

Celodřevěné plátové spoje pro opravy dřevěných konstrukcí

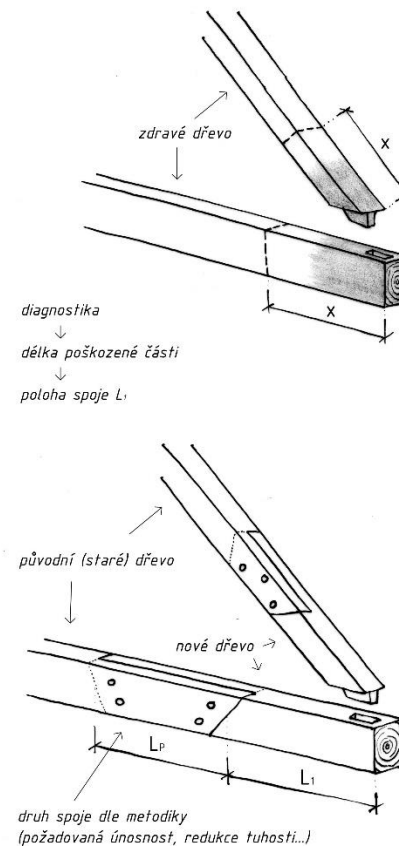
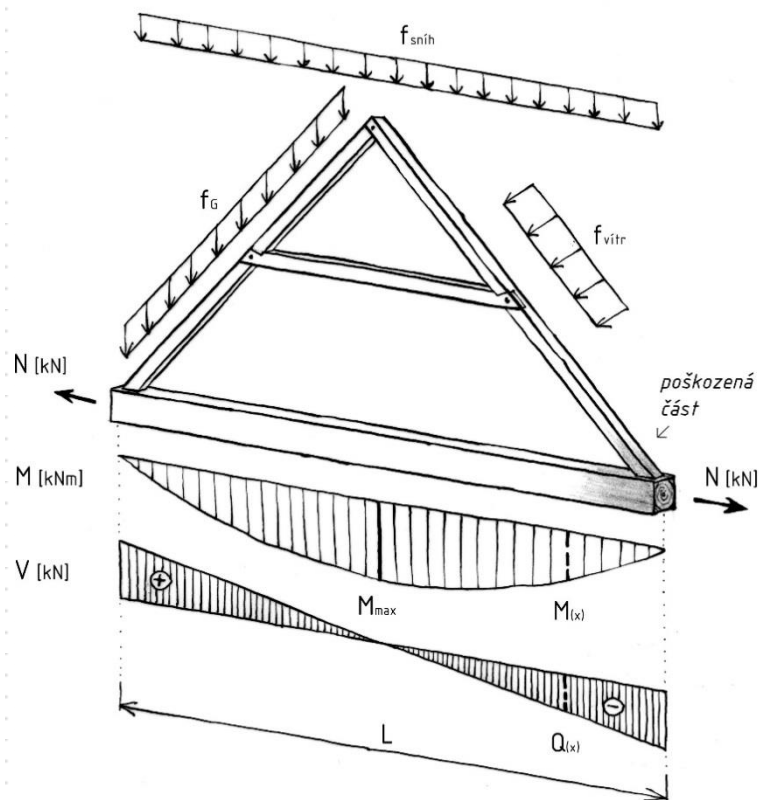


Ing. Jiří Kunecký, PhD.

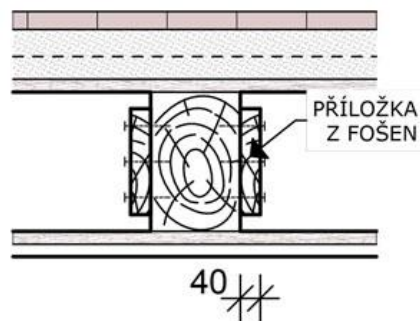
Ústav teoretické a aplikované mechaniky, v.v.i.

Akademie věd České Republiky

O co jde?



