve vzduchu, v závislosti na frekvenci. Celkové ztráty energie mohou ve vztahu Vzduch- kompozitní materiál činit až 130 dB (KOPEC, BERNARD, 2008).



Obrázek 15 Závislost útlumu na frekvenci (KOPEC, 2008)

Pomocí času můžeme vyjádřit další charakteristiky, které je třeba transformovat pomocí rovnic do hlavních směrů materiálové symetrie.

Může být stanoven dynamický modul pružnosti v podélném i příčném směru, hustota a statický modul pružnosti. Tyto základní charakteristiky ovlivňují vznik deformací v dřevěném prvku, a jsou vzájemně měněny například v souvislosti poškozením biologickými činiteli (DRDÁCKÝ, JÍROVSKÝ, 2006).

Rychlost šíření zvukových vln ve dřevě lze vypočítat podle vztahu:

$$c = \sqrt{E/\rho} \text{ [m.s}^{-1}\text{]}$$

E Youngův modul pružnosti [Pa]

ρ Hustota dřeva [kg.m^{-3}]

Rychlost šíření zvukového vlnění c může být určena jako:

$$c = L/t$$

(15)

L Délka tělesa [m]

T Čas [s]

Z naměřených hodnot rychlosti a hustoty je možné vypočítat dynamický modul pružnosti:

$$E = c^2 \cdot \rho \text{ [N.mm}^{-2}\text{]}$$

(16)

(DRDÁCKÝ, JÍROVSKÝ, 2006)

Z uvedené rovnice je patrné, že rychlost šíření zvuku je tím větší, čím větší je modul pružnosti, nebo menší hustota dřeva. Rychlost šíření zvuku je závislá na dřevině, a je charakterizována anizotropním charakterem. V podélném směru neboli rovnoběžně s vlákny dochází k přechodu zvukové vlny v kratším čase, než napříč vláken. Vychází to ze stavby a orientace buněk ve dřevě. Cévy a cévice jsou orientovány v podélném směru, proto je v tomto směru kladen menší odpor průchodu vln. Protože je dřevo ortotropním materiálem, s nezávislými mechanickými vlastnostmi ve třech základních směrech- podélném, radiálním a tangenciálním proto musí být modul pružnosti

transformován (KRETSCHMANN, 1999). Na rychlosti průchodu ultrazvukové vlny má dále vliv úhel sklonu měření vzhledem k letokruhům. Rychlost šíření je také ovlivněna šířkou letokruhu, pouze v radiálním směru. Dalšími faktory, kterými je ovlivněna rychlost šíření zvuku ve dřevě je přítomnost hniloby, vlhkost a teplota dřeva. Ochranné látky, kterými má být rozhledna opatřena, nemají většinou vliv na přenos ultrazvukových vln. Pouze látky na bázi olejů, kterými je rozhledna opatřena zvyšují čas přenosu o více než 40 % oproti neošetřenému dřevu (ROSS, HUNT, 2000), (DRDÁCKÝ, JÍROVSKÝ, 2006).

Použití:

Tato metoda je řazena mezi nepoužívanější diagnostické metody ve stavebně technických průzkumech dřevěných konstrukcí. Za výhodu může být považována nedestruktivnost metody, jednoduchost měření, okamžité, relativně přesné výsledky, a informovanost o stavu spojovacích prvků. Dle (KLOIBERKA, KOTLÍNOVÉ, 2010) je vhodný přístroj Arborsonic Decay Detektor, viz Obr. 16. Mezi nevýhody byly uvedeny faktory ovlivňující přesnost měření, dále nutnost doplňovat výsledky vizuálním hodnocením a vyšší náklady na přístrojovou techniku. Když má být vypočten dynamický modul za pomoci této metody, musí být známa také hustota, která nemůže být vyšetřena zcela nedestruktivně (KLOIBER, 2012). Po analyzování výhod a nevýhod bylo mnou uděleno hodnocení z hlediska vhodnosti aplikace na rozhlednu na bázi dřeva, na stupnici od 1 do 10 se vzrůstající tendencí, číslem 6. Za největší nevýhodu považována vstupní investice, na koupi přístroje.



Obrázek 16 Detail přístroje Arborsonic Decay Detektor (KLOIBERKA, KOTLÍNOVÁ, 2010)

6.8. Vlhkoměry

Vlhkoměry byly rozřazeny na odporové, dielektrické a kapacitní. Měření je ovlivněno teplotou, hustotou (W. JAMES, 1988).

Většina vlhkoměrů je přenosná na baterie. U většiny vlhkoměrů musí být nadefinována dřevina (v našem případě modřín) někdy i teplota okolního prostředí, přístroj má dva hroty, které jsou zabodávány do materiálu (FUČÍK, 2012).

Použití:

Tento přístroj byl navrhnut k použití k prvotnímu technickému průzkumu dřevěné konstrukce rozhledny. Díky němu může být odhalena lokalizace zvýšené vlhkosti rozhledny, která by mohla vést k biologickému poškození dřeva, které pak vede k poškození, a následným deformacím. Mezi nejpoužívanější vlhkoměry jsou řazeny odporové typy, jejichž princip je založen na vlivu vlhkosti ve dřevě a na elektrickém odporu. Dochází ke kontaktu dřeva s elektrodou, a ta může být buď zarážecí (vlhkost je měřena po celém průřezu Obr. 15), přítlačná (měření pouze na povrchu dřeva) či upínací (vhodné pro různé tloušťky materiálů). Tato metoda musí být doplněna jinou přesnější metodou, kterou mohou být zachyceny také deformace. Zjišťování vlhkosti je vzhledem k charakteru dřeva určeného ke stavebním účelům nezbytné, proto byla problematika vlhkoměrů v práci zmíněna. Pro aplikaci konkrétního měření uvažované rozhledny, je tedy tato metoda uvažována jako doplňující k metodám měřící přímou deformaci (FUČÍK, 2012) ,(W. JAMES, 1988).



