

Mendelova univerzita v Brně

Lesnická a dřevařská fakulta

Ústav nauky o dřevě



**Lesnická
a dřevařská
fakulta**

**Posouzení procesu delaminace lepených
materiálů**

Diplomová práce

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci na téma: „**Posouzení procesu delaminace lepených materiálů**“ zpracoval samostatně a uvedl jsem všechny použité prameny informací. Souhlasím, aby moje diplomová 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 uzavření licenční smlouvy a užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 Autorského zákona.

Autor kvalifikační práce se dále zavazuje, že před sepsáním licenční smlouvy o využití autorských práv díla s jinou osobou (subjektem) si vyžádá písemné stanovisko univerzity o tom, že předmětná licenční smlouva není v rozporu s oprávněnými zájmy univerzity a zavazuje se uhradit případný příspěvek na úhradu nákladů se vznikem díla, a to až do jejich skutečné výše.

V Brně dne.....

Podpis studenta.....

Poděkování:

Rád bych poděkoval svým rodičům Janě Matušincové a Ludvíku Matušincovi, bratrovi Romanu Matušincovi, své přítelkyni Evě Čapkové a v neposlední řadě celé své rodině za velkou podporu ve studiu. Dále bych chtěl poděkovat panu doc. Dr. Ing. Pavlu Královi a panu Ing. Josefu Hlavatému, Ph.D. za poskytnutí všech potřebných materiálů a ochotu při zpracování práce.

Chci poděkovat:

Firmě Agrospol Lužná s.r.o. za poskytnuté informace, materiál a také za velký přínos do mého života.

Jméno a příjmení: Bc. Luděk Matušinec

Název diplomové práce: Posouzení procesu delaminace lepených materiálů

Abstrakt:

Cílem diplomové práce je posoudit proces delaminace na lepeném hranolu. Hodnoceny budou různé typy dřevin (SM, DB) v kombinaci s tepelně upraveným dřevem (Thermowood TW). Tyto materiály budou exponovány v prostředí se zvýšenou vlhkostí. Dále bude posouzena smyková pevnost zkušebních vzorků, které budou rovněž vystaveny podmínkám se zvýšenou vlhkostí prostředí. Na základě získaných výsledků měření, budou hodnoceny odlišné typy lepených spojů. Ty se budou lišit typem a množstvím nánosu lepidla. Práce se skládá ze dvou částí. První část práce se zabývá literární rešerší o lepení, tepelné modifikaci dřeva a moderních lepených materiálech. Druhá část diplomové práce je praktická, kde bude stanovena metodika provádění experimentu a následné provedení zkoušek. V diplomové práci budou zobrazeny tabulky a grafy, které budou v závěru práce vyhodnoceny a okomentovány pro praktické využití ve firmě.

Klíčová slova:

Delaminace
Eurohranol
Lepená spára
Lepený hranol
Lepidlo
Masivní dřevo
Pevnost lepené spáry
Smyková pevnost
Tepelně upravené dřevo
Thermowood
Vodní lázeň

Name: Bc. Luděk Matušinec

Title of thesis: The assessment process of delamination on glued materials

Abstract :

The thesis aims to explore the process of delamination on glued prism. It will be evaluated different types of wood (SM, DB) in combination with heat-treated wood (Thermowood TW). These materials will be exposed in an environment with high humidity. It will also be assessed shear strength test specimens, which will also be exposed to conditions of environment high humidity. Based on the measurement results will be evaluated different types of glue joints. They will vary in type and quantity of glue. The work is consisting of two parts. The first part deals with literature review on glueing of wood, thermal modification of wood and modern glued materials. The second part of the thesis is practical, which will be determined by the methodology of experiment and the subsequent testing. In this thesis will be displayed charts and graphs that will be evaluated at the end of work and commented for practical use in the company.

Keywords:

Delamination
Europrism
Glue
Glued prism
Glueline
Heat-treated wood
Shear strength
Solid wood
Strength of the glueline
Thermowood
Water bath

Obsah

1. Úvod	10
2. Cíl práce.....	12
3. Literární přehled	13
3.1 Popis, charakteristické znaky lepených hranolů	13
3.1.1 Popis lepených hranolů	13
3.1.2 Charakteristické znaky lepených hranolů	14
3.2 Lepení dřeva.....	15
3.2.1 Historie lepení	15
3.2.2 Teorie lepícího procesu	16
3.2.3 Hydrofóbní a hydrofilní chování kapaliny	17
3.2.4 Faktory určující pevnost lepeného spoje.....	19
3.2.5 Typy porušení lepeného spoje.....	19
3.2.6 Rozdělení lepidel používaných v dřevozpracujícím průmyslu	20
3.2.7 Vliv tepelné úpravy na lepení dřeva.....	24
3.3 Tepelná úprava dřeva	25
3.3.1 Historie tepelně upraveného dřeva	25
3.3.2 Termická modifikace dřeva.....	26
3.3.3 Tepelně upravené dřevo v atmosférickém vzduchu.....	28
3.3.4 Vlastnosti tepelně upraveného dřeva.....	29
3.3.5 Použití tepelně upraveného dřeva	29
3.4 Dýhy.....	30
3.4.1 Historie výroby dýh.....	30
3.4.2 Klasifikace dýh.....	31
3.4.3 Princip výroby řezaných dýh - „Švartna“	31
3.5 Moderní lepené dřevo	32
3.5.1 Vývojový trend lepeného dřeva	32
3.5.2 Eurohranol.....	32
3.5.3 Eurodeck	35
3.5.4 Lepené lamelové dřevo – BSH	37
3.5.5 Masivní konstrukční dřevo – KVH.....	39
3.5.6 DUO a TRIO hranoly.....	41

4. Materiál a metodika	43
4.1 Přehled pomůcek a zkušebního zařízení	43
4.2 Použité druhy dřevin	44
4.3 Technologie výroby speciálně upraveného hranolu.....	45
4.3.1 Charakteristika materiálu a požadavky na jeho kvalitu	45
4.3.2 Použité strojní zařízení pro výrobu hranolu	45
4.3.3 Výroba řezaných dých - „Švarten“	48
4.4 Zařízení pro provedení zkušebních postupů	49
4.4.1 Vodní lázeň s termostatem – GLF	49
4.4.2 Trhací zařízení – INSTRON 3365	49
4.5 Použité lepidlo.....	50
4.5.1 RAKOLL ECO 4.....	50
4.5.2 RAKOLLIT 280+, RAKOLLIT – HÄRTER WS 1 1	50
4.6 Zkušební vzorky.....	51
4.6.1 Výroba zkušebních vzorků.....	52
4.7 Způsoby vyhodnocení zkušebních postupů	53
4.7.1 Výpočet pevnosti krycí vrstvy dle ČSN EN 205	53
4.7.2 Stanovení třídy trvanlivosti dle ČSN EN 204	55
4.7.3 Statistické vyhodnocení	55
4.7.4 Posouzení jakosti lepení po temperovaném uložení ve vodě.....	56
4.8 Tabulkový výpis materiálu.....	57
4.8.1 Výpis materiálu pro zkoušky ve vodní lázni.....	57
4.8.2 Výpis materiálu pro smykové zkoušky	58
5. Výsledky měření.....	59
5.1 Vyhodnocení zkušebních vzorků dle ČSN EN 204 a 205	59
5.1.1 Vyhodnocení zkušebních vzorků dle expozice č. 1	59
5.1.2 Vyhodnocení zkušebních vzorků dle expozice č. 3	60
5.1.3 Vyhodnocení zkušebních vzorků dle expozice č. 5	66
5.2 Posouzení jakosti lepení po temperovaném uložení ve vodě.....	72
5.2.1 Vyhodnocení jakosti lepení – Smrk ztepilý + Thermowood	72
5.2.2 Vyhodnocení jakosti lepení – Dub letní + Thermowood.....	74
5.3 Ekonomické zhodnocení	76

5.4 Fotografie zkušebních vzorků po provedení zkoušek.....	77
5.4.1 Fotografie smykových zkušebních tělísek dle expozice č. 1	77
5.4.2 Fotografie smykových zkušebních tělísek dle expozice č. 3	78
5.4.3 Fotografie smykových zkušebních tělísek dle expozice č. 5	79
5.4.4 Fotografie zkušebních vzorků pro posouzení jakosti lepení.....	80
6. Diskuze.....	81
6.1 Expozice č. 1	81
6.2 Expozice č. 3 a č. 5.....	82
6.3 Posouzení jakosti lepení po temperovaném uložení ve vodě.....	84
6.4 Ekonomické zhodnocení	86
7. Závěr	87
8. Summary	89
9. Seznam literatury.....	91
9.1 Knižní zdroje.....	91
9.2 Internetové zdroje.....	97
9.3 Normy, vyhlášky a zákony.....	98
10. Seznam obrázků.....	99
11. Seznam tabulek	102
12. Seznam příloh.....	103

1. Úvod

Světový rozvoj v oblasti dřevařského průmyslu přináší stále větší nároky a požadavky na nejrůznější výrobky, které se týkají obnovitelných surovin. Jelikož se obchod s obnovitelnými zdroji stále více zvyšuje, tak neustává názor, že ochrana těchto surovin by měla být projednávána každým dnem. Hrozí také možnost, že tyto obnovitelné suroviny, kterých je v dnešní době poměrně dostatek jednou v daleké budoucnosti dojdou.

Proto je pro lidstvo důležité, aby již v této rané fázi, kdy tyto materiály jsou ve značném zastoupení po celém světě, začali hledat alternativní náhradu, která by je nejlépe nahradila. Důležitým faktorem ve snaze uspokojit co největší část poptávky po obnovitelných zdrojích je více přihlížet k využití těchto surovin, protože tyto obnovitelné suroviny hrají velkou roli v trvale udržitelném rozvoji lidstva, a tím i udržení nadstandartní životní úrovně člověka jako takového.

K těmto obnovitelným surovinám odjakživa patřilo i dřevo, které díky svým vlastnostem může být vhodné jako ekologicky vhodný materiál pro použití tam, kde je důležité dbát na estetickou složku zpracování. Dřevo díky svým možnostem, které se týkají ekonomického i ekologického odvětví, bývá poté vhodným řešením především při zpracování méně kvalitní dřevní suroviny, kdy je kladen požadavek, aby tato surovina měla co nejmenší množství odpadu. Jednou z vynikajících vlastností dřeva je jeho snadná obrobitelnost, která je velmi žádoucím faktorem při jeho ekologickém zpracování. Tento výjimečný estetický materiál má tak vzhled, který láká nejednoho obdivovatele. Nedílnou součástí jsou především jeho výborné fyzikálně-mechanické vlastnosti, ke kterým patří např. hustota, tepelně-izolační vlastnosti či jeho měrná tepelná kapacita. Dřevo sebou nese také řadu nevýhod. Jednou z nich jsou rozměrové změny. Vlivem nestálého počasí okolí dochází k výrazným rozměrovým změnám a barevné nestálosti vlivem UV záření. Jeho nestejnorodá struktura (šířka letokruhů, hniloba, suky, křivost, točitost vláken aj. vady růstu kmene či dřeva) nutí zpracovatele k jeho třídění a kvalitativnímu přerozdělování. Velmi výrazným aspektem je ochrana dřeva proti abiotickým a biotickým činitelům. Proto je pro použití dřeva vždy důležité posoudit kde a v jakém prostředí bude využíváno. A následně, jaké na něj budou kladeny nároky a očekávání. Pokud by dřevo bylo využito v prostředí, kde se klade důraz na estetičnost a trvanlivost a nebylo by schopné tento požadavek poskytnout, mohlo by dojít k následnému znehodnocení jeho vlastností a tím i celé konstrukce.

Proto se v dnešní době stále častěji volí jeho vhodná úprava. Ať už je tato úprava povrchová nebo hloubková, vždy dochází k celkovému zlepšení vlastností. Dnešní široké využití dřeva nutí k zamyšlení, jak těmto nevhodným vlastnostem zamezit. Je proto důležité volit vhodnou úpravu, popř. materiál na bázi dřeva, který zabrání kolizi a bude tak vhodným aplikačním prvkem ve stavebně truhlářských výrobcích.

Letitý vývoj materiálů na bázi dřeva přinesl mnoho pozitivních přínosů. Nestejnorodost dřeva se vyřešila vývojem materiálů, které jsou na bázi dřeva např. OSB desky, MDF desky či desky překližované. Díky novým technologiím zpracovatelského průmyslu dochází také ke zvyšování podílů lepených konstrukčních prvků, které mají rozměrovou stálost v případě využití v podmínkách se zvýšenou vlhkostí. Taktéž velkým milníkem ve vývoji povrchové úpravy zaznamenala impregnace a následná aplikace nátěrových hmot přímo na povrch dřeva. Novodobý výzkum ale přináší mnohem podstatnější myšlenku jak ochránit a zlepšit vlastnosti dřeva. Moderní postupy úprav či modifikací, umožňují využít modifikované dřevo především v místech, kde dříve bylo nemožné použití rostlého přírodního materiálu. Významnou roli v tomto případě hraje i tepelná úprava dřeva. Tato modifikace dřeva zlepšuje rozměrovou stabilitu v podmínkách se zvýšenou vlhkostí a zvyšuje odolnost vůči abiotickým a biotickým činitelům. Při tepelné úpravě dochází ke zhoršení několika vlastností a to především ve struktuře dřeva. Změnou vlastností provází větší křehkost, nižší adsorpce povrchu a také mnohonásobně nižší pevnost. Proto je důležité volit tento modifikovaný materiál s ohledem na jeho získané vlastnosti tam, kde tato nová vlastnost přinese pozitivní efekt. Pokud by v budoucnosti modifikace a úprava dřeva zvýšila svou produkci, která je sice finančně náročnější, byl by to přínos jak pro lidstvo jako takové, ale také i pro dřevařský průmysl, který by zaznamenal zlepšení ekonomického růstu.

2. Cíl práce

Cílem práce je posoudit proces delaminace u lepených materiálů, kde je použit eurohranol či jiný lepený prvek. Diplomová práce bude navazovat na bakalářskou práci, kde byla hodnocena smyková zkouška za normálních podmínek prostředí na eurohranolu s použitím povrchových vrstev z tepelně upraveného dřeva. Práce se bude zabývat postupným vývojem modifikace tepelně upraveného dřeva a následného praktického zlepšení lepení této modifikované povrchové vrstvy. Hlavním úkolem bude stanovit metodiku, podle které budou smykové zkoušky a zkoušky delaminace prováděny. Na jednotlivé povrchy budou aplikovány různé druhy lepidel s různými typy nánosů. Po slepení a zalisování proběhnou zkušební procesy a závěrečné vyhodnocení.

Tento výzkum s povrchovými vrstvami z tepelně upraveného dřeva bude důležitým kritériem pro hodnocení použitého druhu a množství lepidla. Firma Agrospol s.r.o. Lužná si na základě vzájemné domluvy chce ověřit, zda PVAc lepidlo, které se ve firmě používá k lepení dubových a smrkových hranolů bude vyhovující z hlediska smáčivosti povrchu i pro krycí vrstvy z tepelně upraveného dřeva resp. pro její pevnost na podkladu v případě použití v extrémních vlhkostních podmínkách. Firma Agrospol s.r.o. Lužná chce také zavést do výroby nové alternativní PVAc lepidlo, které by zlepšilo přilnutí povrchové vrstvy z tepelně upraveného dřeva, a proto chtějí vyhodnotit různé druhy lepidel s různými typy nánosů.

3. Literární přehled

3.1 Popis, charakteristické znaky lepených hranolů

3.1.1 Popis lepených hranolů

Dřevo je čím dál tím více oblíbeným a obnovitelným materiálem, který má široké zastoupení jak ve stavebnictví, tak i ve stavebně-truhlářské výrobě ve formě sendvičových dveřních konstrukcí a okenních vlysů. Rostlé masivní dřevo má dnes velkou konkurenci v lepených hranolech, které jsou na první pohled velmi podobné běžnému rostlému dřevu, ale díky svým vlastnostem je převyšují a dostávají se větší oblibě a zastoupení.

Co jsou to lepené hranoly? Lepené hranoly jsou vyráběny vzájemným slepením délkově nastavených lamel z masivního dřeva. Po pečlivém vymanipulování a odstranění vad jsou lamely opatřeny zubovitým spojem (tzv. cink) a dále délkově nastaveny, zalisovány a následně plošně lepeny. Mechanické vlastnosti nejsou nijak negativně sníženy lepenou spárou, lepený hranol je tedy posuzován z hlediska mechanických vlastností jako celek a dosahuje výborných vlastností. Aby byl vytvořen lepený hranol, musí být slepeny k sobě alespoň tři lamely.

Kvalitní vlastnosti lepených hranolů tvoří jejich tvarová stálost vlivem měnící se okolní vlhkosti, pečlivě vymanipulované vady a především jejich tuhost a pevnost.



Obr. 1: Konstrukce třívrstvého lepeného hranolu (DECPLAST 2009)

3.1.2 Charakteristické znaky lepených hranolů

- Technologie výroby – homogenní celek hranolu, lepší mechanické vlastnosti, kombinace středových lamel s různou kvalitou a pevností
- Vymanipulované vady ze dřeva – suky, měkká hniloba, trhliny, reakční dřevo aj.
- Tvarová stálost – odolnost proti měnící se vlhkosti
- Estetický přírodní vzhled hranolů
- Výsledná kvalitní jakost
- Dostupnost u zpracovatelů
- Dostupná cena

3.2 Lepení dřeva

3.2.1 Historie lepení

Lepení jako technika spojování nejrůznějších materiálů se rozšířilo do četných průmyslových odvětví a stalo se běžnou denní praxí.

Nejstaršími lepidly byly různé druhy kličů, později lepidla škrobová. Již ve starověku Římané a Egypťané klížili dřevo. První zmínky o průmyslové výrobě lepidel v Evropě jsou ze 17. století z Holandska a z Anglie. Vyráběla se především kličová a škrobová lepidla pro nábytkářský a papírenský průmysl. V obou odvětvích se těchto lepidel používá dodnes.

Rozsah použití nebo rozšíření nového materiálu závisí často na způsobu jeho upevňování a spojování. Přírodní lepidla klič, škrob, dextrin a další, používaná dříve výlučně, dnes již pro některé účely nevyhovují. Nahrazují je stále více nová lepidla, s podstatně vyšší lepivostí – lepidla na bázi syntetických pryskyřic. Mají vynikající vlastnosti a vytlačují přírodní lepidla i z těchto oborů, kde předtím dokonale vyhovovala, např. při klížení dřeva (Boublík 1966).

3.2.2 Teorie lepícího procesu

Lepidlem spojovaný podklad pevného skupenství se označuje jako (adherend) nebo substrát a lepidlo se nazývá (adhezivum).

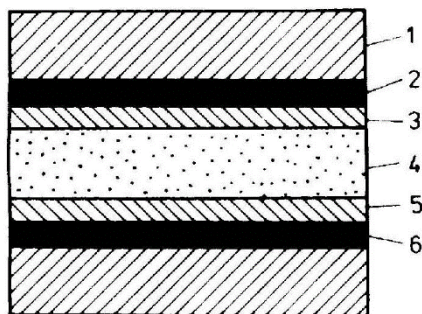
Je-li adhezivum a adherend obvykle různého složení, potom mluvíme o heteroadhezi. Jsou-li adherend a adhezivum stejného složení, mluvíme o autoadhezi. Adheze, je síla, která spojuje dva materiály na plošném rozhraní jejich povrchu. Adheze, je to soubor složený z různých fyzikálně-chemických pochodů probíhajících spolu současně. Adheze je poměrně těžko prokazatelná.

Adheze je rozdělena do typů, první z nich je mechanická vazba, kterou můžeme pozorovat u porézních povrchů, kde se prostřednictvím zatečení lepidla do pórů materiálu vytvoří pevný spoj (např. suchý zip), zde působí především třecí síly (Packham 2003). Výzkum také potvrdil, že u smrkových vzorků, které byly lepeny PVAc lepidly se výrazně zvýšila podíl pevnosti lepení s rostoucí drsností povrchu, což je připisováno větší kontaktní ploše lepení a tedy větší mechanické pevnosti (Follrich a kol., 2010). Pokud jsou plochy broušené či hoblované, můžeme s pravděpodobností tvrdit, že lepidlo nemůže proniknout do dřeva kvůli ulpívajícím molekulám na povrchu. Druhým typem adheze je chemická vazba. Tato vazba se vyskytuje zejména u porézních a hladkých povrchů. Spojení dvou prvků vzniká na základě van der Waalsových přitažlivých sil a především na chemickém působení lepidla na lepený povrch. Velmi dobře se pak lepí povrchy s volnými chemickými skupinami oxy-, hydroxy-, karbonyl-, karboxymethyl-, amino- (-O, -OH, -CO, COCH₃, -NH₂), lepidla pak musí obsahovat volné skupiny schopné reakce s povrchem materiálu, jako vysoce reaktivní skupiny se u lepidel vyskytují skupiny epoxy-, hydroxy-, karboxy-, isokyanáto- atd. (ABCLEPIDLA.CZ 2010). Mnohonásobně vyšší roli než přilnavost, hraje často při lepení i řada faktorů jako rozložení energie, koncentrace napětí, a pevnost povrchových vrstev (Charles a Frihart 2005).

Koheze představuje vnitřní soudržnosti molekul materiálu (lepidla) při nanášení i po vytvrdnutí lepidla nebo také vnitřní pnutí lepidla. Pokud má materiál pevnost vyšší než lepidlo, dojde k porušení spoje v lepené spáře, ale pokud je pevnost materiálu nižší než pevnost lepené spáry, tak dojde k porušení spoje v materiálu samotném.

Koheze je teoreticky definována jako stav, ve kterém jsou částice jednoduché látky drženy pohromadě valenčními a mezimolekulárními silami (van der Waalsovo přitahování) (Kupská 2010).

Zobrazení koheze a adheze je možné pozorovat na obrázku lepeného spoje (**obr. 2**) (Tesařová 2009).



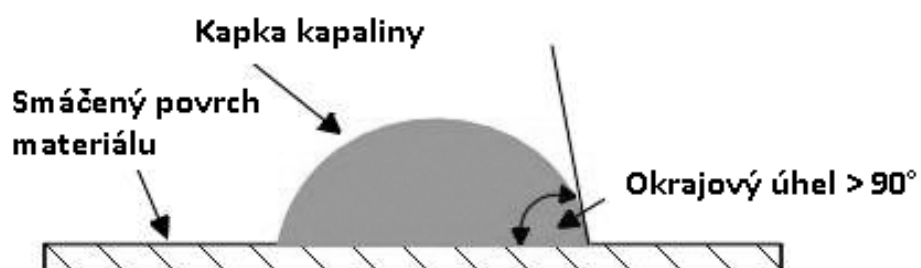
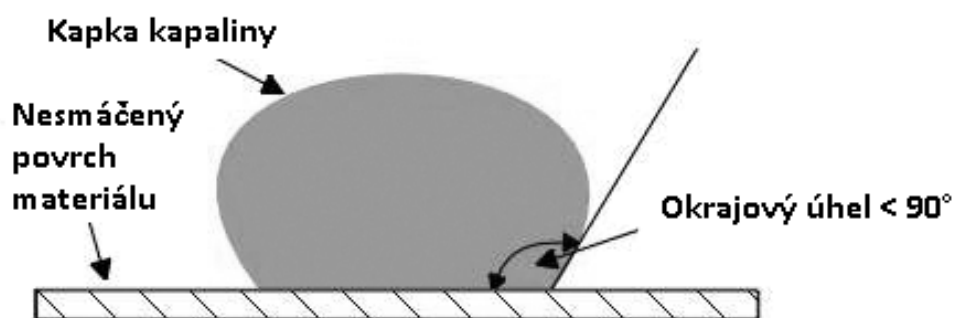
Obr. 2: Struktura lepeného spoje: 1) lepený podklad – adherend (základní materiál), 2) přilnavostní zóna lepidla, 3) přechodová přilnavostní zóna, 4) nános lepidla – soudržnostní kohezní zóna, 5) přechodová kohezní zóna, 6) přilnavostní zóna lepidla (Kodys 2007)

Adheze a koheze uvádá celkovou lepivost lepidla. Jak udává (Gregor 2011), tak celková adheze a koheze závisí na mnoha okolnostech, především na povrchu lepených materiálů, na jejich povaze, struktuře, pórovitosti, na době klížení, schnutí, na teplotě, vlhkosti, na použitém rozpouštědle apod.

3.2.3 Hydrofóbní a hydrofilní chování kapaliny

Hydrofilní a hydrofobní chování kapaliny se často označováno jako smáčivost a nescháčivost povrchu materiálu. U kapalin jde především o velikost povrchového napětí styčných ploch, které vzniká přitažlivostí mezi částicemi kapaliny a částicemi sousedního pevného tělesa. Velikost povrchového napětí určuje také míru smáčivosti. Smáčivost se měří okrajovým úhlem, který se vytvoří na hranici vodní hladiny a pevného tělesa. Čím je smáčivost lepší, tím je okrajový úhel menší (**obr. 3**). Při špatné smáčivosti je okrajový úhel velký. Je-li větší než 90° , změní se smáčivost v odpudivost. Dobrá smáčivost je jednou ze základních podmínek dobré lepivosti lepidla (Boublík, 1966).

Díky rovnoměrnému rozprostření se lepidla na povrchu (**obr. 4**), dochází ke vzniku adhezivních vazeb. Pokud se lepí nepolární povrch, hraje významnou roli jeho povrchová úprava před lepením. Povrch se stává polárnějším a začnou se u něj vyskytovat reakce schopné chemické skupiny (ABCLEPIDLA.CZ 2010).



Obr. 3: Hydrofóbní a hydrofilní chování kapaliny na materiálu (Kupská 2010)



Obr. 4: Smáčivost povrchu dýhy: Vlevo - před broušením, vpravo - zlepšení po odstranění nečistot broušením (Frihart 2005)

3.2.4 Faktory určující pevnost lepeného spoje

- Přílnavost lepidla na lepeném povrchu – adheze (závisí na čistotě povrchu adherendu)
- Soudržnost hmoty lepidla – koheze (závisí na pevnosti molekul uvnitř lepidla)
- Povrchové napětí lepidla – určuje smáčivost lepeného podkladu lepidlem
- Vliv soudržnosti molekul lepidla - pevnosti lepeného materiálu
- Množství nánosu lepidla – Co nejtenčí a nejsouvislejší nanosená vrstva
- Viskozita lepidla – Odolnost lepící směsi proti tečení
- Zdrsnění povrchu - zvýšení pevnosti lepeného spoje

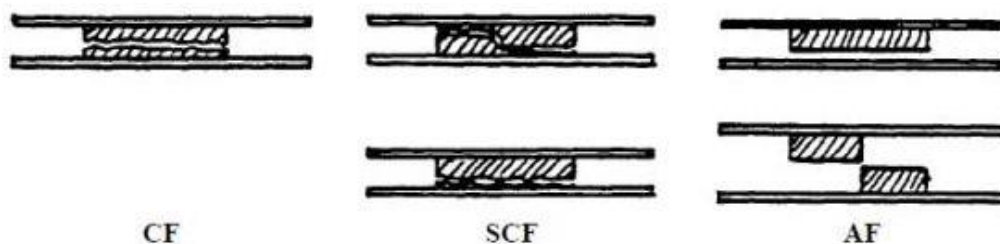
3.2.5 Typy porušení lepeného spoje

Porušení lepeného spoje může vzniknout ve třech způsobech na základě malé soudržnosti molekul mezi adherendem a adhezivem.

Adhezní lom – Jedná se o porušení spoje na základě oddělení lepeného podkladu (adherendu) od lepidla (adheziva)

Kohezní lom – Jedná se o porušení spoje, při kterém vzniká trhlina a probíhá v lepeném spoji. Vyplývá z toho, že přílnavost (adheze) mezi lepeným podkladem a lepidlem je podstatně vyšší než soudržnost (koheze) lepící směsi.

Smíšený lom - Jedná se o lom adhezní nebo o lom kohezní. Smíšený lom je převážné uváděn v procentuálním vyjádření (Havelka 2011)



Obr. 5: Základní druhy porušení lepeného spoje: 1) CF – Kohezní lom, 2) SCF – Kohezní lom na hranici substrátu, 3) AF – Adhezní lom (Havelka 2011)

3.2.6 Rozdělení lepidel používaných v dřevozpracujícím průmyslu

Lepidla hrají v dřevozpracujícím průmyslu neodmyslitelnou roli při jeho spojování. V dřívějším způsobu spojování bylo hojně využíváno lepidel rostlinných a živočišných. Jedním z dřívějších nejvíce dostupných a nejvíce používaných lepidel byly klihy, které byly získávány ze zvířecích odpadků, kostí, chrupavek a kůží jatečných zvířat (Boublík 1966)

Nicméně dnešní dřevozpracující průmysl využívá především lepidla syntetická. Tyto lepidla lze rozdělit do dvou podskupin a to na lepidla termoreaktivní (fenolická, polyuretanová a epoxidová) a lepidla fyzikálně vytvrzující (rozpuštědlová, tavná a disperzní) (Tesařová 2009).

3.2.6.1 Syntetická dvousložková lepidla termoreaktivní

Močovinoformaldehydové lepidla (UF)

Močovinoformaldehydová lepidla (UF) jsou v současnosti nejpoužívanější a nejrozšířenější lepidla na dřevo. Vznikají kondenzací močoviny a formaldehydu, jejichž molový poměr při výrobě musí být 1:1,18 až 1:1,19. Vytvrzují zesíťováním působením kyselého katalyzátoru. Lepidlo vytvrzuje v širokém rozmezí teplot 10-180°C. Močovina je bílá krystalická látka, dobře rozpustná ve vodě. Vyrábí se z CO₂ a NH₃, při zvýšené teplotě. Formaldehyd (metanal) je při normální teplotě bezbarvý plyn ostrého zápachu. Je zdraví škodlivý a dráždí sliznice (Král 2011). Používá se při výrobě aglomerovaných materiálů, dřevotřískových desek, překližek a lisovaného dřeva. Jednou z jeho výhod je transparentnost lepené spáry, vysoká pevnost a nízká cena. K nevýhodám patří uvolňování formaldehydu, který je zdraví škodlivý, nízká odolnost proti studené vodě (Masařík 2012, Král 2011).

Melaminoformaldehydová lepidla (MEF)

Melaminoformaldehydová lepidla (MEF) jsou svojí strukturou podobná močovinoformaldehydovým pryskyřicím (UF). Vznikají polykondenzační reakcí. Vytvrzují podobně jako fenolformaldehydová lepidla (PF) zesíťováním působením kyselého katalyzátoru a odpařením vody při vyšších teplotách (130 až 140°C) bez tvrdidel. Surovinami pro výrobu melaminoformaldehydových lepidel (MEF) jsou formaldehyd a melamin. Melamin je bílá krystalická látka s teplotou tání 354 °C, která je málo rozpustná ve vodě. Průmyslově se vyrábí z dusíkatého vápna (CaC) reakcí s vodou za studena. Reakce melaminu s formaldehydem probíhá podobně jako při přípravě močovinoformaldehydových lepidel (UF). Molový poměr je 1 : 3.

V neutrálním nebo slabě alkalickém prostředí (pH 8) při zvýšené teplotě (asi 80°C) vznikají v první fázi adiční sloučeniny obsahující methylové skupiny. Mohou vzniknout monometylolmelaminy až hexametylolmelaminy. Dalším zahříváním roztoku melaminu a formaldehydu nebo metylových derivátů melaminu vznikají kondenzáty melaminoformaldehydových pryskyřic. Zpočátku jsou rozpustné ve vodě, dalším růstem molekul se rozpustnost zmenšuje, až se stávají nerozpustnými a vypadávají z roztoku. Svými vlastnostmi se blíží fenolickým lepidlům (Masařík 2012). Používají se především při výrobě kuchyňského nábytku. Mezi jejich výhody patří odolnost proti studené a horké vodě, vysoká pevnost a jsou zdravotně vyhovující. Záporné vlastnosti tvoří především malá stabilita roztoků při skladování a používání a jejich vysoká cena (třikrát dražší než lepidla močovinoformaldehydová) (Masařík 2012, Král 2011).

Fenolformaldehydová lepidla (PF)

Fenolformaldehydová lepidla (PF) vznikají polykondenzační reakcí. Jedná se o jedny z nejstarších syntetických lepidel. Vytvrzení probíhá zesíťováním působením kyselého katalyzátoru a odpařením vody. Tvoří polykondenzační produkty vzniklé reakcí fenolu nebo jeho homologů (resolů a xylenolů) s formaldehydem v alkalickém prostředí. Pro přípravu tvrditelných fenolických pryskyřic jsou nejvýznamnější troj funkční fenoly, které mohou vytvořit trojrozměrnou, prostorově zesíťovanou makromolekulu pryskyřice po vytvrzení.

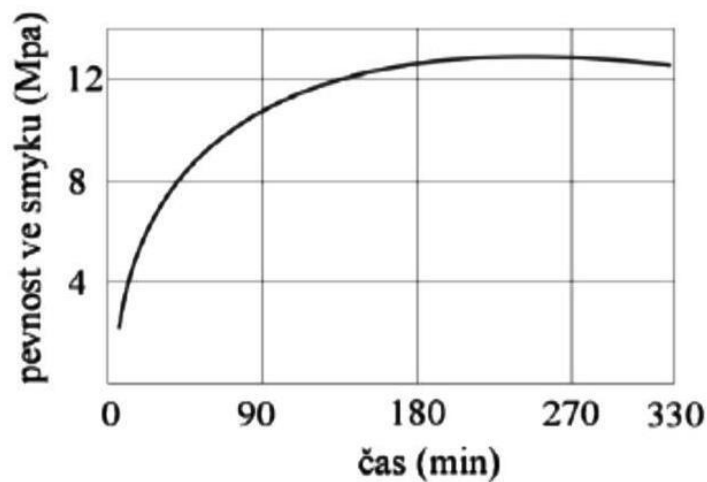
Fenolformaldehydová lepidla (PF) se podle způsobu vytvrzování rozdělují na jednosložková a dvousložková. Jednosložková (PF) lepidla jsou většinou alkalická a vytvrzují za působení tepla. Dvousložková (PF) lepidla se vyrábějí z roztoků reaktivních resolů, které obsahují minimální množství alkálii. Vytvrzují s přídavkem kyselých katalyzátorů (Král 2011). Používají se především pro nosné konstrukce ve stavebnictví a na exteriérové výrobky. Výhody jsou především v odolnosti proti vyšším teplotám a vlhkosti, vroucí vodě, většině rozpouštědel, povětrnostním podmínkám. Hlavními nedostatky těchto lepidel je jejich zdravotní závadnost (Masařík 2012, Křupalová 2004, Král 2011).

