

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta lesnická a dřevařská

Katedra zpracování dřeva a biomateriálů



Vliv struktury povrchu kolíku na pevnost lepeného spoje

Bakalářská práce

Autor: Eva Rojdlová

Vedoucí práce: Ing. Adam Sikora

2019

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta lesnická a dřevařská

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Eva Rojdllová

Podnikání ve dřevozpracujícím a nábytkářském průmyslu

Název práce

Vliv struktury povrchu kolíku na pevnost lepeného spoje

Název anglicky

Effect of dowels surface structure on the strength of glued joints

Cíle práce

Cílem práce je stanovit pevnosti bukových lepených kolíkových spojů s rozdílnou strukturou povrchu pomocí tahové zkoušky. Budou porovnány kolíky se strukturou hladkou, rovně rýhovanou, spirálovitě rýhovanou a se spirálovitě rýhovanou s hlubokou drážkou. Naměřené hodnoty budou následně porovnány mezi sebou.

Metodika

1. Zpracování literární rešerše (kolíkové spoje, lepení, metodika zkoušení spojů)
2. Výroba zkušebních těles (nařezání vzorků – vrtání otvorů – slepení)
3. Testování zkušebních těles pomocí tahové zkoušky
4. Stanovení pevnosti lepených kolíkových spojů
5. Vyhodnocení výsledků měření (interpretace v textové a grafické podobě)

Doporučený rozsah práce

30 – 40 stran textu; 15 – 20 stran příloh

Klíčová slova

kolíky, rýhování, lepení, PVAC, pevnost

Doporučené zdroje informací

- ČSN EN 204 (66 8503). Klasifikace termoplastických lepidel na dřevo pro nekonstrukční aplikace. Praha: Český normalizační institut, 2001, 8 s.
- ECKELMAN, Carl A. a M. D. HILL. Textured versus Plain Dowels – Which are Stronger? Furniture Design and Manufacturing. 1971
- Eckelman, C.A. 1969. Engineering Concepts of Single-Pin Dowel Joint Design. Forest Products Journal 19(12):52-60
- Eckelman, C.A. 1979. Out-of-Plane Strength and Stiffness of Dowel Joints. Forest Products Journal 29(8):32-38
- Erdil, Y.Z., Zhang, J., and C.A. Eckelman. 2003. Withdrawal and bending strength of dowel-nuts in plywood and oriented strand board. Forest Products Journal 53(6):54-57
- NUTSCH, Wolfgang. Příručka pro truhláře. Praha: Sobotáles, 1999, 540 s. ISBN 80-85920-60-3.
- POŽGAJ, Alexander. Štruktúra a vlastnosti dreva. 2. vyd. Bratislava: Príroda, 1997. ISBN 8007009604.
- SEDLIAČIK, M. – LIPTÁKOVÁ, E. *Chemia a aplikacia pomocných látok v drevárskom priemysle*. Bratislava: Alfa, 1989.
- SEDLIAČIK, M. – SEDLIAČIK, J. – TECHNICKÁ UNIVERZITA VO ZVOLENE. FAKULTA DREVÁRSKA. *Chemické látky v drevárskom priemysle*. Zvolen: Technická univerzita, 1998. ISBN 80-228-0745-1.
- WITTCHEN, B. – REICHE, T. – JOSTEN, E. *Truhlářské konstrukce : spoje, povrchové úpravy dřeva, konstrukce*. Praha: Grada, 2011. ISBN 978-80-247-2960-2.
-

Předběžný termín obhajoby

2018/19 LS – FLD

Vedoucí práce

Ing. Adam Sikora

Garantující pracoviště

Katedra zpracování dřeva a biomateriálů

Konzultant

doc. Ing. Milan Gaff, PhD.

Elektronicky schváleno dne 23. 2. 2019

doc. Ing. Milan Gaff, PhD.

Vedoucí ústavu

Elektronicky schváleno dne 13. 3. 2019

prof. Ing. Marek Turčáni, PhD.

Děkan

V Praze dne 30. 03. 2019

Prohlášení

„Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma „Vliv struktury povrchu kolíku na pevnost lepeného spoje“ vypracovala samostatně pod vedením pana Ing. Adama Sikory a použila jen prameny, které uvádím v seznamu použitých zdrojů.

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

V Praze, dne 15. 4. 2019

Eva Rojdllová

Poděkování

Především děkuji panu Ing. Adamu Sikorovi, vedoucímu mé bakalářské práce, za jeho odborné konzultace, připomínky a rady během jejího vypracování. Dále bych chtěla poděkovat panu Ing. Milanu Podlenovi za jeho pomoc a ochotu během vytváření zkušebních vzorků. Fakultě Lesnické a dřevařské za poskytnutí materiálu na výrobu zkušebních vzorků. A své rodině za podporu a motivaci během studia.

Abstrakt

Hlavním cílem této bakalářské práce bylo, zjistit vliv struktury povrchu kolíku na pevnost lepeného spoje. Určit, která ze struktur povrchu zabrání vytažení, nebo uvolnění kolíku ve spoji a vypracovat literární rešerši objasňující toto téma.

K porovnání pevnosti lepených kolíkových sestav s rozdílnými strukturami povrchu kolíků byly provedeny testy pomocí tahové zkoušky na trhacím stroji, TIRA test 2850. Porovnávány byly kolíky se strukturou hladkou, rovně rýhovanou, spirálovitě rýhovanou a se spirálovitě rýhovanou s hlubokou drážkou.

Vstupním materiálem pro výrobu testovacích lepených sestav bylo bukové dřevo a bukové kolíky s různou strukturou povrchu. Pro slepení bylo použito jednokomponentní polyvinylacetátové lepidlo třídy D4. Lepené prvky byly odděleny pomocí polyethylenové fólie, zabraňující slepení čelních ploch hranolů a eliminující vedlejší faktory, ovlivňující vlastnosti spoje.

Výsledky tahových zkoušek byly vzájemně porovnány a byla vyhodnocena nejefektivnější varianta povrchové úpravy kolíků z hlediska pevnosti spoje v tahu. Tou se prokazatelně stala spirálovitě rýhovaná struktura povrchu kolíku. Naopak nejnižší pevnost v tahu byla naměřena u hladkých kolíků.

Klíčová slova:

dřevěný kolík, rýhování, lepení, lepený spoj, PVAc, pevnost v tahu

Abstract

The main idea of this bachelor thesis was to find out, which surface type of the wooden dowels will ensure the greatest strength of the glued dowels joints. The literary research included in this thesis is focused on explanation of the matter mentioned above.

The aim of this work is to determine the strength of the bonded dowel assemblies with different dowel surface structure, using a tensile strength test. Tests were performed on a tensile machine TIRA TT 2850. For these tests, they were used smooth, straight grooved, helical grooved and single-grooved dowels with a spiral pattern. Beech wood prisms and dowels were used to make mentioned test assemblies. A single-component polyvinyl acetate adhesive class D4 was used for bonding. The glued prisms were separated by a polyethylene film to prevent the prisms from sticking together outside of the dowel surface and the pre-drilled hole.

The results of the tensile test were compared and the most effective variant of the dowel surface was chosen in terms of bond strength. The highest bond strength was measured at the samples with helical grooved dowels. On the other hand, the lowest bond strength was measured for samples with smooth dowels.

Keywords:

wooden dowel, grooved, gluing, bonded joint, PVAc, tensile strength

Obsah

1	Úvod.....	12
2	Cíle práce	13
3	Rozbor problematiky	14
3.1	Základní vlastnosti a stavba dřeva.....	14
3.1.1	Makroskopická stavba dřeva	14
3.1.2	Mikroskopická stavba dřeva	15
3.1.3	Fyzikální vlastnosti dřeva	15
3.1.4	Mechanické vlastnosti dřeva.....	16
3.2	Spojování.....	16
3.2.1	Spojování lepením	17
3.2.2	Složky lepidel	20
3.2.3	Lepidla používané pro konstrukční spoje	22
3.2.4	Problematika lepení	24
3.2.5	Vlastnosti ovlivňující lepení dřeva	24
3.2.6	Odolnost lepidel proti vlhkosti	26
3.2.7	Technologie kolíkových spojů.....	26
4	Metodika	31
4.1	Použitý materiál.....	31
4.1.1	Buk lesní	31
4.1.2	Polyvinylacetátové lepidlo.....	32
4.2	Zkušební tělesa	32
4.2.1	Použité stroje a pomůcky k výrobě zkušebních vzorků.....	33
4.2.2	Zkušební zařízení	33
4.2.3	Výroba zkušebních těles	34
4.3	Výpočet vlhkosti a hustoty materiálu	38
4.3.1	Výpočet vlhkosti	38
4.3.2	Výpočet hustoty	39
4.4	Pevnost spoje	39
4.4.1	Zkouška pevnosti spoje.....	39
4.4.2	Výpočet pevnosti lepeného kolíkového spoje	41
4.4.3	Zpracování výsledků v softwaru Statistica 12	41
5	Výsledky a diskuze	42

6	Závěr	48
7	Seznam literatury a použitých zdrojů	49
8	Seznam příloh	51
8.1	Příloha č. 1 - Technický list TT2850.....	51
8.2	Příloha č. 2 – 1-Component Cold Wood Glue D4	53
8.3	Příloha č. 3 - Tabulka prodloužení spoje během tahové zkoušky – dlH 56	
8.4	Příloha č. 4 - Tabulky naměřených hodnot	57
8.5	Příloha č. 5 – Zpracování výsledků v softwaru Statistica 12	59

Seznam tabulek

Tabulka 1: Popis tříd trvanlivosti lepidel (ČSN EN 204, 2017)	26
Tabulka 2: Průměrné naměřené hodnoty pro výpočet vlhkosti a hustoty materiálu.....	38
Tabulka 3: Výsledky testování lepených kolíkových spojů na pevnost v tahu	43
Tabulka 4: Hodnoty prodloužení spoje – dlH	56
Tabulka 5: Naměřené hodnoty – kolík hladký	57
Tabulka 6: Naměřené hodnoty – kolík rovně rýhovaný.....	57
Tabulka 7: Naměřené hodnoty – kolík spirálovitě rýhovaný.....	58
Tabulka 8: Naměřené hodnoty – kolík spirálovitě rýhovaný s hlubokou drážkou	58
Tabulka 9: Duncanův test – pevnost spoje v závislosti na struktuře použitého kolíku.....	59

Seznam obrázků

Obrázek 1: Druhy spojování (Trávník, 2003)	17
Obrázek 2: Hladké bukové tyče pro výrobu hladkých kolíků.....	27
Obrázek 3: Kolík hladký, rovně rýhovaný, spirálovitě rýhovaný a spirálovitě rýhovaný s hlubokou drážkou	28
Obrázek 4: Nejčastěji používané typy kolíkových spojů a metody jejich testování	30
Obrázek 5: Univerzální trhací stroj – TIRA TT 2850 – uchycení zkušebního vzorku.....	34
Obrázek 6: Hranolek s vyvrtaným otvorem pro kolík.....	35
Obrázek 7: Bukové kolíky.....	35
Obrázek 8: Nanášení lepidla do předvrtaného otvoru a vážení.....	36
Obrázek 9: Kompletní slepená sestava.....	36
Obrázek 10: Klimatizování slepených sestav.....	37
Obrázek 11: Bukové hranoly.....	37
Obrázek 12: Slepená testovací sestava s vloženým kolíkem	38

Obrázek 13: Uchycení zkušební tělesa v čelistech trhacího stroje.....	40
Obrázek 14: Roztržený vzorek po vykonání tahové zkoušky	40
Obrázek 15: Kolík s hlubokou spirálou po zkoušce tahem	45
Obrázek 16: Rovně a spirálovitě rýhované kolíky po zkoušce tahem	46
Obrázek 17: Řez testovací sestavou - rozdíl mezi vyvedením a stlačením lepidla v otvoru pro kolík	46
Obrázek 18: Kolíky po vykonání tahové zkoušky	60

Seznam grafů

Graf 1: Pevnost kolíku v tahu (aritmetický průměr) [MPa]	43
Graf 2: Výsledky statistiky na hladině významnosti 95 % - Pevnost spoje v závislosti na struktuře povrchu použitého kolíku.....	59

Seznam rovnic

Rovnice 1: Výpočet vlhkosti (ISO 13061-1, 2014).....	38
Rovnice 2: Výpočet hustoty (ISO 13061-2, 2014).....	39
Rovnice 3: Výpočet pevnosti v tahu lepeného kolíkového spoje (Podlena, 2018).....	41
Rovnice 4: Odvození jednotek výpočtu pevnosti v tahu.....	41

Seznam použitých zkratk a symbolů

V této práci jsou použity běžně používané zkratky a symboly. Jednotky a veličiny jsou uvedeny podle příslušných norem. Vzorce a v nich použité symboly veličin a koeficientů jsou popsány vždy v příslušné kapitole.

1 Úvod

Je všeobecně známo, že lepené kolíkové spoje nepatří mezi nejpevnější truhlářské spoje. Ale i přesto se řadí mezi velmi často užívané především v nábytkářství, a to v dnešní době i v minulosti. Tudíž je zřejmé, že tento spoj musí přinášet i jiné než pevnostní výhody.

V porovnání s ostatními velmi často užívanými truhlářskými spoji, jako jsou například ozuby, svlaky, čep a dlab nebo pero a drážka je výroba kolíkových spojů z technologického i ekonomického hlediska mnohem úspornější. Tvorba a užívání kolíkových spojů vede k menšímu množství odpadového materiálu během výroby. K vytvoření potřebných profilů a otvorů nám stačí jeden univerzální dřevoobráběcí stroj. Tudíž se nám snižují celkové náklady, výrobní proces zabere méně času a zvýší se celková produktivita výroby.

Vhodnou volbou kombinace typu lepidla a struktury povrchu kolíku lze navíc významně ovlivnit pevnost výsledného spoje. Pokud se tedy při výrobě podaří pevnost a spolehlivost kolíkových spojů zvýšit, je možné u cílového produktu například zmenšit celkový počet kolíkových spojů, případně nahradit technologicky složitější spoje kolíkovými spoji.

