

Mendelova univerzita v Brně

Lesnická a dřevařská fakulta

Ústav nábytku, designu a bydlení

Vliv teploty na pevnost lepeného spoje nábytkových hran

Diplomová práce

2015/2016

Bc. Romana Vlčková

Čestné prohlášení

*Prohlašuji, že jsem práci: **Vliv teploty na pevnost lepeného spoje nábytkových hran** zpracovala samostatně a veškeré použité prameny a informace uvádím v seznamu použité literatury. Souhlasím, aby moje práce byla zveřejněna v souladu s § 47b Zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách ve znění pozdějších předpisů a v souladu s platnou Směrnicí o zveřejňování vysokoškolských závěrečných prací.*

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

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

V Brně dne

Poděkování

Mé poděkování patří Ing. Josefu Hlavatému, Ph.D. za odborné vedení a cenné rady při zpracování diplomové práce. Děkuji také společnosti HANÁK NÁBYTEK, a.s. za poskytnutí materiálu na zkušební vzorky.

Velké poděkování patří i celé mojí rodině za podporu během studia.

Autor: Bc. Romana Vlčková
Název práce: Vliv teploty na pevnost lepeného spoje nábytkových hran

Abstrakt

Diplomová práce analyzuje vliv působení zvýšené teploty na kvalitu spoje lepeného tavným polyuretanovým lepidlem. Dílce z dřevotřískové desky byly olepeny ABS hranou za použití moderní technologie na olepování bočních ploch. Zkušební vzorky byly podrobeny zkoušce v odlupování pod úhlem 90 stupňů a zkoušce smykového tlaku při zatížení pod úhlem 45 stupňů. Experiment proběhl u vzorků uložených ve standardních podmínkách (teplotě $t = 23 \pm 2$ °C a relativní vlhkosti vzduchu $\varphi = 50 \pm 5$ %) a pro vzorky umístěné v podmínkách simulující vnitřní prostředí ve standardizované přepravní jednotce v intermodální dopravě. Získané výsledky byly mezi sebou srovnány, rovněž byly porovnány s výsledky pro spoje lepené tavným ethylenvinylacetátovým lepidlem.

Klíčová slova

tavné lepidlo, olepování bočních ploch, polyuretanové lepidlo, zvýšené teploty, test odlupování, smykový tlak pod úhlem 45 stupňů

Název práce: The effect of temperature on strenght of glued joint at furniture edges

Abstract

The final thesis analyzes the influence of high temperatures on the quality of the glued joints glued with hotmelt polyurethane adhesive. The panels of particle board were finished with ABS edge by using modern technology for edgebanding. The samples were tested in peel test performed at an angle of 90° and shear under compression loading at an angle of 45°. The experiment was carried out for samples stored in standard conditions ($T = 23 \pm 2$ °C and relative humidity $\varphi = 50 \pm 5$ %) and samples placed in conditions simulating the internal environment in standardized transport units in intermodal transport. Results were compared with each other, they were also compared with the results for the glued joints with hotmelt ethylene vinyl acetate adhesive.

Keywords

hot melt, edgebanding, polyurethane adhesive, high temperature, peel test, shear under compression loading at an angle of 45 degree

Obsah

1	ÚVOD.....	7
2	CÍL DIPLOMOVÉ PRÁCE	8
3	ZÁKLADNÍ POZNATKY Z TEORIE LEPENÍ.....	9
3.1	Lepidla	9
3.1.1	Vlastnosti lepidel	10
3.1.2	Teorie lepení	11
3.2	Druhy lepidel podle původu	12
3.2.1	Lepidla z přírodních surovin.....	12
3.2.2	Syntetická lepidla.....	12
3.2.3	Tavná lepidla – ethylvinylacetátová, polyamidová, polyesterová, polyuretanová, kaučuková, polyolefinická	13
3.3	Požadavky při lepení.....	15
3.3.1	Pevnost lepeného spoje	16
3.3.2	Nános lepidla	16
3.3.3	Nábytkové hrany	17
3.3.4	Dřevotřískové desky	19
3.3.5	Laminované dřevotřískové desky	20
4	TECHNOLOGIE OLEPOVÁNÍ.....	22
4.1	Olepování bočních ploch	22
4.1.1	Bezespárové olepování hran	23
4.2	Vlastnosti tavných lepidel EVA	25
4.3	Vlastnosti tavných lepidel PUR.....	26
4.4	Olepování polyuretanovými lepidly	27
4.4.1	Olepování polyuretanovým lepidlem – technologie SLIM LINE	29
4.5	Celkové zhodnocení technologií na olepování bočních ploch.....	30
5	EXPORT NÁBYTKU	32
5.1	Přeprava nábytku	34
5.2	Teplotní změny během přepravy	35
6	PŮSOBENÍ TEPLoty NA LEPENÉ SPOJE.....	36
6.1	Působení teploty v interiéru	36
6.2	Působení teploty během exportu zboží za hranice EU	36
6.3	Působení teploty během přepravy v České republice a Evropě.....	39
6.4	Teplotní závislost.....	42
7	METODIKA.....	43
7.1	Výroba vzorků	43
7.2	Zkušební metody – experimentální stanovení	44

7.2.1	Měření teplot v domácích podmínkách	44
7.2.2	Teplotní zatěžování vzorků, odolnost proti tepelnému nárazu	45
7.3	Zkouška v odlupování.....	48
7.4	Zkouška smykového tlaku pod úhlem 45°	49
7.5	Použité přístroje a pomůcky	50
7.5.1	Klimatizační komora Incucell V 11	50
7.5.2	Teplotní komora INSTRON model 3119-409-22.....	51
7.5.3	Trhací stroj INSTRON 3365.....	52
7.5.4	Dotykový teploměrem Technoterm 9400	52
7.5.5	Digitální teploměr Greisinger GTH 1170	53
7.5.6	Teplotní datalogger Testo 174H	53
8	VÝSLEDKY	54
8.1	Zkouška ČSN EN 28510-1 Lepidla – Zkouška v odlupování zkušební tělesa z ohebného a tuhého adherendu – Část 1: Odlupování pod úhlem 90 stupňů	55
8.2	Zkouška smykového tlaku pod úhlem 45°.....	61
8.3	Ukázky vzorků po laboratorní zkoušce odlupování	70
8.4	Ukázky vzorků po laboratorní zkoušce smykového tlaku	71
9	VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ	73
9.1	Vyhodnocení výsledků pro zkoušku odlupování pod úhlem 90°	73
9.2	Vyhodnocení výsledků pro zkoušku smykového tlaku	74
10	DISKUZE	76
11	ZÁVĚR	82
12	SUMMARY	84
13	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	86
13.1	Knižní zdroje:	86
13.2	Normy	88
13.3	Internetové zdroje	88
	SEZNAM OBRÁZKŮ	90
	SEZNAM TABULEK.....	92
	SEZNAM ZKRATEK	93
	PŘÍLOHY	94

1 Úvod

V České republice v nábytkářském odvětví expanduje technologie olepování bočních ploch za použití polyuretanových tavných lepidel. Důvody jsou mnohé, především se jedná o řadu technických a vizuálních předností těchto lepidel. PUR lepidla vykazují vysokou pevnost spoje mezi lepenou nábytkářskou hranou a dílcem. Lepidla jsou odolnější vůči působení zvýšených teplot a vlhkostí, než je tomu u ethylvinylacetátových lepidel. Významnými faktory při nákupech zákazníků v nábytkářském trhu jsou kvalita povrchu, výsledná kvalita olepení a viditelná tloušťka spáry. Z možného výběru tavných lepidel, právě polyuretanová lepidla vynikají v těchto attributech. Výše popsané vlastnosti PUR lepidel jsou důvody, proč řada firem přestává nebo minimalizuje používání EVA lepidel. Velkou výhodou v PUR lepidlech nacházejí firmy zabývající se výrobou kuchyňského a koupelnového nábytku.

Olepování bočních ploch je náročný proces, nejen z hlediska technologie, ale i v kladených požadavcích na obsluhu stroje. Při opracování nábytkových hran jsou použity vysoké rychlosti posuvu a vysoké teploty. Složitost jednotlivých agregátů na olepování i celého strojního zařízení vyžaduje dodržení všech technologických podmínek, materiálů, aplikačních teplot lepidel a kvalifikovanost obsluhy. Olepením bočních ploch se zvyšuje estetické působení dílců na výrobku, současně jsou hrany chráněny před mechanickým poškozením a proti vnikání vlhkosti.

Nábytkářský průmysl v České republice nejvíce profituje na vývozu zboží. Exportovaný nábytek je uložen ve standardizované přepravní jednotce, která se používá v intermodální dopravě. Z těchto důvodů je nutné posoudit klimatické vlivy působící na výrobky při transportu do cílové lokality. Výrobek musí vykazovat stejnou kvalitu i po transportu ke konečnému zákazníkovi. Během přepravy může být zboží v kontejneru vystaveno pravidelnému a intenzivnímu střídání teplot vlivem střídání dne a noci, přechody mezi teplotními pásy apod. To způsobuje změnu tvaru, barvy a vnitřní kvality zboží.

2 Cíl diplomové práce

Primárním cílem je stanovení vlivu zvýšené teploty na lepený spoj mezi nábytkovou hranou z akrylonitrilbutadienstyrenu (ABS) a mezi dřevotřískovou deskou u bočních ploch nábytkových dílců, které byly olepeny tavným polyuretanovým lepidlem. Intencí diplomové práce je získat výsledky ze dvou laboratorních měření, kterými se testuje pevnost spoje mezi akrylonitrilbutadienstyrenovou (ABS) hranou a dřevotřískovou deskou. Zkouška dle ČSN EN 28510-1 Lepidla – Zkouška v odlupování pod úhlem 90 stupňů a zkouška smykového tlaku pod úhlem 45 stupňů.

Sekundárním cílem diplomové práce je zjistit, jakým způsobem může být ovlivněna pevnost spoje lepeného polyuretanovým lepidlem po cyklickém teplotním namáhání, které simuluje extrémní podmínky během přepravy zboží do lokalit za hranice Evropské unie. Naměřené výsledky budou porovnány s výsledky vzorků, které nebyly cyklicky tepelně namáhány.

Veškeré pevnostní charakteristiky budou konfrontovány s výsledky zkoušek pro ethylenvinylacetátové lepidlo. Účelem testování bude souhrnné vyhodnocení všech dosažených výsledků a jejich srovnání dle maximálních pevností v rámci působících teplot.

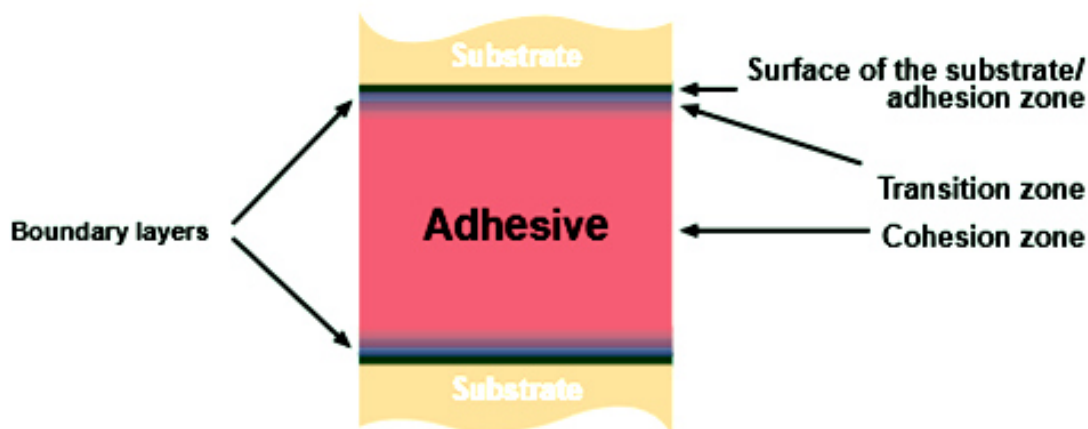
3 Základní poznatky z teorie lepení

Kapitola Základní poznatky z teorie lepení obsahuje uspořádaný přehled o problematice lepení. Přehled je složen z poznatků získaných z odborné literatury a vědeckých časopisů. Podkapitoly se zaměřují na vlastnosti lepidel a teorie v oblasti lepení. Specifikuje požadavky kladené při procesu lepení a blíže upřesňuje termíny pevnost lepeného spoje a nános lepidla. Představuje základní používaná tavná lepidla, aglomerované materiály a nábytkové hrany v nábytkářském odvětví.

3.1 Lepidla

Lepidla patří mezi nekovové materiály schopné spojit substráty v důsledku plošné přilnavosti k jejich povrchu a vnitřní pevnosti (adheze a koheze). Očekává se, že vnitřní pevnost (koheze) po ztuhnutí lepidla je vyšší než vnitřní pevnost slepovaných substrátů. Proces ztuhnutí probíhá podle charakteru lepidla: odpařením vody, ochlazením taveniny nebo chemickou reakcí. Vytvrzená lepidla pak vykazují více nebo méně výraznou molekulární strukturu. (Nutsh et al. 2006)

Optimalizace adheze probíhá výběrem substancí s malými molekulami, které se mohou dostat co nejbližší povrchu substrátu. Zvýšení koheze se docílí výběrem substancí, dané formulace lepidla s vysokou molekulovou hmotností. Při formulaci lepidla se tento zdánlivý rozpor řeší vhodným kompromisem nebo chemickou reakcí mezi adhezí a kohezí, který je pro žádané použití dostatečný. Hlavním úkolem lepidla je silově spojit dva substráty. Lepidlo je dále často nutno koncipovat tak, aby se proces lepení mohl včlenit do stávajícího výrobního postupu. Tím se vyžaduje, aby počáteční přilnavost, doba ztuhnutí a zpracovatelnosti lepidla byly přesně přizpůsobeny daným podmínkám. To je příčinou, proč se v průmyslové oblasti používají desítky typů lepidel. Jednotlivé typy se odlišují jak ve formulacích, tak i v technologických předpisech aplikace. Kromě vhodnosti daného lepidla stále větší roli hraje i hospodárnost technologie a v neposlední řadě i ochrana pracovního a životního prostředí. (Gelbič, 2000)



Obr. 1 Struktura lepeného spoje (Banduhn et al. 2004)

3.1.1 Vlastnosti lepidel

Vlastnosti přírodních lepidel určuje jejich původ. Vlastnosti syntetických lepidel určuje soubor faktorů determinující vlastnosti polymerního základu – báze. Důležitý je vliv chemické struktury, která určuje polaritu eventuálně reaktivnost lepidla. Na chemické struktuře závisí rozpustnost a mechanické vlastnosti polymerní báze. V chemické struktuře rozlišujeme krystalickou a amorfni část. (Osten, 1996)

Krystalické části polymeru mají špatnou rozpustnost, vyšší měrnou hmotnost a lepší mechanické vlastnosti. Krystalické části polymeru jsou příčinou náročnější přípravy lepidla a nepodporují lepidlost. Přispívají k nestékavosti za studena a odolnosti při zvýšené teplotě. Má-li lepidlo rychle ztuhnout, jinak řečeno mít krátký otevřený čas, přidávají se do směsi komponenty, které spolu krystalizují (například vosky).¹ (Gelbič, 2000)

Amorfni části polymerní báze podporují lepidlost a přispívají k pružnosti za snížené teploty. Na chemické struktuře polymerní báze (druhu a počtu skupin) a také na přítomnosti některých aditiv (například katalyzátorů) je závislá reaktivnost lepidla. S reaktivitou souvisí skladovatelnost lepidla. To je doba, ve které za specifických

¹ Řada pevných alifatických uhlovodíků o nízké molekulové hmotnosti, s nízkou teplotou tání. Vosky se běžně používají v tavných lepidlech především za účelem snížení jejich ceny a viskozity. Vosky zde ovlivňují následující vlastnosti: blokovací charakteristiky, teplotu měknutí, dobu lepení a kohezní pevnost. Vosky se získávají buď rafinací živic, nebo při výrobě polyethylenu. Nejvíce se používá parafin a mikrokrystalický vosk. (ČSN EN 923+A1)

podmínek, je lepidlo možno skladovat bez podstatné změny kvality. Použití lepidla po této době vytváří méně pevné adhezni spoje. (Gelbič, 2000)

Od skladovatelnosti se odvozuje životnost lepidla po zamíchání aplikační směsi. Životnost reaktivního lepidla je určena časem, který uplyne od ukončení smíchání komponentů nebo vmíchání do vody až do začátku jeho želatinace. Má-li lepidlo dosáhnout specificky vyšší lepivosti (vyšší hodnotu polaritu nebo povrchového napětí) přidávají se do směsi modifikační komponenty (například pryskyřice aj.). Důležitou vlastností je také tekutost lepidla a jeho tixotropní² vlastnosti. Ony určují míru vsakování do pórů slepovaných substrátů a zabezpečují chování na kolmém povrchu (nestékavost). (Gelbič, 2000)

3.1.2 Teorie lepení

Vyvolání vzájemné přitažlivosti mezi dvěma tuhými materiály by předpokládalo, že spojované plochy budou k sobě přiblíženy na molekulární vzdálenost, tj. na méně než 3×10^{-8} cm. Tento požadavek nelze splnit, protože kontaktní plochy by musely být absolutně rovné, souběžné a čisté. (Osten, 1982)

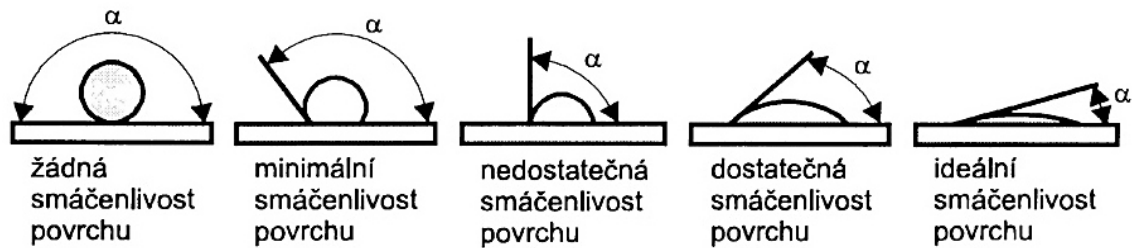
Kromě toho je na povrchu pevných látek adsorbována vždy tenká vrstva vzduchu nebo vodní páry, která brání potřebnému přiblížení povrchů a kterou nějakým mechanickým způsobem ani nelze odstranit. (Eisner, 1966)

Kapalina se přizpůsobí nerovnostem povrchu (pevné hmoty) a dokáže z mikropórů povrchu vypudit většinu pohlcených par a plynů. Aby se kapalina stala lepidlem, musí lepený povrch dobře smáčet a za určitých podmínek přejít do pevného stavu. Síly vyvolávající přilnavost lepidla (adheziva) a lepeného materiálu (adherendu) označujeme jako adhezi. Pro pevnost lepeného spoje má význam nejen adheze lepidla k adherendu, ale i soudržnost filmu lepidla po vytvrzení. Jde o tzv. kohezi, jejíž hodnoty závisí na složení filmu lepidla v konečné fázi lepení. (Osten, 1982)

Pro tvorbu adhezni sil je nutné, aby se molekuly lepidla a lepeného materiálu co nejvíce přiblížily. Tato schopnost lepidla se nazývá smáčení a je charakterizována

² Látky tixotropní, u nichž zdánlivá viskozita klesá s prodlužující se dobou působení napětí. Tento typ chování je velmi výhodný např. pro nátěrové hmoty a lepidla. Tixotropní chování se využívá při máčení a natírání na svislé plochy, neboť lepidlo zůstává na lepeném povrchu.

