



INTERREG V-A
SLOVENSKÁ REPUBLIKA
ČESKÁ REPUBLIKA



EURÓPSKA ÚNIA
EURÓPSKY FOND
REGIONÁLNEHO ROZVOJA

SPOLOČNE BEZ HRANÍC

DŘEVĚNÉ MOSTY

Spoje dřevěných mostů a lávek

NÁZOV PROJEKTU:



**Podpora edukačných aktivít pre výchovu mladých odborníkov
v oblasti mostného staviteľstva v cezhraničnom regióne
(Kód projektu v ITMS2014+: 304011U647)**

**VŠB TECHNICKÁ
UNIVERZITA
OSTRAVA**

EDUMOS

Projekt je podporovaný z programu Interreg V-A Slovenská republika – Česká republika
a spolufinancovaný z Európskeho fondu regionálneho rozvoja

Spoje dřevěných konstrukcí mostů a lávek

Spoje dřevěných konstrukcí

Spoje D. K. dělíme podle uspořádání:

- **nastavování** – spojování v podélném směru
- **sdružování** - spojování v příčném směru
- **spojování do styčnicku** – spojování pod různými úhly v rovině a v prostoru

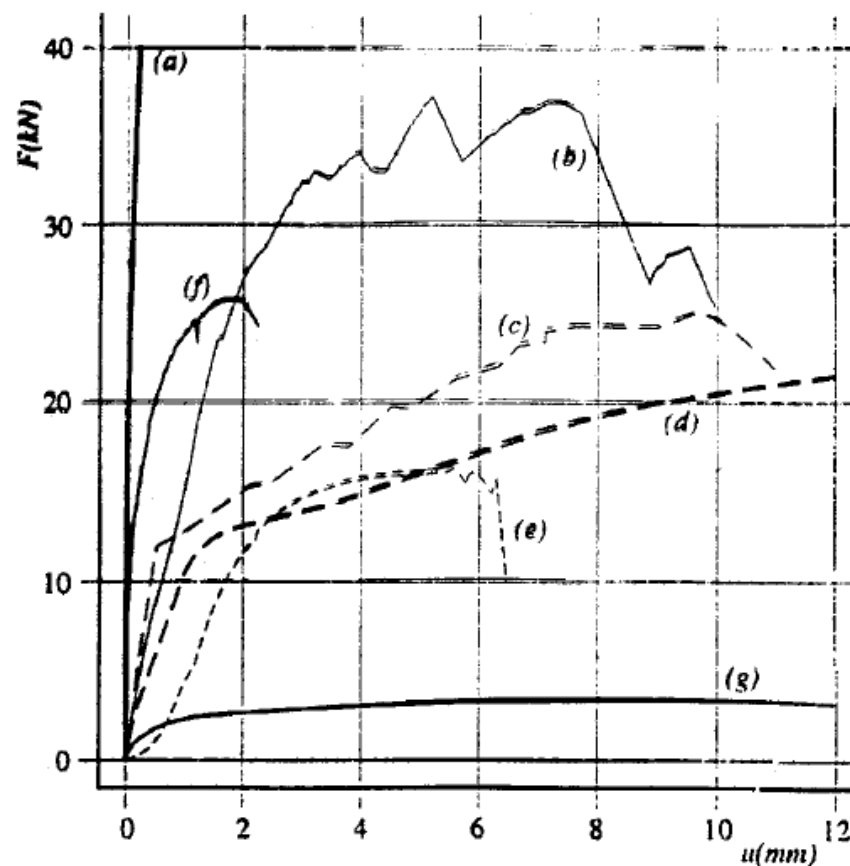


Spoje dřevěných konstrukcí podle druhu spojovacího prostředku:

- A) Tesařské spoje
- B) Spojovací prostředky kolíkového typu:
 - hřebíkové a sponkové spoje
 - svorníkové a kolíkové spoje
 - vrutové spoje
 - vlepené tyče
- C) Spojovací prostředky povrchového typu:
 - hmoždíky
 - desky s prolisovanými trny
- D) Vložené plechy (GREIM, BSB, MNC, SFS)
- E) Lepené spoje

Spoje D. K. podle tuhosti:

- Nepoddajné: lepené spoje
- Poddajné: tesařské spoje
spoje s mechanickými spojovacími prostředky



Experimentální křivky zatížení-přetvoření pro spoje při namáhání tahem rovnoběžně s vlákny: (a) lepený spoj ($12,5 \cdot 10^3 \text{ mm}^2$), (b) vkládaný hmoždík (100 mm), (c) dvoustranný zalisovaný hmoždík (62 mm) (Harashima, 1990), (d) kolík (14 mm), (e) svorník (14 mm), (f) styčnicková deska s prolisovanými trny (10^4 mm^2), (g) hřebík (4,4 mm).

Tesařské spoje

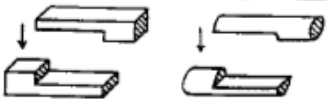
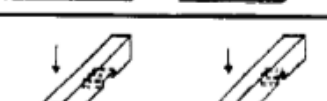
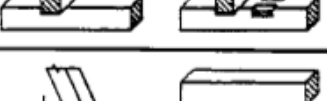
Tradiční spoje – poddajné

Nevýhody:

- pracnost
- potřeba kvalifikovaných pracovníků
- oslabení konstrukčních prvků

Spojovací prostředky:

dřevěné kolíky a hřebíky, kované hřebíky, tesařské skoby, hřebíky, vruty, svorníky

Název	Zobrazení	Popis
Sraz		Spojované prvky se k sobě přiloží buď čely nebo podélnými plochami.
Plátování		Spojované prvky se stýkají částí čel i podélných ploch (tzv. plátem).
Lípnutí		Spojované prvky se k sobě přiloží čelem na podélnou plochu.
Zapuštění		Čelo jednoho prvku se osadí do zářezu druhého prvku.
Čepování		V jednom prvku se vytvoří na konci čep a v druhém díb.
Překládání		Oba prvky jsou po celé délce spoje vyříznuty. Hloubka překládání se rovná součtu hloubek zářezů.
Kempování		Vybrání v jednom prvku odpovídá výstupku v druhém prvku a hloubka kempování se rovná hloubce jednoho vybrání.
Osedlání		Prvky v různých rovinách. Jeden je opatřen zářezem (sedlem), druhý zpravidla není oslaben.

Tesařské spoje



Projekt je podporovaný z programu Interreg V-A Slovenská republika – Česká republika
a spolufinancovaný z Európskeho fondu regionálneho rozvoja

Tesařské spoje

Lenora, rechle („hrábě“), 1870, $L = 27,77$ m, $b = 1,8$ m, kulturní památka.

