

**ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA
FAKULTA LESNICKÁ A DŘEVAŘSKÁ**

DIPLOMOVÁ PRÁCE

2017

Bc. Lukáš Hlaváček

**ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA
FAKULTA LESNICKÁ A DŘEVAŘSKÁ
KATEDRA ZÁKLADNÍHO ZPRACOVÁNÍ DŘEVA**

**HODNOCENÍ HISTORICKÝCH KONSTRUKČNÍCH SPOJŮ
BĚHEM VÝVOJE ÚLOŽNÉHO NÁBYTKU JEJICH
VYUŽITÍ A OPTIMALIZACE V SOUČASNÝCH
PODMÍNKÁCH**

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Autor:

Bc. Lukáš Hlaváček

Vedoucí diplomové práce:

doc. Ing. Milan Gaff, PhD.

2017

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Lukáš Hlaváček

Dřevařské inženýrství

Název práce

Hodnocení historických konstrukčních spojů během vývoje úložného nábytku jejich využití a optimalizace v současných podmínkách.

Název anglicky

Evaluation of historical structural joints during the development of the furniture storage utilization and optimization in the current conditions

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

- 1.Kasal, A., et al.: Bending Moment Capacities of L-Shaped Mortise and Tenon Joints under Compression and Tension Loadings
- 2.Uysal, M., 2015.: A comparison of the cyclic durability, ease of disassembly, repair, and reuse of parts of wooden chair frames

Předběžný termín obhajoby

2016/17 LS – FLD

Vedoucí práce

doc. Ing. Milan Gaff, PhD.

Garantující pracoviště

Katedra základního zpracování dřeva

Konzultant

Ing. Vlastimil Borůvka, PhD.

Elektronicky schváleno dne 23. 1. 2017

doc. Ing. Milan Gaff, PhD.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 29. 1. 2017

prof. Ing. Marek Turčáni, PhD.

Děkan

V Praze dne 19. 04. 2017

Čestné prohlášení

"Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma Hodnocení historických konstrukčních spojů během vývoje úložného nábytku jejich využití a optimalizace v současných podmínkách 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..... dne.....

Podpis autora

Poděkování

Tímto si dovoluji poděkovat především mému vedoucímu diplomové práce panu doc. Ing. Milanu Gaffovi, PhD za poskytnutí konzultací a mnoho cenných rad při zhotovování této práce. Dále bych rád poděkoval své sestře Bc. Petře Hlaváčkové za úpravu celé práce a opravu přehlédnutých chyb. Za odbornou konzultaci bych chtěl také poděkovat panu Ing. Vlastimilovi Borůvkovi, Ph.D.

Abstrakt ve státním jazyce

Tato diplomová práce se zabývá zjištěním vlivu vybraných faktorů na pevnostní vlastnosti konstrukčního spoje a následně výběru správné kombinace z hlediska tuhosti spoje. Jako faktory byly vybrány dřevina, lepidlo a dimenze vloženého kolíku. Sledované charakteristiky byly tuhost v tlaku a tuhost v tahu spoje.

Naměřené hodnoty byly statisticky vyhodnoceny a následně pak vyjádřeny pomocí grafů a tabulek. Druh dřeviny ovlivňuje pevnostní vlastnosti konstrukčního spoje stejně jako velikost domino kolíku. Typ lepidla se neprokázal jako významný faktor, který by zásadně ovlivňoval sledované charakteristiky.

Na základě vyhodnocení dosažených výsledků by bylo možné navrhnout spoj s cílenými vlastnostmi.

Klíčová slova: historický nábytek, nábytkové spoje, pevnost spoje, tuhost spoje, lepený spoj.

Abstrakt v cizím jazyce

This Master thesis deals with determining the influence of selected factors on the strength properties of structural joints and then choosing the right combination in terms of joint stiffness. The selected factors were the wood type, the glue type and the dimensions of the inserted pin. The followed characteristics were stiffness in compression and tensile stiffness in the joint.

The measured values were statistically evaluated and then expressed using graphs and tables. The type of wood affects the strength properties of structural joints as well as the size of a domino pin. The type of glue did not prove to be an important factor that significantly influenced the observed characteristics. Based on the evaluation of the results it was possible to design a connection with targeted properties.

Keywords: antique furniture, furniture joints, joint strength, joint stiffness, glued joint.

Obsah

Obsah	7
Seznam obrázků.....	10
Seznam grafů.....	13
Seznam tabulek	14
Seznam zkratk a značek	15
1 Úvod.....	16
2 Cíl práce	17
3 Literární poznatky k problematice konstrukčních spojů nábytku	18
3.1 Konstrukční spoje nábytku v historii.....	18
3.2 Používané konstrukční spoje nábytku v jednotlivých obdobích	21
3.2.1 Starověký nábytek 4000 př. n. l. – 1600 n. l.	21
3.2.2 Středověký nábytek 6. – 15. století.....	21
3.2.3 Novověk 14. století – současnost.....	23
4 Konstrukční spojování dílců	26
4.1 Klasifikace konstrukčních spojů.....	27
4.2 Lepené spoje	28
4.2.1 Lepidla používaná ve dřevařství	28
4.2.2 Spoj natupo	29
4.2.3 Spojení na polodrážku.....	30
4.2.4 Přeplátování	31
4.2.5 Čepové spoje.....	32
4.2.6 Čep a rozpor	32
4.2.7 Čep a dlab	32
4.2.8 Vlastní pero	33
4.2.9 Svlaky	34
4.2.10 Okrajnice.....	35
4.2.11 Spojení pomocí vlepených kolíků.....	36
4.2.12 Spojení na ozuby.....	40
4.2.13 Spojení pomocí pera	42
4.2.14 Spojení pomocí lamely	43
4.2.15 Spojení pomocí domino	44
4.2.16 Hoffmannovo pero	44

4.3	Nelepené spoje (rozebíratelné spoje).....	45
4.3.1	Spojení pomocí kolíků	45
4.3.2	Spojování hřebíky	46
4.3.3	Šrouby s metrickým závitem	48
4.3.4	Spojování vruty	51
4.3.5	Spojování pomocí excentrů.....	53
4.3.6	Spojování sponkami.....	56
4.3.7	Spojování pomocí roztavitelných kolíků	57
4.3.8	Ocelové destičky a úhelníky	57
4.4	Pevnostní vlastnosti spojů	59
5	Metodika práce a metody zkoumání	63
5.1	Příprava zkušebních vzorků	63
5.1.1	Počet měřených vzorků.....	64
5.1.2	Postup výroby vzorků	65
5.1.3	Lepení spojů.....	66
5.1.4	Klimatizace zkušebních vzorků	67
5.1.5	Stanovení hustoty dřeva	68
5.2	Experimentální měření	68
5.2.1	Značení vzorků.....	68
5.2.2	Postup operací při měření:	69
5.2.3	Použité stroje a zařízení při měření.....	70
5.3	Výpočty charakteristik.....	73
5.3.1	Statistické zpracování dat	78
6	Výsledky	81
6.1	Statisticky zpracované výsledky v softwaru Statistica 12.....	82
6.2	Tuhost spojů v závislosti na průběhu letokruhů	82
6.3	Tuhost spojů v závislosti na průběhu letokruhů a dřevině	83
6.3.1	Dvou faktorová analýza	84
6.4	Tuhost spojů v závislosti na dřevině, typu namáhání, velikosti domino kolíku a druhu lepidla.....	84
6.4.1	Jedno faktorová analýza.....	85
6.4.2	Tří faktorová analýza	87
6.5	Maximální tuhost spojů v závislosti na pružné tuhosti spojů.....	89
6.6	Pružná tuhost spoje v závislosti na hustotě zkušebních vzorků	89

6.7 Grafy průběhu zkoušky ze softwaru Tira	90
7 Diskuze	94
7.1 Porovnání s literaturou	94
7.1.1 Velikost konstrukčního prvku	94
7.1.2 Druh lepidla	94
7.1.3 Typ namáhání.....	95
7.1.4 Průběh letokruhů.....	96
7.1.5 Hustota dřeva	97
7.1.6 Druh dřeva	97
7.1.7 Maximální tuhost spojů v závislosti na pružné tuhosti spojů	98
8 Závěr.....	99
Seznam použité literatury	101
Elektronické zdroje.....	103
Články v elektronických časopisech a jiné příspěvky	105
Normy	106
Přílohy.....	107

Seznam obrázků

OBRÁZEK 1: TYPY SPOJŮ POUŽÍVANÝCH V HISTORII	19
OBRÁZEK 2: MOTÝLOVÝ SPOJ	19
OBRÁZEK 3: PŘÍKLAD UŽITÍ KOLÍČKOVÉHO SPOJE	20
OBRÁZEK 4: PŘÍKLAD UŽITÍ RYBINOVÉHO SPOJE	20
OBRÁZEK 5: EGYPTSKÁ ŽIDLE	21
OBRÁZEK 6: TRUHLA Z TERRACINY 8 STOL. N. L.	22
OBRÁZEK 7: ROMÁNSKÁ ŽIDLE, ČEP S KOLÍKEM	22
OBRÁZEK 8: NÁBYTEK VYRÁBĚNÝ V OBDOBÍ GOTIKY	23
OBRÁZEK 9: KONSTRUKCE NÁBYTKU – BAROKO.....	24
OBRÁZEK 10: KONSTRUKCE NÁBYTKU – KLASICISMUS.....	25
OBRÁZEK 11: ŽIDLE THONET Č 14.....	26
OBRÁZEK 12: KLASIFIKACE KONSTRUKČNÍCH SPOJŮ.....	27
OBRÁZEK 13: DÉLKOVÉ SPOJENÍ NA TUPO	29
OBRÁZEK 14: ŠÍRKOVÉ LEPENÍ NA TUPO (SPÁROVKA)	30
OBRÁZEK 15: TLOUŠŤKOVÉ NAPOJENÍ NA TUPO	30
OBRÁZEK 16: SPOJENÍ NA POLODRÁŽKU	30
OBRÁZEK 17: PODÉLNÉ NAPOJENÍ POLODRÁŽKOU.....	31
OBRÁZEK 18: PŘEPLÁTOVÁNÍ.....	31
OBRÁZEK 19: ČEP A ROZPOR	32
OBRÁZEK 20: ČEP A DLAB	33
OBRÁZEK 21: ROHOVÝ SPOJ S VLASTNÍM PEREM.....	33
OBRÁZEK 22: DESKOVÉ SPOJENÍ VLASTNÍM PEREM	34
OBRÁZEK 23: BORCENÍ DŘEVA	35
OBRÁZEK 24: TYPY SVLAKOVÝCH LIŠŤ	35
OBRÁZEK 25: ZPEVNĚNÍ SPÁROVEK OKRAJNICEMI	36
OBRÁZEK 26: DŘEVĚNÝ KOLÍK.....	36
OBRÁZEK 27: KOLÍKOVAČKA SCM – STARTECH 27	37
OBRÁZEK 28: A) REJSEK, B) VRTACÍ PŘÍPRAVEK	37
OBRÁZEK 29: DŘEVĚNÉ KOLÍKY	38
OBRÁZEK 30: ZPŮSOBY KOLÍKOVÁNÍ	39
OBRÁZEK 31: OTEVŘENÉ OZUBY	40
OBRÁZEK 32: B) RUČNÍ VYŘEZÁVÁNÍ OZUBŮ ZA POUŽITÍ A) SPEC. PŘÍPRAVKU.....	41

OBRÁZEK 33: DRUHY PER.....	42
OBRÁZEK 34: SPOJENÍ NA POKOS POMOCÍ PERA.....	43
OBRÁZEK 35: LAMELLO.....	43
OBRÁZEK 36: SPOJENÍ POMOCÍ ČOČKOVÉHO PERA.....	44
OBRÁZEK 37: PERO DOMINO.....	44
OBRÁZEK 38: HOFFMANNOVO PERO.....	45
OBRÁZEK 39:HOFFMANNOVO PERO – ZPŮSOBY POUŽITÍ.....	45
OBRÁZEK 40: VROUBKOVANÝ KOLÍK.....	46
OBRÁZEK 41: SPOJOVÁNÍ HŘEBÍKY.....	47
OBRÁZEK 42: DRUHY HŘEBÍKŮ.....	47
OBRÁZEK 43: ŠROUB SE ŠESTIHRANNOU HLAVOU A MATICÍ.....	48
OBRÁZEK 44: VNITŘNÍ MATICE.....	49
OBRÁZEK 45: TYPY MATIC:.....	49
OBRÁZEK 46: DRUHY ŠROUBŮ.....	50
OBRÁZEK 47: SPOJENÍ ŠROUBEM PRO PRACOVNÍ DESKY.....	51
OBRÁZEK 48: SPOJOVACÍ ŠROUB PRO PRACOVNÍ DESKY.....	51
OBRÁZEK 49: VRUT.....	52
OBRÁZEK 50: DRUHY VRUTŮ.....	52
OBRÁZEK 51: SILOVÉ PŮSOBENÍ VE SPOJI A JEHO PRINCIP.....	54
OBRÁZEK 52: ROHOVÝ SPOJ POMOCÍ EXCENTRU.....	54
OBRÁZEK 53: DRUHY EXCENTRŮ.....	55
OBRÁZEK 54: DRUHY KOLÍKŮ.....	55
OBRÁZEK 55: DRUHY MATIC.....	56
OBRÁZEK 56: TVARY SPONEK.....	56
OBRÁZEK 57: ROZTAVITELNÝ KOLÍK VE SPOJI.....	57
OBRÁZEK 58: SPOJE POMOCÍ DESTIČEK.....	58
OBRÁZEK 59: NASTAVOVACÍ SPOJ S ÚCHYTKOU.....	58
OBRÁZEK 60: OCELOVÝ ÚHELNÍK.....	58
OBRÁZEK 61: DRUHY NAMÁHÁNÍ.....	60
OBRÁZEK 62: OHYBOVÝ MOMENT V ÚHLOVÉ ROVINĚ.....	61
OBRÁZEK 63: TESTOVANÉ DŘEVINY.....	63
OBRÁZEK 64: SCHEMATICKÝ PAVOUK TESTOVANÝCH VZORKŮ.....	64
OBRÁZEK 65: KONSTRUKČNÍ SPOJE POMOCÍ DOMINO KOLÍKU.....	65
OBRÁZEK 66: FRÉZKA NA DOMINO KOLÍKY FESTOOL.....	65

OBRÁZEK 67: SPOJ DOMINO	66
OBRÁZEK 68: ROZMĚRY VZORKŮ	66
OBRÁZEK 69: POUŽITÁ LEPIDLA	67
OBRÁZEK 70: SMĚR LETOKRUHŮ NA VZORCÍCH.....	68
OBRÁZEK 71: ZNAČENÍ ZKUŠEBNÍCH VZORKŮ	69
OBRÁZEK 72: POPIS ZKRATEK NA VZORCÍCH	69
OBRÁZEK 73: ZKUŠEBNÍ STROJ UTS 50.....	70
OBRÁZEK 74: TIRA SOFTWARE	71
OBRÁZEK 75: DIGITÁLNÍ VÁHA KERN PCB–2500–2	73
OBRÁZEK 76: VÁŽENÍ VZORKŮ	73
OBRÁZEK 77: SCHÉMA TLAKOVÉ ZKOUŠKY	74
OBRÁZEK 78: SCHÉMA TAHOVÉ ZKOUŠKY	75

Seznam grafů

GRAF 1: UKÁZKA VÝSTUPU Z TIRA	71
GRAF 2: OBECNÝ DEFORMAČNÍ DIAGRAM	72
GRAF 3: ÚČINEK FAKTORU ODKLONU LETOKRUHU NA TUHOST SPOJE	83
GRAF 4: ÚČINEK FAKTORU (PRŮBĚH LETOKRUHU*DŘEVINA) NA TUHOST SPOJE	84
GRAF 5: ÚČINEK FAKTORU DRUH DŘEVINY MÁ VLIV NA TUHOST SPOJE	86
GRAF 6: ÚČINEK FAKTORU TYP NAMÁHÁNÍ MÁ VLIV NA TUHOST SPOJE.....	86
GRAF 7: ÚČINEK FAKTORU VELIKOSTI DOMINO KOLÍKU MÁ VLIV NA TUHOST SPOJE.....	87
GRAF 8: ÚČINEK FAKTORU TYPU LEPIDLA NEMÁ VLIV NA TUHOST SPOJE	87
GRAF 9: ÚČINEK DŘEVINA *TYP NAMÁHÁNÍ*VELIKOST DOMINO KOLÍKU	88
GRAF 10: ÚČINEK DŘEVINA *TYP NAMÁHÁNÍ*DRUH LEPIDLA	88
GRAF 11: ÚČINEK MAXIMÁLNÍ TUHOST*PRUŽNÁ TUHOST SPOJE.....	89
GRAF 12: ÚČINEK HUSTOTY*TUHOST SPOJE	90
GRAF 13: TAHOVÁ ZKOUŠKA, BK, PUR LEPIDLO, 12 MM DOMINO KOLÍK	91
GRAF 14 TLAKOVÁ ZKOUŠKA, SM, PUR LEPIDLO, 12 MM DOMINO KOLÍK	91
GRAF 15 TAHOVÁ ZKOUŠKA, BK, PUR LEPIDLO, 8 MM DOMINO KOLÍK	92
GRAF 16 TAHOVÁ ZKOUŠKA, SM, PUR LEPIDLO, 12 MM DOMINO KOLÍK	93
GRAF 17: TUHOST SPOJE ČEP-DLAB V ZÁVISLOSTI NA ŠÍŘCE ČEPU	94
GRAF 18: TUHOST SPOJE (ČEP/DLAB) V ZÁVISLOSTI NA DRUHU LEPIDLA	95
GRAF 19: TUHOST SPOJE (ČEP/DLAB) V ZÁVISLOSTI NA TYPU NAMÁHÁNÍ.....	96
GRAF 20: TUHOST SPOJE (ČEP/DLAB) V ZÁVISLOSTI NA PRŮBĚHU LETOKRUHŮ	96
GRAF 21: VLIV HUSTOTY DŘEVA NA TUHOST SPOJE (ČEP/DLAB).....	97
GRAF 22: TUHOST SPOJE (ČEP/DLAB) V ZÁVISLOSTI NA DRUHU DŘEVINY	98
GRAF 23: MAXIMÁLNÍ TUHOST SPOJŮ (OKENNÍHO RÁMU) V ZÁVISLOSTI NA PRUŽNÉ TUHOSTI	98

Seznam tabulek

TABULKA 1: ZÁKLADNÍ STATISTICKÉ ÚDAJE HUSTOTY A ELASTICKÉ TUHOSTI KONSTRUKČNÍHO SPOJE	81
TABULKA 2: PŘEHLED STATISTICKÝCH CHARAKTERISTIK HODNOTÍCÍCH VLIV JEDNOTLIVÝCH FAKTORŮ NA TUHOST SPOJE	82
TABULKA 3: PŘEHLED STATISTICKÝCH CHARAKTERISTIK HODNOTÍCÍCH VLIV JEDNOTLIVÝCH FAKTORŮ NA TUHOST SPOJE	83
TABULKA 4: PŘEHLED STATISTICKÝCH CHARAKTERISTIK HODNOTÍCÍCH VLIV JEDNOTLIVÝCH FAKTORŮ A JEJICH 2,3 A 4 FAKTOROVÝCH VZÁJEMNÝCH KOMBINACÍ NA TUHOST SPOJE	85
TABULKA 5: MOMENT SPOJE V ZÁVISLOSTI NA LEPIDLE (PVAc/PUR).....	95

Seznam zkratek a značek

BK – buk

SM – smrk

F – síla

φ – úhlová deformace

M – únosnost spoje

C – tuhost

\bar{X} – aritmetický průměr

S_0 – směrodatná odchylka

S^2 – rozptyl

V – variační koeficient

P – hladina významnosti

r – korelační koeficient lineární závislosti

F–test

MS – odchylka

SS – součet čtverců

1 Úvod

V dnešní době se používají různé materiály s různými vlastnostmi pro různé účely, avšak dřevo se používá v mnoha odvětvích už od nepaměti. Dřevo je přírodní, snadno dostupný materiál, má dobré estetické a mechanické vlastnosti, a proto se používá ke konstrukčním účelům, ať už v nábytkářství nebo stavebnictví. Má však uplatnění i v papírenském průmyslu, ve výrobě hraček a dalších předmětů a součástí. Nábytek je součástí našeho každodenního života a denního používání. Za jeho stavbu vděčíme především konstrukčnímu řešení rohových spojů. Aniž bychom si to uvědomovali, tak konstrukční spoje nábytku nás obklopují takřka všude. Pro výrobu konstrukčních spojů se používají materiály jako rostlé dřevo, plasty a kovy.

Na dřevěný nábytek je kladen důraz, aby byl co možná nejpevnější a nejstabilnější. V oblasti mechanických vlastností nábytku je nejčastěji posuzovaná jeho pevnost a tuhost. Pevnosti a tuhosti nábytkových konstrukcí se celosvětově věnuje značná pozornost. Nejkritičtějším místem konstrukcí nábytku jsou jeho spoje a z tohoto důvodu jsou často rozebírány v různých literaturách a odborných člácích. Poznatky z výzkumů se neustále rozšiřují a prohlubují. Výzkumy v oblasti konstrukčních prvků nábytku se zaměřují především na nosné prvky stolového a skříňového nábytku.

Výzkum této práce je tak zaměřený právě na pevnost a tuhost daného typu konstrukčního spoje nábytku. Zkoumáním těchto vlastností u konstrukce stolové nohy s luby při použití spojovacího prvku domino kolíku se otevírá možnost otestovat, zda má vliv typ lepidla, druh dřeviny či velikost domino kolíku. Díky výsledkům získaných z experimentálního výzkumu, se bude moci určit který typ lepidla (PVAc, PUR) a jaká tloušťka domino kolíku je v daném spoji nejvhodnější.

2 Cíl práce

Cílem diplomové práce bylo zjistit vliv vybraných faktorů:

- druh dřeviny - Smrk ztepilý (*Picea abies*/L./Karst.),
- Buk lesní (*Fagus sylvatica* L.),
- lepidlo - PVAc (AG-COLL 8761 D3),
- PUR (NEOPUR 2238 R),
- dimenze vloženého spojovacího prostředku (domino kolíku) - 8 mm,
-12 mm,

na pevnostní vlastnosti konstrukčního spoje a následně navrhnout správnou kombinaci z hlediska tuhosti spoje.

Sledované charakteristiky, byly:

- tuhost v tahu,
- tuhost spoje v tlaku.

Výsledky z měření budou sloužit jako podklad pro další měření a pomohou k reálné volbě správného použití ve výrobě nábytku.

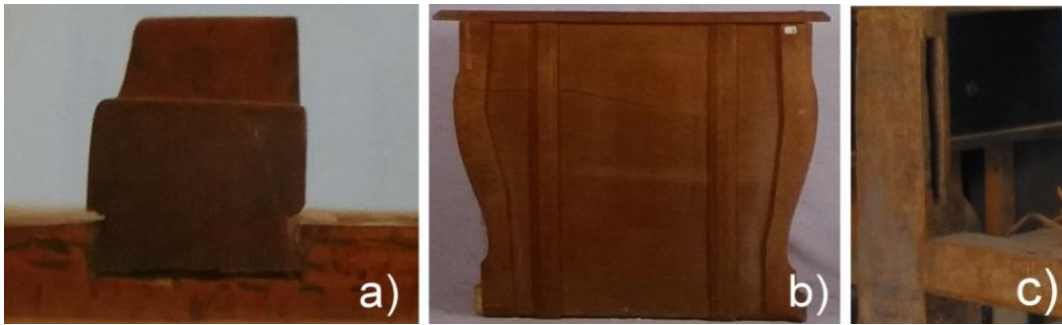
3 Literární poznatky k problematice konstrukčních spojů nábytku

V současné době používané spojovací prvky nábytku vychází již z dávné historie.

3.1 Konstrukční spoje nábytku v historii

Z historického hlediska nábytkové konstrukce neprocházeli plynulým vývojem, protože mnoho již známých konstrukčních způsobů bylo opuštěno a po čase opět objeveno. Dalším důvodem konstrukčních změn byly módní vlivy, kterým se nábytek vždy musel přizpůsobit.

Pevnost a konstrukce spoje je základ každé konstrukce nábytku. Podle účelu dané konstrukce jsou v každém spoji určité vazby a to adhezní, mechanické, nebo kombinované. Volba vhodné vazby závisela na účelu konstrukce a vlastností použitého dřeva. Dřevo podléhá objemovým změnám, a to ve všech třech řezech jinak a je třeba tyto změny u každého spoje respektovat. Proto již v minulosti zkušený truhlář dokázal rozeznat pravá a levá prkna (pravá strana je blíže ke středu a levá blíže k obvodu kmene) a proto se prkna sesazovala do prkenných desek tak, aby se střídala pravá strana prken s levou. Dalším předpokladem dobrého spoje je volba dřeva z pohledu stáří. Mladé (bělové) sesychá mnohem rychleji než jádrové. U volby spoje hraje významnou roli také orientace dřevních vláken. Přířezy s podélným řezem lze navzájem spojovat jednoduchými spoji, jako jsou např. **pero, drážka a kolíčky**. Spojení přířezu podélného řezu s přířezem příčného řezu se upřednostňuje **svlakový spoj, přeplátování nebo zápusťný čep**.



Obrázek 1: Typy spojů používaných v historii

a) svlakový spoj, b) zádová stěna skříně vyztužená svlakou, c) čepový spoj

(Zdroj: Losos, Ludvik str. 56,58)

Vzájemné spojení přířezů příčných řezů bylo prováděno za pomoci tzv. **motýlů** neboli (mašlí). Motýlový spoj se vyráběl tak, že do obou desek se vyřízl klínovitý zářez, do kterého se vložil spojovací prvek (motýlek). Symetricky vyříznutá křídla spojovacího prvku tvarem připomínají motýlka. K výrobě tohoto spojovacího prvku se nejčastěji používaly tvrdé a husté dřeviny jako např. habr, jasan nebo hruška.



Obrázek 2: motýlový spoj

(Zdroj: Losos, Ludvik str. 56)

Nejnáročnější spoje nábytku byly nárožní, které z pohledu pevnosti a tuhosti byly namáhány nejvíce, zejména pak u sedacího a lehacího nábytku. Používaly se zde spoje **čepové** a **kolíčkové**.

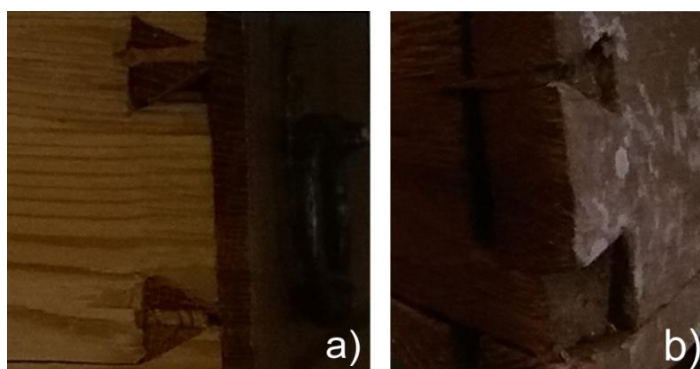


Obrázek 3: Příklad užití kolíčkového spoje

a) kolíčkový spoj, b) příklad užití

(Zdroj: Losos, Ludvik str. 58,59)

U spojů s menším namáháním např. zásuvek, skříní nebo truhel se v pozdější době začali užívat **ozubové spoje**. Používaly se ozuby rovné nebo klínovité (rybinové) ozuby.



Obrázek 4: Příklad užití rybinového spoje

a) polokrytý rybinový spoj jištěný klíny b) rybinový spoj nekrytý

(Zdroj: Losos, Ludvik str. 58,59)

Z hlediska historického nelze určit, který spoj byl nejstarší. Můžeme však předpokládat, že inspirací spojů nábytku, byly spoje tesařské. Pak bychom mohli říci, že mezi nejstarší spoje patří **přeplátování, kolíkové spoje, spoj na pero a drážku a čepové spoje**. Těmito spoji byly vyráběny rámové konstrukce. Rámy byly opatřeny drážky a výplně byly v těchto drážkách volně zasunuty.

Až v pozdější době se objevily propracovanější spoje jako např. spoje na **ozuby** (kryté, polokryté), jejich varianty v podobě **rybinových spojů** a **svlakové spoje**.

Adhezní vazby vytvořené za pomoci lepidla jsou taktéž velmi staré. Používali se při výrobě spárovky, kdy se natupo lepily prkna k sobě. Nejstarší typy lepidel jsou

klihy živočišného původu, pryskyřice a klovatiny. Kaseinová lepidla byl známá už ve starověku (Losos, 2013).

Z historického hlediska můžeme používané konstrukční spoje nábytku rozdělit do několika období. Pro názornost je zde uvedeno několik typů vyráběných nábytků v jednotlivých obdobích.

3.2 Používané konstrukční spoje nábytku v jednotlivých obdobích

3.2.1 Starověký nábytek 4000 př. n. l. – 1600 n. l.

Pouze vyšší vrstvy používaly dřevěný nábytek, jako byly truhly, sedací nábytek a lehátka. Dřevěný nábytek byl zkonstruován dnes již známými spojovacími prvky, jako jsou **drážky**, **čepy** a **kolíky**. U honosnějšího nábytku byly často nohy umělecky vyřezány do tvaru zvířecích prack (Wöhrlin, 2008).



Obrázek 5: Egypťská židle

(Zdroj: www.svet-bydleni.cz)

Po období starověku následovalo další důležité období, a to středověk.

3.2.2 Středověký nábytek 6. – 15. století

Typickým nábytkem středověku jsou truhly. Nejstarší dochovaným kusem nábytku z období středověku je truhla z Terraciny. Truhla je vyrobena z dřevěných desek a jako konstrukční spoj zde bylo použito pero s drážkou (Losos, Ludvik 2013).



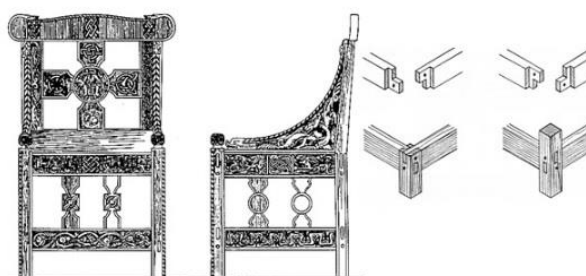
Obrázek 6: Truhla z Terraciny 8 stol. n. l.

