Mendelova univerzita v Brně

Lesnická a dřevařská fakulta

Ústav nábytku, designu a bydlení

Vliv extrémních podmínek na pevnost lepených spojů při použití klihových lepidel

Bakalářská Práce

2015/2016 Vojtěch Laštovička

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem práci: „Vliv extrémních podmínek na pevnost lepených spojů při použití klihových lepidel“ zpracoval samostatně a veškeré použité prameny a informace uvádím v seznamu použité literatury. Souhlasím, aby moje práce byla zveřejněna v souladu s § 47b Zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách ve znění pozdějších předpisů a v souladu s platnou Směrnicí o zveřejňování vysokoškolských závěrečných prací.

Jsem si vědom, že se na moji práci vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, a že Mendelova univerzita v Brně má právo na uzavření licenční smlouvy a užití této práce jako školního díla podle §60 odst. 1 autorského zákona.

Dále se zavazuji, že před sepsáním licenční smlouvy o využití díla jinou osobou (subjektem) si vyžádám písemné stanovisko univerzity, že předmětná licenční smlouva není v rozporu s oprávněnými zájmy univerzity a zavazuji se uhradit případný příspěvek na úhradu nákladu spojených se vznikem díla, a to až do jejich skutečné výše.

V Brně, dne:..... podpis studenta

Poděkování

Mé poděkování za odborné vedení, rady a pomoc patří především vedoucí mojí bakalářské práce paní doc. Ing. Daniele Tesařové, Ph.D. Dále bych chtěl také poděkovat paní Květoslavě Tobiášové, která mi pomáhala s přípravou zkušebních vzorků a panu Josefu Hlavatému za odborné rady a pomoc při jejich zpracování. A v neposlední řadě bych chtěl poděkovat všem, kteří mi ochotně pomáhali na celé práci.

Abstrakt

Jméno: Vojtěch Laštovička

Název bakalářské práce: Vliv extrémních podmínek na pevnost lepených spojů při použití klihových lepidel

Bakalářská práce se zabývala vlivem extrémních klimatických podmínek na pevnost lepeného spoje několika druhy klasických živočišných lepidel (kostní, kožní, králičí, rybí, kaseinové a albuminové klihy). Pro ověřování pevnost lepených spojů klihových spojů bylo vybráno masivní dřevo smrk. Lepené spoje byly vystaveny působení normálním a extrémním (vysoké vlhkosti a nízké teplotě) podmínkám. Po klimatizaci vzorků lepených spojů v extrémních podmínkách byly porovnány pevnosti lepených spojů na smyk v tahu. Současně byla zkoušená odolnost lepeného spoje vůči zvyšující se teplotě.

Klíčová slova:

Lepené spoje, pevnost spoje, klihová lepidla, lepidlo, pevnost ve smyku v tahu, extrémní podmínky.

Abstrakt

Name: Vojtech Laštovička

Name of the Bachelor's thesis: Influence of extreme conditions on strength of glued joints by using of adhesives glues

Bachelor's thesis studied the impact of extreme the climatic conditions on the strength of adhesive joint of several kinds of classical animal glues (bone glues, skin glues, rabbit glues, fish glues, casein glues and albumin glues). The solid wood of spruce was selected for authentication of strength of glued joints. The glued joints were exposed to normal and extreme conditions (high humidity and low temperature). After then were compared the strength of glued joints in skid in tension. A resistance of the glued joints during increasing temperature was tested at the same time.

Keywords:
Glued joints, strength of joint, adhesive glues, strength in skid in tension, extreme conditions.

Obsah

1 Úvod 9
2. Cíl práce 10
3 Literární přehled 11
3.1 Historie lepení 11
3.2 Teorie lepení 11
3.2.1 Adheze povrchu 12
3.2.2 Koheze 12
3.2.3 Mechanická teorie lepení 12
3.2.4 Specifická teorie lepení 13
3.2.5 Smáčivost povrchu a povrchové napětí 13
3.2.6 Povrchové napětí 14
3.2.7 Reologie lepidel 14
3.3 Faktory ovlivňující lepené spoje 15
3.3.1 Lepený materiál (adherend) 15
3.3.2 Lepidlo (adhezivo) 16
3.4 Rozdělení lepidel 17
3.4.1 Rozdělení podle původu (dle ČSN 1 30 002) 18
3.5 Lepidla živočišného původu 19
3.5.1 Glutinové klihy 20
Rozdělení glutinových klihů 21
3.5.2 Kaseinové klihy 22
3.5.3 Albuminové klihy 22
3.6 Vady lepených spojů 23
3.6.1 Původ vad lepených spojů 23
3.6.2 Charakteristika jednotlivých vad lepeného spoje 24
4. Materiál a metodika 25
4.1 Použité materiály a jejich charakteristika 25
4.2 Použitá lepidla a jejich příprava 26
4.2.1 Kostní klih 26
4.2.2 Kožní klih 27
4.2.3 Králičí klih 28
4.2.4 Rybí lepidlo 29
4.2.5 Kaseinový klíh 29
4.2.6 Albuminový klíh 30

4.3 Stroje a pomůcky 30
4.3.1 Stroje a pomůcky použité k výrobě vzorků 30
4.3.2 Přístroje použité k laboratorní zkoušce 31
4.4 Příprava vzorků 33
4.4.1 Příprava vzorků pro zkoušku smykové pevnosti 33
4.4.2 Zkušební tělesa 34
4.4.3 Příprava zkušebních těles pro stanovení odolnosti lepidla proti postupnému zvyšování teploty 35
4.5 Manipulace se vzorky před provedením smykové zkoušky tahem 35
4.6 Postup při stanovení vlivu klimatických podmínek lepeného spoje klihovými lepidly na pevnost lepeného spoje 35
4.7 Stanovení odolnosti lepidla proti postupnému zvyšování teploty, naneseného na olepovací hranový pásek 36
4.8 Výpočet pevnosti lepeného spoje 36
4.9 Stanovení vlhkosti vzorků pomocí váhové metody dle normy ČSN EN 13183-1 37
5. Výsledky laboratorního měření 38
5.1 Výsledky pevnosti lepeného spoje ve smyku tahem 38
5.2 Výsledky odolnosti lepidla proti postupnému zvyšování teploty 48
6 Diskuze a vyhodnocení dosažených výsledků 50
7 Závěr 53
8 Conclusion 54
9. Použitá literatura 55
10. Seznam zkratek 58
11. Seznam tabulek 59
12. Seznam obrázků 60
13. Seznam rovnic 61

1 Úvod

Spojování nejrůznějších materiálů pomocí lepidel je známo již velice dlouhou dobu. Již ve starověkém Egyptě uměli spojit materiál pomocí lepidla, k tomu účelu jim sloužili živočišné klihy. Živočišné klihy sloužily až do nedávna jako hlavní druh lepidla. Teprve až na začátku 20. stol. dochází k jejich postupnému vytlačování syntetickými lepidly. Vzhledem k tomu, že sloužily jako hlavní lepivý materiál několik tisíc let, tak bychom na ně v dnešní době neměli úplně zapomenout a opovrhnout jimi. Neboť stále mohou nabídnout spousty dobrých vlastností oproti syntetickým lepidlům. Jejich hlavní výhodou je zdravotní nezávadnost, jelikož neobsahují žádné škodlivé látky, které se při lepení mohou odpařovat. Naopak asi jejich největší nevýhodou je jejich malá odolnost proti vlhkosti a bakteriím, a s tím spojený rozklad a špatná obnovitelnost lepidla, což byl asi hlavní důvod, proč je vytlačila syntetická lepidla. Ale ne každý klih má stejné vlastnosti a stejnou odolnost vůči vlhkosti. Proto je důležité zjistit, jaký klih je nejodolnější. Jelikož i dnes jsou stále klihy používané, i když jen v malé míře, a to především jen k restaurování starého nábytku. Protože se při restaurování musí dodržovat původní techniky, které se kdysi při výrobě nábytku používaly, proto je stále nezbytné znát i vlastnosti původních lepidel. A to proto, že většina starožitného nábytku se nachází na hradech a zámcích, kde je obvykle vyšší vlhkost, která právě škodí klihovým lepidlům. Tudíž při správných znalostech klihových lepidel můžeme z nich vybrat to nejvhodnější pro dané podmínky a tím docílit toho, aby oprava mohla být provedena s co nejvyšší kvalitou.

2. Cíl práce

Cílem práce bylo stanovit vliv extrémních podmínek na pevnost lepených spojů při použití klihových lepidel a to:

- stanovit vliv extrémních klimatických podmínek na výslednou pevnost lepeného spoje, (za normální teploty, vysoké vlhkosti a nízké teploty s nízkou vlhkostí)
- stanovit vliv pojivové báze aplikovaných živočišných lepidel na pevnost lepeného spoje namáhaného tahem na smykovou pevnost.
- Stanovit odolnost klihových lepených spojů vůči zvyšující teplotě

.

3 Literární přehled

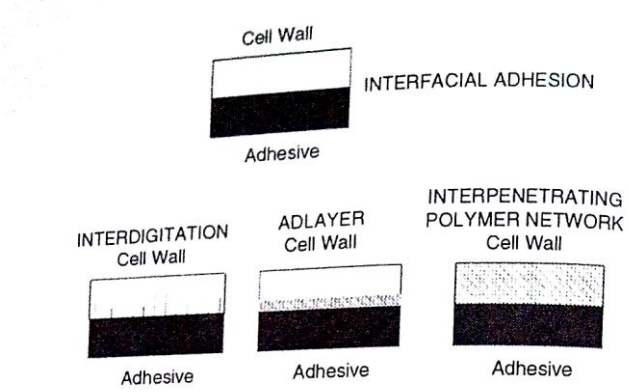
3.1 Historie lepení

Nejstarší lepidla používaná pro spojování dřeva jsou živočišné klihy. Je znám staroegyptský reliéf znázorňující dýhování skříňky, pocházející z doby okolo r. 1500 před n. l., a v hrobce Tutanchamona se zachovala truhlice odýhovaná, s intarsiemi, pocházející asi z doby 1300 před n. l. Ze spisů Plinia st. Víme, že ve starém Římě vyráběli klih z odvarů živočišných tkání. Klih z kostí se začal vyrábět teprve koncem 17. století, avšak teprve v 19. století se výroba rozšířila. (Eisner, V Berger 1958)

Dokud nebyla známa syntetická lepidla vyrobená z umělých pryskyřic, používalo se k lepení dřeva výhradně lepidel, která se připravovala nebo vyráběla ze surovin živočišného nebo rostlinného původu. Doba, kdy se v dřevařské praxi používalo výlučně těchto lepidel, není zas až tak dávno. Teprve roku 1930 se začalo používat lepidel syntetických. (Eisner a kol. 1966)

3.2 Teorie lepení

Důležitými činiteli, ovlivňující vlastnosti lepidel jsou přitažlivé a odpudivé síly. Tyto síly jsou ovládány jednak chemickými silami, tak i následnými pochody probíhající při lepení. Souhrnně lze tyto síly označit jako adhezi (přilnavost) a kohezi (soudržnost). Příčiny, které způsobují přilnavost lepidla k povrchu určitého materiálu, vysvětlují dvě teorie: mechanická a specifická. Ale je také nutné si uvědomit, že některé teorie zdůrazňují mechanické aspekty a jiné chemické. Také některé teorie pracují na makroskopické úrovni, naopak jiné zase uvažují o molekulární úrovni. Proto jsou silné lepené vazby zřejmě kombinací více těchto teorií. (Rowell 2005)



Obr. 1:Způsoby adhezivní interakce uvnitř dřeva buněčné stěny (Rowell 2005)

3.2.1 Adheze povrchu

Jedná se o souhrn sil, kterými se poutají navzájem částice různých látek. Vyskytují se na fázovém rozhraní kapalin s kapalinami a tuhými látkami, a také na fázovém rozhraní dvou fází v tuhém skupenství. Fázi, na povrchu které nastává adhese, nazýváme adherend, druhou nazýváme adhezivum. Teorie adheze má pro uživatele praktické důsledky tehdy, když mu pomůže usnadnit proces lepení tím, že může předvídat vlastnosti a chování celého složitého procesu lepeného spoje. (Sedliačik a Sedliačik 1998)

3.2.2 Koheze

Jedná se o vnitřní soudržnost molekul lepidla, která je podmíněna velikostí a strukturou makromolekul po vytvoření tuhého filmu lepidla, tedy až po jeho vytvrzení. V pevném lepeném spoji jsou částice lepidla drženy silami chemických vazeb a mezimolekulárními silami. Na hodnotě koheze závisí dobré mechanické vlastnosti lepidla a taktéž pevnost lepeného spoje. To znamená, že pokud se lepený spoj roztrhne ve vrstvě lepidla je adhese i pevnost lepeného materiálu vyšší než koheze. V kapalinách vystupuje kohese na povrchu a nazývá se povrchové napětí. V lepidlech se s povrchovým napětím současně uplatňuje i viskozita. Oba činitelé určují lepivost lepidla. Vnějším znakem je tažnost vláken neboli délka vláken. Délka vlákna se zkouší tahem mezi prsty. Pokud se vlákna vytahují, je lepidlo dlouhé silně lepí. Čím vyšší je viskozita a menší povrchové napětí, tím je lepidlo delší. Naopak krátké lepidlo má malou viskozitu a velké povrchové napětí. Kohezní pevnost závisí na charakteru lepidla, např. (dvousložkové epoxidy mají nízkou kohezi) a na tepelném namáhání lepeného spoje (většina jednosložkových lepidel jsou termoplasty). (Boublík 1966)

3.2.3 Mechanická teorie lepení

Podle mechanické teorie, záleží hlavně na tom, aby lepidlo, dokud je ještě v tekutém stavu, vniklo co nejhlouběji do pórů lepeného materiálu. Následně v těchto pórech ztuhlo a vytvořilo pevné můstky tvořící drobné kolíčky. Tudíž pevnost spoje je z tohoto pohledu závislá především na tom, jak je pevné lepidlo po vytvrdnutí a také na počtu a délce kolíčků. Podle této teorie závisí pevnost spoje především na tom, jak je materiál pórovitý ale příliš nezáleží na tloušťce lepidlového filmu. (Liptáková a Sedliačik 1989)

3.2.4 Specifická teorie lepení

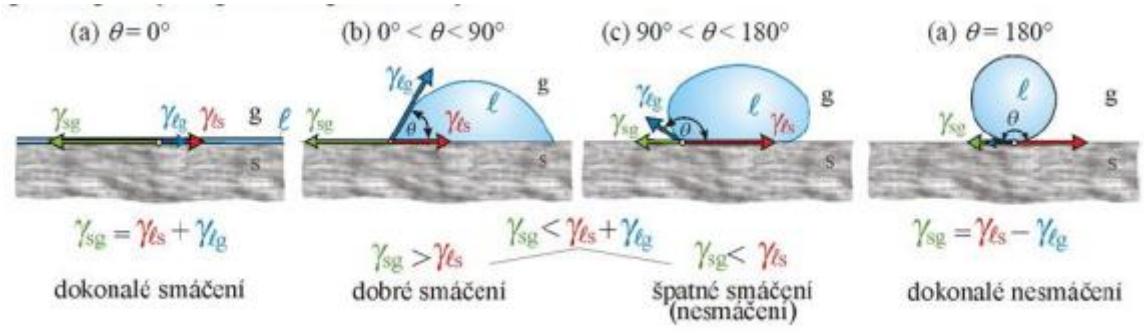
Tato teorie je založena jednak na působení slabých Van der Walsových elektrických přitažlivých sil mezi lepeným materiálem a molekulami lepidla, a také na přímém chemickém působení lepidla na lepený povrch. To je důvod, proč se dobře lepí materiály, relativní povrch, nebo ho chemicky upravený tak, aby mohla dobře proběhnout chemická reakce mezi lepidlem a povrchem za vzniku kovalentních vazeb. Proto se velmi dobře lepí oxidované povrchy (jako např. kovy, oxidované plasty), také povrchy přírodních polymerů (např. dřevo, papír, celulóza) s volnými chemickými skupinami oxy-, hydrox-, karbonyl-, karboxymethyl-, amino, aj. Proto správně zvolené lepidlo musí obsahovat volné skupiny, které jsou schopné reakce s povrchem lepeného materiálu. (Osten 1982)

3.2.5 Smáčivost povrchu a povrchové napětí

Smáčení povrchů lepených ploch je jednou z nejdůležitějších vlastností lepidla. Závisí na povrchovém napětí lepidla a lepené plochy.

Na každém povrchu pevného tělesa působí povrchové síly, které váží na volném povrchu vzduch. Tyto síly se nazývají povrchové napětí. U kapalin povrchové napětí působí na zmenšení povrchu kapalin, a tím brání jejímu roztečení. Povrchové napětí totiž ovlivňuje nejen roztečení lepidla, ale i smáčení povrchu substrátu. K tomu, aby se lepidlo dobře rozteklo a smáčelo lepený povrch, musí mít lepidlo povrchové napětí menší než povrchové napětí podkladu.