okrajovým úhlem α , který svírá okraj kapky lepidla s lepenou plochou. Pro vytvoření kvalitního lepeného spoje musí být povrchové napětí lepidla nižší než povrchové napětí spojovaných materiálů. Při nedostatečné smáčivosti je okrajový úhel velký a přesahuje hodnotu 90° . Pokud je tento úhel menší jak 90° , hovoříme o dostatečné smáčivosti. (Hlavatý, 2014)



Obr. 2 Různé velikosti okrajového úhlu (zdroj: www.lepidla.cz)

3.2 Druhy lepidel podle původu

3.2.1 Lepidla z přírodních surovin

- lepidla živočišného původu, glutinové klihy (z kostí a kůže zvířat), kaseinové klihy, albuminové klihy (z krve jatečných zvířat)
- lepidla rostlinného původu škrobová, deriváty celulózy, rostlinné gummy, algináty, přírodní kaučuk
- lepidla s minerálními pojivy (maltoviny) – vodní sklo, cementy, asfaltová lepidla

(Tesařová, 2014)

3.2.2 Syntetická lepidla

Syntetická lepidla dvousložková

- dvousložková (termoreaktivní lepidla) lepidla – lepidlový film se tvoří chemickou reakcí s tvrdidlem za zvýšené teploty a tlaku (močovinoformaldehydová, melaminoformaldehydová, fenolformaldehydová, směsná, resorcinoformaldehydová)

- dvousložková lepidla – lepidlový film se tvoří chemickou reakcí s tvrdidlem (epoxidová, izokyanátová, kyanakrylátová, polyesterová, sekundová, polyuretanová)

(Tesařová, 2014)

Syntetická lepidla nereaktivní

- disperzní vodou ředitelná lepidla (polyvinylacetátová, akrylátová, kopolymerní)
- roztoková lepidla, polymery nebo směs polymerů rozpuštěných v rozpouštědle (kaučuková, chloroprenová, polyvinylacetátová, polyvinylchloridová, speciální deriváty celulózy)
- tavná lepidla
- tlakocitlivá lepidla
- termoplastická lepidla akrylová a vinylová

(Tesařová 2014)

3.2.3 Tavná lepidla – ethylvinylacetátová, polyamidová, polyesterová, polyuretanová, kaučuková, polyolefinická

Tavná lepidla jsou pevná lepidla z umělých pryskyřic, bez rozpouštědla, zpracovávaná v roztaveném stavu. Tavicí teplota je podle druhu lepidla mezi 100 °C až 280 °C. Při poklesu pod teplotu tavení okamžitě tuhnou. Kromě těchto lepidel jsou i reaktivní tavná lepidla, u kterých po fyzikálním ztuhnutí dochází ještě k zesítní (chemický proces), například polyuretanová tavná lepidla. Užitím různých umělých pryskyřic s vosky, plnidly, barvivy a dalšími přísadami lze tavná lepidla použít pro různé technologie a účely. (Nutsh et al. 2006)

V průběhu ochlazování a tuhnutí lepidla nesmí ve spoji vzniknout vnitřní pnutí a spoj nemá vykazovat studený tok.³ Počáteční pevnost spoje závisí na vlastnostech lepidla, např. na jeho tepelné kapacitě, na rozsahu teplot, při kterých si udržuje nízkou

³ Je deformace vrstvy lepidla při pokojové teplotě bez působení vnějšího namáhání. (ČSN EN 923+A1) Studený tok je schopnost polymerů být za běžné teploty vysoce deformován. Vysvětluje se nuceným pohybem celých makromolekul polymeru účinkem deformační síly.

viskozitu apod. Lepidla s vyšším bodem měknutí rychleji tuhnou než lepidla s nižším bodem měknutí. Po ochlazení má spoj zůstat několik sekund pod tlakem, aby bylo zajištěno dostatečné ztuhnutí a počáteční pevnost spoje. Při udržování roztaveného lepidla v tavném zařízení je třeba dodržovat předepsanou teplotu a dobu, aby nedošlo k přehřátí, nebo dlouhou tepelnou expozicí k rozkladu lepidla. Proti rozkladu taveniny se do směsí přidávají antioxidanty a stabilizátory.⁴ (Osten, 1996)

Tavná lepidla umožňují při strojovém zpracování nejen vysoce produktivní technologii, ale i rovnoměrnou, reprodukovatelnou kvalitu spojů. Uplatňují se hlavně v mechanizovaných provozech, např. v nábytkářském průmyslu. Tavná lepidla jsou většinou termoplastické materiály, které si udržují termoplasticitu i v lepeném spoji. Tato vlastnost umožňuje soubor rozpojit opětným zahřátím. Spoj má omezenou tepelnou odolnost danou bodem měknutí lepidla. Obvykle je omezená i odolnost vůči rozpouštědlům. (Osten, 1996)

Jedním z předpokladů správné funkce tavného lepidla je nízká viskozita jeho taveniny, a proto se používají filmtvorné polymery a kopolymery s nízkou molekulovou hmotností. Kombinují se s dalšími složkami, jejichž úkolem je úprava viskozity, bodu měknutí a zvýšení adhezní účinnosti. Jsou to zejména přírodní pryskyřice, upravované přírodní pryskyřice, kumaronindenové pryskyřice⁵, speciální pryskyřice z aromatických uhlovodíků a formaldehydu, změkčovadla, vosky a podobné látky. Dalšími přísadami jsou prášková anorganická plniva, termooxidační stabilizátory, pigmenty, popř. další látky. Bod měknutí jednotlivých lepidel se volí podle požadované tepelné odolnosti spoje. Výjimku tvoří lepidla pro materiály, jejichž tepelná odolnost je nižší. (Osten, 1996)

Mezi hlavní výhody tavných lepidel patří krátký čas tuhnutí a použitelnost pro různé druhy materiálů. Jejich složení bez rozpouštědel nezatěžuje životní prostředí emisemi VOC a umožňuje jednoduchou manipulaci a skladování. Další výhodou je

⁴ Antioxidant je látka používaná ke zpomalení zhoršování vlastností materiálu vlivem oxidace. Stabilizátor je látka přidávaná do některých plastů nebo lepidel za účelem zachování vlastností materiálu nebo lepidla a jeho spojů na jejich původních nebo téměř původních hodnotách v průběhu skladování, zpracování a používání. Speciální stabilizátory se používají pro odstranění nebo zpomalení nežádoucích jevů jako je koagulace, nadměrná reaktivita, absorpce adherendy nebo destrukce adherendů. (ČSN EN 923+A1)

⁵ Kumaronindenová pryskyřice je druh termoplastické pryskyřice získaný katalyzovanou polymerací frakcí z černouhelného dehtu a ropy, bohatých na kumaron, inden, jejich homology a deriváty. Kumaronindenová pryskyřice se často používá jako přísada zvyšující lepivost.

aplikace jednostranného nánosu lepidla na lepený povrch, který je možný jak v horizontální, tak ve vertikální poloze. (Tesařová, 2014)

Tavná lepidla se vyrábí v míchacích zařízeních vyhřátých na teplotu v intervalu 120–170 °C. Do míchacího zařízení se dávkuje jednotlivé složky, které se taví a homogenizují po dobu 60–80 minut. Tavenina se následně vypouští do vytlačovací části výrobní linky, z které putuje do chladicí části a dostává pevnou prodejní formu. Kopolymer dává tavnému lepidlu pevnost a tuhost, modifikující pryskyřice přilnavost a vosky upravují rychlost tuhnutí. Pryskyřice dále snižují vysokou mez průtažnosti kopolymeru, snižují viskozitu za tepla a některé snižují výrobní náklady. Antioxidanty zpomalují proces oxidace makromolekul už při výrobě tavného lepidla a následně při tavení a před aplikací. K uvedené základní směsi tavného lepidla se někdy přidávají plastifikátory anebo plniva. Tyto suroviny snižují výrobní náklady a tím prodejní cenu. (Gelbič, 2000)

3.3 Požadavky při lepení

Při nalepování ohebných nebo pružných tenkostěnných materiálů na tvrdý neohebný podklad se používají lepidla vytvářející tvrdý, avšak houževnatý film s maximální pevností v odlupování a přiměřenou pevností ve smyku.

Vytvrzené lepidlo musí tvořit spoje dostatečně pevné a odolné vůči destruktivním činitelům, kterým je vystaveno. U výrobků dynamicky namáhaných je třeba volit lepidla dostatečně pružná. Velká pružnost lepených spojů vede k tzv. studeným tokům typických pro termoplastická lepidla. Studený tok lepidla je závada u lepených spojů trvale staticky namáhaných. (Tesařová, 2014)

Aby bylo při lepení dosaženo dobrých výsledků, je nutno, aby mělo používané lepidlo tyto vlastnosti:

- musí mít vysoký obsah netěkavých látek a co nejméně těkavých organických látek, které se uvolňují po vytvrzování
- jeho barva musí odpovídat příslušné barvě pro vzhled lepených materiálů
- nesmí měnit barvu lepeného podkladu a nesmí poškozovat lepený podklad
- nesmí reagovat s konečnou povrchovou úpravou

- nevýhodnou vlastností je malá pružnost, tedy velká tvrdost lepené spáry
- musí umožňovat jednoduchou přípravu k lepení
- musí mít dlouhou životnost natužené směsi
- dobré aplikační schopnosti, snadno se nanášet
- po vytvrzení malé smrštění, musí zajišťovat dobré vyplnění lepicí štěrbin;
- krátký čas vytvrzení
- lepicí směs nebo lepidlo musí snadno a rovnoměrně tvořit lepidlový film a lepený spoj

(Tesařová, 2014)

3.3.1 Pevnost lepeného spoje

Lepidlový film ve spáře je vystaven stejnému namáhání jako dřevo. Nestačí, aby měl pouze velkou pevnost, stejně důležitá je i jeho dobrá pružnost. Slepené dílce podléhají během opotřebení vlivem vlhkosti a zatížení objemovým změnám, jež se projevují bobtnáním nebo vysycháním. Lepidla odolávající objemovým změnám dřeva mají sice menší pevnost v lomu než dřevo, ale zato velký modul pružnosti. (Eisner 1966)

Výsledná pevnost spoje je ovlivňována mnoha faktory. Více či méně výrazně je pevnost spojení ovlivněna například tloušťkou vrstvy lepidla, drsností lepeného povrchu nebo pečlivostí přípravy povrchu před lepením. Pevnost spojení závisí nejen na velikosti lepené plochy, ale i na jejím tvaru. Neméně důležitým požadavkem, a to již ve fázi návrhu spoje, je správný výběr typu lepeného spoje a optimálního lepidla. Při lepení je samozřejmým požadavkem nutnost dodržení technologického postupu předepsaného výrobcem použitého lepidla. (Brožek, 2003)

3.3.2 Nános lepidla

Jedním z předpokladů vzniku soudržného spoje je i rovnoměrný, přiměřeně tlustý film lepidla ve spáře. Většina lepidel nabývá optimálních adhezních vlastností tehdy, neklesne-li tloušťka filmu lepidla ve spáře pod spodní limit 0,05 mm. Jako horní limit tloušťky filmu platí hranice 0,25 mm. Je-li film mimo uvedené rozmezí, sníží se obvykle prudce pevnost spoje. Množství nanášeného lepidla se udává v g/m² lepené plochy. Limity spodní a horní hranice dávkování jsou většinou uváděny čísla 90 až 300 g/m².

Jednostranný nános lepidla se zpravidla používá při práci s lepidly reaktivního typu (dvousložkovými), při zpracování lepidel tavných a lepidel citlivých na tlak. Jako první v pořadí se zásadně provádí nános lepidla na povrch méně porézní.⁶ (Osten, 1996)

3.3.3 Nábytkové hrany

Sortiment dekoračních materiálů na boční plochy nábytkových dílců je v podstatě stejný jako pro plochy dílců. Například se mohou používat tradiční dřevěné materiály ve formě dýh nebo ve formě masivního dřeva tzv. náklížků, dále se mohou použít reaktoplastické fólie, lamináty na bázi polyesterové nebo melaminové pryskyřice, PVC, ABS – fólie a jiné. Na rozdíl od dekoračních materiálů na plochy dílců jsou materiály na boční plochy zpravidla silnější, protože kvalita povrchu nosných materiálů v příčném řezu mimo dřevotřískových desek je horší než ploch, což se eliminuje tloušťkou nalepovaného dekoračního materiálu. Olepování plní dvě základní funkce. Zvyšuje estetické působení konstrukčního materiálu a chrání boční plochy proti mechanickému poškození a vlhkosti. (Zemiar et al. 2009)

Dýhové hrany

Jsou vyráběny z krájených dýh, které jsou na sebe napojovány, tím se vytváří navinutý pás, hrany jsou dodávány v kolech. Dýhové hrany jsou předbroušené a mohou být dodávány s lepidlem nebo bez lepidla, kde rubová strana je opatřena zpevňující netkanou textilií. Hrany mohou být opatřeny nánosem tavného lepidla, tento typ hran není používán v průmyslovém nábytkářství, ale jen u menších truhlářů. Hrany jsou v šířkách 17, 23, 30, 35, 43, 50, 60 a 65 mm v tloušťce cca 0,7 mm. Vrstvené dýhové hrany jsou v šířkách 22, 24, 32, 34 a 42 mm. (Nábytkové hrany, 2015)

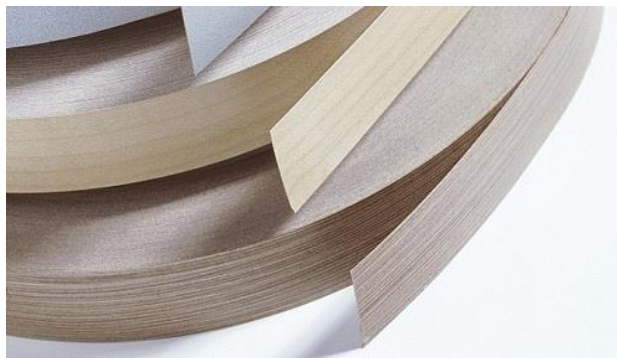
⁶ Pro lepení porézní hmoty, jakou je dřevo, mají určitý význam jevy kapilární. Smáčením vnitřních stěn kapilár se zvětšuje povrch, a tím i povrchové napětí; následkem toho stoupá v těchto kapilárách hladina kapaliny (lepidla). Tímto vnikáním lepidla do pórů dřeva a jeho dodatečným ztvrdnutím, byla zpočátku vysvětlována soudržnost lepených spojů. Tento názor označovaný jako „mechanická adheze“ se nemohl udržet, jakmile se dokázalo, že u hustých dřevin a neporézních hmot kovových nebo skleněných lze dosáhnout dobrého spojení dokonce i bez jakéhokoliv lepidla, jsou-li obě spojované plochy dokonale hladké a rovné, aby těsně k sobě přiléhaly. Poréznost dřeva má pro zvýšení pevnosti lepení jenom ten význam, že zvětšuje povrch lepené plochy, čímž se zvětšuje i specifická adheze. Mechanická adheze je tedy jen podřadná a její podíl na totální adhezi není větší než 10 až 20 %. (Eisner, 1966)



Obr. 3 Dřehované nábytkové hrany (zdroj: www.drevotrust.cz)

Melaminové hrany

Tyto hrany jsou vyrobeny z impregnovaných papírů, mají tloušťku 0,3 – 0,5 mm. Mohou být v matném nebo lesklém provedení. Mají křehký a tvrdý povrch, který je chráněn před poškozením ochrannou fólií. Standardní nabízené šířky: 15, 22, a 45 mm. (Nábytkové hrany, 2015)



Obr. 4 Melaminové nábytkové hrany (zdroj: www.lignomat.cz)

Akrylonitril-butadien-styrenové hrany (ABS hrany)

Hrany jsou velmi trvanlivé vůči mechanickému oděru, proti vodě a kyselinám a mají vysoký stupeň estetické úrovně a jsou barevně stálé. Je možné hrany dodávat i s nánosem lepidla. Hrany jsou dodávány v tloušťkách 0,5; 0,7; 0,8; 1; 1,5 a 2 mm, zakázkově 3 mm. Standardní nabízené šířky: 22, 25, 28, 32 a 42 mm. Tyto hrany splňují ekologické normy EU. (Nábytkové hrany, 2015)

Plastové hrany jsou vyrobeny z termoplastického granulátu. Akrylonitril zvyšuje tepelnou a chemickou odolnost, butadien přispívá k zlepšení houževnatosti, styren zlepšuje opracovatelnost, snižuje nákladovost a dodává hranám lesklý povrch.

Hrany jsou odolné vůči kyselinám, solím, alkoholu, olejům apod. Na rubové straně jsou plastové hrany ABS potaženy univerzálním adhesivním prostředkem (primerem), který ve spojení s běžnými tavnými lepidly zajistí bezchybné uchycení hran na nosném materiálu. ABS hrany mají dlouhou životnost a stálobarevnost. Spektrum použití ABS hran je široké, jsou vhodné zejména tam, kde dochází k velkému mechanickému namáhání. Využívají se u kuchyňského, koupelnového, kancelářského nábytku a rovněž do dětských pokojů.

ABS hrany se na boční plochy aplikují lepením pomocí tavných lepidel v olepovacích strojích. Šířkové přesahy se odstraní frézováním a díky tomu se vytvoří i zaoblení hran, aby nebyly ostré a nehrozilo zranění uživatele. (Nutsh et al. 2006)



Obr. 5 ABS hrana (zdroj: www.rehau.com)

3.3.4 Dřevotřískové desky

ČSN EN 309:2005 definuje třískové desky jako materiály vyrobené slisováním a ohřevem částic (třísek, hoblin, pilin apod.) nebo jiných lignocelulózových materiálů ve formě částic (např. pazdeří, konopí, bagasa apod.) s přidavkem polymerního lepidla. (Brunecký et al. 2009)

Základním materiálem pro výrobu třískových desek je dřevní hmota, která je roztřískávána na malé částice – třísky různých rozměrů. Pro výrobu třískových desek mají zásadní význam následující parametry: hustota dřeva, velikost třísek, podíl běle

a jádrového dřeva, pH použité dřeviny. Ve stávající komplikované surovinové situaci a vzhledem k cenovým úrovním musí průmysl aglomerovaných materiálů přistupovat i ke zpracování tvrdých listnatých dřevin, jako například buku, dubu, habru, jasanu i akátu. Platí pak však zásada, že směšovací poměry dřevin je nutno přesně dodržovat. Reakce dřeva je totiž velmi významná. Při zpracování některých dřevin s extrémním pH (např. dub) je nutno upravovat množství přídavných chemikálií, zejména tvrdidla k lepicí směsi. (Svoboda et al. 2013)

Druhou nejdůležitější surovinou ve výrobě třískových desek jsou syntetická lepidla (pryskyřice) termoreaktivního typu, a to lepidla močovinoformaldehydová (UF), fenolformaldehydová (PF), melaminformaldehydová (MEF), melamin-močovinoformaldehydová (MUF), izokyanátová a minerální pojiva (cementy, sádra). Druh použitého lepidla závisí na účelu použití toho kterého typu aglomerovaného materiálu. (Svoboda et al. 2013)



Obr. 6 Dřevotřísková deska surová (zdroj: www.drevoset.cz)

3.3.5 Laminované dřevotřískové desky

Laminované desky vyráběné plošným lisováním pro dekorativní účely jsou vícevrstevnými deskami, které mají vyšší hustotu a jsou pokryty vrstvami napuštěnými melaminovou pryskyřicí. Plocha má dekorativní kresbu, je velmi odolná proti skvrnám, poměrně odolná vůči působení kyselin, stabilní vůči působení tepla a snadno se ošetřuje. Používají se především pro výrobu kuchyňského, kancelářského a laboratorního nábytku. (Josten et al. 2010)

Na výrobu vzorků určených k testování byly použity dekorativní vysokotlaké vrstvené desky – lamináty HPL tzv. duroplasty. Dekorativní vrstvené desky se nalepují na nosné desky (TD, VD, PD, MDF apod.). Nosné desky musí být stabilní, rovné a nesmějí mít vlhkost vyšší než 8–10 %. Jako pojivo k lepení vrstvených lisovaných desek se používají buď disperzní lepidla jako např. PVAC lepidla s malým obsahem vody, kontaktní lepidla a kondenzační lepidla (močovinoformaldehydová, melaminformaldehydová, fenolresorcinová apod.). (Hrázský a Král 2007)

Povrch desek HPL je závislý na struktuře plechu lisu. Pochromované lesklé plochy lisu vytvářejí lesklé povrchy, matné plechy matné povrchy a strukturované plechy lisu odpovídající reliéf povrchu. Nejčastější složení vrstvených materiálů je: krycí vrstva (overall) – zajišťuje vysokým obsahem pryskyřice v papíře s malou gramáží tvrdý, lesklý a průhledný povrch; dekorační papír – zajišťuje jednobarevný pigment; podkladový papír – zabránění pronikání PF pryskyřice z nosné vrstvy do vrstvy dekorační; nosná vrstva (underlay) – dodává listu dostatečnou pevnost; nálepový (spodní) papír – usnadňuje lepení na dílce. (Hrázský a Král 2007)



Obr. 7 HPL laminát (zdroj: www.laminatyprotruhlare.cz)

4 Technologie olepování

Kapitola obsahuje podrobné informace o strojním zařízení na olepování bočních ploch a o technologickém postupu. Objasňuje rozdíly mezi technologií olepování nábytkových hran pomocí EVA lepidel a technologií olepování s použitím PUR lepidel. Na konci kapitoly jsou porovnány používané technologie olepování a stanoveny jejich největší výhody a nevýhody.

