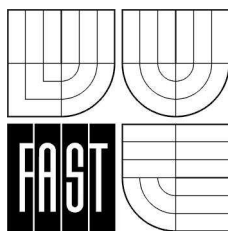


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
FAKULTA STAVEBNÍ

DOC. ING. BOHUMIL STRAKA, CSc.
ING. KAREL SÝKORA

DŘEVĚNÉ KONSTRUKCE

MODUL BO03 -M03
SPOJE DŘEVĚNÝCH KONSTRUKCÍ



STUDIJNÍ OPORY
PRO STUDIJNÍ PROGRAMY S KOMBINOVANOU FORMOU STUDIA

Jazyková korektura nebyla provedena, za jazykovou stránku odpovídá autor.

© Doc. Ing. Bohumil Straka, CSc, Ing. Karel Sýkora.

OBSAH

1 Úvod	4
1.1 Cíle	4
1.2 Požadované znalosti	4
1.3 Doba potřebná ke studiu.....	4
1.4 Klíčová slova.....	4
2 Spoje dřevěných konstrukcí	6
2.1 Tesařské spoje	6
2.1.1 Šikmé zapuštění	7
2.1.2 Čepové spoje	9
2.2 Mechanické spoje dřeva	10
2.2.1 Hřebíky	11
2.2.2 Styčnickové desky s prolisovanými trny	20
2.2.3 Svorníky a kolíky	22
2.2.4 Vruty	27
2.3 Lepené spoje	32
3 Příklady	35
3.1 Šikmé jednoduché zapuštění	35
3.2 Čepový spoj.....	36
3.3 Stanovení návrhové únosnosti hřebíkového spoje	38
3.4 Hřebík na vytažení	41
3.5 Vrutový spoj.....	42
4 Kontrolní otázky	45
5 Literatura	46

1 Úvod



Dřevo je jedním z prvních stavebních materiálů, které člověk používal už v nejstarších dobách. Dřevěné konstrukce se v současné době uplatňují zejména jako konstrukce zastřešení bytových, administrativních i výrobních budov, případně i církevních objektů. Oblast tradičního využití dřevěných konstrukcí představují halové objekty, zejména pro zemědělské účely, sportovní a rekreační objekty. Pro spojování prvků dřevěných konstrukcí se používají různé spoje, které přenášejí vnitřní síly vznikající působením vnějšího zatížení z jednoho prvku do druhého. Spoje dřevěných konstrukcí mohou být provedeny pomocí různých spojovacích prostředků.

1.1 Cíle



Cílem tohoto modulu je :

- Uvést přehled spojovacích prostředků dřevěných konstrukcí
- Popsat zásady posuzování spojů dřevěných konstrukcí
- Uvést podklady a vysvětlující obrázky pro výpočet spojů dřevěných konstrukcí
- Na číselných příkladech dokumentovat postup při návrhu a posouzení spojů dřevěných konstrukcí

1.2 Požadované znalosti



Ke zvládnutí a pochopení následujícího učiva jsou *třeba znalosti stavební mechaniky a pružnosti a pevnosti*, mechanických vlastností materiálů, používaných na stavební konstrukce. Předpokládá se prostorová představivost.

1.3 Doba potřebná ke studiu



Celková optimální doba pro studium je velmi individuální a závisí zejména na intenzivnosti studia a soustředěnosti čtenáře na obsah textu. .

Celková doba pro prostudování modulu tedy činí cca 6 až 8 hodin, pokud budete procházet i příklady, pak se doba prodlouží o 2 až 4 hodin.

1.4 Klíčová slova



Spoje dřevěných konstrukcí, tesařský spoj, kámpování, plátování, šikmé zapuštění, čepový spoj, mechanický spoj, hřebík, svorník, kolík, hmoždík, deska s prolisovanými trny, vrut, lepený spoj, jednostřížní spoj, dvojstřížný

spoj, spoj dřevo – dřevo, deska – dřevo, rozteče a vzdálenosti spojovacích prostředků.

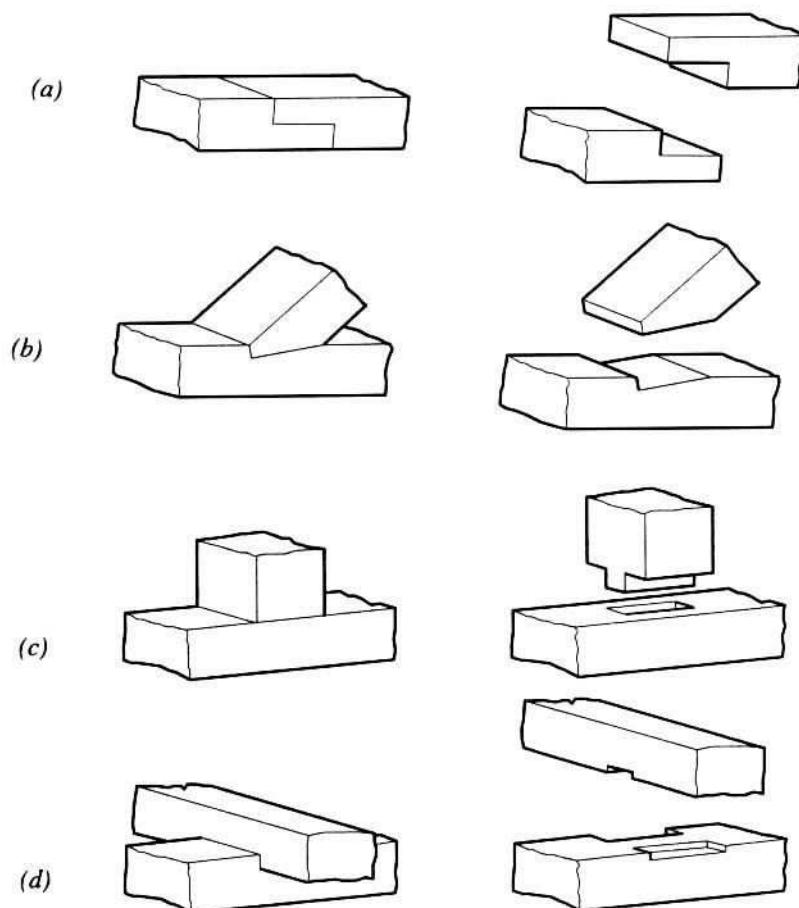
2 Spoje dřevěných konstrukcí

K základům navrhování dřevěných konstrukcí patří návrh konstrukce, výběr nosného systému, správné navrhování jednotlivých konstrukčních prvků a jednoduchá montáž konstrukce. Dřevěné konstrukce, jednotlivé nosné prvky i spoje musí vyhovovat mezním stavům únosnosti i mezním stavům použitelnosti. U dřevěných konstrukcí závisí použitelnost a trvanlivost především na návrhu spoje mezi jednotlivými konstrukčními prvky.

2.1 Tesařské spoje



Tesařsky spojované dřevěné konstrukce využívaly rozmanité spoje (zapuštění, plátování, čepování, kampování a další).



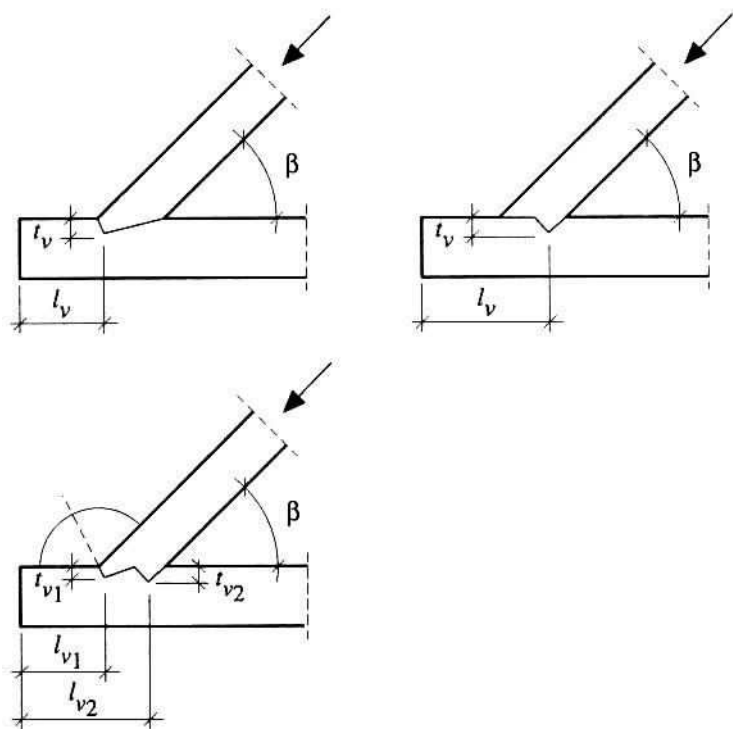
Obr.2.1: Základní tvary tesařských spojů: (a) plátování, (b) šikmé zapuštění, (c) čepování, (d) kampování

V uzlových bodech konstrukce se sbíhají dva nebo více jednotlivých prvků. Tyto spoje jsou zpravidla kontaktní spoje, u nichž jsou působící síly přenášeny pouze tlakovým kontaktem a případně účinkem tření. U některých spojů se navíc používají dřevěné nebo kovové spojovací prostředky, které běžně slouží k zabezpečení polohy, mohou přenášet i síly. Na obr. 2.1 a 2.2 jsou znázorněny typické základní tvary plátování, šikmého zapuštění, čepování a karpování.

Tesařské spoje jsou poměrně málo únosné, jejich výroba je pracná a spojena se značnou ztrátou dřeva.

2.1.1 Šikmé zapuštění

Šikmé zapuštění je přípoj pro přenos tlakových sil šikmých vzpěr do pásových dřevěných prvků. Tlaková síla vzpěry je přitom přenášena v čelní ploše zapuštění kontaktem a dále je zavedena do pásu prostřednictvím smykového namáhání zhlaví.



Obr. 2.2: Typické spoje na šikmé zapuštění: a) jednoduché čelní zapuštění, b) jednoduché patní zapuštění, c) dvojité zapuštění.

Pro zajištění polohy se dříve často používal přidavný čep, dnes se obvykle používá nárožní hřebík, vrut do dřeva, svorník nebo boční příložky připojené hřebíky. Při navrhování spoje na šikmé zapuštění se ověřuje, zda únosnost ploch zapuštění je dostatečná. Při běžných sklonech od 30° do 60° se uvažuje

pro přenos tlakových sil pouze čelní ploch, ne zadní plocha zapuštění. Velikost čelní plochy je dána šířkou konstrukčního prvku b_{ef} a hloubkou zapuštění t_v . Návrhové napětí v čelní ploše zářezu vyvozené tlakovou silou F , které působí pod úhlem α ke směru vláken, musí vyhovovat podmínce:

$$\sigma_{c,\alpha,d} \leq \frac{f_{c,0,d}}{f_{c,0,d} / f_{c,90,d} \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha}$$

Pro přenos co největší tlakové síly čelním zapuštěním je třeba zvětšit sklon čelní plochy tak, aby odpovídal polovičnímu úhlu β připojení vzpěry k pásovému dřevěnému prvku. Návrhová hodnota tlakového napětí v šikmém čelním zapuštění, u něhož je čelní plocha odkloněna vzhledem k pásu pod úhlem $\beta/2$, se vypočte ze vztahu:

$$\sigma_{c,\alpha,d} = \frac{F_d \cos^2(\beta/2)}{b_{ef} t_v}$$

U patního zapuštění je plocha zapuštění zpravidla v kolmém směru k podélné ose vzpěry a návrhová hodnota napětí v tlaku:

$$\sigma_{c,\alpha,d} = \frac{F_d \cos \beta}{b_{ef} t_v}$$

Dvojitým šikmým zapuštěním může být přenesen součet sil, příslušející oběma plochám zapuštění jen při vysoké přesnosti lícování, aby se na přenosu síly podílelo čelní i patní zapuštění.

Síly zavedené plochou zapuštění do pásů musí být přeneseny jako smykové síly plochou zhlaví, za předpokladu rovnoměrného rozdělení smykových napětí. Návrhová hodnota smykového napětí je dána vztahem:

$$\tau_d = \frac{F_d \cos \beta}{b_{ef} l_v}$$

U dvojitého zapuštění nemají být obě smykové plochy identické. Pro volbu hloubek zapuštění se doporučuje:

$$t_{v1} \leq t_{v2} - 10\text{mm}, 0,8t_{v2}$$

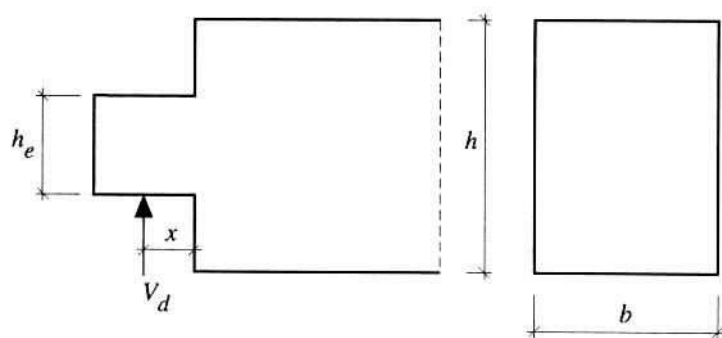
Pro stanovení délky zhlaví patní části dvojitého zapuštění se má do výpočtu zavést celá vodorovná síla, tvořena složkami čelního a patního zapuštění.

Mimostředné zavedení síly může vyvozovat v připojované tlačené vzpěře přídatné ohybové momenty, které je třeba při posouzení zohlednit. Ověřit je třeba také únosnost pásu, který je namáhán tahem a ohybem.