Obrázek 17 Zatloukávací sonda pro vlhkoměry (FUČÍK, 2012)

6.9. Měření pomocí digitálních úchylkoměrů

Elektronický digitální úchylkoměr, je podle normy ČSN EN ISO 13102 označen jako měřící vybavení, ve kterém jsou získané axiální posuvy pístu převedeny převodníkem a vhodnými elektronickými prostředky do elektronického signálu. Ty jsou předány do fyzicky zabudovaného displeje. (ČSN EN ISO 13102)



Obrázek 18 Digitální úchylkoměr (SIKORA,2010)

Tabulka 3 Parametry digitálního úchylkoměru (SIKORA,2010)

Měřicí rozsah	Rozlišení	Přesnost
[mm]	[mm]	[mm]
12,5	0,001	±0,01

Úchylkoměrem je možno monitorovat trhliny jejich šířku. Je to důležité, z hlediska vyhodnocení zda trhlinou bude ovlivňována pevnost a stabilita jednotlivých prvků rozhledny na bázi dřeva. Po výskytu trhlin může být konstrukce deformována, proto musí být tyto defekty zachyceny, analyzovány a odstraněny. Měření je prováděno měřičem, který je nasazen kolmo na směr trhliny, a na konstrukci jsou osazeny jeho dva trny. Na první trn jsou osazeny hodinky s prodlouženou přenosovou tyčí. Druhý konec tyče je upnut do druhého trnu pomocí stavěcího šroubu. Šířka trhliny může být odečtena z hodinek (viz Obr. 18), s přesností 0,01 nebo 0,001 mm (ŽÍDEK, 2009).

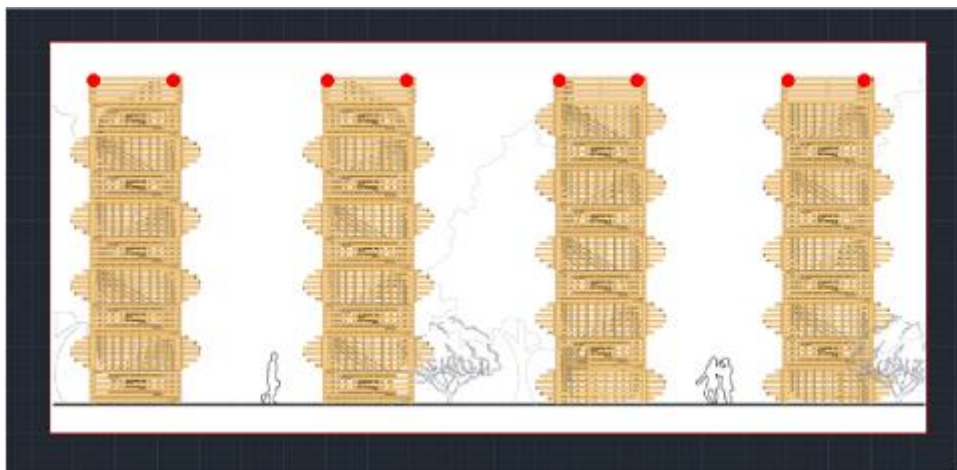
Tato metoda byla mnou ohodnocena na stupnici od 1 do 10 se vzrůstající tendencí číslem 7. Pomocí této metody mohou být měřeny přímo trhliny. Použití na konstrukci rozhledny na bázi dřeva, by spočívalo v přeměření trhlin hned po postavení konstrukce rozhledny, aby bylo možné analyzovat změny, a zavčas řešit jejich opravy.

7. Měření prostorových deformací rozhledny pomocí za pomoci geodetických metod

Konstrukce rozhledny na bázi dřeva je vysoká 12,4 metrů, a vysoké stavby mohou být v důsledku únosnosti základové půdy, nárazů větru nebo jiných vlivů deformovány sedáním, prohnutím či náklonem. Proto bude dále rozepsáno monitorování rozhledny jakožto celku, pomocí geodetických metod. Těmito metodami jsou zaměřeny prostorové souřadnice bodů (x,y,z) . Mezi další vlivy, kterými může být ovlivňováno přetvoření konstrukce, jsou řazeny povětrnostní podmínky, zejména vliv teploty a vlhkosti prostředí a sezonní vlivy. Délkové změny mohou být v důsledku oslunění. V zimní období jsou naopak prvky vystaveny mrazu a zátěži sněhem (KALINA, 2010).

