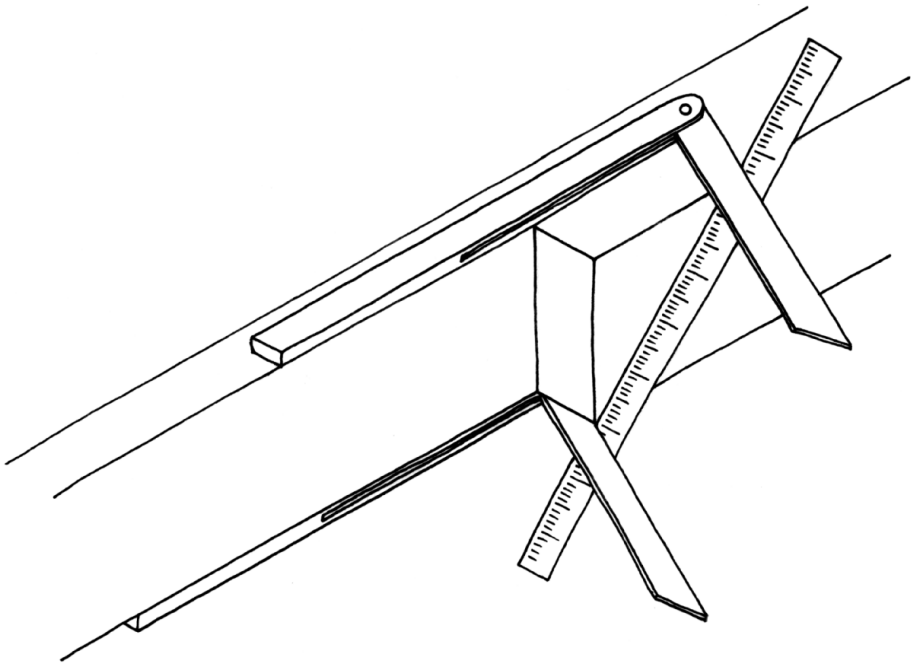
Celodřevěné plátové spoje pro opravy historických konstrukcí

výsledek aplikovaného výzkumu - metoda navrhování



Jiří Kunecký
Hana Hasníková
Michal Kloiber

Petr Fajman
Petr Kuklík

Václav Sebera
Jan Tippner

ÚTAM AV ČR

FSv ČVUT

LDF MENDELU

Ústav teoretické a aplikované mechaniky
Akademie věd České Republiky, v. v. i.

Centrum Excelence Telč

Lesnická a dřevařská fakulta

Mendelova univerzita v Brně

Fakulta stavební

České vysoké učení technické v Praze

METODIKA

Celodřevěné plátové spoje pro opravy historických konstrukcí

Název projektu: DF12P01OVV004
„Návrh a posuzování dřevěných tesařských spojů historických konstrukcí“

Autoři: Ing. Jiří Kunecký, Ph.D.
doc. Ing. Petr Fajman, CSc.
Ing. Hana Hasníková
doc. Ing. Petr Kuklík, CSc.
Ing. Michal Kloiber, Ph.D.
Ing. Václav Sebera, Ph.D.
Ing. Jan Tippner, Ph.D.

Číslo výsledku: AVV-CM1-2015

Certifikační orgán: Ministerstvo kultury ČR,
schváleno dne 24. 3. 2016

Praha, červen 2015

Metodika je určena správcům památkových objektů, projektantům a pracovníkům nebo organizacím provádějícím opravy dřevěných prvků a konstrukcí památkových objektů, aby v dostatečné kvalitě zajistili přípravy intervencí a realizace prací pro záchranu, dlouhodobou udržitelnost, zvýšení spolehlivosti a bezpečnosti dřevěných konstrukcí.

Oponenti:
Ing. Jan Vinař
ředitel MURUS, s.r.o.

Ing. Vít Mlázovský
Projektant, živnostník
IČ: 10180010

N_{met} – CERTIFIKOVANÁ METODIKA

Osvědčení o uznání certifikované metodiky č. 113 ze dne 24. 3. 2016
vydalo Ministerstvo kultury ČR, Maltézské náměstí 1, 118 11 Praha 1

Adresa autorů:

Ústav teoretické a aplikované mechaniky AV ČR, v. v. i.
Prosecká 76, 190 00 Praha 9
Centrum excelence Telč
Batelovská 485, 588 56 Telč
www.itam.cas.cz

Lesnická a dřevařská fakulta, Mendelova univerzita v Brně
Zemědělská 3, 613 00 Brno
www.ldf.mendelu.cz

Fakulta stavební, ČVUT v Praze
Thákurova 7, 166 29 Praha 6 – Dejvice
www.fsv.cvut.cz

ISBN: 978-80-86246-64-2
e-ISBN: 978-80-86246-67-3
DOI: 10.21495/67-3

Celodřevěné plátové spoje pro opravy historických konstrukcí

Metodika pro návrh a výrobu celodřevěných tesařských spojů (dále jen „metodika“)

Metodika byla připravena a vydána v rámci plnění projektu NAKI DF12P01OVV004 „Návrh a posuzování dřevěných tesařských spojů historických konstrukcí“ financovaného MK ČR na základě smlouvy č. 4/2012/OVV. Projekt byl řešen v průběhu let 2012 až 2015. Řešiteli projektu byla Fakulta stavební Českého vysokého učení technického v Praze (FSv ČVUT), Ústav teoretické a aplikované mechaniky AV ČR, v. v. i. (ÚTAM) a Lesnická a dřevařská fakulta Mendelovy univerzity v Brně (MENDELU). Koordinujícím řešitelem projektu byl doc. Ing. Petr Fajman, CSc., který se v rámci výsledků projektu věnoval především statickému posouzení únosnosti spojů.
Na metodice se podíleli kromě koordinujícího řešitele zejména Ing. Jiří Kunecký, Ph.D. (editor metodiky, experimenty, numerické modely, určení tuhostí), Ing. Hana Hasníková (experimenty), doc. Ing. Petr Kuklík, CSc. (normalizace, vztah metodiky k normám), Ing. Michal Kloiber, Ph.D. (diagnostika dřeva, materiálové vlastnosti), Ing. Václav Sebera, Ph.D. (materiálové vlastnosti, numerické modely) a Ing. Jan Tippner, Ph.D. (materiálové vlastnosti, spojovací prostředky). Autoři mají dlouholeté zkušenosti s experimentálním testováním konstrukcí, pokročilými metodami stavební mechaniky a dlouhodobým chováním dřeva ve stavebních konstrukcích. Výsledky projektu byly v jeho průběhu konzultovány v rámci pracovní skupiny, která byla pro tento účel sestavena z odborníků z praxe – statiků a tesařů zabývajících se tradičními technikami. Kromě toho byly výsledky prezentovány a konzultovány i v rámci evropského prostoru díky programu financovaného Evropskou unií „COST FP1101 Assessment, Reinforcement and Monitoring of Timber Structures“. Dílčí výsledky výzkumu byly publikovány v prestižních světových časopisech (Construction and Building Materials, Materials and Structures atd.).

Anotace

Publikace se věnuje popisu oprav dřevěných konstrukcí za užití protézovacího plátového spoje nově navrženého pro nahrazení poškozených částí nosníků. Tento nový plátový spoj využívá rozpíravého efektu šikmých čel a síly v něm jsou přenášeny pomocí dřevěných spojovacích prostředků - dřevěných kolíků či dřevěných hmoždíků. Plát je modifikován ve čtyřech variantách dle způsobu namáhání a je vhodný pro historicky hodnotné dřevěné konstrukce. Splňuje jak funkční, tak estetické hledisko. V metodice se projektant - statik dozví, jaká je únosnost či tuhost nosníku s navrženým spojem, jeho doporučené rozměry a detailní geometrie. Zhotovitel naopak ocení popis výroby a údržby spoje.

Klíčová slova: *celodřevěné tesařské spoje, plátový spoj, protézování, únosnost, tuhost, provádění spoje.*

Poděkování

Autoři metodiky děkují tesařům Petru Růžičkovi, Davidu Stejskalovi a Martinu Šnajdrovi za pomoc při sestavování technologie provedení spoje; statikům Ing. Otakaru Hrdličkovi, Ing. Janu Vinařovi a Ing. Vítu Mlázovskému za konzultace funkčnosti spoje z hlediska praxe. Jaroslavu Buzkovi za spolupráci při přípravě grafických podkladů pro metodiku. Dále pak pracovníkům ÚTAM AV ČR, kteří se podíleli na experimentech, zejména Ing. Janu Bayerovi, Bc. Janu Chládovi, Ing. Ondřeji Válovi, Ing. Pavlu Zímovi, Petru Alexanderovi, Miroslavu Slížkovi a Jaroslavu Hodrmentovi. V neposlední řadě i Anně Arciszewské-Kędzior za spolupráci při experimentech a tvorbě numerických modelů a Ing. Jaromíru Milchovi za experimentální práci.

Metodika vznikla za finanční podpory projektu Ministerstva kultury NAKI DF12P01OVVOO4 „Návrh a posuzování dřevěných tesařských spojů historických konstrukcí.“

OBSAH

1 ÚVOD 1
1.1 Přístup řešení a cíl metodiky 1
1.2 Raison d'être metodiky 1
1.3 Jak číst metodiku 2
1.4 Jak navrhovat dle metodiky 3
1.5 Předpoklady a validita metodiky 3
1.5.1 Vymezení předmětu 3
1.5.2 Způsob tvorby metodiky a validita výsledků 4
1.6 Výhody a nevýhody celodřevěného plátu 5
2 NÁVRH CELODŘEVĚNÝCH PLÁTOVÝCH SPOJŮ 6
2.1 Popis mechanického chování spoje 6
2.1.1 Obecné principy 6
2.1.2 Statický model spoje 7
2.2 Návrh spoje 8
2.2.1 Obecné principy návrhu 8
2.2.2 Přehled spojů a jejich vhodné užití 12
3 TECHNOLOGIE VÝROBY SPOJE 25
3.1 Určení rozměrů materiálu 25
3.1.1 Tesaný trám 25
3.1.2 Strojně opracovaný trám 26
3.2 Výběr dřeva 27
3.3 Výroba spojovacích prostředků 27
3.4 Výroba plátu 28
3.5 Vyměření a výroba podélného plátu na protéze 33
3.6 Sesazení spoje 33
3.7 Povinné požadavky nutné pro správnou funkci spoje 36
4 ÚDRŽBA A KONTROLA CHOVÁNÍ SPOJE 37
5 SEZNAM POUŽITÉ SOUVISEJÍCÍ LITERATURY 38
6 PUBLIKACE, KTERÉ METODICE PŘEDCHÁZELY 39
PŘÍLOHY 42
A. Příklady použití metodiky 42
B. Detailní návrhové grafy únosnosti 53
C. Tesařský terminologický slovník 60
D. Kontaktní informace 63

1 ÚVOD

1.1 Přístup řešení a cíl metodiky

Při opravách historických stavebních památek se vychází z paradigmatu zachování původního rázu objektu pro příští generace. Vybrané památky mají být zachovány v takovém stavu, aby naši následníci mohli navštívit památku v její největší autentičnosti. Každý zachovaný prvek konstrukce či jeho část nese historické informace nevyčíslitelné hodnoty - např. o materiálu, technologii výroby, konstrukci apod. Proto je snaha historické objekty opravovat takovým způsobem, aby návštěvník nezaznamenal opravy, které celkový pocit z objektu ruší, zachovat z původní stavby co nejvíce a opravy provádět co nejcitlivěji [7], [15].

Dřevěné konstrukce v památkových objektech, pokud nejsou vystaveny vlivu zvýšené vlhkosti, napadeny dřevokazným hmyzem, hnilobou či přetíženy, zůstávají i po staletích ve velmi dobrém stavu, zejména co se týče mechanických vlastností původního (starého) dřeva. V nevyhovujících podmínkách ovšem dřevo rychle degraduje, a právě poškozené části je nutné odstranit a nahradit novými. Nejčastěji se jedná o části konstrukcí s poruchami lokalizovanými zejména u styku trámu a zdiva u zhlaví trámů, kde zvýšená vlhkost, např. vlivem zatékání dešťové vody, vytváří ideální podmínky pro rozvoj degradace dřeva. Aby bylo zachováno co nejvíce původního materiálu, a to nejen z důvodů ochrany památek, ale i ryze praktických a ekonomických důvodů, lze nahradit pouze poškozenou či napadenou část konstrukčního prvku. Pro tyto opravy (napojení starého a nového dřeva) se dnes nejčastěji používají kovové spojovací prostředky. Ačkoliv se i v minulosti v různých obdobích kovových prostředků v tesařských spojích užívalo, dnešní opravy pomocí svorníků mohou působit v hodnotném krovu nebo místnosti na stropním trámu necitlivě.

Metodika je zaměřena na představení **plátového tesařského spoje, který využívá pouze dřevěných spojovacích prostředků.** Tento spoj zajišťuje dostatečnou mechanickou tuhost a únosnost, je méně nápadný, zachovává estetický ráz původní konstrukce a eliminuje nevýhody styku dřeva a kovu (např. chemická koroze, mechanika nesourodých materiálů, kondenzace vlhkosti v okolí spojovacích prostředků aj.).

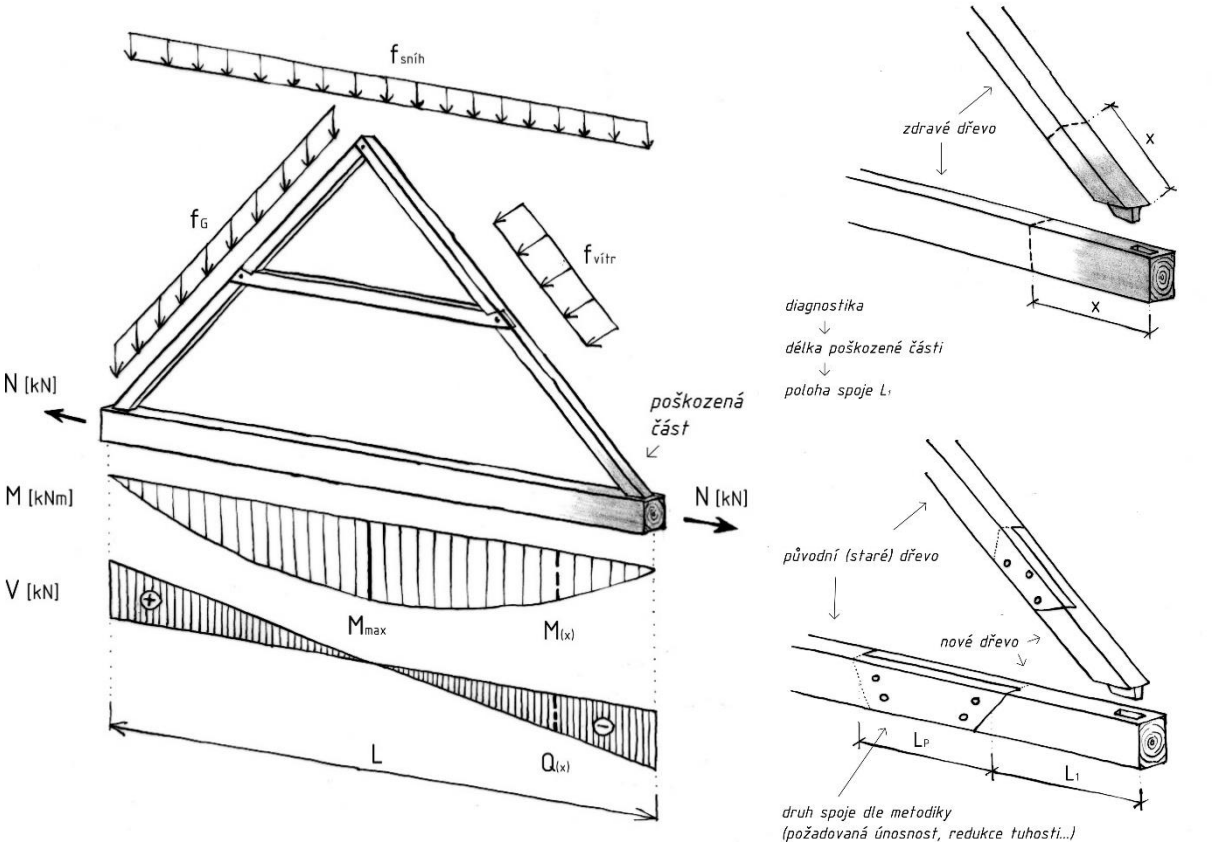
1.2 Raison d'être metodiky

Technické normy u nás začínaly platit ve 30. letech 20. století, tedy v době, kdy bylo používání klasických tesařských spojů v útlumu a běžně se používaly spoje s kovovými průmyslově vyráběnými spojovacími prostředky. Nebylo tedy nutné se celodřevěnými spoji v rozvíjejících se normativních textech zabývat. V dnešní době se situace změnila. Jako základní dokument pro navrhování dřevěných konstrukcí slouží Eurokód 5 (EC5 [21]), ve kterém však navrhování tesařských spojů není komplexně podchyceno. Přenos sil se v těchto spojích odehrává tlakem a třením na styčných plochách spojovaných částí. Spoje, které jsou namáhány na ohyb, jako je například ohýbaný plátový spoj uváděný zde v metodice, však nemohou být správně navrženy, protože jejich mechanické chování (působící síly, tuhost) není známo. Toto se snaží překlenout právě představovaná metodika detailním popisem fungování celodřevěného plátového spoje. Přináší přehlednější, popisnější a z hlediska ochrany památek citlivější postup návrhu a výroby celodřevěného spoje určeného pro opravy historických dřevěných konstrukcí.

1.3 Jak číst metodiku

Metodika vznikala spolu s památkovým postupem „Využití celodřevěných tesařských spojů při opravách historických konstrukcí“ [5] (dále jen „památkový postup“) a pro uživatele tvoří oba texty důležitou a provázanou referenci. **Z hlediska statického návrhu nastavovacího spoje je důležitá především tato metodika.** Návrh opravy následuje po posouzení konstrukce na namáhání od zatížení. **Řemeslné provedení spoje je z praktických důvodů popsáno v obou dokumentech, neboť je vhodné v metodice obě roviny - teoretickou a praktickou - spojit do jedné publikace**. V památkovém postupu jsou navíc uvedeny činnosti, které by měly předcházet opravě historické dřevěné konstrukce včetně možných diagnostických metod, které lze použít k odhalení poškozených částí konstrukce a k popisu vlastností zabudovaného dřeva. Jednotlivé diagnostické metody jsou podrobně popsány v „Diagnostice dřevěných konstrukcí“ [4]. V památkovém postupu je rovněž popsána aplikace celodřevěných spojů během oprav dvou historických staveb, která posloužila jako ověření postupu v praxi.

Metodika předpokládá znalost tématu stavební mechaniky a provádění oprav historických dřevěných konstrukcí. Návrhová část (viz podkapitola 2.2) je určena pro statiky a projektanty, praktická část (kapitola 3) především pro tesaře a pracovníky vykonávající stavební dozor a odborný dohled. Vzhledem k praktickým důsledkům je však vhodné a doporučené, aby řemeslnou část pročetli všichni uživatelé metodiky, protože mohou narazit na praktické důsledky týkající se použití spoje. Pro návrh spoje je kruciální projít podkapitolu 1.4, aby byla pochopena filozofie návrhu metodiky.



Obr. 1 Vazba s poškozenými prvky a průběh opravy

1.4 Jak navrhovat dle metodiky

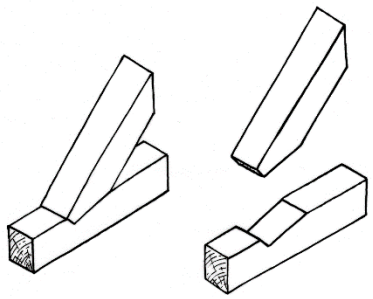
Na Obr. 1 je graficky znázorněn průběh opravy poškozeného konstrukčního prvku a aplikace vhodného celodřevěného spoje. Poškozená část na kraji trámu musí být vyměněna. Pomocí diagnostiky materiálových vlastností dřeva se určí místo, kde je již dřevo bez poškození. Tím je určen začátek spoje L_1. Statik vypočítá průběh vnitřních sil na konstrukci, které vzniknou jako důsledek vnějšího zatížení (vlastní tíha, vítr, sníh). Výslednou kombinaci ohybového momentu M a normálové síly N pak porovná s grafy únosnosti v metodice (viz níže) a určí délku spoje L_p podle doporučených rozměrů. Pro posouzení mezního stavu použitelnosti vzhledem k tuhosti plátovaného trámu je limitující průhyb w, který se vypočte dle níže uvedených vztahů pro každý druh spoje (viz např. část 2.2.2.1) jako funkce průhybu celého trámu bez spoje w_0. Vlastní oprava je poté realizována odbornou firmou, která práci vykoná v souladu s prováděcí částí této metodiky.

1.5 Předpoklady a validita metodiky

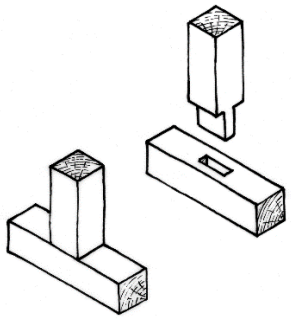
1.5.1 Vymezení předmětu

Metodika se zaměřuje cíleně na **šikmočelné přeplátování**, protože je to spoj, který nemá pevnou oporu v existujících normách a v památkové péči nachází širokou paletu využití. Jedná se o optimalizovaný nastavovací spoj řadící se do skupiny nejhojnějších a nejvhodnějších spojů využívaných při citlivých opravách historických konstrukcí.

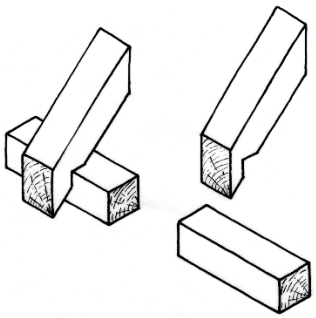
V této podkapitole jsou zmíněny **některé další celodřevěné spoje**, které však jsou buď triviální z hlediska návrhu, nebo jsou navržené tak, že nevyžadují hlubší vhled do problému. Návrhy některých z tesařských spojů, viz obrázky níže, lze v odborné literatuře najít [2], [8], [18], [22], [23], [48].



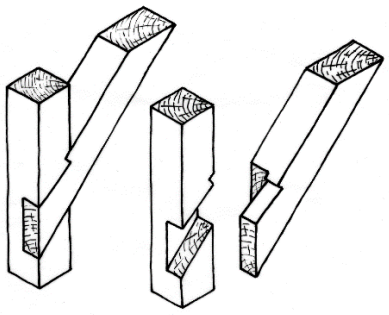
Obr. 2 Šikmé jednoduché zapuštění [23]



Obr. 3 Čep a dlab [2]



Obr. 4 Osedlání [2]



Obr. 5 Rybina [2], [48]

1.5.2 Způsob tvorby metodiky a validita výsledků

Šikmočelný plát byl detailně zkoumán jak experimentálně, tak pomocí matematického i numerického modelu. Výsledky jsou validní v popsaných rozmezích parametrů spoje. **V případě, že spoj nebude v daných rozmezích na únosnost či tuhost vyhovovat, je třeba jeho použití konzultovat s autory metodiky, popř. vzít zodpovědnost za návrh do vlastních rukou. V takovém případě však není možné se na tuto metodiku odkazovat.**
Experimentální testování spočívalo v tříbodovém ohybu nosníků různých konfigurací (různé velikosti, počet spojovacích prostředků, geometrie, druh dřeva). Samostatně pak byly prováděny kontrolní materiálové zkoušky jednotlivých testovaných vzorků a byla sledována vlhkost zkoušených těles. Únosnost dřevěných kolíků a hmoždíků použitá v kritériích výpočtů také vychází z experimentálních zkoušek. Geometrie spoje byla vyvinuta na základě mechanické analýzy (včetně využití numerických metod) a série zkoušek (nejprve s různě šikmými čely, později s přidáním spojovacích prostředků). Použití dřevěných spojovacích prostředků není v EC5 popsáno, minimální rozteče (a_1 – a_4) jsou uváděny pouze pro ocelové spojovací prostředky [21]. Při základním návrhu geometrie celodřevěného spoje jsou však částečně zohledněny (rámcově jsou zachovány, u parametru $a_{3,t}$ je místo vzdálenosti *7d* použito *6d*; u $a_{4,t}$ je místo *4d* užito *3d*). Z numerických modelů, výpočtů a provedených experimentů vyplynulo, že ze statického hlediska je výhodnější menší sklon čel plátu (≤**40°**). Z hlediska praktického je tomu naopak, menší sklon neúměrně zvětšuje délku řezu při provádění, a samozřejmě i délku spoje samotného. Pro uspokojení obou požadavků byl zvolen kompromisní sklon **45°**. Sklon **60°** je vhodný pouze pro kombinované namáhání tlakem a ohybem (např. krokve, šikmé vzpěry).
Statický model pro řešení únosností i numerický model k určení tuhostí byly verifikovány pomocí výsledků experimentů [49],[50] a následně byly modely použity pro vytvoření diagramů únosnosti, resp. odvození vztahů pro průhyb (tuhost). **Metodika sama nezavádí žádnou návrhovou bezpečnost; ukazuje výsledky, které odpovídají konci lineární oblasti chování spoje v experimentech či modelech.**

ZVOLENÍ NÁVRHOVÉ BEZPEČNOSTI JE ZÁLEŽITOSTÍ STATIKA PROVÁDĚJÍCÍHO NÁVRH.

Navrhující statik by měl zohlednit expozici (vlhkostní, teplotní vlivy), kvalitu původního i nového dřeva, kvalitu očekávaného řemeslného provedení a vliv dlouhodobého zatížení způsobem, který je uveden v EC5 [21] pomocí koeficientů k_{mod}, k_{def}, γ_M.
Tuhost spoje je aproximována tak, aby její výsledky vykazovaly max. chybu 10 %, a to zejména u extrémních rozměrů ($L/h = 15 \div 50$).

Pro úplnost jsou uvedena **kritéria porušení**, vzhledem k nimž byl model únosnosti vypočten. Tento model byl verifikován experimenty. Materiálové vlastnosti byly uvažovány v charakteristických hodnotách.

- Bylo uvažováno dřevo o mezní pevnosti v tahu i tlaku rovnoběžně s vlákny $f_{0,max} =$ 40 MPa.
- Únosnost systému kolík/vyvrtaný otvor ve směru rovnoběžném s vlákny byla stanovena dle experimentů na $F_{kolik,0,max} = 12.5d^2 - 54d$ [N], kde *d* je průměr kolíku v milimetrech.