2.1.2 Čepové spoje

Čepové spoje jsou používány v tesařských dřevěných konstrukcích od nejstarších dob pro spoje jednotlivých konstrukčních prvků přenášející síly ve stropních, stěnových i střešních konstrukcích.

V dnešní době se z ekonomických důvodů používají čepové spoje, které je možné vyrábět pomocí vhodných obráběcích strojů.



Obr. 2.3: Čepový spoj

Výška čepu h_e ručně prováděných spojů obvykle odpovídá jedné třetině výšky nosníku h .

Délky čepu jsou obvykle v rozmezí 40 až 60 mm. Dlaby pro čepy mají být umístěny centricky nebo v tlačené oblasti nosníku. Oslabení průřezu dlaby pro čepy musí být při navrhování uvaženo.

Posuzování čepových spojů se provádí podle podmínky:

$$\tau_d = \frac{1,5V_d}{bh_e} \leq k_v f_{v,d}$$

kde h_e je výška čepu;

k_v součinitel který zohledňuje vliv geometrie čepového spoje, které jsou popsány výškou nosníku h , výškou čepu h_e a vzdáleností x bodu působení zatížení.

Pro čepové spoje s dolním čepem je $k_v = 1$;

Pro středově umístěné čepy je k_v dáno menší z hodnot: $k_v = 1$, nebo

$$k_v = \frac{5}{\sqrt{h} \left(\sqrt{h_e/h [1 - h_e/h] + 0,8x/h \sqrt{h/h_e - [h_e/h]^2}} \right)}$$

Pro ověření tlaku čepu kolmo k vláknům musí být splněna podmínka:

$$\sigma_{c,90,d} \leq k_{c,90} f_{c,90,d}$$

Pro běžně používané čepové spoje lze předpokládat součinitel $k_{c,90} = 1$.

2.2 Mechanické spoje dřeva



Mechanické spojovací prostředky pro dřevo mohou být rozděleny podle způsobu přenosu sil mezi konstrukčními prvky do dvou skupin.

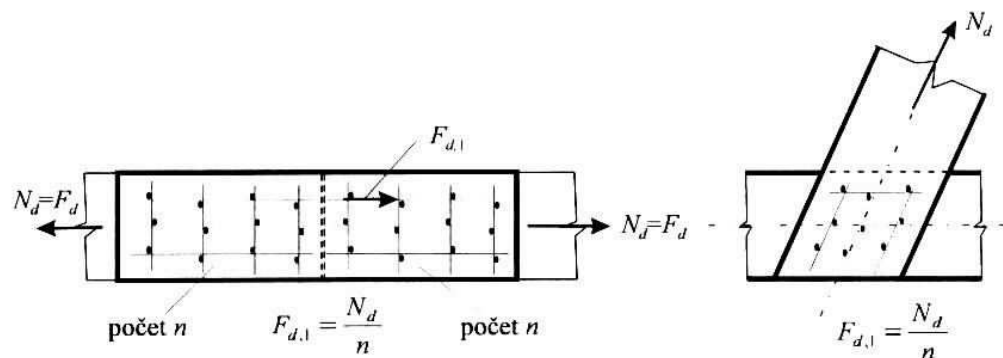
Jednu skupinu tvoří kolíkové spojovací prostředky. U nich je při přenosu síly vyvozen jak ohyb kolíků, tak i napětí v otlacení stěny otvoru a smykové napětí dřeva podél dřívku. Do této skupiny patří hřebíky, sponky, svorníky, kolíky a vruty.

Druhá skupina zahrnuje spojovací prostředky jako jsou vkládané a zalisované hmoždíky a styčnickové desky s prolisovanými trny, u nichž dochází k přenosu sil v zásadě na povrchu konstrukčního prvku.

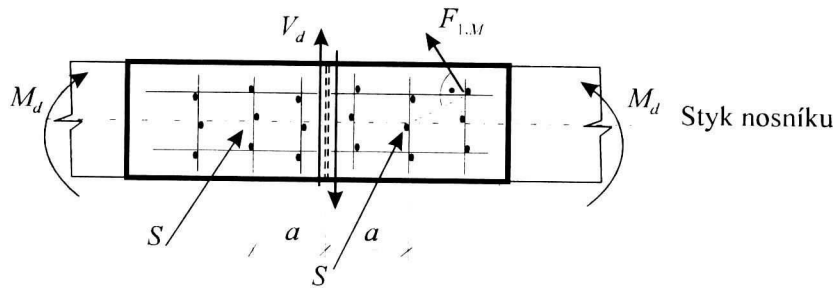
Je-li zatížení ve spoji přenášeno více než jedním typem spojovacích prostředků, musí se uvážit vliv různých vlastností spojovacích prostředků. Spojovací prostředky mají velmi rozdílnou poddajnost a nemá se předpokládat jejich spolupůsobení.

Výsledná návrhová síla připadající na jeden kolíkový prvek se stanovuje podle obvyklých zásad – v závislosti na způsobu namáhání skupiny kolíkových prvků:

- Skupina namáhaná silou působící ve středu (těžišti) skupiny



- Skupina namáhaná silou procházející středem skupiny a momentem působícím v rovině skupiny



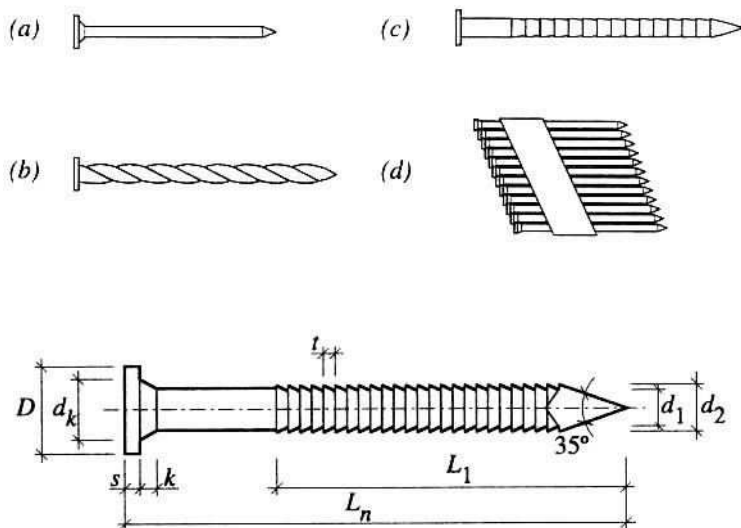
- Spoj přenáší: - sílu příčnou V_d
 - moment $M_{d,a} = M_d + V_d \cdot a$

$F_{d,1}$ je výslednice složek: $F_{d,1,v} = \frac{V_d}{n}$

$$F_{d,1,M} = \frac{M_{d,a} r_i}{\sum r_i^2}$$

2.2.1 Hřebíky

Hřebíky jsou nejčastěji používaným spojovacím prostředkem. Jsou vyráběny v mnoha velikostech, tvarech a materiálech (viz obr. 2.4)



Obr. 2.4: Tvary hřebíků: (a) kruhový drátěný hřebík, (b) šroubový hřebík, (c) drážkovaný hřebík, (d) zásobník hřebíků pro strojní zarážení

Při provádění hřebíkových spojuje někdy nutné předvrtání otvorů pro hřebíky, aby se zamezilo rozštěpení dřeva a umožnilo zarážení hřebíků do dřeva listnatých druhů s vysokou hustotou. Z jehličnatých druhů se má předvrtávat u douglasky a modřínu. Průměr otvoru přitom nemá být větší než 80% průměru hřebíku.

U dřevěných konstrukcí se hřebíky používají především pro jednostřížné přípoje dřevěných popř. ocelových částí nebo desek na bázi dřeva. Při namáhání na stříh mohou být dosaženy vyšší únosnosti použitím hřebíků se čtvercovým průřezem, nebo zapuštěním ocelových plechů do dřeva a zarážení hřebíků bez předvrtání otvorů skrz plech s tloušťkou do 2 mm. Pro zvýšení únosnosti je k na stříh tak na vytažení se mohou používat speciální hřebíky s profilovaným dřívkem (drážkované nebo šroubované hřebíky). Vykazují větší odolnost proti vytažení a redukuje riziko rozštěpení dřeva.

Hřebíkové spoje dřevo-dřevo

Pro hřebíky průměru do 8 mm se mají používat následující hodnoty charakteristických pevností v otlacení pro všechny úhly k vláknům:

- bez předvrtaných otvorů $f_{h,k} = 0,082\rho_k d^{-3}$ (N/mm^2)
- s předvrtanými otvory $f_{h,k} = 0,082(1-0,01d)\rho_k$ (N/mm^2)

ρ_k se dosazuje v kg/m^3 a d v mm.

Pro obyčejné hladké hřebíky, které jsou vyrobeny z ocelového drátu s minimální pevností v tahu $600 N/mm^2$, se mají používat následující charakteristické hodnoty plastického momentu únosnosti:

$$M_{y,k} = 180d^{2,6} Nmm \text{ pro hřebíky kruhového průřezu, a}$$

$M_{y,k} = 270d^{2,6} Nmm$ pro hřebíky čtvercového průřezu, přičemž d se dosazuje v mm.

Otvory pro hřebíky mají být předvrtány ve dřevě s charakteristickou hustotou $500kg/m^3$ nebo vyšší.

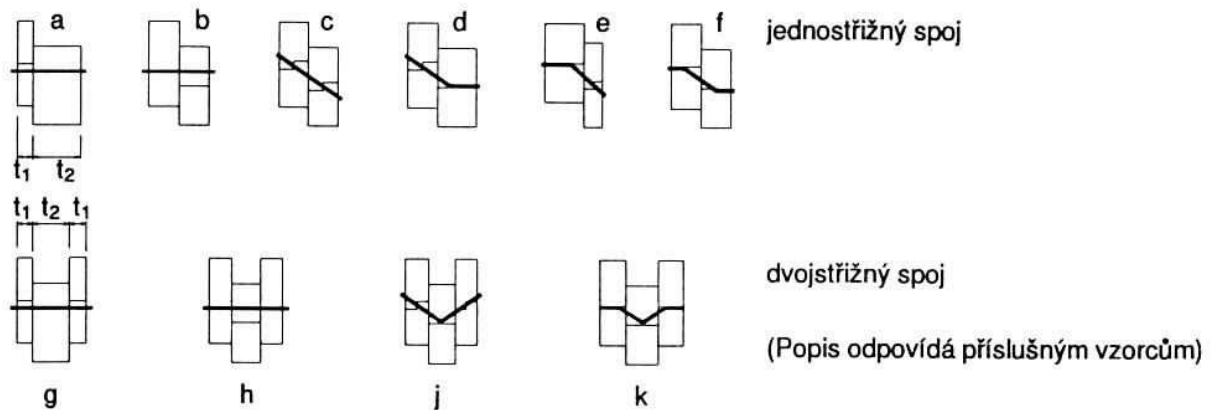
Pro hladké hřebíky má být hloubka zarážení konce hřebíku nejméně 8d. Pro kroužkové a závitové hřebíky má být hloubka zarážení konce hřebíku nejméně 6d.

Obvykle mají být ve spoji alespoň dva hřebíky.

Návrhová únosnost pro jeden stříh jednoho spojovacího prostředku spojí dřevo – dřevo a deska – dřevo má být uvažována jako nejmenší hodnota stanovená podle následujících vztahů:

Návrhové únosnosti jednotlivých spojovacích prostředků:

$$R_d = \min. \left\{ \begin{array}{l} f_{h,1,d} t_1 d \\ f_{h,1,d} t_2 d \beta \\ \frac{f_{h,1,d} t_1 d}{1 + \beta} \left[\sqrt{\beta + 2\beta^2 \left[1 + \frac{t_2}{t_1} + \left(\frac{t_2}{t_1} \right)^2 \right] + \beta^3 \left(\frac{t_2}{t_1} \right)^2} - \beta \left(1 + \frac{t_2}{t_1} \right) \right] \\ 1,1 \frac{f_{h,1,d} t_1 d}{2 + \beta} \left[\sqrt{2\beta(1 + \beta) + \frac{4\beta(2 + \beta) M_{y,d}}{f_{h,1,d} d t_1^2}} - \beta \right] \\ 1,1 \frac{f_{h,1,d} t_2 d}{1 + 2\beta} \left[\sqrt{2\beta^2(1 + \beta) + \frac{4\beta(1 + 2\beta) M_{y,d}}{f_{h,1,d} d t_2^2}} - \beta \right] \\ 1,1 \sqrt{\frac{2\beta}{1 + \beta}} \sqrt{2 M_{y,d} f_{h,1,d} d} \end{array} \right.$$



Obr.2.5: Způsoby porušení pro spoje kolíkového typu (hřebíky, svorníky, kolíky) ze dřeva a desek

Návrhové únosnosti dvojtřížných spojovacích prostředků:

$$R_d = \min. \begin{cases} f_{h,1,d} t_1 d \\ 0,5 f_{h,1,d} t_2 d \beta \\ 1,1 \frac{f_{h,1,d} t_1 d}{2 + \beta} \left[\sqrt{2\beta(1 + \beta) + \frac{4\beta(2 + \beta) M_{y,d}}{f_{h,1,d} d t_1^2}} - \beta \right] \\ 1,1 \sqrt{\frac{2\beta}{1 + \beta}} \sqrt{2 M_{y,d} f_{h,1,d} d} \end{cases}$$

kde značky jsou definovány následovně:

t_1 a t_2 tloušťka dřeva nebo desky, nebo hloubka zaražení spojovacího prostředku,

$f_{h,1}$ ($f_{,2}$) pevnost v otláčení pro t_1 (t_2),

β $f_{h,2,d} / f_{h,1,d}$,

d průměr spojovacího prostředku,

M_y plastický moment únosnosti spojovacího prostředku.