Ve své práci jsem se soustředila na testování pevnosti bukových spojů s kolíky běžně užívanými u výrobců nábytku s povrchovou strukturou hladkou, rovně rýhovanou, spirálovitě rýhovanou a s hlubokou spirálovou drážkou. Porovnání bylo prováděno pro kolíky se shodnými nominálními rozměry a pro lepení byl použit jeden druh polyvinylacetátového lepidla.

Výsledkem práce je podrobné vyhodnocení naměřených hodnot pevnosti spojů v tahu s uvedenými druhy kolíků a rozbor, jak struktura povrchu kolíku dokáže ovlivnit pevnost spoje v tahu.

2 Cíle práce

Hlavním cílem této bakalářské práce je stanovit vliv struktury povrchu kolíku na pevnost v tahu lepených bukových spojů. Určit, která ze struktur povrchu zabrání vytažení nebo uvolnění kolíku ve spoji, a vypracovat literární rešerši objasňující toto téma.

Pro porovnání byly použity bukové kolíky s hladkým povrchem, rovně rýhované, spirálovitě rýhované a kolíky rýhované s hlubokou drážkou. Všechny testované druhy kolíků měly shodné nominální rozměry.

Pevnostní testy lepených spojů byly prováděny pomocí tahové zkoušky. Metodika testování byla navržena tak, aby k měření a přípravě vzorků mohlo být využito dostupné strojové a laboratorní vybavení fakulty Lesnické a dřevařské.

3 Rozbor problematiky

3.1 Základní vlastnosti a stavba dřeva

Stavba kmene stromu je dána svým kuželovitým tvarem a vrstvenou strukturou. Díky tomu jsme schopni získat v každém řezu jinou kresbu dřeva. Užíváme tři základních řezů. Jsou jimi řez příčný, řez radiální a řez tangenciální (Friess *a spol.* 2008).

Příčný řez – transversální, je veden kolmo k podélné ose kmene. Vzhled dřeva v řezu pak udávají letokruhy, které mají tvar kružnic. Střed kružnic zaujímá dřeň a na okraji kmene je různě silná vrstva kůry. Radiální řez neboli středový, je veden rovnoběžně s osou kmene a prochází jeho přímým středem, dření. Letokruhy pak mají podobu rovnoběžných čar. A u některých dřevin jsou zjevné lesklé plošky neboli zrcátka. Vznikají proříznutím dřeňových paprsků. A poslední, třetí řez je tangenciální neboli fládrový. Řez je také veden podélně, ale neprochází středem, dření kmene. Veden je v určité vzdálenosti od dřeně. Letokruhy vytváří fládrovou kresbu, mají vzhled paraboly. Dále rozeznáváme tři základní směry. Axiální, jinak řečeno podélný směr. Je kolmý k ploše příčného řezu. Radiální, ten je kolmý k ploše tangenciálního řezu. A tangenciální směr. Vedený je jako tečna k letokruhům neboli je kolmý na plochu radiálního řezu (Friess *a spol.* 2008).

Dřevo můžeme zkoumat z hlediska různých struktur. Jednou z nich je chemické složení dřeva. Hlavními chemickými složkami jsou celulóza, hemicelulóza, lignin a doprovodné látky (Požgaj, 1997).

3.1.1 Makroskopická stavba dřeva

Makroskopická úroveň dřeva neboli hodnocení jeho stavby pouhým okem. Se znalostí jednotlivých makroskopických rysů dřevin můžeme téměř jistě určit, o kterou dřevinu se jedná. Při prvním pohledu rozeznáváme druh dřeviny. Jestli se jedná o listnaté, nebo jehličnaté dřevo. Dále rozeznáváme tyto základní makroskopické znaky: letokruhy, jádro, dřeňové paprsky, dřeňové skvrny, pryskyřičné kanálky, velikost a uspořádání cév, kůra, dřeň. Další pozorované znaky u dřevin jsou hmotnost, tvrdost, barva, vůně, lesk, suky a vady, reakční dřevo a textura (Shmulsky *et al.* 2011).

Letokruhy tvoří jarní a letní dřevo. Jarní dřevo je tvořeno buňkami vytvářejícími se na jaře nebo v létě. Buňky jsou velké, tenkostěnné a nesou světlou barvu. Oproti tomu letní dřevo je tvořeno buňkami menšími a silnostěnnými. Přirůstají v pozdním létě a na podzim. Barvu mají tmavou. Letní dřevo je hustší, tvrdší a má znatelně menší přírůstky (Shmulsky *et al.* 2011).

Letokruh je roční přírůstek dřeva. Můžeme z nich zjistit stáří stromu. U listnatých dřevin nám buňky v jarním a letním dřevě určují, zda se jedná o kruhovitě pórovitou, nebo o roztroušeně pórovitou dřevinu (Požgaj, 1993).

3.1.2 Mikroskopická stavba dřeva

Každá buňka ve dřevě má svou funkci. Listnaté stromy mají sklerenchymatické neboli libriformní buňky (pevnost dřeva), parenchymatické buňky (ukládání živin a stavebních látek), sítkovice lýka (tvorba systému vedení živin) a tracheje jinak řečeno cévy. Tracheje jsou vodivé buňky a vedou zejména vodu a v ní rozpuštěné živiny. U jehličnanů to jsou parenchymatické buňky, sítkovice lýka a tracheidy neboli cévice. Buňky na sebe navazují otvory v buněčné stěně, tzv. ztenčeninami. V těchto ztenčeninách dochází k transportu vody, různých látek a živin. Ztenčeniny listnatých dřevin se nazývají tečky a ztenčeniny jehličnatých dřevin dvojtečky. Dvojtečky jsou uzavíratelné průchody v buněčné stěně. Díky nim dochází k výměně živin mezi různými buňkami. Při poškození dřeva jsou schopny se zatáhnout a uzavřít. Tento proces je nevratný a ztěžuje procesy sušení a impregnování dřeva (Nutsch, 2006).

3.1.3 Fyzikální vlastnosti dřeva

Dřevo je anizotropní (různé vlastnosti v různém směru), hygroskopický (schopnost měnit vlhkost v závislosti na okolním prostředí) a heterogenní materiál. Pro tuto bakalářskou práci jsou důležité především termíny hustota a vlhkost dřeva. Hustota dřeva udává hmotnost jeho objemové jednotky. Uvádí se v jednotkách $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$. Závažně ovlivňuje fyzikální i mechanické vlastnosti dřeva. Požgaj uvádí, že těžké dřevo je například pevnější, tvrdší a mnohem odolnější než dřevo lehké. Je vhodným ukazatelem především tehdy, když je zapotřebí vysoká pevnost a pružnost materiálu zároveň s jeho nízkou hmotností (Požgaj *a kol.* 1993)

Vlhkostí dřeva se udává množství vody obsažené ve dřevě. Počítá se poměrem hmotnosti vody a hmotnosti absolutně suchého dřeva (Požgaj *a kol.* 1993). S ní souvisí i bobtnání dřeva, které je v případě lepených kolíkových spojů určujícím faktorem pevnosti. Kolík převezme vlhkost z lepidla, to má za následek jeho bobtnání a utěsnění ve spoji. (Podlena *et al.* 2018)

3.1.4 Mechanické vlastnosti dřeva

Mechanickými vlastnostmi dřeva rozumíme takové vlastnosti, díky kterým dřevo dokáže vzdorovat působením vnějších sil. Rozpoznáváme pevnost dřeva, tvrdost a pružnost neboli deformovatelnost a technologické vlastnosti dřeva, mezi které řadíme štípatelnost, ohýbatelnost, schopnost držení spojovacích prostředků, přerážecí práce aj. Deformace je změna tvaru, rozměrů a vlastností, může být elastická, nebo plastická (Kafka, 1989).

Mechanické vlastnosti dřeva jsou ovlivňovány strukturou a stavbou dřeva. Nejvíce ovlivňujícími faktory jsou druh dřeviny a její vlastnosti, směr vláken, vlhkost, dřevní vady a poškození a kvalita předešlého zpracování. Pro nás je momentálně nejdůležitější pevnost materiálu. Je vyjádřena mírou největšího napětí, které dřevo vydrží, aniž by se porušilo. Podle druhu namáhání určíme buď pevnost v tahu, tlaku, smyku nebo v ohybu (Kafka, 1989).

3.2 Spojování

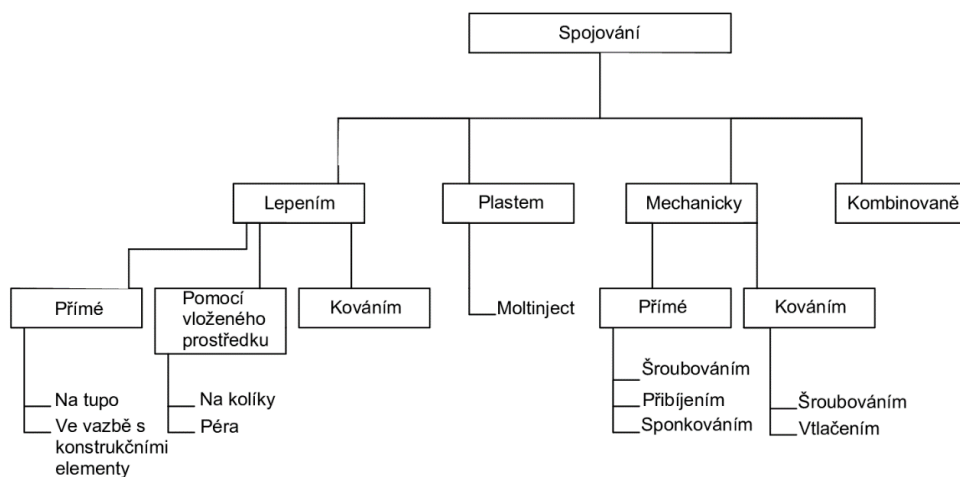
Základní funkcí technologických procesů spojování je spojit dvě nebo více součástí a dílců do řádově vyšších celků. V současnosti známe mnoho způsobů spojování. Mezi nejpoužívanější z nich se řadí spojování lepením, které může být buď přímé (čepy, dlaby, ozuby atd.), nebo za pomoci vloženého prostředku. Tyto prostředky jsou nejčastěji kolíky, vložená pera, ale také kovové a plastické prostředky. Při kombinaci různých metod spojování lze dosáhnout ideálního spoje (Trávník, 1996).

Spojení přitom může mít buď trvalý nebo rozebíratelný charakter. Ve výrobě nábytku máme dvě základní skupiny spojování. První je spojování dílců za účelem zvýšení kvality celku nebo rozměrové úpravy základního dřevěného materiálu. A druhá spočívá v předmontáži a montáži, jejímž cílem je konečný

produkt, výrobek. Všeobecně jsou známe různé principy spojování materiálu. Pro správnou volbu spoje je mnoho určujících faktorů. Mezi ně patří například konečný účel výrobku a druh materiálu z kterého je vyroben.

Ve výrobě nábytku známe tři základní druhy spojování, kterými jsou:

- a) Spojování lepením
- b) Mechanické spojování
- c) Spojování plasty (Nemec *a spol.* 1986)



Obrázek 1: Druhy spojování (Trávník, 2003)

3.2.1 Spojování lepením

Lepení je pevné, nerozebíratelné spojení dvou na sebe přiléhajících povrchů pomocí lepidla. Lepidlo mezi nimi vytváří souvislou tenkou vrstvu, na nich pevně držících. Ve většině případů se v praxi vyžaduje, aby pevnost lepeného spoje byla pevnější než pevnost lepeného materiálu. Tudiž by při totální destrukci mělo dojít k porušení mimo lepený spoj (Horák a Ostrčil, 1986).

V podstatě všechny kapaliny, které smáčejí povrch tuhé látky a poté vytvrdnou, mohou fungovat v zásadě jako lepidlo pro tento povrch. Tekutá lepidla dokonale smáčejí povrch lepeného materiálu. Mají k němu dobrou adhezi a za vysoké koheze molekul mění své skupenství na pevné. Jsou to látky, s nimiž lze pevně spojovat adhezi a kohezi materiály, jako jsou například dřevo, plasty, skla a kovy, ale i jednotlivé dílce výrobků při montáži. Jsou to materiály, které mohou

být, jak v kapalném, tak i pevném formě. Pod pojem lepidlo, spadají všechna lepidla z rostlinných, syntetických nebo živočišných výchozích látek, která obsahují rozpustné, popřípadě disperzní částice (Nutsch, 1999).

Během lepení dřeva v praxi se samozřejmě budeme nejvíce zaměřovat na přilnavost lepidla k lepenému povrchu. Konkrétně jde o pojmy **mechanická a specifická adheze**. Jde-li o mechanickou adhezi vycházíme z toho, že lepidlo v kapalném stavu se mechanicky usadí v nedokonalostech a v pórech dřeva lepeného dílce. Následně se tímto po vytvrzení vytvoří pevný mechanický spoj. Kvůli tomuto jevu se často povrchy dílců před lepením zdrsňovaly. Tato adheze však může ovlivnit pevnost spoje v průměru jen o 12 až 15 %. Důležitější tedy bude adheze specifická. Tvoří ji hned několik chemických a fyzikálních sil. Základ udává povrchové napětí materiálu, viskozita a polarita lepidla a slepované hmoty. Adhezivní síly při lepení dokáží působit jen na velmi krátkou vzdálenost. Protože nejsme schopni dosáhnout absolutně hladké plochy, je snazší používat lepidla v kapalném skupenství, neboť se snadněji dokáží přizpůsobit nedokonalostem povrchu. Dalším základním pojmem v teorii lepení je **koheze**. Koheze je vnitřní pevnost lepidla neboli spojitost hmoty lepidla. Dále nás zajímá **smáčivost** lepeného povrchu samotným lepidlem (Horák a Ostrčil, 1986).

3.2.1.1 Rozdělení lepidel

Lepidla můžeme dělit podle mnoha faktorů. Nejčastěji je však dělíme podle původu, fyzikálního stavu, chemické reakce lepidla, charakteru po vytvrzení, teploty při zpracování, odolnosti vůči vodě. Nebo je rozdělujeme podle účelu použití, a to na lepidla montážní anebo lepidla pro vrstvené dřevo (Eisner a spol. 1958).