- Únosnost systému kolík/vyvrtaný otvor ve směru kolmém na vlákna byl uvažován jako $F_{kolik,90,max} = F_{kolik,0,max} \frac{f_{h,90}}{f_{h,0}}$ [N], kde $f_{h,0}$ je pevnost v otlačení ve směru rovnoběžně s vlákny a $f_{h,90}$ je pevnost v otlačení ve směru kolmo na vlákna stanovená dle [21] pro konkrétní geometrii spoje.
- Únosnost čela ve směru kolmém na vlákna, která byla experimentálně zjištěna jako limitující podmínka pro vznik trhliny na čele, byla uvažována jako $F_{čelo,90,max} = nd\frac{b}{4}f_{t,90,max}$ [N], kde *nd* je vzdálenost kolíku od čela spoje ve směru rovnoběžně s vlákny (*n* je počet průměrů, *d* je průměr kolíku, např. *6d*; kolíkové spoje měly tuto hodnotu *6d*, hmoždíkové *6d* a *9d* odpovídající délkám plátu *3h* a *5h*), $\frac{b}{4}$ je polovina profilu dělená dvěma kvůli obvyklé přítomnosti výsušné trhliny zasahující až do poloviny profilu plátu a $f_{t,90,max}$ je experimentální únosnost dřeva v tahu ve směru kolmém na vlákna dle [14].
- Únosnost hmoždíku byla stanovena experimentálně na hmoždících doporučených rozměrů s výslednou hodnotou 10 kN, což odpovídá konci lineární části pracovního diagramu. V případě více hmoždíků se uvažuje jejich efektivní počet dle vzorce $n_{ef} = 0{,}8 \cdot n^{0{,}9}$ vycházejícího z EC5 [21].
- Grafy únosností jsou odvozeny pro průměr kolíku $d = \frac{h}{10}$.
- Tuhost je aproximována v mezích $10 < \frac{L}{h} < 50$, kde L je délka trámu a h je jeho výška. Nepřesnosti v definici délky mohou vzniknout v případě nosníků podepřených na více místech, kde L je možno uvažovat buď jako celou délku nosníku nebo jeho jednotlivých polí. Pro takové případy metodika nedává jasné platné vzorce, neboť to není z principu možné.

1.6 Výhody a nevýhody celodřevěného plátu

Výhody

- Spoj je možné provést přímo na stavbě s pomocí běžného tesařského vybavení.
- Spoj je vysoce trvanlivý, a sice za předpokladu správných podmínek a údržby (viz kapitola 4).
- Plát dosahuje poměrně vysoké únosnosti.
- Použití spoje kultivuje a podporuje tesařské řemeslo.
- Spoj je z hlediska estetického kompatibilní s velkou většinou historických dřevěných konstrukcí.

Nevýhody

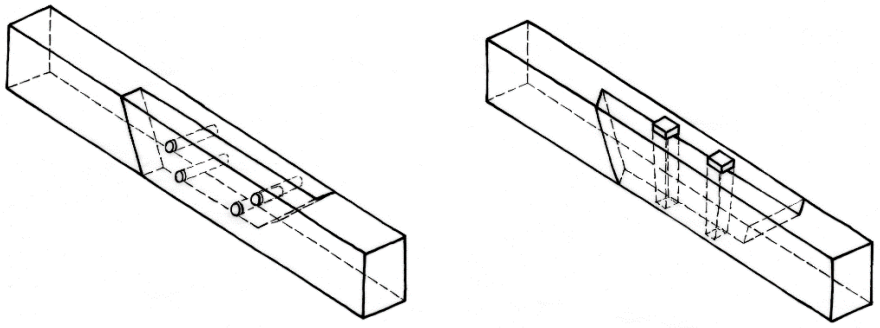
- Nutnost dobře ovládat tesařské řemeslo – platí především pro prováděcí firmy.
- Je vyžadováno pečlivé provedení a nízké tolerance.
- Nutné kontroly a údržba spojů.

2 NÁVRH CELODŘEVĚNÝCH PLÁTOVÝCH SPOJŮ

2.1 Popis mechanického chování spoje

2.1.1 Obecné principy

- Hlavním principem spoje je zapojení šikmých (příp. i podkosených) čel do mechanického působení. Čela přenášejí posouvající sílu V, a tím zmenšují sílu na kolíku $V_{kř}$ ve směru kolmo na vlákna.
- Rozpíráním čel působící síla v plátu otáčí směr svého působení ze sil kolmých na vlákna na síly rovnoběžné s vlákny, a může tak být využita vyšší únosnost dřeva v tomto směru.



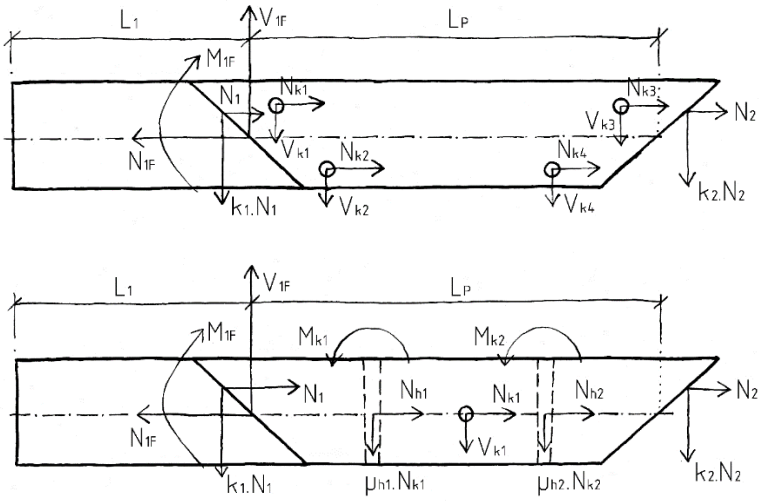
Obr. 6 Plát se čtyřmi kolíky a plát se dvěma hmoždíky

- Vzájemnému posunu šikmých čel brání tření, úhel sklonu určuje rozklad sil na čele; úhel 45° se ukázal jako velice vhodný jak z hlediska praktického, tak z hlediska funkčního. Jedinou výjimkou z tohoto pravidla jsou čela se sklonem 60° vhodná pro tlačené prvky – především krokve.
- Dřevěné spojovací prostředky podobné tuhosti jako spojovaný materiál umožňují rovnoměrnější distribuci namáhání okolo kolíků než ocelové spojovací prostředky. Tím nedochází k otlačení a následnému porušení. Některé dřevěné spojovací prostředky, např. hmoždíky, mají tuhost větší, dokonce takovou, že přenášejí naprostou většinu sil ve spoji a jsou tak schopny nahradit v únosnosti ocelové svorníky. Netrhají však okolní dřevo díky velké ploše, ve které působí.
- Spoj je možno namáhat kombinovaným zatížením. Zatímco posouvající síla V se zanedbává, neboť její velikost neovlivňuje tolik únosnost spoje, rozhodující je kombinace namáhání normálovou sílou N (tah/tlak) a ohybovým momentem M.
- V případě **kombinovaného namáhání se mění jak únosnosti, tak i tuhost spoje.** Vliv na únosnost spoje je vyobrazen v diagramech únosnosti M-N (viz Obr. 8). V případě kombinace tlaku a ohybového momentu se tuhost spoje zvětšuje. V případě ohybu a tahu se naopak **tuhost až o čtvrtinu snižuje**, neboť se snižuje třecí síla na čelech v důsledku roztahování spoje do stran. Tato skutečnost je zdůrazněna u každého spoje zvlášť.
- Hmoždíky fungují vždy jako hlavní (nosné) spojovací prostředky. Kolíky fungují buď jako hlavní spojovací prostředky, nebo jako zajišťovací prvky. Rozlišení mezi těmito funkcemi je zejména v tuhosti jednotlivých prostředků – např. dubový hmoždík vždy nese více síly, neboť je několikanásobně tužší než kolík. U každého spoje je naznačeno, jakou funkci v něm spojovací prostředky mají.
- Spoj je osazen relativně nízkým počtem spojovacích prostředků ($n \leq 4$), neboť tuhost a únosnost ve spoji musí být vhodně naladěna, aby nedošlo k situaci, že o únosnosti

rozhodne pouze oslabený průřez původního prvku. Příkladem je spoj s mnoha kolíky, který ale bude již příliš tuhý na to, aby v něm byla možná jiná podmínka porušení než oslabený průřez – šikmá čela se nezapojí do přenosu sil, kolíky se neusmyknou.

2.1.2 Statický model spoje

Šikmočelný plátový spoj vzdoruje zatížení opřením čel a únosností kolíků nebo hmoždíků (viz Obr. 7). Pokud máme prut v rovině xz, zatížení působí převážně také v této rovině. U prutu bez spoje pak vznikají pouze normálové síly (N_x), posouvající síly (V_z) a ohybové momenty (M_y). V plátovém spoji je však situace komplikovanější a síly, které zde na jednotlivých částech vznikají, vyvolávají i další vnitřní síly – krouticí moment (M_x) i ohybový moment (M_z). U mnoha konstrukcí (stropní trámy, krokve) jsou tyto vlivy eliminovány podporami, které zabraňují pohybu do strany i kroucení (záklop u stropního trámu, laťování u krokví). Pokud jsou konstrukce dostatečně masivní (vazné trámy), je nebezpečí vybočení také výrazně menší. Dalšímu efektu rozevírání plátu, eventuálně kroucení, zabraňuje podkosení čel, které nedovolí pohyb koncům plátu. Stejnou funkci mohou mít svorníky popřípadě dřevěné kolíky s klínky na koncích apod.



Obr. 7 Síly působící v plátu se čtyřmi kolíky (nahoře) a v plátu s dvěma hmoždíky a jedním kolíkem (dole).

Od zatížení vznikají v plátu následující síly:

- Síly v opření čel – síla kolmá na čelní plochu, která vyvozuje třecí sílu jdoucí rovnoběžně s čely. Tato síla působí proti smykání čel a zvyšuje únosnost plátu. Síly se dají transformovat do sil jdoucích rovnoběžně s osou prutu - směr x (N_i) a kolmo - směr z (V_i).
- Síly v kolících - působí ve dvou směrech rovnoběžně s osou prutu (N_{ki}) a kolmo na ni (V_{ki}).
- Síly v hmoždících – převažující je síla rovnoběžná s osou prutu (N_{hi}), může zde působit i síla kolmá, která vznikne od tření ($V_{hj}=\mu N_{hi}$). Zároveň je zde moment M_{hi}, který působí v rovině xz a daný hmoždík po výšce ohýbá.

Na druhou část plátu dle principu akce a reakce působí stejně veliké síly opačně orientované.

Z hlediska pevnostních charakteristik je na čelech nejslabším místem tah nebo tlak kolmo na vlákna (ve směru síly V_i). U kolíků se jedná o střih kolmo na vlákna, případně otlačení kolíku; u hmoždíků se jde o střih rovnoběžně či kolmo k vláknům. Výrobní proces spojovacích prostředků se liší tím, že kolík musí být štípaný a naopak u hmoždíku jsou vhodné růstové imperfekce, především suky, které zlepšují střihové vlastnosti rovnoběžně s vlákny.
Poměr tuhostí jednotlivých komponent (prut, tření, kolík, hmoždík) určuje, které kritérium porušení je rozhodující. Tuhost kolíku ovlivňuje hlavně jeho průměr. Má-li spoj velmi tuhé kolíky, jsou síly koncentrované do nich a bude rozhodovat jejich únosnost (může také dojít k rozštěpení trámu rovnoběžně s vlákny v místech kolíků). U spoje s menšími kolíky je více namáháno čelo a rozhoduje právě jeho únosnost. Při dodržení zásad popsaných v této metodice je namáhání rozděleno rovnoměrně mezi kolíky, resp. hmoždíky a čela. Více lze o mechanice plátu najít v [35], [36], [37], [38], [39].

2.2 Návrh spoje

2.2.1 Obecné principy návrhu

Nově vkládané části by měly zachovat tvar původního prvku a měly by být vyrobeny ze stejného druhu dřeva. Také vlhkost a další fyzikální a mechanické vlastnosti dřeva by měly být kompatibilní se stávající konstrukcí.
Spoj se navrhuje na mezní stav únosnosti a na mezní stav použitelnosti, tedy maximální průhyb. Pro každý spoj jsou v tabulce, dále jen „kartě spoje“ (viz např. oddíl 2.2.2.1), uvedeny návrhové diagramy únosnosti a vztah pro výpočet průhybu. Označení geometrie spoje odpovídá běžné praxi – šířka profilu *b*, výška profilu *h*, délka trámu *L*.

2.2.1.1 Důležité a neopomenutelné zásady návrhu:

- ! Výsledky únosnosti jsou vypočteny pro **konec lineární oblasti pracovního diagramu zatížení spoje**. **Nikdy se na tuto mez nenavrhuje**, ale je nutné použít dostatečnou **bezpečnost dle uvážení statika**.
- ! Konstrukce je zjednodušena na rovinnou – momenty, které konstrukci ohýbají kolmo k podélné svislé rovině, mají malý vliv na rozložení sil v plátu.
- ! Kroucení profilu v místě plátu je zanedbáno.
- ! Při opravách dřevěných stropních konstrukcí je vedle únosnosti nutno prověřit i druhý mezní stav. Jeho splnění zajišťuje, že se konstrukce nachází v pružném stavu.
- ! **Tuhost plátu se při kombinovaném namáhání mění. Detaily jsou popsány u každého spoje zvlášť.**
- ! Minimální počet spojovacích prostředků jsou **tři**.
- ! **Průměr kolíků volíme $\frac{h}{10}$**, pro specifické použití lze i větší (např. zanedbatelný ohybový moment a nutnost zvětšit únosnost v tahu).
- ! **Minimální vzdálenost začátku spoje od kraje nosníku je *2h*.**
- ! V případě, že by trám byl **plátován na více místech, jejich minimální vzdálenost je *6h*.**
- ! **Spoje navrhujeme pouze na profily $\frac{2}{3} < \frac{b}{h} < 1$** .

! Všechny vzdálenosti jsou uváděny **na střednici trámu, nikoliv na okrajích průřezu**. Body L_1 či $L_1 + L_P$ jsou středy otáčení čel.

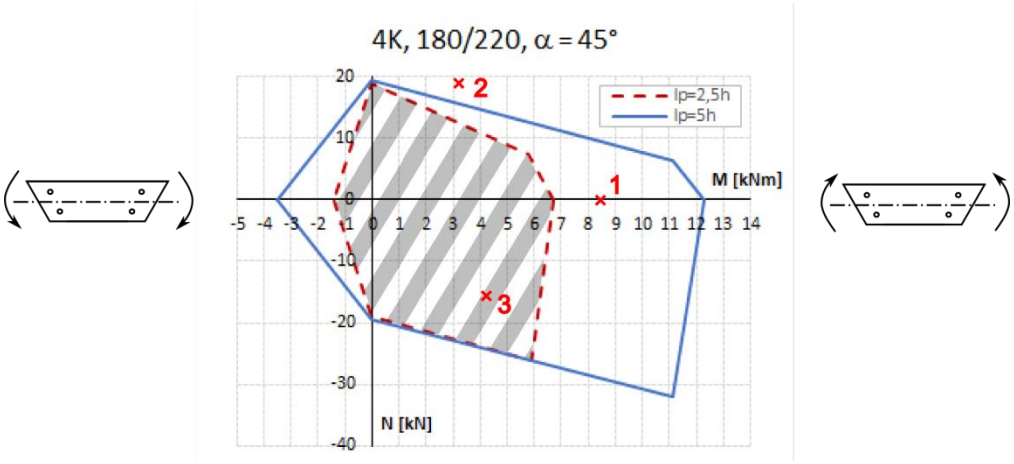
! **Spoj by neměl být použit uprostřed trámu**, jeho konec by neměl přesáhnout polovinu délky trámu. Pro tato místa je spoj extrémně nevhodný díky vysokému ohybovému momentu. Čím blíže středu trámu, tím delší plát je vhodnější.

! **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 (\=/) pro kladný ohybový moment dle konvence. Pomyslné písmeno V se tedy vždy snažíme zúžit, nikdy ne rozlomit. V opačném směru ohybového momentu (viz návrhový diagram níže) má spoj výrazně nižší únosnost na ohyb.

2.2.1.2 Návrh na mezní stav únosnosti

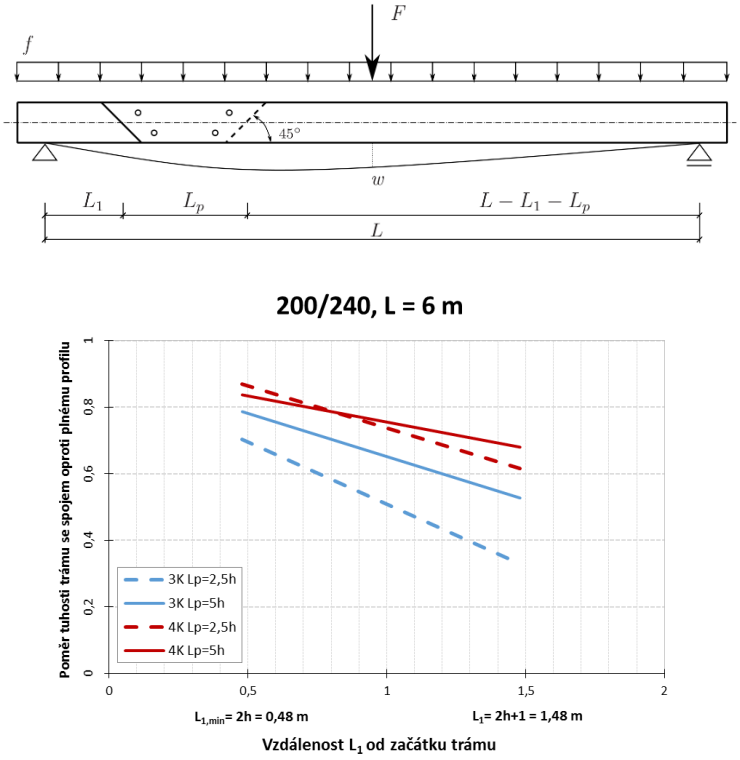
Statik vypočítá na základě vnějšího zatížení konstrukce normálovou sílu N a ohybový moment M působící uprostřed plátu (k místu, kde dle průzkumu začíná zdravé dřevo, tedy hodnotě L_1, přičte polovinu navrhované délky plátu L_P). Pokud ještě není známa délka plátu L_p, zvolí raději jako výchozí délku plátu hodnotu $5h$ (kde h je výška původního trámu). Tyto hodnoty porovná s diagramem M-N (viz Obr. 8), jehož **vnitřek označuje bezpečnou oblast pro návrh vycházející z hodnot bez uvažování bezpečnosti!** Mezi jednotlivými rozměry je možno lineárně interpolovat a získávat tak informace pro různé profily. V metodice jsou zvoleny běžné profily vyskytující se v konstrukcích. Vypočítané hodnoty pro konkrétní navrhovaný trám v porovnání s hodnotami z diagramu ukážou výslednou bezpečnost návrhu. Je na zvážení každého statika, jakou mez bezpečnosti zvolí v závislosti na kvalitě dřeva, úrovni řemeslného zpracování, okolních podmínkách apod. Při mezních namáháních dřeva mohou vzniknout některé viskoelastické jevy, a je proto vhodné zejména z důvodu možného dlouhodobého nárůstu průhybu tuto hranici přímo neužívat. **Diagramy hmoždíkových spojů** jsou spočítány pro délky plátů L_P v rozmezí $3h$ až $5h$, celočíselné meze jsou výhodnější při interpolaci (škálování profilů). Minimální doporučená délka spojů je však $3{,}3h$, resp. $3{,}7h$, viz záložka GEOMETRIE na kartách spoje.



Obr. 8 Příklady užití návrhového diagramu M-N; bod 1 odpovídá stropnímu trámu s převažujícím namáháním ohybovým momentem (vyhovuje spoj s délkou L_p větší než 2,5h), bod 2 představuje prvek namáhaný především tahem a je mimo návrhové diagramy (plát by selhal), bod 3 ilustruje kombinované namáhání prvku vyskytující se např. u krokví (lze použít spoj minimální délky 2,5h s dostatečnou bezpečností). Levá část grafu se záporným ohybovým momentem ukazuje ohýbání spoje na nevhodnou stranu.

2.2.1.3 Návrh na mezní stav použitelnosti

Pro každý z následujících druhů spojů je uveden vzorec pro výpočet tuhosti k z parametrů trámu. Je zde uveden i vzorec pro výpočet zvětšení průhybu prvku se spojem w oproti nepoškozenému trámu w_0. Vzhledem k tomu, že jsou hodnoty založeny na laboratorním měření a lineárních modelech, jedná se o hodnoty okamžité, dotvarování není uvažováno. Výpočet tuhosti je naznačen na Obr. 9. Minimální vzdálenost od kraje nosníku ($2h$) je pro spoj ideální, protože je pak namáhán nejmenším momentem. Tuhostní vztahy jsou validní pro $10 < \frac{L}{h} < 50$, kde L je délka trámu a h jeho výška. Štíhlejší nosníky popř. extrémně neštíhlé nosníky se vztahem nedají aproximovat a metodika je neřeší, v praxi se však téměř nevyskytují. Velice tuhé nosníky ($\frac{L}{h} \leq 15$) mají největší aproximační chybu - 20 %. V kartě spoje (viz např. oddíl 2.2.2) je vždy uvedena nejprve tuhost plátovaného prvku k, dále pak jeho průhyb w. Výraz pro tuhost odpovídá experimentálním hodnotám, vztahy byly odvozeny z modelů a experimentů v tříbodovém ohybu na prostém nosníku.



Obr. 9 Rozměry konstrukce a průhyb nosníku (nahoře), závislost tuhosti trámu se spojem při posunu podél střednice trámu (dole)

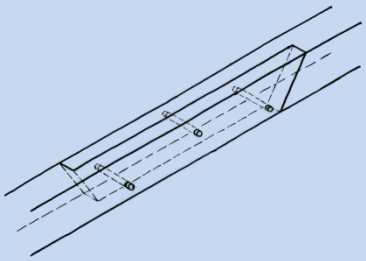
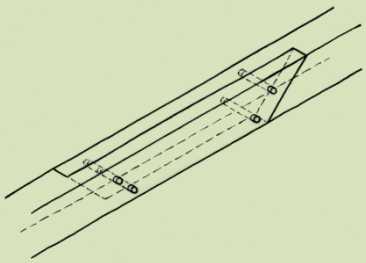
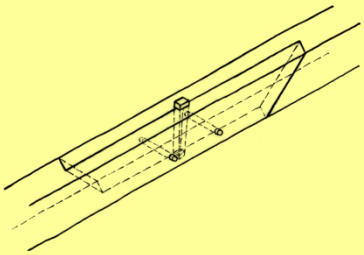
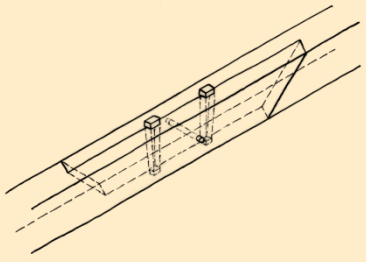
2.2.1.4 Rozměry spoje, minimální a maximální doporučená délka

V kartách spojů jsou uvedeny obecné rozměry spoje (VÝKRES, GEOMETRIE). Je možné je libovolně zvětšovat či zmenšovat při zachování uvedeného poměru rozměrů. Geometrie je obecně určena pomocí násobků výšky profilu h. Dále je uvedena minimální a maximální doporučená velikost spoje, která je závislá na vhodné vzdálenosti spojovacích prostředků a dalších praktických výsledcích, které se ukázaly během experimentálního testování spoje. Je vypočítána a nakreslena vždy pro velikost relevantního profilu uváděného v diagramech únosnosti.

V případě navržení spoje delšího než *5h* není vhodné extrapolovat únosnost ani tuhost, neboť není žádná záruka platnosti výsledků za touto mezí. Lze ovšem konzultovat možné konkrétní použití s autory metodiky (kontakty viz příloha 0).

2.2.2 Přehled spojů a jejich vhodné užití

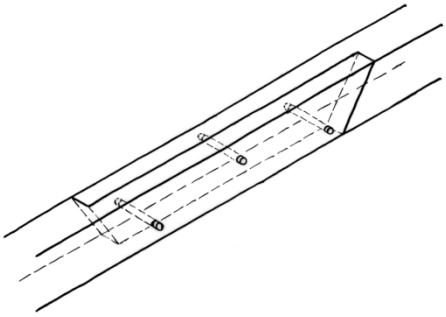
V následující části jsou podrobně rozebrány **čtyři varianty navrženého nastavovacího plátového spoje**. Jsou rozděleny podle počtu a typu spojovacích prostředků. Pro každý ze spojů je doporučeno vhodné použití v konstrukci, které odpovídá typu namáhání, na který je spoj navržen.

název spoje a základní údaje	**vhodný typ namáhání**	**obrázek**	**vhodné na**
Tříkolíkový • počet kolíků $n = 3$ • sklon čel 60° • nosné jsou kolíky a čela • ve vyjmenovaných případech vhodná varianta s podkosenými čely	OHYB + TLAK		krokve
Čtyřkolíkový • počet kolíků $n = 4$ • sklon čel 45°, v případě ohybu a tlaku u krokví varianta 60° • nosné jsou kolíky a čela • ve vyjmenovaných případech vhodná varianta s podkosenými čely	Převládající OHYB + TAH, TLAK		krokve (varianta 60°), stropní trámy (varianta 45°)
Jednohmoždíkový • jeden hmoždík • počet kolíků $n = 2$ • sklon čel 45° • nosný je hmoždík a čela • vždy podkosená čela	Převládající OHYB + TAH		stropní trámy
Dvouhmoždíkový • dva hmoždíky • počet kolíků $n = 1$ • sklon čel 45° • nosné jsou hmoždíky a čela • vždy podkosená čela	Převládající OHYB + TAH		stropní trámy,

2.2.2.1 Tříkolíkový spoj se šikmými čely

(dále jako „tříkolík“ nebo „3K“),
Varianta s pouze šikmými (A) nebo s šikmými podkosenými (B) čely

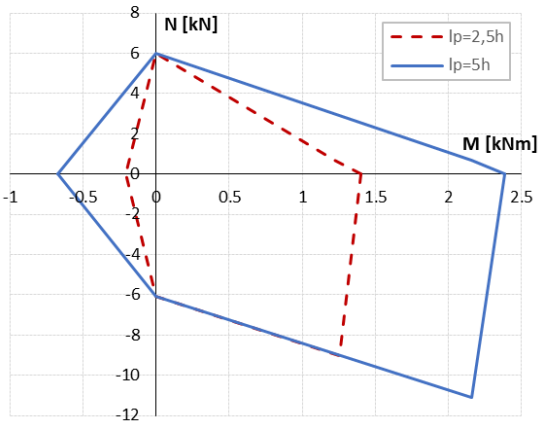
FUNKCE



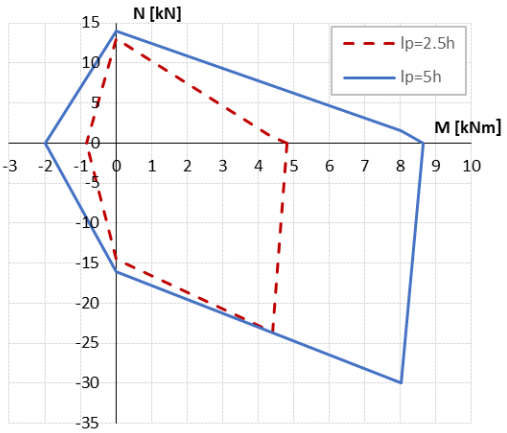
- přenáší **vhodně pouze kombinaci tlaku a ohybu,** a je proto vhodný pouze na malá zatížení, např. krokve
- pouze ve variantě s 60° čely
- vhodný na menší profily
- nosné jsou tři kolíky
- v případě kroucení profilu, možné točivosti nového či starého dřeva, příp. tvarové změny vlivem sesychání je vhodné použít variantu B s podkosenými čely (viz VÝKRES, GEOMETRIE - varianta B).