K charakterizaci schopnosti kapaliny smáčet pevný povrch se používá úhel smáčení. Kapalina smáčí dobře povrch, když je úhel smáčení menší než 90°. Pokud kapalina povrch nesmáčí je úhel větší jak 90° viz obr. 1 (Liptáková a Sedliačik 1989, Osten 1982)



Obr. 2: Smáčení povrchu kapalinou (Korenec 2013)

3.2.6 Povrchové napětí

Povrchové napětí je efekt, při němž se povrch tekutin chová jako elastická fólie a snaží se dosáhnout co nejhladšího stavu s minimálním rozpětím. To znamená, že povrch tekutiny se snaží dosáhnout stavu s co možná nejmenší energií. Povrchové napětí je výsledkem vzájemných interakcí přitažlivých sil atomů a molekul, z kterých se skládá povrchová vrstva.

Fáze je důležitý pojem uvažující o prostředí o stejných fyzikálních a chemických vlastnostech. Jedná se o prostředí, které je odděleno ostrým rozhraním – fázovým rozhraním. Čím je povrchové napětí g větší, tím větší musí být vynaložena síla na překonání fázového rozhraní. U kapalin se fázové rozhraní chová jako pružná blána, která má snahu zabrat co nejmenší plochu. (Osten 1982)

3.2.7 Reologie lepidel

Je nauka o deformaci a tečení deformovaných těles.

- Reologie lepidel při nanášení

Jedná se o reologické vlastnosti lepidla, které se nachází v tekutém stavu. V tekutém stavu jsou lepidla koloidní roztoky (nepravé roztoky), což se jedná o roztok, v němž jsou částice o velikosti 1 až 10 mm a tyto částice se nazývají koloidní.

Lepší vyplnění lepidlové spáry při nanášení zajišťuje vyšší viskozita lepidel. Lepidlo lepenou spáru smáčet, proto se do něho přidává smáčedlo, a aby současně zůstalo v lepené spáře, přidává se ještě nastavovadlo a plnivo.

- Reologie lepidel při vytvrzování

Při procesu vytvrzování dochází k přeměně stavu ze sol na gel, a s tím souvisí zvýšení viskozity, zvýšení koheze, objemové kontrakce lepidla a zesíťovaní molekul.

Objemová kontrakce lepidla při vytvrzování nastane, pokud je lepidlo plastické, tak lze tlakem přiblížit lepené plochy a ztenčit lepenou spáru. Tím dojde ke snížení pnutí v lepené spáře. Po vytvrzení dochází k praskání lepidlového filmu, to může přípravek plniva kontrakce potlačit. (Liptáková a Sedliačik 1989)

3.3 Faktory ovlivňující lepené spoje

3.3.1 Lepený materiál (adherend)

Dřevo jako materiál je nehomogenní, který se skládá z buněk.

1. Geometrie povrchu: je důležitým faktorem pro dobrou adhezi. Proto je nutné věnovat velkou péči kvalitě obrobení lepených povrchů. Ty musejí být co nejhladší, rovné a těsně k sobě přiléhat. Zdrsňování má za následek zhoršení finální pevnosti spoje. Za zdrsňování se nepovažuje vytváření roviny broušením, odstranění izolačních mikrovrstev z ploch (parafinová vrstva na hladké straně dřevovláknitých desek) a aktivace povrchu nepórovitých materiálů. (ČSN 1 30 001)

2. Vliv dřeviny: je ovlivněné jeho strukturou, zejména pórovitostí, vyjádřenou objemovou hustotou tak i heterogenním složením. Podle toho jsou-li dřeva tvrdá nebo měkká, hustá nebo pórovitá, se řídí nejen množství potřebného lepidla ve spáře, ale i použitý tlak při lepení. (Osten 1982)

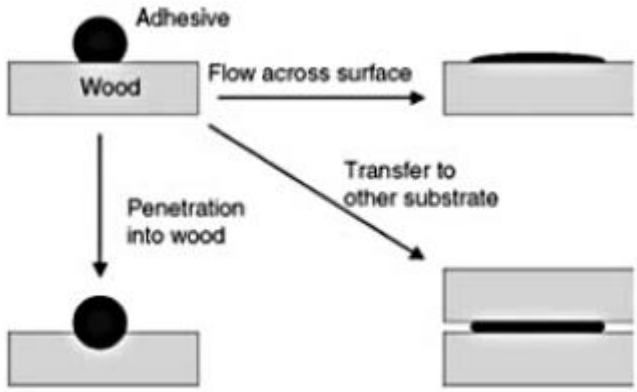
3. Chemické složení dřeva: dřevo po chemické stránce tvoří celulosa, hemicelulosa a lignin. Z hlediska lepení je nejdůležitější polární charakter celulosy a hemicelulosy, protože jejich hydroxylové skupiny dávají dřevu polární charakter. Ten je nutný pro uplatnění adhesivních sil při lepení polárními lepidly. Mezi další důležité složky dřeva, které ovlivňují průběh lepení, jsou některé průvodní látky, např. pryskyřice a vosky, které snižují smáčení povrchu dřeva. (Rowell 2005)

5. Teplota materiálu: ovlivňuje rychlost tuhnutí lepidla. Při nízkých teplotách je tuhnutí některých lepidel nedokonalé. Naproti tomu teplé dřevo, vybrané přímo ze sušárny může vyvolat předčasné tuhnutí lepidla.

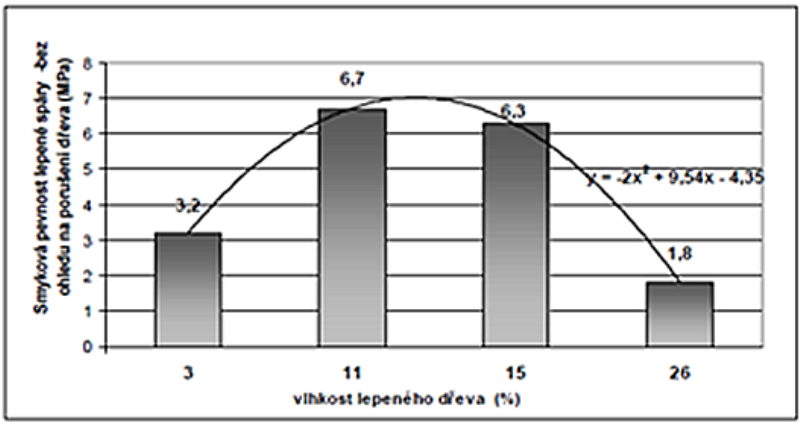
6. Čistota povrchu: je důležitá i čistota lepeného povrchu. Lepidlo se nedostane k povrchu lepeného materiálu, když je povrch zaprášený nebo znečištěný, ale dostane se jen k povrchu nečistoty, takže pevnost pak v nejlepším případě závisí na soudržnosti nečistoty s podkladem a na rozsahu znečištění. (Osten 1982)

4. Vlhkost materiálu: má vliv na vytvrzování, protože většina lepidel se používá ve formě vodného roztoku, a proto je důležité pro jeho vytvrdnutí oddifundování vody do dřeva. Dřevo může přijmout vodu až do bodu nasycení vláken. Příjem vody záleží především na tloušťce dílců. U tlustých dílců oddifundovaná voda z lepidla příliš obsah vlhkosti ve dřevě nezvýší. Naopak u slabých dílců např. dýhy může stejné množství vody odjímané z lepidla snadno překročit bod nasycení vláken. Pak dojde k zastavení odjímání vody a v lepené spáře zůstane přebytek vody, to vede ke

zpomalení vytvrzení lepidla. Také může dojít ke snížení viskozity a úniku lepidla z lepené spáry, pak může vzniknout chudý lepený spoj. Vlhkost dřeva by měla při lepení pohybovat kolem 8 %, neměla by však klesnout pod 4 % a přesáhnout 12 %. (Rowell 2005)



Obr. 3: Pronikání lepidla a jeho přenos do materiálu (Rowell 2005)



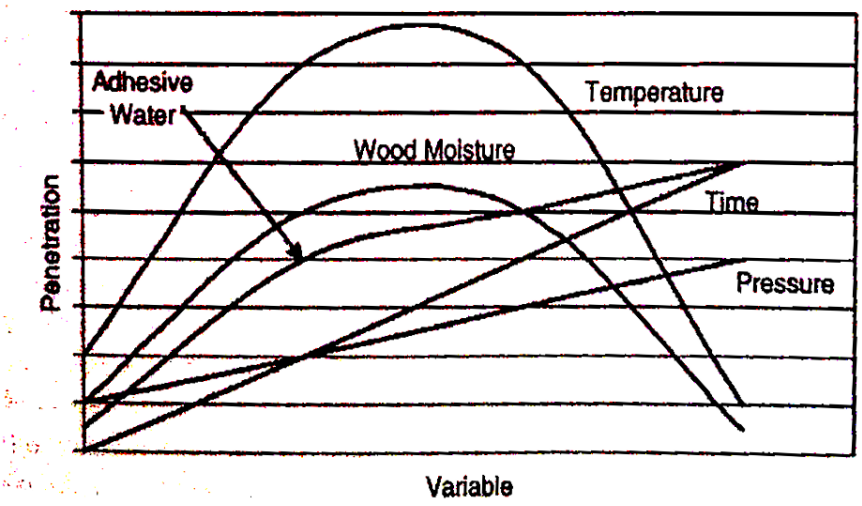
Obr. 4: Obr. 4: Vliv vlhkosti lepeného dřeva na pevnost lepeného spoje ve smyku močovinoformaldehydového lepidla (Mrňous 2010)

3.3.2 Lepidlo (adhezivo)

1. Množství lepidla: platí zásada, že čím je menší tloušťka naneseného lepidla, tím je spoj pevnější. Jestliže dojde k porušení zásady optimálního množství naneseného lepidla má za následek, že při malých tloušťkách nánosu vzniká nebezpečí tzv. chudého spoje. A při naopak velkých nánosech lepidla může dojít k destrukci spoje, kdy dodatečně zasychá a při dynamickém namáhání pracuje, drobí se, což vede ke snížení pevnosti lepeného spoje.

2. Viskozita: ovlivňuje nanášení lepidla, a tím i pevnost lepeného spoje. Čím je lepidlo viskóznější, tím hůře se nanáší a roztírá. Naopak lepidla s malou viskozitou se vsakují do dřeva, a nevznikne dostatečná vrstva lepidla pro pevný spoj. (Osten 1982)

3. Penetrace lepidla: je důležitou součástí procesu lepení. Obsah vody ve dřevě ovlivňuje pronikání lepidla do dřeva, taktéž i teplota a čas, viz obr. 3



Obr. 5: Vliv faktorů na množství penetrace lepidla (Rowell 2005)

3.4 Rozdělení lepidel

Lepidla tvoří rozsáhlou a chemicky velmi různorodou skupinou materiálů. To se také výrazně projevuje na způsobu jejich třídění do jednotlivých kategorií. Lepidla se dělí z několika hledisek a žádné z nich nevystihuje úplně přesně jejich povahu. Nové typy lepidel ze syntetických pryskyřic umožnily nová uplatnění a vynutily si současně nové klasifikace. Kromě nejstarších dělení lepidel podle účelu, původu, fyzikálního stavu a způsobu zpracování, zařazují se lepidla do jednotlivých skupin podle způsobu dosažení pevnosti spoje, chemického složení, obsahu rozpouštědel, koncentrace vodíkových iontů atd. Pro nábytkářskou výrobu stačí třídění lepidel podle původu, což vystihuje nejlépe jejich charakter a vymezuje rámcově možnost použití i zpracování. (ČSN 1 30 002)

3.4.1 Rozdělení podle původu (dle ČSN 1 30 002)

1. Přírodní

a) Rostlinná: - mouky (nastavovadlo do lep. směsí)
- škroby (nastavovadlo)
- dextriny (nastavovadlo)
- přírodní pryskyřice
- přírodní kaučuk

b) Živočišná: - glutinové klihy (kostní, kožní, zaječí, rybí)
- kaseinové klihy (z mléčné bílkoviny)
- albuminové klihy (z bílkoviny zvířecí krve)

2. Syntetická

a) Termoreaktivní lepidla: - epoxidová
- fenolformaldehydová
- melaminformaldehydová
- močovinoformaldehydová
- rezorcínformaldehydová
- polyuretanová
- polyesterová

b) Termoplastická lepidla: - polyamidová
- akrylátová
- vinylická
- smíšná

V nábytkářské praxi se termoplastická lepidla dále dělí na: - disperzní
- roztoková
- tavná

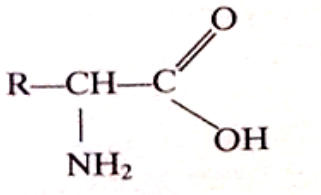
3.5 Lepidla živočišného původu

Mezi lepidla živočišného původu patří následující lepidla:

- Glutinové klihy
- Kaseinové klihy
- Albuminové klihy

Uvedené lepidla mají nízkou biologickou odolnost a většinou i malou vodovzdornost, rychle také vytvrzují na pevné a pružné spoje. Kaseinové klihy mají dobré plnicí vlastnosti a albuminovými klihy se mohou lepit dýhy s vyšší vlhkostí.

Živočišné lepidla se skládají z bílkovin, které dávají koloidní roztoky vyznačující se adhezivními vlastnostmi. Základní jednotkou bílkovin je α-aminokyseliny (obr. 6). (Liptáková a Sedliačik 1989)

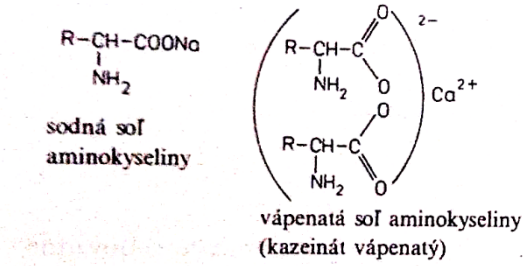


Obr. 6: α-aminokyselina (Liptáková a Sedliačik 1989)

Karboxylová funkční skupina COOH má kyselý charakter, tím aminoskupina NH_2 má zásaditý charakter. Aminokyseliny jsou tedy látky amorfní, s kyselinami a zásadami tvoří soli. Aminokyseliny spadají do větších celků na peptidy.

Při určitý hodnotě pH nastává kolaguace (vysrážení) bílkovin z roztoku: je to při pH 4 až 6, to se nazývá izotermický bod.

Na přípravu některých bílkovinových lepidel je důležitá reakce s alkáliemi, při které vznikají nerozpustné soli; sodné, vápenaté.



Obr. 7: Nerozpustné soli (Liptáková a Sedliačik 1989)

Bílkoviny se hydrolyzují (rozkládají) působením kyselin nebo zásad. Přitom vznikají nižší polypeptidy až aminokyseliny. Toto odbourávání aminokyselin je velmi důležité při výrobě živočišných lepidel.

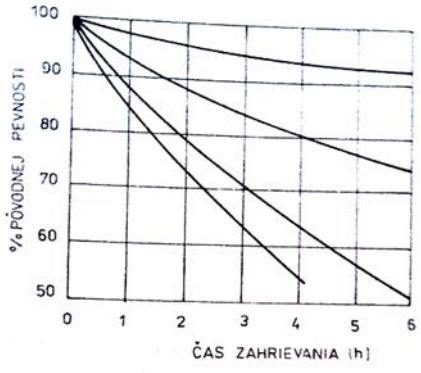
Při přípravě lepidel mají význam i některé další reakce bílkovin. Působením formaldehydu bílkoviny ztrácejí svou původní rozpustnost. Tato vlastnost se využívá na zvýšení odolnosti kostního nebo kožního klihu proti vlhkosti, zvýšení odolnosti albuminových klihů a při výrobě umělé rohoviny (galalitu) z kaseinu.
(Liptáková a Sedliačik 1989)

3.5.1 Glutinové klihy

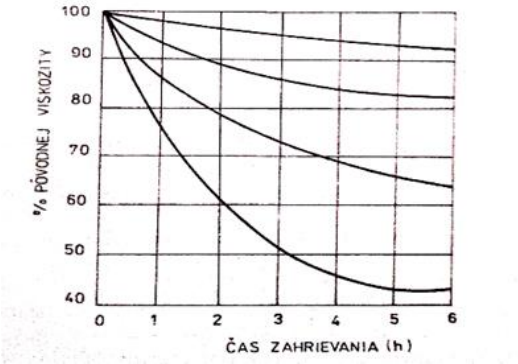
Klihy, které se taktéž označují jako glutinové klihy se získávají ze zvířecích odpadů, jako jsou např. kosti, kůže, chrupavky a šupiny. Podle použitých surovin se klihy dále dělí na: kostní, kožní, rybí a zaječí.