3.2.1.1.1 Rozdělení podle fyzikálního stavu

Způsob, jakým dochází k použití lepidla, zejména při jeho nanášení, předpokládá často určitou formu nebo fyzikální stav lepidla.

Lepidla proto dělíme na:

- a) tekutá
- b) pastovitá
- c) práškovitá
- d) pěnová
- e) filmy
- f) lepicí pásy

Filmy a lepicí pásy nelze považovat za lepidla v pravém slova smyslu, jsou však běžným spojovacím prostředkem, který spojuje materiály vrstvou lepidla (Boublík, 1966).

3.2.1.1.2 Rozdělení lepidel podle původu

- 1) Lepidla z přírodních surovin
 - a. Bílkovinová živočišná lepidla
 - glutinová, kaseinová, albuminová
 - b. Rostlinná lepidla
 - z rostlinných bílkovin, škrobová, z derivátů celulózy, pektiny, rostlinné gummy, kaučuková, třísloviny, sulfátové a sulfátové výluhy
 - c. Minerální pojiva
 - vodní sklo, sádra, cementy, asfalty
 - d. Anorganická lepidla
 - fosfátová, metalická, keramická
- 2) Syntetická lepidla
 - a. Termoreaktivní lepidla
 - Močovinoformaldehydová
 - Melaminformaldehydová
 - Fenolformaldehydová
 - Rezorcinolformaldehydová

- Polyuretanová
- Epoxidová
- Lepící folie

b. Termoplastická lepidla

- Polyvinylacetátová
- Akrylátová
- Polyvinylchloridová
- Kaučuková
- Tavná (Sedliačik *a spol.* 1998)

3.2.2 Složky lepidel

Abychom dosáhli určité vlastnosti lepidel, respektive jejich zdokonalení, používáme různé přísady.

3.2.2.1 Filtotvorná složka

Sedliačik (Sedliačik *a spol.* 1998) uvádí, že jednou z hlavních složek lepidel jsou makromolekulární látky. Tyto látky je zapotřebí nejprve rozptýlit do koloidního stavu. Toho můžeme dosáhnout za použití polární, snadno se vypařující kapaliny, jako je například voda, alkohol nebo aceton.

3.2.2.2 Plniva

Plniva nemají lepící účinek. Jsou to jemně namleté minerální prášky (např. křída, nerostná moučka), které pozitivně působí na omezování smršťování lepidla a brání tak vzniku nežádoucího napětí v lepící spáře. Zvyšují viskozitu lepidel, což je výhoda například při olepování krycími dýhami, kdy lepidlo díky plnivům nepronikne póry na povrch. Jejich používání je také výhodné z ekonomického hlediska, kdy pojiva mohou nahradit dražší syntetická lepidla (Sedliačik *a spol.* 1998).

3.2.2.3 Tvrdidla

Téměř všechna syntetická polykondenzační lepidla vyžadují přítomnost tvrdidla. Tvrdidlo je sloučenina kyselin a solí, které svým účinkem urychluje tuhnutí lepidla. Tvrdidla většinou bývají součástí lepidla, ale mohou se přidávat

také samostatně ve formě prášku nebo roztoku, před lepením do směsi, či na lepenou plochu (Eisner, 1966).

3.2.2.4 Pojidla

Pojidla jsou organické látky. Mohou být buď původu živočišného nebo rostlinného. Pojidla tvoří po vytvrnutí lepidla, nebo po proběhnutí vnitřní chemické reakce, samotný lepený spoj. Dají se tedy označit za hlavní složku všech lepidel (Eisner, 1966).

3.2.2.5 Rozpouštědla

Rozpouštědla jsou látky, které mají za úkol dokonale rozpustit pojidlové složky. Řadíme k nim například aceton, benzín a toluen. Mezi jejich další vlastnosti patří rychlé odpařování a smáčení lepených povrchů.

Rozpouštědla nesmí poškozovat základní materiál (Sedliačik *a spol.* 1998).

3.2.2.6 Změkčovadla

Do lepidel se přidávají za účelem změkčení a zvláčnění lepeného spoje. V momentě, kdy dosáhneme toho, že spoj není tvrdý, ale je do jisté míry pružný, jeho životnost se prodlužuje. Dokáže lépe snášet různá mechanická namáhání, aniž by se významně porušila jeho fyzická struktura. Přidáním změkčovadla se zpravidla prodlouží doba potřebná k vytvrzení lepicí vrstvy. Jako změkčovadla se nejčastěji používají organické sloučeniny, jako glycerín, trikresylfosfát apod. (Sedliačik, 1998).

3.2.2.7 Nastavovadla

Na rozdíl od plniv, mají nastavovadla lepicí účinky. Jako nastavovadla se nejčastěji používají škrobové látky, jako je například mouka, celulóza, kukuřičný nebo jiný škrob. Jejich přidáním do lepidla prodlužujeme životnost samotné lepidlové směsi. Nastavování můžeme provádět až do 100 %. Mezi jejich negativní stránky se však řadí fakt, že přidáme-li obsah vyšší, než 20 %, odolnost lepeného spoje vůči vlhkosti klesá. Nastavovadla se používají nejen z technických, ale i ekonomických důvodů (Eisner, 1966).

3.2.2.8 Zušlechťující přísady

Například při výrobě dřevotřískových desek se k lepicí směsi přidávají různé hydrofobně účinkující látky. Většinou mají podobu vodní emulze, parafínu nebo vosku. Za účelem ochrany dřeva nebo dokonce ochrany samotného lepidla vůči biotickým činitelům se do lepidla přidávají koncentrované roztoky nebo pasty různých ochranných prostředků. Tyto prostředky jsou vyrobeny z chlorovaných fenolů nebo anorganických fungicidů. Lepidla, která nejsou odolná vůči horké vodě, se vylepšují přidáním melaminu nebo rezorcinu. Takto doplněná lepidla se nazývají zesílená (Eisner, 1966).

3.2.3 Lepidla používané pro konstrukční spoje

3.2.3.1 Polyvinylacetátová lepidla

Polymerizací termoplastu vinylacetátu získáme polyvinylacetátové lepidlo. Polyvinylacetát je nerozpustný ve vodě. Jeho velmi malé částice jsou pouze rozptýleny ve vodě – dispergovány. Tato lepidla mají mléčně bílou barvu. Jsou zařazována do skupiny bílých lepidel a v obchodech jsou k dostání pouze v kapalném skupenství. Tato lepidla jsou v praxi označována zkratkou PVAc. Pokud do polyvinylacetátového lepidla nejsou přimíchána tvrdidla, lepidlo tuhne fyzikálně. S přidaným tvrdidlem lepidlo tuhne z části chemicky a z části fyzikálně. Po vytvrzení lepidlových částic získáme průhledný a tuhý lepidlový spoj. Je-li teplota lepeného materiálu nebo lepidla při lepení příliš nízká, dojde k netěsnému usazení PVAc částic k sobě. To má za následek neuzavřený a málo pevný lepený spoj. Vrstva lepidla v lepené spáře má bílou barvu, je křehká a bez pojivosti. Tento jev nastává při teplotách mezi 2 °C a 8 °C a je nazýván teplota bílého bodu. PVAc lepidla jsou k dostání rovnou ve formě vhodné k použití. Není potřeba dalších přísad. Pokud je lepidlo moc husté, lze do něj přimíchat 1-3 % vody (Nutsch, 2006).

Pokud lepíme PVAc lepidly bez přidaných tvrdidel musíme si dát pozor na vysoké teploty. Při teplotách okolo 40 °C až 60 °C takové spoje znovu měknou. Pokud tvrdidlo přidáme, spoj odolává teple až do 150 °C. Výhodou je, že spoje zůstávají nadále elastické, odolné proti plísním a nepodléhají stárnutí. K bobtnání lepidla dochází také jen tehdy, když nejsou do lepidla přimíchána tvrdidla. Spoj se

sice nerozlepí, ale sníží se jeho celková pevnost. Po vysušení, vyschnutí je spoj opět pevný. PVAc lepidla během vytvrzování světlají. Po vytvrzení mají až průhledný vzhled. Pokud se lepidlo nedostane do kontaktu s železem, nezpůsobuje dřevu žádné nevíтанé zbarvení. Polyvinylacetátová lepidla lze snadno odstraňovat organickými rozpouštědly, například acetonem. Podle druhů lepení rozdělujeme polyvinylacetátová lepidla do čtyř skupin. Jsou jimi lepidla určená k montážnímu spojování, dýhovací, laková a směsná lepidla. Liší se od sebe složením (Nutsch, 2006).

Skupinu montážních lepidel využíváme k lepení truhlářských spojů, dřeva, deskových materiálů a k lepení tepelně vrstveného laminátu na nosné desky. Otevřená doba montážních lepidel se pohybuje mezi 5 až 30 minutami. Úplné vytvrzení nastává po třech hodinách. Lisovací doba se pohybuje okolo 30 minut. Velmi záleží na množství naneseného lepidla. Co se vlhkosti dřeva týče, je nejvhodnější v rozpětí mezi 8 % až 12 %. Teplota lepidla, materiálu a v místnosti je optimální mezi 18 °C až 22 °C. Relativní vlhkost vzduchu by měla být pod 65 %. Lisovací tlak u tvrdého dřeva by se měl pohybovat okolo 0,6 N/mm² a u měkkého dřeva by měl činit jen 0,3 N/mm² až 0,4 N/mm² (Nutsch, 2006).

3.2.3.2 Polyuretanová lepidla

Polyuretanová lepidla spadají do skupiny lepidel izokyanátových. Vznikají polymerizací polyizokyanátů s polyestery. (Liptáková a Sedliačik, 1989)

Největšími výhodami polyuretanových lepidel (zkratka PUR) jsou nerozpustnost, pružnost a pevnost vytvořeného spoje. Spoj slepený polyuretanovým lepidlem je schopný odolávat vlhkosti a povětrnostním vlivům. Dobře odolává též dynamickému namáhání a smyková pevnost spoje dosahuje hodnot 23 MPa. Vytvrzení PUR lepidel je velmi rychlé, 90-120 s. Mohou se zpracovávat s poměrně širokým rozmezí teplot. A to včetně nízkých teplot, kolem 0 °C. Tepelná odolnost spojů lepených PUR lepidly dosahuje 170 °C. Během aplikace by neměly přijít do styku s rozpouštědly obsahujícími alkohol a vodu. (Tesařová a kol. 2014)

3.2.4 Problematika lepení

Lepidla představují v dřevařském a nábytkářském průmyslu velice důležitý a užitečný pomocný materiál. Nejenže přispívá ke zdokonalování vlastností mnoha výrobků, ale také je základním stavebním kamenem pro zcela nové druhy materiálů. Lepení dřeva má mnoho výhod a důvodů proč ho v dřevařském průmyslu využíváme. Pro montážní spojování je největší výhodou zvýšení pevnosti spoje a jeho těsnost. Díky lepení máme možnost spojovat více různých materiálů a vytvářet jak malé, tak i velké plochy. Řeší také spojování velmi tenkých a nadměrně velkých materiálů. Z estetického hlediska je lepení velmi vítané. Nahrazuje často nevzhledné mechanické prvky, jako jsou například hřebíky a povrch zanechává hladký. Dalšími přednostmi je možnost výroby spoje s dobrou elektrickou, tepelnou a zvukovou izolací, nebo spoje s dobrou elektrickou vodivostí. Zvýšení bezpečnosti při poruše, snížení výrobních nákladů, zvýšená odolnost proti korozi, útlum vibrací, snížení hmotnosti v řadě případů možnost spojení za nízké teploty, která neovlivní spojovaný materiál (Sedliačik *a spol.* 1998).

Během lepení musíme však brát v potaz i pár nedostatků. A to fakt, že pokud chceme dosáhnout dokonalého spoje, tak by lepená plocha měla být perfektně upravena a zbavena veškerých nečistot. Dále je většinou nutné přidávat do lepidel vytvrzovací prostředky a také musíme počítat s tím, že tekutá lepidla mají vysokou náchylnost k tečení (Sedliačik *a spol.* 1998).

3.2.5 Vlastnosti ovlivňující lepení dřeva

3.2.5.1 Vlhkost dřeva

Vysoká vlhkost dřeva snižuje vytvrzovací procesy a viskozitu lepidla ve spáře. Většina lepidel se aplikuje v kapalném stavu, ve formě vodních roztoků. Z těch se musí voda následně přesunout do dřeva, aby mohlo lepidlo dokonale vytvrdnout. Jelikož dřevo dokáže absorbovat vlhkost až do bodu nasycení vláken, kolem 30 % vlhkosti, je velmi důležité vlhkost dřeva při lepení sledovat (Liptáková a Sedliačik, 1989).

3.2.5.2 Vliv povrchu dřeva a jeho opracování

S dokonale čistým povrchem dřeva můžeme dosáhnout dokonalého přiblížení a tím i pevného spoje. Je nutné odstranit veškeré nerovnosti, nečistoty, prach a mastnotu (Liptáková a Sedliačik, 1989).

3.2.5.3 Struktura a pórovitost dřeva

Pro správnou techniku lepení je důležité si uvědomit, že dřevo je nehomogenní materiál. Jeho vlastnosti jako je pórovitost, anizotropie, hygroskopicitá nebo jen přirozené vady můžou proces lepení značně ztížit a velice ovlivnit jeho výsledek. Tudíž je pro lepení velice důležité, uvědomovat si strukturu dřeva na jednotlivých řezech. Pro výslednou pevnost spoje je velice důležitý směr průběhu vláken. Příčné řezy jsou pórovité, tedy nejméně pevné. Lepidlo totiž vniká do pórů. Spoj je potom málo pevný a suchý. Podélné řezy jsou naopak nejpevnější (Liptáková a Sedliačik, 1989).

