

Česká zemědělská univerzita v Praze
Fakulta lesnická a dřevařská
Katedra dřevěných výrobků a konstrukcí



**Možnosti měření a monitorování interakcí spoj dřevěných konstrukčních
prvků a ocelových prvků – rozhledny**

Bakalářská práce

Autor práce: Jan Weigert
Vedoucí práce: Ing. Martin Múčka, Ph.D.

2015

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Katedra dřevěných výrobků a konstrukcí

Fakulta lesnická a dřevařská

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Jan Weigert

Dřevařství

Název práce

Možnosti měření a monitorování interakcí spojů dřevěných konstrukčních prvků a ocelových prvků rozhledny

Název anglicky

Measuring and monitoring possibilities of the joints interaction between wood and steel structural elements on the lookout tower

Cíle práce

Hlavním cílem práce je zmapovat a sumarizovat dostupné metody měření interakce spojů dřevěných a ocelových prvků rozhledny na bázi dřeva. Dílčím cílem je spoje analyzovat a stanovit vzájemné působení sil tak, aby bylo možné definovat přesné mezní stavy jednotlivých posuzovaných prvků s možnostmi jejich monitorování a měření. Daším cílem je, aby práce mohla být použita jako podklad k praktickému měření.

Metodika

- 1) Zjištění vlastností materiálů
- 2) Hodnocení druhů konstrukčních spojů a možností jejich monitorování a měření
- 3) Zpracování získaných poznatků dle literatury
- 4) Doporučení pro vhodné měření a monitorování spojů na dané rozhledně.

Doporučený rozsah práce

35 – 45 stran

Klíčová slova

stavební konstrukční prvky, spoje, dřevo, ocel

Doporučené zdroje informací

- ČSN 73 1702. Navrhování, výpočet a posuzování dřevěných stavebních konstrukcí: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby. Český normalizační institut, 2007, 173 s.
- ČSN 73 2810. Dřevěné stavební konstrukce: Navrhování. Český normalizační institut, 1993, 11 s.
- FIŘT, V. Stabilita a kmitání konstrukcí s netuhými spoji. Vyd. 1. Praha: Academia, 1974, 399 s.
- KOLB, J. Dřevostavby: systémy nosných konstrukcí, obvodové pláště. 3., aktualiz. vyd. v České republice. Překlad Bohumil Koželouh. Praha: Grada, 2011, 317 s. ISBN 978-80-247-4071-3.
- KOŽELOUH, B. Dřevěné konstrukce podle Eurokódu 5: Step 1, Navrhování a konstrukční materiály. Vyd. 1. Editor Bohumil Koželouh. Praha: Informační centrum ČKAIT, 2004, 401 s. ISBN 80-867-6913-5.
- ŠEFCŮ, O., ŠTUMPA, B. 100 osvědčených stavebních detailů: tradice z pohledu dneška. 1. vyd. Praha: Grada Publishing, 2010, 210 s. ISBN 978-80-247-3114-8.

Předběžný termín obhajoby

2015/06 (červen)

Vedoucí práce

Ing. Martin Múčka, PhD.

Elektronicky schváleno dne 12. 3. 2015

Ing. Jan Bomba, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 19. 3. 2015

prof. Ing. Marek Turčáni, PhD.

Děkan

V Praze dne 19. 04. 2015

estné prohlá-ení

"Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma Možnosti měření a monitorování interakcí spojivových konstrukčních prvků a ocelových prvků rozhledny vypracoval samostatně pod vedením Ing. Martina Múky, Ph.D. a použil jen prameny, které uvádím v seznamu použitých zdrojů .

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

V Praze dne 19. 4. 2015

.....

Jan Weigert

Pod kování

Rád bych touto cestou pod koval vedoucímu své bakalářské práce Ing. Martinu Múkovi Ph. D. za odborné vedení a své rodině i přítelkyni za trpělivost a podporu při mém dosavadním studiu.

Abstrakt

Tématem bakalářské práce je přehled metod monitorování interakcí dřevěných konstrukčních prvků a ocelových prvků rozhledny.

První část bakalářské práce seznamuje se základními vlastnostmi dřeva, od kterých se odvíjí následné zásady navrhování dřevěných konstrukcí pomocí mezních stavů dle Eurokódu 5. Poté analyzuje jednotlivé druhy a složky namáhání vznikající v konstrukci, které spoje zatíží. Pro obecný přehled jsou druhy spojů vyjmenovány.

Možnostem měření a monitorování spojů je věnována další část práce, kde jsou popsány principy fungování jednotlivých metod a práce zároveň seznamuje s přístroji používanými právě pro tato měření.

Ve shrnutí a doporučení jsou jednotlivé metody vzájemně konfrontovány a je snaha o doporučení nejvhodnější metody pro měření a monitorování spojů rozhledny.

Klíčová slova: stavební konstrukční prvky, spoje, dřeva, ocel

Abstract

The topic of this work is the overview of monitoring of interactions between wooden structural elements and steel fasteners in an observation tower.

The first part the thesis describes basic properties of wood from which the principles of wood structure design are derived according to limit states in Eurocode 5. Then, the types and components of loading in the fastened structures are analyzed. A general overview of fasteners is given. In the next part, the fundamentals of experimental methods for fastener measuring and monitoring are described and appropriate measuring instruments are presented.

In the conclusion, the particular methods are assessed and, based on this assessment, the most suitable method for measuring and monitoring of the tower's fasteners is recommended.

Keywords: construction structural elements, fasteners, wood, steel

Obsah

1. Úvod	9
2. Cíle práce	10
3. Základní informace o namáhání d e va v konstrukcích, vlastnosti d e va	11
3.1. D e vo jako konstruk ní materiál	11
3.2. Technické vlastnosti d e va	12
3.2.1. Fyzikální	12
3.2.2. Mechanické	14
3.3. Zásady navrhování d ev ných konstrukcí	16
3.3.1. T ídy poufití (provozu) dle Eurokódu 5	16
3.3.2. Metoda mezních stav	17
3.4. Druhy namáhání v konstrukci	18
3.4.1. Tah	18
3.4.2. Tlak	19
3.4.3. Ohyb	21
3.4.4. Smyk	23
4. Metody spojování d e va pro stavební ú ely	25
4.1. Tesa ské spoje	25
4.1.1. Jednotlivé typy spoj	26
4.2. Lepené spoje	30
4.3. Mechanické spojovací prost edky	31
4.3.1. Kolíkového typu	31
4.3.2. Hmofdíky	37
4.3.3. Desky s prolisovanými trny	38
5. Možnosti m ení interakce spoj d ev ných a ocelových prvk na vybraném p íklad stavby na bázi d e va - uvedení poufívaných metod	40
5.1. Vybraná stavba na bázi d e va	40
5.2. M ení deformací a posuv	41
5.3. Diagnostika a monitorování	45
5.3.1. Defektoskopie	46

5.3.2.	Vizuální metody	47
5.3.3.	Ultrazvuk	49
5.3.4.	Rentgen	52
5.3.5.	Tenzometry	54
6.	Shrnutí a doporučení	58
7.	Závěr	59
	Použitá literatura	60
	Internetové zdroje	61
	Seznam obrázků	62
	Seznam tabulek	63

1. Úvod

Tato bakalářská práce se zabývá tématem spojů dřevěných a ocelových prvků stavebních konstrukcí. V tomto případě konkrétně rozhledny. Snaží se především zmapovat možné druhy spojů a navrhnout jejich následné sledování při účiných zatížení v konstrukci.

Na počátku práce je nutné se obecně seznámit se dřevem a jeho vlastnostmi, ze kterých vyplývají zásady při navrhování dřevěných konstrukcí. Dále je nutné vidět, jaké druhy namáhání se v konstrukcích vyskytují a jak na stavbu působí.

Důležitou součástí bakalářské práce je vyjmenování metod pro spojování dřeva pro stavební účely, z nichž pro nás bude hlavní část mechanických spojovacích prostředků.

Hlavní náplní práce je především, jak máme tyto spoje monitorovat a měřit. Bakalářská práce se zamůže na měření deformací a posuvů a diagnostiku a monitorování případných změn na konstrukci. Seznamuje s jednotlivými technikami měření i s používanými pomůckami a funkcí jednotlivých metod.

Předmětem práce je sumarizovat teoretické postupy, ale pro podrobnější zkoumání problematiky měření a monitorování interakcí spojů je nutné toto téma ještě zúžit na jednotlivé postupy měření.

2. Cíle práce

Hlavním cílem práce je zmapovat a sumarizovat dostupné metody měření interakce spoj d'evných a ocelových prvků rozhledny na bázi d'eva. D'ílejší cílem je spoje analyzovat a stanovit vzájemné působení sil tak, aby bylo možné definovat přesné mezní stavy jednotlivých posuzovaných prvků s možnostmi jejich monitorování a měření. Dalším cílem je, aby práce mohla být použita jako podklad k praktickému měření.

3. Základní informace o namáhání dřeva v konstrukcích, vlastnosti dřeva

3.1. Dřevo jako konstrukční materiál

Dřevo je velmi důležitý materiál na planetě Zemi. Jako významný přírodní materiál pozitivně ovlivňuje ekologický koloběh. [1]

"Pojem ekologie sestává z řeckých slov "oikos" (= dům, domácnost) a "logos" (= nauka, učení)". Příklad se dá tedy jako "nauka o domácnosti". [1] str. 18

Z historického hlediska byly materiály, používané v 19. století ve stavebnictví, především přírodní, na bázi výrobků z kamene a ze dřeva. Až později se začaly používat uměle vyrobené cihlářské výrobky spojované maltami i mechanicky. [3]

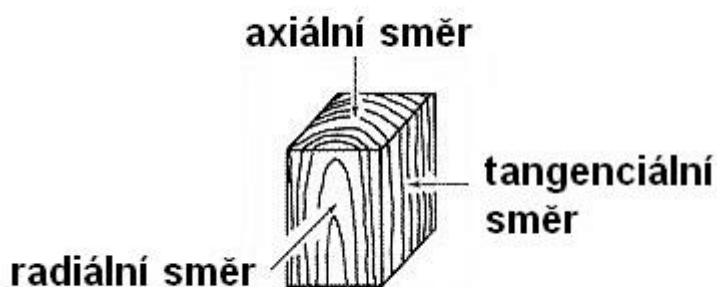
V dnešní době se používají jak materiály zcela nové, získané díky současným poznatkům v chemii a technice, tak tradiční, používané na stavbách již po mnoho generací. [3]

Přesto, i když dřevo patří k nejstarším stavebním materiálům, dřevěné konstrukce v současnosti zažívají celosvětový boom. Tento kladný vývoj je hlavně díky vhodným konstrukčním vlastnostem dřeva. Patří mezi ně snadná opracovatelnost, dobré izolační vlastnosti a lehkost v poměru k pevnosti. Mnohem více se využívají i dobré vlastnosti kompozitních materiálů na bázi dřeva a lepených dřevěných prvků. Dalšími důvody obliby dřeva jako stavebního materiálu jsou současná požadavky na ochranu životního prostředí. Je jedním z mála materiálů, používaným ve stavebnictví, který je schopen se přirozeně obnovovat. [3]

Díky moderním technologickým inovacím je možné navrhovat velké a náročné konstrukce. V současnosti je dřevo řádně využívaný materiál z mnoha důvodů. Především je dřevo přírodním produktem, který se vyskytuje na zemi ve velkém množství. Důležitě jsou i jeho vlastnosti tepelné, regulující vlhkost, je to materiál zdravotně nezávadný, snadno se opětovně zhodnocuje. V neposlední řadě je i velmi důležitě, že zpracování dřeva přináší málo znečištění životního prostředí (v porovnání s ostatními stavebními materiály) a dřevěné stavby jsou prováděny především ekologicky hodnotným způsobem. [1]

3.2. Technické vlastnosti dřeva

Dřevo je materiál anizotropní. To znamená, že v různých směrech má různé vlastnosti. Vlastnosti sledované rovnoběžně s vlákny se výrazně liší od vlastností kolmo k vláknům. Zároveň se liší vlastnosti i kolmo k vláknům ve směru radiálním a tangenciálním. Ve směru rovnoběžně s vlákny má dřevo nejlepší vlastnosti. Například pevnost, tuhost, nejmenší deformace od úniku teploty, sesychání nebo bobtnání. [8]



Obr. 1 Anatomické směry ve dřevě [online] <<http://evawolna.sweb.cz/>> [cit. 14. 4. 2015]

3.2.1. Fyzikální

Objemová hmotnost

Závisí na obsahu vody ve dřevě. Běžně se uvádí hodnoty objemové hmotnosti, podle norem pro zatížení při výpočtech stavebních konstrukcí, pro dřevěných návrzích, studiích, prvních stupních projektových řešení atd. [8]

Vlhkost dřeva

Vlhkost je dána poměrem hmotnosti vody k hmotnosti suché dřevní hmoty. Do bodu nasycení vláken (přibližně 30 % vlhkosti) se ve dřevu nachází voda hygroskopicky vázaná (v buněčných stěnách) a při vlhnutí a vysychání mění dřevo své vlastnosti a rozměry. Dochází k sesychání a bobtnání. Nad bodem nasycení vláken se ve dřevu vyskytuje voda volná (v mezibuněčných prostorech). V

tangenciálním a radiálním směru dochází, z důvodu anizotropie, k výrazným rozdílům bobtnání a sesychání a následně k tvarovým změnám jednotlivých prvků. [9]

Tepelné vlastnosti dřeva

Díky teplotním vlastnostem je velmi vhodné pro stavební a konstrukční použití. Vlivem malé objemové hmotnosti, pórovitosti a nízké tepelné vodivosti vlastní dřevní hmoty je i tepelná vodivost velmi malá (charakterizovaná součinitelem tepelné vodivosti λ). Proto je vhodným tepelným izolačním materiálem, u kterého se nemusí počítat s úhynky teplotní roztažnosti. [8]

Tab. 1 Hodnoty tepelného součinitele a měrné tepelné kapacity vztahené na hustotu dřeva a směru vláken [online] < <http://www.tzb-info.cz/> > [cit. 18. 4. 2015]

Materiál	Součinitel tepelné vodivosti [W.m ⁻¹ .K ⁻¹]	Měrná tepelná kapacita c [J.kg ⁻¹ .K ⁻¹]	Hustota [kg.m ⁻³]
Dřevoměkčí, tepelný tok II s vlákny	0,410	2510	400
Dřevoměkčí, tepelný tok kolmo na vlákna	0,180	2510	400
Dřevotvrdé, tepelný tok II s vlákny	0,490	2510	600
Dřevotvrdé, tepelný tok kolmo na vlákna	0,220	2510	600

Elektrické vlastnosti

Dřev je velmi dobrý izolant, pokud obsahuje minimální množství vody. Měrný elektrický odpor je dvakrát větší napříč vlákny než v podélném směru vláken. Elektrický odpor se velmi snižuje s rostoucí vlhkostí a teplotou. [8]

3.2.2. Mechanické

"Mechanickými vlastnostmi dřeva rozumíme vlastnosti dřeva z hlediska pružnosti a pevnosti. Mechanické vlastnosti dřeva závisí na charakteru zatížení (statické, dynamické, rázové) a na trvání zatížení (stálé, dlouhodobé, střednědobé, krátkodobé, okamžikové)". [8] str. 29

Jsou to vlastnosti, kterými se definuje odpor dřeva v působení vnějších sil. Podle příslušných norem jsou statickými zkouškami na zkušebních tělesech zjišťovány mechanické vlastnosti. [8]

Mechanické vlastnosti dřeva jsou ovlivňovány adou činitel :

- É **Konstrukční rozměr** - mechanické vlastnosti se zhoršují při zvětšování konstrukčních rozměrů prvků.
- É **Objemová hmotnost** - mechanické vlastnosti se zlepšují při zvětšování objemové hmotnosti dřeva.
- É **Vlhkost dřeva** - mechanické vlastnosti, především pevnost dřeva v tlaku, se zhoršují při zvyšování vlhkosti do bodu nasycení vláken (30 %). Nad bod nasycení vláken už nemá vlhkost výrazný vliv.
- É **Vady dřeva** - mechanické vlastnosti, především pevnost dřeva v tahu, se zhoršují, pokud dřevo obsahuje vady (hniloba, suky, výsušené trhliny atd.).
- É **Rychlost zatížení** - mechanické vlastnosti (pevnost) se zvyšuje při zvyšování rychlosti zatížení.
- É **Doba trvání zatížení** - mechanické vlastnosti (pevnost) se snižuje s prodloužením času zatížení. [9]

Charakteristiky jednotlivých mechanických vlastností dřeva

Pevnost

Schopnost odporovat porušení při mechanickém zatížení. Při výpočtech se používá mez pevnosti, která představuje maximální možné zatížení, při kterém nedojde k destrukci dřeva. Mezi pevnosti se stanovuje hned několik. Pro tlak, tah, smyk, ohyb a kroucení. A dále se rozlišuje mez pevnosti podél vláken a napříč vláken (ve směru radiálním a tangenciálním).