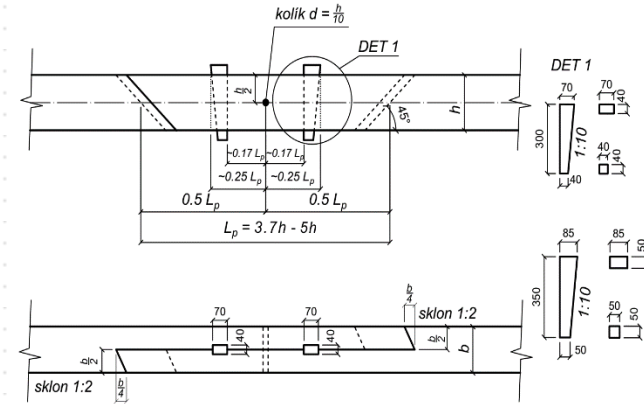
Proč vyvíjet nový spoj



použití ocelových svorníků

Jaká byla cesta k němu

- projekt národní a kulturní identity NAKI
- 2012-2015
- „Návrh a posuzování dřevěných tesařských spojů historických konstrukcí“
- pro orientaci:
 - zapojeno 6 výzkumníků
 - experimenty
 - 50 t dřeva za čtyři roky
 - jeden experiment 300 kg
 - výpočty – final 10 dní 20 procesorů

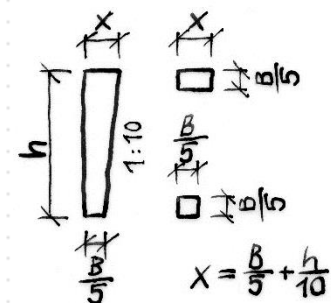


Spojovací prostředky

kolík



hmoždík



dřevo - dub, funkce – nosné nebo zajišťovací,
výhody a nevýhody

Cíl

- Vyvinout spoj(e), který má dostatečnou únosnost a tuhost a je použitelný pro opravy památek
- Vyvinout esteticky zralý a nenápadný spoj
- Spojit komunitu
- Kodifikovat výsledky výzkumu

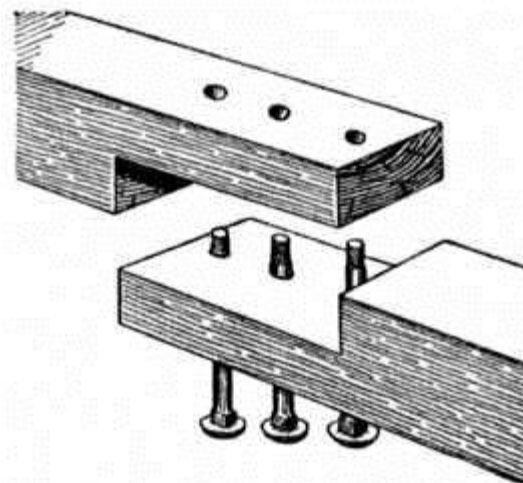
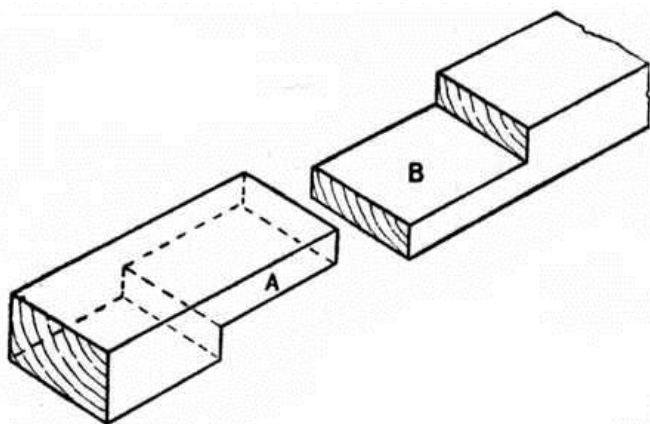