3.2.5.4 Vliv základních chemických vlastností dřeva na lepení

Základními chemickými složkami dřeva jsou celulóza, hemicelulóza a lignin. Vedle hlavních složek dřevo obsahuje i mnoho jiných látek. Například živce a vosky. Tyto látky zhoršují smáčivost povrchu dřeva. Tím se zhoršuje i kvalita lepení.

Obecně působí kyseliny a zásady na dřevo škodlivě. Dřevo listnatých stromů je méně odolné nežli dřevo jehličnatých stromů. Zejména proto, že neobsahuje přírodní pryskyřice. Alkalická lepidla můžou způsobovat na dřevě skvrny. Je to odezva na reakci s tříslovinami. Železnaté soli zbarvují dřevo od tmavě modré barvy po odstíny fialové. Nízké pH, může mít za určitých podmínek, jako jsou například výkyvy teplot, na svědomí pokles mechanických vlastností dřeva v blízkosti lepené spáry (Eisner, 1966).

3.2.5.5 Vliv teploty

Na teplotě závisí rychlost tuhnutí lepidla. Teplota je dána nejen ovzduším, ale i teplotou samotného materiálu. Při velmi nízkých teplotách je vytvrzení některých lepidel, především syntetických, neúplné. Oproti tomu teplé dřevo, vyndané například rovnou ze sušárny, může vyvolat předčasné vytvrnutí lepidla. Tento jev se vyskytuje hlavně při výrobě třískových desek (Eisner, 1966).

3.2.6 Odolnost lepidel proti vlhkosti

Lepidla určená ke spojování dřeva a dřevěných materiálů se dělí podle normy v závislosti na pevnosti lepení do skupin namáhání D1, D2, D3 a D4. Lepidla musejí splňovat v normě uvedené požadavky týkající se odolnosti vůči klimatickým vlivům a vodě. Požadavky se vztahují na pevnou lepenou spáru.

Tabulka 1: Popis tříd trvanlivosti lepidel (ČSN EN 204, 2017)

Třída trvanlivosti	Příklady klimatických podmínek v oblasti použití
D1	Interiér, kde vlhkost dřeva nepřekročí 15 %.
D2	Interiér s příležitostným krátkodobým působením tekoucí nebo kondenzované vody a/nebo občasnou vysokou vlhkostí vzduchu za předpokladu, že nárůst vlhkosti dřeva nepřesáhne 18 %.
D3	Interiér s častým krátkodobým působením tekoucí nebo kondenzované vody a/nebo působením vysoké vlhkosti vzduchu. Exteriér chráněný před působením povětrnosti.
D4	Interiér s častým dlouhodobým působením tekoucí nebo kondenzované vody. Exteriér vystavený povětrnosti, avšak opatřený přiměřenou povrchovou ochranou.

3.2.7 Technologie kolíkových spojů

Spojování dřevěnými kolíky řadíme mezi nerozebíratelné spoje, tvořené za pomoci lepidla a vloženého mechanického prostředku – kolíku (Trávník, 1996).

Spojování pomocí dřevěných kolíků je oblíbené především díky ne příliš namáhavé přípravě dílců. Vyhovuje mechanizovaným výrobním způsobům a je také ekonomické. Kolíky jsou spojovací prostředky válcovitého tvaru, které se vlepují do vyvrtaných otvorů a jsou využívány ke spojování jednotlivých dílců.

Pro jejich výrobu jsou využívány dřeviny s vysokou mechanickou pevností. Konkrétně je to nejčastěji buk, vhodné je však například i dřevo břízy. Z tohoto vhodného dřeva se vyrábějí tyče různých délek, s různým průměrem, a hlavně s různou strukturou povrchu. Tyto tyče se pak krátí na požadované délky, již jednotlivých kolíků (Drápela, 1980).



Obrázek 2: Hladké bukové tyče pro výrobu hladkých kolíků

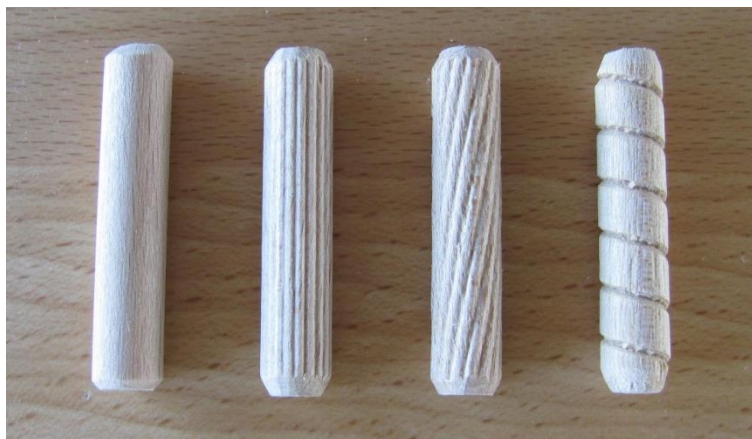
V dalším kroku výroby je zvykem zbrusování čel kolíků, avšak není to nezbytně nutné (Drápela, 1980).

Horák (Horák, 1986) uvádí, že kvalita kolíkových spojů se odvíjí zejména od těchto faktorů:

- Výběr dřeviny a kvalita dřeva použitého k výrobě kolíků
- Tvarování povrchu kolíků
- Přesnost vyvrtání a opracování kolíků a otvoru, těsnost otvoru
- Čistota kolíkového spoje
- Počet a rozměry kolíků ve spoji
- Výběr a nanesení lepidla

Struktura povrchu kolíku může být buď hladká, rýhovaná nebo spirálovitě rýhovaná. Vzorek se na kolíkách vytváří ze tří důvodů. Prvním je zvětšení lepené plochy, druhým je vyvedení lepidla po celé délce kolíku, rovnoměrnější rozvrstvení lepidla a odvod přebytečného lepidla a třetím důvodem je odvod vzduchu. Drážky probíhají podél osy kolíku a vytvářet se mohou metodou vytlačování nebo vyřezávání. Výhodnější je však vytlačování, protože u

vyřezávání dochází k přeřezání povrchových vláken, tudíž dochází k narušení povrchu a k následnému snížení pevnosti. Kolíky s rýhovanou strukturou povrchu jsou prokazatelně výhodnější a tvoří pevnější spoje, přibližně až o 10 % (Trávník, 1996).



Obrázek 3: Kolík hladký, rovně rýhovaný, spirálovitě rýhovaný a spirálovitě rýhovaný s hlubokou drážkou

Co se lepení kolíků týče, je nejlepší nanášet lepidlo v malých dávkách na kolík, do otvoru i na lícující plochy spojů. Pevnost spoje samozřejmě velice ovlivňuje výběr lepidla. Například močovinoformaldehydová lepidla poměrně rychle pronikají do materiálu, což má za následek vysychání lepené spáry. O něco vyšší pevnost můžeme získat pomocí glutinových lepidel. Ale například u dřevotřískových desek dosáhneme naopak vyšších hodnot za užití močovinoformaldehydového lepidla. Obecně se však za nejvhodnější a nejpevnější lepidla považují PVAc lepidla (Drápela, 1980).

Při tvorbě kolíkových spojů musíme brát v potaz samozřejmě i vlhkost dřeva. A to jak samotného kolíku, tak i lepeného materiálu. Při nízké, to je 35 %, i vysoké – 85 % relativní vlhkosti prostředí, kolíkový spoj přichází o 15 až 25 % své pevnosti. Přesná čísla se odvíjejí od druhu použitého lepidla. Pokud má kolík nižší vlhkost než spojovaný materiál, je pevnost spoje vyšší. Dochází k tomu v důsledku nabobtnávání – absorbováním vody z lepidla. Nabobtnání nahrazuje zmenšování, smršťování lepidla během vytvrzování (Drápela, 1980).

Pokud chceme dosáhnout co nejpevnějšího spoje, mělo by být opracování povrchu jak kolíků, tak i otvorů co nejvyšší. Povrch otvorů by měl být

hladký, bez vytrhaných vláken. Také by nemělo dojít ke spálení povrchových vláken dřeva, během kolíkování. To by mělo za následek snížení přilnavosti dřeva a lepidla. Dalším důležitým faktorem je těsnost kolíků v otvorech. Tu určují rozměry kolíku a otvoru. V průměru by měl být kolík o 0,2 až 0,3 mm větší než otvor. Dalším ovlivňujícím faktorem je čistota spojů a kolíků. Dojde-li například k potřísnění materiálu nátěrovými látkami, snižuje se adheze lepidla (Trávník, 1996).

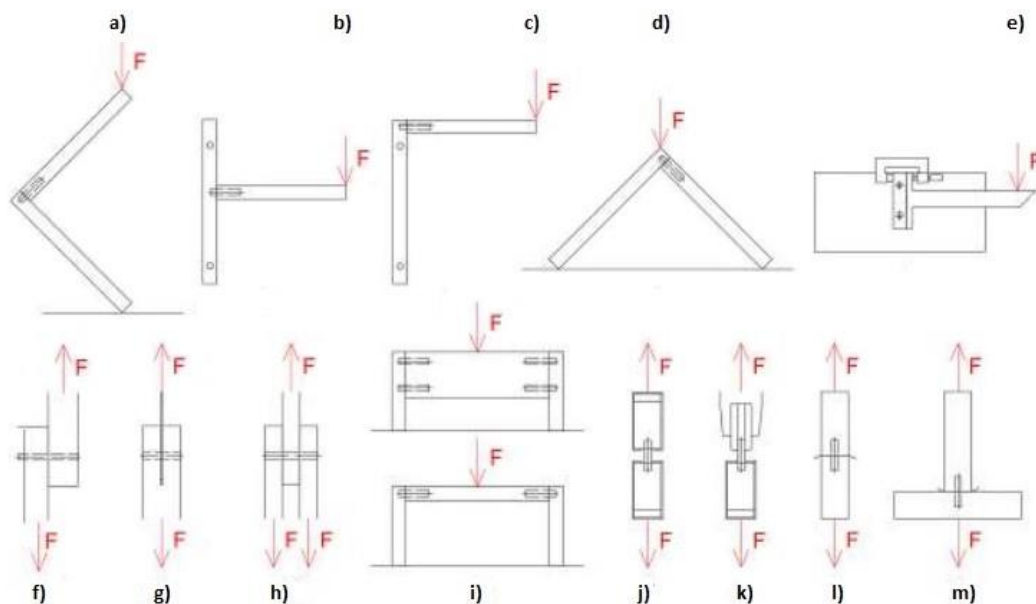
Rozměr kolíku se odvíjí od tloušťky spojovaného materiálu. Pro konstrukční desky o tloušťce do 16 mm používáme kolíky o průměrech 6 mm. Pro desky o tloušťce 16–19 mm pak kolíky s průměrem 8 mm. A pro desky s tloušťkou větší než je 19 mm, jsou vhodné kolíky o průměru 10 mm. Počet a umístění kolíků by mělo být zvoleno tak, aby stabilita a pevnost výrobku odpovídala předepsaným požadavkům (Drápela, 1979).

Délka dřevěných kolíků se rovná až pětinasobku průměru kolíku. Při spojování na pokos se musí délka kolíku rovnat minimálně tloušťce desky. Jejich délka při zapouštění do ploch je omezena tloušťkou konstrukčních desek, při zapouštění do bočních ploch omezena není. Celková délka kolíků musí být nejméně 30 mm. Minimální rozestup kolíku je 25 mm pro úzké lišty nebo 32 mm pro běžné dílce. Rozestup 32 mm je dán roztečí vrtáků v kolíkovačce, ale častěji se využívá násobků vzdálenosti 32 mm (např. 64, 96). Zarážení kolíků se provádí ručně paličkou anebo kladivem. Při hromadné výrobě pak na automatizovaných kolíkovacích strojích (Drápela, 1979).

V praxi využíváme nejčastěji rohové nebo středové spojení materiálů na sebe kolmých, pomocí vlepeného kolíku. Tyto spoje se velmi často užívají např. pro spojování nohou a desky stolu. A to zejména pro jejich jednoduchost, pevnost a estetický vzhled (Vinter a spol. 1966).

Dřevěné kolíky lze ale také využívat v podélných spojiích. Kniha Dřevo od A do Z uvádí, že tyto podélné spoje slouží k napojování dvou kusů dřeva a k následnému prodloužení celkové délky (Gorg Blanc, 2006).

Následující obrázek nám představuje nejčastěji používané typy a provedení kolíkových spojů a způsoby testování jejich pevností. Šipka u síly F nám zobrazuje směr, kterým působíme na lepený spoj.



Obrázek 4: Nejčastěji používané typy kolíkových spojů a metody jejich testování

a) Rohový spoj typu L – tlakové zatížení, b) Rohový spoj typu T – tlakové zatížení, c) Rohový spoj typu L – tlakové zatížení, d) Rohový spoj typu L – zátěžová zkouška, e) Krouťivý moment, f) Zkouška stříhem, g) Zkouška dvojitým stříhem, h) Dvojitá smyková zkouška, i) Boční zkouška, j) Zkouška odběru čel, k) Zkouška na odstranění čel, l) Pevnost podélně v tahu, m) Pevnost v tahu (Podlena et al. 2018)

Materiál, z kterého se kolíky vyrábějí, nemusí být vždy jen dřevo. V truhlářství a v dřevozpracujícím průmyslu také často narazíme na plastové kolíky. Ty se vyrábějí hlavně z polystyrenu a polyethylenu. Vyrábějí se stejně, jako dřevěné kolíky s rýhovanou i hladkou strukturou povrchu a v různých rozměrových a tvarových provedeních. Ve strojírenství se pak používají hlavně ocelové, či z jiných kovů a slitin (Josten, 2011).

4 Metodika

4.1 Použitý materiál

4.1.1 Buk lesní

Latinský název: *Fagus sylvatica* L.

Všechny testované vzorky v této práci byly vyrobeny z buku. Z bukového dřeva jsou zhotoveny testovací hranoly i samotné kolíky.

Buk lesní můžeme označit, jako naši hospodářsky nejvýznamnější listnatou dřevinu. Stromy buku často dosahují velkých rozměrů, výška bývá okolo 35-45 m a průměr kmene okolo 1,5 m. Největší exempláře dosahují objemu kmene až 25–30 m³. Životnost buku se pohybuje mezi 200–400 lety. Kmen je rovný, průběžný, válcovitý. Borka je hladká a má našedlou barvu. Koruna je kulovitá, větve odstávají v ostrém úhlu (Maděra a Úradníček, 2001).