Průflost

Schopnost nabývat p vodní tvar po odstran ní p sobení vn j-ích sil. P i krátkodobých zatíženích je průflost charakterizována modulem průflosti, modulem průflosti ve smyku a koeficientem p í né deformace (Poissonovým íslem). Pro dlouhodobé zatížení charakterizují pr b h reologické vlastnosti.

Tvrlost

Schopnost odporovat vniknutí cizího t lesa. Nap íklad odpor kladený p i vnikání spojovacích prost edk . Tvrlost rozeznáváme statickou a dynamickou. Charakterizovaná je jednotkou hmotnosti na jednotku plochy ($\text{kg} \times \text{cm}^{-2}$).

Houflevnatost

Schopnost d eva odporovat poru-ení p i dynamickém zatížení rázem. Houflevnatost je charakterizována rázovou houflevnatostí v ohybu. Mírou rázové houflevnatosti v ohybu je práce spot ebovaná na p eraflení vzorku (p eraflecí práce).

Tab. 2 Porovnání nejd leffit j-ích vlastností d eva a oceli [3]

Materiál		dřevo	ocel	
Vlastnost	hustota	$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$	1500	7850
	objemová hmotnost v suchém stavu	$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$	400-700	7850
	nasákavost hmotnostní	%	140-170	0
	nasákavost objemová	%	55-70	0
	pevnost v tlaku	Mpa	47-55	350-2000
	pevnost v tahu	MPa	80-135	250-2000
	modul pružnosti	Gpa	11-16	210
	součinitel tepelné vodivosti	$\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$	0,9-0,2	55-58
	měrná tepelná kapacita	$\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$	2,1-2,7	0,46
	součinitel délkové teplotní roztažnosti	K^{-1}	$3,0-5,0 \times 10^{-6}$	$11-12 \times 10^{-6}$

3.3. Zásady navrhování dřevěných konstrukcí

"Pro navrhování dřevěných konstrukcí se používají různé výpočtové postupy, které v minulosti byly stanoveny pouze příslušnými národními dokumenty (technickými normami), aby bylo možné na jejich základě zajistit jednotnou spolehlivost, srovnávat hospodárnost staveb a rozhodovat právní spory". [2] s. 38

Navržené a provedené dřevěné konstrukce by měly být takové, aby:

- É s přijatelnou pravděpodobností byla schopna k užití určenému účelu (s přihlédnutím k ekonomické životnosti a provozním nákladům)
- É odolala zatížením a vlivům, v odpovídající úrovni spolehlivosti, které se mohou vyskytnout během realizace i užití
- É měla, ve vztahu k nákladům na udržování, přiměřenou trvanlivost. [2]

Spolehlivá dřevěná konstrukce musí být dostatečně únosná, tuhá a polohově stabilní, a toto se zajišťuje statickým výpočtem. Dříve byly používány různé výpočetní postupy (metoda dovolených namáhání), které byly nahrazeny metodou mezních stavů. [2]

3.3.1. Třídy použití (provozu) dle Eurokódu 5

Je zařazení konstrukce do určitých vymezených podmínek prostředí pro určení hodnot pevností a výpočet deformací. [9]

Třída použití 1

Pro první třídu použití jsou charakteristické hodnoty teploty 20°C a relativní vlhkost okolního vzduchu nepřesahující 65 % pouze po několik týdnů v roce, z nichž je odvozena vlhkost materiálů. Průměrná vlhkost uvnitř dřevěného díla nepřesahuje 12 %. [9]

Třída použití 2

Pro druhou třídu použití jsou charakteristické hodnoty teploty 20°C a relativní vlhkost okolního vzduchu nepřesahující 85 % pouze po několik týdnů v roce,

z nichž je odvozena vlhkost materiálů. Pro maximální vlhkost uvnitř místnosti dle eva nep přesahuje 20 %. [9]

Typická poufítí 3

Pro typická poufítí jsou charakteristické klimatické podmínky odpovídající vyšší vlhkosti dle eva než u druhé typídy. [9]

Ve typická poufítí provozu by měly být zařazeny kryté konstrukce pouze výjimečně. [9]

3.3.2. Metoda mezních stavů

"Mezní stavy jsou stavy, po jejichž překročení již konstrukce nesplňuje návrhové podmínky spolehlivosti". [2] str. 38

Mezní stavy máme dvojího typu:

É mezní stavy poufítelnosti

É mezní stavy únosnosti

Mezní stavy poufítelnosti

Po překročení mezního stavu poufítelnosti se vyskytnou deformace, které mohou na konstrukci nebo objektu bránit správné funkci, pohodlí osob nebo narušit vzhled stavby.

Pro mezní stavy poufítelnosti musí platit, že:

$$F_{\text{p}} \leq F_{\text{p}} \quad (1)$$

kde F_{p} je návrhová hodnota úniku zatížení (osová síla, pohyb atd.) a F_{p} předepsaná mezní hodnota (například mezní hodnota pohybů). [8]

Mezní stavy únosnosti

Po překročení mezního stavu únosnosti se vyskytnou deformace, které mohou narušovat statiku konstrukce nebo objektu a ohrozit osoby na zdraví i život.

Pro mezní stavy únosnosti musí platit, že:

$$F_{\text{p}} \leq F_{\text{p}} \quad (2)$$

kde σ_{d} je návrhová hodnota úniku zatížení (osová síla, průhyb atd.) a σ_{p} návrhová hodnota odolnosti (únosnosti) konstrukčního prvku. [8]

Díly součástí zatížení a materiál jsou dle kritérií pro ověření spolehlivosti konstrukce. Cílem je zajistit co nejnižší pravděpodobnost selhání konstrukce. Tyto díly součástí jsou pro mezní stav použitelnosti například prokluz spoje, průhyb nosníku a kmitání a pro mezní stav únosnosti pevnost v tahu, tlaku, smyku, ohybu atd. [8]

3.4. Druhy namáhání v konstrukci

Konstrukce jsou namáhané několika druhy sil a při jejich navrhování se s nimi musí počítat. Mezi základní namáhání řadíme tah, tlak, ohyb, smyk a dále jejich možné kombinace.

3.4.1. Tah

Zatížení působí ze dvou stran od středu dílce nebo součástí. U dřevěných dílců může její směr být podél vláken nebo kolmo na vlákna (v radiálním nebo tangenciálním směru). [2]

Ve směru vláken

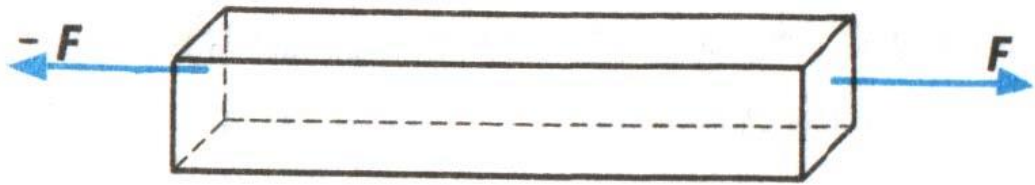
Musí být splněna podmínka:

$$\sigma_{\text{d},\text{p}} \leq \sigma_{\text{p},\text{p}} \quad (3)$$

kde $\sigma_{\text{d},\text{p}}$ je návrhové napětí v tahu a $\sigma_{\text{p},\text{p}}$ návrhová pevnost v tahu. [9]

Průměrná hodnota pro pevnost v tahu ve směru vláken je 130 MPa. Při zatížení nejprve nastává prodloužení dřeva a následně pak roztržení. Místo roztržení je vláknité nebo štěpkovité při dřevěch s vyšší pevností a schodovité nebo hladké u dřev s nižší pevností. [2]

V místech upevnění konstrukčních dílů dochází často k porušení dřeva smykem i otláčením. Z tohoto důvodu se však nedá plně využít pevnosti ve směru vláken v plném rozsahu. [2]



Obr. 2 Sm r sil p i zatížení tahem [online] < <http://deformacepevnehotelesa.kvalitne.cz/> > [cit. 15. 4. 2015]

Kolmo k vlákn m

Musí být spln na podmínka:

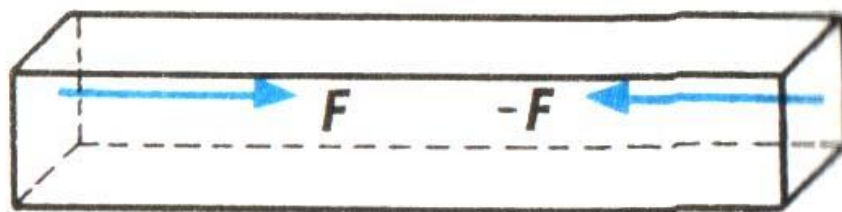
$$\sigma_{\perp} \leq \sigma_{\perp} \quad (4)$$

kde σ_{\perp} je návrhové nap tí v tahu a σ_{\perp} návrhová pevnost v tahu. [9]

Pevnost d eva v tahu kolmo k vlákn m bývá 1/20 pevnosti v tahu ve sm ru vláken a dále mez pevnosti v radiálním sm ru je v t-í nejl mez pevnosti v tangenciálním sm ru. [2]

3.4.2. Tlak

Zat flující síla p sobí ze dvou stran do st edu d ev něho dílce a její sm r m fle být po sm ru vláken nebo kolmo na vlákna (v radiálním nebo tangenciálním sm ru). [2]



Obr. 3 Sm r sil p i zatížení tlakem [online] < <http://deformacepevnehotelesa.kvalitne.cz/> > [cit. 15. 4. 2015]

Ve sm ru vláken

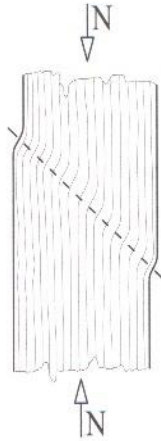
U prvk namáhaných pouze prostým tlakem musí být spln na podmínka:

$$\sigma_{\parallel} \leq \sigma_{\parallel} \quad (5)$$

kde σ_{\parallel} je návrhové nap tí v tlaku a σ_{\parallel} návrhová pevnost v tlaku. [9]

Průměrná hodnota pro pevnost v tlaku ve směru vláken u dřeva s vlhkostí $w = 12\%$ je 50 MPa. [2]

U tlaku ve směru vláken rozeznáváme dále tlak prostý a vzpurný. Při prostém tlaku se po překročení meze pevnosti deformace projeví zkrácením délky tělesa. Sklon roviny smyku od vodorovné roviny bývá $50 - 65^\circ$. [2]



Obr. 4 Porušení prvku namáhaného prostým tlakem [2]

U vzpurného tlaku je prut díky své tloušťce vyosen. V ténou je vzpurná délka rovna délce tlačného prutu, a to je možno, pokud je prut na obou koncích ulofen kloubov. Toto souvisí se skuteností, že v uchycení dochází k malému prokluzu ve spojích s ohledem na otlačení dřeva pod spojovacími prostředky. [2]



Obr. 5 Kloubov ulofený tlačný prut [2]

Kolmo k vlákn m

Musí být spln na podmínka:

$$\sigma_{\perp} \leq \sigma_{\perp} * \sigma_{\perp} \quad (6)$$

kde σ_{\perp} je návrhové nap tí v tlaku, σ_{\perp} návrhová pevnost v tlaku a σ_{\perp} sou initel pro soust edný tlak. [2]

Pevnost d eva kolmo k vlákn m je závislá na poloze a velikosti ploch otl a ení. Toto charakterizuje sou initel σ_{\perp} . [2]



Obr. 6 P íklady otl a ení d eva [2]

3.4.3. Ohyb

Zat íující síla p sobí z jedné strany na d ev ný dílec a její sm r m fle být po sm ru vláken nebo kolmo na vlákna. Pevnost v ohybu je jedna z nejd leffit jích vlastností d eva. Ohyb rozd lujeme na ohyb prostý a ohyb s klopením. [2]

Prostý

"K prostému ohybu dochází tehdy, kdyfl nosník má malý pom r mezi svou vý-kou a í-kou nebo jeho p í ná a torzní stabilita je zaji-t na". [2] s. 48