CERTIFIKOVANÁ METODIKA

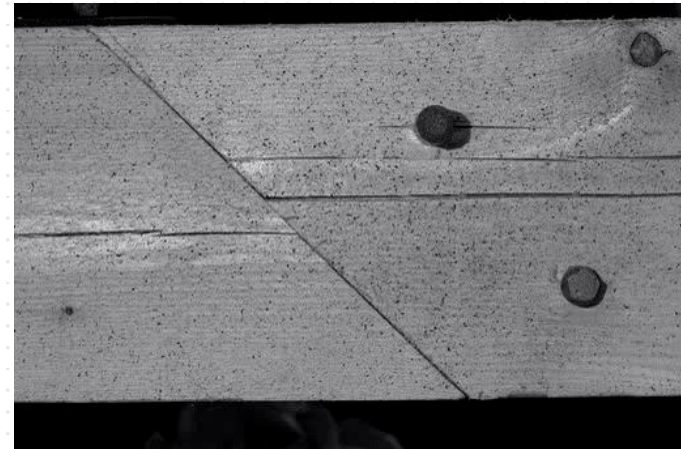
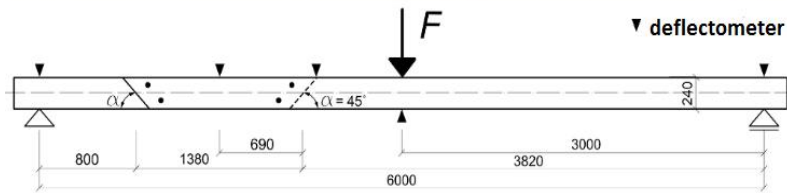
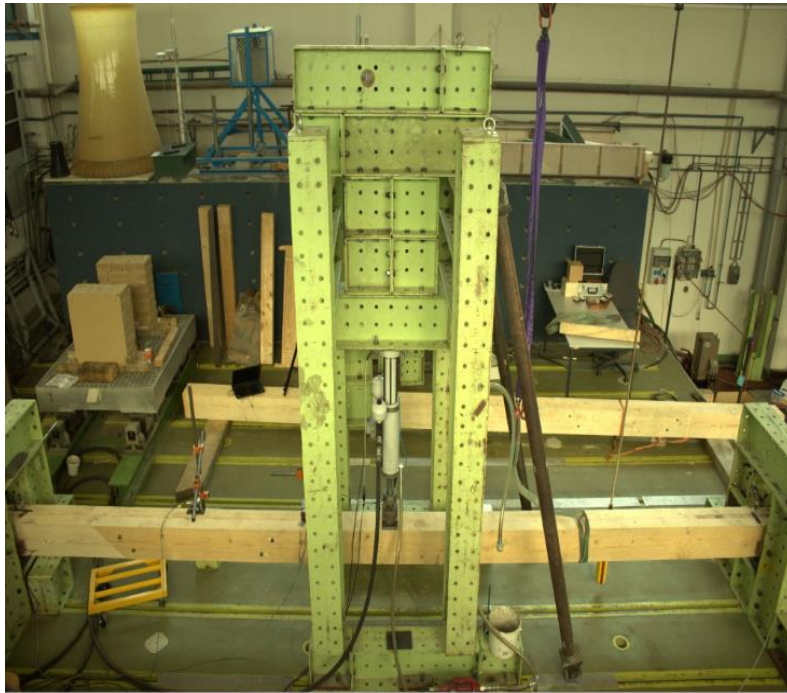