ÚNOSNOST

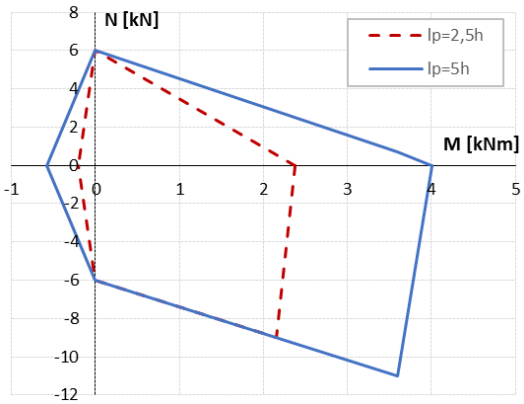
3K, 140/160, α = 60°



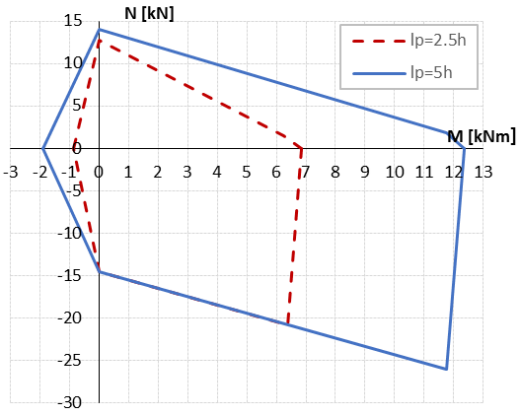
3K, 180/220, α = 60°



3K, 140/160, α = 45°



3K, 180/220, α = 45°



TUHOST

Tuhosti prvku s plátem a jim odpovídající průhyby

$$L_1 < \frac{L}{12}, L_p = 2{,}5h:$$

$$k = 367Eb\frac{h^{2,4}}{l^{2,4}}\ [\mathrm{MNm^{-1}}]; \quad w = w_0 10{,}9\frac{h^{0,6}}{L^{0,6}}$$

$$L_1 > \frac{L}{12}, L_p = 2{,}5h:$$

$$k = 100Eb\left(3{,}7 - 11{,}8\left(\frac{L_1}{L} - \frac{1}{12}\right)\right)\frac{h^{2,4}}{L^{2,4}}\ [\mathrm{MNm^{-1}}];\ w = w_0\frac{40}{\left(3{,}7-11{,}8\left(\frac{L_1}{L}-\frac{1}{12}\right)\right)}\frac{h^{0,6}}{L^{0,6}}$$

$$L_1 < \frac{L}{12}, L_p = 5h:$$

$$k = 410Eb\frac{h^{2,4}}{l^{2,4}}\ [\mathrm{MNm^{-1}}]; \quad w = w_0 9{,}8\frac{h^{0,6}}{L^{0,6}}$$

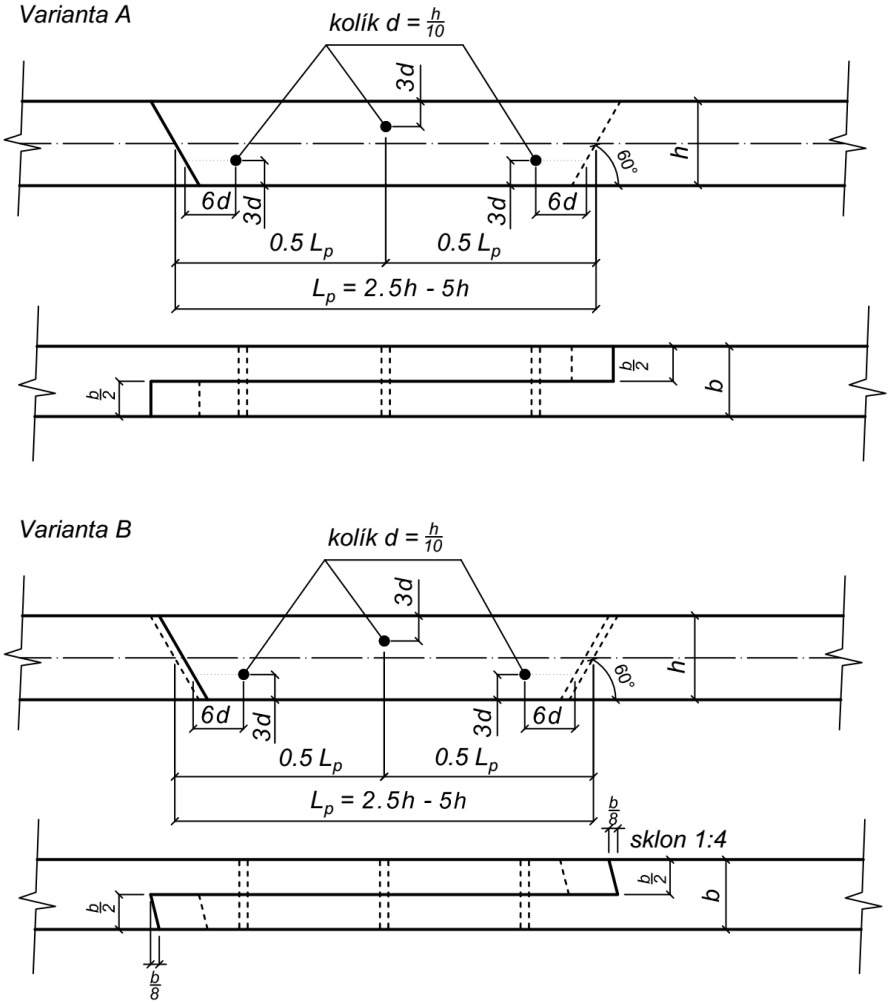
$$L_1 > \frac{L}{12}, L_p = 5h:$$

$$k = 100Eb\left(4{,}1 - 8{,}1\left(\frac{L_1}{L} - \frac{1}{12}\right)\right)\frac{h^{2,4}}{L^{2,4}}\ [\mathrm{MNm^{-1}}];\ w = w_0\frac{40}{\left(4{,}1-8{,}1\left(\frac{L_1}{L}-\frac{1}{12}\right)\right)}\frac{h^{0,6}}{L^{0,6}}$$

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 [24]; w je průhyb uprostřed trámu se spojem, w_0 je původní průhyb trámu bez spoje.

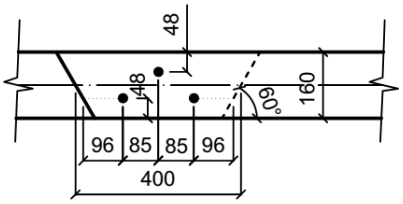
Tato tuhost je vypočtena pro prostý ohyb. V případě kombinovaného namáhání dochází při tlaku a ohybu k zachování, příp. malému zvětšení tuhosti spoje; **v případě tahu a ohybu je naopak až o čtvrtinu nižší tuhost, dochází tedy k průhybu až o čtvrtinu většímu** oproti výše uvedeným vztahům.

VÝKRES, GEOMETRIE

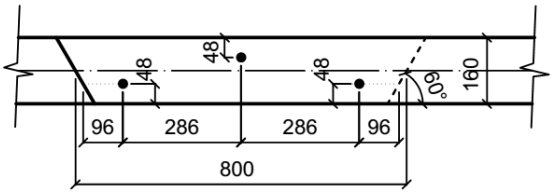


DOPORUČENÉ ROZMĚRY

b/h = 140/160
L_p = 2.5h
d = 16 mm
a_1= min 5d = 80 mm < 85 mm



b/h = 140/160
L_p = 5h
d = 16 mm

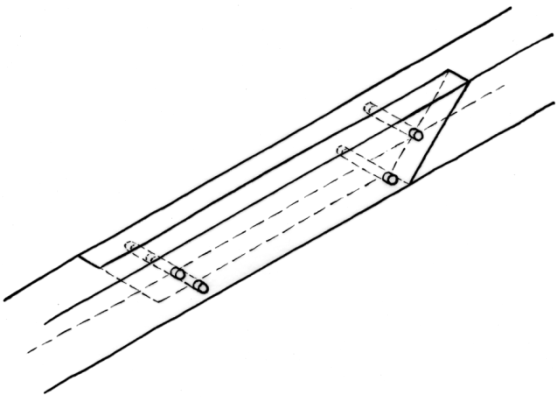


2.2.2.2 Čtyřkolíkový spoj se šikmými čely

(dále jako „čtyřkolík“ nebo „4K“)

Varianta s pouze šikmými (A) nebo s šikmými podkosenými (B) čely

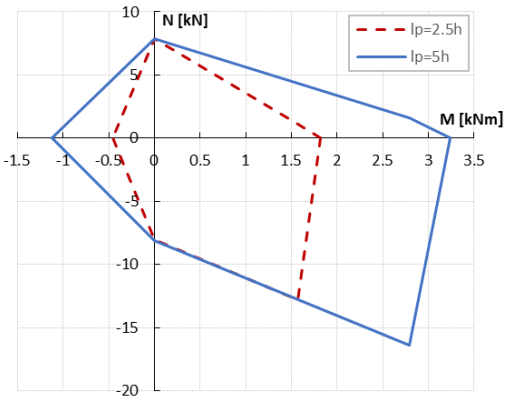
FUNKCE



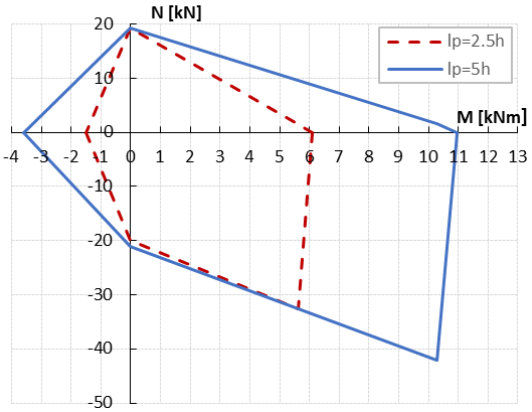
- přenáší **vhodně kombinaci tlaku a ohybu** i **tahu a ohybu**, má proto univerzální využití
- ve variantě se sklonem čel 45° (ohyb, tah+ohyb) a 60° (tlak+ohyb)
- vhodný na všechny velikosti profilů
- nosné jsou všechny čtyři kolíky
- při větším tahu může dojít k oddálení čel od sebe a využití pouze nosné kapacity kolíků, bez využití čel; v takovém případě je vhodnější některý hmoždíkový spoj
- v případě kroucení profilu, možné točivosti nového či starého dřeva, příp. tvarové změny vlivem sesychání je vhodné použít variantu B s podkosenými čely (viz VÝKRES, GEOMETRIE - varianta B). **U vazných trámů je to vždy nutné.**

ÚNOSNOST

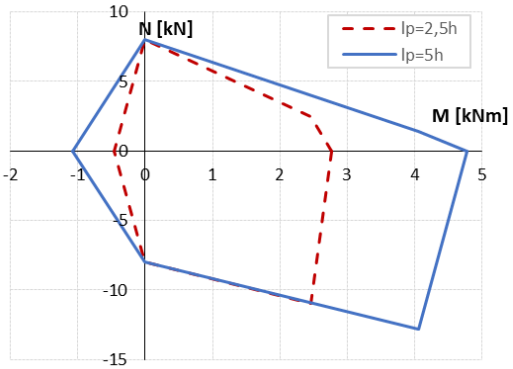
4K, 140/160, α = 60°



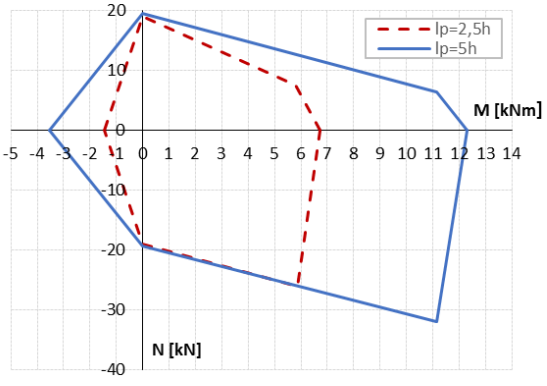
4K, 180/220, α = 60°



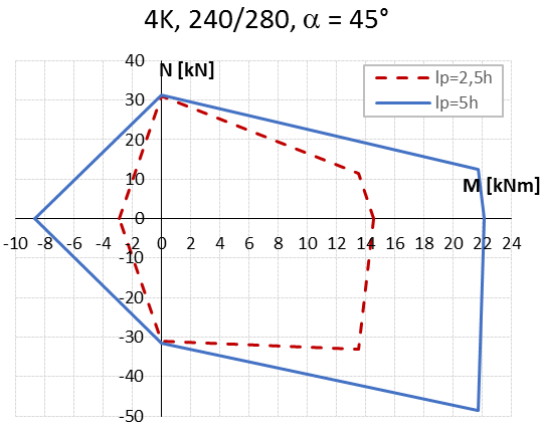
4K, 140/160, α = 45°



4K, 180/220, α = 45°



TUHOST



Tuhosti prvku s plátem a jim odpovídající průhyby

$$L_1 < \frac{L}{12}, L_p = 2{,}5h:$$

$$k = 870Eb\frac{h^{2,6}}{l^{2,6}}\ [\mathrm{MNm^{-1}}]; \quad w = w_0 4{,}6\frac{h^{0,4}}{L^{0,4}}$$

$$L_1 > \frac{L}{12}, L_p = 2{,}5h:$$

$$k = 100Eb\left(8{,}7 - 16\left(\frac{L_1}{L} - \frac{1}{12}\right)\right)\frac{h^{2,6}}{L^{2,6}}\ [\mathrm{MNm^{-1}}];\ w = w_0\frac{40}{\left(8{,}7-16\left(\frac{L_1}{L}-\frac{1}{12}\right)\right)}\frac{h^{0,4}}{L^{0,4}}$$

$$L_1 < \frac{L}{12}, L_p = 5h:$$

$$k = 830Eb\frac{h^{2,6}}{l^{2,6}}\ [\mathrm{MNm^{-1}}]; \quad w = w_0 4{,}8\frac{h^{0,4}}{L^{0,4}}$$

$$L_1 > \frac{L}{12}, L_p = 5h:$$

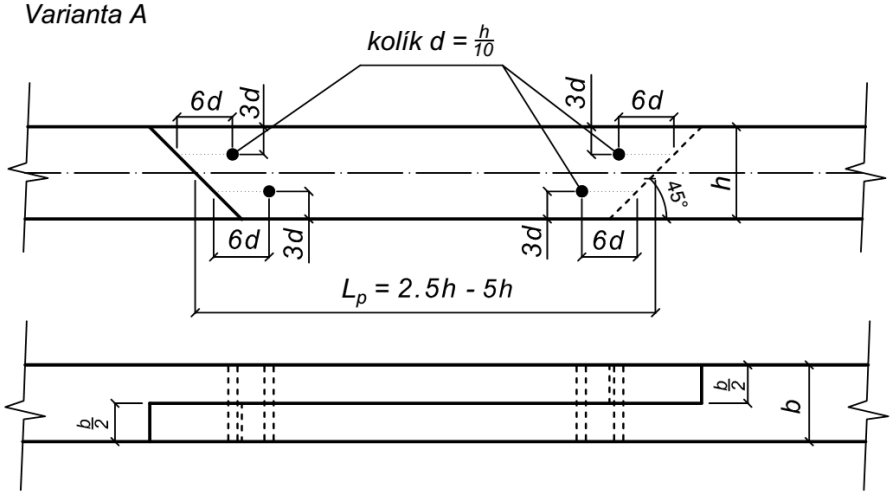
$$k = 100Eb\left(8{,}3 - 9{,}4\left(\frac{L_1}{L} - \frac{1}{12}\right)\right)\frac{h^{2,6}}{L^{2,6}}\ [\mathrm{MNm^{-1}}];\ w = w_0\frac{40}{\left(8{,}3-9{,}4\left(\frac{L_1}{L}-\frac{1}{12}\right)\right)}\frac{h^{0,4}}{L^{0,4}}$$

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 [24]; w je průhyb uprostřed trámu se spojem, w_0 je původní průhyb trámu bez spoje.

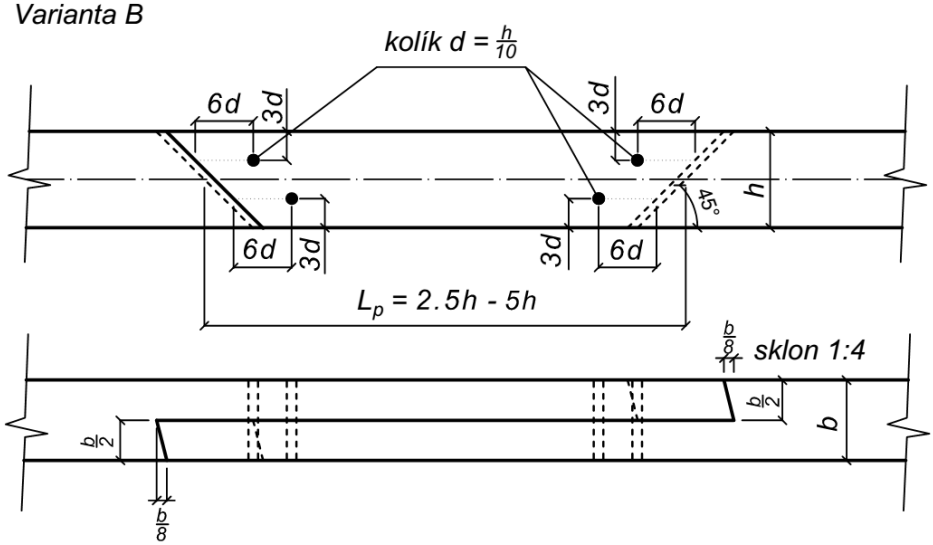
Tato tuhost je vypočtena pro prostý ohyb. V případě kombinovaného namáhání dochází při tlaku a ohybu k zachování, příp. malému zvětšení tuhosti spoje; **v případě tahu a ohybu je naopak až o čtvrtinu nižší tuhost, dochází tedy k průhybu až o čtvrtinu většímu** oproti výše uvedeným vztahům.

VÝKRES, GEOMETRIE

Varianta A

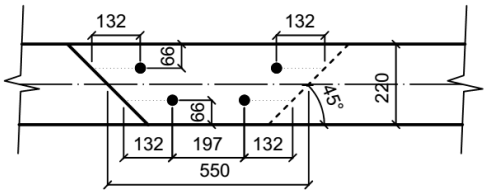


Varianta B

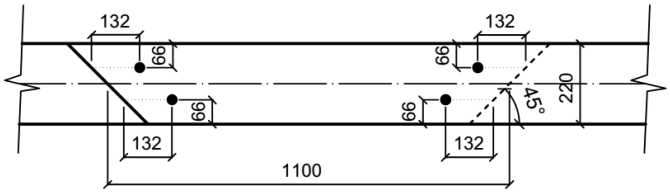


DOPORUČENÉ ROZMĚRY

b/h = 180/220
L_p = 2.5h
d = 22 mm
a_1= min 5d = 110 mm < 197 mm



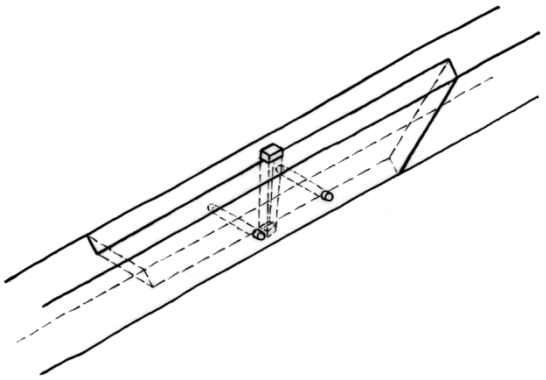
b/h = 180/220
L_p = 5h
d = 22 mm



2.2.2.3 Jednohmoždíkový spoj se šikmými podkosenými čely zajištěný dvěma kolíky

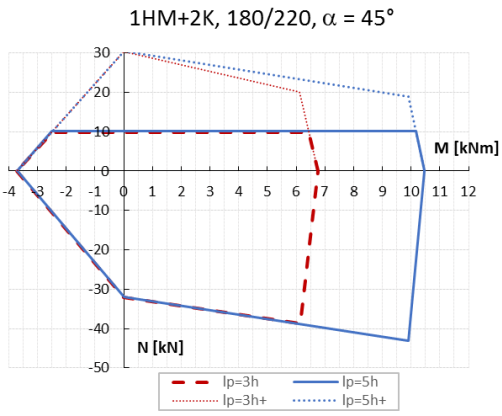
(dále jen „jednohmoždík“ nebo „1HM+2K“)

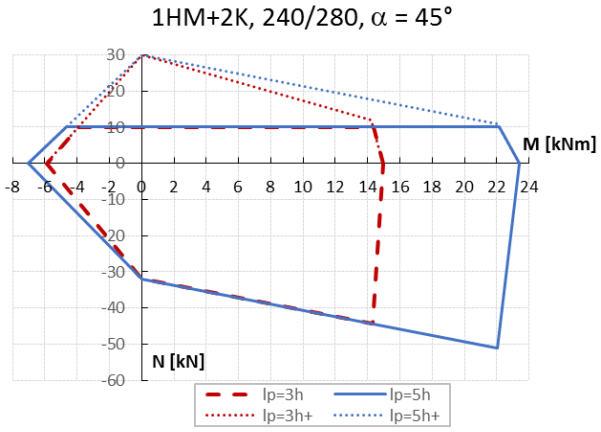
FUNKCE



- **je vždy vyžadováno nejen šikmé, ale i podkosené čelo, které nedovolí hmoždíku pootočit se**
- přenáší **vhodně všechny uvedené druhy zatížení (tah, tlak, ohyb)**
- možný pouze ve variantě s 45° čely
- vhodný pouze pro větší profily díky velikosti hmoždíku
- nosný je především hmoždík, který díky vysoké tuhosti a únosnosti přenáší naprostou většinu sil ve spoji
- 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





Pozn. Hmoždíkové spoje v namáhání prostým tahem mohou při vyšším zatížení trpět ztrátou stability projevující se tendencí hmoždíků se pootočit, a rozepřít tak plátový spoj. Plnou čarou jsou tedy vymezeny únosnosti spojů v základní (zde popsané) konfiguraci, tečkovanou čarou jsou naznačeny potenciální únosnosti, pokud je hmoždík dodatečně zajištěn proti pootočení příčným sevřením plátů spoje.

TUHOST

Tuhosti prvku s plátem a jim odpovídající průhyby

$$L_1 < \frac{L}{12}, L_p = 2{,}5h:$$

$$k = 870Eb\frac{h^{2,6}}{l^{2,6}}\ [\mathrm{MNm^{-1}}]; \quad w = w_0 4{,}6\frac{h^{0,4}}{L^{0,4}}$$

$$L_1 > \frac{L}{12}, L_p = 2{,}5h:$$

$$k = 100Eb\left(8{,}7 - 16\left(\frac{L_1}{L} - \frac{1}{12}\right)\right)\frac{h^{2,6}}{L^{2,6}}\ [\mathrm{MNm^{-1}}];\ w = w_0\frac{40}{\left(8{,}7-16\left(\frac{L_1}{L}-\frac{1}{12}\right)\right)}\frac{h^{0,4}}{L^{0,4}}$$

$$L_1 < \frac{L}{12}, L_p = 5h:$$

$$k = 830Eb\frac{h^{2,6}}{l^{2,6}}\ [\mathrm{MNm^{-1}}]; \quad w = w_0 4{,}8\frac{h^{0,4}}{L^{0,4}}$$

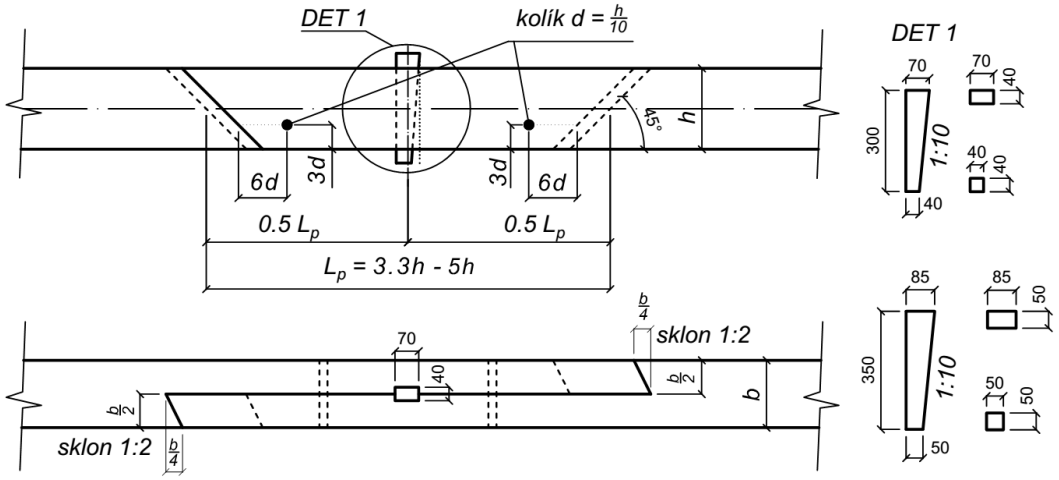
$$L_1 > \frac{L}{12}, L_p = 5h:$$

$$k = 100Eb\left(8{,}3 - 9{,}4\left(\frac{L_1}{L} - \frac{1}{12}\right)\right)\frac{h^{2,6}}{L^{2,6}}\ [\mathrm{MNm^{-1}}];\ w = w_0\frac{40}{\left(8{,}3-9{,}4\left(\frac{L_1}{L}-\frac{1}{12}\right)\right)}\frac{h^{0,4}}{L^{0,4}}$$

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 [24]; *w* je průhyb uprostřed trámu se spojem, w_0 je původní průhyb trámu bez spoje.