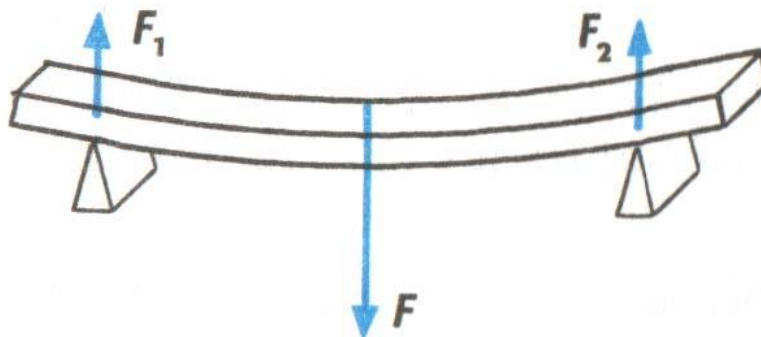
Musí být spln na následující obecná podmínka pro íkmý ohyb (v p ípad rovinného ohybu je jedno z normálových nap tí nulové):

$$\sigma_{\perp} * \frac{\sigma_{\perp}}{\sigma_{\perp}} + \frac{\sigma_{\perp}}{\sigma_{\perp}} \leq 1 \quad (7)$$

$$\frac{\sigma_{\perp}}{\sigma_{\perp}} + \sigma_{\perp} * \frac{\sigma_{\perp}}{\sigma_{\perp}} \leq 1 \quad (8)$$

kde σ_{\perp} a σ_{\perp} jsou návrhová nap tí v ohybu k hlavním osám, σ_{\perp} a σ_{\perp} návrhové pevnosti v ohybu a σ_{\perp} sou initel pro íkmý ohyb. [2]

Hodnota součinitele k_m pro obdélníkové a tvercové průřezy je $\alpha_{\sigma} = 0,7$ a pro ostatní průřezy $\alpha_{\sigma} = 1,0$. [2]



Obr. 7 Směr sil při zatížení ohybem [online] < <http://deformacepevnehotelesa.kvalitne.cz/> > [cit. 15. 4. 2015]

S klopením

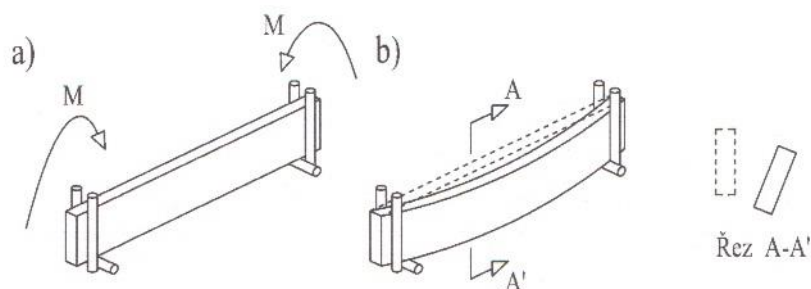
"Při ohybu nosníku je tlakem namáhán jeho horní okraj a může dojít ke klopení nosníku, tj. při něm vybočení a zkroucení jeho průřezu". [2] s. 49

Uvažuje se s vlivem poátečních zakřivení, excentricit a z nich vyplývajících posuvných napětí za ohybu. [2]

Musí být splněna podmínka:

$$\sigma_{\sigma} \leq \alpha_{\sigma} \times \sigma_{\sigma} \quad (9)$$

kde σ_{σ} je návrhové napětí v ohybu, α_{σ} součinitel klopení a σ_{σ} návrhová pevnost v ohybu. [2]



Obr. 8 Klopení nosníku [2]

Průhyb a kmitání

Dále se ohýbané prvky musejí posoudit na průhyb a v případě použití ve stropních konstrukcích také na kmitání. Pro určení okamžitého průhybu α_{σ} od

vlivu zatížení se použijí pro různé hodnoty odpovídajících modulů pružnosti v ohybu. [2]

Stanovení konečného prohybu $u_{\text{pr}}^{\text{pr}}(x)$ od vlivu zatížení:

$$u_{\text{pr}}^{\text{pr}}(x) = u_{\text{pr}}^{\text{pr}}(x) \times (1 + \alpha_{\text{pr}}^{\text{pr}}) \quad (10)$$

kde $\alpha_{\text{pr}}^{\text{pr}}$ je součinitel zohledňující zvláštní deformace v ose dle sledkem kombinace úinků dotvarování a vlhkosti. Hodnoty tohoto součinitele se liší a jsou uvedeny v Eurokódu 5. [2]

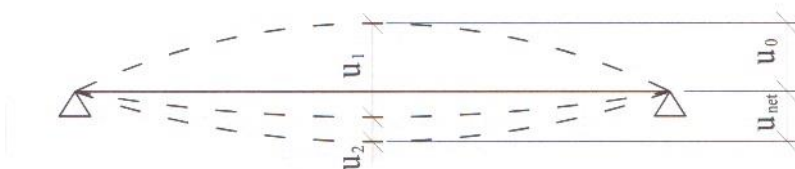
Z důvodu nízké hodnoty modulu pružnosti dřeva ve smyku nemůže být zanedbán vliv posouvajících sil na prohýbání dřevěných nosníků. Pouze u tlustých nosníků nebo nosníků obdélníkového průřezu posouvající síly výrazně ovlivňují prohýbání. Díky zkušenostem získaným při realizaci dřevěných staveb mohou být předepisovány mezní hodnoty prohybu. [2]

Prohýbání má několik složek:

É nadvýšení u_0 (pokud je proveditelné)

É prohýbání od stálého zatížení u_1

É prohýbání od náhodilého zatížení u_2 [2]



Obr. 9 Složky prohybu [2]

Celkový prohýbání na přímce mezi podpěrami u_{net} je dán vztahem

$$u_{\text{pr}}^{\text{pr}}(x) = u_0 + u_1 - u_2 \quad (11)$$

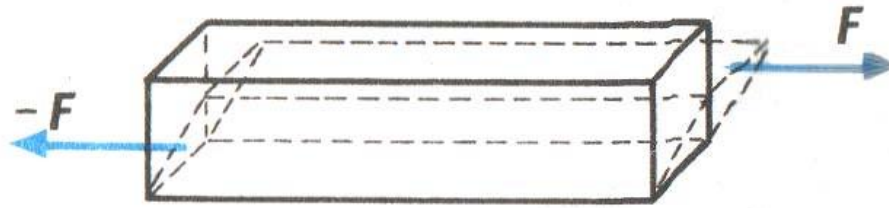
3.4.4. Smyk

U dřevěných konstrukcí může nastat případ smyku prostého nebo smyku za ohybu. Se smykem prostým se setkáme především u tesáckých spojů a u smyku za ohybu především u podpěrných nosníků. [2]

Pro oba případy musí být splněna tototožná podmínka:

$$\tau_{\text{pr}} \leq \tau_{\text{d}} \quad (12)$$

kde $\sigma_{s,0}$ je návrhové napětí ve smyku a $\sigma_{b,0}$ návrhová pevnost ve smyku.



Obr. 10 Smr sil p i zatížení smykem [online] < <http://deformacepevnehoteles.kvalitne.cz/> >
[cit. 15. 4. 2015]

Všechny síly působící v konstrukci se mezi jednotlivými díly přenáší skrze spoje. V následující kapitole budou vyjmenovány a popsány základní druhy spoj pro dřevěné konstrukce. Svorníky, jakožto spoj používaný na rozhlednách, budou popsány více detailně.

4. Metody spojování dřeva pro stavební účely

Dřevěné konstrukce se zhotovují spojováním jednotlivých dřevěných prvků tak, aby vznikla hlavní nosná část různých výrobků. Pevnost a trvanlivost těchto výrobků závisí na pevnosti spojů. Proto musejí být vytvořeny přesně a s ohledem na vhodný způsob spojení. Spojení prvků je podmíněno jejich vzájemnou polohou, rozměry a způsobem namáhání spoje. [a]

Konstrukční prvky dřevěných konstrukcí jsou spojovány několika druhy spojů, mezi ně patří spoje lepené, tesařské a pomocí různých mechanických spojovacích prostředků. [2]

Podle uspořádání dřívě spoje dřevěných konstrukcí na:

- É nastavované (spojování v podélném směru)
- É sdruflované (spojování v příčném směru)
- É spojované do styčníku (spojování pod různými úhly v rovině a v prostoru) [2]

Podle druhu spojovacího prostředku a charakteru působení dřívě spoje na:

- É poddajné (tesařské spoje a spoje s mechanickými spojovacími prostředky)
- É nepoddajné (lepené spoje) [2]

4.1. Tesařské spoje

Jsou jedny z nejstarších spojů dřevěných konstrukcí a patří mezi spoje poddajné. Prvky lze spojovat bez použití kovových spojovacích prostředků, pomocí soustavy tesařských spojů. Při správném provedení jsou tyto spoje i velmi estetické. Jejich nevýhodami je oslabení dřevěného prvku a velká pracnost, a při výrobě je vyžadována vysoká přesnost spojů. Při provádění těchto spojů jsou vyžadovány masivnější konstrukční prvky o větším průměru v porovnání s jinými způsoby spojování. V dnešní době se tesařské spoje užívají omezeně, a to zejména při restaurátorských pracích, na krovech a při zhotovování srubových staveb. [2; 4; a]

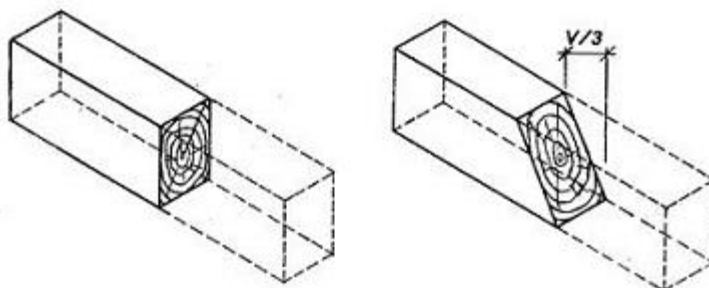
Hlavní dělení tesařských spojů :

- É podélné (prodloužení trámů - sraz, lípnutí, plátování)
- É příčné (křížení trámů - epování, oplátování, kámpování...)
- É zesilující a rozdíující (pro deskové dřívě) [4]

4.1.1. Jednotlivé typy spoj

Sraz

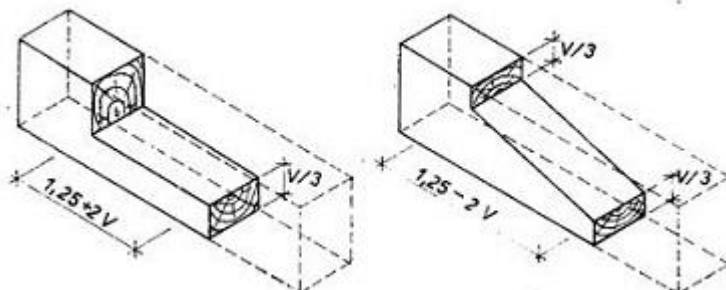
Používá se pro spojení dvou nebo více rovnoběžných děv. elní sraz pro nastavování a bo ní sraz pro sdrufování. [4]



Obr. 11 elní sraz [online] < <http://fast10.vsb.cz/> > [cit. 14. 4. 2015]

Plátování

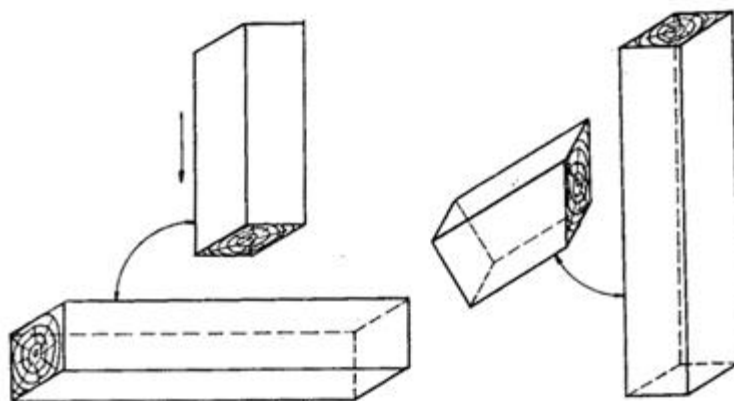
Děva se spojují částí el a podélnými plochami, tzv. pláty. Tento spoj se používá pro prodlufování děv. [4]



Obr. 12 Plátování (kolmé a -íkmé) [online] < <http://fast10.vsb.cz/> > [cit. 14. 4. 2015]

Lípnutí

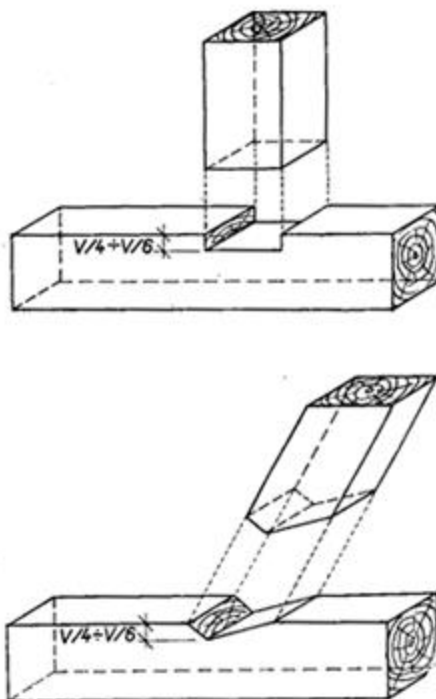
Pro spojení dvou vzájemn kolmých nebo -íkmých děv. P i tomto typu spoje je jedno d ev o p ilofeno k podélné plo-e d eva druhého. [4]



Obr. 13 Lípnutí [online] < <http://fast10.vsb.cz/> > [cit. 14. 4. 2015]

Zapu-t ní

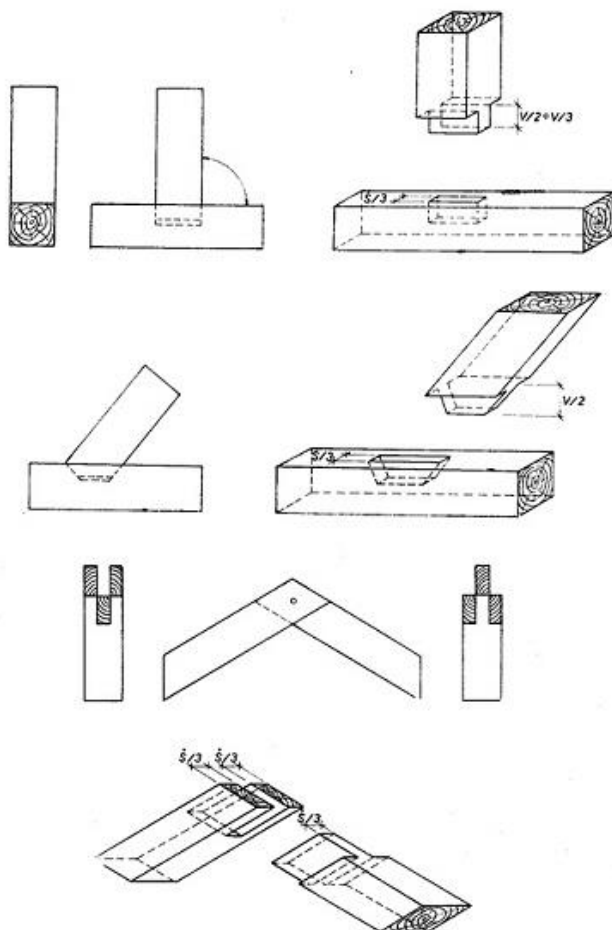
Taktéfl spoj pro kolmá nebo -íkmá d eva, ale v tomto p ípad je -elo jednoho zapu-t no celou dosedací plochou do odpovídajícího vý ezu ve d ev druhém. Podle úhlu svírajícího osy spojovaných d ev máme zapu-t ní kolmé nebo -íkmo elné. [4]