Návrhové hodnoty pevnosti v otláčení $f_{h,1,d}$ nebo $f_{h,2,d}$ mají být vypočteny následovně:

$$f_{h,1,d} = \frac{k_{\text{mod},1} f_{h,1,k}}{\gamma_M}$$

$$f_{h,2,d} = \frac{k_{\text{mod},2} f_{h,2,k}}{\gamma_M}$$

Hodnoty dílčích součinitelů bezpečnosti γ_M :

$\gamma_M = 1,45$ pro dřevo a materiály na bázi dřeva,

$\gamma_M = 1,25$ pro ocel užívanou ve spojích.

Hodnoty modifikačního součinitele k_{mod} jsou uvedeny v tab.2.2

Tab.2.1: Hodnoty modifikačních součinitelů k_{mod}

Materiál / třída trvání zatížení	Třída vlhkosti		
	1	2	3
Rostlé a lepené lamelové dřevo Překližky			
stálé	0,60	0,60	0,50
dlouhodobé	0,70	0,70	0,55
střednědobé	0,80	0,80	0,65
krátkodobé	0,90	0,90	0,70
mžikové (okamžité)	1,10	1,10	0,90
Třískové desky podle prEN 312 - 6 a - 7 OSB podle prEN 300, jakost 3 a 4			
stálé	0,40	0,30	-
dlouhodobé	0,50	0,40	-
střednědobé	0,70	0,55	-
krátkodobé	0,90	0,70	-
mžikové (okamžité)	1,10	0,90	-
Třískové desky podle prEN 312 - 4* a - 5 OSB podle prEN 300, jakost 2 Vláknité desky podle prEN 622 - 5 (tvrdé)			
stálé	0,30	0,20	-
dlouhodobé	0,45	0,30	-
střednědobé	0,65	0,45	-
krátkodobé	0,85	0,60	-
mžikové (okamžité)	1,10	0,80	-
Vláknité desky podle prEN 622 - 3 (polotvrdé a tvrdé)			
stálé	0,20	-	-
dlouhodobé	0,40	-	-
střednědobé	0,60	-	-
krátkodobé	0,80	-	-
mžikové (okamžité)	1,10	-	-
* Nelze užít u třídy vlhkosti 2.			

Návrhová hodnota plastického momentu únosnosti $M_{y,d}$ spojovacího prostředku má být vypočtena následovně:

$$M_{y,d} = \frac{M_{y,k}}{\gamma_M}$$

Hřebíkové spoje ocel - dřevo

Návrhová únosnost pro jeden spojovací prostředek v jednostřížných spojích ocel – dřevo má být uvažována v případě tenké ocelové desky (tj. pro $t \leq 0,5d$, kde t je tloušťka desky) menší hodnotou zjištěnou podle následujících vztahů:

$$R_d = \min. \begin{cases} 0,4 f_{h,1,d} t_1 d \\ 1,1 \sqrt{2 M_{y,d} f_{h,1,d} d} \end{cases}$$

V případě silné ocelové desky (tj. pro $t \geq d$), má být návrhová únosnost uvažována menší hodnotou, zjištěnou podle následujících vztahů:

$$R_d = \min. \begin{cases} 1,1 f_{h,1,d} t_1 d \left[\sqrt{2 + \frac{4 M_{y,d}}{f_{h,1,d} d t_1^2}} - 1 \right] \\ 1,5 \sqrt{2 M_{y,d} f_{h,1,d} d} \end{cases}$$

Pro $0,5d < t < d$ je dovolena lineární interpolace.

Návrhová únosnost pro jeden stříh jednoho spojovacího prostředku dvoustřížných spojů se středním prvkem z oceli má být uvažována nejmenší hodnotou zjištěnou podle následujících vztahů:

$$R_d = \min. \begin{cases} 1,1 f_{h,1,d} t_1 d \\ 1,1 f_{h,1,d} t_1 d \left[\sqrt{2 + \frac{4 M_{y,d}}{f_{h,1,d} d t_1^2}} - 1 \right] \\ 1,5 \sqrt{2 M_{y,d} f_{h,1,d} d} \end{cases}$$

kde značky jsou definovány následovně:

t_1 a t_2 tloušťka dřeva nebo desky, nebo hloubka zaražení spojovacího prostředku,

$f_{h,1}$ ($f_{,2}$) pevnost v otlacení pro t_1 (t_2),

β $f_{h,2,d} / f_{h,1,d}$,

d průměr spojovacího prostředku,

M_y plastický moment únosnosti spojovacího prostředku.

Návrhová únosnost jednoho stříhu spojovacího prostředku dvoustřížných spojů s oběma vnějšími prvky z tenké oceli má být uvažována menší hodnotou zjištěnou podle následujících vztahů:

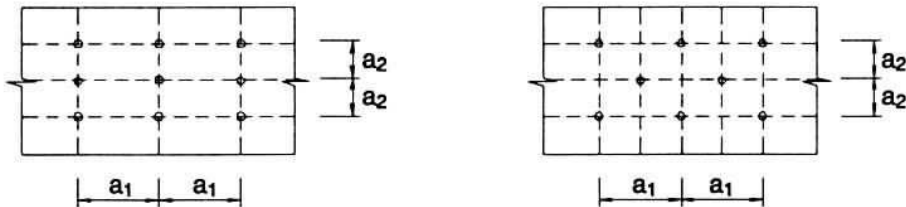
$$R_d = \min. \begin{cases} 0,5 f_{h,2,d} t_2 d \\ 1,1 \sqrt{2 M_{y,d} f_{h,2,d} d} \end{cases}$$

V případě silné ocelové desky (tj. pro $t \geq d$) návrhová únosnost má být uvažována menší hodnotou zjištěnou podle následujících vztahů:

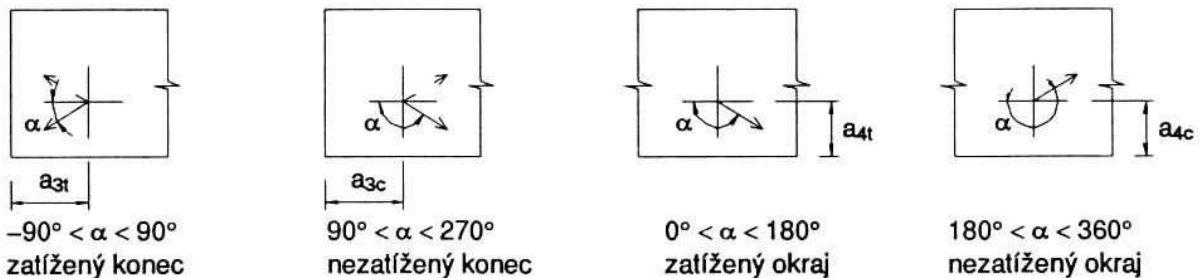
$$R_d = \min. \begin{cases} 0,5 f_{h,2,d} t_2 d \\ 1,1 \sqrt{2 M_{y,d} f_{h,2,d} d} \end{cases}$$

Pro $0,5d < t < d$ je povolena lineární interpolace.

Rozteče rovnoběžně a kolmo k vláknům:



Vzdálenosti od okrajů a konců:



Kde α je úhel mezi směrem síly a směrem vláken.

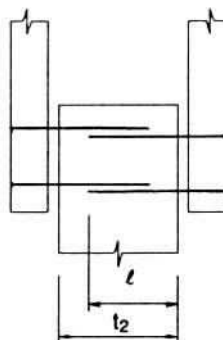
Obr. 2.6: Rozteče a vzdálenosti spojovacích prostředků

Minimální rozteče a vzdálenosti pro hřebíky jsou uvedeny v tab. 2.2

Tab. 2.2: Minimální rozteče a vzdálenosti pro hřebíky

Rozteče a vzdálenosti	Bez předvrtaných otvorů		S předvrtanými otvory
	$\rho_k \leq 420 \text{ kg/m}^3$	$420 < \rho_k < 500 \text{ kg/m}^3$	
a_1	$d < 5\text{mm:}$ $(5 + 5 \cos\alpha)d$ $d \geq 5\text{mm:}$ $(5 + 7 \cos\alpha)d$	$(7 + 8 \cos\alpha)d$	$(4 + 3 \cos\alpha)d^*$
a_2	$5d$	$5d$	$(3 + \sin\alpha)d$
$a_{3,t}$ (zatížený konec)	$(10 + 5\cos\alpha)d$	$(15 + 5\cos\alpha)d$	$(7 + 5\cos\alpha)d$
$a_{3,c}$ (nezatížený konec)	$10d$	$15d$	$7d$
$a_{4,t}$ (zatížený okraj)	$(5 + 5\sin\alpha)d$	$(7 + 5\sin\alpha)d$	$(3 + 4\sin\alpha)d$
$a_{4,c}$ (nezatížený okraj)	$5d$	$7d$	$3d$
* Minimální rozteče a_1 smí být sníženy až na $4d$, je-li pevnost v otláčení $f_{h,k}$ snížena součinitelem $\sqrt{a_1 / (4 + 3 \cos\alpha)d}$.			

Jestliže $(t_2 - l)$ je větší než $4d$ (viz obr.2.7), potom se smí hřebíky bez předvrtaných otvorů, zaražené ze dvou stran, překrývat v prostředním prvku.



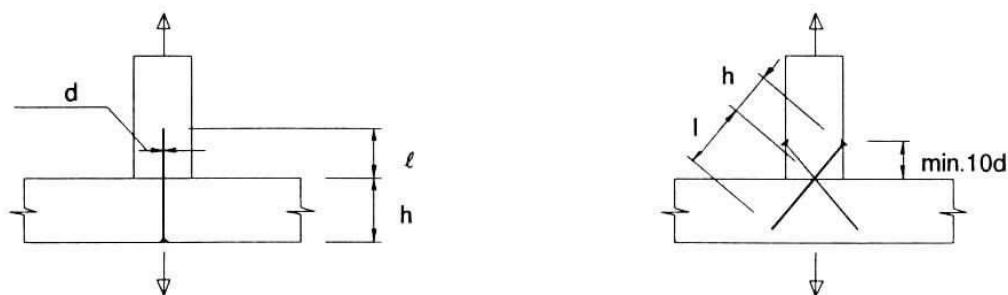
Obr.2.7: Překrývání hřebíků

Pro hřebíky bez předvrtaných otvorů mají mít dřevěné prvky minimální tloušťku t , kde

$$t = \max. \quad 7d, \text{ nebo} \\ (13d - 30)\rho_k / 400$$

Hřebíky namáhané ve směru dřívku

Únosnost hřebíků s hladkým dřívkem, namáhaných ve směru dřívku je poměrně nízká a redukuje se účinkem změn vlhkosti dřeva. Nemají se používat pro stálá nebo dlouhodobá zatížení. Nejvyšší únosnosti na vytažení se dosáhne je – li hřebík zaražen kolmo ke směru vláken. Hřebíky v čele dřeva mají zpravidla zanedbatelnou únosnost na vytažení.



Obr.2.8: Hřebíky namáhané ve směru dřívku

Návrhová únosnost hřebíků na vytažení, pro hřebíkování kolmo na vlákna a pro šikmé hřebíkování se má uvažovat jako nejmenší z hodnot podle vzorců

- pro všechny hřebíky

$$R_d = f_{1,d} dl \quad (\text{odpovídá vytažení hřebíku z prvku do něhož proniká hrot})$$

- pro hladké hřebíky

$$R_d = f_{1,d} dh + f_{2,d} d^2 \quad (\text{odpovídá protažení hlavičky hřebíku})$$

- pro kroužkové a závitové hřebíky

-

$$R_d = f_{2,d} d^2 \quad (\text{odpovídá protažení hlavičky hřebíku})$$

Průnik hrotu l se má uvažovat minimálně $12d$ pro hladké hřebíky a $8d$ pro ostatní hřebíky.

Pro hladké hřebíky kruhového průřezu se mají používat následující charakteristické hodnoty:

$$f_{1,k} = (18 \cdot 10^{-6}) \rho_k^2 \quad \text{N/mm}^2$$

$$f_{2,k} = (300 \cdot 10^{-6}) \rho_k^2 \quad \text{N/mm}^2$$

ρ_k se dosazuje v kg/m^3 .

Pro stavební dřevo, které je zabudováno na mezi nasycení vláken, a které bude pravděpodobně vysychat při působení zatížení se mají hodnoty $f_{1,k}$ a $f_{2,k}$ přenásobit 2/3.