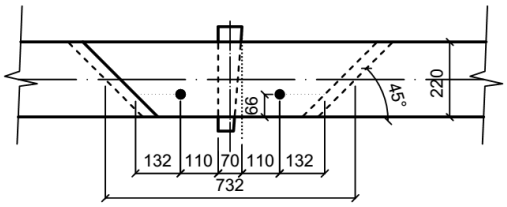
Tato tuhost je vypočtena pro prostý ohyb. V případě kombinovaného namáhání dochází při tlaku a ohybu k zachování, příp. malému zvětšení tuhosti spoje; **v případě tahu a ohybu je naopak až o čtvrtinu nižší tuhost, dochází tedy k průhybu až o čtvrtinu většímu** oproti výše uvedeným vztahům.

VÝKRES, GEOMETRIE

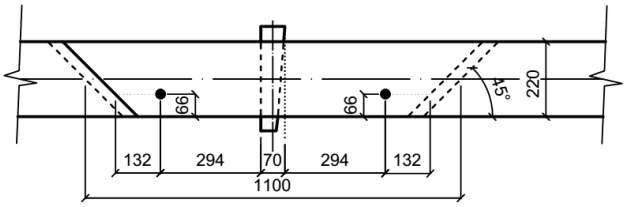


DOPORUČENÉ ROZMĚRY

b/h = 180/220
L_p = 3.3h
d = 22 mm
a_1= min 5d = 110 mm



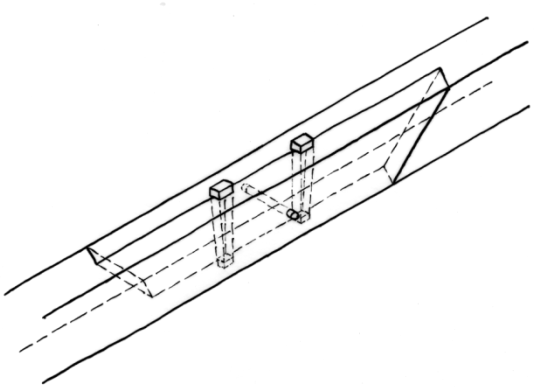
b/h = 180/220
L_p = 5h
d = 22 mm



2.2.2.4 Dvouhmoždíkový spoj se šikmými podkosenými čely zajištěný jedním kolíkem

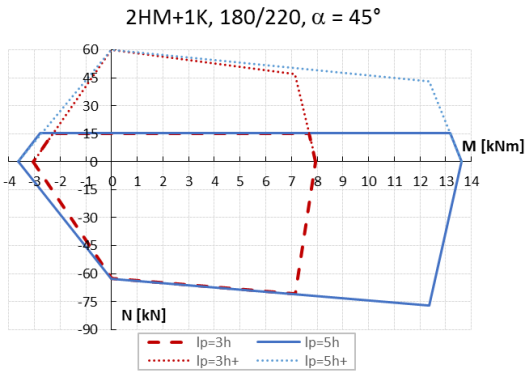
(dále jen „dvouhmoždík“ nebo „2HM+1K“)

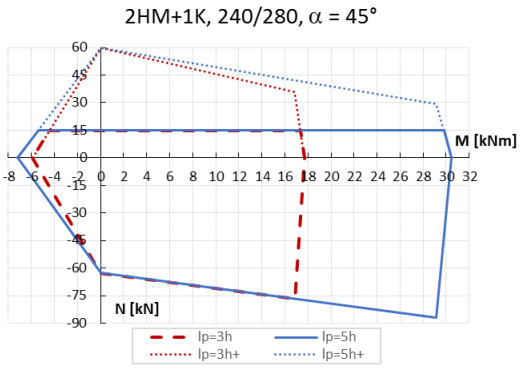
FUNKCE



- **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
- 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





Pozn. Hmoždíkové spoje v namáhání prostým tahem mohou při vyšším zatížení trpět ztrátou stability projevující se tendencí hmoždíků se pootočit, a rozepřít tak plátový spoj. Plnou čarou jsou tedy vymezeny únosnosti spojů v základní (zde popsané) konfiguraci, tečkovanou čarou jsou naznačeny potenciální únosnosti, pokud je hmoždík dodatečně zajištěn proti pootočení příčným sevřením plátů spoje.

TUHOST

Tuhosti prvku s plátem a jim odpovídající průhyby

$$L_1 < \frac{L}{12}, L_p = 2{,}5h:$$

$$k = 870Eb\frac{h^{2,6}}{l^{2,6}}\ [\mathrm{MNm^{-1}}]; \quad w = w_0 4{,}6\frac{h^{0,4}}{L^{0,4}}$$

$$L_1 > \frac{L}{12}, L_p = 2{,}5h:$$

$$k = 100Eb\left(8{,}7 - 16\left(\frac{L_1}{L} - \frac{1}{12}\right)\right)\frac{h^{2,6}}{L^{2,6}}\ [\mathrm{MNm^{-1}}];\ w = w_0\frac{40}{\left(8{,}7-16\left(\frac{L_1}{L}-\frac{1}{12}\right)\right)}\frac{h^{0,4}}{L^{0,4}}$$

$$L_1 < \frac{L}{12}, L_p = 5h:$$

$$k = 830Eb\frac{h^{2,6}}{l^{2,6}}\ [\mathrm{MNm^{-1}}]; \quad w = w_0 4{,}8\frac{h^{0,4}}{L^{0,4}}$$

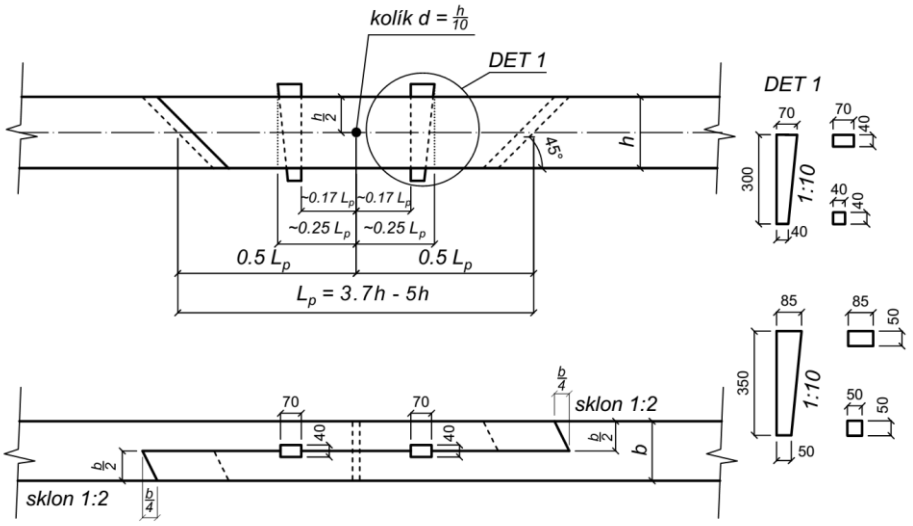
$$L_1 > \frac{L}{12}, L_p = 5h:$$

$$k = 100Eb\left(8{,}3 - 9{,}4\left(\frac{L_1}{L} - \frac{1}{12}\right)\right)\frac{h^{2,6}}{L^{2,6}}\ [\mathrm{MNm^{-1}}];\ w = w_0\frac{40}{\left(8{,}3-9{,}4\left(\frac{L_1}{L}-\frac{1}{12}\right)\right)}\frac{h^{0,4}}{L^{0,4}}$$

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 [24]; *w* je průhyb uprostřed trámu se spojem, w_0 je původní průhyb trámu bez spoje.

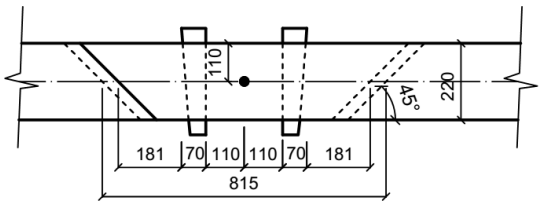
Tato tuhost je vypočtena pro prostý ohyb. V případě kombinovaného namáhání dochází při tlaku a ohybu k zachování, příp. malému zvětšení tuhosti spoje; **v případě tahu a ohybu je naopak až o čtvrtinu nižší tuhost, dochází tedy k průhybu až o čtvrtinu většímu** oproti výše uvedeným vztahům.

VÝKRES, GEOMETRIE

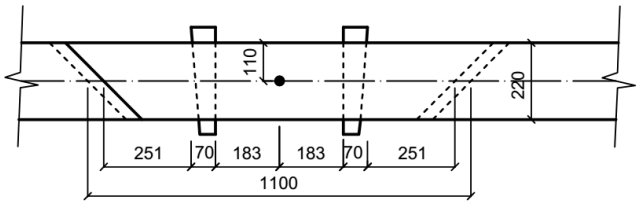


DOPORUČENÉ ROZMĚRY

b/h = 180/220
L_p = 3.7h
d = 22 mm
a_1= min 5d = 110 mm



b/h = 180/220
L_p = 5h
d = 22 mm



3 TECHNOLOGIE VÝROBY SPOJE

Validita metodiky je omezena dodržením postupů, které byly použity tesařem během výroby testovacích vzorků pro experimenty a jsou důležité pro zachování správného mechanického chování spojů. Jsou popsány v této kapitole s přihlédnutím ke zkušenostem autorů a tesařů z praxe. Technologie výroby spoje je představena detailně a výstupem celého postupu jsou podmínky **nutné** pro správnou funkci spoje, které jsou shrnuty v oddíle 3.7.

V praxi jsou při výrobě protézy možné dva přístupy opracování kulatiny: a) výroba **tesáním** z kulatiny, b) výroba **strojním opracováním**. Vhodná technologie je určena mnoha faktory – úrovní znalosti řemesla zhotovitele, dostupností vyhovujícího materiálu, finančními nároky apod. Doporučeným pravidlem je dodržet kompatibilitu poškozeného prvku s protézou tak, aby odpovídaly způsoby jejich opracování. Tesané trámy tak mají být protézovány tesanými nastaveními a naopak. Výroba hraněných trámů tesáním byla u nás v minulosti nejrozšířenějším způsobem opracování konstrukčního dřeva. Do první poloviny 14. století zřejmě převládalo opracování kulatiny přímo na zemi (nízká práce), poté se zcela prosadilo opracování kulatiny na kozách (vysoká práce), kterou tvoří tři postupné kroky – vrubování, hrubování a lícování. Obě technologie se liší také tím, že až na výjimky při nízké práci tesař couvá a při vysoké jde za sekerou dopředu. Lze stanovit jednotlivé kroky technologického procesu tesání a usuzovat na druh a formu použitého nástroje. Obdobně to platí i pro výrobu spojů. Trasologickou analýzou lze popsat práci tesaře, který se musel navíc vyrovnávat s individualitou opracovávaných kmenů. Více je o trasologické analýze uvedeno v [1], [3], [16]. Stavební řezivo a zpracování dřeva na pilách se u nás prosazuje až s průmyslovou revolucí díky rozvoji dopravy a rostoucímu počtu průmyslově poháněných pil.

Doporučená výroba celodřevěného spoje sestává z určení **potřebného rozměru a kvality materiálu** opravovaného prvku, výroby **dřevěných spojovacích prostředků** (kolíků, hmoždíků), samotné **výroby plátu** a konečného **sesazení spoje**. V tomto pořadí je strukturována celá kapitola.

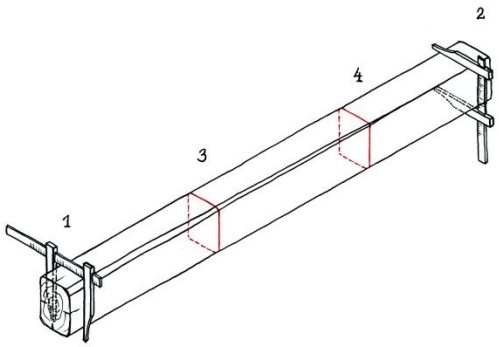
3.1 Určení rozměrů materiálu

3.1.1 Tesaný trám

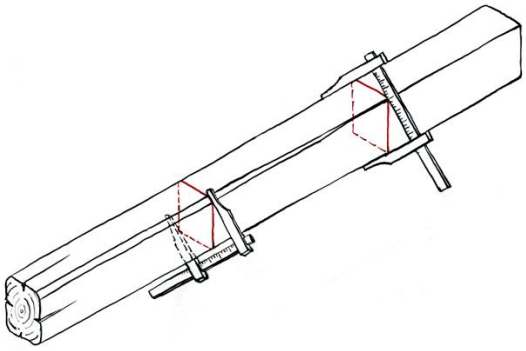
Určení profilu a tvaru ručně opracovaného původního trámu:

1. Je třeba zohlednit způsob opracování trámu (ostře hraněný – s oblinou, nesbíhavý – sbíhavý).
2. Měření profilu musí být provedeno na obou koncích trámu a na kraji navrhovaného spoje s ohledem na sbíhavost (Obr. 10).
3. Pokud má trám obliny, určuje oblina požadovaný minimální průměr kulatiny bez přídavku na seschnutí. Zásadní je měření v místě spoje, určení směru slabšího konce kulatiny – sbíhavosti (Obr. 11).
4. Určení nepravoúhlých profilů může být doplněno o úhlové měření pomocí pokosníku.
5. Při tesání je třeba vzít v úvahu velikost oblin na konkrétních hranách (Obr. 12). Měření profilu by mělo zohlednit deformace trámu způsobené výsušnými trhlinami, doporučují se 1 až 2 kontrolní měření, ke změřenému profilu je nutné přidat přídavek na sesychání (Obr. 13) [25].

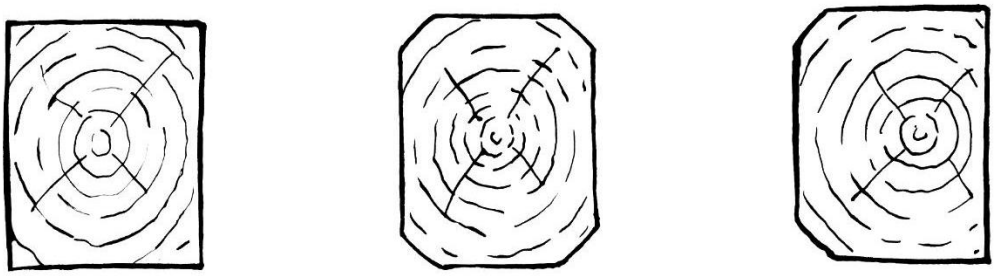
6. Pokud je profil rotován, je třeba zvážit přídavek na srovnání rotace (Obr. 14).
7. Je třeba uvažovat, že z kulatiny bude ještě odebrána kůra a běl.



Obr. 10 Měření profilu původního trámu na čtyřech místech



Obr. 11 Měření minimálního průměru kulatiny v místě oblin

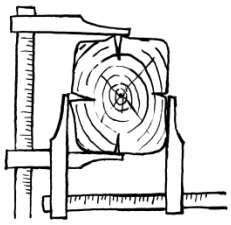


Obr. 12 a) Centrický profil ostře hraněný, b) centrický profil s oblinami, c) excentrický profil s oblinami na jedné straně prvku

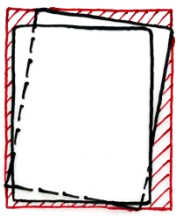
3.1.2 Strojně opracovaný trám

Postup určení profilu je jednodušší než v případě tesaného trámu:

1. Postačuje jednoduché změření profilu (nejlépe v místě vybraném pro nastavovací spoj), které by mělo zohlednit deformace trámu způsobené výsušnými trhlinami (Obr. 13),
2. V případě oblin je vhodné tuto skutečnost zohlednit při stanovení rozměrů řeziva, ze kterého se bude trám vyrábět.
3. Pokud je profil rotován, je třeba zvážit přídavek na srovnání rotace (Obr. 14).
4. Při objednávce čerstvého dřeva pro protézu je nutné k naměřenému rozměru přičíst odpovídající přídavky na sesychání (platí i pro ručně opracovaný původní trám) [25].



Obr. 13 Zohlednění deformací při měření profilu



Obr. 14 Zohlednění rotace při měření profilu

3.2 Výběr dřeva

Výběru materiálu je potřeba věnovat velkou pozornost. Je vhodné pečlivě si dřevo vybrat v lese, na pile nebo ve skladovacích místech. Při výběru jsou sledovány vady a jejich rozsah definované příslušnými normami (viz [26], [27], [28], [29], [32]), zejména ale následující vlastnosti:

- pravidelnost stavby a šířka letokruhů (bez reakčních změn) – ideální je, když podíl a distribuce letního dřeva u protézy odpovídá původně použitému druhu dřeva,
- sukovitost (počet, velikost, zdraví, umístění a zapojení suků) – při ohybovém namáhání suky v tahové oblasti snižují pevnost dřeva,
- nenormální zbarvení indikující možné napadení houbou, hniloba a poškození hmyzem se nepovoluje,
- točitost vláken je z důvodu rozevírání podélné spáry nastavovacího spoje povolena pouze v omezeném rozsahu dle [32],
- dřevo by mělo být těženo mimo vegetační období,
- vlhkost dřeva při výrobě spoje by neměla přesahovat 20 % abs. (požadavek je v přímém rozporu s jednoletým financováním oprav historických staveb – je potřeba podotknout, že v případě, kdy nelze připravit materiál v dostatečném předstihu, není možné dodržet požadovanou kvalitu).

3.3 Výroba spojovacích prostředků

Kolíky

Kolíky se vyrábějí z rovnovlákenného štípaného bezvadého jádrového dřeva dubu (DB). Rozměry kolíku se odvíjejí od geometrie spoje, průměr d odpovídá ideálně desetině výšky průřezu $h/10$. Vlhkost kolíků by při zpracování a osazování do spoje měla být 8 % abs., což odpovídá rovnovážné vlkosti dřeva dlohodobě uloženého v dílenských podmínkách, tj. teplota vzduchu 18 – 20 °C. Ačkoliv existuje více možností výroby kolíků, v metodice uvažujeme pouze technologii probíjením, protože zaručuje dobrý kontakt mezi kolíkem a spojovaným dřevem. V případě nekulatých profilů spojovacích prostředků (např. dřevěné hřeby) není definovatelný kontakt a míra zaražení hřebu do dřeva trámu, což může být zdrojem např. většího průhybu nosníku. Funkčnost dřevěných hřebů není zajištěna.



Obr. 15 Postup výroby kolíků

Postup ruční výroby kolíků je ilustrován na Obr. 15, a to včetně probíjení skrz kalibrovací ocelovou pomůcku. Kalibrovací pomůcka musí být předem nastavena a odzkoušena

pro konkrétní průměr vrtáku. Praktické je mít vedle sebe několik otvorů se snižujícím se průměrem a probíjet kolíky postupně od největšího k nejmenšímu otvoru. Rozdíl velikostí děr je dle zkušenosti překvapivě malý (v řádu zlomku milimetru). Před probíjením je možné kolíky na hrubý průměr opracovat na soustruhu.

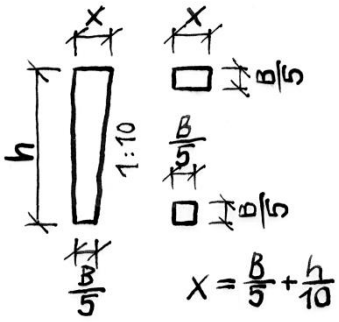
Hmoždíky

Hmoždíky se vyrábějí z trvanlivého tvrdého dřeva (DB), které by nemělo být snadno štípatelné. *In-situ* se hmoždík upravuje na požadovaný rozměr pomocí hoblíku. Rozměry hmoždíku se odvíjejí od velikosti průřezu, stoupání klínu je 1 : 10, více v části 2.2.2.3 nebo 2.2.2.4 v části VÝKRES, GEOMETRIE. Dřevo hmoždíku by mělo být vysušené obvykle na 8 % abs. (tedy pod úroveň vlhkosti samotného plátu). Toto opatření zajišťuje, že se klínový hmoždík neuvolní, ale naopak utáhne spoj tím, že nabobtná po absorpci vody ze vzduchu a spojovaných částí. Hmoždíky musí být v podélném směru plátu cca o 2 mm užší, aby při následném sesychání nového plátu a bobtnání hmoždíku nedošlo k odtlačení podélné plátové spáry.

3.4 Výroba plátu

Doporučení

- ! Při výrobě spojů se důrazně doporučuje používat **kvalitní** a **dobře nabroušené** nářadí.
- ! Realizační tesařská firma by měla mít **dostatečnou kvalifikaci** (počet referencí a kvalita jejich provedení, případně je možné absolvování speciálního kursu – viz Příloha C).
- ! Všeobecné zásady provádění (dřevo v místě spoje bez vad, přesné lícování stykových ploch atd.) definuje norma ČSN 73 2810 [31].



Obr. 16 Orientační obecné rozměry dubového hmoždíku

Výběr vhodného místa pro plát

Místo pro plát se zvolí na základě rozsahu poškození původního materiálu určeného během stavebně-technického průzkumu a posouzení místa ze statického hlediska. Doporučuje se:

- ! zachovat dostatečnou délku plného profilu protézy – min. 2× výška průřezu prvku, měřeno od zhlaví,
- ! zachovat dostatečnou vzdálenost plátovaného spoje od ostatních spojů – min. 6× výška prvku,

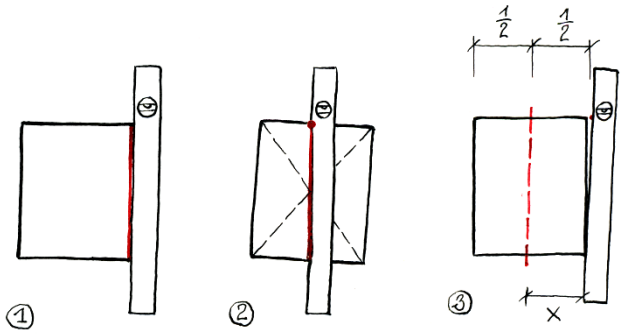
- ! plát na protézovaném prvku musí bý kompaktní – tj. umístit vždy tak, aby se polovina průřezu trámu s největší výsušnou trhlinou odřízla,
- ! eliminovat nevhodné umístění suků v místě plátovaného spoje (v okolí čel a v části průřezu namáhané tahem).

Určení roviny podélného řezu spoje

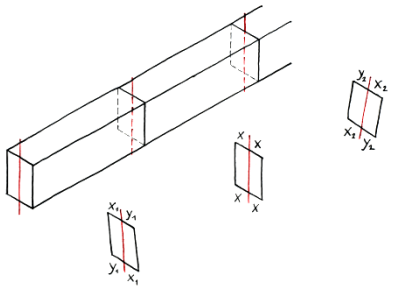
Protože je většina původních trámů nějakým způsobem nepravidelná (opracování tesáním, deformace točitostí), nemůže být podélný řez proveden kolmo k jedné ploše. Rovina řezu se musí určit samostatně, a koncové čelo je proto nejprve vyrobeno nahrubo s několikacentimetrovou rezervou.

Určení roviny podélného řezu probíhá postupně:

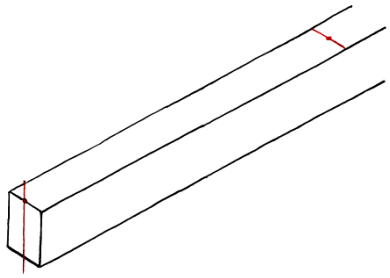
1. Rozměření profilu trámu na dvě stejné poloviny, dělicí ryska by měla být natočena s ohledem na pozici ideálního středu případné rotace trámu.
    a. *Přesná metoda* (v případě, že původní trám je viditelně významně rotován, Obr. 17):
        - pomocí úhlové vodováhy se určí sklon v místě středu zamýšleného plátu,
        - na odříznutém čele se nakreslí úhlopříčky a přes jejich střed se v naměřeném sklonu vynese osa řezu,
        - poloha druhého dělícího bodu ve vzdálenosti hrubé délky plátu na vrchní ploše trámu je dána půlením šířky prvku v naměřeném místě, ke které se přičte (nebo odečte) vzdálenost mezi přiloženou vodováhou a lící trámu.
    b. *Odhadem* (původní trám je málo točitý či téměř rovný, Obr. 18)
        - rozměření poloviny plátu na odříznutém čele,
        - vynesení hrubé délky plátu na vrchní ploše trámu, v této vzdálenosti opět vyměření středu vrchní plochy (Obr. 19).
    c. *Svislá postupná metoda* (původní trám je točitý)
        - na odříznutém čele se nakreslí úhlopříčky a přes jejich střed se vodováhou svisle vynese osa řezu
        - postupným opracováváním (hrubování, odsekání) či řezem pilou se zajištěnou a zjišťovanou svislostí listu pokračujeme postupně po délce plátu.
2. Výstup předchozího kroku je zobrazen na Obr. 19. Vzdálený dělicí bod na vrchní ploše se pomocí úhlové vodováhy přenese na spodní plochu trámu. Je třeba zkontrolovat, jak spodní bod dělí spodní plochu trámu. V případě nepravidelného profilu nebo rotace trámu nemusí spodní bod odpovídat půlce spodní plochy, v takovém případě by menší část trámu měla být odřezávaná. Pokud tomu tak není, je nutné posunout oba koncové body (vrchní i spodní) směrem k odřezávané části (Obr. 20).
3. Propojení bodů vrchní a spodní plochy linkami pomocí značkovací šňůry s hlinkou (tzv. cvrnkačka nebo kolovrátek) nebo vyměřovací latě (Obr. 21).
4. Naznačení délky plátu a šikminy čela pro účely podélného řezu na linkách.



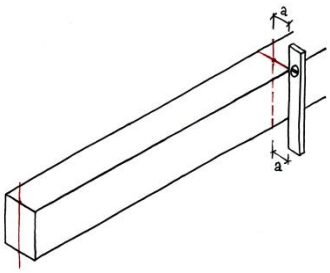
Obr. 17 Přesná metoda rozměření profilu trámu; 1 - určení sklonu ve středu zamýšleného trámu, 2 – vynesení osy řezu na odříznutém čele, 3 – určení polohy bodu druhého dělícího bodu na konci plátu



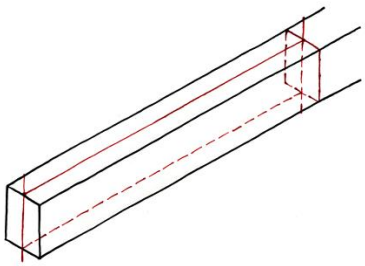
Obr. 18 Rozměření profilu trámu na dvě stejné poloviny s ohledem na případnou rotaci



Obr. 19 Vynesení hrubé délky plátu a vyměření koncového bodu vrchní plochy



Obr. 20 Přenesení koncového bodu pomocí vodováhy



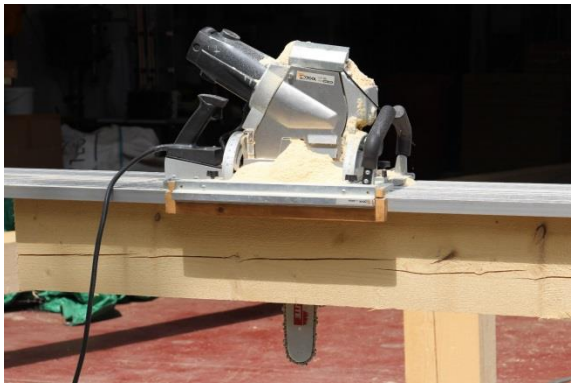
Obr. 21 Propojení bodů na plochách pomocí značkovací šňůry

Výroba podélného řezu spoje

Možnosti výroby:

- ruční řezání podélného řezu tažnou dvoumužnou pilou (Obr. 23),
- nahrubování pilou a odsekání a dočištění dlátovkou,
- řezání pomocí stolní tesařské řetězové pily (Obr. 22), popř. okružní pily vedené po rovinném pomocném vodicím stole, která je limitovaná tloušťkou řezu.