4.1 Olepování bočních ploch

Olepování bočních ploch dílců lze zařadit mezi nejnáročnější operace nejen z hlediska technologie a techniky, ale i z hlediska obsluhy. Velké rychlosti posuvu, vysoké teploty lepidla a složitost jednotlivých funkčních agregátů i celého zařízení vyžadují dodržování všech technologických podmínek materiálů, lepidel, zařízení a obsluhy.

Olepování bočních ploch dílců se provádí na průběžných olepovačkách, které jsou jednostranné nebo oboustranné. Olepovačky zahrnují tyto činnosti: nános lepidla, přiložení olepovacího materiálu, přitlačení, vytvrzení lepidla a odstranění přesahu olepovaných materiálů. Z hlediska techniky a kvality lepení je nutné mít na zřeteli soubor faktorů, které sdružuje pojem termostabilita tavných lepidel. I při dodržování teplot udávaných výrobcem je lepidlová tavenina vystavena vysokým teplotám, které mohou vést k tzv. oxytermodefektu.⁷ (Uhlíř, 2003)

Olepování bočních ploch probíhá na průběžné olepovačce. Jde o stroj, ve kterém je dílec unášen na transportní řetězové dráze a prochází několika technologickými operacemi, které jsou realizovány pracovními agregáty zavěšenými na loži stroje. U strojů určených k olepování dílců se na začátku vyskytuje frézovací agregát, který odfrézuje přesahy dílce, následuje olepovací agregát, do kterého jsou přiváděny

⁷ To znamená, že stálým působením vzdušného kyslíku a vysoké teploty mohou nastat určité procesy, které zhoršují vlastnosti lepidla. Při dlouhotrvajícím přehřátí taveniny se vyskytují oxytermodefekty v zesílené míře. Projevují se jako silné hnědnutí, lepidlová tavenina se stále zhušťuje a lepidlo se rozkládá až na černou usazeninu. Zhuštění vede k závadným spojům, pomalá degradace zhoršuje adhezi a kohezi. (Uhlíř, 2003)

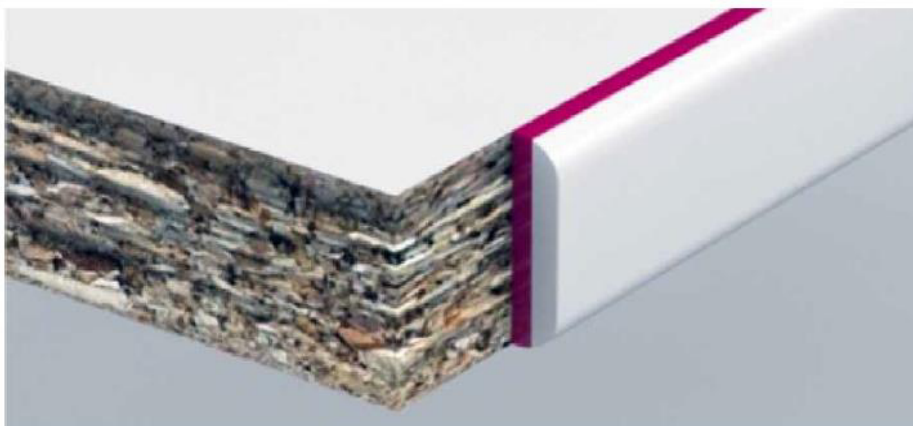
dýhy ve formě samostatných pásků nebo se odvíjí z role. Na dílec je při průchodu strojem nejprve válečkem nanese lepidlo, nejobvyklejší je tavné lepidlo EVA s teplotou při nanášení 190–220 °C, pro vyšší nároky PUR s teplotou nanášení 140–150 °C. Používají se i tavná lepidla na bázi polyolefinů (APAO) nebo polyamidů (PA). Po nanesení lepidla je na bok dílce přitlačena tlačnými válečky olepovací dýhová páska s malými délkovými přesahy a následuje oříznutí kapovacím agregátem na délku dílce. Následuje frézovací zarovnávací agregát, který upraví šířku olepovacího pásku přesně na tloušťku dílce a poté jsou hrany dílce i boční plochy broušeny brousícími agregáty. Dílce mohou být olepovány i silnějším olepovacím materiálem, dýhami o tloušťce až 3 mm, nebo náklížky, které dle druhu dřeviny mohou být až 30 mm silné. Po ofrézování bočních ploch a hran následuje broušení brousícími agregáty. (Krontorád, 2015)

Olepovací systémy se dlouho, v podstatě od svého uvedení na trh, opíraly o nanášení tavného lepidla pomocí válečku nebo PVAC lepidla pomocí tryskového nanášení. V poslední době se objevily zcela nové principy nanášení, resp. aktivace lepidla na olepovacích materiálech jedná se o nanášení tavných lepidel tryskovým systémem, aktivace teplým vzduchem, plazmou⁸ a laserem. (Krontorád, 2015)

4.1.1 Bezspárové olepování hran

Pro dosažení nulové spáry jsou pásy vyráběny speciálními způsoby, kdy lepidlá vrstva se stává součástí olepovacího materiálu a je opticky téměř nepostřehnutelná. Při ohřevu horkým vzduchem se využívá principu krátkodobého působení vysoké teploty. Systém ohřevu horkým vzduchem je levný, ale kvalita je značně závislá na rovnoměrnosti pohybu olepovacího pásku. Rovněž lokalizace ohřevu proudem vzduchu je obtížná a vždy se ohřívá větší plocha, než je teoreticky nezbytná. (Krontorád, 2015)

⁸ Průmyslově se v současné době používají dva systémy aktivace lepidel, plazmou a laserem. Pro obě technologie je třeba používat speciálně upravené olepovací pásy, přičemž mezi pásy není rozdíl. Pro nejvyšší kvalitativní požadavky je lepidlo koextrudováno do hmoty vlastní olepovací pásy, která může být na bázi ABS, PP nebo PVC. Pro nižší nároky na vzhled tzv. nulové spáry jsou speciální lepidla pro aktivaci laserem nebo plazmou nanášena na olepovací pásy a tímto způsobem lze nanést potřebnou vrstvu i na olepovací pásy z impregnovaných papírů nebo dýh. (Krontorád 2015)



Obr. 8 Hrana LaserEdge složená ze dvou vrstev (Ježo, 2015)

Při plazmovém systému aktivace lepidivé vrstvy se používají plazmové hlavy, které lze namontovat i na stávající olepovací stroje. U laserové technologie⁹ se využívá ohřevu aktivní vrstvy lepidla pomocí tlumení kmitání třením v absorpční vrstvě. Dochází tak k velmi homogennímu ohřevu lokalizovanému pouze do místa aktivní vrstvy, přiblížení teoreticky ideálnímu stavu je tedy vysoké. (Krontorád, 2015)

Bezespárové lepení může být dosaženo použitím speciálních nábytkářských hran¹⁰, vyrobených koextruzí dvou rozdílných polymerů. Tento typ hran má funkční vrstvu vyrobenou z polypropylenu (PP) v tloušťce 0,2 mm. Tato vrstva je natavena vzhledem ke svému nosiči během olepovacího procesu rozdílnými technikami, takže hrana je přichycena k dílci penetrací polymeru do struktury nábytkového dílce.

⁹ Používají se speciální dvouvrstvé olepovací pásy, jejichž základní vrstvu tvoří standardně materiály jako je PP, ABS, PVC, PMMA. Na kontaktní straně nosného dekorativního materiálu je aplikována 0,2 mm tenká vrstva chemicky modifikovaného PP, který má zpravidla stejnou barvu jako základní materiál. Laserová technologie je také velmi citlivá na barvu aplikované hrany. Při olepování je vrstva modifikovaného polymeru roztavena laserovým paprskem, který ji prostřednictvím rychle oscilujícího zrcátka ozařuje v požadované šířce podle šířky použité pásky, resp. tloušťky olepovaného materiálu. Teplota roztavené hmoty se pohybuje kolem 135 – 140 °C. Modifikace polymeru spočívá mj. v přidání absorbéru, jehož částice jsou působením paprsku rozkmitány a třením v plastu generují teplo. Většina plastů je pro záření diodového laseru s vlnovou délkou 980 nm průsvitná a bez absorbéru by radiační energie nemohla být přeměněna na tepelnou. Proto se zářením roztaví pouze lepidlá vrstva plastové hrany. Tmavé a světlé barvy mají dramaticky jiný účinek reakce na laserový paprsek. Je potřeba provádět ladění polohy čoček v závislosti na barvě nanášené hrany. Pokud se používá jedno univerzální nastavení čoček na všechny barvy, riskuje se nepřilnutí hrany na dílec a následné sloupnutí hrany nebo vysoké natavení a následné spálení lepené hrany. Pokud se používají koextrudované hrany PP na PVC hranách bez ladění, riskuje se poškozování životního prostředí včetně zdraví obsluhujícího personálu. (Čapka, 2015)

¹⁰ Hrany určené k bezespárovému lepení jsou dražší než běžné hrany. Rozdíl v ceně může být až 20 centů na metr. Proto se cena hran podepisuje na vyšší ceně bezespárového olepování víc než energetické náklady. Energetické náklady jsou cca 0,7 centu vyšší než při olepování lepidlovým agregátem.

Polypropylen je dnes na trhu dostupný jako koextrudovaný a dostupný s materiály nábytkových hran jako PP, PVC, Akrylic a ABS. (Beran, 2015)

Používá se velmi jednoduchý princip stlačeného horkého vzduchu (270–320 °C) pro natavení funkční vrstvy nábytkové hrany.¹¹ Vzhledem k tomu, že při tomto systému není použito lepidlo, neuvolňují se do ovzduší chemické látky a typický zápach, jako při olepování s lepidlem. Například systém airTec získal TÜV¹² certifikát, který potvrzuje, že se při jeho používání neuvolňují škodlivé látky do ovzduší. V tomto ohledu má nejhorší pozici PUR lepidlo. (Ježo, 2015)

4.2 Vlastnosti tavných lepidel EVA

Tavná lepidla na bázi EVA kopolymerů jsou tuhé směsi polymerů a přísad, které teplem měknou a tečou. V roztaveném stavu jsou lepivá a po ochlazení rychle během několika sekund mohou tuhnout. Tavná lepidla na bázi EVA kopolymerů se mohou připravovat v širokém rozsahu různě formulovaných lepidel.

Typické složení tavných lepidel na bázi polyethylenvinylacetátu obsahuje tyto čtyři základní složky:

- kopolymery EVA 30 % až 40 %
- pryskyřice 30 % až 40 %
- vosky 20 % až 30 %
- antioxidanty cca 1 %

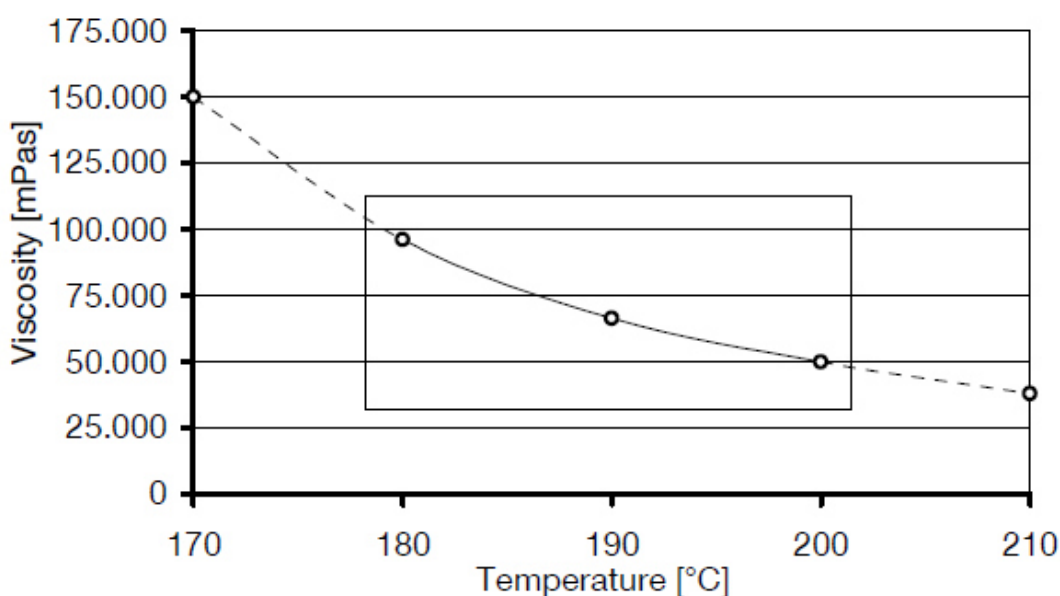
Množství a poměr každé složky ke kopolymeru EVA se řídí požadavky na potřebu, s jakou účinností je třeba lepidlo připravit pro danou aplikaci. Hlavním předpokladem použitelnosti daného typu kopolymeru je dobrá tavitelnost, mísitelnost (kompatibilita) s pryskyřicemi a vosky a termostabilita. Jednotlivé složky lepidla mu dávají různé vlastnosti, např. kopolymer dává tavnému lepidlu pevnost a tuhost, modifikující pryskyřice přilnavost a vosky upravují rychlost tuhnutí. Kopolymer má vysokou mez průtažnosti, proto se do lepidel přidávají pryskyřice, které mimo jiné dále

¹¹ Maximální rychlost posuvu dílce ve stroji je limitována na 25 m/min při použití dílce s tloušťkou 18 mm.

¹² TÜV (zkratka pro Technischer Überwachungs-Verein) je německé sdružení organizací, které se zabývají testováním výrobků všeho druhu, za účelem ochrany lidí a životního prostředí proti různým nebezpečím.

snižují vysokou mez pružnosti kopolymeru a viskozitu tavného lepidla za zvýšené teploty. Hlavní nevýhodou tavných lepidel na bázi ethylvinylacetátu je skutečnost, že nejsou odolná vůči teplotám již o několik stupňů nižším než jejich bod měknutí, tím se stávají nevhodnými pro konstrukční lepení. Při jejich aplikaci představuje malá odolnost lepeného spoje vůči teplotám vyšším než 60 °C značný problém. Kolem této teploty se lepidlo taví a spoj se stává nepevným. (Nutsh et al. 2006)

Viskozita EVA lepidla



Obr. 9 Aplikací teplota se pohybuje v rozmezí 180 až 200 °C (zdroj:www.hranipex.cz)

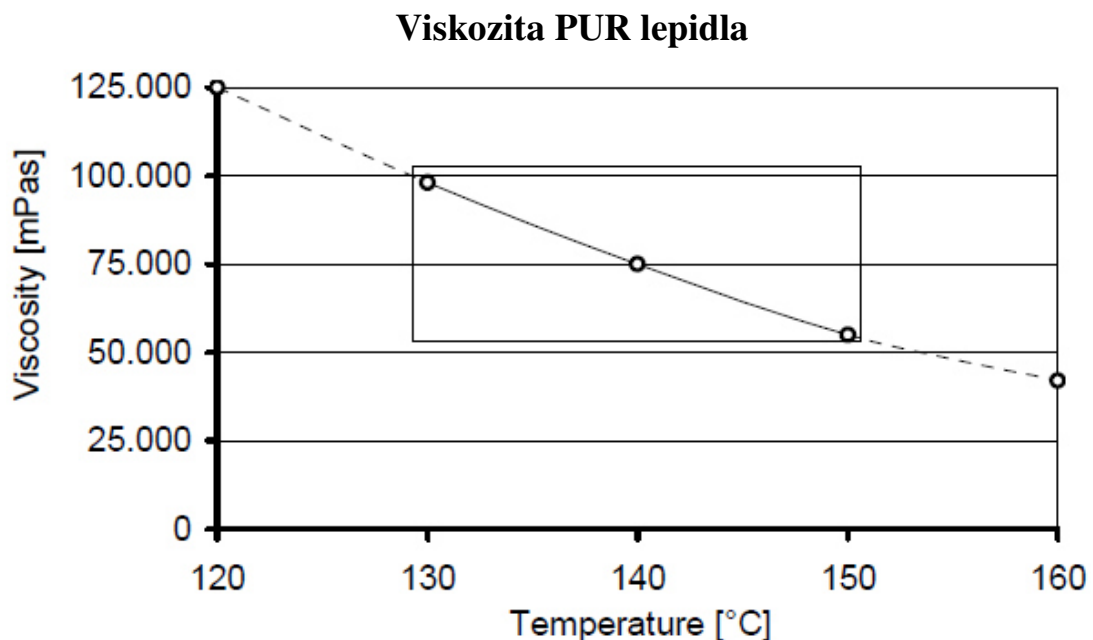
4.3 Vlastnosti tavných lepidel PUR

Lepidla jsou vyrobena z polyuretanové pryskyřice s nadbytkem isokyanátu (NCO chemické skupiny). Při lepení se s těmito lepidly pracuje obvyklým způsobem (taví se však při nižších teplotách – okolo 130–140 °C na rozdíl od ethylvinylacetátových lepidel, která se zpracovávají při 160–210 °C, ale po slepení během několika dnů dochází v lepidle k síťujícím reakcím vlivem vzdušné vlhkosti. Tyto síťující reakce výrazně zvýší teplotní odolnost spoje. (Lear, 2015)

Reaktivní tavná lepidla na bázi polyuretanu vytvrzují a dosahují pevnosti fyzikálně, ale navíc u nich probíhá za přítomnosti vzdušné vlhkosti reakce, při které

dochází k chemickému zesíťování. Tím je u nich dosaženo velmi vysoké tepelné odolnosti v mezních hodnotách $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ až $140\text{ }^{\circ}\text{C}$, ale rovněž velmi vysoké odolnosti proti vlhkosti, vodě a vodním parám.