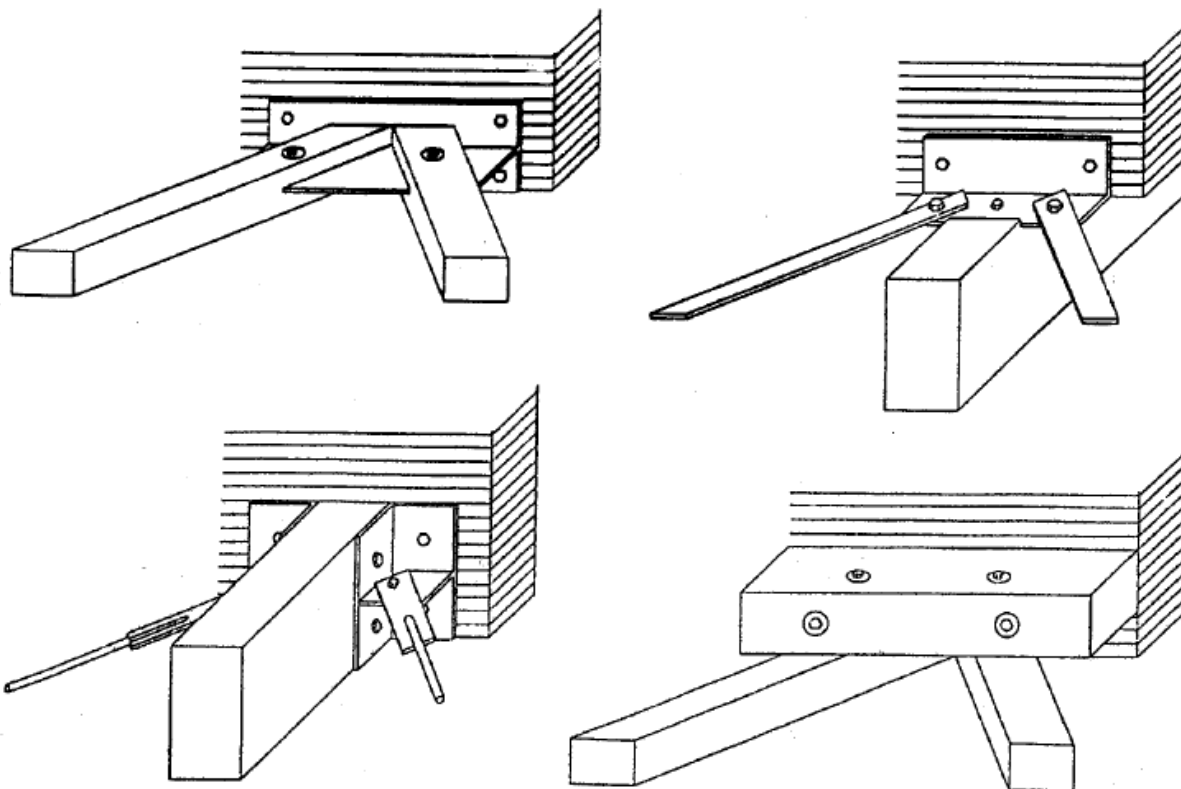


TESAŘSKÉ SPOJE – obráběcí 5-osé CNC centrum HUNDEGGER K2i



Spojovací prostředky mostů a lávek: **svorníky, kolíky, hmoždíky.**

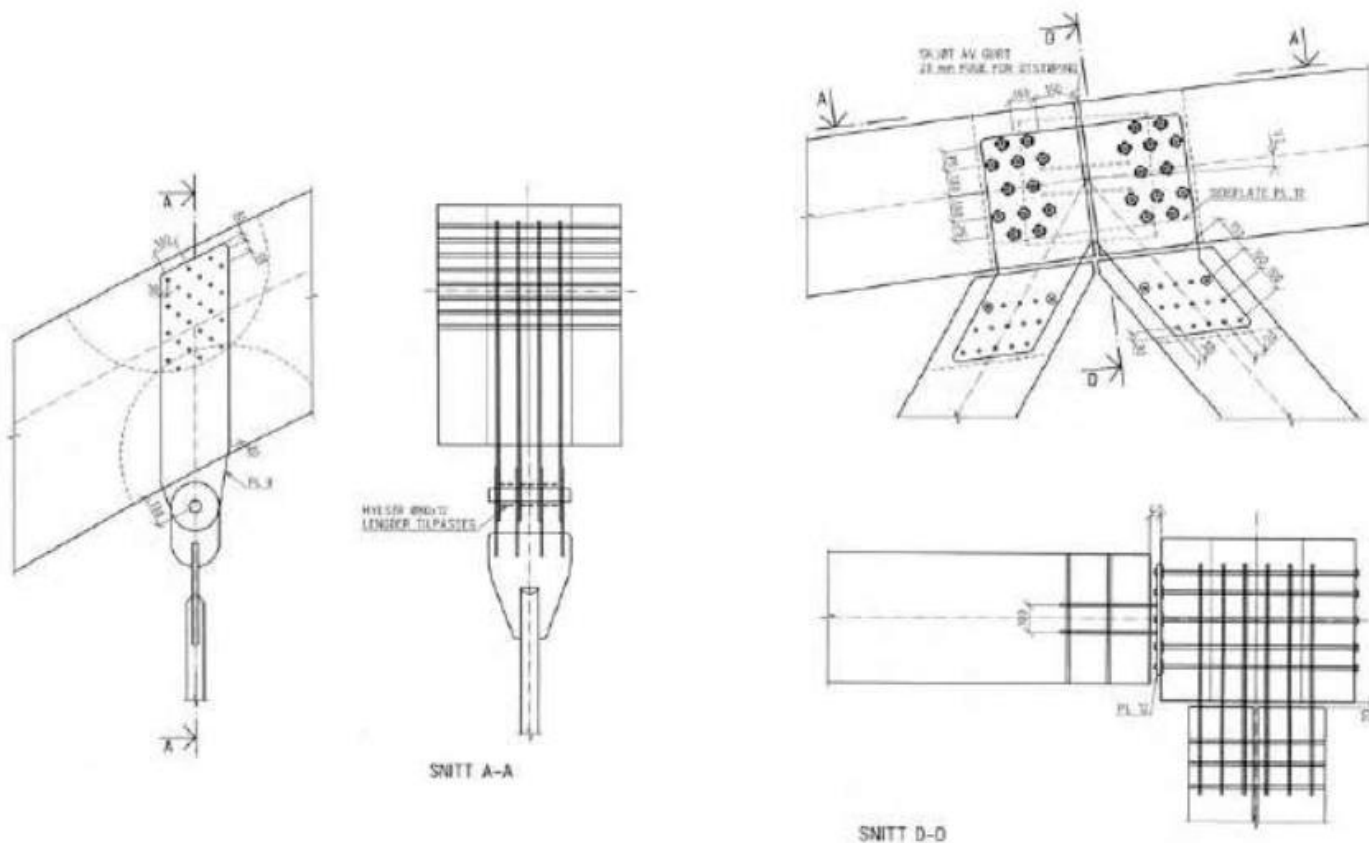
NE! hřebíky v tahu, sponky, kovové desky s prolisovanými trny.