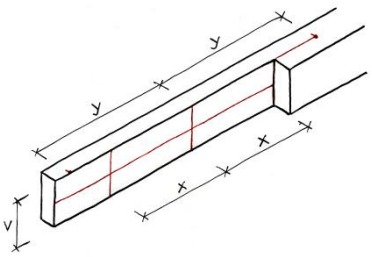
Obr. 22 Řezání podélného plátu pomocí tesařské řetězové pily

Obr. 23 Ruční řezání podélného plátu tažnou dvoumužnou pilou (vlevo)

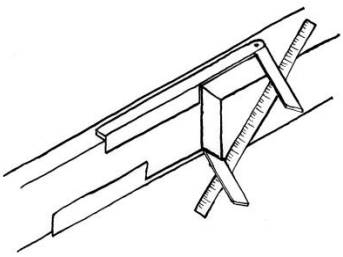
Vyměření šikmého čelního řezu spoje

1. Půlka plátu určená k odříznutí se nahrubo kolmo odřízne (bez délky určené pro šikmé čelo, Obr. 24).
2. Na vyrobené ploše se vynese podélná osa trámu.
3. V místě předpokládaného středu plátu se vztyčí kolmice.
4. Z průsečíků kolmice a vrchní a spodní plochy trámu se odměří na obě strany polovina délky plátu – na jedné straně kratší část (x, spodní hrana) a na druhé straně delší část ($y = x + h$, horní hrana) plátu (Obr. 24).
5. Stranové rysky příčného podříznutí – tzv. podkosení čela plátu se vynesou pomocí úhlové šablony, tesařského úhelníku nebo pokosníku, na vrchní a spodní ploše trámu (Obr. 25).
6. Propojením rysek na boční ploše trámu získáme zešikmení čela spoje (Obr. 26).

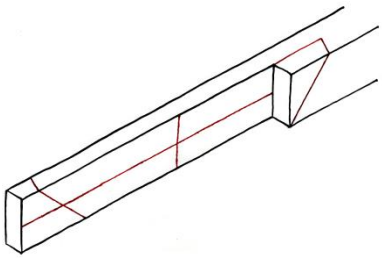
! Na obrázcích je uveden složitější příklad hmoždíkového spoje, jehož šikmé čelo musí být vždy podkosené. U čistě kolíkových spojů může být pouze šikmé.



Obr. 24 Rozměření délky plátu



Obr. 25 Vynesení rysek příčného řezu čel plátu



Obr. 26 Vynesení rysek šikmého podkoseného čela

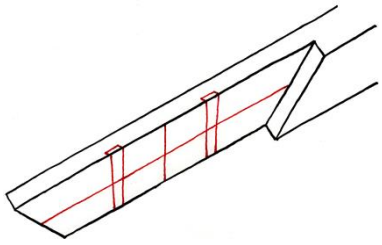
Výroba šikmého čelního řezu spoje

Řez šikmého čela na čisto provedeme ruční pilou. Strojní technologie neumožňuje dostatečnou kontrolu úhlu podříznutí.

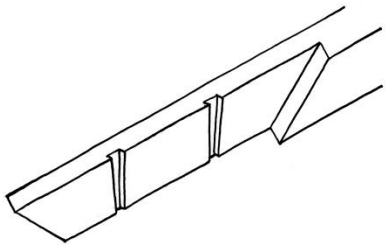
Výroba drážek pro osazení klínových hmoždíků

1. Nejprve se vyrobí klínový hmoždík, zešikmení je 1 : 10 (viz oddíl 3.3).
2. Na vyrobené ploše se vyměří umístění lůžka hmoždíku – drážky a připravené hmoždíky se obkreslí (Obr. 27).
3. Směr zúžení klínu je orientován ve směru působení tíhové síly.
4. Doporučuje se na upravené vnitřní ploše prořízнout drážku na hloubku malou ruční okružní pilou (v tomto případě okružní pila zajišťuje kolmost a hloubku řezu) nebo ruční pilou (Obr. 29). Řezy se provedou s truhlářskou přesností tzv. na půl rysky – část rysky se odřízne a část rysky zůstává pro kontrolu viditelná. Kromě přesných bočních řezů je možné provést i pomocné řezy uvnitř drážky, které usnadní přesné vyčištění dna drážky. Doporučenými nástroji k vydlabání drážky je dláto (na hrubo) a úzká dlátovka.

Hmoždík se vyzkouší a provede se případná drobná úprava osazení (sklonu) zúžení hmoždíku hoblováním (Obr. 28). Odzkoušené hmoždíky se označí, aby nedošlo k záměně načisto sesazených dílů.



Obr. 27 Rozměření drážek pro hmoždíky



Obr. 28 Plát po začištění drážek pro hmoždíky



Obr. 29 Příprava drážky pro hmoždík pomocí ruční pily



Obr. 30 Orýsování šikmého čela z již zařízнutého protikusu

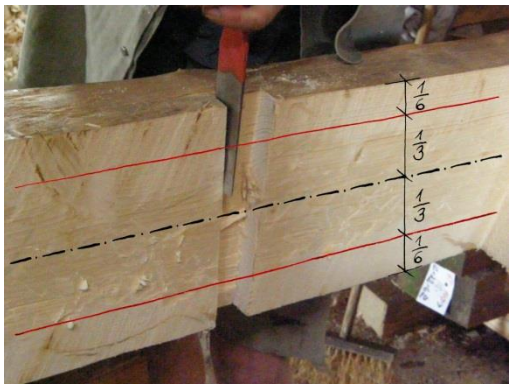
3.5 Vyměření a výroba podélného plátu na protéze

Je shodná s vyměřením i s výrobou na „starém“ dřevě, viz výše. Variantou je provést vyměření šikmého čela po sesazení plátu s provizorně zařízlým čelem a orýsováním z hotového protikusu (Obr. 30). Na rozdíl od předchozího (plát na starém dřevě) se nevyrábí drážky pro osazení hmoždíků.

3.6 Sesazení spoje

Příprava před sesazením nastavovaného trámu

1. Vnitřní plochu plátu je potřeba před sesazením upravit, protože může být vyboulená vlivem sesychání nebo uvolnění napětí po odříznutí poloviny profilu trámu. Proto se okolo podélné osy přibližně třetinu výšky plátu nad a pod osou lehce podebere cca do hloubky 3 mm tak, že styčné plochy zůstávají jen na jeho okraji v šíři jedné šestiny (Obr. 31) – doporučuje se použít hoblík nebo dlátovku.
2. Ostré hrany tlačených boků drážky (náběhy a výběhy) hmoždíku se lehce strhnou seříznutím dlátem, aby při dorážení nebo vyrážení klínového hmoždíku nemohlo dojít k jejich odtržení (vyštípnutí).



Obr. 31 Podebrání dvou třetin vnitřní středové části plátu, styčné plochy zůstávají pouze po okraji plátu



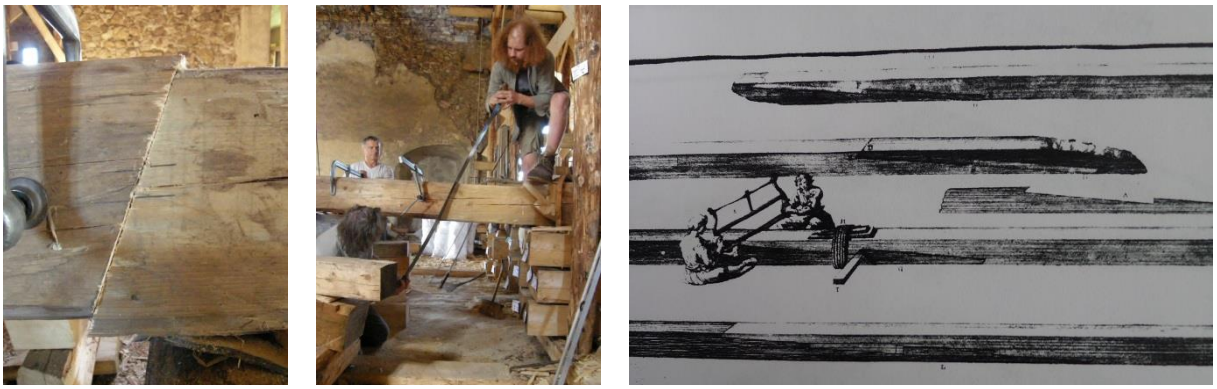
Obr. 32 Osekání nadbytečné délky plátu

3. Před spasováním spoje se pláty na zkoušku sesadí k sobě a ověří se, zda mezera mezi šikmými čely je dostatečně malá, aby mohla být po spasování prořezána. V případě, že je spára větší než 5 mm, musí být čelo delšího plátu odříznuto či odsekáno dlátem (Obr. 32).

Spasování čel spoje

1. Spoj se sesadí do požadované pozice a zajistí fixačními prostředky (nejlépe zámečnické svěrky, méně pevné tesařské svěrky), tolerance ve styku podélné spáry je **max. 1 mm**.
2. Čela plátů se dotlačí k sobě na sraz (Obr. 33a), např. pomocí stahování popruhů a úderů palicí na volný konec protézy.
3. Střídavě se prořezávají ruční pilou styčné čelní spáry (Obr. 33b) a dotahují čela plátů do úplného slícování (Obr. 33c, tento tradiční postup byl publikován již v roce 1743 [19]).

4. Při prořezávání se musí dát pozor, aby se při dořezu neprořízl krček plátu, a nedošlo tak ke zmenšení polovičního profilu plátu.
5. Obě čela musí být dosazena na styk **minimálně ve dvou třetinách své plochy**, ve zbylé jedné třetině by od sebe neměly být styčné plochy čel vzdáleny více než 1 mm.



Obr. 33 a) Spasování čela spoje, b) prořezávání ruční pilou c) prořezávání čel spoje v díle [19]

Osazení hmoždíků

Osazení hmoždíků probíhá po přesném předběžném dosazení čel (včetně prostorové kontroly předběžného sesazení plátu).

1. Čela hmoždíkové drážky se přerýsují ze starého plátu na plát protézy.
2. Propojí se vynesené rysky plátu.
3. Spoj se rozebere a v protéze se s odsazením cca 0,5 až 1 mm (dle čelní tvrdosti použitého dřeva) proti směru sesazování plátu vyříznou protilehlé hmoždíkové drážky – tímto způsobem se utažením hmoždíků aktivují i čela plátu (Obr. 34a).
4. Hmoždíky se ještě před sesazení v drážkách vyzkoušejí (Obr. 34b). Provede se kontrola vložení hmoždíků do drážek a tvarové shody protilehlých drážek.
5. Výrobu drážek lze na plátu protézy provést přímo při sesazení spoje pomocí pily děrovky (Obr. 34c).

Sesazení nastavovaného trámu

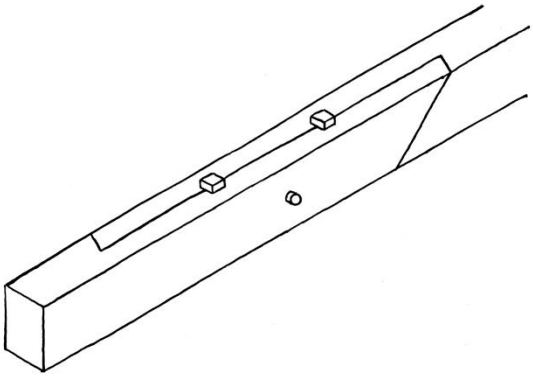
1. Plát se sesadí, ve správné poloze zajistí svěrkami a dorazí se čela.
2. Zkontroluje se slícování protilehlých drážek a osazení hmoždíků do drážek.
3. Případná úprava styku tlačných boků drážek hmoždíku se provede dlátovkou, kontrola rovinnosti drážek pomocí hrany úhelníku nebo ocelového pravítka.
4. Klínové hmoždíky se dorazí tak, aby byl spoj zcela dotažen a zároveň jej bylo možné znovu rozebrat.
5. Pomocí hadovitého vrtáku se vyvrtají otvory pro kolíky (pozor na vytržení vláken dřeva při výběhu vrtáku).
6. Vnější konce otvorů pro kolíky se lehce cca 2 mm kónicky rozšíří půlkulatým dlátem (pouze v podélném směru plátu pro zajištění klínkem).



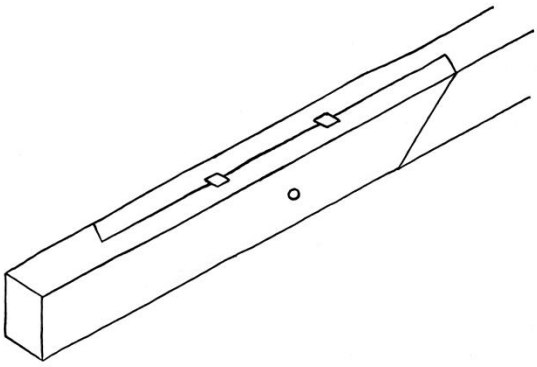
Obr. 34 a) Vyříznutí drážek pro hmoždík s odsazením umožňujícím rozpěr čel při dotahování hmoždíku (je zvýrazněno barevně; vlevo nahoře), b) kontrola osazení hmoždíku v drážce (vpravo), c) výroba drážky pro hmoždík přímo při sesazení spoje (vlevo dole)

Finální sesazení spoje

Spoj nesmí zůstat dlouho rozebraný, jelikož vlivem výsušných trhlin dochází k deformaci šikmých čel, která potom nelze dobře spasovat. Podle situace na staveništi se spoj sesadí před celkovým sesazením konstrukce (bezproblémová varianta) nebo při sestavování konstrukce. Otvory kolíků slouží jako slícovací body. Po natlučení kolíků – ve směru od čela plátu protézy do trámu – se jejich vyčnívající konce odříznou na hrubo (Obr. 35). Pro zajištění je nutné zatlučený kolík naštípnout, zaklínovat tvrdým klínkem podmáznutým lepidlem tak, aby se kolík roztlačoval ve směru podél vláken plátovaného spoje. Vyčnívající konce se odstraní na čisto pomocí dláta, dlátovky nebo měkké ruční pilky (Obr. 36). Na závěr se v místě sesazení čel plátů ubere venkovní plocha trámu za účelem povrchového sjednocení.



Obr. 35 Na hrubo odříznuté spojovací prostředky po sesazení spoje



Obr. 36 Plátovaný spoj po sesazení a začištění

3.7 Povinné požadavky nutné pro správnou funkci spoje

1. Je vyžadováno kvalitní dřevo minimálně třídy S10 dle [32], což odpovídá C24 dle [24].
2. Obě čela musí být dosazena na styk **minimálně ve dvou třetinách své plochy**, ve zbylé jedné třetině by od sebe neměly být styčné plochy čel vzdáleny více než 1 mm.
3. Výrobce musí počítat se **změnami vlhkosti, bobtnáním a sesycháním dřeva** tak, aby spoj byl ve výsledku geometricky shodný s návrhovým výkresem.
4. Kolíky musí být vyrobeny z kvalitního dubového dřeva a musí být dokonale kulaté, zajišťující dokonalý kontakt s dřevem ve vyvrtané díře.
5. Hmoždíky musí mít geometrii i orientaci vláken takovou, jak je popsáno v 3.3. a v 2.2.2.
6. Vůle mezi spojovacími prostředky a okolním dřevem se nepřipouští.
7. Nikdy nesmíme umístit spojovací prostředek do výsušné trhliny či do místa, kam se může vysycháním tato trhlina šířit.
8. Čela, kolíky a hmoždíky osazujeme do míst prostých jakýchkoliv reakčních změn, imperfekcí, suků či poškození.
9. Šířka podélné mezery mezi plátem a protézou může být lokálně do 3 mm.
10. Tolerance úhlů je ±3°.
11. Zajištění prvků proti vysunutí či vyklepnutí klínky je vyžadováno.

Seznam nástrojů:

Sekery (lícovka, širočina), pila ocaska, tažná dvoumužná pila, pořiz, vrtačka a hadovité vrtáky, dlátovka, dláta, palička, úhelník, pokosník, tesařský úhelník alfa, vodováha s úhelným kroužkem, metr, značkovací šňůra s hlinkou, hoblík, svěrky, šablony, probíjecí pomůcka (kalibrovací železo na kolíky), napínací pásy, palice, lesnická průměrka, půlkulaté dláto.

4 ÚDRŽBA A KONTROLA CHOVÁNÍ SPOJE

Spoje vyžadují správné provozní podmínky, zejména zamezení přístupu vlhkosti. V případě, že by do spoje zatékalo, může vlivem bobtnání či napadení houbou dojít ke snížení integrity spoje (rozevírání), popřípadě snížení úrovně mechanických vlastností spojovacích prostředků či samotného dřeva. Tato skutečnost musí být reflektována a je nutnou podmínkou pro správné fungování spoje. Další možností je napadení hmyzem, které by mělo být rovněž monitorováno. Při napadení v okolí nosných spojovacích prostředků apod. nelze vyloučit selhání spoje.

Konstrukce by měla být **vizuálně zkontrolována** při **předávání stavby**. P**o jednom roce užívání** by mělo dojít k dalšímu ohledání stavu konstrukce spolu s údržbou spojů. Dále by uživatel měl periodicky kontrolovat stav konstrukce cca **1× 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.

Vizuální kontrola spoje by měla pozůstávat z prohlídky stavu spoje:

- při předání stavby zkontrolovat, zda je spoj vyroben se **směrem sklonu čel na správnou stranu** (čela musí formovat písmeno V pro kladný moment),
- zda je zamezeno přístupu **vody a nadměrné vlhkosti,**
- zda není spoj **jinak poškozen**, např. napaden hmyzem či hnilobou,
- zda nedochází ke **zvětšování vzdálenosti čel od sebe** v důsledku přetížení nerovnoměrným rozložením sil v konstrukci (v případě ztráty kontaktu na čelech spoj „visí“ pouze na kolících, čímž nevyužívá efektu šikmých čel a posouvající sílu přenáší přímo do kolíků, což vede k nižší únosnosti spoje),
- zda při pohledu shora na spoj nedochází k **usmyknutí kolíku/kolíků** (při pohledu kolmo k podélné ose plátuje vidět, zda jsou osy jednotlivých kolíků v přímce),
- zda nedochází k patrnému **zvětšování výsušné trhliny na čelech spoje**,
- zda nedochází k **rotaci či kroucení hmoždíku** při posunu čel,
- zda nedochází k **vyboulení stran plátu** vlivem kroucení spoje,
- zda nedochází k **vizuálně významnému průhybu** nosníku.

Údržba spoje by měla zahrnovat jednak všechny body uvedené ve vizuální prohlídce, navíc by měly být dotaženy dřevěné hmoždíky lehkým úderem ve směru šípovitosti klínu (zúžení), ne naopak! Hmoždíky by nicméně již měly být ve dřevě tak nabobtnalé a zatuhlé, že by se tímto zákrokem neměly pohnout. Pokud však je hmoždík uvolněný (např. v důsledku sesychání), je třeba jej dotáhnout poklepáním přes dřevěnou podložku nebo palicí, která nepoškodí hlavu hmoždíku (ne přímo kovovým nástrojem). V případě kolíkových spojů spoj nijak neudržujeme.

Případné havárie spoje zjištěné při prohlídce musí být neprodleně konzultovány se statikem.

5 SEZNAM POUŽITÉ SOUVISEJÍCÍ LITERATURY

[1] Bláha, J.: *Trasologické postupy při průzkumech historických dřevěných konstrukcí*. In: Krovy a dřevěné konstrukce. Edice Obnova památek. Praha 2013, s. 11-21.

[2] Gerner, M.: *Tesařské spoje*. Grada, Praha, 2003, 220 s.

[3] Janák, K.: *Co může říci prkno (vývoj a trasologie řezných nástrojů)*, In: Svorník 3/2005, s. 31-44.

[4] Kloiber, M., Drdácký, M.: *Diagnostika dřevěných konstrukcí*. Kniha, IC ČKAIT, 2015. (v tisku)

[5] Kloiber, M., Kunecký, J., Hasníková, H., Sebera, V., Tippner, J., Fajman, P., Růžička, P., Stejskal, D.: *Využití celodřevěných tesařských spojů při opravách historických konstrukcí*. Památkový postup, 2015.

[6] Kohout, J., Tobek, A., Muller, P.: *Tesařství – Tradice z pohledu dneška*. Grada, 1996, 256 s.

[7] *Koncepce NPÚ na léta 2011-2015*. NPÚ, 2011. [cit. 31. 7. 2015] <http://www.npu.cz/download/1318433442/koncepce-npu-2011-2015.pdf>

[8] Koželouh, B.: Navrhování, výpočet a posuzování dřevěných stavebních konstrukcí, komentář k ČSN 73 1702:2007. ČKAIT, 2008, 401 s.

[9] Kunecký, J., Hasníková, H., Arciszewska-Kędzior, A., Stejskal, D.: *Funkční vzorek FVZ-DS1-2014 Celodřevěný plátový spoj se čtyřmi kolíky a šikmými čely*. 2014.

[10] Kunecký, J., Hasníková, H., Arciszewska-Kędzior, A., Stejskal, D.: *Funkční vzorek FVZ-DS2-2014 Celodřevěný plátový spoj s jedním hmoždíkem a šikmými čely*. 2014.

[11] Kunecký, J., Hasníková, H., Arciszewska-Kędzior, A., Stejskal, D.: *Funkční vzorek FVZ-DS3-2014 Celodřevěný plátový spoj se dvěma hmoždíky a šikmými čely*. 2014.

[12] Kunecký, J., Hasníková, H., Arciszewska-Kędzior, A., Stejskal, D.: *Funkční vzorek FVZ-DS4-2014 Celodřevěný plátový spoj se třemi kolíky a šikmými čely*. 2014.

[13] Macek, P.: *Standardní nedestruktivní stavebně historický průzkum*. Státní ústav památkové péče v Praze, Praha, 2001, 48 s.

[14] Požgaj, A., Chovanec, D., Kurjatko, S., Babiak, M.: *Štruktúra a vlastnosti dreva*, Príroda Bratislava, 1997, 473 s.

[15] *Principles for the preservation of historic timber structures.* Mexico, 1999. [cit. 31. 7. 2015] <http://www.npu.cz/download/1198226060/elpubl071221icomos.pdf>

[16] Růžička, P.: *Trasologie tesařských seker – stopy po nástrojích, které vznikají při opracování dřeva při výrobě tesařských konstrukcí*, In: Svorník 3/2005, Krovy a střechy, s. 5-30.

[17] Ševců, O., Vinař, J., Pacáková, M.: *Metodika ochrany dřeva*, Státní ústav památkové péče v Praze, 2000, 67 s.

[18] Vinař, J.: *Historické krovy - Typologie, průzkum, opravy*. Grada, Praha, 2010, 448 s.

[19] Zabaglia, N.: *Castelli e Ponti*. Roma, 1743.

[20] ČSN EN 1990 ed.2: *Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí*. 2015.

[21] ČSN EN 1995-1-1 *Eurokód 5: Navrhování dřevěných konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla – Společná pravidla a pravidla pro pozemní stavby*. 2006. (včetně změn)

[22] *Příručka 1 – Dřevěné konstruce*. 2008, 242 s. [cit. 24. 7. 2015] <http://fast10.vsb.cz/temtis/documents/handbook_1_CZ_final.pdf>

[23] *Příručka 2 – Navrhování dřevěných konstrukcí podle Eurokódu 5*. 2008, 130 s. [cit. 24. 7. 2015] < http://fast10.vsb.cz/temtis/documents/handbook_2_CZ.pdf >

[24] ČSN EN 338: Konstrukční dřevo – Třídy pevnosti. 2010.

[25] ČSN 49 1109: Řezivo. Přídavky na sesychání řeziva jehličnatých dřevin. 1993.

[26] ČSN 48 0203 Surové dříví. Kulatina. Třídění vad.

[27] ČSN 48 0204 Surové dříví. Kulatina. Měření vad.

[28] ČSN 48 0205 Surové dříví. Kulatina. Názvy a definice vad.

[29] ČSN EN 14081-1 Dřevěné konstrukce – Konstrukční dřevo obdélníkového průřezu tříděné podle pevnosti – Část 1: Obecné požadavky. 2011.

[30] ČSN EN 1991-1-1 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí - Část 1-1: Obecná zatížení - Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb. 2004.

[31] ČSN 73 2810 Dřevěné stavební konstrukce. Provádění. 1993.

[32] ČSN 73 2824-1 Třídění dřeva podle pevnosti - Část 1: Jehličnaté řezivo. 2015.

6 PUBLIKACE, KTERÉ METODICE PŘEDCHÁZELY

[33] Arciszewska-Kedzior, A., Kunecký, J., Hasníková, H., Sebera, V.: *Lapped scarf joint with inclined faces and wooden dowels: experimental and numerical analysis.* In: Engineering Structures, 94:2015, s. 1-8. ISSN 0141-0296.

[34] Arciszewska-Kędzior, A., Kunecký, J., Hasníková, H.: *Mechanical response of a lap scarf joint with inclined faces and wooden dowels under combined loading*. SHATIS'15 Structural Health Assessment of Timber Structures (9. –11. 9. 2015), Vroclav, PL.

[35] Fajman, P., Máca, J., Kunecký, J.: *Joints in historical timber structures.* Structural Faults and Repair 2014 (8. – 10. 7. 2014), London, UK.

[36] Fajman, P., Máca, J.: *The effect of key stiffness on forces in a scarf joint.* 9th International Conference on Engineering Computational Technology (2. – 5. 9. 2014), Neapol, IT.

[37] Fajman, P.: *A scarf joint for reconstructions of historical structures.* 2nd International Conference of Structrural and Physical Aspects of Civil Engineering (27. – 29. 11. 2013), Štrbské pleso, SR.

[38] Fajman, P.: *Rozložení sil v plátovém spoji od ohybového momentu.* In: Stavební obzor, 4/2013, s. 101-104. ISSN 1210-4027.

[39] Fajman, P.: *Vliv tuhosti svorníku na síly v plátovém spoji.* In: Stavební obzor, 7,8/2014, s. 115–120. ISSN 1210-4027.