7.1. Měřicí systém - geodetická mikrosít'

Chování rozhledny je vyhodnocováno na základě výsledků měření bodů, umístěných na horních prvcích rozhledny. Body jsou nazývány měřičské značky a jsou tvořeny kruhovými terčíky o průměru 30 mm. Jsou umístěny záměrně na místech, které jsou nejvíce namáhány, a kde bude posuv nejlépe patrný, v našem případě v horních rozích. Jak budou konkrétně umístěny monitorovací body na rozhledně, je patrné z obrázku 16. (BUREŠ, STRAKA, 2012)

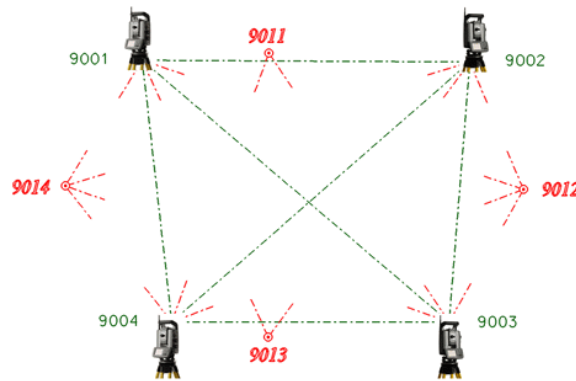


Obrázek 19 Návrh měřičských značek (AUTOR, 2014)

Při této technologii je vycházeno z prostorového protínání úhlu měření totální stanicí, s úhlovou přesností 0,5 mgon (jednotka grad, stupeň prostorový setinový). Pro

optické měření deformací je použita odporová totální stanice s obrazovou podporou, jejíž základ je tvořen tachymetrem s CCD kamerou (HILMAR, 2008).

K měření dochází v geodetické mikrosítě přechodných stanovisek rozestavěných do čtyřúhelníkového tvaru (viz Obr. 20). Detekce jednotlivých bodů je dosaženo na základě analýzy stupňů šedi v obrazech interní kamery. Tím jsou vyhledány výrazné body na rozhledně. Operátorem jsou zkoumány malé posuny obrazů (3-10 pixelů) obrazy, a těmi jsou vyhodnocovány změny intenzit stupňů šedi ve dvou kolmých směrech od analyzovaných bodů. V průběhu geodetického měření jsou zaznamenávány hodnoty teplot vzduchu, povrchu konstrukce a relativní vlhkost vzduchu. Při dodržení technologie, mohou být geodetickými metodami detekovány změny již od hodnoty 1,5 mm (BUREŠ a Kol., 2012).



Obrázek 20 Rozmístění geodetické mikrosítě (BUREŠ a Kol., 2012)

Že k jistým deformacím po zatížení dojde, je dopředu očekáváno. Konstrukce je také důsledkem bobtnání a sesychání během svého provozu mírně deformována.

Proto je na začátku monitorování stanoven jistý teoretický deformační model, s kterým jsou následně naměřené hodnoty deformací porovnávány. Teoretické limitní hodnoty nesmí být překročeny skutečnými naměřenými hodnotami (BUREŠ a Kol., 2012).

Touto metodou mohou být zjištěny deformace rozhledny. Pomocí prostorové sítě může být zjištěno, zda se jedna část rozhledny nedeformuje výrazněji než druhá. Největší deformace jsou přepokládány ve vrcholech proto zde byly umístěny měřičské značky. Použití této metody je ohodnocena na stupnici od 1 do 10 se vzestupnou tendencí číslem 9. Je to díky přesnému zaměření, a protože zkouška lze opakovat i po

letech, kdy dojde k opětovnému zaměření, a máme tak přesné srovnání s původním stavem.

7.2 Technologie laserového skenování

Zde se jedná o metodu, bezkontaktní rychlou a přesnou, kterou je zachycován virtuální model rozhledny, s minimální ztrátou informací o rozměru či tvaru. Laserový skener může být charakterizován jako vysokofrekvenční laserový dálkoměr. Skenerem jsou vysílány dálkoměrné paprsky do svého okolí, a po odražení od měřeného objektu dojde k uložení do paměti souřadnice nejméně jednoho prostorového bodu. Výstup této metody je tvořen souborem odražených bodů, který je nazýván mračnem bodů. Po sestavení bodů je vygenerován detailní model objektu, v našem případě rozhledny. Tento model může být porovnán s původním nezatíženým modelem a tak jsou vyhodnoceny deformace (ČERVENKA, 2009).

Mezi výhody této metody, může být zařazeno: komplexní zaměření skutečného stavu, vysoká rychlost měření, možnosti skenování za provozu, vysoká milimetrová přesnost (KŮRKA, 2013). Tato metoda není nejvhodnější pro monitorování konstrukčních prvků dřevěné rozhledny. Přes její rychlost a přesnost je laserové skenování nákladné, vyžaduje kvalifikovanou obsluhu a je vhodné spíše pro komplikovanější systémy (složité stavby, potrubní systémy, výrobní linky atd.), než je naše rozhledna s několika málo význačnými body, proto její použití v tomto případě není vhodné.

7.3 Měření pomocí Video extenzometru Mercury RT

Tato metoda je založena na bezkontaktním měření a spadá do metod optických. Je použita například i při zjišťování stavu nepřístupných míst. Za poslední roky pokročily tyto metody, co se týče přesnosti a rychlosti, významný krok vpřed. Za výhody systému Mercury RT může být považováno přímé měření obecné deformace a posunů, přetvoření a výchylek, jakákoliv změna vzdálenosti mezi dvěma značkami stanovenými v libovolné ose, s vysokou přesností, v řádu sub-pixelů. Bežné rozlišení standardního systému je okolo 500 nm a 5mm. Splňuje třídu 0.5 nebo B-1 a je klasifikována podle normy ISO 9513 a ASTM E83.

Měření deformací vzorků během zkoušení prvků rozhledny je monitorováno za pomoci video extenzometru (video průtahoměru) Mercury RT, kterým je umožňováno použít více virtuálních sond na pokročilé obrazové funkce, které mají být sledovány, včetně přírodní charakteristiky vzorku.