Spojovací prostředky mostů a lávek: **svorníky, kolíky**



Spoje dřevěných mostů a lávek: svorníky, kolíky s vloženými plechy



Spoje dřevěných mostů a lávek:

Čepové – kloubové spoje

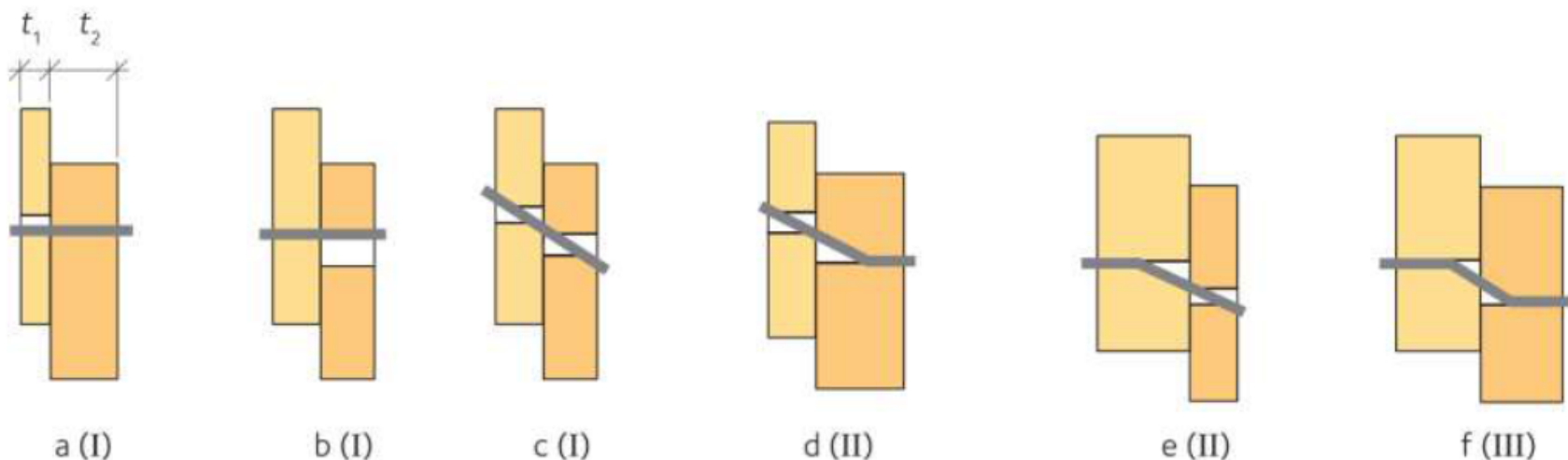


Spoje kolíkového typu

**Příčná únosnost spoje:
Dřevo/dřevo, deska/dřevo**

Johansen (1949)

Únosnost příčně namáhaného spoje je dána pevností dřeva v otláčení a plastickým momentem únosnosti spojovacího prostředku.



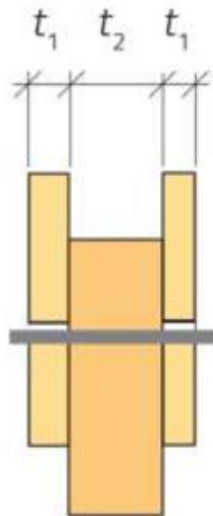
Jednostřižný spoj

Projekt je podporovaný z programu Interreg V-A Slovenská republika – Česká republika a spolufinancovaný z Európskeho fondu regionálneho rozvoja

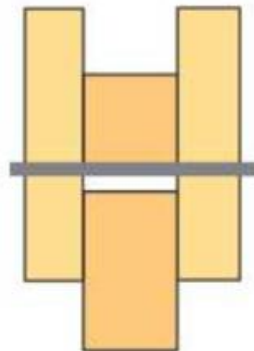
Příčná únosnost jednostřížného spoje: Dřevo/dřevo, deska/dřevo

$$F_{v,Rk} = \min \left\{ \begin{array}{ll} f_{h,1,k} t_1 d & (a) \\ f_{h,2,k} t_2 d & (b) \\ \frac{f_{h,1,k} t_1 d}{1 + \beta} \left[\sqrt{\beta + 2\beta^2 \left[1 + \frac{t_2}{t_1} + \left(\frac{t_2}{t_1} \right)^2 \right]} + \beta^3 \left(\frac{t_2}{t_1} \right)^2 - \beta \left(1 + \frac{t_2}{t_1} \right) \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} & (c) \\ 1,05 \frac{f_{h,1,k} t_1 d}{2 + \beta} \left[\sqrt{2\beta(1 + \beta) + \frac{4\beta(2 + \beta)M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} d t_1^2}} - \beta \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} & (d) \\ 1,05 \frac{f_{h,1,k} t_2 d}{1 + 2\beta} \left[\sqrt{2\beta^2(1 + \beta) + \frac{4\beta(1 + 2\beta)M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} d t_2^2}} - \beta \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} & (e) \\ 1,15 \sqrt{\frac{2\beta}{1 + \beta}} \sqrt{2M_{y,Rk} f_{h,1,k} d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} & (f) \end{array} \right.$$

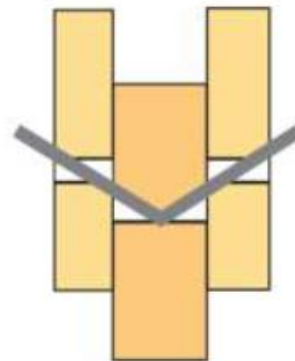
Příčná únosnost dvojstřížného spoje: Dřevo/dřevo, deska/dřevo



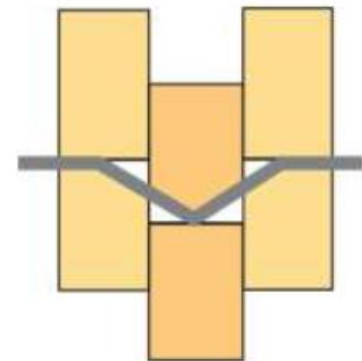
g (I)



h (I)



j (II)



k (III)

Příčná únosnost dvojstřížného spoje: Dřevo/dřevo, deska/dřevo

$$F_{v,Rk} = \min \begin{cases} f_{h,1,k} t_1 d & (g) \\ 0,5 f_{h,2,k} t_2 d & (h) \\ 1,05 \frac{f_{h,1,k} t_1 d}{2 + \beta} \left[\sqrt{2\beta(1 + \beta) + \frac{4\beta(2 + \beta) M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} d t_1^2}} - \beta \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} & (j) \\ 1,15 \sqrt{\frac{2\beta}{1 + \beta}} \sqrt{2 M_{y,Rk} f_{h,1,k} d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} & (k) \end{cases}$$

$$\beta = \frac{f_{h,2,k}}{f_{h,1,k}}$$

Příčná únosnost jedno/dvojstřížného spoje: Dřevo/dřevo, deska/dřevo

$$\beta = \frac{f_{h,2,k}}{f_{h,1,k}}$$

kde $F_{v,Rk}$ je charakteristická únosnost jednoho stříhu jednoho spojovacího prostředku;

t_i tloušťka dřeva nebo desky nebo hloubka vniku s i buď 1 nebo 2,

$f_{h,i}$ charakteristická pevnost v otláčení v dřevěném prvku i ;

d průměr spojovacího prostředku;

$M_{y,Rk}$ charakteristický plastický moment únosnosti spojovacího prostředku;

β poměr mezi pevnostmi v otláčení prvků;

$F_{ax,Rk}$ charakteristická osová únosnost na vytažení spojovacího prostředku,

POZNÁMKA Plasticity spojů lze docílit použitím relativně štíhlých spojovacích prostředků. V tomto případě jsou určující způsoby porušení (f) a (k).