Suroviny používané na přípravu klihů obsahují bílkoviny, které jsou ve studené vodě nerozpustné. V kůžích je to bílkovina kolagen, v kostech osein a v chrupavkách chondrogén. Zvýšenou teplotou se bílkoviny postupně odbourávají, mění se na látky rozpustné a jsou základní složkou klihů. Klih je tedy v podstatě směsí odbouraných bílkovin. Původní bílkovina – kolagen (nerozpustný ve studené vodě) se v teplé vodě mění na rozpustný glutín a dalším zahříváním přechází na pektiny, a z nich vzniká aminokyselina glycin. Se stoupajícím obsahem pektínu, klesá rozpustnost klihů, ale klih lépe proniká do pórovitého adherentu.

Příprava glutinových klihů spočívá ve dvou fázích, a to v máčení a roztavení. Máčení musí probíhat vždy ve studené vodě. Při máčení dochází k nabobtnání klihu. Doba bobtnání závisí na formě klihu, u perličkového je to 1 h u tabulkového až 24 h. Po dokonalém nabobtnání se může přistoupit k rozpouštění klihu zahřátím na teplotu 50 až 60 °C. Zahřívat je třeba vždy ve vodní lázni, nikdy ne na přímém plamenu. Teplota a čas ohřívání nepříznivě ovlivňují pevnost roztoku obr. 8 a viskozitu obr. 9., proto je nutné během přípravy na to pamatovat.



Obr. 8: Pokles pevnosti při zahřívání (Liptáková a Sedliačik 1989)



Obr. 9: Pokles viskozity při zahřívání (Liptáková a Sedliačik 1989

Vytvrzování glutinového klihu v lepeném spoji probíhá tak, že v první fázi při vytvrzování glutinového klihu v lepeném spoji přechází chladnutím teplý tekutý roztok v gel, který přilne na lepené povrchy. Proto glutinové klihy poměrně rychle přichycují vzájemně dílce k sobě. Pevnost lepeného spoje se však vytváří postupně, jak gel glutinového klihu odevzdává vodu dřevu. Voda difunduje z klihového gelu do dřeva tím rychleji, čím je lepené dřevo sušší.

Spoje lepené glutinovými klihy jsou velmi pevné a pevnost spoje při správném provedení přesahuje pevnost dřeva. Nevýhody glutinových klihů je v tom, že nejsou odolné vůči vodě a vlhkému prostředí. Lepené spoje klihovými lepidly jsou reverzibilní, tedy že klih v pevném skupenství v lepeném spoji je možno znovu rozpustit. Poněvadž klihy poskytují plísním a bakteriím vysloveně živnou půdu. Jsou lepené spoje těmito mikroorganismy snadno napadány a rozrušovány.

Klihy se dodávají v různých formách, jako např. v tabulkách, malých perliček šupinách, v prášku, anebo ve formě rosolu. Barva klihů je odlišná, od světložlutý, až po tmavohnědou. Čím je klih světlejší a průhlednější, tím je kvalitnější.
(Komárek 1987, Rowell 2005)

Rozdělení glutinových klihů

- **Kostní klih** je nejběžnějším druhem klihu, který se získává z dobytčích kostí. Vyskytuje se v několika kvalitách, dříve jako klih tabulkový sušený na vzduchu, dnes se vyskytuje převážně ve formě drti, šupinek či perliček. Perličkový klih nebo šupinový, zvaný též leskový, jsou považovány za čistší a kvalitnější druhy, staří mistři naopak považovali za nejlepší klih tabulkový.
- **Kožní klih** je kvalitnější a čistší. Má také větší lepivost než klih kostní, je mnohem světlejší, průsvitnější a elastičtější. Připravuje se z odchlupených zvířecích kožek nebo kožárenských odpadů. Mezi nejkvalitnější kožní klih patří klih zaječí, zvláště francouzský druh „Totin“, nebo klih králičí.
- **Rybí klih** se připravuje z rybích kostí a chrupavek nebo z rybích měchýřů. Je velmi jemný a čistý. Za zvláště kvalitní jsou považovány klihy vizí a klih jeseteří, který je vůbec nejdražším druhem klihu s velkou lepivostí. Rybí klihy byly známy již od raného středověku a oblíbeny zejména proto, že přechází do pevného skupenství bez pnutí. (Losos 2005)

3.5.2 Kaseinové klihy

Kaseinový klih se připravuje z mléčné bílkoviny kaseinu. Kravské mléko ho obsahuje 2 až 3 %. Možno ho vysrážet dvojím způsobem: buď enzymy, nebo kyselinami. Podle toho dostaneme kasein sladký nebo kyselý. Na výrobu lepidel se používá kasein kyselý, který je rozpustnější. Kasein je vlastně tvaroh, který se vysuší. Do kaseinu se přidávají alkálie (NaOH, KOH, $Ca(OH)_2$, $NH_4(OH)$, nebo borax a vodní sklo.

Jiný charakter má kasein rozpuštěný v $Ca(OH)_2$. Nejprve vzniká ve vodě rozpustný kaseinát vápenatý, který se dále shlukuje a stává se ve vodě nerozpustný. Kaseinát vápenatý je vodovzdorný, ale trvanlivost lepicí směsi je jen 2 až 4 h. Na zvýšení trvanlivosti se přidává NaOH nebo Na_2CO_3, ale na úkor vodovzdornosti. Čím větší je přísada louhu sodného nebo sody, tím delší je jeho trvanlivost.

Kaseinových klihů se používá jak k lepení za studena, tak k lepení za zvýšené teploty. Vytvrzování kaseinových klihů v kližním spoji probíhá následujícím způsobem, klih při styku se dřevem ztrácí vodu, která difunduje do okolí kližního spoje. Vytvrzování probíhá tím rychleji, čím sušší je lepené dřevo. Kromě toho kaseinové klihy obsahující vápno tvrdnou i za normální teploty vlivem probíhající reakce kaseinu s vápnem, která kaseinový klih převádí do nerozpustného stavu. Toto vytvrzování probíhá prakticky od bodu mrazu výše, zvýšením teploty při lisování se značně urychlí.

Nevýhodou kaseinových klihů je především vysoký obsah vody, který značně zvyšuje vlhkost lepeného dřeva. Malá je taky odolnost vůči plísním a mikroorganismům. Přestože spoje lepené kaseinovými klihy odolávají vlivům vlhkosti, nelze je považovat za vysloveně odolné vůči vlivům povětrnosti. (Liptáková a Sedliačik 1989, Tracton 2007)

3.5.3 Albuminové klihy

Albuminy jsou jednoduché bílkoviny, které se nacházejí ve všech živých tkáních. Jsou rozpustné ve vodě, v ředěných hydroxidech a v kyselinách. Zahřátím na 60 až 80 °C se srážejí a přecházejí na nerozpustnou formu. Známých je několik albuminů, např. albumin krevní, mléčný a vaječný, z kterých má největší význam albumin krevní.

Krev jatečních zvířat je tekutina světle až tmavě červená. Jedná se o koloidní roztok vápenatých solí bílkovin, a to hemoglobinu, albuminu a globulinu. Aby nedocházelo ke srážení krve, je nutné ji před zpracováním zbavit fibril. Defibrilovaná krev se mísí v každém poměru s vodou. Zahřátím krve na 63 °C začíná krev koagulovat a při 74 až 75 °C se vyloučí všechny bílkoviny obsažené v krvi v denaturovaném stavu. Mimo bílkoviny a minerály

obsahuje krev ještě nějaké množství tuků. Krevní albumin získaný vysušením defibrilované krve obsahuje stejné složky jako defibrilovaná krev.

Na rozdíl od kaseinu je krevní albumin nedenaturovaný rozpustný ve vodě. Při máčení ve vodě krevní albumin nejprve bobtná a pak přechází v roztok; při tom se uvolňuje určité množství tepla. Tato exotermická reakce nasvědčuje tomu, že se slučuje albumin s vodou.

Vodné roztoky krevního albuminu jsou však velmi řídké a nezpůsobilé k lepení. Ani dlouhým stáním vodných roztoků albuminu nestoupá jejich viskozita. Teprve přidáním alkálií se dosáhne zahuštění vodných roztoků albuminu.

Albuminových klihů se v praxi používalo výhradně k lepení překližek za horka. Albuminový klih se dá kombinovat s lepidly kaseinovými a také i s lepidly syntetickými, např. s lepidly močovinovými nebo fenolovými. (Liptáková a Sedliačik 1989, Tracton 2007)

3.6 Vady lepených spojů

3.6.1 Původ vad lepených spojů

- **Nedodržení technologických podmínek:** nezohlednění vlhkostních poměrů pro vnější a vnitřní prostředí. Se změnou vlhkosti souvisí změna rozměrů výrobků, dřevo bobtná a sesychá. Se změnami vlhkosti souvisí i volba druhu lepidla, protože většina konstrukčních lepidel je na vodní bázi.
- **Mikroskopická stavba podkladového materiálu:** porézní struktura dřevní hmoty vyžaduje úpravu lepidla takovým způsobem, aby nedocházelo k přílišnému vsakování naneseného lepidla do kanálků podkladu a k jejich penetraci, nýbrž pouze k zakotvení adhezivními silami k povrchu. Pokud dochází vlivem nevhodné viskozity lepidlové směsi k vsakování, vzniká vada tzv. chudého spoje.
- **Nevhodná konstrukce lepeného spoje:** ovlivňují ho kvalita a velikost lepené plochy. Hlavní příčinou vzniku vad je kolmé postavení vláken spojovaných ploch a rozdílnost v sesychání, tedy anizotropie v různých růstových směrech.
- **Volba lepidla a jeho vlastnosti:** zvolit si správný druh lepidla pro dané podmínky a materiál.
- **Nevhodná vlhkost prostředí, lepeného podkladu:**
- **Vadný klih:** dlouhé vaření nebo několikanásobné ohřívání, klih je příliš řídký, málo ohřátý, nakažený plísní, znečištěný mýdlem, nebo jakoukoli mastnotou.

- **Chybný nános lepidla:** příliš tenký, nebo nestejnoměrný nános lepidla, klihový nános zaschlý, zrohovatělý (zmrzlá, studená místnost a chladné dřevo).
  (Tesařová a kol. 2014)

3.6.2 Charakteristika jednotlivých vad lepeného spoje

- **Dokonalý spoj:** - lepený spoj je velmi pevný, k jeho porušení je nutné značné síly
  - při odtržení dochází k porušení ve dřevě
  - v lepené spáře je souvislý film lepidla
- **Chudý lepený spoj:** - na první pohled vypadá jako dokonalý spoj
  - spoj je málo pevný, na jeho porušení je zapotřebí jen velmi malá síla
  - při odtržení lepeného spoje dochází k porušení v lepidle
  - v lepené spáře není souvislý film lepidla
- **Rozlepený spoj:** - volný v lepené spáře, a to buď v jednom místě, nebo v celé ploše
  - viditelné mezery v lepené spáře
  - minimální, nebo žádná pevnost v lepené spáře
- **Zrnitý spoj:** - lepený spoj je málo pevný
  - vytvrzený lepidlový film má krupičkovitou strukturu
- **Zmrzlý spoj:** - lepený spoj je málo pevný
  - při porušení spoje je souvislý film lepidla pouze na jedné lepené ploše
- **Nezakotvený spoj:** - lepený spoj je málo pevný
  - vytvrzený lepidlový film není přilnut pevně k povrchu ploch lepených dílců
- **Zdánlivě pevný spoj:** - málo pevný lepený spoj
  - při porušení spoje dochází k ulpění dřevních vláken na vytvrzeném lepidlovém filmu

  (Sedliačik a Sedliačik 1998)

4. Materiál a metodika

4.1 Použité materiály a jejich charakteristika

Na výrobu zkušebních tělísek bylo vybráno dřevo smrku.

- **Smrk (Picea sp.)**
  - Barva dřeva: žlutobílá až světle žlutohnědá
  - Trvanlivost: méně trvanlivé a odolné proti biotickým škůdcům
  - Opracovatelnost: dobře se opracovává, suší, hůře se impregnuje
  - Naše nejdůležitější užitkové dřevo, stavební a konstrukční dřevo pro nadzemní i podzemní stavby (stožáry, sloupy, střešní a mostní konstrukce, lešení, podlahovina, důlní dříví atd.), v nábytkářství (nábytek, dýhy, překližky, lišty), na chemické a polochemické zpracování (buničina, dřevovina, dřevovláknité a dřevotřískové desky); dřevo se souměrnými úzkými letokruhy (1 – 4 mm s podílem letního dřeva v letokruhu v rozmezí 5 – 20 %), bez vad, poskytuje rezonanční dřevo; cenné je lískovcové dřevo, které zvyšuje dekorační hodnotu smrkového dřeva.
  - Hustota při $w_{0\%}$: 420 $kg.m^{-3}$
  - Tvrdost: 26 [MPa]

(http://ldf.mendelu.cz/und/sites/default/files/multimedia/stavba_dreva/lexikon/makro/index.html?drevina=sm, 20. 3. 2016)

- **Dřevotřísková deska laminovaná dekorativní fólií**
  - Nosnou deskou je třívrstvá plošně lisovaná dřevotřísková deska PB P2 (E1) vyráběná ze specielně tříděných dřevěných třísek pojených vysoko kvalitní močovinoformaldehydovou pryskyřicí. Oboustranně broušená deska PB P2 (E1) je opatřena povrchovou úpravou laminováním dekorativní melaminovou folií. Desky se dodávají v tloušťkách od 8 do 38 mm s nízkými tloušťkovými tolerancemi. Desky se vyrábí v souladu s normou ČSN EN 14322, která udává požadavky na laminované desky pro vnitřní použití (zejména vnitřní vybavení včetně nábytku). Tyto desky jsou určeny hlavně pro nábytkářský průmysl a k finální úpravě interiéru pro použití v suchém prostředí. Nejsou vhodné pro použití ve vlhkém prostředí. Jiné názvy : L-DTD, melamine faced chipboards (MFC), Beschichtete Holzspanplatten
  - Dřevní hmota: 540 – 630 kg/m^3

- UF: 40 - 53 kg/m^3 (Sušina)
- Parafin**:** 1,5 – 2 kg/m^3
- Tužidlo- nitrát amonný: 2 – 3 kg/m^3

(http://www.demos-trade.cz/cz/dokumenty/Certifikaty/Kronospan/kronospan-technicky-bezpecnostni-list-dtd-laminovane.pdf, 5. 5. 2016)

- **ABS hrana**
  - Označení: HD 22855 PE
  - Výrobce: Hranipex
  - Dekor: Calvados perlička
  - Rozměry: 22 x 0,45 mm
  - Světlostálost: 6
  - Bod měknutí (Vicat B 50): 95 °C
  - Smršťování: < 1% při 85 °C a během 1 hodiny
  - Tvrdost dle Rockwella: 110 N/mm2
  - Tvrdost Shore typu D: ~ 73
  - Rázová Houževnatost, 23°C: žádná změna
  - Vrubová houževnatost, 23°C :17 KJ/m2
  - Ohnutí E-module: 2300 MPa ASTM D 790
  - Odolnost proti oděru (Erichsen metod 318 č. 1): 4 - 6 N
  - Chemická odolnost: 1 B
  - Index hořlavosti: B2 (hořlavé jako dřevo)
  - Bělení na lomu: Střední

(*http://www.hranipex.cz/cs/katalog/abs-hrany/ 25. 4. 2016*)

4.2 Použitá lepidla a jejich příprava

4.2.1 Kostní klih

Částečně hydrolyzovaný kolagen (živočišné bílkoviny pojivé tkáně)

Chemický obsah: Proteiny (max. 83,0 obj. %)

Tuk (max. 2,5 obj. %)

Popel (max. obj. 2,7 %)

Obsah vody (max. obj. 17,0 %)

Fyzikální a chemické vlastnosti

Vzhled: zrna

Barva: nažloutlá

Zápach: charakteristický

Suchá forma: termosetický

Bod tání: 30 – 40 °C

Bod varu: nepoužitelný

Tlak par: (20 °C) 1200 kg/m^3

Hodnota pH (12,5% roztoku, 20 °C) 5,5 – 7,5

Viskozita (12,5% roztoku, 20 °C) 40 – 80 MPa.s

Obsah ředidel: neobsahuje žádná rozpouštědla

Příprava pracovního roztoku: suchý klih se namočí do studené vody v hmotnostním poměru 1:1, po nabobtnání (50 – 120 min. v závislosti na zrnitosti klihu). Po dokonalém nabobtnání se klih rozpouští zahřátím na teplotu 50 až 60 °C. Zahřívá se v kotli vyhřívaném párou nebo v nádobě ve vodní lázni, nikdy ne na přímém ohřívacím tělese. Při rozpuštění se klih občas zamíchá.