Obr. 14 Zapu-t ní (kolmé a -íkmé) [online] < <http://fast10.vsb.cz/> > [cit. 14. 4. 2015]

epování

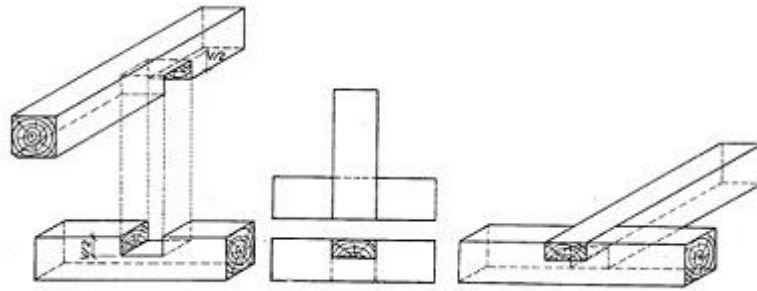
Spoj pro vzájemně úhelná nebo kolmá dřeva. Konec jednoho dřeva je opatřen epem a boční plocha druhého odpovídajícím dlabem. Při rohovém spojení je dlab otevřený a nazývá se rozpor. [4]



Obr. 15 epování [online] < <http://fast10.vsb.cz/> > [cit. 14. 4. 2015]

Epplátování

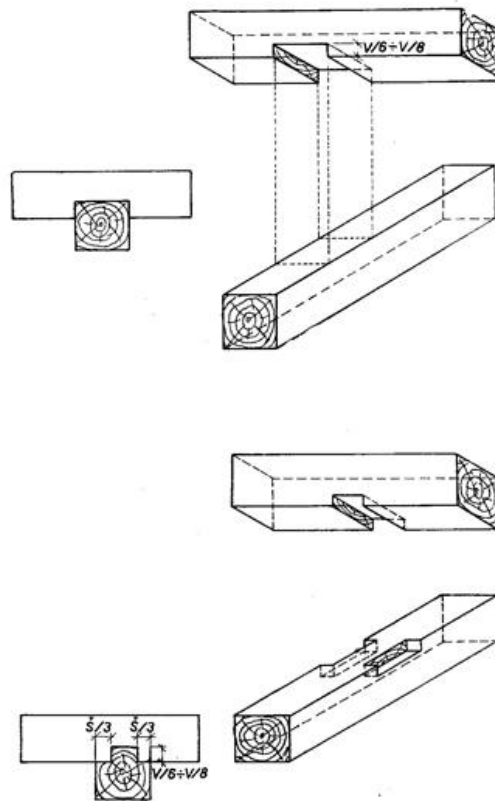
Používá se pro spojení dvou navzájem kolmých nebo úhelných dřev. Obě jsou opatřena vzájemně odpovídajícími zářezy a hloubka epplátování je součet hloubek obou zářezů. [4]



Obr. 16 P eplátování [online] < <http://fast10.vsb.cz/> > [cit. 14. 4. 2015]

Kampování

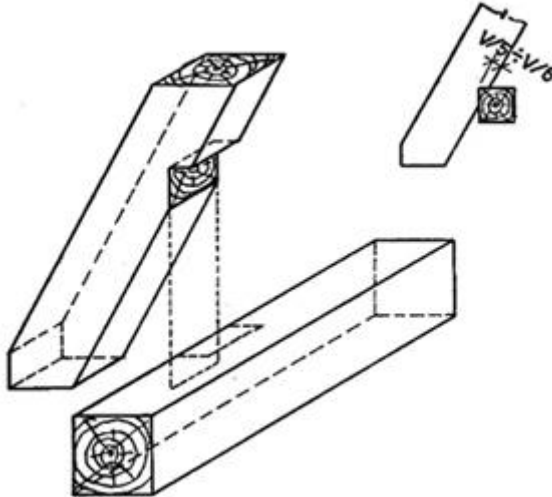
Spoj pro navzájem kolmá i šikmá dřeva. Jedno je na podélné ploše opatřeno zářezem v místě křížení a druhé je buď bez zářezu, nebo jen s nezbytnými zářezy pro sesazení obou dřev. Tímto druhem spoje se zabráňuje posunutí dřev ve směru jejich os a jejich vzájemnému pootočení. [4]



Obr. 17 Kampování [online] < <http://fast10.vsb.cz/> > [cit. 14. 4. 2015]

Osedláním

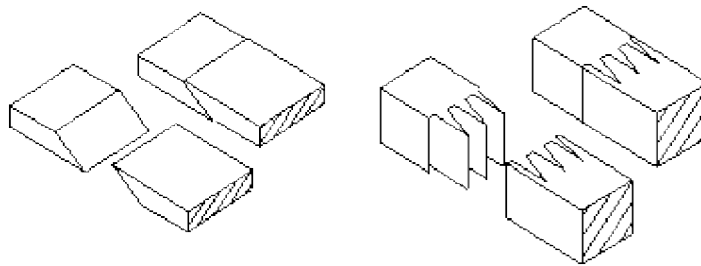
Je spoj pro dřeva lehlící v různých rovinách. Jedno dřeva bývá bez záezu a druhé je opatřeno záezem, tzv. sedlem. [4]



Obr. 18 Osedlání [online] < <http://fast10.vsb.cz/> > [cit. 14. 4. 2015]

4.2. Lepené spoje

Lepené spoje patří mezi spoje nepoddajné, což znamená, že po spojení tvoří dřeva staticky jeden celek. Díky lepení je možné získat celistvé konstrukční prvky. Tyto spoje se používají především u lepeného lamelového dřeva pro vytváření tzv. nekonečné lamely, což jsou hranoly staticky výhodného průřezu a libovolné délky. Napětí u lepených spojů by se mělo přenášet především smykem v rovině lepeného spoje. Napětí normálové, tj. napětí kolmo na rovinu lepeného spoje, má být minimální. Toho se docílí použitím frézovaného zubovitého spoje místo nevhovujícího tupého srazu. Další výhodou lepení dřeva je možnost eliminování vad, kde se následně ve výpotu konstrukce může uvažovat vyšší pevnost a díky tomu i menší průřez jednotlivých konstrukčních prvků. [2; 4]



Obr. 19 Lepený spoj [online] < <http://fast10.vsb.cz/> > [cit. 14. 4. 2015]

4.3. Mechanické spojovací prostředky

Ke spojení dřev pomocí mechanických spojovacích prvků se používají především ocelové spojovací prvky, které jsou při přenosu sil ohýbány, zatlačovány do dřeva (kolíkového typu) a díky nim dochází k přenosu sil na povrchu konstrukčních prvků (povrchového typu). [2; 4]

Spojovací prvky se podle přenosu sil mohou dělit na

- spojovací prostředky kolíkového typu (hřebíky, sponky, svorníky, kolíky a vruty)
- spojovací prostředky povrchového typu (hmotidíky a desky s prolisovanými trny) [2]

4.3.1. Kolíkového typu

Únosnost spoj kolíkového typu namáhaných kolmo na osu je dána ohybovou tuhostí spojovacího prostředku a pevností dřeva v otláčení pod tlakem spojovacího prostředku. [2]

Únosnost spoj kolíkového typu namáhaných v ose je dána podle druhu a typu spojovacího prostředku. Obzvláště na hustotu dřeva a provedení dřívku (průměr, délka a povrch dřívku - cementový povlak, drážkování, závit apod.) u hřebíků, sponek a vrutů a pevností v tahu a provedením podložky u svorníků. [2]

Hřebíky

Jsou jedny z nejlevnějších, nejjednodušších a nejstarších spojovacích prostředků. Stavební hřebíky bývají obvykle s hladkým dřívkem kruhového průřezu se zápusťou mřížovanou hlavou o průměru přibližně dvakrát větší než dřívku. Na které typy hřebíků jsou opatřeny menší hlavou, která může být zarážena do povrchu dřeva

úpln . V n kterých zemích se poufívají h ebíky o tvercovém pr ezu. Spoj h ebíkem je náchylný na vytafení, proto se jeho únosnost zvy-uje úpravou povrchu. Nap íklad dráfkováním, závitem nebo zkroucením h ebíku tvercového pr ezu. Dále se povrch h ebíku m fle chránit proti korozi galvanizací. Zaráfení h ebík se m fle provád t ru n nebo pneumatickým nast elovákem. Pro pneumatické nast elování se poufívají speciální h ebíky spojené do zásobníku. [2; 4]

H ebíky p i zatloukání roztla ují vlákna d eva a tém je neporu-ují. Oslabení d eva je minimální. P ed zaráfením h ebíku se m fle -pi ka naklepnout. To zabrání -típání d eva tím, fle h ebík vlákna neroztla uje, ale p e ezává. Sníí se tím ov-em jeho únosnost. Tě pení d eva se m fle také zamezit jeho p edvrtáním. Doporu uje se vrtákem o pr m ru p iblifn 0,8 pr m ru d íku h ebíku. Pokud má d eva charakteristickou hustotu v t-í nefl 500 kg/m^3 , musí se vřdy p edvrtat, a i v p ípad , pokud je h ebík o pr m ru v t-ím nefl 6 mm. Po p edvrtání mohou mít h ebíky men-í vzdálenosti mezi sebou i od okraje spojovaných d ev. P edvrtání také zvy-uje únosnost h ebíku afl o 50 % oproti h ebík m nep edvrtaným. [2; 4]

Zatífení h ebík v h ebíkových spojích je v t-inou p í n . A ve spoji mají být h ebíky alespo dva. Spoj h ebíky m fle být jednot ifný nebo více-st ifný. U dvojst ifných h ebík spojujících t i prvky je dvojnásobná únosnost nefl u h ebík jednot ifných za p edpokladu, fle hloubka zaráfení h ebíku do t etího prvku je 8 afl 10 d. [2; 4]



Obr. 20 H ebík kroucený [online] < <http://www.ceskyhacek.cz/> > [cit. 14. 4. 2015]

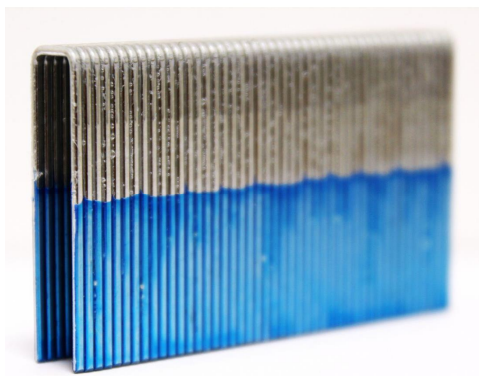


Obr. 21 H ebík s plochou hlavou [online] < <http://www.tara.cz/> > [cit. 14. 4. 2015]

Sponky

Rychle proveditelný spoj zejména pro připojování plošných materiálů k roztlému dřevu. K zarážení sponek se používají elektrické nebo pneumatické sponkovačky. Průměr sponky může být kruhový do průměru $d = 2,2$ mm, ale většinou je obdélníkový. Sponky se dodávají spojené do bloků, které se vkládají do zásobníku sponkovačky. Materiály bývají různé, například ocel, nerez, hliník, bronz atd. [2; 4]

Sponkový spoj by měl obsahovat nejméně dvě sponky. Tříska hlavy sponky by měla být nejméně 6 d, a hloubka vniku hrotu t_2 minimálně 14 d. Průměr u sponek s obdélníkovým profilem se bere druhá odmocnina součinu obou rozměrů. [2; 4]



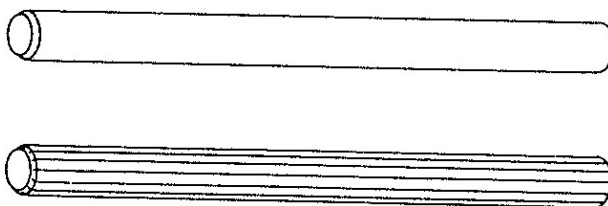
Obr. 22 Nastelovací sponky spojené do bloku [online] < <http://www.optipanshop.cz/> > [cit. 14. 4. 2015]

Kolíky

Spojení v kolíkovém spoji je zajištěno tloušťkou ocelovou válcovou tyčí s hladkým povrchem. Průměry kolíků jsou od 6 mm až do 30 mm. Tolerance průměru kolíku je $-0,0/+0,1$ mm a předvrtané otvory pro kolíky nemají mít v místě průměru nejlépe poufítký kolík. Kolíky můžeme zajistit jak spojení "dřevo - dřevo", tak spojení "ocel - dřevo". Kolíkový spoj má být zajištěn minimálně čtyřmi kolíky. Je-li pro spojení použito i ocelový plech, jsou v něm otvory pro kolíky v místě maximálně o 1 mm, než je průměr kolíku. Vypadnutí kolíků ze spoje nehrozí díky jejich příčnému zatížení. [2; 4]

Vloženým plechem lze dřevo napojit na ocel nebo beton. Kolíky jsou ve spoji částečně deformované příčnou silou. Na které kolíky ve velkých kolíkových spoji jsou nahrazeny svorníky pro zajištění spoje. Výhodou kolíkových spojů je přenos

velkých sil. Oproti spoji svorníky jsou však méně poddajné. I přes jednoduchost zhotovení se v České republice kolíkové spoje téměř nepoužívají. [2; 4]



Obr. 23 Kolíky (hladký a vroubkovaný) [online] < <http://stavba.tzb-info.cz/> > [cit. 14. 4. 2015]

Svorníky

Spojovací prostředky kolíkového typu vyráběné z oceli. Na jedné straně je svorník opatřen ostříhannou hlavou a na druhé metrickým závitem pro matici. Běžné průměry svorníků jsou 10, 12, 14, 16, 20 a 24 mm. Vkládají se do předvrtaných otvorů ve spojovaných dřevěch, v těch maximálně o 1 mm, než je průměr svorníku. Pokud je svorník zarafěn do otvoru odpovídajícímu průměru svorníku (tzn. svorníkový spoj), mohou se použít při navrhování pravidla navrhování pro kolíkové spoje. Spoje svorníky mohou být jednotlivé, dvojstřední a více střední. Pod hlavu i matici se vkládají podložky odpovídajících rozměrů. Kruhové pro menší pevnější síly a čtvercové pro větší, kde délka strany nebo průměr je alespoň 3 d, aby se zamezilo nadměrnému zamačávání dřeva. Tloušťka plechu pro podložky je 2 až 8 mm, nejméně však 0,3 d, aby se předešlo prohnutí podložek. [2; 4]