Příčná únosnost jedno/dvojstřížného spoje: Dřevo/dřevo, deska/dřevo

Príspevek k únosnosti od účinku sepnutí spoje nutno omezit na následující procenta Johansenovy části:

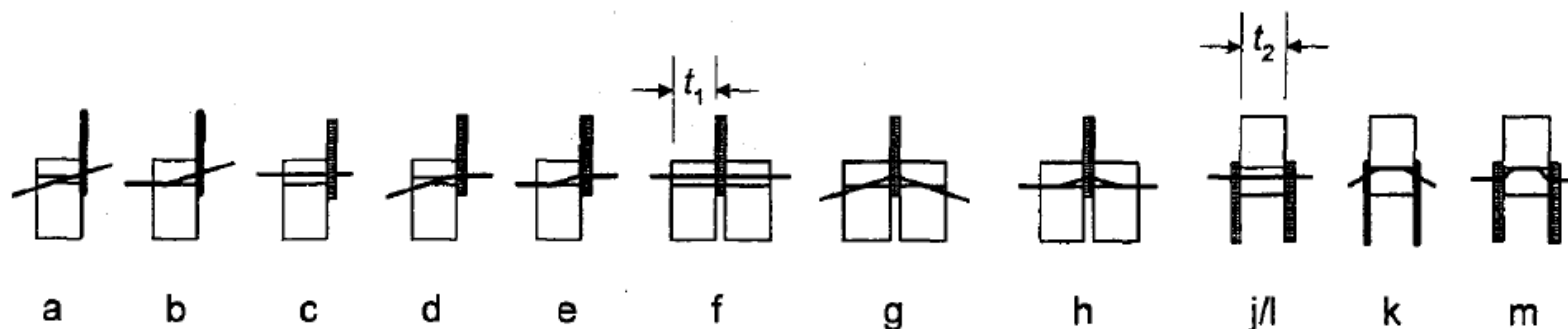
– Hřebíky kruhového průřezu	15 %
– Hřebíky čtvercového průřezu a drážkované	25 %
– Ostatní hřebíky	50 %
– Vruty	100 %
– Svorníky	25 %
– Kolíky	0 %

Spoje kolíkového typu

**Příčná únosnost spoje:
Ocel/dřevo**

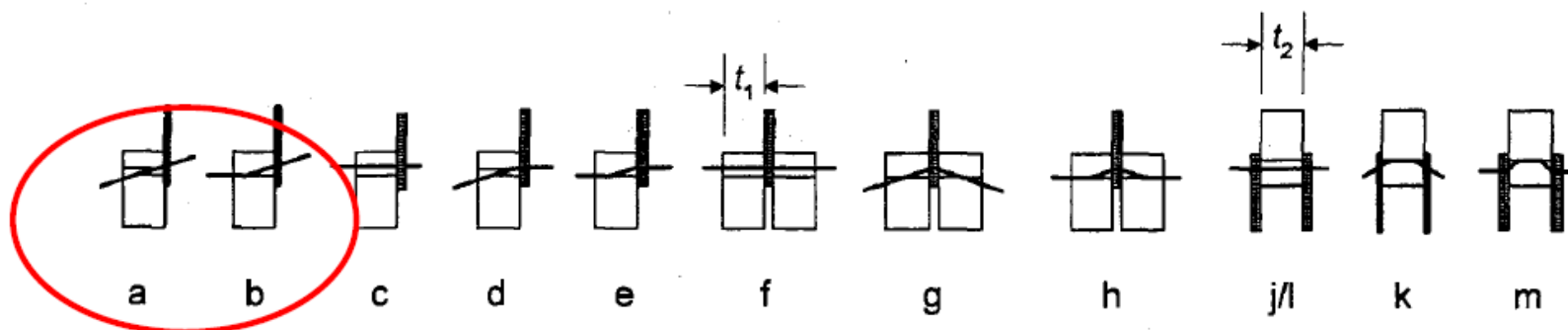
Tenká ocelová deska: tloušťka $\leq 0,5 d$

Tlustá ocelová deska: tloušťka $\geq d$



Způsoby porušení pro spoje ocel-dřevo

Příčná únosnost spoje: Ocel/dřevo

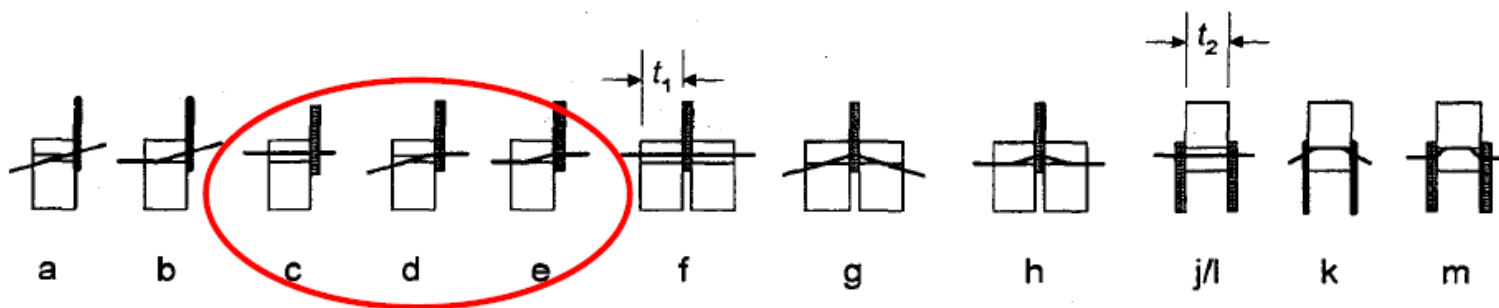


Způsoby porušení pro spoje ocel-dřevo

– pro tenkou ocelovou deskou jednostřížně namáhanou:

$$F_{v,Rk} = \min \begin{cases} 0,4 f_{h,k} t_1 d & (a) \\ 1,15 \sqrt{2 M_{y,Rk} f_{h,k} d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} & (b) \end{cases}$$

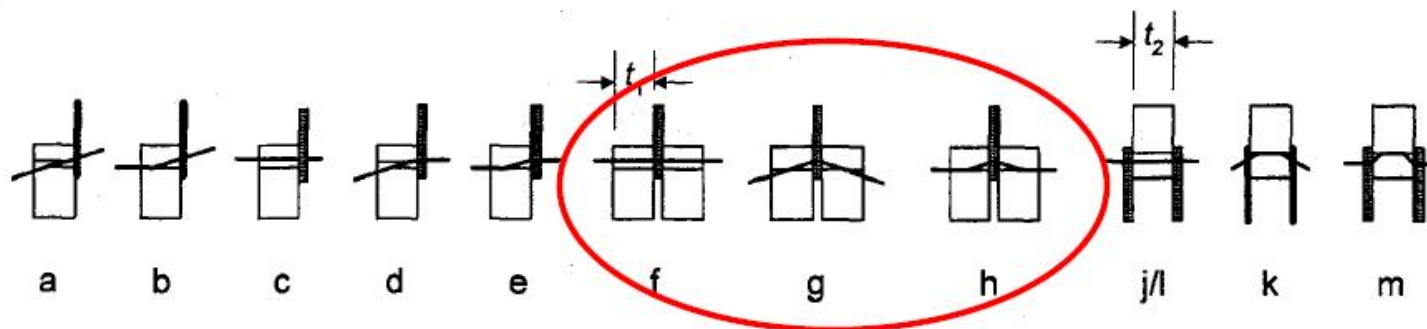
Příčná únosnost spoje: Ocel/dřevo



– pro tlustou ocelovou desku jednostřížně namáhanou:

$$F_{v,Rk} = \min \begin{cases} f_{h,k} t_1 d \left[\sqrt{2 + \frac{4M_{y,Rk}}{f_{h,k} d t_1^2}} - 1 \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} & (c) \\ 2,3 \sqrt{M_{y,Rk} f_{h,k} d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} & (d) \\ f_{h,k} t_1 d & (e) \end{cases}$$