(Zdroj: Losos, Ludvik, str.63)

Doba románská

Už v době románské (10. – 13.století), kdy byla prkna osekávaná širočinou, vznikly první spárovky a byly použity kovové spojovací prvky. Z počátku však byl nábytek hrubě opracován nevyspělými řemeslníky a jejich nedokonalými nástroji. Ke konci doby byl nábytek vyrobený z otesaných prken a začali se objevovat první spárované konstrukce. Konstrukční desky byly z počátku spojovány kovovými pásy. Desky často zakrývali nepřesné opracování. Jedny z prvních spojů byly čepy a polodrážky. Pro zpevnění těchto spojů byly používány navíc hřebíky.

Na konci románské doby, řemeslníci dokázali vyhotovit přesné konstrukce spojovány za pomoci čepů a hranatých kolíků (www.n-i-s.cz).



Obrázek 7: Románská židle, čep s kolíkem

(Zdroj: www.n-i-s.cz)

Desítky ve tvaru X (dnes známých jako Hoffmanova rybina) byly zapuštěny do plochy spárovky. Pro zajištění rovinnosti plochy byly použity přibíjené lišty. Později se začali používat svlakové lišty. Začaly se objevovat truhlářské konstrukce a

standardní spoje. Spojování nábytku bylo za pomoci kolíčků, ozubů, svlaků, čepů, drážek a per. Jako pojivo se začal používat klich, který vznikl z odpadu pergamenu a po rozvažení zvířecích kůží (www.n-i-s.cz, Wöhrlin, 2008).

Gotika

Gotika je umělecký sloh, který navazuje na románský. Začal se objevovat od poloviny 12 století a končil počátky 16.století. Psal se rok 1245, kdy byla zakreslena vodní pila na dřevo. Pohyb pily byl pomocí dřevěného palcového převodu. Prkna byla zkracována ruční pilou většinou na kozách. Konstrukce nábytku byla zhotovena ze štípaných prken a sloupků. V menších městech si často nábytek měšťané vyráběli sami. Do výbavy tehdejších truhláren neodmyslitelně patřily dláta, škrabky, vrtáky, pilky, hoblíky i soustruhy. Řezaná prkna jako dílec nábytku byl nahrazen **spárovkou**.



Obrázek 8: Nábytek vyráběný v období gotiky

a) gotická lavice, b) pracovní (schránkový) stůl

(Zdroj: a) www.jizerske-vyrobky.cz,b) Wöhrlin, str. 65)

Po období středověku následovalo další období, a to novověku, které sahá až do současnosti.

3.2.3 Novověk 14. století – současnost

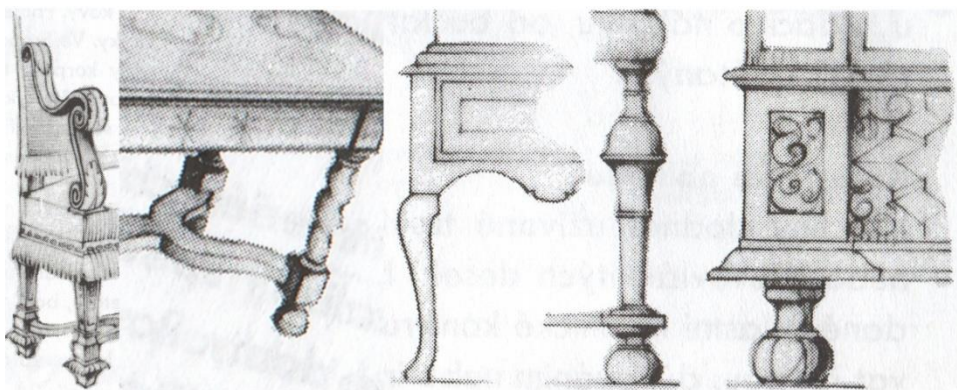
Renesance

V renesančním období od 14. do 17. století bylo nábytku více druhů podle účelu požití: zásuvkové skříně, sekretáře, kabinety atd. V tomto období byl nábytek mnohem více zdobený než v gotice. Konstrukce nábytku byla nejčastěji rámová.

Byla často vyráběna z měkkého dřeva, protože bylo považováno za dřevo s menšími objemovými změnami. Kostra nábytku tak byla nosný stabilní prvek. Jako drobný nábytek se začali vyrábět šperkovnice se zásuvkami. Šperkovnice často neměly rámy a konstrukce byla tvořena silnými deskami, které se spojovaly natupo. Jindy se používaly jako konstrukční prvky šperkovnic ozuby a kolíčky. Šperkovnice byly často bohatě zdobeny intarziemi. Čela zásuvek byly často zdobeny i jinými materiály, jako například mramor. Skromnější šperkovnice byly zdobeny rytou kosití a malbou. Tyto ozdoby potřebovali zesílená čela zásuvek se spojením v rozích na ozuby buď na celo kryté, nebo polokryté. Konstrukce tohoto nábytku byla tvořena korpusem z měkkého smrkového, nebo jedlového dřeva. Obklad korpusu byl vyroben z desek z tvrdého dřeva (Losos, Ludvik 2013; Wöhrlin, 2008).

Baroko

V 17. – 18.století byla hlavním nábytkem reprezentační skříň až 3 metry vysoká. Jako sedací nábytek byly vyráběny židle s velkým opěradlem. Objevovalo se čalounění nábytku. Konstrukce podstavy byla pokaždé stejná, odlišovala se jen ornamentálním tvarem. Nohy se spojovaly pár centimetrů nad podlahou diagonálně trnožemi. Stejně jako židle měli i stoly překřížené trnože. Dodnes všechny truhlářské postupy (kromě dřevovláknitých desek a překližek) byly již používány. Konstrukční spoje nábytku byly skrývány řezbou, intarziemi nebo dýchováním.

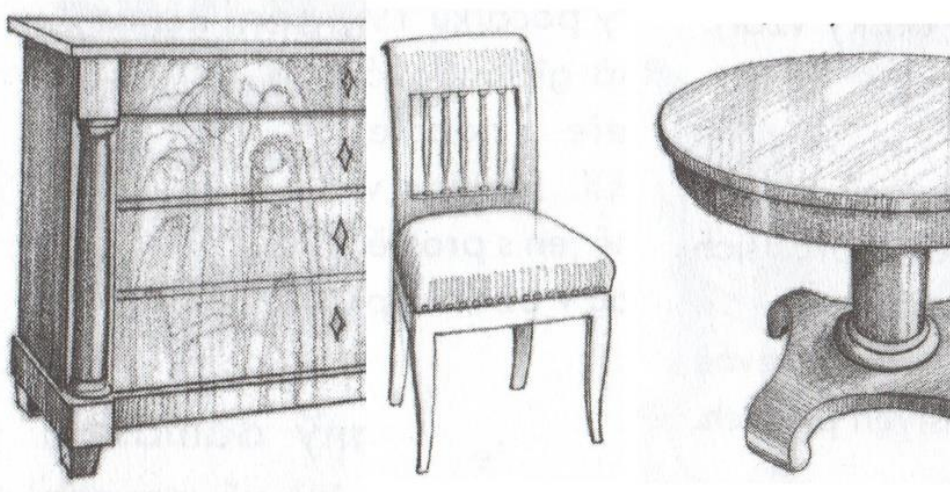


Obrázek 9: Konstrukce nábytku – Baroko

(Zdroj: Wöhrlin, str. 87,89)

Klasicismus

Konstrukčně byly upřednostňovány klidné, hladké plochy, které byly zdobeny kresbou dýhových obrazců. Používali se ručně vyrobené dýhy nejčastěji z ořechu, jabloni nebo třešně. Ani v tomto období nebyla známá výroba laťových desek a překližek. Proto byly vyráběny rámové konstrukce a výplně byly spojeny k rámu. Konečným dýhováním bylo docíleno hladké rovné plochy.



Obrázek 10: Konstrukce nábytku – Klasicismus

(Zdroj: Wöhrlin, str. 114,115)

Historismus

Období 1850–1910, kdy stroje dokázali vyrábět loupané dýhy, a truhlářské řemeslo dostalo díky strojům nové možnosti. V tomto období byla objevena výroba překližek. Díky technickým novinkám pracovaly továrny na nábytek mnohem účelněji. Výroba byla levnější a nábytek se dostával mezi širokou veřejnost. V 19. století Michael Thonet, jako výrobce sedacího nábytku se již zabýval ohýbáním dřeva a jeho lepením. Z takovýchto polotovarů vyráběl nový typ nábytku. Jeden z nejznámějších typů byla židle č. 14 z roku 1851. Jednalo se o dobře montovatelnou a balitelnou židli se sedákem z výpletu nebo překližky, která se vyrábí do dnešní doby.



Obrázek 11: Židle Thonet č 14

(Zdroj: www.earch.cz)

Mezinárodní sloh od poloviny 20.století

Nová představa o bydlení, co doposud bylo považováno za komplexní jednotku, se od této doby rozdělilo na jednotlivé funkce: Spaní, odpočinek, jídlo, práce apod. Univerzálně používaný nábytek nahradil nábytek vestavěný s danou funkcí: skříňové stěny, pracovní kouty, vestavěné kuchyně, sedací soupravy atd. K těmto změnám přibýly nové materiály: dřevovláknité desky, profily a desky ze syntetických materiálů, laminované desky. I povrchové úpravy vznikly nové, např. polyuretanové, polyesterové atd.

V předchozí části práce byl uveden pouze základní přehled historického vývoje konstrukcí nábytku.

V další části je uveden přehled nejpoužívanějších konstrukčních řešení spojování nábytku.

4 Konstrukční spojování dílců

Jednotlivé dílce ze dřeva a dřevních materiálů jsou spojovány do nábytkových a stavebně truhlářských konstrukcí za pomoci lepidla nebo na sucho. Kvalita a přesné provedení spoje je důležité pro pevnost a tuhost celé konstrukce (Křupalová, 2000).

Lepené spoje tlumí vibrace v konstrukci a zvyšují její tuhost, a proto se používají u spojů, na které jsou kladeny náročné požadavky na jejich pevnost, nosnost a trvanlivost (Osten, 1996).

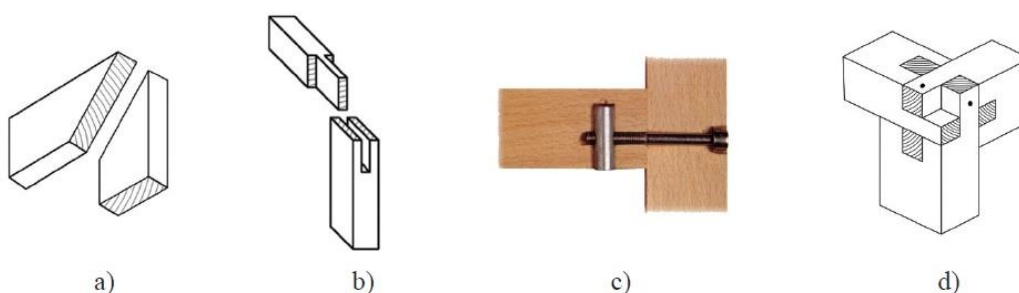
4.1 Klasifikace konstrukčních spojů

Použitý spojovací prostředek

- lepené spoje – spoj vytvořený lepením nebo s použitím prvků (kolíky, pera, lamely). Jedná se o nerozebíratelný spoj.
- nelepené spoje – tento typ spoje je vytvořen pomocí spojovacích prvků (hřebíky, šrouby, vruty apod.). Jedná se o rozebíratelný spoj (Křupalová, 2000).

Konstrukční spoje nábytku lze rozdělit dle spojovacího prostředku:

- bez použití spojovacího prostředku,
- spojování dílců bez průniku prvků – spojení pomocí lepidla (spoj na pokos), obr. 12 a),
- spojování dílců s průnikem prvků – spojení s použitím lepidla nebo bez lepidla (čepovací spoje, přeplátování dílců apod.), obr. 12 b) s použitím spojovacího prostředku,
- spojování dílců bez průniku prvků – spojení pomocí lepidla (šroub do dřeva, šroub s válcovou maticí apod.), obr. 12 c),
- spojování dílců s průnikem prvků – (čep a průběžný dlab včetně fixačních kolíků apod. obr. 12 d) (Joščák a kol. 2014, Zoufalý 2016).



Obrázek 12: Klasifikace konstrukčních spojů

(Zdroj: Joščák a kol. 2014, str. 62)

Způsob spojování

- plošné spoje – používají se pro prodloužení nebo rozšíření materiálu (obklady stěn, spárovky, nekonečný vlys),

-
- rámové spoje – spoje používané ve vlysech (rám dveří, okenní rámy apod.),
 - rohové spoje plošných dílců – spojení konstrukčních desek do dílců (korpusy skříní, zásuvky apod.) (Křupalová, 2000).

4.2 Lepené spoje

4.2.1 Lepidla používaná ve dřevařství

Lepidla tvoří širokou a chemicky různorodou odvětví materiálu a můžeme je tedy rozdělit do několika kategorií. Nejčastěji užívané dělení je podle suroviny, ze které byly vyrobeny:

Organická lepidla

- lepidla z přírodních látek:
 - rostlinná (mouky, škroby, pektiny, dextriny, gummy, rostlinné bílkoviny, přírodní kaučuk, deriváty celulózy, přírodní pryskyřice),
 - živočišná glutinové klihy, lepidla albuminová a kaseinová.
- lepidla syntetická:
 - reaktoplastická (fenolformaldehydová, melaminformaldehydová, rezorcinformaldehydová, xylenoformaldehydová, močovinoformaldehydová, fenolkresolformaldehydová, epoxidová), polyesterová, polyuretanová,
 - termoplastická (etylenvinylacetátová, polyvinylacetátová, polyvinylchloridová, polyakrylátová, polyuretanová, polyamidová),
 - rozpouštědlová (disperzní na bázi syntetického kaučuku, nebo roztoková).

Anorganická lepidla

- minerální pojiva (vodní sklo, sádra, cement).

Níže jsou popsána lepidla použita v experimentálním měření.

PUR lepidla

Jsou buďto jedno složková, nebo dvou složková. Jednosložková jsou termoplastická, dvousložková jsou reaktoplastická. Dvousložková lepidla obsahují isokianát a polyesterovou pryskyřici. Tyto lepidla vynikají výbornou pevností, pružností a dobře odolávají dynamickému namáhání. Jsou odolné vůči vlhkosti a povětrnostním vlivům. Používají se na lepení dřeva, plastu, kovu, pryží atd. mohou lepit i dva různé materiály.

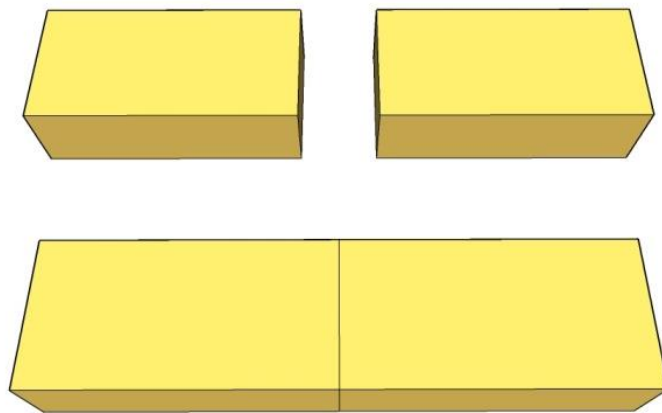
PVAc lepidla

PVAc lepidlo se vyrábí jako vodná disperze PVAc pryskyřice. Mají dobrou adhezi k různým materiálům, avšak nejčastěji se používají pro lepení dřeva převážně k montážnímu lepení. Odolává teplotě kolem 50 °C. Viskozita lepidla je poměrně malá (sušina cca. 50%), lze je tedy používat bez jakékoli úpravy. Vytvrzení je fyzikální cestou (voda z disperze) (Křupalová, 2004).

4.2.2 Spoj natupo

Spojení způsobem tzv. “natupo“ se rozumí přiložení konstrukčních prvků s rovnými plochy k sobě. Konstrukční spoje natupo, mohou být trojího typu – na délku, na šířku a na tloušťku.

V případě **délkového spojení** natupo, desek, či vlysů, se nejčastěji používá ještě s kombinací dalších mechanických spojovacích prostředků, jako např. kolíky, sponky apod. Podmínkou těsného spojení vlysů na sebe, musí být čela vlysů hladce řezány do přesného pravého úhlu (Křupalová, 2000; Joščák a kol. 2014, Zoufalý, 2016).



Obrázek 13: Délkové spojení na tupo

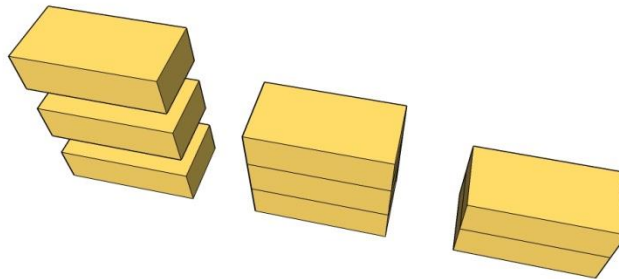
Šířkové spojení nejčastěji využíváme při výrobě spárovek, kdy se právě bočními plochami k sobě spojují jednotlivé přířezy řeziva. Spárovka je konstrukční deska, která se vyrábí z rostlého dřeva, a proto si zachovává jeho fyzikální a mechanické vlastnosti.



Obrázek 14: Šířkové lepení na tupo (spárovka)

(Zdroj: www.mojedilo.ireceptar.cz)

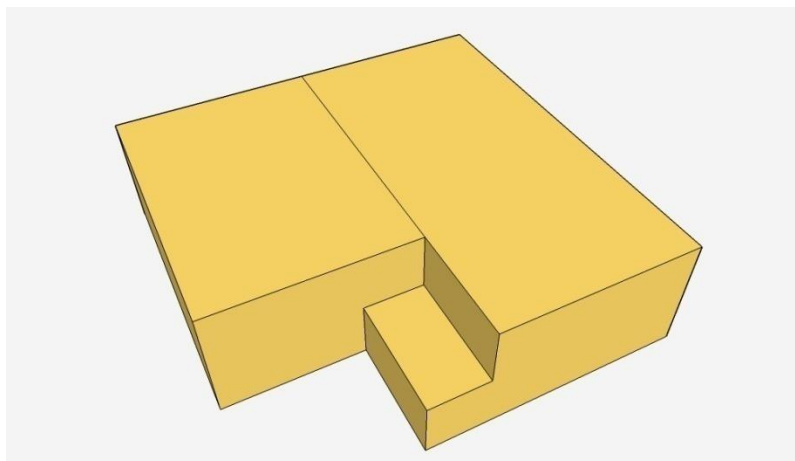
Tloušťkové napojení se často využívá při výrobě konstrukčních dřev. Spojení dvou nebo tří prvků z rostlého dřeva vznikají KVH (KonstruktionsvollHolz) hranoly (duo, trio) (Jelínek, Lubomír a Petr ČERVENÝ, 2012).



Obrázek 15: Tloušťkové napojení na tupo

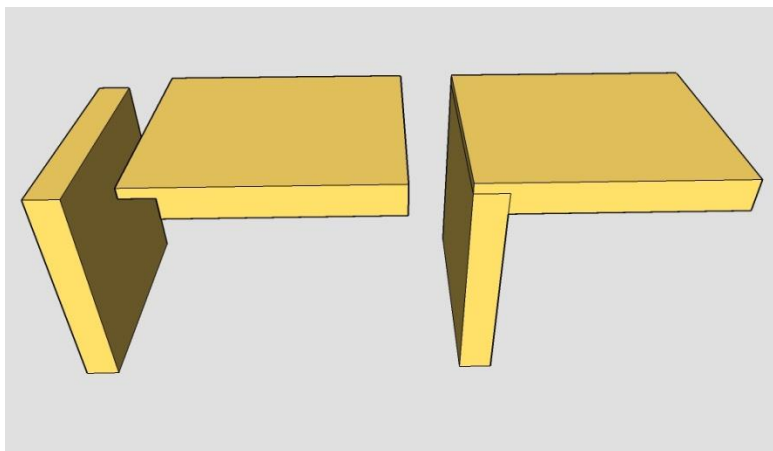
4.2.3 Spojení na polodrážku

Spojení na polodrážku vzniká vyfrézováním alespoň do jednoho dílce polodrážku. Pro větší pevnost spoje můžou být použity hřebíky, kolíky, šrouby, nebo sponky. Obr. 16 zobrazuje šířkové napojení konstrukčních prvků.



Obrázek 16: Spojení na polodrážku

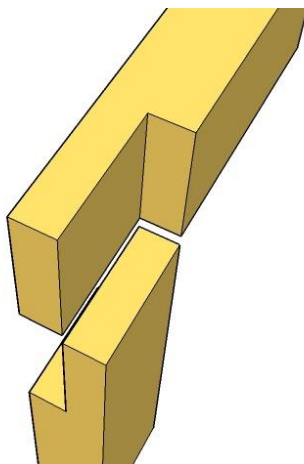
Takovýmto způsobem lze provádět i napojení rohové. Jedna z nejdůležitějších částí je tloušťka překrytí (Jelínek, Lubomír a Petr ČERVENÝ, 2012).



Obrázek 17: Podélné napojení polodrážkou

4.2.4 Překlátování

Jedná se o spoj vytvořený odebráním materiálu do poloviny tloušťky konstrukčního prvku. Pro výrobu rámu se jedná o ten nejjednodušší způsob rohového napojení. Zpravidla se tento způsob užívá v případech, kdy rám bude oplášťovaný, nebo u slabých rámu (např. okenní síť proti hmyzu). Tento spoj nesnese příliš velké namáhání, protože jeho pevnost je velmi malá. Pro větší zpevnění se často používají hřebíky. Nejčastěji se používají čtyři hřebíky v různých výškách. Pro ještě větší pevnost se doporučuje použít delší hřebíky, než je tloušťka prvku a na zadní straně ohnout jejich hroty (Křupalová, 2000; Joščák a kol. 2014, Zoufalý 2016).



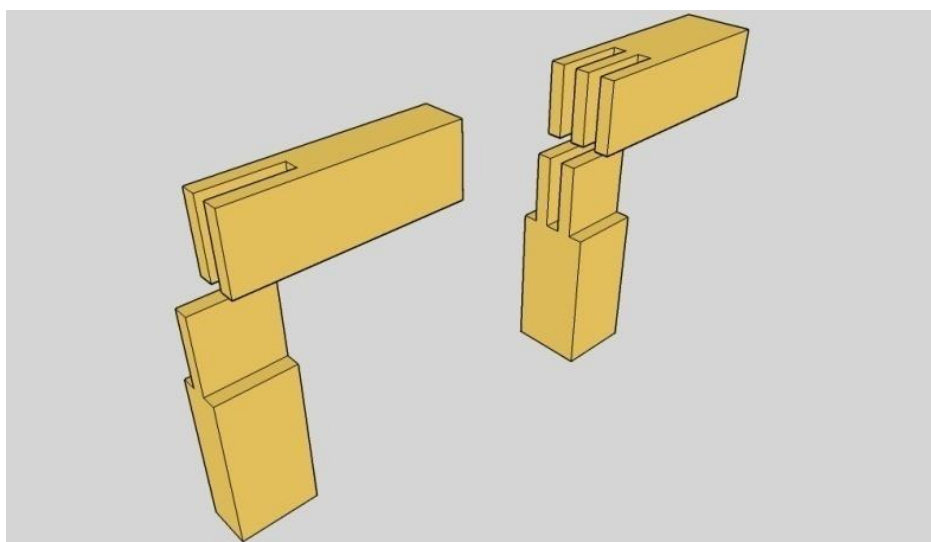
Obrázek 18: Překlátování

4.2.5 Čepové spoje

Čepový spoj, je spoj vzniklý tak, že jeden konstrukční prvek je opatřen čepem, a druhý dlabem nebo rozporem. Tvar čepu musí být přizpůsobivý tvaru dlabu nebo rozporu. Čep i dlab je ukončující útvar konstrukčního prvku, který slouží jako vytvořený spoj.

4.2.6 Čep a rozpor

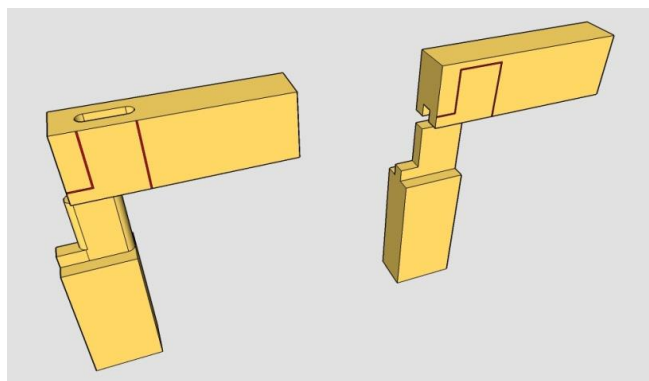
Jedná se o spojení dvou prvků, z nichž jeden je opatřen čepem a druhý rozporem. Pro větší pevnost spoje může být rozpor a čep dvojitý. Jednoduchý čep a rozpor je rozdělen na třetiny tloušťky vlysu. U dvojitého na pětiny tloušťky vlysu (Křupalová, 2000; Joščák a kol. 2014, Zoufalý 2016).



Obrázek 19: Čep a rozpor

4.2.7 Čep a dlab

Výroba spoje je obdobná jako u spojení na čep a rozpor, ale dlab neprochází do čela vlysu, vytváří se jako otvor. Pro dosažení co největší pevnosti se volí délka čepu co nejdelší. Délka čepu může být stejná jako šířka vlysu, čep je pak viditelný na vnější straně rámu. Protože dochází k sesychání dřeva, mohou tak vzniknout viditelné spáry. Lze však do čela čepu natlouct klíny a tím se spáry eliminují. Šířka čepu se nejčastěji volí jako dvě třetiny šířky vlysu. Čep může mít osazení tvořící pero, které je v drážce a ukončuje ho čelní konec vlysu.

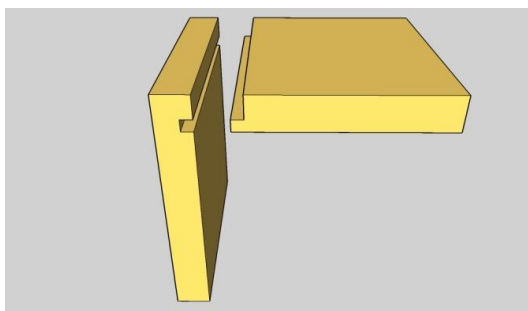


Obrázek 20: Čep a dlab

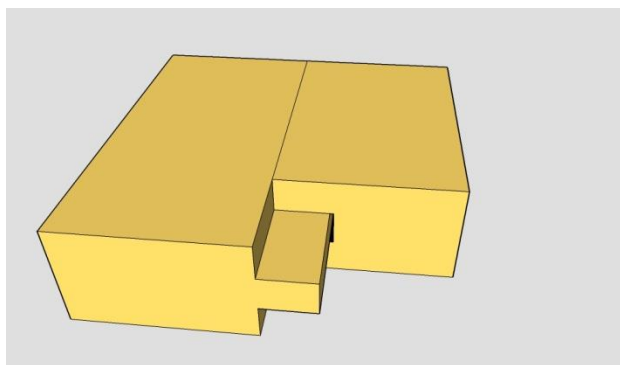
Pero slouží pro větší lepenou styčnou plochu a tím se zvětší pevnost celého spoje. Drážka pro pero je o 1 mm hlubší než délka pera. Je-li z estetických důvodů potřeba vytvořit spoj s neviditelným čepem, volí se hloubka dlabu tak, aby zbývalo co nejmenší krytí na opačné straně vlysu. Toto spojení se často používá ke spojení nohou s luby u stolového či sedacího nábytku. I při velkém namáhání zajišťují tyto spoje velkou pevnost i tuhost celé konstrukce. Spojení nohou a lubů se například zhotovuje tak, že dlaby jsou prováděny z obou stran nohy, čela čepů jsou seříznuta na pokos, aby se dosáhlo co nejdelšího čepu (Křupalová, 2000).

4.2.8 Vlastní pero

Spojení na vlastní pero a drážku jsou zhotoveny tak, že jeden dílec má vlastní pero a druhý má přesnou drážku pro pero. Hloubka drážky se volí o 1 mm větší, než je šířka pera. Rozměry se stanovují tak, že šířka drážky pro pero je třetina tloušťky přířezu, hloubka pak polovině tloušťky. Tento typ spoje se nejčastěji používá při spojování desek pro rozšíření, ale i pro úhlové spojení. Mohou se však použít i pro spojení vlysů nebo napojení vlysu na desku. Nejčastější použití je při obkládání stropů a stěn, u dveřních křídel a palubek (Křupalová, 2000).



Obrázek 21: Rohový spoj s vlastním perem



Obrázek 22: Deskové spojení vlastním perem

4.2.9 Svlačky

Svlak je dřevěná lišta umístěna v rybinové drážce, která je vyfrézovaná kolmo na směr vláken v ploše desky. Jedná se o tvarovou stabilitu masivních desek (spárovek), zabráněním tak nežádoucím změnám. Svlačkové lišty umožňují šířkové změny desky vlivem bobtnání a sesychání. Svlačkové lišty se mohou k desce lepit, nebo šroubovat. Lepení, nebo šroubování se provádí pouze z jedné strany nebo uprostřed, aby sesychání příp. bobtnání mohlo probíhat volně. Svlačkové lišty zajišťují spárovku proti borcení, zvyšují pevnost a celkově ji vyztužují. Tvarové změny probíhají v důsledku změny vlhkosti prostředí, ve kterém se spárovky nachází. Svlačkové lišty se dají charakterizovat jako spojení pomocí drážky a pera. Počet svlačkových lišt se volí podle velikosti spárovky. Vzdálenost od čela spárovky se volí 50 mm. Takto vyztužené spárovky se mohou použít na stolové desky, dveře atd.