Použití svorníků je na spojování prvků v dřevě. Po utažení musí být spojované prvky v těsném kontaktu. Často je svorníkem zajištěn spoj "ocelový plech - dřevo" nebo je použit v kombinaci s jiným spojovacím prvkem. Spojení svorníkem by se mělo po dvou letech dotáhnout z důvodu ustálení vlhkosti dřeva. [4]

Pro spojování těsných konstrukcí, zejména krovů, se u nás používají výhradně závitové tyče místo svorníků. Výhodou závitových tyčí je, že mají závit po celé délce a dodávají se v délce 1 m. Na potřebnou délku je možno si je nakrátit rozbrušovací pilou a na stavbu není potřeba objednávat svorníky různých délek. [4]

Podle průměru vláken dřeva a průměru svorníků se stanoví minimální rozteče a vzdálenosti svorníků. Aby byla zajištěna potřebná velikost spoje, musí být použity

přímý průměr svorníků a jejich rozmístění. Je vhodné mít spoj navržený s minimálním počtem svorníků. [4]

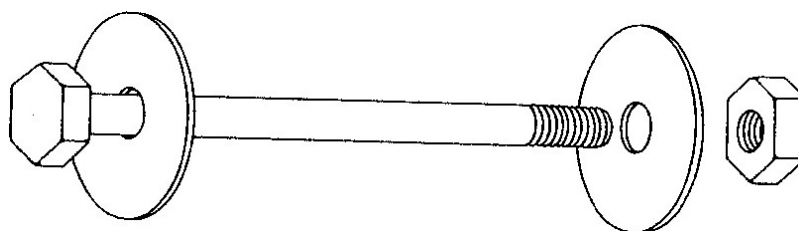
Výpočet na tahové napětí "v jádře" průměru svorníku se posuzují osově namáhané svorníkové spoje. Posuzuje se rovněž tloušťka podložky na ohyb. [4]

Únosnost spoj kolíky a svorníky je ovlivněna několika parametry:

- Pevnost v otláčení dřeva nebo materiálu na bázi dřeva, použitých ve spoji
- Geometrie spoje
- Plastický moment únosnosti spojovacího prostředku [2]

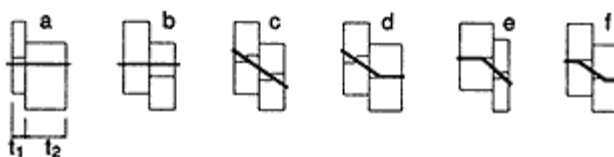
Pevnost v otláčení závisí na:

- Hustota dřeva nebo materiálu na bázi dřeva
- Průměr spojovacích prostředků
- Úhlu mezi silou a směrem vláken [2]



Obr. 24 Svorník [online] < <http://stavba.tzb-info.cz/> > [cit. 14. 4. 2015]

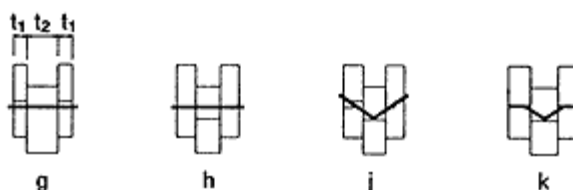
Způsoby porušení spoj kolíkového typu



Obr. 25 Způsoby porušení jednotlivých spoj [online] < <http://stavebnikomunita.cz/> > [cit. 14. 4. 2015]

Na obrázku 16 jsou znázorněny způsoby porušení jednotlivých spoj kolíkového typu. Obrázky 16 a a 16 b jsou otláčení otvoru jednoho ze dvou spojovaných dřevěných prvků, bez deformace spojovacího prostředku. Obrázek 16 c zobrazuje otláčení hran obou spojovaných prvků, bez deformace spojovacího prostředku. Obrázky 16 d a 16 e jsou otláčení hran obou otvorů s deformací

spojovacího prost edku v jednom z otvor a obrázek 16 f uvafluje otl a ení p ilehlých hran otvor a deformaci spojovacího prost edku v obou otvorech. [4]



Obr. 26 Zp soby poru-ení dvojt iflných spoj [online] < <http://stavebnikomunita.cz/> > [cit. 14. 4. 2015]

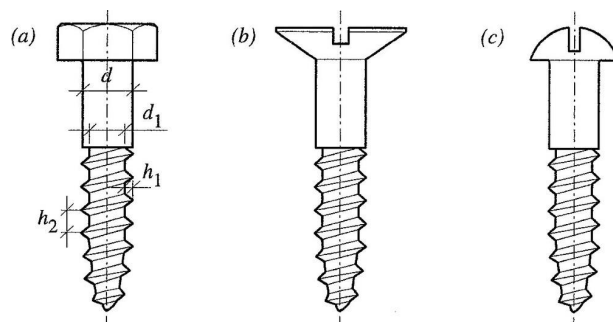
Obrázky 17 a afl 17 k zobrazují r zné kombinace otl a ení otvoru, otl a ení hrany a deformaci spojovacího prost edku u dvojt iflných spoj .

Vruty

Poufítí vrut je p eváfn na jednot iflné spoje, zpravidla na p ipojení ocelových p ílofek, t men a kotev ke d evu. Vruty mohou být poufíté také na p enos sil v ose -roubu. Namáhání na vytafení a p ipojení desek z materiál na bázi d eva ke d evu. S výhodou se vruty poufijí, pokud ot esy, chv ní konstrukce i pracování d eva nedovolí poufítí h ebík . P i namáhání na st ih mají vruty do d eva zpravidla niší únosnost neff kolíky nebo h ebíky stejných pr m r . D vodem je men-í pr m r jádra v závitové ásti, a tím pádem niší únosnosti v ohybu neff u plného d íku. [2; 4]

Vruty se zápuštnou hlavou se poufívají nap íklad pro p ipojování p eklifek, d evot ískových desek a desek OSB. Dal-í typy hlav vrut jsou -estihránná, talí ová atd. Vruty se -estihránnou hlavou se poufívají p edev-ím pro tesa ské konstrukce a nej ast j-í pr m ry d íku jsou od 4 mm p es 6, 8, 10, 12 16 afl po 20 mm a délky se pohybují od 20 do 260 mm. Délka závitů z celkové délky vrutu je p íblifn 60 %. [2; 4]

Úhel mezi sm rem zatífení a sm rem vláken d eva p i malých pr m rech spojovacích prost edk (nap . u h ebík) ovliv uje únosnost jen minimáln . U v t-ích pr m r spojovacích prvk (nap . u svorník nebo kolík) je v-ak vliv na pevnost v otl a ení st ny otvoru spojovaných prvk zásadní. V zásad se tedy dají vrutové spoje s pr m rem $d < 8$ mm navrhovat jako h ebíkové, a naopak p i $d > 8$ mm je nutno uváfit s rostoucím úhlem mezi sm rem síly a sm rem vláken d eva pokles pevnosti v otl a ení st ny otvoru. [2; 4]



Obr. 27 Klasické vruty do dřeva (se štíhnanou, zápuštnou a polkulatou hlavou) [online] <
<http://stavba.tzb-info.cz/> > [cit. 14. 4. 2015]

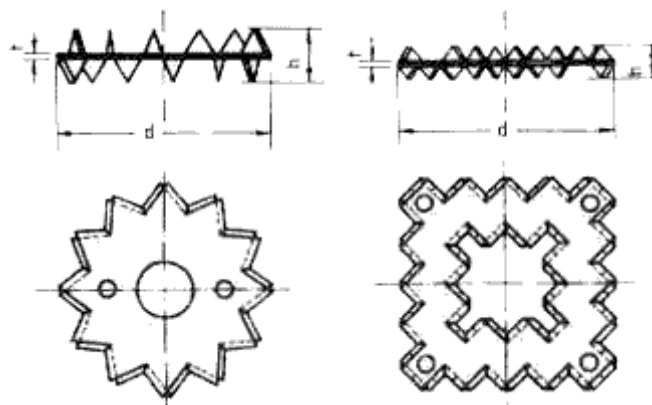
4.3.2. Hmoždíky

Spojovací prvky z ocelového plechu, které se vkládají nebo vtlačují do spár mezi dřevěné prvky. Jejich použití je vždy společně se svorníky, které spojované prvky vzájemně spínají a zabraují jejich vzájemnému posunutí. Jejich namáhání je tedy především smykem. [2; 4]

Kovové hmoždíky vkládané se vkládají do předem připravených odpovídajících drážek. Tento hmoždík existuje několik druhů. Rozměry se pohybují mezi 60 a 260 mm. [4]

Hmoždíky zalisované se do dřevěných částí zatlačují. Jsou kruhové a tvercové a vyrábějí se v rozličných velikostech. Zatlačení do dřeva se provádí lisem nebo vysokopevnostními svorníky a po zalisování se vymění svorník za jiný, který je trvalou součástí spoje. Při zatlačování těchto hmoždíků svorníky se používají podložky velkých rozměrů, aby se zamezilo nadměrnému otláčení. U nás jsou používány hmoždíky typu Bulldog. Malé hmoždíky se vyrábějí kruhové a velké tvercové. Lisují se z plechu a po obvodu mají zuby. Pro spojení "dřevo - dřevo" se používají hmoždíky oboustranné se zuby vyhnutými na obě strany. Pro spojení "dřevo - ocel" se používají hmoždíky jednostranné, které zvyšují únosnost svorníků. Jejich usazení do spoje je možné již při výrobě dílců konstrukce. Tvercové hmoždíky jsou opatřeny ozubením i na vnitřním obvodu. Malé otvory slouží pro montážní uchycení hmoždíku hřebíky a velký otvor je pro stahovací svorník. Velikost hmoždíku se volí podle rozměrů spojovaných dřev. Pokud by se zvolil špatný, hrozí nedostatečná pevnost spoje nebo dojde ke třepání dřeva při zatlačování hmoždíku. [2; 4]

Opakovaným dotažením svorník , pibližně po jednom roce provozu konstrukce, se zabezpečí trvalá únosnost hmoždíkových spoj . Ocelový hmoždík zabráví posunutí i pootočení spojovaných dřev, může tedy v tesařských vazbách nahradit spoj kámpováním. [4]



Obr. 28 Hmoždíky oboustranné (kruhový a čtvercový) [online] < <http://stavebnikomunita.cz/> > [cit. 15. 4. 2015]

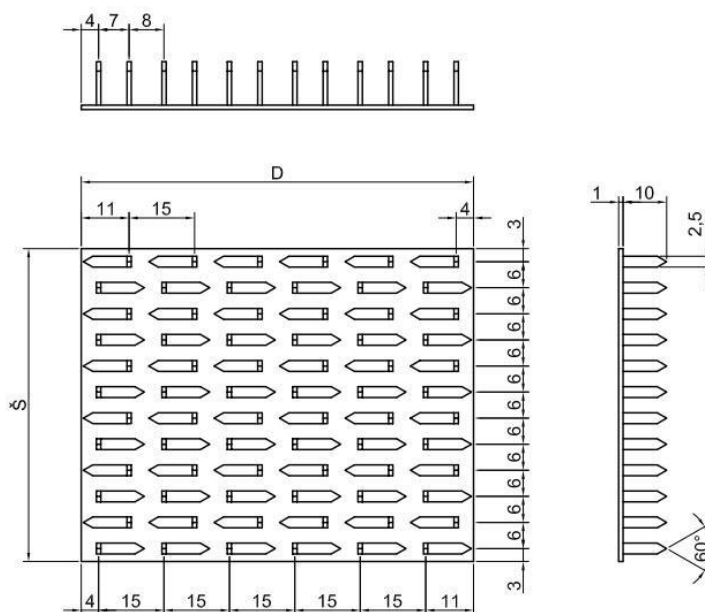
4.3.3. Desky s prolisovanými trny

Jinak nazývané jako sty níkové desky s prolisovanými trny nebo desky GANG - NAIL (skupina hřebík) jsou desky vyráběné z plechu ocelového pozinkovaného v tloučkách 0,9 až 2,5 mm. Tvar a uspořádání hrotů je více typů ve více šířkách i délkách, ale nejastěji mají trny průřezem písmene V a délku asi desetinásobek tloučky plechu. Trny jsou vytvořené lisem při výrobě desky. Orientace trnů na desce se v řadách střídají. Desky se mohou vyrábět i z nerezového plechu. [4]

Hlavní využití našly při zhotovování sty níkových spojů při hrádových konstrukcích, kde se jimi spojují dvě, tři nebo čtyři dřeva stejné tloučky. Zatlačení desek do spoje se provádí lisem, a to vždy z obou stran spoje. Z toho důvodu musí mít spojované součásti shodnou tloučku. Díky sty níkovým deskám se velikost spoje zmenšila a zrychlila se i výroba spoje. Výroba se skládá z přepravy nosných dřevných částí pomocí úhlové pily a vlastního zalisování desek pomocí lisu. [2; 4]

Sty níkové desky musí po zalisování dosedat na povrch dřeva, jinak není zaručena plná únosnost spoje. Lokální mezera 1 mm mezi deskou a dřevem, způsobená dovoleným rozdílem tlouček, není na závadu. [4]

Tento druh spoje je mén vzhledný, av-ak tuhost spoje je po lepení jedna z nejvyšších při spojování dřevěných konstrukcí. [4]



Obr. 29 Deska s prolisovanými trny (Gang-Nail) [online] < ww.wintech.cz > [cit. 15. 4. 2015]

5. Možnosti měnění interakce spoj dřevěných a ocelových prvků na vybraném příkladě stavby na bázi dřeva - uvedení používaných metod

5.1. Vybraná stavba na bázi dřeva

Pro bakalářskou práci byla vybrána rozhledna navržená jako studie Ing. Tomášem Svobodou jako jeho diplomová práce pod vedením Ing. Svitáka. Hlavním úkolem stavby je dlouhodobé sledování a měnění chování dřevní hmoty a ocelových prvků za nepříznivých klimatických podmínek. Stavba má být realizována na A-ském výšluku s nadmořskou výškou 560 m.n.m. [b]