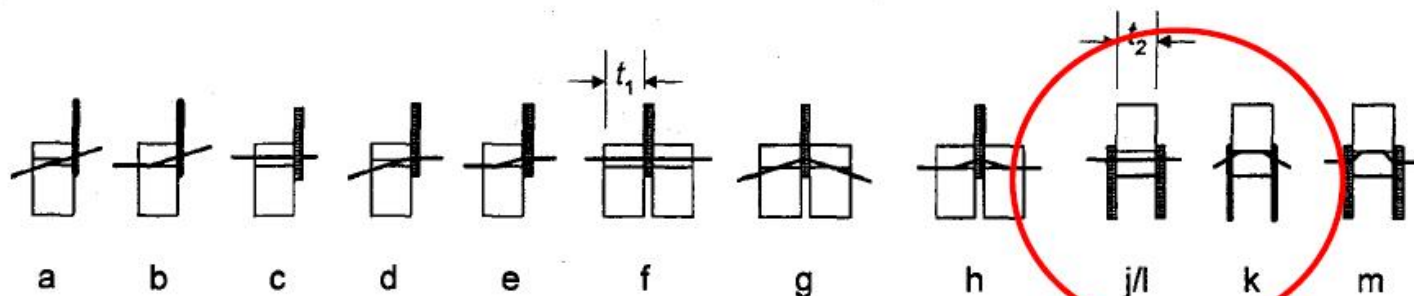
Příčná únosnost spoje: Ocel/dřevo



- pro ocelovou desku libovolné tloušťky jako střední prvek dvojstřížného spoje:

$$F_{v,Rk} = \min \begin{cases} f_{h,1,k} t_1 d & (f) \\ f_{h,1,k} t_1 d \left[\sqrt{2 + \frac{4M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} d t_1^2}} - 1 \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} & (g) \\ 2,3 \sqrt{M_{y,Rk} f_{h,1,k} d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} & (h) \end{cases}$$

Příčná únosnost spoje: Ocel/dřevo

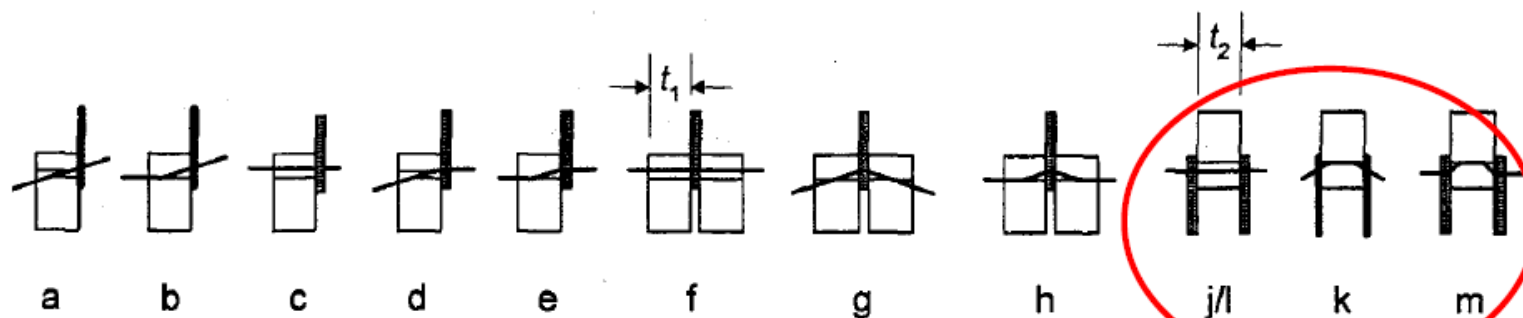


Způsoby porušení pro spoje ocel-dřevo

- pro tenké ocelové desky jako vnější prvky dvojstřížných spojů:

$$F_{v,Rk} = \min \begin{cases} 0,5 f_{h,2,k} t_2 d & (j) \\ 1,15 \sqrt{2 M_{y,Rk} f_{h,2,k} d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} & (k) \end{cases}$$

Příčná únosnost spoje: Ocel/dřevo



Způsoby porušení pro spoje ocel-dřevo

– pro tlusté ocelové desky jako vnější prvky dvojitřizných spojů:

$$F_{v,Rk} = \min \begin{cases} 0,5 f_{h,2,k} t_2 d & (l) \\ 2,3 \sqrt{M_{y,Rk} f_{h,2,k} d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} & (m) \end{cases}$$

Svorníkové spoje



Projekt je podporovaný z programu Interreg V-A Slovenská republika – Česká republika
a spolufinancovaný z Európskeho fondu regionálneho rozvoja

Pro svorníky se mají používat následující charakteristické hodnoty plastického momentu únosnosti:

$$M_{y,Rk} = 0,3 f_{u,k} d^{2,6}$$

kde $M_{y,Rk}$ je charakteristická hodnota plastického momentu únosnosti v Nmm;

$f_{u,k}$ charakteristická pevnost v tahu v N/mm²;

d je průměr svorníku v mm.

Pro svorníky do průměru 30 mm se mají používat následující hodnoty charakteristické pevnosti v otláčení ve dřevu a LVL pro úhel α k vláknům:

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

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

kde

$$k_{90} = \begin{cases} 1,35 + 0,015 d & \text{pro dřevo jehličnatých dřevin} \\ 1,30 + 0,015 d & \text{pro LVL} \\ 0,90 + 0,015 d & \text{pro dřevo listnatých dřevin} \end{cases}$$

a $f_{h,0,k}$ je charakteristická pevnost v otláčení rovnoběžně s vlákny v N/mm²;

ρ_k charakteristická hustota dřeva v kg/m³;

α úhel zatížení vzhledem k vláknům;

d průměr svorníku v mm.

Svorníkové spoje

Minimální hodnoty roztečí a vzdáleností od okrajů a konců pro svorníky

Rozteče a vzdálenosti od konců/okrajů (viz obrázek 8.7)	Úhel	Minimální rozteče nebo vzdálenosti
a_1 (rovnoběžně s vlákny)	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$(4 + \cos \alpha) d$
a_2 (kolmo k vláknům)	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$4 d$
$a_{3,t}$ (zatížený konec)	$-90^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$	$\max(7 d; 80 \text{ mm})$
$a_{3,c}$ (nezatížený konec)	$90^\circ \leq \alpha < 150^\circ$	$\max[(1 + 6 \sin \alpha) d; 4d]$
	$150^\circ \leq \alpha < 210^\circ$	$4 d$
	$210^\circ \leq \alpha \leq 270^\circ$	$\max[(1 + 6 \sin \alpha) d; 4d]$
$a_{4,t}$ (zatížený okraj)	$0^\circ \leq \alpha \leq 180^\circ$	$\max[(2 + 2 \sin \alpha) d; 3d]$
$a_{4,c}$ (nezatížený okraj)	$180^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$3 d$

Svorníkové spoje

Pro jednu řadu tvořenou n svorníky rovnoběžně se směrem vláken, se má únosnost rovnoběžně s vlákny, vypočítat s použitím účinného počtu svorníků n_{ef} :

$$n_{ef} = \min \left\{ \begin{array}{l} n \\ n^{0,9} \sqrt[4]{\frac{a_1}{13d}} \end{array} \right.$$

kde a_1 je rozteč mezi svorníky ve směru vláken;

d průměr svorníku;

n počet svorníků v řadě.