Mají vysokou tepelnou odolnost, pokud na dvířka působí teplo od spotřebiče, PUR lepidla se netaví (na rozdíl od některých jiných lepidel), která při styku s teplem měknou a poté opět vytvrzují. Spoj je voděodolný – PUR lepidlo uzavře spáru mezi hranou a čelní plochou a olepený spoj je tedy natolik pevný, že i při zatečení nebo vysoké vzdušné vlhkosti dílce přes hranu nenabobtnají. Jsou vhodná do koupelny, kuchyně a pro komerční prostory se zvýšenou zátěží. (Demos trade, 2015)



Obr. 10 Aplikační teplota se pohybuje v rozmezí 130 až $150\text{ }^{\circ}\text{C}$ (zdroj: www.hranipex.cz)

4.4 Olepování polyuretanovými lepidly

Olepování PUR lepidly je kvalitativně, technologicky, ale i nákladově náročnější lepení než olepování EVA lepidly. PUR lepidla jsou vyráběna v několika alternativách. Mají různou otevřenou a vytvrzovací dobu. Některé déle snášejí vystavení teplu, některé naopak rychle vytvrzují při vysoké teplotě. Je důležité znát ideální teplotu pro specifický druh PUR lepidla, jak dlouho snáší vyšší teplotu před vytvrzením, jak často se musí čistit nanášecí jednotka aj. Nesoulad mezi použitou technologií olepování a lepidlem může

způsobit zbytečné ztráty ve výrobě. Polyuretanová lepidla mají vysokou počáteční pevnost a konečnou pevnost, jsou odolné vůči nízkým i zvýšeným teplotám a lepí různé druhy materiálů používaných při olepování bočních ploch. Tyto lepidla vyžadují malý čas vytvrzení, což znamená, že mohou být výrobky dokončovány ihned po olepování. (Emikaere, 2003)

S technologií olepování pomocí PUR je spojena řada doporučení vzhledem k vlastnostem těchto lepidel. Dávkovací zařízení se musí udržovat v kondici pro kontinuální proces výroby a minimalizaci prostojů. Tavicí zařízení by mělo být vždy vypnuto, když není spuštěna výroba. Jinak dochází k vytvrzování lepidla uvnitř zařízení, což může zapříčinit menší pevnost spoje, zvyšuje se množství odpadu. Při delší expozici tepla může být poškozeno samotné zařízení, kdy dojde k nahromadění lepidla uvnitř jednotky, k zamezení proudu lepidla a nakonec k poškození stroje. (Ray a Deibel, 2010)

Systémy, které jsou v nepřetržitém používání, mohou zůstat při optimální teplotě použití bez poškození, protože lepidlo je neustále v pohybu. Pokud je výrobní plán takový, že je stroj používán pouze několikrát za den, měl by být vybaven systémem, který zajišťuje sníženou teplotu v čase, kdy stroj není v provozu. Snížení teploty nejen chrání samotné lepidlo a vybavení, ale také šetří energii a snižuje uhlíkovou stopu ve výrobním procesu. (Ray a Deibel, 2010)

Systémy na olepování PUR technologií se musí čistit každých 3 – 6 měsíců, záleží na používání, je nutné vyjmout a vyčistit všechny aplikátory, nahradit veškeré těsnění a filtry. Rovněž tyto systémy vyžadují speciální péči pomocí maziva na exponovaných oblastech, jako jsou trysky aj., kdy by mohlo docházet k vytvrzování lepidla se vzdušnou vlhkostí. Je také důležité, aby nezůstávalo staré lepidlo v systému déle jak 5–7 dní. Pokud tomu tak je, musí dojít k propláchnutí zařízení. (Ray a Deibel, 2010)

Olepování PUR lepidly se projevilo jako kvalitnější oproti jiným metodám. Je zde řada technických, ale i vzhledových předností. Vysoká pevnost spoje, rezistence vůči teplu a vlhkosti, menší nános lepidla, ultra tenká spára. Proto je tato metoda nanášení stále preferovanější v nábytkářské výrobě. Především výroba kuchyňského a koupelnového nábytku oceňuje tyto vlastnosti PUR lepidel. (Henkel, 2015)



*Obr. 11 Olepeno PUR lepidlem, tloušťka spáry 0,10 mm
(Deibel a Meulbroek, 2009)*



*Obr. 12 Olepeno EVA lepidlem, tloušťka spáry 0,20 mm
(Deibel a Meulbroek, 2009)*

4.4.1 Olepování polyuretanovým lepidlem – technologie SLIM LINE

U systému SLIM LINE je lepidlo aplikováno na hranu prostřednictvím štěrbinové hlavy. Aplikace lepidla na hranu je mnohem efektivnější než aplikace na dílec, kde poréznost materiálu neumožní nanesení rovnoměrné vrstvy lepidla. Homogenní povrch hrany umožňuje nanesení mnohem slabší vrstvy lepidla v porovnání s tradičním systémem a ve výsledku je dosaženo vynikající kvality olepení za použití menšího množství lepidla. (Italcomma, 2015)

Nanáší se jen velmi tenká vrstva lepidla v tloušťce od 0,05 do 0,10 mm, tj. 80 – 90 g/m², zatímco při nanášení na boční plochu dílce z DTD se lepidlo obvykle aplikuje v množství kolem 150 g/m².¹³ Pomocí této nové technologie lze nalepovat prakticky všechny druhy olepovacích materiálů tlouštěk do 3 mm včetně problematických bílých pásek, a to díky obecné výhodě tavného PUR lepidla, jehož aplikační teplota se pohybuje v rozpětí 125–150 °C, zatímco tavná EVA lepidla se nanáší při teplotě až 220 °C. (Malý, 2013)

Základem technologie SLIM LINE je elektronicky řízená externí tavná a distribuční jednotka, která ve vyhřívané komoře taví vložené PUR lepidlo a pomocí pružné vyhřívané hadice ho dopravuje k aplikační hlavě s nanášecí štěrbinou. Hlava je uložena v pracovním prostoru linky a pomocí štěrbin nanáší vrstvičku lepidla na procházející olepovací pásku šířky až 65 mm při rychlosti posuvu až 40 m/min. Hlavu je možné v případě potřeby (nebo po ukončení práce) z pracovního prostoru vyjmout a zavěsit na čep umístěný na vnější straně olepovačky. V této „nepracovní“ poloze je možné hlavu ponechat nejdéle 48 hodin s tím, že je nutné po skončení práce ze štěrbin setřít zbytek lepidla a přetřít ji vazelínou. Při delší odstávce je nutné celý systém vyčistit speciálním čističem. (Malý, 2013)

4.5 Celkové zhodnocení technologií na olepování bočních ploch

Technologie olepování pomocí laseru je kvůli své relativně vysoké ceně používána zatím jen u linek vyšší kategorie, což je hlavní důvod, proč se nerozšiřuje mezi menší výrobce. Z tohoto důvodu se vyvinula technologie airTec, která je výrazně levnější, protože používá místo laseru horký vzduch. Mezi hlavní přednosti laserové technologie a technologie s horkým vzduchem patří vyloučení přehřívání a udržování pracovní teploty a schopnost olepovat okamžitě po zapnutí stroje.

V porovnání s EVA lepidlem vykazují hrany olepené laserem lepší odolnost proti teplotě a vlhkosti. Odolnost proti vodě je sice zvýšená, ale nedosahuje úrovně PUR lepidla. V nynější době se často srovnává olepování pomocí PUR lepidel se systémem airTec. PUR lepidla v minulosti (rok 1988) přišly jako alternativa k EVA lepidlům. Mají

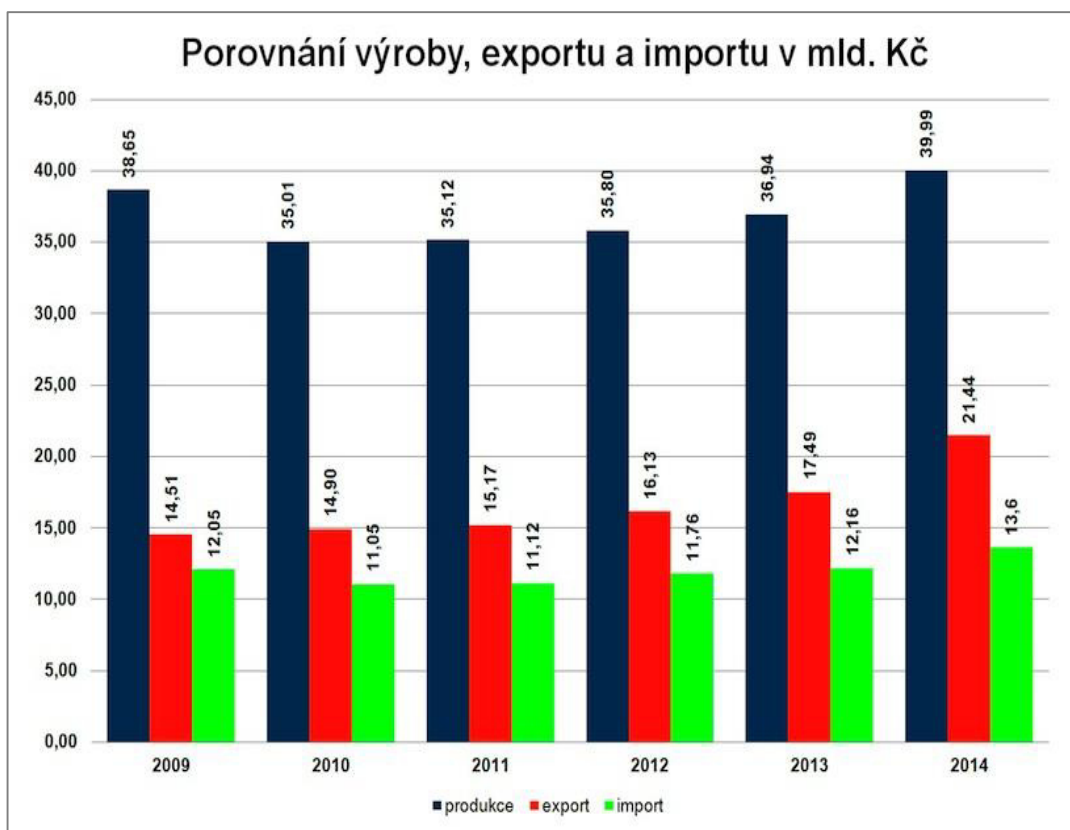
¹³ Z tohoto hlediska se tedy jedná o finanční úsporu, co se týká spotřeby lepidla a energie na jeho tavení.

vyšší odolnost proti zvýšené vlhkosti a teplotě. PUR lepidla mají menší lepidlovou spáru, toho je dosaženo menší viskozitou lepidla a odlišnou molekulární hmotností PUR lepidla. Tloušťka nánosu se nastavuje u olepování individuálně. Při olepování desek s menší hustotou je nános velmi podobný jako u EVA lepidel. PUR lepidla jsou cenově náročnější, také vyžadují složitější obsluhu, což je ovlivněno samovolným vytvrzováním (reaktivita s vlhkostí). V každém případě PUR lepidlo zvyšuje kvalitu olepování, bohužel však nedosahuje vzhledu „nulové spáry“. Ovšem při kvalitních deskách a dokonalém nánosu PUR lepidla je možné dosáhnout vzhledu, který je podobný jako při použití technologie airTec s polyolefinovým lepidlem.

5 Export nábytku

Donedávna byl vývoz českého nábytku zanedbatelný, ale v roce 2014 skokově vzrostl, exportuje se až 20 % sedacích souprav či postelí vyrobených v Česku. Nábytek se zařazuje mezi důležité české exportní komodity. Zatímco ještě v roce 2009 se vyvezlo jen 6,3 % nábytku vyrobeného na území České republiky, v roce 2014 to bylo už téměř 20 %. Právě vývoz tak výrazně pomohl růstu celého odvětví. Produkce tuzemských nábytkářských firem stoupla na 40 miliard korun, což bylo meziročně o tři miliardy více. Vyplývá to z údajů, které zveřejnily Asociace českých nábytkářů, společnost Apicon a Český statistický úřad. Vývoz nábytku měl za rok 2014 finanční objem 21,5 miliardy korun.

„Přestože jde o téměř skokové navýšení, očekáváme pokračování trendů růstu i pro rok 2015. Hovoří pro to několik faktorů, investice do nábytkářského průmyslu i slabá koruna, která svědčí exportu,“ uvádí tajemník nábytkářské asociace Tomáš Lukeš.



Obr. 13 Výsledky českého nábytkářského průmyslu (zdroj: www.czechfurniture.com)

Nábytek vyrobený v Česku míří nejčastěji do Německa, na Slovensko a do Francie. Nejvíce se vyvážejí jednotlivé části nábytku a dále kovový a lékařský nábytek. Výsledky českého nábytkářského průmyslu jsou doprovázeny vlažným růstem prodejů na domácím trhu. „Vzhledem k faktu, že dochází k permanentnímu růstu objemu dováženého nábytku ze zahraničí a zároveň se zvyšuje podíl importu na tuzemské spotřebě, je zcela zřejmé, že za pozitivním vývojem na poli výroby stojí exportní úspěšnost českých výrobců nábytku,“ říká Lukeš. Tuzemská výroba se pokouší proti levnému dovozu postavit rostoucí kvalitou a originální design českého nábytku. (Lukeš, 2015)

Největšími importéry nábytku do České republiky jsou zejména velké specializované nábytkářské markety. Na druhou stranu je potřeba říci, že čeští výrobci nábytku dodávají do všech velkých tuzemských specializovaných řetězců. Největší podíl na importu nábytku do ČR mají Polsko 26,54 % a Čína 17,8 %. (AČN, 2015)



Obr. 14 Graf znázorňující hodnoty exportovaného a importovaného nábytku v miliardách Kč

(zdroj: www.czso.cz)

5.1 Přeprava nábytku

Kontejner je obvykle celokovový přepravní prostředek a obal standardních rozměrů a konstrukce. Kontejner svou konstrukcí poskytuje pouze obecnou mechanickou a klimatickou ochranu; zvláštní povaha přepravovaných komodit a jejich obalů vyžaduje zvýšené nároky na nakládku, uložení a dodatečné zajištění a ochranu zboží v kontejneru. Vhodné zabezpečení a ochrana zboží musí zamezit všem negativním vlivům, působícím během pozemní a námořní části přepravy. Zboží v uzavřeném kontejneru neumožňuje během přepravy vizuální kontrolu stavu. Jakmile je zboží uloženo do kontejneru, změna/úprava či doplnění způsobu ukládky jsou obvykle vyloučené. (Rožek, 2007)

Kontejner (a s ním samozřejmě náklad) je během kombinované přepravy do zámoří namáhán a vystavován silám v mnoha směrech, rozsazích a rázech. Během plavby po moři se kontejner naklání do 12 směrů, při železniční dopravě je kontejner na vagonu vystaven rázům s přetížením až 4G a při silniční dopravě jsou známé vlivy způsobené nerovnostmi na silnicích aj. Během přepravy může být zboží v kontejneru vystaveno pravidelnému a intenzivnímu střídání teplot vlivem střídání dne a noci, přechody mezi teplotními pásy apod. To způsobuje změnu tvaru, barvy a vnitřní kvality zboží. V kontejneru je zboží vystaveno vlivům vlhkosti, či je vystaveno projevům vlastností okolního zboží – absorpce pachů, chemické reakce apod. (Rožek, 2007)



Obr. 15 Námořní přístav s přepravou kontejnerů (zdroj: www.air2s.org)

5.2 Teplotní změny během přepravy

Zboží je během přepravy často vystavováno dramatickým klimatickým změnám, vlivem přejezdu přes rozdílná klimatická pásma, ať již na souši či především po moři. K extrémním klimatickým vlivům dochází při nakládce/ vykládce v zimním období a teplotách pod 0 °C spojené s přepravou do/ z tropických oblastí, ale i při přepravách z tropického do mírného pásma. Všechny uzavřené celokovové typy kontejnerů chrání před přímými vnějšími klimatickými vlivy jako déšť, sníh, slaná voda, kapky mořské vody v ovzduší, prach a slunce (teplo a UV paprsky). I když je zboží tímto způsobem chráněno proti vnějším vlivům, uvnitř kontejneru může docházet ke kondenzaci par. Relativní vlhkost v kontejneru je determinována teplotou a vlhkostí vzduchu během nakládky. Zdrojem vlhkosti ale může být samo zboží, balící či pomocný materiál. (Rožek, 2007)

Ke kondenzaci dochází v kolizi poklesu vnitřní teploty s relativní vlhkostí. Vlhkost se nejčastěji kondenzuje na stěnách kontejneru či na obalech zboží. Kondenzovaná vlhkost může v podobě kapek padat ze stropu na zboží. Následkem mohou být poškození typu plíseň, změna barvy zboží, odpadávání či dokonce zhroucené vrstvy obalů aj. Teplota uvnitř kontejneru závisí na vnější teplotě a umístění boxu v lodi. Kontejner může být nadměrně zahříván přímým sluncem v pozici na horní palubě, či temperovanými palivovými nádržemi v podpalubí. I některé komodity mají schopnost vyzařovat teplo. Jako důsledek těchto vlivů může v kontejneru teplota vzduchu dosahovat běžně i 60 °C. Vysoká teplota, vlhkost a slabší výměna vzduchu uvnitř kontejneru způsobují množení hmyzu, hub, plísní, bakterií a jiných mikroorganismů. (Rožek, 2007)



Obr. 16 Přepravovaný nábytek v kontejneru (zdroj: www.usainternationalshipping.com)

6 Působení teploty na lepené spoje

Následující kapitola se zabývá působením teploty na nábytek v interiéru, během přepravy zboží v České republice, ale i mimo hranice Evropské unie. Uvádí získané teplotní údaje z Českého hydrometeorologického ústava, poukazuje na zvýšení dnů s extrémně vysokými teplotami, rovněž uvádí výsledky experimentálního měření během měsíce července v roce 2015. Blíže upřesňuje pojem teplotní odolnost.

6.1 Působení teploty v interiéru

Nábytkové lepené spoje se nejvíce vyskytují v interiéru budov. Zde se nachází různé zdroje, které zatěžují lepené spoje zvýšenými teplotami. Jedná se o zabudované kuchyňské spotřebiče, krby v obývacích pokojích, topná tělesa apod. Toto teplotní namáhání působí místně a převážně po kratší časové úseky. Příkladem může být otevření dvířek od kuchyňské trouby, kdy je pracovní kuchyňská deska vystavena teplotnímu nárazu. Lepené spoje jsou v kuchyni vystaveny prudké změně teplot, která se často opakuje. Čas změny od nejnižší po nejvyšší teplotu je krátký. To způsobuje napětí v lepeném spoji, napětí je tím větší, čím je kratší čas náhlé změny teploty.