Hřebíky namáhané současně příčně a osově

Pro spoje zatížené kombinací osového zatížení (F_{ax}) a příčného zatížení (F_{la}) mají být splněny následující podmínky:

- pro hladké hřebíky

$$\frac{F_{ax,d}}{R_{ax,d}} + \frac{F_{la,d}}{R_{la,d}} \leq 1$$

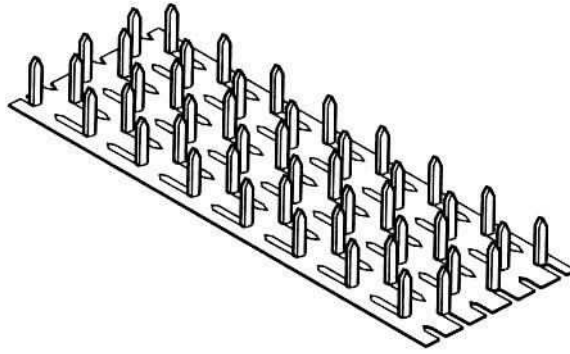
- pro kroužkové a závitové hřebíky

$$\left(\frac{F_{ax,d}}{R_{ax,d}} \right)^2 + \left(\frac{F_{la,d}}{R_{la,d}} \right)^2 \leq 1$$

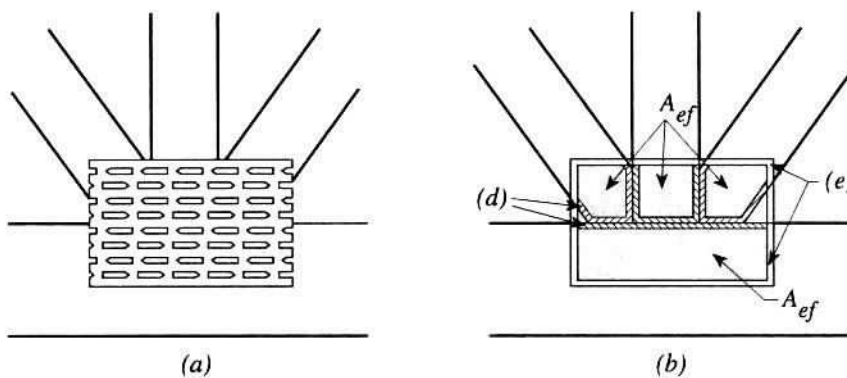
kde $R_{ax,d}$ a $R_{la,d}$ jsou návrhové únosnosti spoje zatíženého pouze osovým zatížením nebo pouze příčným zatížením.

2.2.2 Styčnickové desky s prolisovanými trny

Styčnickové desky s prolisovanými trny se vyrábějí z pozinkovaných ocelových plechů s tloušťkou 0,9 až 2,5 mm (viz obr. 2.9).

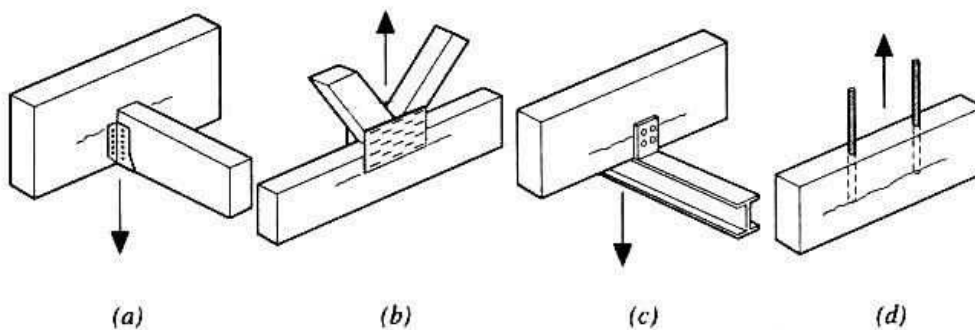


Obr. 2.9: Typická styčníková deska s prolisovanými trny

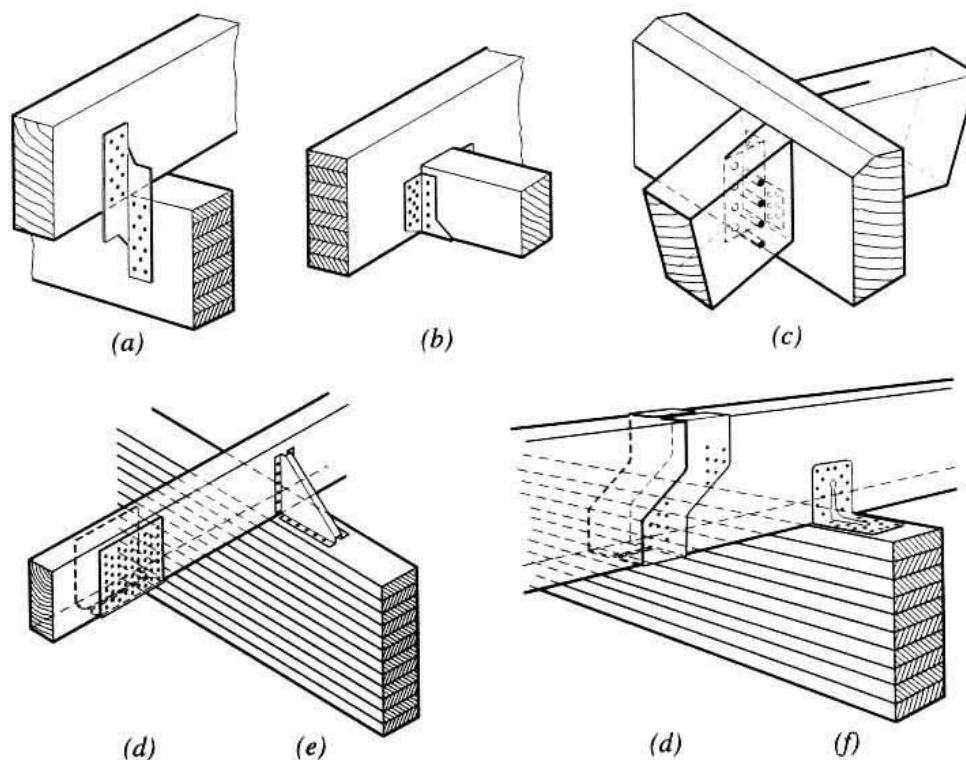


Obr. 2.10: Typický spoj – (a) pohled, (b) účinné plochy připojení.

Výroba spojů vyžaduje speciální zařízení ve výrobním závodě. Styčníkové desky s prolisovanými trny se používají zejména pro lehké dřevěné příhradové nosníky. Nejmenší tloušťka jednotlivých prvků má být 35 mm.



Obr.2.11: Příklady příčných přípojů s možným vznikem trhlin.



Obr.2.12: Spoje s tvarovými součástmi z ocelového plechu. (a) příchytka krokve k vaznici, (b) patka nosníku, (c) integrální spojovací prostředek, (d) Gerberův spojovací prostředek, (e) zarážka, (f) úhelníkový spojovací prostředek.

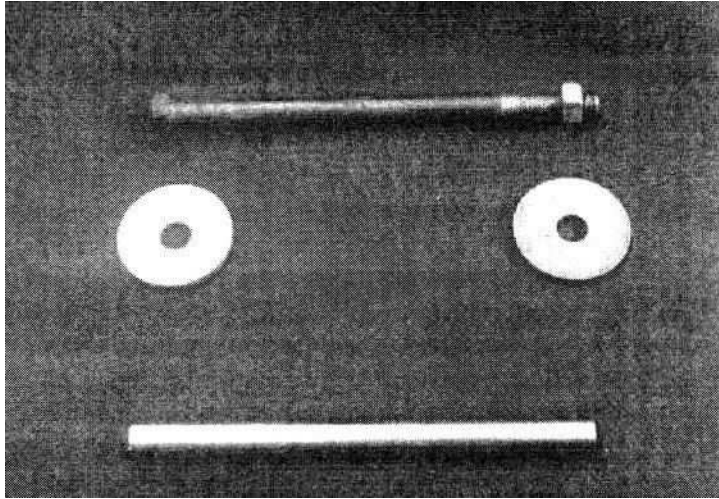
2.2.3 Svorníky a kolíky

Svorníky jsou kolíkové spojovací prostředky z oceli, které jsou opatřeny hlavou a maticí.

Svorníky se zpravidla vyrábějí z obyčejné oceli se šestihranou nebo čtvercovou hlavou a maticí. Průměry jsou mezi 12 až 30 mm (viz obr. 2.13). Svorníky se osazují do předvrtaných otvorů, které smí být o 1 mm větší než je průměr svorníků a potom utahují takovým způsobem, aby prvky byly v těsném kontaktu.

Je – li svorník zaražen do otvoru, jehož průměr odpovídá průměru svorníku (těsný svorníkový spoj), potom působí jako kolík a je možné použít pravidla navrhování pro kolíkové spoje.

Ke každému svorníku patří oboustranné podložky, jejichž délka strany popř. průměr má být nejméně $3d$ a tloušťka nejméně $0,3d$ (d je průměr svorníku).



Obr.2.13: Svorník s podložkami (nahore) a kolík (dole)

Pro jednoduché osazení svorníků se dovolují předvrtané otvory s průměrem o 1 mm větším.

Svorníkové spoje dřevo – dřevo

Pro svorníky do průměru 30 mm se mají používat následující hodnoty charakteristických pevností v otlacení pro úhel α k vláknům:

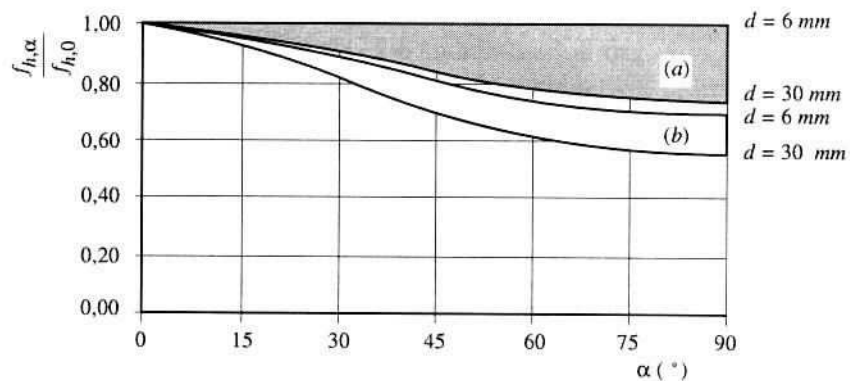
$$f_{h,\alpha,k} = \frac{f_{h,0,k}}{k_{90} \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha}$$

kde je $f_{h,0,k} = 0,082(1 - 0,01d)\rho_k$ (N/mm^2)

$k_{90} = 1,35 + 0,015d$ pro měkké dřevo

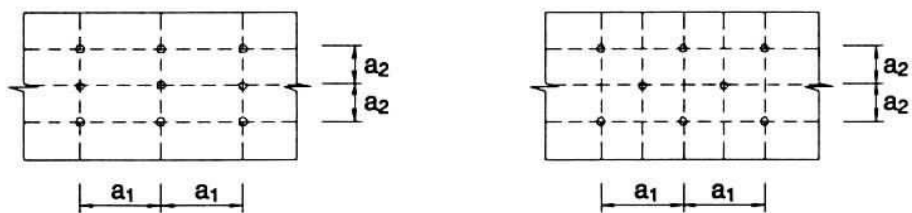
$k_{90} = 0,90 + 0,015d$ pro tvrdé dřevo

ρ_k se dosazuje v kg/m^3 a d v mm.

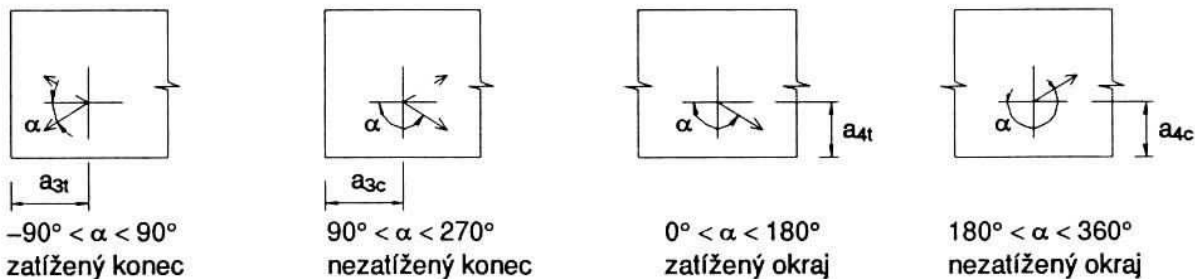


Obr 2.14: Poměr $f_{h,\alpha} / f_{h,0}$ v závislosti na úhlu mezi směrem síly a směrem vláken dřeva (a - listnaté dřevo; b – jehličnaté řezivo)

Rozteče rovnoběžně a kolmo k vláknům:



Vzdálenosti od okrajů a konců:



Kde α je úhel mezi směrem síly a směrem vláken.

Obr. 2.6: Rozteče a vzdálenosti spojovacích prostředků

Tab. 2.3: Minimální rozteče a vzdálenosti pro svorníky

a_1	Rovnoběžně s vláknem	$(4 + 3 \cos\alpha)d$ *
a_2	Kolmo k vláknům	4d
$a_{3,t}$	$-90^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$	7d (minimálně 80 mm)
$a_{3,c}$	$150^\circ \leq \alpha \leq 210^\circ$	4d
	$90^\circ < \alpha < 150^\circ$ $210^\circ < \alpha < 270^\circ$	$(1 + 6 \sin\alpha)d$ (minimálně 4d)
$a_{4,t}$	$0^\circ \leq \alpha \leq 180^\circ$	$(2 + 2\sin\alpha)d$ (minimálně 3d)
$a_{4,c}$	všechny ostatní hodnoty úhlu α	3d
* Minimální rozteče a_1 smí být dále sníženy až na 4d, je-li pevnost v otláčení $f_{h,0,k}$ snížena součinitelem $\sqrt{a_1 / (4 + 3 \cos\alpha)d}$.		

Pro ocelové svorníky kruhového průřezu se má používat následující charakteristická hodnota plastického momentu únosnosti:

$$M_{y,k} = 0,8 f_{u,k} d^3 / 6$$

kde $f_{u,k}$ je charakteristická pevnost v tahu.