Pro zatížení kolmo k vláknům, se účinný počet spojovacích prostředků může uvažovat takto:

$$n_{ef} = n$$

Pro úhly $0^\circ < \alpha < 90^\circ$ mezi zatížením a směrem vláken, se může n_{ef} určit pomocí lineární interpolace mezi vztahy

Svorníkové spoje

Osová únosnost a únosnost na vytažení svorníku se má uvažovat jako nižší z hodnot:

- únosnosti svorníku v tahu;
- únosnosti buď podložky nebo (pro spoje ocel-dřevo) ocelové desky.

Únosnost podložky se má vypočítat za předpokladu, že charakteristická pevnost v tlaku na dotykové ploše je $3,0 f_{c,90,k}$.

Únosnost na svorník ocelové desky nemá překročit únosnost kruhové podložky s průměrem, který je menší z hodnot:

- $12t$, kde t je tloušťka desky;
- $4d$, kde d je průměr svorníku.

Otvory pro svorníky ve dřevu mají mít průměr maximálně o 1 mm větší než svorník. Otvory pro svorníky v ocelových deskách mají mít průměr maximálně o 2 mm nebo $0,1d$ větší než průměr svorníku d (podle toho, co je větší).

Pod hlavou a maticí se mají používat podložky o délce strany nebo průměru alespoň $3d$ a tloušťce alespoň $0,3d$. Podložky mají mít plnou styčnou plochu.

Svorníky a vruty do dřeva s čtyřhrannou hlavou se mají utahovat tak, aby plochy těsně lícovaly, a je-li to nezbytné pro zajištění únosnosti a tuhosti konstrukce mají být dotaženy až dřevo dosáhne rovnovážné vlhkosti.

Lepené spoje

Výhody:

Možnost vytváření průřezů „libovolné“ velikosti a tvaru.

Možnost vytvářet staticky výhodné tvary nosníků bez oslabení spojovacími prostředky.

Vyšší homogenita průřezu – snížení vlivu přirozených imperfekcí.

Možnost využití kratšího řeziva.

Tovární výroba – nutnost kvalifikované pracovní síly a dodržování technologické kázně.

Materiál:

Jehličnaté/listnaté řezivo, LVL, vodovzdorné překližky, OSB desky, DTD lepené vodovzdornými lepidly, tvrdé DVD.

Materiál neimpregnovaný (impregnace až hotového prvku).

Lepené spoje

Pro lepidla v současnosti platí normy:

EN 301 „Lepidla, fenolová a aminoplastová, pro nosné dřevěné konstrukce; klasifikace a požadavky na užité vlastnosti“.

EN 302 „Lepidla pro nosné dřevěné konstrukce – metody zkoušení, část 1-4“.

Norma povoluje použití pouze fenolických a aminoplastických lepidel:

Lepidlo typu I: pro použití ve venkovním prostředí a teploty nad 50⁰ C.

Lepidlo typu II: pro použití v interiérech a chráněném venkovním prostředí, teploty do 50⁰ C.

Lepené spoje

Lepidla:

- a) Podle původu: **živočišné** (glutin, kasein, albumin)
rostlinné (bílkovinové, škrobové, celulozové, pektinové,
kaučukové, tříslovinové)
minerální (vodní sklo, cementy, sádra, fosfátové,
metalické)
syntetické (polykondenzační, polyadiční, polymerizační)
smíšené (albumin-cement, albumin-síra,
močovinoformaldehydové-vodní sklo)
- b) Podle charakteru vytvrdnutí: **vratné** (kostní a kožní klíh - vodou se
mohou opět rozpustit)
nevratné (syntetická a minerální pojiva)
- c) Podle formy a skupenství: **kapalné**
práškové
fólie

Lepené spoje

Lepidla:

- d) Podle vodovzdornosti: vysokovodovzdorné (i páře)
vodovzdorné (studené vodě)
nevodovzdorné
- e) Podle způsobu tuhnutí: **jednosložkové** (tuhnutí vlivem zvýšené teploty
nebo vzdušné vlhkosti)
dvoj a vícesložkové (tuhnutí vlivem katalyzátorů)
roztokové (tuhne vytékáním vody, či organická
rozpouštědla)
disperzní (tuhne oddifundováním vody do podkladu)
tavné (tuhne po ochazení)
stále lepivé
- f) Podle tepelných vlastností: termosety/ termoplasty/ kaučuky
- g) Podle odolnosti vůči vodě: neodolné/ krátkodobě odolné/ trvale odolné

Lepené spoje

Lepidla:

- a) *Resorcinol formaldehydové (RF) a fenol-resorcinol formaldehydové (PRF)* – typ I (EN 301), tmavé barvy, odolné, pevné, stálé, do exteriéru, na namáhané lepené nosníky - nedelaminují při požáru.
- b) *Fenol-formaldehydové (PF)* – za tepla vytvrzované: nejsou povoleny v EN 301, používají se na LVL desky, překližky a DTD.
- c) *Fenol-formaldehydové (PF)* – za studena vytvrzované: jsou povoleny v EN 301, používají se na nenosné prvky, nejsou odolné vůči kyselinám.
- d) *Močovino-formaldehydové (UF)* – za tepla vytvrzované – pouze na nenosné překližky a desky, za studena vytvrzované – typ II (EN 301), málo odolné vůči vyšší teplotě a vlhkosti, použití na LLD do interiéru.

Lepené spoje

Lepidla:

e) *Melamin-močovino formaldehydové (MUF)* – za studena vytvrzované druhy – typ II (EN 301), některé druhy – typ I, výhody – levné, světlý odstín.

f) *Kaseinové lepidlo* – nejstarší – používá se od 20. let, do interiéru, nelze použít podle EN 301.

g) *Epoxidové* – typ I (EN 301), pevné, trvanlivé (mezi MUF a PRF), drahé, použití ve speciálních případech: lodě, opravy delaminovaných LL nosníků, lepení kovů, plastů, pryže ke dřevu, vlepuvané ocelové tyče.

h) *Polyuretanové* – 1 nebo 2-složkové, pevné, odolné vůči povětrnosti, použití pro speciální účely: spoje hliník-překližka, ocel. plech-překližka, vlepuvané tyče, lepí i vlhké dřevo.