6.2 Působení teploty během exportu zboží za hranice EU

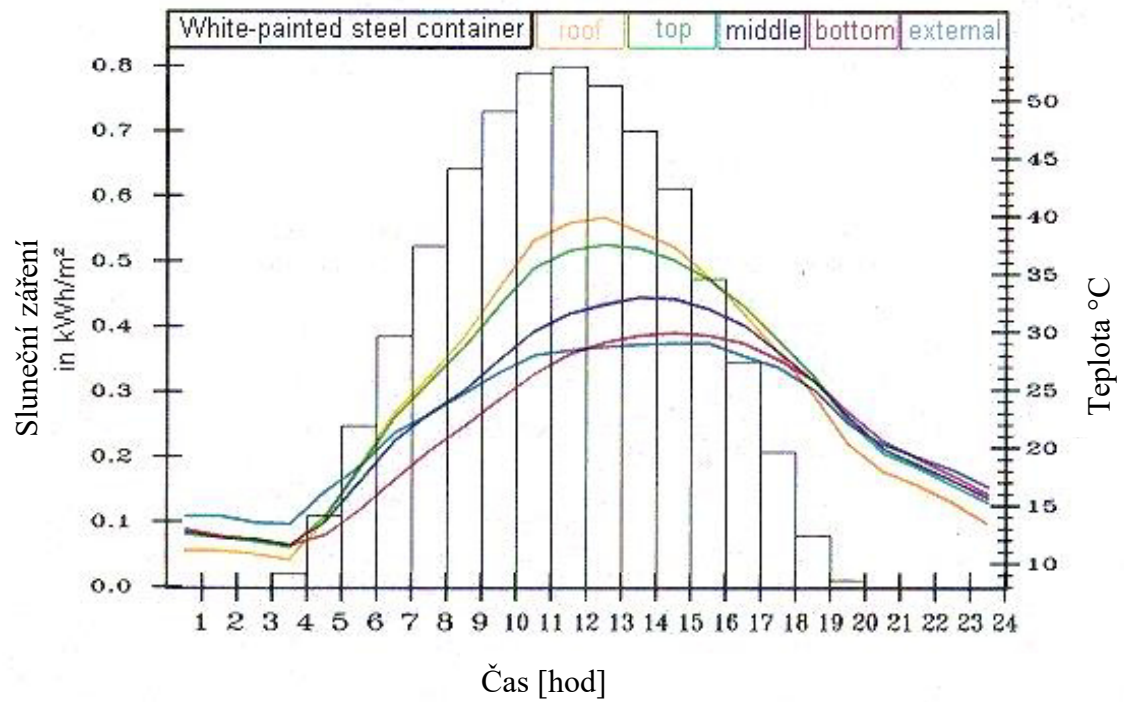
Opakem je tomu u exportu nábytku do zahraničí, kdy se pro přepravu nábytku využívá kombinovaná doprava s přepravními kontejnery. Zde je celá konstrukce nábytku vystavena zvýšeným teplotám společně se zvýšenou relativní vlhkostí vzduchu. Jelikož je nábytek vyráběn převážně ze dřeva či aglomerovaných materiálů, hraje zde významnou roli také teorie sorpce. Hygroskopické materiály se vyznačují sorpčním chováním, které v závislosti na teplotě a obsahu vody ve vzduchu, buď absorbuje (adsorpce) či uvolňuje (desorpce) vodní páry do okolního prostředí až do svého rovnovážného stavu, kdy dojde k tzv. vyrovnání tlaku par. V případě kdy je výrobek s vysokou vlhkostí umístěn v uzavřeném kontejneru, vlivem gradientu koncentrace dochází k uvolňování vodních par do okolního prostředí. Tím se zvyšuje obsah vodních par ve vzduchu, současně roste

i teplota rosného bodu. Pokud teplota v kontejneru klesne pod teplotu rosného bodu, dochází ke kondenzaci par a následnému navlhnutí zboží.

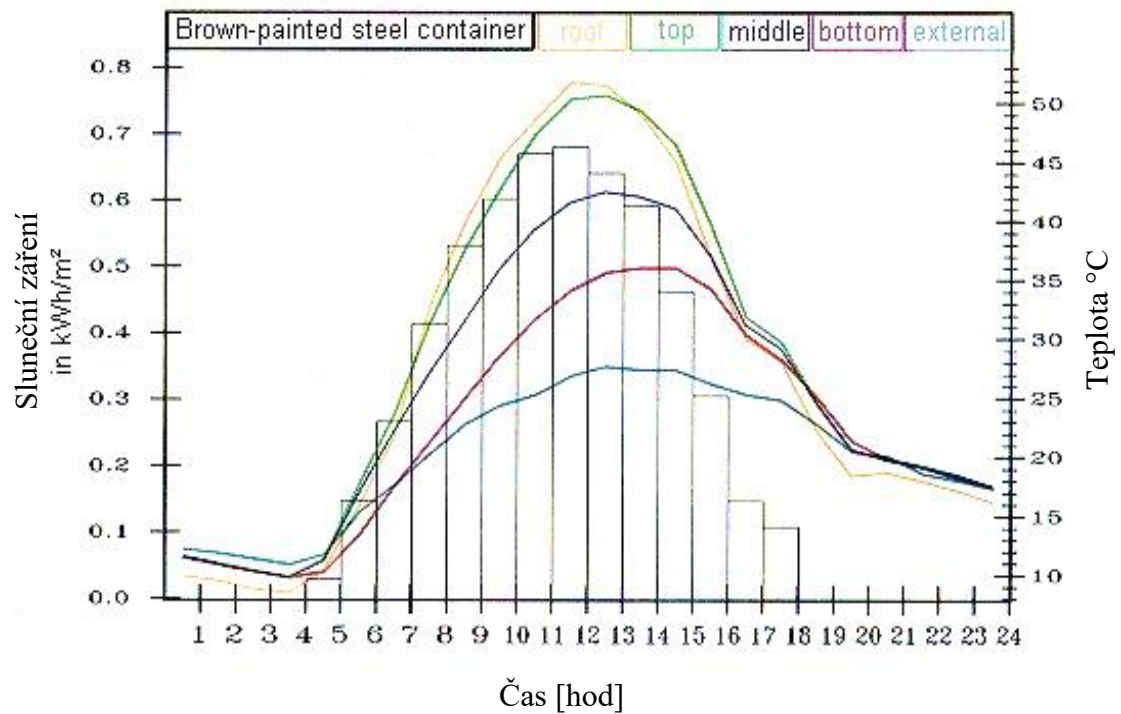
Příkladem je, kdy náklad během dne naakumuluje teplotu, kterou poté postupně vyzářuje do prostoru kontejneru při nočních nízkých teplotách, které ochlazují kovové stěny a strop přepravní jednoty. Takto ohřáté ovzduší uvnitř kontejneru má vyšší teplotu rosného bodu než je teplota stěn a stropu. Dochází ke kondenzaci vodních par na stěny kontejneru a následně zkondenzovaná voda volně kape na přepravovaný náklad, který navlhá. (Sharnow, 1998)

Opačným případem je, kdy zboží je prvně vystaveno nízkým a poté vyšším teplotám. Tvorba kondenzátu oproti předchozímu případu nastává přímo na povrchu zboží, která má nižší teplotu než je teplota rosného bodu teplého vzduchu vnikající do kontejneru netěsnostmi, poškozenými místy nebo při okamžitém otevření kontejneru v přístavišti bez potřebné aklimatizace na lokální podmínky. Takto nashromážděná vlhkost má negativní vliv nejen na dřevěné výrobky nebo na materiály na bázi dřeva, ale také na materiály podléhající korozi. Je doporučeno, aby hygroskopické materiály byly přepravovány o obsahu vlhkosti pod 10 %. (Sharnow, 1998)

Jako další významný a ovlivnitelný faktor, který působí na mikroklima v přepravní jednotce je barva laku na vnější straně kontejneru. Nejvyšších teplot bylo dosaženo u stropu kontejneru a nejnižší teploty se vyskytovaly u podlahy. V průběhu dne je intenzita slunečního záření nejvyšší v odpoledních hodinách, což se projevilo na mikroklimatu přepravní jednotky. Teplota nákladu je odlišná pro různé oblasti kontejneru, kdy u stropu je nejvyšší a postupně se snižuje směrem k podlaze. To je způsobeno slunečními paprsky zářícími převážně na horní části přepravní jednotky. V závislosti na nákladu jsou tedy teploty v oblastech, kde je uskladněno zboží mírnější, než v prázdných místech, které jsou více ovlivněny teplotou stěn kontejneru. Níže uvedené grafy tyto skutečnosti ilustrují. (Hlavatý, 2014)



Obr. 17 Graf znázorňující průběh teplot během dne v kontejneru bílé barvy
(zdroj: www.interdry.wordpress.com)



Obr. 18 Graf znázorňující průběh teplot během dne v kontejneru hnědé barvy
(zdroj: www.interdry.wordpress.com)

6.3 Působení teploty během přepravy v České republice a Evropě

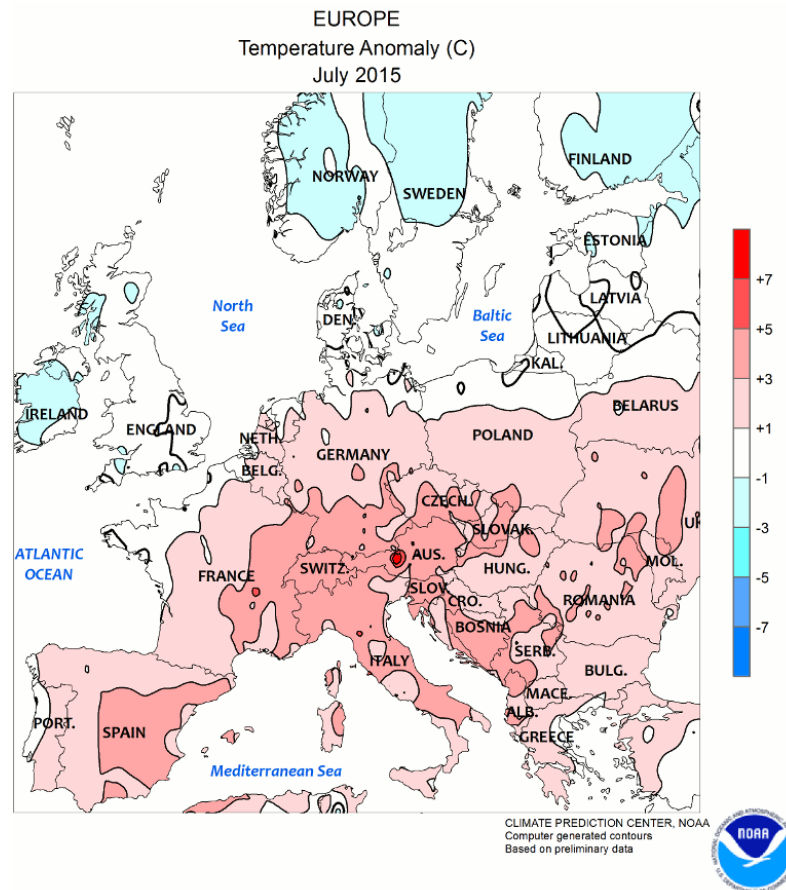
Zvýšení počtu dnů s extrémními teplotami ovlivňuje přepravu nábytku jak v České republice, tak i v Evropě. Z hlediska kvality přepravovaného nábytku je důležité se na tyto nově vzniklé skutečnosti zaměřit při logistickém plánování. Je nutné přihlídnout k specifikovaným vlastnostem tavných lepidel od výrobce. Při přepravě nábytku v letních měsících je možné, že teplota uvnitř kontejneru s tmavou povrchovou barvou se může pohybovat okolo 60 °C a více, přičemž tato teplota působí na nábytek několik hodin, což může způsobit jeho kvalitativní změny. Může docházet k poklesu pevnosti lepených spojů, ke kvalitativním změnám, které mohou vést k nabobtnání aglomerovaného materiálu vlivem absorpce vlhkosti aj. Při zachování kvality exportovaného zboží je vhodné sledovat pomocí teplotních dataloggerů teploty a vlhkosti podmínky během přepravy, případně učinit řadu nápravných opatření.

Rok 2015 byl nejteplejším rokem v historii měření s odchylkou 0,9 stupně Celsia oproti průměru za 20. století (13,9 stupně Celsia). Rekordně vysoké odchylky měsíčních teplot vzduchu byly dosaženy v deseti měsících roku. Vůbec poprvé byla měsíční teplotní odchylka větší než 1 stupeň Celsia. Nad pevninami dosáhla odchylka 1,33 stupně Celsia, což je opět rekord. Na dalších místech v pořadí nejteplejších let jsou roky 2007 a 2010 s odchylkou o 0,25 stupně Celsia nižší. (National Oceanic and Atmospheric Administration, 2016)

Podnebí v České republice je ovlivňováno jak vnitrozemským vlivem východní Evropy (přinášející v zimě mrazivé, v létě horké a suché počasí), tak i zmírňujícím vlivem Atlantického oceánu (přinášející vlhčí počasí se srážkami). Pokud jde o vliv nadmořské výšky, s jejím růstem teplota vzduchu obvykle klesá o 0,6 °C na 100 m. Nejstudenějšími měsíci v roce jsou leden a únor, nejteplejšími červenec a srpen. (ČHMÚ, 2015)

Podle odborníků existuje několik faktorů, které lze označit za příčinu mimořádně horkého léta. Jednou z nich je globální oteplování, které zvyšuje teploty vzduchu dlouhodobě. Dalším faktorem, který odpovídá scénářům klimatických změn, je mimořádně stabilní synoptická situace, do Evropy proniká ze severozápadní Afriky horký a suchý vzduch a slunečný charakter počasí zůstává po řadu dnů i týdnů neměnný. Svým dílem přispívá i extrémní sucho, které omezuje odpařování a tvorbu bouřkové oblačnosti. Nezanedbatelným faktorem by mohlo být i El Niño, tento klimatický jev mění počasí

v různých částech světa, jeho uvažované dopady na počasí v Evropě jsou však zatím málo průkazné a nejisté. (Kukliš, 2016)

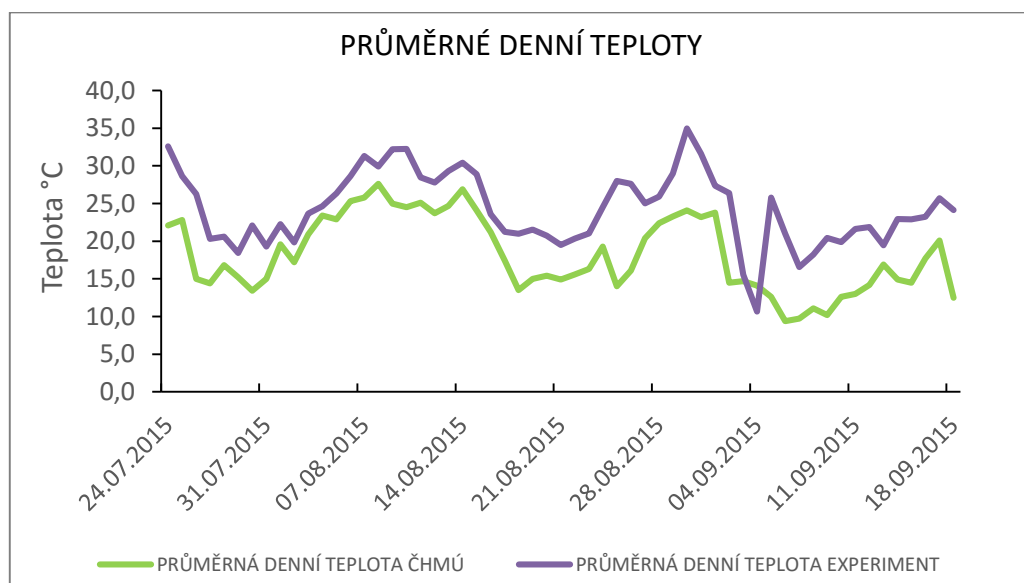


Obr. 19 Vzrůst teplot během července 2015 v Evropě (zdroj: www.noaa.gov)

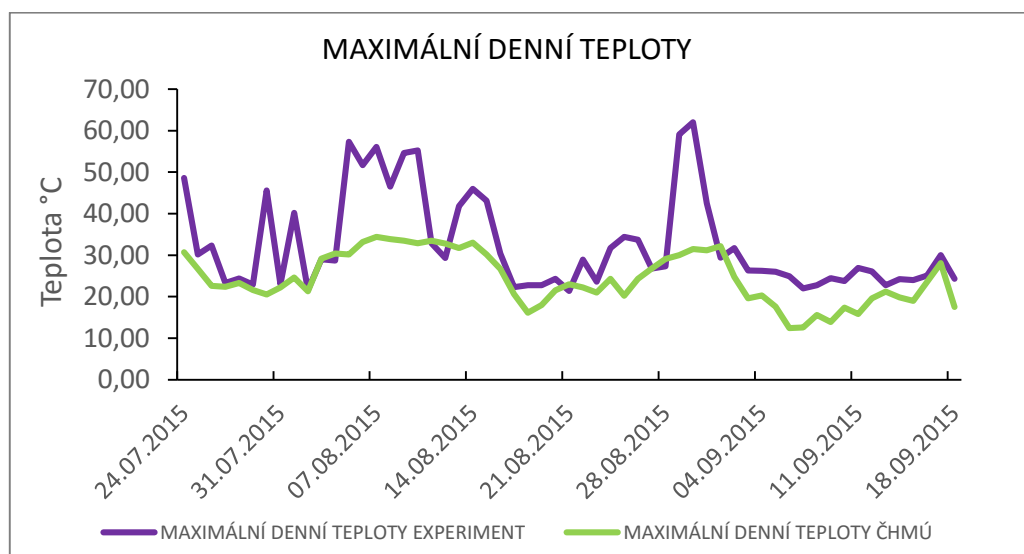
Extrémní teploty sužují většinu Evropy. Ve středu 1. července byla naměřena historicky nejvyšší červencová teplota ve Velké Británii. Na londýnském letišti Heathrow bylo 36,7 stupně Celsia. Tentýž den v Paříži meteorologická stanice v parku Montsouris naměřila 39,7 stupně Celsia, druhou nejvyšší teplotu v historii města. 2. července byla zaznamenána rekordně vysoká červencová teplota v Nizozemsku - v Maastrichtu bylo 38,2 stupně Celsia. (Kukliš, 2016)

Zvýšení počtu dnů s extrémními teplotami je znázorněno na níže uvedených grafech. Data jsou získána z Českého hydrometeorologického ústavu, který má pobočku v Brně na ulici Kroftova, kde také probíhalo měření hydrometeorologickou stanicí. Vyžádána data z ústavu jsou konfrontována s daty z dataloggeru, který zaznamenával

průběh teplot v obci Vatín. Odlišně naměřené průměrné denní teploty se výrazně neliší, jinak je tomu u maximálních teplot během dne. Meteorologická stanice je umístěna ve stínu a měří teplotu vzduchu cca dva metry nad zemí. Vlastní měření je ovlivněno působením slunečního záření. Tento způsob měření byl zvolen záměrně, získaná data více odpovídají reálným podmínkám, kterým je vystaveno zboží uvnitř kontejneru. Na grafech lze pozorovat extrémní vliv slunečního záření, kdy je rozdíl v naměřených teplotách až 30 °C.



Obr. 20 Průměrné denní teploty dle ČHMÚ a experimentálního měření v obci Vatín



Obr. 21 Maximální denní teploty dle ČHMÚ a experimentálního měření v obci Vatín

6.4 Teplotní závislost

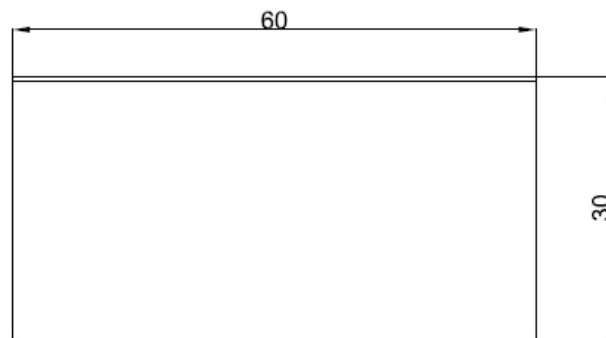
Extrémní charakter teplotní závislosti na pevnosti se vysvětluje tím, že při zvýšení zkušební teploty probíhají dva navzájem si konkurující procesy – snižování pevnosti lepidla a zvyšování jeho neformovatelnosti, přičemž druhý proces způsobuje relaxaci napětí ve vzorku. Extrémní charakter závislosti¹⁴ se nejzřetelněji projevuje v oblasti teploty sklovatění T_g , kde se zvyšuje rychlost relaxačních procesů. Při teplotách nad hodnotou T_g pevnost klesá. Mnoho autorů nesprávně vysvětluje snížení pevnosti spojů při zvýšených a snížených teplotách malou tepelnou odolností, anebo mrazuvzdorností lepidla. Snížení pevnosti může způsobit i tvar spoje. Například při zkouškách spojů ve smyku kroucením (koncentrace napětí tu prakticky neexistuje) pevnost v oblasti teplot pod 0 °C neklesá, v oblasti vysokých teplot se občas snižuje víc jako při překrývaných spojů. Při rovnoměrném odtrhávání má většina vzorků známou koncentraci napětí, což spolu s působením teplotních napětí zapříčiňuje výraznější, nebo méně výrazné extrémy na teplotní závislosti tepelné odolnosti spojů. Zvyšováním koncentrace napětí se extrémní charakter projevuje zřetelněji. Je zřejmé, že teplota, při které se získávají nejvyšší hodnoty pevnosti, nezávisí na způsobu roztrhnutí lepeného spoje. Přidání plastifikátorů, změna podmínek strukturalizace a změna rychlosti působení namáhání působí na lepené spoje analogicky jako teplota. (Frejdin, 1988)

¹⁴ Extrémní závislostí se rozumí závislost, která probíhá na extrémních hodnotách maxima resp. minima. Při malé tloušťce vrstvy lepidla se poloha maxima posouvá do oblasti vyšších teplot.