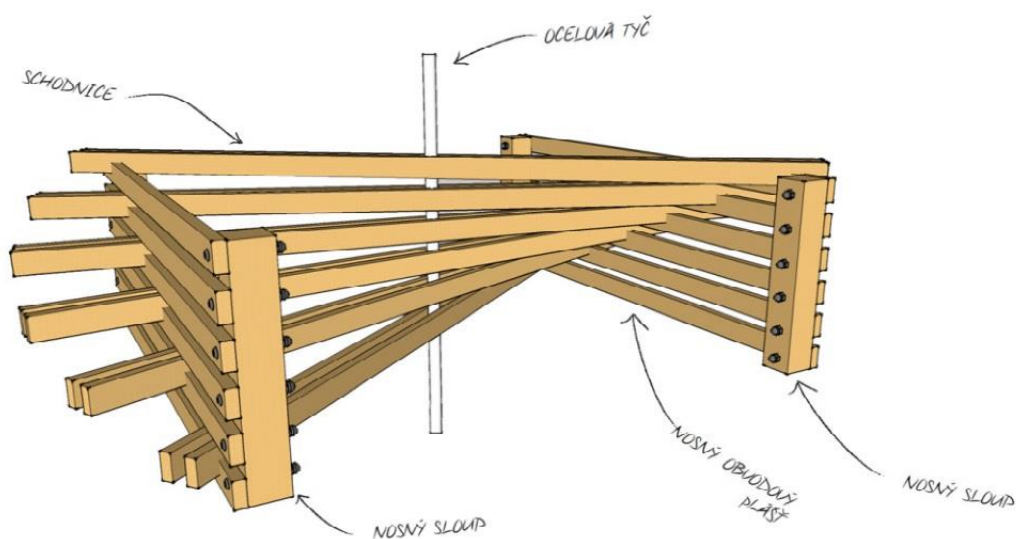


Obr. 30 Pohled na rozhlednu [online] < <http://www.drevenastavbaroku.eu/> > [cit. 15. 4. 2015]

Popis rozhledny:

Jde o dřevěnou konstrukci z modřínového dřeva (C24) se spoji ocelovými svorníky. Dřevěné konstrukční prvky budou mít povrchovou úpravu olejem na modřínové dřevě. Základna rozhledny má rozměry 3,5 x 3,5 m a její celková výška je 12,4 m. Jedná se o modulovou stavbu, která je variabilní díky možnosti použití různých modulů a tímto měnit její celkovou výšku. Každý samotný modul se

skládá ze ty sloup . Na nich jsou upevněny tvořící nosné prvky pro schodnice, zároveň plní funkci obvodového pláště . Osou celé stavby je vedena ocelová tyč , na které jsou uchyceny vředy dvě schodnice, a zároveň zabezpečuje tuhost konstrukce. Zkrácení doby výstavby umožní použití zemních vrut Krinner, které celou konstrukci i dostatečně ukoťví. Stavba je nezastřešená a je stále vystavená povětrnostním podmínkám, proto spadá do této kategorie použití. Vzhledem k minimální potřebě strojů, variabilitě použití jednotlivých výkrových modulů a snadné proveditelnosti se jedná o nízkorozpočtovou stavbu. [b]



Obr. 31 Skladba části modulu rozhledny [online] < <http://www.drevenastavbaroku.eu/> > [cit. 15. 4. 2015]

5.2. Mění deformací a posuv

"Na každý zabudovaný prvek a na každou stavební konstrukci působí okolní prostředí svými úinky. Tím dochází v materiálech a v konstrukci k různým fyzikálním nebo mechanickým změnám, které se pak rozmanitě projevují." [7] str. 53

K deformaci a posuvu dřeva dochází v důsledku působení různých druhů napětí. Deformace jsou dvojího typu:

É pružné (po zrušení napětí vymizí)

É nepružné (po zrušení napětí zůstávají jako trvalé posuvy) [7]

Velikosti a průběh napětí ve sledovaném prvku můžeme odvodit z velikosti deformací, protože se vždy vyskytují společně. U správně navržených staveb se vždy poítá jen s výskytem pružných deformací, vznikajících při úniku dovolených napětí. Avšak často nastávají skutečnosti, kdy namáhání překročí dovolenou mez a dochází k poruchám, které jsou provázeny značnou deformací prvku. Z tohoto důvodu je třeba zjistit příčiny, které napětí mohou být:

- É –patné předpoklady průběhu sil a napětí v konstrukci
- É –patné provedení konstrukce podle výkresu
- É –patná technologie
- É –působení nepředpokládaného zatížení atd. [7]

Měření skutečných deformací na prvku v konstrukci nám poskytne poufitebné závěry, jen pokud předem známe fyzikálně-mechanické konstanty použitých materiálů (moduly pružnosti, Poissonovo číslo a další). Tyto se zjišťují v laboratorních podmínkách zkušebních těles a působících sil. Znalost skutečných namáhání v konstrukci napomáhá k jejímu lepšímu návrhu. [7]

Vlastní měření

V odborné literatuře bývá často uváděno, že se napětí nebo síly měří. Napětí se však vždy odvozuje (vypočítává) z deformace, která se na zkoumané konstrukci naměří. Velikost a smysl síly se určuje z posuvu dvou bodů, mezi kterými dochází k deformaci. Pouze přetvoření a posunutí jsou přímo měřitelné veličiny. Sílu a napětí určíme na základě výpočtu. [7]

K měření různých druhů posunů a různých druhů přetvoření konstrukce (nebo její části) se používají rozdílné přístroje pro měření:

- É –průhybná a svislých posunutí (průhybnoměry, indikátory, nivelační stroje, přesné vodováhy)
- É –vodorovných posunů (olovnice, kyvadla, nivelační stroje, teodolit)
- É –úhlového pootočení (klínoměry)
- É –poměrů změn délkových (tenzometry)
- É –poměrů změn křivosti (křivoměry)
- É –síly a tlaku (dynamometry - siloměry, tlakové krabice) [7]

Nivela ní p ístroj

"Nivela ní p ístroj je p ístroj k realizaci vodorovné zám ry. Podstatou je dalekohled oto ný kolem své svislé osy. Pro p esné geometrické nivelace je vybaven optickým mikrometrem s planparalelní deskou pro tení latí se stupnicí na invarovém pásku. V sou asnosti jsou konstruovány elektronické kompenzátorové p ístroje s latí vybavenou árovým kódem." [g]



Obr. 32 Digitální nivela ní p ístroj [online] < <http://www.geoteam.cz/> > [cit. 15. 4. 2015]

Teodolit

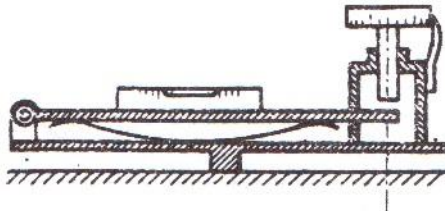
"V sou asnosti se používají p eváfn digitální elektronické teodolity ve spojení s elektronickými dálkom ry (tzv. elektronické tachymetry nebo totální stanice). Úhlové hodnoty se spolu s dal-ími informacemi zobrazují v digitální form na alfanumerických displejích. Délky lze m ít na odrazné hranoly, odrazné ter e nebo i bezhranolov . Nam ená data mohou být ukládána na pam ová média, v etn vkládání popisných nebo íselných informací." [h]



Obr. 33 Digitální teodolit [online] < <http://www.geoserver.cz/> > [cit. 15. 4. 2015]

Klínometr

"Základní součástí klínometru je bu velmi citlivá libela nebo kyvadlo. Měřicím indikátorem zařízením je mikrometrický šroub, kterým lze libelu naklánět ve svislé rovině. Klínometr je n kolik typů." [7] str. 19



Obr. 34 Schéma klínometru [7]

Přístroje měřící absolutní posuvy je třeba vždy pevně připevnit nebo postavit na pevný, nehybný, s měřenou konstrukcí nesouvisející povrch. Přístroje pro měření relativních deformací jsou přímě připevněny na měřenou část konstrukce. Připevněný přístroj musí sledovat pětování konstrukce bez zkreslení. Toho je docíleno celou řadou úprav. [7]

Základní konstrukční prvky přístroj :

É snímací ústrojí (přímě na něj působí měřená veličina)

É přenosové ústrojí (zprostředkovává a zvětšuje měřené veličiny)

É ústrojí měřicí-indikační nebo registrační (zobrazení výsledku měření) [7]

Zvětšení měřené veličiny u běžných měřicích přístrojů funguje na různých fyzikálních principech (mechanické, optické, hydraulické, elektrické, elektronické a na případných kombinacích). U přístrojů s mechanickým přenosem je nižší citlivost na hrubé zacházení, optické a elektrické přístroje jsou přesnější, ale náročnější na obsluhu - je třeba zaklený pracovník. K získání přesných výsledků měření je třeba nejen správně zvolená technika a metodika měření, ale i správné seznámení se s funkcí a přesností použitých měřicích přístrojů a zařízením. [7]

5.3. Diagnostika a monitorování

Diagnostika je soubor činností, které musíme vykonat, chceme-li zpravenit a rozšířit informace získané z dokumentace a prohlídky stavby. Slouží k ověření materiálů, identifikaci, klasifikaci a kvantifikaci chyb a poruch. [c]

Požadavky, které je dobré při diagnostice již existujících konstrukcí v maximální možné míře dodržet, jsou přesnost, rychlost, nízká cena a minimální poškození nosné konstrukce. K tomu nejlépe slouží počítačizované přístroje nedestruktivních metod. [c]

Pro zjištění stavu konstrukce a vlastností materiálu používáme tedy metody **destruktivní** a **nedestruktivní**. Často je vhodné použít kombinaci obou metod. Ke kalibraci přístrojů pro nedestruktivní zkoušení lze použít předchozí destruktivní zkoušení materiálů v laboratorních podmínkách a daných průměrných tabulkových hodnot.

Z důvodu rozmanitosti cílů hodnocení, materiálů, konstrukčních systémů a technologií nelze přesně stanovit postup při hodnocení konstrukcí. Předpokladem volby správné metodiky jsou konzultace se zadavatelem o rozsahu výstupů, inženýrské znalosti a praktické zkušenosti odborníků. Dále je třeba posoudit vlivy fyzikální, chemické a biologické, ovlivňující vlastnosti materiálů. Aktuální stav konstrukce a vlastnosti použitých materiálů slouží k ověření odolnosti při statické analýze. [c]

Nejčastějším cílem hodnocení konstrukce jsou:

- zjištění možnosti realizace stavby nebo prodloužení její životnosti
- kontrola její spolehlivosti
- detekce případného narušení konstrukce působením časově závislého zatížení nebo mimořádného zatížení [c]

Metody destruktivní

Destruktivní metody jsou v zásadě používány pro laboratorní testování konstrukčních materiálů. Pro zkoušení spojů již existujících staveb není tato metoda použitelná. Pro tento druh zkoušení jsou používány zkušební vzorky, které jsou při

zkouškách destručovány a na základě výsledků se stanovují hledané nebo zjištěvané parametry. [c]

Mezi základní parametry řadíme pevnost, tvárnost, pružnost, tvrdost aj.

Druhy zkoušek

- statické a pozvolné zatížení tělesa bez rázu (zkoušky pevnosti podle způsobu zatížení na tah, tlak, ohyb, krut, stisk)
- dynamické a rázem (Charpiho kladivo), cyklické (únavové)
- zvláštní technologické zkoušky a tvrdosti (Brinell, Rockwell a Vickers a zkoušky kovů)
- zkoušky tvárnosti

Vzhledem k nevhodnosti těchto metod pro účely testování spojů stojících konstrukcí je nutno se zaměřit spíše na metody nedestruktivní.

Metody nedestruktivní

Výhodou těchto metod je možnost několika měření na stejném místě, pozorování změny v čase a možnost statistického vyhodnocení. Tyto metody nevedou k poškození stavby či konstrukce. Základem nedestruktivních metod je měření pomocné charakteristiky a následně přesurčitou závislost zjištěných požadovaných charakteristik. Musí být zajištěno správné a dle kladné vyhodnocení dat, aby byly minimalizovány případné chyby.

5.3.1. Defektoskopie

Defektoskopické zkoušky materiálů jsou nedestruktivní zkoušky skrytých vnitřních a povrchových vad. [6] str. 88

Defektoskopie je naprosto nezbytnou součástí testování všech konstrukcí. Bez těchto zkoušek by nebylo možné zaručit bezpečnost a nejvyšší kvalitu. Testování může probíhat ve všech fázích realizace staveb (převýrobní etapa, výrobní etapa, provoz). [12]

Základem nedestruktivní defektoskopie je zkoušení struktury kovových i nekovových materiálů a vnitřních i povrchových vad bez narušení jejich celistvosti. Důležitou podmínkou je zkušenost, zručnost a teoretická znalost kvalifikovaného pracovníka. Kromě detekce vady je v současnosti možné určit i její typ, rozsah a lokalizaci. [12]

"Existuje řada defektoskopických metod, ale není žádná jednotlivá metoda, která by byla jednoznačně použitelná k pokrytí všech požadavků za všech okolností. Při volbě defektoskopické metody je nutné vycházet z řady faktorů (mechanické a dle použité metody také elektromagnetické vlastnosti testovaného materiálu, rozměry objektu, okolní prostředí, umístění objektu z hlediska přístupnosti aj.)." [12] str. 23

5.3.2. Vizualní metody

Prvním krokem diagnostiky konstrukce je **vizuální prohlídka**, patří mezi nejstarší a nejjednodušší nedestruktivní metody. Umožní lokalizovat v raném stadiu geometrické nesrovnalosti a zajištění poruch na povrchu konstrukce. Tato kontrola je nejméně náročná na vybavení – osvětlovací pomůcky, fotoaparát, přesné měřicí pomůcky. [c]

Vizuální metoda neposkytuje komplexnější diagnostiku při zjištění celkového poškození jednotlivých prvků konstrukce, mechanických a fyzikálních vlastností.



Obr. 35 Průmyslový endoskop [online] < <http://www.kameryshop.cz/> > [cit. 15. 4. 2015]

Průmyslové endoskopy

Průmyslové endoskopy jsou používány k vizuální kontrole –patní
přístupných i prakticky nepřístupných míst a umožní uskutečnit nedestruktivní
diagnostiku díky přenosu obrazu na monitor. Výhodou těchto zařízení je možnost
přenesení obrazu opticky zvětšit a digitálně zvýraznit okem nepozorovatelné detaily.
Osvětlení zkoumaných míst zajišťují zdroje osvětlení halogenovými a
halogenidovými a xenonovými zdroji. [12]

Xenonová výbojka má spektrální složení velice se blíží dennímu světlu a
obraz v ní reprodukuje skutečné barvy. Endoskopy jsou podle ohebnosti dělny na
pevné (boroskopy) a flexibilní (fibroskopy, videoskopy). [12]

Endoskopická měření

Při endoskopické diagnostice je třeba zjistit jednak rozměry v reálném
prostoru, dále umístění defektu a současně vzdálenosti defektu od konkrétních míst.
Standardní videoskopy zobrazují zkoumané místo bez perspektivy a zkreslen
(pohled jedním okem). 3D videoskopy jsou pro průmyslové aplikace drahé. Z těchto
důvodů se používají srovnávací měření, případně stanovení dodatečných
geometrických parametrů. [12]

É Srovnávací měření

Srovnávací měření lze provést pomocí porovnání rozměrů definované části
objektu s diagnostikovanou částí, které se obě nachází ve stejné vzdálenosti od
objektivu a v rovině kolmé k objektivu. Další způsob je využití umělé měřky, která
se nasazuje na hlavu endoskopu. Při použití měřky získáme rozměry vizuálním
odhadem i po počítačových zpracováních. [12]

É Stanovení geometrických rozměrů

U boroskopu se mechanickým zaostřením obrazu stanoví vzdálenost objektu
od objektivu a u videostopu elektronicky řízeným zaostřením. [12]

V současně době je dokonalejší metoda stereoskopická a metoda
stínová, které na základě kalibrace (stanovení vzdálenosti bodu od objektivu)

umožní určit vzdálenosti dvou bodů, vzdálenosti bodu od přímky, délky lomené křivky a hodnotu definované plochy. [12]

Metoda stereoskopická (DSM – Digital Stereo Measurement) funguje na základě srovnání obrazových bodů o pixel na výpočet měřítka. [12]

5.3.3. Ultrazvuk

Ultrazvuková metoda napomáhá ke zjištění vnitřních vad konstrukčních materiálů a jejich fyzikálně-mechanických vlastností.