[40] Fajman, P., Máca, J.: *Scarf joints with pins or keys and dovetails*. SHATIS'15 Structural Health Assessment of Timber Structures (9. –11. 9. 2015), Vroclav, PL.

[41] Hasníková, H., Kuklík, P.: *Various non-destructive methods for investigation of timber members from a historicl structure.* In: Wood research, 59(3):2014, s. 411-420. ISSN 13364561.

[42] Hasníková, H., Kunecký, J., Fajman, P.: *Celodřevěné tesařské spoje*. In: Stavebnictví, 1,2/2015, s. 12-15. ISSN 1802-2030.

[43] Hrivnák, J., Kloiber, M., Reinprecht, L., Tippner, J.: *Skúmanie kvality a poškodenia konštrukčného ihličnatého dreva akustickými a mechanicko-odporovými metódami*. Technická univerzita vo Zvolene, 79 s., 2013. ISBN 978-80-228-2552-8.

[44] Kloiber, M., Bláha, J., Kunecký, J., Hasníková, H., Tippner, J., Sebera, V.: *Navrhování celodřevěných spojů na příkladu opravy krovu kostela Nanebevzetí Panny Marie ve Vranově nad Dyjí*. In: Zprávy památkové péče, Roč. 73, 2/2013, s. 132-139. ISSN 1210-5538.

[45] Kloiber, M., Bláha, J., Václavík, F., Růžička, P., Kunecký, J.: *Modern diagnostic methods and traditional carpentry techniques used for the renovation of the White Tower belfry in Hradec Kralove*. SHATIS'15 Structural Health Assessment of Timber Structures (9. –11. 9. 2015), Vroclav, PL.

[46] Kuklík, P., Hasníková, H.: *Metody pro zjišťování spolehlivosti historických dřevěných konstrukcí*. In: TZB-info, 3/2013.

[47] Kuklík, P., Hasníková, H.: *NDT metody použité při vyšetření stavu dřevěné střešní konstrukce Masarykova nádraží v Praze*. Dřevostavby 2013(27. – 28. 3. 2013), Volyně, ČR.

[48] Kunecký, J., Arciszewska-Kędzior, A., Sebera, V., Hasníková, H.: *Mechanical performance of dovetail joint related to the global stiffness of timber roof structures*. In: Materials and Structures. ISSN 1871-6873 (Online).

[49] Kunecký, J., Sebera, V., Hasníková, H., Arciszewska-Kedzior, A., Tippner, J., Kloiber, M: *Experimental assessment of a full-scale lap scarf timber joint accompanied by a finite element analysis and digital image correlation*. In: Construction and Building Materials, 76:2015, s. 24-33. ISSN 0950-0618.

[50] Kunecký, J., Sebera, V., Tippner, J., Kloiber, M.: *Numerical assessment of behaviour of a historical central European wooden joint with a dowel subjected to bending*. 9th International Conference on Structural Analysis of Historical Constructions (14. – 17. 10. 2014), Mexico City, Mexiko.

[51] Kunecký, J., Sebera, V.,Tippner, J., Hasníková, H., Kloiber, M., Arciszewska-Kędzior, A., Milch, J.: *Mechanical performance and contact zone of timber joint with oblique faces*. In: Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis, roč. 63, 4/2015. s. 1153-1159. ISSN 1211-8516.

[52] Kunecký, J., Hasníková, H., Fajman, P.: *Navrhování celodřevěných tesařských spojů*. In: Konstrukce, 4/2015, s. 105-108. ISSN 1213-8762

[53] Milch, J., Tippner, J., Brabec, M., Sebera, V.: *Experimental Verification of Numerical Model of Single and Double-Shear Dowel-Type Joints of Wood*. 57th International Convention of Society of Wood Science and Technology (23. – 27. 6. 2014), Zvolen, SR.

[54] Šobra, K., Branco, J. M., Aranha, Ch. A.: *Application of the component method to traditional dovetail joints of timber trusses*. Materiais de Construçao Sustentáveis (5. – 7. 3. 2014), Guimaraes, Portugalsko.

[55] Šobra, K., Fajman, P., Máca, J.: *Experimentální a numerická analýza styku kulatiny pomocí přeplátování*. In: Stavební obzor, 3/2013, s. 61-65. ISSN 1210-4027.

[56] Šobra, K., Fajman, P.: *Influence of the design parameters on the response of the step skew joint with a key*. Engineering Mechanics 2013(13. – 16. 5. 2013), Svratka, ČR.

[57] Šobra, K., Fajman, P.: *Utilization of splice skew joint with key in reconstruction of historical trusses*. WTA – Sanace a rekonstrukce staveb 2012 (6. – 7. 11. 2012), Brno, ČR.

[58] Šobra, K., Branco, J. M., Fajman, P.: *Influence of the wood mechanical properties in the dovetail joint behavior*. REHAB 2015 2nd International Conference on Preservation, Maintenance and Rehabilitation of Historic Buildings and Structures (22.–24.7.2015). Porto, Portugalsko.

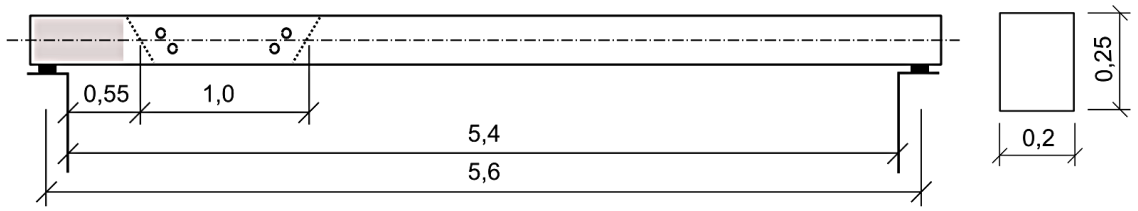
[59] Tippner, J., Milch, J., Sebera, V., Kunecký, J., Kloiber, M., Navrátil, M.: *Finite-element analysis of a historical truss reconstructed with a traditional allwooden joints*. 9th International Conference on Structural Analysis of Historical Constructions (14. – 17. 10. 2014), Mexico City, Mexiko.

PŘÍLOHY

A. PŘÍKLADY POUŽITÍ METODIKY

A.1 Návrh plátu na stropním trámu

Navrhněte nastavovací plátový spoj na poškozeném stropním trámu, který je zatížený dle zadání. Výsledky diagnostických metod ukazují, že zdravá část trámu vhodná pro spoj začíná ve vzdálenosti 0,55 m od stěny, na které je uložen.
Kvalita původního prvku dle diagnostiky odpovídá dřevu třídy C24.



návrhové zatížení (uvažováno dle ČSN EN 1991-1-1, součinitele bezpečnosti dle národní přílohy ČSN EN 1990 ed.2)

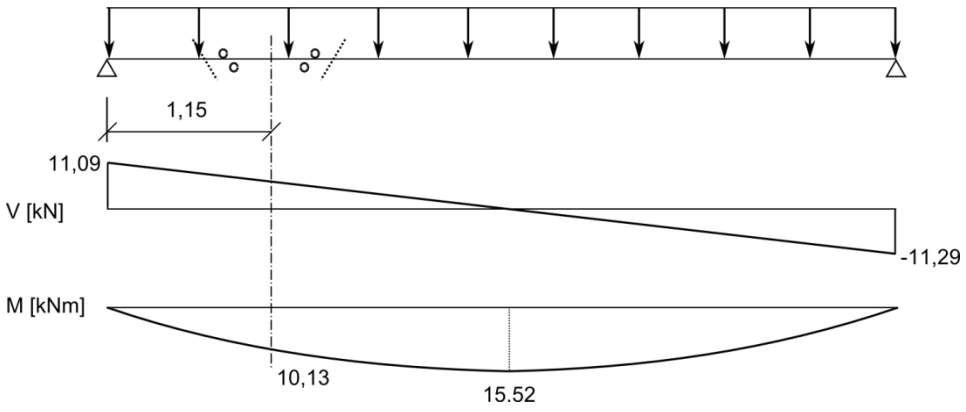
stálé z. $g_k = 1{,}3\ \mathrm{kNm^{-1}}$

$\gamma_G = 1{,}2 \quad \rightarrow \quad g_d = 1{,}56\ \mathrm{kNm^{-1}}$

proměnné z. $q_k = 1{,}6\ \mathrm{kNm^{-1}}$

$\gamma_Q = 1{,}5 \quad \rightarrow \quad q_d = 2{,}4\ \mathrm{kNm^{-1}}$

celkem $f_d = g_d + q_d = 1{,}56 + 2{,}4 = 3{,}96\ \mathrm{kNm^{-1}}$



---

průřezové charakteristiky

$$W_y = \frac{bh^2}{6} = \frac{0{,}2 \cdot 0{,}25^2}{6} = 2{,}08 \cdot 10^{-3}\ \mathrm{m^3}$$

$$I_y = \frac{bh^3}{12} = \frac{0{,}2 \cdot 0{,}25^3}{12} = 2{,}6 \cdot 10^{-4}\ \mathrm{m^4}$$

materiálové vlastnosti (dle ČSN EN 338, součinitelé dle ČSN EN 1995-1-1)

$\gamma_M = 1{,}3 \qquad k_{mod} = 0{,}8 \qquad k_{def} = 0{,}6 \qquad E_{mean} = 11\ \mathrm{GPa}$

$f_{m,k} = 24\ \mathrm{MPa} \quad f_{m,d} = k_{mod}\frac{f_{m,k}}{\gamma_M} = 0{,}8\frac{24}{1{,}3} = 14{,}77\ \mathrm{MPa}$

$f_{v,k} = 4{,}0\ \mathrm{MPa} \quad f_{v,d} = k_{mod}\frac{f_{v,k}}{\gamma_M} = 0{,}8\frac{4{,}0}{1{,}3} = 2{,}46\ \mathrm{MPa}$

1. Posouzení trámu bez spoje

MSÚ

- **ohyb** (nosník je po celé délce zajištěn proti ztrátě příčné a torzní stability)

$$\sigma_{m,d} \leq f_{m,d} \qquad \rightarrow \qquad \sigma_{m,d} = \frac{M_d}{W_y} = \frac{15{,}52 \cdot 10^3}{2{,}08 \cdot 10^{-3}} = 7{,}45 \text{ MPa}$$

$$7{,}45 \text{ MPa} \leq 14{,}77 \text{ MPa}$$

průřez VYHOVUJE

- **smyk** (vztah pro $\tau_{v,d}$ platí pro obdélníkový průřez, $k_{cr} = 0{,}67$)

$$\tau_{v,d} \leq f_{v,d} \qquad \rightarrow \qquad \tau_{v,d} = \frac{3V_d}{2A} = \frac{3V_d}{2k_{cr}bh} = \frac{3 \cdot 11{,}09 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 0{,}76 \cdot 0{,}2 \cdot 0{,}25} = 0{,}44 \text{ MPa}$$

$$0{,}44\text{MPa} \leq 2{,}46 \text{ MPa}$$

průřez VYHOVUJE

MSP

- **maximální průhyb** (limitní hodnoty pro prostý nosník dle ČSN EN 1995-1-1)

$$w_{lim,inst} = \frac{L}{300} = \frac{5{,}6}{300} = 0{,}019 \text{ m}$$

$$w_{inst,g} = \frac{5}{384}\frac{g_k L^4}{EI} = \frac{5}{384} \cdot \frac{1{,}3 \cdot 10^3 \cdot 5{,}6^4}{11 \cdot 10^9 \cdot 2{,}6 \cdot 10^{-4}} = 0{,}0058 \text{ m}$$

$$w_{inst,q} = \frac{5}{384}\frac{q_k L^4}{EI} = \frac{5}{384} \cdot \frac{1{,}6 \cdot 10^3 \cdot 5{,}7^4}{11 \cdot 10^9 \cdot 2{,}6 \cdot 10^{-4}} = 0{,}0072 \text{ m}$$

$$w_{inst} = w_{inst,g} + w_{inst,q} = 0{,}0058 + 0{,}0072 = 0{,}013 \text{ m}$$

$$0{,}013 \text{ m} < 0{,}019 \text{ m}$$ průřez VYHOVUJE

$$w_{lim,fin} = \frac{L}{250} = \frac{5{,}6}{250} = 0{,}022 \text{ m}$$

$$w_{fin} = w_{inst,g}(1 + k_{def}) + w_{inst,q}(1 + \psi_{2,1}k_{def}) = 0{,}0058 \cdot 1{,}6 + 0{,}0072 \cdot 1 = 0{,}016 \text{ m}$$

$$0{,}018\, m < 0{,}022 \text{ m}$$ průřez VYHOVUJE

- **ohybová tuhost nosníku**

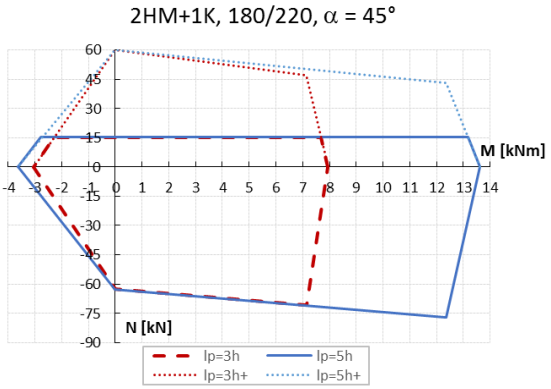
$$k = \frac{48EI}{L^3} = \frac{48 \cdot 11 \cdot 10^9 \cdot 2{,}6 \cdot 10^{-4}}{5{,}6^3} = 783 \text{ kNm}^{-1}$$

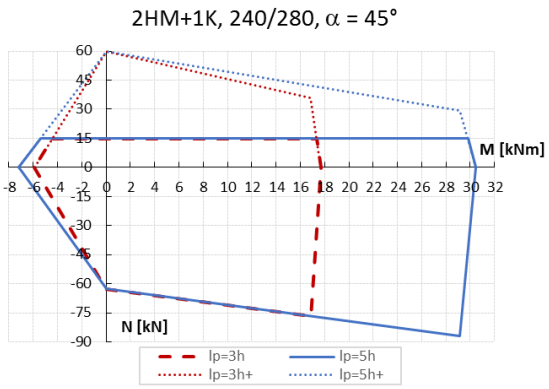
2. Posouzení trámu se spojem

zvolený spoj – **2HM1K** (plát se 2 hmoždíky a 1 kolíkem), $L_p = 4h = 1\, m$, $M_{SP} = M(x = 1{,}15\, m) = 10{,}36$ kNm

MSÚ

$M_{max,k}$ pro průřez 200/250 – interpolují se hodnoty z diagramu únosnosti *M-N* pro profily 180/220 a 240/280





180/220	2,5h → 8,0 kNm 5h → 13,5 kNm	4h →	11,3 kNm	200/250 interpolace podle ***b***	**15,97 kNm**
240/280	2,5h → 17,5 kNm 5h → 30,5 kNm	4h →	25,3 kNm	interpolace podle ***h***	**18,30 kNm**

bezpečnost

Uvažuje se charakteristická hodnota momentu $M_{max,k}$ pro interpolaci podle h (rozměr s větším vlivem na únosnost).

$$\frac{M_{max,k}}{M_{SP}} = \frac{18{,}30}{10{,}13} = \mathbf{1{,}81}$$

Srovná-li se dosažená bezpečnost s výpočtem návrhové hodnoty $M_{max,d}$ s uvážením k_{mod}=0,8 a γ_M=1,3, je hodnota 1,81 dostatečná.

$$M_{max,d} = k_{mod}\frac{M_{max,k}}{\gamma_M} = 0{,}8\frac{18{,}3}{1{,}3} = 11{,}26\ kNm$$

MSP

- **maximální průhyb trámu se spojem**

v kartě spoje se najdou vztahy pro parametry spoje $L_1 = 0{,}55$ m, $\frac{L}{12} = 0{,}47$ m, $L_p = 4h = 1$ m, $b = 0{,}2$ m, $h = 0{,}25$ m

$$L_1 > \frac{L}{12}, L_p = 2{,}5h : w = w_0 \frac{40}{\left(8{,}7-16\left(\frac{L_1}{L}-\frac{1}{12}\right)\right)}\frac{h^{0,4}}{L^{0,4}} = 0{,}016 \cdot 1{,}363 = 0{,}0218 \text{ m}$$

$$L_1 > \frac{L}{12}, L_p = 5h : \quad w = w_0 \frac{40}{\left(8{,}3-9{,}4\left(\frac{L_1}{L}-\frac{1}{12}\right)\right)}\frac{h^{0,4}}{L^{0,4}} = 0{,}016 \cdot 1{,}4134 = 0{,}0226 \text{ m}$$

mezi výsledky se interpoluje (délka spoje *4h)* → $w = 0{,}0223$ m , tj. $w \approx w_{lim,fin}$

průhyb VYHOVUJE

- **ohybová tuhost trámu se spojem (pozor, po přepočtení jednotek z tabelovaných MNm^{-1} na kNm^{-1})**

$$L_1 > \frac{L}{12}, L_p = 2{,}5h : k = 100Eb\left(8{,}7 - 16\left(\frac{L_1}{L} - \frac{1}{12}\right)\right)\frac{h^{2,6}}{L^{2,6}} = 574 \text{ kNm}^{-1}$$

$$L_1 > \frac{L}{12}, L_p = 5h : k = 100Eb\left(8{,}3 - 9{,}4\left(\frac{L_1}{L} - \frac{1}{12}\right)\right)\frac{h^{2,6}}{L^{2,6}} = 554 \text{ kNm}^{-1}$$

Závěr

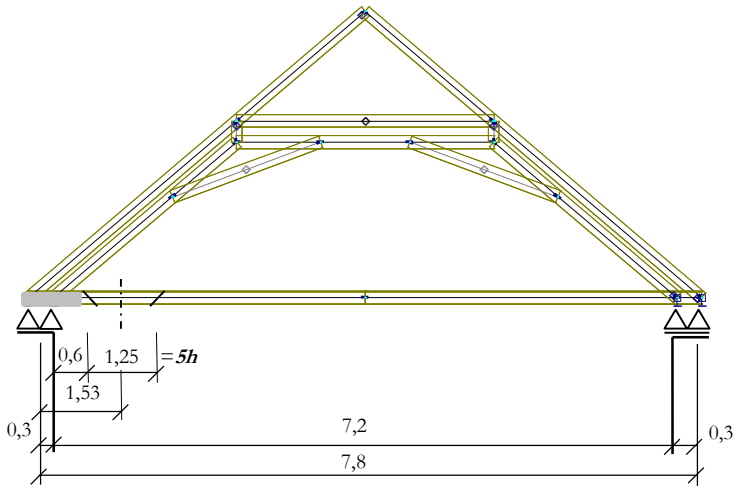
Zvolený plát se pro opravu trámu **dá** použít po zvážení návrhové bezpečnosti o hodnotě 1,81.

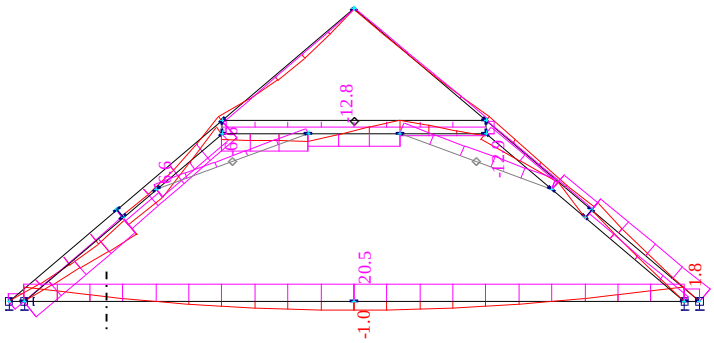
Je-li potřeba větší bezpečnost pro návrh únosnosti, lze zvětšit délku plátu L_p na *5h*. Při interpolaci podle *h* dostáváme $M_{max,k}$= 22,0 kNm a bezpečnost je 2,17.

Hodnoty finálního průhybu trámu se spojem odpovídají i limitním hodnotám, které jsou běžně užívány pro novostavby. Jak ukazují výpočty výsledných průhybů, je možno často použít pro orientační výpočet pouze jeden z uvedených aproximačních vzorců. Rozdíly jsou patrné pouze při větší hodnotě L_1 (viz Obr. 9).

A.2 Návrh plátu na vazném trámu – ležatá stolice

Navrhněte nastavovací plátový spoj na poškozeném vazném trámu ležaté. Vazný trám má obdélníkový profil 200×250 mm. Je uvažováno běžné zatížení, průběhy vnitřních sil a deformace jsou určeny pomocí MKP softwaru, viz obrázky níže. Poškození trámu zasahuje do vzdálenosti 0,6 m od líce svislé stěny. Kvalita původního prvku odpovídá dřevu třídy C20.





$M_d = M(x = 1{,}53) = 0{,}2$ kNm
$N_d = N(x = 1{,}53) = 20{,}5$ kN

$M_{max} = M(x = 3{,}9) = 1{,}0$ kNm
$N_{max} = N(x = 3{,}9) = 20{,}5$ kNm

---

průřezové charakteristiky

$A = bh = 0{,}2 \cdot 0{,}25 = 0{,}05\ \text{m}^2$

$W_y = \frac{bh^2}{6} = \frac{0{,}2 \cdot 0{,}25^2}{6} = 2{,}08 \cdot 10^{-3}\ \text{m}^3$

$I_y = \frac{bh^3}{12} = \frac{0{,}2 \cdot 0{,}25^3}{12} = 2{,}6 \cdot 10^{-4}\ \text{m}^4$

materiálové vlastnosti (dle ČSN EN 338, součinitelé dle ČSN EN 1995-1-1)

$\gamma_M = 1{,}3 \qquad k_{mod} = 0{,}8 \qquad k_{def} = 0{,}6$

$f_{m,k} = 20$ MPa $\quad f_{m,d} = k_{mod}\frac{f_{m,k}}{\gamma_M} = 0{,}8\frac{20}{1{,}3} = 12{,}3$ MPa

$f_{t,0,k} = 12$ MPa $\quad f_{t,0,d} = k_{mod}\frac{f_{t,0,k}}{\gamma_M} = 0{,}8\frac{12}{1{,}3} = 7{,}38$ MPa

$E_{mean} = 9{,}5$ GPa

1. Posouzení trámu bez spoje

MSÚ

- **ohyb – v místě největšího momentu**

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{m,d}}{f_{m,d}} \leq 1 \quad \rightarrow \quad \sigma_{m,d} = \frac{M_d}{W_y} = \frac{1{,}0 \cdot 10^3}{2{,}08 \cdot 10^{-3}} = 0{,}48 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{t,0,d} = \frac{N_d}{A} = \frac{20{,}5 \cdot 10^3}{0{,}05} = 0{,}41 \text{ MPa}$$

$$\frac{0{,}41}{7{,}38} + \frac{0{,}48}{12{,}3} = 0{,}09 \quad \rightarrow \quad 0{,}09 < 1$$

průřez VYHOVUJE

MSP

- **maximální průhyb** (limitní hodnoty dle ČSN EN 1995-1-1)

$$w_{lim,inst} = \frac{L}{350} = \frac{7{,}8}{350} = 0{,}022 \text{ m}$$

→ z výpočtu MKP vychází maximální průhyb $w = 0{,}003$ m → průřez VYHOVUJE

- **ohybová tuhost nosníku**

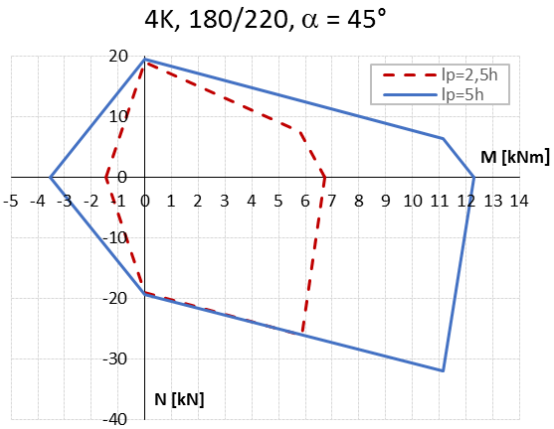
$$k = \frac{48EI}{L^3} = \frac{48 \cdot 9{,}5 \cdot 10^9 \cdot 2{,}6 \cdot 10^{-4}}{7{,}8^3} = 250 \text{ kNm}^{-1}$$

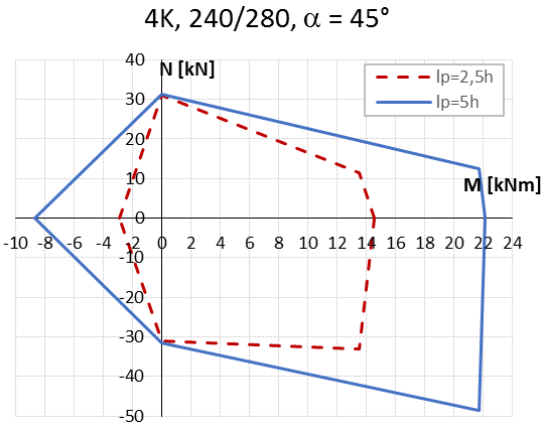
2. Posouzení trámu se spojem

zvolený spoj – **4K** (se 4 kolíky), $L_p = 5h = 1{,}25\ m$, $M_{SP} = M(x = 1{,}53\ m) = 0{,}2\ kNm$, $N_d = N(x = 1{,}53) = 20{,}5$ kN

MSÚ

$M_{max,k}$ a $N_{max,k}$ pro průřez 200/250 – interpolují se hodnoty z diagramu únosnosti *M-N* pro profily 180/220 a 240/280 určené hranicí pro $L_p = 5h$





	$M_{max,k}$ [kNm]	$N_{max,k}$ [kN]	bezpečnost	$M_{max,d}$ [kNm]	$N_{max,d}$ [kN]
180/220	1	18			
240/280	1	30			
200/250	**1**	**24**	**1,5**	**0,67**	**16**
			2	**0,5**	**12**

Pozn.: Hodnota bezpečnosti 2 odpovídá použití k_{mod}=0,6 a γ_M=1,3.