Díky systému Mercury RT, je umožňována analýza měření buď v režimu offline nebo on-line a díky tomu mohou být použity i vysokorychlostní kamery. Výpočet je prováděn v reálném čase. Vypočtené hodnoty přenášeny z přípojného zkušebního zařízení za pomoci analogových nebo digitálních výstupů (VAJĎÁK, 2014).

Použití:

Na tomto přístroji je možno stanovit různé materiálové vlastnosti jako tahové zkoušky, jedno/dvouosé zkoušky, měření velkých deformací, vysokorychlostní testování, měření vibrací, šíření trhlin, dynamické testování a kontrola kvality dřevěných prvků rozhledny na bázi dřeva.

Systém Mercury může být propojen s průmyslovou a DSLR kamerou. Při správném výběru objektivů může být použit pro jakoukoliv aplikaci od mikroskopických do makroskopických rozměrů.

Kromě materiálů na bázi dřeva může být tento systém použit i na kovové vzorky, dráty a folie, plastové vzorky, lana, stavební a keramické materiály. Výsledkem je zachycování deformací pomocí více kamer a virtuálních extenzometrů různých typů.

Mezi charakteristické vlastnosti může být řazeno:

Možnost měření více kamerami souběžně, možnost více virtuálních extenzometrů pro jednu kameru, paralelní výpočty pro optimální rychlost měření, vylepšené grafické uživatelské rozhraní s intuitivním ovládáním, jednoduchá kalibrace systému včetně libovolně pohyblivé souřadnicové soustavy, schopnost použít systém na přirozený neupravený povrch (do kterého dřevo spadá), výpočty lze spustit z předem nahraných dat, nebo záznam dat a výpočty realizovat souběžně. (VAJĎÁK, 2014)



Obrázek 21 Typická konfigurace jedno-kamerového systému (VAJĎÁK, 2011)

Aplikace systému může být za pomoci jedno-kamerového systému, jehož sestavu lze vidět na obrázku 21, či dvou-kamerového systému. Ukázka na obrázku 23. Na konstrukci rozhledny na bázi dřeva, která není tolik rozsáhlou stavbou, byl vybrán pouze jedno-kamerový systém, za pomoci které lze celá stavba uspokojivě monitorovat.

Typická konfigurace jednokamerového systému:

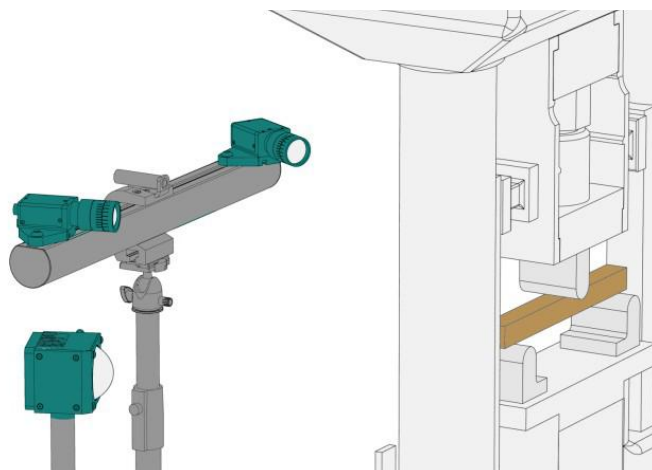
Software Mercury RT, počítač , kamera, čočky, kalibrační grid, kamerový stativ, LED/halogenový světelný zdroj, v příslušenství je dodáván, dotykový displej



Obrázek 22 Připojení kamery na stativ (VAJĎÁK, 2011)

Příslušenství:

Kamerový stativ, set pro upevnění kamer, magické rameno, čočky, filtry, laserový kolimátor, synchronizační box, kalibrační grid, světelný zdroj



Obrázek 23 Dvou-kamerový systém (VAJĎÁK, 2011)

Pro praktické použití v tomto konkrétním případě je aplikována metoda jedno-kamerového systému. Navrhován je podobný způsob, který byl již odzkoušen na rozhledně v Židlochovicích, která má podobnou konstrukci.

8. Shrnutí a praktické použití

Nejjednodušší a nejpoužívanější je nedestruktivní analyzování dřevěných konstrukcí **vizuálním průzkumem**. Jedná se o metodu, která je vykonávána prostým okem či hmatem bez jakýchkoli pomůcek. Zahrnuje rozměrovou kontrolu a kontrolu drsnosti. Může být odhaleno mnoho povrchových vad, a mnohdy lze vizuálně rozpoznat i mechanické poškození dřeva, z kterých vyplynou následné deformace. Všeobecné zásady nedestruktivního zkoušení za pomoci vizuální kontroly je popsáno v normě ČSN EN 13018. Touto metodou však nemůže být definováno celkové poškození jednotlivých prvků konstrukce po jejich průřezu. Nemůže být ani rozpoznán rozsah vnitřního poškození, a nemůže být pouhým okem rozpoznán přechod mezi poškozenou a nepoškozenou částí. Slouží však zejména k vytipování podezřelých poškozených míst na konstrukci a vytipování konstrukčních prvků, které je třeba podrobněji otestovat, například jejich mechanických vlastností použitím přístroje Pilodyn a jejich deformací v konstrukci použitím tenzometrů.

Metody měření jednotlivých konstrukčních prvků byly shrnuty do tabulky včetně bodového hodnocení. Dále byly vyhodnoceny metody, podle jednotlivých hledisek měření. Vyhodnocení jednotlivých metod na měření samostatných prvků dřevěné rozhledny je zachyceno v Tab. 4. Jak je zřejmé u žádné z metod nebylo dosaženo 10 bodů, měření nebude přesně vystihující, protože je třeba zachytit ještě celkovou deformaci rozhledny s interakcí mezi jednotlivými prvky.