Dřevo je středně tvrdé, pevné, těžké, roztroušeně pórovité, bez jádra (s častým výskytem nepravého jádra). Barva narůžovělá až červenavě světlehnědá. Struktura stejnoměrná, cévy nezřetelné a roční kruhy těžko rozeznatelné. Na tangenciálním řezu výrazné dřeňové paprsky. Na radiálním pak tvoří rozsáhlá zrcátka. Možnost výskytu dřeňových skvrn. (Klement *a spol.* b.r.)

Dřevo buku je obecně málo odolná dřevina. Odolnost proti biotickým činitelům je minimální, hlavně co se hniloby týče. Tudíž buk řadíme mezi netrvanlivé dřeviny. Z toho plyne, že pokud chceme dřevo používat v exteriéru, je nutné ho vhodně impregnovat. Tyto jeho nedostatky odstraňujeme pařením, impregnací, zušlechťováním. Opracovatelnost dřeva je velmi snadná. A to hlavně díky stálosti struktury a pevnosti materiálu. Vlákno je pevné a rovné, po obroušení zůstává textura dřeva hladká a bez vad. Dřevo snadno přijímá veškerou povrchovou úpravu, ať jde o impregnaci, moření, natírání a je také vhodné k paření a vaření (Gibbs, 2005).

Dřevo je využíváno převážně v nábytkářství. Díky pevnosti dřeva a stálosti povrchu je to perfektní materiál pro hromadnou výrobu nábytku. Především pak ohýbaného. Dále je vhodné pro výrobu dých, překližek, železničních pražců, parket

a pro chemické zpracování dřeva. Lze také použít jako konstrukční materiál anebo pro drobné nářadí a předměty. Bukové piliny používáme pro výrobu dřevěné moučky a briket (Friess a spol. 2008).

Hustota při W_0 %: 685 [kg.m⁻³]

Tvrdość: 61 [MPa] (ldf.mendelu.cz)

4.1.2 Polyvinylacetátové lepidlo

Lepidlo použité pro slepení testovacích slepených sestav odpovídá skupině jedna v normě ČSN EN 204. Všechny vzorové spoje byly slepovány stejným jednokomponentním polyvinylacetátovým lepidlem, třídy D4 – Würth (Německo), 1 K Holzkaltleim.

Toto lepidlo je ideální volbou pro odvětví zpracování dřeva, truhlářství a celkově pro montážní spojování. Lze použít k lepení jak měkkého, tak i tvrdého a exotického dřeva. Pro použití uvnitř interiéru, se zvýšenou odolností proti vlhkosti a častému kontaktu s vodou. Pro venkovní použití pak v kombinaci s vhodnou povrchovou úpravou materiálu. Příkladem použití uvádí výrobce vybavení koupelen, lepení vnitřních dveří, vnitřní schodiště, okenní spoje aj.

Veškeré vlastnosti lepidla jsou uvedeny v technickém listu lepidla, který je součástí této bakalářské práce (kapitola 8, příloha č. 2–1-Component Cold Wood Glue D4) (Würth - Technical data sheet, 2014).

4.2 Zkušební tělesa

Všechna zkušební tělesa byla vyrobena v truhlářské dílně České zemědělské univerzity v Praze. Materiál pro tuto bakalářskou práci mi byl poskytnut fakultou Lesnickou a dřevařskou.

Výroba zkušebních těles a postup zkoušky podléhal dvěma normám. První byla ČSN EN 204, Klasifikace termoplastických lepidel na dřevo pro nekonstrukční aplikace. A druhá ČSN EN 205, Lepidla – lepidla na dřevo pro nekonstrukční aplikace – Stanovení pevnosti lepeného spojení ve smyku při tahovém namáhání. Podle ČSN EN 205 a ČSN EN 204 byla určena doba expozice

7 dní a typ prostředí normální, což odpovídá $20\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$ a relativní vlhkosti vzduchu 65 % (ČSN EN 204), (ČSN EN 205).

K pevnostní zkoušce nebyla připuštěna taková tělesa, která by mohla jakkoli ovlivnit a znevážit pravdivost zkoušky. Vyřazeny byly hranoly, které obsahovaly viditelné vady, neodpovídaly předepsaným rozměrům, nebo celé slepené sestavy jejichž výsledek tahové zkoušky měl příliš vysokou odchylku od průměrně naměřených hodnot.

4.2.1 Použité stroje a pomůcky k výrobě zkušebních vzorků

- pila formátovací, pila pásová
- srovnávací fréza
- tloušťkovací fréza
- vrtací dlabačka (Panas, VD20 R)
- pásová bruska
- klimatizační komora (Hospimed HPP 750, teplota 20 °C , relativní vlhkost vzduchu 65 %)
- laboratorní váha (RADWAG Wagi Elektroniczne, Polsko, model: PS 4500.R2, max. 4500 g, min. 0,5 g, $d = 0,01\text{ g}$, $e = 0,1\text{ g}$)
- digitální posuvné měřítko (Mitutoyo, IP67, 150 mm, 0,01mm rozlišení)
- univerzální trhací stroj (TIRA TT 2850)

4.2.2 Zkušební zařízení

Testování všech slepených kolíkových sestav probíhalo na univerzálním trhacím zařízení TIRA TT 28, které se nachází v dřevařském pavilonu fakulty lesnické a dřevařské. Slepene vzorky byly testovány na pevnost v tahu. Trhací zařízení bylo nastaveno na rychlost posuvu upínacích čelistí 50 mm/min , při poklesu celkové pevnosti spoje na 50 %.



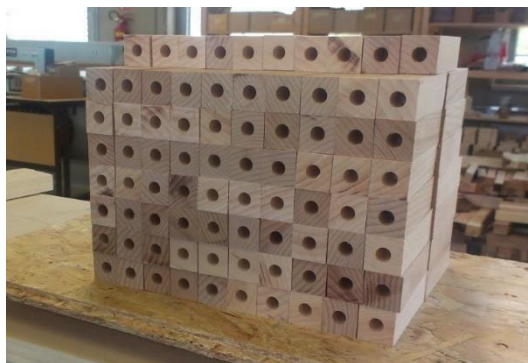
Obrázek 5: Univerzální trhací stroj – TIRA TT 2850 – uchycení zkušební vzorku

Veškeré základní parametry a informace o TIRA TT 2850 jsou uvedeny v technickém listu zařízení, který je součástí této bakalářské práce (kapitola 8, příloha č. 2 – Technický list TT 2850) (Příloha č. 1: Technický list TT 2850).

4.2.3 Výroba zkušebních těles

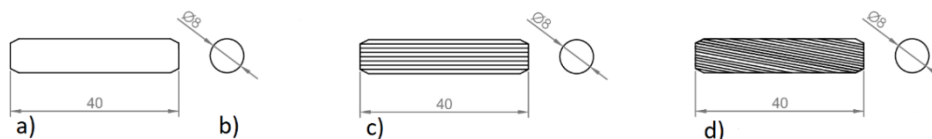
4.2.3.1 Příprava materiálu

Hranoly byly vyrobené z omítnutého řeziva s rovnými vlákny o nominální hustotě $735 \pm 17 \text{ kg/m}^3$ a obsahem vlhkosti $12 \pm 1,5 \%$. Nejprve bylo zapotřebí řezivo rozřezat podélně na formátovací pile, tím byla zajištěna lepší manipulovatelnost. Takto rozdělené řezivo se potom srovnalo do pravého úhlu na srovnávací frézce. A ohoblovalo pomocí tloušťkovací frézy na tloušťku $20 \pm 0,1 \text{ mm}$. Dále bylo zapotřebí srovnané a tloušťkově upravené přířezy naformátovat. Formátování probíhalo na formátovací pile, nejdříve se přířezy rozřezaly podél a poté napříč vláken. Tak vznikl hranolek s konečnými rozměry $20 \times 20 \times 75 \text{ mm}$. Následně byl do každého hranolku vyvrtán jeden otvor pomocí dlabací vrtačky. Otvor o průměru 8 mm a hloubce 22 mm je umístěn přímo uprostřed čela hranolku.



Obrázek 6: Hranolek s vyvrtaným otvorem pro kolík

Rozměry všech kolíků jsou 8 x 40 mm a jsou rovněž z bukového dřeva. Liší se strukturou povrchu a typem výroby. Struktura povrchu na kolíku s hlubokou spirálou je vyřezávaná, na ostatních kolících je struktura vytlačovaná. Rovně rýhované, spirálovitě rýhované a kolíky spirálovitě rýhované s hlubokou drážkou. Tyto kolíky byly poskytnuty fakultou lesnickou a dřevařskou. Kolíky hladké byly vyráběny z dlouhých bukových tyčí. Tyče byly nejdříve rozřezány na požadované rozměry na pásové pile. Následně byly každému kolíku zbrušeny hrany na pásové brusce.



Obrázek 7: Bukové kolíky

a) Bukový kolík hladký, b) Průměr kolíku, c) Bukový kolík rovně rýhovaný, d) Bukový kolík spirálovitě rýhovaný

Každá slepená sestava obsahuje jednu polyethylenovou fólii. Fólie má rozměry 0,04 x 30 x 30 mm a uprostřed otvor vytvořený přesně pro kolík. Ve zkušebních vzorcích je proto, aby nedocházelo ke slepení čel hranolek z důvodu vytlačení přebytečného lepidla přes okraj otvoru po zasunutí kolíku.

4.2.3.2 Výroba slepených sestav

Na dno otvoru v každém hranolku bylo nanášeno PVAc lepidlo o hmotnosti 0,2 g. Lepidlo bylo nanášeno pomocí špejle, aby nedocházelo k nadbytečnému množství lepidla v předvrtaném otvoru pro kolík. Každý vzorek

byl vzápětí převážen na laboratorní váze. Tolerované váhové odchylky byly mezi 0,19 – 0,21 g. Tudíž na každou slepenou sestavu neboli jeden kolík, připadá 0,4 g PVAc lepidla.



Obrázek 8: Nanášení lepidla do předvrtaného otvoru a vážení

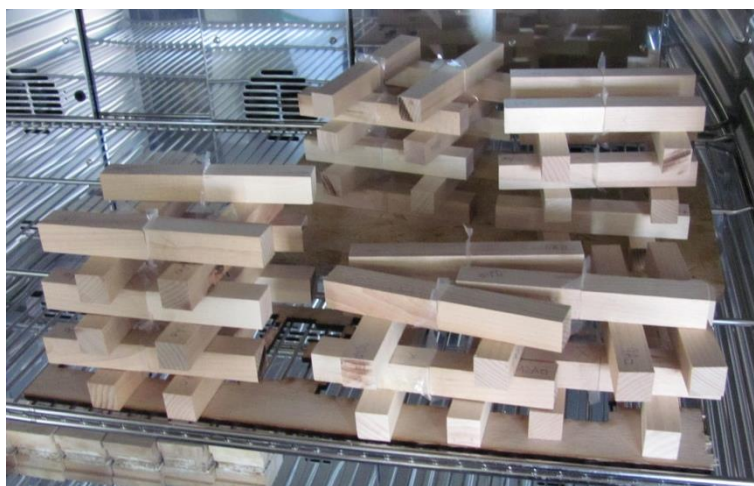
Po aplikaci lepidla byl do předvrtaného otvoru v hranolku zasazen na doraz kolík. Dále byla vložena separační fólie (Eckelman, 1971), a nakonec byl na kolík nasunut druhý hranolek s lepidlem. Stlačením hranolekú těsně k sobě vznikl kompletní slepený kolíkový spoj.



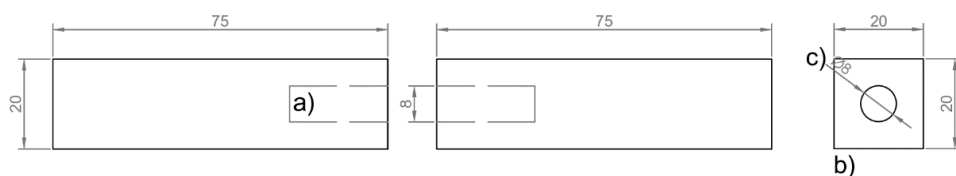
Obrázek 9: Kompletní slepená sestava

Pro každý typ kolíku byl vytvořen takový počet zkušebních sestav, aby se dala prokázat správnost a pravdivost měření. V každé skupině bylo tedy 12

slepených sestav vhodných k vykonání tahové zkoušky. Všechny slepené sestavy byly následně přehledně označeny, aby nedošlo při měření a vyhodnocování výsledků k záměně. Následovala fáze vytvrzení lepidla a usazení celé lepené sestavy. K tomu byla využita klimatizační komora. V té byly vzorky uloženy šest dní, při teplotě 20 °C a relativní vlhkosti vzduchu 60 %. Uloženy byly horizontálně s mezerami mezi sebou, aby byl zajištěn rovnoměrný přísun tepla ke každému z nich.

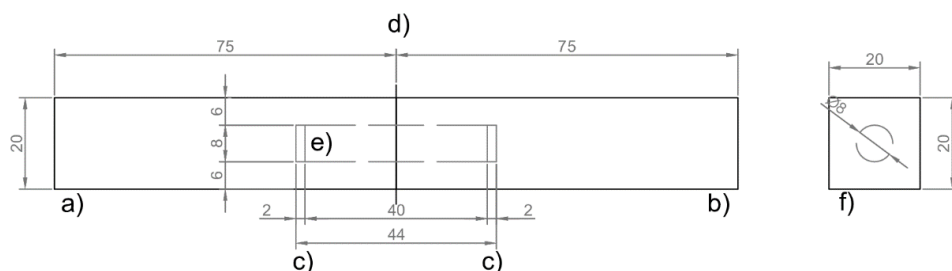


Obrázek 10: Klimatizování slepených sestav



Obrázek 11: Bukové hranoly

a) Vyvrtaný otvor na kolík v bukovém hranolu, b) Čelo bukového hranolu, c) Průměr otvoru na kolík



Obrázek 12: Spleená testovací sestava s vloženým kolíkem

a) První bukový hranol, b) Druhý bukový hranol, c) Nadmíra v otvoru pro kolík určená pro lepidlo, d) Polyethylenová fólie, e) Kolík, f) Čelo hranolu s kolíkem umístěným uprostřed

4.3 Výpočet vlhkosti a hustoty materiálu

Materiál určený k testování byl zvážen na laboratorních váhách a byly přeměřeny jeho rozměry. Naměřené hodnoty byly zprůměrovány a výsledky použity k výpočtům hustoty a vlhkosti použitého dřeva. Hodnoty byly odebrány ze šesti bukových hranolů, které měly totožné fyzikální a mechanické vlastnosti, jako materiál, z kterého se tvořily zkušební vzorky. Tělesa se lišila pouze jinými rozměry 20,5 x 20,5 x 50,8 mm.