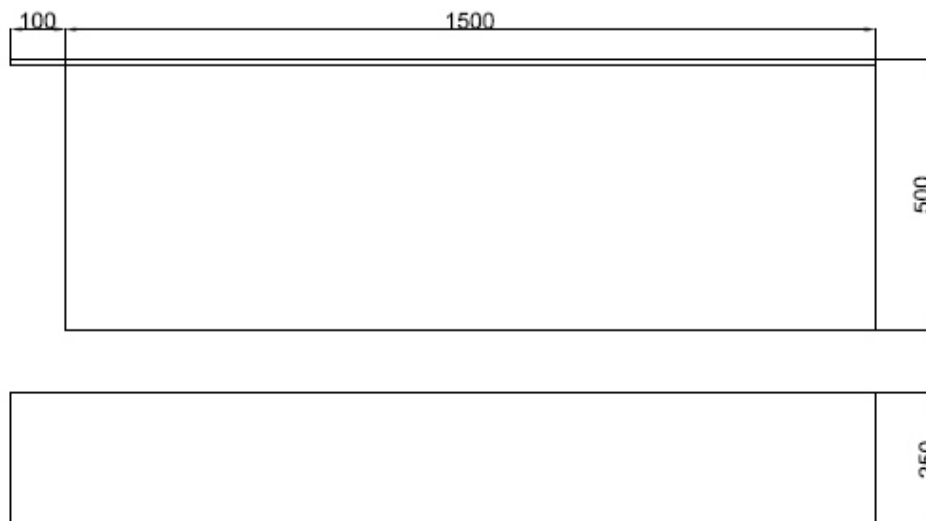
7 Metodika

7.1 Výroba vzorků

Pro měření pevnostních charakteristik polyuretanového lepidla byly zkušební vzorky zhotoveny ve firmě HANÁK NÁBYTEK a.s. Dílce z laminované dřevotřísky byly ošlepeny ABS hranou v tloušťce 1 mm. Pro zkoušku na měření odlupčivosti byly zhotoveny vzorky o délce 150 mm v tloušťce desky 25 mm. Pro zkoušku pevnosti v lepené spáře metodou smykového tlaku pod úhlem 45° byly vzorky vyhotoveny v rozměrech 60 × 35 × 25 mm a opět ošlepeny ABS hranou o tloušťce 1 mm.



Obr. 22 Zkušební vzorek pro zkoušku smykového tlaku pod úhlem 45° (vlastní knihovna)



Obr. 23 Zkušební vzorek pro zkoušku zatěžování ve spáře odlupováním (vlastní knihovna)

7.2 Zkušební metody – experimentální stanovení

7.2.1 Měření teplot v domácích podmínkách

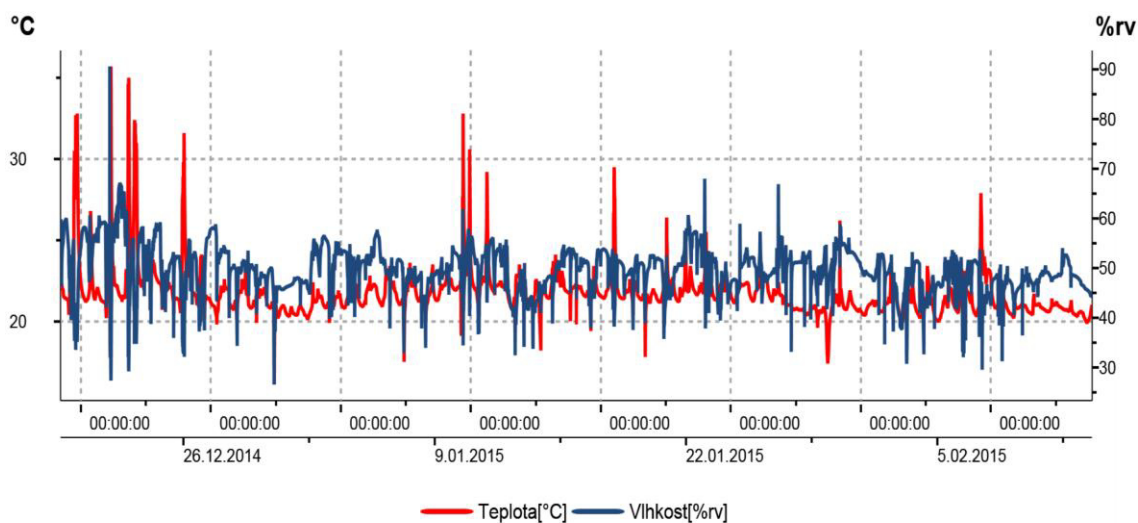
Pro získání přehledu o zvýšených teplotách vyskytující se v blízkosti varných spotřebičů, byl umístěn datalogger u elektrické trouby a varné desky. Jelikož datalogger nenesl teplotu přímo z místa styku s měřeným povrchem, ale teplotu okolí, byly nejvyšší zaznamenané teploty 35 °C. Z toho důvodu byla teplota pracovní desky a spodní strany horních kuchyňských skříněk měřena také dotykovým povrchovým teploměrem. Široká měřicí hlava termočlánku zaručovala velmi rychlou odezvu a vysokou přesnost měření, reakční doba byla cca 5 sekund. Měření probíhalo opakovaně během vaření, kdy byla v provozu varná deska a v kuchyni se vyskytovala také zvýšená vlhkost. Nejvyšší zaznamenaná teplota dotykovým teploměrem Technoterm 9400 byla 39,5 °C.



Obr. 24 Měření povrchové teploty dotykovým teploměrem Technoterm 9400 (vlastní knihovna)



Obr. 25 Umístění dataloggeru v domácnosti (vlastní knihovna)



Obr. 26 Graf znázorňující průběh měření od 26. 12. 2014 do 5. 2. 2015
(vlastní knihovna)

7.2.2 Teplotní zatěžování vzorků, odolnost proti tepelnému nárazu

Lepené výrobky podléhají prudké změně teplot, která se může opakovat. Přitom čas přechodu od nejnižší po nejvyšší teplotu je poměrně krátký. Čím kratší je čas náhlé změny teploty při tepelném nárazu, tím méně se mohou relaxovat tepelná napětí. Při cyklických změnách teplot je charakter napětí vznikající v lepeném spoji analogický charakteru napětí vznikající při působení opakovaných statických a dynamických zatížení. Úměrně zvyšování počtu cyklů roste únava lepidla a pevnost spoje se snižuje.

Cyklické zkoušky při náhlých změnách teploty jsou jedním z nejnáročnějších způsobů teplotních zkoušek lepených spojů. Z hlediska odolnosti je nejnebezpečnější změna ve směru nízkých teplot, protože tuhost lepidla a přepětí vzrůstají, kdežto při zvyšování teploty napětí v lepeném spoji klesají. Zkušební podmínky se však někdy ukazují náročnější, než jsou skutečné podmínky používání. Když při lepení různorodých materiálů zvyšující se napětí významně roste, tepelný náraz může vést k oslabení, anebo dokonce k destrukci lepeného spoje. Odolnost spoje proti tepelnému nárazu se zvyšuje se vzrůstem elasticity lepidla, což lze dosáhnout jeho modifikací. (Frejdin, 1988)

Vzorky byly uloženy do klimatizační komory Incucell, kde byly cyklicky tepelně namáhány od 21. 12. 2015 do 22. 1. 2016. Klimatizační komora simulovala teplotní podmínky v transportním kontejneru pro intermodální dopravu. Aby byly rozdíly teplot

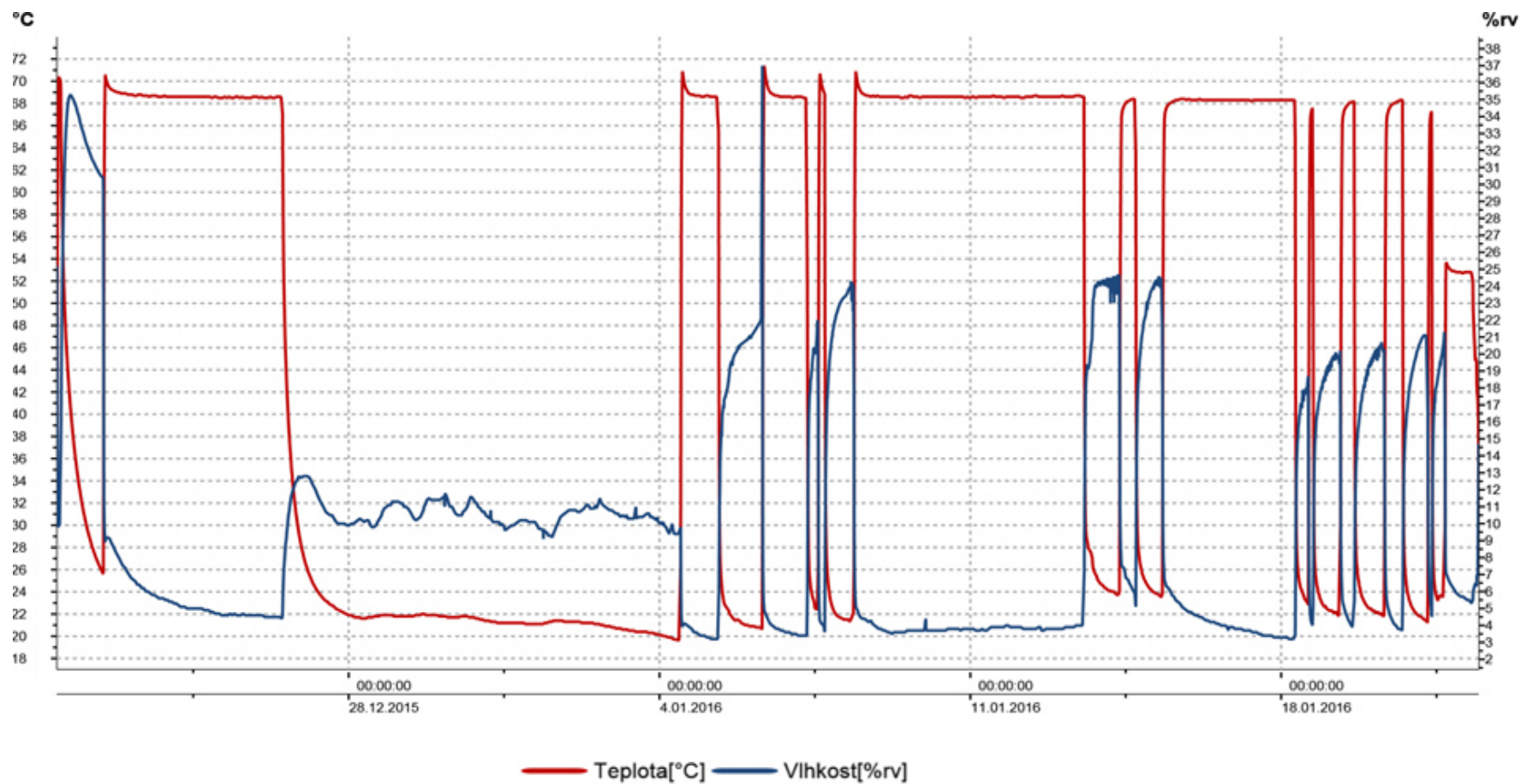
digitálně zaznamenány, byl do komory vložen datalogger, který zaznamenával průběh teplot a relativních vlhkostí vzduchu. Průběh celého procesu byl zpracován v softwaru pro datalogery Testo ComSoft Basic Software 5.0.

Tab. 1 Údaje z dataloggeru umístěného v teplotní komoře (vlastní knihovna)

Název přístroje: Testo 174H 2				
Čas spuštění: 21. 12. 2015	10:04:00	Měřicí kanály: 2		
Čas ukončení: 22. 1. 2016	10:44:00	Naměřené hodnoty: 4613		
	Min.	Max.	Střední hodnota	Mezní hodnoty
Teplota [°C]	19,6	71,4	45,998	-20,0/70,0
Vlhkost [%rv]	3,1	37	9,854	0,0/100,0



Obr. 27 Rozmístění vzorků v teplotní komoře (vlastní knihovna)



Obr. 28 Zaznamenané teploty a relativní vlhkost v klimatizační komoře datalogrem (vlastní hnihovna)

7.3 Zkouška v odlupování

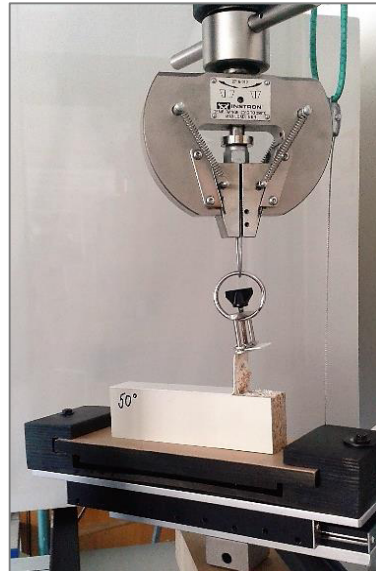
Při zkoušení lepených spojů v odlupování je nevyhnutelné zabezpečit konstantní hodnotu úhlu mezi vektorem zatížení a lepeným spojem. V těchto případech se zabezpečí dobrá reprodukovatelnost výsledků (variační koeficient 2 až 5 %). Je důležité upozornit, že podstatná část namáhání při zkouškách se spotřebuje na deformaci odlupovaného materiálu a ne na překonání vzájemného adhezivního působení. Dodatečná práce na deformaci se mění v závislosti od tloušťky odlupované složky podle extrémní závislosti. Odlupování v režimu relaxace napětí umožňuje získat hodnoty pevnosti, při kterých síla potřebná na deformaci odlupované složky spoje částečně znehodnocuje hodnotu adhezivní pevnosti. Experimentálně, ale i teoreticky se dokázalo, že zatížení potřebné na destrukci se prudce zmenšuje (hyperbolicky) se zvyšováním úhlu odtrhávání (odlupování), přičemž toto odlupování podstatně závisí na tuhosti odlupovaného materiálu. (Frejdin, 1988)

Zkouška se provádí za účelem stanovení odolnosti proti odlupování lepených spojů připravovaných ze dvou adherendů, z nichž jeden je ohebný. Zkouška odlupování pod úhlem 90° je vhodná především pro méně ohebné adherendy, pro které nelze zkoušku pod úhlem 180° použít z důvodu tvorby trhlin v adherendech, praskání nebo delaminace. (ČSN EN 28510-1)

Lepený spoj vzorku ke zkoušce je připravován ze dvou adherendů a hodnoceného lepidla. Adherendy jsou od sebe oddělovány odlupováním rovnoměrnou rychlostí tak, že odlupování začíná kolmo k rovině spoje prostřednictvím odlupované části ohebného adherendu. Trhací zkušební zařízení vyvíjí tahovou sílu s konstantní rychlostí pohybu čelistí. Zařízení musí být vybaveno přípravkem k měření sil a rovněž softwarovým vybavením řídicí jednotky. Lepený povrch vzorku musí mít šířku $25,0 \pm 0,5$ mm a minimální délku 150 mm. Doporučovaná rychlost posuvu čelisti je 50 ± 5 mm/min. (ČSN EN 28510-1)

Vyjádření výsledků se odvíjí ze zápisu síly do grafického vyjádření na délce zkušebního tělesa, přičemž se vyhodnotí průměrná odlupovací síla v N planimetricky proložením přímkou, nebo jiným vhodným způsobem, pokud se požaduje přesnější výstup, spočítá se aritmetický průměr ze středních hodnot špiček a poklesů a rovněž aritmetické průměry z maximálních a minimálních sil. (ČSN EN 28510-1)

Hodnoty maximálního zatížení byly dále graficky a početně zpracovávány. Veškeré dosažené rezultáty byly zpracovány do spojnicových grafů, krabicových grafů a tabulek.



Obr. 29 Průběh zkoušky – odlupovací agregát (vlastní knihovna)

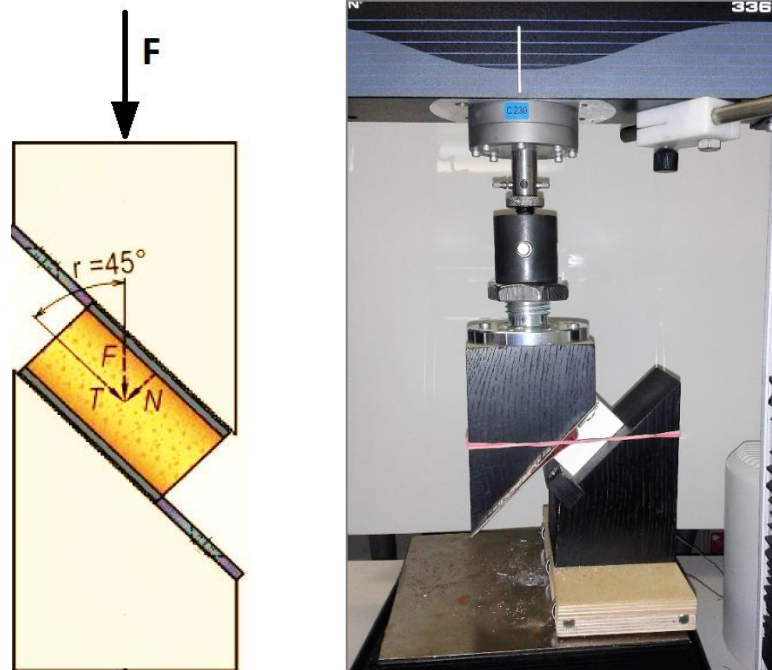
7.4 Zkouška smykového tlaku pod úhlem 45°

Metoda vychází z kombinace normálního napětí σ a smykového napětí τ proti úhlu γ působícího v hodnotě 45° při zatížení tlakem. Pevnost u této metody je vlastnost odolávat silám vycházejícím z kombinace normálního napětí a smykového napětí při zatížení tlakem na ABS hranu, která je nalepena polyuretanovým lepidlem na boční plochu nábytkového dílce. Vyjadřuje se hodnotou napětí v MPa. (Dubovský, 1990)

Průběh zkoušky byl zaznamenáván softwarem Bluehill, který zapisoval maximální pevnost, maximální zatížení, modul pružnosti aj. Hodnoty maximálního zatížení byly dále graficky a početně zpracovávány. Pro hodnoty šikmého smykového napětí bylo nutno použít přepočtový vzorec (1) a dosažené výsledky přepočítat. Veškeré dosažené rezultáty byly zpracovány do spojnicových grafů, krabicových grafů a tabulek.

$$\tau = \frac{F_{max}}{S \times \sqrt{2}} \quad (1)$$

Legenda: τ : smykové napětí [MPa], F_{max} : zatížení [N], S : plocha [mm]



Obr. 30 Agregát pro smykový tlak pod úhlem 45° (vlastní knihovna)



Obr. 31 Detail průběhu zkoušky (vlastní knihovna)

7.5 Použité přístroje a pomůcky

7.5.1 Klimatizační komora Incucell V 11

Klimatizační komora má patentovaný systém proudění vzduchu, které zaručuje rychlé a přesné dosažení zvolené teploty v komoře. Komora je vybavena plynule

nastavitelnou odvětrávací klapkou a vnitřními skleněnými dveřmi. Komora byla využita pro teplotní cyklické namáhání vzorků po dobu jednoho měsíce.