PAMÁTKOVÝ POSTUP

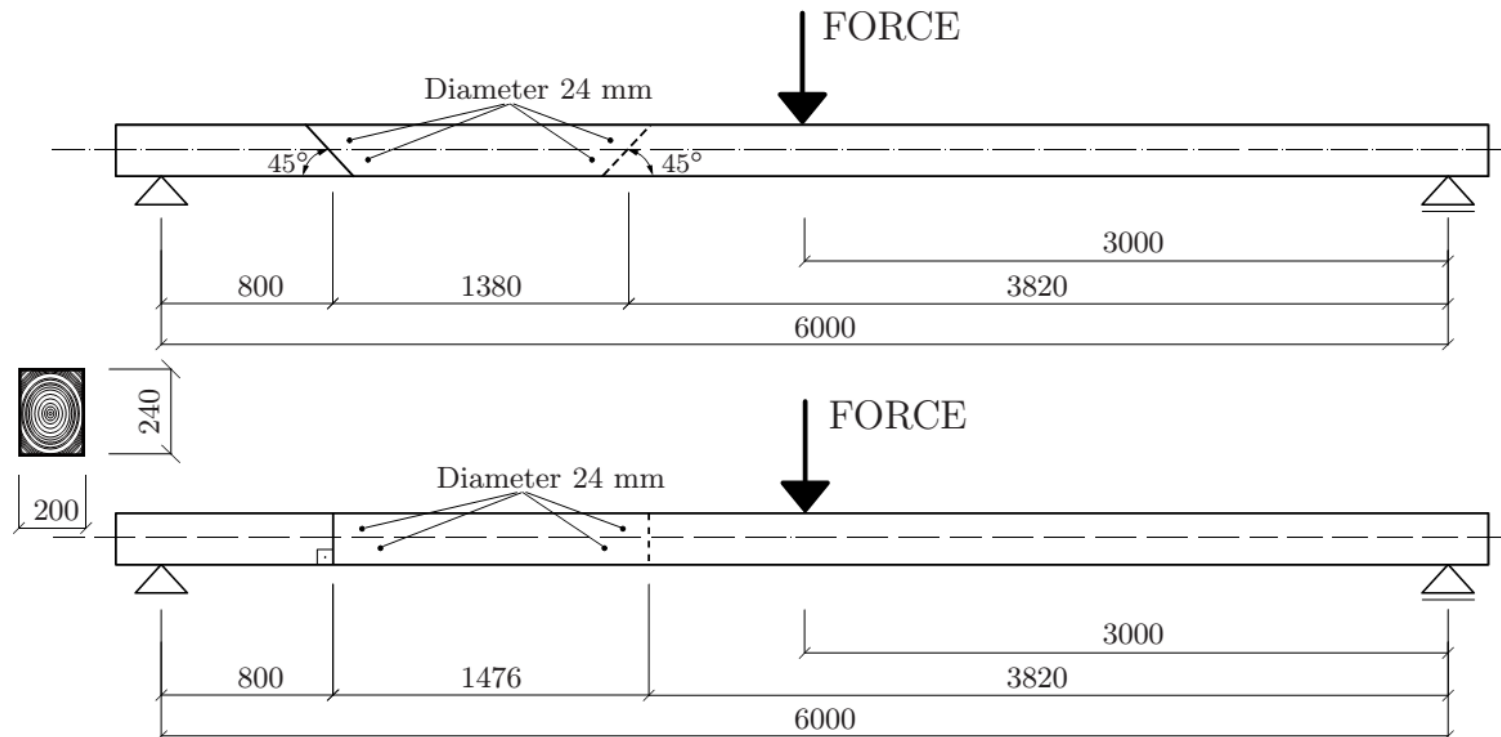
Kde jsme začínali



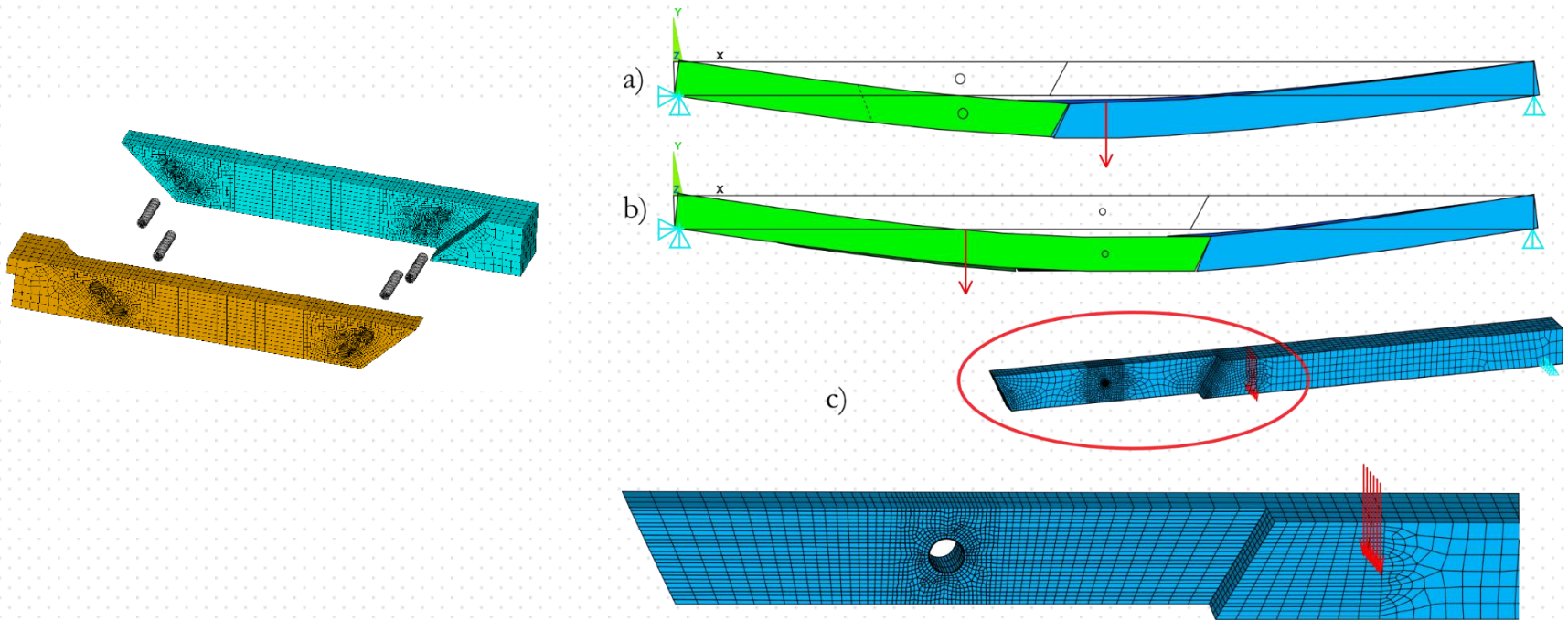
Metody výzkumu - experimenty



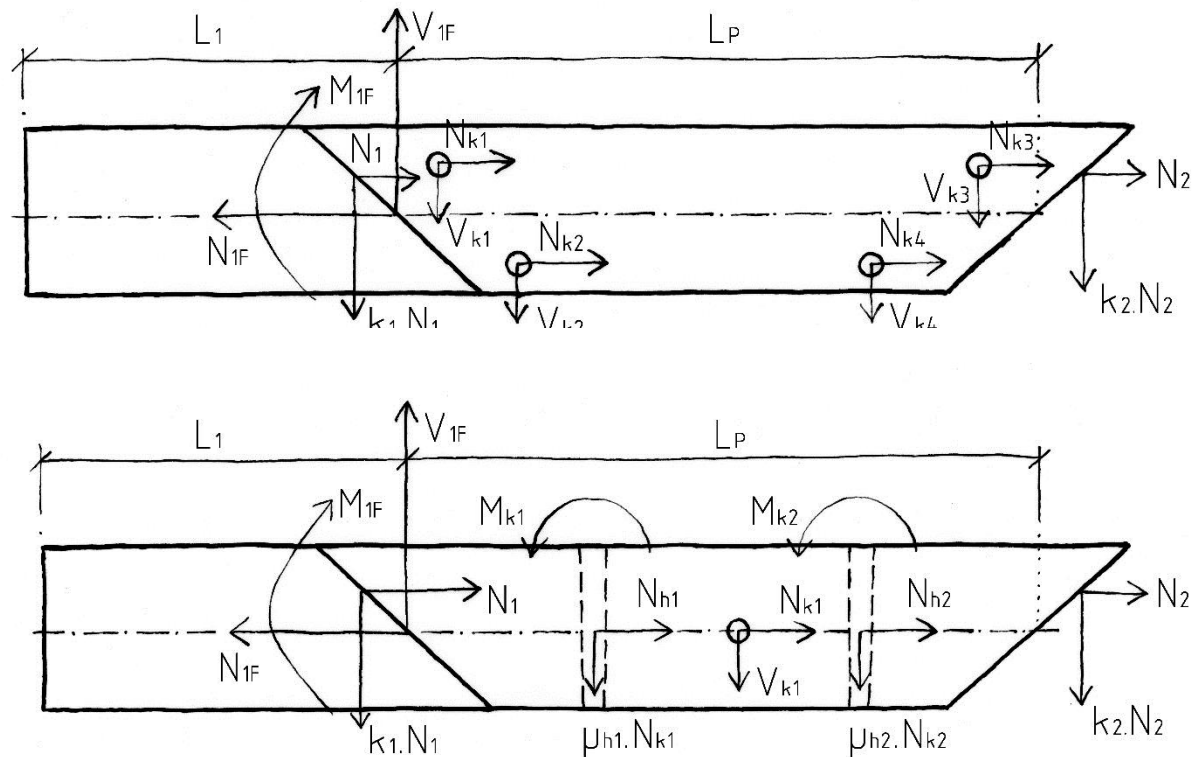
Metody výzkumu - experimenty



Metody výzkumu - numerika



Metody výzkumu – analytika



Ideje – hypotézy - problémy

- **dřevěný vs ocelový kolík**
- experimentálně vychází stejně
- výpočtem je objasněno: větší poddajnost = větší distribuce sil na různé kolíky

- **vhodný typ**
- každý spojovací prostředek má své slabé a silné stránky
- vyvinuty **čtyři** druhy spojů
- každému odpovídá vhodný druh namáhání