Tabulka 2: Průměrné naměřené hodnoty pro výpočet vlhkosti a hustoty materiálu

m_w (g)	Rozměry w_a (mm)			m_0 (g)	Rozměry w_0 (mm)		
16,30	20,45	20,45	50,83	14,55	19,74	19,75	50,76

m_w – hmotnost vlhkého materiálu

m_0 – hmotnost materiálu s vlhkostí 0 %

W_a – rozměry vlhkého materiálu (šířka x hloubka x výška)

W_0 – rozměry suchého materiálu (šířka x hloubka x výška)

4.3.1 Výpočet vlhkosti

$$W_a = \frac{m_w}{m_0} = \frac{m_w - m_0}{m_0} \cdot 100 \quad [\%]$$

Rovnice 1: Výpočet vlhkosti (ISO 13061-1, 2014)

Pro výpočet vlhkosti dřeva jsme použili tento vzorec. Do vzorce byly dosazeny hodnoty z tabulky uvedené výše. Průměrná vlhkost použitého materiálu na výrobu vzorových splených sestav tedy činila 11,9 %.

4.3.2 Výpočet hustoty

Pro výpočet hustoty dřevní substance je uváděn tento vzorec:

$$\rho_{w0} = \frac{m_0}{V_0} \quad [kg \cdot m^{-3}]$$

Rovnice 2: Výpočet hustoty (ISO 13061-2, 2014)

Po dosazení hodnot z tabulky uvedené výše nám vyjde průměrná hustota materiálu použitého pro výrobu zkušebních vzorků 735,5 kg/m³.

4.4 Pevnost spoje

Pevnost a deformace lepených spojů závisí na mechanických vlastnostech spoje a na jeho napět'ově-deformačním stavu. Napět'ově deformační stav těchto lepených spojů je většinou nerovnoměrný a porušení spoje začne v oblasti, ve které napětí dosahuje kritických hodnot. (Gregor, 2013)

Testovací tělesa byla vystavena tahovému namáhání. Byla u nich zjišťována pevnost lepeného kolíkového spoje ve smyku tahem. Konkrétně pevnost spoje za smyku kolíku. Zkouška podléhala normě ČSN EN 205. (ČSN EN 205)

Zkouška nám ukázala maximální sílu potřebnou k porušení lepeného kolíkového spoje, pevnost spoje a tahové protažení spoje při maximálním zatížení.

4.4.1 Zkouška pevnosti spoje

Po vyndání zkušebních těles z klimatizační komory následovala samotná zkouška pevnosti. Ta probíhala na univerzálním trhacím stroji TIRA 2850 (výrobce TIRA Systém GmbH, Německo). Zkušební zařízení bylo nastaveno pro tento typ testu na rychlost posuvu čelistí 50 mm/min. Mezní hodnota poklesu aktuální tahové síly, při které dochází k ukončení měření, byla nastavena v měřicím softwaru na 50 %. Zařízení působí na vzorky rovnoběžnou silou s osou testovaného vzorku. Během měření se síla zvyšuje až do okamžiku porušení spoje. Samotná zkouška probíhala dle následujícího postupu. Nejdříve bylo zkušební těleso upevněno do spodní čelisti trhacího zařízení a poté do horní. Vzorky byly v čelistech zasunuty s přesahem přibližně 40 mm. Po vynulování

výpočetního a záznamového softwaru zařízení se uskutečnilo samotné trhání testovaného spoje. V momentě porušení spoje se zkouška ukončila. Naměřené hodnoty jsou zaznamenány a uloženy v softwarovém systému TIRAtest. Součástí softwarové statistiky TIRAtest byly i hodnoty prodloužení spoje – dIH. Tabulka s těmito hodnotami je součástí příloh práce (kapitola 8., příloha č. 3).

Tělesa, u kterých, během zkoušky došlo k porušení materiálu, byla z testování vyřazena, aby nedošlo k znevážení pravdivosti výsledků zkoušky.

Tabulky s naměřenými hodnotami jsou součástí příloh bakalářské práce (kapitola 8, příloha č. 4).



Obrázek 13: Uchycení zkušebního tělesa v čelistech trhacího stroje



Obrázek 14: Roztržený vzorek po vykonání tahové zkoušky

4.4.2 Výpočet pevnosti lepeného kolíkového spoje

Pevnost spoje je dána poměrem síly F_{max} , při které došlo k porušení lepeného spoje a plochy spoje. Síla byla zjištěna pro každou lepenou sestavu testem na trhacím stroji, plocha spoje byla stanovena měřením rozměrů a výpočtem.

$$\sigma = \frac{F_{max}(N)}{A(mm^2)} = \frac{F_{max}}{2\pi r * h} = \frac{F_{max}}{2\pi \left(\frac{d}{2}\right) * h} = \frac{F_{max}}{\pi d * h} \quad [Pa]$$

Rovnice 3: Výpočet pevnosti v tahu lepeného kolíkového spoje (Podlena, 2018)

F_{max} – vyvinutý tah, A – plocha kolíku

$$\frac{(N)}{(m^2)} = \frac{(N)}{10^{-6} (mm^2)} = 10^6 (Pa) = (MPa)$$

Rovnice 4: Odvození jednotek výpočtu pevnosti v tahu

4.4.3 Zpracování výsledků v softwaru Statistica 12

Pro statistické vyhodnocení naměřených výsledků byla použita faktorová analýza rozptylu v softwaru Statistica 12. Tato analýza rozptylu hodnotí účinky vybraného faktoru na sledované charakteristiky. K tomuto ohodnocení účinku vybraného faktoru byl použit Duncanův 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 hodnoty 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 statistické 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
- (www.statsoft.cz)

5 Výsledky a diskuze

V této bakalářské práci byla zjišťována pevnost v tahu lepených, bukových, kolíkových spojů, které se lišily typem použitého kolíku. V první skupině vzorků byl použit hladký bukový kolík, v druhé rovně rýhovaný bukový kolík, ve třetí spirálovitě rýhovaný bukový kolík a ve čtvrté spirálovitě rýhovaný s hlubokou drážkou. Materiál, bukové hranoly, z kterého byly zkušební vzorky vyrobeny měl průměrnou hustotu $735,5 \text{ kg/m}^3$ a průměrnou vlhkost 11,9 %.

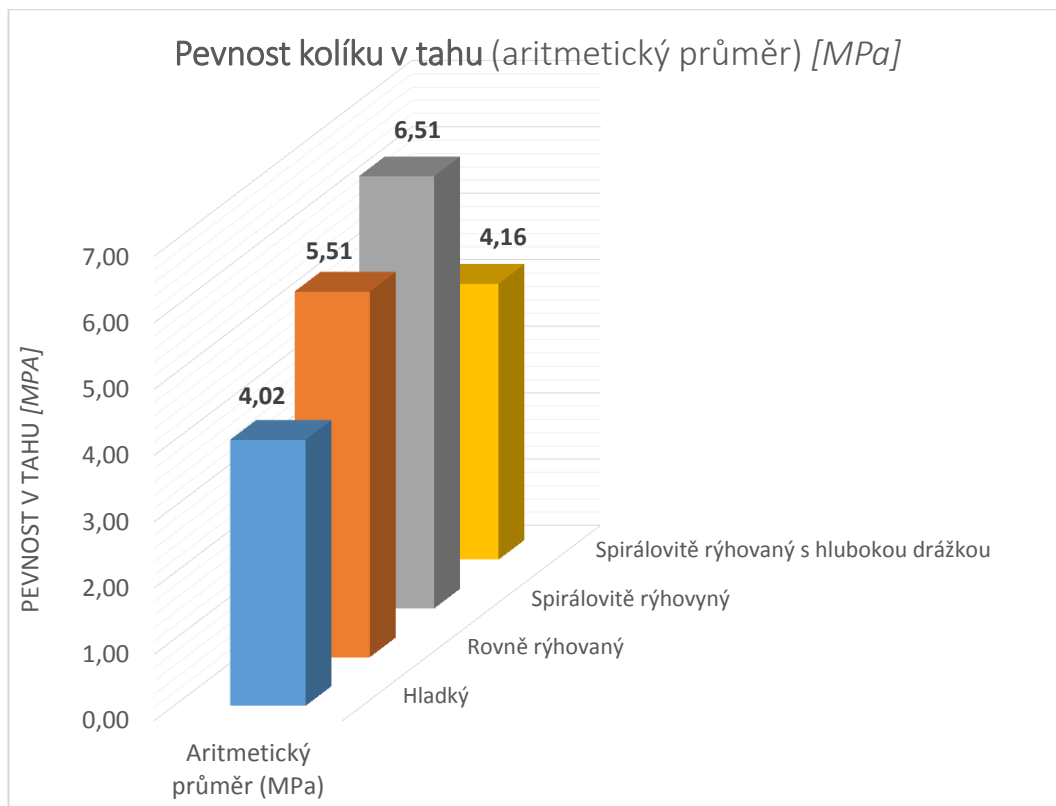
Základním předpokladem bylo, že kolíky s různou strukturou povrchu budou mít vyšší pevnost než kolíky referenční, hladké. V důsledku zvětšení plochy kolíku, tudíž lepené plochy, dochází k většímu tření mezi lepenými materiály a k destrukci spoje. Je zapotřebí vyvinout větší tažnou sílu.

Nejvyšší průměrná pevnost ze všech porovnávaných typů kolíků byla naměřena u spirálovitě rýhovaného kolíku a to 6,51 MPa. Druhými nejpevnějšími se ukázaly rovně rýhované kolíky s průměrnou pevností 5,51 MPa, což je o 15,36 % méně než u spirálovitě rýhovaných. Rozdíl mezi spirálovitě rýhovanými kolíky s hlubokou drážkou a hladkými kolíky už nebyl tak znatelný, přesto se však prokázalo, že kolíky s drážkovanou strukturou povrchu jsou pevnější než kolíky s hladkou strukturou povrchu. U spirálovitě rýhovaného kolíku s hlubokou drážkou nám vyšla průměrná pevnost v tahu 4,16 MPa a u hladkého kolíku 4,02 MPa. Rozdíl v pevnosti mezi těmito dvěma kolíky je tedy pouze 3,37 %.

Následující tabulka č. 3 nám ukazuje nejdůležitější zprůměrované číselné hodnoty získané během měření.

Tabulka 3: Výsledky testování lepených kolíkových spojů na pevnost v tahu

Kolík	Aritmetický průměr [MPa]	Směrodatná odchylka [MPa]	Variační koeficient [%]	Minimum [MPa]	Maximum [MPa]	Počet zkušebních těles
Hladký	4,02	0,72	18	3,32	5,71	12
Rovně rýhovaný	5,51	1,18	21	3,45	7,21	
Spirálovitě rýhovaný	6,51	0,96	15	5,23	8,37	
Spirálovitě rýhovaný s hlubokou drážkou	4,16	0,52	13	3,32	5,03	



Graf 1: Pevnost kolíku v tahu (aritmetický průměr) [MPa]

Z tabulky č. 3 a grafu č. 1 je zřejmé, že se základní hypotéza výzkumu prokázala. Všechny kolíky s různě rýhovanou strukturou povrchu prokázaly větší pevnost v tahu, než kolík hladké, referenční.

Během porovnávání pevností v tahu lepených kolíkových spojů v softwaru Statistica 12 bylo za pomoci Duncanova testu prokázáno, že rýhovaná struktura povrchu kolíku pozitivně ovlivňuje celkovou pevnost spoje v tahu ($p < 0,05$). Tento statisticky významný jev dosahuje největšího rozptylu mezi spirálovitě rýhovanými kolíky a hladkými kolíky. Rozdíl v pevnosti mezi nimi činí 38,25 %. Tabulka a grafické schéma statistického zhodnocení výzkumu se nachází v přílohách práce (kapitola 8, příloha č. 5).

Porovnáme-li výsledné pevnostní hodnoty této a Podlenovy práce (Axial Loading of Different Single-pin Dowels and Effect on Withdrawal Strength) vidíme, že Podlenovy hodnoty jsou průměrně o 16,4 % vyšší. To mohlo být zapříčiněno rozdíly v nastavení trhačického zařízení. Jedná se o parametry – rychlost posuvu upínacích čelistí a hodnota poklesu tahové síly, kdy dojde k ukončení testu. V této práci byla rychlost posuvu nastavena na 50 mm/min, Podlena uvádí hodnotu 10 mm/min. Parametr hodnoty poklesu tahové síly není v Podlenově práci uveden. (Podlena et al. 2018). Ostatní postupy experimentu byly totožné.

U lepených testovacích sestav docházelo ke dvěma zásadním porušením spojů. Buď ke kohezivnímu, kdy molekuly jednotlivých materiálů nebyly schopny držet pohromadě a dojde k porušení struktury jednotlivých lepených materiálů. Nebo k adhezivnímu porušení, tedy situaci, kdy se spoj oddělí na rozhraní lepidlo – lepený materiál (dřevo).

U kolíků s hlubokou spirálovitou drážkou, která byla na rozdíl od ostatních drážkovaných kolíků vyřezávaná a ne vytlačovaná, jsme zaznamenali vícekrát porušení v materiálu kolíku. A to především v horní části kolíku v rozmezí mezi prvním až třetím závitem drážky. Většinou bez ponechaných zbytků lepidla na kolíku.