Obr. 32 Klimatizační komora Incucell V 111 (vlastní knihovna)

7.5.2 Teplotní komora INSTRON model 3119-409-22

Teplotní komora s teplotním rozsahem od $-160\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $260\text{ }^{\circ}\text{C}$. Komoru lze namontovat do rámců univerzálních testovacích systémů a provádět v nich tahové, tlakové, ohybové a jiné typy zkoušek při snížených nebo zvýšených teplotách. Komora sloužila během samotného procesu testování při zkoušce na odlupování ABS hrany a rovněž při zkoušce šikmého smyku. Vzorky před odlupováním a před zatěžováním pod úhlem 45° byly vystaveny zvýšeným teplotám.



Obr. 33 Tepelná komora INSTRON model 3119-409-22 (vlastní knihovna)

7.5.3 Trhací stroj INSTRON 3365

Pro testování vzorků byl použit dvousloupový stolní trhací stroj Instron 3365, který slouží k posouzení mechanických vlastností. Stroj se skládá z ocelového rámu a pojízdného příčnicku, který lze osadit čelistmi nebo tlačným břevnem. Technika je řízená mikroprocesorem, pohyb příčnicku je zajištěn stejnosměrným motorem s digitálním řízením polohy. Ovládání zkušebního procesu a vyhodnocení dosažených výsledků experimentu se děje prostřednictvím připojeného počítače se softwarovým vybavením Bluehill verze 2.22.



Obr. 34 Trhací stroj INSTRON 3665 (vlastní knihovna)

7.5.4 Dotykový teploměr Technoterm 9400

Dotykový teploměr pro měření teploty povrchu, měřící hlava teploměru zaručuje rychlou odezvu a vysokou přesnost měření. Přesnost měření je 1 °C. Teploměr byl využit k zaznamenávání teplot v průběhu měření reálných podmínek v domácnosti.



Obr. 35 Dotykový teploměr Technoterm 9400 (vlastní knihovna)

7.5.5 Digitální teploměr Greisinger GTH 1170

Digitální teploměr Greisinger GTH 1170 je určen k laboratorním měřením teploty. Snímače teploty připojené k přístroji umožňují měření teploty na povrchu tělesa. Teploměr zaznamenává do vnitřní paměti mezní hodnoty souboru měření. Přístroj sloužil ke kontrole povrchové teploty vzorků, které byly umístěny v teplotní komoře INSTRON před probíhajícími zkouškami pevnostních charakteristik.



Obr. 36 Digitální teploměr Greisinger GTH 1170 (vlastní knihovna)

7.5.6 Teplotní datalogger Testo 174H

Datalogger testo 174H je vybaven interními senzory, které měří teplotu a vlhkost vzduchu. U vlhkostního senzoru se jedná o dlouhodobě stabilní kapacitní vlhkostní senzor Testo, který pracuje při měření vlhkosti vzduchu s přesností ± 3 % rv. Interní teplotní senzor NTC je s přesností ± 0.5 °C velmi precizní a pokryje měřicí rozsah od -20 do 70 °C. Datalogger byl umístěn v klimatizační komoře pro zaznamenávání teplot během teplotního cyklického namáhání vzorků.



Obr. 37 Teplotní datalogger Testo 174H (zdroj: www.testo.cz)

8 Výsledky

Následující kapitola obsahuje naměřené výsledky laboratorních zkoušek, statistické vyhodnocení a grafické znázornění výsledků. Výstupem jednotlivých zkoušek byly hodnoty v [N], které odpovídaly průměrnému tahovému a maximálnímu tlakovému zatížení testovaných vzorků. Tyto hodnoty byly získány planimetrickým proložením přímkou z grafického zápisu softwaru Bluehill po zkoušce individuálních vzorků. Hodnoty maximálního tlakového zatížení vzorků bylo nutno přepočítat pomocí vzorce (1) pro získání hodnot smykového napětí. Veškeré výsledky jsou rozděleny do tabulek dle cyklovaných a necyklovaných vzorků, které jsou následně mezi sebou srovnány.

Kapitola zahrnuje i fotografickou dokumentaci, která se skládá z fotografií cyklovaných a necyklovaných vzorků, které byly podrobeny zkoušce v odlupování a zkoušce smykového tlaku pod úhlem 45°. Vždy je vyfotografován jeden zástupce z každé kategorie teplot. Fotografická dokumentace slouží k znázornění chování spoje lepeného tavným polyuretanovým lepidlem, který odolává působení zvýšených teplot.

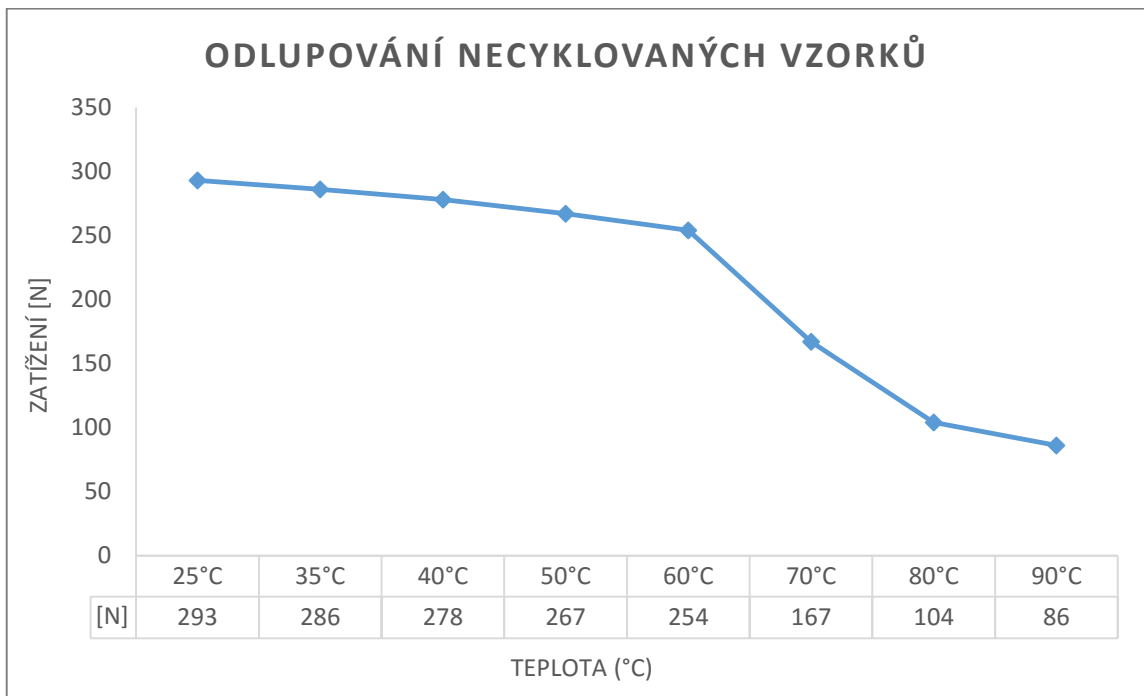
8.1 Zkouška ČSN EN 28510-1 Lepidla – Zkouška v odlupování zkušebního tělesa z ohebného a tuhého adherendu – Část 1: Odlupování pod úhlem 90 stupňů

Tab. 2 Maximální hodnoty napětí vzorků podrobených zkoušce odlupování

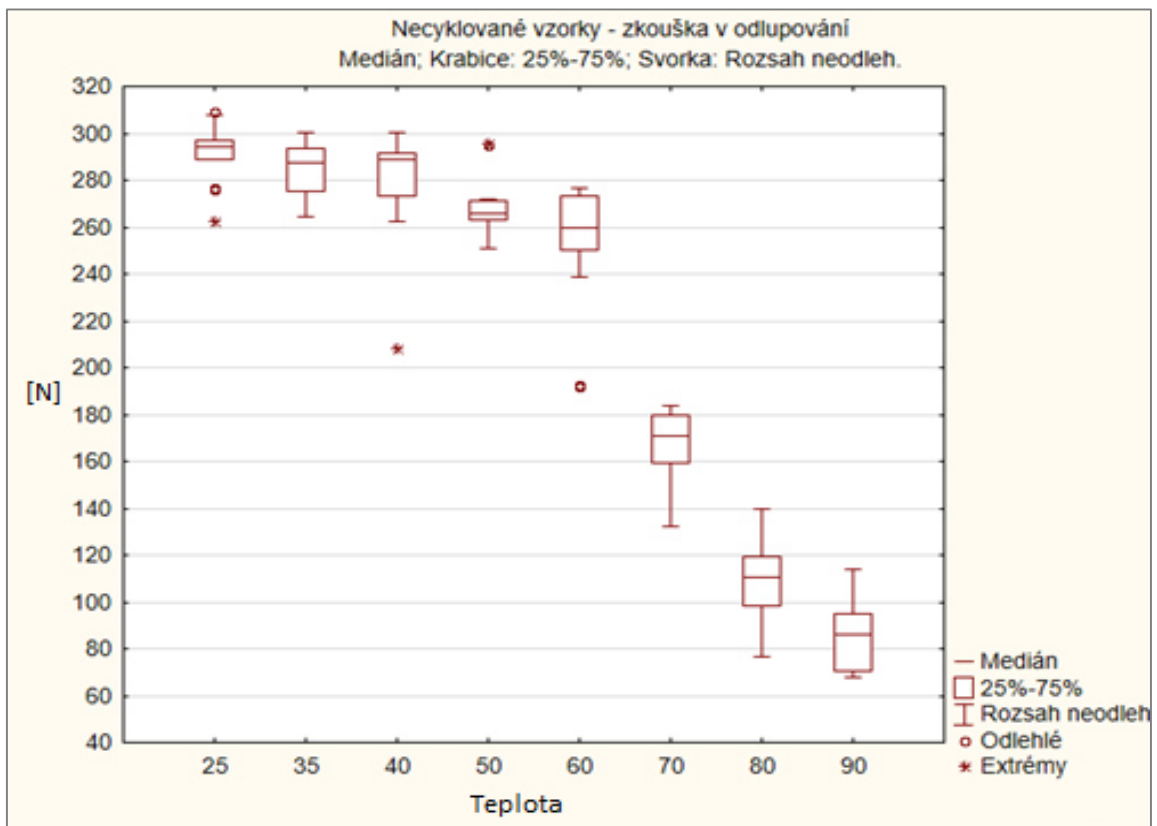
NECYKLOVANÉ VZORKY	Průměr zatížení při průměrné hodnotě (5 špičky + poklesy) [N]							
	25°	35°	40°	50°	60°	70°	80°	90°
1	308,94836	275,59346	262,67245	295,67661	275,86174	159,93065	76,49211	69,07491
2	295,13918	293,74773	208,32606	265,78598	276,47385	182,64395	78,66308	113,6316
3	262,09242	299,37056	273,58796	265,73288	270,02468	169,35642	112,36598	94,95096
4	296,34853	300,01932	289,6547	259,27864	273,48318	172,54683	115,98746	69,25687
5	276,54853	288,46597	290,5871	265,85105	192,15567	145,5367	120,74651	80,63214
6	293,23988	264,65978	300,3667	270,32544	250,61736	132,68971	100,32164	82,31654
7	289,59232	273,65981	281,12467	251,10145	249,95425	179,65477	78,63211	86,36541
8	296,54681	285,65846	293,6987	271,37424	253,65345	183,36543	98,65771	92,65487
9	303,56988	286,54892	288,31226	264,99185	239,73322	164,58797	119,12478	70,36541
10	307,65144	291,58672	291,87312	266,66084	259,53208	179,59876	139,82364	96,36547
11	276,55853	275,87966	262,66243	295,64213	275,89771	159,44685	106,85479	69,07551
12	293,23936	292,84773	208,32617	265,78523	276,00385	181,98795	98,12547	113,6246
13	295,13918	299,50056	273,12796	265,61288	270,99468	169,36541	113,36228	94,95116
14	262,19342	300,22287	289,6647	258,26814	273,43548	172,03215	115,98226	68,05687
15	296,34443	288,45397	291,00171	265,05101	192,31567	146,00367	121,00651	80,93217
16	296,84671	276,52346	300,12367	271,31514	250,61367	132,23142	100,32556	82,31987
17	303,56962	293,98773	280,12463	251,40146	249,68741	179,0037	79,00211	86,22541
18	296,34853	264,32145	293,7985	271,17524	253,36457	183,86421	98,66772	92,65027
19	276,54123	273,88781	288,31236	263,09185	238,76871	163,99797	119,12422	70,36691
20	293,23546	299,65748	291,65872	266,36081	259,53211	178,99871	138,99364	97,00547
21	289,15648	300,11931	300,36672	294,60013	249,90314	179,59876	78,63211	86,36221
22	276,54546	288,4246	281,12467	265,99523	253,65687	159,22684	98,22771	92,65337
23	293,28796	264,66678	293,6987	265,61338	239,76987	181,44214	119,12448	71,38841
24	289,63687	273,75981	288,31226	258,26284	259,53218	169,22659	139,82321	96,26847
25	296,78781	285,65266	291,87312	265,85108	275,98765	172,03287	97,11479	69,07463
26	303,58748	286,74897	262,67684	271,31334	276,22314	146,13587	108,33547	113,6319
27	307,87944	291,98763	208,32617	251,45846	271,53218	133,03541	113,96221	94,95124
28	296,11853	275,99127	273,13366	271,77521	276,32146	179,9937	115,91326	69,25897
29	276,27123	292,88773	289,68237	263,09087	270,12214	183,86678	138,01364	80,6324
30	293,27846	273,55923	290,34171	265,05879	273,43246	163,43197	108,63301	113,6311
Průměr	291,40812	285,27971	277,95136	267,45007	257,61948	166,82781	108,33465	86,6225
Maximum	308,94836	300,22287	300,36672	295,67661	276,47385	183,86678	139,82364	113,6319
Minimum	262,09242	264,32145	208,32606	251,10145	192,15567	132,23142	76,49211	68,05687
Medián	294,21357	287,58678	288,98353	265,78561	259,53215	170,69878	110,4995	86,29381
Směrodatná odchylka	12,040147	11,283087	25,410201	10,817598	21,379061	15,934531	18,151857	14,49613

Tab. 3 Maximální hodnoty napětí vzorků podrobených zkoušce odlupování

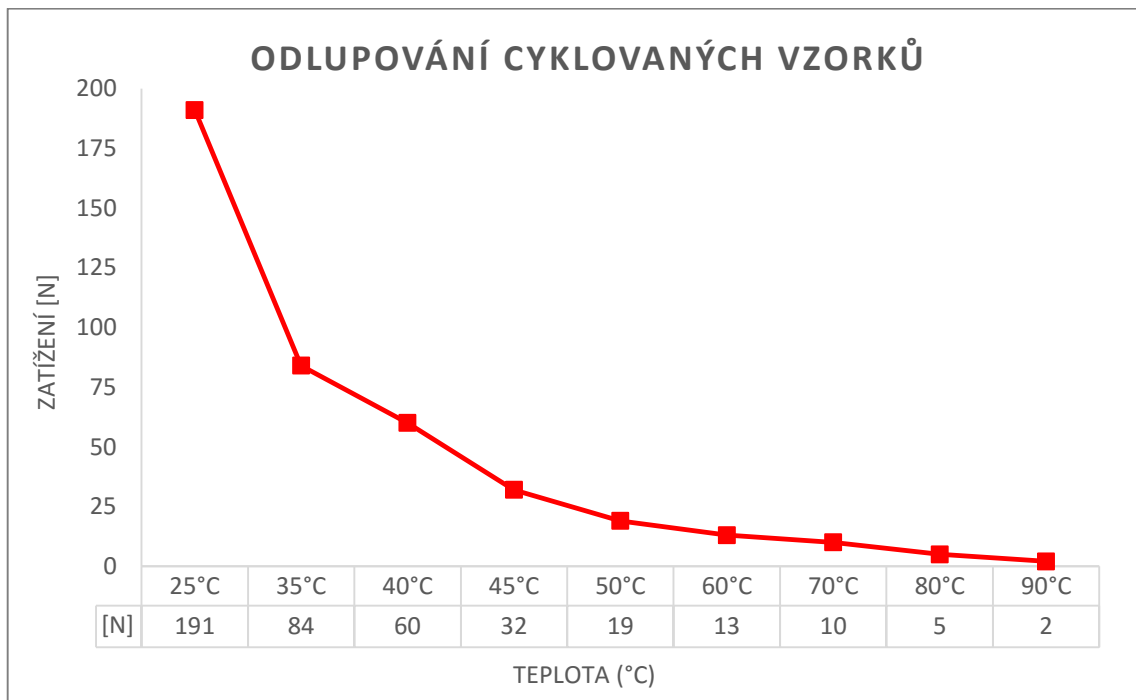
CYKLOVANÉ VZORKY	Průměr zatížení při průměrné hodnotě (5 špičky + poklesy)[N]								
	25°	35°	40°	45°	50°	60°	70°	80°	90°
1	199,14594	68,83715	77,97654	27,41876	11,68474	16,48994	16,85039	4,67115	0,99897
2	208,35499	54,92809	41,35563	14,09373	14,36396	16,89491	11,94776	5,65982	2,88384
3	199,68325	82,32592	66,74168	20,93529	7,63824	9,27717	16,22389	4,65987	0,998746
4	177,52247	83,05474	131,2806	29,02338	16,65987	13,77765	8,15659	6,65484	1,19875
5	165,50072	70,17149	18,44465	29,01602	23,32654	8,84119	6,12033	4,65897	2,31564
6	189,98743	90,36547	65,47197	11,58513	25,36587	15,36546	7,36587	3,36598	2,14786
7	169,36547	85,36741	40,21645	16,59704	18,36587	12,65874	12,26547	5,6879	1,16985
8	196,36541	81,21497	39,36547	69,02027	29,65547	9,62354	6,36541	5,32641	0,89763
9	207,55489	57,31475	56,31546	36,48591	28,98746	13,23654	7,96548	4,65281	2,03641
10	203,36547	69,21547	62,32154	60,36634	20,32154	16,36548	6,34872	4,21584	0,69875
11	200,94594	55,23809	67,22654	29,58794	20,68411	15,89994	17,22039	5,98312	0,99899
12	208,00439	102,3229	41,35161	12,69813	12,36388	16,23191	14,23176	5,01254	2,65781
13	197,11325	83,05334	68,74133	16,87401	7,94224	10,01717	16,22031	4,65965	0,98763
14	177,12358	75,67449	131,2716	69,03547	17,34787	13,84765	9,01574	6,21453	1,28873
15	166,53672	99,36547	19,01465	37,78191	21,32204	9,58719	6,98452	4,68797	2,31634
16	188,92143	95,36741	66,64197	61,32734	25,16522	15,36987	8,33217	4,21065	2,14632
17	179,32147	83,21248	41,31645	28,43216	18,00587	14,77874	12,89747	5,68465	2,16931
18	196,36548	57,31201	49,98147	18,21453	29,12476	9,24154	7,98741	5,98741	1,12763
19	209,51482	69,21588	66,12331	28,94129	29,12346	14,11254	8,89548	4,66587	2,03546
20	204,38717	65,22009	63,61012	29,34738	18,36587	15,22548	6,55882	4,68713	0,71874
21	196,36227	112,3129	75,00972	29,39874	26,11547	15,40904	16,13031	4,67325	0,95462
22	208,14289	88,32511	41,21315	14,62513	27,98284	16,25391	11,94231	4,36214	2,67812
23	203,26584	83,05687	39,32107	16,06701	22,98254	11,83717	15,98383	4,98725	0,68746
24	200,15874	107,1785	77,21146	70,92028	13,68433	13,24587	8,45612	6,68721	2,03215
25	208,00218	85,22801	62,88154	38,20591	14,36326	9,51219	6,12512	4,01654	2,54164
26	198,13325	112,456	79,03154	14,02138	8,61124	15,36987	7,84613	4,36598	2,42386
27	177,55358	108,4451	40,08715	20,30874	17,65637	12,65213	13,44547	5,03289	1,30185
28	176,54172	89,31287	66,64712	29,02356	23,32613	10,02354	7,96541	5,98413	0,98763
29	187,91243	100,1763	88,36541	29,01365	25,61287	13,23742	6,84631	4,65762	2,50141
30	179,32214	107,8724	22,01565	69,08741	19,36599	16,36212	6,34563	4,29632	0,94875
Průměr	192,68251	84,10473	60,21843	32,58179	19,85053	13,35820	10,30135	5,01368	1,62836
Maximum	209,51482	112,456	131,2806	70,92028	29,65547	16,89491	17,22039	6,68721	2,88384
Minimum	165,50072	54,92809	18,44465	11,58513	7,63824	8,84119	6,12033	3,36598	0,68746
Medián	196,73937	83,13468	63,24583	29,01484	19,84377	13,81265	8,39415	4,68019	1,29529
Směrodatná odchylka	13,48500	17,08821	26,15930	18,60235	6,46391	2,63879	3,80144	0,79029	0,71046