Je-li v řadě za sebou ve směru působení síly více než 6 svorníků má se návrhová únosnost svorníků nad počet 6 snížit o 1/3, tj. účinný počet svorníků je n_{ef} :

$$n_{ef} = 6 + 2/3(n - 6)$$

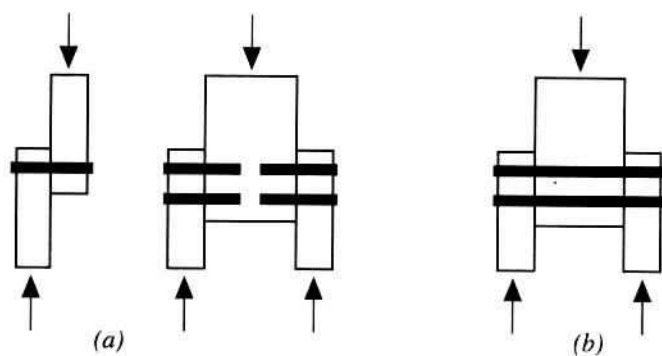
Osově namáhané svorníky

Musí se posoudit, je-li vyhovující pevnost svorníku v tahu a velikost podložky.

Návrhové napětí v tlaku pod podložkou nemá překročit $1,8 f_{c,90,d}$.

Kolíkové spoje

Kolíky jsou štíhlé ocelové válcové tyče s hladkým, někdy také lehce drážkovaným povrchem. Nejmenší průměr kolíků je 6 mm. Otvory pro kolíky se předvrtávají s jmenovitým průměrem. Otvory v ocelovém plechu se smí předvrtat o 1 mm větší než je průměr kolíku, přídatné deformace musí být přiměřeně uváženy.

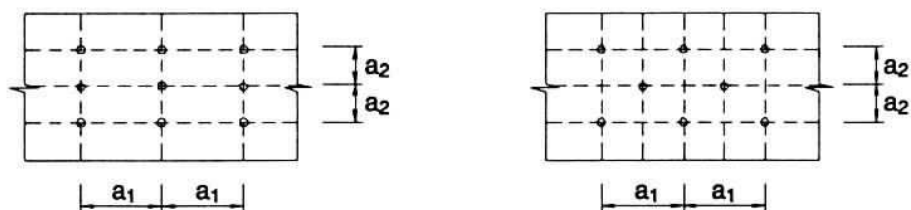


Obr. 2.15: Spoje s kolíkovými spojovacími prostředky namáhané na stříh : (a) jednostřížné spoje (jedna stříhová spára na kolík), (b) dvojestřížný spoj (dvě stříhové spáry na kolík).

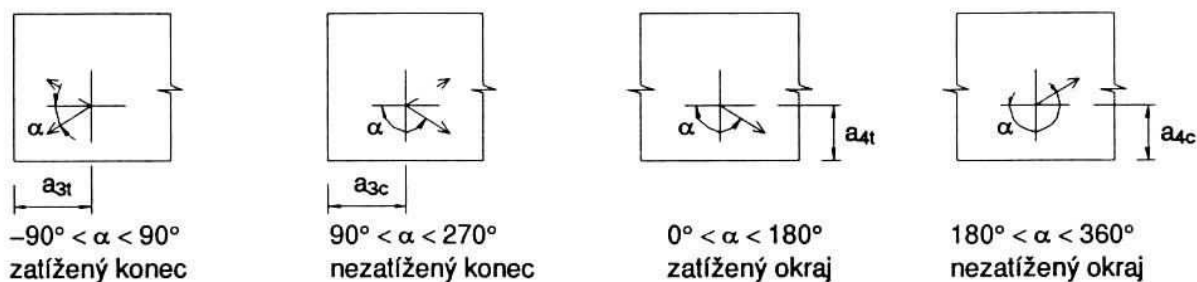
Pro kolíkové spoje platí stejná pravidla jako pro příčně namáhané svorníky.

Minimální rozteče a vzdálenosti pro kolíky jsou uvedeny v tab.2.4. Značky jsou definovány na obr. 2.6

Rozteče rovnoběžně a kolmo k vláknům:



Vzdálenosti od okrajů a konců:



Kde α je úhel mezi směrem síly a směrem vláken.

Obr.2.6: Rozteče a vzdálenosti spojovacích prostředků

Tab. 2.4: Minimální rozteče a vzdálenosti pro kolíky

a_1	Rovnoběžně s vlákny	$(3 + 4 \cos\alpha)d$ *
a_2	Kolmo k vláknům	$3d$
$a_{3,t}$	$-90^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$	$7d$ (minimálně 80 mm)
$a_{3,c}$	$150^\circ \leq \alpha \leq 210^\circ$	$3d$
	$90^\circ < \alpha < 150^\circ$ $210^\circ < \alpha < 270^\circ$	$a_{3,t} \sin\alpha $ (minimálně 3d)
$a_{4,t}$	$0^\circ \leq \alpha \leq 180^\circ$	$(2 + 2\sin\alpha)d$ (minimálně 3d)
$a_{4,c}$	všechny ostatní hodnoty úhlu α	$3d$
* Minimální rozteče a_1 smí být sníženy až na $4d$, je-li pevnost v otlacení $f_{h,o,k}$ snížena součinitelem $\sqrt{a_1/(3 + 4 \cos\alpha)d}$.		

Parametry ovlivňující únosnost spojů s kolíkovými spojovacími prostředky jsou :

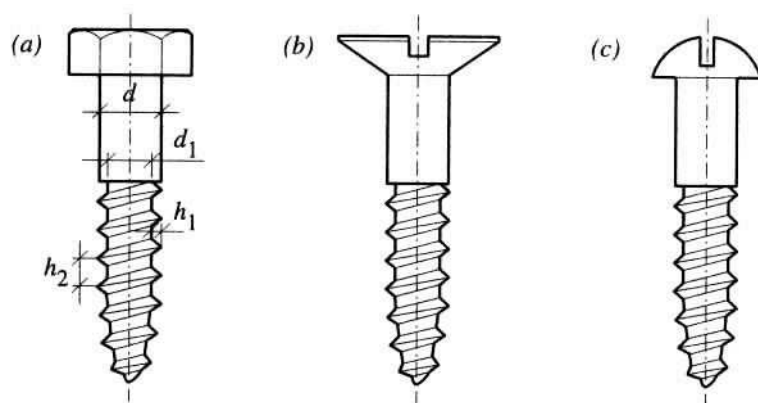
- pevnost v otláčení stěny otvoru dřevěných prvků nebo materiálů na bázi dřeva použitých ve spoji,
- geometrie spoje,
- pevnost materiálu spojovacích prostředků.

Únosnost v otláčení stěny otvoru závisí na:

- hustotě dřevěných prvků nebo materiálů na bázi dřeva,
- průměru spojovacích prostředků,
- úhlu mezi silou a směrem vláken,
- tření mezi spojovacím prostředkem a dřevem.

Pevnost v otláčení stěny otvoru vzrůstá lineárně s hustotou dřeva. Malé vzdálenosti spojovacích prostředků mezi sebou a od okrajů vedou k předčasnému selhání dřevěných prvků. Dostatečnými vzdálenostmi spojovacích prostředků se zamezí rozštěpení dřevěných prvků. Působí-li síla šikmo ke směru vláken, musí se uvážit vliv napětí v tahu kolmo k vláknům. Při více než šesti spojovacích prostředcích za sebou v jedné řadě je nutno redukovat návrhovou únosnost spoje.

2.2.4 Vrutý



Obr. 2.16: Typické vruty do dřeva: (a) vrut se šestihrannou hlavou, (b) zápusťný vrut, (c) vrut s půlkulovou hlavou.

Příčně namáhané vruty

Pro vruty o průměru menším než 8 mm platí stejná pravidla jako pro hřebíky.

Pro vruty o průměru 8 mm a větším platí stejná pravidla jako pro svorníky.

V příslušných vzorcích se má za d dosazovat průměr vrutu v mm měřený na hladkém dřívku.

Pro výpočet hodnoty $M_{y,k}$ se má použít účinný průměr $d_{ef} = 0,9d$ za předpokladu, že průměr jádra závitu vrutu není menší než $0,7d$.

Jestliže délka hladkého dřívku v prvku, do něhož proniká vrut, není menší než $4d$, smí se pro výpočet hodnoty $M_{y,k}$ použít průměr hladkého dřívku.

Předpokládá se, že:

- vruty jsou zašroubovány do předvrtaných otvorů ($0,7$ průměru dřívku);
- délka hladkého dřívku je větší nebo rovna tloušťce prvku pod hlavou vrutu.

Hloubka zašroubování vrutu (tj. délka v prvku, do kterého proniká hrot) má být minimálně $4d$.

Osově namáhané vruty

Návrhová únosnost vrutů na vytažení, zašroubovaných v pravých úhlech k vláknům:

$$R_d = f_{3,d}(l_{ef} - d)$$

kde $f_{3,d}$ je návrhový parametr pro vytažení;

l_{ef} délka závitové části v mm v prvku, do něhož proniká vrut;

d průměr v mm měřený na hladkém dřívku.

Minimální rozteče a hloubky zašroubování mají být takové, jak je uvedeno pro příčně namáhané vruty.

Vruty namáhané současně příčně a osově

Má být splněna podmínka: $\left[\frac{F_{ax,d}}{R_{ax,d}} \right]^2 + \left[\frac{F_{la,d}}{R_{la,d}} \right]^2 \leq 1$

kde $F_{ax,d}$ je osová síla;

$F_{la,d}$ příčná síla;

$R_{ax,d}$ návrhová únosnost spoje namáhaného osovou silou;

$R_{la,d}$ návrhová únosnost spoje namáhaného příčnou silou.

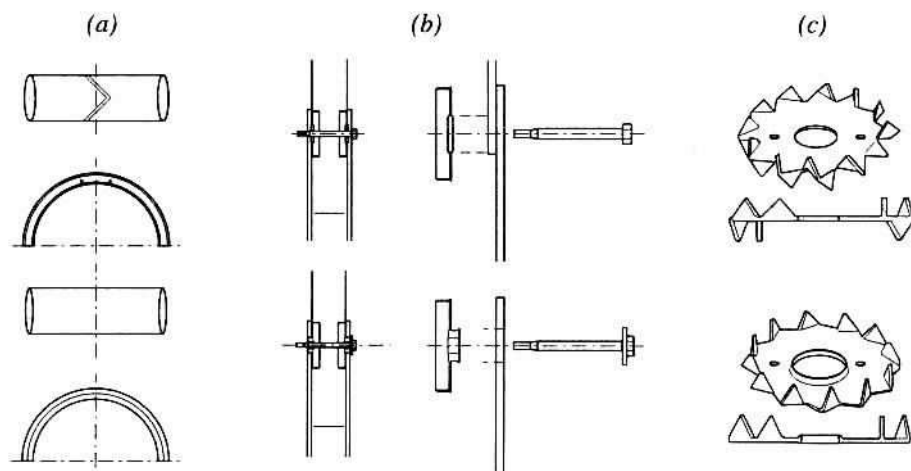
Návrhový parametr pro vytažení $f_{3,d}$ se určuje z charakteristického parametru pro vytažení $f_{3,k}$.

$$f_{3,k} = (1,5 + 0,6d)\sqrt{\rho_k}$$

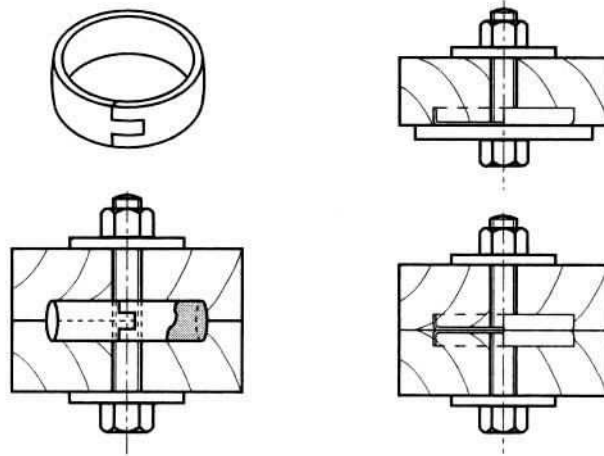
ρ_k se dosazuje v kg/m^3 a d v mm.

Speciální hmoždíky

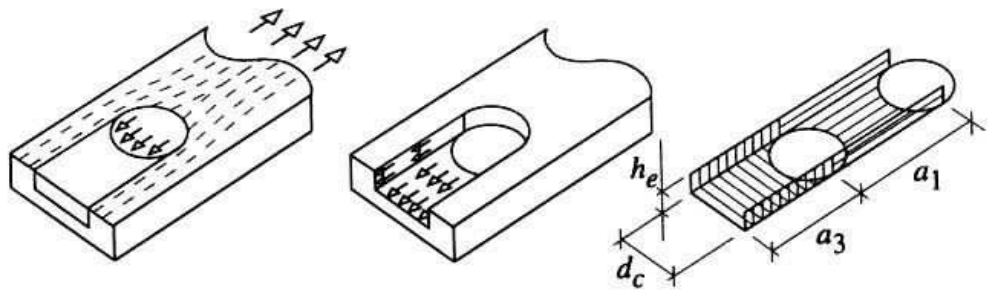
Speciální hmoždíky mohou přenášet velká zatížení vzhledem na zvětšení namáhané plochy dřeva. Ve styčnicích příhradových konstrukcích lze dosáhnout téměř ideálně kloubové spoje, použije-li se v každé spáře jediný speciální hmoždík. Na obr. 2.17 jsou typické vkládané zalisované hmoždíky.



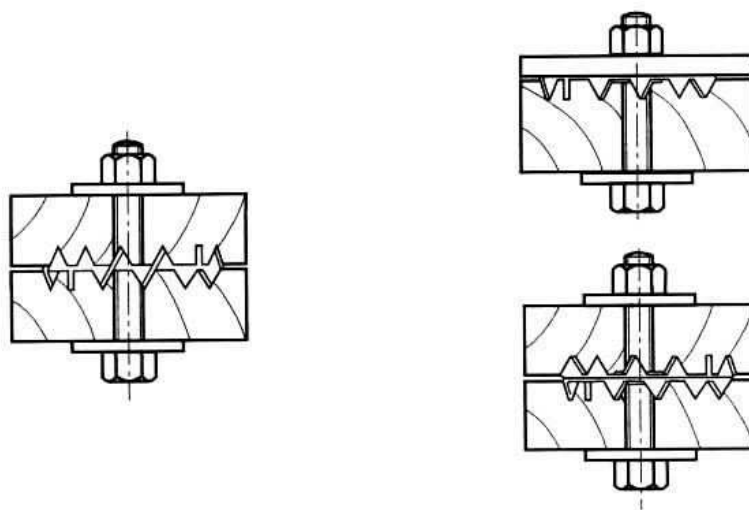
Obr. 2.17: Speciální hmoždíky: (a) dvoustranné vkládané hmoždíky, (b) jednostranné vkládané hmoždíky, (c) jednostranné a dvoustranné zalisované hmoždíky



Obr. 2.18: Spoj s dvoustrannými (vlevo) a jednostrannými (vpravo) vkládanými hmoždíky



Obr. 2.19: Napětí ve spoji s vkládanými hmoždíky s příslušnými smykovými plochami.



Obr. 2.20: Spoj s dvoustrannými (vlevo) a jednostrannými (vpravo) zalisovanými hmoždíky.

Jednostranné a dvoustranné vkládané hmoždíky se vyrábějí z litiny, oceli nebo z hliníkových slitin, s průměry mezi 60 a 260 mm. Pro osazení a nosné působení tohoto typu hmoždíku je důležitá přesnost při frézování a vrtání.

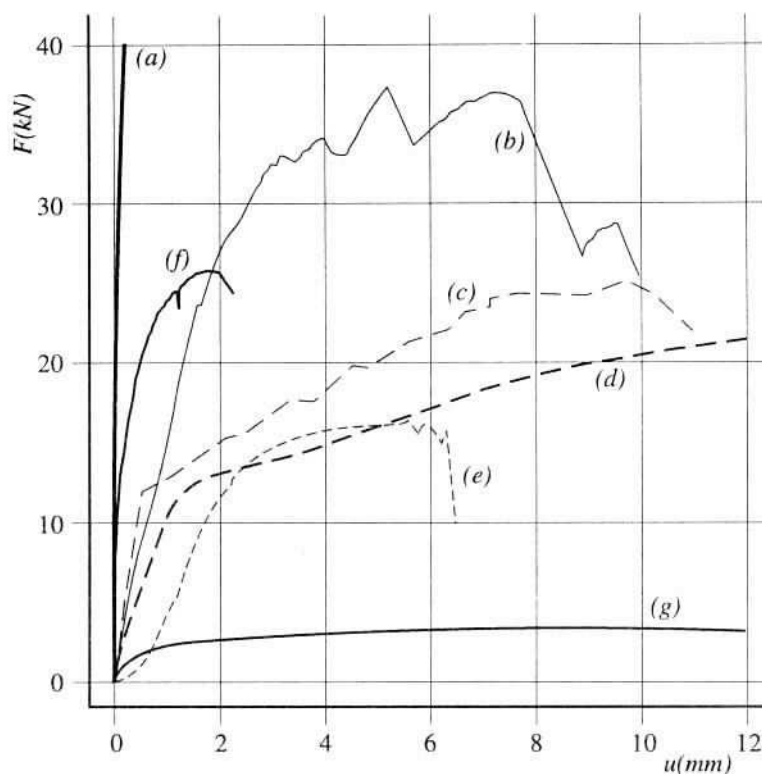
Jiným typem jsou zalísované hmoždíky vyráběné z litiny nebo zinkovaného plechu s průměry od 38 do 165 mm.

Větší hmoždíky se používají pro spojování konstrukčních prvků z lepeného lamelového dřeva. Pro konstrukční řezivo se používají průměry do 75 mm. Pro omezení účinků příčných ohybových momentů musí být spoje zajištěny spojovacími prostředky s kruhovými nebo čtvercovými podložkami.

Dvoustranné vkládané nebo zalísované hmoždíky se používají ve spojích dřevěných prvků podobným způsobem. Přenášejí sílu bezprostředně mezi povrchy spojovaných prvků. Spoj se zpravidla zhotovuje na staveništi. Umožňují prefabrikaci spojů, na staveništi se osadí pouze svorníky.

Přetvárné chování spojovacích prostředků

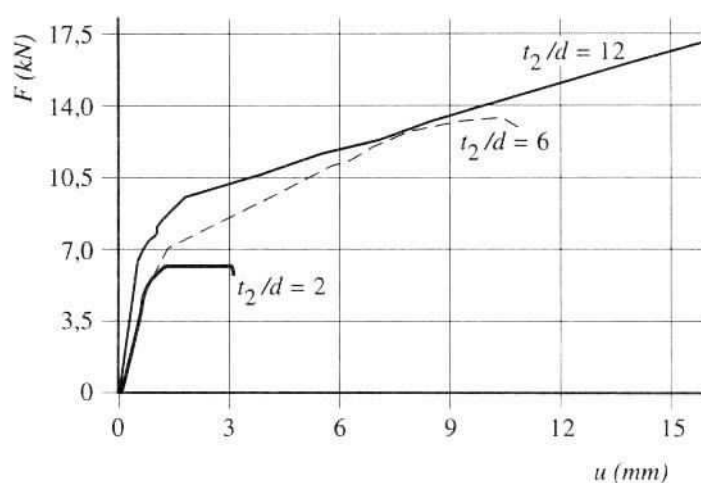
Mechanické spojovací prostředky vykazují na rozdíl od tuhých lepených spojů velká přetvoření. Chování spojů závisí na tuhosti spojů a na koncentraci napětí ve smyku a v tahu kolmo k vláknům. Špičky napětí způsobují křehké chování jednostranných a dvoustranných vkládaných hmoždíků. Ostatní spojovací prostředky vykazují pružně plastické chování, které vyplývá z přetvoření spojovacích prostředků a deformace dřeva otlačením.



Obr. 2.21: Experimentální křivky zatížení – přetvoření pro spoje při namáhání tahem rovnoběžně s vlákny: (a) lepený spoj, (b) vkládaný hmoždík, (c) dvoustranný zalísovaný hmoždík, (d) kolík, (e) svorník, (f) styčnicková deska s prolisovanými trny, (g) hřebík.

U svorníkových spojů dochází k počátečnímu prokluzu s ohledem na vůle v otvorech. To vede ke křehkému chování a zmenšuje únosnost spojů s více spojovacími prostředky. K počátečnímu prokluzu může docházet také u jednostranných vkládaných nebo zalisovaných hmoždíků. Styčnickové desky s prolisovanými trny vykazují malou kapacitu pro plastické přetvoření. V závislosti na geometrických imperfekcích v mezích výrobních tolerancí může docházet ke křehkému porušení.

Poddajnost kolíkových spojů závisí také na štíhlosti spojovacích prostředků, jak je patrné z obr. 2.22. Štíhlost dvoustřížného spoje může být zjednodušeně definována jako poměr tloušťky středního dřevěného prvku a průměru kolíku.



Obr. 2.22: Vliv štíhlosti kolíku na závislost zatížení – přetvoření spoje dřevo – dřevo při namáhání tahem rovnoběžně s vlákny.

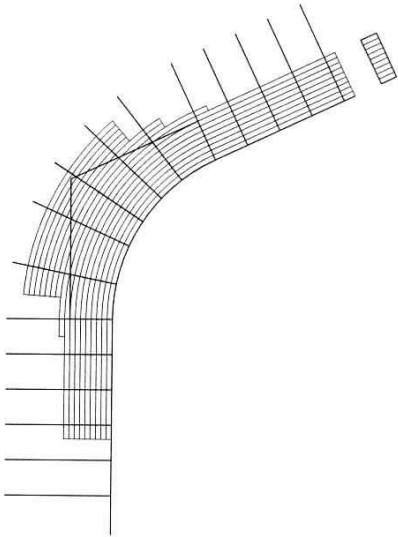
2.3 Lepené spoje



Lepené lamelové dřevo je vysokohodnotný konstrukční materiál. Má řadu výhod proti rostlému dřevu. Pro únosnost lepeného lamelového dřeva má prvořadý význam třídění lamel podle pevnosti, jakost zubovitých spojů a jakost lepených spojů.

Výrobou tzv. nekonečné lamely jsou teoreticky možné neomezené rozměry nosných prvků. Omezení existují s ohledem na velikosti frézovacích strojů, výrobních prostor, z architektonických důvodů nebo s ohledem na přepravu (délka 16 m, šířka 2,5 m, výška 3,5 m).

Možnost zakřivení jednotlivých lamel před lepením dovoluje výrobu působivých tvarů nosných prvků. S ohledem na průhyby je možné provést nadvýšení nosníku.

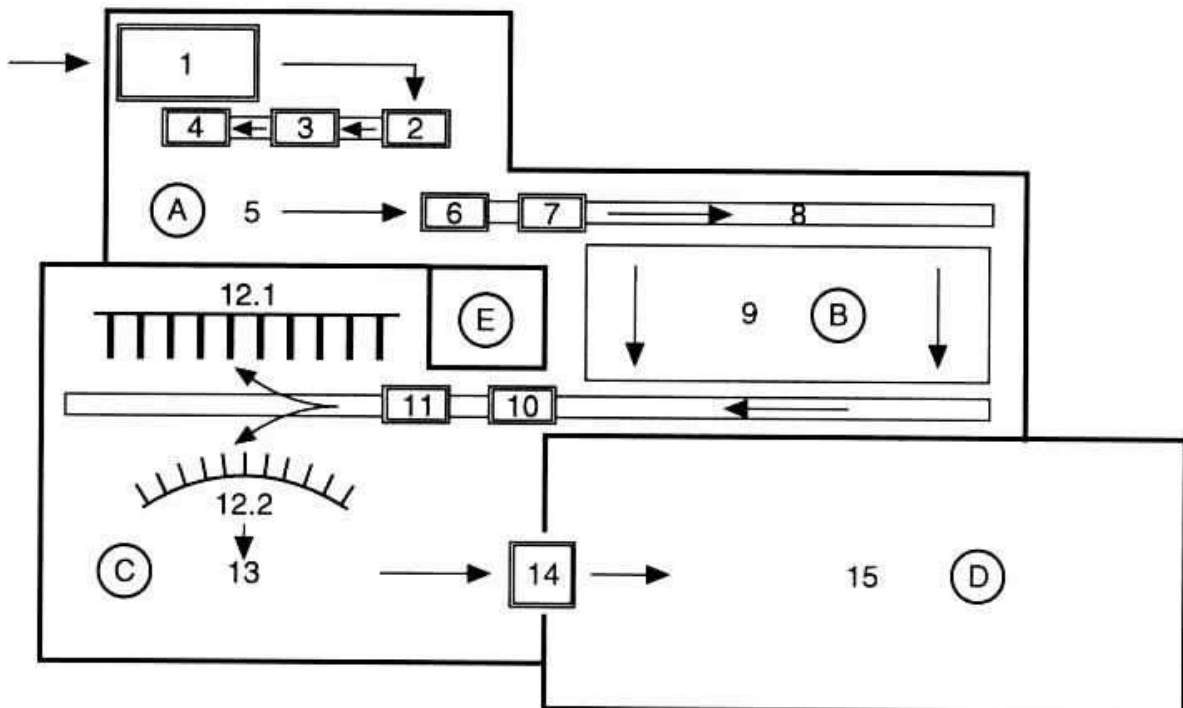


Obr. 2.23: Skladba nadvýšeného sedlového nosníku s různě dlouhých lamel

Vyšší pevnost a tuhost se dosáhne vzhledem k výrobnímu postupu při kterém se eliminují vady dřeva u jednotlivých lamel. Výběr lamel umožňuje přizpůsobit jakost lamel napětí působícímu na nosníku. Do vysoce namáhaných vnějších oblastí nosníků se umístí lamely vyšší třídy pevnosti, ve vnitřní oblasti mohou být použity lamely nižší jakosti. To umožňuje hospodárnější využití dřeva.

Používaná lepidla vyžadují vlhkost dřeva menší než 15%. Z toho důvodu se řezivo uměle vysouší na vlhkost asi 12%.

Výroba lepeného lamelového dřeva pozůstává ze sledu pracovních pochodů, které jsou znázorněny na obrázku 2.24

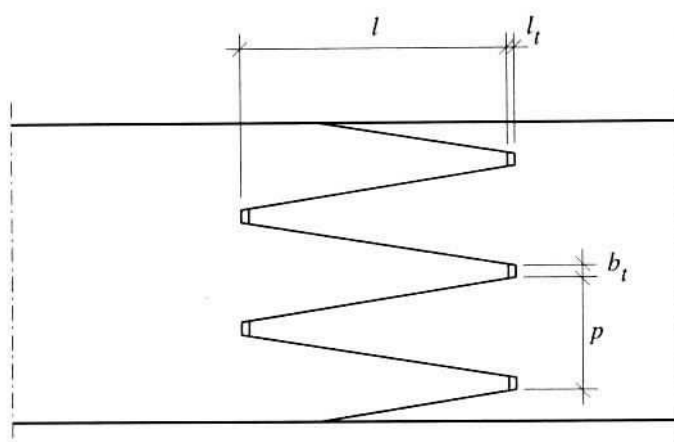


Obr. 2.24: Výroba lepeného lamelového dřeva

A Příprava řeziva

Lepené lamelové dřevo se vyrábí z řeziva maximální tloušťky 45 mm a délky 1,5 – 5 m. Řezivo se uměle vysouší (1) na vlhkost maximálně 15%, což vyžadují používaná lepidla. Po vysušení se řezivo frézuje (2) a třídí (3), kapuje (4) a vláká do hraní (5).

B Nastavování zubovitým spojem



Obr. 2.25: Zubovitý profil (l – délka ozubu, p – rozteč ozubů, b_t – šířka tupého zakončení ozubů, l_t – vůle v zubovitém spoji)

Na čelních koncích se přířezy vzájemně spojují zubovitým spojením (viz obr. 2.25) a vytvářejí tak tzv. nekonečnou lamelu. Zubovitý profil se vyfrézuje v čele přířezu a nanese se lepidlo (6), potom se přířezy slisují (7). Z nekonečné lamely se odřezávají lamely požadované délky (8) a ukládají se do hraní (9).

C Lepení

Lamely se frézují (10) a nanáší se lepidlo (11). Potom se lamely uloží vedle sebe na stojato a zalisují se. Lisovací přípravky umožňují výrobu příčných i zakřivených nosníků.

D Konečná úprava

Nosníky se frézují z bočních stran (14) pro dosažení rovinných povrchů. Konečná úprava (15) zahrnuje opatření, která se musí provádět na staveništi (např. vrtání otvorů, aplikace ochranných látek na dřevo, atd.)

E Příprava lepidel

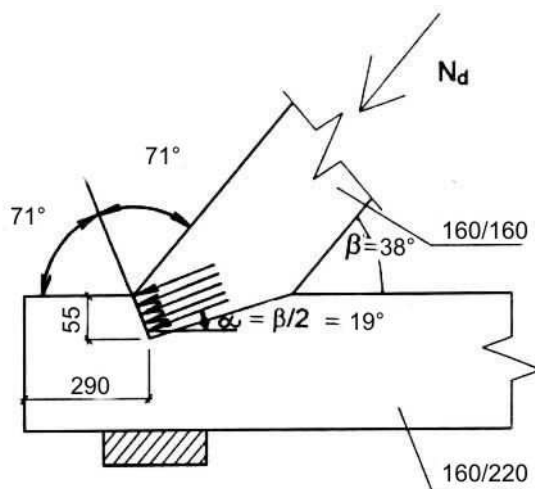
Nepřivádí li se pryskyřice a tvrdidlo přímo ze skladovacích nádrží a nemíchají - li se automaticky při nanášení, musí být k dispozici samostatný prostor pro přípravu lepidla (smíchání pryskyřice a tvrdidla).

3 Příklady

3.1 Šikmé jednoduché zapuštění



Posouzení šikmého jednoduchého zapuštění. Zapuštění (viz obrázek) je provedeno z rostlého smrkového dřeva a zabudováno ve třídě vlhkosti 1. Materiálové parametry dřeva jsou $f_{c,0,k} = 20$ Mpa, $f_{c,90,k} = 5,1$ Mpa a $f_{v,k} = 2,4$ Mpa. Šikmý prvek zapuštění svírá s vodorovným prvkem úhel $\beta = 38^\circ$. V ose šikmého prvku působí návrhová osová síla $N_d = 68$ kN (dlouhodobá).



Obr. 3.1: Šikmé jednoduché zapuštění.

Návrhové pevnosti v tlaku rovnoběžně a kolmo k vláknům

$$f_{c,0,d} = k_{\text{mod}} * \frac{f_{c,0,k}}{\gamma_M} = 0,7 * \frac{20}{1,45} = 9,66 \text{ MPa}$$

$$f_{c,90,d} = k_{\text{mod}} * \frac{f_{c,90,k}}{\gamma_M} = 0,7 * \frac{5,1}{1,45} = 2,46 \text{ MPa}$$

Návrhová pevnost v tlaku pod úhlem k vláknům (vztahující se k posouzení otlacení v čelní ploše zapuštění výšky 55 mm) $\alpha = \beta/2$

$$f_{c,\alpha,d} = \frac{f_{c,0,d}}{\frac{f_{c,0,d}}{f_{c,90,d}} * \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha} = \frac{9,66}{\frac{9,66}{2,46} * \sin^2 19^\circ + \cos^2 19^\circ} = 7,37 \text{ MPa}$$

Návrhová pevnost ve smyku (vztahující se k smyknutí zhlaví zapuštění délky 290 mm)

$$f_{v,d} = k_{\text{mod}} * \frac{f_{v,k}}{\gamma_M} = 0,7 * \frac{2,4}{1,45} = 1,16 \text{MPa}$$

Posouzení zapuštění na otačení a usmyknutí

$$\sigma_{c,a,d} = \frac{N_d * \cos^2 \alpha}{b * l_z} = \frac{68 * 10^3 * \cos^2 19^\circ}{160 * 55} = 6,91 \text{MPa} \leq 7,37 \text{MPa}$$

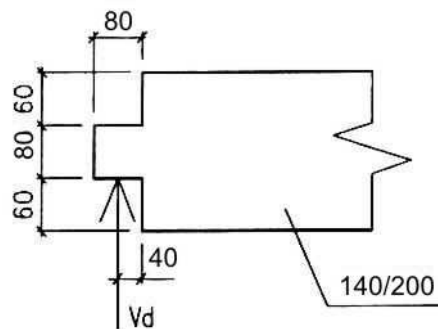
$$\tau_{v,d} = \frac{N_d * \cos \beta}{b * l_z} = \frac{68 * 10^3 * \cos 38^\circ}{160 * 290} = 1,15 \text{MPa} \leq 1,16 \text{MPa}$$

Šikmé jednoduché zapuštění vyhovuje.



3.2 Čepový spoj

Posouzení čepu nosníku. Nosník s čepem (viz obrázek) je proveden z rostlého modřínového dřeva a zabudován je ve třídě vlhkosti 2. Materiálové parametry dřeva jsou $f_{v,k} = 2,4 \text{ Mpa}$ a $f_{c,90,k} = 5,1 \text{ Mpa}$. Čep je zatížen návrhovou posouvající silou $V_d = 4,0 \text{ kN}$ (dlouhodobou).



Obr. 3.2: Čepový spoj

Návrhové pevnosti ve smyku a v tlaku kolmo k vláknům

$$f_{v,d} = k_{\text{mod}} * \frac{f_{v,k}}{\gamma_M} = 0,7 * \frac{2,4}{1,45} = 1,16 \text{ MPa}$$

$$f_{c,90,d} = k_{\text{mod}} * \frac{f_{c,0,k}}{\gamma_M} = 0,7 * \frac{5,1}{1,45} = 2,46 \text{ MPa}$$

Součinitel koncentrace smykového napětí v místě čepu

$$k_v = \frac{k_n \left(1 + \frac{1,1i^{1,5}}{\sqrt{h}} \right)}{\sqrt{h} \left[\sqrt{\alpha(1-\alpha)} + 0,8 \frac{x}{h} \sqrt{\frac{1}{\alpha} - \alpha^2} \right]} =$$

$$= \frac{5}{\sqrt{200} \left[\sqrt{\frac{80}{200} \left(1 - \frac{80}{200} \right)} + 0,8 \frac{40}{200} \sqrt{\frac{200}{80} - \left(\frac{80}{200} \right)^2} \right]} = 0,481$$

Posouzení čepu nosníku na smyk a otláčení

$$\tau_d \leq k_v f_{v,d} = 0,481 * 1,16 = 0,56 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{c,90,k} \leq k_{c,90} f_{c,90,d} = 1 * 2,46 = 2,46 \text{ MPa}$$

$$\tau_d = 1,5 \frac{V_d}{bh_e} = 1,5 * \frac{4,0 * 10^3}{140 * 80} = 0,54 \text{ MPa} < 0,56 \text{ MPa}$$

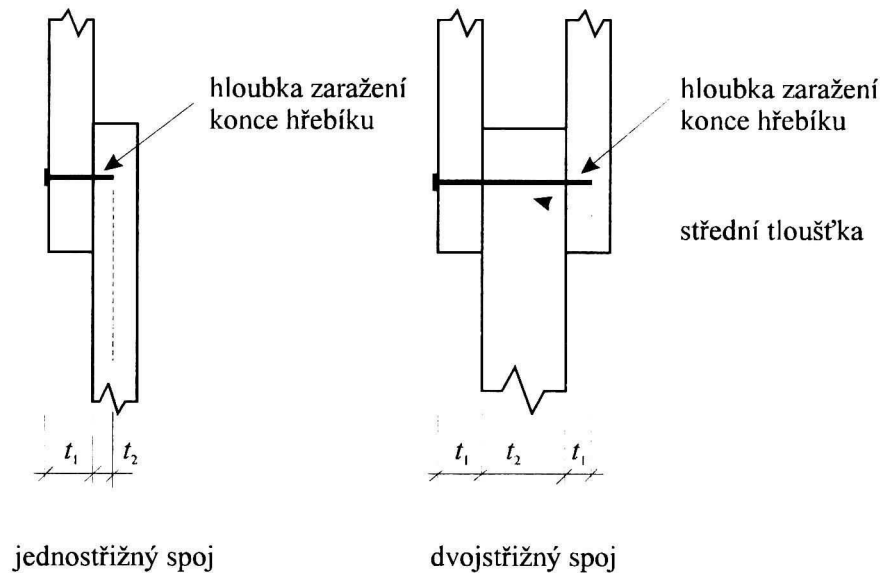
$$\sigma_{c,90,d} = \frac{V_d}{bl} = \frac{4,0 * 10^3}{140 * 80} = 0,36 \text{ MPa} < 2,46 \text{ MPa}$$

Čep nosníku vyhovuje.



3.3 Stanovení návrhové únosnosti hřebíkového spoje

Hřebíkový spoj dřevo – dřevo



Obr. 3.3: Hřebíkový spoj dřevo – dřevo.

Charakteristická pevnost v otláčení pro všechny úhly k vláknům (pro hřebíky do 8 mm):

- **bez předvrtaných otvorů**

$$f_{h,k} = 0,082 \rho_k d^{-0,3}; d [mm], \rho_k [kg / m^{-3}]$$

Pro $d = 4,0mm$; $\rho_k = 370kg / m^3$ (dřevo SI)

$$f_{h,k} = 0,082 \cdot 370 \cdot 4,0^{-0,3} = 20 Nmm^{-2}$$

- **s předvrtanými otvory**

$$f_{h,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01d) \rho_k$$

Pro $d = 4,0\text{mm}$; $\rho_k = 370\text{kg/m}^3$ (dřevo SI)

$$f_{h,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,014 \cdot 0) \cdot 370 = 29,13\text{Nmm}^{-2}$$

Charakteristická hodnota plastického momentu únosnosti:

Běžné hřebíky z hladkého ocelového drátu (min. mez pevnosti v tahu $f_{u,k} = 600\text{MPa}$)

$$\text{- pro kruhové hřebíky } M_{y,k} = 180 \cdot d^{2,6} = 180 \cdot 4,0^{2,6} = 6616,5\text{Nmm}$$

Návrhová únosnost pro jeden stříh jednoho spojovacího prostředku spojují dřevo – dřevo a deska – dřevo se stanoví jako minimální hodnota z uvedených vztahů – vztahy platí obecně pro kolíkové spoje.

Předpokládané hodnoty:

$$t_1 = 50\text{mm}, t_2 = 30\text{mm} \quad (\text{hloubka zaražení hřebíku}), \text{hřebíky } 4,0 - 80 \\ \rightarrow d = 4,0\text{mm}$$

Charakteristická pevnost v otačení pro nepředvrtané otvory $f_{h,k} = 20\text{MPa} = f_{h,1} = f_{h,2}$

$$\text{Součinitel } \beta = \frac{f_{h,2,d}}{f_{h,1,d}} = 1,0$$

Návrhová pevnost v otačení se stanoví z obecného vztahu z charakteristické pevnosti

$$f_{h,d} = k_{\text{mod}} \frac{f_{h,k}}{\gamma_M} = 0,9 \cdot \frac{20}{1,45} = 12,4\text{MPa}$$

$k_{\text{mod}} = 0,9$ prorostlé dřevo, krátkodobé zatížení, třída vlhkosti 1 a 2;

$\gamma_M = 1,45$ dílčí součinitel pevnosti materiálu (dřeva).

Návrhová hodnota plastického momentu únosnosti spojovacího prostředku (hřebíku)

$$M_{y,d} = \frac{M_{y,k}}{\gamma_M} = \frac{6616,5}{1,25} = 5293\text{Nmm}$$

$\gamma_M = 1,25$ pro ocel užívanou ve spojích

Vyhodnocení vzorců pro návrhovou únosnost R_d :

$$R_d = f_{h,1,d} \cdot t_1 \cdot d = 12,4 \cdot 50 \cdot 4,0 = 2480 \text{ N} = 2,48 \text{ kN}$$

$$R_d = f_{h,1,d} \cdot t_2 \cdot d \cdot \beta = 12,4 \cdot 30 \cdot 4,0 \cdot 1,0 = 1488 \text{ N} = 1,49 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} R_d &= \frac{f_{h,1,d} t_1 d}{1 + \beta} \left[\sqrt{\beta + 2\beta^2 \left[1 + \frac{t_2}{t_1} + \left(\frac{t_2}{t_1} \right)^2 \right] + \beta^3 \left(\frac{t_2}{t_1} \right)^2} - \beta \left(1 + \frac{t_2}{t_1} \right) \right] = \\ &= \frac{2480}{1 + 1} \left[\sqrt{1 + 2 \cdot [1 + 0,6 + 0,6^2] + 1 \cdot 0,6^2} - 1 \cdot (1 + 0,6) \right] = 865 \text{ N} = 0,865 \text{ kN} \end{aligned}$$

poměr tlouštěk $\frac{t_2}{t_1} = \frac{30}{50} = 0,6$; $\beta = 1,0$

$$\begin{aligned} R_d &= 1,1 \frac{f_{h,1,d} t_1 d}{2 + \beta} \left[\sqrt{2\beta(1 + \beta) + \frac{4\beta(2 + \beta) M_{y,d}}{f_{h,1,d} d t_1^2}} - \beta \right] = \\ &= 1,1 \frac{2480}{2 + 1} \left[\sqrt{2 \cdot (1 + 1) + \frac{4 \cdot (2 + 1) \cdot 5293}{12,4 \cdot 4,0 \cdot 50^2}} - 1 \right] = 1022 \text{ N} = 1,022 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_d &= 1,1 \frac{f_{h,1,d} t_2 d}{1 + 2\beta} \left[\sqrt{2\beta^2(1 + \beta) + \frac{4\beta(1 + 2\beta) M_{y,d}}{f_{h,1,d} d t_2^2}} - \beta \right] = \\ &= 1,1 \frac{1488}{1 + 2} \left[\sqrt{2 \cdot (1 + 1) + \frac{4 \cdot (1 + 2) \cdot 5293}{12,4 \cdot 4,0 \cdot 30^2}} - 1 \right] = 725 \text{ N} = 0,725 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_d &= 1,1 \sqrt{\frac{2\beta}{1 + \beta}} \sqrt{2 M_{y,d} f_{h,1,d} d} = \\ &= 1,1 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot 1}{1 + 1}} \cdot \sqrt{2 \cdot 5293 \cdot 12,4 \cdot 4,0} = 797 \text{ N} = 0,797 \text{ kN} \end{aligned}$$

Rozhodující návrhová únosnost jednostržněného hřebíku

$$R_d = 0,725 \text{ kN} \text{ (zde je již zohledněna hloubka zaražení } t_2 = 30 \text{ mm)}$$

Analogicky se stanovuje návrhová únosnost dvojtřížných spojů. Návrhová únosnost R_d se určí jako minimální hodnota únosnosti ze čtyř vzorců obdobného typu.

Únosnosti odpovídající jednotlivým způsobům porušení spoje jak je znázorněno na obr. 2.5

Konstrukční zásady:

- otvory mají být předvrtány pro hřebíky do dřeva s charakteristickou hustotou $\rho_k = 500 \text{ kg/m}^3$ nebo vyšší;
- pro hladké hřebíky má být hloubka zaražení konce hřebíku min. 8d;
- pro kroužkové a závitové hřebíky min. 6d;
- ve spoji mají být minimálně dvě hřebíky;
- hřebíky v koncových vláknech nemají být uvažovány za nosné – u druhotných konstrukčních prvků (např. u okapových prken přibitých ke krokším) se má uvažovat návrhová hodnota pouze 1/3 z hodnoty pro běžné hřebíkování;
- minimální rozteče a vzdálenosti je nutno dodržovat podle ustanovení normy, rozlišují se –nepředvrtané otvory a předvrtané otvory.

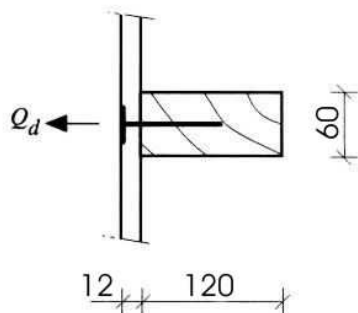
Rozteče spojovacích prostředků závisejí na hustotě dřeva.

Minimální rozteče hřebíků rovnoběžně a kolmo k vláknům, podle tab.2.2

3.4 Hřebík na vytažení



Návrh a posouzení hřebíkového spoje namáhaného na vytažení. Hladké hřebíky kruhového průřezu průměru 3,15 mm a délky 70 mm připojují překližku ke sloupku obvodové stěny dřevostavby (viz obr. 3.4) Charakteristická hustota překližky je 400 kg/m^3 a dřeva 370 kg/m^3 . Obvodová stěna je zabudována ve třídě vlhkosti 3. Na přípoj působí vítr sací silou $Q_d = 1,2 \text{ kNm}^{-1}$



Obr. 3.4: Hřebíkový spoj namáhaný na vytažení.

Parametry hřebíku na vytažení

$$f_{1,k} = (18 \cdot 10^{-6}) \rho_k^2 = 18 \cdot 10^{-6} \cdot 370^2 = 2,46 \text{ Nmm}^{-2}$$

Pro třídu vlhkosti 3 a trvání zatížení krátkodobé je $k_{\text{mod}} = 0,7$

$$f_{1,d} = k_{\text{mod}} \frac{f_{1,k}}{\gamma_M} = 0,7 \frac{2,46}{1,45} = 1,19 \text{ Nmm}^{-2}$$

Parametry hřebíku na protažení hlavičky

$$f_{2,k} = (300 \cdot 10^{-6}) \rho_k^2 = 300 \cdot 10^{-6} \cdot 400^2 = 48 \text{ Nmm}^{-2}$$

$$f_{2,d} = k_{\text{mod}} \frac{f_{2,k}}{\gamma_M} = 0,7 \frac{48}{1,45} = 23,2 \text{ Nmm}^{-2}$$

Návrhová únosnost hřebíku

$$R_d = f_{1,d} d l = 1,19 \cdot 3,15 \cdot (70 - 12) = 217,4 \text{ N}$$

$$R_d = f_{1,d} d \cdot h + f_{2,d} d^2 = 1,19 \cdot 3,15 \cdot 12 + 23,2 \cdot 3,15^2 = 275,2 \text{ N}$$

$$R_{d,\text{min}} = 217,4 \text{ N}$$

Rozteč hřebíků $= 1000 \frac{R_d}{Q_d} = 1000 \frac{217,41}{1200} = 181 \text{ mm}$ Přípoj bude proveden hřebíky 3,15/70 mm s roztečí 180 mm.

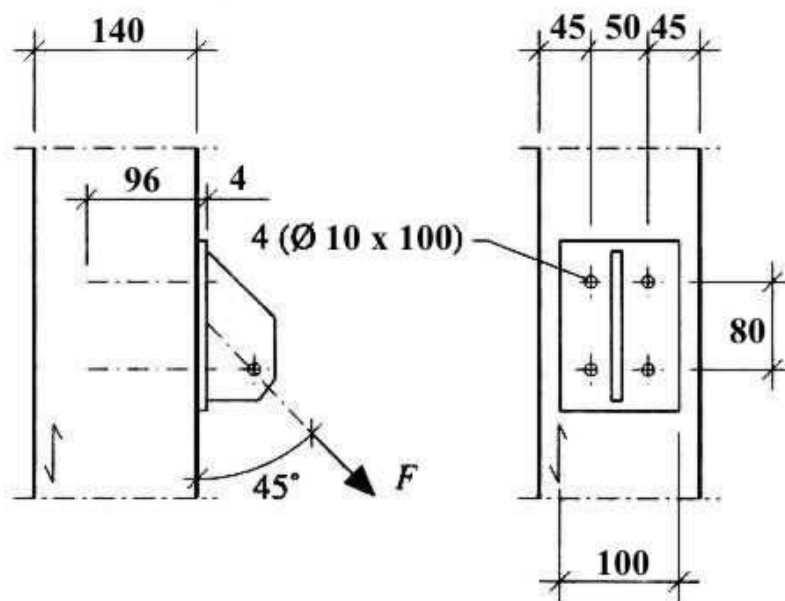


3.5 Vrutový spoj

Posouzení přípoje zavětrovacího ztužidla pro přenos síly z tažené diagonály $F_d = 13,8 \text{ kN}$ (krátkodobé zatížení) pomocí vrutů.

Třída vlhkosti 2; $k_{\text{mod}} = 0,9$; $\rho_k = 350 \text{ kg/m}^3$;

4 vruty průměr 10x100; $d > 8 \text{ mm}$; $f_{u,k} = 300 \text{ N/mm}^2$;



Obr. 3.5: Příklad zavětrovacího ztužidla pomocí vrutů

Výpočet jako pro svorníky

Střih:

$$t_2 = 4 \text{ mm (tenká deska)}$$

$$t_1 = l - t_2 - 1,5d = 100 - 4 - 1,5 \cdot 10 = 81 \text{ mm}$$

$$0,4l - t_2 = 0,4 \cdot 100 - 4 = 36 \text{ mm} \leq 4d = 40 \text{ mm}$$

Plastický moment únosnosti vrutu se vypočte s účinným průměrem d_{ef} .

$$d_{ef} = 0,9d = 0,9 \cdot 10 = 9,0 \text{ mm}$$

$$M_{y,d} = \frac{0,8 f_{u,k} d_{ef}^3 / 6}{\gamma_M} = \frac{0,8 \cdot 300 \cdot 9,0^3 / 6}{1,25} = 23328 \text{ Nmm}$$

Pevnost v otláčení:

$$f_{h,d} = 0,082(1 - 0,01d) \rho_k \frac{k_{mod}}{\gamma_M} = 0,082(1 - 0,01 \cdot 10) 350 \frac{0,9}{1,45} = 16 \text{ N/mm}^2$$

Návrhová únosnost vrutu:

$$R_d = (\sqrt{2} - 1) f_{h,d} t_1 d = (\sqrt{2} - 1) \cdot 16 \cdot 81 \cdot 10 = 5310 \text{ N} = 5,31 \text{ kN}$$

$$R_d = 1,1 \sqrt{2 M_{y,d} f_{h,d} d} = 1,1 \sqrt{2 \cdot 23328 \cdot 16 \cdot 10} = 3000 \text{ N} = 3,0 \text{ kN}$$

Vytažení vrutu:

$$l_{ef} = 0,6 \cdot 100 = 60 \text{ mm} < 10d = 10 \cdot 10 = 100 \text{ mm}$$

$$f_{3,d} = (1,5 + 0,6d) \sqrt{\rho_k} \frac{k_{mod}}{\gamma_M} = (1,5 + 0,6d) \sqrt{350} \frac{0,9}{1,45} = 87,1 \text{ N/mm}$$

$$R_{ax,d} = f_{3,d} (l_{ef} - d) = 87,1 \cdot (60 - 10) = 4360 \text{ N} = 4,36 \text{ kN}$$

Interakce:

$$\left(\frac{0,707 \cdot F_d}{n \cdot R_d} \right)^2 + \left(\frac{0,707 \cdot F_d}{n \cdot R_{ax,d}} \right)^2 = \left(\frac{0,707 \cdot 13,8}{4,3,0} \right)^2 + \left(\frac{0,707 \cdot 13,8}{4,4,36} \right)^2 = 0,97 < 1,0$$

**Poznámka:**

- Vruty jsou vhodné pro přenos větších sil na vytažení.
- Vruty mají být zašroubovány do předvrtaných otvorů.
- Délka části s plným dřívkem má nejméně odpovídat tloušťce konstrukčního prvku pod hlavou vrutu.
- Pro jmenovité průměry menší než 8 mm platí pravidla navrhování jako pro hřebíky, pro jmenovité průměry větší nebo rovnající se 8 mm platí pravidla navrhování pro svorníky.



4 Kontrolní otázky

1. *Popište druhy tesařských spojů.*
2. *Vysvětlete postup při návrhu a posouzení šikmého zapuštění.*
3. *Jaký je postup při posuzování čepového spoje?*
4. *Vyjmenujte spojovací prostředky patřící mezi kolíkové spojovací prostředky.*
5. *Popište tuhost spojení dřevěných prvků s různými spojovacími prostředky.*
6. *Načrtněte možné způsoby porušení spojovacích prostředků kolíkového typu pro jednostřížný a dvojtřížný spoj.*
7. *Popište postup při výpočtu hřebíku na vytažení ze dřeva.*
8. *Popište postup při provádění lepených spojů.*
9. *Vyjmenujte alespoň pět spojů s tvarovými součástmi z ocelového plechu.*
10. *Uveďte parametry ovlivňující únosnost spojů s kolíkovými spojovacími prostředky.*



5 Literatura



- [1] Dutko, P, Lederer,F. a kol.: Drevené konštrukcie, ALFA Bratislava, 1976
- [2] Kuklík, P.: Eurocode 5, ČVUT Praha, 1992
- [3] Sýkora, K.: Kovové a dřevěné konstrukce, PC – DIR Brno, 1993
- [4] Straka, B., Pechalová, J.: Dřevěné konstrukce,PC DIR, 1994
- [5] Straka, B.: Navrhování dřevěných konstrukcí, CERM Brno,1996
- [6] Blass, H.J. a kol.: Dřevěné konstrukce podle Eurokódu 5, STEP 1, KODR Zlín, (překlad Koželuh, B.), 1999
- [7] Kuklík, P. a kol.: Dřevěné konstrukce 10, ČVUT Praha 2005