"Ultrazvuková defektoskopie je založena na interakci mechanického kmitání s diagnostikovaným prostředím, ve kterém se šíjí. Pro defektoskopické účely se pracuje v kmitotovém rozsahu od 100 kHz do 15 MHz, laboratorně až do 30 MHz. (Ultrazvuk je definován od 20 kHz.)" [6] str. 99

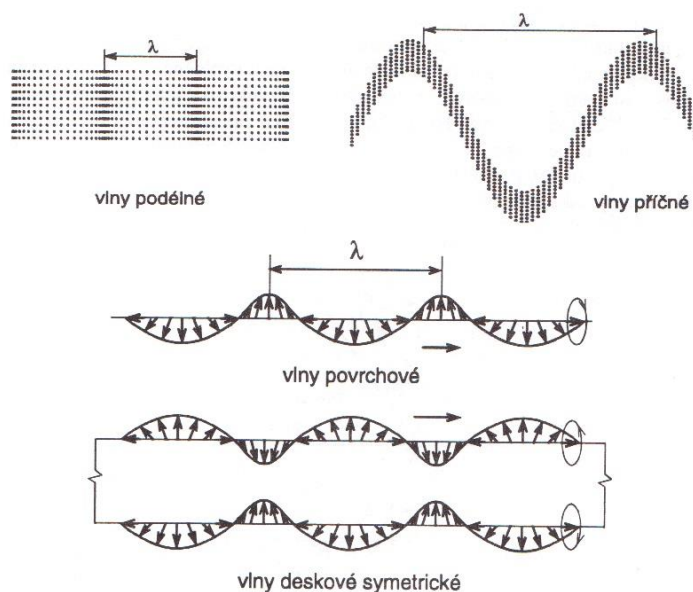
Typy ultrazvukových vln dle směru kmitání částic v šířence šíření vlny:

É podélné (- longitudinální), označované indexem L

É příčné (- transverzální), označované indexem T

É povrchové (- Rayleighovi), označované indexem R

É deskové (- Lambovi), označované indexem D [6]



Obr. 36 Druhy ultrazvukových vln [6]

Podélné vlnění se šíří pouze u kapalin a plynů, u povrchové a deskové vlny je kmitání částic po eliptické dráze. Povrchové vlny se šíří na volném povrchu tuhé látky. Deskové vlny se šíří v prostředích, jejichž rozměry jsou srovnatelné v jednom nebo dvou směrech s vlnovou délkou. [6]

"Rychlost šíření ultrazvukové vlny je funkcí modulu pružnosti v tahu a ve smyku, hustoty, Poissonova čísla a adiabatické stlačitelnosti". [6] str. 100

Tab. 3 Orientační rychlosti šíření ultrazvukových vln v kovových materiálech [6]

materiál	$c_L[m.s^{-1}]$	$c_T[m.s^{-1}]$	$c_R[m.s^{-1}]$
ocel	5950	3250	3010
hliník	6320	3130	2870
m	4700	2260	2110

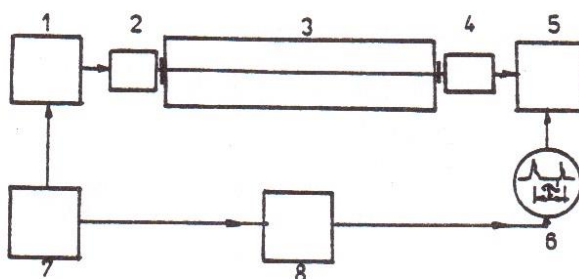
Tab. 4 Průměrná rychlost šíření zvuku rovnoběžně a kolmo na vlákna v dřevu s $w = 12\%$ [13]

Druh dřeva	Průměrná objemová hmotnost	Průměrné hodnoty modulu pružnosti E		Průměrná rychlost C		Poměr zvuku
	[$kg.m^{-3}$]	[MPa]		[m.s]		[$c_{\parallel} / c_{\perp}$]
SM	470	11000	550	4790	1072	4,47
BO	520	12000	460	4760	932	5,11
JD	460	11000	490	4890	1033	4,73
JV	630	9400	915	3826	1194	3,21
BK	730	16000	1500	4638	1420	3,27
DB	690	13000	1000	4304	1193	3,61

Ultrazvukové měřicí metody

Ultrazvukové měřicí přístroje jsou většinou elektronické. Skládají se z určitých základních částí, například generátory, sondy (budič, snímač), zesilovač a pod., a ze speciálních obvodů. Ke stanovení vad nebo vlastností materiálů se používá spojitý nebo opakovaný vysílání (impulsivního) ultrazvukového vlnění. Z tohoto jsou odvozeny následující metody:

- É **pr chodová (prozvu ovací)** - používá spojitě vysílání ultrazvukového vln ní budi em. Na druhé stran vzorku je p ijímáno sníma em. Tato metoda je vhodná ke kontrole vad materiál , které jsou p ístupné z obou stran. [7]
- É **odrazová metoda rezonan ní** - pracuje s jednou sondou, která snímá spojitě vysílání ultrazvukového vln ní s plynule m nitelným kmito tem. Touto metodou se zji–uje tlou–ka materiálu a stanovuje se hloubka vad pod povrchem. [7]
- É **metoda impulzová odrazová** - pracuje s jednou sondou, která opakovan vysílá impulzy svazku ultrazvukových vln do materiálu. Po odrazu od spodní plochy se impulzy vln snímají bu toutéfl sondou nebo zvlá–tním sníma em. Je využívána p edev–ím v defektoskopii ocelových prvk a konstrukcí. Tato metoda není vhodná pro materiály s vysokým útlumem. [7]
- É **impulzová pr chodová metoda** - je nej ast ji používaná metoda u p ístroj ur ených pro stavební materiály. Pracuje se dv ma sondami, z nichfl první je budi vysílající opakované ultrazvukové impulzy a druhá sonda tyto pro–lé impulzy snímá. [7]



Obr. 37 Pr chodová metoda p i impulzovém vysílání (1 - generátor impulz , 2 - vysílací sonda, 3 - zku–ební vzorek, 4 - p ijímací sonda, 5 - zesilova , 6 - obrazovka , 7 - synchronizátor, 8 - zdroj asové základny) [7]

Tyto metody jsou úsp –n uflívány u kov a jiných homogenních materiál (p i rozsahu ultrazvukového kmito tu 0,5 afl 6 MHz) i pro zji– ování vnit ních vad a pro ur ení pruflných charakteristik materiál . Na druhé stran u stavebních materiál s heterogenní strukturou (d evo, beton atd.) se naráflí na problémy - pr chod vln ní je tlumen odrazy a rozptylem od vzduchových pór . [7]

"Při vyšších kmitočtech ultrazvukových vln není je útlum již tak velký, ale není spolehlivé při v t-ích menších drahách zachytit obraz kmitání ani při velkých zesíleních na obrazovkách osciloskopu". [7] str. 81



Obr. 38 Ultrazvukový defektoskop [online] < <http://www.papco.cz/> > [cit. 15. 4. 2015]

5.3.4. Rentgen

Elektromagnetické záření, známé jako rentgenové záření, je tvořeno tokem fotonů a vzniká při nárazu elektronů, pohybujících se vysokou rychlostí, na prveků. [11] str. 189

Pronikání rentgenových paprsků materiálem je ovlivněno řadou interakcí, které záření pohlcují v závislosti na materiálu. Záření je více či méně zeslabeno v závislosti na strukturních (povrchových a vnitřních) materiálových defektech. [11; 12]

Díky moderním přístrojům je rentgenová diagnostika snadno použitelná. Jsou k dispozici lehké pulzní rentgeny, které jsou bezpečné a zároveň vhodné pro průzkum dělných konstrukcí. Pro záznam rentgenového záření je nejastěji používána metoda filmového osvětlení nebo zviditelnění záření na svítící matnici. Způsob filmového osvětlení je pracný, ani druhá metoda není v terénu prakticky použitelná, i když díky ní můžeme pozorovat zasažený objekt v reálném měřítku. Dále je možno použít počítačovou radiografii (připojení na videosystém) nebo fotografování na polaroidní filmy. [d]

Pro terénní práci s přenosným rentgenem se používá fosforové záznamové zařízení, které nám umožní jednoduchou digitalizaci obrazu a opakovaný záznam.

Deska je tvořena ohebnou plastovou podložkou, na které je nanášena tenká vrstva vzájemně spojených fosforových krystalů. Intenzita rentgenového záření, kterému byly krystaly vystaveny, je úměrná množství pohlcené energie. Tato pohlcená energie je uchována ve formě skrytého obrazu. Ozáření desky rudým laserem se uvedou krystaly do nestabilního stavu a při přechodu do základního stavu vyzařují viditelné modré světlo. Toto světlo je skenerem převáděno do obrazu, které jsou dále zpracovávány. Skener o rozměrech 40x50x27 cm a o váze 15 kg je hmotně mobilní a není příliš hlučný, který má akumulátor a rozměry 32x12x19 cm váží 6 kg. [d]

Po záření ve skeneru nejsou záznamové desky zcela smazané. Na které krystaly stále zadržují zbytkovou energii. Vystavením desky dennímu světlu tuto energii vymažeme pro další použití desky. [d]

I objekty ve stísněných podmínkách (trámy probíhající kolem stěn) je možno rentgenovat díky malé tloušťce fosforové záznamové desky (rozměry 20,3x25,4 cm nebo 20,3x43,2 cm a rozlišení 300 dpi). [d]



Obr. 39 Mobilní RTG sestava [online] < <http://www.papco.cz/> > [cit. 15. 4. 2015]

Způsob použití rentgenu

„Po vložení nabitých baterie se nastaví počet a výška pulzů a vykoná se ozáření dálkovým spouštěčem. Rentgenogram lze získat výše popsaným způsobem na EPIX skeneru nebo na připojeném videosystému. Taktéž lze použít Polaroid na expozici filmu a přibližně za dvě minuty získat obrázek.“ [d]



Obr. 40 Příklad použití RTG na zjištění míry poškození spoje [online] < <http://www.thermosanace.eu/> > [cit. 18. 4. 2015]

Použití rentgenové metody se uplatňuje v-ude tam, kde je nutno podrobně prozkoumat skryté detaily v konstrukcích a u materiálů s různou hustotou, zejména při posuzování únosnosti starých konstrukčních spojů se skrytými kovovými prvky. Dokonce je možno rentgenem při správném vyladění zjistit i orientaci letokruhů, je-li u dřevěných spojů možno napovídat velikost a tvar skrytých částí. [d]

5.3.5. Tenzometry

"Přímé měření napjatosti materiálu není možné. Využívá se proto platnosti Hookova zákona, který definuje napětí jako součin hodnot modulu pružnosti a poměrné deformace ve směru působení napětí při jednoosé napjatosti. Poměrné deformace se zjišťují mnoha různými metodami, které se v souhrnu označují jako tenzometrické metody." [e]

Tenzometr je pasivní elektronická součástka, díky které se dají nepřímým způsobem změřit mechanického napětí na povrchu sledovaných součástí i materiálů. Dají se jimi měřit materiály kovové i nekovové. Využívá k tomu závislost změny elektrického odporu na deformacích tenzometru, které odpovídají deformacím měřené součásti, na jejíž povrchu je tenzometr nalepen. Podstatou tenzometrických měření je Hookův zákon. [7; f]

Tenzometry se skládají ze dvou základních částí. Z vlastního idla (drátek, folie, vlákno k emíku) a z podlofky (papír i prysky ice), která p ená-í deformace z m eného t lesa na idlo a vytvá í elektroizola ní vrstvu. P ipevn ní podlofky na povrch t lesa je zaji-t no speciálními lepidly, jako nap íklad celuloid rozpu-t ý v acetonu, fenolformaldehyd nebo epoxidové prysky ice. idlo je do podlofky zatmeleno tak kvalitn , aby relativní deformace podlofky a lepidla co nejmén zkreslily výsledky. [7]

Pouffít

"Elektrický tenzometr pat í mezi p evodníky sloufící k elektrickému m ení neelektrických veli in". [f]

Pouffívá se vfdy spolu s dal-ími p ístroji jako sou ást et zce ve dvou oblastech:

É pro analýzu a zji- ování namáhání konstruk ních prvk , sou ástí i celých konstrukcí

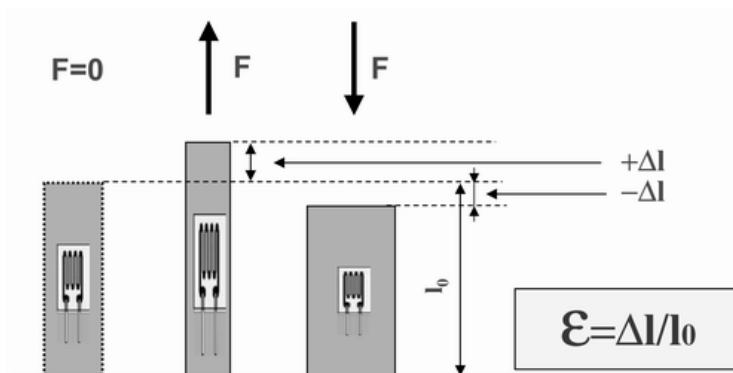
É jako pevná sou ást p ístroj a za ízení [f]

Vztah udávající elektrický odpor homogenního t lesa

$$R = \rho \times \frac{l}{S} \quad (13)$$

kde ρ je m rná vodivost, l je délka a S pr ez vodi e. [7]

P i deformaci tahem a tlakem dochází nejen k prodloužení a zkrácení, ale také k roztažení a zúžení v p í ném sm ru. Tyto zm ny mají podle vztahu (13) vliv na zm nu odporu vodi e. Nezanedbatelný vliv má i zm na teploty. Toto se dá v-ak eliminovat vyhodnocovacími za ízeními. [7]



Obr. 41 P íklad funkce tenzometru p i deformaci protažením o Δl p sobením síly $F \Rightarrow$ zm na odporu o R [online] < <http://automatizace.hw.cz/> > [cit. 15. 4. 2015]

Druhy tenzometr

É kovové - drátkové, foliové, napávané

É polovodičové - monokrystaly, difuzní odpory

Kovové tenzometry

Vyrábí se nejčastěji ze slitin Cu-Ni (konstantan), Ni-Cr (nichrom), Ni-Cr-Fe-Al (karma) aj. Pro měření vinutého drátku u drátkového snímače je 10 až 40 m. Tloušťka napávané odleptané folie u foliových snímačů je 1 až 10 m. Ta je připevněna na podložce o tloušťce přibližně 15 m.