Tabulka 4 Srovnání metod na měření jednotlivých konstrukčních prvků (AUTOR, 2014)

Název metody	Body
Tenzometr	9
Rentgen	7
Pilodyn	8
Úchylkoměr	7
Jádrové vývrty	6
Ultrazvuk	6
Odporová mikrovrtáčka	5
Baumanovo kladívko	4
Vlhkoměr	Doplňující

Vyhodnocení celkového měření bylo rozděleno do třech kategorií- první je měření jednotlivých konstrukčních prvků ve stavbě, druhá je měření deformací rozhledny jako celku z dlouhodobějšího hlediska, a třetím je měření odolnosti rozhledny proti dynamickému namáhání.

Tabulka 5 Vyhodnocení metod (AUTOR, 2014)

Hledisko měření	Vybraná metoda
Měření jednotlivých konstrukčních prvků- deformací částí rozhledny, doplňující mechanické vlastnosti a vlhkost	Tenzometry, doplňující Pilodyn + vlhkoměry
Měření rozhledny jako celku-dlouhodobé hledisko-sedání, deformace	Měření pomocí geodetické mikrosítě
Měření rozhledny jako celku- výkyv při dynamickém namáhání	Měření pomocí video extenzometru

V praxi je zvoleno měření jednotlivých konstrukčních prvků pomocí odporového foliového tenzometru. Touto součástí je měřen odpor v závislosti na deformaci. Pomocí této součástky jsou změřeny geometrické změny-deformace a vypočteny jednotlivá namáhání. Doplňujícími rychlými metodami k měření mechanických vlastností a vlhkosti prvků je zvolen Pilodyn a vlhkoměry.

Pro měření rozhledny jako celku by se použila metoda měření pomocí geodetické mikrosítě. Stav bude zachycen těsně po postavení rozhledny před uvedením do provozu a pak pro kontrolu deformace konstrukce bude porovnán, se stavem konstrukce po 1 roce používání.

Pro měření dynamického namáhání byl vybrán systém video extenzometru Mercury. Využit může být obdobně, jako tomu bylo v praxi na dřevěné rozhledně v Židlochovicích viz Obr. 24, 25 a 26 (VAJĎÁK, 2014).

Pro měření výkyvu uvažované rozhledny může být použit obdobný postup s jednou sondou na vrcholu věže. Aby byl zaznamenán záznam o výkyvu rozhledny v reálném čase, bude využito DSLR kamery. Musí být nastaven souřadný systém a umístěny sondy pro snímání výkyvu konstrukce, v našem případě bude dostačující jediná. Ukázka použití softwaru Mercury je na Obr. 25. Výkyv- odchylka z klidové polohy věže je zobrazena na grafu Obr. 24. Na grafu je zachycen na ose x čas v sekundách, na ose y je Width/ vzdálenost (výkyv) v centimetrech. Aby došlo k výkyvu, jeden zkušební technik se postaví na vhodné místo, a vlastní silou rozhlednu

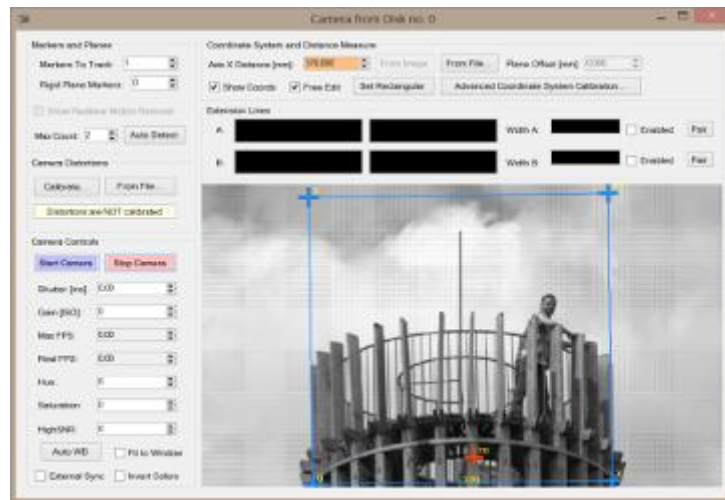
rozkýve. Je vhodné, aby rozhledna byla rozkývána v nejvyšším bodě, v případě naší rozhledny to bude vodorovná podlaha v nejvyšším bodě. Touto zkouškou je simulována dynamická vratná deformace, přičemž byl stanoven předpoklad, že by při zatížení lidmi nemohlo dojít k většímu zatížení než při simulaci zkouškou. (VAJĎÁK, 2014)



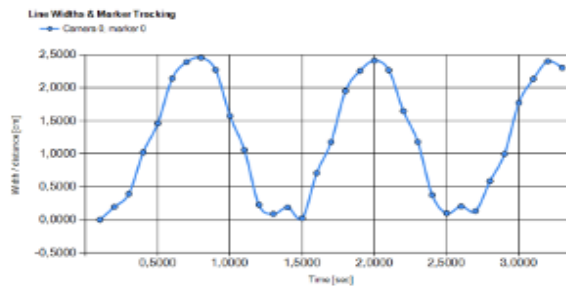
Obrázek 24 Experiment na rozhledně v Židlochovicích (VAJĎÁK, 2014)



Obrázek 25 Naznačení výkyvu rozhledny v Ašském výběžku (AUTOR, 2014)



Obrázek 26 Monitorování rozhledny při experimentu (VAJĎÁK, 2014)



Obrázek 27 Graf výstup z měření (VAJĎÁK, 2014)

9. Závěr

V bakalářské práci byly analyzovány možnosti měření a monitorování deformací konstrukčních prvků dřevěné rozhledny, navrhované v Ašském výběžku. Konstrukce rozhledny je navržena s primárním cílem měření a monitorování deformací konstrukčních prvků a interakcí spojů dřevěných konstrukčních prvků. Rozhledna je proto podrobena výzkumu, kterým mohou být odhaleny spojitosti mezi vlivem zatížení užíváním rozhledny návštěvníky, či klimatickými podmínkami, a vnitřním namáháním dřeva.