Lepené spoje

Podstata fungování lepidel:

2 fyzikálně chemické jevy:

Adheze = přilnavost: přitažlivé síly mezi molekulami různých pevných a kapalných látek

Koheze = soudržnost: přitažlivé síly mezi molekulami téže látky

Podmínky výroby lepených spojů a prvků:

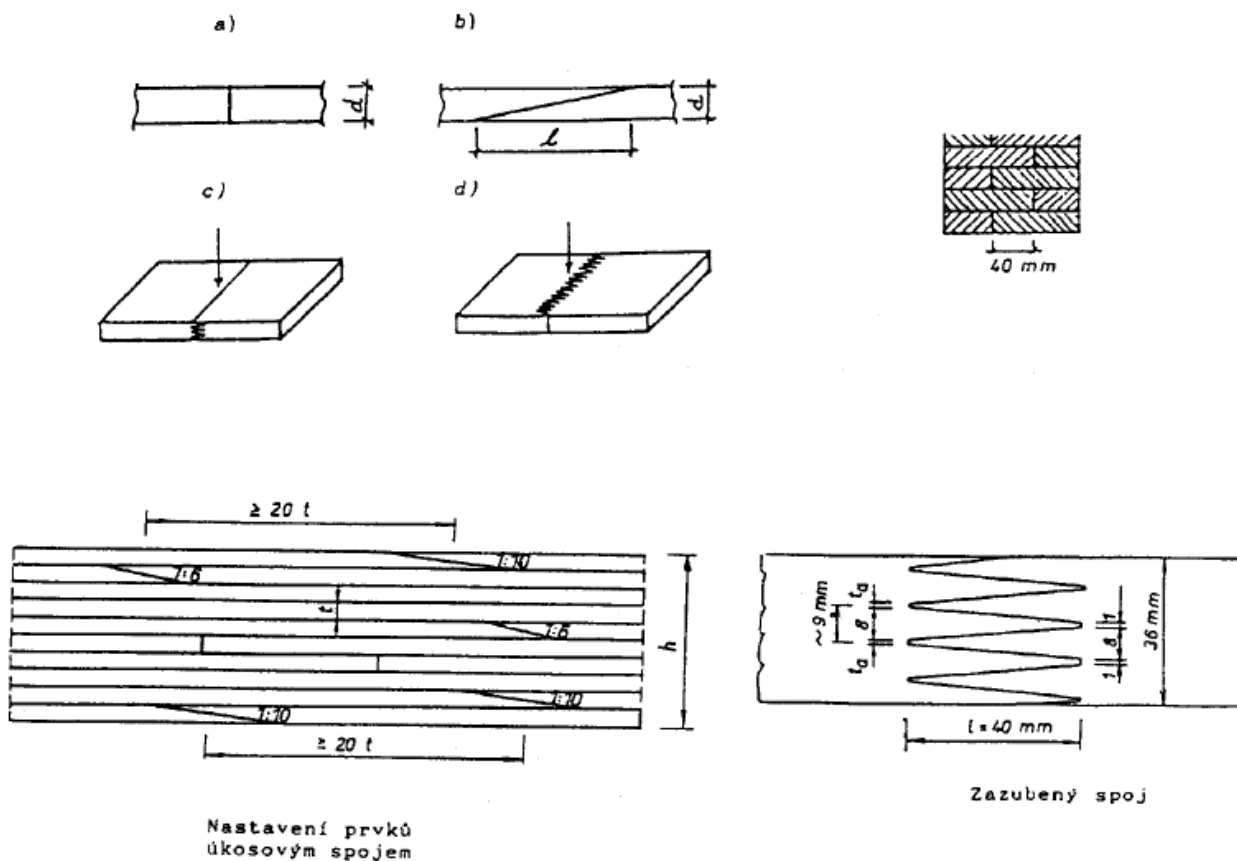
Výroba v prostředí chráněném před povětrnostními vlivy – teplota min. 15°C, vlhkost vzduchu cca 65 %.

Vlhkost dřeva: 9-12 % (do interiéru), do 18 % (do exteriéru), max. rozdíl 5%

Tloušťka lamel: do 50 mm (do interiéru), do 35 mm (do exteriéru)

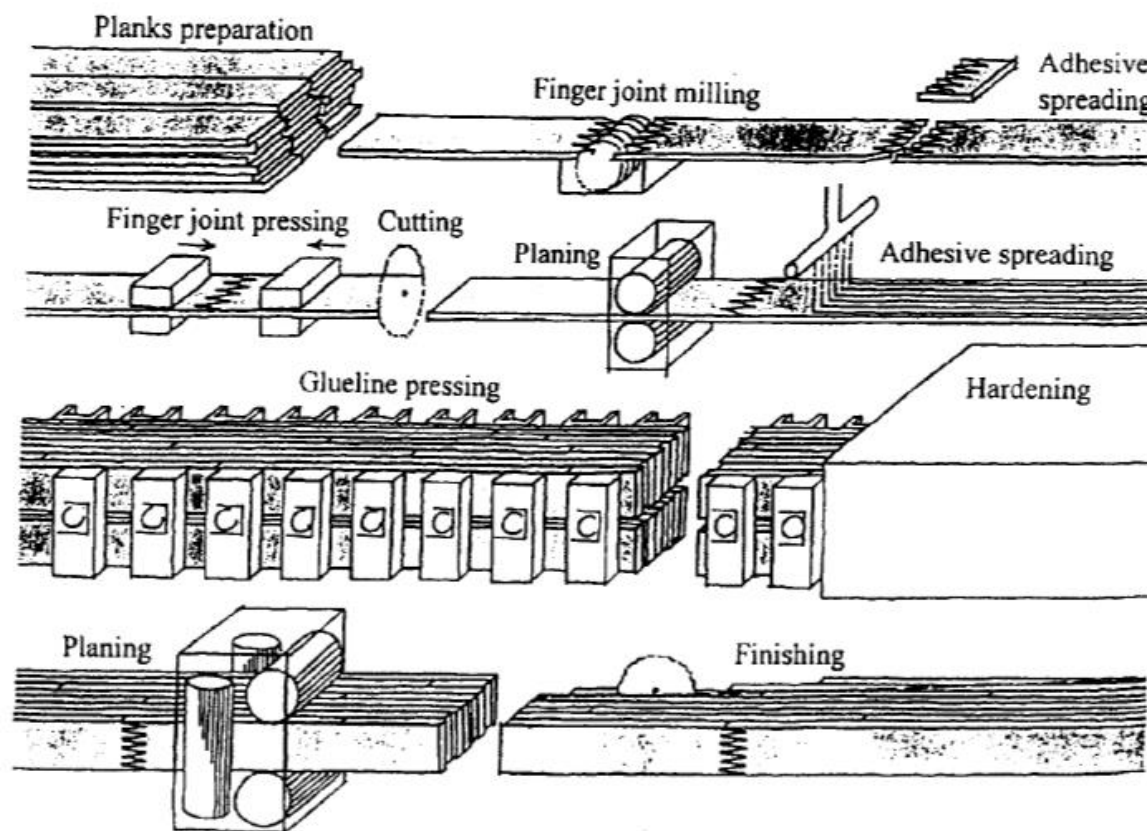
Lepené spoje

Spoje lamel prvků lepeného lamelového dřeva (LLD):



Lepené spoje

Typický výrobní proces prvků z lepeného lamelového dřeva (LLD):



Lepené spoje

Výroba zakřiveného nosníku z lepeného lamelového dřeva (LLD):



Projekt je podporovaný z programu Interreg V-A Slovenská republika – Česká republika
a spolufinancovaný z Európskeho fondu regionálneho rozvoja