3.2.6.2 Disperzní lepidla (vodou ředitelné lepidla)

Polyvinylacetátová lepidla (PVAc)

Polyvinylacetátová lepidla (PVAc) jsou připravována z acetylénu a kyseliny octové při spolupůsobení rtuťnaté soli. Mají polární charakter, díky kterému dochází k vytvoření pevných adhezních spojů. PVAc disperze vytvrzují fyzikálně při normální teplotě – voda z disperze přechází do dřeva, lepidlo se koncentruje a gelovává. Minimální filmotvorná teplota (MFT) je 13°C a vyšší. MFT je teplota, při které se tvoří pevný a souvislý lepidlový film. Pokud lepidlo zasychá pod touto teplotou, nevytváří se pevný lepidlový spoj. Poskytují bezbarevné spoje, které jsou odolné proti mikroorganismům, ale málo odolné proti vodě. Nános se pohybuje mezi 100 a 400 g.m⁻² (Masařík 2012).

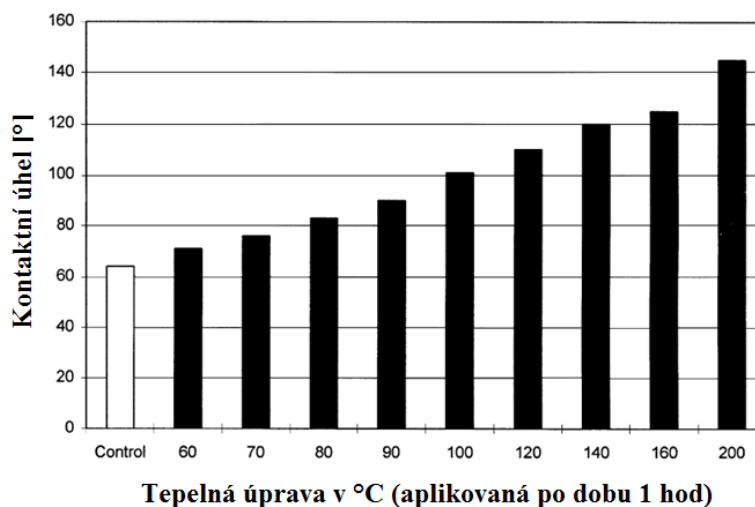
Jejich využití je především ve výrobě nábytku při montáži kolíkových spojů, lepení spárovek, lepení dřevotřískových desek (DTD) na tupou spáru, výrobu hraček, lepení papíru na dřevo a polyuretanové (PUR) pěny na dřevo. Mezi hlavní výhody patří dobrá smyková pevnost spoje, lepený spoj je pevnější, než dřevo samotné. Mezi nevýhody patří nízká voděodolnost lepeného spoje, nízká odolnost proti působení tepla (Král, Hrázský 2005, Masařík 2012, Král 2011).



Obr. 6: Pevnost ve smyku dle časového vytvrzení u PVAc lepidel (Masařík 2012)

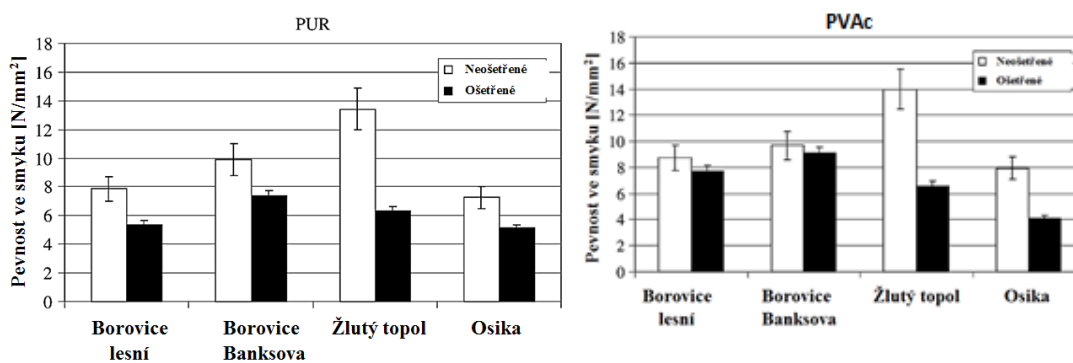
3.2.7 Vliv tepelné úpravy na lepení dřeva

Tepelná úprava dřeva vede ke zhoršení smáčivosti (Podgorski a kol. 2000) (**obr. 7**) a tedy i slabšímu lepení (Christiansen 1990, 1991 a 1994).



Obr. 7: Vliv tepelné úpravy na smáčivost jedle (Podgorski a kol., 2000)

Uvádí se, že po tepelné úpravě dřeva se snižuje pevnost při jeho lepení (**obr. 8**). V případech kdy byla špatná přilnavost lepidla u přírodního dřeva, již ale tepelná úprava nezpůsobila další významné zhoršení přilnavosti (Poncsák a kol. 2007).



Obr. 8: Vliv tepelné úpravy na pevnost lepidlového spoje ve smyku u 4 druhů dřevin: Lepené (vlevo) polyuretanovým (PUR) a (vpravo) polyvinylacetátovým lepidlem (PVAc) (Poncsák a kol. 2007).

3.3 Tepelná úprava dřeva

3.3.1 Historie tepelně upraveného dřeva

Dřevo je již od pradávna jeden z nejpoužívanějších materiálů. Dřevo tvoří pátý nejvýznamnější produkt světového obchodu (Christophe a Gregoire 2001), probíhá neustále výzkum zabývající se zlepšením jeho negativních vlastností, zejména velkých rozměrových změn a nízké odolnosti vlivům okolního prostředí.

Již značnou dobu se lidé snažili zlepšovat jeho vlastnosti, aby jej mohli co nejlépe využít. Jedním z těchto vylepšení vlastností nebo možná spíše modifikací, byla i tepelná úprava, která je jistou alternativou k chemické ochraně dřeva. Když pomíneme prvotní primitivní tepelnou úpravu, která spočívala v opalování povrchu dřeva, tvořící na jeho povrchu zuhelnatělou ochrannou vrstvu odolnou proti vlivům okolního prostředí, tak počátky dnešního způsobu tepelné úpravy dřeva se datují někde k roku 1920, kdy pan Tiemann provedl první experiment s tepelnou úpravou, mající za cíl zlepšit některé vlastnosti rostlého dřeva (Tiemann 1920). Výsledkem bylo zjištění, že takto upravené dřevo má sice nižší pevnost ale hlavně až o čtvrtinu nižší hygroskopicitu. Snížení hygroskopicity lze docílit snížením výskytu volných hydroxylových skupin ve dřevě (Xle a kol. 2002), čehož lze dosáhnout jeho ohřevem, dojde k trvalým změnám chemických a fyzikálních vlastností a změní se také struktura dřeva. Díky snížení absorpce vody tak dochází ke snížení bobtnání a sesychání dřeva a tedy ke zlepšení rozměrové stability (Stamma kol. 1946; Stamm, 1956), což je spojováno s úbytkem obsahu hemicelulózy (Pavlo a Niemz 2003; Ducheza kol. 2001), především pak její amorfní složky (hlavně xylosy, manózy, arabinosy, galaktosy) a kyseliny glukoronové v závislosti na druhu dřeva, což vede ke vzniku materiálu se zvýšenou krystalitou a vyšším obsahem ligninu (Tjeerdsma a kol. 1998; Sivonen a kol. 2002; Weiland a Guyonnet 2003; Hakkou a kol. 2005). Samotné smáčení dřeva vodou je přisuzováno tvorbě vodíkových vazeb volných hydroxylových skupin, obsažených v hemicelulóze, s molekulami vody (Gérardin a kol. 2007). V dalších studiích byl pozorován zvětšující se úbytek hmotnosti upravovaného dřevěného materiálu v závislosti na teplotě a době trvání procesu a to až o cca 15% (Fengel 1966 a, b), v závislosti na těchto faktorech bylo pozorováno i tmavnutí dřeva (MacLean 1951; Mailum a Arenas 1974; Militz 2002), které se projevovalo u listnatých dřevin již od 60°C a u jehličnatých od 90°C (Kollmann 1955).

Celý proces tepelné úpravy byl zdokonalován a to zejména ve Finsku, Francii a některých dalších evropských zemích (např. Dirol a Guyonnet, 1993; Viitanena kol., 1994; Troya a Navarrete 1994; Boonstra kol. 1998; Tjeerdsma kol. 1998; EC Bericht BRE-CT-5006 1998). Různé procesy tepelné úpravy dřeva jsou pak popsány v patentech (např. EP0018446, 1982, EP0612595, 1994, EP0623433, 1994, EP0622163, 1994, EP0759137, 1995, US5678324, 1997). Kromě těchto změn ale došlo i k několika negativním změnám, jako např. snížení modulu pružnosti (Maclean 1953; Millett a Gerhards 1972; MacLean 1954; MacLean 1955).

Dnešní tepelně upravené dřevo má poměrně velkého zastoupení pod nejrůznějšími názvy a vyrobené různými procesy tepelné úpravy jako např. Thermowood, Lunawood, Perdure, Retification, Thermoholz, Intemporis, PLATO proces, Menz Holz a Iwotech.

3.3.2 Termická modifikace dřeva

Termická modifikace dřeva je záměrný technologický proces, při kterém se mění jeho chemická struktura vlivem zvýšené teploty 150-230°C, s cíleným dopadem na zlepšení jeho odolnosti vůči vodě a biologickým škůdcům. Přitom však nesmí dojít k zjevnějšímu zhoršení mechanických vlastností dřeva. Termické úpravě je možné podrobit jak dřevo vzduchosuché, tak i dřevo mokré.

Se zvyšující teplotou procesu tepelné úpravy jsou doprovázeny výraznější změny oproti přírodnímu dřevu jako je snížení absorpce vlhkosti, zvýšení biologické odolnosti, tmavnutí barvy (**obr. 9**), snížení pH, zlepšení tepelně-izolačních vlastností a snížení hustoty (Gunduz a kol. 2009). Snižování smáčivosti je spojováno s teplotou úpravy mezi 130°C a 210°C s maximem okolo 190°C, což způsobeno tvorbou rozkladných sloučenin (Pecina a Paprzycka 1988). Drastické snížení smáčivosti přitom začíná na 135°C a poté mírně roste se zvyšující se teplotou (Hakkoua kol. 2003). Po tepelné úpravě je obecně nižší smáčivost dřeva polárními rozpouštědly, zatímco smáčivost nepolárními rozpouštědly se zvyšuje (Tjeerdsma a kol. 1998; Sivonen a kol. 2002; Weiland a Guyonnet 2003; Hakkou a kol. 2005). Vzhledem k tomu, že se při tepelné úpravě nad 200°C povrch dřeva stává hydrofobní, dochází ke zpomalení vsťebávání lepidel a laků a nelze tedy použít klasické povrchové úpravy (Vernois 2000). Úbytek hemicelulózy zvyšuje také biologickou odolnost, protože snižuje obsah živin potřebný pro houby a plísně (Robbins a Morrel 2006).

S vysokými teplotami zpracování se zvyšuje křehkost a zejména možný vznik trhlin, kvůli úniku pryskyřice může být povrch skvrnitý a bývá i málo odolný vůči UV záření. Výzkumy také poukazují na nízkou odolnost tepelně upraveného dřeva při kontaktu s půdou (Rapp a Sailer 2000; Jämsä a Viitaniemi 1998; Rappa kol. 2000).

Nežádoucími vlivy tepelné úpravy na dřevo jsou především pokles pevnosti, zejména v ohybu, vyšší křehkost materiálu, tmavší odstín (někdy považován za výhodu), zápach, vypadávání suků, v případě povrchové úpravy nebo lepení to může být i snížení smáčivosti povrchu, snížení pH atd.

V procese výroby „Termodřev“ se tepelná energie dodává buď z elektrických vyhřevných těles, anebo z tepelných olejových zásobníků.



Obr. 9: Barevná změna podle rostoucí $T(^{\circ}\text{C})$ a času $t(\text{hod})$ u dřeva borovice (Keliwood 2010)

3.3.3 Tepelně upravené dřevo v atmosférickém vzduchu

Tepelně upravené dřevo je vyráběno převážně z listnatých a jehličnatých dřevin. Proces tepelné úpravy se skládá z třech etap a fází (**obr. 10**) (Reinprecht, Vidholdová 2011).

A. Zvýšení teploty v procesu fáze sušení

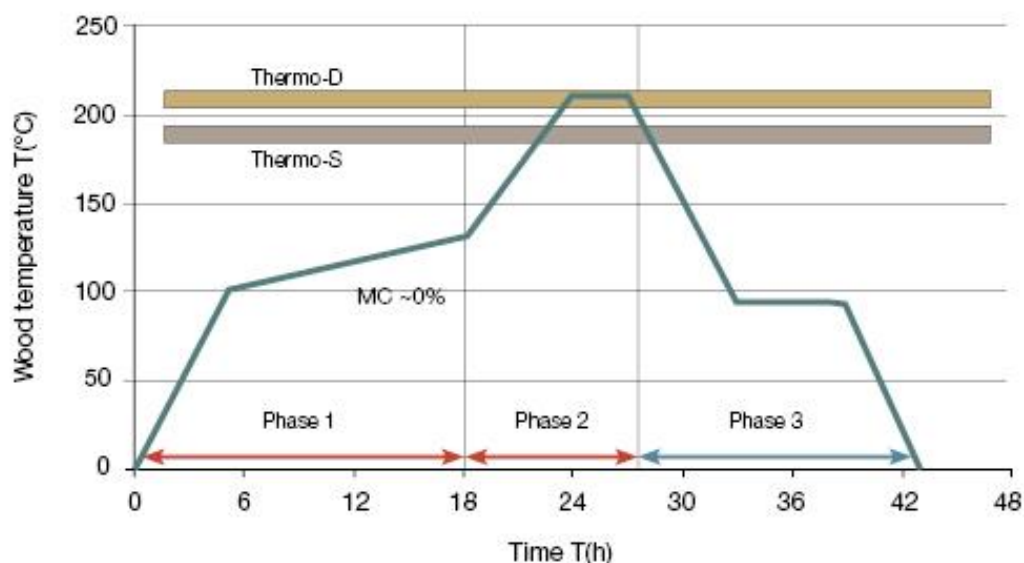
1. Fáze – Zvýšení teploty v sušárně na 100°C za pomoci vodních par
2. Fáze – Pozvolné zvyšování teploty na 130°C pomocí tepelného média, které v tomto případě zaujímá horký vzduch či horká pára
3. Fáze – Snaha o dosažení co nejmenší vlhkosti dřeva blížící se 0 %

B. Tepelná úprava dřeva

4. Fáze - Zvýšení teploty v sušárně na 185-230°C. Jedná se o postupné zvyšování teploty po dobu 2-3 hodin působení tepla

C. Chlazení a úprava vlhkosti

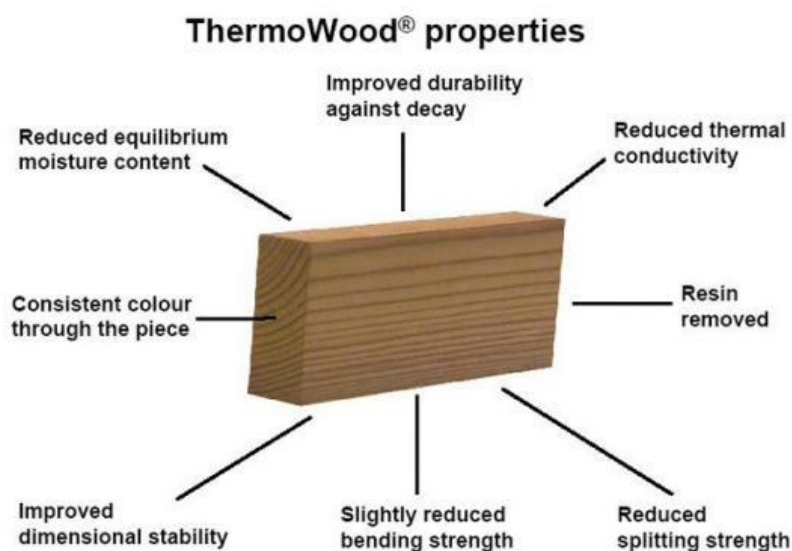
5. Fáze – Dochází k postupnému ochlazování již tepelně upraveného dřeva. Teploty ochlazování se pohybují mezi 80-90°C. Tepelně upravené dřevo se vlhkovně stabilizuje, aby v konečné fázi byla vlhkost okolo 4-7% (Reinprecht, Vidholdová 2011).



Obr. 10: Proces výroby tepelně upraveného dřeva (StoraEnso 2011)

3.3.4 Vlastnosti tepelně upraveného dřeva

- Nižší hygroskopicita
- Zvýšení odolnosti proti houbám
- Zvýšení odolnosti proti dřevokaznému hmyzu
- Snížení tepelné vodivosti
- Jednotná barva skrze jednotlivé řezy
- Zvýšení rozměrové stability
- Mírně snížená pevnost v ohybu
- Snížená štípatelnost dřeva
- Odstranění pryskyřice



Obr. 11: Vlastnosti tepelně upraveného dřeva (MBM 2011)

3.3.5 Použití tepelně upraveného dřeva

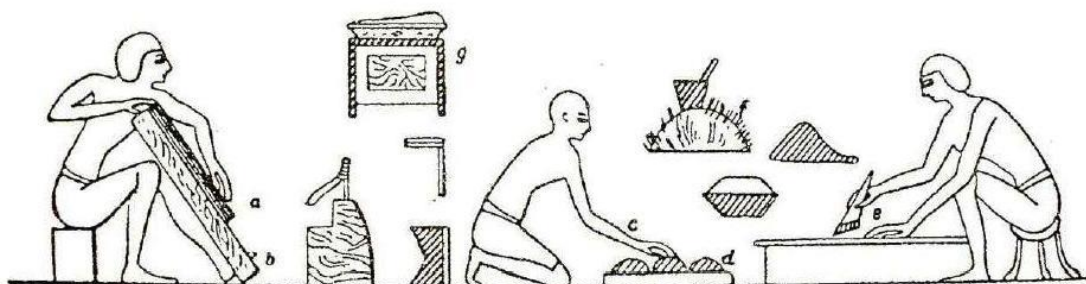
Využití tepelně upraveného dřeva je vzhledem k jeho dobré odolnosti vůči povětrnostním vlivům vhodné pro venkovní aplikace, jako je např. vnější opláštění, okenní rámy, dveře, obklady stěn, ploty a zahradní nábytek. Díky větší rozměrové stabilitě také zlepšuje trvanlivost nátěru (Korkut, Bektas 2008). Pro interiérové použití se používají teploty pod 200°C, kdy dřevo získává odstín od světle hnědé až téměř po černou a používá se pro výrobu nábytku, kuchyňského nábytku, parket, obkladů a vybavení saun (Syrjänen, Jämsä, Viitaniemi 2000).

3.4 Dýhy

3.4.1 Historie výroby dýh

Dřevo je na dotek i vzhledově teplé a proto bylo a je vyhledávanější než kámen, kov či plast. Kresba dřeva je oproti jmenovaným materiálům na každém kousku originální a neopakovatelná. Toho si byli vědomi už staří Egypťané. Vzácná dřeva byla i dříve velice drahá a tak nábytek těmito dřevy pouze zdobili ve formě tenkých destiček v kombinaci se slonovinou. Lepení a spojování povrchů se začalo používat už před 3000-3500 tisíci let před Kristem. Dodnes jsou důkazy o nábytku olepeném destičkami ze dřeva. A můžeme obdivovat umění a zručnost dřívějších řemeslníků. Z Egypta se rozšířilo dýhování do Řecka, Říma a dále do Evropy. V 16. století se v západní Evropě, a zejména ve Francii, začal vedle nábytku z masivního dřeva, vyrábět i dýhovaný nábytek. Značný zájem o tento druh nábytku a tím i nutnost výroby předchůdců dnešních dýh si vyžádalo zdokonalení způsobu jejich výroby.

První průmyslově vyráběné dýhy se vyráběly řezáním na horizontálních pilách. Až teprve v první polovině 19. století byl vynalezen horizontální stroj, který umožnil větší využívání technologie dýhování. Pro lepší využití a větší výtěž se vyrobené dýhy začali sesazovat a formovat tak do symetrických a asymetrických obrazců. Značnou popularitu získali též intarsie (Sesazování dýh 2012).



Obr. 12: Výroba dýh ve starověkém Egyptě (Král 2011)

3.4.2 Klasifikace dých

3.4.2.1 Podle druhu použití

- a) okrasné
- b) konstrukční

3.4.2.2 Podle způsobu výroby

- a) krájené
- b) excentricky loupané
- c) centricky loupané
- d) speciální

3.4.2.3 Podle textury

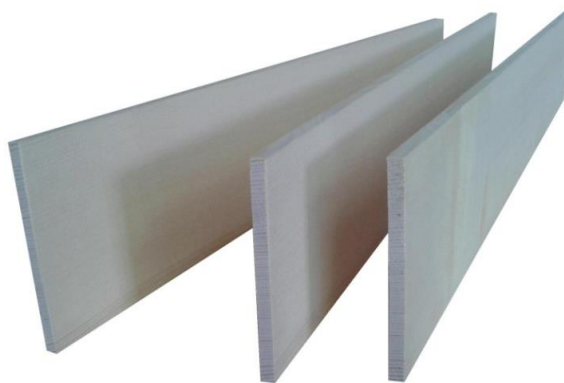
- a) tangenciální
- b) polotangenciální
- c) radiální

3.4.2.4 Podle druhu dřevin

- a) jehličnaté – SM, JD, MO
- b) listnaté – tvrdé – DB, BK, JS, JM, JV, OR, BR, TR, HR
– měkké – LP, OL, TP, OS, VR
- c) exoty – Meranti, Ceiba, Mahagon, Koto, Wava, Limba atd. (Král 2011)

3.4.3 Princip výroby řezaných dých - „Švartna“

Řezáním rozumíme oddělení tenkých prken z předem připravených hranolů. Dochází k oddělování tenkých lamel pomocí malé rámové pily ve směru k dřevním vláknům, tak aby byly vytvořeny tenké lamely o dané tloušťce (tloušťka 4 – 8 mm).



Obr. 13: Řezané dýhy – smrkové švartny

3.5 Moderní lepené dřevo

3.5.1 Vývojový trend lepeného dřeva

Historie lepeného dřeva se začala tvořit v Anglii v 19. století. V této době se začaly vytvářet jedny z prvních lepených konstrukcí ze dřeva. V 19. století se o tuto novou technologii s lepeným lamelovým dřevem zasloužil Otto Hetzer. Patent, který byl vydán v roce 1906, pojednával o slepení více lamel na sebe v rovině kolmé na lepenou lamelu. Důležitým poznatkem bylo, aby byly vlákna orientována rovnoběžně. Slepením lamel dohromady omezilo rozměrové a tvarové změny. Došlo tak ke stabilizaci tohoto lepeného prvku, který se v prvních fázích svého vzniku používal především na lepené nosníky.

Z hlediska používaných typů lepidel došlo k obrovskému posunu. U původních typů lepeného konstrukčního dřeva byla používána lepidla kaseinová. Tyto lepidla byly využívány především do roku 1950. Po roku 1950 bylo vynalezeno lepidlo resoscinol-formaldehydové, které bylo možno použít i v prostředí se zvýšenou vlhkostí. Toto lepidlo neztrácelo své lepidivé schopnosti ani v tomto prostředí. Díky tomuto objevu bylo možné využívat lepené dřevo i pro venkovní účely. Následovalo lepidlo melamin-formaldehydové. V dnešní době je nutné ale využívat lepidla bez formaldehydu a to jak ve formě volného, tak i ve formě vázaného. První zmínky o zubovitém spoji spadají taktéž do 20. století a to konkrétně do roku 1940. Díky této technologii opracování dochází k délkovému napojení jednotlivých lamel a k lepší pružnosti lepeného prvku.

V současné době, kdy náročné požadavky na tyto lepené konstrukční prvky jsou velmi přísné, je důležité, aby odpovídaly evropským normám bez podmíněně.

Nejpoužívanější dřevinou pro výrobu lepených konstrukčních prvků je smrk a výroba lepeného dřeva je zajišťována buď ruční, nebo strojní výrobou na CNC zařízeních. Druhé provedení je ale běžnější jelikož dochází k přesnému tvarovému opracování.

Lepené dřevo, které je dnes využíváno pro konstrukční účely dosahuje velkých únosností, protože díky lepenému spojení má větší pevnost. Moderní zdravotně nezávadná lepidla jsou důležitým faktorem pro využití těchto lepených prvků i v interiéru.

Tyto moderní lepené konstrukční prvky mají větší tvarovou stálost, rozměrovou stabilitu, dobře odolávají ohni a mají výbornou jakost a kvalitu.

3.5.2 Eurohranol

3.5.2.1 Popis eurohranolu

Eurohranoly jsou konstrukční prvky, které jsou vyráběny z běžného pilařského řeziva slepením tří nebo čtyř lamel vodovzdorným lepidlem. Eurohranoly jsou základním polotovarem pro výrobu stavebně truhlářských výrobků v ČR především oken a dveří. Princip výroby eurohranolu spočívá v lepení délkově nastavených lamel na sebe. Lamely jsou opatřeny klínovým spojením v ploše tzv. cink. Díky většině vymanipulovaných vad dostává hranol podobu velmi kvalitního a esteticky členitého dřeva.

3.5.2.2 Postup výroby eurohranolu

1. Vhodný výběr materiálu – DB, SM, MD, BO, BK
2. Pásový, rámová, kotoučová pila – výroba řeziva požadovaných tloušťek
3. Sušení řeziva v hraních – komorové sušárny ($W_k - 7-10\%$)
4. Rozmítání vysušeného řeziva na dané šířky
5. Automatické zkracovací linky s dopravníky – vymanipulování vad a kontrola kvality přířezů
6. Výroba zubovitého spoje na obou čelech vykrácených přířezů
7. Nanesení lepidla na čela vzniklých zubovitých spojů
8. Lisování nekonečného vlysu pomocí průběžného podélného lisu a následné vytvrzení lepené spáry v meziskladech
9. Čtyřstranné opracování – šířkové a tloušťkové opracování lamel
10. Nanášení lepidla pomocí válcového nanášecího zařízení na plochy lamel
11. Skládání lamel do souboru a vytváření lepeného vrstveného hranolu
12. Lisování hranolu pomocí hydraulického lisu
13. Vyskládání hydraulického lisu a odvezení hranolů do skladů – klimatizace

3.5.2.3 Vlastnosti eurohranolu

- Přesné tvarové provedení - možnost výroby velkých rozměrů i délek až 6 m
- Nízká konečná vlhkost – 7-10 %
- Vysoce estetický přírodní povrch
- Rozměrová stabilita jednotlivých lamel

3.5.2.4 Použití eurohranolu

Oblast použití eurohranolů je široká, především ve stavebně truhlářské výrobě na výrobu oken a dveří. Ale je možné tyto polotovary využít ve stavitelství jako lehčí nosné konstrukce.



Obr. 14: Konstrukce eurohranolu (Dřevo-Spektrum 2013)

3.5.3 Eurodeck

3.5.3.1 Popis eurodeck

Eurodeck neboli sendvičová konstrukce hranolu je základním polotovarem pro výrobu stavebně truhlářských výrobků v ČR především interiérových dveří. Princip výroby této konstrukce spočívá v lepení délkově nastavených lamel na sebe. Díky řezané dýze tzv. švartna, která je estetickým krycím prvkem na ploše hranolu dostává podobu velmi kvalitního dřeva.

3.5.3.2 Popis výroby eurodeck

1. Vhodný výběr materiálu – DB, SM, MD, BO, BK
2. Prvotní zpracování – výroba řeziva požadovaných tloušťek (pásová, kotoučová, rámová pila)
3. Sušení řeziva v hraních – komorové sušárny ($W_k - 7-10\%$)
4. Rozmítání vysušeného řeziva na dané šířky
5. Manipulační automatické zkracovací linky s dopravníky – vymanipulování vad a kontrola kvality přířezů
6. Výroba zubovitého spoje na obou čelech vykrácených přířezů
7. Nanášení lepidla na čela vzniklých zubovitých spojů
8. Lisování nekonečného vlysu pomocí průběžného podélného lisu a následné vytvrzení lepené spáry v meziskladech
9. Čtyřstranné opracování – šířkové a tloušťkové opracování lamel
10. Nanášení lepidla pomocí válcového nanášecího zařízení na plochy lamel
11. Skládání lamel do souboru a vytváření lepeného hranolu
12. Nanášení lepidla na plochy řezaných dých – „švartny“
13. Přiložení krycích vrstev na plochy lepeného hranolu
14. Lisování hranolu s krycími vrstvami pomocí hydraulického lisu
15. Vyskládání hydraulického lisu a odvezení hranolů do skladů
16. Klimatizace

3.5.3.3 Vlastnosti eurodeck

- Přesné tvarové provedení
- Nízká konečná vlhkost – 7-10 %
- Vysoce estetický přírodní povrch materiálu
- Rozměrová stabilita jednotlivých lamel díky řezané dýze

3.5.3.4 Použití eurodeck

Použití sendvičových konstrukcí je široká, především ve stavebně truhlářské výrobě na výrobu oken a dveří především v interiérech. Radiální „švartny“ dodají konečnému materiálu výslednou estetickou podobu a tím zvýší i jeho finanční hodnotu.



Obr. 15: Konstrukce sendvičového profilu – eurodeck (EO Ludvík 2010)

3.5.4 Lepené lamelové dřevo – BSH

3.5.4.1 Popis BSH

Původní výroba lepeného lamelového dřeva sahá až do roku 1952. Jedná se o konstrukční materiál, kdy jednotlivé lamely, které jsou délkově napojeny, jsou dále v technologickém toku plošně slepeny na sebe a vytvoří tak celistvý pevný hranol. Těto technologie se využívá především ve stavebnictví pro výrobu hranolu na střešní konstrukce. Lze možné vyrábět také nosníky určitých tvarů např. obloukové či zakřivené.

3.5.4.2 Postup výroby BSH

1. Vhodný výběr materiálu – SM, MD, BO
2. Prvotní zpracování – výroba řeziva požadovaných tloušťek (pásová, kotoučová, rámová pila)
3. Sušení řeziva v hraních – komorové sušárny ($W_k - 15 \pm 3 \%$)
4. Rozmítání vysušeného řeziva na dané šířky
5. Manipulační automatické zkracovací linky s dopravníky – vymanipulování vad a kontrola kvality
6. Výroba zubovitého spoje na obou čelech vykrácených přířezů
7. Nanesení lepidla na čela vzniklých zubovitých spojů – PUR (PEF) lepidlo
8. Lisování nekonečného vlysu pomocí průběžného podélného lisu a následné vytvrzení lepené spáry v meziskladech
9. Čtyřstranné opracování – šířkové a tloušťkové opracování lamel
10. Nanášení lepidla pomocí polévacího nebo stříkacího nanášecího zařízení na plochy lamel - fenol-formaldehydové lepidlo (tvoří tmavou spáru), melamin-formaldehydové lepidlo (transparentní lepená spára)
11. Skládání lamel do souboru a vytváření lepeného hranolu
12. Lisování hranolu pomocí šroubového lisu
13. Vyskládání lisu a odvezení hranolů do skladů – klimatizace
14. Dvoustranná tloušťkovací frézka – tloušťkové opracování (max. šířka 200 mm)
15. Vykrácení hranolu na přesnou délku, vyhotovení konstrukčních spojů a osazení kování
16. Povrchová úprava hranolů

3.5.4.3 Vlastnosti BSH

- Strojově přesné tvarové provedení na CNC technologiích
- Stálá rozměrová stabilita
- Jakost povrchu
- Třídy pevnosti dle harmonizovaných norem
- Výroba dle požadované technologie (libovolné rozměry, průřezy a délky)
- Výroba tvarových a zakřivených nosníků (Böhm, Reisner, Bomba 2012).

3.5.4.4 Použití BSH

Hranol je využíván ve stavebnictví pro velkorozponové konstrukce, haly, mosty, divadla, skeletové konstrukce, stadióny, lávky, sportovní haly atd. Maximální rozměry, ve kterých je hranol BSH vyráběn jsou 35 x 2 x 0,24 m. Pokud jsou rozměry přesáhnuty, tak je nutné hranol délkově spojit s kusy následujícími. Dojde ke zvětšení lepeného prvku až na dvojnásobek (Böhm, Reisner, Bomba 2012).



Obr. 16: Konstrukce lepeného lamelového dřeva BSH (NED Invest 2015)

3.5.5 Masivní konstrukční dřevo – KVH

3.5.5.1 Popis KVH

V anglickém překladu - Solid Structural Timber, ale v ČR je tento lepený materiál označován jako KVH. Jedná se o konstrukční materiál, kdy jednotlivé lamely, které jsou délkově napojeny, čtyřstranně opracovány což vede k celkové tloušťkové egalizaci tohoto lepeného materiálu. Maximální délky tohoto materiálu jsou až 18 m (Böhm, Reisner, Bomba 2012).

3.5.5.2 Postup výroby KVH

1. Vhodný výběr materiálu – SM, MD, DG
2. Vytvoření požezových schémat – rozříznutí v oblasti dřene (eliminace trhlin)
3. Výroba řeziva požadovaných tloušťek – rozmítací kotoučová pila
4. Sušení řeziva v hraních – komorové sušárny ($W_k - 14 \pm 2\%$) – tvarová stálost
5. Manipulační automatické zkracovací linky s dopravníky – vymanipulování vad a současná kontrola kvality hranolů
6. Výroba zubovitého spoje na obou čelech vykrácených přířezů
7. Nanesení lepidla na čela vzniklých zubovitých spojů – PUR (PEF) lepidlo
8. Lisování nekonečného vlysu pomocí průběžného podélného lisu a následné vytvrzení lepené spáry v meziskladech
9. Čtyřstranné opracování – šířkové a tloušťkové opracování hranolů, sražení hran (požární odolnost a usnadnění manipulace)
10. Odvezení hranolů do skladů – klimatizace a balení (plastová folie)
11. Hotové hranoly o běžných rozměrech – 40 x 60 mm až do průřezu 140 x 240 mm, vyráběné délky do 13 m

3.5.5.3 Vlastnosti KVH

- odstranění nežádoucích vad (vede ke snížení mechanických vlastností)
- Vlhkost sousedních prvků max. 14 ± 2 %
- Vykrácení na určité délky vede ke snížení sesychání a bobtnání
- Přesné dimenze
- Estetický povrch a sražené hrany pro lepší manipulaci
- Třídy pevnosti dle norem
- Výroba dle požadované technologie (libovolné rozměry, průřezy a délky)
(Böhm, Reisner, Bomba 2012).

3.5.5.4 Použití KVH

Použití lepeného prvku je všestranné. Nejčastěji je ale využíván ve stavebnictví, kde je potřeba volit esteticky pohledové koncepce náročné na kvalitu. Dále je možné využití pro konstrukce stěn u dřevostaveb a pro pohledové trámy.



Obr. 17: Konstrukce lepeného lamelového dřeva KVH (NED Invest 2015)

3.5.6 DUO a TRIO hranoly

3.5.6.1 Popis hranolů DUO a TRIO

Z hlediska technologického zpracování dochází v první fázi k rozříznutí řeziva na půl či na třetiny. Následuje slepení těchto vrstev opět k sobě. Vzniká tak celistvý materiál, který má výborné rozměrové vlastnosti. Rozměry takto slepených hranolů jsou od 60x80 mm až do 240x240 mm. Důležitým technologickým parametrem je slepení rozříznutých vrstev zpět k sobě levou stranou tzn. stranou vzdálenější od dřeně. Tímto parametrem je zajištěna tvarová stabilita a hranol je tedy rozměrově stabilizovaný. Lepené hranoly jsou vykráceny na určité délky, kdy je z řeziva vymanipulováno určité procento nežádoucích vad a následně jsou na čela vyfrézovány zubovité spoje, které se délkově nastaví až do délek 16 m. Po délkovém nastavení se hranol slepí plošně (max. 2-3 vrstvy) (Hasko 2012, Dektrade 2012, Böhm, Reisner, Bomba 2012).

3.5.6.2 Postup výroby hranolů DUO a TRIO

1. Vhodný výběr materiálu – SM, MD, DG
2. Vytvoření základního pořezu – rozříznutí v oblasti dřeně (eliminace trhlin)
3. Výroba řeziva požadovaných tloušťek – rozmítací kotoučová pila
4. Sušení řeziva v hráních – komorové sušárny ($W_k - 14 \pm 2 \%$)
5. Manipulační automatické zkracovací linky s dopravníky – vymanipulování vad a současná kontrola kvality hranolů
6. Výroba zubovitého spoje na obou čelech vykrácených přířezů
7. Nanášení lepidla na čela vzniklých zubovitých spojů
8. Lisování nekonečného vlysu pomocí průběžného podélného lisu a následné vytvrzení lepené spáry v meziskladech
9. Čtyřstranné opracování – šířkové a tloušťkové opracování lamel
10. Nanášení lepidla pomocí válcové nanášecího zařízení na plochy hranolů - melaminové lepidlo (zdraví nezávadné)
11. Skládání lamel do souboru a vytváření lepeného hranolu DUO/TRIO
12. Lisování hranolu pomocí kontinuálního lisu
13. Vyskládání lisu s hotovými hranoly
14. Slepěný surový hranol je čtyřstranně frézován pomocí čtyřstranné frézky
15. Navezení hranolů do skladů – klimatizace a balení

3.5.6.3 Vlastnosti hranolů DUO a TRIO

- Odstranění nežádoucích vad (vede ke snížení mechanických vlastností)
- Vlhkost sousedních prvků max. 14 ± 2 %
- Vykrácení na určité délky vede ke snížení sesychání a bobtnání
- Přesné dimenze
- Estetický povrch a sražené hrany pro lepší manipulaci
- Třídy pevnosti dle norem
- Výroba dle požadované technologie (libovolné rozměry, průřezy a délky)
(Böhm, Reisner, Bomba 2012).

3.5.6.4 Použití hranolů DUO a TRIO

Hranoly je možné použít ve všech stavebně truhlářských odvětvích. Velké uplatnění je především u skeletových staveb či stropních nosníků ať už na pohledové konstrukce, tak i nepohledové (Dektrade 2012).



Obr. 18: Konstrukce lepeného lamelového dřeva DUO/TRIO (Ráj-Dřeva 2010)

4. Materiál a metodika

Veškeré zkušební postupy pro lepené hranoly budou vyhotoveny ze Směrnice *Massive Keilgezinkte und lamellierte Profile für Holzfenster* č. ift – HO. 10/1 institut pro okenní techniku Rosenheim z r. 2002, ČSN EN 204, ČSN EN 205, ČSN EN 302-1 a ČSN EN 302-2.

Lepené hranoly včetně zkušebních vzorků s tepelně upravenou vrstvou byly vyhotoveny ve firmě Agrospol s.r.o. Lužná u Vsetína. Zkušební postupy byly provedeny s odbornou asistencí Ing. Josefa Hlavatého, Ph.D. a doc. Dr. Ing. Pavla Krále. v laboratorní zkušebně nábytku na budově T v areálu Mendelovy univerzity v Brně.

Práce byla zpracována na základě domluvy a požadavku firmy Agrospol s.r.o. Lužná u Vsetína. Firma si chtěla ověřit, jaká bude pevnost lepené spáry a delaminace lepeného hranolu v případě použití dubového a smrkového hranolu v kombinaci s vrstvou z tepelně upraveného dřeva borovice lesní. V případě druhém bylo důležité zjistit, zda lepidlo, které je využíváno k montážnímu lepení hranolů, bude vyhovovat i pro vrstvy z tepelně upravené dřeva. Dále bylo navrženo adekvátní lepidlo od firmy RAKOLL, které mělo zlepšit přilnavost vrstvy z tepelně upraveného dřeva k eurohranolu či jinému lepenému prvku a také mělo zlepšit pevnost lepené spáry tak, aby odolávala vysokým vlhkostním vlivům v případě zařazení tohoto prvku do exteriéru. Firma požadovala použití druhého lepidla s krátkou dobou vytvrzení v lisovacím zařízení z důvodu nižší kapacity výroby. Proto bylo jako druhé reprezentativní lepidlo zvoleno PVAc disperze s přídavkem izokyanátové pryskyřice pro vysokou pevnost a pružnost spáry.

4.1 Přehled pomůcek a zkušebního zařízení

- Digitální posuvné měřidlo
- Laboratorní váha
- Vodní lázeň s termostatem – GFL
- Laboratorní sušárna
- Klimatizační komora
- Penetrační prostředek
- Zkušební trhací zařízení – INSTRON 3365

4.2 Použité druhy dřevin

V dnešní době je již tepelná úprava dřeva hojně rozšířena. Vzhledem k tomu bude pro tento výzkum použito běžně dostupné tepelně upravené dřevo, zpracované za stejných tepelných podmínek (tzn. stejné intenzity tepelné úpravy – 230°C). Pro výrobu hranolů budou vybrány především materiály našich nejpoužívanějších dřevin (tzn. smrk, dub).

- Lepené hranoly
 - Smrk ztepilý (*Picea abies*)
 - Dub letní (*Quercus robur*)
- Řezané dýhy - „Švartny“
 - Thermowood - Borovice lesní (*Pinus sylvestris*)



Obr. 19: Vzorek DB+ TW (R 100 g/m²)



Obr. 20: Vzorek SM + TW (R 100 g/m²)

4.3 Technologie výroby speciálně upraveného hranolu

4.3.1 Charakteristika materiálu a požadavky na jeho kvalitu

Vlhkostní rozdíl mezi sousedními vrstvami lamel lepeného hranolu nesmí být větší než 1%. To se odráží i na celkové vlhkosti tohoto lepeného prvku, která by měla mít hodnotu $12 \pm 2\%$. Pro výrobu lepeného hranolu se na vrchní a spodní část musí použít radiální řezivo popř. poloradiální řezivo s odklonem vláken do max. 45° . Díky této technologii je zabezpečena vysoká pevnost a rozměrová stabilita hranolu. Pro vnitřní lamely je dovoleno použití tangenciálního řeziva, ale doporučuje se použití výhradně řeziva radiálního či poloradiálního. Jednotlivé lamely musí být zbaveny veškerých vad, které by mohly ovlivnit konečné vlastnosti lepeného hranolu (suky, hniloba, nepravé jádro atd.).

4.3.2 Použité strojní zařízení pro výrobu hranolu

4.3.2.1 Rozmítací pila

Rozmítání (šířkové řezání), je první operací při zpracování vysušeného řeziva, kdy jsou jednotlivé lamely nařezány dle požadované šířky (46,52,67,82, 91,135,152 mm).



Obr. 21: Rozmítací pila s laserovým zaměřováním (Störi Mantel 2012)

4.3.2.2 Zkracovací pila

Zkracování je následující operací, kdy je řezivo roztrženo pracovníkem dle použitelnosti (poddimenzované tloušťky, hniloba, křemenitost, velké suky atd.) a následně jsou vymanipulovány vady hrubým krácením. Řezivo je vykráceno na dílce určité délky (od 150 – 3000 mm).



Obr. 22: Středisko se zkracovací pilou

4.3.2.3 Frézka pro výrobu miniozubů a lisovací zařízení

Výroba miniozubů je metoda pro podélné napojování dřeva. Čela přířezů jsou nejprve zaříznuty (srovnány) kapovacími pilovými kotouči a následně jsou vyfrézovány zubovité spoje pomocí čepovacího stroje s frézami. Dále je na zubovité miniozuby nanášeno lepidlo z již připravených válcových nanášecek, které se otáčejí a udržují konzistenci lepidla v kapalné formě.

Lisování nekonečného vlýsu probíhá na průběžném lisovacím zařízení, do kterého jsou vkládány dílce. Zaražením zubovitých spojů do sebe, dochází k délkovému nastavování lamely. Jakmile lamela narazí do elektronické zarážky, která je upevněná na lisovacím stole (určuje konečnou délku lamely), tak dojde k uřezání a následném zalisování.



Obr. 23: Frézka pro výrobu miniozubů a lisovací zařízení (Axima Moravia 2012)

4.3.2.4 Čtyřstranná profilovací frézka

Čtyřstranné profilovací frézky jsou konstruovány pro podélné opracování výrobků z masivního dřeva. Technologickým účelem je tloušťkové a šířkové opracování na požadovaný rozměr. Frézovací nože opracovávají rovnoměrně materiál a tím dochází ke zlepšení estetičnosti a jakosti povrchu.



Obr. 24: Profilovací frézka Leadermac 823

4.3.2.5 Válcová nanášedka

Výškově nastavitelné zařízení umožňuje rovnoměrné nanesení lepidla na plochy lamelových dílců. Množství naneseného lepidla se pohybuje od 60-200 g/m².



Obr. 25: Válcová nanášedka lepidla a pásový dopravník

4.3.2.6 Hydraulický lis

Pomocí hydraulického lisu dochází k vytvoření lepeného hranolů. Lisovací čas se pohybuje mezi 30-60 min a lisovací tlak je od 0,1-1,0 MPa dle lisovací šířky materiálu.



Obr. 26: Lisovací zařízení pro výrobu lepených hranolů

4.3.3 Výroba řezaných dých - „Švarten“

4.3.3.1 Rámová pila - „Katřík“

Rámová pila, která vytváří řezané dýhy. Do stroje jsou vkládány výřezy (šířka materiálu dle zvoleného pilového rámu), které jsou pomocí pilových listů rozřezávány na jednotlivé řezané dýhy tzv. švartny.



Obr. 27: Vertikální rámová pila pro výrobu řezaných dých „Švarten“

4.4 Zařízení pro provedení zkušebních postupů

4.4.1 Vodní lázeň s termostatem – GLF

Zkušební zařízení pro uložení dřeva ve vodním temperovaném prostředí. Teplota je variabilní od 5 °C – 99,9°C. Změnu teploty je možné volit v rozmezí $\pm 0,1^\circ\text{C}$.



Obr. 28: Vodní lázeň s termostatem – GFL

4.4.2 Trhací zařízení – INSTRON 3365

Zkušební trhací stroj. Stroj je tvořen masivní konstrukcí s upínacími kleštěmi pro zkušební smykové tělíska.



Obr. 29: Zkušební trhací zařízení – INSTRON 3365

4.5 Použité lepidlo

4.5.1 RAKOLL ECO 4

Jednosložkové lepidlo třídy D-4 smíchané s tvrdidlem v poměru 100:5. Technický list lepidla viz. **P27 – P28**

Vlastnosti

RAKOLL ECO 4 je jednosložkové PVAc disperzní lepidlo s dobrou voděodolností, které vyhovuje požadavkům třídy D-4. Lepidlo vytvrzuje velmi rychle během krátkých lisovacích časů, které se pohybuje okolo 12 min. u smrku. Toto lepidlo lze použít i na dřeviny těžko lepitelných jako jsou dub či modřín. Při použití tohoto lepidla nedochází ke zbarvení lepené spáry. Lepidlo vykazuje lepší vlastnosti, jako jsou tepelná odolnost a voděodolnost při zvýšen lisovací teplotě nad 70°C.

4.5.2 RAKOLLIT 280+, RAKOLLIT – HÄRTER WS 1 1

Lepidlo na bázi disperze-isokyanát pro voděodolné lepení. Lepidlo je smíchané s tvrdidlem v poměru 100:7. Technický list lepidla viz. **P25 – P26**

Vlastnosti

RAKOLLIT 280 + HÄRTER WS 1 1 je kvalitnější, 2-složkové lepidlo na bázi vodní úmělopryskyřičné disperze ve spojení s izokyanátem jako zesíťovadlem.

Toto lepidlo drží velmi dobře na dřevě, dřevěných dílech i různých umělých hmotách. Na základě prosíťování vytváří RAKOLLIT 280 + HÄRTER WS 1 1 spojení s velmi dlouhotrvající pevností a voděodolností.

4.6 Zkušební vzorky

Zkušební vzorky byly nařezány z předem vyhotovených speciálně slepených hranolů, které dodala firma Agrospol s.r.o. Lužná u Vsetína. Na vrchní část hranolu byla přilepena a zalisována řezaná dýha tzv. švartna z tepelně upraveného dřeva borovice lesní.



Obr. 30: Kombinovaný dubový vzorek pro temperované uložení ve vodě



Obr. 31: Kombinovaný smrkový vzorek pro smykovou zkoušku

4.6.1 Výroba zkušebních vzorků

4.6.1.1 Výroba smykových zkušebních tělísek

Operace, které provázely vytváření vzorků, byly prováděny dle podmínek ČSN EN 205. Vyrobene zkušební vzorky měli délku 150 mm a šířku 20 mm. Zkušební smyková plocha měla rozměry 20 mm a 10 mm. Zářezy, které byly provedeny na obou stranách, musí proříznout vrstvu lepidla tak, aby nebyla porušena druhá část zkušebního tělíska. Následná klimatizace vytvořených experimentálních vzorků probíhala po dobu 6 týdnů. Pro porovnání (jako referenční zkušební vzorky) budou použity stejné materiály, avšak s odlišným typem lepidla a velikostí nánosů. Nánosy budou ve velikostech 100 g/m² a 125 g/m². Bylo vytvořeno celkem 24 desek o dvou vrstvách v délce 1075 mm a celkové tloušťce 20 mm (tloušťka „švartny“ - 8 mm).

Postup technologických operací při výrobě smykových tělísek:

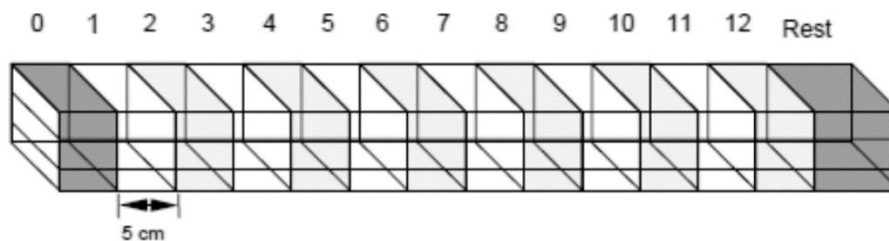
- Výroba dých - speciální rámová pila na výrobu řezaných dých tzv. švarten - katřik
- Nanášení lepidla a slepení dvou vrstev – válcová nanášečka + hydraulický lis
- Podélné řezání na pásy o tl. 20 mm – univerzální kotoučová pila
- Příčné řezání na přesný rozměr 150 mm – univerzální kotoučová pila
- Výroba zkušební plochy pro trhací stroj – spodní svislá frézka

4.6.1.2 Výroba tělísek pro uložení ve vodním temperovaném prostředí

Operace, které provázely vytváření vzorků, byly prováděny dle podmínek ČSN EN 302-1 a dle směrnice *Massive Keilgezinkte und lamellierte Profile für Holzfenster* č. ift – HO. 10/1 institut pro okenní techniku Rosenheim z r. 2002.

Pro výrobu vzorku byly použity třívrstvé lepené hranoly z DB a SM. Lepené hranoly se lišily v druhu použitého lepidla a velikostí nánosů. Bylo vytvořeno celkem 8 hranolů v délkách 2 m. Speciálně slepené hranoly byly po slepení klimatizovány ve skladovacím prostředí ve vlhkostních podmínkách 23 ± 2°C 50 ± 5 % RVV. Celková doba klimatizace činila 6 týdnů v tomto prostředí.

Z jednotlivých hranolů byly nařezány zkušební vzorky o délkách 50 mm (šířka a výška je stanovená rozměry eurohranolu 86 x 82 mm) pro zkoušky posouzení jakosti lepení po temperovaném uložení ve vodě. Krajní části hranolu musí být min. 50 mm od okraje odstraněny (možnost nepřesnosti výsledků, větší míra rozlepení).



Obr. 32: Výroba zkušebních vzorků dle směrnice (ift Richtlinie 2002)

4.7 Způsoby vyhodnocení zkušebních postupů

4.7.1 Výpočet pevnosti krycí vrstvy dle ČSN EN 205

Norma ČSN EN 205 popisuje pevnosti lepených dřevěných spojů. Zkušební vzorky jsou připraveny z nepařeného, ohoblovaného dřeva s rovnými vlákny. Úhel mezi letokruhy a rovinou slepu se povoluje 30° až 90°, vlhkost 12 %. Rozměry zkušebních vzorků jsou 20 mm šířka a délka 100-150 mm. Zkušební smyková plocha má délku 10 mm. Při vyřezání zkušební plochy je důležité, aby byla přiříznuta tenká vrstva lepidla a co nejméně bylo zasaženo do druhé části tělesa. Postup zkoušky je takový, že se zkušební těleso upne do jednotlivých čelistí trhačího stroje. Nejdříve se materiál v čelistech vyrovná a následně upínací klikou zajistí. Síla zkušebního zařízení musí být vyvíjena při rovnoměrném růstu rychlosti asi 20-50 mm/min. Opticky se poté určí rozsah poškození plochy, která je pokrytá dřevem, aniž by byl brán ohled na hloubku porušení dřeva. V případě vyhodnocení výsledků porušených plochy se hodnotí s přesností na 10% (ČSN EN 205).

Pro výpočet zkoušky pevnosti (T , v N/mm^2) platí:

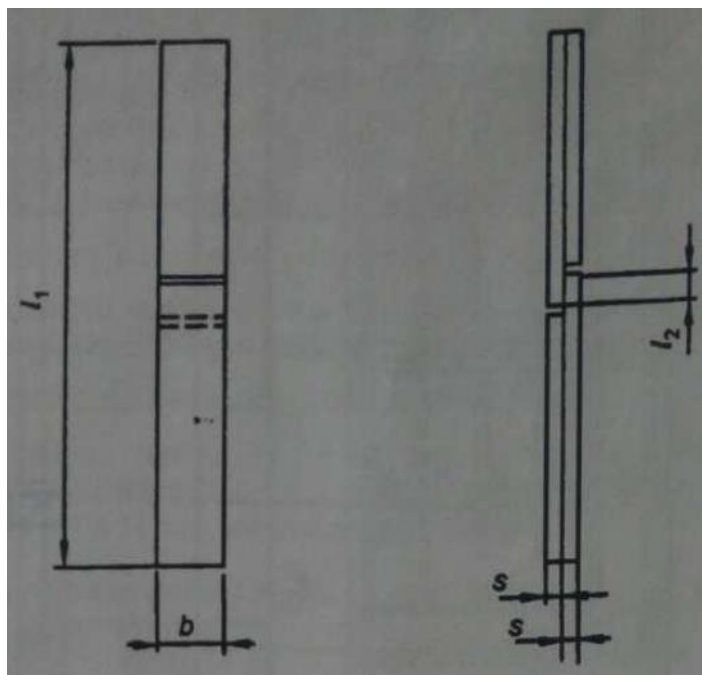
$$\tau = \frac{F_{max}}{A} = \frac{F_{max}}{l_2 \cdot b} [\text{N} \cdot \text{mm}^2]$$

F_{max} – největší vynaložená síla [N]

A – slepená zkušební plocha [mm^2]

l_2 – délka slepené zkušební plochy [mm]

b – šířka slepené zkušební plochy [mm]



Obr. 33: Výroba zkušebních vzorků dle směrnice (ift Richtlinie, 2002)

Kde:

$$l_1 = 150 \pm 5 \text{ mm}$$

$$b = 20 \pm 0,2 \text{ mm}$$

$$l_2 = 10 \pm 0,2 \text{ mm}$$

$$s = 5 \pm 0,1 \text{ mm}$$

4.7.1.1 Test pevnosti lepeného spoje dle ČSN EN 205

Pevnosti lepení byly provedeny na trhacím stroji INSTRON 3365, který je uzpůsobený k trhání jednotlivých lepených vzorků. Výsledky zkoušky byly dle počítačového programu, který tento stroj nabízí zaznačeny do grafu a tabulek, následně zpracovány v tabulkovém editoru EXCEL a v závěrečné diskuzi porovnány s literaturou.

4.7.1.2 Procentuální porušení vzorků

Při statistickém vyhodnocení je důležité zhodnotit jeho procentuální porušení. Zda byly testované vzorky porušeny v lepené spáře nebo ve dřevě. Pokud byly vzorky porušeny v lepené spáře, vzorek je brán jako neplatný pokus. Pokud byl vzorek porušen ve dřevě, vizuálně se posoudí množství dřeva, které na zkušební ploše zůstalo a následně se zapíše tato hodnota do tabulky v procentech. Takovýto pokus je platný dle ČSN EN 205.

4.7.2 Stanovení třídy trvanlivosti dle ČSN EN 204

Dle expozice č. 1, č. 3 a č. 5 (viz. **tab. 1**) podrobíme vzorky zkoušce, aby bylo možné zjistit třídu trvanlivosti lepidla.

Tab. 1: Minimální hodnoty pevnosti tenkých slepů (ČSN EN 204)

Střídání podmínek		Pevnost slepu v N/mm ² Třídy trvanlivosti			
Poř. číslo	Doba expozice a typ prostředí	D1 ³⁾	D2 ³⁾	D3 ³⁾	D4 ³⁾
1	7 dní ¹⁾ , normální ²⁾	≥10	≥10	≥10	≥10
2	7 dní, normální 3 hodiny ve vodě (20 ±5)°C 7 dní, normální	–	≥8	–	–
3	7 dní, normální 4 dny ve vodě (20 ±5)°C	–	–	≥2	≥4
4	7 dní, normální 4 dny ve vodě (20 ±5)°C 7 dní, normální	–	–	≥8	–
5	7 dní, normální 6 hodin ve vařící vodě 2 hodiny ve vodě (20 ±5)°C	–	–	–	≥4

Poznámky
¹⁾ 1 den = 24 hodin
²⁾ (20 ± 5)°C a (65 ± 5)% relativní vlhkosti nebo (23 ± 2)°C a (50 ± 5)% relativní vlhkosti
– =zkouška se nevyžaduje
³⁾ Při kvalifikaci lepidla musí být v průměru dosaženo všech minimálních hodnot uvedených ve sloupcích tříd trvanlivosti D1 až D4 (např. pro D4 se vyžadují pořadová čísla expozice 1, 3 a 5).

4.7.3 Statistické vyhodnocení

- Experimentální výsledky budou vyhodnoceny v programu STATISTICA
 - Popisná statistika
 - Krabicový graf pro zjištění normality základního souboru
 - Test normality základního souboru pomocí Shapiro-Wilkova testu
 - Dvouvýběrový t-test s nerovností rozptylů
 - ANOVA
 - Závěrečné vyhodnocení

4.7.4 Posouzení jakosti lepení po temperovaném uložení ve vodě

Vymanipulované zkušební vzorky z hranolu jsou uloženy ve vodním temperovaném prostředí, které má variabilně měnící se teplotu dle přednastaveného termostatu. Po provedení zkoušky se mokré vzorky vloží do sušárny, s normálním klimatem prostředí tzn. $23 \pm 2^\circ\text{C}$ $50 \pm 5\%$ RVV a klimatizují se. Dle směrnice (ift Richtlinie, 2002) lepidlo dosahuje své konečné pevnosti po 28 dnech. Jakmile je lepidlo vytvrzeno proběhne zkušební postup ve vodním temperovaném prostředí. Pokud byla provedena zkouška před konečným uplynutím 28 dní, je proveden pouze záznam ze zkoušky.

Z hranolu se vymanipulují zkušební vzorky č. 2, 4, 6, 8, 10, 12 (viz. **obr. 32**) a testují se. Po uplynutí jednotlivých fází se vizuálně posuzuje těsnost a otevřenost lepené spáry. Změří se také konečná rozlepená spára a zaznamená do tabulky. V konečném posouzení, nesmí průměrná hodnota otevřených spár u všech zkoušených vzorků překročit 5 % z celkové délky lepených spojů, přičemž jednotlivě nesmí hodnota překročit 10 % na jednom vzorku (ift Richtlinie 2002).

Cyklus zkoušky:

1. 3 hod. uložení ve vodě při teplotě 20°C
2. 3 hod. uložení ve vodě při teplotě 60°C
3. 18 hod. uložení ve vodě při teplotě 20°C
4. 72 hod. uložení vzorků v klimatu o teplotě 23°C a 50 % RVV



Obr. 34: Uložení vzorků ve vodní lázni

4.8 Tabulkový výpis materiálu

4.8.1 Výpis materiálu pro zkoušky ve vodní lázni

Tab. 2: Výpis materiálu pro zkoušky ve vodní lázni – SM + TW

Hranol	Dřevina	Krycí vrstva	Rozměry (VxŠxH)	Druh lepidla	Typ lepidla	Množství nánosu (g/m ²)
1	SM	TW	82x86x2100	PVAc	RAKOLL ECO 4	100
2	SM	TW	82x86x2100	PVAc	RAKOLL ECO 4	125
3	SM	TW	82x86x2100	Isokyanátová PVAc disperze	RAKOLLIT 280 +	100
4	SM	TW	82x86x2100	Isokyanátová PVAc disperze	RAKOLLIT 280 +	125

Tab. 3: Výpis materiálu pro zkoušky ve vodní lázni – DB + TW

Hranol	Dřevina	Krycí vrstva	Rozměry (VxŠxH)	Druh lepidla	Typ lepidla	Množství nánosu (g/m ²)
1	DB	TW	82x86x2100	PVAc	RAKOLL ECO 4	100
2	DB	TW	82x86x2100	PVAc	RAKOLL ECO 4	125
3	DB	TW	82x86x2100	Isokyanátová PVAc disperze	RAKOLLIT 280 +	100
4	DB	TW	82x86x2100	Isokyanátová PVAc disperze	RAKOLLIT 280 +	125

4.8.2 Výpis materiálu pro smykové zkoušky

Tab. 4: Výpis materiálu pro expozice č. 1, č. 3 a č. 5 – SM + TW, DB + TW

Kombinovaný hranol	Typ lepidla	Počet vzorků v expozicích (ks)		
		Expozice č. 1	Expozice č. 3	Expozice č. 5
SM + TW	RAKOLL ECO 4 (100 g/m ²)	21	21	21
	RAKOLL ECO 4 (125 g/m ²)	21	21	21
	RAKOLLIT 280 + (100 g/m ²)	21	21	21
	RAKOLLIT 280 + (125 g/m ²)	21	21	21
DB + TW	RAKOLL ECO 4 (100 g/m ²)	21	21	21
	RAKOLL ECO 4 (125 g/m ²)	21	21	21
	RAKOLLIT 280 + (100 g/m ²)	21	21	21
	RAKOLLIT 280 + (125 g/m ²)	21	21	21
Celkový počet vzorků		504		

5. Výsledky měření

5.1 Vyhodnocení zkušebních vzorků dle ČSN EN 204 a 205

5.1.1 Vyhodnocení zkušebních vzorků dle expozice č. 1

Naměřené hodnoty průměrného konečného porušení pro expozici č. 1. Varianty hodnocení pro dřeviny smrk a dub v kombinaci s tepelně upravenou vrstvou jsou uvedeny v **tab. 5**. Expozice č. 1 je hodnocena pouze průměrnými výsledky porušení jednotlivých vzorků. Tato expozice nebyla základním požadavkem firmy pro výzkum. Hodnoty uvedené v **tab. 5** jsou tedy jen orientačními pro hodnocení s hodnotami, které byly pořízeny v extrémních vlhkostních podmínkách.

Porušení zkušebních vzorků bylo vždy ve dřevě tepelně upraveného dřeva, tzn. že jsme překročili mez pevnosti tepelně upravené vrstvy z dřeviny borovice lesní.

Doba expozice a typ prostředí:

1. 7 dní, normální

Tab. 5: Naměřené hodnoty experimentu dle expozice č. 1

Označení skupiny	Průměrné zatížení při maximálním tahovém protažení (N)	Průměrné konečné napětí při porušení (Mpa)	Porušení vzorků ve dřevě (%)	Množství nánosu lepidla (g/m ²)
SM +TW (R 100 g/m ²)	1235,033	6,238	100	100
SM+TW (R 125 g/m ²)	1242,154	6,274	100	125
SM+TW (Rt 100 g/m ²)	1314,275	6,638	100	100
SM+TW (Rt 125 g/m ²)	1289,034	6,51	100	125
DB+TW (R 100 g/m ²)	1366,068	6,899	100	100
DB+TW (R 125 g/m ²)	1275,45	6,268	100	125
DB+TW (Rt 100 g/m ²)	1197,893	6,05	100	100
DB+TW (Rt 125 g/m ²)	1281,517	6,472	100	125

5.1.2 Vyhodnocení zkušebních vzorků dle expozice č. 3

5.1.2.1 Vyhodnocení dle expozice č. 3 – Smrk ztepilý + Thermowood

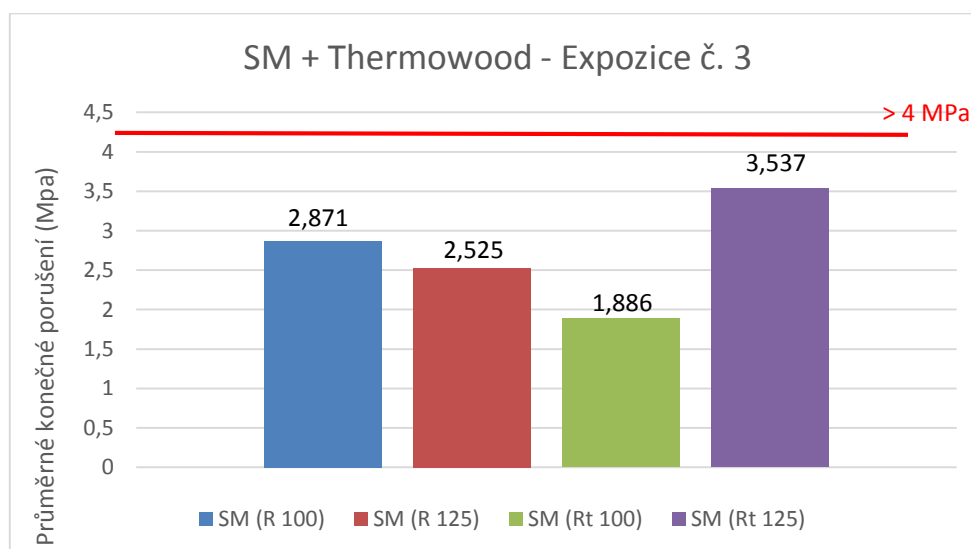
Doba expozice a typ prostředí:

1. 7 dní, normální
2. 4 dny ve vodě ($20 \pm 5^\circ\text{C}$)

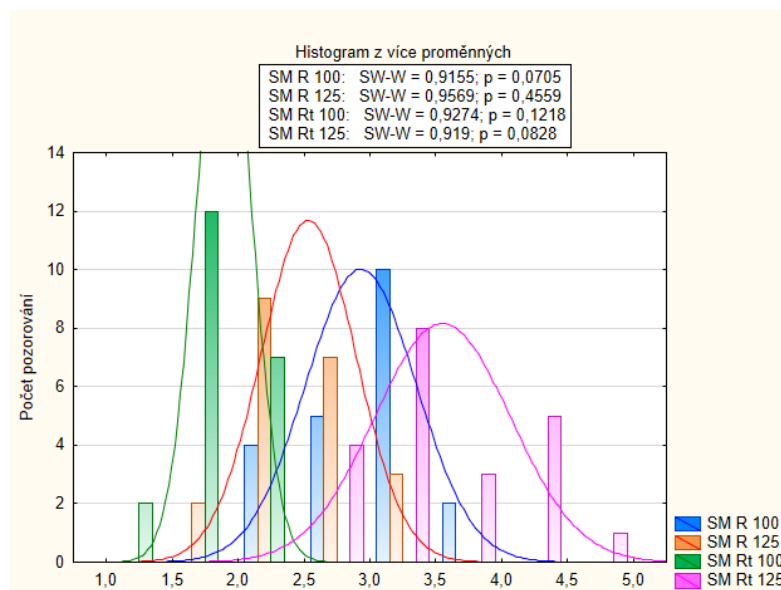
Tab. 6: Naměřené hodnoty experimentu pro SM+TW dle expozice č. 3

(kompletní tabulky viz. **P1-P4**)

Označení skupiny	Průměrné zatížení při maximálním tahovém protažení (N)	Průměrné konečné napětí při porušení (MPa)	Průměrné porušení vzorků ve dřevě (%)	Množství nánosu lepidla (g/m^2)
SM + TW (R 100 g/m^2)	632,627	2,871	86	100
SM + TW (R 125 g/m^2)	554,718	2,525	98	125
SM + TW (Rt 100 g/m^2)	413,613	1,886	71	100
SM + TW (Rt 125 g/m^2)	773,998	3,537	90	125

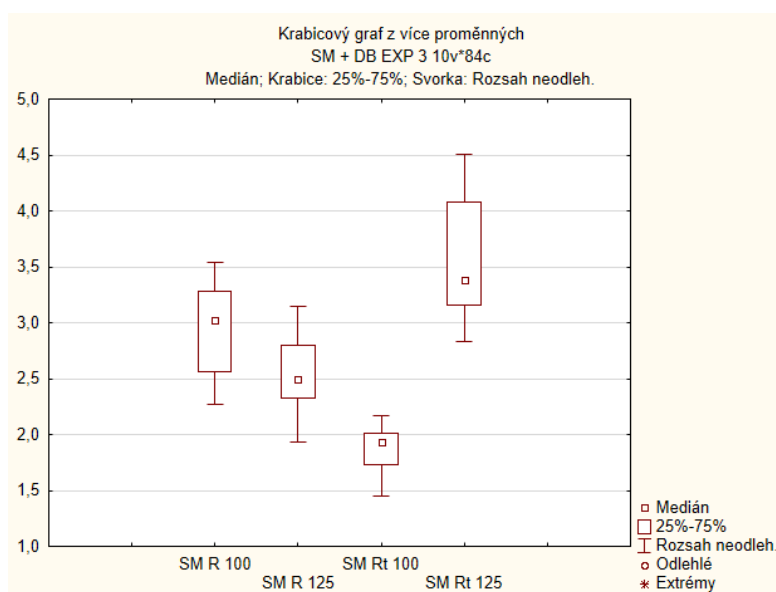


Obr. 35: Graf průměrných hodnot konečného porušení vč. limitní hodnoty pevnosti slepu u SM+TW. Limitní hodnoty nedosáhla ani jedna měřená skupina. Pouze v případě skupiny SM Rt 125 jsme zaznamenaly pevnostní hodnotu blížíící se požadované hodnotě 4 MPa. Dále můžeme konstatovat, že v případě použití lepidla RAKOLL (R 100 a R 125) byly hodnoty velmi porovnatelné a dosahovaly podobných pevností.



Obr. 36: Histogram porovnávaných vzorků pro dřevinu SM+TW – expozice č. 3

Dle Shapiro-Wilkova testu je ověřována normalita rozdělení souboru, kdy p -hodnota [$p > \alpha$ (0,05)]. Pokud jsou splněny podmínky p -hodnoty, pak jsou zkoumané výběry ze základního souboru s normálním rozdělením.

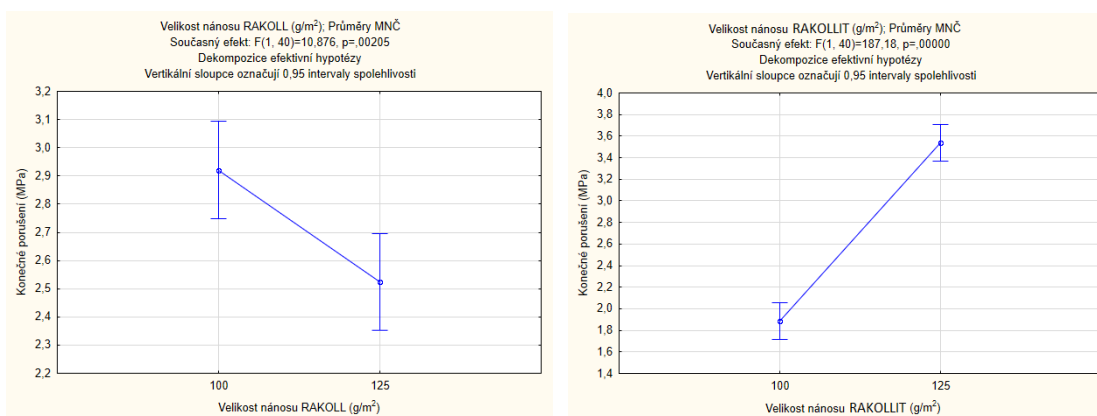


Obr. 37: Krabicový graf porovnání variability dat pro dřevinu SM+TW – expozice č. 3

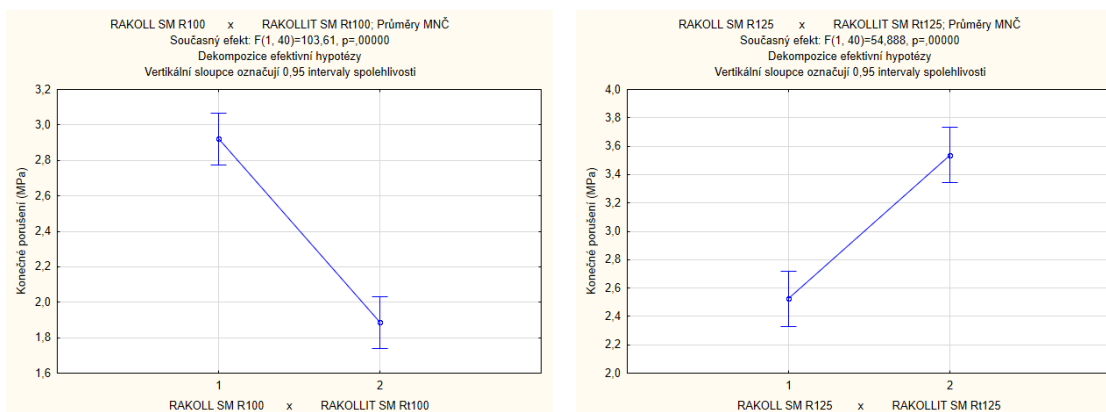
V grafu je možné pozorovat statistickou závislost dat v případě použitého lepidla a nánosu. Statistický významný rozdíl jsme zaznamenaly v případě použití lepidla RAKOLLIT a jeho velikostí nánosu. Lepidlo RAKOLL statisticky rozdíl v případě rozdílných nánosů nevykazovalo. Extrémní a odlehlé hodnoty nebyly vyhodnocovány, ale byly brány jako chybné měření, např. výrazný odklon vláken, nedostatečně prořezaná drážka či předčasné rozlepení vzorku.

Tab. 7: Popisná statistika pro dřevinu SM+TW – expozice č. 3

Proměnný faktor	SM - RAKOLL	SM - RAKOLL	SM - RAKOLLIT	SM - RAKOLLIT
	100 g/m ²	125 g/m ²	100 g/m ²	125 g/m ²
Celkový počet měření	21	21	21	21
Průměr	2,921047619	2,524666667	1,886333333	3,536904762
Medián	3,024	2,493	1,932	3,387
Minimum	2,275	1,931	1,453	2,836
Maximum	3,545	3,152	2,167	4,502
Rozptyl	0,174821748	0,128552233	0,042176533	0,26346919
Směrodatná odchylka	0,418116907	0,358541815	0,205369261	0,5132925
Variační koeficient	14,31393668	14,20155065	10,88722005	14,51247728
Šikmost	-0,224780065	0,204224626	-0,75159835	0,562465858
Špičatost	-1,347427223	-0,700096314	-0,098604581	-0,867219129



Obr. 38: Porovnání vlivu množství nánosu u expozice č. 3 (SM R 100 a SM R 125, SM Rt 100 a Rt 125) dle ANOVY. Dle ANOVY byl prokázán statisticky významný rozdíl v případě velikosti nánosu. V případě prvním byla zjištěna vyšší pevnost s menším nánosem. V případě druhém byla pevnost vyšší s nánosem vyšším.



Obr. 39: Porovnání vlivu druhu lepidla u expozice č. 3 (SM R 100 a SM Rt 100, SM R 125 a SM Rt 125). Dle ANOVY byl prokázán statisticky významný rozdíl v případě použití různého typu lepidla. Statistické rozdíly byly porovnatelné s obr. 38.

5.1.2.2 Vyhodnocení dle expozice č. 3 – Dub letní + Thermowood

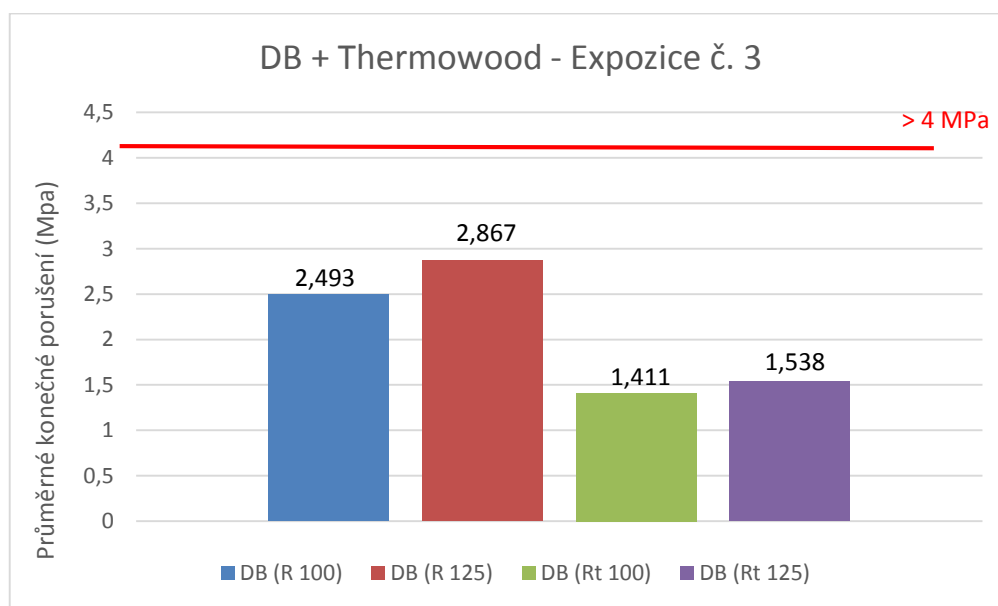
Doba expozice a typ prostředí:

1. 7 dní, normální
2. 4 dny ve vodě ($20 \pm 5^\circ\text{C}$)

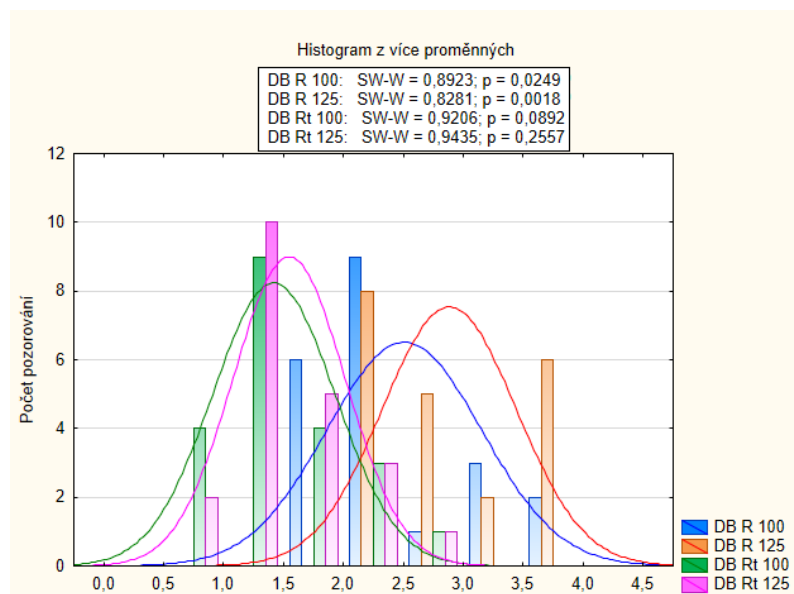
Tab. 8: Naměřené hodnoty experimentu pro DB+TW dle expozice č. 3

(kompletní tabulky viz. **P5-P8**)

Označení skupiny	Průměrné zatížení při maximálním tahovém protažení (N)	Průměrné konečné napětí při porušení (MPa)	Průměrné porušení vzorků ve dřevě (%)	Množství nánosu lepidla (g/m^2)
DB + TW (R 100 g/m^2)	528,888	2,493	79	100
DB + TW (R 125 g/m^2)	628,046	2,867	99	125
DB + TW (Rt 100 g/m^2)	308,7	1,411	65	100
DB + TW (Rt 125 g/m^2)	336,215	1,538	70	125

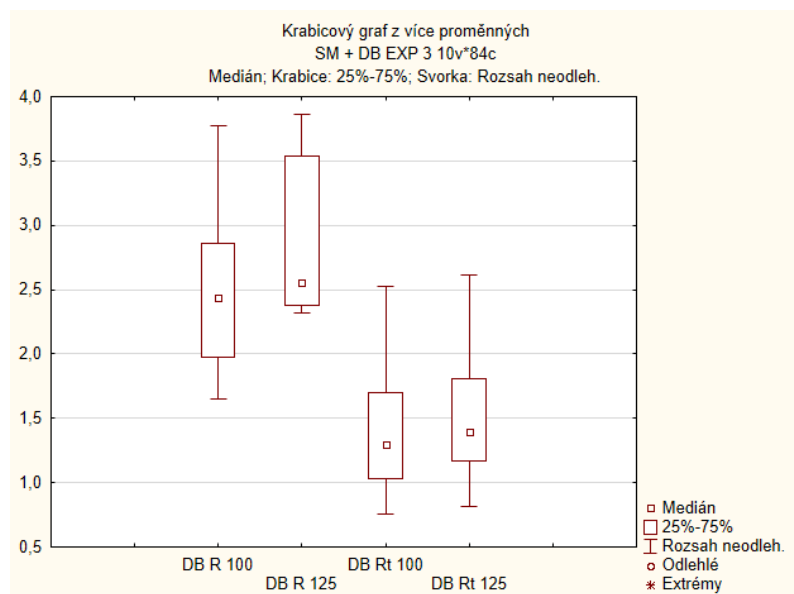


Obr. 40: Graf průměrných hodnot konečného porušení vč. limitní hodnoty pevnosti slepu u DB+TW. Limitní hodnoty 4 MPa nedosáhla ani jedna měřená skupina. Pouze v případě skupiny DB R 125 jsme zaznamenaly pevnostní hodnotu vyšší než u ostatních skupin. V případě použití lepidla RAKOLLIT (Rt 100 a Rt 125) byly hodnoty velmi porovnatelné a dosahovaly velmi nízké pevnosti slepu.



Obr. 41: Histogram porovnávaných vzorků pro dřevinu DB+TW – expozice č. 3

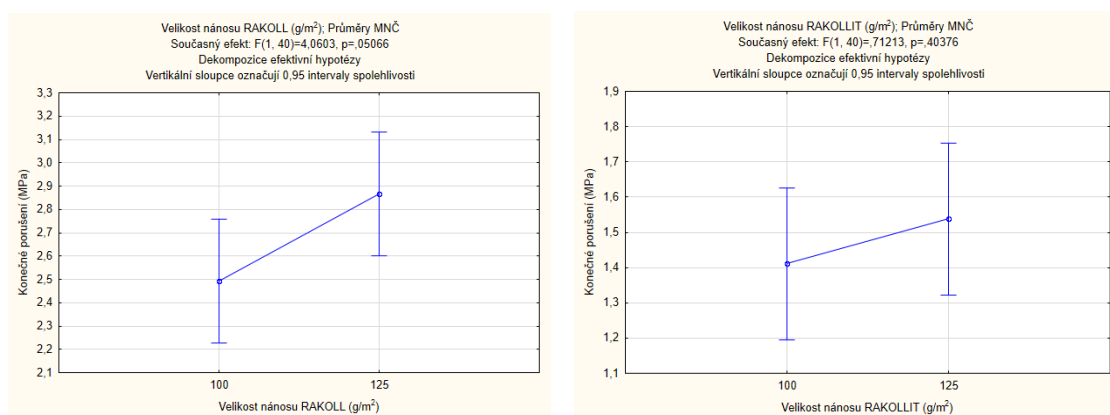
Dle Shapiro-Wilkova testu je ověřována normalita rozdělení souboru, kdy p-hodnota [$p > \alpha$ (0,05)]. Pokud jsou splněny podmínky p-hodnoty, pak jsou zkoumané výběry ze základního souboru s normálním rozdělením.



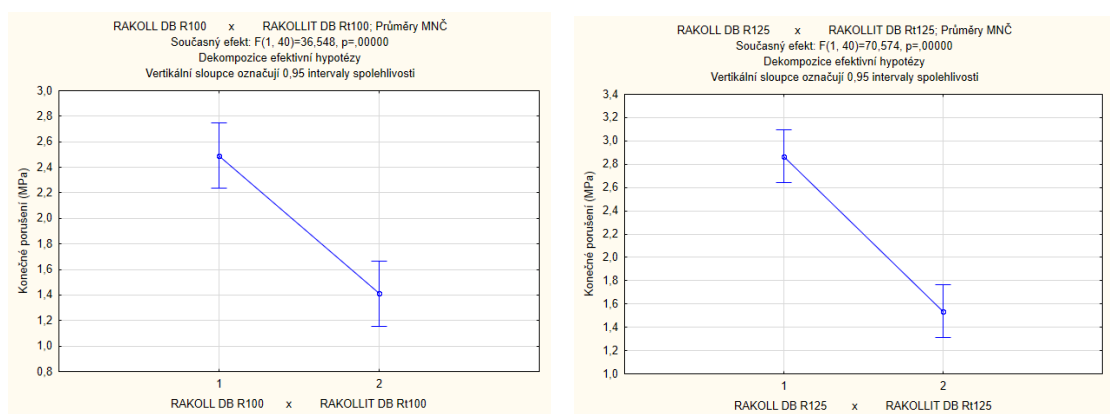
Obr. 42: Krabicový graf pro porovnání variability dat pro dřevinu DB+TW – expozice č. 3. V grafu je možné pozorovat statistickou závislost dat v případě použitého lepidla a nánosu. Statistický významný rozdíl nevykazovala ani jedna skupina měřených vzorků. Je však patrný pevnostní rozdíl v případě použití rozdílného druhu lepidla. Extrémní a odlehlé hodnoty nebyly vyhodnocovány, ale byly brány jako chybné měření, např. výrazný odklon vláken, nedostatečně prořezaná drážka či předčasné rozlepení vzorku.

Tab. 9: Popisná statistika pro dřevinu DB+TW – expozice č. 3

Proměnný faktor	DB - RAKOLL	DB - RAKOLL	DB - RAKOLLIT	DB - RAKOLLIT
	100 g/m ²	125 g/m ²	100 g/m ²	125 g/m ²
Celkový počet měření	21	21	21	21
Průměr	2,492761905	2,866619048	1,410761905	1,537714286
Medián	2,442	2,556	1,292	1,398
Minimum	1,652	2,318	0,756	0,812
Maximum	3,777	3,859	2,525	2,615
Rozptyl	0,41392569	0,308969848	0,25875149	0,216520514
Směrodatná odchylka	0,64337057	0,555850562	0,508676214	0,465317649
Variační koeficient	25,80954759	19,390458	36,05684362	30,26034505
Šikmost	0,779531358	0,678138484	0,723035794	0,607675319
Špičatost	-0,543881955	-1,239817589	-0,52363773	-0,170068045



Obr. 43: Porovnání vlivu množství nánosů u expozice č. 3 (DB R 100 a DB R 125, DB Rt 100 a DB Rt 125) dle ANOVY. Dle ANOVY nebyl prokázán statisticky významný rozdíl v případě velikosti nánosu. U lepidla RAKOLL byla zjištěna vyšší pevnost s vyšším nánosem. U lepidla RAKOLLIT byla pevnost vyšší také s nánosem 125 g/m².



Obr. 44: Porovnání vlivu druhu lepidla u expozice č. 3 (DB R 100 a DB Rt 100, DB R 125 a DB Rt 125). Dle ANOVY byl prokázán statisticky významný rozdíl v případě použití různého typu lepidla. Lepidlo RAKOLLIT dosahovalo podstatně nižších pevností než lepidlo RAKOLL jak v případě nánosu 100g/m², tak i 125g/m².

5.1.3 Vyhodnocení zkušebních vzorků dle expozice č. 5

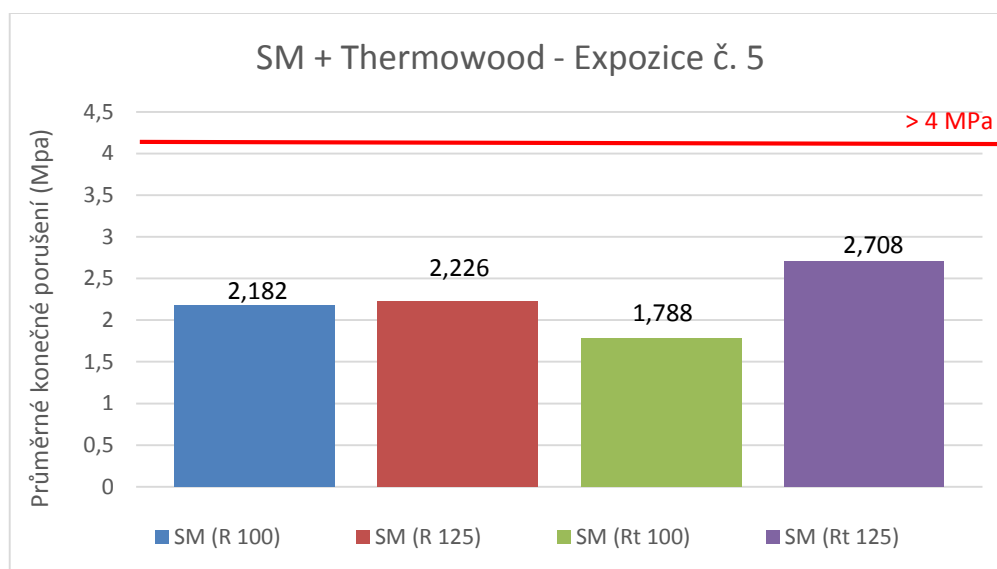
5.1.3.1 Vyhodnocení dle expozice č. 5 – Smrk ztepilý + Thermowood

Doba expozice a typ prostředí:

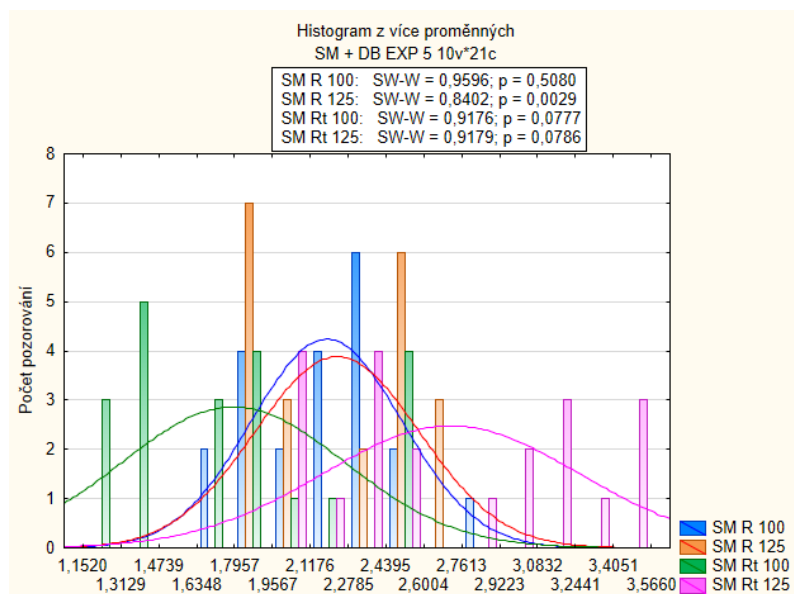
1. 7 dní, normální
2. 6 hodin ve vařící vodě (99,9°C)
3. 2 hodiny ve vodě (20 ± 5°C)

Tab. 10: Naměřené hodnoty experimentu pro SM+TW dle expozice č. 5
(kompletní tabulky viz. **P9-P12**).

Označení skupiny	Průměrné zatížení při maximálním tahovém protažení (N)	Průměrné konečné napětí při porušení (MPa)	Průměrné porušení vzorků ve dřevě (%)	Množství nánosu lepidla (g/m ²)
SM + TW (R 100 g/m ²)	479,633	2,182	71	100
SM + TW (R 125 g/m ²)	489,657	2,226	87	125
SM + TW (Rt 100 g/m ²)	389,32	1,788	80	100
SM + TW (Rt 125 g/m ²)	592,282	2,708	92	125

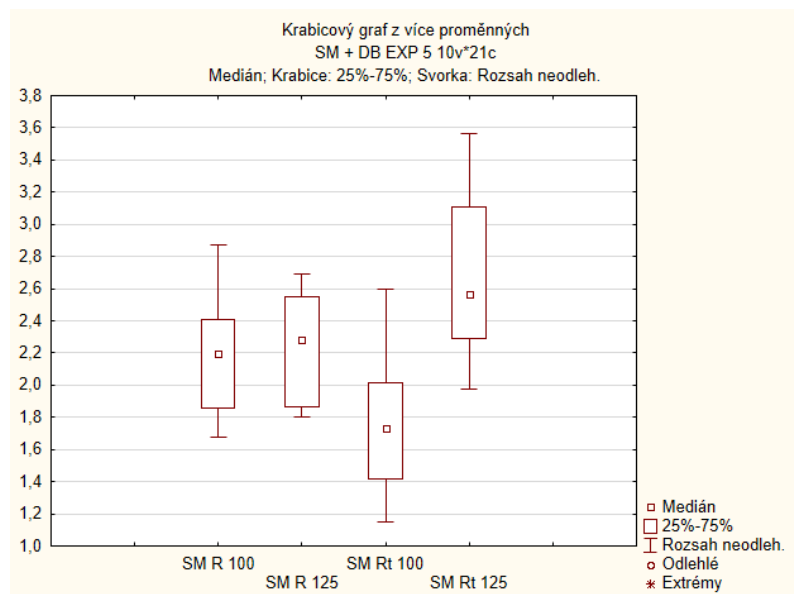


Obr. 45: Graf průměrných hodnot konečného porušení vč. limitní hodnoty pevnosti slepu u SM+TW. Limitní hodnoty 4 MPa nedosáhla ani jedna měřená skupina. V případě skupiny SM Rt 125 jsme zaznamenaly vyšší pevnostní hodnotu. Všechny skupiny v této expozici dosahovaly porovnatelných hodnot pevností.



Obr. 46: Histogram porovnávaných vzorků pro dřevinu SM+TW – expozice č. 5

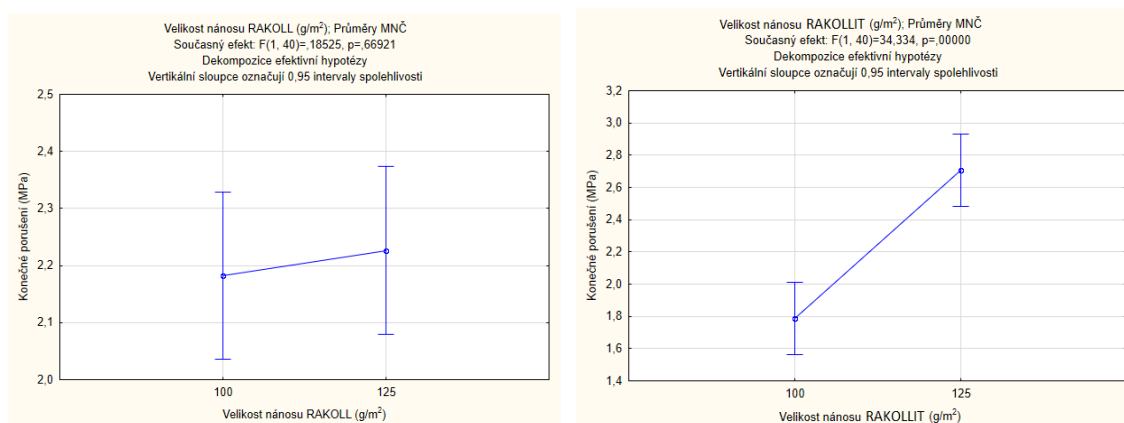
Dle Shapiro-Wilkova testu je ověřována normalita rozdělení souboru, kdy p-hodnota [$p > \alpha$ (0,05)]. Pokud jsou splněny podmínky p-hodnoty, pak jsou zkoumané výběry ze základního souboru s normálním rozdělením.



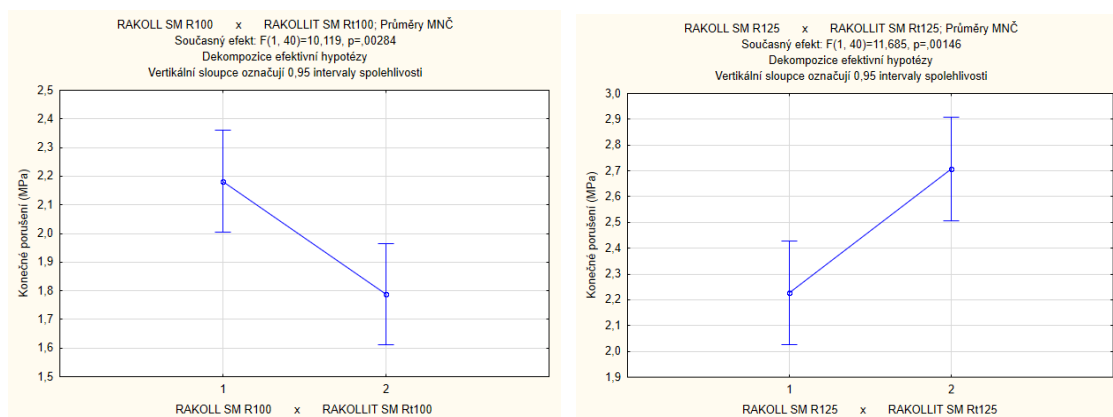
Obr. 47: Krabicový graf pro porovnání variability dat pro dřevinu SM+TW – expozice č. 5. V grafu je možné pozorovat statistickou závislost dat v případě použitého lepidla a nánosu. Statistický významný rozdíl nevykazovala ani jedna skupina měřených vzorků. Pevnost byla porovnatelná v případě lepidla RAKOLL. Lepidlo RAKOLLIT dosahovalo vyšších pevností v případě vyššího nánosu. Extrémní a odlehlé hodnoty nebyly vyhodnocovány, ale byly brány jako chybné měření, např. výrazný odklon vláken, nedostatečně prořezaná drážka či předčasné rozlepení vzorku.

Tab. 11: Popisná statistika pro dřevinu SM+TW – expozice č. 5

Proměnný faktor	SM - RAKOLL	SM - RAKOLL	SM - RAKOLLIT	SM - RAKOLLIT
	100 g/m ²	125 g/m ²	100 g/m ²	125 g/m ²
Celkový počet měření	21	21	21	21
Průměr	2,182190476	2,226428571	1,78752381	2,708
Medián	2,194	2,282	1,735	2,562
Minimum	1,679	1,799	1,152	1,975
Maximum	2,873	2,694	2,594	3,566
Rozptyl	0,101217262	0,120628157	0,222049262	0,2961718
Směrodatná odchylka	0,318146604	0,347315645	0,471221033	0,544216685
Variační koeficient	14,57923164	15,59967606	26,36166469	20,09662795
Šikmost	0,131853791	0,025177261	0,485014888	0,206257863
Špičatost	-0,503412081	-1,879164397	-0,880597883	-1,390250368



Obr. 48: Porovnání vlivu množství nánosů u expozice č. 5 (SM R 100 a SM R 125, SM Rt 100 a SM Rt 125) dle ANOVY. Dle ANOVY nebyl prokázán statisticky významný rozdíl v případě velikosti nánosu lepidla RAKOLL. U lepidla RAKOLLIT byl prokázán statisticky významný rozdíl.



Obr. 49: Porovnání vlivu druhu lepidla u expozice č. 5 (SM R 100 a SM Rt 100, SM R 125 a SM Rt 125). Dle ANOVY byl prokázán statisticky významný rozdíl v případě odlišného druhu lepidla.

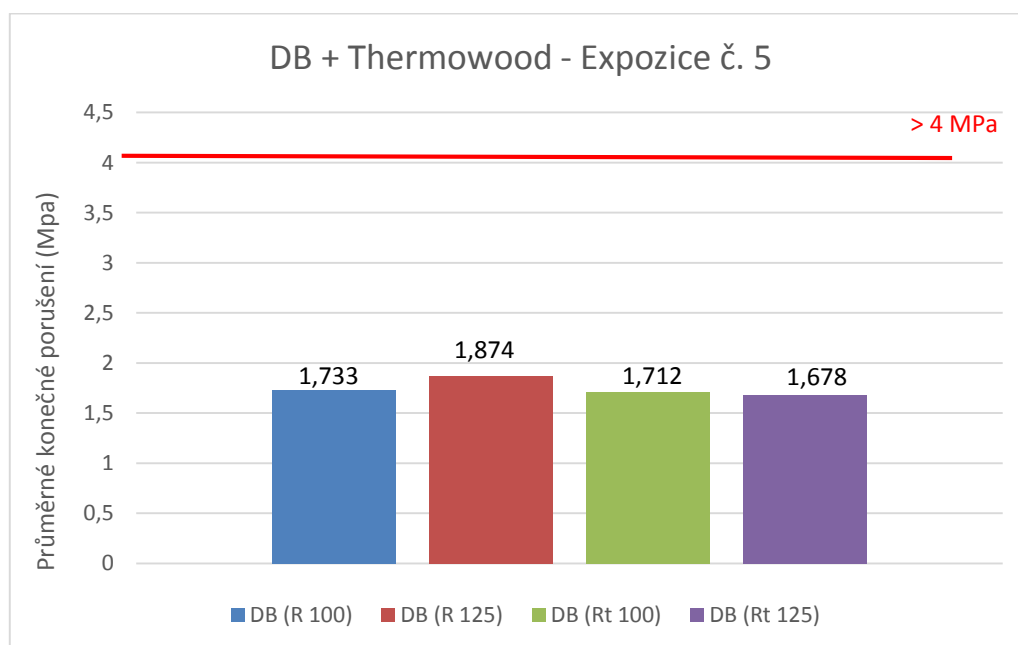
5.1.3.2 Vyhodnocení dle expozice č. 5 – Dub letní + Thermowood

Doba expozice a typ prostředí:

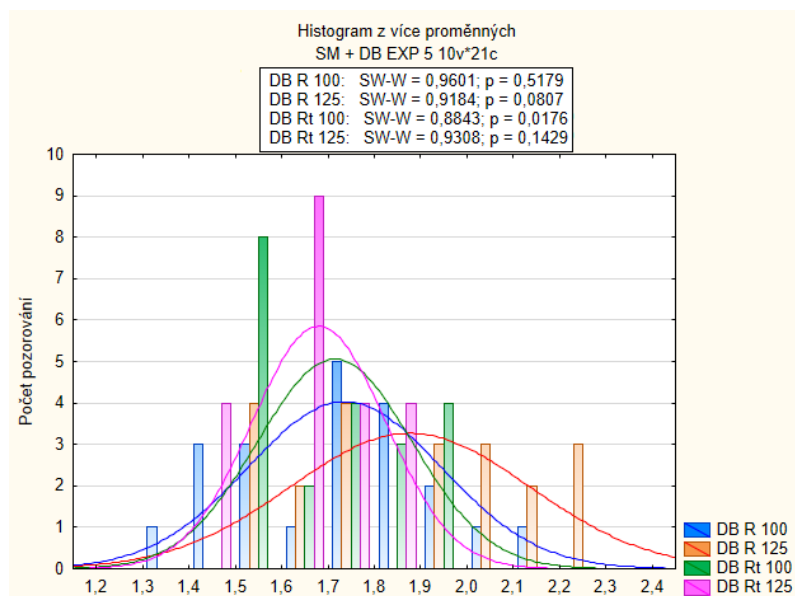
1. 7 dní, normální
2. 6 hodin ve vařící vodě (99,9°C)
3. 2 hodiny ve vodě (20 ± 5°C)

Tab. 12: Naměřené hodnoty experimentu pro DB+TW dle expozice č. 5
(kompletní tabulky viz. **P13-P16**)

Označení skupiny	Průměrné zatížení při maximálním tahovém protažení (N)	Průměrné konečné napětí při porušení (MPa)	Průměrné porušení vzorků ve dřevě (%)	Množství nánosu lepidla (g/m ²)
DB + TW (R 100 g/m ²)	375,456	1,733	86	100
DB + TW (R 125 g/m ²)	405,76	1,874	91	125
DB + TW (Rt 100 g/m ²)	377,696	1,712	62	100
DB + TW (Rt 125 g/m ²)	296,149	1,678	60	125

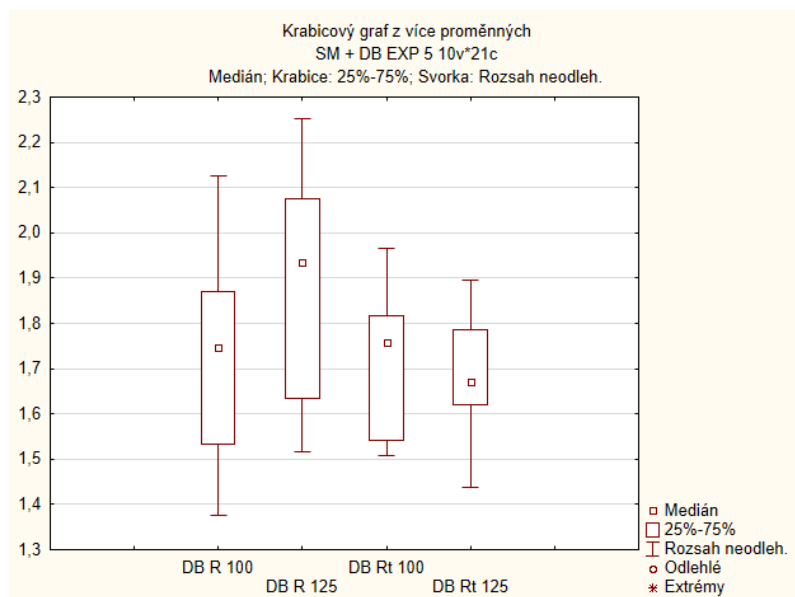


Obr. 50: Graf průměrných hodnot konečného porušení vč. limitní hodnoty pevnosti slepu u DB+TW. Limitní hodnoty 4 MPa nedosáhla ani jedna měřená skupina. U všech skupin bylo zaznamenána velmi nízká hodnota pevností jednotlivých slepů.



Obr. 51: Histogram porovnávaných vzorků pro dřevinu DB+TW – expozice č. 5

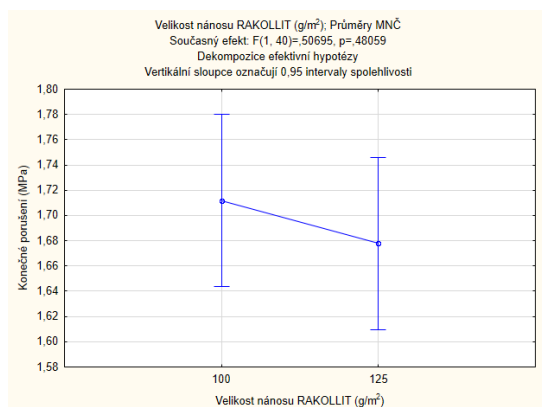
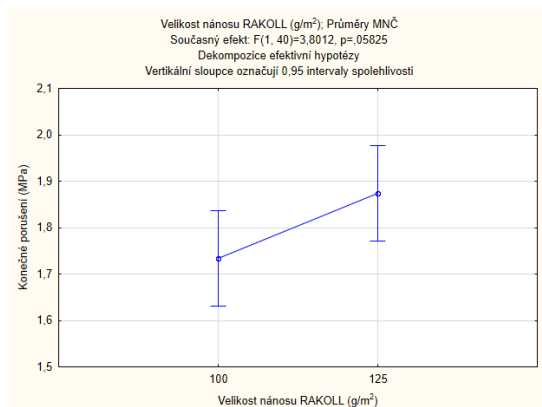
Dle Shapiro-Wilkova testu je ověřována normalita rozdělení souboru, kdy p-hodnota [$p > \alpha$ (0,05)]. Pokud jsou splněny podmínky p-hodnoty, pak jsou zkoumané výběry ze základního souboru s normálním rozdělením.



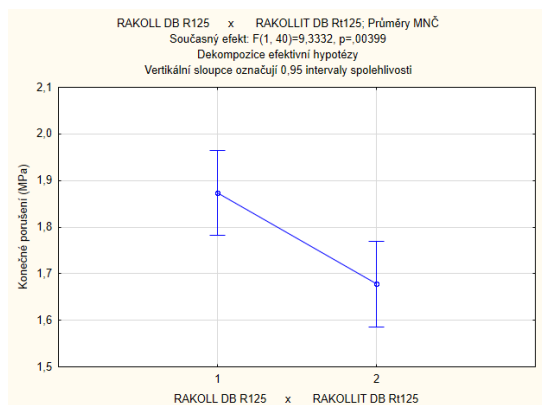
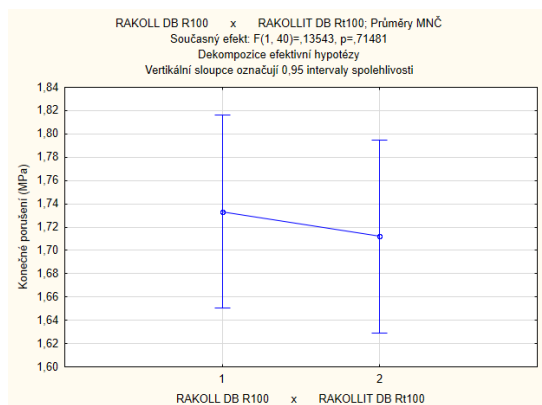
Obr. 52: Krabicový graf pro porovnání variability dat pro dřevinu DB+TW – expozice č. 5. V grafu je možné pozorovat statistickou závislost dat v případě použitého lepidla a nánosu. Statistický významný rozdíl nevykazovala ani jedna skupina měřených vzorků. Pevnost byla porovnatelná v případě lepidla RAKOLLIT. Lepidlo RAKOLL dosahovalo vyšších pevností v případě vyššího nánosu. Extrémní a odlehlé hodnoty nebyly vyhodnocovány, ale byly brány jako chybné měření, např. výrazný odklon vláken, nedostatečně prořezaná drážka či předčasné rozlepení vzorku.

Tab. 13: Popisná statistika pro dřevinu DB+TW – expozice č. 5

Proměnný faktor	DB - RAKOLL	DB - RAKOLL	DB - RAKOLLIT	DB - RAKOLLIT
	100 g/m ²	125 g/m ²	100 g/m ²	125 g/m ²
Celkový počet měření	21	21	21	21
Průměr	1,733190476	1,873571429	1,711857143	1,677857143
Medián	1,748	1,934	1,758	1,671
Minimum	1,375	1,517	1,508	1,439
Maximum	2,126	2,251	1,967	1,896
Rozptyl	0,043172962	0,065699057	0,027399729	0,020486629
Směrodatná odchylka	0,207781043	0,256318273	0,165528634	0,143131508
Variační koeficient	11,98835593	13,68073131	9,669535474	8,530613501
Šikmost	0,034284278	0,024833097	0,148494878	-0,183017805
Špičatost	-0,83974066	-1,457645381	-1,434807939	-0,850024668



Obř. 53: Porovnání vlivu množství nánosů u expozice č. 5 (DB R 100 a DB R 125, DB Rt 100 a DB Rt 125) dle ANOVY. Dle ANOVY nebyl prokázán statisticky významný rozdíl v případě velikosti nánosu. U lepidla RAKOLL byla zjištěna vyšší pevnost s vyšším nánosem. U lepidla RAKOLLIT byla pevnost vyšší s nánosem 100 g/m².



Obř. 54: Porovnání vlivu druhu lepidla u expozice č. 5 (DB R 100 a DB Rt 100, DB R 125 a DB Rt 125). V prvním případě nebyl zjištěn statistický významný rozdíl. V případě druhém statický rozdíl byl, kdy lepidlo RAKOLLIT dosahovalo nižší pevnosti.

5.2 Posouzení jakosti lepení po temperovaném uložení ve vodě

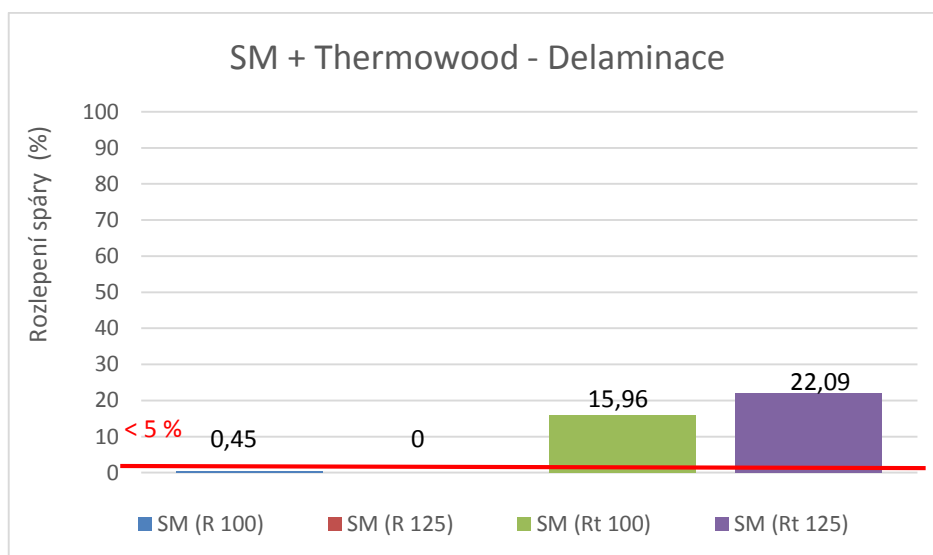
5.2.1 Vyhodnocení jakosti lepení – Smrk ztepilý + Thermowood

Cyklus zkoušky:

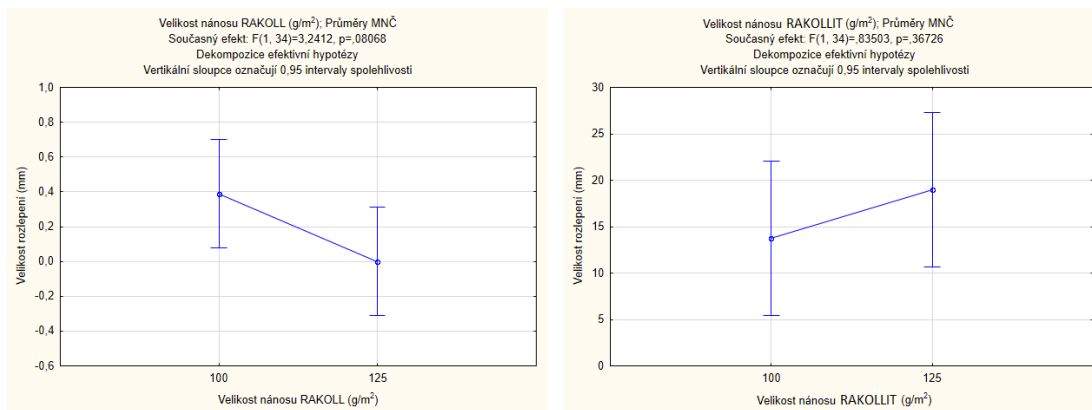
1. 3 hod. uložení ve vodě při teplotě 20°C
2. 3 hod. uložení ve vodě při teplotě 60°C
3. 18 hod. uložení ve vodě při teplotě 20°C
4. 72 hod. uložení vzorků v klimatu o teplotě 23°C a 50 % RVV

Tab. 14: Průměrné hodnoty rozlepení spár u SM+TW (kompletní tabulky viz. P17-P20)

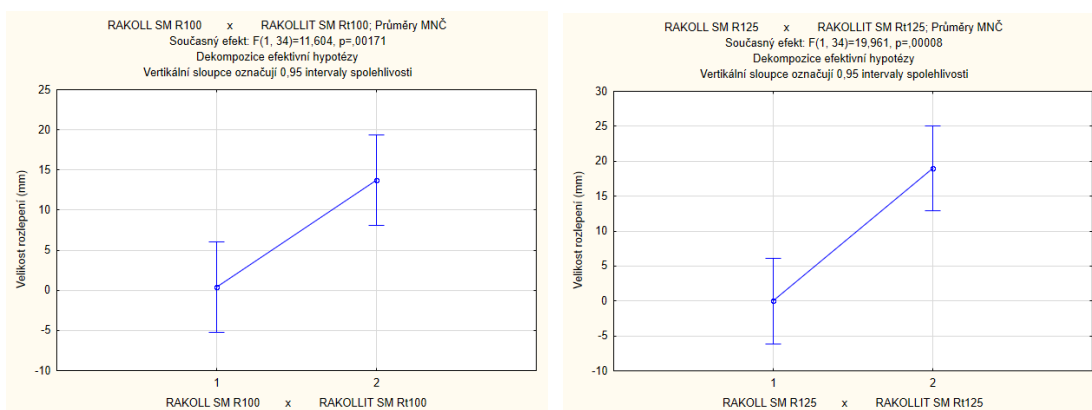
Číslo hranolu	Označení hranolu	Průměrné rozlepení spáry hranolu (%)	Průměrné rozlepení spáry (%)
1	SM (R 100 g/m ²)	0,4	0,45
2	SM (R 100 g/m ²)	0,5	
1	SM (R 125 g/m ²)	0	0
2	SM (R 125 g/m ²)	0	
1	SM (Rt 100 g/m ²)	21,7	15,96
2	SM (Rt 100 g/m ²)	10,2	
1	SM (Rt 125 g/m ²)	28,4	22,09
2	SM (Rt 125 g/m ²)	15,8	



Obr. 55: Graf průměrných hodnot delaminace vč. limitní hodnoty u SM+TW. Limitní hodnotu <5% dosáhla skupina vzorků s použitím lepidla RAKOLL a to jak v případě nánosů 100 g/m², tak i v případě nánosů 125 g/m². Skupina vzorků s lepidlem RAKOLLIT nedosáhla ani v jednom případě limitní hodnoty a výrazně ji převýšila.



Obr. 56: Porovnání vlivu množství nánosů u SM+TW (SM R 100 a SM R 125, SM Rt 100 a SM Rt 125) dle ANOVY. Dle ANOVY nebyl prokázán statisticky významný rozdíl v případě velikosti nánosů. U lepidla RAKOLL v případě nánosů 125 g/m² docházelo k mnohem menšímu rozlepení spáry. Naopak u lepidla RAKOLLIT docházelo při vyšším nánose k větší rozlupčivosti spáry.



Obr. 57: Porovnání vlivu druhu lepidla u SM+TW (SM R 100 a SM Rt 100, SM R 125 a SM Rt 125). Dle ANOVY byl prokázán statisticky významný rozdíl v případě použití různého typu lepidla. Lepidlo RAKOLLIT dosahovalo podstatně větší rozlupčivosti spoje než lepidlo RAKOLL jak v případě nánosů 100 g/m², tak i při nánose 125 g/m².

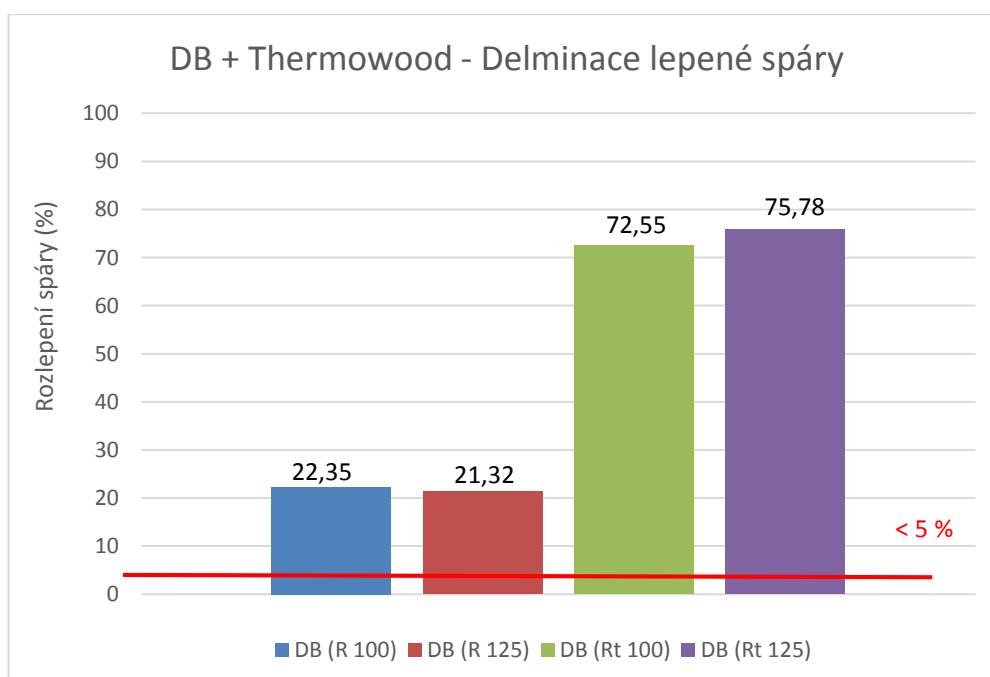
5.2.2 Vyhodnocení jakosti lepení – Dub letní + Thermowood

Cyklus zkoušky:

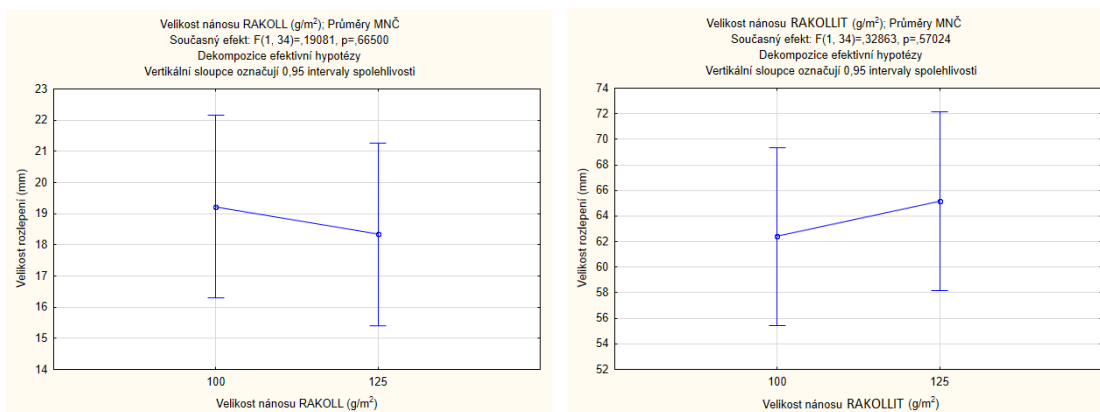
1. 3 hod. uložení ve vodě při teplotě 20°C
2. 3 hod. uložení ve vodě při teplotě 60°C
3. 18 hod. uložení ve vodě při teplotě 20°C
4. 72 hod. uložení vzorků v klimatu o teplotě 23°C a 50 % RVV

Tab. 15: Průměrné hodnoty rozlepení spár u DB+TW (kompletní tabulky viz. **P21-P24**)

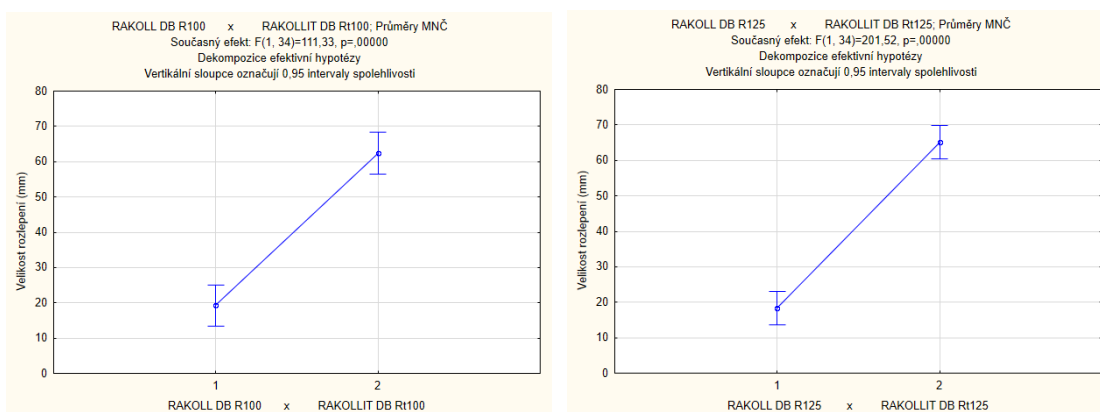
Číslo hranolu	Označení hranolu	Průměrné rozlepení spáry hranolu (%)	Průměrné rozlepení spáry (%)
1	DB (R 100 g/m ²)	26,5	22,35
2	DB (R 100 g/m ²)	18,2	
1	DB (R 125 g/m ²)	22,5	21,32
2	DB (R 125 g/m ²)	20,2	
1	DB (Rt 100 g/m ²)	75,7	72,55
2	DB (Rt 100 g/m ²)	69,4	
1	DB (Rt 125 g/m ²)	80,2	75,78
2	DB (Rt 125 g/m ²)	71,3	



Obr. 58: Graf průměrných hodnot delaminace vč. limitní hodnoty u DB+TW. Limitní hodnotu <5% nedosáhla ani jedna skupina vzorků. Skupina vzorků s lepidlem RAKOLLIT dosahovala extrémních hodnot a výrazně tak převýšila limitní hodnotu.



Obr. 59: Porovnání vlivu množství nánosů u DB+TW (DB R 100 a DB R 125, DB Rt 100 a DB Rt 125) dle ANOVY. Dle ANOVY nebyl prokázán statisticky významný rozdíl v případě velikosti nánosů. U lepidla RAKOLL v případě nánosů 125 g/m² docházelo k mnohem menšímu rozlepení spáry. Naopak u lepidla RAKOLLIT docházelo při vyšším nánosu k větší rozlupčivosti spáry.



Obr. 60: Porovnání vlivu druhu lepidla u DB+TW (DB R 100 a DB Rt 100, DB R 125 a DB Rt 125). Dle ANOVY byl prokázán statisticky významný rozdíl v případě použití různého typu lepidla. Lepidlo RAKOLLIT dosahovalo podstatně větší rozlupčivosti spoje než lepidlo RAKOLL jak v případě nánosů 100 g/m², tak i při nánosu 125 g/m².

5.3 Ekonomické zhodnocení

Skupina RAKOLL ECO 4 125 g/m² označuje množství nánosu lepidla, které využívá firma k lepení smrkových a dubových hranolů.

Tab. 16: Ekonomické zhodnocení cenových variant pro skupinu SM+TW

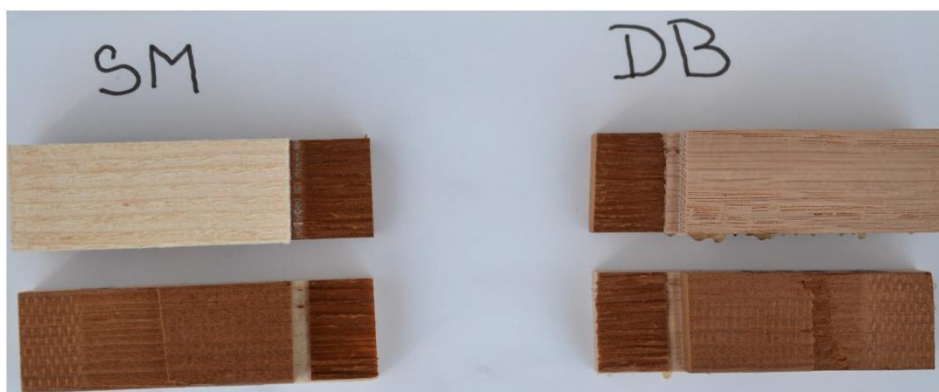
Skupina	SM + TW (RAKOLL ECO 4)	SM + TW (RAKOLL ECO 4)	SM + TW (RAKOLLIT 280+)	SM + TW (RAKOLLIT 280+)
Cena (Kč/bm)	100 g/m ²	125 g/m ²	100 g/m ²	125 g/m ²
Eurohranol (86x72 mm)	98,5	98,5	98,5	98,5
Thermowood - Švartna	24,7	24,7	24,7	24,7
Lepidlo	0,6	0,756	0,736	0,96
Práce	3,042	3,042	3,042	3,042
Celkem	126,842	126,998	126,978	127,202

Tab. 17: Ekonomické zhodnocení cenových variant pro skupinu DB+TW

Skupina	DB + TW (RAKOLL ECO 4)	DB + TW (RAKOLL ECO 4)	DB + TW (RAKOLLIT 280+)	DB + TW (RAKOLLIT 280+)
Cena (Kč/bm)	100 g/m ²	125 g/m ²	100 g/m ²	125 g/m ²
Eurohranol (86x72 mm)	241,5	241,5	241,5	241,5
Thermowood - Švartna	24,7	24,7	24,7	24,7
Lepidlo	0,6	0,756	0,736	0,96
Práce	3,042	3,042	3,042	3,042
Celkem	269,842	269,998	269,978	270,202

5.4 Fotografie zkušebních vzorků po provedení zkoušek

5.4.1 Fotografie smykových zkušebních tělísek dle expozice č. 1



Obr. 61: Posouzení smykové pevnosti pro skupiny SM+TW, DB+TW – expozice č. 1

5.4.2 Fotografie smykových zkušebních tělísek dle expozice č. 3

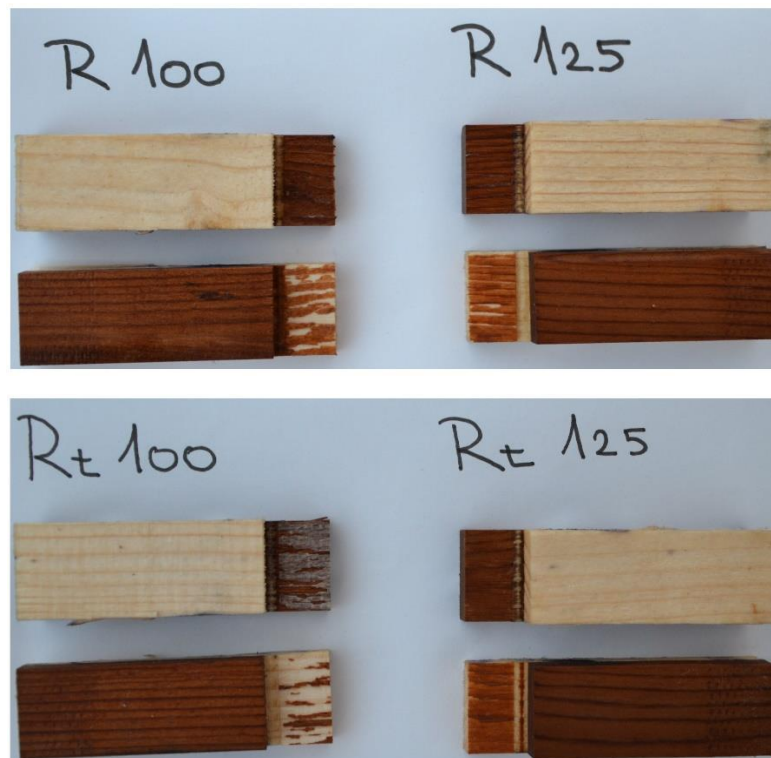


Obr. 62: Posouzení smykové pevnosti pro skupiny SM+TW – expozice č. 3



Obr. 63: Posouzení smykové pevnosti pro skupiny DB+TW – expozice č. 3

5.4.3 Fotografie smykových zkušebních tělísek dle expozice č. 5



Obr. 64: Posouzení smykové pevnosti pro skupiny SM+TW – expozice č. 5



Obr. 65: Posouzení smykové pevnosti pro skupiny DB+TW – expozice č. 5

5.4.4 Fotografie zkušebních vzorků pro posouzení jakosti lepení



Obr. 66: Posouzení jakosti lepení pro skupiny SM+TW



Obr. 67: Posouzení jakosti lepení pro skupiny DB+TW

6. Diskuze

6.1 Expozice č. 1

První z hodnocených expozič je expozice č. 1. Zkušební tělíska vystaveny této expozici jsou hodnoceny za běžných podmínek vlhkosti prostředí tj. $23 \pm 2^\circ\text{C}$ $50 \pm 5\%$ RVV. Hlavním parametrem hodnocení diplomové práce bylo především zhodnocení zkušebních prvků v podmínkách se zvýšenou vlhkostí prostředí. Nicméně toto zhodnocení je důležitých faktorem pro zjištění pevnosti lepení v běžných podmínkách a zjištění funkčnosti lepené spáry při použití jednotlivých druhů lepidel s odlišnými typy nánosů. V **tab. 5** je možné sledovat naměřené hodnoty pro expozici č. 1. Z naměřených hodnot jsme zjistili, že průměrné konečné napětí při porušení se u skupiny SM+TW se pohybovalo v průměrné hodnotě 6,4 MPa. Konečné napětí při porušení u skupiny DB+TW bylo velmi porovnatelné se skupinou SM+TW, kdy opět docházelo k průměrnému porušení v hodnotách blízcím se 6,5 MPa. K porušení vzorků docházelo vždy ve dřevině thermowood a to ve 100% tzn. že námi zvolené lepidla i nánosy jsou vhodná do prostředí s běžnými podmínkami tj. $20 \pm 1^\circ\text{C}$ $65 \pm 5\%$ RVV a nemají tak vliv na pevnost lepené spáry. Jak uvádí (Poncsák a kol. 2007), tak vlivem tepelné úpravy mez pevnosti ve smyku ve směru vláken u thermowoodu je v průměru 7,5 MPa. Naměřené hodnoty se poměrně shodují s literaturou, kdy (Reinprecht, Vinholdová 2011) uvádí, že dřevina thermowood v suchém stavu 2-4 % vlhkosti a procesu tepelné úpravy při teplotách 190-230°C/4 hod. dosahuje poklesu pevnosti o 1 – 40 %. Takto upravené dřevo má poměrně vyšší křehkost, nižší pevnost a je tak náchylné k porušení což se potvrdilo i v případě hodnocení této expozice.

6.2 Expozice č. 3 a č. 5

Hodnocení pro expozici č. 3 je následující. Z **tab. 6** je patrné, že dosažené hodnoty pro skupinu SM+TW byly výrazně pod hraniční hodnotou pevnosti spoje 4 MPa. Hodnoty pevnosti lepidla RAKOLL u expozice č. 3 pro SM R100 vykazovaly porovnatelné hodnoty se skupinami SM R125. U SM R100 činila hodnota smykové pevnosti 2,871 MPa a procento porušení ve dřevě bylo 86 %. U skupiny SM R125 byla pevnost 2,525 MPa a porušení ve dřevě činilo 98 %. U lepidla RAKOLLIT byly hodnoty následující. Skupina SM Rt100 vykazovala hodnotu pevnosti 1,886 MPa a procento porušení ve dřevě bylo 71 %. U skupiny SM Rt125 byla hodnota dvojnásobně vyšší 3,557 MPa a procento porušení ve dřevě bylo 90 %. Z **tab. 8** je patrné, že v případě hodnocení expozice č. 3 lepidla RAKOLL u skupiny DB R100 byla hodnota smykové pevnosti 2,493 MPa a procento porušení ve dřevě bylo 79 %. U skupiny DB R125 byla hodnota 2,867 MPa a procento porušení ve dřevě bylo 99 %. Lepidlo RAKOLLIT vykazovalo podstatně nižší pevnosti. U skupiny DB Rt100 byla maximální pevnostní hodnota 1,411 MPa a procento porušení ve dřevě činilo 65 %. Skupina DB Rt125 vykazovala porovnatelnou hodnotu a to 1,538 MPa s procentem porušení ve dřevě 70 %. Tato skupina vzorků rovněž nedosáhla limitní pevnostní hodnoty 4 MPa.

Šetření dle ANOVY u skupin SM+TW prokázalo statisticky významné rozdíly ve středních hodnotách rozptylu u obou typů lepidel. Rozdíl lze sledovat jak v případě vlivu odlišného nánosu při použití stejného typu lepidla, tak v případě vlivu druhu lepidel při nánosu totožném. U skupin SM R100 a SM Rt125 jsme dosahovaly podstatně vyšších pevností než u ostatních měřených skupin. Nicméně skupina SM Rt125 vykazovala nejvyšší variabilitu pevnostních hodnot. Na základě statistického výpočtu dle ANOVY byla rovněž hodnocena skupina DB+TW. U této skupiny nebyl prokázán statisticky významný rozdíl v případě odlišného typu nánosu při použití stejného lepidla. Při hodnocení odlišného typu lepidla se stejnými nánosy už statisticky prokazatelné rozdíly byly. Mnohonásobně vyšších pevností jsme dosahovaly s lepidlem RAKOLL. Statisticky řešená data byla ze souboru s normálním rozdělením.

Hodnocení pro expozici č. 5 je možné sledovat v **tab. 10** a **tab. 12**. V této expozici jsme nedosáhli ani v jednom případě limitní hodnoty 4 MPa. V této expozici vlivem vařící vody docházelo k podstatně nižším pevnostem než u expozice č. 3. Z **tab. 10** je patrné, že hodnoty u skupiny SM+TW byly výrazně pod požadovanou hodnotu pevnosti spoje 4 MPa.

Hodnoty pevnosti lepidla RAKOLL u expozice č. 5 pro SM R100 vykazovaly porovnatelné hodnoty se skupinou SM R125. U SM R100 činila hodnota smykové pevnosti 2,182 MPa a procento porušení ve dřevě dosáhlo hodnoty 71 %. U skupiny SM R125 byla pevnost 2,226 MPa a porušení ve dřevě činilo 87 %. U lepidla RAKOLLIT byly hodnoty následující. Skupina SM Rt100 měla hodnotu 1,788 MPa a procento porušení ve dřevě činilo 80 %. Smyková pevnost u skupiny SM Rt125 byla 2,708 MPa a procento porušení ve dřevě bylo 92 %. V **tab. 12** je možné sledovat, že v případě hodnocení expozice č. 5 lepidla RAKOLL u skupiny DB R100 byla hodnota smykové pevnosti 1,733 MPa a procento porušení ve dřevě bylo 86 %. U skupiny DB R125 byla hodnota 1,874 MPa a procento porušení ve dřevě bylo 91 %. Lepidlo RAKOLLIT mezi sebou vykazovalo porovnatelné pevnosti. U skupiny DB Rt100 byla pevnostní hodnota 1,712 MPa a procento porušení ve dřevě bylo 62 %. Skupina DB Rt125 vykazovala porovnatelnou hodnotu a to 1,678 MPa s procentem porušení ve dřevě 60 %.

Výsledky ANOVY u skupin SM+TW neprokázaly statisticky významné rozdíly ve středních hodnotách rozptylu u velikosti nánosu v případě lepidla RAKOLL. U lepidla RAKOLLIT lze sledovat statisticky významný rozdíl středních hodnot v případě vlivu odlišného nánosu. Statisticky významné rozdíly je ale možné pozorovat u vlivu typu lepidla při stejném nánosu. A to jak u lepidla RAKOLL, tak i u lepidla RAKOLLIT. U skupiny SM Rt125 jsme dosahovaly vyšších pevností než u skupin SM R100 a R125 kde pevnosti byly porovnatelné a nezáleželo tak na vlivu nánosu. Na základě statistického výpočtu ANOVY byla taktéž hodnocena skupina DB+TW. U této skupiny nebyl prokázán statisticky významný rozdíl v případě odlišného typu nánosu ani u odlišného typu lepidla. Statisticky řešená data byla ze souboru s normálním rozdělením. Jelikož docházelo k porušení převážně ve dřevině termowood, tak lze tvrdit, že podmínky s extrémně zvýšenou vlhkostí mají podstatný vliv jak na termowood, tak i na druh použitého lepidla. Jak uvádí (Tesařová 2009) množství nánosu by mělo zaujímat co nejmenší potřebné množství pro vytvrzení spáry a tím i prosíťování jednotlivých disperzí mezi sebou pro dosažení maximální možné pevnosti spáry. Toto tvrzení je možné praktikovat u lepidla RAKOLL. Nicméně u lepidla RAKOLLIT má toto tvrzení podstatně opačný význam. S rostoucím nánosem se jednotlivé izokyanátové pryskyřičné disperze mezi sebou zesítují a vytvoří tak vysoce pevný lepený spoj u dřeviny smrk společně s vrstvou z tepelně upraveného dřeva borovice. U dřeviny dub vlivem anatomické stavby nikoli.

Na základě dosažených výsledků lze také s určitostí tvrdit, že zkušební vzorky, které byly vystaveny extrémním podmínkám vlhkosti ve vařící vodě, dosahovaly podstatně nižších pevností než vzorky, které byly exponovány v prostředí 4 dny ve vodě ($20 \pm 5^\circ\text{C}$). Vařící voda má tedy degradující vliv na lepidlo i thermowood obecně. Tato hypotéza se prokázala především u vzorků v expozici č. 5.

Jak uvádí (Xle a kol. 2002), tak snižováním hydroskopie lze docílit snížením výskytu volných hydroxylových skupin ve dřevě, což je spojováno s úbytkem obsahu hemicelulózy (Pavlo a Niemz 2003; Ducheza kol. 2001). Na základě tohoto výzkumu se domnívám, že tepelně upravené dřevo má vazbu C-V-C (celulóza-voda-celulóza). Odbouráním volných hydroxylových skupin se tak dřevo stává podstatně pevnějším, tvrdším, ale zároveň i křehčím. V případě vystavení tepelně upraveného dřeva extrémním vlhkostním podmínkám dochází k částečnému nabobtnání (navázání vody na aktivní OH skupiny celulózy a hemicelulózy) a řetězec makromolekuly celulózy s volnou hydroxylovou skupinou se tak stává podstatně náchylnějším k porušení. A to především v případě mechanického namáhání či poškození, jak se prokázalo i v tomto výzkumu.

6.3 Posouzení jakosti lepení po temperovaném uložení ve vodě

Cyklus zkoušky jak pro skupinu SM+TW, tak i pro skupinu DB+TW probíhal v následujících intervalech (3 hod. uložení ve vodě při teplotě 20°C , 3 hod. uložení ve vodě při teplotě 60°C , 18 hod. uložení ve vodě při teplotě 20°C a 72 hod. uložení vzorků v klimatu o teplotě 23°C a 50 % RVV).

V případě hodnocení skupiny SM+TW jsme hodnotili průměrné rozlepení spáry hranolu. Lepidlo RAKOLL vykazovalo mnohonásobně lepší vlastnosti než lepidlo RAKOLLIT. Průměrná hodnota delaminace v případě skupin SM R100 a SM R125 byla výrazně pod hraniční hodnotou 5 %. Průměrná hodnota delaminace skupiny SM R100 byla 0,45 % a u skupiny SM R125 byla dokonce 0 %.

Nízké procento delaminace v případě použití tohoto druhu lepidla připisují jednak anatomickému složení smrku, který zaujímá vysoký podíl cévic a má tak jednotnou strukturu povrchu, ale také vysoké lepící schopnosti lepidla RAKOLL. Jednosložková báze lepidla udržuje ve větším kontaktu mezi sebou jednotlivé disperze a zabraňuje tak vnikání vody do lepeného spoje.

V případě hodnocení skupiny SM Rt100 a SM Rt125 byla průměrná hodnota delaminace výrazně nad hranicí 5 % rozlepení spáry. Průměrná hodnota rozlepení spáry u skupiny SM Rt100 se pohybovala na hranici 15,96 % a u skupiny SM Rt125 s vyšším nánosem dokonce na hranici 22,09 %. Vyhodnocením dle ANOVY se neprokázaly statisticky významné rozdíly v případě použití rozdílného typu nánosu jak u skupiny RAKOLL, tak u skupiny RAKOLLIT. V případě porovnání vlivu druhu lepidla při stejném nánosu byl prokázán statisticky významný rozdíl ve středních hodnotách rozptylů.

Poměrně vyšší stupeň delaminace připisují především struktuře lepidla RAKOLLIT. Tato dvousložková koncepce na bázi PVAc disperze a izokyanátové pryskyřice má v případě kontaktu s vařící vodou mnohonásobně nižší pevnost. Mezi jednotlivé složky lepidla, které tvoří disperze a izokyanátové molekuly pryskyřic vniká výrazně rychleji vařící voda a snižuje tak jeho lepivou schopnost.

V případě hodnocení skupiny DB+TW jsme dospěli k hodnotám kdy lepidlo RAKOLLIT vykazovalo extrémně vyšší hodnoty, než lepidlo RAKOLL. Průměrná hodnota rozlepení spáry v případě skupin DB R100 a DB R125 byla výrazně vyšší, než činí hraniční hodnota 5%. Průměrná hodnota delaminace skupiny DB R100 byla 22,35 % a u skupiny DB R125 činila hodnotu 21,32 %.

V případě hodnocení skupin DB Rt100 a DB Rt125 byla průměrná hodnota rozlepení spáry extrémně nad hranicí 5 %. Průměrná hodnota rozlepení spáry u skupiny DB Rt100 byla 72,55 % a u skupiny DB Rt125 byla na hranici 75,78 %. Vyhodnocení dle ANOVY neprokázal statistický významný rozdíl v případě použití rozdílného typu nánosu jak u skupiny RAKOLL, tak u skupiny RAKOLLIT. V případě porovnání vlivu druhu lepidla při stejném nánosu byl prokázán statisticky významný rozdíl ve středních hodnotách rozptylů.

Velkou míru rozlepení připisují anatomické struktuře dřeviny dubu a také technologickému toku zpracování před lepením, které se používá ve firmě. Anatomická struktura dubu se skládá z makropórů, mikropórů, libriformních vláken a velkých dřeňových paprsků. Ve firmě Agrospol Lužná u Vs. s.r.o. se před lepením povrch čtyřstranně opracovává. Povrch se tak stává hladkým a velké dřeňové paprsky společně s libriformními vlákny odpuzují disperze lepidla. Disperze lepidla tak ulpívají pouze v makropórech a lepená spára je náchylná ke vzniku trhlin, jelikož je křehká. Lepidlo proto nemá takovou požadovanou hodnotu pevnosti, jako v případě smrku.

Z hlediska použití lepidla vidím stejné vlastnosti jako v případě skupiny smrku v kombinaci s tepelně upraveným dřevem.

Vystavením zkušebních tělísek podmínkám prostředí se zvýšenou vlhkostí, dochází také ke snížení lepivých vlastností lepidla. Vzniklý pevný lepidlový film zpětně nabírá vlhkost, lepidlo disperze se od sebe oddalují a mezi ně vnikají jednotlivé molekuly vody. Disperze se tak opět vznášejí ve vodě a lepidlo tak ztrácí svou lepivou schopnost držet dva lepené podklady spolu.

Podgorski a kol. (2010) uvádí, že tepelná úprava vede ke zhoršení smáčivosti a tedy i k nízkým hodnotám pevnosti lepení a následného vstřebání lepidla do povrchu. Vlivem tepelné úpravy je povrchové napětí thermowoodu velmi vysoké a lepidlo se snaží zaujmout co nejmenší okrajový úhel smáčení. Jak uvádí (Poncsák a kol. 2007), tak při hodnotách tepelné úpravy vyšších jak 200°C činí kontaktní úhel hodnotu více jak 140°, a proto PVAc lepidlo nesmáčí povrch termowoodu tak výrazně, jak by ve skutečnosti mělo. Vhodným řešením by bylo povrch thermowoodu před fází lepení upravit broušením či jinou úpravou např. plazmatickým ošetřením povrchu pro zvýšení hydrofilnosti dřeva. Došlo by tak ke zpřístupnění již nepropustného povrchu thermowoodu, a tím i ke zlepšení procesu lepení. Nicméně zvýšením propustnosti povrchu by ovlivnilo i množství nánosu lepidla. Domnívám se, že zvýšením propustnosti povrchu by musel být nános patřičně vyšší jak v případě použití lepidla RAKOLL, tak i v případě lepidla RAKOLLIT což by se také projevilo v ekonomických nákladech, které by se touto úpravou zvýšily.

6.4 Ekonomické zhodnocení

Ve firmě je pro běžné lepení smrkových i dubových hranolů používán nános RAKOLL 125 g/m². Z **tab. 16** je patrné, že nejlevnější variantou pro lepení smrkového hranolu v kombinaci s tepelně upraveným dřevem je nános ve velikosti 100 g/m² s lepidlem RAKOLL ECO 4. Z hlediska statistického bychom splnili podmínky delaminace a došlo by tak i ke snížení nákladů na výrobu tohoto konstrukčního prvku.

Pro variantu dubových hranolů v kombinaci s tepelně upravenou vrstvou je možné sledovat v **tab. 17** rozdíl v nákladech na výrobu běžného metru. Varianta s lepidlem RAKOLL ECO 4 se opět jeví jako nejlevnější. Nicméně ze statistického vyhodnocení lze předpokládat, že varianta RAKOLL ECO 4 při nánosu 125 g/m², která je ve firmě běžně používána se jeví jako nejrozumnější z hlediska pevnosti lepené vrstvy thermowoodu.

7. Závěr

V práci byla hodnocena smyková pevnost a delaminace lepených materiálů v kombinaci s tepelně upravenou vrstvou z dřeviny borovice lesní (*Pinus sylvestris*). Zkušební vzorky byly vystaveny podmínkám exponovaných v prostředí se zvýšenou vlhkostí. Na základě statistických výpočtů byly mezi sebou hodnoceny odlišné typy nánosů a druhy lepidel na bázi vodní disperze. První část práce se zabývala literární rešerší a problematikou zpracování lepení tepelně upraveného dřeva. V části praktické byla zhotovena metodika zpracování, výroba zkušebních vzorků a následné provedení zkoušek dle platných norem.

Z hlediska vyhodnocení smykových zkoušek jsme dospěli k závěru, že mezi jednotlivými expozicemi existuje statisticky významné rozdíly. Jak v množství nánosů, tak v typu použitého lepidla u smrkových vzorků. V expozici č. 3 jsme dosahovali vyšších smykových pevností než v expozici č. 5. Hodnocení skupiny SM+TW vykazovalo s lepidlem RAKOLL ECO 4 porovnatelné pevnosti u obou expozic, které se prohybovalo v průměru okolo 2,5 MPa. Skupina vzorků SM+TW s lepidlem RAKOLLIT 280+ vykazovala vysoké pevnosti v případě vyšších nánosů 125 g/m². Tyto hodnoty obou expozic se v průměru pohybovaly okolo 3,1 MPa.

U vzorků DB+TW jsme s lepidlem RAKOLL ECO 4 dosahovali průměrných hodnot obou expozic 2,4 MPa. S lepidlem RAKOLLIT 280+ jsme bohužel dosahovali velmi nízkých hodnot, které byly v průměru okolo 1,5 MPa.

Nicméně ani u jedné ze smykových zkoušek jsme nedosáhly limitní hodnoty 4 MPa a to z důvodu nízké smykové pevnosti tepelně upravené vrstvy ve které docházelo k brzkému porušení. Dá se tedy předpokládat, že typ lepidla RAKOLL je vhodný jak ekonomicky, tak technologicky pro lepení těchto konstrukčních prvků.

Z hlediska procesu delaminace splnilo limitní hodnoty 5 % pouze lepidlo RAKOLL u lepených smrkových hranolů a to jak při nánosů 100 g/m², tak při nánosů 125 g/m². U hranolů dubových byla nejnižší hodnota rozlepení spáry 21,32 % taktéž s lepidlem RAKOLL s velikostí nánosů 125 g/m². Lepené hranoly, které firma vyrábí, nejsou vystaveny stabilně těmto extrémním vlhkostním podmínkám, ve kterých byly podrobeny zkouškám, a proto na základě statistického vyhodnocení doporučuji firmě Agropol Lužná u Vsetína s.r.o. využít pro lepení smrkových hranolů typ stávajícího lepidla tzn. RAKOLL ECO 4 s nánosem 100 g/m².

Došlo by tak ke snížení ekonomických nákladů na výrobu běžného metru smrkového hranolu v kombinaci s tepelně upravenou vrstvou.

Lepidlo RAKOLLIT 280+ k lepení smrkových hranolů nedoporučuji. Pokud by ale bylo zavedeno, je třeba volit variantu s vyšším nánosem 125 g/m².

U této varianty jsme sice dosahovaly vysokých pevností, ale překračovaly jsme delaminační hodnotu 5 % což stojí za zvážení. Došlo by tak k patrnému zvýšení finančních nákladů na výrobu běžného metru hranolu s tepelně upravenou vrstvou z thermowoodu. Tato skutečnost by se ale mohla odrazit na poptávce po tomto lepeném prvku.

V případě skupiny dubových hranolů v kombinaci s tepelně upravenou vrstvou doporučuji ponechat stávající typ lepidla, ale zvýšit přímo úměrně velikost nánosu na 150 g/m². Došlo by sice k částečnému zvýšení nákladů na výrobu hranolu, ale byla by zajištěna vyšší pevnost lepené spáry, pokud by povrch hranolu byl i nadále před lepením čtyřstranně opracováván.

Lepidlo RAKOLLIT nedoporučuji k zavedení do technologického toku výroby pro lepení dubových hranolů s tepelně upravenou vrstvou. Toto lepidlo dosahovalo v této skupině nízké hodnoty smykových pevností a vysoké hodnoty delaminačního stupně, které se měli průměrnou hodnotu okolo 70 %.

Cíl diplomové práce byl splněn ve všech požadovaných bodech a pro firmu Agrospol s.r.o Lužná u Vsetína bylo navrženo řešení pro lepení smrkových i dubových hranolu v kombinaci s vrstvou z tepelně upraveného dřeva.

Závěrem bych chtěl firmě Agrospol s.r.o Lužná u Vsetína také navrhnout, že problematika tepelně upraveného dřeva je velmi široká. Řešení této problematiky v kombinaci s plazmatickou úpravou by byla vhodným řešením jak z povrchu hydrofobního udělat povrch hydrofilní. Tato technologická koncepce výzkumu stojí za zvážení a případné provedení.

8. Summary

In this thesis was evaluated shear strength and delamination of the glued materials in combination with heat-treated layers of wood of Scots pine (*Pinus sylvestris*). Test samples were exposed to conditions in an environment with high humidity. Based on the statistical calculations were evaluated among themselves different types of deposits and the types of adhesives based on an aqueous dispersion. The first part dealt with the issue of a literature review and processing glueing heat-treated wood. In the practical part was made methodology of processing, production of test samples, and subsequent testing to applicable standards.

In terms of evaluation of shear tests, we concluded that between exposures there is a statistically significant differences. As the quantity deposition and the type of adhesive used spruce samples. In the exhibit no. 3, we have reached a higher shear strength than the exposure no. 5. Evaluation of SM + TW showed with glue RAKOLL ECO 4 of comparable strength in both exposures, which was on average about 2.5 MPa. Group samples SM + TW with adhesive RAKOLLIT 280+ showed high strength when higher deposition of 125 g/m². These values of both exposures were averaged about 3.1 MPa.

For samples DB + TW with glue RAKOLL ECO 4 we reached the average values of both exposures of 2.4 MPa. Unfortunately we have reached very low levels that were on average around 1.5 MPa with glue RAKOLLIT 280+.

However, even with one of the shear tests have not reached the limit value of 4 MPa due to a low shear strength heat-treated layers in which the failure occurred early. We can therefore assume that the type of adhesive RAKOLL is suitable both economically and technologically for the bonding of these construction materials.

In terms of the process of delamination meet the limit values only 5 % adhesive RAKOLL for bonded spruce prism both during the deposition of 100 g/m², and in the deposition of 125 g/m². Glued prisms oak was the lowest value delamination crack 21.32 %, also with adhesive RAKOLL sizes deposition 125 g/m². Glued prisms, which the firm produces, are not exposed to these extreme stable humidity conditions in which they were tested, and therefore on the basis of statistical evaluation suggest enterprise Agrospol Lužná u Vsetína Ltd. use for gluing spruce prisms existing type of adhesive RAKOLL ECO 4 coated with 100 g/m².

This would lead to a reduction in economic costs for the production of a meter spruce prism in combination with the heat-treated layer.

Adhesive RAKOLLIT 280+ for gluing spruce prisms recommended. However, if introduced, I recommend to choose the alternative with higher coating 125 g/m^2 .

With this variant, we have high strengths, but we exceeded the delamination value of 5 %. This would lead to an appreciable increase in the financial costs of production per meter prism with a layer of heat-treated Thermowood. This should however be reflected in the demand for this substrate element.

For a group of oak prisms in combination with heat-treated layers recommend keeping existing type of glue, but to increase in direct proportion to the size of the deposition of 150 g/m^2 . Although there would be a partial increase in the cost of manufacturing the prism, but would ensure higher strength of the bondline, if the surface of the prism was continued before gluing four sides machined.

Glue RAKOLLIT recommended for introduction into the technological production flow for gluing oak prisms with a heat-treated layer. This adhesive was observed in this group of low values of shear strength and high value delaminated grades which had an average value of about 70 %.

Aim of the thesis was achieved in all required elements for a company Agrospol Lužná Ltd. has been proposed for gluing oak and spruce prism in combination with a layer of heat-treated wood.

Finally, I want us Agrospol Lužná Ltd. also suggest that the problem of heat-treated wood is very broad. Addressing this issue in conjunction with the plasma treatment would be an appropriate solution to the surface of the hydrophobic surface hydrophilic do.

9. Seznam literatury

9.1 Knižní zdroje

BOONSTRA, M. J., TJEERDSMA, B. F., GROENEVELD, H. A. C., 1998: *Thermal modification of nondurable wood species*. IRG/WP 98-40123, 13 p.

BOUBLÍK, Vlastimil. *Lepidla a jejich příprava*. Praha 1966, 190s.

DIROL, D., GUYONNET, R., 1993: *The improvement of wood durability by retification process*. IRG/WP 93-40015, 11 p.

DUCHEZ, L., HERRI, JM, GUYONNET, R., 2001: *Modélisation d'un Four de Rétification du Bois*. Proceedings of 8ième Congrès francophone en Génie des Procédés, Nancy, 17 au 19 Octobre 2001 (Groupe ENSIC 2001), pp 61–6.

EC BERICHT BRE-CT-5006, 1998: *Upgrading of non durable wood species by appropriate pyrolysis thermal treatment*. EC-Industrial & Materials Technologies Programme (Brite-EuRam III), 17 p.

FENGEL, D., 1966a: *On the changes of the wood and its components within the temperature range up to 200°C - Part 1*. Holz Roh-Werkst. 24, 9-14.

FENGEL, D., 1966b: *On the changes of the wood and its components within the temperature range up to 200°C - Part 2*. Holz Roh-Werkst. 24, 98-109.

FOLLRICH, J., VAY, O., VEIGEL, S., MULLER, U. 1,2, 2010: *Bond strength of end-grain joints and its dependence on surface roughness and adhesive spread.*[Miscellaneous]. Journal of Wood Science. 56(5):429-434, October 2010.

FRIHART, C. R., 2005: *Adhesive bonding and performance testing of bonded wood products*. Journal of ASTM International (JAI). 2005. 2: 7, JAI12952. 22 ref.

GÉRARDIN, P. PETRIČ, M. PETRISSANS, M. LAMBERT, J. EHRHRARDT, J. J., 2007: *Evolution of wood surface free energy after heat treatment*, Polymer Degradation and Stability, 92: 4, 653-657.

GUNDUZ, G., D., AYDEMIR, KARAKAS, G., 2009: *The effects of thermal treatment on the mechanical properties of wild Pear (Pyrus elaeagnifolia Pall.) wood and changes in physical properties*. Materials and Design 30, pp. 4391–4395.

HAKKOU, M., PÉTRISSANS, M., EL BAKALI, I., GÉRARDIN, P., AND ZOULALIAN, A., 2003: *Evolution of wood hydrophobic properties during heat treatment*. Abstracts of the First European Conference on Wood Modification, Ghent, Belgium.

HAKKOU, M., PÉTRISSANS, M., ZOULALIAN, A., GÉRARDIN, P., 2005: *Investigation of wood wettability changes during heat treatment on the basis of chemical analysis*. Polymer Degradation and Stability, 89: 1-5.

HAVELKA, Štěpán. *Lepení sendvičových střešních panelů při výrobě autobusů v podmínkách SOR Libchavy*. 2011. Bakalářská práce. Univerzita Pardubice.

CHARLES, R., FRIHART, 2005: *Wood Adhesion and Adhesives*. Handbook of wood chemistry and wood composites. Boca Raton, Fla. : CRC Press, 2005: pages 215-278.

CHRISTIANSEN, A.W., 1990: *How overdrying wood reduces its bonding to phenol-formaldehyde adhesives: A critical review of the literature, Part I: Physical responses*. Wood and Fiber Sci. 22(4):441–459.

CHRISTIANSEN, A.W., 1991: *How overdrying wood reduces its bonding to phenol-formaldehyde adhesives: A critical review of the literature, Part II: Chemical reactions*. Wood and Fiber Sci. 23(1):69–84.

CHRISTIANSEN, A.W., 1994: *Effect of overdrying of yellow-poplar veneer on physical properties and bonding*. Holz als Roh und Werkstoff 52:139–149.

CHRISTOPHE, P., GREGOIRE, L., 2001: *Alexia S. Wood Formation in Trees*. Plant Physiology 127, pp. 1513–1523.

INARI, G. N., PETRISSANS, M., GERARDIN, P., 2007: *Chemical reactivity of heat-treated wood*. Wood Science and Technology. 2007. 41: 2, 157-168.

JÄMSÄ, S., VIITANIEMI, P. 1998: *Heat treatment of wood. Better durability without chemicals*. Nordiske Trebeskyttelsesdager: 47-51.

JÄMSÄ, S., AHOLA, P., AND VIITANIEMI, P., 2000: *Long-term natural weathering of coated Thermowood*, Pigment Resin Technol. 29(2), 68-74.

KODYS, Josef. *Montážní lepení a lepení spárovek tropických druhů dřev*. 2007. Bakalářská práce. Mendelova univerzita v Brně

KOLLMANN, F., 1955: *Technologie des Holzes und Werkstoffe*, 2. Bd. Springer Verlag-Berlin.

KORKUT, D. S., GULLER, B., 2008: *The effects of heat treatment on physical properties and surface roughness of red-bud maple (Acer trautvetteri Medw.) wood*. Bioresource Technology. 2008. 99: 8, 2846-2851. 23 ref.

KORKUT, S., BEKTAS, I. *The effects of heat treatment on physical properties of Uludag fir (Abies born muelleriana Mattf.) and Scots pine (Pinus sylvestris L.) wood*. 2008. Forest Products Journal. 2008. 58: 3, 95-99. 10 ref.

KRÁL, Pavel. *Dýhy, překližky a lepené materiály*. Brno, 2011. Mendelova univerzita v Brně. ISBN 978-80-7375-552-2.

KRÁL, Pavel a HRÁZSKÝ, Jaroslav. *Kompozitní materiály na bázi dřeva: Dýhy a vrstvené materiály masivní materiály*. Brno, 2005, 206 s.

KŘUPALOVÁ, Zdeňka. *Nauka o materiálech*. 2. Praha: Sobotáles, 2004. ISBN 80-86817-02-4.

KUPSKÁ, Ivana. *Vliv mikrovlnného plazmatu vzduchu na smáčivost povrchů syntetických polymerů*. 2010. Diplomová práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně.

MACLEAN, J.D., 1951: *Rate of Disintegration of Wood under Different Heating Conditions*. Am.Wood Preserves Assoc; Proc. 47: pp. 155-168.

MACLEAN, J.D., 1953: *Effect of Steaming on the Strength of Wood*. Am.Wood Preserves Assoc. Proc.; 49: pp. 88-11.

MACLEAN, J.D., 1954: *Effect of Heating in Water on the Strength Properties of Wood*. Am.Wood Preserves Assoc. Proc.; 50: pp. 253-280.

MACLEAN, J.D., 1955: *Effect of Oven-Heating and Hot-Pressing on Strength Properties of Wood*. Am.Wood Preserves Assoc. Proc.; 51: pp. 227-250.

MAILUM, N.P., ARENAS, C.V., 1974: *Effect of Heat on the Naturel Decay Resistance of Philippine Woods*. Philippine Lumberman. 20 (10):18-19.

MASAŘÍK, Lukáš. *Porovnání pevnosti lepeného spoje smrkového a bukového dřeva s ošetřením a bez ošetření povrchu studeným plazmatem*. 2012. Bakalářská práce. Mendelova Univerzita v Brně.

MAYES, D., OKSANEN, O., 2002: *ThermoWood Handbook*. By: Thermowood, Finnforest, Stora.

MILITZ, H., 2002: *Heat treatment of wood: European processes and their background*. International Research Group Wood Pre, Section 4-Processes, N° IRG/WP 02- 40241.

MILLETT, M. A., GERHARDS, G. C., 1972: *Accelerated aging: residual weight and flexural properties of wood heated in air at 115 °C to 175 °C*. Japan. Journal of Wood Science 4(4). 193–201.

PACKHAM, D.E., 2003: *The mechanical theory of adhesion*. Pizzi, A. and Mittal, K.L. (Eds.), *Handbook of Adhesive Technology* (2nd ed.). Marcel Dekker, New York, chap. 4.

PAVLO, B., P. NIEMZ, 2003: *Effect of Temperature on Color and Strength of Spruce Wood*. *Holzforschung*, Vol. 57, 539–546. Stamm, A., Burr, H., and Kline, A., 1946: *Stayb-wood-A heat stabilized wood*. *Ind. Eng. Chem.* 38(6), 630-634.

PECINA, H., AND PAPRZYCKI, O., 1988: *Wechselbeziehungen zwischen der Temperaturbehandlung des Holzes und seiner Benetzbarkeit*. *Holz. Holzverwert* 40(1), 5-8.

PODGORSKI, L., CHEVET, B., Onic, L., Merlin, A., 2000: *Modification of wood wettability by plasma and corona treatments*. International Journal of Adhesion and Adhesives, Volume 20, Issue 2, 1 April 2000, Pages 103-111.

PONCSÁK, S., Q. SHI, S., KOCAEFE, D., MILLER, G., 2007: *Effect of thermal treatment of wood lumbers on their adhesive bond strength and durability*. J. Adhesion Sci. Technol., Vol. 21, No. 8, pp. 745–754 (2007)

RAPP, A. O., SAILER, M., 2000: *Heat treatment of wood in Germany- state of the art*. Seminar Production and development of heat treated timber in Europe, 2000. Tekes, Lahontorjuntayhdysis ry. Kestopuu oy. Helsinki.

RAPP, A. O., SAILER, M., WESTIN, M., 2000: *Innovative Holzvergütung – neue Einsatzbereiche für Holz*. Proceedings of the Dreiländer-Holztagung, Luzern, Switzerland.

REINPRECHT, Ladislav, VIDHOLDOVÁ, Zuzana. *Termodrevo, Thermowood*. Slovenská republika. 2011. ISBN 978-80-87427-05-7

ROBBINS, C., MORRELL, J., 2006: *Mold, housing and wood*. Western Wood Products Association.

SIVONEN, H., MAUNU, S. L., SUNDHOLM, F., JÄMSA, S., VIITANIEMI, P., 2002: *Magnetic resonance studies of thermally modified wood*, *Holzforschung*, 56: 648-54.

STAMM, A., 1956: *Thermal degradation of wood and cellulose*. *Ind Eng Chem* 48(3): 413–417.

SYRJÄNEN, T., JÄMSÄ, S., VIITANIEMI, P., 2000: *Heat treatment of wood in Finland - State of the art*. Technical Research Centre of Finland Building Technology. 12 pp.

TESAŘOVÁ, Daniela. *Plasty, lepidla a nátěrové hmoty, podpora výuky a učební texty*. Mendelova univerzita v Brně

TIEMANN, H.D., 1920: *Effect of Different Methods of Drying on the Strength and Hygroscopicity of Wood*. 3rd ed., *The Kiln Drying of Lumber*; Chap. 11, J.P. Lippincott Co., Philadelphia PA.

- TJEERDSMA, B. F., BOONSTRA, M., PIZZI, A., TEKELY, P., MILITZ, H., 1998: *Characterisation of thermally modified wood: molecular reasons for wood performance improvement*. Holz als Roh- und Werkstoff, 56: 149-53.
- TJEERDSMA, B. F., BOONSTRA, M., MILITZ, H., 1998: *Thermal modification of non-durable wood species II*. IRG/WP 98-40124, 10 p.
- TJEERDSMA, B., MILITZ, H., 2005: Holz als Roh- und Werkstoff 63:102.
- TROYA, M. T., DE NAVARRETE, A. M., 1994: *Study of the degradation of retified wood through ultrasonic and gravimetric techniques*. IRG/WP 94-40030, 6 p.
- VERNOIS, M., 2000: *Heat treatment of wood in France-State of the art*. Centre Technique du Bois et de l'Ameublement, Paris, França.
- VIITANEN, H. A., JÄMSÄ, S., PAAJANEN, L. M., NURMI, A. J., VIITANIEMI, P., 1994: *The effect of heat treatment on the properties of spruce*. IRG/WP 94-40032, 4 p
- WEILAND, J. J., GUYONNET, R., 2003: *Study of chemical modifications and fungi degradation of thermally modified wood using DRIFT spectroscopy*. Holz als Roh- und Werkstoff, 61: 216-20.
- XLE YAN-JUN, LIU YI-XING, SUN YAO-XING, 2002: *Heat-treated wood and its development in Europe*. Journal of Forestry Research 13 (3), pp. 224-230.

9.2 Internetové zdroje

- ABCLEPIDLA.CZ. *Základy teorie lepení* [online] [cit. 2015-05-04]. Dostupné z WWW: <http://www.abclepidla.cz/Files/file/files/Teorie_lepeni.pdf>
- AXIMA MORAVA. *Cinkovací zařízení GRECON* [online] [cit. 2013-01-08]. Dostupné z WWW: <<http://www.aximamorava.cz/produkty.php?kat=8&pokat=9&prod=28>>
- BÖHM Martin, REISNER Jan, BOMBA Jan. *Materiály na bázi dřeva* [online] [cit. 2013-05-02]. Dostupné z WWW: <http://fld.czu.cz/~bohmm/materialy_na_bazi_dreva.pdf>
- DEC-PLAST. *Winstar hybrid – to nejlepší ze světa hliníkových i dřevěných oken* [online] [cit. 2013-05-11]. Dostupné z WWW: <http://www.decplast.cz/img/2012_material_dub2.jpg>
- DEKTRADE. *DUO/TRIO* [online] [cit. 2013-02-04]. Dostupné z WWW: <<http://http://dekwood.cz/produkty/kvh-duo/trio-bsh/duo/trio-67>>
- GREGOR, Miroslav. *Lepidla – tmely* [online] [cit. 2011-08-10]. Dostupné z WWW: <<http://www.gluetechology.eu/4852/lepeni-lepenie/>>
- HASKO, Jan. *Vlastnosti a použití materiálů pro nosné účely* [online] [cit. 2013-03-04]. Dostupné z WWW: <http://volny.cz/janhasko/index_soubory/Page2593.htm>
- KELIWOOD. *Thermowood-tepelně upravené dřevo-nejlepší materiál pro koupací sud* [online] [cit. 2013-03-07] Dostupné z WWW: <<http://www.srubyservis.cz/aktuality-thermowood---tepelne-upravene-drevo---nejlepsi-material-pro-koupaci-sud>>
- MBM. *Thermowood* [online] [cit. 2013-03-07]. Dostupné z WWW: <<http://www.mbmspeciality.co.uk/thermowood.php>>
- SESAZOVNA DÝH s.r.o., *Teorie sesazování* [online] [cit. 2013-02-02]. Dostupné z WWW: <<http://www.sesazovnadyh.cz/teorie/>>
- STÖRI MANTEL. *Pily na podélné rozmítání* [online] [cit. 2013-02-08]. Dostupné z WWW: <<http://www.stoerimantel.cz/cs/pilynapodelnerozmitani/fls-arrow-one>>

STORAENSO. *ThermoWood process* [online] [cit. 2012-03-05]. Dostupné z WWW: <<http://www.storaenso.com/products/wood-products/products/thermowood/thermowood-process/Pages/the-ecological-modification-process.aspx>>

RÁJ DŘEVA. *Konstrukční hranoly KVH, DUO-TRIO, BSH* [online] [cit. 2015-05-04]. Dostupné z WWW: <<http://www.raj-dreva.cz/produkty/konstrukcni-hranoly-kvh-duo-trio-bsh/>>

NED INVEST. *Konstrukční hranoly KVH, BSH, DUO-TRIO* [online] [cit. 2015-05-04]. Dostupné z WWW: <<http://www.nedinvest.cz/pouzivane-konstrukcni-materialy1320062269>>

DŘEVO-SPEKTRUM s.r.o.. *Dub – eurohranol* [online] [cit. 2015-05-04]. Dostupné z WWW: <<http://www.drevo-spektrum.cz/sortiment/eurohranoly-lepene-hranoly/dub-eurohranol>>

EO-LUDVÍK s.r.o.. *Technická podpora dřevěná okna eurookna* [online] [cit. 2015-05-04]. Dostupné z WWW: <<http://www.eo-ludvik.cz/technicka-podpora-drevena-okna-eurookna.html>>

9.3 Normy, vyhlášky a zákony

ČSN EN 204. *Klasifikace termoplastických lepidel na dřevo pro nekonstrukční aplikace*. Praha: Český normalizační institut, 2001.

ČSN EN 205. *Lepidla – Lepidlo na dřevo pro nekonstrukční aplikace. Stanovení pevnosti lepeného spojení ve smyku při tahovém namáhání*. Praha: Český normalizační institut, 2003.

ČSN EN 302-1. *Lepidla pro nosné dřevěné konstrukce – Zkušební metody – Část 1: Stanovení podélné smykové pevnosti při tahovém namáhání*. Praha: Český normalizační institut, 2013.

ČSN EN 302-2. *Lepidla pro nosné dřevěné konstrukce – Zkušební metody – Část 2: Stanovení odolnosti proti delaminaci*. Praha: Český normalizační institut, 2013.

IFT-RICHTLINIE HO-10/1. *Massive keilgezinkte und lamellierte Profile für Holzfenster. Anforderungen und Prüfung*. Rosenheim institut für Fenstertechnik e.V. – IFT-, 2002.

10. Seznam obrázků

Obr. 1: Konstrukce třívrstvého lepeného hranolu (DECPLAST 2009)	13
Obr. 2: Struktura lepeného spoje (Kodys 2007)	17
Obr. 3: Hydrofóbní a hydrofilní chování kapaliny na materiálu (Kupská 2010)	18
Obr. 4: Smáčivost povrchu dýhy, vlevo - před broušením, vpravo - zlepšení po odstranění nečistot broušením. (Frihart 2005)	18
Obr. 5: Základní druhy porušení lepeného spoje (Havelka 2011)	19
Obr. 6: Pevnost ve smyku u PVAc lepidel (Masařík 2012)	23
Obr. 7: Vliv tepelné úpravy na smáčivost jedle (Podgorski a kol., 2000)	24
Obr. 8: Vliv tepelné úpravy na pevnost lepidlového spoje ve smyku, u 4 druhů dřevin, lepené (vlevo) polyuretanovým (PUR) a (vpravo) polyvinylacetátovým lepidlem (PVAc) (Poncsák a kol. 2007)	24
Obr. 9: Barevná změna podle rostoucí T (°C) a času t (hod) u dřeva borovice (Keliwood 2010)	27
Obr. 10: Proces výroby tepelně upraveného dřeva (Storaenso 2011)	28
Obr. 11: Vlastnosti tepelně upraveného dřeva (MBM 2011)	29
Obr. 12: Výroba dýh ve starověkém Egyptě (Král 2011)	30
Obr. 13: Řezané dýhy – smrkové švartny	31
Obr. 14: Konstrukce eurohranolu (Dřevo-Spektrum 2013)	34
Obr. 15: Konstrukce sendvičového profilu – eurodeck (EO Ludvík 2010)	36
Obr. 16: Konstrukce lepeného lamelového dřeva BSH (NED Invest 2015)	38
Obr. 17: Konstrukce lepeného lamelového dřeva KVH (NED Invest 2015)	40
Obr. 18: Konstrukce lepeného lamelového dřeva DUO/TRIO (Ráj-Dřeva 2010)	42
Obr. 19: Vzorek DB+ TW (R 100 g/m ²)	44
Obr. 20: Vzorek SM + TW (R 100 g/m ²)	44
Obr. 21: Rozmítací pila s laserovým zaměřováním (Störi Mantel 2012)	45
Obr. 22: Středisko se zkracovací pilou	46
Obr. 23: Frézka pro výrobu miniozubů a lisovací zařízení (Axima Moravia 2012)	46
Obr. 24: Profilovací frézka Leadermac 823	47
Obr. 25: Válcová nanášedka lepidla a pásový dopravník	47
Obr. 26: Lisovací zařízení pro výrobu lepených hranolů	48
Obr. 27: Vertikální rámová pila pro výrobu řezaných dýh „švarten“	48

Obr. 28: Vodní lázeň s termostatem – GFL	49
Obr. 29: Zkušební trhací zařízení – INSTRON 3365	49
Obr. 30: Kombinovaný dubový vzorek pro temperované uložení ve vodě	51
Obr. 31: Kombinovaný smrkový vzorek pro smykovou zkoušku	51
Obr. 32: Výroba zkušebních vzorků dle směrnice (ift Richtlinie 2002)	53
Obr. 33: Výroba zkušebních vzorků dle směrnice (ift Richtlinie, 2002)	54
Obr. 34: Uložení vzorků ve vodní lázni	56
Obr. 35: Graf průměrných hodnot konečného porušení vč. limitní hodnoty pevnosti slepu u SM+TW u expozice č. 3	60
Obr. 36: Histogram porovnávaných vzorků pro dřevinu SM+TW – expozice č. 3	61
Obr. 37: Krabicový graf porovnání variability dat pro dřevinu SM+TW – expozice č. 3	61
Obr. 38: Porovnání vlivu množství nánosů u expozice č. 3	62
Obr. 39: Porovnání vlivu druhu lepidla u expozice č. 3	62
Obr. 40: Graf průměrných hodnot konečného porušení vč. limitní hodnoty pevnosti slepu u DB+TW	63
Obr. 41: Histogram porovnávaných vzorků pro dřevinu DB+TW – expozice č. 3	64
Obr. 42: Krabicový graf pro porovnání variability dat pro dřevinu DB+TW – expozice č. 3	64
Obr. 43: Porovnání vlivu množství nánosů u expozice č. 3	65
Obr. 44: Porovnání vlivu druhu lepidla u expozice č. 3	65
Obr. 45: Graf průměrných hodnot konečného porušení vč. limitní hodnoty pevnosti slepu u SM+TW u expozice č. 5	66
Obr. 46: Histogram porovnávaných vzorků pro dřevinu SM+TW – expozice č. 5	67
Obr. 47: Krabicový graf pro porovnání variability dat pro dřevinu SM+TW – expozice č. 5	67
Obr. 48: Porovnání vlivu množství nánosů u expozice č. 5	68
Obr. 49: Porovnání vlivu druhu lepidla u expozice č. 5	68

Obr. 50: Graf průměrných hodnot konečného porušení vč. limitní hodnoty pevnosti slepu u DB+TW u expozice č. 5	69
Obr. 51: Histogram porovnávaných vzorků pro dřevinu DB+TW – expozice č. 5	70
Obr. 52: Krabicový graf pro porovnání variability dat pro dřevinu DB+TW – expozice č. 5	70
Obr. 53: Porovnání vlivu množství nánosů u expozice č. 5	71
Obr. 54: Porovnání vlivu druhu lepidla u expozice č. 5	71
Obr. 55: Graf průměrných hodnot delaminace vč. limitní hodnoty u SM+TW	72
Obr. 56: Porovnání vlivu množství nánosů u SM+TW	73
Obr. 57: Porovnání vlivu druhu lepidla u SM+TW	73
Obr. 58: Graf průměrných hodnot delaminace vč. limitní hodnoty u DB+TW	74
Obr. 59: Porovnání vlivu množství nánosů u DB+TW	75
Obr. 60: Porovnání vlivu druhu lepidla u DB+TW	75
Obr. 61: Posouzení smykové pevnosti pro skupiny SM+TW, DB+TW – exp. č. 1	77
Obr. 62: Posouzení smykové pevnosti pro skupiny SM+TW – expozice č. 3	78
Obr. 63: Posouzení smykové pevnosti pro skupiny DB+TW – expozice č. 3	78
Obr. 64: Posouzení smykové pevnosti pro skupiny SM+TW – expozice č. 5	79
Obr. 65: Posouzení smykové pevnosti pro skupiny DB+TW – expozice č. 5	79
Obr. 66: Posouzení jakosti lepení pro skupiny SM+TW	80
Obr. 67: Posouzení jakosti lepení pro skupiny DB+TW	80

11. Seznam tabulek

Tab. 1: Minimální hodnoty pevnosti tenkých slepů (ČSN EN 204)	55
Tab. 2: Výpis materiálu pro zkoušky ve vodní lázni – SM + TW	57
Tab. 3: Výpis materiálu pro zkoušky ve vodní lázni – DB + TW	57
Tab. 4: Výpis materiálu pro expozice č. 3 a č. 5 – SM + TW, DB + TW	58
Tab. 5: Naměřené hodnoty experimentu dle expozice č. 1	59
Tab. 6: Naměřené hodnoty experimentu pro SM+TW dle expozice č. 3	60
Tab. 7: Popisná statistika pro dřevinu SM+TW – expozice č. 3	62
Tab. 8: Naměřené hodnoty experimentu pro DB+TW dle expozice č. 3	63
Tab. 9: Popisná statistika pro dřevinu DB+TW – expozice č. 3	65
Tab. 10: Naměřené hodnoty experimentu pro SM+TW dle expozice č. 5	66
Tab. 11: Popisná statistika pro dřevinu SM+TW – expozice č. 5	68
Tab. 12: Naměřené hodnoty experimentu pro DB+TW dle expozice č. 5	69
Tab. 13: Popisná statistika pro dřevinu DB+TW – expozice č. 5	71
Tab. 14: Průměrné hodnoty rozlepení spár u SM+TW	72
Tab. 15: Průměrné hodnoty rozlepení spár u DB+TW	74
Tab. 16: Ekonomické zhodnocení cenových variant pro sk. SM+TW	76
Tab. 17: Ekonomické zhodnocení cenových variant pro sk. DB+TW	76

12. Seznam příloh

Naměřené hodnoty experimentu pro SM+TW dle expozice č. 3	P1 – P4
Naměřené hodnoty experimentu pro DB+TW dle expozice č. 3	P5 – P8
Naměřené hodnoty experimentu pro SM+TW dle expozice č. 5	P9 – P12
Naměřené hodnoty experimentu pro DB+TW dle expozice č. 5	P13 – P16
Průměrné hodnoty rozlepení spár SM+TW	P17 – P20
Průměrné hodnoty rozlepení spár DB+TW	P21 – P24
Technický list RAKOLLIT 280 + RAKOLLIT-Härter WS 1 I	P25 – P26
Technický list RAKOLL ECO 4	P27 – P28
Technické požadavky a pokyny pro výrobu lepených hranolů	P29

Naměřené hodnoty experimentu pro SM+TW dle expozice č. 3

P1

- SM+TW (R 100 g/m²)

Číslo vzorku	Označení	Zatížení při maximálním tahovém protažení (N)	Konečné napětí při porušení (MPa)	Porušení vzorků ve dřevě (%)	Množství nánosu lepidla (g/m²)
1	SM + TW (R 100 g/m ²)	727,556	3,307	90	100
2	SM + TW (R 100 g/m ²)	725,863	3,299	90	100
3	SM + TW (R 100 g/m ²)	777,515	3,534	90	100
4	SM + TW (R 100 g/m ²)	701,463	3,188	90	100
5	SM + TW (R 100 g/m ²)	665,17	3,024	95	100
6	SM + TW (R 100 g/m ²)	570,282	2,592	60	100
7	SM + TW (R 100 g/m ²)	684,716	3,112	90	100
8	SM + TW (R 100 g/m ²)	407,131	2,851	80	100
9	SM + TW (R 100 g/m ²)	563,89	2,563	85	100
10	SM + TW (R 100 g/m ²)	510,193	2,319	90	100
11	SM + TW (R 100 g/m ²)	731,244	3,321	90	100
12	SM + TW (R 100 g/m ²)	719,147	3,278	90	100
13	SM + TW (R 100 g/m ²)	781,66	3,545	85	100
14	SM + TW (R 100 g/m ²)	699,564	3,156	90	100
15	SM + TW (R 100 g/m ²)	659,234	3,002	95	100
16	SM + TW (R 100 g/m ²)	574,113	2,608	70	100
17	SM + TW (R 100 g/m ²)	691,255	3,132	90	100
18	SM + TW (R 100 g/m ²)	499,244	2,275	85	100
19	SM + TW (R 100 g/m ²)	561,217	2,555	90	100
20	SM + TW (R 100 g/m ²)	512,336	2,327	90	100
21	SM + TW (R 100 g/m ²)	522,379	2,354	80	100

Naměřené hodnoty experimentu pro SM+TW dle expozice č. 3

P2

- SM+TW (R 125 g/m²)

Číslo vzorku	Označení	Zatížení při maximálním tahovém protažení (N)	Konečné napětí při porušení (MPa)	Porušení vzorků ve dřevě (%)	Množství nánosu lepidla (g/m ²)
1	SM + TW (R 125 g/m ²)	553,588	2,516	95	125
2	SM + TW (R 125 g/m ²)	455,369	2,07	100	125
3	SM + TW (R 125 g/m ²)	687,516	3,125	90	125
4	SM + TW (R 125 g/m ²)	424,915	1,931	100	125
5	SM + TW (R 125 g/m ²)	656,092	2,982	100	125
6	SM + TW (R 125 g/m ²)	616,266	2,801	100	125
7	SM + TW (R 125 g/m ²)	570,159	2,615	100	125
8	SM + TW (R 125 g/m ²)	533,117	2,423	100	125
9	SM + TW (R 125 g/m ²)	545,766	2,481	100	125
10	SM + TW (R 125 g/m ²)	511,153	2,323	100	125
11	SM + TW (R 125 g/m ²)	549,457	2,493	95	125
12	SM + TW (R 125 g/m ²)	462,441	2,103	100	125
13	SM + TW (R 125 g/m ²)	691,237	3,152	90	125
14	SM + TW (R 125 g/m ²)	431,247	1,988	100	125
15	SM + TW (R 125 g/m ²)	663,756	3,004	100	125
16	SM + TW (R 125 g/m ²)	622,365	2,864	95	125
17	SM + TW (R 125 g/m ²)	568,421	2,592	100	125
18	SM + TW (R 125 g/m ²)	527,148	2,404	100	125
19	SM + TW (R 125 g/m ²)	554,23	2,501	90	125
20	SM + TW (R 125 g/m ²)	515,443	2,334	100	125
21	SM + TW (R 125 g/m ²)	509,399	2,316	100	125

Naměřené hodnoty experimentu pro SM+TW dle expozice č. 3

P3

- SM+TW (Rt 100 g/m²)

Číslo vzorku	Označení	Zatížení při maximálním tahovém protažení (N)	Konečné napětí při porušení (MPa)	Porušení vzorků ve dřevě (%)	Množství nánosu lepidla (g/m ²)
1	SM + TW (Rt 100 g/m ²)	426,923	1,922	90	100
2	SM + TW (Rt 100 g/m ²)	452,692	2,058	90	100
3	SM + TW (Rt 100 g/m ²)	464,331	2,156	90	100
4	SM + TW (Rt 100 g/m ²)	366,606	1,666	70	100
5	SM + TW (Rt 100 g/m ²)	321,994	1,464	60	100
6	SM + TW (Rt 100 g/m ²)	376,411	1,702	50	100
7	SM + TW (Rt 100 g/m ²)	427,689	1,953	100	100
8	SM + TW (Rt 100 g/m ²)	440,827	2,012	95	100
9	SM + TW (Rt 100 g/m ²)	435,092	1,978	95	100
10	SM + TW (Rt 100 g/m ²)	416,496	1,893	80	100
11	SM + TW (Rt 100 g/m ²)	394,09	1,791	100	100
12	SM + TW (Rt 100 g/m ²)	431,224	1,948	50	100
13	SM + TW (Rt 100 g/m ²)	462,339	2,084	65	100
14	SM + TW (Rt 100 g/m ²)	465,331	2,167	75	100
15	SM + TW (Rt 100 g/m ²)	372,447	1,676	70	100
16	SM + TW (Rt 100 g/m ²)	319,137	1,453	90	100
17	SM + TW (Rt 100 g/m ²)	381,409	1,732	90	100
18	SM + TW (Rt 100 g/m ²)	419,373	1,932	95	100
19	SM + TW (Rt 100 g/m ²)	450,552	2,102	90	100
20	SM + TW (Rt 100 g/m ²)	440,371	2,006	80	100
21	SM + TW (Rt 100 g/m ²)	420,542	1,918	80	100

Naměřené hodnoty experimentu pro SM+TW dle expozice č. 3

P4

- SM+TW (Rt 125 g/m²)

Číslo vzorku	Označení	Zatížení při maximálním tahovém protažení (N)	Konečné napětí při porušení (MPa)	Porušení vzorků ve dřevě (%)	Množství nánosu lepidla (g/m ²)
1	SM + TW (Rt 125 g/m ²)	712,417	3,238	95	125
2	SM + TW (Rt 125 g/m ²)	906,34	4,12	90	125
3	SM + TW (Rt 125 g/m ²)	774,052	3,609	95	125
4	SM + TW (Rt 125 g/m ²)	654,745	2,976	95	125
5	SM + TW (Rt 125 g/m ²)	981,402	4,461	95	125
6	SM + TW (Rt 125 g/m ²)	671,357	3,052	80	125
7	SM + TW (Rt 125 g/m ²)	623,818	2,836	100	125
8	SM + TW (Rt 125 g/m ²)	732,388	3,323	80	125
9	SM + TW (Rt 125 g/m ²)	761,859	3,494	80	125
10	SM + TW (Rt 125 g/m ²)	913,582	4,153	95	125
11	SM + TW (Rt 125 g/m ²)	896,268	4,074	95	125
12	SM + TW (Rt 125 g/m ²)	737,71	3,356	90	125
13	SM + TW (Rt 125 g/m ²)	715,266	3,251	95	125
14	SM + TW (Rt 125 g/m ²)	912,66	4,142	90	125
15	SM + TW (Rt 125 g/m ²)	769,148	3,592	95	125
16	SM + TW (Rt 125 g/m ²)	661,274	2,998	95	125
17	SM + TW (Rt 125 g/m ²)	995,366	4,502	95	125
18	SM + TW (Rt 125 g/m ²)	682,457	3,161	80	125
19	SM + TW (Rt 125 g/m ²)	636,278	2,945	100	125
20	SM + TW (Rt 125 g/m ²)	742,177	3,387	80	125
21	SM + TW (Rt 125 g/m ²)	773,394	3,605	80	125

Naměřené hodnoty experimentu pro DB+TW dle expozice č. 3

P5

- DB+TW (R 100 g/m²)

Číslo vzorku	Označení	Zatížení při maximálním tahovém protažení (N)	Konečné napětí při porušení (MPa)	Porušení vzorků ve dřevě (%)	Množství nánosu lepidla (g/m ²)
1	DB + TW (R 100 g/m ²)	429,852	1,954	70	100
2	DB + TW (R 100 g/m ²)	542,237	2,467	80	100
3	DB + TW (R 100 g/m ²)	463,346	1,652	70	100
4	DB + TW (R 100 g/m ²)	441,311	2,006	70	100
5	DB + TW (R 100 g/m ²)	625,027	3,296	90	100
6	DB + TW (R 100 g/m ²)	409,24	1,86	90	100
7	DB + TW (R 100 g/m ²)	524,557	2,384	80	100
8	DB + TW (R 100 g/m ²)	541,164	2,46	80	100
9	DB + TW (R 100 g/m ²)	731,038	3,777	90	100
10	DB + TW (R 100 g/m ²)	401,171	1,822	80	100
11	DB + TW (R 100 g/m ²)	628,96	2,859	80	100
12	DB + TW (R 100 g/m ²)	432,763	1,971	75	100
13	DB + TW (R 100 g/m ²)	539,173	2,452	90	100
14	DB + TW (R 100 g/m ²)	458,117	2,108	80	100
15	DB + TW (R 100 g/m ²)	450,632	2,092	70	100
16	DB + TW (R 100 g/m ²)	653,127	3,356	70	100
17	DB + TW (R 100 g/m ²)	421,224	1,928	80	100
18	DB + TW (R 100 g/m ²)	550,169	2,472	75	100
19	DB + TW (R 100 g/m ²)	533,167	2,442	75	100
20	DB + TW (R 100 g/m ²)	712,336	3,711	90	100
21	DB + TW (R 100 g/m ²)	618,034	3,279	80	100

Naměřené hodnoty experimentu pro DB+TW dle expozice č. 3

P6

- DB+TW (R 125 g/m²)

Číslo vzorku	Označení	Zatížení při maximálním tahovém protažení (N)	Konečné napětí při porušení (MPa)	Porušení vzorků ve dřevě (%)	Množství nánosu lepidla (g/m ²)
1	DB + TW (R 125 g/m ²)	788,634	3,585	100	125
2	DB + TW (R 125 g/m ²)	525,533	2,375	100	125
3	DB + TW (R 125 g/m ²)	785,717	3,571	100	125
4	DB + TW (R 125 g/m ²)	556,595	2,53	100	125
5	DB + TW (R 125 g/m ²)	522,163	2,368	100	125
6	DB + TW (R 125 g/m ²)	848,933	3,859	95	125
7	DB + TW (R 125 g/m ²)	549,337	2,497	100	125
8	DB + TW (R 125 g/m ²)	521,206	2,358	100	125
9	DB + TW (R 125 g/m ²)	598,99	2,723	100	125
10	DB + TW (R 125 g/m ²)	607,109	2,76	100	125
11	DB + TW (R 125 g/m ²)	552,382	2,506	100	125
12	DB + TW (R 125 g/m ²)	778,421	3,534	100	125
13	DB + TW (R 125 g/m ²)	518,238	2,342	100	125
14	DB + TW (R 125 g/m ²)	792,382	3,592	100	125
15	DB + TW (R 125 g/m ²)	548,219	2,483	95	125
16	DB + TW (R 125 g/m ²)	505,194	2,318	100	125
17	DB + TW (R 125 g/m ²)	822,638	3,789	95	125
18	DB + TW (R 125 g/m ²)	567,155	2,556	100	125
19	DB + TW (R 125 g/m ²)	509,477	2,322	100	125
20	DB + TW (R 125 g/m ²)	650,497	3,107	95	125
21	DB + TW (R 125 g/m ²)	640,144	3,024	100	125

Naměřené hodnoty experimentu pro DB+TW dle expozice č. 3

P7

- DB+TW (Rt 100 g/m²)

Číslo vzorku	Označení	Zatížení při maximálním tahovém protažení (N)	Konečné napětí při porušení (MPa)	Porušení vzorků ve dřevě (%)	Množství nánosu lepidla (g/m ²)
1	DB + TW (Rt 100 g/m ²)	226,421	1,029	50	100
2	DB + TW (Rt 100 g/m ²)	470,959	2,205	50	100
3	DB + TW (Rt 100 g/m ²)	246,65	1,121	70	100
4	DB + TW (Rt 100 g/m ²)	555,392	2,525	80	100
5	DB + TW (Rt 100 g/m ²)	291,364	1,324	70	100
6	DB + TW (Rt 100 g/m ²)	443,199	2,015	70	100
7	DB + TW (Rt 100 g/m ²)	353,325	1,606	65	100
8	DB + TW (Rt 100 g/m ²)	202,909	0,922	70	100
9	DB + TW (Rt 100 g/m ²)	222,511	1,008	60	100
10	DB + TW (Rt 100 g/m ²)	450,841	2,113	50	100
11	DB + TW (Rt 100 g/m ²)	238,114	1,103	65	100
12	DB + TW (Rt 100 g/m ²)	244,52	1,116	80	100
13	DB + TW (Rt 100 g/m ²)	288,477	1,307	65	100
14	DB + TW (Rt 100 g/m ²)	438,227	1,996	70	100
15	DB + TW (Rt 100 g/m ²)	347,28	1,584	65	100
16	DB + TW (Rt 100 g/m ²)	198,267	0,877	70	100
17	DB + TW (Rt 100 g/m ²)	190,114	0,821	55	100
18	DB + TW (Rt 100 g/m ²)	370,139	1,702	50	100
19	DB + TW (Rt 100 g/m ²)	251,449	1,204	65	100
20	DB + TW (Rt 100 g/m ²)	272,419	1,292	75	100
21	DB + TW (Rt 100 g/m ²)	180,117	0,756	70	100

Naměřené hodnoty experimentu pro DB+TW dle expozice č. 3

P8

- DB+TW (Rt 125 g/m²)

Číslo vzorku	Označení	Zatížení při maximálním tahovém protažení (N)	Konečné napětí při porušení (MPa)	Porušení vzorků ve dřevě (%)	Množství nánosu lepidla (g/m ²)
1	DB +TW (Rt 125 g/m ²)	391,578	1,802	100	125
2	DB +TW (Rt 125 g/m ²)	575,293	2,615	100	125
3	DB +TW (Rt 125 g/m ²)	404,478	2,011	100	125
4	DB +TW (Rt 125 g/m ²)	255,145	1,16	60	125
5	DB +TW (Rt 125 g/m ²)	289,785	1,315	95	125
6	DB +TW (Rt 125 g/m ²)	256,491	1,166	50	125
7	DB +TW (Rt 125 g/m ²)	485,948	2,209	100	125
8	DB +TW (Rt 125 g/m ²)	297,507	1,352	80	125
9	DB +TW (Rt 125 g/m ²)	398,992	1,814	80	125
10	DB +TW (Rt 125 g/m ²)	216,39	0,922	100	125
11	DB +TW (Rt 125 g/m ²)	275,243	1,189	100	125
12	DB +TW (Rt 125 g/m ²)	387,984	1,792	100	125
13	DB +TW (Rt 125 g/m ²)	257,446	1,171	60	125
14	DB +TW (Rt 125 g/m ²)	284,662	1,285	95	125
15	DB +TW (Rt 125 g/m ²)	256,491	1,166	50	125
16	DB +TW (Rt 125 g/m ²)	185,948	0,812	100	125
17	DB +TW (Rt 125 g/m ²)	305,244	1,412	80	125
18	DB +TW (Rt 125 g/m ²)	390,265	1,804	80	125
19	DB +TW (Rt 125 g/m ²)	470,124	2,185	70	125
20	DB +TW (Rt 125 g/m ²)	303,254	1,398	100	125
21	DB +TW (Rt 125 g/m ²)	372,238	1,712	70	125

Naměřené hodnoty experimentu pro SM+TW dle expozice č. 5

P9

- SM+TW (R 100 g/m²)

Číslo vzorku	Označení	Zatížení při maximálním tahovém protažení (N)	Konečné napětí při porušení (MPa)	Porušení vzorků ve dřevě (%)	Množství nánosu lepidla (g/m ²)
1	SM + TW (R 100 g/m ²)	444,896	2,022	70	100
2	SM + TW (R 100 g/m ²)	514,469	2,338	80	100
3	SM + TW (R 100 g/m ²)	482,588	2,194	80	100
4	SM + TW (R 100 g/m ²)	406,324	1,847	90	100
5	SM + TW (R 100 g/m ²)	369,359	1,679	60	100
6	SM + TW (R 100 g/m ²)	562,572	2,557	80	100
7	SM + TW (R 100 g/m ²)	483,339	2,197	70	100
8	SM + TW (R 100 g/m ²)	535,795	2,435	80	100
9	SM + TW (R 100 g/m ²)	404,892	1,84	20	100
10	SM + TW (R 100 g/m ²)	632,152	2,873	90	100
11	SM + TW (R 100 g/m ²)	439,694	2,005	80	100
12	SM + TW (R 100 g/m ²)	508,442	2,325	70	100
13	SM + TW (R 100 g/m ²)	479,493	2,182	85	100
14	SM + TW (R 100 g/m ²)	399,721	1,831	85	100
15	SM + TW (R 100 g/m ²)	372,114	1,688	70	100
16	SM + TW (R 100 g/m ²)	559,139	2,547	60	100
17	SM + TW (R 100 g/m ²)	478,227	2,179	70	100
18	SM + TW (R 100 g/m ²)	529,431	2,412	80	100
19	SM + TW (R 100 g/m ²)	414,924	1,861	20	100
20	SM + TW (R 100 g/m ²)	532,521	2,419	90	100
21	SM + TW (R 100 g/m ²)	522,194	2,395	70	100

Naměřené hodnoty experimentu pro SM+TW dle expozice č. 5

P10

- SM+TW (R 125 g/m²)

Číslo vzorku	Označení	Zatížení při maximálním tahovém protažení (N)	Konečné napětí při porušení (MPa)	Porušení vzorků ve dřevě (%)	Množství nánosu lepidla (g/m ²)
1	SM + TW (R 125 g/m ²)	438,043	1,991	100	125
2	SM + TW (R 125 g/m ²)	505,844	2,299	90	125
3	SM + TW (R 125 g/m ²)	412,098	1,873	100	125
4	SM + TW (R 125 g/m ²)	395,67	1,799	90	125
5	SM + TW (R 125 g/m ²)	585,336	2,661	70	125
6	SM + TW (R 125 g/m ²)	402,199	1,812	80	125
7	SM + TW (R 125 g/m ²)	403,669	1,835	90	125
8	SM + TW (R 125 g/m ²)	553,451	2,516	90	125
9	SM + TW (R 125 g/m ²)	567,66	2,58	70	125
10	SM + TW (R 125 g/m ²)	446,435	2,029	80	125
11	SM + TW (R 125 g/m ²)	565,985	2,573	100	125
12	SM + TW (R 125 g/m ²)	584,895	2,659	80	125
13	SM + TW (R 125 g/m ²)	441,54	1,998	90	125
14	SM + TW (R 125 g/m ²)	499,713	2,282	100	125
15	SM + TW (R 125 g/m ²)	409,174	1,861	100	125
16	SM + TW (R 125 g/m ²)	401,614	1,829	90	125
17	SM + TW (R 125 g/m ²)	590,883	2,694	80	125
18	SM + TW (R 125 g/m ²)	561,941	2,552	70	125
19	SM + TW (R 125 g/m ²)	411,407	1,868	100	125
20	SM + TW (R 125 g/m ²)	548,113	2,502	90	125
21	SM + TW (R 125 g/m ²)	557,134	2,542	70	125

Naměřené hodnoty experimentu pro SM+TW dle expozice č. 5

P11

- SM+TW (Rt100 g/m²)

Číslo vzorku	Označení	Zatížení při maximálním tahovém protažení (N)	Konečné napětí při porušení (MPa)	Porušení vzorků ve dřevě (%)	Množství nánosu lepidla (g/m ²)
1	SM + TW (Rt 100 g/m ²)	570,659	2,594	90	100
2	SM + TW (Rt 100 g/m ²)	256,121	1,164	70	100
3	SM + TW (Rt 100 g/m ²)	282,937	1,377	90	100
4	SM + TW (Rt 100 g/m ²)	271,173	1,233	60	100
5	SM + TW (Rt 100 g/m ²)	426,706	1,94	80	100
6	SM + TW (Rt 100 g/m ²)	568,301	2,583	90	100
7	SM + TW (Rt 100 g/m ²)	311,337	1,415	90	100
8	SM + TW (Rt 100 g/m ²)	371,839	1,69	80	100
9	SM + TW (Rt 100 g/m ²)	395,547	1,798	70	100
10	SM + TW (Rt 100 g/m ²)	535,172	2,522	90	100
11	SM + TW (Rt 100 g/m ²)	311,473	1,415	80	100
12	SM + TW (Rt 100 g/m ²)	322,144	1,431	80	100
13	SM + TW (Rt 100 g/m ²)	252,222	1,152	70	100
14	SM + TW (Rt 100 g/m ²)	450,801	2,016	90	100
15	SM + TW (Rt 100 g/m ²)	522,311	2,498	90	100
16	SM + TW (Rt 100 g/m ²)	377,135	1,735	90	100
17	SM + TW (Rt 100 g/m ²)	398,224	1,811	80	100
18	SM + TW (Rt 100 g/m ²)	295,118	1,392	70	100
19	SM + TW (Rt 100 g/m ²)	422,349	1,896	70	100
20	SM + TW (Rt 100 g/m ²)	467,273	2,201	80	100
21	SM + TW (Rt 100 g/m ²)	366,882	1,675	70	100

Naměřené hodnoty experimentu pro SM+TW dle expozice č. 5

P12

- SM+TW (Rt 125 g/m²)

Číslo vzorku	Označení	Zatížení při maximálním tahovém protažení (N)	Konečné napětí při porušení (MPa)	Porušení vzorků ve dřevě (%)	Množství nánosu lepidla (g/m ²)
1	SM + TW (Rt 125 g/m ²)	511,38	2,324	90	125
2	SM + TW (Rt 125 g/m ²)	443,983	2,018	85	125
3	SM + TW (Rt 125 g/m ²)	683,711	3,108	90	125
4	SM + TW (Rt 125 g/m ²)	644,423	2,929	100	125
5	SM + TW (Rt 125 g/m ²)	780,459	3,548	100	125
6	SM + TW (Rt 125 g/m ²)	724,267	3,292	100	125
7	SM + TW (Rt 125 g/m ²)	446,565	2,03	75	125
8	SM + TW (Rt 125 g/m ²)	532,237	2,419	100	125
9	SM + TW (Rt 125 g/m ²)	525,279	2,372	90	125
10	SM + TW (Rt 125 g/m ²)	450,679	2,112	85	125
11	SM + TW (Rt 125 g/m ²)	652,749	2,972	90	125
12	SM + TW (Rt 125 g/m ²)	622,123	2,901	95	125
13	SM + TW (Rt 125 g/m ²)	762,437	3,514	95	125
14	SM + TW (Rt 125 g/m ²)	699,224	3,235	85	125
15	SM + TW (Rt 125 g/m ²)	470,127	2,127	100	125
16	SM + TW (Rt 125 g/m ²)	552,109	2,485	80	125
17	SM + TW (Rt 125 g/m ²)	497,237	2,292	95	125
18	SM + TW (Rt 125 g/m ²)	412,179	1,975	85	125
19	SM + TW (Rt 125 g/m ²)	671,223	3,087	90	125
20	SM + TW (Rt 125 g/m ²)	573,118	2,562	95	125
21	SM + TW (Rt 125 g/m ²)	782,415	3,566	100	125

Naměřené hodnoty experimentu pro DB+TW dle expozice č. 5

P13

- DB+TW (R 100 g/m²)

Číslo vzorku	Označení	Zatížení při maximálním tahovém protažení (N)	Konečné napětí při porušení (MPa)	Porušení vzorků ve dřevě (%)	Množství nánosu lepidla (g/m²)
1	DB + TW (R 100 g/m ²)	441,477	2,126	90	100
2	DB + TW (R 100 g/m ²)	411,104	1,869	80	100
3	DB + TW (R 100 g/m ²)	396,308	1,801	85	100
4	DB + TW (R 100 g/m ²)	302,528	1,375	65	100
5	DB + TW (R 100 g/m ²)	380,791	1,731	90	100
6	DB + TW (R 100 g/m ²)	411,112	1,869	80	100
7	DB + TW (R 100 g/m ²)	384,579	1,748	90	100
8	DB + TW (R 100 g/m ²)	332,282	1,51	95	100
9	DB + TW (R 100 g/m ²)	333,564	1,533	90	100
10	DB + TW (R 100 g/m ²)	325,986	1,482	80	100
11	DB + TW (R 100 g/m ²)	431,478	2,061	90	100
12	DB + TW (R 100 g/m ²)	421,244	1,949	85	100
13	DB + TW (R 100 g/m ²)	406,308	1,898	90	100
14	DB + TW (R 100 g/m ²)	352,531	1,675	70	100
15	DB + TW (R 100 g/m ²)	390,225	1,79	90	100
16	DB + TW (R 100 g/m ²)	415,263	1,927	85	100
17	DB + TW (R 100 g/m ²)	394,698	1,797	95	100
18	DB + TW (R 100 g/m ²)	324,172	1,479	90	100
19	DB + TW (R 100 g/m ²)	336,784	1,549	90	100
20	DB + TW (R 100 g/m ²)	326,148	1,492	85	100
21	DB + TW (R 100 g/m ²)	365,986	1,736	85	100

Naměřené hodnoty experimentu pro DB+TW dle expozice č. 5

P14

- DB+TW (R 125 g/m²)

Číslo vzorku	Označení	Zatížení při maximálním tahovém protažení (N)	Konečné napětí při porušení (MPa)	Porušení vzorků ve dřevě (%)	Množství nánosu lepidla (g/m ²)
1	DB + TW (R 125 g/m ²)	334,753	1,522	80	125
2	DB + TW (R 125 g/m ²)	339,568	1,543	80	125
3	DB + TW (R 125 g/m ²)	425,479	1,934	100	125
4	DB + TW (R 125 g/m ²)	480,989	2,241	100	125
5	DB + TW (R 125 g/m ²)	450,048	2,046	100	125
6	DB + TW (R 125 g/m ²)	476,553	2,202	100	125
7	DB + TW (R 125 g/m ²)	426,702	1,939	85	125
8	DB + TW (R 125 g/m ²)	355,514	1,616	90	125
9	DB + TW (R 125 g/m ²)	467,729	2,126	80	125
10	DB + TW (R 125 g/m ²)	482,614	2,251	100	125
11	DB + TW (R 125 g/m ²)	344,664	1,552	80	125
12	DB + TW (R 125 g/m ²)	327,561	1,517	80	125
13	DB + TW (R 125 g/m ²)	385,419	1,934	100	125
14	DB + TW (R 125 g/m ²)	475,749	2,194	100	125
15	DB + TW (R 125 g/m ²)	453,268	2,074	100	125
16	DB + TW (R 125 g/m ²)	376,443	1,775	95	125
17	DB + TW (R 125 g/m ²)	446,923	2,035	85	125
18	DB + TW (R 125 g/m ²)	358,413	1,635	90	125
19	DB + TW (R 125 g/m ²)	367,803	1,702	80	125
20	DB + TW (R 125 g/m ²)	371,524	1,749	100	125
21	DB + TW (R 125 g/m ²)	373,245	1,758	85	125

Naměřené hodnoty experimentu pro DB+TW dle expozice č. 5

P15

- DB+TW (Rt 100 g/m²)

Číslo vzorku	Označení	Zatížení při maximálním tahovém protažení (N)	Konečné napětí při porušení (MPa)	Porušení vzorků ve dřevě (%)	Množství nánosu lepidla (g/m ²)
1	DB + TW (Rt 100 g/m ²)	427,286	1,937	90	100
2	DB + TW (Rt 100 g/m ²)	370,869	1,682	70	100
3	DB + TW (Rt 100 g/m ²)	450,097	1,967	80	100
4	DB + TW (Rt 100 g/m ²)	389,768	1,772	80	100
5	DB + TW (Rt 100 g/m ²)	385,742	1,765	60	100
6	DB + TW (Rt 100 g/m ²)	329,501	1,508	80	100
7	DB + TW (Rt 100 g/m ²)	336,256	1,528	70	100
8	DB + TW (Rt 100 g/m ²)	338,441	1,542	100	100
9	DB + TW (Rt 100 g/m ²)	399,968	1,818	90	100
10	DB + TW (Rt 100 g/m ²)	429,327	1,948	90	100
11	DB + TW (Rt 100 g/m ²)	369,719	1,674	70	100
12	DB + TW (Rt 100 g/m ²)	448,118	1,957	80	100
13	DB + TW (Rt 100 g/m ²)	392,138	1,781	80	100
14	DB + TW (Rt 100 g/m ²)	379,247	1,758	100	100
15	DB + TW (Rt 100 g/m ²)	331,105	1,514	80	100
16	DB + TW (Rt 100 g/m ²)	333,625	1,516	70	100
17	DB + TW (Rt 100 g/m ²)	342,144	1,551	75	100
18	DB + TW (Rt 100 g/m ²)	402,896	1,842	90	100
19	DB + TW (Rt 100 g/m ²)	337,551	1,538	70	100
20	DB + TW (Rt 100 g/m ²)	341,408	1,549	100	100
21	DB + TW (Rt 100 g/m ²)	396,417	1,802	100	100

Naměřené hodnoty experimentu pro DB+TW dle expozice č. 5

P16

- DB+TW (Rt 125 g/m²)

Číslo vzorku	Označení	Zatížení při maximálním tahovém protažení (N)	Konečné napětí při porušení (MPa)	Porušení vzorků ve dřevě (%)	Množství nánosu lepidla (g/m ²)
1	DB + TW (Rt 125 g/m ²)	258,613	1,63	50	125
2	DB + TW (Rt 125 g/m ²)	222,168	1,455	80	125
3	DB + TW (Rt 125 g/m ²)	287,115	1,665	60	125
4	DB + TW (Rt 125 g/m ²)	363,631	1,862	40	125
5	DB + TW (Rt 125 g/m ²)	358,872	1,782	100	125
6	DB + TW (Rt 125 g/m ²)	252,453	1,622	60	125
7	DB + TW (Rt 125 g/m ²)	225,964	1,461	80	125
8	DB + TW (Rt 125 g/m ²)	292,562	1,674	65	125
9	DB + TW (Rt 125 g/m ²)	365,113	1,869	50	125
10	DB + TW (Rt 125 g/m ²)	366,913	1,873	45	125
11	DB + TW (Rt 125 g/m ²)	255,841	1,627	70	125
12	DB + TW (Rt 125 g/m ²)	230,148	1,469	80	125
13	DB + TW (Rt 125 g/m ²)	298,669	1,681	60	125
14	DB + TW (Rt 125 g/m ²)	340,881	1,753	45	125
15	DB + TW (Rt 125 g/m ²)	372,336	1,896	100	125
16	DB + TW (Rt 125 g/m ²)	249,337	1,611	65	125
17	DB + TW (Rt 125 g/m ²)	219,227	1,439	80	125
18	DB + TW (Rt 125 g/m ²)	289,342	1,671	75	125
19	DB + TW (Rt 125 g/m ²)	359,112	1,788	80	125
20	DB + TW (Rt 125 g/m ²)	358,997	1,786	100	125
21	DB + TW (Rt 125 g/m ²)	251,841	1,621	90	125

Průměrné hodnoty rozlepení spár SM+TW

P17

- SM+TW (R 100 g/m²)

	Číslo vzorku	Označení hranolu	Délka lepené spáry celkem (mm)	Rozlepení spáry (mm)	Rozlepení spáry (%)	Průměrné rozlepení spáry hranolu (%)	Průměrné rozlepení spáry (%)
Hranol č. 1 (délka 1m)	2	SM + TW (R 100 g/m ²)	86	0	0	0,4	0,45
	4	SM + TW (R 100 g/m ²)	86	0	0		
	6	SM + TW (R 100 g/m ²)	86	0	0		
	8	SM + TW (R 100 g/m ²)	86	0	0		
	10	SM + TW (R 100 g/m ²)	86	0	0		
	12	SM + TW (R 100 g/m ²)	86	3	3,5		
	14	SM + TW (R 100 g/m ²)	86	0	0		
	16	SM + TW (R 100 g/m ²)	86	0	0		
	18	SM + TW (R 100 g/m ²)	86	0	0		
Hranol č. 2 (délka 1m)	2	SM + TW (R 100 g/m ²)	86	0	0	0,5	
	4	SM + TW (R 100 g/m ²)	86	0	0		
	6	SM + TW (R 100 g/m ²)	86	2	2,3		
	8	SM + TW (R 100 g/m ²)	86	0	0		
	10	SM + TW (R 100 g/m ²)	86	0	0		
	12	SM + TW (R 100 g/m ²)	86	0	0		
	14	SM + TW (R 100 g/m ²)	86	2	2,3		
	16	SM + TW (R 100 g/m ²)	86	0	0		
	18	SM + TW (R 100 g/m ²)	86	0	0		

Průměrné hodnoty rozlepení spár SM+TW

P18

- SM+TW (R 125 g/m²)

	Číslo vzorku	Označení hranolu	Délka lepené spáry celkem (mm)	Rozlepení spáry (mm)	Rozlepení spáry (%)	Průměrné rozlepení spáry hranolu (%)	Průměrné rozlepení spáry (%)
Hranol č. 1 (délka 1m)	2	SM + TW (R 125 g/m ²)	86	0	0	0,0	0,00
	4	SM + TW (R 125 g/m ²)	86	0	0		
	6	SM + TW (R 125 g/m ²)	86	0	0		
	8	SM + TW (R 125 g/m ²)	86	0	0		
	10	SM + TW (R 125 g/m ²)	86	0	0		
	12	SM + TW (R 125 g/m ²)	86	0	0		
	14	SM + TW (R 125 g/m ²)	86	0	0		
	16	SM + TW (R 125 g/m ²)	86	0	0		
	18	SM + TW (R 125 g/m ²)	86	0	0		
Hranol č. 2 (délka 1m)	2	SM + TW (R 125 g/m ²)	86	0	0	0,0	
	4	SM + TW (R 125 g/m ²)	86	0	0		
	6	SM + TW (R 125 g/m ²)	86	0	0		
	8	SM + TW (R 125 g/m ²)	86	0	0		
	10	SM + TW (R 125 g/m ²)	86	0	0		
	12	SM + TW (R 125 g/m ²)	86	0	0		
	14	SM + TW (R 125 g/m ²)	86	0	0		
	16	SM + TW (R 125 g/m ²)	86	0	0		
	18	SM + TW (R 125 g/m ²)	86	0	0		

Průměrné hodnoty rozlepení spár SM+TW

P19

- SM+TW (Rt 100 g/m²)

	Číslo vzorku	Označení hranolu	Délka lepené spáry celkem (mm)	Rozlepení spáry (mm)	Rozlepení spáry (%)	Průměrné rozlepení spáry hranolu (%)	Průměrné rozlepení spáry (%)
Hranol č. 1 (délka 1m)	2	SM + TW (Rt 100 g/m ²)	86	37	43,0	21,7	15,96
	4	SM + TW (Rt 100 g/m ²)	86	12	14,0		
	6	SM + TW (Rt 100 g/m ²)	86	40	46,5		
	8	SM + TW (Rt 100 g/m ²)	86	0	0,0		
	10	SM + TW (Rt 100 g/m ²)	86	50	58,1		
	12	SM + TW (Rt 100 g/m ²)	86	0	0,0		
	14	SM + TW (Rt 100 g/m ²)	86	29	33,7		
	16	SM + TW (Rt 100 g/m ²)	86	0	0,0		
	18	SM + TW (Rt 100 g/m ²)	86	0	0,0		
Hranol č. 2 (délka 1m)	2	SM + TW (Rt 100 g/m ²)	86	22	25,6	10,2	
	4	SM + TW (Rt 100 g/m ²)	86	0	0		
	6	SM + TW (Rt 100 g/m ²)	86	0	0		
	8	SM + TW (Rt 100 g/m ²)	86	18	20,9		
	10	SM + TW (Rt 100 g/m ²)	86	0	0		
	12	SM + TW (Rt 100 g/m ²)	86	24	27,9		
	14	SM + TW (Rt 100 g/m ²)	86	15	17,4		
	16	SM + TW (Rt 100 g/m ²)	86	0	0		
	18	SM + TW (Rt 100 g/m ²)	86	0	0		

Průměrné hodnoty rozlepení spár SM+TW

P20

- SM+TW (Rt 125 g/m²)

	Číslo vzorku	Označení hranolu	Délka lepené spáry celkem (mm)	Rozlepení spáry (mm)	Rozlepení spáry (%)	Průměrné rozlepení spáry hranolu (%)	Průměrné rozlepení spáry (%)
Hranol č. 1 (délka 1m)	2	SM + TW (Rt 125 g/m ²)	86	54	62,8	28,4	22,09
	4	SM + TW (Rt 125 g/m ²)	86	21	24,4		
	6	SM + TW (Rt 125 g/m ²)	86	57	66,3		
	8	SM + TW (Rt 125 g/m ²)	86	53	61,6		
	10	SM + TW (Rt 125 g/m ²)	86	5	5,8		
	12	SM + TW (Rt 125 g/m ²)	86	9	10,5		
	14	SM + TW (Rt 125 g/m ²)	86	10	11,6		
	16	SM + TW (Rt 125 g/m ²)	86	5	5,8		
	18	SM + TW (Rt 125 g/m ²)	86	6	7,0		
Hranol č. 2 (délka 1m)	2	SM + TW (Rt 125 g/m ²)	86	32	37,2	15,8	
	4	SM + TW (Rt 125 g/m ²)	86	18	20,9		
	6	SM + TW (Rt 125 g/m ²)	86	5	5,8		
	8	SM + TW (Rt 125 g/m ²)	86	10	11,6		
	10	SM + TW (Rt 125 g/m ²)	86	12	14,0		
	12	SM + TW (Rt 125 g/m ²)	86	22	25,6		
	14	SM + TW (Rt 125 g/m ²)	86	14	16,3		
	16	SM + TW (Rt 125 g/m ²)	86	7	8,1		
	18	SM + TW (Rt 125 g/m ²)	86	2	2,3		

Průměrné hodnoty rozlepení spár DB+TW

P21

- DB+TW (R 100 g/m²)

	Číslo vzorku	Označení hranolu	Délka lepené spáry celkem (mm)	Rozlepení spáry (mm)	Rozlepení spáry (%)	Průměrné rozlepení spáry hranolu (%)	Průměrné rozlepení spáry (%)
Hranol č. 1 (délka 1m)	2	DB + TW (R 100 g/m ²)	86	26	30,2	26,5	22,35
	4	DB + TW (R 100 g/m ²)	86	24	27,9		
	6	DB + TW (R 100 g/m ²)	86	17	19,8		
	8	DB + TW (R 100 g/m ²)	86	19	22,1		
	10	DB + TW (R 100 g/m ²)	86	22	25,6		
	12	DB + TW (R 100 g/m ²)	86	28	32,6		
	14	DB + TW (R 100 g/m ²)	86	31	36,0		
	16	DB + TW (R 100 g/m ²)	86	14	16,3		
	18	DB + TW (R 100 g/m ²)	86	24	27,9		
Hranol č. 2 (délka 1m)	2	DB + TW (R 100 g/m ²)	86	7	8,1	18,2	
	4	DB + TW (R 100 g/m ²)	86	11	12,8		
	6	DB + TW (R 100 g/m ²)	86	8	9,3		
	8	DB + TW (R 100 g/m ²)	86	21	24,4		
	10	DB + TW (R 100 g/m ²)	86	22	25,6		
	12	DB + TW (R 100 g/m ²)	86	24	27,9		
	14	DB + TW (R 100 g/m ²)	86	19	22,1		
	16	DB + TW (R 100 g/m ²)	86	12	14,0		
	18	DB + TW (R 100 g/m ²)	86	17	19,8		

Průměrné hodnoty rozlepení spár DB+TW

P22

- DB+TW (R 125 g/m²)

	Číslo vzorku	Označení hranolu	Délka lepené spáry celkem (mm)	Rozlepení spáry (mm)	Rozlepení spáry (%)	Průměrné rozlepení spáry hranolu (%)	Průměrné rozlepení spáry (%)
Hranol č. 1 (délka 1m)	2	DB + TW (R 125 g/m ²)	86	27	31,4	22,5	21,32
	4	DB + TW (R 125 g/m ²)	86	19	22,1		
	6	DB + TW (R 125 g/m ²)	86	20	23,3		
	8	DB + TW (R 125 g/m ²)	86	26	30,2		
	10	DB + TW (R 125 g/m ²)	86	24	27,9		
	12	DB + TW (R 125 g/m ²)	86	15	17,4		
	14	DB + TW (R 125 g/m ²)	86	17	19,8		
	16	DB + TW (R 125 g/m ²)	86	12	14,0		
	18	DB + TW (R 125 g/m ²)	86	14	16,3		
Hranol č. 2 (délka 1m)	2	DB + TW (R 125 g/m ²)	86	19	22,1	20,2	21,32
	4	DB + TW (R 125 g/m ²)	86	14	16,3		
	6	DB + TW (R 125 g/m ²)	86	14	16,3		
	8	DB + TW (R 125 g/m ²)	86	19	22,1		
	10	DB + TW (R 125 g/m ²)	86	22	25,6		
	12	DB + TW (R 125 g/m ²)	86	27	31,4		
	14	DB + TW (R 125 g/m ²)	86	18	20,9		
	16	DB + TW (R 125 g/m ²)	86	8	9,3		
	18	DB + TW (R 125 g/m ²)	86	15	17,4		

Průměrné hodnoty rozlepení spár DB+TW

P23

- DB+TW (Rt 100 g/m²)


	Číslo vzorku	Označení hranolu	Délka lepené spáry celkem (mm)	Rozlepení spáry (mm)	Rozlepení spáry (%)	Průměrné rozlepení spáry hranolu (%)	Průměrné rozlepení spáry (%)
Hranol č. 1 (délka 1m)	2	DB + TW (Rt 100 g/m ²)	86	75	87,2	75,7	72,55
	4	DB + TW (Rt 100 g/m ²)	86	86	100,0		
	6	DB + TW (Rt 100 g/m ²)	86	76	88,4		
	8	DB + TW (Rt 100 g/m ²)	86	72	83,7		
	10	DB + TW (Rt 100 g/m ²)	86	53	61,6		
	12	DB + TW (Rt 100 g/m ²)	86	52	60,5		
	14	DB + TW (Rt 100 g/m ²)	86	44	51,2		
	16	DB + TW (Rt 100 g/m ²)	86	80	93,0		
	18	DB + TW (Rt 100 g/m ²)	86	48	55,8		
Hranol č. 2 (délka 1m)	2	DB + TW (Rt 100 g/m ²)	86	52	60,5	69,4	
	4	DB + TW (Rt 100 g/m ²)	86	64	74,4		
	6	DB + TW (Rt 100 g/m ²)	86	83	96,5		
	8	DB + TW (Rt 100 g/m ²)	86	86	100,0		
	10	DB + TW (Rt 100 g/m ²)	86	58	67,4		
	12	DB + TW (Rt 100 g/m ²)	86	42	48,8		
	14	DB + TW (Rt 100 g/m ²)	86	66	76,7		
	16	DB + TW (Rt 100 g/m ²)	86	42	48,8		
	18	DB + TW (Rt 100 g/m ²)	86	44	51,2		

Průměrné hodnoty rozlepení spár DB+TW

P24

- DB+TW (Rt 125 g/m²)

	Číslo vzorku	Označení hranolu	Délka lepené spáry celkem (mm)	Rozlepení spáry (mm)	Rozlepení spáry (%)	Průměrné rozlepení spáry hranolu (%)	Průměrné rozlepení spáry (%)
Hranol č. 1 (délka 1m)	2	DB + TW (Rt 125 g/m ²)	86	86	100,0	80,2	75,78
	4	DB + TW (Rt 125 g/m ²)	86	72	83,7		
	6	DB + TW (Rt 125 g/m ²)	86	65	75,6		
	8	DB + TW (Rt 125 g/m ²)	86	73	84,9		
	10	DB + TW (Rt 125 g/m ²)	86	52	60,5		
	12	DB + TW (Rt 125 g/m ²)	86	69	80,2		
	14	DB + TW (Rt 125 g/m ²)	86	62	72,1		
	16	DB + TW (Rt 125 g/m ²)	86	86	100,0		
	18	DB + TW (Rt 125 g/m ²)	86	56	65,1		
Hranol č. 2 (délka 1m)	2	DB + TW (Rt 125 g/m ²)	86	48	55,8	71,3	
	4	DB + TW (Rt 125 g/m ²)	86	42	48,8		
	6	DB + TW (Rt 125 g/m ²)	86	79	91,9		
	8	DB + TW (Rt 125 g/m ²)	86	47	54,7		
	10	DB + TW (Rt 125 g/m ²)	86	56	65,1		
	12	DB + TW (Rt 125 g/m ²)	86	64	74,4		
	14	DB + TW (Rt 125 g/m ²)	86	74	86,0		
	16	DB + TW (Rt 125 g/m ²)	86	70	81,4		
	18	DB + TW (Rt 125 g/m ²)	86	72	83,7		



Holzklebstoffe

Technický list

RAKOLLIT 280 + RAKOLLIT-Härter WS 1 I

Lepidlo na bázi disperse-isokyanát pro vodoodolné slepení

Vlastnosti
 RAKOLLIT 280 + Härter WS 1 I je kvalitnější 2-složkové lepidlo na bázi vodní umělopryskyřičné disperse ve spojení s isokyanátem jako zesilovačem.

RAKOLLIT 280 + RAKOLLIT-Härter WS 1 I drží velmi dobře na dřevě, dřevěných dílech i různých umělých hmotách. Na základě prositování vytváří RAKOLLIT 280 + Härter WS 1 I spojení s velmi vysokou dlouhotrvající pevností a vodoodolností.

Nostrifikace

- DIN EN 204 – D 4
- WATT 91
- KOMO
- ASTM D 5751 Wet Use
- ANSI/HPVA 1994 type I a II
- JIS K 6806
- JAS – Glued Laminated Timber Type I

Použití

- lepení spárovky a bloků z tvrdého a měkkého dřeva, např. dub, při velkém pnutí a vysokém požadavku na vodoodolnost
- lepení oken a dveří
- plošné lepení dýhy, lepení překližek
- zdvojování deskových materiálů
- vhodný pro venkovní aplikaci, pokud není spára přímo vystavena povětrnostním vlivům
- lepení obtížnějších druhů dřeva, např. meranti, teak, mahagon

Pokyny pro zpracování
 RAKOLLIT 280 může být zpracován pouze ve směsi s RAKOLLIT-Härter WS 1 I. Průběh vytvrzování je v první fázi fyzikální proces, ve kterém dojde ke ztrátě disperzní vody min. z jedné savé části materiálu.
 Proto je otevřený čas i nutný lisovací čas závislý na vnějších vlivech jako je: nanášené množství, savost materiálu a klimatické podmínky.

Dobrých výsledků je dosaženo za následujících předpokladů :

Teplota místnosti a materiálu	18 ... 20 °C
Vlhkost dřeva	8 ... 14 %
Relativní vlhkost vzduchu	50 ... 70 %
Množství nánosu	130 ... 160 g/m ²

Při očekávaném vyšším pnutí ve spáře platí výše uvedené množství na každou stranu spáry.

Otevřený čas :

při jednostranném nánosu 150 g/m ²	9...11 min
při oboustranném nánosu po 150 g/m ²	14...17 min

Hrncový čas při 20 °C a podílu Härteru 14 % cca 1,5 hod

Po cca 1,5 hod začne směs pění. Lepicí směs je možné, oproti jiným systémům, opětovně připravit. A to tak, že plynové bubliny vzniklé isokyanátovou reakcí odstraníme a přidáme ještě 1,5 ... 2 % tvrdidla RAKOLLIT-Härter WS 1 I.

Lisovací tlak	0,5 ... 1,5 N/mm ²
---------------	-------------------------------

Minimální lisovací čas :

Při jednostranném nánosu	
- měkké dřevo	cca 20 min
- tvrdé dřevo	40-45 min
Při oboustranném nánosu	
- měkké dřevo	více jak 30 min
- tvrdé dřevo	minimálně 1 hod.

Delší lisovací čas znamená v každém případě vyšší pevnost spáry a s tím i lepší odolnost při namáhání v torzi či vlhkosti.

Lamelování dřevěných profilů :

Podle směrnice i.f.t. Rosenheim „Lamelované profily pro dřevěná okna“ musí být vlhkost dřeva v oblasti 13±2 %.

Mísící poměr
 100 váhových dílů RAKOLLIT 280
 +14 váhových dílů RAKOLLIT-Härter WS 1 I
 Směs důkladně promíchat, dokud nedosáhne

rovnoměrně světle béžovou barvu. Pro míchání je nejvhodnější míchací vrtule.

Příprava dřeva

Díly musí být čisté, bez prachu a mastnoty. Díly by měly být dle možností stejnoměrné, aby se zabránilo dodatečnému pnutí ve spáře. Vlhkost dřeva může být až do 15 %. Přitom se prodlouží doba vytvrzení. V každém případě by měla vlhkost při zpracování odpovídat pozdější vlhkosti při použití, aby se zabránilo vzniku trhlin ve dřevě v blízkosti lepené spáry.

Nános lepidla

RAKOLLIT 280 + RAKOLLIT-HÄRTER WS 1 I se nanáší nanášecím zařízením, ručním válečkem nebo zubovou stěrkou.

Lisování

Lepené díly spojíme v průběhu otevřeného času a lisujeme tak dlouho, dokud není dosaženo dostatečné počáteční pevnosti. Po lisování by měly být lepené díly uloženy v meziskladu, aby lepidlo plně vytvrdlo. V poměrně krátké době se dosáhne dobré mechanické pevnosti.

Protože reakce mezi RAKOLLIT 280 a RAKOLLIT-Härterem WS 1 I trvá déle, měly by být zkoušky na vodoodolnost prováděny nejdříve po 7 dnech po slepení.

Barvení dřeva

RAKOLLIT 280 + RAKOLLIT-HÄRTER WS 1 I nebarví dřevo. Při použití bělidla k povrchové úpravě může dojít k zabarvení lepené spáry.

Čištění

RAKOLLIT 280

Technický stav : květen 2008

Od tohoto data jsou odlišné údaje uvedené v dřívě vydaných technických listech neplatné.

Pracovní nástroje čistit před zaschnutím lepidla vodou.

Chemicko-technické údaje

	RAKOLLIT 280	RAKOLLIT Härter WS 1 I	směs
Base:	disperze	isokyanát	---
Barva :	bílá	tmavě hnědá	běžová
Viskositá:	Brookfield HBT měřeno při +20°C cca 10.000 mPas	Kužel 3,20 Upm cca 200 mPas	cca 13.000 mPas
Bílý bod :	0°C	---	---
pH :	cca 7,5	---	cca 7,5

Označení

RAKOLLIT 280 nepodléhá povinnosti označovat dle platných předpisů pro nebezpečné látky.

RAKOLLIT-HÄRTER WS 1 I je označen Xn – zdraví škodlivý.

Bezpečnostní pokyny

RAKOLLIT-HÄRTER WS 1 I obsahuje 4,4-difenylnmethandiisokyanát a je zdraví škodlivý dle platných předpisů pro nebezpečné látky.

Bezpečnostní doporučení

Prosíme dbejte pokynů uvedených v našem Bezpečnostním listu.

Skladování

RAKOLLIT 280 + RAKOLLIT-HÄRTER WS 1 I skladujte v dobře uzavřených originálních baleních. Skladovatelnost min. 12 měsíců. Pro Härter WS1 dodržovat předpisy pro skladování dle VbF..

RAKOLL®

Holzklebstoffe

Technický**list
Technisches
Merkblatt****ECO 4****jednosložkové lepidlo třídy D-4 i dle DIN EN 14257****Vlastnosti**

RAKOLL® ECO 4 je PVAc lepidlo s vynikající vodo-
odolností.

Zatřídění dle EN CZ 204/205 – D 4

Zatřídění dle DIN 14257 (WATT 91) : 8 N/mm²
(certifikát institutu IFT Rosenheim)

Výhody

- jednosložkový
- rychle vytvrzující
- krátký lisovací čas
- lisovací čas u dřevin jako smrk, borovice již od 12 min.
- dobré spojení u těžko lepitelných dřevin (dub, modřín)
- žádné zabarvení lepené spáry při lepení ve vysokofrekvenčním nebo teplém lise
- zlepšení tepelné odolnosti a vodoodolnosti při lisování za vyšší teploty (např. 70 °C)

Pokyny pro zpracování

Otevřená doba a doba vytvrzování je silně závislá na pracovních podmínkách jako je teplota, vlhkost, pnutí v materiálu, jeho vlastnosti (savost) a množství nánosu.

Dobrych výsledků je dosaženo za následujících předpokladů :

Teplota místnosti, materiálu a lepidla	18 ... 20 °C
Vlhkost dřeva	8 ... 10 %
Množství nánosu při montážním lep.	150 ... 180 g/m ²
Otevřený čas	8 ... 9 min.
Bílý bod	cca 8 °C
Lisovací tlak u dílů bez pnutí	0,1 ... 0,5 N/mm ²

Minimální lisovací čas :

montážní lepení	8 ... 15 min
taktový lis při 70°C	> 1 min
lepení spárovky a bloků	15 ... 30 min
lepení okenních hranolů (dle druhu dřeviny)	od 15 min

Lepení okenních profilů : v návaznosti na předpis (směrnici) i.f.t. Rosenheim – „vlhkost dřeva při lepení okenních profilů se musí pohybovat v rozmezí 13±2%“

Teplota místnosti a dřeva musí mít min. + 15 °C.

Příprava dřeva

Díly musí být čisté, bez prachu a mastnoty. Nepřesnosti (tolerance) v sestavení dílů prodlužuje lisovací čas a snižuje pevnost.

Při lepení okenních lamel by měly být dřevěné díly hoblovány krátce před lepením.

Nános lepidla

RAKOLL® ECO 4 nanášíme jednostranně – při vysokých požadavcích na vodoodolnost oboustranně nanášecím zařízením, válečkem, špachtlí, štětcem popř. jiným nástrojem v tenké pravidelné vrstvě.

Lisování

Lepené díly spojíme v průběhu otevřeného času a lisujeme tak dlouho, dokud není dosaženo dostatečné počáteční pevnosti.

Mechanické pevnosti, nutné k dalšímu opracování lepených dílů, je dosaženo v závislosti na druhu použitého materiálu v krátké době. Vyšší vodoodolnost lepených dílů se vytváří déle. Z tohoto důvodu se zkoušky na vodoodolnost provádějí nejdříve po 7 dnech po slepení.

Barvení dřeva

S ohledem na rozdílné složení jednotlivých látek ve dřevě, mimo jiné závislé na oblasti růstu a přípravě dřeva, může dojít v jednotlivých případech k zabarvení spoje, např. u buku, třešni ad..

Kov ve spojení s kyselinami ve dřevě může způsobit barevné změny, zvláště u dubu.

Doporučujeme provést vlastní zkoušky.

Čištění

Pracovní nástroje před zaschnutím lepidla vodou

Chemicko-technické údaje RAKOLL® ECO 4

Base:	PVAc – disperze
Barva:	bílá nažloutlá
Viskozita:	5.000-6.000 mPas Brookf. HB, kužel 2,2 Uprn při 20 °C
Hodnota pH:	cca 3,5

**H.B. Fuller**

RAKOLL® ECO 4

Nástroje

Z důvodu nízké hodnoty pH vyvstává u tlakových nádob, rozvodů lepidla a nanášecích přístrojů z kovu, galvanizované oceli, hliníku a neželezných kovů vysoké riziko korose. Z těchto důvodů doporučujeme používat zařízení a nástroje z nerezové oceli nebo umělých hmot (tvrzené PVC, PE popř. PP).

Označení

RAKOLL®-ECO 4 nepodléhá povinnosti označovat dle platných předpisů pro nebezpečné látky.

Bezpečnostní doporučení

Prosíme dbejte pokynů uvedených v našem Bezpečnostním listu.

Skladování

V dobře uzavřených originálních baleních při teplotě max. od 15°C do 22°C min. 6 měsíců. Skladováním při vyšší teplotě se zkracuje skladovací čas až na 3 měsíce.

Technický stav : srpen 2005

Od tohoto data jsou odlišné údaje uvedené v dříve vydaných technických listech neplatná.

**H. B. Fuller Austria GesmbH**

Kaplanstraße 30

A-4600 Wels

Tel: ++43 (0) 72 42 / 409-0

Fax ++43 (0) 72 42 / 409-359

BITTE BEACHTEN SIE:

Unsere schriftlichen Hinweise, technischen Merkblätter, Gebrauchsanleitungen und sonstige Druckschriften sind nach bestem Wissen aufgrund eigener Versuche, der Ergebnisse unserer Forschung und unserer praktischen Erfahrungen zusammengestellt.
Gleiches gilt für von uns abgegebene mündliche Informationen.
Wir gewährleisten eine gleichbleibende Qualität unserer Produkte. Ihre Verwendung und Verarbeitung liegt jedoch im Hinblick auf deren Ergebnisse

in Ihrer Verantwortung, da unsere Produkte dabei Faktoren unterliegen, die außerhalb unserer Beeinflussung stehen.
Unsere anwendungstechnische Beratung in Wort, Schrift und Versuch ist unverbindlicher Art - auch in bezug auf etwaige Schutzrechte Dritter - und befreit Sie nicht von einer ausreichenden Prüfung unserer Produkte auf Ihre Eignung für die beabsichtigten Einsatzzwecke und -verfahren.
Im übrigen gelten unsere allgemeinen Verkaufs- und Lieferbedingungen entsprechend.

Pokyny pro použití

Aplikace	Výroba laťovky Výroba spárovky Dveře Okna Dýchované podlahy Jiné	
Typ lisu	Studený lis Vysokofrekvenční Vytápěný lis Kontinuální lis	
Teplota lepené spáry	od 10°C do 80°C	
Lisovací čas, 20°C (borovice – borovice, 65% RH, nános 150 g/m ²)	30 - 45 min	
Lisovací čas, 30°C (borovice – borovice, 65% RH, nános 150 g/m ²)	---	
Tlak	0,1 - 1,0 MPa	
Doba sestavení, 20°C (borovice – borovice, 65% RH, nános 150 g/m ²)	Otevřená: 8 min	Uzavřená: ---
Doba sestavení, 30°C (borovice – borovice, 65% RH, nános 150 g/m ²)	Otevřená: ---	Uzavřená: ---
	Pozn. Otevřená doba sestavení – doba mezi aplikací lepidla a sestavením materiálu, který má být lepen. Uzavřená doba sestavení – doba od sestavení lepeného materiálu do vytvoření tlaku v lisu.	
Množství lepidla	Jednostranné nanášení: 60 - 200 g/m ²	
Vlhkost dřeva	5-14%, optimální 7-10%.	
Příprava dřeva	Pro dosažení nejlepších výsledků lepení musí být dřevo rovnoměrně ohoblováno. Ke slepení takto opracovaného dřeva by mělo dojít v následujících 24 hodinách po hoblování – ne později.	
Teplota dřeva	Pro dosažení uvedených lisovacích časů nesmí být teplota dřeva nižší než 20°C.	
Lepení impregnovaného dřeva	Ve většině případů může být použito, avšak vhodnost použití musí být stanovena pro každý případ zvlášť.	
Čas po lisování	Výrobky splňují požadavky standardu EN 204 po 7 dnech od lepení.	

Strojní zařízení

Nanášecí zařízení	6235 - Válcová nanášečka – šířka <300mm 6236 - Válcová nanášečka se zabudovaným mixérem >300mm
--------------------------	---