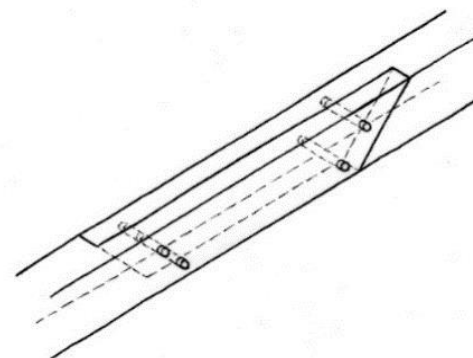
- **kolik a kam umístit**
- najít vhodná místa pro kolíky
- najít vhodný počet kolíků

- **úhel čel**
- při ohybu experimentálně vychází optimálně 40°
- z praktických důvodů zvoleno 45°
- při některých namáháních vhodných 60°

- **jak to udělat praktické**
- aby se v tom každý vyznal
- aby byla jasná únosnost a tuhost opravené konstrukce
- udělat a shodnout se v komunitě na vhodném postupu

Ideje – hypotézy - problémy

- dřevěný vs ocelový kolík
- experimentálně vychází stejně
- výpočtem je objasněno: větší poddajnost = větší distribuce sil na různé kolíky

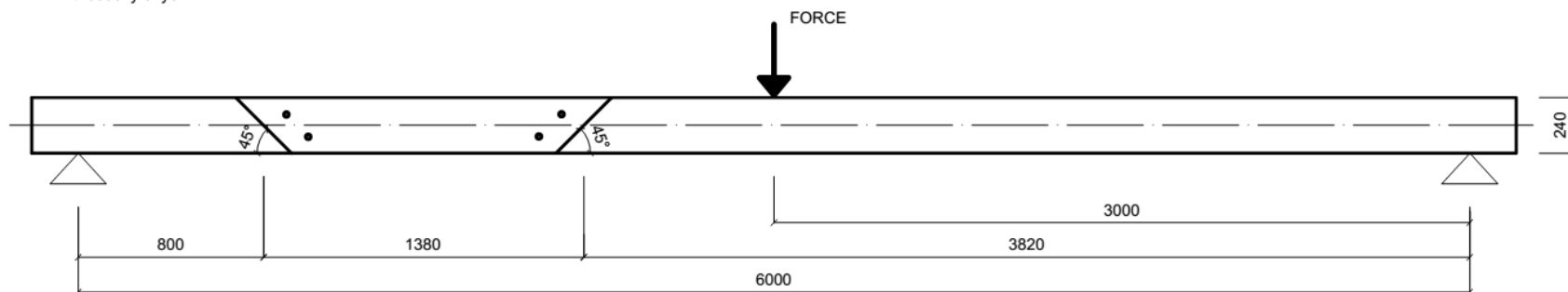


test #	Linear Force F_lin kN	Displacement at F_lin u_lin mm	Moment joint M_lin kNm	Linear Stiffness k_lin N/mm	Max Force F_max kN	Displacement at F_max u_max mm	
20x24							
stan_1		16,0	56,25	12,0	283,9	24,1	115
stan_2		13,0	34	9,8	382,4	16,8	73
stan_3		20,8	57	15,6	364,7	24,7	81
average		16,6	49,1	12,4	343,7	21,8	90
FEM+EC5							
alter_1		21,7	56,25	16,2	385,1	25,4	91
alter_2		17,9	59,5	13,4	300,3	20,7	102
alter_3		18,6	55,75	14,0	333,6	19,1	60
average		19,4	57,2	14,5	339,7	21,7	84
FEM+EC5							

Ideje – hypotézy - problémy

- **úhel čel**
- při ohybu experimentálně vychází optimálně 40°
- z praktických důvodů zvoleno 45°
- při některých namáháních vhodných 60°