V průběhu analýzy bylo namáhání rozděleno do tří rozdílných skupin. První je měření jednotlivých konstrukčních prvků ve stavbě- napětí a deformace jednotlivých částí rozhledny, druhá je měření deformací rozhledny jako celku z dlouhodobějšího hlediska- sedání a deformace, a třetí je měření odolnosti rozhledny proti dynamickému namáhání- výkyv při dynamickém namáhání. Rozdělení jednotlivých deformací do třech základních skupin, bylo ustanoveno na základě průzkumu vlivů, kterým by mohla rozhledna podléhat.

V bakalářské práci je popsáno větší množství možností měření, v rámci příslušné kategorie. Každá uvedená metoda byla na základě jejich výhod a nevýhod, v závislosti úsudku autora bodově ohodnocena. Pro hodnocení byla zavedena škála se vzrůstající tendencí od 1 do 10. Výsledky analýzy byly v závěru práce rozděleny do tabulky. Nejlepší hodnocení bylo navrženo tenzometru, pro měření jednotlivých konstrukčních prvků ve stavbě, a metodě geodetické mikrosítě, pro měření deformací rozhledny jako celku z dlouhodobějšího hlediska. V poslední kapitole, je rozebrána metoda měření odolnosti rozhledny proti dynamickému namáhání, zabývající se problematikou Video extenzometru Mercury RT. Toto řešení bylo zpracováno s ohledem na možnou realizaci měření v praxi, která je nabízena konkrétní firmou.

Otevřená nechráněná konstrukce rozhledny je náchylná k deformacím způsobeným účinky povětrnostních vlivů, zvláště vlhkosti, která má na dřevo velký vliv. Proto by bylo vhodné, aby byla konstrukce ochráněna zastřešením pomocí lehké montované stříšky, kterou by nebyla výrazně ovlivněna statika konstrukce, může jí však být ovlivněna estetická hodnota konstrukce. Dále je třeba připomenout nutnost ochrany konstrukce proti bleskům pomocí bleskosvodu.

V práci jsou jednotlivé metody pouze povrchně popsány, záměr práce bylo, aby byl její čtenář obeznámen s problematikou měření deformací. Pro širší záběr bylo v práci uvedeno větší množství aplikovatelných metod a uvedeny jejich výhody a nevýhody. Posouzení a výběr nejvíce vhodné metody proto může být označeno za objektivnější. Jako případný námět na další řešení, by bylo vhodné, aby byla hlouběji rozepsána metoda tenzometrického měření, hlavně z hlediska výběru nejvhodnějších míst k měření v konstrukci rozhledny.

Teorie a praxe může být v některých případech od sebe odlišná. Výběr metody může být označen za definitivní, až po praktickém odzkoušení funkčnosti vybraných metod měření deformací na konstrukci rozhledny na bázi dřeva.

10. Seznam použitých zdrojů

10.1 Knihy a odborné publikace

DRDÁCKÝ, M., KASAL, B. *In-situ evaluation*. Editor Luigia Binda, Praha: ÚTAM AV ČR, 2007, 253 s. ISBN 978-80-86246-36-9.

DUTKO, P. a kolektiv *Drevené konštrukcie*. 2. vyd. Bratislava: Alfa, 1976. 460 s. MDT 624.011.1 (075.8).

GANDELOVÁ, L. HORÁČEK, P., J. ŠLEZINGEROVÁ. *Nauka o dřevě*. Vyd. 3. nezměn. V Brně: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, 2009, s. 134. ISBN 978-80-7375-3122.

HOFFMANN, Karl. *Eine Einführung in die Technik des Messens mit Dehnungsmessstreifen*. Pfungstadt: HMB, 1987. ISBN 978-3000090158.

JANDÁČEK, V. HURDA B., *Historický lexikon-Tradice z pohledu dneška*. 1. vyd. Praha: Grada, 2005, s. 8. ISBN 80-247-1187-7.

KOPEC, B., *Nedestruktivní zkoušení materiálů a konstrukcí: (nauka o materiálu IV)*. Vyd. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2008, 571 s. ISBN 978-80-7204-591-4.

KUKLÍK, P., KUKLÍKOVÁ a PACÁKOVÁ. *Navrhování dřevěných konstrukcí: příručka k ČSN EN 1995-1*. 1. vyd. Praha: Pro Ministerstvo pro místní rozvoj a Českou komoru autorizovaných inženýrů a techniků činných ve výstavbě vydalo Informační centrum ČKAIT, 2010, 140 s. Odborné a metodické publikace, sv. 21. ISBN 978-80-87093-88-7.