(http://www.manahuna.cz/fotky20086/fotov/_ps_64TL-Kostni-klih.pdf, 26. 3. 2016),

Technologická norma 1 30 150

4.2.2 Kožní klih

Částečně hydrolyzovaný kolagen (živočišné bílkoviny pojivé tkáně).

Chemický obsah: Tuk (0,4 – 0,8 obj. %)

Popel (max. 3 obj. %)

Fyzikální a chemické vlastnosti

Vzhled: zrna

Barva: nažloutlá

Zápach: charakteristický

Suchá forma: termosetický

Bod tání: 30 – 40 °C

Zápalná teplota: >200 °C

Bod varu: nepoužitelný

Hustota: cca. 1,1 g/cm^3

Rozpustnost v org. rozpoš. a tucích: nejsou rozpustné

Hodnota pH (12,5% roztoku, 60 °C) 5,5 – 5,7

Pracovní doba: 60 – 80 °C

Obsah ředidel: neobsahuje žádná rozpouštědla

Příprava pracovního roztoku: suchý klih se namočí do studené vody v hmotnostním poměru 1:1, po nabobtnání (50 – 120 min. v závislosti na zrnitosti klihu). Po dokonalém nabobtnání se klih rozpouští zahřátím na teplotu 50 až 60 °C. Zahřívá se v kotli vyhřívaném párou nebo v nádobě ve vodní lázni, nikdy ne na přímém ohřívacím tělese. Při rozpuštění se klih občas zamíchá.

(http://www.manahuna.cz/fotky20086/fotov/_ps_65TL-Kozni-klih.pdf, 26. 3. 2016)

4.2.3 Králičí klih

Bod tání: 31 °C

Barva: žlutá až tmavohnědá

Charakter filmu: elastický

Viskozita: min. 5 Engler (min)

Popel: do 3 obj. %

Pracovní teplota: 60 – 80 °C

Obsah vody: do 15 obj. % (max)

pH 1% roztoku: 5,5 – 7

Hodnota pH (12,5% roztoku, 60 °C) 5,5 – 7,5

Pevnost gelu: 270 – 320 Bloom/g (min)

Obsah tuku: 3 – 5 obj. %

Obsah ředidel: neobsahuje žádná rozpouštědla

Čištění strojů: teplou vodou

Příprava pracovního roztoku: suchý klih se namočí do studené vody v hmotnostním poměru 1:1, po nabobtnání (50 – 120 min. v závislosti na zrnitosti klihu). Po dokonalém nabobtnání se klih rozpouští zahřátím na teplotu 50 až 60 °C. Zahřívá se v kotli vyhřívaném párou nebo v nádobě ve vodní lázni, nikdy ne na přímém ohřívacím tělese. Při rozpuštění se klih občas zamíchá.

(http://www.tanex.cz/cz/produkty/kozni-klih/kralici-klih.html, 26. 3. 2016)

4.2.4 Rybí lepidlo

Přírodní lepidlo na dřevo vyrobené ze zbytků ryb. Vhodné k lepení intarzií.

Složení: Želatina (45 obj. %)

Voda (55 obj. %)¨

Fenol

Vzhled: tekutina

Barva: světle hnědá

Bod varu: nepoužitelný

Hodnota pH (10% roztoku) 5 – 8

Viskozita (10% roztoku) 70 – 90 mPa.s

Pevnost ve smyku: 3200 PSI

Pracovní teplota: 60 – 80 °C

Čištění: teplou vodou

Příprava pracovního roztoku: lepidlo lze ihned použít bez jakékoli přípravy.

(https://tembi.ca/media/catalog/spec/technicaldatasheet-fishglue-finico.pdf, 27. 3. 2016)

4.2.5 Kaseinový klíh

Vzhled: prášek

Barva: bílá až nažloutlá

Upotřebitelnost: 8 – 12 h

Vydatnost: 60 – 180 g/m^2

Lisování: za studena

Lisovací tlak: 0,5 – 1 MPa

Vodotěsnost: nepatrná až značná

Příprava pracovního roztoku: kasein se nejdříve namočí do studené vody a nechá se bobtnat1 až 1,5 h asi v trojnásobném množství vody. Po dokonalém nabobtnání kaseinu se přidává soda. Směs se míchá, až nabude homogenní smetanovité konsistence.

(J. Kouřil, F. Buben 2003)

4.2.6 Albuminový klíh

Vzhled: prášek

Barva: nažloutlá

Upotřebitelnost: více hodin

Vydatnost: 50 – 160 g/m^2

Lisování: za tepla

Lisovací tlak: 1 – 1,5 MPa

Hodnota pH: 6,0 – 8,5

Vodotěsnost: nepatrná až značná

Příprava pracovního roztoku: Sušený krevní albumin se nejprve máčí ve vodě v poměru 1:1,7 po dobu 1-2 hodin. Poté se přidává vápno ve formě vápenného mléka, a to v poměru 0,03:1 k sušenému albuminu. Aby roztok zhoustl je třeba připravenou směs míchat.
(J. Kouřil, F. Buben 2003)

4.3 Stroje a pomůcky

4.3.1 Stroje a pomůcky použité k výrobě vzorků

- **Formátovací pila PF 350 INDUSTRY 9**
  Výkon motoru: 5,3 kW
  Otáčky motoru: 2870/min
  Výkon motoru předřezu: 0,5 kW
  (http://www.rojek.cz/rojek.asp?jazyk=cz&d=formatovaci_pila_pf_350_industry_9&go=Vyrobek&Vyrobek=1277002, 20. 2. 2016)

- **Srovnávací frézka RFS 510**
  Výkon motoru: 5,3 kW
  Otáčky motoru: 2860 ot/min
  Rozměry stolu: 2700 x 510 mm
  Průměr nožové hřídele: 116 mm
  (http://www.rojek.cz/rojek.asp?jazyk=cz&d=srovnavaci_frezka_rfs_510&go=Vyrobek&Vyrobek=1486000, 20. 2. 2016)

- **Tloušťkovací frézka RFT 520**

  Výkon motoru: 4 kW

  Výkon motoru posuvu: 1,1/0,75 kW

  Rozměry stolu: 966 x 552 mm

  Průměr nožové hřídele: 120 mm

  (http://www.rojek.cz/rojek.asp?jazyk=cz&d=tloustkovaci_frezka_rft_520&go=Vyrobek&Vyrobek=1452000, 20. 2. 2016)

4.3.2 Přístroje použité k laboratorní zkoušce

- **Klimatizační komora MEMMERT HPP 108**

  Rozsah nastavení: 0 °C až 70 °C

  Odchylka: ± 0,1 °C

  Pracovní rozsah nastavení: + 5 °C až 70 °C

  Rozsah nastavení vlhkosti: 10 až 90 %

  Odchylka: 1 %

  (https://www.memmert.com/index.php?eID=dumpFile&t=f&f=2714&token=8d38ec49fc6394104ccf9106214df01f1f2c8f71, 30. 3. 2016)

- **Trhací zařízení INSTRON 3365**

  Maximální síla zatížení: 5 kN

  Maximální rychlost posuvu trhacích kleští: 1000 mm/min

  Maximální trhací vertikální prostor: 1193 mm

  (http://www.instron.us/en-us/products/testing-systems/universal-testing-systems/electromechanical/3300/3360-dual-column, 30. 3. 2016)

Obr. 10: Trhací zařízení INSTON 3365 (http://www.instron.us/)

- **Technický laboratorní lis POLYMERTEST**

  Rozměr etáží: 600 x 600 mm

  Zdvih: 300 mm

  Svěrná síla: 15 až 100 tun

  Teplota: do 250 °C

  (http://www.polymertest.cz/cz/gumarenske-laboratore.php, 30. 3. 2016)

Obr. 11: Technický laboratorní lis POLYMERTEST (http://www.polymertest.cz)

- **Mrazicí box ELCOLD**

  Teplotní rozsah: 0 °C až do – 40 °C

  Přesnost: 1 °C

- **Klimatizační komora VENTICELL 111**

  Objem komory: 111 litrů

  Pracovní teplota: od +10 °C do 250 °C

  Odchylka teploty: ± 0,4 °C

  Doba náběhu na 250 °C: 53 min

  (*http://www.bmt.cz/venticell-111---komfort19?cat=61, 20. 4. 2016*)

Obr. 12: Klimatizační komora VENTICELL 111 (Laštovička)

- **Laboratorní váhy KERN**
  Rozsah vážení Max: 3000 g
  Rozlišení: 0,01 g
  Odchylka: ± 0,02 g

- **Čistička ultrazvuková ELMASONIC S 30 H**
  Pracovní frekvence: 37 kHz
  Efektivní ultrazvukový výkon: 80 W
  Objem lázně: 2,75 l
  Maximální teplota čistícího média: 85 °C
  (http://www.elma-ultrasonic.com/en/products/ultrasonic-cleaners/elmasonic-s/#tabs|p55:features, 20. 4. 2016)

4.4 Příprava vzorků

4.4.1 Příprava vzorků pro zkoušku smykové pevnosti

Pro přípravu vzorků bylo použito sušené smrkové neomítané řezivo o rozměrech 200 x 4000 x 25 mm. Vlhkost řeziva je uvedena v tabulce 1. Řezivo bylo nejprve vykráceno na dvě části o délce 2000 mm, poté bylo nahrubo omítnuto na formátovací pile. Omítnuté přířezy byly následně srovnány na srovnávací frézce a natloušťkovány na přesnou tloušťku 20 mm. Z těchto vlysů byly nařezány na formátovací pily lišty o rozměrech 20 x 2000 x 12 mm. Následně byly tyto lišty znovu natloušťkovány na tloušťku 7 mm ±0,1 mm. Tyto lišty o přesných tloušťkách byly vykráceny na formátovací pile na přesný rozměr a to na rozměr 100 x 20 x 7 mm.

Hotové nařezané vzorky se následně lepily pomocí následujících druhů klihů, a to kostním kožním, králičím, rybím, kaseinovým a albuminovým. Množství nánosu je uvedeno v tabulce 2. Slepené vzorky byly zalisovány v hydraulickém lisu tlakem 5 MPa po dobu 1 hodiny. Po zalisování došlo ke klimatizaci slepeného souboru.

Tab. 1: Vlhkost zkušebních vzorků

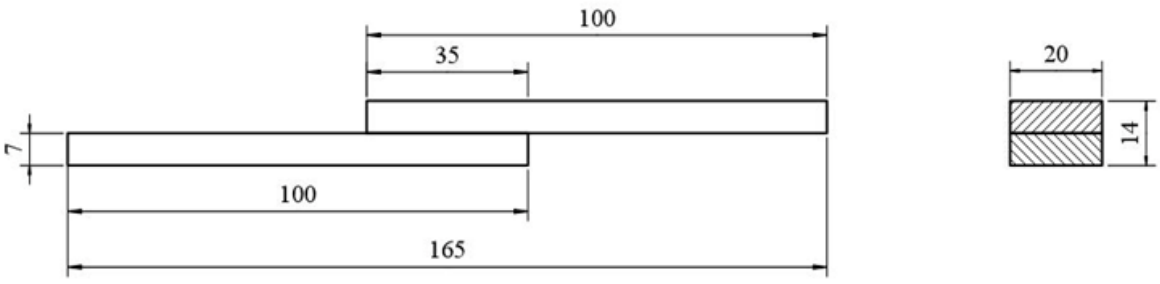
Číslo vzorku	m_0 [g]	m_1 [g]	W [%]
VZ1	7,5952	6,9402	9,44
VZ2	7,6795	7,0117	9,52
VZ3	8,0262	7,3095	9,81
VZ4	7,6551	7,0025	9,32
VZ5	7,1812	6,5605	9,46
Průměr			9,5

Tab. 2: Průměr hmotností nánosů u jednotlivých druhů klihu pro všechny typy podmínek

	Průměr nánosu [g]	Součet nánosu [g]
Kostní klih	0,15	17,7
Kožní klih	0,13	15,32
Králičí klih	0,14	16,4
Rybí klih	0,14	16,92
Kaseinový klih	0,16	18,7
Albuminový klih	0,18	21,98
Celkem		107,02

4.4.2 Zkušební tělesa

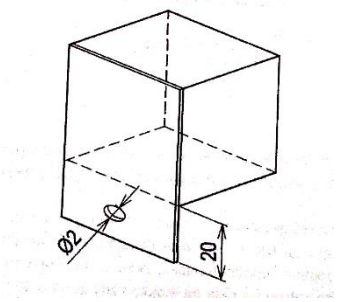
Všechny zkušební tělesa obr. 13, musela splňovat přesné rozměry 165 x 20 x 7 mm, nesměla obsahovat žádné vady a musela obsahovat dostatečný nános lepidla. Tělesa, které tyto podmínky nesplnila, musela být ze zkoušky odstraněna.



Obr. 13: Zkušební těleso (TurboCAD Laštovička)

4.4.3 Příprava zkušebních těles pro stanovení odolnosti lepidla proti postupnému zvyšování teploty

Zkušební tělesa obr. 14, se připravují tak, že se stanoví podle šířky pásku rozměry zkušební plochy lepeného spoje 400 mm^2 olepovacího pásku s přesahem a olepovaného podkladu, odstraní se 20 mm konstrukční desky a do přesahujícího volného pásku se vyvrtá uprostřed otvor o průměru 2 mm. Otvor slouží pro upevnění závaží o hmotnosti 400 g.



Obr. 14: Zkušební těleso (ON 90 0297)

4.5 Manipulace se vzorky před provedením smykové zkoušky tahem

Zkušební vzorky byly lepeny šesti druhy klihů. Následně byla každá ze šesti skupin vzorků ještě rozdělena na třetiny. Jednotlivé třetiny byly poté vystaveny různým klimatickým podmínkám.

- První skupina vzorků byla vystavena normálním podmínkám o teplotě 22 °C a vlhkosti 45 %.
- Druhá skupina byla vystavena prostředí o zvýšené teplotě a vlhkosti, kde byla teplota 30 °C a vlhkost 90 %.
- Třetí skupina vzorků byla naopak vystavena snížené teplotě, kde byla teplota prostředí – 30 °C a vlhkost 0 %.

V těchto podmínkách se vzorky klimatizovaly 30 dnů, přitom muselo být zajištěno, aby byly vzorky uloženy ve vodorovné poloze s proklady. To proto, aby byl zajištěn rovnoměrný přístup teploty a vlhkosti ke vzorkům. Po vyjmutí vzorků z těchto podmínek proběhlo jejich odtrhání.

4.6 Postup při stanovení vlivu klimatických podmínek lepeného spoje klihovými lepidly na pevnost lepeného spoje

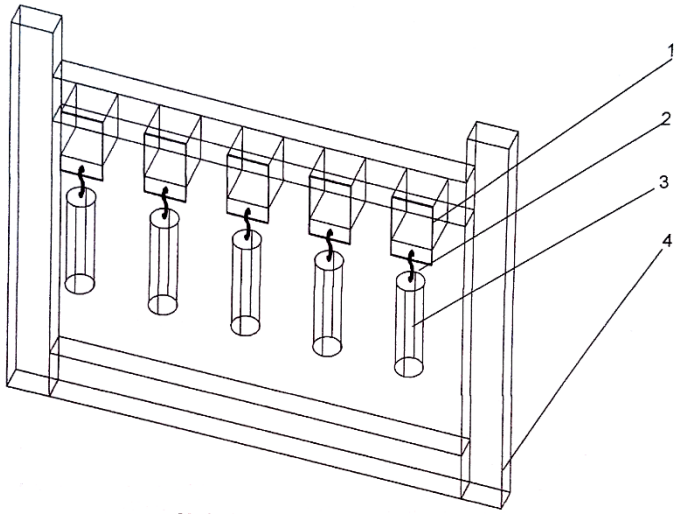
Vzorky byly před zkouškou dle normy ČSN 205 klimatizovány v normálních a extrémních (vysoká vlhkost a nízká teplota) podmínkách. V těchto podmínkách byly vzorky

klimatizovány po dobu 30 dnů. Zkouška pevnosti lepeného spoje ve smyku tahem probíhala na stroji INSTRON 3365, výsledky byly zaznamenávány v programu Instron Bluehill.

Zkušební vzorky byly upnuty do čelistí trhacího stroje, kde byly uchyceny za své konce asi 30 – 40 mm. Rychlost posuvu trhacích čelistí byla nastavena 50 mm/min. Samotné trhání bylo zahájeno posuvem čelistí. Čelisti s upnutým vzorkem se začaly vzdalovat a působit na vzorek rovnoběžnou silou s osou zkušebního tělesa do doby, než došlo k porušení. U každého vzorku bylo zaznamenáno, v jakém místě došlo k porušení.