SCHÉMA ZKOUŠKY
tříbodový ohyb

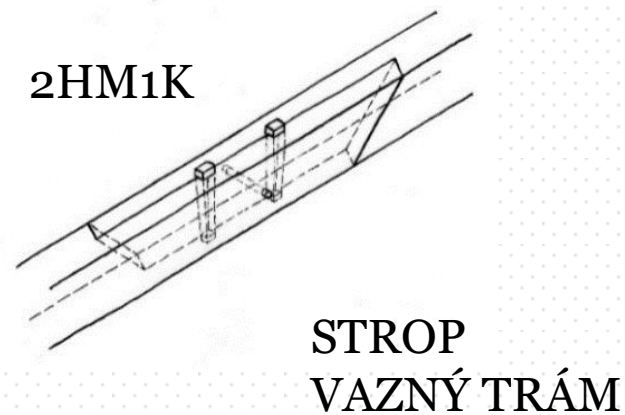
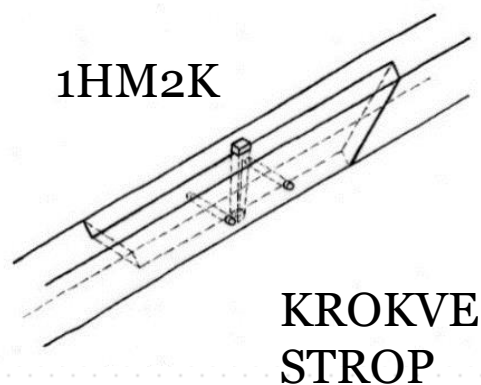
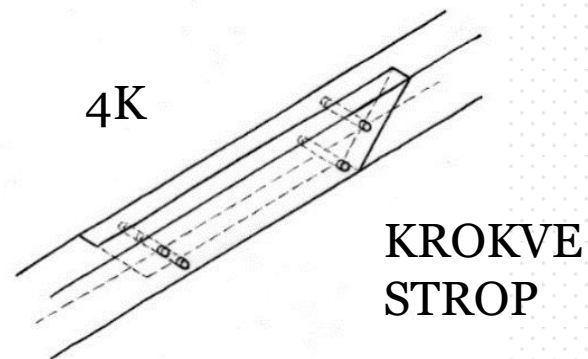
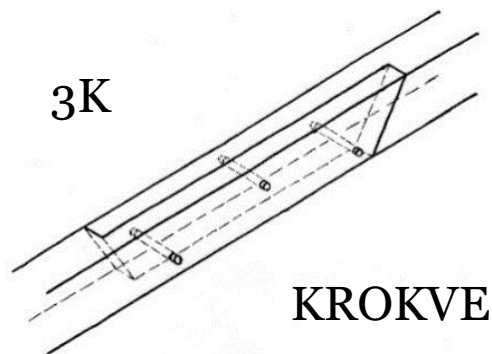


Ideje – hypotézy - problémy

- **kolik a kam umístit**
- najít vhodná místa pro kolíky
- najít vhodný počet kolíků

- **vhodný typ**
- každý spojovací prostředek má své slabé a silné stránky
- vyvinuty **čtyři** druhy spojů
- každému odpovídá vhodný druh namáhání

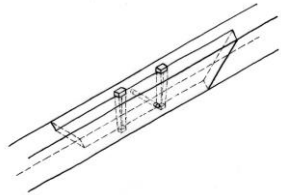
Výsledek – čtyři druhy spojů



Ideje – hypotézy - problémy

- **jak to udělat praktické**
- aby se v tom každý vyznal
- aby byla jasná únosnost a tuhost opravené konstrukce
- udělat a shodnout se v komunitě na vhodném postupu

Výsledek - karta spoje

Dvouhmoždíkový spoj se šikmými podkosenými čely zajištěný jedním kolíkem (dále jen „dvouhmoždík“ nebo „2HM+1K“)	
FUNKCE	- je naprosto vždy vyžadováno nejen šikmé, ale i podkosené čelo, které nedovolí hmoždíkům pootočit se - přenáší vhodně všechny uvedené druhy zatížení - možný pouze ve variantě s 45° čely - vhodný pouze pro větší profily díky velikosti hmoždíku - nosné jsou především hmoždíky, které díky vysoké tuhosti a únosnosti přenášejí naprostou většinu sil ve spoji. Je používán zejména tam, kde normálová síla je vysoká (především vazné trávy). - pro šířky trámu do $b \leq 220$ mm včetně je vhodné užívat hmoždík o rozměrech dolní podstavy 40×40 mm, v případě větších profilů variantu 50×50 mm (viz záložka VÝKRES, GEOMETRIE). 
ÚNOSNOST	
TUHOST	Tuhosti prvku s plátem a jim odpovídající průhyby $L_1 < \frac{L}{12}, L_p = 2,5h :$ $k = 870Eb \frac{h^{2,6}}{L^{2,6}} [\text{MNm}^{-1}]; \quad w = w_0 4,6 \frac{h^{0,4}}{L^{0,4}}$ $L_1 > \frac{L}{12}, L_p = 2,5h :$ $k = 100Eb \left(8,7 - 16 \left(\frac{L_1}{L} - \frac{1}{12} \right) \right) \frac{h^{2,6}}{L^{2,6}} [\text{MNm}^{-1}]; \quad w = w_0 \frac{40}{\left(8,7 - 16 \left(\frac{L_1}{L} - \frac{1}{12} \right) \right)} \frac{h^{0,4}}{L^{0,4}}$