KVASIL, B., *Malá československá encyklopedie ČSAV*, VI. svazek, písmeno Š-Ž, vydala Academia, Praha 1987

LOKAJ, A., *Deformace prvků dřevěných konstrukcí. Sborník 4. Konference „Spolehlivost konstrukcí“*, Ostrava, 23.-24.4. 2003, DT Ostrava, ISBN 80-02-01551-7. (inCzech).

MIKULKA, L., *Dřevo od A do Z*. 3. vyd. Čestlice: Rebo, 2010, 427 s. ISBN 978-80-255-0389-8.

REINPRECHT, L., ŠTEFKO. J. *Dřevěné stropy a krovy: typy, poruchy, průzkumy a rekonstrukce*. Vyd. 1. Praha: ABF, 2000, 242 s. ISBN 80-861-6529-9

SIMPSON W., Wolde A. *Physical properties and monture relations of wood*. In: *Wood handbook*. Wood as an engineering material. Madison, US Department of Agriculture, Forest Service: 3.1–3.24. 1999. General technical report FPL; GTR-113.

ŠTEFKO, J., REINPRECHT L., a KUKLÍK P. *Dřevěné stavby: konstrukce, ochrana a údržba*. 2. čes. vyd. Překlad Zlatuše Braunšteinová. Bratislava: Jaga, 2009, 196 s. ISBN 978-80-8076-080-92009.

VAŠEK, Milan. *Havárie, poruchy a rekonstrukce: dřevěné a ocelové konstrukce*. 1. vyd. Praha: Grada, 2011, 191 s. Stavitel. ISBN 978-80-247-3526-9.

VLČEK, M., MOUDRÝ, I., A KOL. *Poruchy a rekonstrukce staveb*. 1. vyd. Brno: ERA, 2001, vi, 220 s. ISBN 80-865-1710-1

10.2 Normy

ČSN ISO 4866. *Vibrace a rázy-Vibrace pevně zabudovaných konstrukcí - Pokyny pro měření vibrací a hodnocení jejich účinků*. 2. vyd. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2010.

ČSN EN ISO 13102. *Geometrická specifikace produktu-Rozměrové měřicí přístroje: Elektronický digitální úchylkoměr-Konstrukce a metrologické charakteristiky*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2013.

ČSN EN 1995-1-1. *Eurokód 5: Navrhování dřevěných konstrukcí - část 1-1: Obecná pravidla - Společná pravidla a pravidla pro pozemní stavby*. český normalizační institut, 2006.

ČSN EN 408 +A1. *Dřevěné konstrukce - Konstrukční dřevo a lepené lamelové dřevo - Stanovení některých fyzikálních a mechanických vlastností*. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2012.

ČSN EN 384. *Konstrukční dřevo - Stanovení charakteristických hodnot mechanických vlastností a hustoty*. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2010.

ČSN EN 13018. *Nedestruktivní zkoušení - Vizuální kontrola - Všeobecné zásady*. Praha: TNK 80, 2002.

ČSN 73 1702. *Navrhování, výpočet a posuzování dřevěných stavebních konstrukcí - Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby*. Brno: Český normalizační institut, 2007.

10.3 Internetové portály

BLÁHA, Příčiny poruch dřevěných staveb a konstrukcí [Online]. 2012 [cit.2014-01-21].Dostupné z: <http://www.asb-portal.cz/stavebnictvi/drevostavby/diagnosticke-metody-pro-hodnoceni-drevenych-konstrukci-in-situ>

BUREŠ. J., *Závěry z měření deformací vybraných dřevěných konstrukcí geodetickými metodami* [Online]. 2012 [cit.2014-01-15]. Dostupné z: <http://stavba.tzb-info.cz/drevene-a-ocelove-konstrukce/9106-zavery-z-mereni-deformaci-vybranych-drevenych-konstrukci-geodetickymi-metodami>

BUREŠ.M., *Deformace dřevěných podlah* [Online]. 2014 [cit.2014-02-23].Dostupné z: <http://www.podlahar.cz/drevene-podlahy/deformace-drevenych-podlah.html>

ČERVENKA, M., *Laserové skenování* [Online]. 2009 [cit.2014-02-23].Dostupný z: [http://sluzby.geodis.cz/sluzby/laserscanning?highlightWords=Technologie laserového s kenování](http://sluzby.geodis.cz/sluzby/laserscanning?highlightWords=Technologie%20laserov%C3%A9ho%20skenov%C3%A1n%C3%AD)

DRDÁCKÝ, JÍROVSKÝ *Diagnostické metody pro hodnocení dřevěných konstrukcí in situ* 2013 [Online]. [cit. 2014-03-16]. Dostupné z:

<http://www.asb-portal.cz/stavebnictvi/drevostavby/diagnosticke-metody-pro-hodnoceni-drevenych-konstrukci-in-situ>

FISCHER, *Časopis stavebnictví* [Online]. 2012. [cit. 2014-03-10] Dostupné z:

URL <www.casopisstavebnictvi.cz>

FRANKOVÁ, V., *Technická měření a diagnostika staveb* 2009. [Online]. [cit. 2014-03-16]. Dostupné z: http://www.fast.vsb.cz/export/sites/fast/206/cs/resene-projekty/frvs-2009-2529/5_diagnostika_drevenych_konstrukci.pdf

FUČÍK, *Měřicí přístroje* [Online]. 2012. [cit. 2014-02-16]

Dostupné z: <http://www.e-pristroje.cz/kontakt.html>

HEŘMÁNKOVÁ, *Diagnostické metody pro hodnocení konstrukčního dřeva* [online]. 2008 [cit. 2014-03-16]. Dostupné z:

[http://www.szk.fce.vutbr.cz/vyuka/BI03/BI03 Dřevo 2013.pdf](http://www.szk.fce.vutbr.cz/vyuka/BI03/BI03_Drevo_2013.pdf) HILMAR, *Fúze senzorů*

a senzorové sítě - budoucnost geodetické měřicí techniky [online]. 2008 [cit. 2014-02-01]. Dostupný z: <http://www.vugtk.cz> HRUBÝ, P., *Zemní vruty, základy bez betonu*

[online]. 2011 [cit. 2014-04-17]. Dostupný z: <http://www.zemnivruty.cz/> HUMULÁK,

Hoření dřeva a jeho ochrana proti ohni [Online]. 2013. [cit. 2014-03-17]. Dostupné z: http://drevari.humlak.cz/data_web/Data_skola/HUdrevva/12.pdf

CHYBÍK, J., *Dřevěné konstrukce a přírodní materiály*

[Online]. 2010 [cit. 2014-04-07]. Dostupný z:

<http://stavba.tzb-info.cz/drevostavby/6791-drevene-konstrukce-a-prirodni-izolacni-materialy>

JANÍČEK, K., *Tenzometry*. [Online]. 2013 [cit. 2014-02-23]. Dostupné z: <http://www.omegaeng.cz/prodinfo/StrainGages.html>

JAMES, William. *Electric Moisture Meters for Wood*. Dostupné z: Http://www.bigelowsite.com/aracnetlive/wood/articles/Wood_Moisture_Impedance.pdf. 1988, č. 17. DOI: 53705-2398. L.

KACHLÍK, *Ústav geologie a paleontologie*. [Online], 2012. [cit. 2014-02-05] Dostupné z: <http://web.natur.cuni.cz/ugp/>

KLOIBER M., *Nedestruktivní defektoskopické přístroje* [online].c2012[cit.2014-15-01]. Dostupné z: <http://stavba.tzb-info.cz/drevostavby/6295-nedestruktivni-defektoskopicke-pristroje-pouzivane-pri-provadeni-stavebne-technickyh-pruzkumu-historickyh-drevenych-konstrukci>

KŮRKA, P., *3D laserové skenování technologických celků* [Online]. 2012 [cit. 2014-15-01]. Dostupné z: <http://www.g4d.cz/laserove-skenovani/3d-laserove-skenovani-technologicky-celku> NOVÁK, P., *Dřevostavitel 2013* [Online]. [cit. 2014-03-16]. Dostupný z: <http://www.drevostavitel.cz/clanek/mechanicke-vlastnosti-dreva-domacich-drevin>

PLÁNIČKA, F.; ZAJÍČEK, M.; ADÁMEK, V. *Podpůrné materiály pro studium předmětu Pružnost a pevnost I : Shrnutí základních poznatků* [online]. Plzeň: Fakulta aplikovaných věd, 2007 [cit. 2010-02-21]. Tah - tlak, s. Dostupné z: <http://www.kme.zcu.cz/kmet/pp/tah-tlak/shrnuti.pdf>.

SKOUPÝ, *Dřevo Spirit Of Angmar & Bithynie*, [Online]. 2000. [cit. 2014-02-05]

Dostupné z: <http://prace-se-drevem.spibi.cz/Drevo-Druhy-Modrin.htm>

SIKORA, *WHP Technik* [Online]. 2010 [cit. 2014-10-01]. Dostupné z:

<http://www.whp.cz/uchylkomer-digitalni.html>

ŠMAK, STRAKA *Vybrané vady dřevěných nosných konstrukcí*

[Online]. 2013 [cit. 2014-03-16]. Dostupný z:

<http://stavba.tzb-info.cz/drevene-a-ocelove-konstrukce/10365-vybrane-vady-drevenych-nosnych-konstrukci>

VAJDA, D. *Fyzika 2013* [Online]. 2010. [cit. 2014-03-16]. Dostupný z: http://fyzika.uniza.sk/~trpisova/skripta/pruzna_deformacia.pdf

VIDHOLDOVÁ Z. *Příčiny poruch dřevěných staveb a konstrukcí* [Online]. 2013 [cit. 2014-03-16]. Dostupný z: <http://www.asb-portal.cz/stavebnictvi/rekonstrukce-staveb/priciny-poruch-drevenych-staveb-a-konstrukci>

VAJĎÁK, M., *Mercury: Real time tracking system* [Online]. 2014 [cit. 2014-04-19] Dostupné z: http://www.mercuryprogram.eu/index.php?option=com_content&view=featured&Itemid=570

ZEIDLER, A., *Vady dřeva. Lexikon vad dřeva* [Online]. 2011. [cit. 2014-02-21]. Dostupné z: http://fld.czu.cz/~zeidler/lexikon_vad/

ŽÍDEK, L., *Základy technického měření* [Online]. 2009 [cit. 2014-04-19]. Dostupné z:
http://www.fast.vsb.cz/export/sites/fast/206/cs/resene-projekty/frvs-2009-2529/4a_zaklady_techickeho_mereni_mereni_trhlin.pdf

10.4 Sborníky

Wood Handbook: wood as an engineering material. Wisconsin: U. S. Department of Agriculture, 1999. Dostupné z:
http://www.evenfallstudios.com/woodworks_library/wood_as_an_engineering_material.pdf

10.5 Akademické práce

ŠPAČEK, Tomáš. *Metodika stavebního technického průzkumu dřevěných zabudovaných prvků*. Brno, 2006/2007. Disertační práce. Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně.