

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE
FAKULTA LESNICKÁ A DŘEVAŘSKÁ

**PEVNOSTNÍ VLASTNOSTI VYBRANÝCH KONSTRUKČNÍCH
SPOJŮ A OPTIMALIZACE JEJICH ROZMĚRŮ S DŮRAZEM NA
TUHOST.**

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE
FAKULTA LESNICKÁ A DŘEVAŘSKÁ

**PEVNOSTNÍ VLASTNOSTI VYBRANÝCH
KONSTRUKČNÍCH SPOJŮ A OPTIMALIZACE JEJICH
ROZMĚRŮ S DŮRAZEM NA TUHOST.**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Studijní program:	Prezenční
Pracoviště (katedra/ústav):	Katedra základního zpracování dřeva
Vedoucí bakalářské práce:	doc. Ing. Milan Gaff, PhD.
Konzultant diplomové práce: (nepovinný)	doc. Ing. Milan Gaff, PhD.

Praha 2018

Lukáš Vlk

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta lesnická a dřevařská

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Lukáš Vlk

Dřevařství

Název práce

Pevnostní vlastnosti vybraných konstrukčních spojů a optimalizace jejich rozměrů s důrazem na tuhost.

Název anglicky

Strength properties of selected structural joints and optimization of their dimensions with emphasis on stiffness

Cíle práce

Základním cílem práce je ze-sumarizovat poznatky o historicky používaných konstrukčních spojkách a o možnostech optimalizace jejich rozměrů. Při posuzování vybraných typů spojů se jedná o teoretický a experimentální rozbor.

Metodika

1. Analýza problematiky se zaměřením na:

- na poznatky o historicky používaných konstrukčních spojkách,
- na možnosti optimalizace jejich rozměrů,

2. Metodika práce se zaměřením na:

- měření pevnosti vybraných konstrukčních spojů,
- rozměrová optimalizace konstrukčních spojů a hodnocení jejich pevnosti,
- porovnání získaných výsledků.

3. Měření a vyhodnocení

- vlivu vybraných faktorů (rozměry spojů, druhy spojů, cyklické namáhání) na jejich pevnost.

4. Výsledky a diskuse

5. Závěr

Doporučený rozsah práce

70

Klíčová slova

historický nábytek, nábytkové spoje; pevnost spoje; metoda konečných prvků; výpočtový model, lepený spoj, konstrukční element

Doporučené zdroje informací

Kasal, A., et al.: Bending Moment Capacities of L-Shaped Mortise and Tenon Joints under Compression and Tension Loadings

Uysal, M., 2015.: A comparison of the cyclic durability, ease of disassembly, repair, and reuse of parts of wooden chair frames

Předběžný termín obhajoby

2017/18 LS – FLD

Vedoucí práce

doc. Ing. Milan Gaff, PhD.

Garantující pracoviště

Katedra základního zpracování dřeva

Elektronicky schváleno dne 20. 11. 2017

doc. Ing. Milan Gaff, PhD.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 27. 2. 2018

prof. Ing. Marek Turčáni, PhD.

Děkan

V Praze dne 16. 04. 2018

Čestné prohlášení

"Prohlašuji, že jsem Bakalářskou práci na téma Pevnostní vlastnosti vybraných konstrukčních spojů a optimalizace jejich rozměrů s důrazem na tuhost vypracoval samostatně pod vedením doc. Ing. Milana Gaffa, PhD. a použil jen prameny, které uvádím v seznamu použitých zdrojů.

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

V Praze dne.....

Podpis autora

Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat mému vedoucímu práce panu doc. Ing. Milanu Gaffovi, PhD za jeho čas a konzultace. Také bych chtěl poděkovat mé ženě Dorotě Vlkové za jazykovou korekturu a za morální podporu při psaní bakalářské práce.

Abstrakt ve státním jazyce

Tato bakalářská práce se zabývá vlivem vybraných faktorů na tuhost konstrukčního spoje. Vybrané faktory jsou průměr kolíku a typ použitého lepidla.

Sledované charakteristiky jsou tuhost spoje v tlaku a tuhost spoje v tahu.

Všechny naměřené hodnoty byly statisticky zpracovány, vyhodnoceny a vyjádřeny pomocí tabulek a grafů. Ze získaných výsledků vyplývá, že na tuhost konstrukčního spoje má veliký vliv průměr kolíků a druh použitého lepidla.

Díky naměřeným hodnotám a jejich vyhodnocení, bychom mohli navrhnout konstrukční spoj s dobrými pevnostními vlastnostmi.

Klíčová slova: konstrukční spoje, nábytkové spoje, tuhost spoje, lepený spoj, konstrukční element

Abstrakt v cizím jazyce

This bachelor thesis deals with the influence of selected factors on the stiffness of the structural joint. Selected factors are the diameter of the pin and the type of glue.

The observed characteristics are the stiffness of the compression joint and the tensile strength of the joint.

All measured values were statistically processed, evaluated and expressed using tables and graphs. The obtained results show that, on the stiffness of the construction joint has a great influence diameter of the pins and type of glue.

Thanks to the measured values and their evaluation, we could design a structural bond with good strength properties.

Keywords: structural joints, furniture joints, joint stiffness, glued joint, structural element

Obsah

Čestné prohlášení	4
Poděkování	5
Obsah	7
Seznam obrázků	10
Seznam grafů	11
Seznam tabulek	12
Seznam zkratk a značek	13
1 Úvod	14
2 Cíl práce	15
3 Dřevo a jeho význam	16
3.1 Stavba dřeva	16
4 Dřevěné konstrukční spoje	18
4.1 Historie dřevěných konstrukčních spojů	18
4.2 Šířková spojení	18
4.2.1 Nelepené šířkové spojení	18
4.2.2 Lepené šířkové spojení	19
Spoj na sdružené čepy	20
4.3 Rohové spojení plošných dílců	21
4.3.1 Spojovací lamely	21
4.3.2 Vložená pera	22
4.3.3 Úhlová pera	23
4.3.4 Svlakové rohové spoje	24
4.3.5 Sdružené čepy středové	25
4.3.6 Spojení ozuby	26
4.4 Rohové spojení u rámových konstrukcí	28
4.4.1 Přeplátování	29
4.4.2 Čep a rozpor	31
4.4.3 Čep a rozpor na pokos	32
4.4.4 Čep a dlab s perem	33
4.4.5 Čepové spoje	34
4.4.6 Spoje s vloženým perem	34
4.4.7 Miniozuby	35

4.4.8	Kolíkové spoje.....	36
5	Dimenzování spojů	39
5.1	Pevnostní vlastnosti.....	40
6	Metodika práce a měření.....	44
6.1	Výroba a příprava těles.....	44
6.1.1	Vzorky.....	44
6.1.2	Postup při výrobě vzorků	45
6.1.3	Lepení kolíků.....	45
6.1.4	Klimatizace těles.....	46
6.1.5	Určení hustoty dřeva	47
6.2	Měření vzorků.....	47
6.2.1	Značení těles.....	48
6.2.2	Postup při měření	49
6.2.3	Zařízení použitá při měření	51
7	Výsledky.....	53
7.1	Statisticky zpracované výsledky pomocí softwaru Statistica 12	53
7.2	Tuhost spoje v závislosti na jednotlivých faktorech	54
7.3	Tuhost spoje závislá na odklonu letokruhů	55
7.4	Tuhost spoje závislá na typu namáhání.....	56
7.5	Tuhost spoje závislá na průměru kolíků.....	57
7.6	Tuhost spoje závislá na typu lepidla	58
7.7	Tuhost spoje závislá na dvou a více faktorech	59
7.8	Závislost pružné tuhosti spojů a maximální tuhosti spojů.....	62
8	Diskuze.....	63
8.1	Porovnání s literaturou	63
8.1.1	Rozměry konstrukčního spoje	63
8.1.2	Typ použitého lepidla.....	64
8.1.3	Typ namáhání	65
8.1.4	Vliv odklonu letokruhů na tuhost spoje	66
9	Závěr	67
	Seznam použité literatury	68
	Elektronické zdroje.....	70
	Články v elektronických časopisech	71
	Normy.....	72

Seznam obrázků

OBRÁZEK 1. SPOJ NA POLODRÁŽKU	19
OBRÁZEK 2. SPOJ NA VLOŽENÉ PERO	20
OBRÁZEK 3. SDRUŽENÉ ČEPY – SPOJ NA ŠÍŘKU	20
OBRÁZEK 4. LAMELA	22
OBRÁZEK 5. ROHOVÝ SPOJ NA PŘÍČNĚ HRANATÉ VLOŽENÉ PERO.....	22
OBRÁZEK 6. ROHOVÝ SPOJ NA ÚHLOVÉ VLOŽENÉ PERO.....	24
OBRÁZEK 7. STŘEDOVÝ SPOJ S RYBINOVÝM PEREM.....	25
OBRÁZEK 8. SDRUŽENÉ ČEPY STŘEDOVÉ.....	26
OBRÁZEK 9. RYBINOVÉ OZUBY	27
OBRÁZEK 10. OZDOBNÉ OZUBY POLOKRYTÉ	28
OBRÁZEK 11. RYBINOVÉ OZUBY POLOKRYTÉ.....	28
OBRÁZEK 12. PŘEPLÁTOVÁNÍ.....	29
OBRÁZEK 13. PŘEPLÁTOVÁNÍ NA POKOS	30
OBRÁZEK 14. PŘEPLÁTOVÁNÍ DO KŘÍŽE.....	30
OBRÁZEK 15. ČEP A ROZPOR.....	32
OBRÁZEK 16. ČEP A ROZPOR NA POKOS.....	33
OBRÁZEK 17. ČEP A DLAB S PEREM	34
OBRÁZEK 18. ROHOVÝ SPOJ NA VLOŽENÉ PERO Z MASIVU	35
OBRÁZEK 19. KLÍNOVITÉ MINIOZUBY	35
OBRÁZEK 20. PLOCHÉ KOLÍKY	38
OBRÁZEK 21. DRUHY NAMÁHÁNÍ SPOJŮ	40
OBRÁZEK 22. MODELOVÝ PRACOVNÍ DIAGRAM SPOJŮ	41
OBRÁZEK 23. SCHÉMA ROZDĚLENÍ VZORKŮ	44
OBRÁZEK 24. POUŽITÁ LEPIDLA	46
OBRÁZEK 25. ZNAČENÍ SMĚRU LETOKRUHŮ	48
OBRÁZEK 27. UPNUTÍ VZORKU DO STROJE	49
OBRÁZEK 26. SCHÉMA ZKOUŠKY TAH/TLAK	50
OBRÁZEK 28. DIGITÁLNÍ VÁHA PCB – 2500 – 2	51
OBRÁZEK 29. SOFTWARE TIRA.....	52
OBRÁZEK 30. UKÁZKA GRAFU Z TIRA	52

Seznam grafů

GRAF 1. VLIV LETOKRUHŮ NA TUHOST SPOJE	56
GRAF 2. VLIV TYPU NAMÁHÁNÍ NA TUHOST SPOJE	57
GRAF 3. VLIV PRŮMĚRU KOLÍKU NA TUHOST SPOJE	58
GRAF 4. VLIV POUŽITÉHO LEPIDLA NA TUHOST SPOJE	59
GRAF 5. VLIV TYPU NAMÁHÁNÍ*PRŮMĚRU KOLÍKŮ NA TUHOST SPOJE	60
GRAF 6. VLIV TYPU NAMÁHÁNÍ*PRŮMĚRU KLÍKU*TYPY LEPIDLA NA TUHOST SPOJE.....	61
GRAF 7. ZÁVISLOST PRUŽNÉ TUHOSTI*MAXIMÁLNÍ TUHOSTI SPOJE	62
GRAF 8. TUHOST SPOJE V ZÁVISLOSTI NA PRŮMĚRU KOLÍKŮ*TYPY LEPIDLA	63
GRAF 9. VLIV TYPY LEPIDLA NA TUHOST SPOJE.....	64
GRAF 10. VLIV TYPY NAMÁHÁNÍ NA TUHOST SPOJE	65
GRAF 11. VLIV ODKLONU LETOKRUHŮ NA TUHOST SPOJE	66

Seznam tabulek

TABULKA 1. ROZMĚRY SPOJOVACÍCH LAMEL	21
TABULKA 2. PLASTOVÁ PERA	23
TABULKA 3. PŘEKLIŽKOVÁ PERA.....	23
TABULKA 4. ROZMĚRY DŘEVĚNÝCH KOLÍKŮ	36
TABULKA 5. ROZMĚRY PLASTOVÝCH KOLÍKŮ	37
TABULKA 6. ZÁKLADNÍ STATISTICKÉ HODNOTY	53
TABULKA 7. PŘEHLED STATISTICKÝCH HODNOT HODNOTÍCÍ VLIV JEDNOTLIVÝCH FAKTORŮ A JEJICH KOMBINACÍ NA TUHOST SPOJE	55
TABULKA 8. PŘEHLED STATISTICKÝCH HODNOT VLIVU ODKLONU LETOKRUHŮ NA TUHOST SPOJE.....	55
TABULKA 9. PŘEHLED STATISTICKÝCH HODNOT VLIVU TYPU NAMÁHÁNÍ NA TUHOST SPOJE	56
TABULKA 10. PŘEHLED STATISTICKÝCH HODNOT VLIVU PRŮMĚRU KOLÍKU NA TUHOST SPOJE	57
TABULKA 11. PŘEHLED STATISTICKÝCH HODNOT VLIVU TYPU LEPIDLE NA TUHOST SPOJE.....	58
TABULKA 12. PŘEHLED STATISTICKÝCH HODNOT VLIVU DVOU A VÍCE FAKTORŮ NA TUHOST SPOJE	60

Seznam zkratk a značek

Ř – řada

Č – číslo

W – vlhkost (%)

F – síla

P – hladina významnosti

r – korelační koeficient lineární závislosti

F – test

M – moment

1 Úvod

Dřevo jako materiál se dnes opět vrací a jeho využití nalézá místo v mnoha oborech. Díky jeho mechanickým, fyzikálním a chemickým vlastnostem se dřevo využívá ve stavebnictví, nábytkářství, chemickém průmyslu, ale také třeba k výrobě hraček a sportovních pomůcek. S dřevem nebo dřevním materiálem se asi člověk nejčastěji setká v podobě nábytku. Nábytek je důležitou součástí každodenního života člověka. Každá nábytková konstrukce musí být spojena konstrukčními prvky, které zajišťují její pevnost a stabilitu. Proto je jejich zkoumání tak důležité. Konstrukční spoje jsou totiž nejkritičtějším místem nábytkové konstrukce. Nyní se už můžeme setkat s touto problematikou v různých odborných člancích, které se snaží charakterizovat pevnostní vlastnosti některých spojů.

Tato práce obsahuje výzkum, který se zaměřuje právě na vybrané faktory ovlivňující tuhost kolíkového spoje. Kolíkový spoj se často používá u rámových konstrukcí, či jako spojení noha židle a lub. Výsledky této práce ukážou, zda je v daném spoji vhodnější použití PVAc nebo PUR lepidla a použití průměru kolíku 8 mm nebo 12 mm.

2 Cíl práce

Cílem této Bakalářské práce je zjistit vliv vybraných faktorů na tuhost konstrukčního spoje. Sledované faktory jsou:

- typ použitého lepidla (PVAc, PUR)
- průměr kolíků (8 mm, 12 mm)

Spoj byl namáhaný na:

- tah
- tlak

Uvedené výsledky pomohou při navrhování konstrukčních spojů a při dalším výzkumu podobné problematiky.

3 Dřevo a jeho význam

Pro pochopení chování dřevěných prvků a konstrukčních spojů je nutné znát základní charakteristiky dřeva. Jednotlivé charakteristiky mají pak větší či menší dopad na jeho mechanické, fyzikální či chemické vlastnosti. Pochopení vlastností dřeva je důležité pro jeho výzkum a možnost odhalit příčiny a vzniky jednotlivých vad.

Dřevo je přírodní organický materiál rostlinného původu. Většina jeho pletiv je zdřevěnělá. Dřevní hmota je biomasa při jejímž správném hospodaření existuje neomezený potenciál její zásoby. Díky přírodnímu původu, mechanickým a fyzikálním vlastnostem, kresbě a barvě se dřevo stává přirozenou součástí životního prostředí člověka. Nejčastěji zpracovávanou částí stromu je kmen, dvou hlavních dřevin, listnatých a jehličnatých.

Dřevo je specifické kombinací svých vlastností, kterými jsou pevnost, pružnost, lehkost (váha/hmota), snadná opracovatelnost, rozmanitost povrchové úpravy a snadná manipulovatelnost. Má dobré akustické vlastnosti, tepelně-izolační vlastnosti a zvláště pak je odolné vůči chemikáliím. Tato bohatá rozmanitost vlastností umožnila užití dřeva v oborech jako je stavebnictví, chemický průmysl, dýhárenský průmysl, výroba nábytku, výroba hudebních nástrojů, hraček a sportovních potřeb atd.

Dřevo má však i celou řadu vlastností, na které musíme při jeho použití dát pozor a některé z nich i odstranit. Je třeba brát dřevo jako heterogenní materiál, jehož možné nedostatky jsou hořlavost, nasákavost a navlhavost, relativně nízká odolnost vůči biotickým činitelům atd. (Šlezingerová, Gandelová, 2005)

3.1 Stavba dřeva

Hustota

Je pro praxi velmi významný faktor. Podle hustoty rozdělujeme dřeviny na: velmi lehké (balza), lehké (lípa, topol, jedle), mírně lehké (smrk, buk, dub, jilm, jasan), těžké (habr, akát, wenge, palisandr) a velmi těžké (guajak, eben). Hustota vyjadřuje poměr hmotnosti a objemu. U dřeva dělíme hustotu dřevní substance a hustotu dřeva. U hustoty dřevní substance se zaměřujeme pouze na hustotu buněčných stěn bez jakýchkoliv dutin a její hodnota je pro všechny dřeviny přibližně stejná $1,56 \text{ g/cm}^3$. Při určování hustoty dřeva pak do výpočtu zahrnujeme i objem veškerých dutin, pórů ve dřevě. Proto je u každé dřeviny hustota jiná, jelikož závisí na stavbě dřeva (zastoupení typu buněk, podíl

jarního a letního dřeva, jádro, běl) a na množství vody ve dřevě, proto se v tabulkách musí udávat i vlhkost dřeva, za které byla hustota naměřena. Nejčastěji se hustota dřeva stanovuje při vlhkosti dřeva 12-15 %. (Josten-Reiche-Wittchen, 2010)

Tvrдост

Tvrдост dřeva má velký vliv na jeho opracovatelnost. Při vysoké tvrdosti klade dřevo větší odpor vůči nástrojům (břitům), to má za následek jejich rychlejší opotřebení. Tvrдост dřeva je pro každou dřevinou charakteristická a je závislá, podobně jako hustota, na stavbě buněk a obsahu vody. Existuje tedy vztah mezi hustotou a tvrdostí, čím vyšší hustota, tím vyšší tvrdost. Při zvýšení vlhkosti se však tvrdost snižuje. Pro snazší orientaci v praxi rozdělujeme dřeviny do skupin tvrdých a měkkých dřev. Nejznámější metodou pro číselné stanovení tvrdosti je metoda podle Brinella, ta zjišťuje velikost plochy důlku vzniklého zatlačením kuličky o průměru jeden centimetr do dřeva neměnnou silou při 12 % vlhkosti dřeva. Zkouška se provádí podél vláken a kolmo na vlákna. (Josten-Reiche-Wittchen, 2010)

Pružnost

Při působení vnějších sil dochází k deformacím namáhaného tělesa. Pružností nazýváme schopnost nabývat původní rozměr poté, co síla přestane působit. Pokud je síla příliš velká a překročí tzv. mez úměrnosti dochází pak k trvalým deformacím nebo dokonce k porušení celistvosti materiálu. V důsledku dlouhodobého působení sil dochází k únavě dřevních vláken a jejich deformaci. (Josten-Reiche-Wittchen, 2010)

V této části byly zmíněny některé z mnoha faktorů ovlivňující chování dřeva, které jsou důležité pro pochopení chování dřeva.

V následující části jsou popsány konstrukční spoje, které jsou v praxi nejvíce zastoupené. Některé z nich jsou dokonce dědictvím z dávné historie.

4 Dřevěné konstrukční spoje

Proč vůbec konstrukční spoje používáme? Konstrukční spoje nám slouží ke spojování jednotlivých částí do jednoho celku a dosažení požadovaných rozměrů, kterých bychom bez konstrukčních spojů nedosáhli. Tento poznatek nám pomohl při rozvoji a vývoji nejen ve stavebnictví.

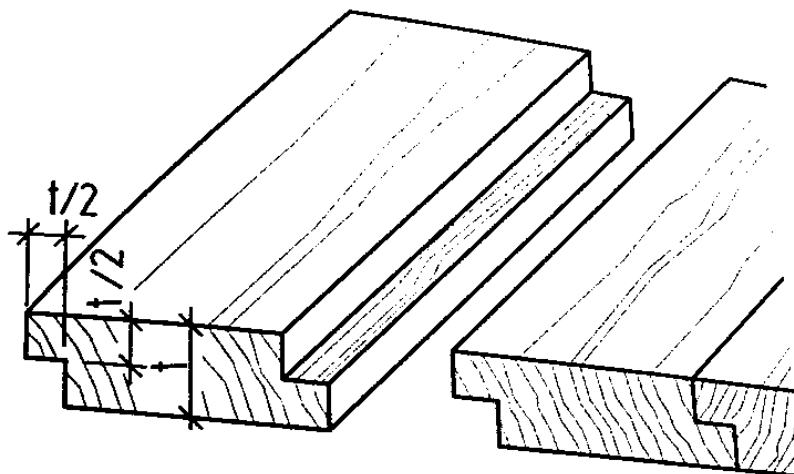
4.1 Historie dřevěných konstrukčních spojů

Dřevěné konstrukční spoje vznikaly už v dávné historii, ale nelze přesně určit, jaké spoje vznikly jako první. Předpokládá se, že pro truhlářské spoje se našla inspirace ve spojích tesařských, neboť dřevo bylo nejčastěji použito pro stavbu střešních konstrukcí. Mezi nejstarší konstrukční spoje bychom tedy mohli zařadit přeplátování, čep a dlab a spojení na kolíky.

4.2 Šířková spojení

4.2.1 Nelepené šířkové spojení

Jsou spojeny tak, že mohou bobtnat i sesychat, aniž by to vedlo k poruše celistvosti velkým nápadným změnám. Proto nesmí být jednotlivé přířezy širší než 120 mm a musí být připevněny k nosné konstrukci. Mezi takovéto spojení řadíme: polodrážky s příznanou spárou, spojení na vložená pera, spojení na vlastní pera a přesazená obložení. Při spojení na polodrážku můžeme pro větší pevnostní vlastnosti spoje použít kolíky, hřebíky, sponky nebo šrouby. Spojení na polodrážky se používá i při rohových spojení. (Nutsch, 2012, Jelínek, Lubomír a Petr Červený, 2012)



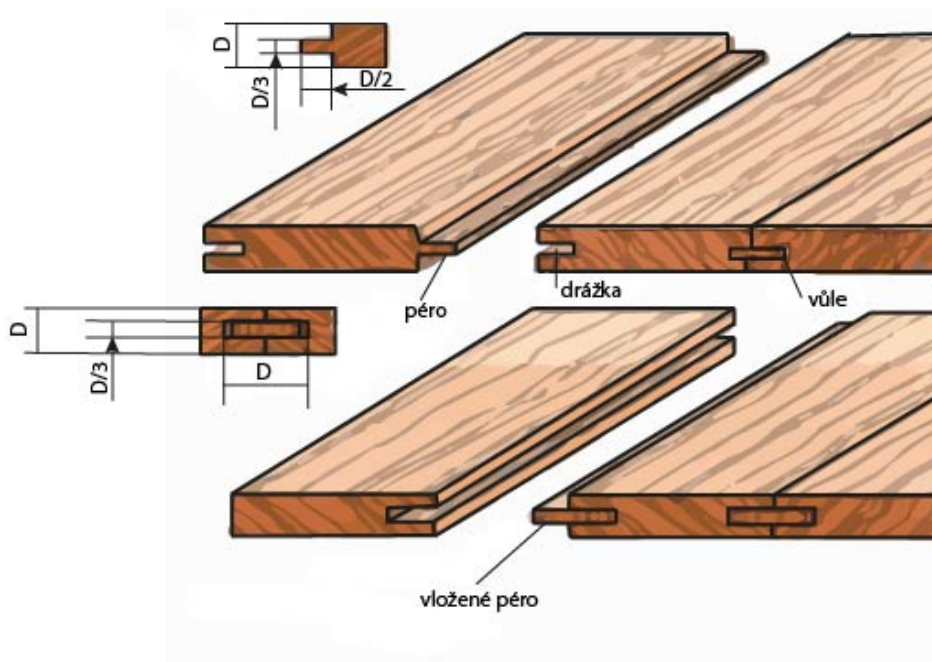
**Obrázek 1. Spoj na polodrážku
(Josten-Reiche-Wittchen, 2011)**

4.2.2 Lepené šířkové spojení

Pro vznik velkých ploch z masivního materiálu se využívá spojování jednotlivých přířezů lepením bez viditelné spáry. Při tomto typu spojování musíme brát v úvahu směr a velikost sesychání dřeva, jinak by mohlo dojít ke konstrukčním chybám.

Šířka lepené spáry je považována za tenkou, pokud je do šíře 0.1 mm. Lepené spáry mohou být namáhány fyzikálně za účinku nějaké síly, vlhkosti, tepla, chemickými prostředky na ochranu dřeva, plyny, kyselinám nebo zásaditým prostředím a biologicky při napadení houbami či hmyzem. Lepené spoje se dělí do čtyř zátěžových skupin: **Zátěžová skupina D1** – lepený spoj je odolný vůči teplotám do 50 °C a vlhkosti do 15 %. **Zátěžová skupina D2** – lepený spoj je odolný vůči krátkodobému působení vody a vysoké vlhkosti vzduchu. **Zátěžová skupina D3** – lepený spoj je odolný vůči častějšímu krátkodobému působení vody a vysoké vlhkosti vzduchu. **Zátěžová skupina D4** – lepený spoj je odolný vůči častému a silnému působení vody a kondenzátu.

Do kategorie šířkového spojování lepením patří: spojení na tupou spáru, spojení pomocí lamel, spojení na vložené pero, spojení na kolíky, spojení na zubovitou tupou spáru, spojení na zubovitou spáru, spojení na násobné pero a drážku, spojení na pero a drážku. (Nutsch, 2012)

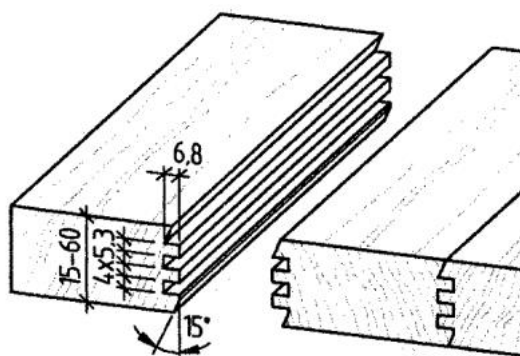


Obrázek 2. Spoj na vložené péro

(www.publi.cz)

Spoj na sdružené čepy

V tomto šířkovém spoji probíhají všechny řezy vzájemně rovnoběžně. Proto se nejedná o samosvorný spoj a musí být doplněn dalším spojovacím prostředkem. Díky jednoduchému tvaru čepů můžeme pro jejich zhotovení použít čepovací zařízení nebo frézy. (Nutsch, 2006)



Obrázek 3. Sdružené čepy – spoj na šířku

(Nutsch, 2003)

4.3 Rohové spojení plošných dílců

Při výrobě nábytku a jeho širokých dílců nastává otázka, čím a jak tyto dílce vzájemně spojit. Při výrobě nábytku se setkáváme s více druhy materiálů, jako masivní desky, dřevotřískové desky a překližkové desky. Proto musíme na základě různosti materiálů a nákladnosti výrobního procesu, dbát na výběr správného použití rohového spojení. (Nutsch, 1999)

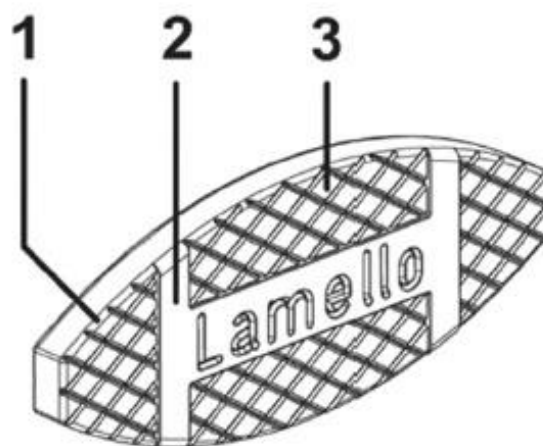
4.3.1 Spojovací lamely

Lamely jsou vyráběny z bukové překližky s drážkovaným povrchem vytvořeným lisováním o tloušťce 4 mm. Vlákna lamely svírají k podélné ose lamely úhel 45° ve směru úhlopříčky. Díky tomu odolávají lamely vysoké pevnosti na stříh. Použití lamel není tolik náročné na přesnost jako kolíkový spoj.

U tohoto typu spojení by neměla tloušťka pera mít více jak 1/4 až 1/3 tloušťky spojovaného dílce a hloubka drážky pro pero by neměla být hlubší jak 4/10 tloušťky spojovaného dílce. Při výrobě tohoto spojení se musí dbát na rozměry drážky a samotného pera, při velkém pnutí v rohovém spoji by totiž mohlo dojít k porušení celistvosti materiálu už při sestavování dílců do jednoho celku. (Nutsch, 1999; Muzikář, 2008; Zoufalý, 2016)

Tabulka 1. Rozměry spojovacích lamel

Označení	Pro hloubku drážky (mm)	Délka (mm)	Šířka (mm)
0	8	45	15
10	10	53	19
20	12	63	23
3	16	56	30
S6	16	85	30

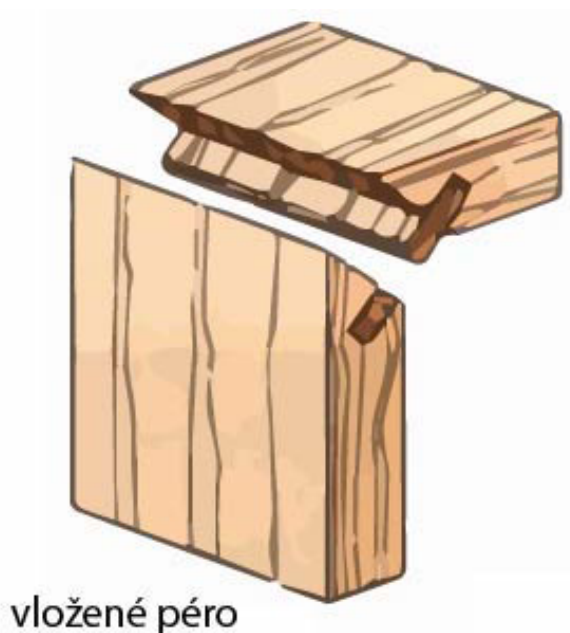


Obrázek 4. Lamela

1 – zkosené hrany, 2 – vodící výstupky, 3 – rýhování
(Joščák a kol., 2014)

4.3.2 Vložená pera

Tato pera se vyrábějí většinou z překližek, tvrdých dřevovláknitých desek a rostlého dřeva.



Obrázek 5. Rohový spoj na příčně hranaté průběžné vložené péro
(www.publi.cz)

4.3.3 Úhlová pera

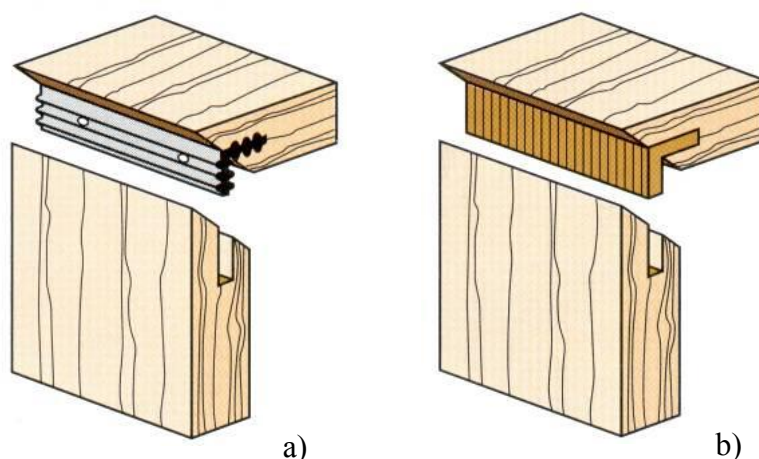
Jako materiál pro výrobu úhlových per se používá překližka, rostlé dřevo z tvrdých dřev a plasty. Plastová pera mají v sobě otvory a vroubkování pro zvýšení pevnosti při lepení. Jsou dostupná v délkách 1000 mm. Přehled dostupných rozměrů plastových a překližkových per je popsán v následující tabulce č. 4 a 5.

Tabulka 2. Plastová pera

Rozměry ramen / úhel ramen (mm) / (°)	Tloušťka (mm)
15 x 15 / 90°	2
15 x 6 / 45°	2
35 / přímé	2

Tabulka 3. Překližková pera

Rozměry ramen (mm)	Tloušťka (mm)
10 x 10	3
12 x 12	4
14 x 14	5
16 x 16	6
22 x 22	8

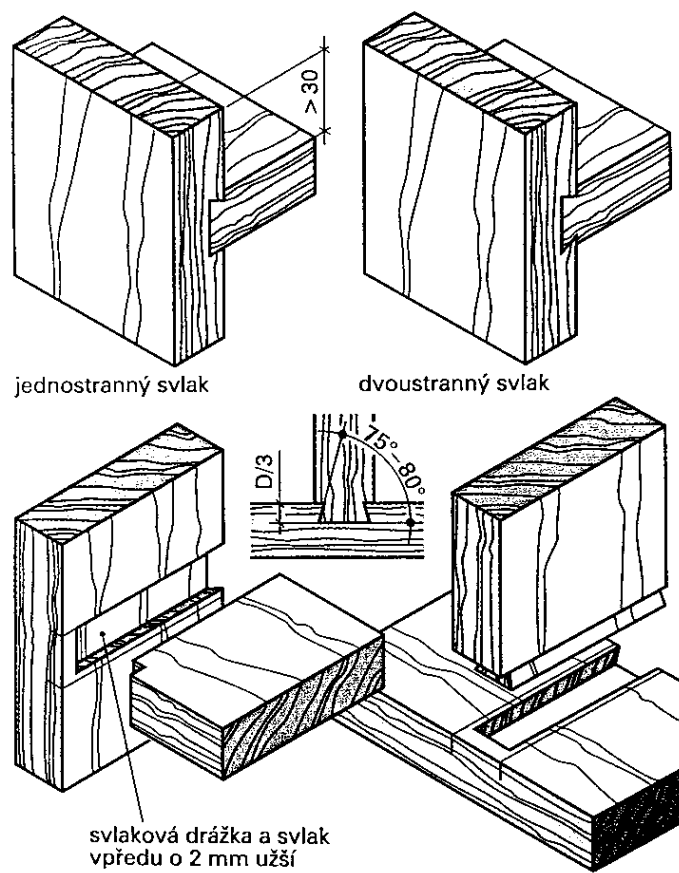


Obrázek 6. Rohový spoj na úhlové vložené pero
a – plastové pero, b – pero z překližky
 (Nutsch, 1999)

4.3.4 Svlakové rohové spoje

Toto spojení se využívá výhradně u desek z masivního materiálu, které svírají pravý úhel. Funkčnost spoje závisí na jeho provedení zvláště na přesnosti svlaku a svlakové drážky. Drážka se zhotovuje řezáním nebo frézováním do průběžného dílce a svlak na tupě připojeném dílci. Abychom průběžný dílec svlakovou drážkou příliš nezeslabili, vyhotovujeme drážku pouze do jedné třetiny tloušťky dílce. Drážku můžeme buď vyřezat ručně pomocí svlakovky, nebo čepovky za pomoci upnuté vodící lišty nebo pomocí frézy. Svlak vyhoblujeme pomocí svlakovníku nebo opět pomocí frézy. Sklon hran by měl být mezi 75° až 80°, aby nedošlo ke stříhu dřeva. Svlakové spojení se z pravidla vyrábí lehce kónické. To má za následek, že se v poslední třetině začne spoj stahovat a je samosvorný. Je tedy možné svlakový spoj zhotovit bez dalších spojovacích prostředků. Nikdy však nelepíme do drážky svlak z podélného dřeva, aby mohlo docházet u desky k jejímu bobtnání a sesychání. Pokud bychom toto pravidlo porušili, mohlo by dojít v případě sesychání k prasknutí desky a v případě bobtnání k jejímu zvlnění.

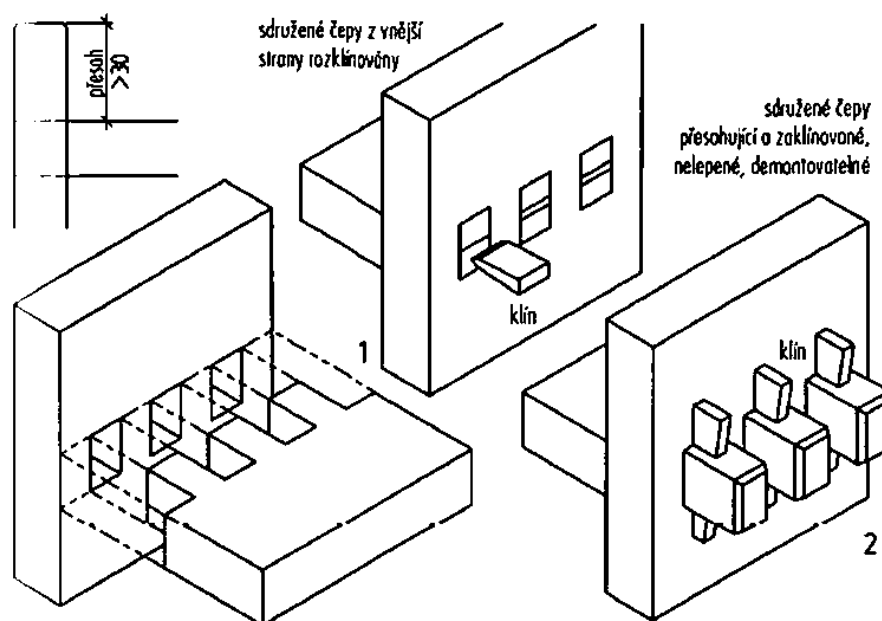
Rozlišujeme dva druhy svlaku, jednostranný a oboustranný. Jednostranného svlaku se užívá při spojení boku a dna, dvoustranného pak při spojení svislých středových mezistěn. Svlak ve spoji působí na drážku určitou silou. Proto je potřeba nechat okolo drážky dostatek materiálu, který síly přenesou zpravidla 30 mm. (Nutsch, 2006)



**Obrázek 7. Středový spoj s rybinovým perem
(Josten-Reiche-Wittchen, 2011)**

4.3.5 Sdružené čepy středové

Toto spojení je vhodné pro spojení mezistěn. Otvory pro čepy je nutné vydlabat ručně nebo použít speciální vrták. Pro ruční dlabání je třeba pečlivého rýsování z obou stran dílce. Pro větší pevnost je možné čepy zajistit z čela klínem. Klíny musí být vraženy napříč dřevním vláknům čepů. (Nutsch, 2006)



Obrázek 8. Sružené čepy středové

1 – zarovnané čepy s klínem, 2 – přechňívající čepy s klínem

(Nutsch, 2012)

4.3.6 Spojení ozuby

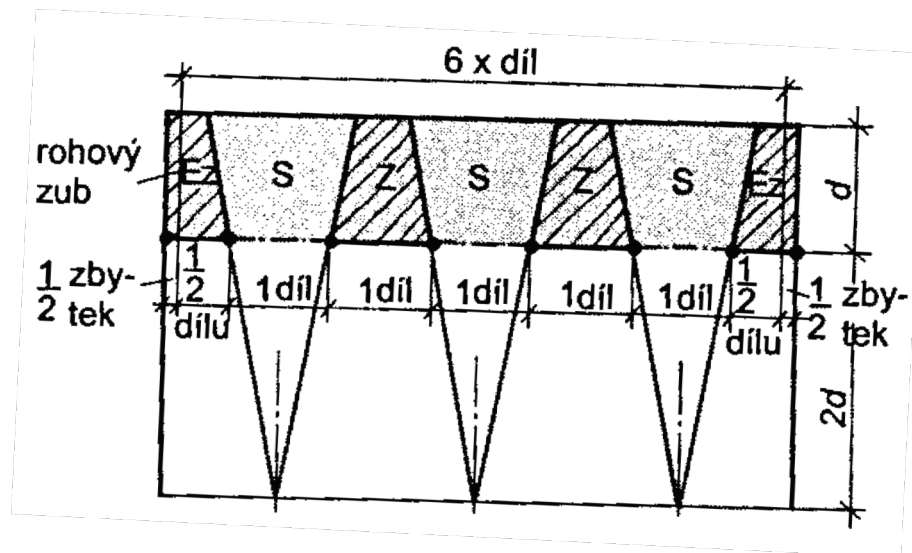
Ozuby jsou vícenásobné klínovité čepy. Tento spoj volíme jen u masivních materiálů. Nejčastěji použitý typ ozubů je otevřený spoj, polokrytý spoj. Ozuby také často nesou název rybyny.

Otevřené ozuby se vyznačují tím, že jsou všechny ozuby a čepy vidět, jsou tzv. přiznané. Ozuby jsou nejen konstrukčním spojem, ale často slouží jako ozdobný prvek nábytku. (Nutsch, 2006) U rohového spojení na ozuby je to podobné jako u svlaku – je tvarovatelné ve směru hlavního zatížení. Spojovací části jsou čepy klínového tvaru. Toto spojení je samosvorné a při jeho klížení nemusíme používat upínacího náradí. Dílce spojené na ozuby mohou libovolně sesychat a bobtnat, ne však bortit. Na kvalitu spoje a jeho trvanlivost má velký vliv právě úhel zkosení rybin. Příliš velký úhel zkosení by mohl způsobit ustřížení rybyny ve směru vláken. Doporučený úhel zkosení je mezi 75 až 80°. Ozuby nejsou jen dekorací, ale přenáší i určité zatížení, a proto je třeba dbát na jejich správné rozdělení. Rozložení ozubů můžeme provést více způsoby. Základem je vnímat základní důležité aspekty:

- Základní rozměr je tloušťka dílce „d“
- Úhel sklonu ozubů by měl být mezi 75 až 80° (poměr stran 1/6)
- Krajní ozub nesmí být příliš slabý

Rozpočítání ozubů je znázorněno na následujícím obrázku.

(Josten-Reiche-Wittchen, 2011)



Obrázek 9. Rybinové ozuby – geometrická konstrukce spoje
(Nutsch, 2006)

Polokryté ozuby

Polokryté ozuby využijeme tehdy, pokud nechceme, aby jedna strana spoje nebyla vidět. Část, která kryje ozuby se nazývá kryt, jehož tloušťka by měla být 1/4 až 1/3 tloušťky dílce. Řezání ozubů se provádí jen z vnitřní strany dílce. Rohy ozubu se nedoříznu a musí se dodatečně odstranit dlabáním. Pokud se jedná o měkké dřevo, je možné si dlabání usnadnit naseknutím rohů cidlinou. Poté, co jsou ozuby hotové, se orýsují na druhý dílec a zhotoví se rybiny. (Nutsch, 2006)



Obrázek 10. Ozdobné ozuby polokryté



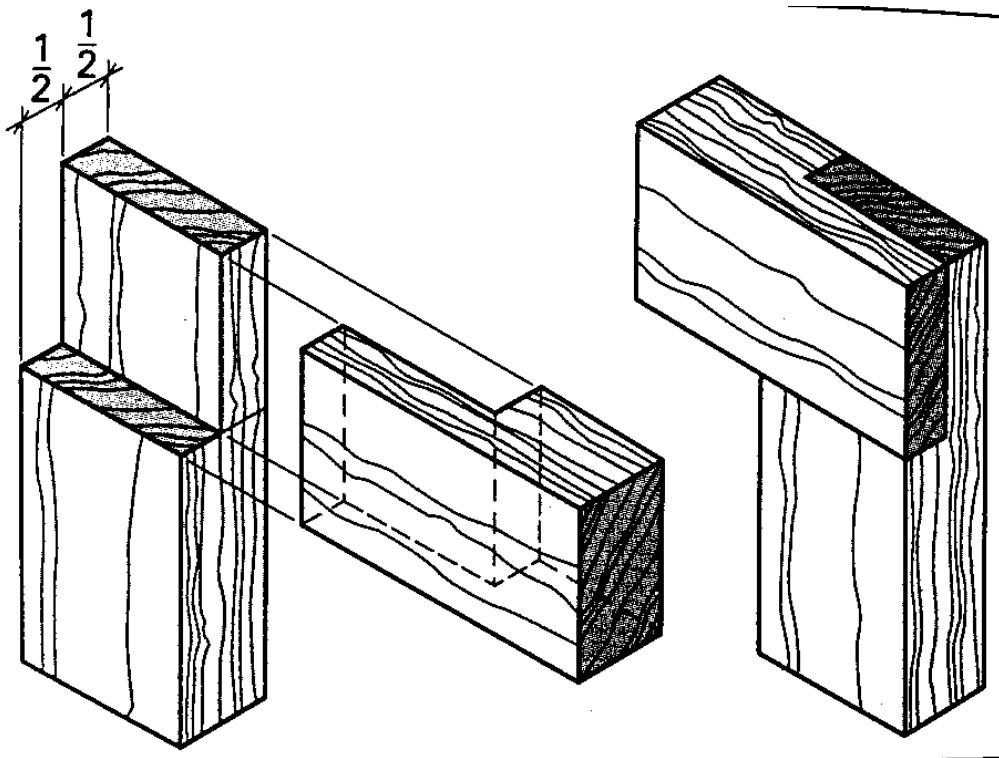
Obrázek 11. Rybinové ozuby polokryté
(www.publi.cz)

4.4 Rohové spojení u rámových konstrukcí

Vlisy rámových konstrukcí lze spojovat v rozích přeplátováním, spojem kolíkovým, na čep a rozpor, na čep a dlab s perem, miniozuby a zapuštěnými pery. V praxi se tyto spoje lepí. Svislé a dlouhé vlisy jsou, pokud nejsou seříznuty na pokos, kontinuální. (Nutsch, 2012)

4.4.1 Překlátování

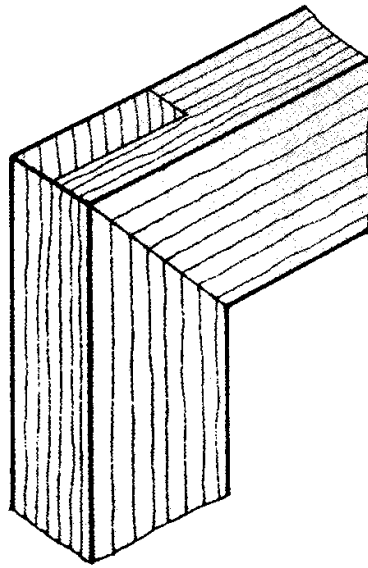
Jedná se o vcelku jednoduchý rohový spoj s nevelkou pevností. Spoj musí být doplněn dalším spojovacím prostředkem (kolíkem, hřebíkem, vrutem, lepením atd.), neboť spojení není samosvorné. Vyrábí se seříznutím konců vlysů na poloviční tloušťku a překryjí se přes sebe. Šířka spoje je stejná jako šířka vlysu. Toto spojení se používá při jednoduchých konstrukcích nebo u velmi tenkých vlysů použitých pro výrobu rámu. (Nutsch, 2006; Nutsch, 2012)



Obrázek 12. Překlátování
(Nutsch, 2006)

Překlátování na pokos

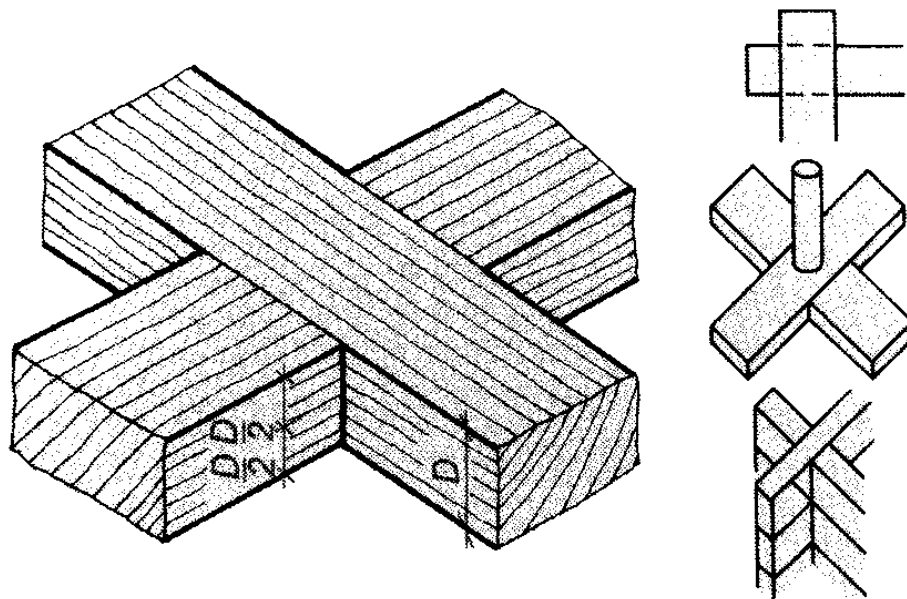
Má poloviční lepicí plochu než překlátování rovné. Tento typ překlátování používáme u ozdobnějších rámu a obložení. (Josten-Reiche-Wittchen, 2011)



Obrázek 13. Překlátování na pokos
(Josten-Reiche-Wittchen, 2011)

Překlátování do kříže

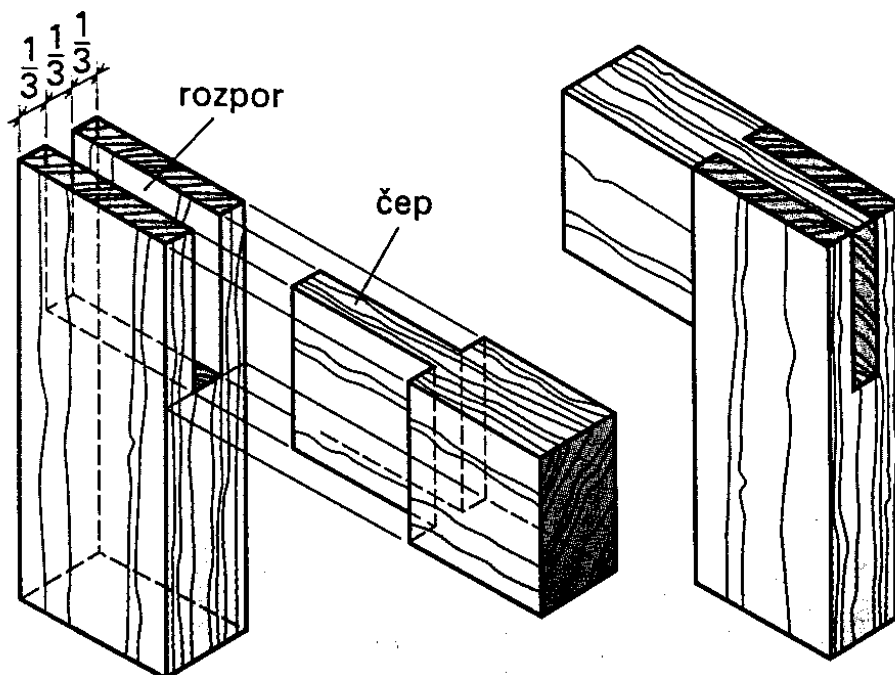
Tento typ překlátování se používá u křížicích se vlysů např. u křížových příček, ozdobných rámců, jako jsou paty stolanů nebo u stohovatelných prvků, jejichž spojení má být účelově zdůrazněno (klade se důraz na přesné provedení). (Josten-Reiche-Wittchen, 2011)



Obrázek 14. Překlátování do kříže
(Josten-Reiche-Wittchen, 2011)

4.4.2 Čep a rozpor

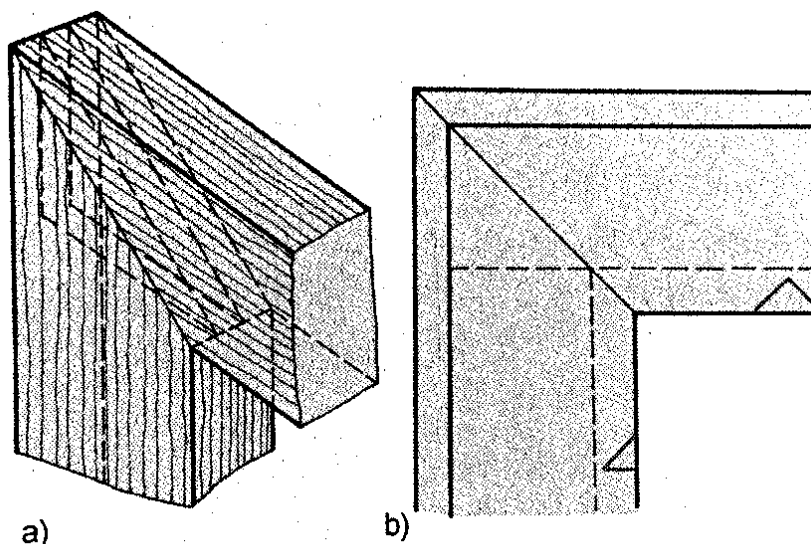
Je to samosvorné a nejčastěji používané rohové spojení. Rozpor se často vyhotovuje na svislém nebo delším vlysu a čep na příčném nebo kratším vlysu. Spojení se může provádět více způsoby, jednoduchým nebo dvojitým čepem. Může být osazen jednostranně či oboustranně na pokos. Je vhodný pro spojení jednoduchých rámových konstrukcí, ale i pro oboustranně profilované či frézované vlysy. Profilování musí plynule navazovat na rozměry čepu a rozporu. Jelikož dochází ke spojení příčného dřeva s podélným, je dána maximální šířka vlysu 100 mm. (Nutsch, 2012) Při spojení okenních rámu platí, že lepená plocha je u tohoto spojení dvakrát větší než u přeplátování, a proto má vyšší odolnost vůči kroucení. U osazovacích rámu oken mají příčné vlysy rozpory, aby bylo možné vyfrézování drážek nebo polodrážek pro okapnice, vnitřní parapety a kryty pro žaluzie v podélném vlysu. Pokud máme k dispozici vlysy silnější než 50 mm je možné vyhotovit dvojitě nebo trojitě čepy. Větší počet čepů pak dokáže přenést větší zatížení. Spojení se často používá při výrobě nábytku. Pro správnou funkčnost spoje je nutné dobré a přesné rozměření spoje. Po orýsování délky rozporu a čepu se pomocí rejsku rozdělí čepy. Při rozvržení šířky čepů a rozporů dodržujeme pravidlo, že tloušťka čepu by měla být 1/3 až 2/3 tloušťky rámu. Rozpor vyřezáváme na vnitřní straně rysek a čep na vnější straně čepovkou. Pomocí dláta vysekáme přebytečný materiál rozporu. Před samotným lepením se spoj sesadí. Čep by měl v rozporu sedět pevně a vzpřímeně, aniž by došlo k rozšípnutí rozporu. Při lepení musíme kontrolovat, zda se rám neodchýlil od námi požadovaného úhlu. (Josten-Reiche-Wittchen, 2011)



Obrázek 15. Čep a rozpor
(Nutsch, 2006)

4.4.3 Čep a rozpor na pokos

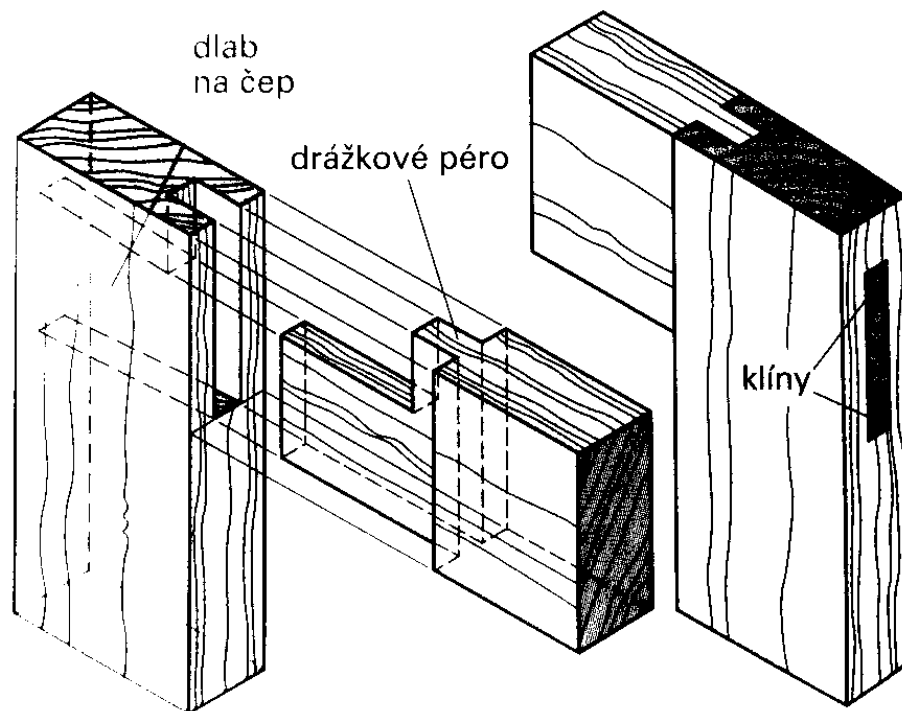
U rámu interiérových dveří s výplní se z estetického hlediska používá spoj na čep a rozpor, a to jednostranně nebo oboustranně osazený na pokos. Tento typ spojení použijeme tehdy, pokud chceme, aby kresba dřeva navazovala, pokud je vnitřní hrana profilovaná nebo pokud jsou na pokos osazeny lišty výplně. Stejným způsobem musíme přizpůsobit rozpor – jednostranně či oboustranně na pokos a při seříznutí čepu musíme boční stěnu přizpůsobit pokosu. (Josten-Reiche-Wittchen, 2011)



Obrázek 16. Čep a rozpor na pokos
a – schéma, b – s drážkou a vnější polodrážkou
(Josten-Reiche-Wittchen, 2011)

4.4.4 Čep a dlab s perem

Pokud vlysy rámu dosahují rozměrů od 100 až 160 mm, pak používáme právě tento druh spojení. Taková situace může nastat např. u venkovních a vnitřních dveří a u těžkých konstrukcí stolů. Díky čepu má spojení tvarovatelný spoj, a tím i vysokou pevnost. Kvůli rozdílným vlastnostem a chování dřeva v příčných a podélných směrech, nelepíme podélné a příčné dřevo ve velkých šířkách. V úzkých vlysech rámu nevzniká nebezpečí trhlin díky nízkému potenciálu sesychání. U velkých rámových konstrukcí je ale potřeba dovolit dřevu pracovat, a proto prodlabeme čep. Čep je asi ze 2/3 širší než vlys dveří. Až k čelní hraně podélného vlysu, pokračuje jako drážka čepu poslední třetina šířky vlysu. Pero v drážce je stejně dlouhé i široké. Pero má za účel vést čep v drážce podélného vlysu, pokud začne materiál pracovat (bobtnat, sesychat) a udržuje je pohromadě. Pero se z těchto důvodů nesmí lepit, jinak by nemohlo pracovat tak jak má. Podélný vlys prodlabeme tak, aby bylo vidět čelní dřevo příčného vlysu. Čep je možno na hraně v podélném vlysu zaklínovat, pokud vydlabeme otvor pro čep z vnější strany o něco širší. Klíny musí vytvářet tlak v místě slepení čepu, k tomu nám pomůže správné seříznutí klínů. Čep a dlab s perem snese velké zatížení, a proto je vhodný pro masivnější konstrukce. (Josten-Reiche-Wittchen,2011)



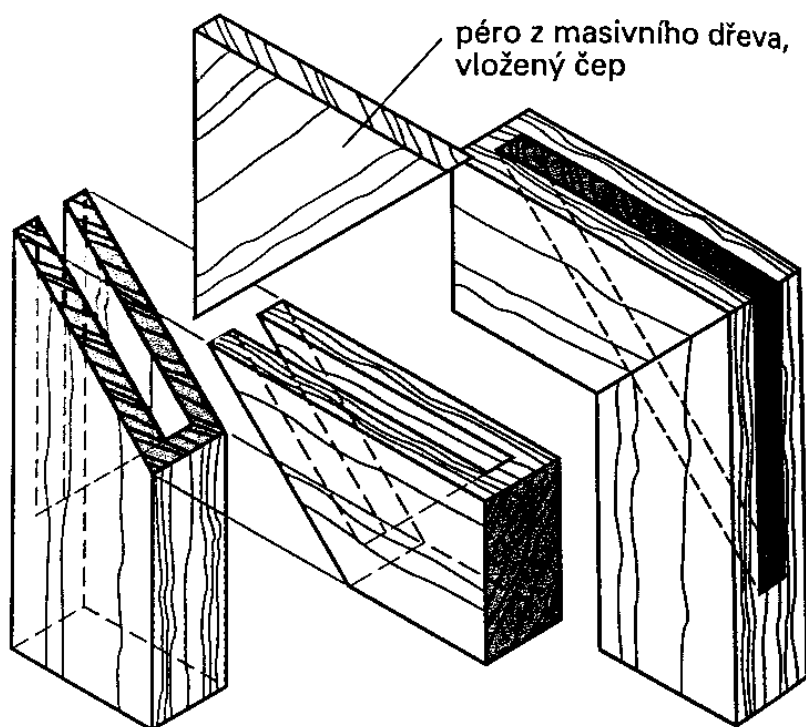
Obrázek 17. Čep a dlab s perem
(Nutsch, 2006)

4.4.5 Čepové spoje

Čepy jsou vlepeny do předem vyhotoveného otvoru (frézováním, vrtáním, dlabáním). Takového spojení se užívá při spojování širších vlysů, lubů, trnoží nebo příčníků. Pro zajištění rozměrové stálosti a pevnosti spoje, se doplňuje čep a dlab perem a drážkou. (Nutsch, 2012)

4.4.6 Spoje s vloženým perem

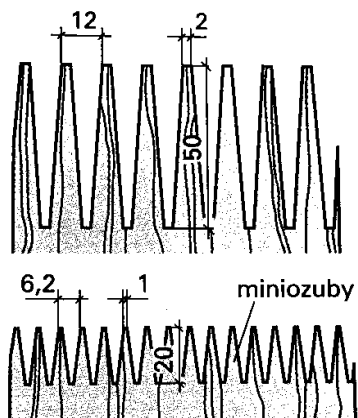
Vhodné pro rohové spoje seříznuté na pokos. Předností spoje na pokos je návaznost zhotovených profilů po celém obvodu. Materiálem pro vlepená pera je nejčastěji překližka nebo masiv označovaný také jako falešný čep. (Nutsch, 2012) Vložená pera značně zeslabují průřez materiálu, a proto se spojení nehodí pro jiné než masivní a překližkové materiály. Vložená pera se také hodí pro spojování dílců do tvaru T (boky korpusu, mezistěny a dna). (Josten-Reiche-Wittchen,2011)



Obrázek 18. Rohový spoj na vložené pero z masivu
(Nutsch, 2006)

4.4.7 Miniozuby

Miniozuby se frézují speciálními nástroji. K dispozici je celá řada rozměrů ozubů podle velikosti rámu. Lepená plocha je o 50 % větší než u dvojitých čepů, což jim dává velkou pevnost závislou na přesnosti zhotovení a lisovacím tlaku. Sesycháním dřeva se mohou vlysy konkávně zbortit. (Nutsch, 2012)



Obrázek 19. Klínovité miniozuby
(Nutsch, 2006)

4.4.8 Kolíkové spoje

Kolík je asi nejčastěji používaný konstrukční spojovací prostředek, a to díky jejich snadné výrobě a snadné manipulaci při zhotovování kolíkového spoje. Při zhotovování kolíkového spojení se připraví spoj na tupo (přířezy musí být rozměrově přesné). Poté se vyvrtají otvory do obou přířezů. Posledním krokem je spojení obou dílů do jednoho celku.

Kolíkové spojení se provádí natupo, na pokos, s drážkou, s profilem. Drážkového spojení je nutno použít, pokud chceme odvrátit borcení vlysů. Při spojení na pokos můžeme použít buď úhlové kolíky, rovné kolíky nebo hmoždinky z plastu. U profilovaných vnitřních hran rámu a vlysů mohou být na příčných vlysech protiprofil, tím zvětšíme lepenou plochu. Materiálem pro výrobu kolíků může být kov, plast a dřevo. Při výrobě dřevěného nábytku se převážně používají kolíky dřevěné. Kolíky z kovu se používají převážně jako středící při sestavování dílců. Kovové kolíky jsou normovány *EN ISO 2338:1997 Válcové kolíky z nekalené oceli a austenitické korozivzdorné oceli. aj*

Dřevěné kolíky se řídí normou PN 49 3148. Jsou vyráběny z tvrdého listnatého dřeva. Vhodnější listnaté dřevo je roztroušeně pórovité jako například buk a javor. Povrch dřevěných kolíků je rýhovaný nebo hladký. Rýhované kolíky se využívají častěji, díky rýhování může přebytečné lepidlo vytéct a kolík se tak lépe zapasuje. Rýhování umožňuje zatékání lepidla po celé délce kolíku. U kolíků se využívá spirálového, nebo rovného rýhování. Výroba hladkých kolíků se provádí lisováním, a to především malé průměry (5-6 mm). Výroba rýhovaných kolíků se provádí frézováním. Hrany čel kolíků se kvůli pasování musí zkosit min 0,5 x 45°. Normované rozměry jsou popsány v tabulce 1. (Křupalová, 2000, Nutsch, 2012, Muzikář 2008, Bridgewater, 2007)

Tabulka 4. Rozměry dřevěných kolíků

Průměr x délka (mm)				
5 x 25	6 x 25	8 x 25	10 x 30	12 x 35
5 x 30	6 x 30	8 x 30	10 x 35	12 x 40
5 x 35	6 x 35	8 x 35	10 x 40	12 x 50
	6 x 40	8 x 40	10 x 50	12 x 60
		8 x 50	10 x 60	12 x 80

Poznámka: Rozměry vyznačené tučně se upřednostňují

Pro dílce tloušťky menší 16 mm se většinou používají kolíky Ř 6 mm, pro dílce o tloušťkách od 16 do 19 mm se používají kolíky Ř 8 mm a pro tloušťky dílců nad 19 mm kolíky Ř 10,12 a více. Pro spoje, které musí odolávat většímu a častějšímu namáhání jako například u koster čalouněného nábytku se používají minimálně Ř 10 x 40 mm. Kolíková tyčovina se prodává i v nezkrácených délkách pro vlastní potřeby rozměrů. Obecně platí, že délka kolíku by měla být nejméně trojnásobná oproti průměru kolíku. (Muzikář 2008)

Otvor pro zapuštění kolíku musí být větší než samotný kolík, a to proto, aby přebytečné lepidlo mělo kam unikat. Rozteč jednotlivých kolíků by neměla překročit 200 mm a to z důvodu rovnoměrného rozložení zatížení. V přední části mohou být kolíky osazeny s menší roztečí z důvodu většího zatížení. Minimální rozteč pro úzké lišty je 25 mm, 32 mm pak pro běžné dílce. Vzdálenost jednotlivých kolíků je dána roztečí vrtáků, která je u strojové kolíkovačky a kolíkovacích šablon 32 mm. (Nutsch, 2012)

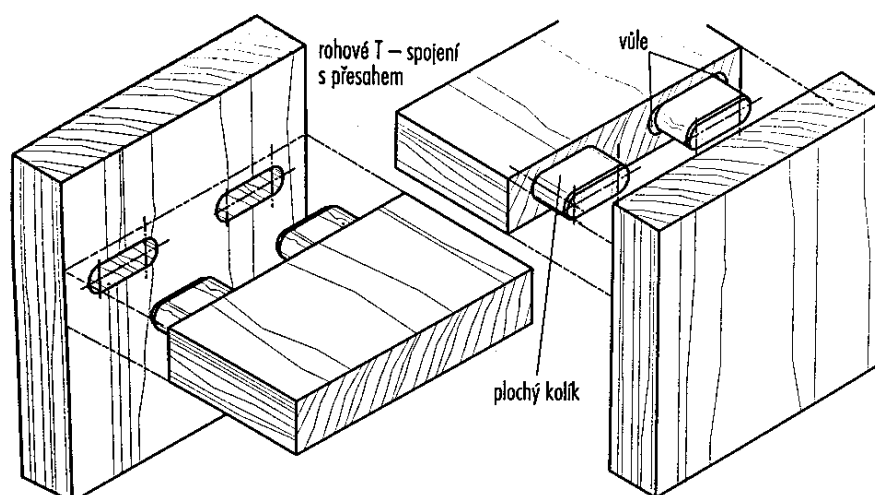
Plastové kolíky

Tabulka 5. Rozměry plastových kolíků

Průměr x délka (mm)		
6 x 35	8 x 30	8 x 40

Ploché kolíky (Domino)

Ploché kolíky, kterým se také říká zapuštěné čepy, jsou ploché a po stranách zaoblené dřevěné spojovací prostředky. Těmito kolíky spojujeme jednotlivé dílce vlepením kolíků do předem vyfrézovaných drážek. Pro vyfrézování takové drážky, je zapotřebí speciálního nářadí k tomu určené. Nářadí je vybaveno narážeči, které je možno přenastavit a dlabacími frézami, kterými se frézují podélné otvory pro zapuštění kolíků. Ploché kolíky jsou dostupné v rozměrech: 4 x 20; 5 x 30; 6 x 40; 8 x 50; 10 x 50. Šířka kolíků je závislá na průměru dlabacích fréz. Tyto frézy se mohou před samotným frézováním nastavit. Nastavují se pomocí nářadí (Fes) pro frézování podélných otvorů. Průměry kolíků se pohybují v rozmezí 16 až 22 mm. (Nutsch, 2012)



Obrázek 20. Ploché kolíky
(Nutsch, 2012)

5 Dimenzování spojů

V této kapitole věnujeme pozornost dimenzování konstrukčních spojů. Neboť tyto poznatky mohou mít vliv na materiálové náklady a nejen to. Znat pevnostní vlastnosti spojů má i bezpečnostní význam, při výrobě nábytku si pak můžeme být jisti, že daný spoj a konstrukce obstojí při určitém zatížení.

Dimenzování spojů podle mezního stavu únosnosti

Podmínku spolehlivosti je možno vyjádřit vztahem

$$S_d \leq R_d \quad (1)$$

Kde:

S_d – Je návrhová hodnota účinku zatížení (síla, moment)

R_d – Je odpovídající hodnota odolnosti spoje – návrhová únosnost spoje.

Návrhovou únosnost spoje stanovíme analogicky jako pro materiály z experimentálních výsledků a na základě pravděpodobnostních úvah a praktických zkušeností. Na základě dosavadních výsledků výzkumu nábytkových spojů, není možné předložit kompletní a všeobecné předpoklady pro stanovení návrhových únosností spojů. (Joščák, 1999)

Dimenzování spojů podle mezního stavu použitelnosti

Podmínku spolehlivosti je možné vyjádřit vztahem

$$S_d \leq C_d \quad (2)$$

Kde:

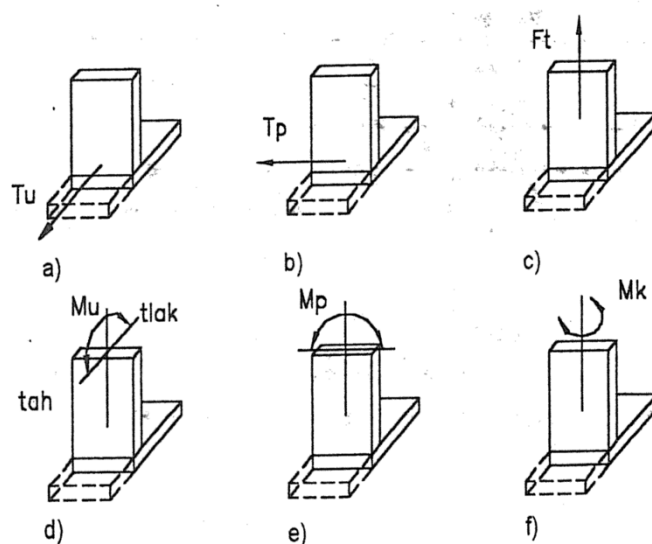
S_d – Je návrhová hodnota účinku zatížení (posunutí, pootočení)

C_d – Je předepsaná mezní hodnota (Joščák, 1999)

5.1 Pevnostní vlastnosti

Kritickým místem nábytkových konstrukcí jsou právě konstrukční spoje, protože k porušení dochází právě ve spojích. Příčinou je nízká účinnost spojů. (Joščák, 1999)

Druhy namáhání spojů jsou na následujícím obrázku.

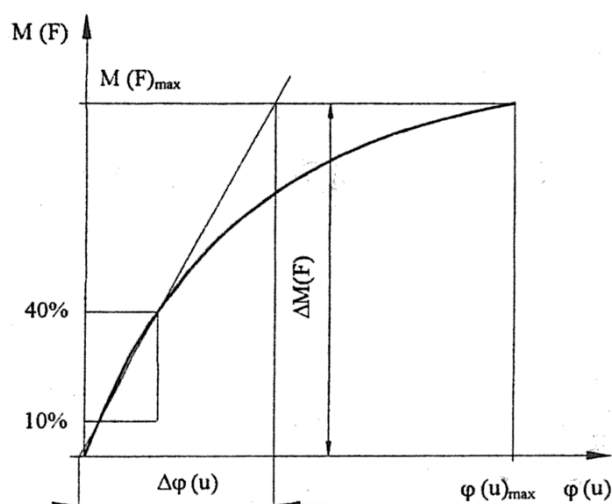


a, šmyk v uhlovej rovine
b, šmyk v priečnej rovine
c, namáhanie v ťahu

d, ohyb v uhlovej rovine
e, ohyb v priečnej rovine
f, namáhanie v krútení

Obrázek 21. Druhy namáhání spojů

(Joščák, 1999)



Obrázek 22. Modelový pracovní diagram spojů
(Joščák, 1999)

Pevnostní vlastnosti spojů nejlépe vyplývají z jejich pracovních diagramů, tj. vztahů mezi posunutím (pootočením) a silou (momentem), která to vyvolala. (Joščák, 1999) Příklad takového pracovního diagramu je na obrázku 22.

Koeficient poddajnosti spoje se vyjádří vztahem

$$z = \frac{\Delta u(\varphi)}{\Delta F(M)} \quad (3)$$

Koeficient tuhosti spoje je reciproční hodnotou jeho poddajnosti

$$t = \frac{1}{z} = \frac{\Delta F(M)}{\Delta u(\varphi)} \quad (4)$$

Jde vlastně buď o modul posunutí, který představuje velikost síly potřebné na vyvolání jednotkového posunu, nebo o torzní tuhost poddajného spoje, která je definovaná jako moment způsobující ve spoji pootočení 1 rad. Koeficient poddajnosti, respektive tuhosti spoje vyjadřuje jeho deformovatelnost vlivem zatížení silou nebo ohybovým momentem. (Joščák, 1999)

Únosnost spoje

F_{\max} respektive M_{\max} vyjadřuje maximální sílu nebo ohybový moment připadající na jednotku šířky spoje nebo jeden spojovací element. (Joščák, 1999)

Deformace na mezi únosnosti

u_{\max} respektive φ_{\max} vyjadřuje maximální posunutí nebo úhlovou deformaci spoje, která vznikne při dosáhnutí jeho únosnosti. (Joščák, 1999)

Vliv jednotlivých činitelů

Na tuhost a únosnost spoje má vliv mnoho činitelů. Jejich přehled je následující.

- 1) vlastnosti dřeva
 - a) mechanické (pružnost, pevnost)
 - b) fyzikální (vlhkost, bobtnání, sesychání)
 - c) chemické
- 2) druh konstrukce
 - a) tvar a rozměry (druh spoje, povrch lepené plochy)
- 3) opracování styčných ploch
 - a) tolerance (vůle, těsnost)
 - b) hladkost povrchu
- 4) technologie
 - a) technologie lepení (teplota, tlak, čas stlačení, čas vytvrzení)
 - b) tloušťka vrstvy lepidla (těsnost spoje, tlak při lepení, opracování povrchu, druh lepidla)
- 5) způsoby funkčního namáhání
 - a) způsob zatížení (statické, dynamické, trvalé)
 - b) namáhání vnějším zatížením (tlak, tah, ohyb atd.)
 - c) vnitřní napětí dřeva
 - d) klimatické změny (Joščák, 1999)

Podmínky trvanlivého spojení

Pevnost spoje je závislá na pevnostních charakteristikách použité dřeviny. Ve spojích používaných u nábytkových konstrukcí je důležitá pevnost spoje v ohybu a krutu. Pevnost v ohybu je značně ovlivněná směrem letokruhů ve dřevě (odklonu od podélné osy), točitostí a vnitřními trhlinami.

Tato práce se v praktické části zaměřila na kolíkový spoj. Vzorky byly vyrobeny ze smrku. Proto jsou zde uvedeny základní informace a poznatky k této dřevině.

Smrk

Botanický název – Smrk ztepilý

Latinský název – *Picea abies*

Anglický název – Spruce

Zkratka – SM

Tato dřevina je zařazena do jehličnatých dřevin, které mají pryskyřičné kanálky špatně rozpoznatelné pouhým okem. Přechod mezi jarním a letním dřevem se jeví jako pozvolný.

Pevnostní vlastnosti při vlhkosti 12 %

Tvrдость dřeva - 26 MPa

Mez pevnosti v ohybu – 80 MPa

Mez pevnosti v tlaku podél vláken – 45 MPa

Mez pevnosti v tahu – 120 MPa (Zeidler, Aleš 2012, Křupalová, 2004)

6 Metodika práce a měření

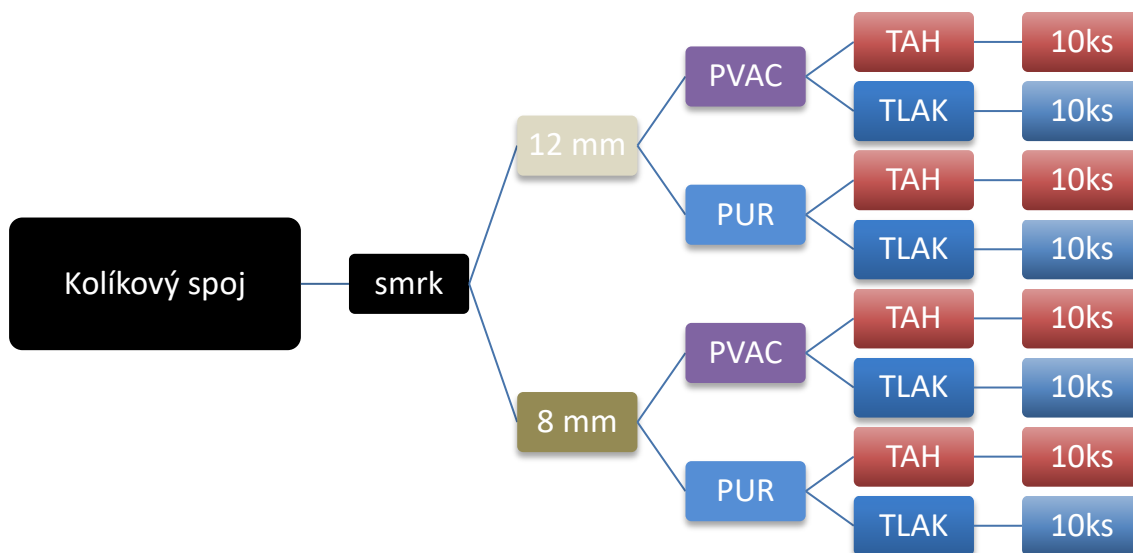
Metodika práce obsahuje popis a postup při měření vzorků, od jejich výroby až po jejich měření.

6.1 Výroba a příprava těles

Tělesa, která byla použita na měření byla vyrobena ze **smrku**. Tělesa byla vysušena na vlhkost $W = 10 \%$. Jednotlivá tělesa byla slepena disperzním lepidlem D3 a polyuretanovým lepidlem. Po vytvrzení lepidla byly vzorky podrobeny měření v jednotlivých zkouškách.

6.1.1 Vzorky

Pro měření bylo připraveno 80 vzorků. Vzorky byly rozděleny do 8 souborů po deseti vzorcích. Vzorky byly dále rozděleny podle potřeby dané zkoušky. U 40 vzorků byl použit kolík o průměru 8 mm a u 40 vzorků byl použit kolík o průměru 12 mm. Rozdělení jednotlivých souborů je podrobně zobrazeno v následujícím schématu.



Obrázek 23. Schéma rozdělení vzorků

6.1.2 Postup při výrobě vzorků

První fází bylo zakrácení smrkových fošen o tloušťkách 30 a 50 mm. Krácení řeziva slouží pro snazší manipulaci a opracování. Poté se na rozmítací pile zbavily fošny krajin a kůry. Omítané řezivo se rozřezalo na hrubé rozměry opět na rozmítací pile. Poté se každý přířez srovnal na spodní srovnávací frézce tak, aby jedna hrana byla kolmá na jednu plochu. Srovnané hrany se označily, aby nedošlo k záměně při dalším opracování. Pomocí tloušťkovací frézky se přířezy tloušťkově opracovaly na potřebné rozměry 25 x 45 mm a 45 x 45 mm. Na formátovací pile se jednotlivé přířezy zakrátili na konečné rozměry. Na dlabačce se vydlabaly otvory pro kolíky 8 mm a 12 mm. Na stojanové vrtačce se pak vyvrtaly otvory o průmětu 10 mm, které sloužili pro uchycení do zkušebního stroje.

6.1.3 Lepení kolíků

Lepení bylo prováděno dvěma typy lepidla. Čtyři soubory vzorků byly lepeny PVAc lepidlem a další čtyři byly slepeny PUR lepidlem. Lepení probíhalo v rukodílně ČZU v dřevařském pavilonu. Během lepení bylo kontrolováno, jestli bylo lepidlo naneseno v dostatečné míře a zda bylo řádně rozetřeno po celém obvodu otvoru. Použitá lepidla:

Obě lepidla pocházela od firmy AGGLU

- PVAc: Ag-Coll873/L D3
- PUR: Neopur 2238 R



Obrázek 24. Použitá lepidla
a – PVAc lepidlo, b – PUR lepidlo
(a – www.cps-interier.sk, b –
www.prestolarov.sk)

6.1.4 Klimatizace těles

Tělesa, která jsme měřili bylo potřeba vysušit na vlhkost 10 %. Kolíkový spoj je totiž používán převážně při výrobě nábytku, tedy v interiéru. Vlhkost se stanovuje podle následujícího vzorce.

$$W = \frac{m_w - m_0}{m_0} 100 \quad (5)$$

Kde:

W – vlhkost tělesa [g·cm⁻³]

m_w - hmotnost tělesa při vlhkosti W [g]

m_0 – hmotnost tělesa po vysušení [g] (Peschel, 2002)

6.1.5 Určení hustoty dřeva

Hustota zkušebních těles byla určena podle normy ISO 13061-2 (2014)

$$\rho_W = \frac{m_W}{b_W h_W l_W} = \frac{m_W}{V_W} \quad (6)$$

Kde:

ρ_W – hustota tělesa při vlhkosti W [g·cm⁻³]

m_W - hmotnost tělesa při vlhkosti W [g]

$b_W h_W l_W$ – rozměry zkušebního tělesa při vlhkosti W [cm³]

V_W – objem tělesa při vlhkosti W [cm³]

(Peschel, 2002, Johánek, 1970)

6.2 Měření vzorků

Kompletní měření zkušebních těles probíhalo v dřevařském pavilonu v laboratoři na ČZU v Praze.

6.2.1 Značení těles

Podle směru letokruhů byla na každém zkušebním tělese zanesena značka (90, 45, M) popisující úhel natočení letokruhů vůči jedné hraně zkušebního tělesa.



Obrázek 25. Značení směru letokruhů

- 90 – letokruhy svírají 90° ke hraně vzorku
- 45 – letokruhy svírají 45° ke hraně vzorku
- M – letokruhy svírají úhel mezi 45° a 90°

Každý vzorek byl také popsán následujícím způsobem:

SM – TL – 1/3 – PVAC – M

Kde:

SM – dřevina

TL – druh zkoušky tah/tlak

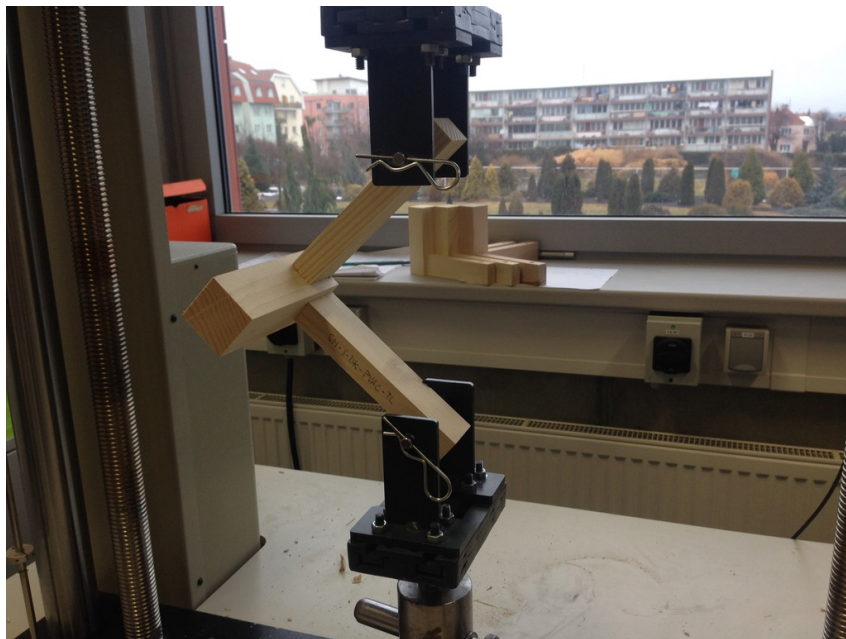
1/3 – průměr kolíku

PVAC – druh použitého lepidla

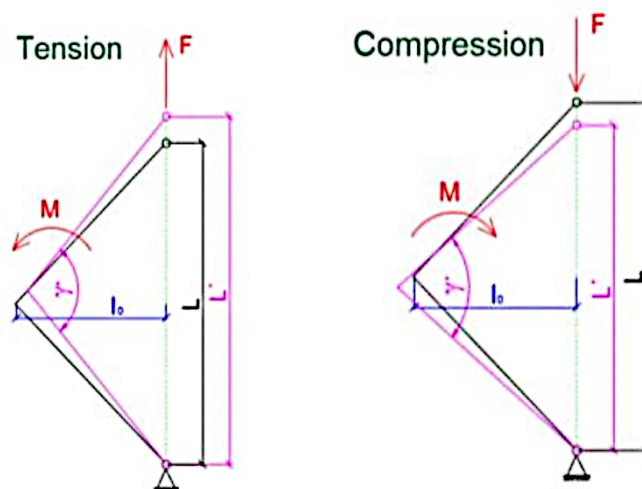
M – směr letokruhů

6.2.2 Postup při měření

Vzorky byly postupně upevňovány do zkušebního stroje pomocí speciálních čepů. Čep se zajistil závlačkou proti uvolnění. Po zajištění čepu se každé těleso vystředilo, aby nedocházelo ke křížení a nerovnoměrnému rozložení sil působících na těleso. Vzorek byl následně vystaven tahu nebo tlaku, při rychlosti posuvu vřetena 15 mm/min. Průměrná doba zkoušky trvala cca 2 minuty. Po ukončení zkoušky byl každý vzorek převážen a hodnota byla zanesena do tabulky.



Obrázek 26. Upnutí vzorku do stroje



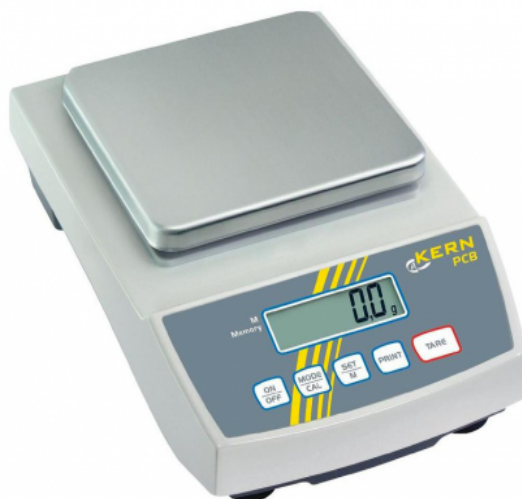
Obrázek 27. Schéma zkoušky tah/tlak
(Záborský a kol, 2018)

F – síla	[N]
M – moment	[Nm]
γ – úhel spoje po zatížení	[rad]
l_0 – rameno síly z původního tvaru	[m]
L – vzdálenost ramen	[m]
L' – vzdálenost ramen po zatížení	[m]

6.2.3 Zařízení použita při měření

Digitální váha PCB

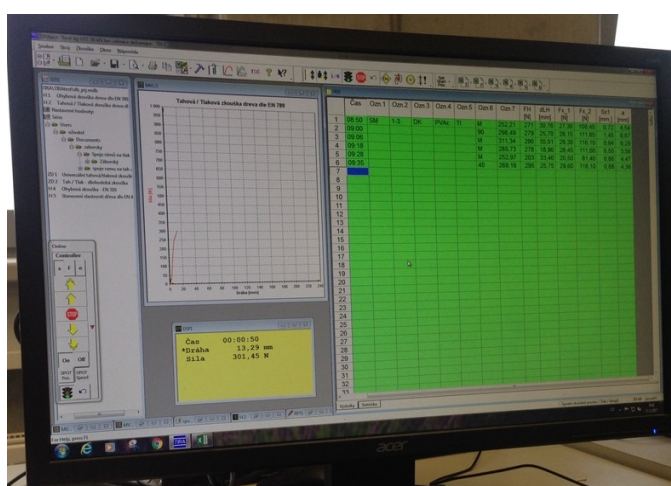
Tato váha byla použita pro vážení všech zkušebních vzorků. Jedná se o váhu typu PCB – 2500 – 2 od výrobce Kern&Sohn GmbH. Rozsah váhy je od 0,002 g až do 2500 g. Přesnost váhy je na dvě desetinná místa.



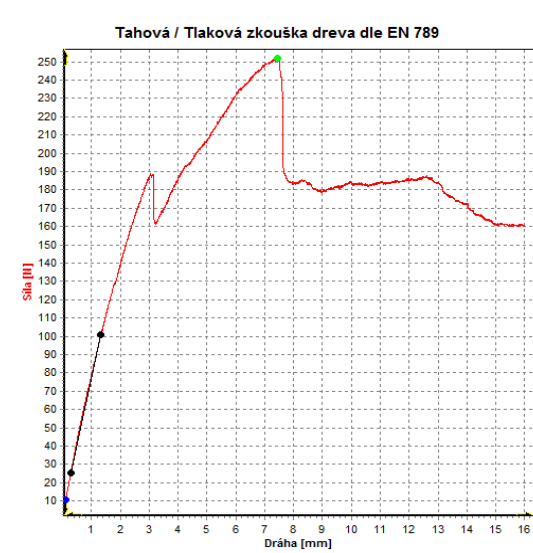
Obrázek 28. Digitální váha PCB – 2500 – 2
(www.meteostanice.cz)

Trhací stroj UTS 50

Tento stroj byl použit pro zkoušení všech smrkových těles spojené kolíky. Je to univerzální zkušební stroj UTS Testsysteme, který má rozsah 50 kN a je kompletně řízený počítačem. Jedná se o elektromechanický stroj, který se používá pro měření mechanických vlastností dřeva a materiálů na bázi dřeva. Výsledky zpracovává software TIRA. Pomocí softwaeru je možné regulovat rychlost posuvu ramen a sílu, kterou působí na zkušební tělesa. Jako hlavní měřicí údaj je síla potřebná k posuvu ramene o jednotku dráhy.



Obrázek 29. Software TIRA



Obrázek 30. Ukázka grafu z TIRA

(Svislá osa v N, vodorovná osa v mm)

7 Výsledky

Výsledky naměřené softwarem TIRA byly všechny přesunuty do tabulkového procesoru Excel. Každý odzkoušený vzorek obsahoval hodnoty sil, posunů a měl přiřazený graf. Každý vzorek byl označen druhem dřeviny, rozměrem zkoušeného konstrukčního spoje (kolíku), druhem použitého lepidla, typem zkoušky tlak/tah, orientací letokruhů 90°, 45°, M a hmotností vzorku.

Po skončení všech měření byly výsledky statisticky zpracovány v programu Statistica 12 a v programu Excel.

Jako rozhodující faktory určující tuhost spoje byly zkoumány:

- Směr letokruhů
- hustota vzorku
- průměr kolíku
- typ lepidla
- typ namáhání

Tabulka 6. Základní statistické hodnoty

typ namáhání	tloušťka spoje	typ lepidla	hustota v g/cm ³			elastická tuhost v Nm/rad		
			průměr	sm. odchylka	variační koeficient	průměr	sm. odchylka	variační koeficient
TI	1/3	PVAc	0,393	0,019	4,8	270	104	38,5
TI	1/2	PVAc	0,405	0,019	4,8	444	98	22,1
TI	1/3	PUR	0,403	0,011	2,7	633	156	24,7
TI	1/2	PUR	0,418	0,028	6,8	921	257	27,9
Ta	1/3	PVAc	0,411	0,018	4,3	209	53	25,4
Ta	1/2	PVAc	0,409	0,023	5,6	309	79	25,5
Ta	1/3	PUR	0,407	0,028	6,9	545	298	54,6
Ta	1/2	PUR	0,422	0,022	5,2	779	195	25,0

7.1 Statisticky zpracované výsledky pomocí softwaru Statistica 12

Statistickým rozbohem pro vyhodnocení výsledků byl čtyř-faktorový rozbor rozptylu. Tato metoda ukazuje vliv jednotlivých faktorů a jejich dvou, tří nebo čtyř vzájemných kombinací. Pro ohodnocení jejich vzájemných kombinací a účinků jednotlivých faktorů byl použit Fisherův F-test při hladině významnosti $\alpha = 0,05$. Tento

test nám na dané hladině významnosti P ukazuje, zda je daný faktor statisticky významný, či nikoliv.

Podle hladiny významnosti P lze faktory ohodnotit takto:

- $P < 0,05$ vliv faktoru je statisticky významný,
- $P > 0,05$ vliv faktoru není statisticky významný,
- $P = 0,05$ vliv faktoru se nachází na hranici statické významnosti,
- $P = 0$ faktor působí,
- $P < 0,001$ vliv faktoru je statisticky velmi významný,
- $0,001 < P < 0,01$ vliv faktoru je statisticky středně významný,
- $0,01 < P < 0,05$ vliv faktoru je statisticky málo významný (Gaff, Gáborík, 2009).

7.2 Tuhost spoje v závislosti na jednotlivých faktorech

V tabulce č. 7 je vidět, že největší statisticky významný vliv na tuhost spoje má v jedno faktorové analýze **typ použitého lepidla** a **průměr kolíků**. Jako dalším statisticky významným faktorem v jedno faktorové analýze se ukázal **typ namáhání** a jako poslední se ve dvou faktorové analýze ukázal jako statisticky významný faktor **typ lepidla*odklon ročních kruhů**. Naopak jako statisticky nevýznamný faktor v jedno faktorové analýze se ukázal odklon ročních kruhů. Ve dvou faktorové analýze se statisticky nevýznamně ukazuje faktor Typ namáhání*průměr kolíků, typ namáhání*typ lepidla, průměr kolíků*typ lepidla, typ namáhání*odklon ročních kruhů. Ze tří faktorové analýzy vyšli jako statisticky nevýznamné faktory typ namáhání*průměr kolíků*typ lepidla, typ namáhání* průměr kolíků*odklon ročních kruhů, typ namáhání*typ lepidla*odklon ročních kruhů. Ve čtyř faktorové analýze se jevil jako statisticky nevýznamný faktor typ namáhání*průměr kolíků*typ lepidla*odklon ročních kruhů.

Tabulka 7. Přehled statistických hodnot hodnotící vliv jednotlivých faktorů a jejich kombinací na tuhost spoje

Effect	SS	Degr. Of Freedom	MS	F	p
Intercept	16532352	1	16532352	530,6927	0,000
1 Type of loading	172499	1	172499	5,5373	0,022
2 Thickness joints	553622	1	553622	17,7714	0,000
3 Type of glue	2594288	1	2594288	83,2773	0,000
4 Deflection of annual rings	73993	2	36997	1,1876	0,312
Type of loading*Thickness joints	20540	1	20540	0,6593	0,420
Type of loading*Type of glue	9887	1	9887	0,3174	0,575
Thickness joints*Type of glue	69165	1	69165	2,2202	0,141
Type of loading*Deflection of annual rings	143364	2	71682	2,3010	0,109
Type of loading*Deflection of annual rings	75935	2	37967	1,2188	0,303
Type of glue*Deflection of annual rings	210364	2	105182	3,3764	0,041
Type of loading*Thickness joints*Type of glue	9976	1	9976	0,3202	0,573
Type of loading*Thickness joints*Deflection of annual rings	48363	2	24181	0,7762	0,465
Type of loading*Type of glue*Deflection of annual rings	54913	2	27456	0,8814	0,419
Thickness joints*Type of glue*Deflection of annual rings	44888	2	22444	0,7205	0,490
Type of loading*Thickness joints*Type of glue*Deflection of annual rings	31018	2	15509	0,4978	0,610
Error	1744534	56	31152		

7.3 Tuhost spoje závislá na odklonu letokruhů

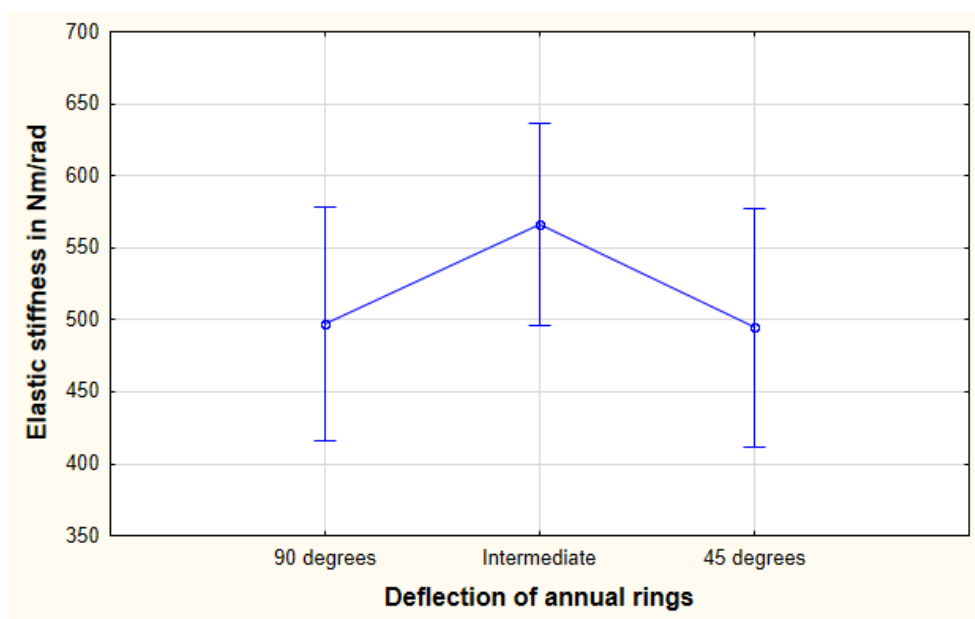
Z tabulky č. 8 vyplývá, že odklon letokruhů nemá na hladině významnosti $P = 0,312$ statisticky významný vliv na tuhost spoje.

Tabulka 8. Přehled statistických hodnot vlivu odklonu letokruhů na tuhost spoje

Effect	SS	Degr. Of Freedom	MS	F	p
Deflection of annual rings	73993	2	36997	1,1876	0,312

Jedno faktorová analýza

U letokruhů, které svíraly úhel mezi 90° a 45° byla naměřena největší průměrná hodnota. Druhé největší hodnoty byly naměřeny u odklonu letokruhů o 90°. Nejnižší hodnoty byly naměřeny u vzorků, u nichž byl odklon letokruhů o 45°. Průměrné hodnoty odklonů letokruhů o 45° jsou 494,7 [Nm/rad]. U vzorků s odklonem letokruhů o 90° je průměrná hodnota 497,42 [Nm/rad]. U vzorků s odklonem letokruhů mezi 90° a 45° byly průměrné hodnoty 566,15 [Nm/rad]



Graf 1. Vliv letokruhů na tuhost spoje

7.4 Tuhost spoje závislá na typu namáhání

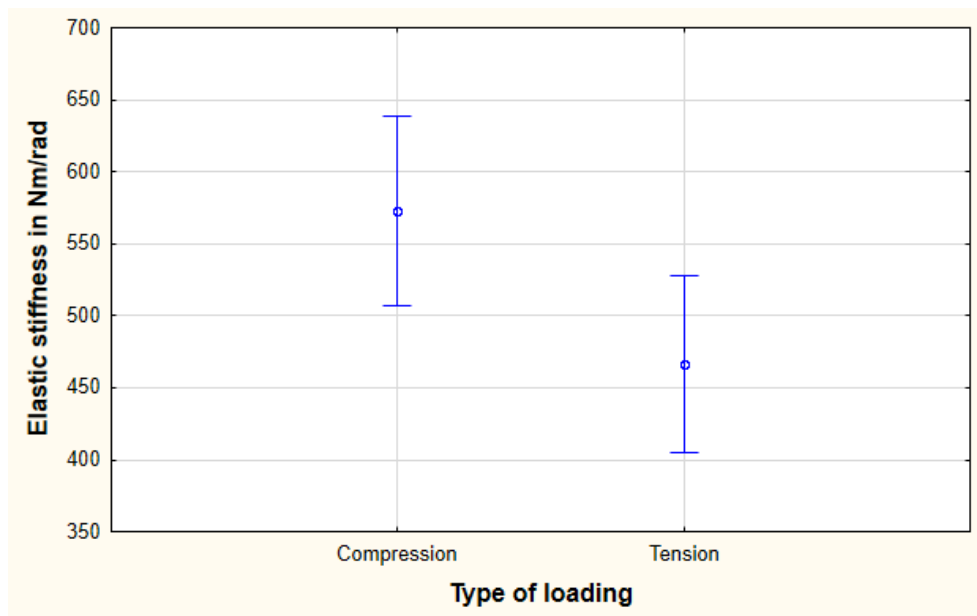
Z tabulky č. 9 jasně vyplývá, že typ namáhání má na hladině významnosti $P = 0,022$ významný vliv na tuhost spoje.

Tabulka 9. Přehled statistických hodnot vlivu typu namáhání na tuhost spoje

Effect	SS	Degr. Of Freedom	MS	F	p
Type of loading	172499	1	172499	5,5373	0,022

Jedno faktorová analýza

U těles namáhaných na tlak byly naměřeny nejvyšší hodnoty s průměrnou hodnotou 572,48 [Nm/rad]. Tělesa namáhaná na tah měla průměrnou hodnotu 466,36 [Nm/rad]



Graf 2. Vliv typu namáhání na tuhost spoje

7.5 Tuhost spoje závislá na průměru kolíků

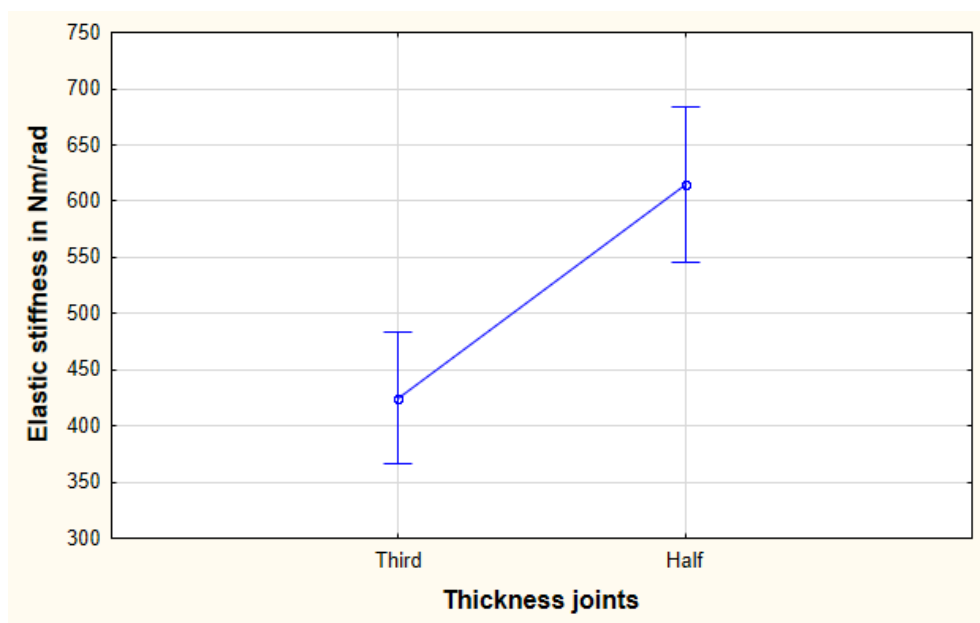
Tabulka č. 10 ukazuje, že na hladině významnosti $P = 0,000$ má statisticky významný vliv průměr kolíků na tuhost spoje.

Tabulka 10. Přehled statistických hodnot vlivu průměru kolíku na tuhost spoje

Effect	SS	Degr. Of Freedom	MS	F	p
Thickness joints	553622	1	553622	17,7714	0,000

Jedno faktorová analýza

Při namáhání těles s průměrem kolíku 12 mm byly naměřeny vyšší hodnoty, a to v průměru 614,47 [Nm/rad]. U kolíků s průměrem 8 mm byly průměrné hodnoty 424,37 [Nm/rad].



Graf 3. Vliv průměru kolíku na tuhost spoje

7.6 Tuhost spoje závislá na typu lepidla

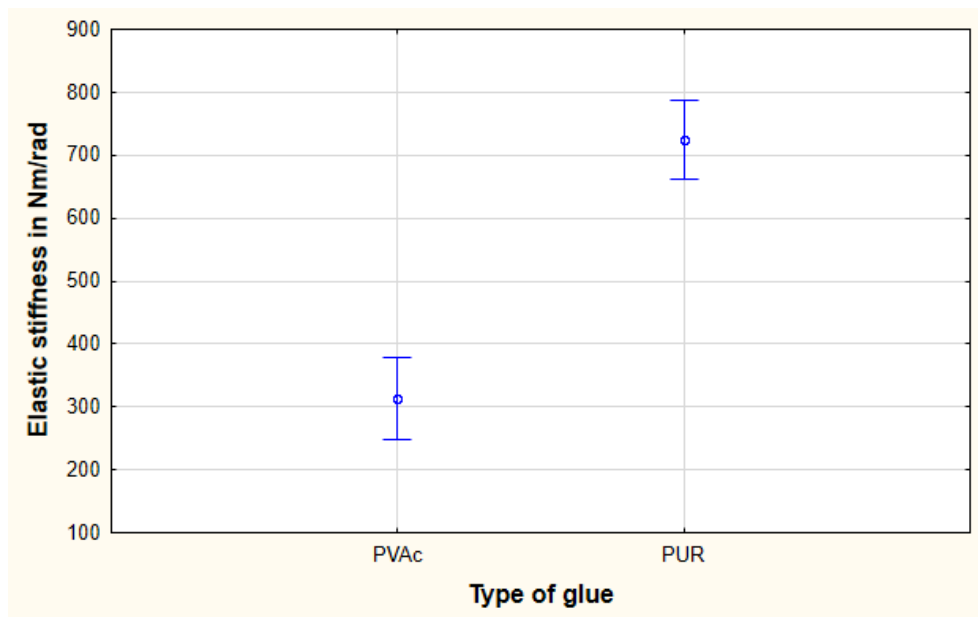
Z tabulky č. 11 vyplývá, že na hladině významnosti $P = 0,000$ má typ použitého lepidla významný vliv na tuhost spoje.

Tabulka 11. Přehled statistických hodnot vlivu typu lepidle na tuhost spoje

Effect	SS	Degr. Of Freedom	MS	F	p
Type of glue	2594288	1	2594288	83,2773	0,000

Jedno faktorová analýza

Typ lepidla se ukázal jako významný faktor ovlivňující tuhost spoje. Při použití PVAc lepidla dosahovaly naměřené hodnoty průměru 313,66 [Nm/rad]. Při použití PUR lepidla se dostáváme až na průměrné hodnoty 725,18 [Nm/rad]. Typ použitého lepidla se ve výsledku ukázal jako nejvýznamnější faktor ovlivňující tuhost spoje.



Graf 4. Vliv použitého lepidla na tuhost spoje

7.7 Tuhost spoje závislá na dvou a více faktorech

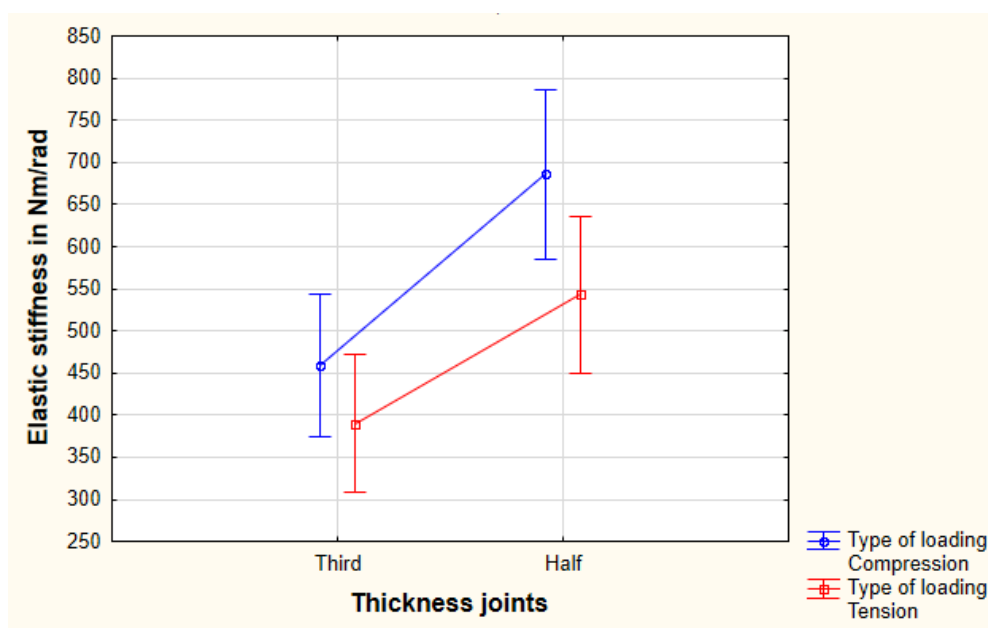
Ve dvou faktorové analýze se ukázal jako statisticky významný faktor **typ lepidla*odklon ročních kruhů**. Naopak jako statisticky nevýznamný faktor v jedno faktorové analýze se ukázal odklon ročních kruhů. Ve dvou faktorové analýze se statisticky nevýznamně ukazuje faktor typ namáhání*průměr kolíků, typ namáhání*typ lepidla, průměr kolíků*typ lepidla, typ namáhání*odklon ročních kruhů. Ze tří faktorové analýzy vyšli jako statisticky nevýznamné faktory typ namáhání*průměr kolíků*typ lepidla, typ namáhání* průměr kolíků*odklon ročních kruhů, typ namáhání*typ lepidla*odklon ročních kruhů. Ve čtyř faktorové analýze se jevil jako statisticky nevýznamný faktor typ namáhání*průměr kolíků*typ lepidla*odklon ročních kruhů.

Tabulka 12. Přehled statistických hodnot vlivu dvou a více faktorů na tuhost spoje

Effect	SS	Degr. Of Freedom	MS	F	p
Type of loading*Thickness joints	20540	1	20540	0,6593	0,420
Type of loading*Type of glue	9887	1	9887	0,3174	0,575
Thickness joints*Type of glue	69165	1	69165	2,2202	0,141
Type of loading*Deflection of annual rings	143364	2	71682	2,3010	0,109
Type of loading*Deflection of annual rings	75935	2	37967	1,2188	0,303
Type of glue*Deflection of annual rings	210364	2	105182	3,3764	0,041
Type of loading*Thickness joints*Type of glue	9976	1	9976	0,3202	0,573
Type of loading*Thickness joints*Deflection of annual rings	48363	2	24181	0,7762	0,465
Type of loading*Type of glue*Deflection of annual rings	54913	2	27456	0,8814	0,419
Thickness joints*Type of glue*Deflection of annual rings	44888	2	22444	0,7205	0,490
Type of loading*Thickness joints*Type of glue*Deflection of annual rings	31018	2	15509	0,4978	0,610

Dvou faktorová analýza

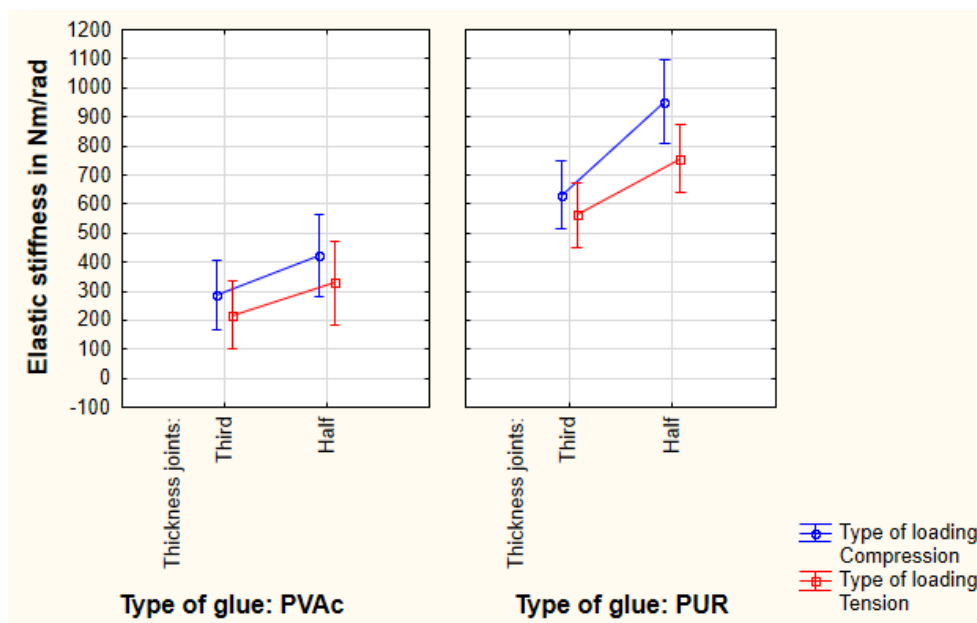
Typ namáhání*Průměr kolíků se na hladině významnosti $P = 0,420$ jeví jako statisticky nevýznamné faktory. Projevil se ale rozdíl mezi typem namáhání.



Graf 5. Vliv Typu namáhání*průměru kolíků na tuhost spoje

Tří faktorová analýza

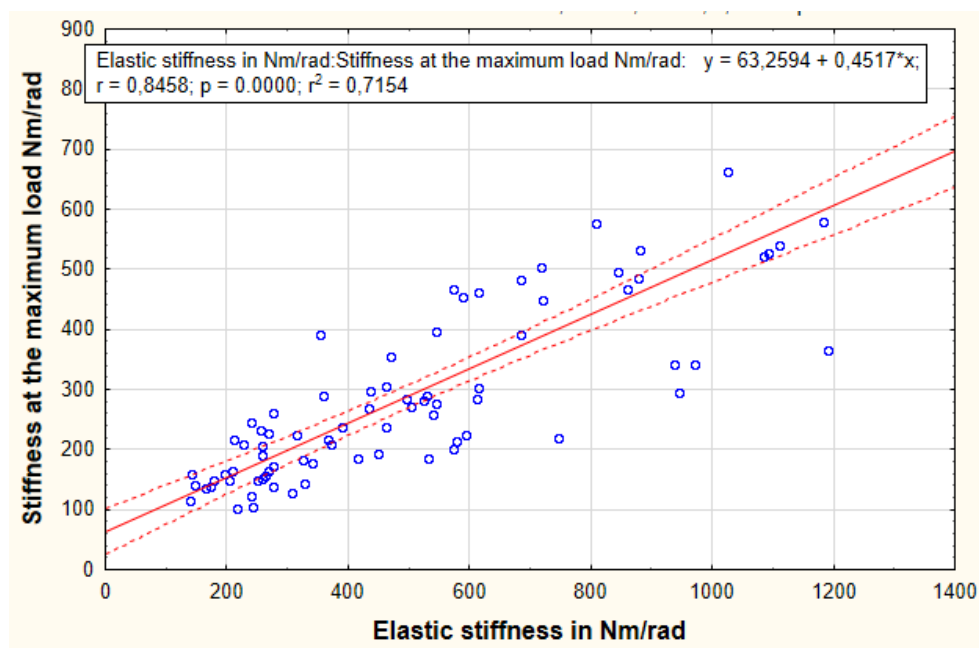
Typ namáhání*průměr kolíků*typ lepidla se na hladině významnosti $P = 0,573$ jeví jako statisticky nevýznamné vzájemně působící faktory. Největší rozdíl je v typu lepidla PUR.



Graf 6. Vliv typu namáhání*průměru klíku*typu lepidla na tuhost spoje

7.8 Závislost pružné tuhosti spojů a maximální tuhosti spojů

Z následujícího obrázku je patrné, že maximální tuhost konstrukčního spoje roste spolu s pružnou tuhostí spoje. Je zde patrná závislost mezi tuhostí a maximálním zatížením. Korelační koeficient lineární závislosti zde dosahuje hodnoty $r = 0,846$.



Graf 7. Závislost pružné tuhosti*maximální tuhosti spoje

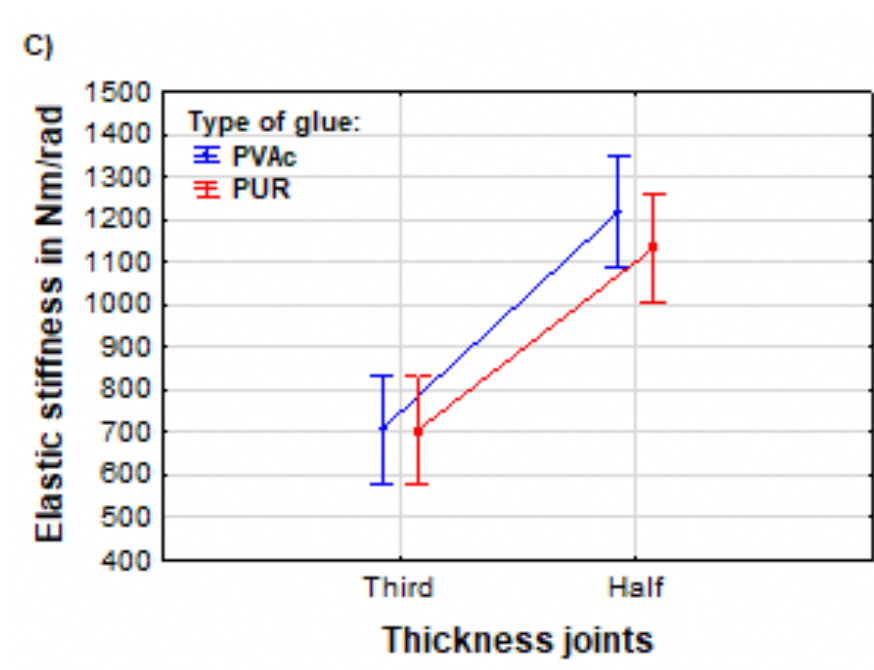
8 Diskuze

8.1 Porovnání s literaturou

Naměřené hodnoty jsou níže porovnány s vědeckými pracemi, které se věnují podobné problematice.

8.1.1 Rozměry konstrukčního spoje

Průměr kolíků se ve výsledku ukázal jako významný faktor ovlivňující tuhost spoje. Průměrné hodnoty u průměru kolíků 12 mm dosáhly hodnot 614,47 [Nm/rad]. U kolíků s průměrem 8 mm to bylo o něco méně, a to v průměru 424,37 [Nm/rad]. Odborný článek (Záborský a kol, 2018), který se zabývá vlivem vybraných faktorů na tuhost kolíkového spoje u bukových vzorků, popisuje také významný vliv rozměru kolíku na tuhost spoje. Popisuje, že rozměr kolíků 12 mm prokazoval vyšší hodnoty tuhosti spoje, a to za použití jak PVAc tak PUR lepidla. V tomto se naše výsledky shodují.

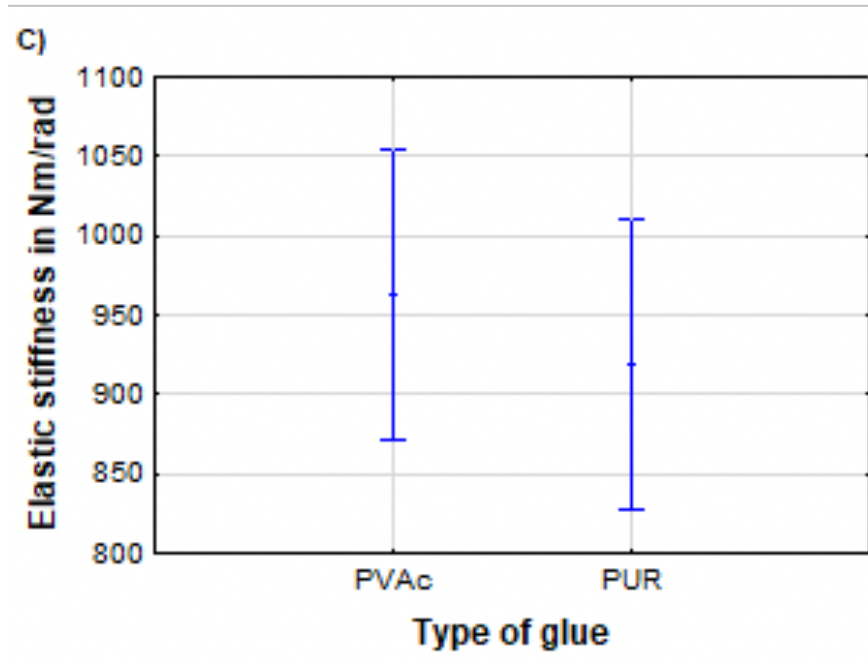


Graf 8. Tuhost spoje v závislosti na průměru kolíků*typu lepidla

(Záborský, 2018)

8.1.2 Typ použitého lepidla

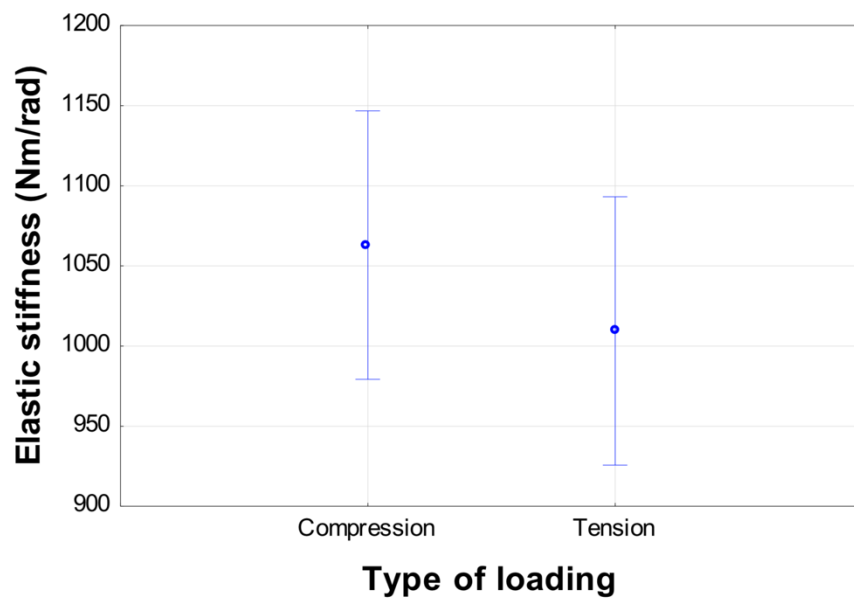
V mém měření se ukázal typ použitého lepidla jako významný faktor ovlivňující tuhost spoje. PUR lepidlo dosahovalo až o 57 % vyšších hodnot jak PVAc lepidlo. V článku (Záborský a kol, 2018) se píše, že typ použitého lepidla neměl významný vliv na tuhost spoje.