Polovodičové tenzometry

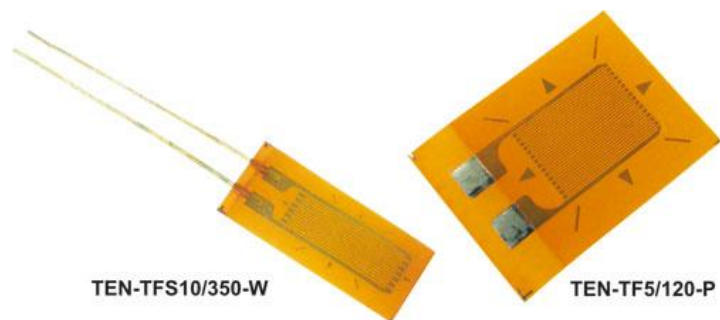
"Tato idla se z hlediska linearity funkce, zanedbatelné mechanické a krystalografické hystereze a použitelnosti pro v t-í rozsah teplot vyrábí z k emíku, a to bu ozáním, brou-ením i leptáním monokrystalu nebo planární difuzní technologií na k emíkovém substrátu". [7] str. 58

Tyto tenzometry se lepí na fenolformaldehydové podložky nebo rovnou na měrný mechanický len. Polovodičové typu P mají lineární j-í charakteristiku při deformacích tahem a polovodičové typu N mají lineární j-í charakteristiku při deformacích tlakem. Polovodičové tenzometry jsou v porovnání s kovovými zna n citlivější. Velká teplotní závislost a odchylka od lineární charakteristiky je v-ak zna nou nevýhodou. [7]

Návrhy praktického použití tenzometrů na rozhledn

É Foliový tenzometr

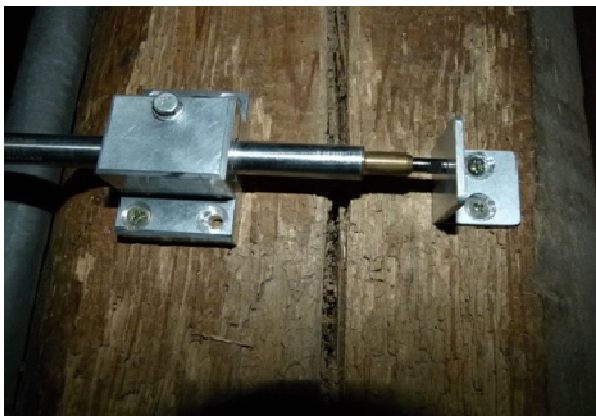
Tento druh tenzometru by mohl být díky své malé tloušťce (v ádech mikrometr) teoreticky použit i ve spoji. Po nalepení přímo na svorník, kterým by se následně spojily dvě nové prvky, bychom mohli zaznamenávat jeho napětí a deformace.



Obr. 42 Foliový tenzometr [online] < <http://www.tme.eu/> > [cit. 16. 4. 2015]

É Odporový tenzometr

Tento druh tenzometru by mohl být použit k měření interakcí mezi spojovanými dřevěnými prvky.



Obr. 43 Příklad použití tenzometru pro měření rozměrových změn dřeva [online] < <http://www.thermosanace.eu/> > [cit. 16. 4. 2015]

6. Shrnutí a doporučení

Monitorování a monitorování interakcí ve spojích je složitě hned z několika důvodů. Spojky jsou v konstrukci pevně uzavřeny a nemohou být zkoumány odděleně. Stavba se jejich zkoumáním nesmí narušit a to velice zužuje výběr metod. V bakalářské práci byly pro představu zmíněny i metody destruktivní, které však na stavbě prakticky použíté být nemohou. U ostatních metod, kterými je možné spojky stavby sledovat, je podrobněji popsáno jakým způsobem získávají křivková data. Ze získaných informací o jednotlivých metodách můžeme ke každé vyvodit závěr, na jaké sledování spojky rozhledny by se dala použít.

U vizuálních metod je od podstaty jasné, že mohou sledovat pouze dostupný povrch materiálu nebo díky endoskopem a videoskopem k dispozici povrch. Tímto měřením můžeme pouze sledovat změny na povrchu materiálu nebo deformaci celé konstrukce, způsobené zatížením, nikoliv však samotné zatížení a působení sil ve spojích.

Rentgen ani ultrazvuk nepoškozují zkoumaný materiál, takže jsou vhodné na monitorování spojky rozhledny. Dají se jimi zobrazovat případné změny uvnitř konstrukce jak v dřevěných, tak v ocelových částech.

Nejvhodnější metodou se jeví monitorování pomocí tenzometrů. Ty jsou schopny zaznamenávat změny na povrchu zkoumaného materiálu a odvodit změny napětí a sil v materiálu. Díky různým typům tenzometrů můžeme zvolit ten nejvhodnější pro potřeby toho kterého měření. Výhodou těchto měření je možnost postupného a dlouhodobého sběru dat bez nutnosti přítomnosti pracovníka (na rozdíl od monitorování napětí rentgenem) v terénu.

7. Závěr

Pro měření a monitorování nelze kvůli rozdílnosti materiálů (dřevo, ocel) použít pouze jednu metodu. K získání všech potřebných dat a výstupů je nutné zkombinovat dostatečné množství vhodných nedestruktivních diagnostických metod, díky kterým získáme požadované informace. Měření spojů by mělo být v rámci objektivitu doplněno monitorováním stavby jako celku.

Použitá literatura

- [1] KOLB, Josef. *Dřevostavby: systémy nosných konstrukcí, obvodové pláště*. 2., aktualiz. vyd. v České republice. Příklad Bohumil Kofelouh. Praha: Grada, 2011, 317 s. ISBN 978-80-247-4071-3.
- [2] KUKLÍK, Petr. *Dřevěné konstrukce*. 1. vyd. Praha: Informační centrum KAIT, 2005, 171 s. ISBN 80-86769-72-0.
- [3] KOLÁŘ, Karel a Pavel REITERMAN. *Stavební materiály: pro SPTMstavební*. 1. vyd. Praha: Grada, 2012, 208 s. Studium (Grada). ISBN 978-80-247-4070-6.
- [4] JELÍNEK, Lubomír. *Dřevěné a kovové konstrukce podle SN EN 1995-1-1 a SN EN 1993-1-1*. 1. vyd. Volyn : Vyšší odborná škola a Střední průmyslová škola, 2012. ISBN 9788086837420.
- [5] KUKLÍK, Petr a Anna KUKLÍKOVÁ. *Navrhování dřevěných konstrukcí: příručka k SN EN 1995-1*. 1. vyd. Praha: Pro Ministerstvo pro místní rozvoj a Českou komoru autorizovaných inženýrů a techniků činných ve výstavbě vydalo Informační centrum KAIT, 2010, 140 s. ISBN 978-80-87093-88-7.
- [6] KREIDL, Marcel. *Diagnostické systémy*. 1. vyd. Praha: Vydavatelství VUT, 1995, 152 s. ISBN 80-01-01334-0.
- [7] MICHALKO, Ondřej. *Fyzikální a mechanické zkoušení stavebních materiálů*. 1. vyd. Praha: VUT, 1998, 138 s. ISBN 80-01-01736-2.
- [8] KUKLÍK, Petr. *Dřevěné konstrukce*. Vyd. 1. Praha: Česká technika - nakladatelství VUT, 2005, 188 s. ISBN 80-01-03310-4.
- [9] KUKLÍK, Petr. *Dřevěné konstrukce I*. Vyd. 1. Praha: České vysoké učení technické, 1998, 140 s. ISBN 80-01-01748-6.
- [10] JUKL, Bratislav. *Dřevěné a kovové konstrukce: Učebnice pro 4. ročník stavebních průmyslových škol stavebních*. 1. vyd. Příklad Olga Bendíková. Praha: SNTL, 1991, 178 s. ISBN 80-03-00296-6.
- [11] In-situ evaluation & non-destructive testing of historic wood and masonry structures. Editor Luigia Binda, Miloš Drdác, Bo Kasal. Praha: ÚTAM AV ČR, c2007, 253 s. ISBN 978-80-86246-36-9.

[12] KREIDL, Marcel a Radislav TMMÍD. *Technická diagnostika: senzory, metody, analýza signálu*. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2006, 406 s. Senzory neelektrických velí in. ISBN 80-7300-158-6

[13] KOLLMANN a COTE. *Principles of Wood Science and Technology I Solid Wood*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 1968. ISBN 978-364-2879-289.

Internetové zdroje

[a] VODI KOVÁ, Erika. *Spojování dřeva* [online] Dostupné z <<http://www.asb-portal.cz/stavebnictvi/drevostavby/spojovani-dreva>> [cit. 28. 2. 2015]

[b] Dřevná stavba roku. *Architektonický návrh dřevěné rozhledny* [online] Dostupné z: <<http://www.drevenastavbaroku.eu/navrhy-drevene-konstrukce-13/159-architektonicky-navrh-drevene-rozhledny>> [cit. 31.3.2015]

[c] BILÍK, Juraj. *Diagnostika betonových konstrukcí* [online] Dostupné z <<http://www.asb-portal.cz/stavebnictvi/rekonstrukce-staveb/diagnostika-betonovych-konstrukci>> [cit. 9.4.2015]

[d] BLÁHA, Jiří; KLOIBER, Michal. *Diagnostické metody pro hodnocení dřevěných konstrukcí in situ* [online] Dostupné z: <<http://www.asb-portal.cz/stavebnictvi/drevostavby/diagnosticke-metody-pro-hodnoceni-drevenych-konstrukci-in-situ>> [cit. 9.4.2015]

[e] Vysoké učení technické v Brně. *Tenzometrické měření napjatosti materiálu části konstrukce* [online] Dostupné z: <http://www.sz.k.fce.vutbr.cz/vyuka/BI02/T_navod.doc> [cit. 10.4.2015]

[f] FSI Fórum. *Tenzometry* [online] Dostupné z: <<http://www.fsiforum.cz/upload/soubory/databaze-predmetu/6SM/TENZOMETRY.pdf>> [cit. 11.4.2015]

[g] Leccos. *Nivelovací přístroj* [online] Dostupné z: <<http://leccos.com/index.php/clanky/nivelacni-pristroj>> [cit. 12. 4. 2015]

[h] PROCHÁZKA, Jaromír. *Sylabus přednášky 3 z geodézie I* [online] Dostupné z: <http://k154.fsv.cvut.cz/vyuka/geodezie_geoinformatika/gdz1/prednaska_3.pdf> [cit. 12. 4. 2015]

Seznam obrázk

<i>Obr. 1</i> Anatomické smyčky ve dřevě	12
<i>Obr. 2</i> Smr sil při zatížení tahem	19
<i>Obr. 3</i> Smr sil při zatížení tlakem	19
<i>Obr. 5</i> Kloubov uložení tlakový prut	20
<i>Obr. 4</i> Porušení prvku namáhaného prostým tlakem	20
<i>Obr. 6</i> Píklady otláčení dřeva	21
<i>Obr. 7</i> Smr sil při zatížení ohybem	22
<i>Obr. 8</i> Klopení nosníku	22
<i>Obr. 9</i> Složky průhybu	23
<i>Obr. 10</i> Smr sil při zatížení smykem	24
<i>Obr. 11</i> Úelní sraz	26
<i>Obr. 12</i> Plátování (kolmé a úíkmé)	26
<i>Obr. 13</i> Lípnutí	27
<i>Obr. 14</i> Zapnutí (kolmé a úíkmé)	27
<i>Obr. 15</i> Úepování	28
<i>Obr. 16</i> Úeplátování	29
<i>Obr. 17</i> Úampování	29
<i>Obr. 18</i> Úosedlání	30
<i>Obr. 19</i> Úepený spoj	31
<i>Obr. 20</i> Úebík kroucený	32
<i>Obr. 21</i> Úebík s plochou hlavou	32
<i>Obr. 22</i> Úastelovací sponky spojené do bloku	33
<i>Obr. 23</i> Úolíky (hladký a vroubkovaný)	34
<i>Obr. 24</i> Úsvorník	35
<i>Obr. 25</i> Úpřesoby porušení jednotlivých spoj	35
<i>Obr. 26</i> Úpřesoby porušení dvojstředních spoj	36
<i>Obr. 27</i> Úklasické vruty do dřeva (se úestihranou, úápustnou a úplkulatou hlavou)	37
<i>Obr. 28</i> Úhmořdíky oboustranné (úruhový a útvercový)	38
<i>Obr. 29</i> Údeska s úprolisovanými trny (Gang-Nail)	39
<i>Obr. 30</i> Úpohled na úrozhlednu	40
<i>Obr. 31</i> Úskladba úástí modulu úrozhledny	41

<i>Obr. 32</i> Digitální nivela ní p ístroj.....	43
<i>Obr. 33</i> Digitální teodolit	43
<i>Obr. 34</i> Schéma klínometru.....	44
<i>Obr. 35</i> Pr myslový endoskop.....	47
<i>Obr. 36</i> Druhy ultrazvukových vln.....	49
<i>Obr. 37</i> Pr chodová metoda p i impulzovém vysílání (1 - generátor impulz , 2 - vysílací sonda, 3 - zku-ební vzorek, 4 - p íjmací sonda, 5 - zesilova , 6 - obrazovka , 7 - synchronizátor, 8 - zdroj asové základny).....	51
<i>Obr. 38</i> Ultrazvukový defektoskop.....	52
<i>Obr. 39</i> Mobilní RTG sestava	53
<i>Obr. 40</i> P íklad poufítí RTG na zjist ní míry po-kození spoje	54
<i>Obr. 41</i> P íklad funkce tenzometru p i deformaci protažením o l p sobením síly $F \Rightarrow$ zm na odporu o R.....	55
<i>Obr. 42</i> Foliový tenzometr	57
<i>Obr. 43</i> P íklad poufítí tenzometru pro m ení rozm rových zm n d eva.....	57

Seznam tabulek

<i>Tab. 1</i> Hodnoty tepelného sou nitele a m rné tepelné kapacity vztažené na hustotu d eva a sm r vláken	13
<i>Tab. 2</i> Porovnání nejd lefít j-ích vlastností d eva a oceli	15
<i>Tab. 3</i> Orienta ní rychlosti í ení ultrazvukových vln v kovových materiálech.....	50
<i>Tab. 4</i> Pr m rná rychlost í ení zvuku rovnob fn a kolmo na vlákna n kterých d evin p i $w = 12\%$	50