Tento jev nám odhaluje fakt, že jedním z problémů nízké pevnosti těchto kolíků s hlubokou drážkou je právě jejich struktura povrchu. Podlena (Podlena et

al. 2018) uvádí, že hlavní myšlenkou této hluboké spirálovité drážky, vyřezávané pod vysokým úhlem na osu kolíku, bylo zvětšit hladkou kontaktní plochu kolíku a lepeného materiálu. Přičemž hluboká spirála má navýšit odpor během vytahování kolíku ze spoje. V konečném výsledku hluboká drážka plní svou funkci kladeného odporu proti vytažení kolíku. Ale zároveň se také stává slabým místem. Tudíž, během tahové zkoušky vyřezávaná hluboká drážka s vysokým úhlem stoupání zapříčinila poměrně rozsáhlé vytržení dřevních vláken. Podlena ve svém výzkumu zmiňuje návrh optimalizace kolíku, a to snížením úhlu stoupání hluboké frézované drážky (Podlena et al. 2018).



Obrázek 15: Kolík s hlubokou spirálou po zkoušce tahem

Rovně a spirálovitě rýhované kolíky měly naopak strukturu povrchu vytlačovanou a ne vyřezávanou. Rýhy byly vytlačeny podélně s osou kolíku a ve stejném směru, kterým byly kolíky vytahovány ze spoje u rovně rýhovaných kolíků. U spirálovitě rýhovaných kolíků byly drážky vytlačeny stejně, jen s mírným úhlem stoupání navíc. To znamená, že odpor vytlačených rýh byl sice menší než u hluboké drážky, ale přesto byly kolíky pevnější. Díky drážkám došlo k rovnoměrnému rozvrstvení lepidla po celé ploše kolíku a otvoru. Nadbytečné lepidlo bylo drážkami ze spoje odvedeno a zachyceno fólií na povrchu otvoru. Díky ní nedošlo k nežádoucímu spojení materiálů mimo kolíkový otvor.

U těchto dvou typů kolíků docházelo většinou ke kohezivnímu porušení spoje v lepidle. Takže je pravděpodobné, že při použití jiného typu lepidla by mohla být pevnost spoje ještě vyšší.



Obrázek 16: Rovně a spirálovitě rýhované kolíky po zkoušce tahem

Hladké, referenční kolíky se v našem testování projevily jako nejméně pevné. Prokázalo se tak tedy, že pokud má kolík rýhovanou strukturu, je pevnost lepeného kolíkového spoje vyšší než u kolíků se strukturou hladkou. Je to zapříčiněno tím, že nedojde k rovnoměrné distribuci lepidla po stěnách kolíkového otvoru. Část objemu aplikovaného lepidla pak zůstane na dně otvoru a je pouze stlačeno kolíkem. Dochází proto k vytvoření chudého spoje.



Obrázek 17: Řez testovací sestavou - rozdíl mezi vyvedením a stlačením lepidla v otvoru pro kolík

Pro tyto typy spojů jsou tedy hladké kolíky méně vhodné. Avšak jejich použití může být výhodné například v kombinaci s dřevotřískovými deskami, jak tvrdí Eckelman a spol. (Eckelman et al. 1979). V tomto případě je lepidlo ze spoje vtlačováno kolíkem do prostoru mezi třískami desek. V Eckelmanových studiích se prokázalo, že v takovýchto spojích dosáhneme vyšší pevnosti při použití hladkého kolíku.

Bobtnání dřeva je dalším faktorem pozitivně ovlivňující kolíkový spoj. Po zavedení kolíku do otvoru s lepidlem do sebe suchý kolík absorbuje vlhkost z lepidla. Tím se zvětší celkový objem kolíku a dojde tak k utěsnění kolíku v otvoru.

Zkosené hrany kolíků plnily svou funkci ulehčení zavedení kolíku do otvoru, navíc napomáhaly k vedení a rozmístování lepidla.

6 Závěr

Za pomoci poznatků získaných z literární rešerše, následným provedením a statistickým vyhodnocením zkoušek pevnosti lepených podélných kolíkových spojů v tahu, bylo dosaženo následujících výsledků.

Největší průměrná pevnost v tahu byla naměřena u skupiny spirálovitě rýhovaných kolíků – 6,5 MPa. Jako druhá pevnostně nejvýhodnější strukturální úprava kolíku byla vyhodnocena struktura rovně rýhovaná s průměrnou pevností spoje 5,5 MPa. Díky drážkám na povrchu těchto dvou typů kolíků došlo ke zvětšení styčné lepené plochy. Rýhování dále napomáhalo k rovnoměrnému rozvrstvení lepidla po celé ploše kolíku a otvoru. Nadbytečné lepidlo bylo drážkami ze spoje odvedeno a zachyceno separační fólií na povrchu otvoru. Fólie zabránila nežádoucímu spojení materiálů mimo kolíkový otvor.

U kolíku spirálovitě rýhovaného s hlubokou drážkou byla průměrná naměřená pevnost 4,2 MPa. Nižší pevnost zde patrně způsobuje frézovaná drážka s vysokým úhlem stoupání, která byla na rozdíl od vytlačovaných rýh u rovně a spirálovitě rýhovaných kolíků vyřezávaná. Přerušená dřevní vlákna, pak byla náchylnější na vytržení.

Nejméně pevnými se prokázaly spoje s hladkými kolíky. Jejich průměrná pevnost byla 4,0 MPa, což je o 38 % méně, než bylo naměřeno u spirálovitě rýhovaných kolíků. Hladká struktura povrchu kolíku zabránila rovnoměrné distribuci lepidla v kolíkovém otvoru. Lepidlo bylo stlačeno na dně otvoru, což vedlo k tvorbě chudého spoje a nižší pevnosti v tahu.

Z provedeného výzkumu, je zřejmé, že rýhovaná struktura povrchu kolíku pozitivně ovlivňuje celkovou pevnost lepeného kolíkového spoje v tahu. Tudíž při tvorbě kolíkových spojů u nábytkových a jiných dřevěných sestav by mělo být preferováno používání kolíků spirálovitě, popřípadě rovně rýhovaných, tam, kde je to technologicky možné.

7 Seznam literatury a použitých zdrojů

- 1) BOUBLÍK, Vlastimil, 1966. *Lepidla a jejich příprava*. 2., nezměn. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury. Polytechnická knihnice (SNTL).
- 2) DRÁPELA, Jindřich, 1979. *Technologie nábytku pro 4. ročník SPŠ dřevařských*. 1. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury. Řada dřevařské literatury.
- 3) DRÁPELA, Jindřich, 1980. *Výroba nábytku: technologie*. 1. vyd. Praha: SNTL.
- 4) ECKELMAN, Carl A. a M. D. HILL, 1971. Textured versus Plain Dowels - Which are Stronger?. *Furniture Design and Manufacturing*.
- 5) EISNER, Karel, 1966. *Příručka lepení dřeva*. 2., přeprac. a rozš. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury. Řada dřevařské literatury.
- 6) GIBBS, Nick, 2005. *Dřevo: obrazový přehled více než 100 druhů dřev včetně jejich využití*. 1. V Praze: Slovart. ISBN 80-7209-720-2.
- 7) GORG BLANC, 2006. *Dřevo od A do Z*. 1. vyd. Čestlice: Rebo Productions. ISBN 80-7234-531-1.
- 8) GREGOR, Miroslav, 2013. *Technologie a technika lepení - základní informace* [online]. In: . s. 5 [cit. 2019-04-09]. DOI: <https://www.lepidla.cz/cs/a/technologie-a-technika-lepeni--zakladni-informace.html>.
- 9) HORÁK, Jiří a Jozef OSTRČIL, 1986. *Stolárska technológia pre 2. a 3. ročník SOU učebného odboru stolár*. 1. vyd. Bratislava: Alfa. Edícia drevárskej, celulózárskej a papiernickej literatúry.
- 10) ISO 13061-1, 2014. *Physical and mechanical properties of wood -- Test methods for small clear wood specimens: Determination of moisture content for physical and mechanical tests*. 1. 4 s.
- 11) ISO 13061-2, 2014. *Physical and mechanical properties of wood -- Test methods for small clear wood specimens: Determination of density for physical and mechanical tests*. 1. 5 s.
- 12) JOSTEN, Elmar, Thomas REICHE a Bernd WITTCHEN, 2011. *Truhlářské konstrukce: spoje, povrchové úpravy dřeva, konstrukce*. 1. vyd. Praha: Grada. Stavitel. ISBN 978-80-247-2960-2.
- 13) KAFKA, Emanuel, 1989. *Dřevařská příručka*. 1. vyd. Praha: SNTL, 483 s. ISBN 80-03-00009-2.
- 14) LIPTÁKOVÁ, Eva a Milan SEDLIČEK, 1989. *Chémia a aplikácia pomocných látok v drevárskom priemysle*. 1. vyd. Bratislava: Alfa. Edícia drevárskej, celulózárskej a papiernickej literatúry. ISBN 80-05-00116-9.

- 15) NUTSCH, Wolfgang, 1999. *Příručka pro truhláře*. Praha: Sobotáles, 540 s. ISBN 80-85920-60-3.
- 16) NUTSCH, Wolfgang, 2006. *Příručka pro truhláře*. 2., přeprac. vyd. Praha: Europa-Sobotáles. ISBN 80-86706-14-1.
- 17) PODLENA, Milan, Štěpán HÝSEK, Jiří PROCHÁZKA, Martin BÖHM a Jan BOMBA, 2018. Axial loading of different single-pin dowels and effect on withdrawal strength. *BioResources*. 14. DOI: 10.15376/biores.13.3.5179-5192.
- 18) POŽGAJ, Alexander, 1993. *Štruktúra a vlastnosti dreva*. 1. Bratislava: Príroda. ISBN 80-07-00600-1.
- 19) POŽGAJ, Alexander, 1997. *Štruktúra a vlastnosti dreva*. 2. vyd. Bratislava: Príroda. ISBN 8007009604.
- 20) SEDLIAČIK, Milan a Ján SEDLIAČIK, 1998. *Chemické látky v drevárskom priemysle*. 1. vyd. Zvolen: Technická univerzita. ISBN 80-228-0745-1.
- 21) STATSOFT, 2014. *Ovládání a základy statistiky v softwaru STATISTICA*: <http://www.statsoft.cz/file1/PDF/StrucnyManualSTATISTICA.pdf>. 59 s.
- 22) TESARŮVÁ, Daniela a kol., 2014. *Povrchové úpravy dřeva*. 1. vyd. Praha: Grada. Profi & hobby. ISBN 978-80-247-4715-6.
- 23) TRÁVNÍK, Arnošt, 1996. *Výroba dřevěného nábytku*. Vyd. 1. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita. ISBN 80-7157-227-6.
- 24) TRÁVNÍK, Arnošt, 2003. *Výroba dřevěného nábytku*. 2. přeprac. vyd. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita. ISBN 80-7157-674-3.
- 25) Würth - *Technical data sheet: 1-Component Cold Wood Glue D4*, 2014. 001.
- 26) ČSN EN 204. Klasifikace termoplastických lepidel na dřevo pro nekonstrukční aplikace. Praha: Český normalizační institut, 2017. 12 s.
- 27) ČSN EN 205. Lepidla na dřevo pro nekonstrukční aplikace – Stanovení pevnosti lepeného spojení ve smyku při tahovém namáhání. Praha: Český normalizační institut, 2017. 16 s.

8 Seznam příloh

8.1 Příloha č. 1 - Technický list TT2850



DATA SHEET TT2850

TIRAtest Materials Testing Machines



TT 2850

To test:

50kN

- Steel
- Metals
- Non-ferrous metals
- Strands
- Timber
- Components
- Plastics
- Rubber
- Etc.

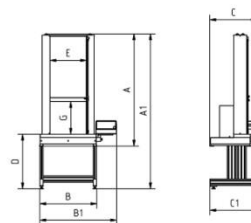


TIRA GmbH | Eisfelder Straße 23/25 | 96528 Schalkau
Tel.: 0049 (0) 36766-280-0 Fax: 0049 (0) 36766-280-99
www.tira-gmbh.de
wpt@tira-gmbh.de



Universally applicable material testing machine according to DIN 51220 and EN ISO 7500-1 for tensile, compression and bending tests. The machine is employable for research development, quality control and education.

Type	TT 2850
Load frame:	
Max. test force (N):	50.000
Max. stroke (mm):	1000*
Total height A (mm): without/with sub-frame	--/2000
Total width B (mm): without/with sub-frame	720/980
Total depth C (mm): without/with sub-frame	600/610
Working height (D) with sub-frame:	720
Test area dimensions:	
Height (G) (mm):	1100*
Width (E) (mm):	450
Depth (F) (mm):	--
Weight without/with sub-frame (kg):	--/480
Measuring, regulation and control electronics	
Interface:	Ethernet
Extension slots:	Up to 7 slots
Force resolution:	200.00 steps
Data logging:	Up to 5 kHz
Remote control optional:	yes
Drive unit:	
Motor:	DC-Servomotor
Set value:	Incremental, ±15 bits resolution
crosshead travel (resolution) (mm):	<0,001
crosshead travel (speed) (mm/min):	0,01 – 500
Electrical connection:	
Connection voltage:	115V, 230V
Mains frequency:	60Hz, 50Hz
Power consumption:	1500VA
*Without force transducers and coupling	
**Including EDC	
-Ball screw spindle adjusted without free play of single nuts	
-Force measurement with exchangeable force transducer	
-Force measuring accuracy with 0,5% or 1% according to EN ISO 7500-1 and ASTM E4	
-Further options on request - All information is supplied without guarantee.	



8.2 Příloha č. 2 – 1-Component Cold Wood Glue D4



TECHNICAL DATA SHEET

0892100221 / 0892100222 / 0892100224 / 0892100225

1-Component Cold Wood Glue D4

One-component dispersion adhesive in D4 durability class (tested according to DIN EN 204).

Fields of application:

Ideal for assembly work, woodworking and joinery. Can be used on soft wood, hard wood and exotic woods.

For indoor applications with increased water resistance requirements; Indoors with frequent water contact and long-term exposure to water. For outdoor use with suitable surface protection.

Examples: bathroom furnishing, gluing of interior doors, indoor staircases, window joints, laboratory installations.

Also suitable for gluing of lamellated profiles that are connected lengthwise by dovetail joints.

Properties:

- Ready-to-use 1-component D4 glue
- Unlimited pot life
- No more errors in mixing
- High water resistance (D4 quality according to DIN EN 204)
- Watt 91
- Tested by IFT Rosenheim
- Transparent hardening
- Good adhesion

Application:

Apply thin, even layer on one side with application machine, adhesive roller, notched trowel, brushes or similar devices.

Avoid contact with metals as this may result in discoloration.

Processing temperature should be between 18 °C and 20 °C. Fresh splashes of glue can be removed with water. Soak dried glue residue in water and detergent and remove mechanically.

Version: 001, Date: 03/11/2014

TECHNICAL DATA SHEET

Technical data:

Basis	Polyvinyl acetate dispersion (PVAC)
Color	White (colorless when hardened)
pH value	Approx. 3
Viscosity	Approx. 7,000 mPa.s (Brookfield)
Density	1.10 g/cm ³
Solid particle contents	Approx. 50 %
Minimum film-formation temperature (White point)	Approx. +7 °C
Temperature-resistance after hardening (material-dependent)	≥7 N/mm ² at 80 °C In accordance with EN 14257 (WATT91)
Shelf life (Store in a cool and dry place)	9 months
Storage conditions	Store original container thoroughly closed in a dry place at temperatures between +15°C and +25°C without exposure to direct sunlight.
Pot life	9 months when stored in cool place
Ideal processing conditions	
Ideal room, material and glue temperature	18 - 20 °C
Wood humidity	8 - 10 % / outdoors: 13%+/-2%
Relative humidity	60 - 70 %
Glue application quantity: When joining surfaces For assembly work	Approx. 100 - 160 g/m ² Approx. 120 - 180 g/m ²
Processing time at 150 g/m ² /+20 °C	Approx. 8 - 25 min.
Pressing pressure, depending on type of application	0.1 - 0.8 N/mm ²
Minimum pressing times*	
For assembly work At 20 °C	20 - 25 min.

Version: 001, Date: 03/11/2014

TECHNICAL DATA SHEET

When joining surfaces or blocks At 20 °C	From 20 min.
For veneering At 20 °C At 50 °C At 80 °C	20 - 30 min. 8 - 10 min. 2 - 8 min.

Remarks:

Differences in the composition of wood elements may lead, in individual cases, to unpredictable discolorations of wood, e.g. with beech or cherry wood. Iron in conjunction with the tannic acid of wood can also cause discolorations with oak.

Processing and setting time are highly dependent on the working conditions (e.g. temperature).

In case of outdoor use, the part to be glued must be protected against weathering and treated with an appropriate surface protection (constant protection from moisture). Make sure that the glue is not exposed to direct sunlight when used outdoors (due to its thermoplastic properties). Non-thermoplastic adhesives such as PUR Glue in a dosing system (0892100180) are better suited for applications in direct sunlight. Softening glue and retreating wood can lead to open joints. The viscosity of one-component D4 glues increases over the course of storage. Application parameters, however, are not affected. Stirring the glue without adding water makes it free-flowing again. **Do not add water to the glue!**

Remove excessive glue since glue residues might react with oxygen and lead to red coloring.

<p>This advice is based on our own research and experience. It is presented in good faith and may be considered reliable. However, due to the diverse processing, application and handling possibilities the information provided may not be considered legally binding. The same applies to the information provided by our technical and commercial customer service.</p>	<p>We recommend the users of our products to perform their own tests in order to determine whether our products are appropriate for the respective use and environment. We guarantee the consistent quality of our products. We reserve the right to implement technical changes and improvements.</p>
---	--

Version: 001, Date: 03/11/2014

(Würth - Technical data sheet, 2014)

8.3 Příloha č. 3 - Tabulka prodloužení spoje během tahové zkoušky – dlH

Tabulka 4: Hodnoty prodloužení spoje – dlH

Kolík	Aritmetický průměr (mm)	Šměrodatná odchylka (mm)	Variační koeficient (%)	Minimum(mm)	Maximum (mm)	Počet zkušebních těles
Hladký	0,23	0,04	16	0,18	0,28	12
Rovně rýhovaný	0,25	0,13	54	0,30	0,68	
Spirálovitě rýhovaný	0,27	0,15	56	0,43	0,85	
Spirálovitě rýhovaný s hlubokou drážkou	0,28	0,04	16	0,23	0,35	

8.4 Příloha č. 4 - Tabulky naměřených hodnot

Tabulka 5: Naměřené hodnoty – kolík hladký

KOLÍK	Č.	PRŮMĚR (mm)	POLOMĚR (mm)	DÉLKA (mm)	PLOCHA (mm ²)	SÍLA (N)	PEVNOST (MPa)	dLH (mm)
hladký	2	8,12	4,06	39,58	608	2337	3,84	0,25
hladký	3	8,14	4,07	40,10	617	2050	3,32	0,25
hladký	4	8,06	4,03	39,85	607	2217	3,65	0,22
hladký	5	8,03	4,02	40,12	607	3470	5,71	0,25
hladký	6	8,09	4,05	39,76	608	2926	4,81	0,28
hladký	7	8,12	4,06	39,68	610	2119	3,48	0,22
hladký	8	8,05	4,03	39,83	605	2154	3,56	0,22
hladký	11	8,10	4,05	39,64	607	2138	3,52	0,18
hladký	12	8,08	4,04	39,88	609	2341	3,85	0,25
hladký	13	8,04	4,02	39,70	603	2142	3,55	0,18
hladký	14	8,02	4,01	39,95	604	2533	4,19	0,18
hladký	15	8,08	4,04	39,81	608	2856	4,70	0,28

Tabulka 6: Naměřené hodnoty – kolík rovně rýhovaný

KOLÍK	Č.	PRŮMĚR (mm)	POLOMĚR (mm)	DÉLKA (mm)	PLOCHA (mm ²)	SÍLA (N)	PEVNOST (MPa)	dLH (mm)
rovně rýhovaný	1	7,92	3,96	39,76	593	4102	6,92	0,45
rovně rýhovaný	2	7,90	3,95	40,05	595	3833	6,44	0,52
rovně rýhovaný	3	7,88	3,94	39,80	590	2728	4,62	0,3
rovně rýhovaný	4	8,02	4,01	39,61	600	2765	4,61	0,3
rovně rýhovaný	5	7,83	3,92	39,75	585	3176	5,43	0,58
rovně rýhovaný	6	7,99	4,00	39,95	602	2077	3,45	0,68
rovně rýhovaný	7	7,95	3,98	39,72	595	2723	4,57	0,3
rovně rýhovaný	8	7,93	3,97	40,06	598	4313	7,21	0,45
rovně rýhovaný	9	7,88	3,94	39,88	591	4124	6,98	0,68
rovně rýhovaný	10	7,84	3,92	40,01	589	3309	5,62	0,45
rovně rýhovaný	11	8,06	4,03	40,10	610	3389	5,56	0,45
rovně rýhovaný	12	8,04	4,02	40,01	607	2863	4,72	0,53

Tabulka 7: Naměřené hodnoty – kolík spirálovitě rýhovaný

KOLÍK	Č.	PRŮMĚR (mm)	POLOMĚR (mm)	DÉLKA (mm)	PLOCHA (mm ²)	SÍLA (N)	PEVNOST (MPa)	dLH (mm)
spirálovitě rýhovaný	1	7,90	3,95	39,81	592	3562	6,02	0,52
spirálovitě rýhovaný	2	7,90	3,95	40,04	595	4292	7,21	0,72
spirálovitě rýhovaný	3	7,90	3,95	39,96	594	3465	5,83	0,43
spirálovitě rýhovaný	4	7,95	3,98	40,49	605	3824	6,32	0,72
spirálovitě rýhovaný	5	7,80	3,90	39,95	585	4617	7,89	0,43
spirálovitě rýhovaný	6	7,93	3,97	40,08	598	4059	6,79	0,85
spirálovitě rýhovaný	7	7,86	3,93	39,95	590	3128	5,30	0,47
spirálovitě rýhovaný	8	7,92	3,96	39,86	594	3907	6,57	0,57
spirálovitě rýhovaný	9	7,92	3,96	39,88	595	3507	5,90	0,43
spirálovitě rýhovaný	10	7,94	3,97	40,07	599	5010	8,37	0,72
spirálovitě rýhovaný	11	7,93	3,97	39,95	596	3988	6,69	0,43
spirálovitě rýhovaný	12	7,97	3,99	39,88	599	3133	5,23	0,47

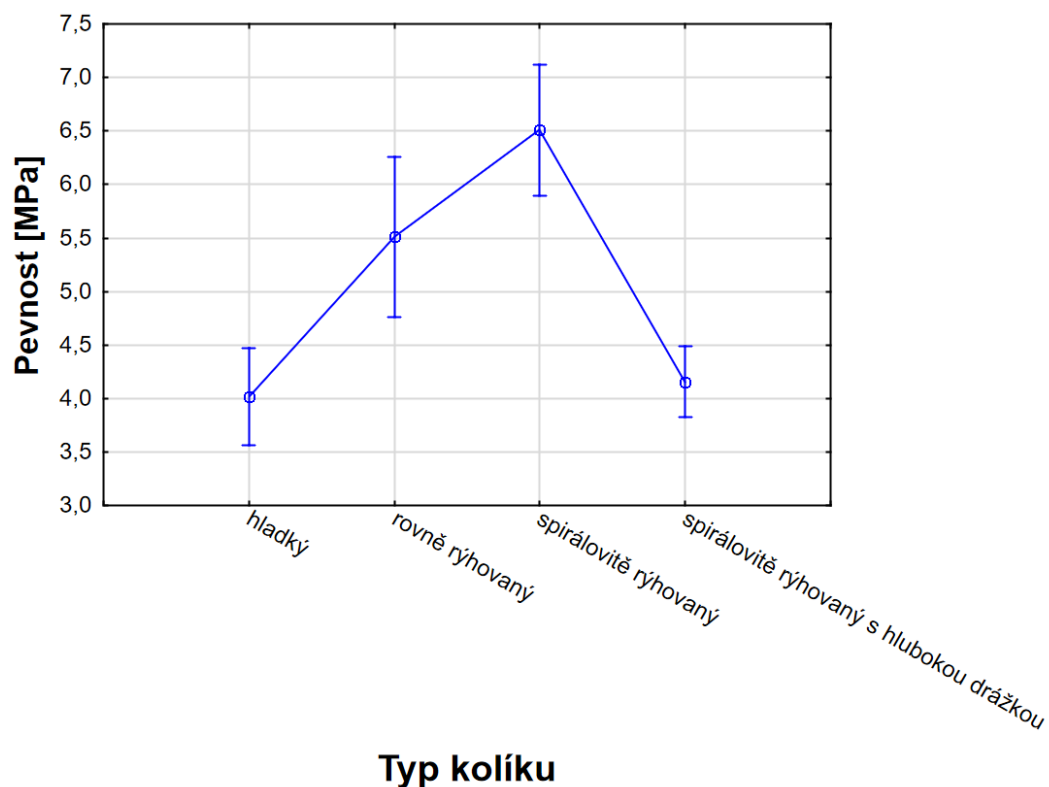
Tabulka 8: Naměřené hodnoty – kolík spirálovitě rýhovaný s hlubokou drážkou

KOLÍK	Č.	PRŮMĚR (mm)	POLOMĚR (mm)	DÉLKA (mm)	PLOCHA (mm ²)	SÍLA (N)	PEVNOST (MPa)	dLH (mm)
spir. rýh. s hl. drážkou	1	7,97	3,99	40,08	602	2253	3,75	0,27
spir. rýh. s hl. drážkou	2	7,90	3,95	39,96	594	2725	4,59	0,25
spir. rýh. s hl. drážkou	3	7,90	3,95	40,08	595	2805	4,71	0,3
spir. rýh. s hl. drážkou	4	7,94	3,97	39,98	598	2388	4,00	0,23
spir. rýh. s hl. drážkou	5	7,95	3,98	40,00	599	3010	5,03	0,27
spir. rýh. s hl. drážkou	6	7,95	3,98	40,01	599	2154	3,60	0,23
spir. rýh. s hl. drážkou	7	7,82	3,91	40,15	589	2542	4,31	0,27
spir. rýh. s hl. drážkou	8	7,87	3,94	40,08	593	2544	4,29	0,23
spir. rýh. s hl. drážkou	9	7,89	3,95	39,92	593	2181	3,68	0,23
spir. rýh. s hl. drážkou	10	7,90	3,95	39,98	594	2770	4,66	0,28
spir. rýh. s hl. drážkou	11	7,97	3,99	39,94	600	2373	3,96	0,35
spir. rýh. s hl. drážkou	12	7,97	3,99	40,12	602	1998	3,32	0,35

8.5 Příloha č. 5 – Zpracování výsledků v softwaru Statistica 12

Tabulka 9: Duncanův test – pevnost spoje v závislosti na struktuře použitého kolíku

Duncan test; variable Pevnost [MPa] (Spreadsheet8) Approximate Probabilities for Post Hoc Tests Error: Between MS = ,77527, df = 44,000					
	Typ kolíku	{1} (4,0156)	{2} (5,5103)	{3} (6,5099)	{4} (4,1573)
1	hladký		0,000266	0,000056	0,695530
2	rovně rýhovaný	0,000266		0,008077	0,000599
3	spirálovitě rýhovaný	0,000056	0,008077		0,000065
4	spirálovitě rýhovaný s hlubokou drážkou	0,695530	0,000599	0,000065	



Graf 2: Výsledky statistiky na hladině významnosti 95 % - Pevnost spoje v závislosti na struktuře povrchu použitého kolíku



Obrázek 18: Kolíky po vykonání tahové zkoušky