4.7 Stanovení odolnosti lepidla proti postupnému zvyšování teploty, naneseného na olepovací hranový pásek

Zkušební tělesa zatížená závažím o hmotnosti 400 g se umístí s přípravkem do zkušebního zařízení (klimatizační komora) při teplotě 60 °C na dobu 60 min. V případě, že nedojde k odpadnutí pásku, zvýší se teplota o 10 °C, a opět se ponechá 60 min. ve zkušebním zařízení a dále se teplota vždy zvýší o 10 °C po dobu 60 minut až do odpadnutí nebo protrhnutí pásku. (ON 90 0297)



Legenda:

1. zkušební tělesa
2. háček
3. závaží 400 g
4. stojan

Obr. 15: Přípravek na upnutí těles (ON 90 0297)

4.8 Výpočet pevnosti lepeného spoje

Hlavní výstupní veličinou, kterou jsme při měření získali, byla maximální síla F_{max}, síla potřebná k porušení zkušebního tělesa. Pomocí této veličiny lze vypočítat pevnost τ daného tělesa dle následující rovnice:

Rovnice 1: Pevnost τ

$$\tau = \frac{F_{max}}{A} = \frac{F_{max}}{l_2 \, . \, b} \; [N.mm^{-2}]$$

F_{max} – Zatížení při max. tahovém protažení [N]

A – slepená zkušební plocha [mm^2]

l_2 – délka lepené zkušební plochy [mm]

b – šířka lepené zkušební plochy [mm]

4.9 Stanovení vlhkosti vzorků pomocí váhové metody dle normy ČSN EN 13183-1

Podstata zkoušky: Hmotnostní vlhkost dřeva stanovíme jako procentuální podíl hmotnosti vody obsažené ve vlhkém vzorku a hmotnosti vzorku ve vysušeném stavu.

Rovnice pro výpočet vlhkosti dřeva:

Rovnice 2: Vlhkost dřeva (dle ČSN EN 13183-1)

$$\omega = \frac{m_1 - m_0}{m_0} * 100[\%]$$

kde: m_1 hmotnost zkušebního tělesa ve vlhkém stavu [g]

m_0 hmotnost zkušebního tělesa ve vysušeném stavu [g]

ω vlhkost [%]

5. Výsledky laboratorního měření

5.1 Výsledky pevnosti lepeného spoje ve smyku tahem

V tabulkách 3 – 8 jsou zpracovány výsledky laboratorního měření. Ve výsledcích jsou uvedeny průměrné hodnoty maximální síly potřebné k porušení lepeného spoje, dále pak pevnost lepeného spoje, energie při maximálním tahovém protažení, Youngův modul a rychlost při maximálním tahovém protažení. Tyto hodnoty byly vypočítané z měření pevnosti lepeného spoje u vzorků lepených různými druhy klihů (kostní, kožní, králičí, rybí, kaseinový a albuminový) vystavené těmto klimatickým podmínkám: normálním podmínkám (teplota 22 °C, vlhkost 45 %), zvýšené teplotě a vlhkosti (teplota 30 °C, vlhkost 90 %) a snížené teplotě (teplota -30 °C, vlhkost 0 %). Vlivy těchto klimatických podmínek na pevnost lepených spojů jednotlivých klihů jsou zobrazené v obrázcích 16 – 25, kde je porovnán vliv klimatických podmínek na vlivu kvality lepeného spoje u různých lepidel. Důsledkem vysoké vlhkosti prostředí (90 %) došlo k rozlepení vzorků lepených rybím klihem, proto nebylo možné naměřit žádné hodnoty pro dané klimatické prostředí.

Tab. 3: Pevnost lepeného spoje smrk - Kostní klih

Kostní klíh	Zatížení při max. tahovém protažení	Tahové napětí při max. tahovém protažení	Energie při max. tahovém protažení	Modul (Youngův)	Čas při maximálním tahovém protažení
	N	MPa	J	MPa	s
Normální podmínky					
Průměr	2059,31	3,12	2,71	449,24	3,05
Směrodatná odchylka	336,94	0,51	1,44	102,67	1,19
Variační koeficient	16,36	16,36	52,97	22,86	39,01
Vysoká vlhkost					
Průměr	540,57	0,82	0,27	246,67	1,05
Směrodatná odchylka	250,66	0,38	0,28	78,02	0,67
Variační koeficient	46,37	46,37	104,52	31,63	63,90
Snížená teplota					
Průměr	2531,91	3,84	6,70	373,26	5,82
Směrodatná odchylka	391,52	0,59	3,87	154,31	2,44
Variační koeficient	15,46	15,46	57,79	41,34	41,92

Tab. 4: Pevnost lepeného spoje smrk - Kožní klih

Kožní klíh	Zatížení při max. tahovém protažení	Tahové napětí při max. tahovém protažení	Energie při max. tahovém protažení	Modul (Youngův)	Čas při maximálním tahovém protažení
	N	MPa	J	MPa	s
Normální podmínky					
Průměr	2356,92	3,57	3,35	475,39	3,17
Směrodatná odchylka	422,28	0,64	2,34	108,88	1,58
Variační koeficient	17,92	17,92	69,68	22,90	49,81
Vysoká vlhkost					
Průměr	613,31	0,93	0,36	307,55	1,07
Směrodatná odchylka	319,63	0,48	0,42	125,71	0,77
Variační koeficient	52,12	52,12	117,58	40,87	72,56
Snížená teplota					
Průměr	2386,34	3,62	6,54	364,13	5,52
Směrodatná odchylka	767,50	1,16	4,29	92,07	2,73
Variační koeficient	32,16	32,16	65,55	25,29	49,46

Tab. 5: Pevnost lepeného spoje smrk - Králičí klih

Králičí klíh	Zatížení při max. tahovém protažení	Tahové napětí při max. tahovém protažení	Energie při max. tahovém protažení	Modul (Youngův)	Čas při maximálním tahovém protažení
	N	MPa	J	MPa	s
Normální podmínky					
Průměr	2180,13	3,30	3,94	450,13	3,58
Směrodatná odchylka	594,23	0,90	3,93	125,63	2,36
Variační koeficient	27,26	27,26	99,78	27,91	66,01
Vysoká vlhkost					
Průměr	757,56	1,15	0,44	377,50	1,21
Směrodatná odchylka	195,75	0,30	0,26	61,43	0,51
Variační koeficient	25,84	25,84	58,58	16,27	42,44
Snížená teplota					
Průměr	2532,92	3,84	5,99	471,92	4,98
Směrodatná odchylka	628,87	0,95	4,71	154,56	2,95
Variační koeficient	24,83	24,83	78,54	32,75	59,20

Tab. 6: Pevnost lepeného spoje smrk - Rybí klih

Rybí klíh	Zatížení při max. tahovém protažení	Tahové napětí při max. tahovém protažení	Energie při max. tahovém protažení	Modul (Youngův)	Čas při maximálním tahovém protažení
	N	MPa	J	MPa	s
Normální podmínky					
Průměr	1967,84	2,982	2,45	490,48	2,62
Směrodatná odchylka	338,22	0,51	1,46	84,69	1,13
Variační koeficient	17,19	17,19	59,59	17,27	43,03
Vysoká vlhkost*					
Průměr	-	-	-	-	-
Směrodatná odchylka	-	-	-	-	-
Variační koeficient	-	-	-	-	-
Snížená teplota					
Průměr	2355,27	3,57	5,97	373,71	5,45
Směrodatná odchylka	802,97	1,22	3,66	105,30	2,69
Variační koeficient	34,09	34,09	61,38	28,18	49,33

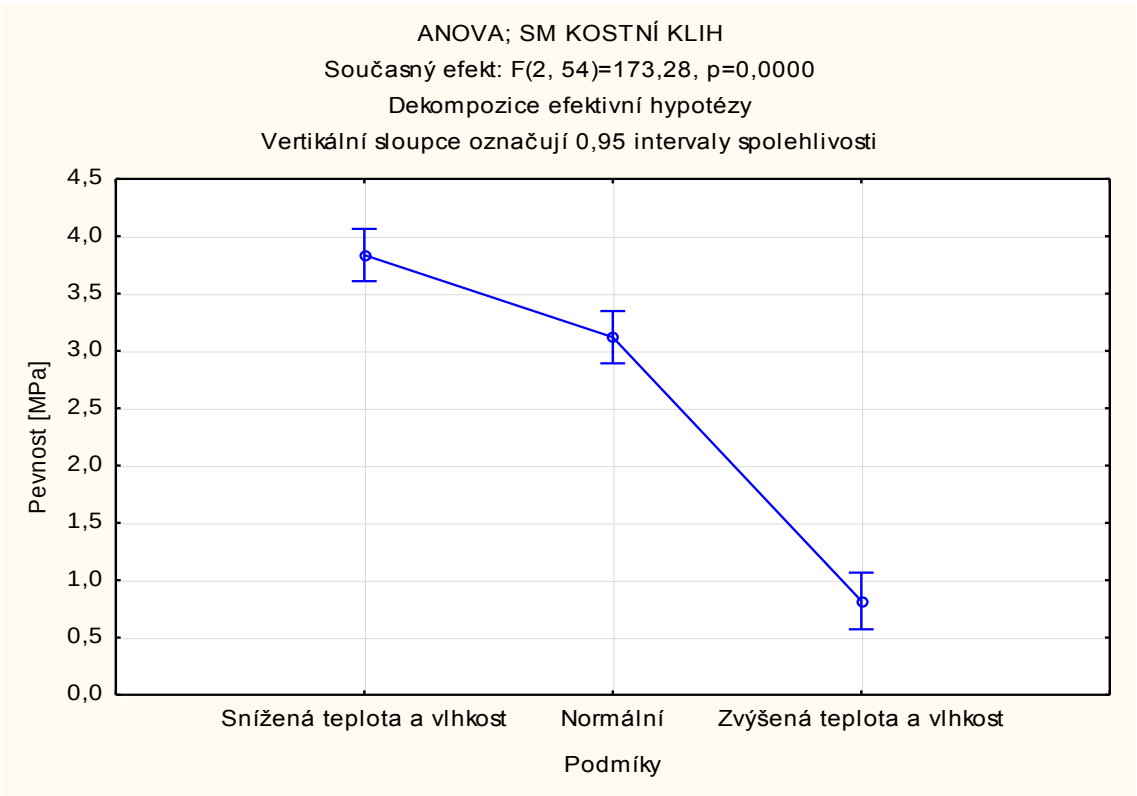
Tab. 7: Pevnost lepeného spoje smrk - Kaseinový klih

Kaseinový klíh	Zatížení při max. tahovém protažení	Tahové napětí při max. tahovém protažení	Energie při max. tahovém protažení	Modul (Youngův)	Čas při maximálním tahovém protažení
	N	MPa	J	MPa	s
Normální podmínky					
Průměr	2234,04	3,39	3,39	469,19	2,98
Směrodatná odchylka	632,77	0,96	3,27	63,15	2,02
Variační koeficient	28,32	28,32	96,46	13,46	67,62
Vysoká vlhkost					
Průměr	1783,15	2,70	6,51	433,22	6,57
Směrodatná odchylka	509,76	0,77	4,87	128,07	3,93
Variační koeficient	28,59	28,59	74,80	29,56	59,85
Snížená teplota					
Průměr	2286,88	3,47	4,76	424,59	4,14
Směrodatná odchylka	679,24	1,03	5,05	131,26	2,78
Variační koeficient	29,70	29,70	106,10	30,91	67,13

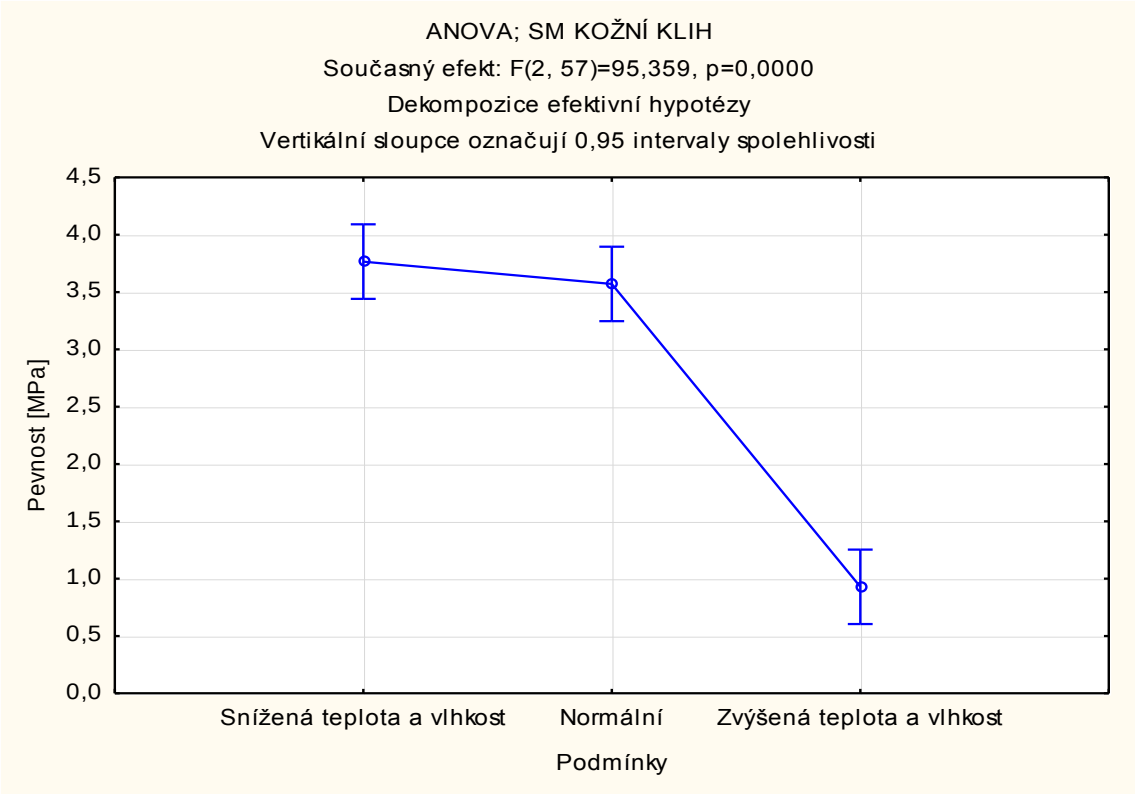
* U vzorků lepených rybím klihem došlo vlivem vysoké vlhkosti prostředí k rozlepení lepeného spoje

Tab. 8: Pevnost lepeného spoje smrk - Alnuminový klih

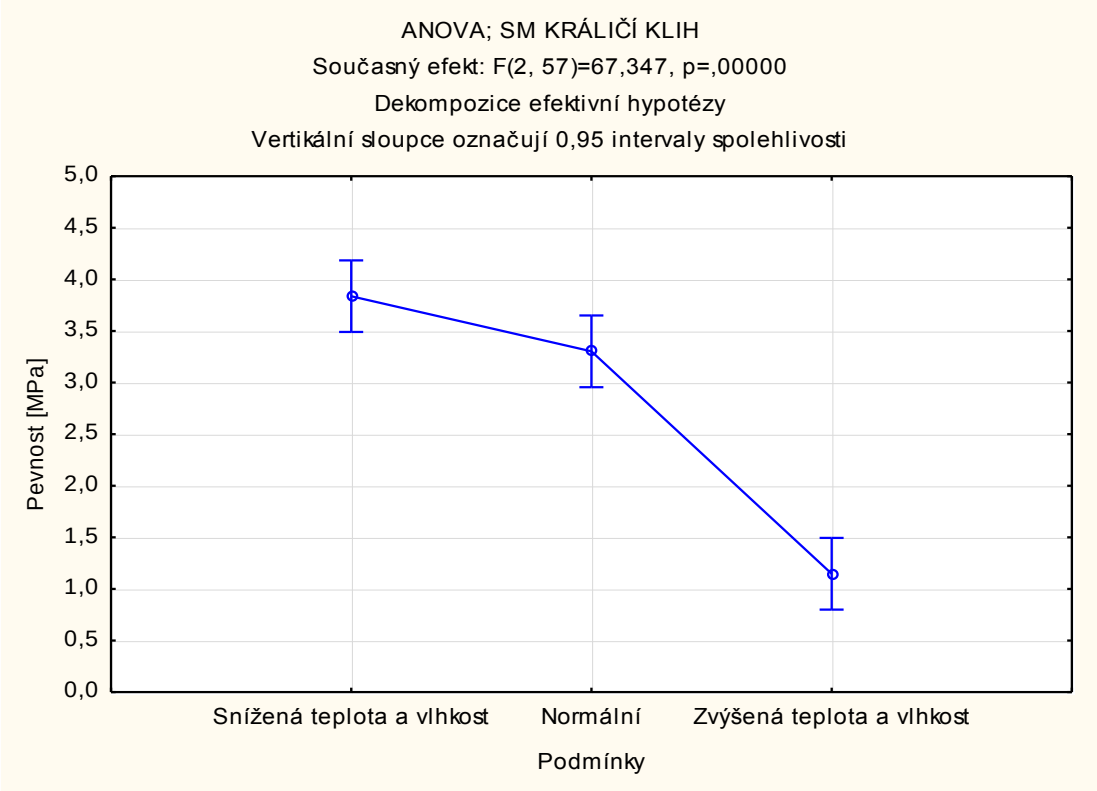
Albuminový klíh	Zatížení při max. tahovém protažení	Tahové napětí při max. tahovém protažení	Energie při max. tahovém protažení	Modul (Youngův)	Čas při maximálním tahovém protažení
	N	MPa	J	MPa	s
Normální podmínky					
Průměr	2145,30	3,25	3,08	476,29	2,90
Směrodatná odchylka	534,59	0,81	2,67	70,33	1,70
Variační koeficient	24,61	24,61	84,17	14,73	59,40
Vysoká vlhkost					
Průměr	1850,97	2,80	6,20	420,12	6,15
Směrodatná odchylka	472,61	0,72	4,45	128,76	3,50
Variační koeficient	26,25	26,25	71,06	30,80	55,90
Snížená teplota					
Průměr	2209,54	3,35	6,56	388,68	5,91
Směrodatná odchylka	618,92	0,94	4,41	114,45	3,07
Variační koeficient	28,19	28,19	67,34	29,39	51,68