**Graf 9. Vliv typu lepidla na tuhost spoje
(Záborský, 2018)**

8.1.3 Typ namáhání

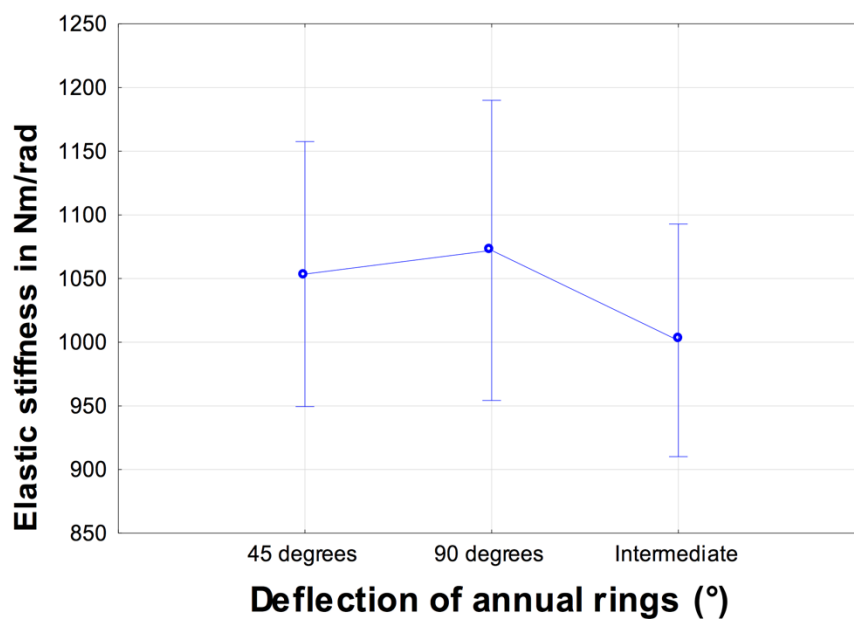
Z dat odborného článku (Záborský a kol, 2017), který se zabývá vlivem vybraných faktorů na tuhost spoje (čep/dlab) vyplývá, že typ namáhání neměl velký vliv na tuhost spoje. Tento závěr se neshoduje s výsledky této práce, neboť hodnoty v tlaku byly o 19 % vyšší než u tahu. Vyšší tuhost však vykazovala měření v tlaku, a to u obou měření.



**Graf 10. Vliv typu namáhání na tuhost spoje
(Záborský, 2017)**

8.1.4 Vliv odklonu letokruhů na tuhost spoje

Podle (Záborský a kol, 2017) nemá odklon letokruhů velký vliv na tuhost spoje. Nejvyšší hodnoty dosahovaly u vzorků s odklonem letokruhů o 90°. Tento výsledek se rozchází s výsledky naměřených vzorků, neboť v tomto měření dosahovaly nejvyšší hodnoty vzorky s odklonem letokruhů mezi 45° a 90°. U obou měření se však neprokázal statisticky významný vliv odklonu letokruhů na tuhost spoje.



**Graf 11. Vliv odklonu letokruhů na tuhost spoje
(Záborský, 2017)**

9 Závěr

Tato bakalářská práce by měla pomoci s orientací v problematice konstrukčních spojů a jejich tuhosti. Praktická část byla zaměřena na sledování vybraných faktorů (odklon ročních letokruhů, průměr kolíků, typ použitého lepidla, typ namáhání), ovlivňujících tuhost konstrukčního spojení na kolíky.

V teoretické části bakalářské práce jsou popsány základní charakteristiky působící na chování dřeva. Popsány jsou některé typy konstrukčních spojů, které se používají i dnes, nicméně některé z nich mají hlubokou historii a jejich používání je již dlouho známé. Přesto se používají i u dnešních konstrukcí, neboť jsou velmi sofistikované a mají dobré mechanické vlastnosti. Popisuje se zde i dimenzování spojů, které je pro praxi velmi významné. Díky správnému dimenzování spoje můžeme ušetřit na použitém materiálu nebo zabránit porušení celistvosti spoje při jeho používání.

Metodika měla za cíl přiblížit proces vyhotovení vzorků a jejich následné měření. Popisuje jednotlivé stroje, které byly během měření použity. V metodice je zaznamenáno značení jednotlivých vzorků, aby nedošlo k jejich záměně a špatnému zařazení naměřených dat.

Zpracované výsledky ukazují, že na tuhost spoje má velký vliv: typ použitého lepidla, průměr kolíků, typ namáhání a typ použitého lepidla*odklon ročních letokruhů. Jako statisticky významný faktor je považován právě průměr kolíků, neboť výsledná pevnost u kolíků 12 mm byla ve výsledku daleko vyšší než u kolíků o průměru 8 mm. Statisticky významným faktorem byl i typ použitého lepidla kde u PUR lepidla byla průměrná hodnota 725,18 [Nm/rad], PVAc lepidlo dosáhlo pouze průměrné hodnoty 313,66 [Nm/rad]. Nevýznamným faktorem se pak ukázal odklon ročních letokruhů. Ze získaných výsledků je jasné, že kombinace faktorů průměru kolíků 12 mm, PUR lepidlo vykazovala nevyšší hodnoty, a proto je možné tuto kombinaci doporučit pro praktické využití. Naopak nejhorší kombinací se ukázal průměr kolíků 8 mm a PVAc lepidlo, tuto kombinaci nelze doporučit pro praktické využití.

Tyto poznatky poslouží pro další vývoj a rozvoj konstrukčních spojů a jejich dimenzování a použití.

Seznam použité literatury

BRIDGEWATER, Alan a Gill BRIDGEWATER. *Práce se dřevem: krok za krokem od nápadu ke krásnějšímu bytu a zahradě*. [1. vyd.]. Praha: Ottovo nakladatelství, 2007. Krásnější byt a zahrada. ISBN isbn978-80-7360-553-7.

GAFF, Milan; GÁBORÍK, Jozef. *Vlastnosti povrchu dřeva modifikovaného reliéfováním*. 1. vyd. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene, 2009. 81 s. ISBN 978-80-228-2035-6.

KŘUPALOVÁ, Zdeňka. *Technologie pro 1. ročník SOU oborů zpracování dřeva*. Praha: Sobotáles, 2000. ISBN isbn80-85920-74-3.

KŘUPALOVÁ, Zdeňka. *Nauka o materiálech pro 1. a 2. ročník SOU učebního oboru truhlář. 2.*, upr. vyd. Praha: Sobotáles, 2004. ISBN isbn80-86817-02-4.

JELÍNEK, Lubomír a Petr ČERVENÝ. *Tesařské konstrukce*. 3. vyd. Praha: Pro Českou komoru autorizovaných inženýrů a techniků činných ve výstavbě vydalo Informační centrum ČKAIT, 2012. Technická knihnice autorizovaného inženýra a technika. ISBN isbn978-80-87438-34-3.

JOHÁNEK, Adolf a Milena SPURNÁ, ed. *Dřevařská technická příručka*. Praha: SNTL, 1970. Řada dřevařské literatury.

JOSTEN, Elmar, Thomas REICHE a Bernd WITTCHEN. *Dřevo a jeho obrábění*. Praha: Grada, 2010. Průvodce truhláře. ISBN 978-80-247-2961-9.

JOSTEN, Elmar, Thomas REICHE a Bernd WITTCHEN. *Truhlářské konstrukce: spoje, povrchové úpravy dřeva, konstrukce*. Praha: Grada, 2011. Stavitel. ISBN isbn978-80-247-2960-2.

JOŠČÁK, Pavol. *Pevnostné navrhovanie nábytku*. 1. vyd. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene, 1999, 246 s. ISBN 80-228-0921-7.

MUZIKAŘ, Zdeněk. *Materiály II: pro UO Truhlář*. Praha: Informatorium, 2008. ISBN isbn978-80-7333-061-3.

NUTSCH, Wolfgang. *Konstrukce nábytku: nábytek a zabudované skříně. 2.*, přeprac. vyd. Přeložil Václav BARTOŠ. Praha: Grada, 2012. Stavitel. ISBN 978-80-247-4244-1.

NUTSCH, Wolfgang. *Příručka pro truhláře*. Praha: Sobotáles, 1999. ISBN isbn:80-85920-60-3.

NUTSCH, Wolfgang. *Příručka pro truhláře. 2.*, přeprac. vyd. Praha: Europa-Sobotáles, 2006. ISBN 80-86706-14-1.

PAVOL JOŠČÁK A KOL. *Konštrukcia nábytku z dreva a drevených materiálov*. Technická univerzita vo Zvolení: Tuzvo, 2014, 357 S. ISBN 978-80-228-2464-4

PESCHEL, Peter. *Dřevařská příručka: tabulky: technické údaje*. Praha: Sobotáles, 2002. ISBN 80-85920-84-0.

ŠLEZINGEROVÁ, Jarmila a Libuše GANDELOVÁ. *Stavba dřeva*. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, 2002. ISBN 80-7157-636-0.

ZOUFALÝ, Martin. *Nábytek svépomocí: krok za krokem*. Praha: Grada Publishing, 2016. ISBN isbn978-80-247-5708-7.

Elektronické zdroje

PUR lepidlo *prestolarov.sk* [online]. © 2018 [cit. 2018-10-4] Dostupné z: <https://www.prestolarov.sk/prestolarov/eshop/0/0/5/844-AGGLU-Lepidlo-NEOPUR-2238RRR-1Kg>

PVAc lepidlo *cps-interier.sk* [online]. © 2012-2018 [cit. 2018-10-4] Dostupné z: <https://www.cps-interier.sk/eshop/disperzne-lepidlo-technobond-d3-1kg/p-1765450.xhtml>

Přesná stolní digitální váha KERN PCB 1000-2: 1000 g/0,01g. Meteostanice/Měřicí přístroje [online]. © 2018 [cit. 2018-12-4] Dostupné z: https://www.meteostanice.cz/laboratorni_vahy-kern_presna_stolni_digitalni_vaha_kern_pcb_10002;_1000_g__0,01_g-834499281-356571681-vaha-laboratorni/

Spoj na vložené pero, konstrukční spoje, lepení, spojovací prostředky. Publi.cz – platforma pro multimediální eBooky neboli mKnihy [online]. © 2018 [cit. 2018-10-4] Dostupné z: <https://publi.cz/books/164/01.html>

ZEIDLER, Aleš. Lexikon dřeva Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze, Fakulta lesnická a dřevařská, 2012 [cit. 9. 4. 2018]. Dostupné z: http://fld.czu.cz/~zeidler/lexikon_dreva/lexikon_dreva.pdf

Články v elektronických časopisech

Vladimír Záborský; Vlastimil Borůvka; Daniel Ruman; Milan Gaff. *Effects of Geometric Parameters of Structural Elements on Joint Stiffness*. In BioResources [online]. 2017, vol. 12, no.1 [cit. 14.4.2018] Dostupné z: http://ojs.cnr.ncsu.edu/index.php/BioRes/article/view/BioRes_12_1_932_Zaborsky_Geometric_Parameters_Structural_Elements/ ISSN 932-946

Normy

ISO 13061-2 (2014) Physical and mechanical properties of wood – Test methods for small clear wood specimens – Part 2: Determination of density for physical and mechanical tests

EN ISO 2338 (1997) Válcové kolíky z nekalené oceli a austenitické korozivzdorné oceli. aj

Přílohy

Naměřené hodnoty

typ namáhání	tloušťka spoje	typ lepidla	odklon ročních kruhů	hustota v g/cm ³	maximální moment v Nm	maximální úhel v °	tuhost na mezi pevnosti v Nm/rad	změna momentu v Nm	změna úhlu v °	elastická tuhost v Nm/rad
TI	1/3	PVAc	M	0,380	31,79	11,10	164	9,54	2,03	270
TI	1/3	PVAc	45	0,380	29,20	16,34	102	8,74	2,30	218
TI	1/3	PVAc	90	0,419	36,47	10,98	190	10,94	2,43	258
TI	1/3	PVAc	M	0,436	29,57	12,32	138	8,87	2,92	174
TI	1/3	PVAc	45	0,384	27,48	10,41	151	8,24	1,82	259
TI	1/3	PVAc	45	0,380	30,93	15,43	115	9,26	3,78	141
TI	1/3	PVAc	M	0,403	29,94	12,36	139	8,98	1,86	277
TI	1/3	PVAc	M	0,384	28,46	11,39	143	8,52	1,48	329
TI	1/3	PVAc	90	0,375	34,01	7,57	257	10,21	1,08	541
TI	1/3	PVAc	M	0,387	37,95	10,35	210	11,40	2,87	228
TI	1/2	PVAc	M	0,419	30,19	4,87	355	9,01	1,10	470
TI	1/2	PVAc	M	0,418	30,19	9,49	182	9,05	1,59	326
TI	1/2	PVAc	45	0,407	37,83	10,38	209	11,36	1,75	372
TI	1/2	PVAc	90	0,391	35,86	6,74	305	10,73	1,33	461
TI	1/2	PVAc	90	0,412	35,86	7,32	281	10,77	1,18	524
TI	1/2	PVAc	M	0,396	29,20	7,01	239	8,70	1,08	463
TI	1/2	PVAc	90	0,417	33,64	6,96	277	10,10	1,06	546
TI	1/2	PVAc	90	0,438	25,87	6,27	236	7,75	1,14	391
TI	1/2	PVAc	M	0,387	43,49	9,59	260	13,05	2,70	277
TI	1/2	PVAc	90	0,367	32,04	6,06	303	9,65	0,90	614
TI	1/3	PUR	M	0,405	32,16	8,41	219	9,65	0,74	746
TI	1/3	PUR	45	0,393	33,14	6,37	298	9,99	1,31	437
TI	1/3	PUR	90	0,415	35,98	7,13	289	10,77	1,16	530
TI	1/3	PUR	45	0,390	35,24	9,47	213	10,52	1,04	580
TI	1/3	PUR	90	0,406	32,53	10,03	186	9,79	1,05	532

TI	1/3	PUR	90	0,409	38,69	7,78	285	11,61	1,09	611
TI	1/3	PUR	M	0,385	32,16	6,49	284	9,61	1,11	497
TI	1/3	PUR	90	0,405	35,24	4,31	468	10,63	0,71	860
TI	1/3	PUR	45	0,423	40,04	10,20	225	12,03	1,16	594
TI	1/3	PUR	45	0,400	36,22	7,05	295	10,84	0,66	945
TI	1/2	PUR	90	0,439	51,26	6,37	461	15,40	1,43	616
TI	1/2	PUR	M	0,369	47,44	6,95	391	14,21	2,31	353
TI	1/2	PUR	M	0,447	54,58	4,72	662	16,38	0,91	1026
TI	1/2	PUR	M	0,397	45,47	3,25	801	13,68	0,64	1218
TI	1/2	PUR	M	0,432	53,47	5,29	579	16,07	0,78	1182
TI	1/2	PUR	90	0,445	36,72	4,33	486	10,98	0,72	877
TI	1/2	PUR	M	0,402	55,94	6,46	496	16,84	1,14	844
TI	1/2	PUR	90	0,428	42,14	4,52	534	12,52	0,81	881
TI	1/2	PUR	45	0,376	44,48	3,22	793	13,36	0,69	1105
TI	1/2	PUR	M	0,445	52,86	5,61	540	15,85	0,82	1111
Ta	1/3	PVAc	M	0,423	44,73	12,45	206	13,40	2,96	260
Ta	1/3	PVAc	90	0,372	35,73	12,88	159	10,70	3,12	196
Ta	1/3	PVAc	45	0,429	39,43	15,88	142	11,82	4,59	148
Ta	1/3	PVAc	90	0,401	47,19	12,52	216	14,13	3,80	213
Ta	1/3	PVAc	90	0,406	38,69	14,77	150	11,64	3,28	204
Ta	1/3	PVAc	45	0,432	35,73	12,91	159	10,73	4,29	143
Ta	1/3	PVAc	45	0,392	35,73	13,81	148	10,69	3,42	179
Ta	1/3	PVAc	90	0,421	37,21	9,52	224	11,12	2,02	316
Ta	1/3	PVAc	45	0,422	29,32	12,36	136	8,80	3,05	165
Ta	1/3	PVAc	M	0,411	43,12	15,85	156	12,94	2,82	263
Ta	1/2	PVAc	90	0,383	37,83	7,51	289	11,37	1,81	359
Ta	1/2	PVAc	45	0,390	26,00	9,09	164	7,82	2,14	210
Ta	1/2	PVAc	M	0,382	27,97	6,92	231	8,38	1,88	256
Ta	1/2	PVAc	45	0,391	31,67	7,40	245	9,50	2,26	241
Ta	1/2	PVAc	45	0,448	27,48	8,13	194	8,24	1,05	450
Ta	1/2	PVAc	M	0,412	30,06	9,30	185	9,02	1,25	415
Ta	1/2	PVAc	45	0,416	27,35	12,68	124	8,21	1,96	241
Ta	1/2	PVAc	M	0,426	32,53	8,55	218	9,72	1,52	366
Ta	1/2	PVAc	45	0,444	26,61	10,30	148	7,97	1,83	250
Ta	1/2	PVAc	45	0,402	22,92	10,17	129	6,84	1,28	307

Ta	1/3	PUR	45	0,377	46,33	9,87	269	13,86	1,82	435
Ta	1/3	PUR	M	0,402	35,98	7,59	271	10,81	1,23	504
Ta	1/3	PUR	90	0,418	25,26	8,43	172	7,58	1,57	276
Ta	1/3	PUR	90	0,445	40,41	10,20	227	12,11	2,59	268
Ta	1/3	PUR	45	0,405	23,90	13,01	105	7,16	1,69	243
Ta	1/3	PUR	90	0,408	30,31	4,44	391	9,08	0,76	686
Ta	1/3	PUR	M	0,377	38,44	6,42	343	11,58	0,71	937
Ta	1/3	PUR	45	0,421	34,13	11,06	177	10,25	1,72	341
Ta	1/3	PUR	45	0,361	28,34	8,07	201	8,52	0,85	573
Ta	1/3	PUR	M	0,454	52,49	8,23	365	15,68	0,75	1191
Ta	1/2	PUR	M	0,419	33,39	4,82	397	9,99	1,05	546
Ta	1/2	PUR	90	0,418	36,84	4,18	504	11,08	0,88	719
Ta	1/2	PUR	45	0,382	30,80	3,93	449	9,26	0,74	721
Ta	1/2	PUR	45	0,439	35,49	4,20	484	10,66	0,89	684
Ta	1/2	PUR	90	0,423	30,93	3,79	468	9,22	0,92	574
Ta	1/2	PUR	M	0,430	23,41	2,57	523	6,94	0,37	1086
Ta	1/2	PUR	M	0,385	31,05	3,37	528	9,30	0,49	1094
Ta	1/2	PUR	45	0,447	30,43	3,03	576	9,15	0,65	809
Ta	1/2	PUR	45	0,451	32,90	5,51	342	9,82	0,58	971
Ta	1/2	PUR	M	0,427	30,19	3,80	455	9,02	0,88	588