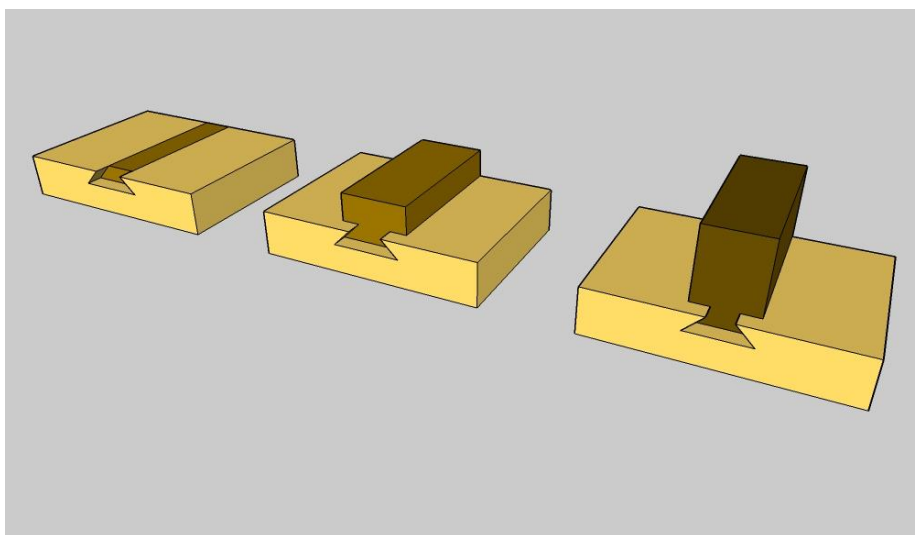
Svlačky se rozlišují na ležaté (nízké) a stojaté (vysoké):

- Stojaté svlačky jsou na výšku a jsou úzké stavby. Nejčastěji se stojaté svlačky používají na vodorovně umístěné spárovky. Takto zpevněná spárovka má vyšší pevnost v ohybu.
- Ležaté svlačky jsou zase uloženy na ležato, mohou být i zapuštěny do desky. Tyto svlačky se používají především na spárovky použité ve svislé poloze, jako jsou např. dveře skříní apod. V těchto případech by stojatý svlak překážel. Letokruhy ležatého svlaku by měly být co nejkolmější k ploše svlaku (radiálně), aby bylo sesychání co nejmenší. Pokud by se svlačky vyrobily z tangenciálního dřeva, bylo by sesychání na šířku velké a svlak by se mohl v drážce uvolnit.



Obrázek 23: Borcení dřeva

(Zdroj: www.vsb.cz)

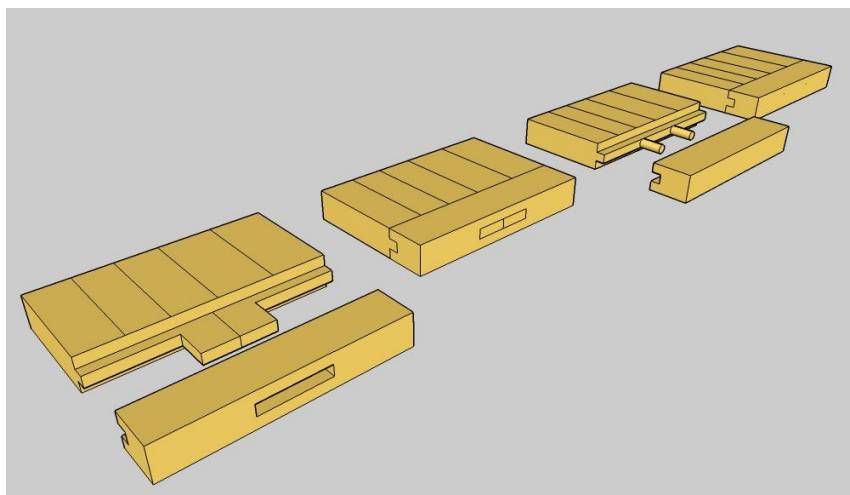


Obrázek 24: Typy svlakových lišt

Průřez svlaku má úkos do tvaru pravidelného lichoběžníku (Křupalová, 2000; Joščák a kol. 2014, Zoufalý 2016).

4.2.10 Okrajnice

Okrajnice je lišta z rostlého dřeva připevněná na čele, kolmo k vláknům spárovky. Stejně jako svlaky umožňují i okrajnice měnit šířku desky vlivem sesychání a bobtnání. Materiál pro výrobu okrajnice je nejčastěji tvrdé masivní dřevo a připevňuje se pomocí pera a drážky. Pero se vytváří na čele spárovky, drážka pak v liště. V prostřední části může být pero zvětšeno do čepu, nebo se mohou použít dřevěné kolíky. Okrajnice se nejčastěji používají u válů, kuchyňských desek apod.



Obrázek 25: Zpevnění spárovek okrajnicemi

4.2.11 Spojení pomocí vlepěných kolíků

Spojení pomocí kolíků patří k těm nejčastějším způsobům konstrukčního napojování.



Obrázek 26: Dřevěný kolík

(Zdroj: www.gola-sada-tona.cz)

Důvodem nejčastějšího použití pro spojování pomocí kolíků je jednoduchá výroba, malá pracnost a velká pevnost. Dalším důvodem je nezeslabení spojovaného materiálu. Obzvláště pak u materiálů DTD.

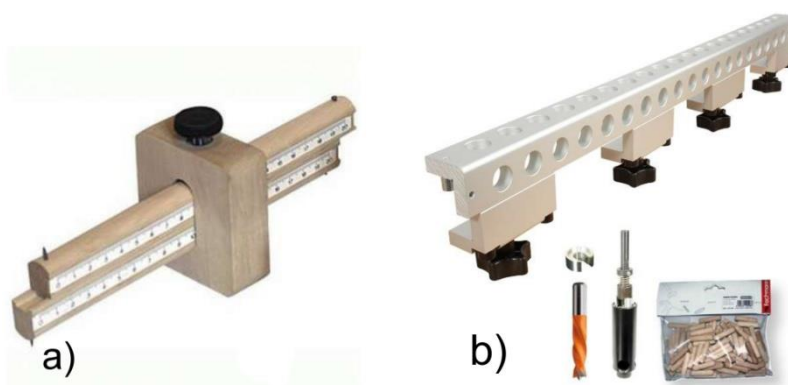
Kolíkové spoje se nejčastěji používají v sériové výrobě. V sériové výrobě lze použít kolíkovací stroj, může být vybaven i automatickou zarážecí kolíků (Křupalová, 2000; Josten, Reiche, Wittchen, 2011).



Obrázek 27: Kolíkovačka SCM – STARTECH 27

(Zdroj: www.maxihobby.cz)

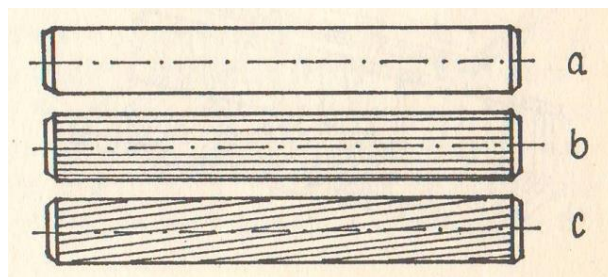
Místa vrtání v nesériové výrobě jsou označována rejskem. Častěji se však používají šablony nebo již zmíněny kolíkovačky (Josten, Reiche, Wittchen, 2011).



Obrázek 28: a) rejssek, b) vrtací přípravek

(Zdroj: www.igm.cz; www.rr-naradi.cz)

Nejčastěji se kolíky vyrábí z tvrdého dřeva, a to z buku. Povrch kolíků je hladký, nebo častěji rýhovaný. Rýhy na kolíku mohou být buďto podélné nebo spirálové. Kolíky s rýhami umožňují únik vzduchu při zatlačování kolíků do otvoru. Další výhodou je snadnější vztlínání lepidla v rýhách vzhůru do celé plochy kolíku. Do vyvrtaného otvoru se nanáší lepidlo a následně se zaráží kolíky pryžovou paličkou.



Obrázek 29: Dřevěné kolíky

(Zdroj: Křupalová 2000, str. 53)

Pevnost spoje je závislá na:

- a) vlhkosti kolíků a dílců,
- b) těsností spojení,
- c) rozměrech kolíků,
- d) počtu kolíků ve spoji (Křupalová, 2000).

Vlhkost dílců a kolíků

Vlhkost kolíků by měla být stejná jako spojované dílce nebo menší o 1 % – 2 %. Menší proto, že kolíky přijímají vodu z lepidla a vlhkost kolíků se tak zvýší na hodnotu vlhkosti dílců. Pokud mají kolíky naopak vlhkost vyšší než spojované dílce, hrozí riziko, že kolíky po vyrovnání vlhkosti seschnou a spoj ztratí svou pevnost.

Těsnost spojení

Aby jednotlivé dílce spojované pomocí kolíků na sebe těsně dosedli, je třeba, aby vrtané otvory, jak do plochy, tak do čela dílce, byly o 1 mm hlubší, než je délka kolíků. Odborně se této vůli říká technologická spára.

Rozměry kolíků

Podle tloušťky spojovaného dílce se volí vhodný průměr kolíků. Ke spojování dílců do tloušťky 16 mm používáme kolíky o průměru 6 mm. Pro dílce s tloušťkou od 16 do 19 mm se volí kolíky o průměru 8 mm. Pro dílce s tloušťkou nad 19 mm a více namáhané spoje se volí kolíky o průměru 10 a 12 mm.

Délka kolíků má být z pravidla co možná největší. Bývá asi pětinasobek průměru nebo 2 až 2,5 násobek tloušťky dílce (Křupalová, 2000; Nutsch, 2012).

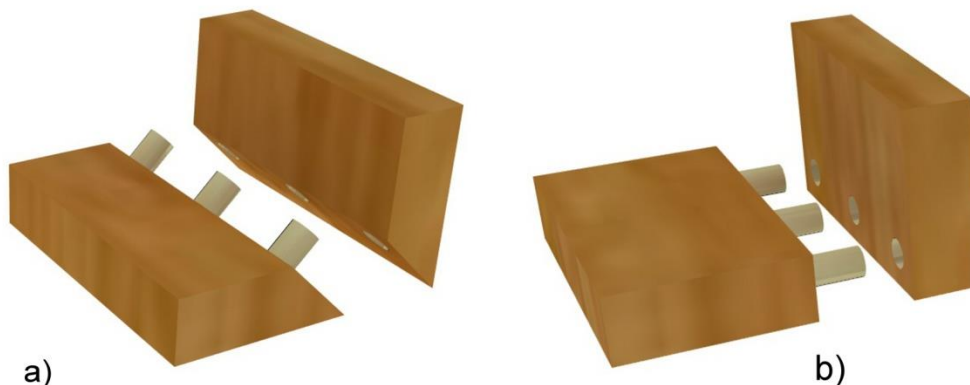
Počet kolíků ve spoji

Počet kolíků se volí podle velikosti dílců a namáhání celého spoje.

Způsoby použití

Kolíkování korpusů

- a) Kolíkování natupo – spojením tzv. natupo se mohou kolíkovat půdy a dna s boky korpusu. Osová vzdálenost kolíků od sebe je z pravidla 32 mm.
- b) Kolíkování na pokos – v případě seříznutých rohových spojů na pokos se používají buď rovné nebo častěji úhlové kolíky. V případě použití rovných kolíků, jsou otvory vrtány kolmo na plochu pokosového řezu. Polohu kolíku v tomto případě je vhodné volit co nejvíce k vnitřní hraně pokosu z důvodu využití délky kolíků.



Obrázek 30: Způsoby kolíkování

a) kolíkování na pokos, b) kolíkování natupo

Kolíkování vlysů

Postup výroby

Základem kolíkového spoje je připravit spoj natupo, tzn. příprava přířezů s přesným rozměrem. Dalším krokem je vrtání otvorů, přičemž poloha, průměr a počet otvorů odpovídá spojovaným dílům. Následně pak spojit oba díly k sobě (Bridgewater, 1944).

4.2.12 Spojení na ozuby

Ozubový spoj patří mezi nejstarší truhlářské spoje vůbec. Tímto spojem se spojují pouze desky z masivního dřeva. Jednotlivé dílce spojené tímto spojem mohou bobtnat i sesychat, a přitom nedochází k velkému borcení. Precizně provedené ozuby dávají výrobku masivní charakter a často dělají i dekorativní prvek výrobku. Při výrobě odpadá stahování, protože ozubový spoj je samosvorný. Podle tvaru můžeme rozlišit ozuby do dvou skupin na rybinové ozuby a přímé ozuby.

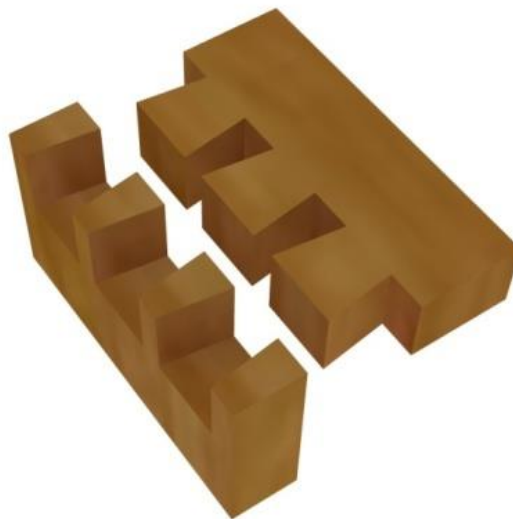
Rybinové ozuby

Rybinové ozuby jsou zešíkmené z obou stran na 75° – 80° . Rybinové ozuby mohou být otevřené, polokryté a celokryté.

Otevřené ozuby – u otevřených ozubů jsou spojovací elementy viditelné z obou stran spoje. Tloušťka dílce se rovná délce ozubu. Prostřední šířka ozubu je stejná jako tloušťka spojovaného dílce. Mezery ozubů mají být 1,5 až 2 krát větší než tloušťka dílce.

Polokryté ozuby – jejich použití se uplatňuje v místech, kde spoj nemá být viditelný z jedné strany. Polokryté ozuby se používají kupříkladu na zásuvkách pro spojení čela zásuvky s bokem. Síla neproříznuté části s neviditelnou stranou má být alespoň jedna čtvrtina až jedna třetina tloušťky dílce.

Celokryté ozuby – tento spoj není viditelný z žádné strany. „Krytí ozubů tvoří na obou dílcích jednu čtvrtinu až jednu třetinu tloušťky desky a je zkosené pod úhlem 45° (na pokos)“ (Křupalová, 2000,).

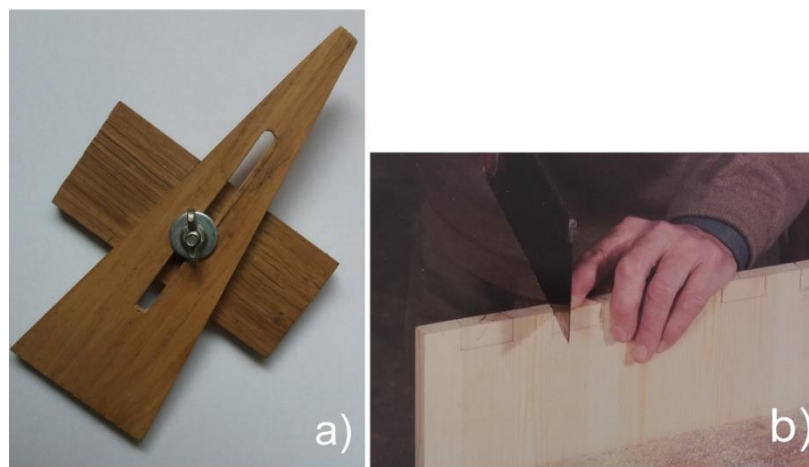


Obrázek 31: Otevřené ozuby

Výroba spoje na ozuby

Podle druhu dřeviny se volí počet a velikost ozubů. U měkkých dřevin se volí méně, zato větší ozuby, u tvrdých dřevin naopak menší a více na husto. Z pravidla má být lichý počet ozubů.

- a) **Ruční výroba** – na vodorovné dílce se narýsují ozuby. Na svislé dílce se pak narýsují rozpory. Pro narýsování ozubů na dílce slouží přípravek, který má tvar troj úhelníku s poměrem stran 1:3.



Obrázek 32: b) Ruční vyřezávání ozubů za použití speciálního přípravku

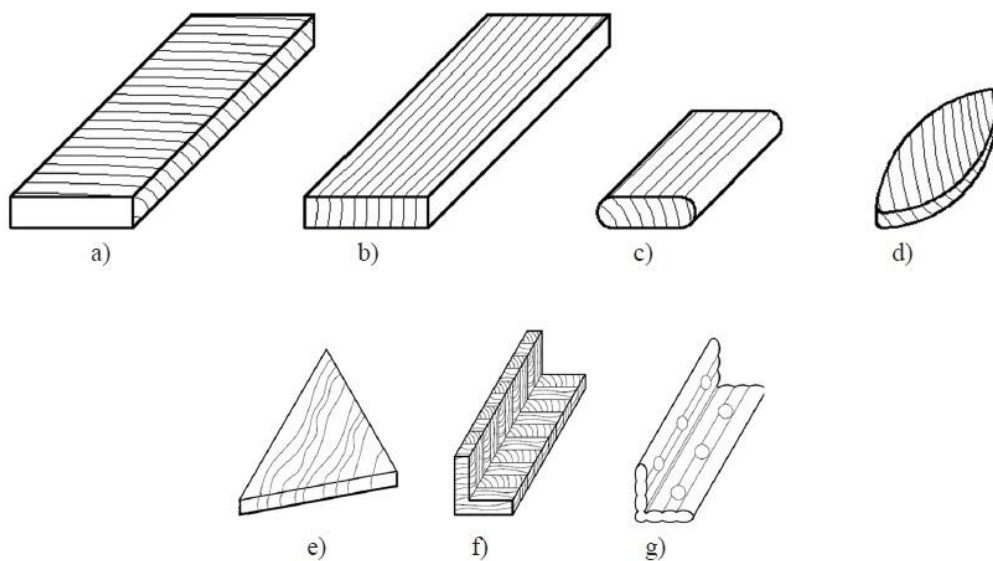
(Zdroj: a) Vlastní foto, b) Vigue 2006 str.253)

Vysoká náročnost a pracnost ručně vyráběných ozubů způsobuje, že výrobky jsou velmi drahé. Narýsované ozuby na dílce se nařiznou pilkou a následně vydlabou dlátem. K ručnímu dlabání ozubů se využívá hraněné dláto. Nejprve se vydlabe každý spoj zhruba do poloviny tloušťky dílce, poté se dílec na stole otočí a pokračuje se v dlabání na druhé straně. Tento postup se volí proto, aby se na druhé straně nevyštlá vlákna. Takto opracovaný spoj se může pro dočištění lehce obrousit.

- b) **Strojně vyráběné ozuby** – strojní výroba se provádí pomocí cinkovacího přípravku a rybinové frézy.

4.2.13 Spojení pomocí pera

Častějším případem spojení pomocí pera bývá použitím vloženého pera místo vlastního pera. Materiál pro výrobu pera může být masivní dřevo, překližka, DVD, ale i plastická hmota. Masivní pera je dobré zhotovit z příčného dřeva, protože jsou namáhány na stříh a síla by měla působit kolmo k délce vláken. K vysoké náročnosti na přesnost je spojení pomocí pera v rohových spojkách často nahrazeno lamelami. Častěji se tento způsob používá jako rozšiřovací spoj (Křupalová, 2000).

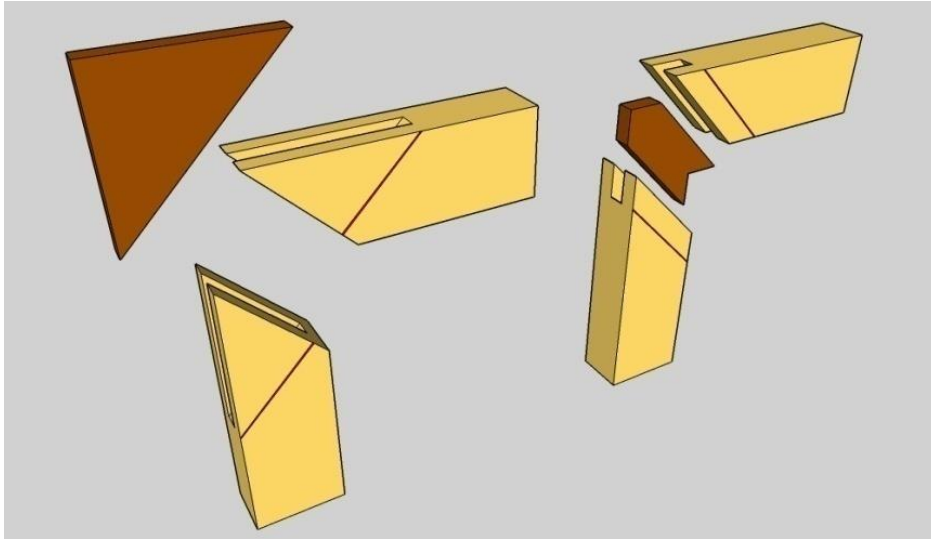


Obrázek 33: Druhy per

a) příčné hranaté, b) podélné hranaté, c) podélné zaoblené, d) podélně-příčné
čočkovité, e) trojúhelníkové, f) úhlové z překližky, g) úhlové z plastu

(Zdroj: Joščák a kol. 2014, str. 80)

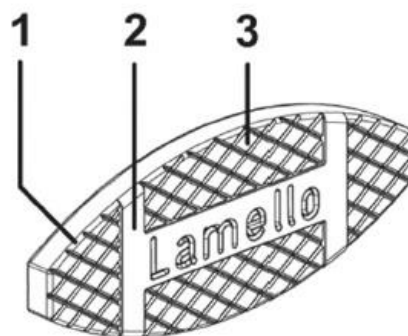
Další možnost použití per je spojení prvků v rámech. Pera mají tvar trojúhelníků a jsou zhotoveny z masivního dřeva. V každém rohu lze použít jedno až dvě pera (Joščák a kol. 2014).



Obrázek 34: Spojení na pokos pomocí pera

4.2.14 Spojení pomocí lamely

Jedná se o pero ve tvaru čočky s obchodním názvem „Lamello“.



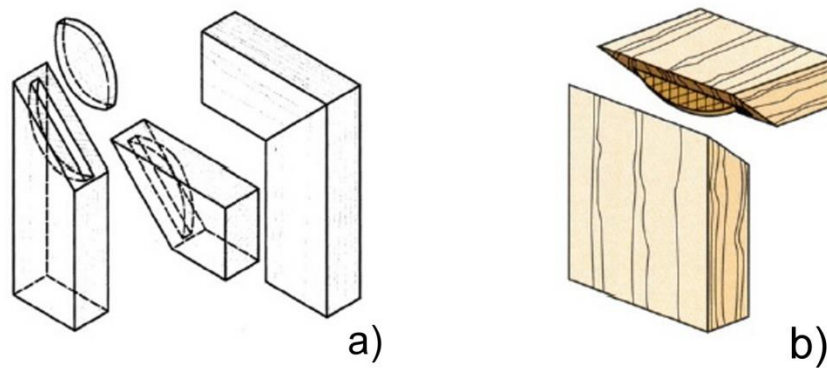
Obrázek 35: Lamello

1 – sražené hrany, 2 – vodící výstupky, 3 – rýhování

(Zdroj: Joščák a kol. 2014, str. 81)

Dřevní vlákna lamely jsou orientována k podélné ose pod úhlem 45° ve směru úhlopříčky. Proti zlomení ve spoji tak odolávají vysoké pevnosti při manipulaci výrobku. Materiálem pro výrobu čočkovitých per může být tvrdá dřevovláknitá deska, překližka, nebo i masivní dřevo. Použití těchto lamel je snazší než kolíkové spoje, protože frézované drážky nemusí být tak přesné jako otvory pro kolíky.

Výhoda oblého tvaru lamely je, že dovolí pohyb oblé lamele v otvoru a umožní tak dosednutí ploch dílce. Pro výrobu tohoto spoje se používá frézka na lamely (Joščák a kol. 2014, Zoufalý 2016).



Obrázek 36: Spojení pomocí čočkového pera

a) rámové spojení, b) deskové spojení

(Zdroj: Joščák a kol. 2014, str. 81, 82)

4.2.15 Spojení pomocí domino

Podélná pera po stranách zaoblená s obchodním názvem „domino“ můžeme použít pro spoje rohové i středové. Plochy jsou rýhované, průřez oválný. Tento spoj je velmi podobný kolíkovému (Joščák a kol. 2014).



Obrázek 37: Pero domino

(Zdroj: Joščák a kol. 2014, str. 82)

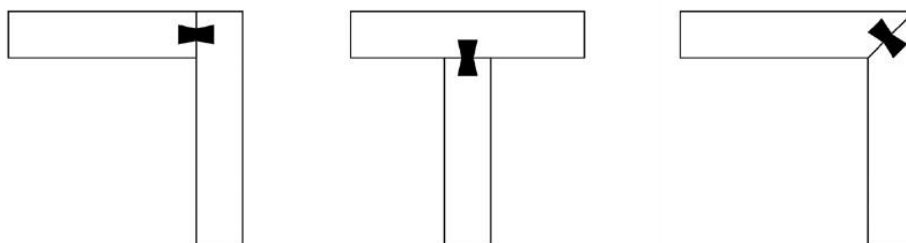
4.2.16 Hoffmannovo pero

Hoffmanova pera mají rybinový oboustranný tvar. Tyto pera se vyrábí z různého materiálu a lze je využít i bez použití lepidla (Joščák a kol. 2014).



Obrázek 38: Hoffmannovo pero

(Zdroj: Joščák a kol. 2014, str. 83)



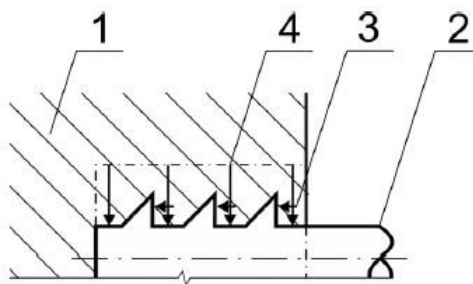
Obrázek 39: Hoffmannovo pero – způsoby použití

(Zdroj: Joščák a kol. 2014, str. 83)

4.3 Nelepené spoje (rozebíratelné spoje)

4.3.1 Spojení pomocí kolíků

Kolík může být vyroben ze dřeva, plastu nebo kovu a má kruhový průřez. Tvar povrchu kolíku je vytvarován tak, aby se zabránilo zpětnému vytáhnutí. Tvarová úprava povrchu kolíku může být provedena např. ozuby, příčným vroubkováním nebo pružným protikusem. Princip funkce kolíku s příčným vroubkováním na obr. 40 spočívá v tom, že při vložení kolíku do otvoru se vroubky stlačí (pružnosti materiálu) a sevřením v materiálu zabrání vysunutí. Jeho vytáhnutí z materiálu brání tření mezi kolíkem a otvorem. Kolík se zaklínuje a vznikne odpor ve vroubkovaných drážkách plastového kolíku (Joščák a kol. 2014).



1 – materiál, 2 – vrúbkovaný kolík, 3 – odpor materiálu pri vyťahovaní, 4 – stlačenie kolíka materiálom dielca

Obrázek 40: Vroubkovaný kolík

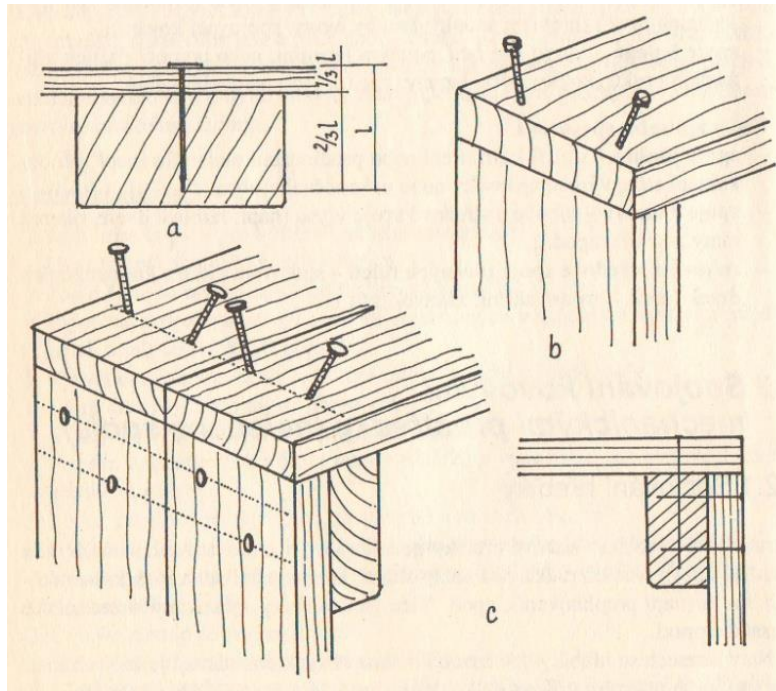
(Zdroj: Joščák a kol. 2014, str. 86)

4.3.2 Spojování hřebíky

Pomocí hřebíků se v truhlářské výrobě připevňují záda skříněk, dna zásuvek, zpevňují se konstrukční spoje. Hřebíky se častěji využívají v bednářské a tesařské výrobě.