Lepené spoje

Příhradové a plnostěnné obloukové mostní nosníky z LLD



Lepené spoje

Dřevěná oblouková lávka z LLD



Projekt je podporovaný z programu Interreg V-A Slovenská republika – Česká republika
a spolufinancovaný z Európskeho fondu regionálneho rozvoja

Dřevobetonové konstrukce mostů a lávek

Spřažené D-B lávky (Benešov), 2016, L = 13,6 m



Dřevobetonové konstrukce mostů a lávek

Spřažené D-B lávky (Benešov), 2016, L = 13,6 m

Spřažení pomocí speciálních vrutů



Dřevobetonové konstrukce mostů a lávek

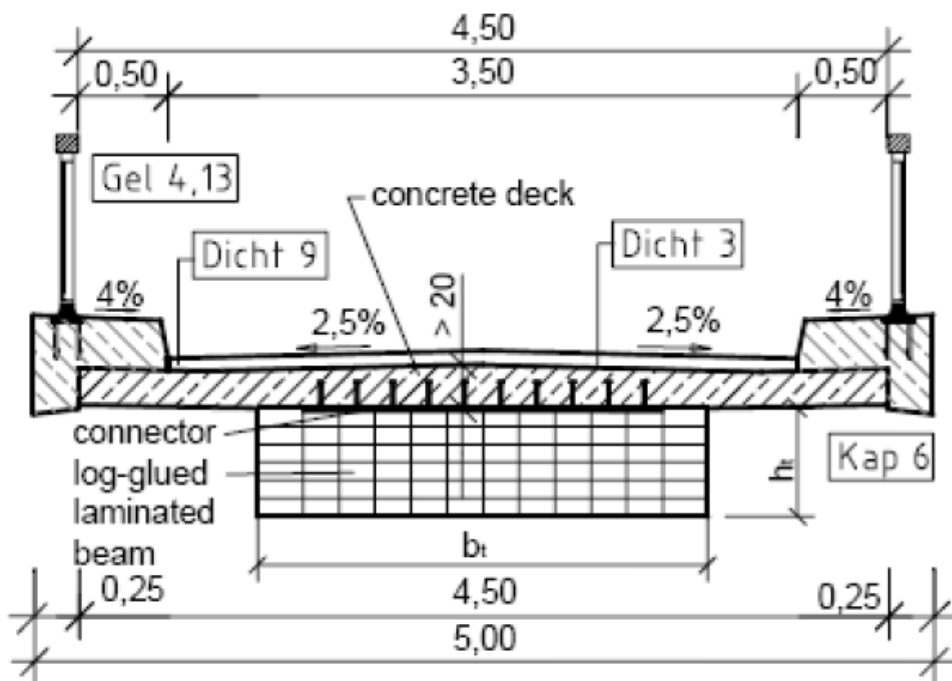
Spřažený D-B most (Bohunice u Vlachova Březí), $L = 12$ m, zatížitelnost 40 t
Spřažení pomocí speciálních vrutů



Projekt je podporovaný z programu Interreg V-A Slovenská republika – Česká republika
a spolufinancovaný z Európskeho fondu regionálneho rozvoja

Dřevobetonové konstrukce mostů a lávek

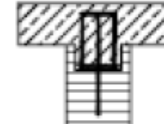
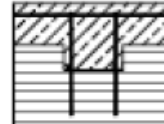
Příklady spřažení dřevobetonových mostů a lávek



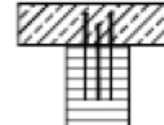
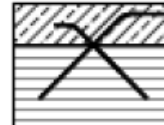
stud connector



console cam



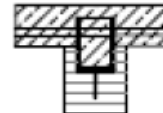
X-connector



groove

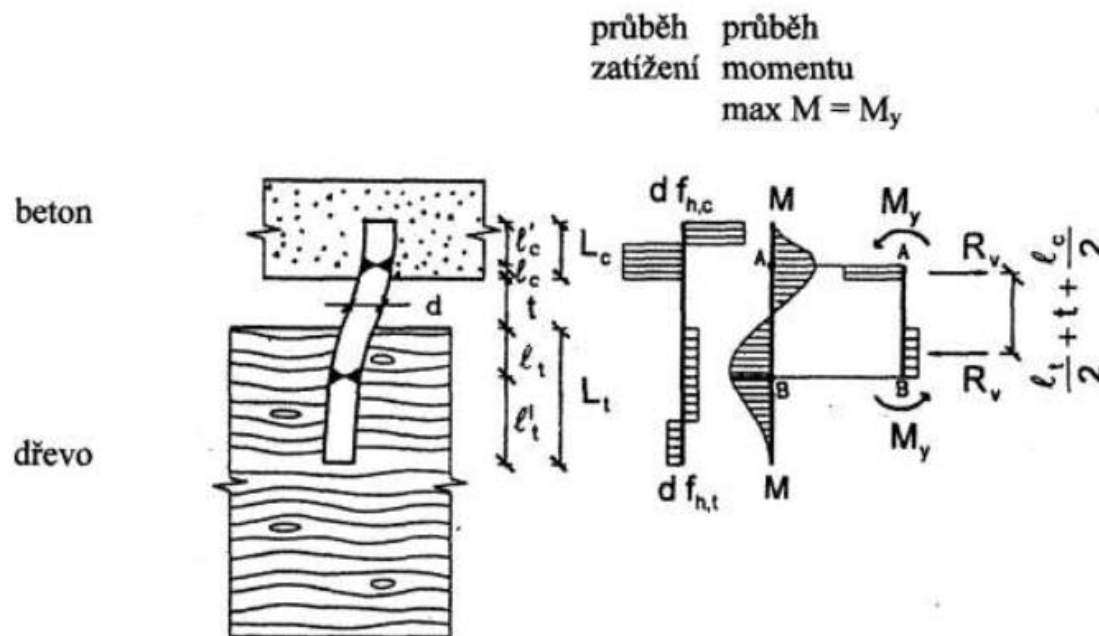


BVD-anchor



Dřevobetonové konstrukce mostů a lávek

Spřažení dřevobetonového nosníku kolíkového typu s mezivrstvou



*Deformovaný tvar spřahovacího prostředku kolíkového typu
se dvěma plastickými klouby*

$$2 M_y - f_{h,t} d \ell_t \left(\frac{\ell_t}{2} + t + \ell_c \right) + f_{h,c} d \frac{\ell_c^2}{2} = 0$$

Dřevobetonové konstrukce mostů a lávek

Spřažení dřevobetonového nosníku kolíkového typu s mezivrstvou

Únosnost spřahovacího prostředku podle Johansenovy teorie se potom rovná:

$$R_v = f_{h,t} d \ell_t = f_{h,t} d \left[\sqrt{\frac{2\beta}{1+\beta}} \sqrt{\frac{2M_y}{f_{h,t} d} + \frac{\beta}{1+\beta} \frac{t^2}{2}} - \frac{\beta}{1+\beta} t \right]$$

V případě spřažení bez mezivrstvy ($t = 0$) se vztah pro R_v zjednoduší na vztah:

$$R_v = \sqrt{\frac{2\beta}{1+\beta}} \sqrt{2M_y f_{h,t} d}$$

Pevnost betonu v otláčení ($f_{h,c}$) $\approx 4 \times$ válcová pevnost v tlaku (f_{cm}).