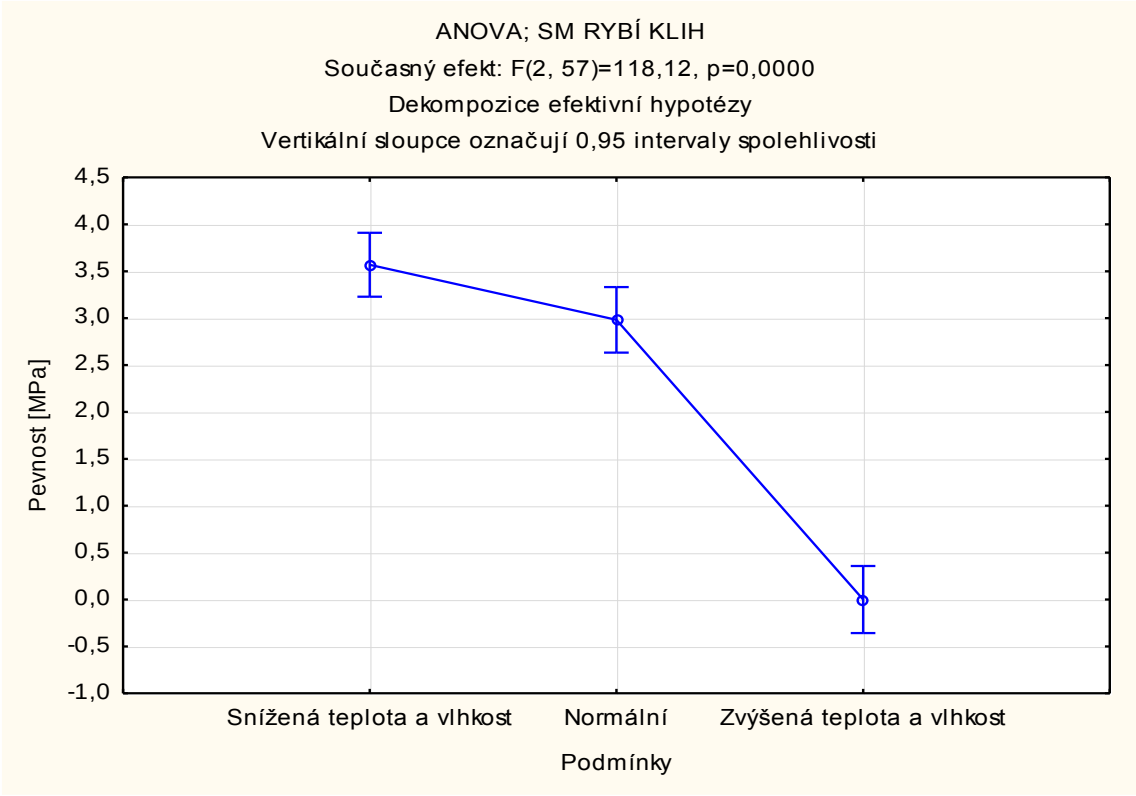
Obr. 16: Výsledek statistického testu ANOVA - pevnost smrk lepeného kostním klihem



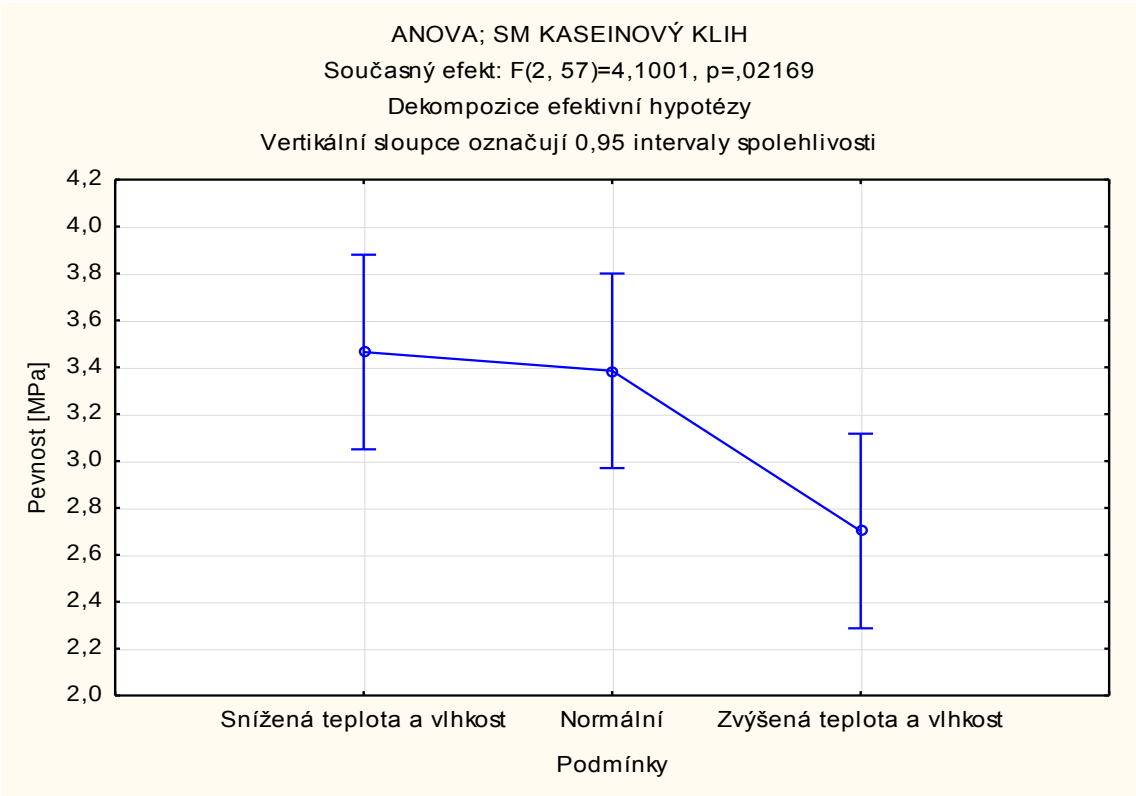
Obr. 17: Výsledek statistického testu ANOVA - pevnost smrk lepeného kožním klihem



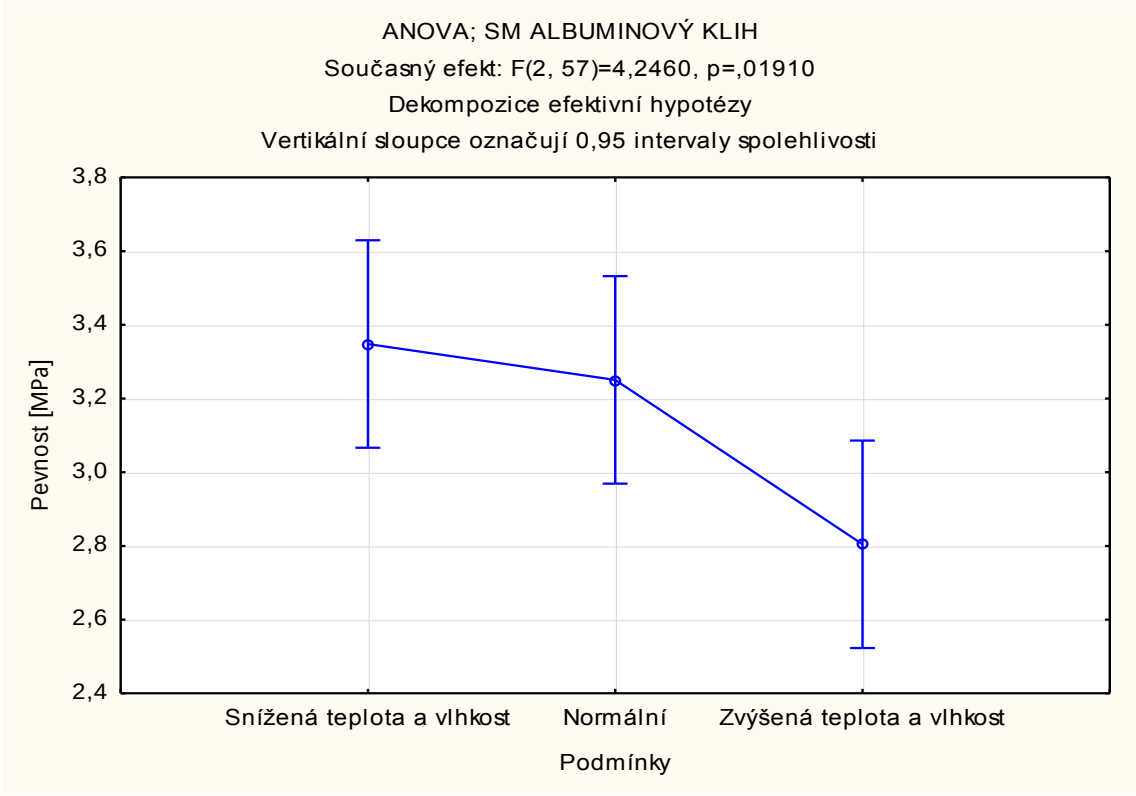
Obr. 18: Výsledek statistického testu ANOVA - pevnost smrk lepeného králičím klihem



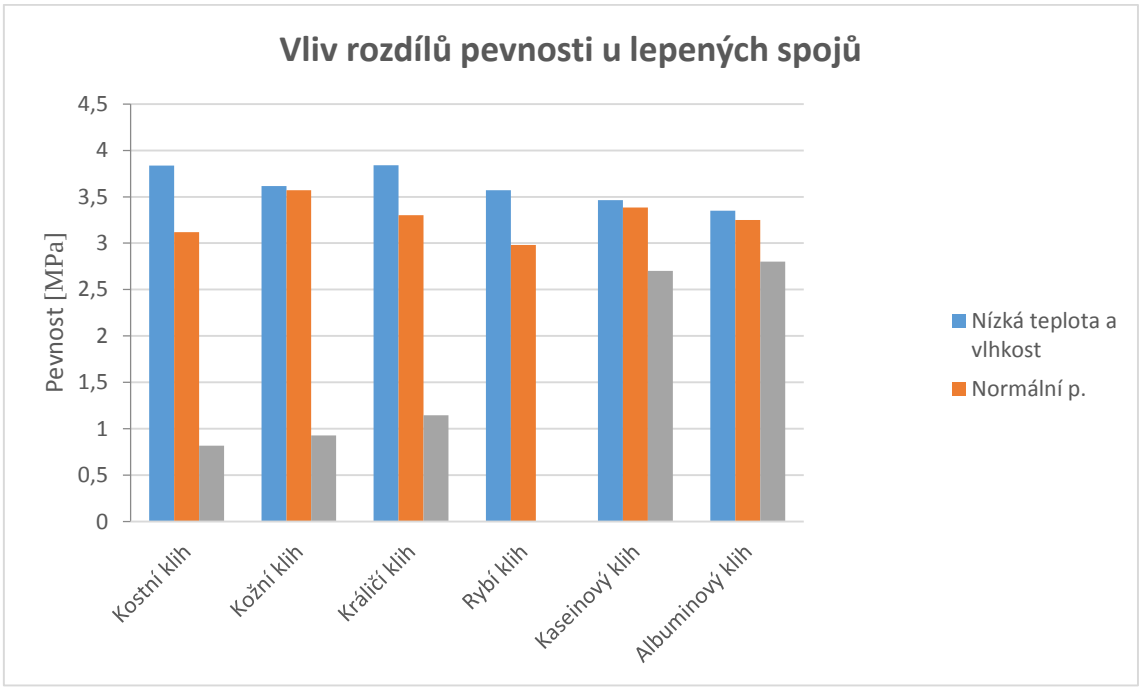
Obr. 19: Výsledek statistického testu ANOVA - pevnost smrk lepeného rybím klihem



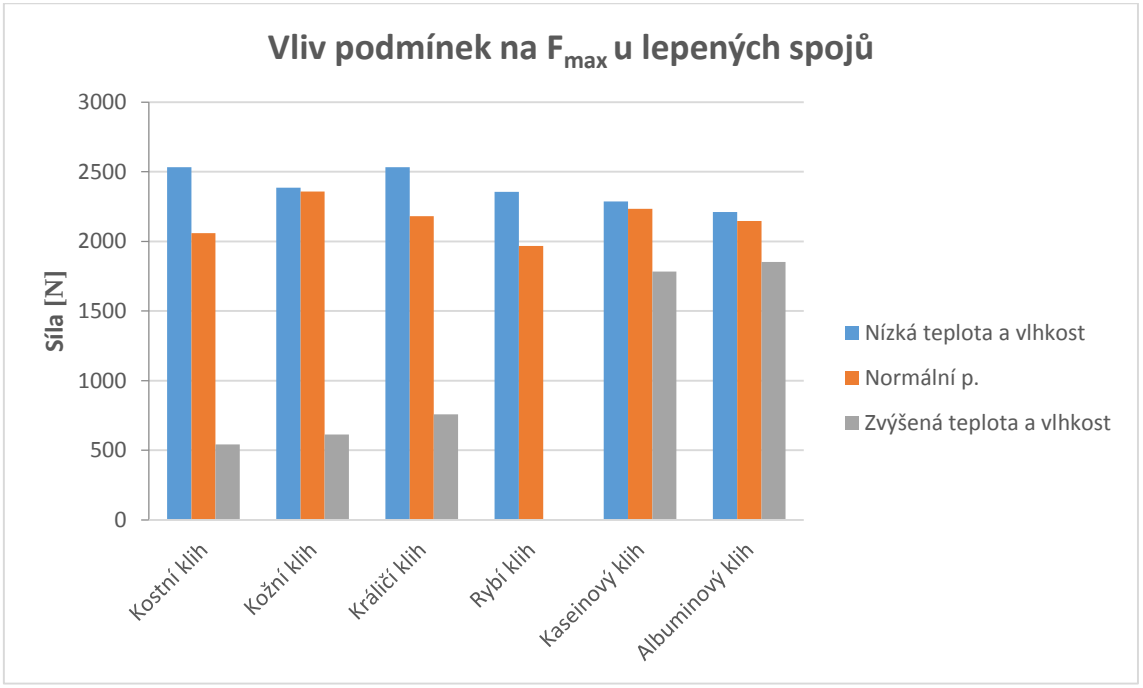
Obr. 20: Výsledek statistického testu ANOVA - pevnost smrk lepeného kaseinovým klihem



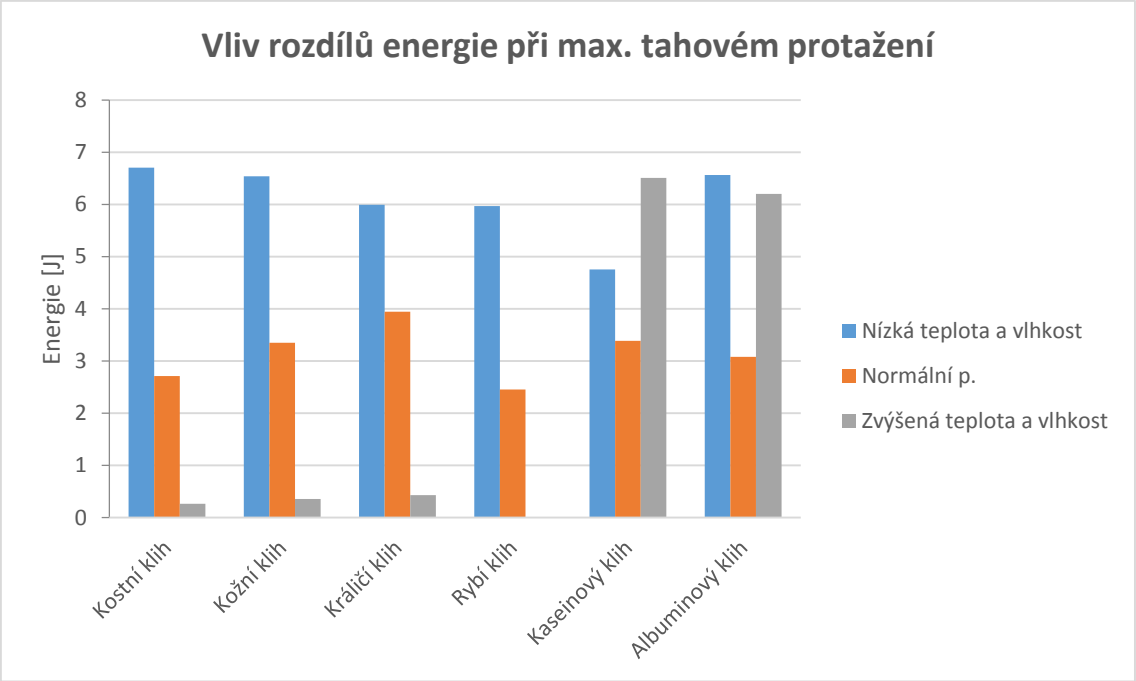
Obr. 21: Výsledek statistického testu ANOVA - pevnost smrk lepeného albuminovým klihem



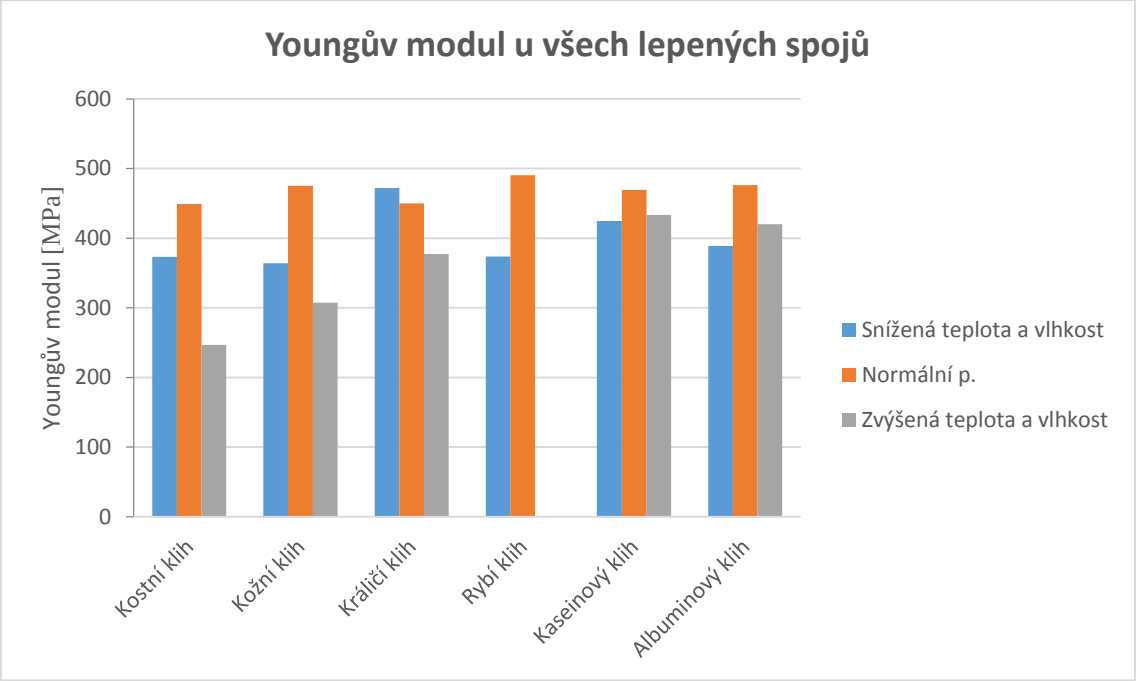
Obr. 22: Vliv rozdílů pevnosti u všech lepidel za všech zkoušených klimatických podmínek



Obr. 23: Vliv rozdílů Fmax u všech použitých lepidel za všech zkoušených klimatických podmínek

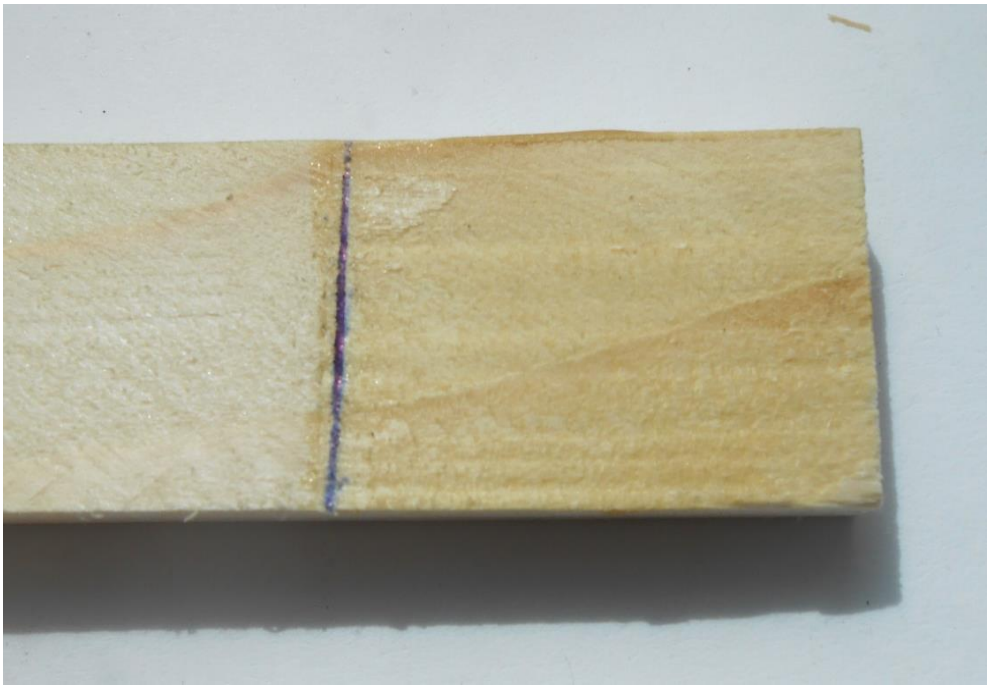


Obr. 24: Vliv rozdílů energie při maximálním tahovém protažení u všech lepidel za všech zkoušených klimatických podmínek



Obr. 25: Youngův modul u všech lepidel ve všech zkoušených klimatických podmínkách

Obr. 26: Porušení lepeného spoje ve dřevě (Laštovička)



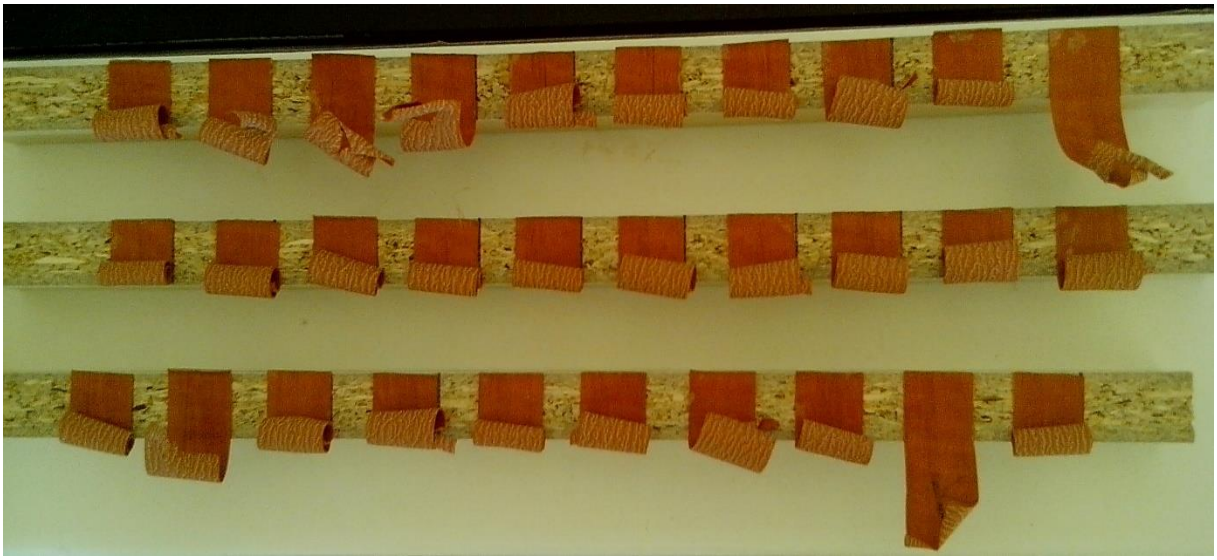
Obr. 27: Porušení lepeného spoje ve dřevě (Laštovička)

5.2 Výsledky odolnosti lepidla proti postupnému zvyšování teploty

V tabulce č. 9 jsou zobrazeny výsledky zkoušky odolnosti lepidla proti postupnému zvyšování teploty. U žádného testovaného vzorku nedošlo k uvolnění lepeného spoje, ale došlo až k protržení olepovací pásky vlivem vysoké teploty, proto jsou ve výsledcích zobrazeny pouze hodnoty času a teploty kdy došlo k protržení olepovací pásky.

Tab. 9: Hodnoty teplot a časů, kdy došlo k porušení olepovacího pásku

	Kostní klih		**Kožní klih**		**Králičí klih**		**Rybí klih**		**Kaseinový klih**		**Albuminový klih**	
Vzorek	čas	Teplota	čas	Teplota	čas	Teplota	čas	Teplota	čas	Teplota	čas	Teplota
1	5	110	4	110	2	110	1	110	3	110	14	110
2	7	110	6	110	8	110	5	110	10	110	15	110
3	12	110	7	110	25	110	19	110	14	110	17	110
4	15	110	12	110	37	110	22	110	25	110	21	110
5	28	110	25	110	38	110	44	110	38	110	23	110
6	32	110	28	110	42	110	48	110	45	110	28	110
7	41	110	40	110	45	110	0	111	0	113	30	110
8	42	110	0	111	50	110	0	111	0	114	35	110
9	48	110	0	113	0	112	0	113	0	114	45	110
10	0	112	0	113	0	113	0	115	0	115	52	110
11	0	113	0	114	0	115	0	115	0	115	0	114
12	0	116	0	116	0	116	0	116	0	115	0	115
13	0	117	0	117	0	116	0	117	0	117	0	115
14	0	119	0	119	0	117	0	117	0	117	0	116
15	0	119	5	119	0	119	0	118	0	117	0	117
16	0	119	1	120	0	119	0	118	0	118	0	118
17	1	120	1	120	0	119	0	119	0	119	0	119
18	1	120	1	120	1	120	0	119	0	119	0	119
19	2	120	1	120	1	120	0	119	0	119	1	120
20	2	120	2	120	1	120	0	119	1	120	1	120
21	2	120	2	120	1	120	1	120	1	120	1	120
22	2	120	2	120	1	120	1	120	1	120	1	120
23	3	120	2	120	2	120	1	120	1	120	1	120
24	3	120	2	120	2	120	1	120	1	120	1	120
25	3	120	2	120	2	120	2	120	2	120	1	120
26	4	120	3	120	2	120	2	120	2	120	2	120
27	4	120	3	120	3	120	2	120	3	120	2	120
28	5	120	4	120	3	120	3	120	3	120	2	120
29	6	120	6	120	4	120	3	120	4	120	3	120
30	6	120	7	120	4	120	4	120	5	120	3	120



Obr. 28: Testované vzorky po protržení olepovací pásky

6 Diskuze a vyhodnocení dosažených výsledků

Tato bakalářská práce se zabývala vlivem extrémních klimatických podmínek zejména vlhkosti na pevnost spoje ve smyku tahem lepeného několika druhy klasických živočišných lepidel. Zkouška proběhla na našem nejpoužívanějším dřevě smrk. Zkoušeno bylo šest známých druhů klihů: kostní, kožní, králičí, rybí, kaseinový a albuminový. Současně proběhla zkouška odolnosti těchto klihových spojů vůči zvyšující se teplotě.

Hlavním sledovaným faktorem u těchto šesti druhů klihů byl vliv vlhkosti a teploty na jejich výslednou pevnost.

Z laboratorního měření bylo zjištěno, že největší pevnosti ve smyku tahem bylo dosaženo, pokud byly vzorky uloženy v prostředí nízké teploty – 30 °C a vlhkosti 0 %. Pokud budeme hodnotit jednotlivé klihy vystavených těmto podmínkám, tak nejlepší průměrné pevnosti se dosáhlo u vzorků lepených kostním a králičím klihem, u obou byla průměrná pevnost 3,84 MPa (viz. tab. 3, str. 38 a tab. 5 str. 39). Naopak nejhorší pevnosti bylo dosaženo u vzorků lepených albuminovým klihem (průměrná pevnost 3,35 MPa), (tab. 8, str. 41). U zbylých klihů byla naměřena pevnost nižší (oproti kostnímu klihu), u kožního klihu to bylo o 6 %, rybího o 7 % a kaseinového dokonce o 10% nižší (viz tab. 4 – 7, str. 39 – 40). Když budeme porovnávat vzorky, které byly uloženy v normálním prostředí (teplota 22 °C a vlhkost 45 %) zjistíme, že došlo k poklesu pevnosti (oproti pevnosti za snížené teploty a vlhkosti) a to až o 19 % u kostního klihu (tab. 3, str. 38), u králičího to bylo o 14 % (tab.5, str. 39) a rybího o 16 % (tab. 6, str. 40). Naopak třeba u albuminového nebo kaseinového klihu (tab. 7 a 8, str. 40 a 41) došlo ke snížení pevnosti jen o 3 % a u kožního klihu (tab. 4, str. 39) to bylo dokonce jen o 1 %, což je v rozsahu směrodatné odchylky. Důvodem, proč za nižších teplot bylo dosahováno vyšších pevností, byl v obsahu vody ve dřevě a lepidle, který vlivem prostředí byl minimální a nedocházelo tak k jejímu smršťování a snižování pevnostních vazeb. Tyto výsledky také dokazují, že albuminové a kaseinové klihy jsou odolnější vůči vlhkosti než klihy glutinové. Poslední z podmínek, kterým byly klihové spoje vystaveny bylo prostředí o vysoké vlhkosti 90 % a zvýšené teplotě 30 °C. Při těchto podmínkách docházelo k rapidnímu snížení pevností oproti podmínkám snížené teploty a vlhkosti, kdy například u kostního klihu došlo ke zhoršení pevnosti o 80 %. U rybího klihu došlo dokonce zcela k rozpadu lepeného spoje. Když porovnáme ještě další klihy tak u kožního klihu došlo ke snížení pevnosti o 73 % a u králičího o 70 %. K nejmenšímu poklesu pevnosti došlo u albuminového klihu, kdy pevnost klesla jen o 16 % (oproti podmínkám snížené teploty a vlhkosti). Také u kaseinového klihu nebyl pokles zas až tolik výrazný, kdy došlo ke snížení

pevnosti o 23 %. Zde se opět potvrdilo, že albuminové a kaseinové klihy jsou odolnější vůči vlhkosti, než klihy glutinové, u kterých došlo k razantnímu snížení pevnosti.

Celkově měli albuminové a kaseinové klihy nejmenší rozdíly pevností v závislosti na podmínkách, kterým byly vystavené. To dokládá i statistické vyhodnocení, kde můžeme vidět, že pokles pevností vlivem vlhkosti není až tolik významný. Naopak u ostatních glutinových klihů došlo podle statistického vyhodnocení k velmi významnému poklesu pevnosti v závislosti na vlhkosti prostředí a teplotě prostředí.