Aby byla dostatečná pevnost spoje, musí se dodržovat určité zásady:

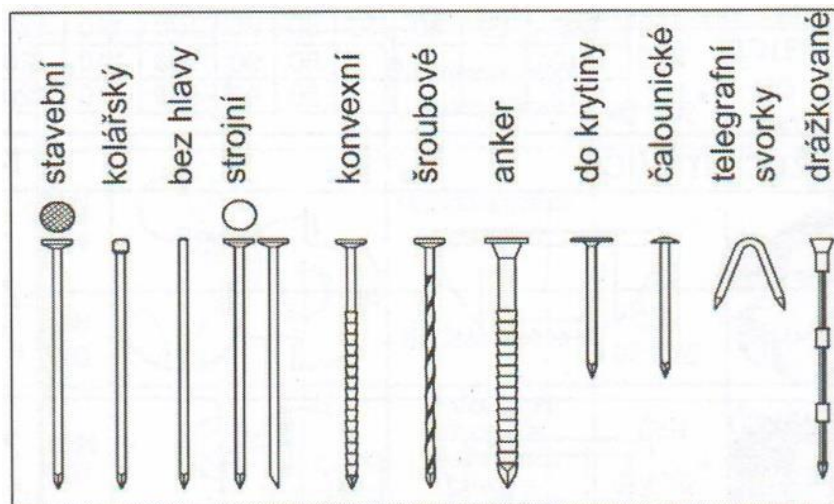
- Délka hřebíků musí být alespoň 2,5 krát větší než tloušťka dílce. Do spojovaného dílce by měli být zaraženy dvě třetiny délky hřebíků.
- Podél vláken hřebíky drží méně, proto je lepší zarážení šikmé proti sobě (rybinovitě).
- Je-li kladen důraz na životnost spoje, např. u přepravních beden, vkládají se do rohů lišty nebo hranolky. Pro ještě větší pevnost prochází-li hřebík celou tloušťkou je dobré špičku hřebíku zahnout.
- Není dobré hřebíky umísťovat blízko okraje materiálu, může tak dojít k rozštípnutí dřeva. (Z pravidla se hřebík umísťuje od okraje vzdáleností alespoň 15 násobkem dřívku.)
- Umístění hřebíků podél vláken nemají být v jedné řadě, aby nedošlo k prasknutí dřeva (Křupalová, 2000).



Obrázek 41: spojování hřebíky

(Zdroj: Křupalová 2000, str. 48)

Pro výrobu ocelových hřebíků z drátu platí norma ČSN EN 10230-1. Přehled jednotlivých druhů je znázorněn na obr. 42 (Holouš, Máchová, 2013).



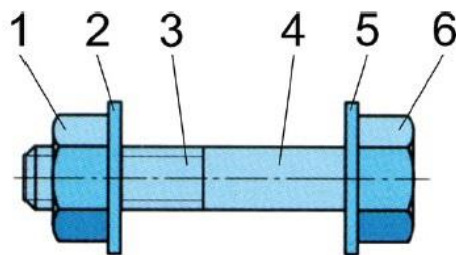
Obrázek 42: Druhy hřebíků

(Zdroj: Holouš, Machová 2013, str.24)

4.3.3 Šrouby s metrickým závitem

Aby se umožnilo lepšímu transportu a balení velkých výrobků, často jsou dílce k sobě montovány pomocí rozebíratelných spojů. K tomuto účelu existuje mnoho demontovatelného spojovacího kování. Toto kování může být použito buď samostatně nebo častěji v kombinaci s kolíky (Nutsch, 2012).

Spojování pomocí šroubů opatřených metrickým závitem je z hlediska samovolného uvolnění nejbezpečnější. Šroub s metrickým závitem dokáže dostatečně stáhnout materiál k sobě. Toto kování se skládá ze dvou částí, a to ze šroubu s vnějším závitem a maticí se závitem vnitřním. Závít má různé stoupání a je navinutý okolo válce šroubu. Nejběžněji se používají šrouby s metrickým závitem. V praxi se považuje šroub s metrickým závitem a maticí jako základní spojovací prvek. Závít šroubu tvoří funkční část. Přítlačnou sílu mezi spojovacími prvky vytvoříme utáhnutím šroubu silou, která působí v ose šroubu (Joščák a kol. 2014).



1 – matice, 2 – podložka, 3 – závít, 4 – dřík škrutky, 5 – podložka, 6 – hlava škrutky

Obrázek 43: Šroub se šestihrannou hlavou a maticí

(Zdroj: Joščák a kol. 2014, str. 98)

Dřík šroubů je válcový se závitem. Šrouby jsou nejčastěji z kovu, můžou se použít i plastové (polyamidové). Šrouby jsou často zajištěny maticí a tvoří tak dvoudílný spojovací prostředek. Tvar matic může být běžný šestihran s podložkou, který je na ploše dílce, nebo jsou matice vnitřní, které se do materiálu šroubují, vkládají nebo zarážejí. Vnitřní matice jsou zobrazeny na (obr. 44).

Zarážecí matice: často kovová s metrickým závitem. Na konci má tvar kuželu, pro snadnější zavádění do materiálu.

Závrtná matice: tělo matice je kovové s vnitřním a vnějším závitem. Na Vnější straně matice je závit do dřeva, na vnitřní pro šroub a na vrchu má zářez pro šroubovák (Křupalová, 2000).

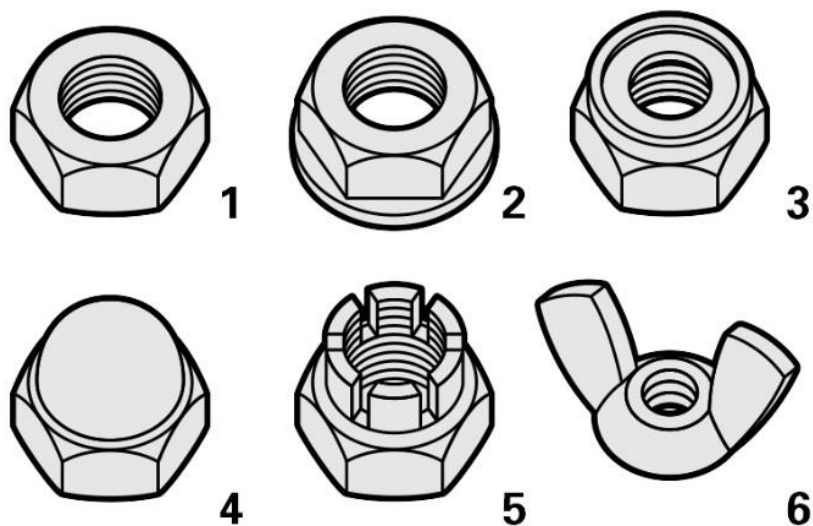


Obrázek 44: Vnitřní matice

a) závrtná matice, b) zarážecí matice

(Zdroj: a) www.obchod.poor.cz, b) www.webshop.schachermayer.com)

Typy matic osazené na ploše dílce jsou zobrazeny na obr. 45).



Obrázek 45: Typy matic:

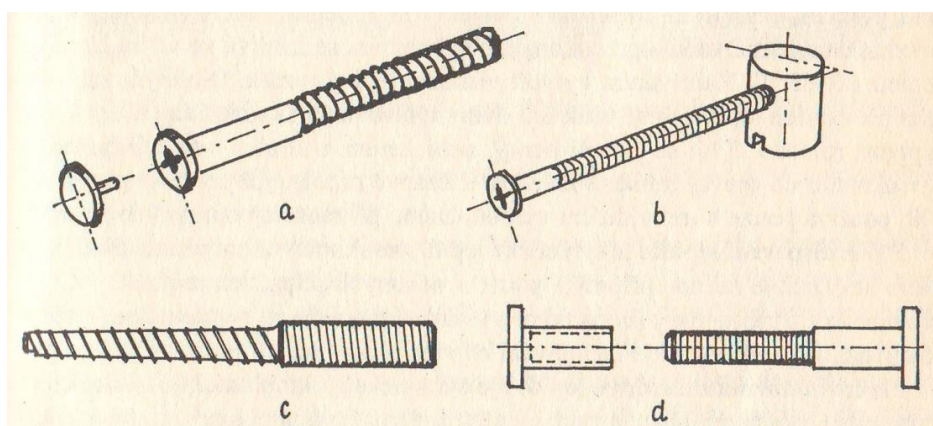
1) šestihránná matice, 2) kruhová matice, 3) pojistná matice, 4) uzavřená matice, 5) korunková matice, 6) křídlová matice

(Zdroj: www.radyprokutily.cz)

Spojování pomocí šroubů

Dnes je mnoho druhů spojovacích prvků, avšak v truhlářské výrobě se nejčastěji používají tyto šrouby: šrouby s válcovou maticí, jednodílné spojovací šrouby, dvoudílné spojovací šrouby, vruty a kombinované šrouby.

- a) **Jednodílné spojovací šrouby** též nazývány, jako confirmáty, jsou to šrouby na spojování dílců do korpusu. Často se používají v kombinaci s dřevěnými kolíky na sucho. Plastovou krytkou se může zakrýt hlava šroubu. Vrtání otvorů se provádí speciálním stupňovitým vrtákem.
- b) **Šrouby s válcovou maticí** se také používají na spojování korpusů, ale i na spojování podnoží, nohy a luby stolů, koster sedacího nábytku apod. Matice má po obvodu z vnější strany hladký povrch. Matice se umísťuje do předem vyvrtaného otvoru. Matice je dvojího typu, matice příčná (kolmá na osu šroubu) a podélná (s osou ve směru osy šroubu).
- c) **Kombinované vruty a šrouby** se používá např. u stolu ke spojení nohou se stolovou deskou, u postele ke spojení nohou s rámem apod. Kombinovaný vrut se šroubuje do dřeva a šroubová část s metrickým závitem slouží pro dotažení matice.
- d) **Spojovací šrouby dvoudílné** se nejčastěji používají ke spojení jednotlivých korpusů do sestavy. Šroub se skládá ze dvou částí, z nichž jedna má závit vnitřní a druhá vnější. Hlava obou částí šroubu je stejná (Křupalová, 2000, Nutsch 2000).



Obrázek 46: Druhy šroubů

(Zdroj: Křupalová 2000, str. 49)

Spojovací šroub pro pracovní desky

Šrouby pro spojování pracovních (kuchyňských) desek se skládají ze šroubu, matice a vytvarované podložky. Podložka je umístěná v předem vyvrtaném otvoru a vytváří stabilitu spoje. Tento spoj je zobrazen na obr. 47 (Joščák a kol. 2014).



Obrázek 47: Spojení šroubem pro pracovní desky

(Zdroj: www.wintech.cz)



Obrázek 48: Spojovací šroub pro pracovní desky

(Zdroj: Hettich katalog online 2017)

4.3.4 Spojování vruty

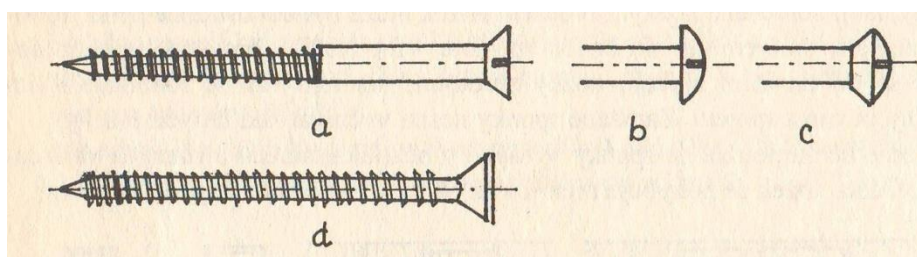
Ke spojování jednotlivých dílců se často používají vruty. Pomocí vrutů se nejčastěji připevňují např. čela zásuvek, záda korpusu skříní, různé druhy kování atd. Tělo vrutu tvoří hlava a dřík se závitem zakončený hrotem.



Obrázek 49: Vrut

(Zdroj: <http://eshop.ostexplast.cz/>)

Podle tvaru hlavy dělíme vruty na zápusťné, půlkulaté nebo čočkovité. Hlava vrutu má různé tvary zářezů, a to: rovný, křížový, šestihranný nebo s vnitřní hvězdou torx. Značení vrutů je součin průměru a délky dříku např. 4x55. Nejčastějším materiálem pro výrobu vrutu je ocel, mosaz a různé druhy pokovení (Křupalová, 2000, Bridgewater, 1944).



Obrázek 50: Druhy vrutů

(Zdroj: Křupalová 2000, str. 51)

Postup výroby-pravidla zásady

Vruty se šroubují do předem předvrtaných otvorů. Výjimku tvoří malé vruty do průměru cca 3 mm, kde postačí vpich truhlářským šídlem. Velikost otvoru v montované součásti na dílec (lišta apod.) by měla být o 0,1 až o 0,2 mm větší než průměr dříku.

Před samotným šroubováním lze vrut přiklepnout kladívkem do dílce tak, aby se pohodlně nasadil šroubovák a nedocházelo k vyklání do strany. Následně se může zašroubovat. K našroubování vrutů se nejčastěji používají elektrické, akumulátorové,

pneumatické nebo ruční šroubováky. Podle velikosti vrutu se volí správná velikost šroubováku. Šroubovák by měl dosednout celou plochou na dno zářezu v hlavě vrutu. Příliš tenký šroubovák se v zářezu viklá, a naopak příliš tlustý šroubovák ze zářezu vyskakuje.

Důležitá je správná volba momentu při dotahování. V případě přetočení vrutu a stržení závitu v materiálu dochází ke ztrátě pevnosti spoje. Zápustná hlava vrutu nesmí přečnivat z plochy

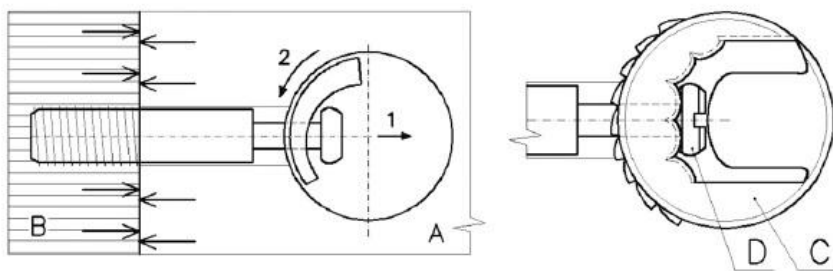
Délka vrutu se volí tak, aby neprocházel celou tloušťkou spojovaných dílců. Minimální vzdálenost hrotu vrutu a protější plochy je 3 mm. Vzdálenost vrutu od kraje dílce má být minimálně tak, aby osa vrutu byla vzdálena od okraje stejně daleko, jako je průměr dřívku. Osová vzdálenost šroubů musí být minimálně čtyřikrát větší, než je průměr dřívku (Křupalová, 2000).

4.3.5 Spojování pomocí excentrů

Pomocí excentrů se spojují dílce korpusů. Umožňují spojování dílců do pravého nebo i jiného úhlu. Excentry umožňují korpus demontovat. Před samotným spojením dílců je třeba provést předmontáž kování, která se skládá s osazení kování do otvorů. Pro osazení kolíku se vrtá otvor do boku dílce, do plochy dílce se pak vrtá otvor pro válec excentru. Standardně se toto kování usazuje do otvorů až po provedení povrchové úpravy dílců.

Princip excentrů je na (obr. 51), Kolík je jednou stranou zašroubovaný do předvrtaného otvoru dílce. Druhá strana kolíku (hlava) je na konci upravena pro uchycení do excentru. Excentr je vsazený v ploše dílce. Pootočením excentru se přitáhne kolík a dojde k zamknutí. Podle tloušťky dílce a typu spoje se volí optimální délka kolíku (Joščák a kol. 2014).

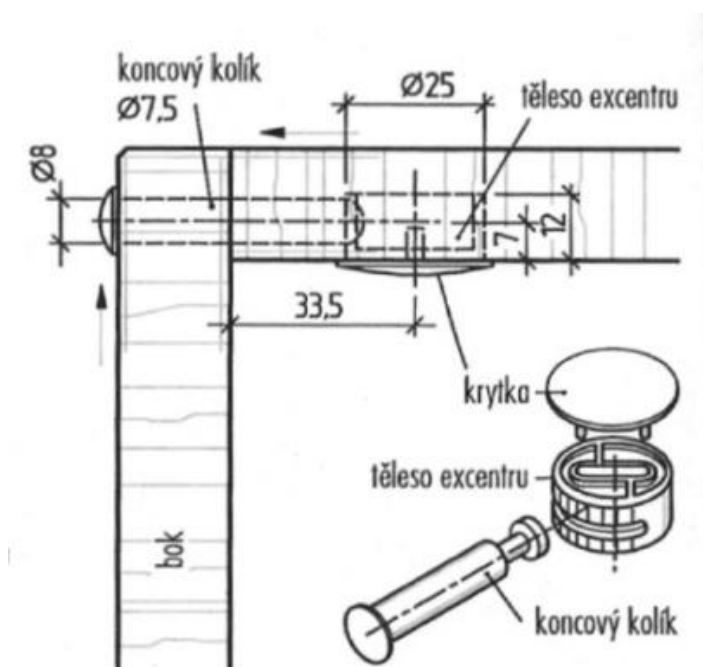
Do spoje se mohou použít dřevěné kolíky (vložené bez lepidla) pro určení přesné polohy dílců. Kombinací excentrů a kolíků vznikne pevný spoj, který se může kdykoli složit nebo rozložit.



A, B – spájané materiály, C – telo excentra (klin), D – kolík; 1 – smer pohybu kolíka, 2 – smer otáčania excentra

Obrázek 51: Silové působení ve spoji a jeho princip

(Zdroj: Joščák a kol. 2014, str. 93)

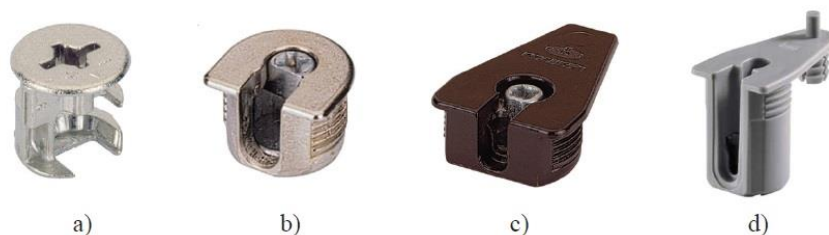


Obrázek 52: Rohový spoj pomocí excentru

(Zdroj: Nutschn, Wolfgang 2003, str.52)

Těla excentrů

Tělo excentru má válcovitý tvar, ve kterém je drážka, do které se umísťuje hlava kolíku. Těla excentrů existují ve více variantách. Podle způsobu použití je lze rozdělit na těla excentrů bez pouzdra (ty se osazují přímo do plochy dílce ve stanovené vzdálenosti od okraje) a na těla excentru s pouzdem (tento typ je možno osadit do plochy dílce tak, že lícuje s okrajem).



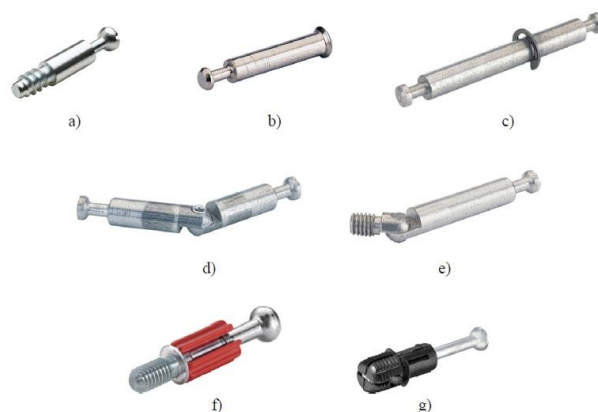
Obrázek 53: Druhy excentrů

a) excentr bez pouzdra, b) excentr s pouzdrém, c) excentr v plastovém pouzdře, d) excentr pro lehčené desky

(Zdroj: Joščák a kol. 2014, str. 93)

Kolíky excentrů

U konstrukčních spojů, kdy jsou dílce spojovány pod úhlem 90°, se používají kolíky přímé. Kolík se skládá z hlavy upravené pro excentr a těla, které má závit do dřeva nebo metrický závit. Kolíky opatřeny závitěm do dřeva se šroubují do předem vyvrtaných otvorů a bez použití matic. Kolíky opatřeny závitěm do dřeva s hrotem na konci se šroubují bez předvrtání a bez použití matic. Druhy kolíků jsou znázorněny na obrázku 54 (Joščák a kol. 2014).



Obrázek 54: Druhy kolíků

a) přímý kolík s eurozávitěm, b) přímý kolík koncový, c) přímý kolík se segerovkou, d) oboustranný kolík kloubový, e) kloubový kolík, f) rychlomontážní kolík Twister, g) rychlomontážní kolík Rapid

(Zdroj: Joščák a kol. 2014, str. 94)

Matice excentrů

Pro pevné spojení kolíků s metrickým závitem je třeba použít matice excentrů.



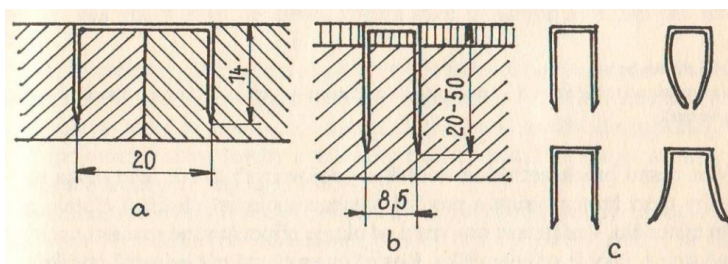
Obrázek 55: Druhy matic

a) plastová matice, b) rozpěrná matice, c) pouzdrová matice

(Zdroj: Joščák a kol. 2014, str. 94)

4.3.6 Spojování sponkami

Sponky se nejčastěji používají ke spojení zad skříní s korpusem, k rohovému spojení malých rámečků, zejména pak pro čalounickou výrobu. Materiál sponek je ocelový drát s průřezem 1 až 1,23 mm. Nejčastěji se zarážejí do dřeva sponkovačkami, v malé výrobě se však mohou zarážet i kladivem. Pro snadnější zarážení do materiálu mají sponky na spodní části sražené nožky do špičky. Podle druhu sražení nožky, dělíme sponky na jednostranně sražené (sražení směrem ven, nebo dovnitř) a oboustranně sražené. Důvodem sražení směrem ven je, že při zarážení, se nožky sponky rozcházejí a zvyšují tak pevnost spoje. Opačný jev nastává při sražení nožek směrem dovnitř, kdy se nožky zblíží k sobě. Zarážené sponky nesmějí vylézt z druhé strany na povrch dílce. Sponky jsou vyráběny v několika tvarech a v různých velikostech. Vyráběné rozměry sponek se pohybují v délkách od 14 do 50 mm s roztečí od 5 do 20 mm (Křupalová, 2000).

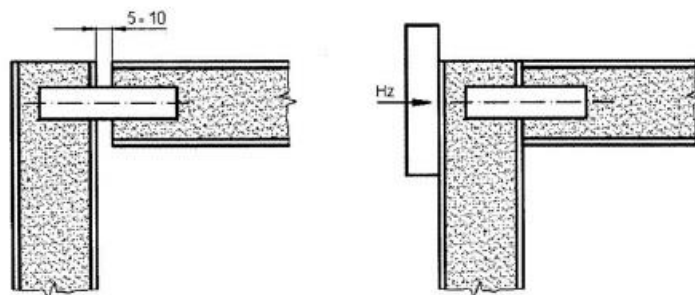


Obrázek 56: Tvary sponek

(Zdroj: Křupalová 2000, str. 59)

4.3.7 Spojování pomocí roztavitelných kolíků

Způsob spojení spočívá v tom, že vložené duté plastové kolíky v otvoru se roztaví pomocí ultrazvuku. Průměr kolíků se volí podobně jako u kolíků dřevěných. Délka kolíků je však o 5 až 10 mm větší než součet otvorů v dílcích. V průběhu stlačení dílců k sobě působí ultrazvukový zářič, díky záření dojde k roztavení plastového kolíku. Po roztavení přilehnou dílce k sobě a plast se spojí s makrostrukturou materiálu dílce v otvoru. Spojovací proces s dosažení manipulační pevnosti je pouze do 5 sekund. Tento spoj je o cca 30 % pevnější, než spoj s dřevěnými kolíky. Tento kolíkový spoj je odolný proti vytáhnutí, vibracím a vlhkosti. Další výhodou je neznečištění dílců lepidly. Nejčastěji se toto spojení používá ve velkých sériích. Způsob spojení je na obr. 57 (Joščák a kol. 2014).



Obrázek 57: Roztavitelný kolík ve spoji

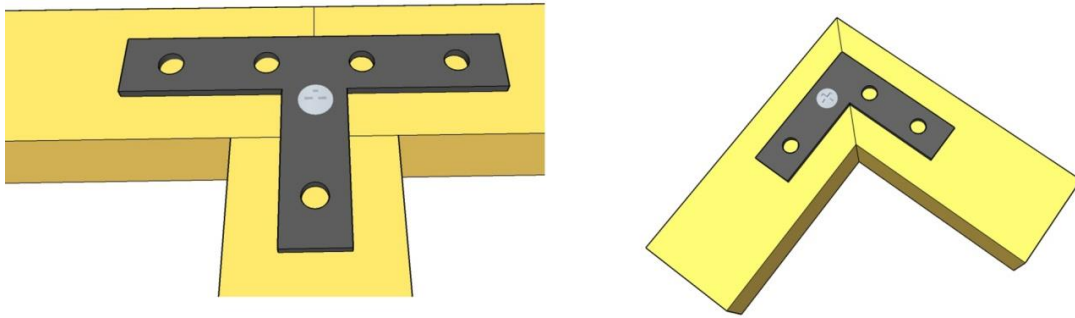
(Zdroj: Joščák a kol. 2014, str. 109)

4.3.8 Ocelové destičky a úhelníky

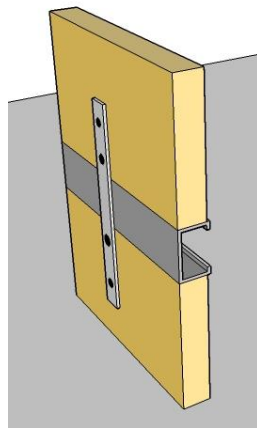
Tento typ spoje vyžaduje použití šroubů do dřeva, ty pak prochází destičkou (úhelníkem) a spojují plošné i rámové přířezy k sobě. Lze vyrábět plošné i prostorové spoje.

Ocelové destičky

Ocelové destičky mohou být různě tvarované. Volby tloušťky a velikost destičky se volí podle velikosti spojovaných dílců. Pro uchycení k dílci jsou destičky opatřeny otvory v určitých vzdálenostech od sebe. Destičky s přímým tvarem se uplatňují při nastavování dílců například při nastavování dveřního křídla, kdy je uprostřed dveřního křídla přerušena úchytkou.



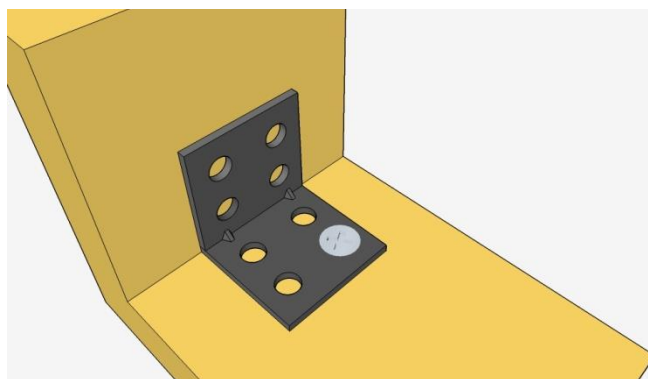
Obrázek 58: Spoje pomocí destiček



Obrázek 59: Nastavovací spoj s úchytkou

Ocelové úhelníky

Ocelový úhelník je znázorněn na obrázku č 60. Stejně jako ocelové destičky mají i ocelové úhelníky otvory v určitých vzdálenostech od sebe.



Obrázek 60: Ocelový úhelník

4.4 Pevnostní vlastnosti spojů

Již v minulosti byla snaha o to, aby nábytek byl co nejpevnější a nejtrvanlivější. V průběhu výroby se získávaly poznatky o zásadách trvanlivého a pevného nábytku. Standartní konstrukce se předávali z generace na generaci a nové konstrukce se zásadně nelišily od těch starých. Hodně nábytkových konstrukcí bylo vyvinuto metodou pokus-omyl. V jiných oborech se výpočtové metody zaváděly postupně po desetiletí. Naproti tomu výpočtové metody v nábytkářství začaly později a potřebují stále zdokonalovat (Joščák, 1999).

Na základě poznatků lze rozdělit kritéria pro pevnostní navrhování nábytku:

- zabezpečení bezpečnosti a spolehlivosti,
- hospodárné využití materiálu,
- spojení estetiky, funkčnosti s pevností nábytku.

Výhody pevnostního navrhování jsou především:

- možnost analyzovat doposud neznámý typ konstrukce,
- možnost pevnostní analýzy návrhu konstrukce,
- možnost vytvářet experimenty.

Nevýhody pevnostního navrhování jsou především:

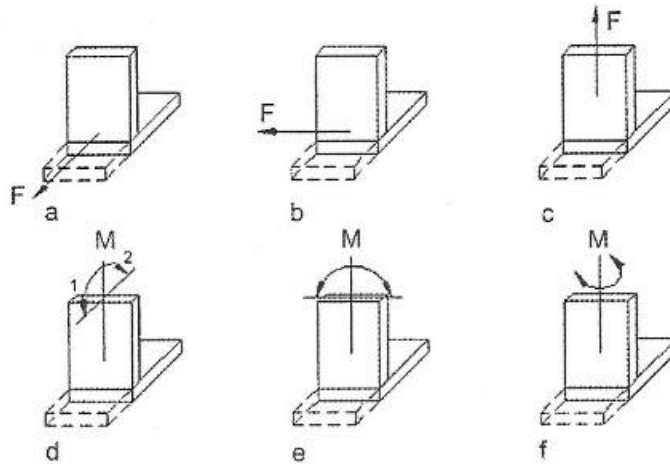
- nákladnost získání podkladů (materiálové konstanty, hodnoty zatížení atd.)
- výsledek pouze s určitou pravděpodobností,
- vytvoření spolehlivosti návrhu.

Pevnostní navrhování nábytku jsou konstrukce nábytku zatěžovány vnějším zatížením (vztah mezi zatížením a spojovacími prvky). Používané metody vycházejí z mechaniky, pružnosti a pevnosti, spolehlivosti a plastičnosti. Testy pevností se provádí na hotových výrobcích, na spojích, nebo na jednotlivých dílcích nábytku. Nábytkové konstrukce jsou nejčastěji zhotoveny z přírodního dřeva, aglomerovaných a překližovaných materiálů. Tyto materiály jsou nehomogenní a mají také anizotropní charakter. Jsou spojovány různými způsoby, které jsou popsány výše.

Tato práce je především zaměřena na testování konstrukčních spojů.

Testování konstrukčních spojů

Konstrukční spoje nábytku jsou ta nejkritičtější místa, protože k závadám nábytku dochází právě v nich. Častou chybou je volba spoje s nízkou účinností, nebo procentuálním podílem únosnosti dílce a spoje, která by měla být mezi 10–30 % (Bašista, 1972). Nábytkové spoje jsou namáhány třemi typy sil a třemi typy momentů sil.



Obr. 8.1 Druhy namáhania spojov

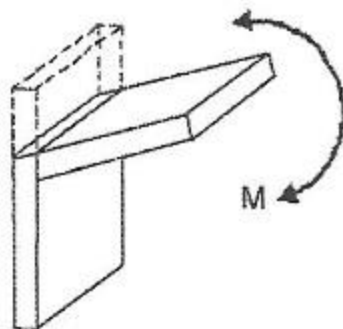
- | | |
|------------------------------|---|
| a – šmyk v uhlovej rovine | d – ohyb v uhlovej rovine (1 – ťah, 2 – tlak) |
| b – šmyk v priečnej rovine | e – ohyb v priečnej rovine |
| c – namáhanie na vytiahnutie | f – namáhanie v krútení |

Obrázek 61: Druhy namáhání

(Zdroj: Joščák, Pavol 1999, str. 184)

Pevnostní vlastnosti konstrukčního spoje jsou nejlépe pozorovatelné na deformačním diagramu. Jedná se o vztah mezi silou (momentem) a posunutím (pootočením) (Joščák, 1999).

Nejnebezpečnějším namáháním konstrukčního spoje je, jeho zatížení ohybovým momentem v úhlové rovině obr. 62 (Kamenický, Šnýder, Paulenková 1980).



Obrázek 62: Ohybový moment v úhlové rovině

(Zdroj: Joščák, Gaff, Langová 2011, str.152)

Podmínky pro vytvoření trvanlivého spoje

➤ Dřevina

Únosnost daného spoje je přímo úměrná pevnosti použitého dřeva ve spoji. V nábytkových konstrukcích je nejvýznamnější pevnost dřeva v ohybu a pevnost dřeva v krutu. Pružnost a pevnost v ohybu je značně ovlivněna odklonem směru vláken od podélné osy, nepravidelný růst letokruhů, točitost a vnitřní trhliny.

V této práci byly testovány spoje, které byly vyrobeny z těchto dvou dřevin:

- BUK

Botanický název – Buk lesní

Latinský název – *Fagus sylvatica* L.

Anglický název – beech

Zkratka – BK

Dřevina – listnatá, roztroušeně pórovitá s dobře viditelnými dřeňovými paprsky na všech řezech.

Tvrдость dřeva při vlhkosti 12 % je 61 MPa

Mez Pevnosti v ohybu je 109 MPa při vlhkosti 12 %

Mez pevnosti v tahu 132 MPa při vlhkosti 12 %

Mez pevnosti v tlaku podél vláken 56 MPa při vlhkosti 12 % (Křupalová 2004;

ZEIDLER, Aleš 2012).

- SMRK

Botanický název – Smrk ztepilý

Latinský název – *Picea abies* (L.) Karsten

Anglický název – spruce

Zkratka – SM

Dřevina – jehličnatá, má pryskyřičné kanálky jsou však špatně viditelné, pozvolný přechod mezi jarním a letním dřevem

Tvrдость dřeva při vlhkosti 12 % je 26 MPa

Mez Pevnosti v ohybu 80 MPa při vlhkosti 12 %,

Mez pevnosti v tahu 120 MPa při vlhkosti 12 %

Mez pevnosti v tlaku podél vláken 45 MPa při vlhkosti 12 % (Křupalová 2004; ZEIDLER, Aleš 2012).

➤ Vlhkostní změny

Předpokladem dobré konstrukce je rovnováha užité a výrobní vlhkosti. V průběhu topné sezóny dojde k poklesu relativní vlhkosti vzduchu až na 25 % (7-8 % vlhkosti dřeva). V ostatních dnech roku postupně roste na průměrnou hodnotu cca. 65 % (10-13 % vlhkosti dřeva). Teplota je v rozmezí 18 až 24 °C. Tyto výkyvy vlhkosti dřeva mají za následek pokles tuhosti spojů v prvním cyklu. V dalších vlhkostních cyklech dochází jen k nepatrnému poklesu tuhosti spoje, která se projeví až po delší době používání.

➤ Druh lepidla

Dobré lepidlo musí splňovat mnoho požadavků. Zejména jsou kladeny nároky na vysokou pevnost, reologické vlastnosti a zpracovatelské vlastnosti. Z hlediska pevnostního je požadavek, aby pevnost lepené spáry převyšovala pevnost dřeva. Pevnost lepené spáry ve stříhu u montážních lepidel je 12–15 MPa. Tuto hodnotu však nelze bez úprav využít pro výpočty únosnosti spojů. Pro správně navržené spoje, stříhové napětí v lepidlové spáře málokdy převyšuje hodnotu meze únosnosti spoje 5 MPa. Kvůli Změnám vlhkostí ve dřevě dochází k vnitřnímu napětí i v lepené spáře, a proto je třeba, aby lepidlo mělo dobrou plasticitu. Opět i zde nesmí být překročena určitá mez, aby netrpěla únosnost spoje hlavně u trvalého zatížení.

V této práci byla otestována tuhost jednoho typu spoje, a to domino kolíku.

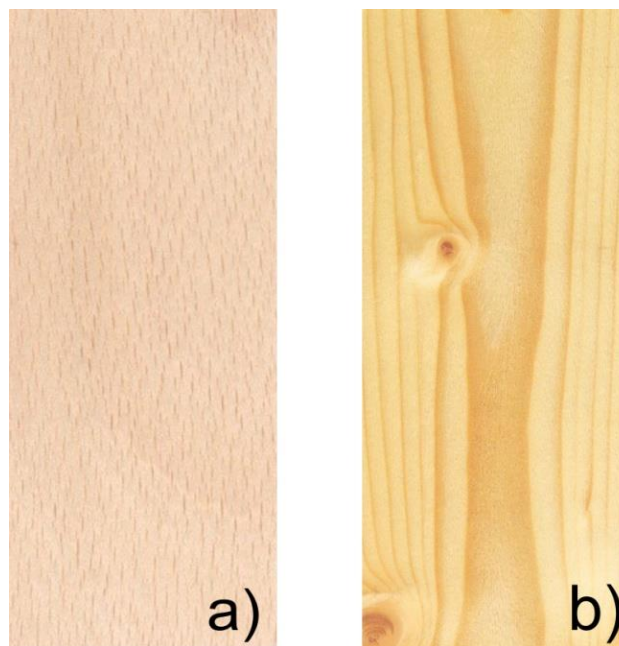
5 Metodika práce a metody zkoumání

Metodiku práce lze rozdělit na jednotlivé části:

- příprava zkušebních vzorků,
- experimentální měření,
- výpočet charakteristik a zpracování dat.

5.1 Příprava zkušebních vzorků

Pro zkoumání byla vyrobena tělesa z dřeviny smrk a buk. Dřevo pocházelo ze Slovenského regionu Spiš. Těžba byla prováděna v zimních měsících. Vlhkost těles při testování byla $W = 10 \%$. Vzorky byly slepeny **polyuretanovým** a **disperzním** lepidlem D3. Po slepení a řádném vytvrzení lepidel byly vzorky použity k experimentálnímu měření.



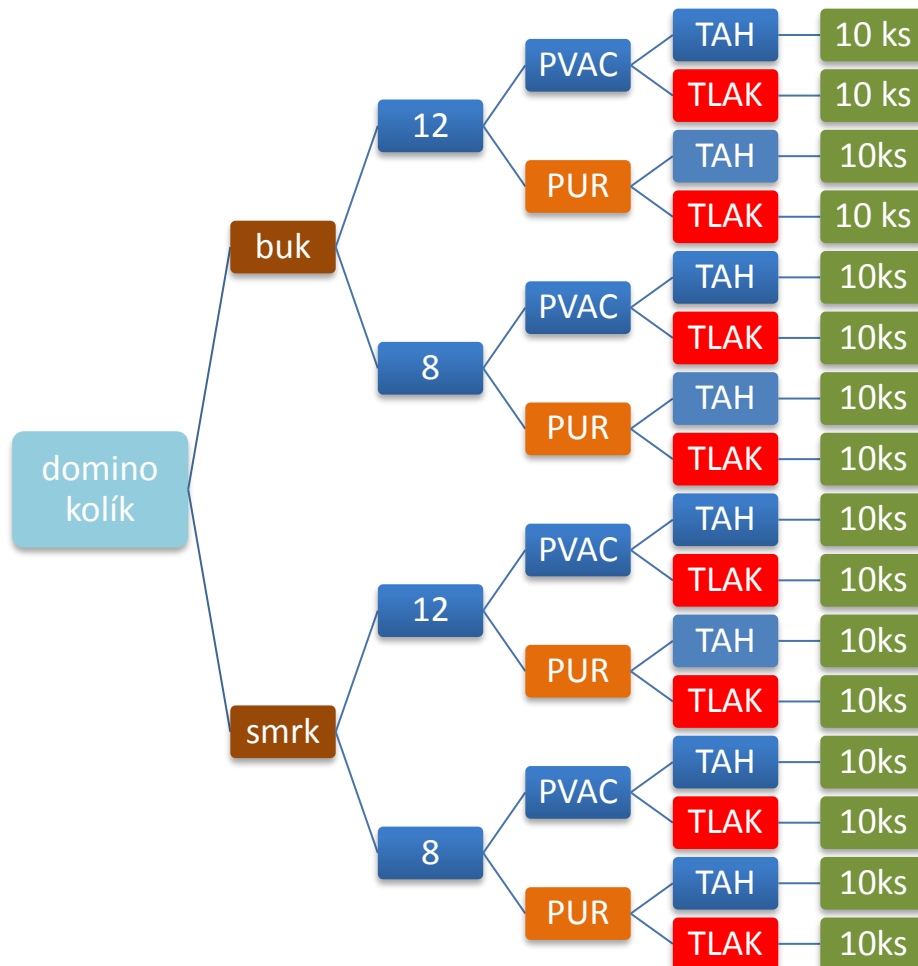
Obrázek 63: Testované dřeviny

a) bukové dřevo, b) smrkové dřevo

(Zdroj: a) www.domnabytku.sk, b) www.tfdesign.cz)

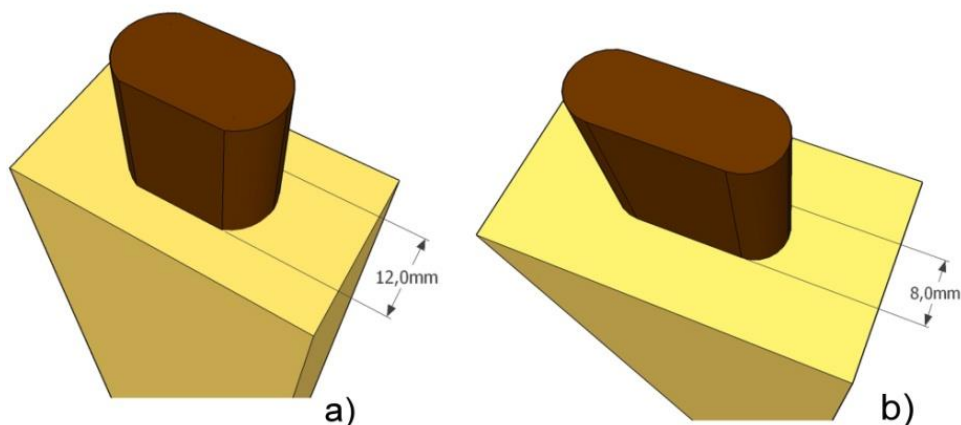
5.1.1 Počet měřených vzorků

Celkem bylo změřeno 160 vzorků. Vzorky byly před měřením rozděleny do 16 souborů, přičemž každý soubor obsahoval 10 vzorků. Na následujícím schématu (obr. 64) jsou zobrazeny způsoby měření jednotlivých souborů se vzorky.



Obrázek 64: Schematický pavouk testovaných vzorků

Jak je vidět ze schématu, u 60 vzorků byl použit domino kolík o tloušťce 8 mm a u 60 vzorků pak 12 mm.



Obrázek 65: Konstrukční spoje pomocí domino kolíku

5.1.2 Postup výroby vzorků

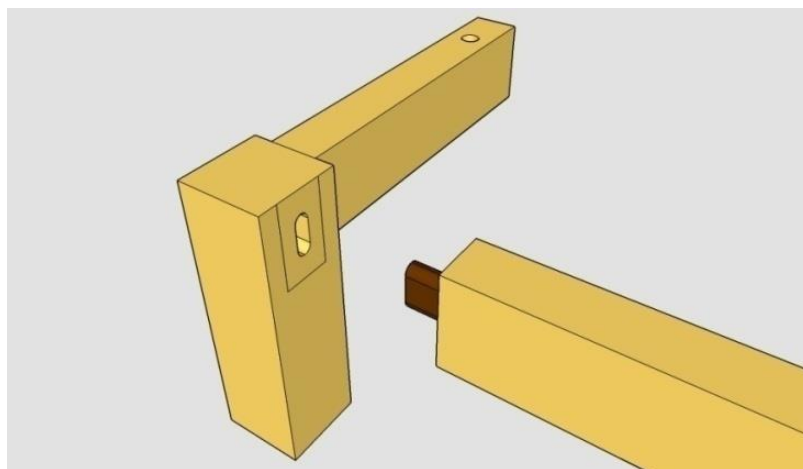
Vzorky byly vyrobeny z truhlářského smrkového řeziva o síle 30 a 50 mm. Vysušené fošny se nejprve zkrátily na délky do 2 metrů pro lepší manipulaci. Po zkrácení na zkracovací pile se z neomítaných fošen odřezávaly oblé krajiny a kůra na omítací pile. Omítnuté desky byly nařezány na rozmítací pile na hrubou šířku cca. 60 mm. Jednotlivé přířezy se srovnaly na truhlářské srovnávače do pravého úhlu s jednou plochou a jednou hranou. Další fází bylo protažení přířezů na finální tloušťkové profily tj. (25x45mm a 45x45mm). Dále se přířezy zkrátily na požadovaný rozměr 150 mm u čtvercového profilu a 180 mm u obdélníkového. Posledními strojovými operacemi byly vrtání děr o průměru 10 mm pro uchycení do zkušebního stroje a frézování otvorů pro domino kolíky. Vrtání otvorů bylo provedeno na stojanové vrtačce. Provádění otvorů pro spojovací kolíky se frézovalo frézku na kolíkové otvory domino.



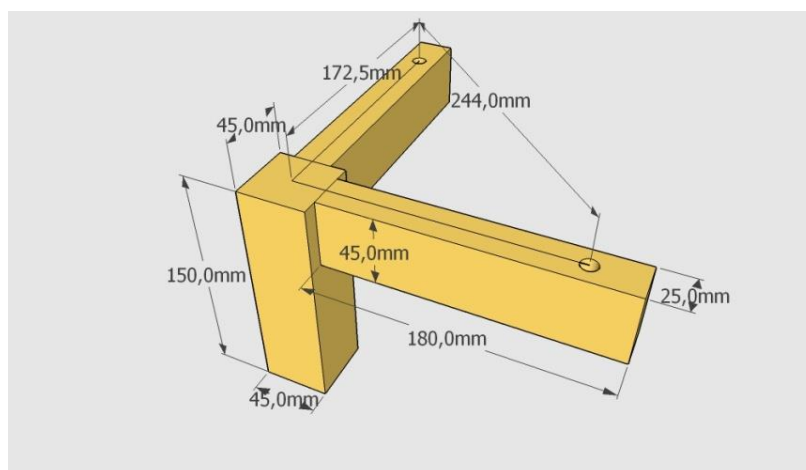
Obrázek 66: Frézka na domino kolíky Festool

(Zdroj: www.festool.cz)

Na obr. 67 a 68 je znázorněn spoj a rozměry testovaných vzorků.



Obrázek 67: Spoj domino



Obrázek 68: Rozměry vzorků

5.1.3 Lepení spojů

Lepení vzorků bylo prováděno v rukodílně na ČZU v Praze a probíhalo dvěma způsoby, kdy první byl za použití PVAc lepidla a druhý za použití PUR. Obě lepidla, byla od společnosti AGGLU. PUR lepidlo bylo použito – Neopur 2238 R a PVAC Ag-Coll 873/L D3.



Obrázek 69: Použitá lepidla

a) PVAc lepidlo, b) PUR lepidlo

(Zdroj: a) www.bezanex.sk; b) www.prestolarov.sk)

5.1.4 Klimatizace zkušebních vzorků

Pro měření bylo třeba zkušební vzorky klimatizovat na vlhkost 10 %, protože zkoumané vzorky mají předpokládané použití v interiéru.

Určení vlhkosti ve vzorcích

Určení a ověření obsahu vlhkosti ve vzorcích byla před a po testování zkušebních vzorků. Tyto výpočty byly provedeny podle normy ISO 13061-1 (2014).

$$w = \frac{m_w - m_0}{m_0} 100 \quad (1)$$

Kde:

W – vlhkost tělesa [%]

m_w – hmotnost tělesa před vysušením [g]

m_0 – hmotnost tělesa po vysušení [g]

5.1.5 Stanovení hustoty dřeva

Stanovení hustoty zkušebních vzorků byla provedena dle normy ISO 13061-2 (2014) and Eq.1.

$$\rho_w = \frac{m_w}{b_w h_w l_w} = \frac{m_w}{V_w} \quad (2)$$

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 vzorku při vlhkosti W [cm³]

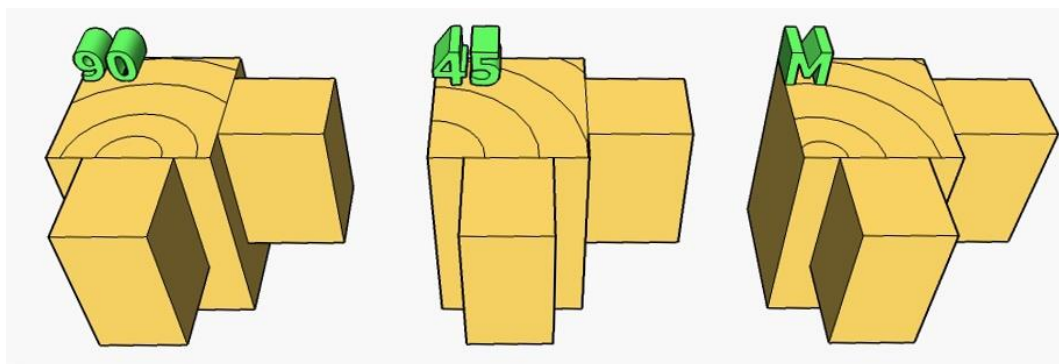
V_w – objem tělesa při vlhkosti W [cm³]

5.2 Experimentální měření

Měření a zkoušení vzorků bylo prováděno v laboratoři na ČZU v Praze (na katedře základního zpracování dřeva).

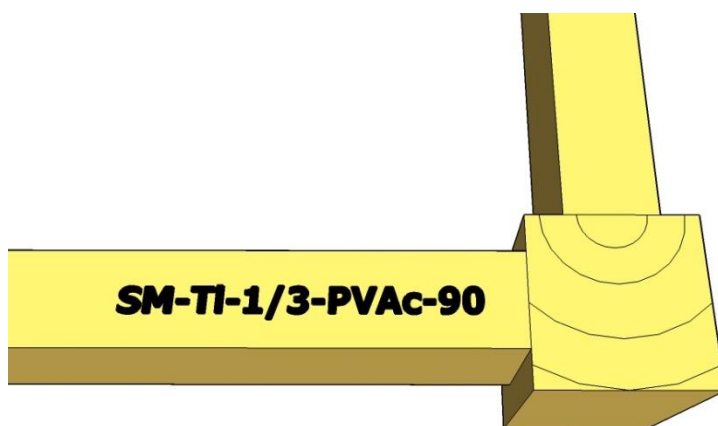
5.2.1 Značení vzorků

Každý vzorek byl označen symbolem 45, 90 nebo písmenem M. Toto značení popisuje směr letokruhů na zkušebních vzorcích.

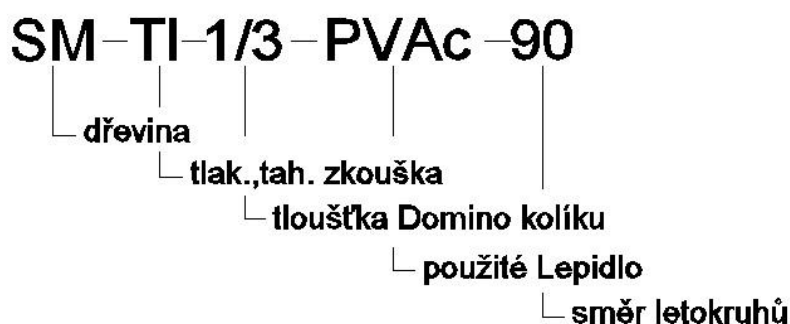


Obrázek 70: Směr letokruhů na vzorcích

90 – letokruhy svírají pravý úhel k jedné hraně vzorku, 45 – letokruhy svírají 45° ke hraně vzorku, M – směr letokruhů je mezi 45° a 90°.



Obrázek 71: Značení zkušebních vzorků



Obrázek 72: Popis zkratek na vzorcích

5.2.2 Postup operací při měření:

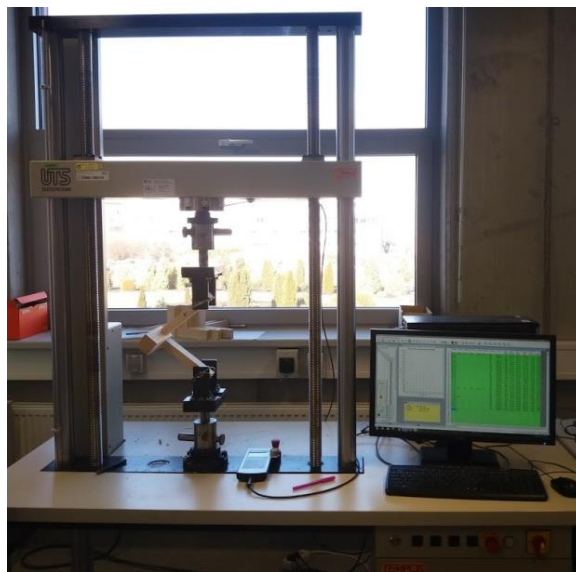
- Každý vzorek byl vložen do zkušebního stroje.
- Vzorky byly uchyceny ve zkušebním stroji pomocí speciálního přípravku.
- Zajištění vzorků bylo pomocí svorníků o průměru 10 mm a na konci byly zajištěny kovovou závlačkou. Přípravek ve stroji je určen pro různé šířky zkušebních vzorků, proto bylo dbáno nato, aby zkušební vzorky byly umístěny co nejvíce na středu přípravku.
- Byla provedena tahová i tlaková zkouška vzorků.
- Vzorek byl zatěžován při rychlosti posuvu 15 mm/min.
- Čas zkoušky byl v rozmezí 1,5 až 2,5 min.
- Každý vzorek byl po provedení tahové/tlakové zkoušky pečlivě zvážen a přečtená hodnota z váhy se zapsala do tabulky.

5.2.3 Použité stroje a zařízení při měření

Při měření byly použity následující stroje a zařízení.

Trhací stroj UTS 50

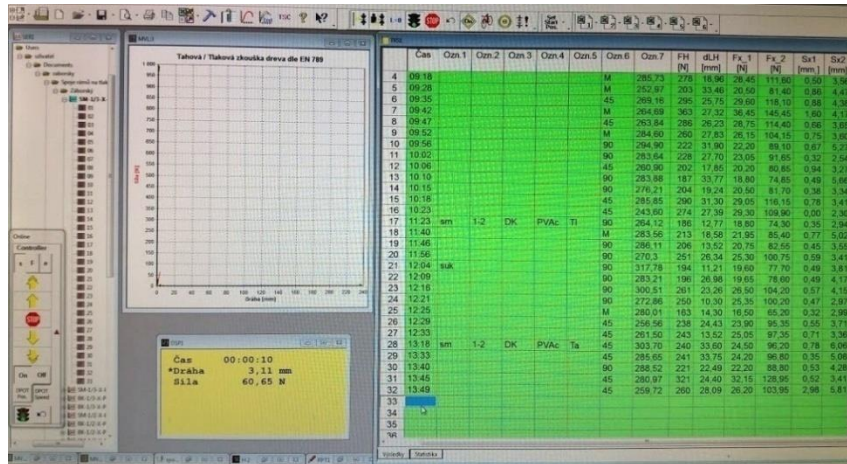
Samotné zkoušení, probíhalo na zkušebním stroji UTS 50. Jedná se o univerzální zkušební stroj UTS Testsysteme s rozsahem do 50 kN řízený počítačem. Elektromechanický zkušební stroj slouží na měření a zkoušení mechanických vlastností dřeva a dřevěných materiálů. Stroj je modernizovaný zejména softwarově na TIRA. Umožňuje regulovat rychlost a sílu zatěžování, včetně rychlosti posuvu hlavice (mm/min). Stroj zaznamenává posun hlavice a sílu, která je využita k jejímu posunu. Ve zkušebním stroji lze testovat vzorky různých šířek. Testované vzorky byly opatřeny otvory, které umožnily připevnění vzorku do hlavice (přípravku) stroje.



Obrázek 73: Zkušební stroj UTS 50

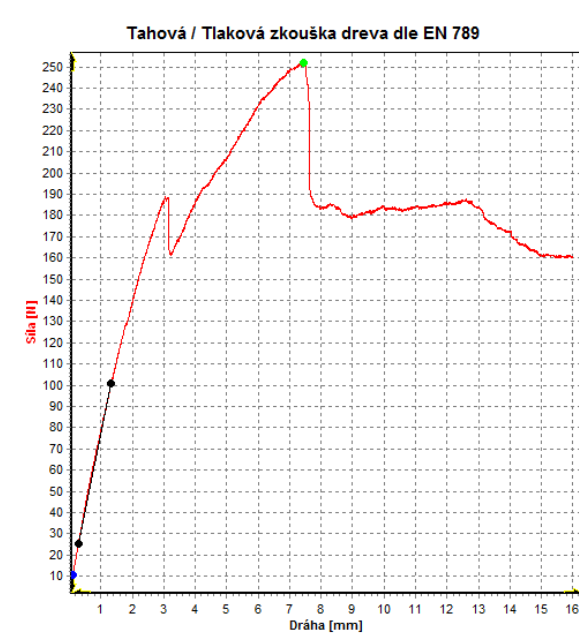
Tira software

Trhací stroj je ovládán pomocí programu Tira software od firmy TIRA. Pomocí Tira softwaru lze nastavit rychlost a velikost zatížení trhacího stroje. Zatížení a deformace je v levé části obrazovky zobrazena graficky a v pravé číselně. Výstupem z tohoto softwaru jsou hodnoty z měření, které se exportují např. do programu Microsoft Excel. Grafický export byl proveden jako obrázek ve formátu JPEG.



Obrázek 74: TIRA software

Software Tira vytvoří graf, ze kterého lze zjistit tuhost konstrukčního spoje.

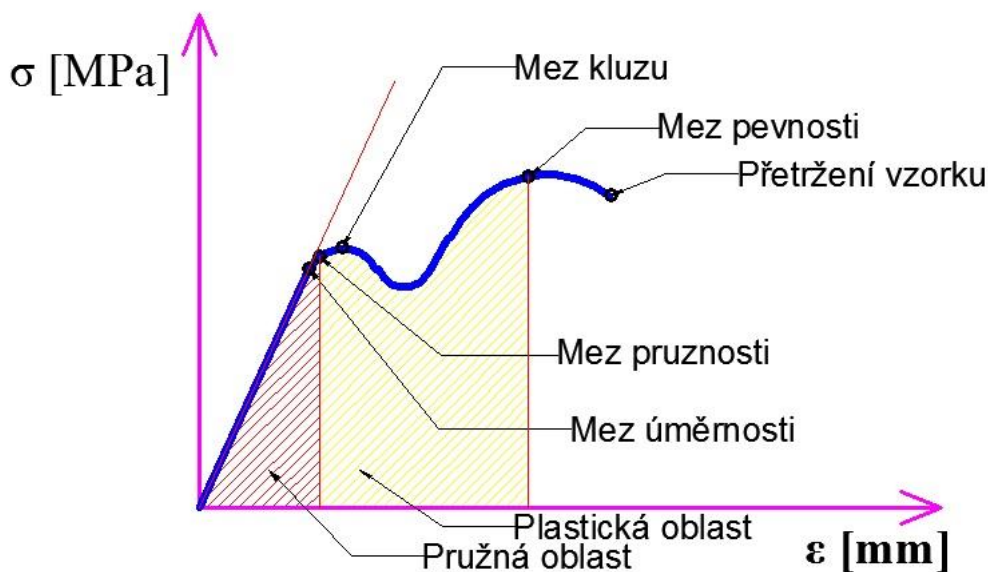


Graf 1: Ukázka výstupu z TIRA

(vodorovná osa-dráha v mm; svislá osa-síla v N)

Pevnostní vlastnosti daného spoje jsou nejlépe zřetelné z pracovního diagramu. Průběh pracovního diagramu vycházel z Hookova zákona:

Napětí je vztaženo k řezu tělesa. Jednotkou napětí je tlak (síla na plochu). V tělese při namáhání jsou dvě složky vnitřní síly, **normálová** a **tečná**, a tím i dvě složky napětí, **normálové** a **tečné** (smykové).



Graf 2: Obecný deformační diagram

Do **meze úměrnosti** je deformace přímo úměrná napětí materiálu a po odlehčení zmizí veškeré deformace a rozměr tělesa se vrátí na zpět, (do této meze platí Hookův zákon).

Při napětí větším, než je **mez pružnosti**, dochází k nevratné (plastické) deformaci.

Nad **mez kluzu** se materiál prodlužuje (teče) a napětí se přitom nezvětšuje.

Mez pevnosti je maximální napětí, které materiál snese.