VÝKRES, GEOMETRIE	$L_1 < \frac{L}{12}, L_p = 5h :$ $k = 830Eb \frac{h^{2,6}}{L^{2,6}} [\text{MNm}^{-1}]; \quad w = w_0 4,8 \frac{h^{0,4}}{L^{0,4}}$ $L_1 > \frac{L}{12}, L_p = 5h :$ $k = 100Eb \left(8,3 - 9,4 \left(\frac{L_1}{L} - \frac{1}{12} \right) \right) \frac{h^{2,6}}{L^{2,6}} [\text{MNm}^{-1}]; \quad w = w_0 \frac{40}{\left(8,3 - 9,4 \left(\frac{L_1}{L} - \frac{1}{12} \right) \right)} \frac{h^{0,4}}{L^{0,4}}$ b je šířka profilu [m], h je výška profilu [m], L je délka prvku [m], L_1 je vzdálenost čela v ose od začátku nosníku [m] a E je průměrná hodnota modulu pružnosti [GPa] dle Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.; w je průhyb uprostřed trámu se spojením, w_0 je původní průhyb trámu bez spoje. Tato tuhost je vypočtena pro prostý ohyb. V případě kombinovaného namáhání dochází při tlaku a ohybu k zachování, příp. malému zvětšení tuhosti spoje; v případě tahu a ohybu je naopak až o čtvrtinu nižší tuhost, dochází tedy k průhybu až o čtvrtinu většímu oproti výše uvedeným vztahům.
DOPORUČENÉ ROZMĚRY	$b/h = 180/220$ $L_p = 3,7h$ $d = 22 \text{ mm}$ $a_p = \min 5d = 110 \text{ mm}$ $b/h = 180/220$ $L_p = 5h$ $d = 22 \text{ mm}$

Předpoklady a zásady I

- Kroucení profilu v místě plátu je zanedbáno.
- Je použito kvalitní dřevo.
- Minimální počet spojovacích prostředků jsou tři.
- Minimální vzdálenost začátku spoje od kraje nosníku je 2h.
- V případě, že by trám byl plátován na více místech, jejich minimální vzdálenost je 6h.
- Tuhost plátu se při kombinovaném namáhání mění. Detaily jsou popsány u každého spoje zvlášť.

Předpoklady a zásady II

- Spoje navrhujeme pouze na profily $\frac{2}{3} < \frac{b}{h} < 1$.
- Spoj nesmí být nikdy použit uprostřed trámu, jeho konec by neměl nikdy přesáhnout polovinu délky trámu.
- Spoj nikdy nesmí být zatížen přímo v místě plátu (např. vzpěrou či sloupkem), ale vždy alespoň ve vzdálenosti *jedné výšky* trámu vynesené od konce čel na každou stranu.
- Orientace spoje musí být VŽDY taková, aby čela byla zešikmena ve směru písmena V ($\backslash = /$) pro kladný ohybový moment dle konvence.

ÚDRŽBA A KONTROLA CHOVÁNÍ SPOJE

- Konstrukce by měla být **vizuálně zkontrolována při předávání stavby**.
- **Po jednom roce** užívání by mělo dojít k **dalšímu ohledání stavu konstrukce spolu s údržbou spojů**.
- Dále by **uživatel** měl periodicky kontrolovat stav konstrukce cca **1x za tři roky**.
- **Na tuto povinnost ho musí upozornit zhotovitel dřevěné konstrukce při předávání stavby odběrateli**.
- O stavu konstrukce při kontrole je nutno sepsat protokol.

Výsledek – jak to vypadá



Diskuse

- Estetické kvality
- Vhodnost použití
- Cena
- Otázky kolegů

kontakt spoje@itam.cas.cz
web www.itam.cas.cz/spoje