MSP

- **maximální průhyb trámu se spojem**

V kartě spoje najdeme pro $L_1 = 0{,}6$ m, $\frac{L}{12} = 0{,}65$ m, $L_p = 5h = 1{,}25$ m, $b = 0{,}2$ m, $h = 0{,}25$ m.
Prvek je tažený s malým ohybovým momentem, je tedy nutné zvětšit průhyb o jednu čtvrtinu (viz karta spoje).

$$L_1 < \frac{L}{12}, L_p = 5h: \quad w = w_0 4{,}8 \frac{h^{0,4}}{L^{0,4}} = 0{,}003 \cdot 1{,}212 \cdot 1{,}25 = 0{,}005 \text{ mm} < w_{lim,inst}$$

průhyb VYHOVUJE

- **ohybová tuhost** trámu se spojem (opět snížená o jednu čtvrtinu kvůli kombinaci ohybu a tahu; po přepočtení jednotek z tabelovaných MNm^{-1} na kNm^{-1}**)**

$$L_1 < \frac{L}{12}, L_p = 5h: \; k = \frac{830 E b \frac{h^{2,6}}{l^{2,6}}}{1{,}25} = 164{,}5 \text{ kNm}^{-1}$$

Závěr

Zvolený plát se pro opravu vazného trámu **nedá** použít, uvažujeme-li bezpečnost větší než 1,15, z důvodu nevyhovující tahové únosnosti. V případě táhel, která jsou namáhána zanedbatelným ohybovým momentem je možno zvýšit únosnost přidáním dalších dřevěných kolíků (v minimálních doporučených vzdálenostech $a_1=5d$ dle EC5). Charakteristickou únosnost jednoho dubového kolíku s průměrem d [mm] lze konzervativně uvažovat (i podle DIN 1052:2004) jako

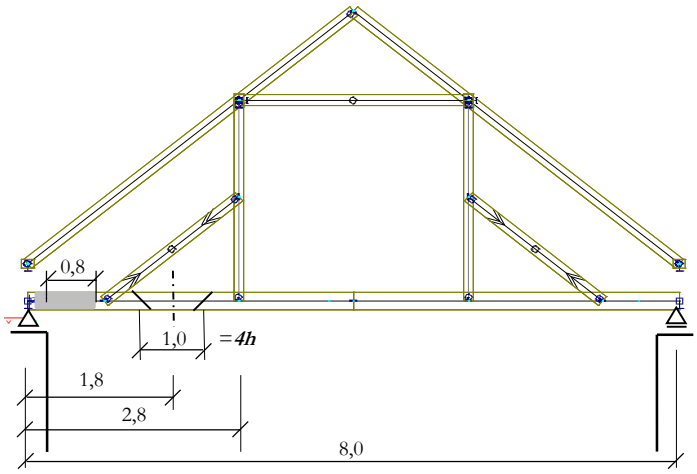
$$R_k = 9{,}5d^2 \; .$$

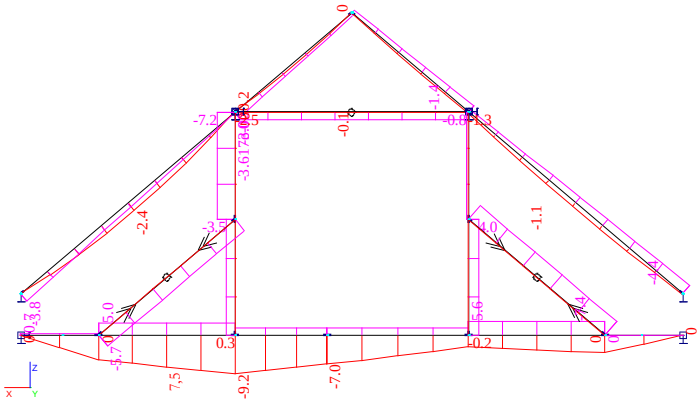
Je možné použít také vztah objevující se mezi kritérii porušení v metodice

$$R_k = 12{,}5d^2 - 54d.$$

A.3 Návrh plátu na vazném trámu – stojatá stolice

Navrhněte nastavovací plátový spoj na poškozeném vazném trámu stojaté stolice. Vazný trám má obdélníkový profil 200×250 mm. Je uvažováno běžné zatížení, průběhy vnitřních sil a deformace jsou určeny pomocí MKP softwaru, viz níže. Poškození trámu zasahuje do vzdálenosti 0,8 m od líce svislé stěny. Kvalita původního prvku odpovídá dřevu třídy C20.





$$M_{SP} = M(x = 1{,}8) = 7{,}5 \text{ kNm}$$
$$N_{SP} = N(x = 1{,}8) = 5{,}0 \text{ kN}$$

$$M_{max} = M(x = 2{,}8) = 9{,}2 \text{ kNm}$$
$$N_{max} = 5{,}0 \text{ kNm}$$

---

průřezové charakteristiky

$A = bh = 0{,}2 \cdot 0{,}25 = 0{,}05 \text{ m}^2$

$W_y = \frac{bh^2}{6} = \frac{0{,}2 \cdot 0{,}25^2}{6} = 2{,}08 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$

$I_y = \frac{bh^3}{12} = \frac{0{,}2 \cdot 0{,}25^3}{12} = 2{,}6 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$

materiálové vlastnosti (dle ČSN EN 338, součinitelé dle ČSN EN 1995-1-1)

$\gamma_M = 1{,}3 \qquad k_{mod} = 0{,}8 \qquad k_{def} = 0{,}6$

$f_{m,k} = 20 \text{ MPa} \quad f_{m,d} = k_{mod} \frac{f_{m,k}}{\gamma_M} = 0{,}8 \frac{20}{1{,}3} = 12{,}3 \text{ MPa}$

$f_{t,0,k} = 12 \text{ MPa} \quad f_{t,0,d} = k_{mod} \frac{f_{t,0,k}}{\gamma_M} = 0{,}8 \frac{12}{1{,}3} = 7{,}38 \text{ MPa}$

$E_{mean} = 9{,}5 \text{ GPa}$

1. Posouzení trámu bez spoje

MSÚ

- **ohyb – v místě největšího momentu**

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{m,d}}{f_{m,d}} \leq 1 \quad \rightarrow \quad \sigma_{m,d} = \frac{M_d}{W_y} = \frac{9{,}2 \cdot 10^3}{2{,}08 \cdot 10^{-3}} = 4{,}42 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{t,0,d} = \frac{N_d}{A} = \frac{5{,}0 \cdot 10^3}{0{,}05} = 0{,}1 \text{ MPa}$$

$$\frac{0{,}1}{7{,}38} + \frac{4{,}42}{12{,}3} = 0{,}37 \quad \rightarrow \quad 0{,}37 < 1$$

průřez VYHOVUJE

MSP

- **maximální průhyb** (limitní hodnoty dle ČSN EN 1995-1-1)

$$w_{lim,inst} = \frac{L}{250} = \frac{8}{250} = 0{,}032 \text{ m}$$

→ z výpočtu MKP vychází maximální průhyb $w = 0{,}017$ → průřez VYHOVUJE

- **ohybová tuhost nosníku**

$$k = \frac{48EI}{L^3} = \frac{48 \cdot 9{,}5 \cdot 10^9 \cdot 2{,}6 \cdot 10^{-4}}{8^3} = 232 \text{ kNm}^{-1}$$

2. Posouzení trámu se spojem

zvolený spoj – **4K** (4 kolíky), $L_p = 4h = 1{,}0\ m$,

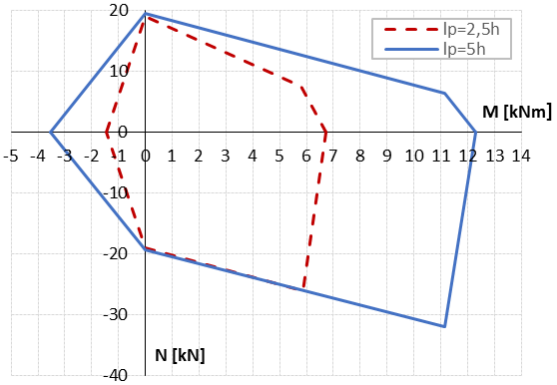
umístíme jej až za vzpěru směrem ke středu trámu!

$M_{SP} = M(x = 1{,}8\ m) = 7{,}5\ kNm$, $N_{SP} = N(x = 1{,}8) = 5{,}0$ kN

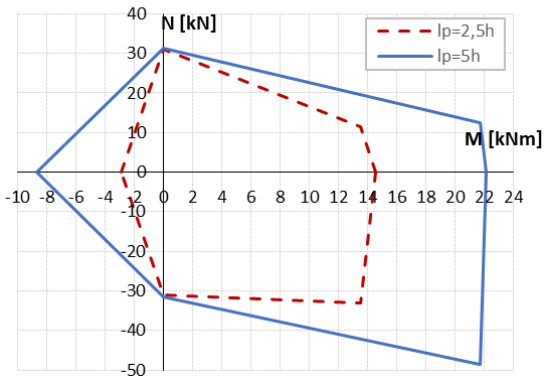
MSÚ

$M_{max,k}$ pro průřez 200/250 – interpolují se hodnoty z diagramu únosnosti M-N pro profily 180/220 a 240/280

4K, 180/220, α = 45°

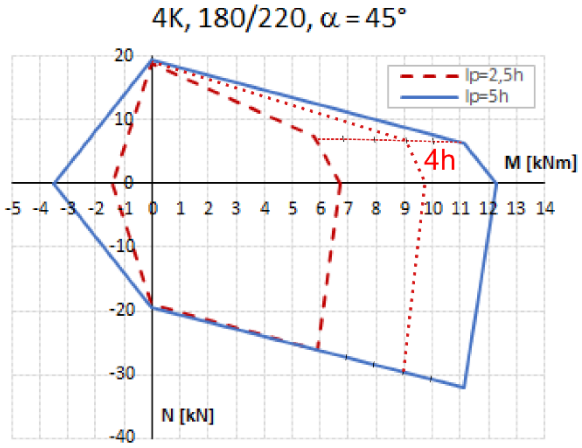


4K, 240/280, α = 45°



	pouze M [kNm]			M [kNm]	N [kN]	200/250	$M_{max,k}$ [kNm]	$N_{max,k}$ [kN]
180/220	2,5h → 6,6 5h → 12,2		4h → 9,96	9,96	7,0	interpolace podle ***b***	**13,0**	**8,7**
240/280	2,5h → 14,5 5h → 22,0		4h → 19,0	19,0	12,0	interpolace podle ***h***	**14,5**	**9,5**

Pozn. Odečet interpolovaných hodnot *M* a *N* pro $L_p = 4h$ probíhá podle obrázku níže (4K, 180/220).



bezpečnost

Uvažují se hodnoty pro interpolaci podle *h* (rozměr s větším vlivem na únosnost).

	$M_{max,k}$ [kNm]	$N_{max,k}$ [kN]	bezpečnost	$M_{max,d}$ [kNm]	$N_{max,d}$ [kN]
200/250	14,5	9,5	1,5	9,7	6,3
			1,9	**7,6**	**5,0**

Pozn.: Hodnota bezpečnosti 1,9 odpovídá použití k_{mod}=0,7 a γ_M=1,3.

MSP

- **maximální průhyb trámu se spojem**

V kartě spoje najdeme pro parametry

$L_1 = 1{,}425$ m, $\frac{L}{12} = 0{,}66$ m, $L_p = 4h = 1{,}0$ m, $b = 0{,}2$ m, $h = 0{,}25$ m.

vztahy (s korekcí průhybu – zvětšení o jednu čtvrtinu – v případě tahu a ohybu):

$$L_1 > \frac{L}{12}, L_p = 2{,}5h : w = w_0 \frac{40}{\left(8{,}7 - 16\left(\frac{L_1}{L} - \frac{1}{12}\right)\right)} \frac{h^{0,4}}{L^{0,4}} = 0{,}017 \cdot 1{,}392 \cdot 1{,}25 = 0{,}03 \text{ m}$$

$$L_1 > \frac{L}{12}, L_p = 5h : \quad w = w_0 \frac{40}{\left(8{,}3 - 9{,}4\left(\frac{L_1}{L} - \frac{1}{12}\right)\right)} \frac{h^{0,4}}{L^{0,4}} = 0{,}017 \cdot 1{,}35 \cdot 1{,}25 = 0{,}0029 \text{ m}$$

V případě, že by to mělo smysl, je možné škálovat mezi těmito dvěma hodnotami na *4h*.

$$w < w_{lim,inst}$$

průhyb VYHOVUJE

- **ohybová tuhost** trámu se spojem (analogicky)

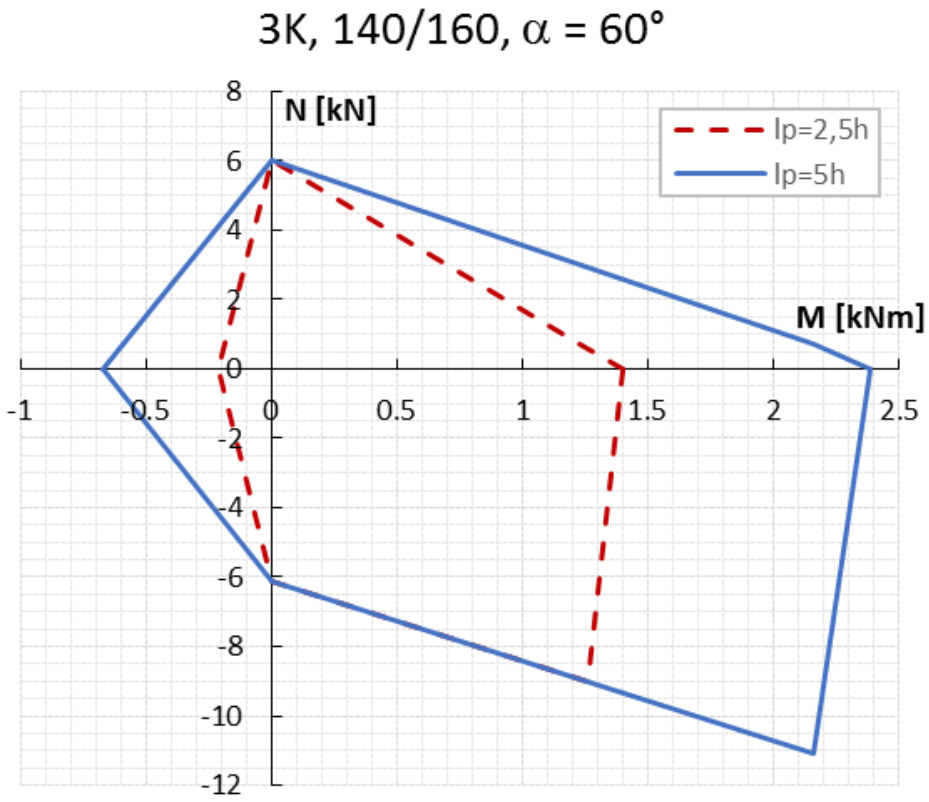
$$L_1 > \frac{L}{12}, L_p = 2{,}5h : k = \frac{100Eb\left(8{,}7-16\left(\frac{L_1}{L}-\frac{1}{12}\right)\right)\frac{h^{2,6}}{L^{2,6}}}{1{,}25} = 133{,}2 \text{ kNm}^{-1}$$

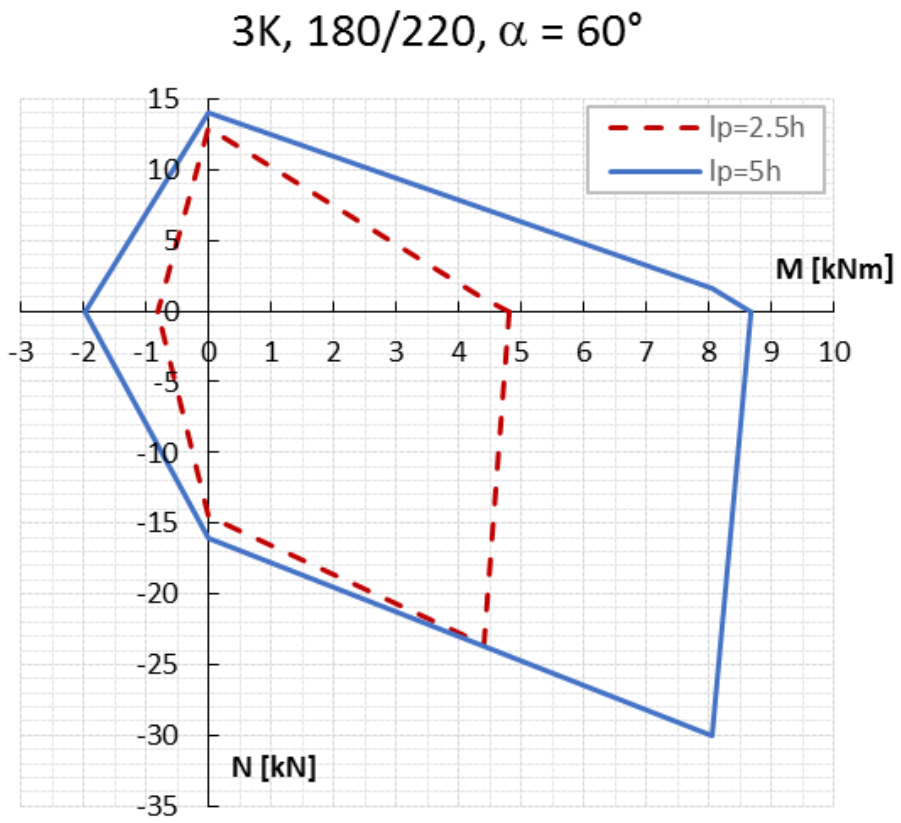
$$L_1 > \frac{L}{12}, L_p = 5h : k = \frac{100Eb\left(8{,}3-9{,}4\left(\frac{L_1}{L}-\frac{1}{12}\right)\right)\frac{h^{2,6}}{L^{2,6}}}{1{,}25} = 137{,}3 \text{ kNm}^{-1}$$

Závěr

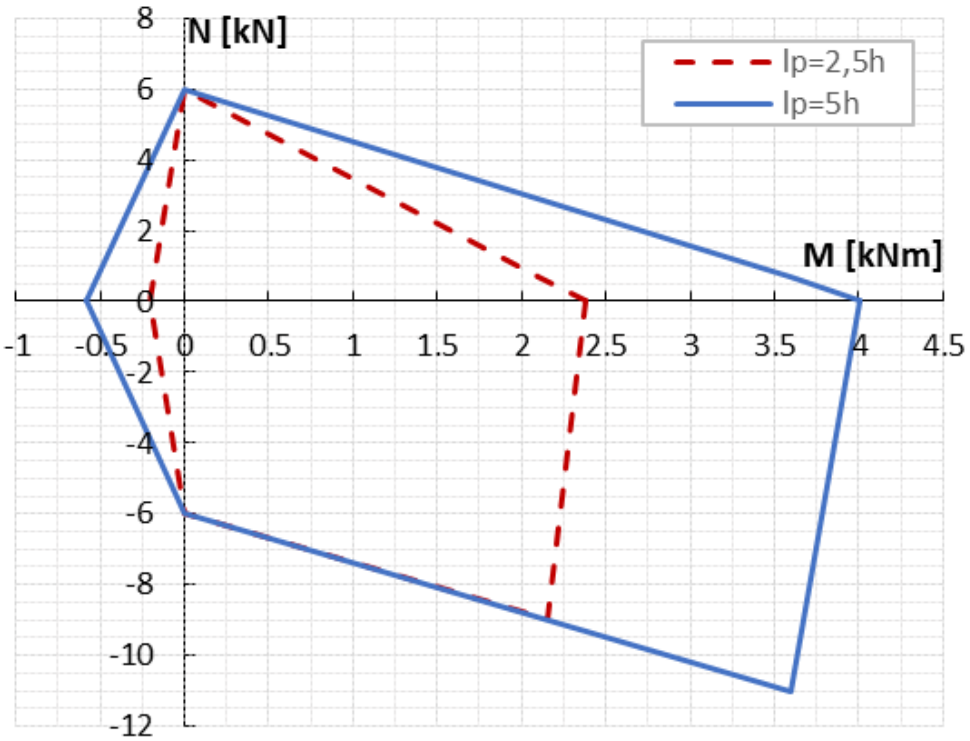
Zvolený plát se pro opravu vazného trámu **dá** použít s bezpečností 1,9.
Je-li potřeba větší bezpečnost, lze zvětšit délku plátu L_p (pokud je to možné).