Přetržení vzorku je bod, kdy dojde k přetržení (oddělení) materiálu.

Microsoft excel

Microsoft excel je tabulkový procesor od firmy Microsoft. Excel je program, který pracuje s daty. Matematicky a statisticky je zpracovává. Další možností je roztřídění dat včetně vytvoření různých grafů. Excel je jeden z nejlepších programů pro ty, kdo pracují s čísly. Do Excelu byla zkopírována data ze softwaru TIRA.

Digitální váha PCB

Pro vážení vzorků byla použita digitální váha PCB–2500–2 od známého německého výrobce Kern&SohnGmbH. Maximální rozsah vážení je 2500 g, minimální hmotnost jednoho kusu je 0,02 g a váží s přesností na 0,01g.



Obrázek 75: Digitální váha KERN PCB–2500–2

(Zdroj: www.vahy-kern.cz)

Statistica 12

Program statistica 12 je komplexní analytický software pro správu, analýzu, vizualizaci a grafické zobrazení dat. Pro analýzu naměřených dat byla použita dvoufaktorová analýza rozptylu a jednorozměrné testy významnosti.

5.3 Výpočty charakteristik

Po změření byl každý vzorek pečlivě zvážen kvůli stanovení přesné hustoty dřeva.

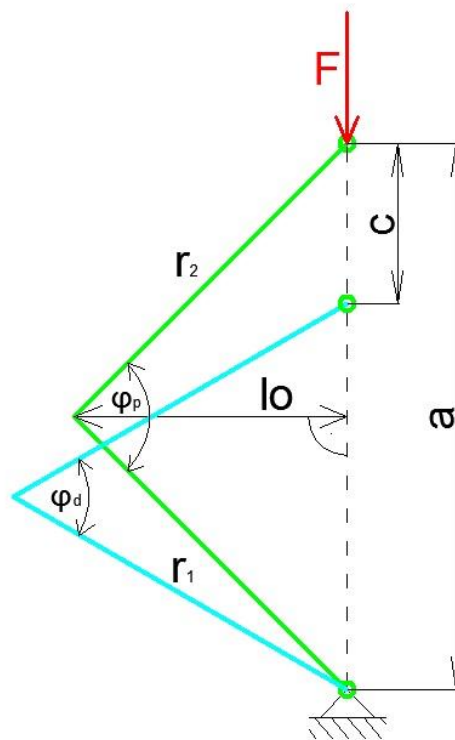


Obrázek 76: Vážení vzorků

Na obrázku 77 a 78 je schematicky znázorněna tahová a tlaková zkouška, která se prováděla na testovaných vzorcích. Zelenou barvou je znázorněn stav vzorku před zatěžováním a modrou barvou je znázorněn deformovaný stav. Uchycení lubů vzorku bylo realizováno pomocí ocelového přípravku, ve kterém se luby zafixovaly

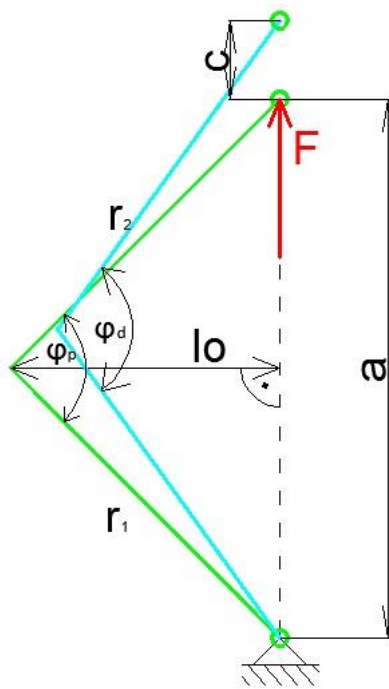
pomocí ocelových čepů o průměru 10 mm. Po vložení ocelových čepů skrz přípravek a luby se každý čep zajistil ocelovou závlačkou.

V průběhu experimentální zkoušky byla vyhodnocována změna vzdálenosti mezi ocelovými kolíky přípravku ($a-c \rightarrow a$). Z této změny vzdálenosti byla vypočítána přes funkci arccos úhel φ_d v radiánech.



Obrázek 77: Schéma tlakové zkoušky

F – síla	[N]
$r_{1,2}$ – délka ramen (vzdálenost síly od osy otáčení)	[m]
φ_p – úhel spoje před zatížením	[rad]
φ_d – úhel spoje po zatížení	[rad]
l_0 – rameno síly z původního tvaru	[m]
a – vzdálenost ramen	[m]
c – posunutí ramen	[m]



Obrázek 78: Schéma tahové zkoušky

Podle Joščáka (1999) je úhlová **deformace spoje** φ vypočtena jako:

$$\varphi = \varphi_p \pm \varphi_d \quad (3)$$

Kde:

φ – úhlová deformace [rad]

φ_p – úhel před deformací [rad]

φ_d – úhel po deformaci [rad]

Deformace na mezi únosnosti vyjádříme (φ_{\max})

Deformace na mezi únosnosti spoje φ_{\max} představuje maximální úhlovou deformaci vzniklou při maximální únosnosti spoje.

$$\varphi_{\max} = \varphi_p \pm \varphi_{d\max} \quad (4)$$

Kde:

φ_{\max} – úhlová deformace na mezi únosnosti [rad]

φ_p – úhel před deformací [rad]

$\varphi_{d, \max}$ – maximální úhel po deformaci [rad]

Po zatížení konstrukčního spoje vznikne tvar obecného trojúhelníku a jeho úhel φ_d lze vyjádřit z **Kosinovy věty**:

$$a^2 = b^2 + c^2 - 2bc \cos \alpha \quad (5)$$

$$2bc \cos \alpha = b^2 + c^2 - a^2 \quad (6)$$

$$\cos \alpha = \frac{b^2 + c^2 - a^2}{2bc} \quad (7)$$

Po matematických úpravách dostáváme tvar vzorce:

$$\alpha = \arccos \frac{b^2 + c^2 - a^2}{2bc} \quad (8)$$

Po dosažení našich hodnot dostáváme tvar:

$$\varphi_d = \arccos \frac{r_1^2 + r_2^2 - (a-c)^2}{2r_1 r_2} \quad (9)$$

Rozpětí ramen se vypočítá podle vzorce:

$$a = \sqrt{r_1^2 + r_2^2 - 2r_1 r_2 \cos \varphi_p} \quad (10)$$

Rameno síly se stanoví z obsahu a strany **obecného trojúhelníku**:

$$l_0 = \frac{2 \cdot S}{a} \quad (11)$$

$$S = \frac{1}{2} * r_1 * r_2 * \sin \varphi_p \quad (12)$$

Po matematických úpravách dostáváme tvar vzorce:

$$l_0 = \frac{r_1 r_2 \sin \varphi_p}{a} \quad (13)$$

V tomto testování pevnostních vlastností byla zkoumaná únosnost a tuhost konstrukčního spoje. Tyto pevnostní vlastnosti se vypočítaly dle následujících vztahů:

Na začátku měření byla velikost ramene síly L_0 stejná u všech vzorků 172,5 mm. Tato vzdálenost byla stanovena z výkresu vzorku při 90° a dopočítána. Ohybové momenty pro tento profil a zatížení byly vypočítány podle následujícího vzorce:

Únosnost spoje do meze pružnosti (ΔM) lze vyjádřit takto:

$$\Delta M = \Delta F \cdot L_0 \quad (14)$$

Kde:

ΔM – změna ohybového momentu [N·m]

ΔF – změna síly [N]

L_0 – vzdálenost otvorů [m]

ΔF představuje rozdíl dvou sil, které se zaznamenaly do pracovního diagramu při hodnotách 10 až 40 % z maximální pevnosti spoje.

Únosnost spoje do meze pružnosti byla vypočtena pro pružnou oblast.

Maximální únosnost spoje (M), se pak vypočítá:

$$M = F_{\max} \times L_0 \quad (15)$$

Kde:

M – ohybový moment [N x m]

F_{\max} – maximální síla [N]

L_0 – vzdálenost otvorů [m]

Na základě únosnosti zjistíme, jak konstrukční spoj dokáže vzdorovat vůči působením vnějších sílových účinků. Maximální únosnost spoj vyjadřuje maximální ohybový moment, který dokáže spoj vzdorovat.

Elastická tuhost spoje (C_{elast})

$$C_{\text{elast}} = \frac{\Delta M}{\Delta \varphi} \quad (16)$$

Kde:

C_{elast} – elastická tuhost [Nm / rad]

ΔM – změna ohybového momentu [N x m]

$\Delta \varphi$ – změna úhlové deformace [rad]

Elastická tuhost spoje byla vypočtena pro pružnou oblast do meze pružnosti.

Maximální tuhost (c)

$$c = \frac{M_{\text{max}}}{\varphi_{\text{max}}} \quad (17)$$

Kde:

c – elastická tuhost [Nm / rad]

M_{max} – maximální ohybový moment [N x m]

φ_{max} – maximální úhlová deformace [rad]

Tuhost je odolnost proti deformaci vyjádřena podílem vnější síly (momentu) a deformační výchylky (úhlu) ve směru působící síly.

5.3.1 Statistické zpracování dat

Střední hodnota

Střední hodnoty se zjišťovala pomocí prostého aritmetického průměru. Průměr byl počítán ze všech naměřených hodnot základního souboru. Pro aritmetický průměr je typické, že je určován ze všech naměřených hodnot znaku. Tento jev způsobuje, že průměr je citlivý na hrubé chyby. Hrubou chybou se nazývá hodnota, která se do souboru dostala nedopatřením a výrazně se liší od ostatních hodnot. Největší vliv má hrubá chyba na soubory s malým rozsahem, kde může značně ovlivnit průměrnou hodnotu souboru. Aritmetický průměr je podělení součtu všech naměřených hodnot rozsahem souboru. Aritmetický průměr se počítá dle vzorce 18 (Wonnacott, et al., 1993, Hošková, et al., 2013).

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum x \quad (18)$$

Kde:

\bar{X} – aritmetický průměr souboru

n – počet prvků v souboru

Směrodatná odchylka

Směrodatná odchylka je definovaná jako kladná druhá odmocnina rozptylu. Je uvedena ve stejných měrných jednotkách jako zkoumaný statistický znak.

$$S_0 = \sqrt{S^2} \quad (19)$$

Kde:

S_0 – směrodatná odchylka

S^2 – rozptyl

Rozptyl

Rozptyl je základní míra variability. „Definujeme ho jako aritmetický průměr čtverců odchylek jednotlivých hodnot znaku od aritmetického průměru. Měří současně variabilitu hodnot kolem aritmetického průměru a variabilitu ve smyslu vzájemných odchylek jednotlivých hodnot znaku“ (Hošková, et al., 2013).

$$S^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n} \quad (20)$$

Kde:

S^2 – rozptyl

n – počet prvků v souboru

\bar{x} – aritmetický průměr souboru

Variační koeficient

„*Variační koeficient je definován jako podíl směrodatné odchylky a průměru*“ (Hošková, et al., 2013). Jedná se o bezrozměrné číslo hodnotící relativní míru

variability a lze s ním porovnávat variabilitu jiných souborů s různými hodnotami. Častěji se toto číslo uvádí v procentech (Hošková, et al., 2013).

$$v = \frac{S}{\bar{x}} \cdot 100 [\%] \quad (21)$$

Kde:

v – variační koeficient

S – směrodatná odchylka

\bar{x} – aritmetický průměr souboru

Minimum a maximum

Minimum představuje nejnižší hodnotu v měřeném souboru, maximum pak hodnotu nejvyšší v měřeném souboru.

6 Výsledky

Všechny naměřené výsledky a číselné hodnoty z měření byly zkopírovány ze softwaru Tira do tabulkového procesoru Excel. Každý zkušební vzorek po změření obsahoval graf, číselné hodnoty sil a posunů (deformaci). Dále bylo ke každému vzorku zapsáno: druh dřeva, velikost domino kolíku, druh lepidla, typ zkoušky (tah/tlak), směr letokruhů a hmotnost vzorku. Po dokončení všech měření byly výsledky přehledně zpracovány do grafů a tabulek.

Následně byly všechny naměřené hodnoty statisticky a graficky zpracovány v programu Statistica 12 a v tabulkovém procesoru Excel.

Ve výsledku byly posuzovány tyto faktory na tuhost spoje:

- průběh letokruhů,
- dřevina,
- typ namáhání,
- velikosti domino kolíku,
- druh lepidla,
- hustota vzorku.

Tabulka 1: Základní statistické údaje hustoty a elastické tuhosti konstrukčního spoje

druh dřeva	tah/tlak	šířka spoje	typ lepidla	hustota v g/cm ³			elastická tuhost v Nm/rad		
				průměr	směr. odchylka	variační koef.	průměr	směr. odchylka	variační koef.
SM	Tl	1/3	PVAc	0,405	0,028	6,9	361	125	34,5
SM	Tl	1/2	PVAc	0,403	0,018	4,6	335	71	21,3
SM	Tl	1/3	PUR	0,498	0,018	3,6	607	327	53,9
SM	Tl	1/2	PUR	0,485	0,008	1,6	730	203	27,8
SM	Ta	1/3	PVAc	0,406	0,027	6,7	322	115	35,6
SM	Ta	1/2	PVAc	0,413	0,017	4,2	319	95	29,8
SM	Ta	1/3	PUR	0,488	0,017	3,4	352	144	40,9
SM	Ta	1/2	PUR	0,505	0,018	3,6	249	76	30,5
BK	Tl	1/3	PVAc	0,698	0,047	6,7	1397	710	50,9
BK	Tl	1/2	PVAc	0,711	0,012	1,6	502	142	28,4
BK	Tl	1/3	PUR	0,708	0,035	5,0	792	257	32,5
BK	Tl	1/2	PUR	0,717	0,007	1,0	894	383	42,9
BK	Ta	1/3	PVAc	0,721	0,012	1,7	1301	691	53,1
BK	Ta	1/2	PVAc	0,716	0,024	3,4	418	134	32,0
BK	Ta	1/3	PUR	0,715	0,013	1,8	521	166	31,9
BK	Ta	1/2	PUR	0,712	0,007	1,0	399	85	21,4

6.1 Statisticky zpracované výsledky v softwaru Statistica 12

Pro statistické vyhodnocení naměřených výsledků byla použita čtyř-faktorová analýza rozptylu v softwaru Statistica 12. Tato analýza rozptylu hodnotí účinky jednotlivých faktorů a jejich dvou, tří nebo čtyř vzájemných kombinací. K tomuto ohodnocení účinku jednotlivých faktorů i jejich vzájemnou kombinací byl použit Fisherův F-test s hladinou významnosti $\alpha = 0,05$. F-test na základě hladiny významnosti P stanoví, zda a v jaké míře je sledovaný faktor statisticky významný.

Podle hodnot P lze testovaný faktor 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).

6.2 Tuhost spojů v závislosti na průběhu letokruhů

Z tabulky č. 2 vyplývá, že na hladině významnosti $P = 0,410$ odklon letokruhů nemá statisticky významný účinek na hodnoty tuhosti testovaných vzorků.

Tabulka 2: Přehled statistických charakteristik hodnotících vliv jednotlivých faktorů na tuhost spoje

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	47371955	1	47371955	227,332	0,000
Deflection of annual rings	373778	2	186889	0,896	0,410
Error	32715957	157	208382		

Jedno faktorová analýza

V grafu č. 3 je zřejmé že odklon letokruhů nemá statisticky významný vliv na hodnotu tuhosti. Na zkušebních vzorcích byla větší průměrná hodnota u 90° průběhu letokruhu, následně pak průběh letokruhu M a nejmenší průměrná hodnota je u vzorků s průběhem letokruhů o 45°. Vzorky s průběhem letokruhu M mají průměrnou tuhost (577,46 Nm/rad), 90° vzorky (644,51 Nm/rad) a vzorky s průběhem letokruhu 45° (521,75 Nm/rad).



Graf 3: účinek faktoru odklonu letokruhu na tuhost spoje

6.3 Tuhost spojů v závislosti na průběhu letokruhů a dřevině

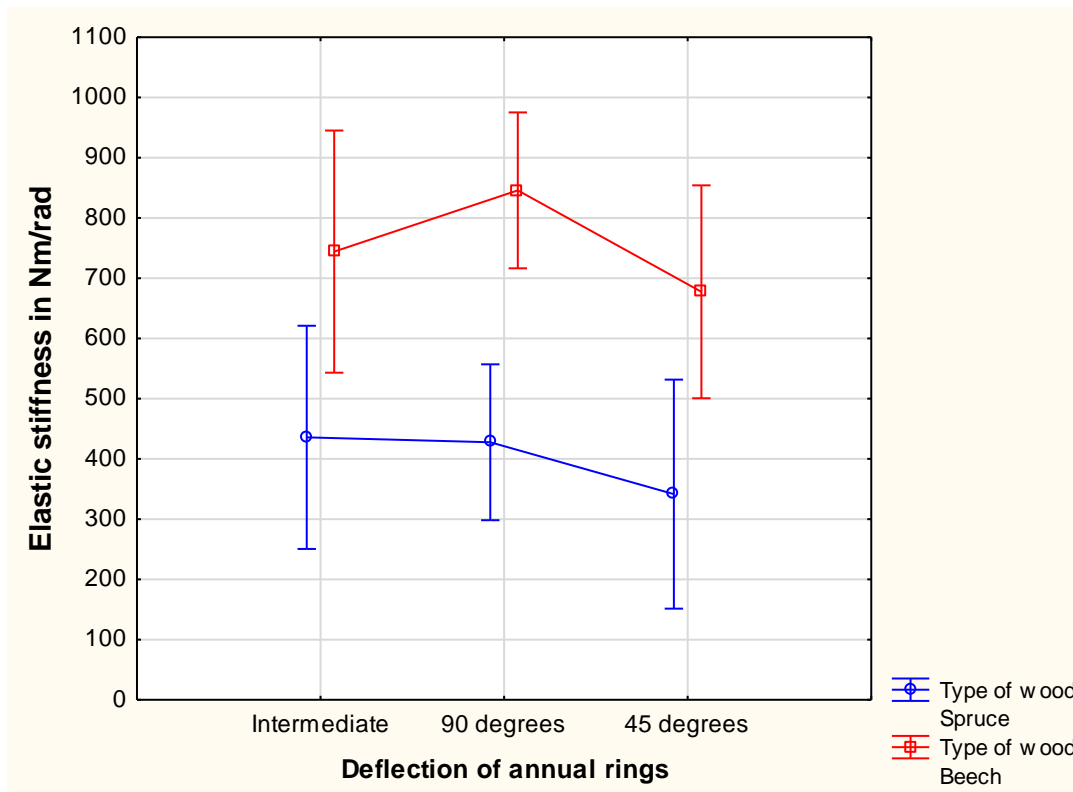
Pro porovnání účinku faktoru průběhu letokruhů a dřeviny na tuhost spoje je uvedeno v tabulce č.3 a graficky znázorněno v grafu č. 4.

Tabulka 3: Přehled statistických charakteristik hodnotících vliv jednotlivých faktorů na tuhost spoje

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	47153746	1	47153746	267,913	0,000
Type of wood	4415813	1	4415813	25,089	0,000
Deflection of annualrings	441651	2	220825	1,254	0,288
Type of wood*Deflection of annualrings	94480	2	47240	0,268	0,764
Error	27104557	154	176004		

6.3.1 Dvou faktorová analýza

Na následujícím grafu je patrné že dvou faktorová analýza **dřevina*průběh letokruhů** při hladině významnosti $P = 0,764$ (Tab.3) není statisticky významná. Projevil se ale rozdíl v tuhosti způsobený vlivem dřeviny.



Graf 4: účinek faktoru (průběh letokruhu*dřevina) na tuhost spoje

6.4 Tuhost spojů v závislosti na dřevině, typu namáhání, velikosti domino kolíku a druhu lepidla

Z tabulky č. 4 je patrné, že z jedno faktorových analýz má na tuhost spoje statisticky významný účinek **dřevo, typ namáhání a tloušťka domino kolíku**. Jako statisticky nevýznamný účinek se ukázal druh lepidla. V případě dvou faktorové analýzy se potvrdil jako statisticky významný účinek **dřevina*velikost domino kolíku, dřevina*druh lepidla** a **typ namáhání*druh lepidla**. Statisticky nevýznamný účinek ve dvou faktorové analýze se ukázal dřevina*druh namáhání a druh namáhání*velikost domino kolíku. Jako tří faktorová analýza ukazuje statisticky významný účinek **dřevina*typ namáhání*druh lepidla**, statisticky nevýznamný jsou pak dřevina*typ namáhání*velikost domino kolíku, dřevina*typ

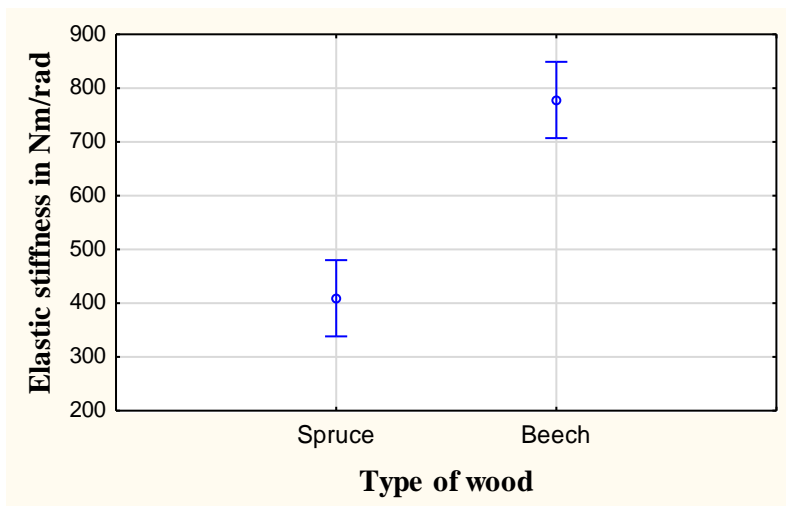
namáhání*druh lepidla, typ namáhání*velikost domino kolíku*druh lepidla. Ve čtyř faktorové analýze se nepotvrdil statisticky významný účinek dřevina*namáhání*velikost domino kolíku*lepidlo.

Tabulka 4: Přehled statistických charakteristik hodnotících vliv jednotlivých faktorů a jejich 2,3 a 4 faktorových vzájemných kombinací na tuhost spoje

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	56369175	1	56369175	546,543	0,000
1Type of wood	5439164	1	5439164	52,737	0,000
2Type of loading	1885855	1	1885855	18,284	0,000
3Thickness joints	2043851	1	2043851	19,816	0,000
4Type of glue	105252	1	105252	1,020	0,314
Type of wood*Type of loading	14911	1	14911	0,144	0,704
Type of wood*Thicknessjoints	2001238	1	2001238	19,403	0,000
Type of loading*Thicknessjoints	108103	1	108103	1,048	0,308
Type of wood*Type of glue	1622926	1	1622926	15,736	0,000
Type of loading*Type of glue	1002543	1	1002543	9,720	0,002
Thicknessjoints*Type of glue	2037999	1	2037999	19,760	0,000
Type of wood*Type of loading*Thicknessjoints	51	1	51	0,000	0,982
Type of wood*Type of loading*Type of glue	5624	1	5624	0,054	0,815
Type of wood*Thicknessjoints*Type of glue	1823384	1	1823384	17,679	0,000
Type of loading*Thicknessjoints*Type of glue	146925	1	146925	1,425	0,235
Type of wood*Type of loading*Thicknessjoints*Type of glue	106	1	106	0,001	0,974
Error	14851804	144	103138		

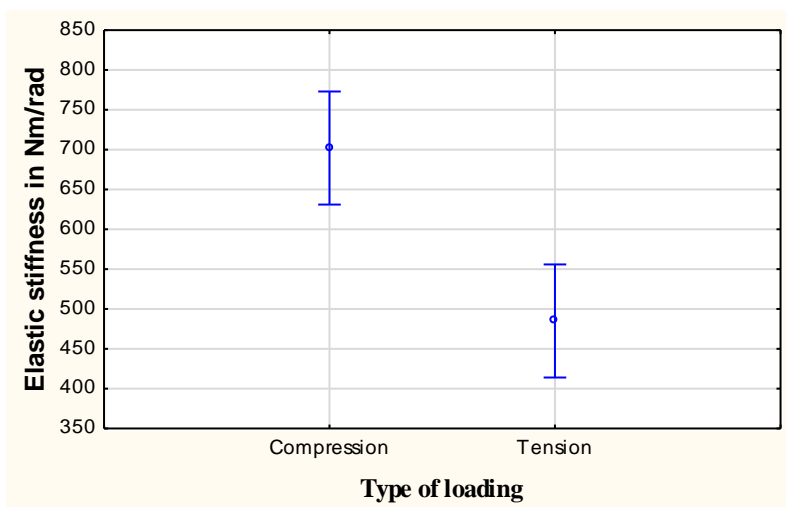
6.4.1 Jedno faktorová analýza

V grafu č. 5 je zřejmé že dřevina má statisticky významný vliv na hodnotu tuhosti. Na zkušebních vzorcích byla větší průměrná hodnota u dřeviny buk. Na hladině významnosti $P = 0,000$ můžeme konstatovat, že dřevina má zásadní vliv na tuhost spoje.



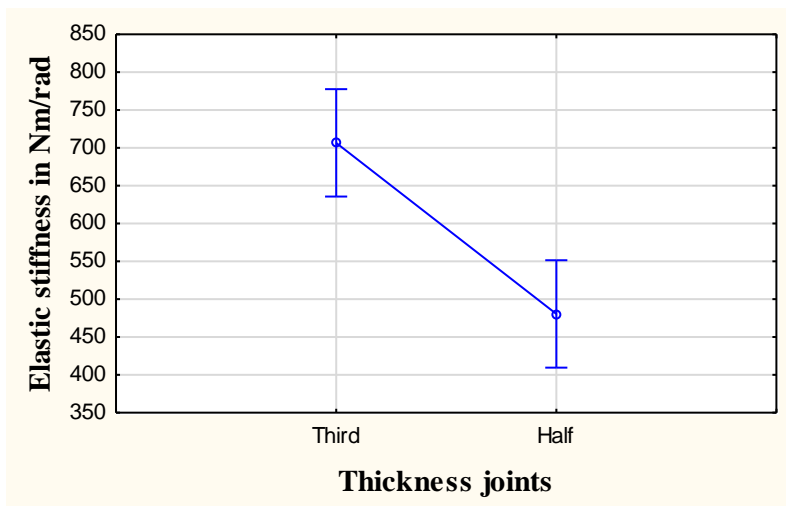
Graf 5: Účinek faktoru druh dřeviny má vliv na tuhost spoje

Dle hladiny významnosti $P = 0,000$ pro tuhost spoje lze usoudit, že typ namáhání (tlak/tah) patří mezi významné statistické charakteristiky. Graficky je faktor patrný z grafu č. 6.



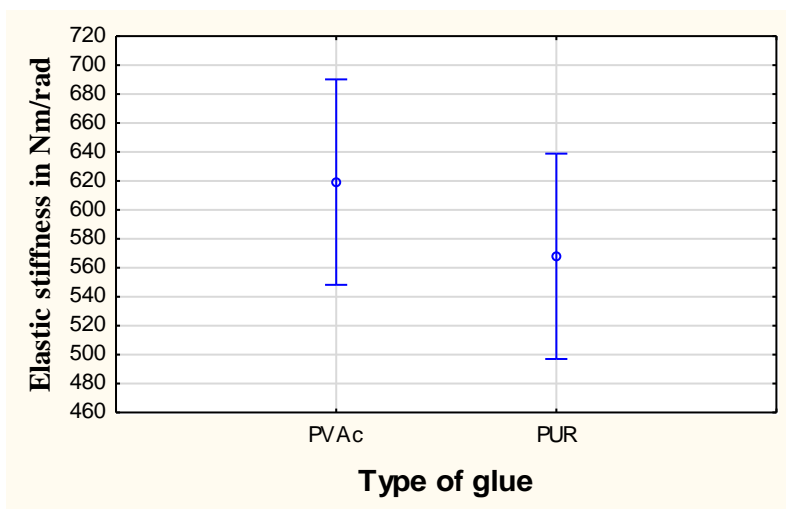
Graf 6: Účinek faktoru typ namáhání má vliv na tuhost spoje

Hladina významnosti $P = 0,000$ pro tuhost spoje opět potvrzují statistický velmi významnou spojitost mezi velikostí domino kolíku a tuhosti spoje. Přehledně je zobrazeno v grafu č. 7.



Graf 7: Účinek faktoru velikosti domino kolíku má vliv na tuhost spoje

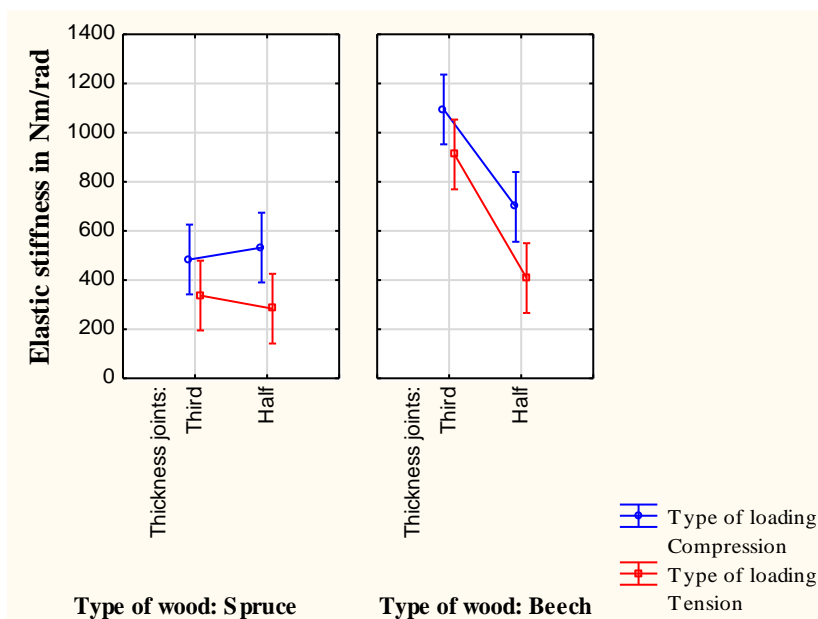
Typ lepidla se u konstrukčních spojů jeví jako statisticky nevýznamný, $P = 0,314$.



Graf 8: Účinek faktoru typu lepidla nemá vliv na tuhost spoje

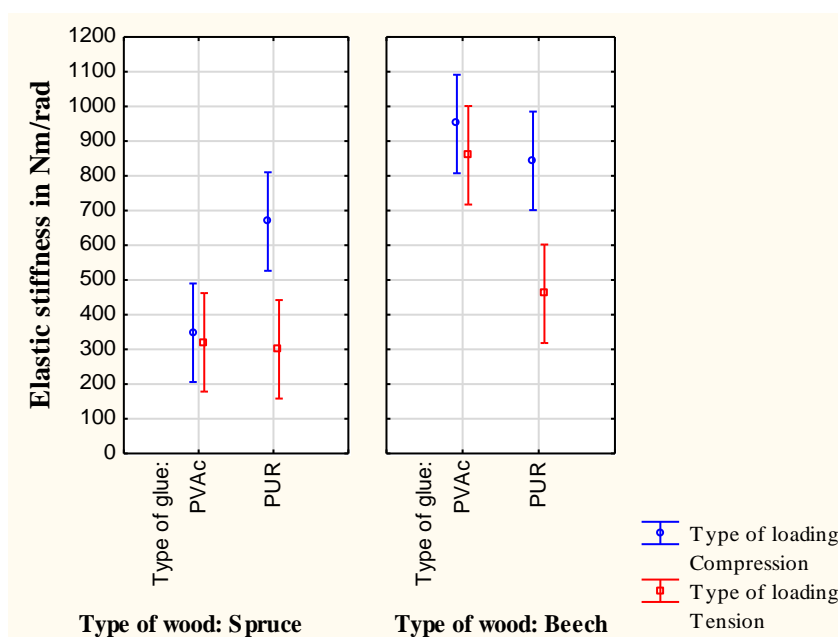
6.4.2 Tří faktorová analýza

Při vzájemném působení dřevina*typ namáhání*velikost domino kolíku jsou na hladině významnosti $P = 0,816$ tyto faktory statisticky nevýznamné. Největší rozdíl je u bukové dřeviny.



Graf 9: Účinek dřevina*typ namáhání*velikost domino kolíku

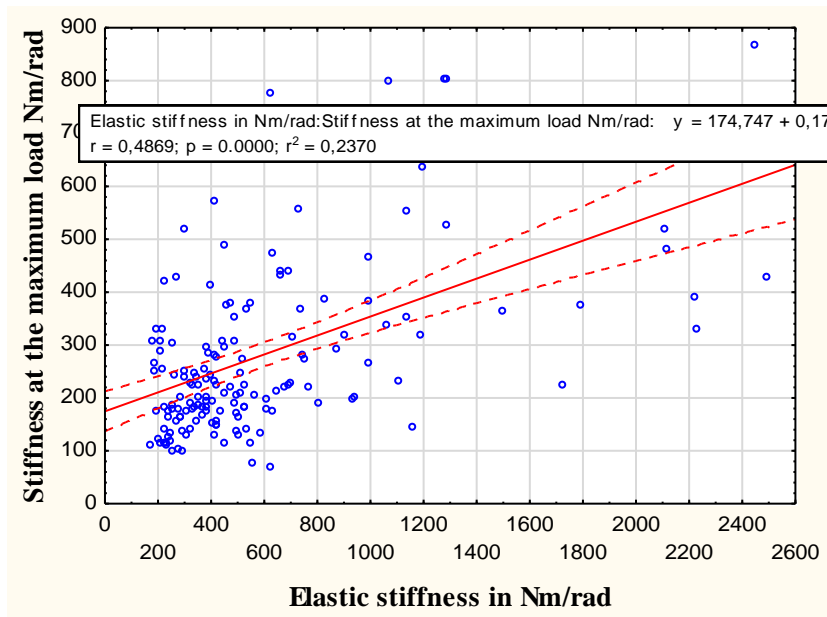
Graf č. 10 zobrazuje vzájemné působení faktorů dřevina*typ namáhání*druh lepidla. Na základě hladiny významnosti $P = 0,816$ můžeme konstatovat, že nemá statistický význam. Je patrné, že bukové vzorky mají vyšší tuhost než smrkové při obou typech namáhání i při obou druzích lepidel. Nejmenší rozdíly jsou při použití PVAc lepidla u obou typů namáhání jak u smrkové, tak bukové dřeviny.



Graf 10: Účinek dřevina*typ namáhání*druh lepidla

6.5 Maximální tuhost spojů v závislosti na pružné tuhosti spojů

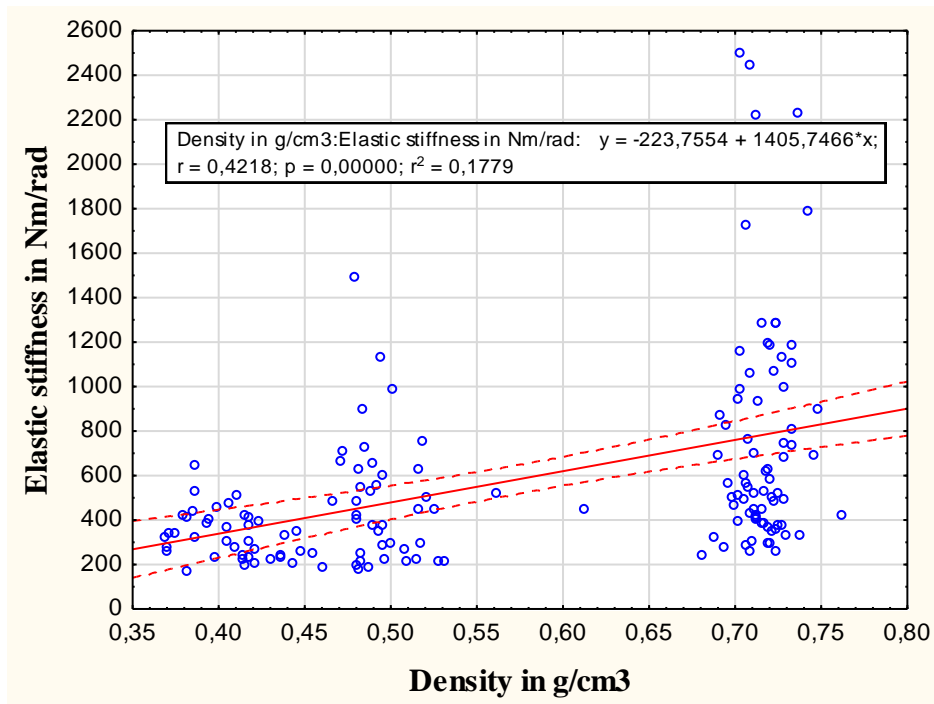
Z bodového grafu č. 11 je patrné, že s růstem pružné tuhosti také roste maximální tuhost konstrukčního spoje. Na tomto grafu je patrná malá závislost (korelace) mezi maximálním zatížením a tuhostí. Zde korelační koeficient lineární závislosti dosahuje hodnoty $r = 0,487$.



Graf 11: Účinek maximální tuhost*pružná tuhost spoje

6.6 Pružná tuhost spoje v závislosti na hustotě zkušebních vzorků

Z grafu č. 12 je patrná malá závislost (korelace) mezi faktorem hustotou a sledovanou charakteristikou tuhostí spoje. Zde korelační koeficient lineární závislosti dosahuje hodnoty $r = 0,422$.



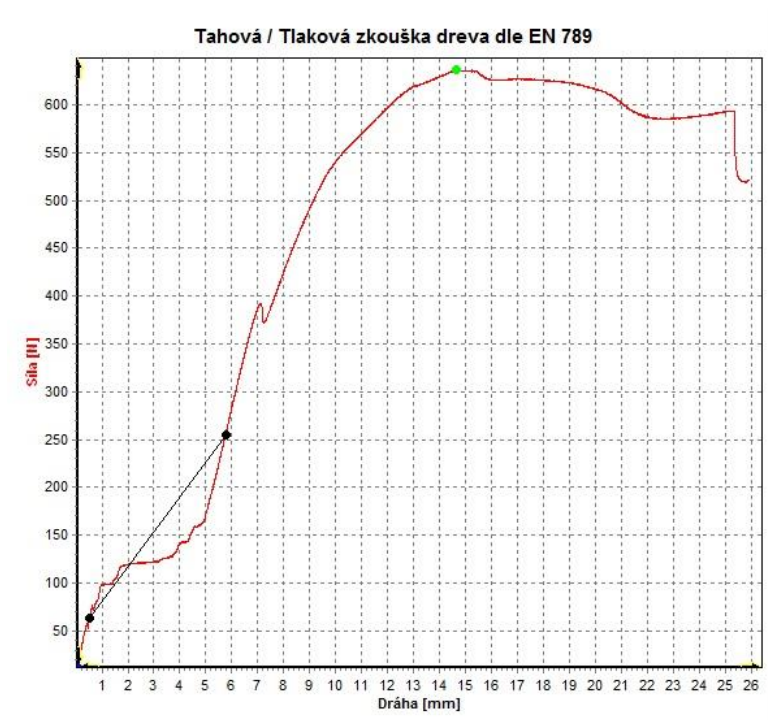
Graf 12: Účinek hustoty*tuhost spoje

Hustoty smrku se pohybovali cca. od 0,35 do 0,50 g/cm³, hustoty buku pak od 0,67 do 0,75 g/cm³.

6.7 Grafy průběhu zkoušky ze softwaru Tira

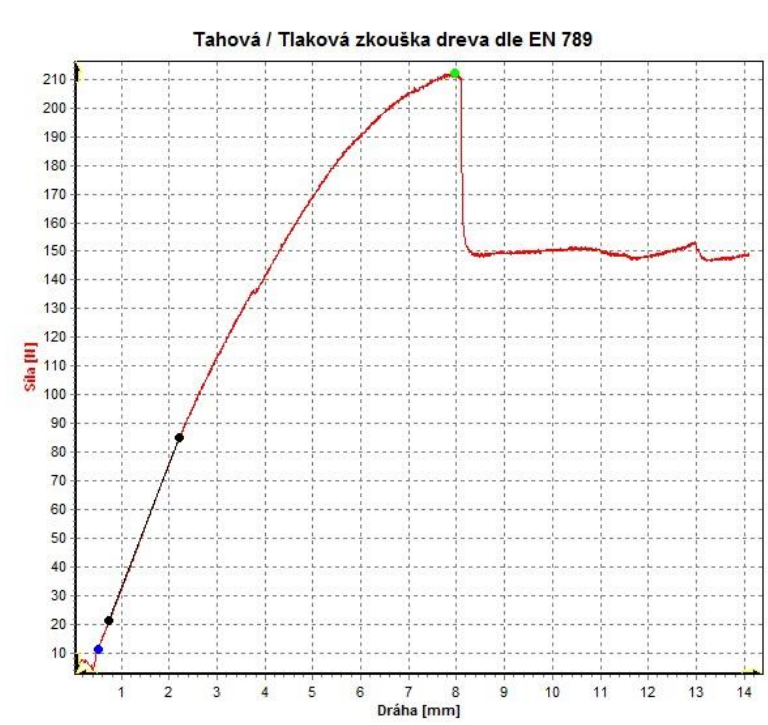
V průběhu zatěžování zkušebních těles tahem/tlakem software Tira vykreslil graf průběhu zkoušky. Křivka grafu zobrazuje změnu síly a změnu dráhy v průběhu testu až do meze pevnosti spoje. Vykreslená černá přímka v grafech zobrazuje oblast mezi 10 % a 40 % meze pevnosti spoje. Grafy se většinou podobaly klasickému pracovnímu diagramu. Některá tělesa měla nepravidelný průběh zkoušky. Tyto nepravidelné průběhy mohli být způsobeny vytečením lepidla z otvoru, drobnou nepřesností při výrobě testovaných vzorků či růstovými vadami dřeva.

Na grafu č.13 je vidět průběh zkoušky s poklesem síly okolo 100 N. Než došlo k vyrovnání síly, zvýšila se deformace o cca. 2 mm. Tento pokles mohlo způsobit porušení lepené spáry a následné opření domino kolíku.



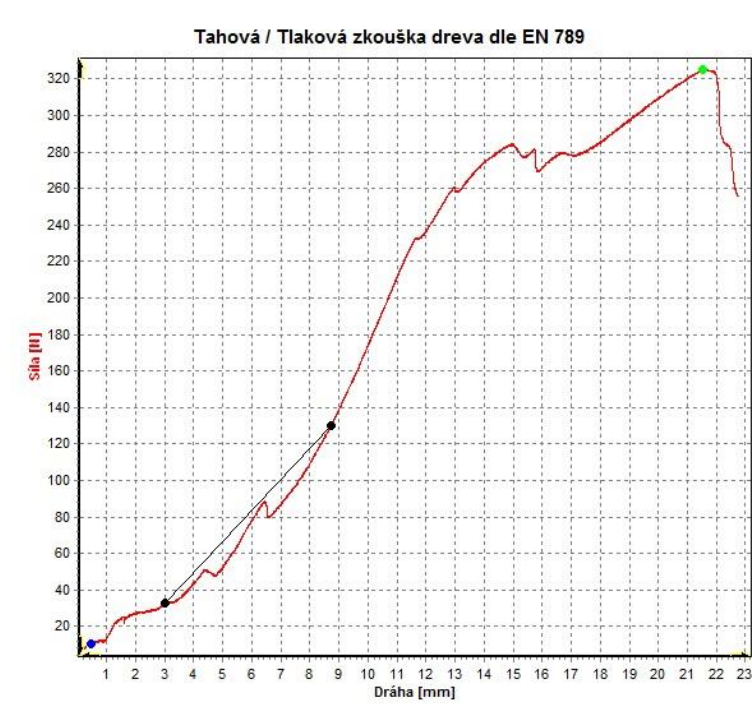
Graf 13: Tahová zkouška, BK, PUR lepidlo, 12 mm domino kolík

Na grafu č.14 je patrný očekávaný průběh zkoušky. Oblast pružné deformace je zde lineární.



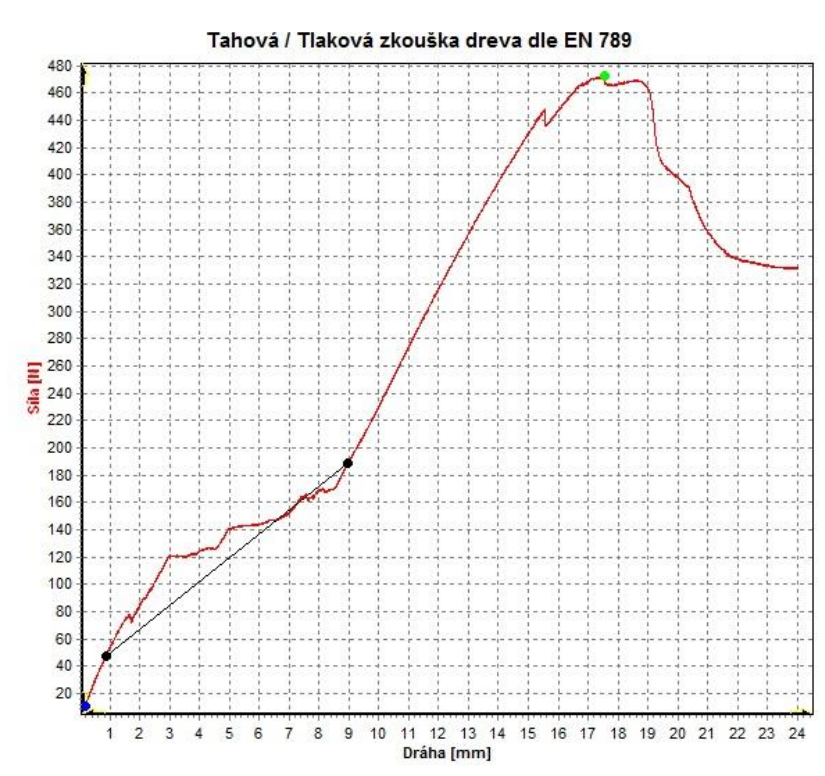
Graf 14 Tlaková zkouška, SM, PUR lepidlo, 12 mm domino kolík

Na grafu č. 15 je patrný nelineární průběh zkoušky v pružné deformaci. Jednotlivé poklesy sil mohly být opět způsobeny porušením lepené spáry, opřením domino kolíku nebo drobnými prasklinami.



Graf 15 Tahová zkouška, BK, PUR lepidlo, 8 mm domino kolík

Graf č.16 zobrazuje tahovou zkoušku, kdy průběh v pružné deformaci je spíše konkávní. Tato skupina zkušebních těles vykazovala nejmenší průměrnou elastickou tuhost s hodnotou 319 Nm/rad.



Graf 16 Tahová zkouška, SM, PUR lepidlo, 12 mm domino kolík

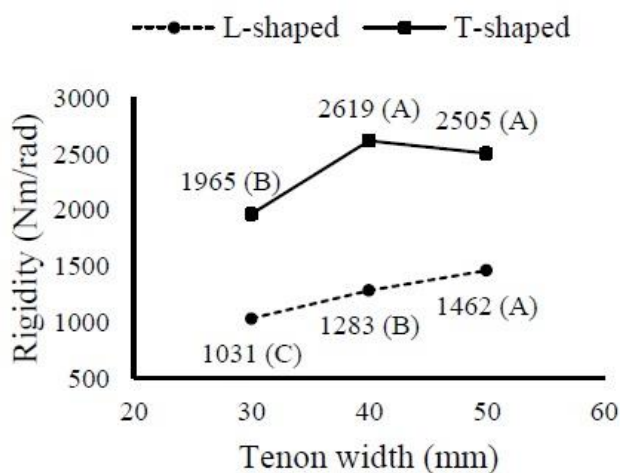
7 Diskuze

7.1 Porovnání s literaturou

Pro zhodnocení výsledků jsou níže porovnány naměřené hodnoty s výsledky z odborných článků věnující se podobné problematice.

7.1.1 Velikost konstrukčního prvku

Velikost domino kolíku měl významný vliv na tuhost konstrukčního spoje, kdy 8 mm kolíky vykazovaly průměrnou tuhost 706,57 Nm/rad a 12 mm kolíky vykazovaly 480 Nm/rad. Odborný článek (Kasal; Smardzewski; Kuşkun; Erdil,2016) zabývající se tuhostí spojů (čep-dlab) u židlí popisuje, že velikost čepu měla také významný vliv na tuhost spoje. Výsledkem tohoto článku bylo, že délka čepu měla výraznější vliv na moment spoje, zatímco **šířka čepu** měla výraznější vliv na tuhost spoje.



Graf 17: Tuhost spoje čep-dlab v závislosti na šířce čepu

(Zdroj: Kasal; Smardzewski; Kuşkun; Erdil 2016)

7.1.2 Druh lepidla

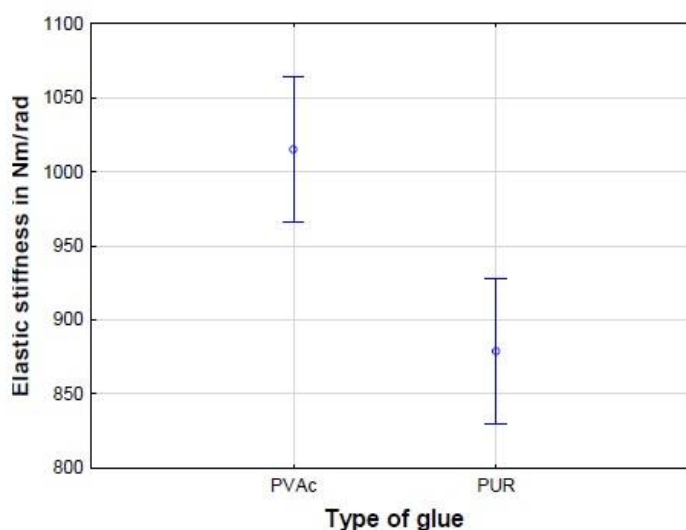
Druh lepidla se u konstrukčních spojů jevil jako statisticky nevýznamný. PVAc lepidlo vykazovalo v průměru tuhost 625,52 Nm/rad a PUR lepidlo vykazovalo 567,91Nm/rad. Zatímco v odborném článku (Kasal, A., et al., 2015) se ukázalo, že lepidlo má v obou testech (tah/tlak) významný vliv na ohybový moment spoje.

Tabulka 5: Moment spoje v závislosti na lepidle (PVAc/PUR)

Adhesive Type	Moment under Compression (N·m)		Moment under Tension (N·m)	
	X	HG	X	HG
PU	178	A	163	A
PVAc	149	B	143	B
	LSD ± 3.641 N·m		LSD ± 3.696 N·m	

(Zdroj: Kasal, A., et al., 2015)

Stejně tak i odborný článek (Záborský, V., et al., 2017) tento fakt vyvrací.

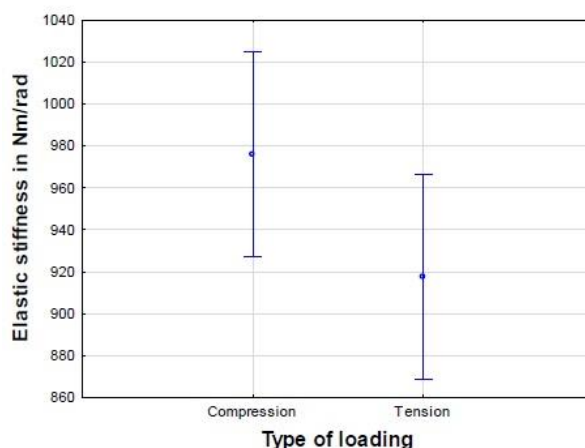


Graf 18: Tuhost spoje (čep/dlab) v závislosti na druhu lepidla

(Zdroj: Záborský, V., et al., 2017)

7.1.3 Typ namáhání

Tuhost spoje v tlaku vykazovala větší hodnoty než tuhost v tahu. Tento fakt potvrdil i článek (Záborský, V., et al., 2017). V tomto odborném článku zabývající se analýzou vybraných faktorů na tuhost spoje (čep/dlab) typ namáhání v tlaku vykazoval taktéž větší průměrné hodnoty. Nepotvrdil se zde však jako statisticky významný faktor.

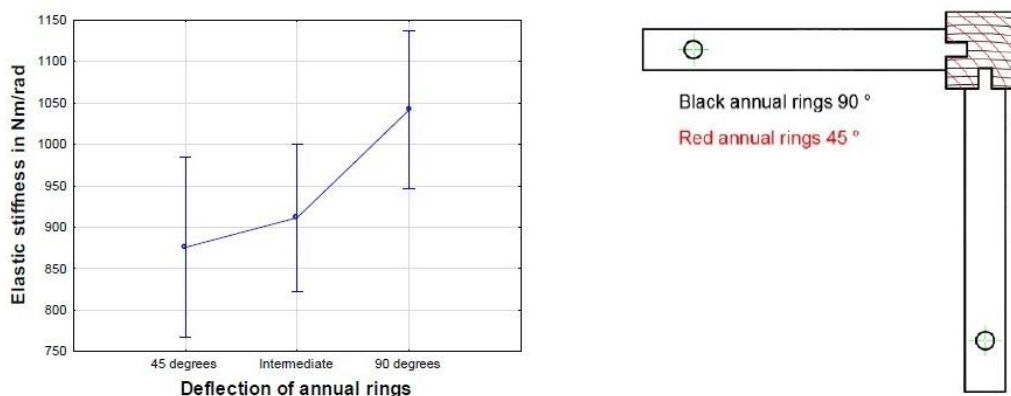


Graf 19: Tuhost spoje (čep/dlab) v závislosti na typu namáhání

(Zdroj: Záborský, V., et al., 2017)

7.1.4 Průběh letokruhů

Testované vzorky měly největší průměrnou hodnotu tuhosti u 90° průběhu letokruhu, následně pak průběh letokruhu M a nejmenší průměrná hodnota byla u vzorků s průběhem letokruhů 45°. Vzorky s průběhem letokruhu M měly průměrnou tuhost 577,46 Nm/rad, 90° vzorky 644,51 Nm/rad a vzorky s průběhem letokruhu 45° 521,75 Nm/rad. K podobným výsledkům docházelo i v článku (Záborský, V., et al., 2017). Ovšem jako statistický významný se tento faktor také neprokázal.



Graf 20: Tuhost spoje (čep/dlab) v závislosti na průběhu letokruhů

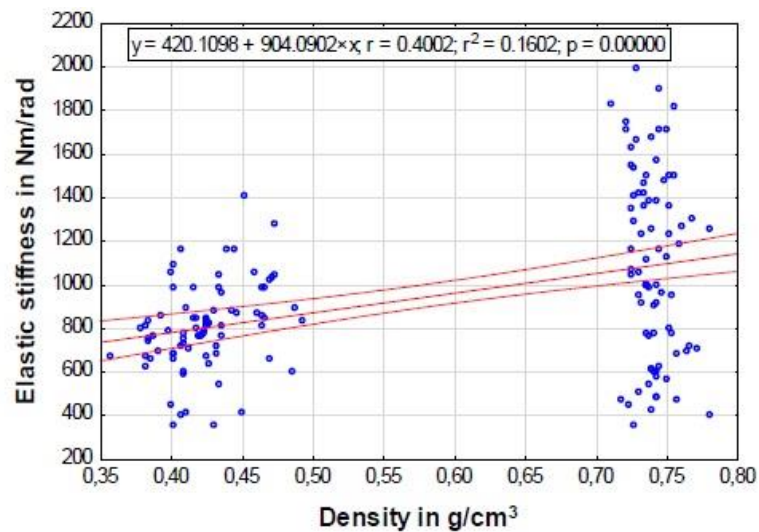
(Zdroj: Záborský, V., et al., 2017)

Směr letokruhů byl na hranici statistické významnosti

7.1.5 Hustota dřeva

Hustoty smrku se pohybovali cca. od 0,35 do 0,50 g/cm³, hustoty buku pak od 0,67 do 0,75 g/cm³.

Koeficient lineární závislosti $r = 0,422$ ukazoval, že je malá závislost mezi faktorem hustotou a sledovanou charakteristikou tuhostí spoje. Pro porovnání je níže uveden graf z článku (Záborský, V., et al., 2017).

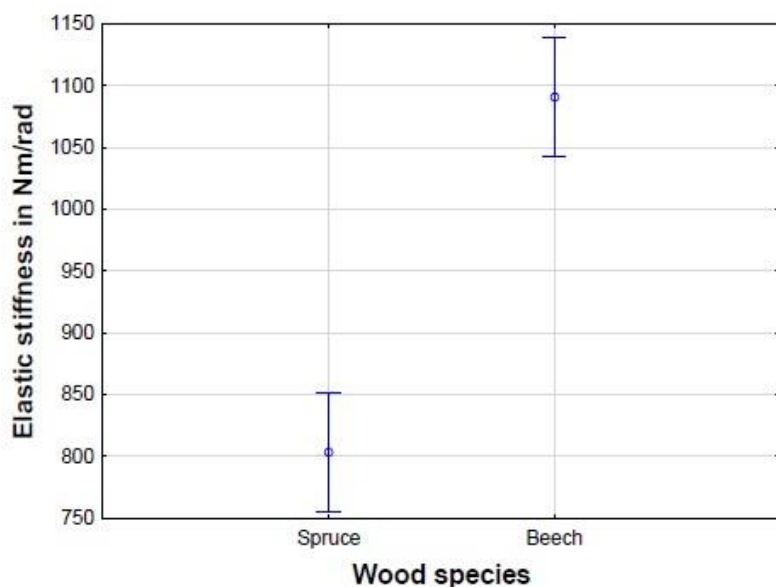


Graf 21: Vliv hustoty dřeva na tuhost spoje (čep/dlab)

(Zdroj: Záborský, V., et al., 2017)

7.1.6 Druh dřeva

Buková dřevina se v tomto testu ukázala oproti smrkové jako statisticky významný faktor z hlediska tuhosti spoje. Tento jev potvrdil i odborný článek (Záborský, V., et al., 2017).

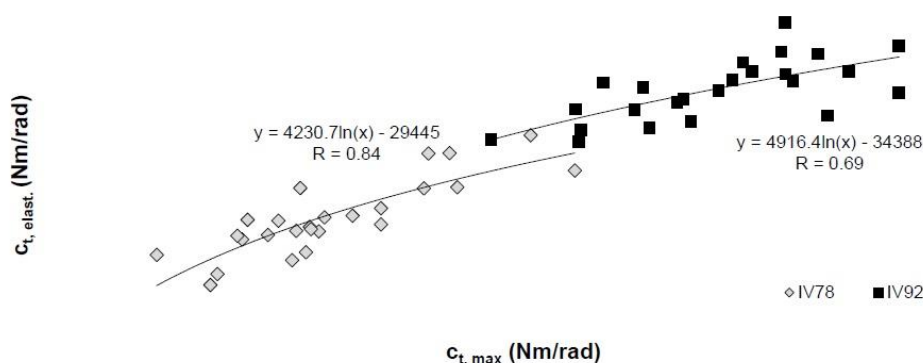


Graf 22: Tuhost spoje (čep/dlab) v závislosti na druhu dřeviny

(Zdroj: Záborský, V., et al., 2017)

7.1.7 Maximální tuhost spoju v závislosti na pružné tuhosti spoju

V tomto testování se ukázala malá závislost (korelace) mezi maximálním zatížením a tuhostí. V bodovém grafu je patrné, že se stoupající pružnou tuhostí také stoupá maximální tuhost konstrukčního spoje. Zde korelační koeficient lineární závislosti dosahuje hodnoty $r = 0,487$. Tuto závislost potvrzuje odborný článek (Podlena, Borůvka, 2016), kdy se tato závislost potvrdila



Graf 23: Maximální tuhost spoju (okenního rámu) v závislosti na pružné tuhosti

(Zdroj: Ing. Podlena a Ing. Borůvka 2016)

8 Závěr

Cílem výzkumu, kterému se věnuje diplomová práce, bylo určit vliv vybraných faktorů (průběh letokruhů, dřevina, typ namáhání, velikosti domino kolíku, druh lepidla a hustota) na tuhost spoje.

V teoretické části byly popsány konstrukční spoje používané v historii a podrobně rozepsány konstrukční spoje používané dnes. Metodika popisuje způsob výroby zkušebních vzorků a experimentálního měření, pro upřesnění je popsán podrobný postup výroby vzorků a všech operací, které byly potřebné pro měření. Ve výsledcích jsou shrnuty závěry z experimentálního měření včetně grafů a tabulek, které popisují interakce jednotlivých faktorů na tuhost spoje. Diskuze obsahuje porovnání výsledků s odbornými články, ve kterých se autoři zabývali podobnou tematikou.

Z naměřených údajů je zřejmé, že tuhost spoje statisticky významně ovlivňují: dřevina, typ namáhání a velikost domino kolíku. Tuhost spoje byla dle očekávání naměřena vyšší u bukového dřeva než u smrkového dřeva. Typ namáhání ovlivňuje tuhost spoje tak, že při tlaku má spoj větší tuhost než při tahu. Velikost domino kolíku se dá opět považovat za statisticky významný činitel, protože u 8 mm kolíku je tuhost znatelně vyšší než u 12 mm.

Zkoumáním vzájemných závislostí mezi dřevinou, tloušťkou domino kolíku a typem namáhání se ukázalo, že tloušťka domino kolíku je významný faktor u bukové dřeviny, kdy 8 mm domino kolíky mají znatelně vyšší tuhost v tlakové i tahové zkoušce oproti smrkové dřevině. Smrk nevykazoval tak znatelné rozdíly v porovnání 8 mm a 12 mm domino kolících v tahu a tlaku.

Tuhost spoje neovlivňuje závislost dřeviny, typ namáhání a lepidlo. Lze však říci že PUR lepidlo vykazovalo vyšší tuhost u obou dřevin v tlakové zkoušce.

Tuhost spoje není ovlivněna všemi čtyřmi faktory dřevinou, tloušťkou domino kolíku, typem namáhání a druhem lepidla.

Největší tuhost spoje vykazovala kombinace dřevina buk, v tlakovém namáhání, při použití PVAc lepidla s 8 mm domino kolíkem s průměrnou hodnotou 1397 Nm/rad. Z hlediska největší tuhosti lze konstatovat, že tato kombinace je nejlepší ze všech testovaných vzorků a lze ji tedy doporučit.

Nejmenší tuhost spoje vykazovala kombinace dřevina smrk, v tahovém namáhání, při použití PUR lepidla s 12 mm domino kolíkem s průměrnou hodnotou

249 Nm/rad. Z hlediska největší tuhosti lze konstatovat, že tato kombinace je nejhorší ze všech testovaných vzorků a nelze ji tedy doporučit.

Naměřené hodnoty v této diplomové práci pomohou lépe porozumět problematice tuhostí konstrukčních spojů používaných v nábytkářské výrobě.

Seznam použité literatury

BAŠISTA, A.: 1972. *Drevené konštrukcie a stavebno stolárske výrobky*. 1. Vyd. Zvolen: VŠLD, 1972. 310 s. Dočasná vysokoškolská učebnica

BRIDGEWATER, A. a BRIDGEWATER, G. *Práce se dřevem: krok za krokem od nápadu ke krásnějšímu bytu a zahradě*. 1. vyd. Praha: Ottovo nakladatelství, 2007, 144 s. ISBN 978-80-7360-553-7

GABRIEL, INGO *Dřevěné fasády: materiály, návrhy, realizace*. 1. vyd. Praha: Grada, 2011, 136 s. ISBN 978-80-247-3819-2

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.

HOŠKOVÁ, Pavla. *Statistika I*. V Praze: Česká zemědělská univerzita, Provozně ekonomická fakulta, 2013. 182 s. ISBN 978-80-213-2341-4.

HOLOUŠ, Zdeněk a Eliška MÁCHOVÁ. *Konstrukce I: konstrukce nábytku, návody a příklady*. V Brně: Mendelova univerzita, 2013, 144 s. ISBN 978-80-7375-844-8

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, 294 s. Technická knihovna. ISBN 978-80-87438-34-3.

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

JOŠČÁK, Pavol., GAFF Milan a Naděžda LANGOVÁ. *Nábytkové konstrukčné spoje*. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene, 2001

KŘUPALOVÁ, Zdeňka. *Technologie pro 1. ročník SOU oborů zpracování dřeva*. Praha: Sobotáles, 2000. 126 s. ISBN 80-85920-74-3.

KŘUPALOVÁ, Zdeňka. *Nauka o materiálech pro 1. a 2. ročník SOU učebního oboru truhlář. 2.*, upr. vyd. Praha: Sobotáles, 2004. 241 s. ISBN 80-86817-02-4.

KAMENICKÝ, J.-ŠNÝDER, J.- PAULENKOVÁ, M.: 1980. Zborník o pevnostnom

navrhovaní čapových a kolíkových spojov. Zvolen: VŠLD, 1980.

LOSOS, Ludvík. *Historický nábytek: konstrukce, údržba, restaurování*. Praha: Grada, 2013, 266 s. ISBN 978-80-247-3546-7.

LÁSKA, Milan a Roman KUBÍNEK. *Fyzika na dlani: středoškolský přehled s řešenými příklady*. Olomouc: Rubico, 2003. Na dlani. 132 s. ISBN 80-85839-94-6. Dostupné také z: <http://www.digitalniknihovna.cz/mzk/uuid/uuid:b2903220-0594-11e3-9923-005056827e52>

NUTSCH, Wolfgang. *Odborné kreslení a základy konstrukce pro truhláře*. Praha: Sobotáles, 2000. 259 s. ISBN 80-85920-62-X.

NUTSCH, Wolfgang. *Konstrukce nábytku: nábytek a zabudované skříně*. Praha: Grada, 2003. 398 s. ISBN 80-247-0220-7. Dostupné také z: <http://www.digitalniknihovna.cz/mzk/uuid/uuid:97776d60-47a1-11e3-ad8c-005056827e52>

OSTEN, Miloš. *Práce s lepidly a tmely*. Praha: Grada, 1996. Profi & hobby. 136 s. ISBN 80-7169-338-3.

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

VIGUE, Jordi. *Dřevo od A do Z*. Čestlice: Rebo, 2006. 427 s. ISBN 80-7234-531-1. Dostupné také z: <http://www.digitalniknihovna.cz/mzk/uuid/uuid:050e53c0-5b6f-11e4-bc71-005056827e52>

WONNACOTT, Thomas H. a Ronald J. WONNACOTT. *Statistika pro obchod a hospodářství*. Praha: Victoria Publishing, 1993. 891 s. ISBN 80-85605-09-0.

WÖHRLIN, Traugott. *Nábytkové slohy od antiky po současnost*. Praha: Grada, 2008, 223 s. ISBN 978-80-247-2034-0.

ZOUFALÝ, Martin. *Nábytek svépomocí: krok za krokem*. Praha: Grada Publishing, 2016, 128 s. ISBN 978-80-247-5708-7.

Elektronické zdroje

Borcení dřeva. *homel.vsb.cz* [online]. © 2015-2017 [cit. 2017-3-22] Dostupné z: http://homel.vsb.cz/~khe0007/opory/opory.php?stranka=drevo_zk

Dřevěné nábytkářské kolíky. *gola-sada-tona.cz* [online]. ©_2017 [cit. 2017-3-13] Dostupné z: <http://gola-sada-tona.cz/drevene-komponenty/120518-drevene-nabytkarske-koliky-8x35-mm-1000-ks-drkol8x35-1000-8590955414783.html>

Digitální váha KERN PCB-2500–2. *vahy-kern.cz* [online]. ©_2010 [cit. 2017-3-7] Dostupné z: <http://vahy-kern.cz/produkty/kern-laboratorni-vahy/presne-vahy/pcb-presne-vahy/>

Egyptská židle. *svet-bydleni.cz* [online]. ©_2017 [cit. 2017-1-17] Dostupné z: <http://www.svet-bydleni.cz/bydleni-1/historie-nabytku-3-dil-staroveke-kultury.aspx>

Gotická lavice. *jizerske-vyrobky.cz* [online]. © 2000-2017 [cit. 2017-3-17] Dostupné z: <http://www.jizerske-vyrobky.cz/cs/drevo-a-papir/goticky-nabytek.html>

Hettich 2017. Hettich online katalog. [online]. [cit. 20.3.2017] dostupné z: https://web2.hettich.com/hbh/catalog/Start.do?localeId=cs_CZ&model=procat_cz_fr

Kolíkovačka. *scmgroup.com* [online]. ©_2016 [cit. 2017-2-23]. Dostupné z: <https://www.scmgroup.com/en/products/classical-machines.c884/semi-automatic-boring-machines.888/startech.1297>

PUR lepidlo *prestolarov.sk* [online]. ©_2017 [cit. 2017-3-17] Dostupné z: <http://www.prestolarov.sk/prestolarov/eshop/0/3/5/1291-AGGLU-Lepidlo-NEOPUR-2238R-1Kg>

PVAc lepidlo *bezanex.sk* [online]. ©_2012-2017 [cit. 2017-17-4] Dostupné z: http://www.bezanex.sk/1801-agglu-technobond-d3-kg-flasa-ks-p_9484.html

Rejsek. *rr-naradi.cz* [online]. ©_2014 [cit. 2017-2-25]. Dostupné z: <http://www.rr-naradi.cz/rejsek-dvousinkovy-s-aretaci-170mm#prettyPhoto>

Smrkové dřevo. *tfdesign.cz* [online]. ©_2005 [cit. 2017-3-17] Dostupné z: https://www.tfdesign.cz/docs_cs/konstrukce/drevo/textury/hi-res/smrk.jpg

Spojení šroubem pro pracovní desky. *wintech.cz* [online]. ©_2017 [cit. 2017-3-17] Dostupné z: <http://www.wintech.cz/cs/wintech-furniture/katalog/spoj-pracovni-desky-855/spoj-pracovni-desky-m6-35x114-zb-48472>

Šířkové lepení na tupo (spárovka). *mojedilo.ireceptar.cz* [online]. ©_2017 [cit. 2017-2-13] Dostupné z: <http://mojedilo.ireceptar.cz/navody/sparovka/vse>

Typy matic *radyprokutily.cz* [online]. ©_2017 [cit. 2017-3-2] Dostupné z: [http://www.radyprokutily.cz/pokyny-krok-za-](http://www.radyprokutily.cz/pokyny-krok-za-krokem/50/%C5%A0roubov%C3%A1n%C3%AD-do-kovu)

[krokem/50/%C5%A0roubov%C3%A1n%C3%AD-do-kovu](http://www.radyprokutily.cz/pokyny-krok-za-krokem/50/%C5%A0roubov%C3%A1n%C3%AD-do-kovu)

Vrtací přípravek. *img.cz* [online]. ©_2017 [cit. 2017-3-17]. Dostupné z: [http://www.igm.cz/igm-fkp656-vrtaci-pripravek-sada-656mm--zdarma-100ks-](http://www.igm.cz/igm-fkp656-vrtaci-pripravek-sada-656mm--zdarma-100ks-koliku-8x35/)

[koliku-8x35/](http://www.igm.cz/igm-fkp656-vrtaci-pripravek-sada-656mm--zdarma-100ks-koliku-8x35/)

Vrut. *eshop.ostexplast.cz* [online]. ©_2011 [cit. 2017-4-14] Dostupné z: <http://eshop.ostexplast.cz/vrutty/vrut-do-d-2/vrut-uni-zh-pz-znz-4x55.html>

Závrtná matice. *obchod.poor.cz* [online]. ©_2014-2015 [cit. 2017-3-2] Dostupné z: http://obchod.poor.cz/Nabytkove-kovani/Zavrtna-matice-M6-12x12mm-_d106513_10638.aspx

Zarážecí matice. *im/webshop.schachermayer.com* [online]. ©_2017 [cit. 2017-3-17] Dostupné z: <https://webshop.schachermayer.com/cat/cs-CZ/product/narazeci-matka-m-10-x-13-pozink-se-4-naraz-hroty/104435041>

ZEIDLER, Aleš. Lexikon dřeva Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze, Fakulta lesnická a dřevařská, 2012 [cit. 21. 3. 2017]. Dostupné z: http://fld.czu.cz/~zeidler/lexikon_dreva/lexikon_dreva.pdf

Židle Thonet č. 14 *earch.cz*. [online]. ©_2012 [cit. 2017-18-4] Dostupné z: <http://www.earch.cz/cs/nabytek-pozvanka-do-smiseneho-lesa>

Články v elektronických časopisech a jiné příspěvky

Podlena, Milan; Borůvka, Vlastimil. *Stiffness Coefficients of Mortise and Tenon Joints used on Wooden Window Profiles*. In BioResources [online]. 2006, vol. 10, no. 4 [cit. 30.3.2017] Dostupné z: http://ojs.cnr.ncsu.edu/index.php/BioRes/article/view/BioRes_11_2_4677_Podlena_Stiffness_Coefficients_Mortise_Tenon/4399. ISSN 4677-4687

Ali Kasal; Jerzy Smardzewski; Tolga Kuşkun; Yusuf Ziya Erdil. *Numerical Analyses of Various Sizes of Mortise and Tenon Furniture Joints*. In BioResources [online]. 2016, vol. 11, no. 3 [cit. 8.4.2017] Dostupné z: http://ojs.cnr.ncsu.edu/index.php/BioRes/article/view/BioRes_11_3_6836_Kasal_Numerical_Analyses_Mortise_Tenon/ ISSN 6836-6853

Ali Kasal; Carl Albert Eckelman; Eva Haviarova; Yusuf Ziya Erdil; İbrahim Yalcin. *Bending Moment Capacities of L-Shaped Mortise and Tenon Joints under Compression and Tension Loadings*. In BioResources [online]. 2015, vol. 10, no. 4 [cit. 8.4.2017] Dostupné z: http://ojs.cnr.ncsu.edu/index.php/BioRes/article/view/BioRes_10_4_7009_Kasal_Bending_Moment_Capacities_Mortise/ ISSN 7009-7020

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. 16.4.2017] 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 13061-1 (2014) Physical and mechanical properties of wood – Test methods for small clear wood specimens – Part 1: Determination of moisture content for physical and mechanical tests

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

Přílohy

Naměřené hodnoty

druh dřeva	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
SM	TI	1/3	PVAc	M	0,368	33,39	13,54	141	10,00	1,76	326
SM	TI	1/3	PVAc	90	0,436	34,38	11,40	173	10,31	2,48	238
SM	TI	1/3	PVAc	M	0,454	35,73	15,30	134	10,69	2,45	250
SM	TI	1/3	PVAc	M	0,417	34,25	8,51	231	10,25	1,41	416
SM	TI	1/3	PVAc	M	0,369	25,01	14,66	98	7,50	1,66	259
SM	TI	1/3	PVAc	45	0,393	36,35	11,42	182	10,90	1,61	388
SM	TI	1/3	PVAc	M	0,386	44,73	12,09	212	13,43	1,18	651
SM	TI	1/3	PVAc	45	0,385	35,24	11,63	174	10,55	1,38	439
SM	TI	1/3	PVAc	M	0,415	32,04	12,30	149	9,61	1,31	419
SM	TI	1/3	PVAc	90	0,430	27,35	14,01	112	8,24	2,11	223
SM	TI	1/2	PVAc	90	0,386	22,92	5,79	227	6,84	1,20	327
SM	TI	1/2	PVAc	M	0,414	26,24	8,34	180	7,82	1,95	229
SM	TI	1/2	PVAc	90	0,418	25,38	6,13	237	7,61	1,43	305
SM	TI	1/2	PVAc	90	0,395	30,93	11,67	152	9,30	1,30	409
SM	TI	1/2	PVAc	90	0,413	24,15	11,95	116	7,26	1,70	245
SM	TI	1/2	PVAc	90	0,439	32,16	10,36	178	9,57	1,65	333
SM	TI	1/2	PVAc	90	0,398	30,80	4,69	376	9,22	1,15	458
SM	TI	1/2	PVAc	M	0,409	20,08	6,47	178	6,00	1,23	279
SM	TI	1/2	PVAc	45	0,374	29,32	10,86	155	8,80	1,46	346
SM	TI	1/2	PVAc	45	0,382	29,94	6,13	280	8,91	1,22	418
SM	TI	1/3	PUR	90	0,479	34,38	5,45	362	10,31	0,39	1498
SM	TI	1/3	PUR	90	0,515	22,92	9,46	139	6,88	1,72	228
SM	TI	1/3	PUR	M	0,495	26,98	7,93	195	8,10	0,76	607
SM	TI	1/3	PUR	M	0,492	17,74	13,22	77	5,33	0,55	558
SM	TI	1/3	PUR	M	0,495	21,93	4,94	254	6,60	0,99	380

SM	TI	1/3	PUR	90	0,518	24,27	5,10	273	7,26	0,55	754
SM	TI	1/3	PUR	90	0,521	19,59	8,77	128	5,89	0,67	502
SM	TI	1/3	PUR	90	0,480	26,37	5,49	275	7,93	1,07	425
SM	TI	1/3	PUR	M	0,516	16,14	13,62	68	4,77	0,44	627
SM	TI	1/3	PUR	90	0,466	29,20	4,73	354	8,77	1,03	487
SM	TI	1/2	PUR	90	0,489	26,12	3,41	439	7,86	0,68	661
SM	TI	1/2	PUR	90	0,483	26,98	4,86	318	8,03	0,51	902
SM	TI	1/2	PUR	90	0,485	31,54	3,26	555	9,47	0,74	730
SM	TI	1/2	PUR	90	0,471	30,19	4,00	432	9,05	0,78	667
SM	TI	1/2	PUR	90	0,493	51,50	5,34	552	15,43	0,78	1138
SM	TI	1/2	PUR	M	0,482	26,00	3,93	379	7,82	0,81	550
SM	TI	1/2	PUR	90	0,488	30,43	4,77	366	9,15	0,98	535
SM	TI	1/2	PUR	M	0,501	36,22	4,48	464	10,84	0,63	993
SM	TI	1/2	PUR	90	0,481	12,20	1,48	473	3,65	0,33	634
SM	TI	1/2	PUR	90	0,480	20,08	3,77	306	5,99	0,70	488
SM	Ta	1/3	PVAc	M	0,381	23,90	12,29	111	7,15	2,35	174
SM	Ta	1/3	PVAc	45	0,370	27,11	6,32	246	8,14	1,36	342
SM	Ta	1/3	PVAc	90	0,423	30,43	7,24	241	9,12	1,31	399
SM	Ta	1/3	PVAc	45	0,448	35,36	10,85	187	10,63	2,36	258
SM	Ta	1/3	PVAc	45	0,405	28,59	7,43	220	8,59	1,03	478
SM	Ta	1/3	PVAc	45	0,370	35,86	10,20	201	10,73	2,17	283
SM	Ta	1/3	PVAc	45	0,421	28,09	13,22	122	8,42	2,33	207
SM	Ta	1/3	PVAc	45	0,415	32,77	10,83	173	9,86	2,88	196
SM	Ta	1/3	PVAc	45	0,445	42,76	10,90	225	12,84	2,09	353
SM	Ta	1/3	PVAc	45	0,386	25,14	7,92	182	7,58	0,82	530
SM	Ta	1/2	PVAc	45	0,443	29,57	14,72	115	8,83	2,42	209
SM	Ta	1/2	PVAc	45	0,417	29,69	14,78	115	8,95	2,18	236
SM	Ta	1/2	PVAc	90	0,421	27,23	10,03	156	8,21	1,73	272
SM	Ta	1/2	PVAc	45	0,410	39,55	10,85	209	11,93	1,33	513
SM	Ta	1/2	PVAc	45	0,379	32,04	12,41	148	9,58	1,29	424
SM	Ta	1/2	PVAc	90	0,405	24,03	10,72	128	7,19	1,33	309
SM	Ta	1/2	PVAc	90	0,417	34,13	8,39	233	10,28	1,54	383
SM	Ta	1/2	PVAc	45	0,398	24,89	12,81	111	7,47	1,84	233
SM	Ta	1/2	PVAc	45	0,405	24,40	8,34	168	7,29	1,13	369
SM	Ta	1/2	PVAc	M	0,435	22,67	10,26	127	6,80	1,62	240
SM	Ta	1/3	PUR	M	0,472	32,28	5,87	315	9,72	0,79	708
SM	Ta	1/3	PUR	90	0,500	24,40	5,61	249	7,29	1,39	301
SM	Ta	1/3	PUR	M	0,525	22,42	11,42	113	6,73	0,86	450
SM	Ta	1/3	PUR	M	0,489	23,90	4,63	296	7,20	1,08	381
SM	Ta	1/3	PUR	90	0,480	51,75	7,17	413	15,54	2,22	402

SM	Ta	1/3	PUR	90	0,483	40,04	7,62	301	12,03	2,72	254
SM	Ta	1/3	PUR	90	0,493	25,38	6,11	238	7,65	1,25	350
SM	Ta	1/3	PUR	90	0,495	22,06	7,83	161	6,63	1,31	290
SM	Ta	1/3	PUR	90	0,487	27,72	6,38	249	8,24	2,47	192
SM	Ta	1/3	PUR	90	0,460	30,31	6,57	264	9,09	2,72	191
SM	Ta	1/2	PUR	45	0,508	58,28	7,83	427	17,43	3,70	270
SM	Ta	1/2	PUR	90	0,496	36,72	5,02	419	11,02	2,80	226
SM	Ta	1/2	PUR	90	0,517	57,79	6,38	519	17,36	3,31	301
SM	Ta	1/2	PUR	90	0,482	37,70	7,06	306	11,30	3,05	212
SM	Ta	1/2	PUR	90	0,481	29,69	5,58	305	8,87	2,85	178
SM	Ta	1/2	PUR	M	0,527	23,41	5,27	255	7,08	1,87	217
SM	Ta	1/2	PUR	90	0,515	40,29	4,74	488	12,07	1,53	453
SM	Ta	1/2	PUR	90	0,531	25,38	5,03	289	7,61	2,03	215
SM	Ta	1/2	PUR	90	0,480	30,31	5,31	327	9,08	2,67	195
SM	Ta	1/2	PUR	90	0,509	32,28	5,60	330	9,65	2,50	221
BK	TI	1/3	PVAc	M	0,708	58,03	3,84	866	17,40	0,41	2446
BK	TI	1/3	PVAc	90	0,561	47,93	12,33	223	14,31	1,56	526
BK	TI	1/3	PVAc	90	0,707	48,30	12,38	224	14,52	0,48	1726
BK	TI	1/3	PVAc	90	0,702	38,94	5,23	427	11,54	0,26	2498
BK	TI	1/3	PVAc	90	0,733	46,21	3,60	736	13,86	0,67	1191
BK	TI	1/3	PVAc	45	0,715	50,27	5,55	519	15,05	0,41	2113
BK	TI	1/3	PVAc	90	0,727	42,76	6,96	352	12,84	0,65	1135
BK	TI	1/3	PVAc	90	0,728	44,36	6,66	381	13,33	0,77	996
BK	TI	1/3	PVAc	90	0,707	47,81	12,47	220	14,31	1,07	769
BK	TI	1/3	PVAc	90	0,696	48,79	13,62	205	14,63	1,48	568
BK	TI	1/2	PVAc	M	0,689	62,35	15,87	225	18,73	1,55	694
BK	TI	1/2	PVAc	90	0,716	47,68	14,12	193	14,35	2,14	384
BK	TI	1/2	PVAc	45	0,719	66,41	21,93	173	19,92	1,81	631
BK	TI	1/2	PVAc	M	0,712	59,64	15,38	222	17,88	2,44	420
BK	TI	1/2	PVAc	90	0,693	52,24	29,55	101	15,68	3,18	282
BK	TI	1/2	PVAc	45	0,705	60,50	19,57	177	18,14	1,71	607
BK	TI	1/2	PVAc	90	0,717	55,69	22,62	141	16,70	1,79	535
BK	TI	1/2	PVAc	90	0,725	49,53	16,25	175	14,80	2,22	383
BK	TI	1/2	PVAc	45	0,711	55,94	14,13	227	16,70	1,37	700
BK	TI	1/2	PVAc	90	0,726	47,31	13,42	202	14,17	2,13	382
BK	TI	1/3	PUR	45	0,722	54,95	3,94	800	16,41	0,88	1070
BK	TI	1/3	PUR	90	0,719	41,40	13,01	182	12,41	1,91	372
BK	TI	1/3	PUR	M	0,732	35,36	10,73	189	10,60	0,75	809
BK	TI	1/3	PUR	90	0,732	27,60	6,86	230	8,24	0,43	1107
BK	TI	1/3	PUR	45	0,702	31,54	8,94	202	9,47	0,57	944

BK	TI	1/3	PUR	90	0,748	37,83	3,14	690	11,40	0,73	899
BK	TI	1/3	PUR	90	0,716	39,06	10,82	207	11,68	1,47	454
BK	TI	1/3	PUR	90	0,612	31,05	5,79	307	9,33	1,20	447
BK	TI	1/3	PUR	90	0,703	31,42	6,80	265	9,47	0,55	992
BK	TI	1/3	PUR	90	0,695	41,52	6,19	384	12,38	0,86	829
BK	TI	1/2	PUR	M	0,713	40,17	11,72	196	12,03	0,74	932
BK	TI	1/2	PUR	45	0,711	40,54	17,95	129	12,17	1,68	416
BK	TI	1/2	PUR	45	0,715	47,44	3,40	800	14,17	0,63	1288
BK	TI	1/2	PUR	90	0,718	32,04	18,78	98	9,57	1,87	294
BK	TI	1/2	PUR	45	0,719	38,81	16,61	134	11,64	1,14	587
BK	TI	1/2	PUR	M	0,723	51,13	5,56	527	15,40	0,69	1287
BK	TI	1/2	PUR	90	0,723	56,43	4,03	803	16,90	0,75	1283
BK	TI	1/2	PUR	M	0,703	43,12	17,08	145	12,94	0,64	1160
BK	TI	1/2	PUR	M	0,728	47,07	20,00	135	14,10	1,63	495
BK	TI	1/2	PUR	45	0,718	42,63	3,84	636	12,77	0,61	1196
BK	Ta	1/3	PVAc	45	0,701	65,80	15,27	247	19,78	2,22	510
BK	Ta	1/3	PVAc	45	0,728	56,92	11,64	280	17,08	1,31	747
BK	Ta	1/3	PVAc	M	0,715	58,03	11,68	285	17,43	2,55	391
BK	Ta	1/3	PVAc	90	0,718	49,65	5,92	481	14,87	0,40	2120
BK	Ta	1/3	PVAc	90	0,736	56,19	9,80	328	16,80	0,43	2233
BK	Ta	1/3	PVAc	90	0,741	70,23	10,74	375	21,04	0,67	1790
BK	Ta	1/3	PVAc	90	0,733	60,39	9,41	368	16,45	1,27	739
BK	Ta	1/3	PVAc	90	0,720	54,46	9,80	319	16,38	0,79	1191
BK	Ta	1/3	PVAc	90	0,708	59,64	10,10	338	17,96	0,97	1064
BK	Ta	1/3	PVAc	90	0,711	56,80	8,37	389	17,08	0,44	2222
BK	Ta	1/2	PVAc	90	0,729	47,81	14,95	183	14,31	2,44	336
BK	Ta	1/2	PVAc	90	0,762	63,45	23,32	156	19,12	2,59	422
BK	Ta	1/2	PVAc	45	0,723	69,62	22,61	176	20,91	4,63	259
BK	Ta	1/2	PVAc	90	0,697	54,58	18,38	170	16,38	1,88	500
BK	Ta	1/2	PVAc	90	0,707	46,70	23,51	114	14,00	1,47	547
BK	Ta	1/2	PVAc	45	0,681	59,76	21,03	163	17,89	4,23	242
BK	Ta	1/2	PVAc	90	0,688	35,98	10,87	190	10,77	1,89	327
BK	Ta	1/2	PVAc	90	0,746	61,11	8,00	438	18,35	1,52	690
BK	Ta	1/2	PVAc	90	0,704	62,84	17,51	206	18,84	2,17	498
BK	Ta	1/2	PVAc	M	0,721	51,01	14,65	199	15,26	2,46	356
BK	Ta	1/3	PUR	90	0,699	48,18	7,32	377	14,48	1,76	472
BK	Ta	1/3	PUR	M	0,738	48,18	12,46	222	14,42	2,49	332
BK	Ta	1/3	PUR	M	0,692	55,45	10,90	292	16,66	1,09	874
BK	Ta	1/3	PUR	90	0,711	78,49	7,85	573	23,53	3,24	416
BK	Ta	1/3	PUR	90	0,708	40,04	9,42	244	11,99	2,60	265

BK	Ta	1/3	PUR	45	0,710	46,21	14,55	182	13,86	1,51	526
BK	Ta	1/3	PUR	M	0,728	59,14	15,43	220	17,78	1,49	682
BK	Ta	1/3	PUR	90	0,721	41,03	14,33	164	12,31	1,40	503
BK	Ta	1/3	PUR	45	0,718	75,78	5,60	775	22,73	2,09	623
BK	Ta	1/3	PUR	M	0,725	73,07	15,38	272	21,96	2,41	521
BK	Ta	1/2	PUR	45	0,706	78,49	6,59	683	23,61	2,40	563
BK	Ta	1/2	PUR	90	0,720	52,24	21,72	138	15,68	3,05	294
BK	Ta	1/2	PUR	M	0,712	67,52	19,94	194	20,24	2,87	404
BK	Ta	1/2	PUR	45	0,702	63,95	5,18	707	19,15	2,76	398
BK	Ta	1/2	PUR	45	0,711	79,23	15,47	293	23,88	3,04	450
BK	Ta	1/2	PUR	45	0,708	81,57	6,53	716	24,56	3,22	436
BK	Ta	1/2	PUR	45	0,706	58,53	20,74	162	17,57	3,52	286
BK	Ta	1/2	PUR	45	0,709	56,19	18,37	175	16,87	3,12	310
BK	Ta	1/2	PUR	M	0,722	70,11	21,22	189	21,15	2,47	490
BK	Ta	1/2	PUR	M	0,723	71,71	22,19	185	21,50	3,45	358