Dalším parametrem měřeným při smykovém namáhání v tahu byla energie při maximálním tahovém protažení. Kde tak jako u naměřených hodnot pevnosti, jsou i tyto hodnoty energie velmi rozdílné v závislosti na druhu podmínek a typu klihu. Tak jako u pevností jsou i tyto hodnoty energie rozdílné pro glutinové klihy a albuminové a kaseinové. Nejvyšších hodnot bylo dosahováno u vzorků vystavených podmínkám snížené teploty a vlhkosti, kde byla také dosažena nejvyšší hodnota energie, a to u kostního klihu (6,7 J). Se zvyšováním teploty a vlhkosti docházelo k rapidní spotřebě energie, u kostního klihu za normálních podmínek o 60 % a za zvýšené vlhkosti a teploty dokonce o 96 % (oproti podmínkám snížené teploty). Oproti tomu u albuminového klihu byla energie za nízkých teplot a také za zvýšených teplot a vlhkostí skoro stejná. Podrobnější výsledky viz. kapitola Výsledky (tab. 3 – 8, str. 38 – 41)

Posledním naměřeným parametrem byl Youngův modul pružnosti. Nejvyšších hodnot bylo naměřeno u všech vzorků vystavených normálním podmínkám, kde byl nejvyšší modul pružnosti naměřen u vzorků rybího klihu (průměrná hodnota 490 MPa). Naopak nejnižší hodnoty bylo zaznamenáno u vzorků lepených kostním klihem (průměrná hodnota 246 MPa), které byly vystaveny podmínkám zvýšené vlhkosti a teplotě. Se zvyšování vlhkosti prostředí docházelo ke snižování hodnot Youngova modulu u všech zkoušených vzorků oproti hodnotám za normálních podmínek. Také při snižování teploty došlo ke snížení modulu pružnosti, kromě králičího klihu, kde nastalo zvýšení modulu pružnosti oproti normálním podmínkám.

U vzorků bylo také sledováno místo porušení, k němuž docházelo jednak v lepeném materiálu, nebo v lepeném spoji v závislosti a druhu klihu a také na podmínkách, kterým byly lepené vzorky vystaveny. Nejvíce na způsobu poškození měla vliv vlhkost prostředí, kdy při vlhkosti prostředí 90 % a teplotě 30 °C došlo u čtyř testovaných klihů (kostní, kožní, králičí a rybí) pouze k porušení v lepidle. Je to dáno tím, že adheze a pevnost lepidla je menší než koheze. Zato u albuminového klihu došlo skoro u 50 % vzorků k porušení ve dřevě. V případě kaseinového klihu nastalo porušení ve dřevě u 40 % testovaných vzorků. U vzorků

vystavených normálním podmínkám docházelo více k porušení v lepeném dřevě, a to vždy nad 50 % vzorků. Je to dáno tím, že adheze a koheze lepidla je větší než pevnost dřeva. Třeba u kaseinového klihu došlo k porušení v lepeném dřevě u 68 % testovaných vzorků, u kožního klihu to bylo 63 % a u kostního klihu došlo k porušení ve dřevě jen u 55 % testovaných vzorků. Porušení, které nastávalo u vzorků, které byly vystaveny podmínkám nízké teploty a vlhkosti bylo podobné jako u normálních podmínek. Taktéž docházelo k porušení v lepeném dřevě (vždy nad 50 % vzorků), tak i v lepidle. U kostního klihu došlo k porušení ve dřevě u 65 % vzorků, u albuminového to bylo u 55 % vzorků a třeba u rybího klihu to bylo jen 51 % vzorků.

Z výsledků postupného zvyšování teploty bylo zjištěno, že všechny klihy, a to jak glutinové, tak i albuminové nebo kaseinové zvyšování teploty vydržely. Zvyšování teploty probíhalo až do 120 °C, kdy poté došlo k degradaci a protržení olepovací pásky. U žádného ze zmiňovaných klihů nedošlo k uvolnění nebo dokonce rozlepení spoje. A to i navzdory tomu, že živočišné klihy nepatří mezi odolná lepidla a to jak proti vlhkosti, tak i teplotě. Důvodem, proč nedošlo k uvolnění klihových spojů, bylo, že při ohřevu vzorků došlo k vysušení vody jak z lepidla, tak i z lepeného materiálu a lepený spoj se stal nerozpustný. Podrobný přehled všech naměřených výsledků viz. kapitola Výsledky (tab. 9, str. 48)

7 Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo zjistit, jaký vliv má extrémní klimatické prostředí na pevnost klihových spojů.

Z laboratorních výsledků vyplývá, že vysoká vlhkost prostředí nepříznivě ovlivňuje pevnost většiny klihových spojů. Zejména u rybího klihu došlo zcela k rozlepení kližné spáry. U kostního, kožního a králičího klihu došlo ke značnému poklesu pevnosti. Pouze u spojů lepených albuminovým a kaseinovým klihem nedošlo tak k razantnímu poklesu pevnosti.
Naopak nejlepších výsledků bylo dosaženo za snížené teploty a vlhkosti prostředí, kde bylo u vzorků lepených glutinovými klihy bylo dosaženo o něco vyšší pevnosti než u vzorků lepených albuminovými a kaseinovými klihy. O něco málo horší pevnosti bylo dosaženo u vzorků vystavených normálním podmínkám. Kde u kostního, králičího a rybího klihu došlo k menšímu poklesu pevnosti, u zbylých klihů albuminového, kaseinového a kožního prakticky k žádným změnám pevnosti nedošlo.

Při postupném zvyšování teploty až na 120 °C nedošlo ani u jednoho klihu k uvolnění lepeného spoje a spoj tak přesáhl pevnost olepovacího pásku.

Ze zjištěných výsledků je patrné, že nejlepší vodovzdornosti dosáhly klihy albuminové a kaseinové. Čehož lze v praxi třeba využít při restaurování starého nábytku, který má být poté uložen ve vlhkém prostředí. Pokud nejsou kladeny nároky na vlhkost prostředí je lepší použit klihy glutinové zvláště kostní a kožní možno i králičí, protože sehnání a jejich příprava je jednoduší. I pevnost při nižší vlhkosti prostředí byla o něco vyšší, než u albuminových a kasinových klihů. Jsou-li kladeny nároky na teplotu prostředí, lze použit všechny druhy klihů.

8 Conclusion

The purpose of this Bachelor's thesis was determination of the influence of extreme conditions on the strength of glued joints.

The laboratory results demonstrate that the high humidity adversely affects the strength of most of glued joints. The glued joints were particularly completely unglued after using a fish glue. The significant decrease in the strength was observed by bone glues, skin glues and rabbit glues. The decrease in the strength by joints, which were glued by casein glues and albumin glues, was not as dramatic as by other. On the other hand, the best results have been achieved by a reduced temperature and humidity, when the strength of joints of samples, which were glued by glutin glues, was on the contrary somewhat higher than the samples, which were glued by casein glues and albumin glues. The strength of joints, which were exposed to normal conditions, was slightly worse. A smaller decrease in the strength was observed by bone glues, rabbit glues and fish glues, but no changes were observed by remaining glues, as skin glues, casein glues and albumin glues.

The glued joints was not dislodge while gradually raising the temperature up to 120°C in either of glues and joint exceeded the strength of the edge banding tape.

The obtained results indicate, that casein glues and albumin glues are for the best resistance of water, this results can be used in practice in the restoration of old furniture, which have to be stored in a humid environment. Bone glues, skin glues and rabbit glues, these glues is better for use if there are not demands on humidity, because they are easier to fetch them and their preparation is simpler. The strength was slightly higher even lower humidity environment than by casein glues and albumin glues. If are the demands on the ambient temperature, can be used all kinds of glues.

9. Použitá literatura

EISNER, Karel a Vladimír BERGER. *Lepidla v dřevařském průmyslu*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1958. Řada dřevařské literatury.

EISNER, Karel. *Příručka lepení dřeva*. 2., přeprac. a rozš. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1966. Řada dřevařské literatury.

KOMÁREK, Zdeněk. *Prehľad lepidiel*. Bratislava: Alfa, 1987. Edícia chemickej literatúry.

KORENEC, Roman. *Měření povrchového napětí na zařízení SEE systém*. Pardubice 2013 Bakalářská práce, Fakulta chemicko-technologická - Univerzita Pardubice

KOUŘIL, Jan a František BUBEN. *Truhlářství: tradice z pohledu dneška*. Praha: Grada, 2003. Stavitel. ISBN 80-247-9056-4.

MITTAL, K. L. a A. PIZZI (eds.). *Wood adhesives*. Boca Raton: CRC Press, 2011. ISBN 978-90-04-19093-1.

MRŇOUS, Vladimír. *Pevnost lepených spojů listnatých druhů dřev, vystavených extrémním podmínkám* Brno, 2010 Bakalářská práce, Mendelova univerzita v Brně Lesnická a dřevařská fakulta

LIPTÁKOVÁ, Eva a Milan SEDLIAČIK. *Chémia a aplikácia pomocných látok v drevárskom priemysle*. Bratislava: Alfa, 1989. Edícia drevárskej, celulozárskej a papiernickej literatúry.

LOSOS, Ludvík. *Pozlacování a polychromie*. Praha: Grada, 2005. Řemesla, tradice, technika. ISBN 80-247-0913-9.

OSTEN, Miloš. *Práce s lepidly a tmely*. 2., přeprac. vyd. Praha: SNTL, 1982. Polytechnická knižnice. Příručky.

PEKAŘ, Josef. *Vliv technologických parametrů na pevnost lepených spojů.* Brno, 2007. Diplomová práce. Mendelova univerzita v Brně Lesnická a dřevařská fakulta

POKORNÝ, Jiří. *Lepení a tmelení v dílně i domácnosti: [dřevo, kovy, plasty, sklo, další materiály a výrobky]*. Praha: Grada, 2000. Profi & hobby. ISBN 80-7169-857-1.

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

ROWELL, Roger M. *Handbook of wood chemistry and wood composites*. 2nd ed. Boca Raton: CRC Press, c2013. ISBN 978-1-4398-5380-1.

SEDLIAČIK, Milan a Ján SEDLIAČIK. *Chemické látky v drevárskom priemysle*. Zvolen: Technická univerzita, 1998. ISBN 80-228-0745-1.

TESAŘOVÁ, Daniela. *Povrchové úpravy dřeva*. Praha: Grada, 2014. Profi & hobby. ISBN 978-80-247-4715-6.

TRACTON, Arthur A. (ed.). *Coatings materials and surface coatings*. Boca Raton, FL: CRC Press, c2007. ISBN 978-1-4200-4404-1.

Internetové zdroje

Demos trade. *Vše pro výrobu nábytku.* [online]. [cit. 2016-05-05]. Dostupné z: *http://www.demos-trade.cz/cz/dokumenty/Certifikaty/Kronospan/kronospan-technicky-bezpecnostni-list-dtd-laminovane.pdf*

Hranipex. . [online]. [cit. 2016-05-05]. Dostupné z: *http://www.hranipex.cz/cs/katalog/abs-hrany*

Instron. *Materials Testing Machines for Tensile.* [online]. [cit. 2016-03-30]. Dostupné z: *http://www.instron.us/en-us/products/testing-systems/universal-testing-systems/electromechanical/3300/3360-dual-column*

Manahuna. *Materiály na hudební nástroje.* [online]. [cit. 2016-03-26]. Dostupné z: *http://www.manahuna.cz/manahuna/eshop/6-1-Klihy-a-lepidla*

Memmert. *Experts in Thermostatics.* [online]. [cit. 2016-03-30]. Dostupné z: *https://www.memmert.com/index.php?eID=dumpFile&t=f&f=2714&token=8d38ec49fc6394104ccf9106214df01f1f2c8f71*

Polymertest. *Vývoj a prodej zkušebních přístrojů.* [online]. [cit. 2016-03-30]. Dostupné z: *http://www.polymertest.cz/cz/gumarenske-laboratore.php*

Produits Tembi. *Distributeur canadien de produits pour la finition du bois.* [online]. [cit. 2016-03-27]. Dostupné z:*https://tembi.ca/media/catalog/spec/technicaldatasheet-fishglue-finico.pdf*

Rojek. *Dřevoobráběcí stroje.* [online]. [cit. 2016-02-20]. Dostupné z: *http://www.rojek.cz/rojek.asp?jazyk=cz&d=rojek_drevoobrabeci_stroje_vyrobky&go=Vyrobky*

Tanex. *Přírodní produkty pro váš život.* [online]. [cit. 2016-03-26]. Dostupné z: *http://www.tanex.cz/cz/produkty/kozni-klih/kralici-klih.html*

Ústav nauky o dřevě. [online]. [cit. 2016-03-20]. Dostupné z:*http://ldf.mendelu.cz/und/sites/default/files/multimedia/stavba_dreva/lexikon/makro/index.html?drevina=sm*

Normy

ČSN EN 13183-1 (491016) Vlhkost vzorku řeziva. Část 1, Stanovení váhovou metodou. 2002

ČSN EN 205 (66 8508) Lepidla – Lepidla na dřevo pro nekonstrukční aplikace -

ČSN 1 30 001 Dýhování a lepení. 2010

ČSN 1 30 002 Lepidla ve výrobě nábytku – Rozdělení a základní technické požadavky. 2008

ČSN 1 30 150 Příprava a používání glutinových lepidel. 2008

ON 90 0297 Stanovení odolnosti tavného lepidla proti postupnému zvyšování teploty. 2012

10. Seznam zkratek

SM - smrk

L-DTD - laminovaná dřevotřísková deska

ČSN - česká technická norma

PVAC - polyvinylacetát

MPa - megapascal

F_{max} - maximální síla potřebná k porušení vzorku

11. Seznam tabulek

Tab. 1: Vlhkost zkušebních vzorků 34
Tab. 2: Průměr hmotností nánosů u jednotlivých druhů klihu pro všechny typy podmínek ... 34
Tab. 3: Pevnost lepeného spoje smrk - Kostní klih 38
Tab. 4: Pevnost lepeného spoje smrk - Kožní klih 39
Tab. 5: Pevnost lepeného spoje smrk - Králičí klih 39
Tab. 6: Pevnost lepeného spoje smrk - Rybí klih 40
Tab. 7: Pevnost lepeného spoje smrk - Kaseinový klih 40
Tab. 8: Pevnost lepeného spoje smrk - Alnuminový klih 41
Tab. 9: Hodnoty teplot a časů, kdy došlo k porušení olepovacího pásku 48

12. Seznam obrázků

Obr. 1:Způsoby adhezivní interakce uvnitř dřeva buněčné stěny (Rowell 2005) 11
Obr. 2: Smáčení povrchu kapalinou (Korenec 2013)..... 13
Obr. 3: Pronikání lepidla a jeho přenos do materiálu (Rowell 2005) 16
Obr. 4: Obr. 4: Vliv vlhkosti lepeného dřeva na pevnost lepeného spoje ve smyku močovinoformaldehydového lepidla (Mrňous 2010)..... 16
Obr. 5: Vliv faktorů na množství penetrace lepidla (Rowell 2005) 17
Obr. 6: α-aminokyselina (Liptáková a Sedliačik 1989) 19
Obr. 7: Nerozpustné soli (Liptáková a Sedliačik 1989) 19
Obr. 8: Pokles pevnosti při zahřívání (Liptáková a Sedliačik 1989)..... 20
Obr. 9: Pokles viskozity při zahřívání (Liptáková a Sedliačik 1989..... 20
Obr. 10: Trhací zařízení INSTON 3365 (http://www.instron.us/) 31
Obr. 11: Technický laboratorní lis POLYMERTEST (http://www.polymertest.cz) 32
Obr. 12: Klimatizační komora VENTICELL 111 (Laštovička) 32
Obr. 13: Zkušební těleso (TurboCAD Laštovička)..... 34
Obr. 14: Zkušební těleso (ON 90 0297)..... 35
Obr. 15: Přípravek na upnutí těles (ON 90 0297) 36
Obr. 16: Výsledek statistického testu ANOVA - pevnost smrk lepeného kostním klihem 41
Obr. 17: Výsledek statistického testu ANOVA - pevnost smrk lepeného kožním klihem 42
Obr. 18: Výsledek statistického testu ANOVA - pevnost smrk lepeného králičím klihem..... 42
Obr. 19: Výsledek statistického testu ANOVA - pevnost smrk lepeného rybím klihem..... 43
Obr. 20: Výsledek statistického testu ANOVA - pevnost smrk lepeného kaseinovým klihem43
Obr. 21: Výsledek statistického testu ANOVA - pevnost smrk lepeného albuminovým klihem 44
Obr. 22: Vliv rozdílů pevnosti u všech lepidel za všech zkoušených klimatických podmínek 45
Obr. 23: Vliv rozdílů Fmax u všech použitých lepidel za všech zkoušených klimatických podmínek..... 45
Obr. 24: Vliv rozdílů energie při maximálním tahovém protažení u všech lepidel za všech zkoušených klimatických podmínek 46
Obr. 25: Youngův modul u všech lepidel ve všech zkoušených klimatických podmínkách ... 46
Obr. 26: Porušení lepeného spoje ve dřevě (Laštovička)..... 47
Obr. 27: Porušení lepeného spoje ve dřevě (Laštovička)..... 47
Obr. 28: Testované vzorky po protržení olepovací pásky..... 49

13. Seznam rovnic

Rovnice 1: Pevnost τ 37
Rovnice 2: Vlhkost dřeva (dle ČSN EN 13183-1) 37