B. DETAILNÍ NÁVRHOVÉ GRAFY ÚNOSNOSTI

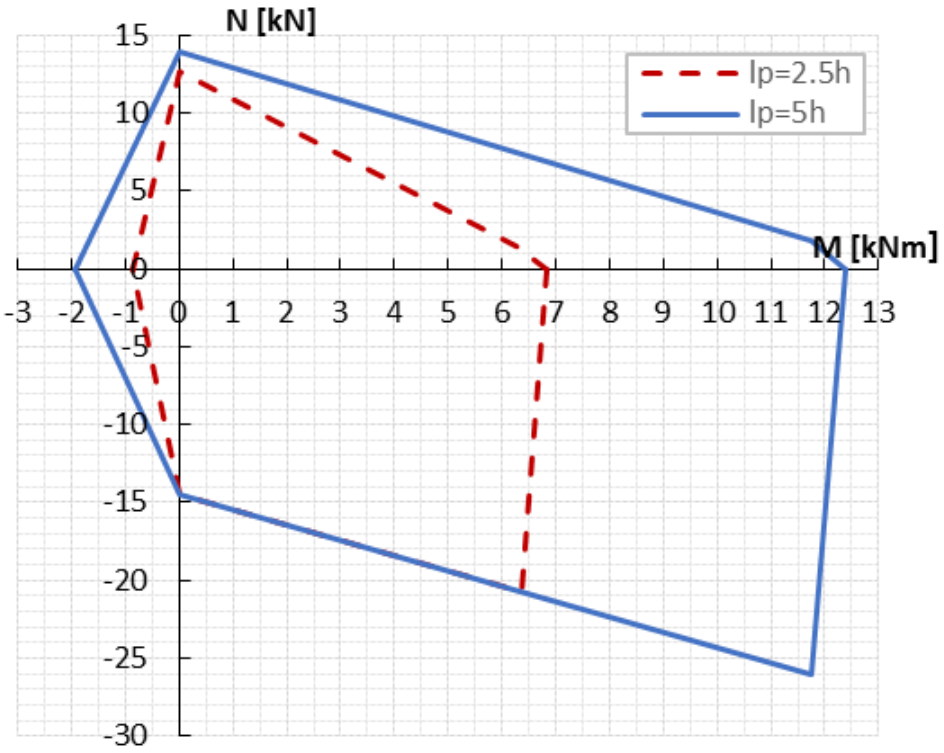




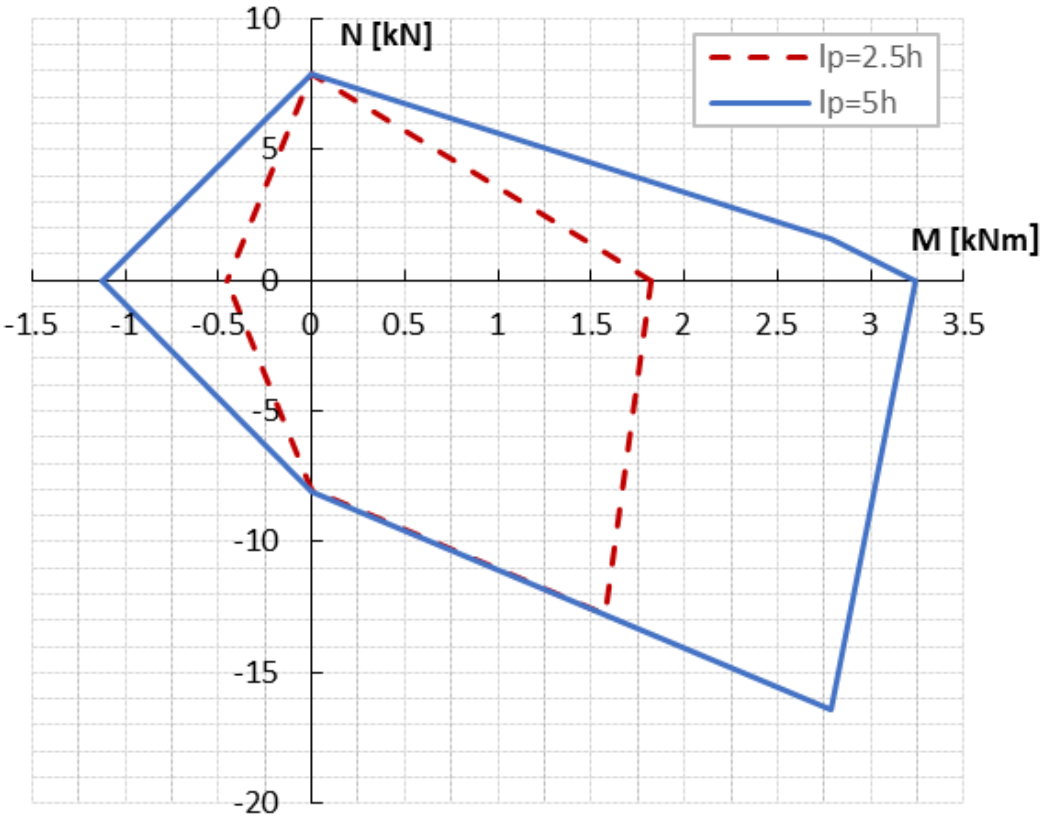
3K, 140/160, α = 45°



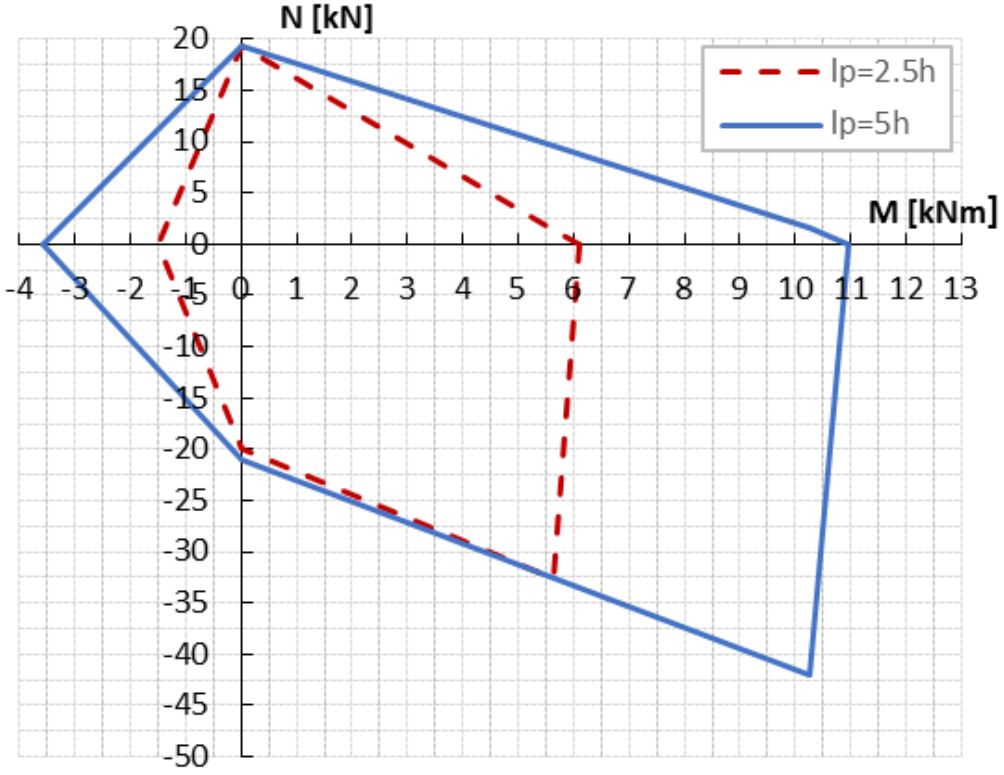
3K, 180/220, α = 45°



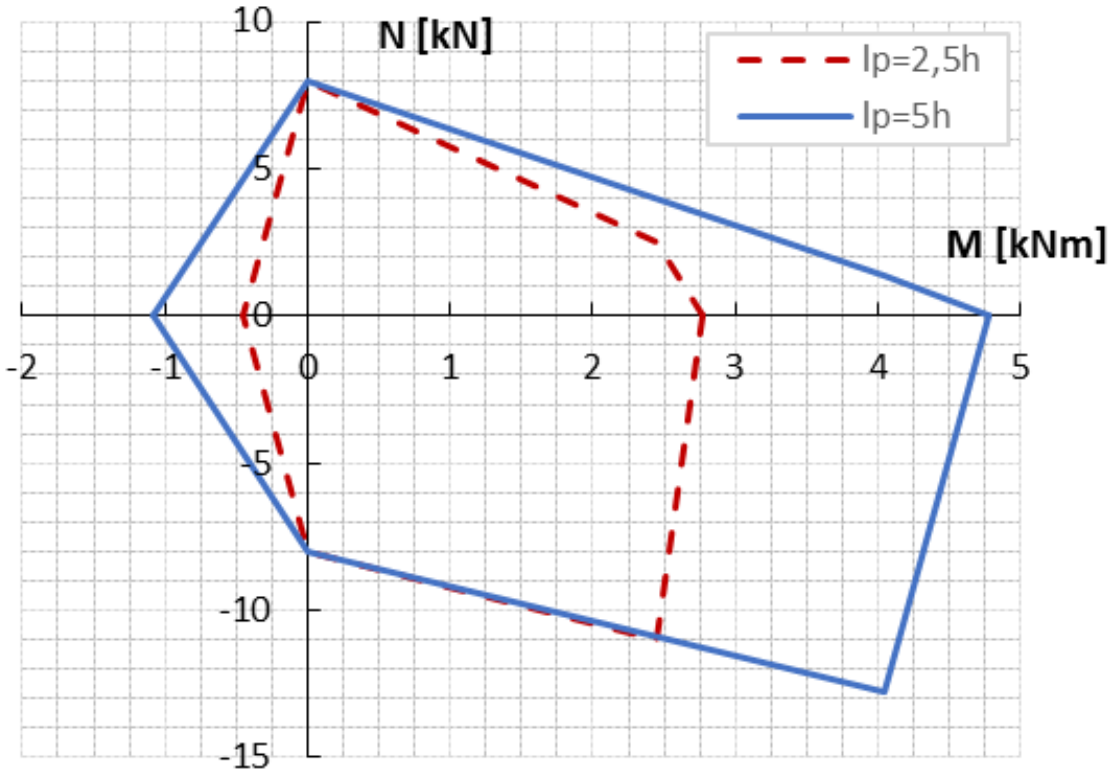
4K, 140/160, α = 60°



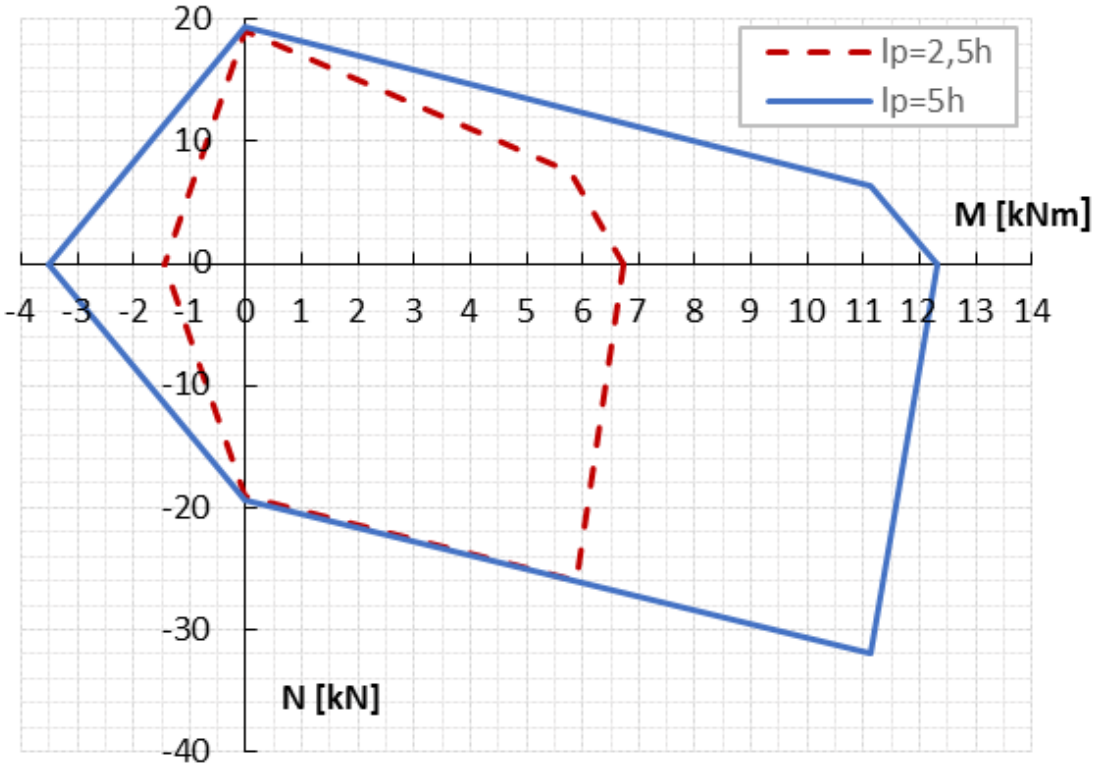
4K, 180/220, α = 60°

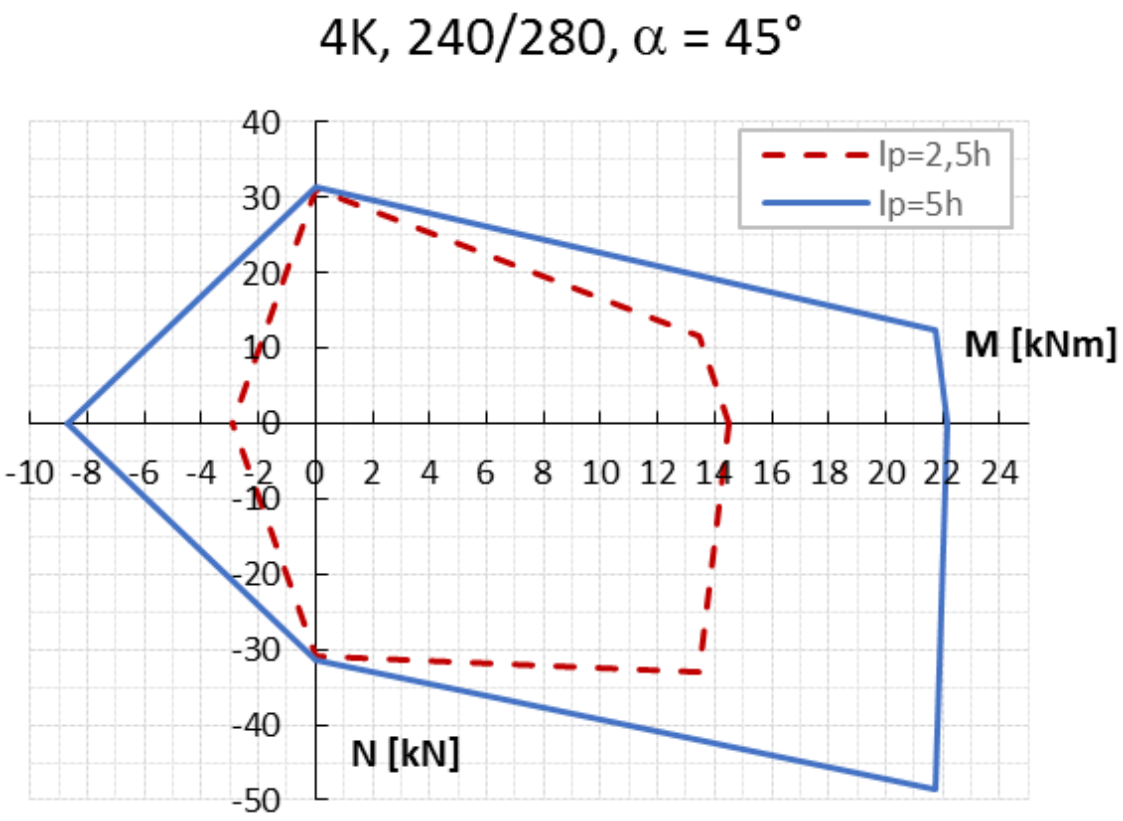


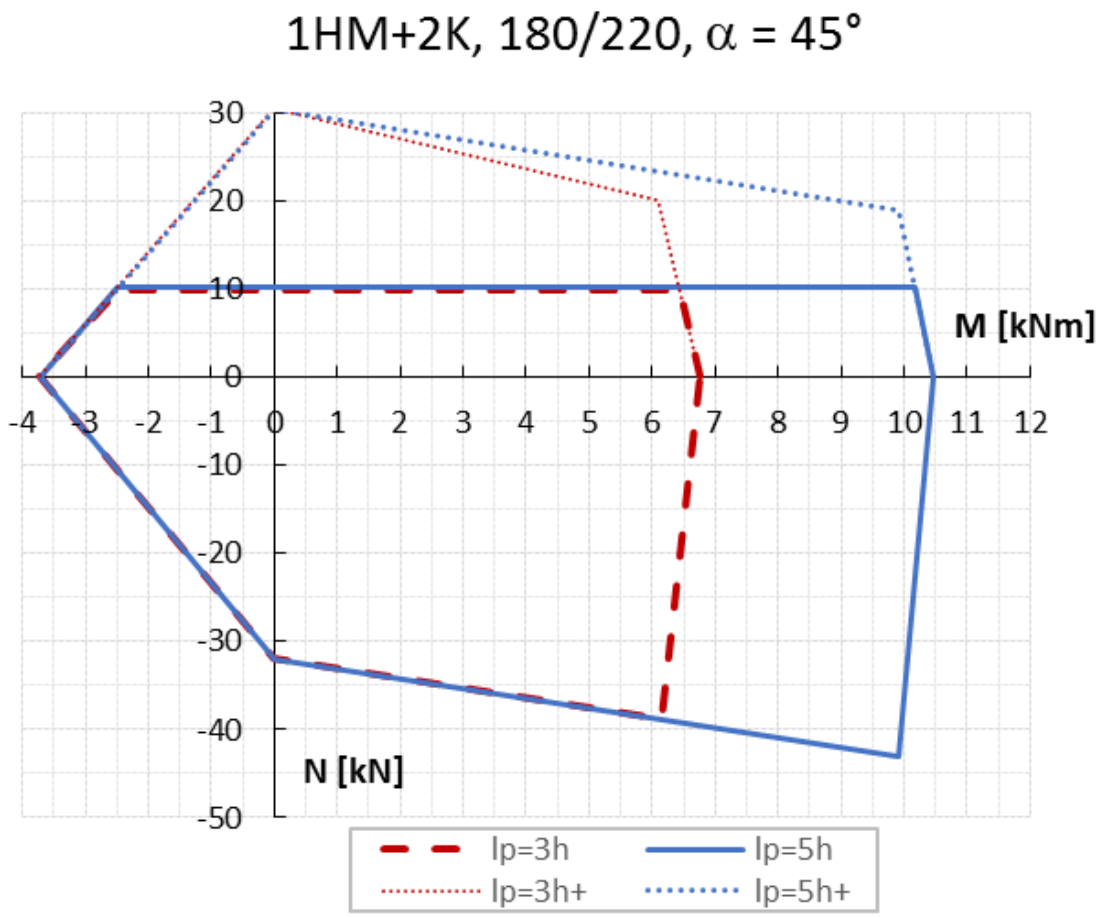
4K, 140/160, α = 45°

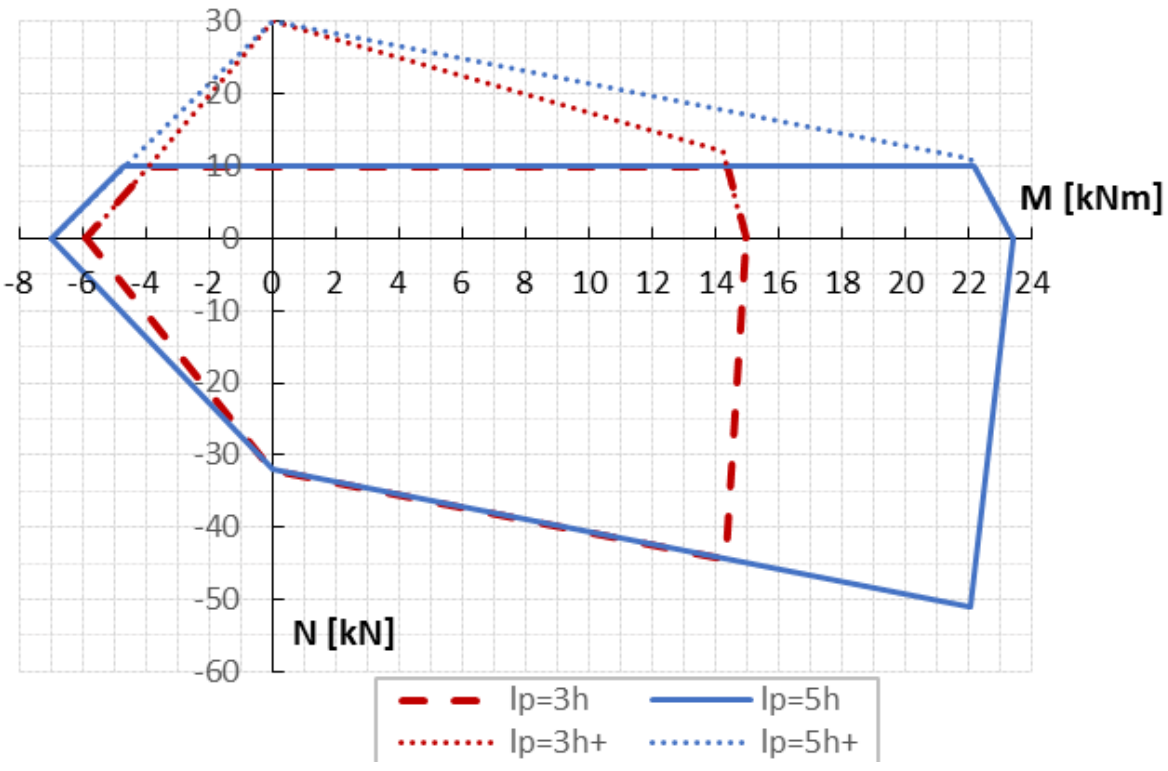


4K, 180/220, α = 45°

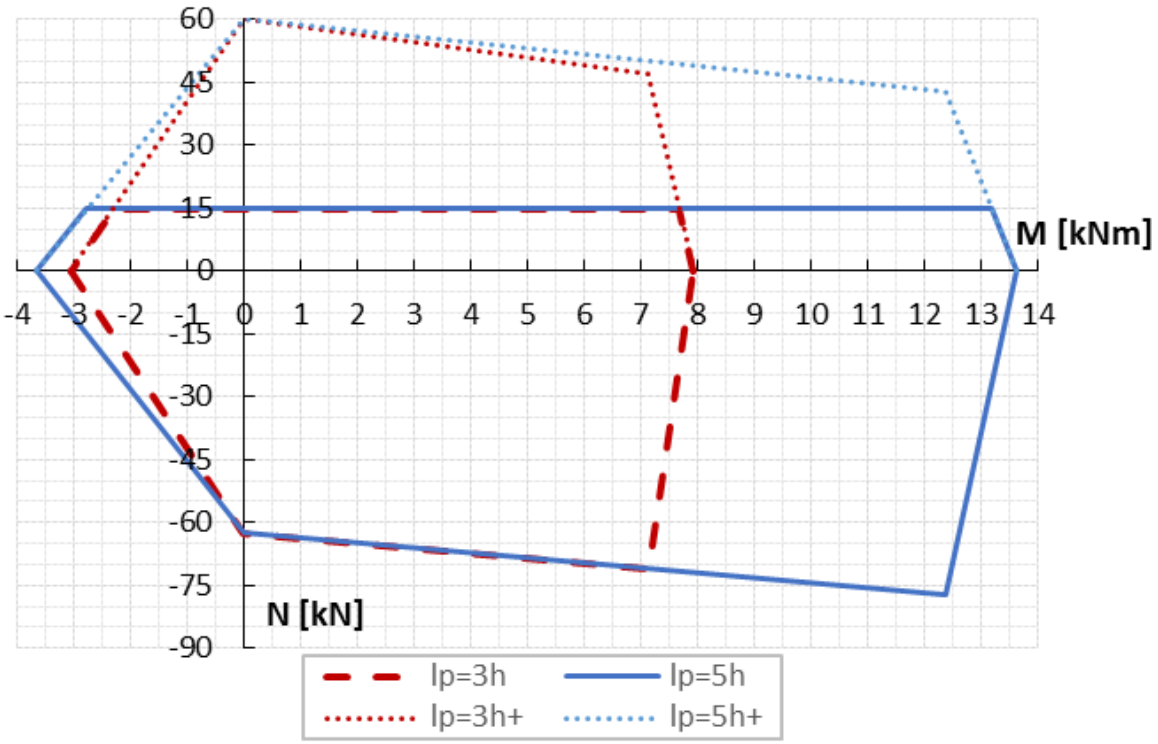



4K, 240/280, α = 45°
lp=2,5h
lp=5h
M [kNm]
N [kN]
40
30
20
10
0
-10
-20
-30
-40
-50
-10 -8 -6 -4 -2 0 2 4 6 8 10 12 14 16 18 20 22 24

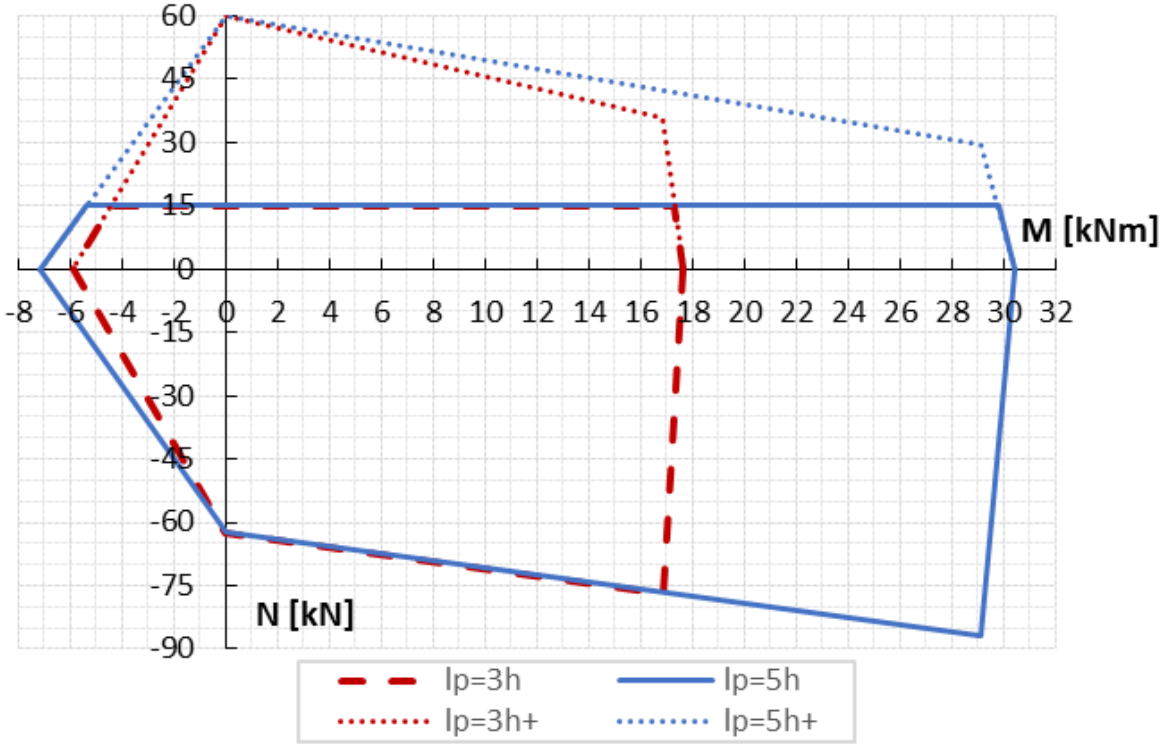

1HM+2K, 180/220, α = 45°
M [kNm]
N [kN]
lp=3h
lp=5h
lp=3h+
lp=5h+


1HM+2K, 240/280, α = 45°
M [kNm]
N [kN]
lp=3h
lp=5h
lp=3h+
lp=5h+

2HM+1K, 180/220, α = 45°



2HM+1K, 240/280, α = 45°



C. TESAŘSKÝ TERMINOLOGICKÝ SLOVNÍK

Slovník je vztažen k technologii výroby nastavovacího spoje, další rozšířené názvosloví lze nalézt v knize [6].

dřevěný kolík

spojovací prostředek vyrobený ze štípaného tvrdého dřeva, kulatého průřezu (Obr. 15)

dřevěný hřeb (Holznagel)

spojovací prostředek vyrobený ze štípaného tvrdého dřeva, hranatého průřezu, který se zatlouká do kulaté díry (Obr. 37)



Obr. 37 Dřevěný hřeb ve spoji (vlevo), dřevěné hřeby po vyjmutí ze spoje (vravo)

dřevěný hmoždík

spojovací prostředek hranatého průřezu, v nastavovavích plátech obvykle klínového tvaru (Obr. 34)

dlátovka

nástroj na pomezí sekery a dláta, kterým se dřevo ubírá pouze tlakem ruky, používá se pro dočišťování spojů nebo dopasování ploch (Obr. 38a)

pořiz

hoblovací nástroj používaný pro sražení hrany a dopasování k oblině (Obr. 38b)



Obr. 38 a) Dlátovka, b) pořiz

tažná dvoumužná pila

pilový plát s oboustrannou rukojetí ve dvou variantách:

- pro podélné řezání plátu (rozmítání) je pilový plát opatřen nesouměrným tvarem zubu, pila řeže jenom na jednu stranu (Obr. 39a),
- pro příčné prořezávání spasovaných čel plátu je pilový plát opatřen souměrným tvarem zubu „A“ nebo „M“ (Obr. 39b),





Obr. 39 a) Tažný plát pily pro podélné řezání, b) tažný plát pily pro příčné řezání

pila ocaska

jednomužná pila se širokým plátem pro přesné vedení v řezu (Obr. 29)

pila děrovka

jednomužná pila s úzkým plátem pro řezy s omezeným místem, pro řez začínající v díře (Obr. 34**)**

lesnická průměrka

nástroj sloužící k měření průměru stromů a kulatiny, průměrkou se měří s 0,5 cm přesností

svěrka (tesařská, zámečnická)

pomůcka pro fixaci spasovaných plátů za účelem osazení spojovacích prostředků (Obr. 30)

pokosník (šablonky)

pomůcka pro značení příčných řezů pod úhlem (Obr. 40a), mohou být pevné nebo stavitelné.

značkovací šňůra s hlinkou (kolovrátek)

pomůcka pro značení linky, podle které probíhá opracování prvku (Obr. 40b)





Obr. 40 a) Pokosník, b) značkovací šňůra s hlinkou

Technologické kroky tesání:

vrubování

po vyznačení budoucí roviny značkovací šňůrou se hlavatkou rozdělí odsekávaná krajina na kulatině příčnými záseky (vruby) na kratší podélné úseky, které usnadní následné hrubování (Obr. 41)

hrubování

odštípání (odsekání) přebytečného dřeva nahrubo hlavatkou, tak aby následné lícování bylo co nejméně namáhavé (Obr. 41)



Obr. 41 Vrubování (vlevo, uprostřed) [16], hrubování (vravo)

lícování

samotné tesání (začišťovací operace), provádí se sekerou širočinou; u menších průměrů kulatiny a zároveň malého úběru krajiny může být upuštěno od hrubování; teprve, když je dřevo opracováno tak, že zbývá odstranit už jen slabou vrstvu (od 5 do 20 mm), začne tesař lícovat – tj. opracovávat líci podle vyznačené linky načisto (Obr. 42a)

reakční dřevo

Reakčním dřevem rozumíme změny ve struktuře dřeva vyvolané mechanickými vlivy při růstu stromu, tj. při tvorbě dřeva. Reakční dřevo v jehličnanech se označuje termínem *tlakové dřevo* (Obr. 42b neboli *křemenitost* (projevuje se zvýšením podílu letního dřeva v letokruzích a změnou barvy - tmavší půlměsíce na příčném řezu). Reakční dřevo ve dřevě listnáčů se nazývá *tahové dřevo* (makroskopicky se jeví jako lesklá bílá plocha na příčném řezu a jako světlejší drsnější pás na podélném řezu).



Obr. 42 a) Lícování, b) tlakové dřevo smrku

D. KONTAKNÍ INFORMACE

V případě potřeby je možné kontaktovat autory e-mailem na adrese: spoje@itam.cas.cz .
Autoři metodiky uvítají, pokud na tuto adresu budou zaslány informace či případná fotografická dokumentace realizací, dále jakékoli postřehy, zkušenosti ohledně dlouhodobého chování spoje v konstrukci apod. Reference o těchto aplikacích mohou sloužit jako zpětná vazba a podněty k dalším vylepšením spojů.

Résumé

Publikace se věnuje popisu oprav dřevěných konstrukcí za užití protézovacího plátového spoje nově navrženého pro nahrazení poškozených částí nosníků. Tento nový plátový spoj využívá rozpíravého efektu šikmých čel a síly v něm jsou přenášeny pomocí dřevěných spojovacích prostředků - dřevěných kolíků či dřevěných hmoždíků. Plát je modifikován ve čtyřech variantách dle způsobu namáhání a je vhodný pro historicky hodnotné dřevěné konstrukce. Splňuje jak funkční, tak estetické hledisko. V metodice se projektant - statik dozví, jaká je únosnost či tuhost nosníku s navrženým spojem, jeho doporučené rozměry a detailní geometrie. Zhotovitel naopak ocení popis výroby a údržby spoje.

Výsledek projektu Národní a kulturní identity NAKI DF DF12P01OVV004 2012-2015 Ministerstva kultury ČR.
© Ústav teoretické a aplikované mechaniky AV ČR, v. v. i., České Vysoké Učení Technické, Mendelova univerzita, 2015.