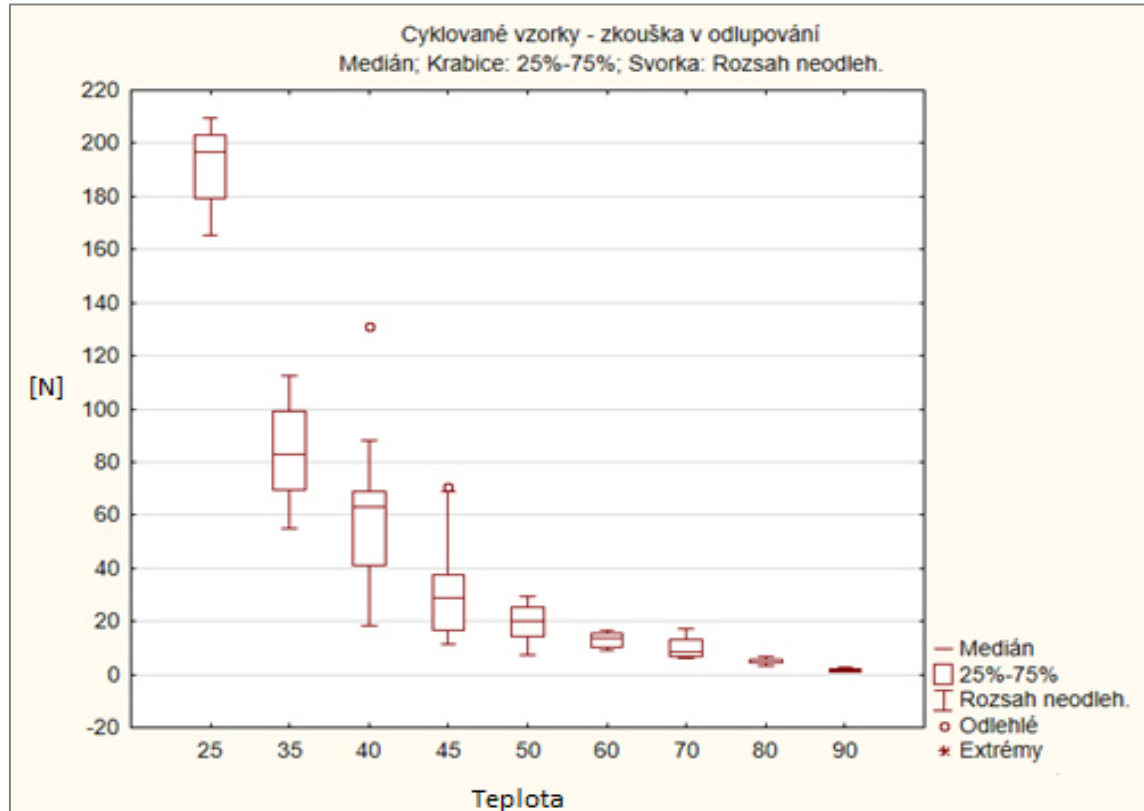
Obr. 38 Křivka grafu zobrazuje klesající hodnoty zatížení se zvyšující se teplotou



Obr. 39 Krabicový graf pro necyklované vzorky



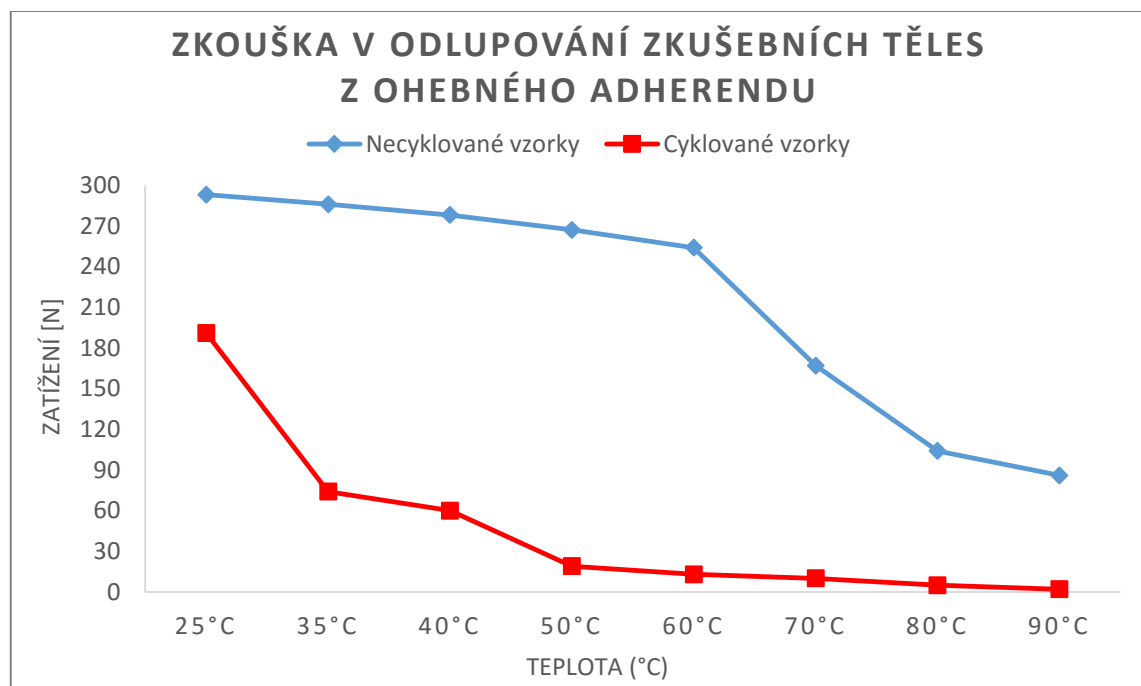
Obr. 40 Křivka grafu zobrazuje klesající hodnoty zatížení se zvyšující se teplotou



Obr. 41 Krabicový graf pro cyklované vzorky

Tab. 4 Porovnání hodnot zatížení mezi cyklovanými a necyklovanými vzorky v závislosti na teplotě

Teplota	Necyklované vzorky [N]	Procentuální snížení	Cyklované vzorky [N]	Procentuální snížení
25°C	293	0	191	0
35°C	286	2,39 %	74	61,26 %
40°C	278	5,12 %	60	68,59 %
50°C	267	8,87 %	19	90,05 %
60°C	254	13,31 %	13	93,19 %
70°C	167	43,00 %	10	94,76 %
80°C	104	64,51 %	5	97,38 %
90°C	86	70,65 %	2	98,95 %



Obr. 42 Srovnání zatížení cyklovaných a necyklovaných vzorků

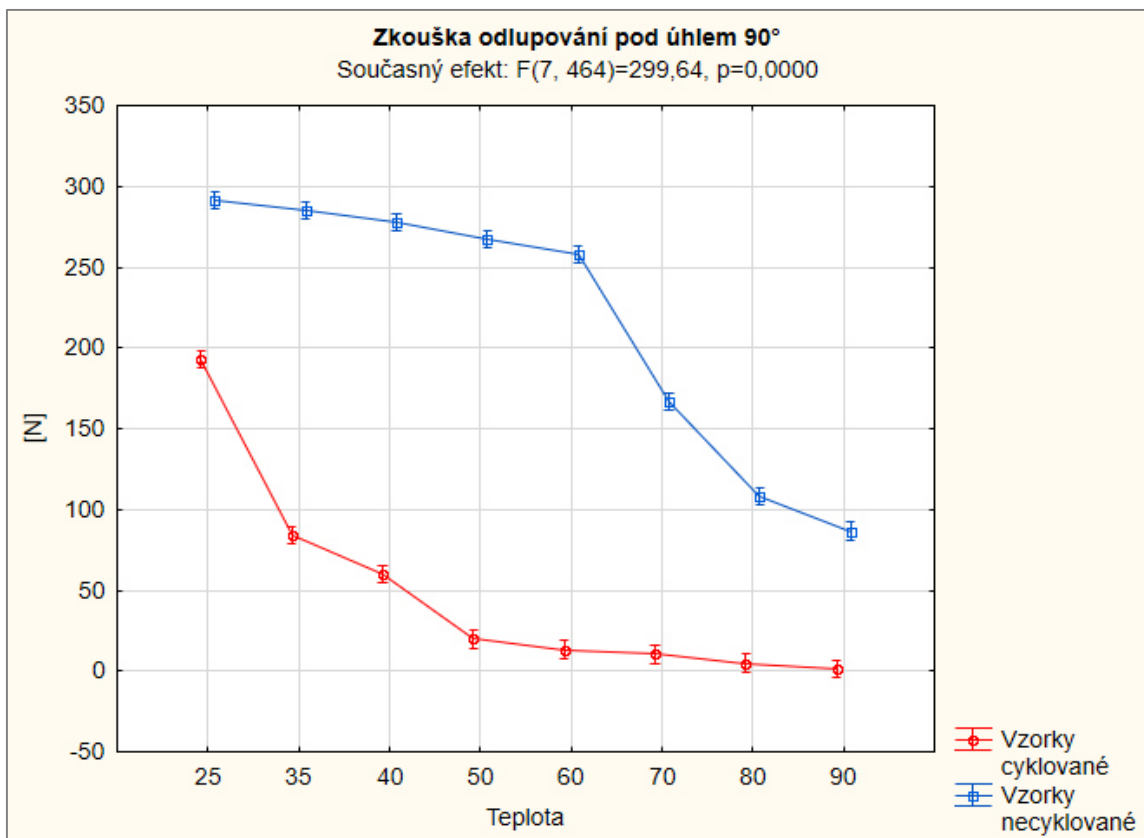
Tab. 5 Výsledky testu vícefaktorové ANOVY

Efekt	Jednorozměrné testy významnosti pro [N] (anova cyklovane odlup) Sigma-omezená parametrizace Dekompozice efektivní hypotézy				
	SC	Stupně volnosti	PC	F	p
Abs. člen	8495920	1	8495920	37457,62	0,00
Vzorky	3439173	1	3439173	15162,95	0,00
Teplota	1901011	7	271573	1197,34	0,00
Vzorky*Teplota	475746	7	67964	299,64	0,00
Chyba	105242	464	227		

Tab. 6 Test mnohonásobného porovnání zobrazující srovnatelné skupiny dle teplot

Tukeyův HSD test; proměnná [N] (anova cyklovane odlup)
 Homogenní skupiny, alfa = ,05000 (Neúplné vyhledávání)
 Chyba: meziskup. PČ = 226,81, sv = 464,00

Vzorky	Teplota	[N] Průměr	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
cyklované	90	1,6284	****										
cyklované	80	5,0137	****										
cyklované	70	10,3014	****	****									
cyklované	60	13,3582	****	****									
cyklované	50	19,8505		****									
cyklované	40	60,2184			****								
cyklované	35	84,1047				****							
necyklované	90	86,6225				****							
necyklované	80	108,3346					****						
necyklované	70	166,8278						****					
cyklované	25	192,6825							****				
necyklované	60	257,6195								****			
necyklované	50	267,4501									****		
necyklované	40	277,9514										****	
necyklované	35	285,2797											****
necyklované	25	291,4081											****



Obr. 43 Graf vícefaktorové ANOVY pro zkoušku odlupování

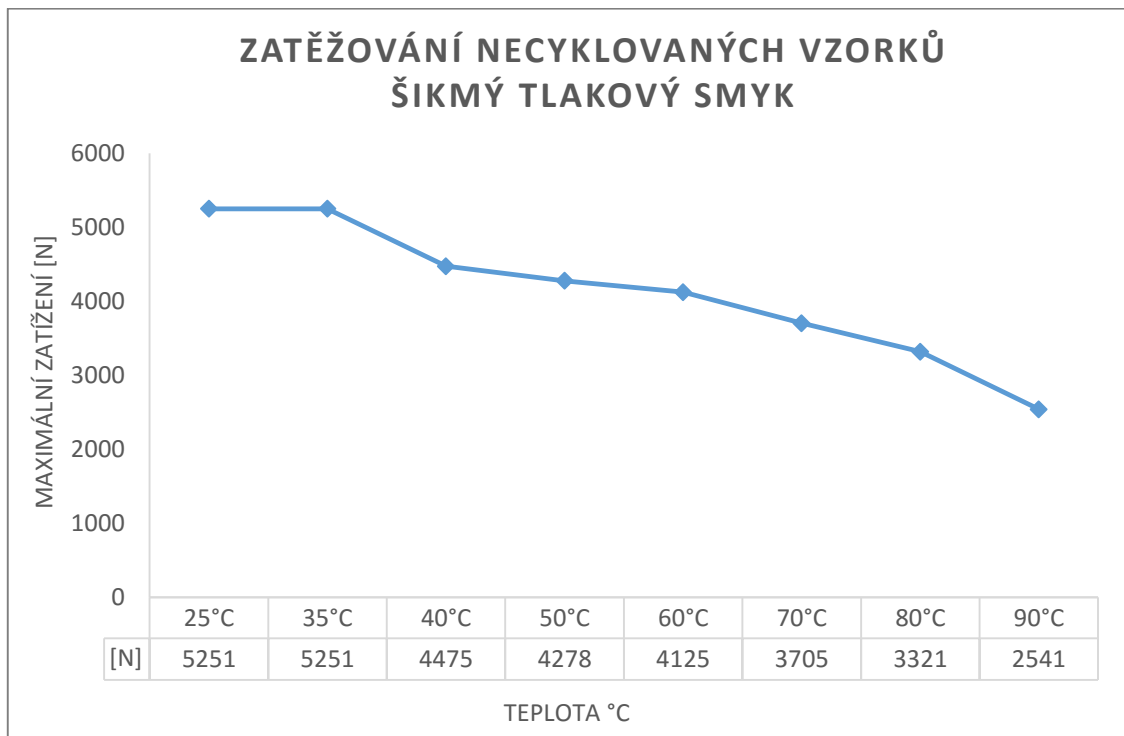
8.2 Zkouška smykového tlaku pod úhlem 45°

Tab. 7 Hodnoty maximálního zatížení vzorků u metody smykového tlaku pod úhlem 45°

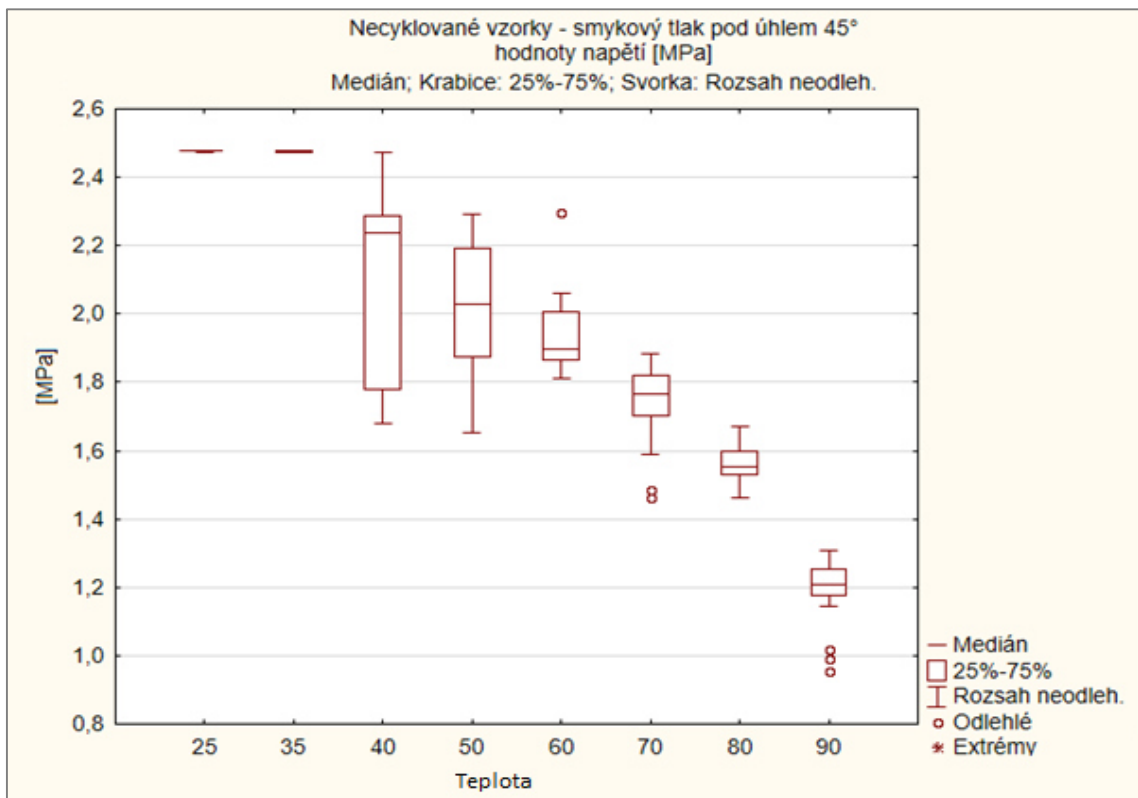
NECYKLOVANÉ VZORKY	Maximální zatížení [N]							
	25°	35°	40°	50°	60°	70°	80°	90°
1	5251,05664	5251,8481	4957,75684	4343,98745	4350,17334	3997,70825	3285,03052	2770,62036
2	5251,34424	5250,7651	5250,16113	4639,65478	4875,45508	3610,00635	3377,64941	2588,72876
3	5251,78076	5251,8887	4760,66113	4741,13621	3953,71582	3911,27734	3410,88867	2658,32651
4	5252,72119	5250,5772	3767,54443	3536,49659	4254,18167	3842,86621	3201,09717	2548,45656
5	5251,88281	5251,5786	4443,36238	4654,07031	4350,17334	3697,63215	3105,56312	2750,31524
6	5251,15664	5250,9382	4756,19531	3506,69148	4375,62508	3600,36231	3365,84462	2563,96145
7	5251,38464	5250,3621	4831,15381	4037,63114	3953,61438	3819,15484	3488,82136	2486,32145
8	5251,78076	5250,8987	3578,41699	4712,23013	4005,11677	3642,86321	3231,69542	2601,98674
9	5252,72143	5250,4122	4714,07031	4723,23641	3950,87424	3097,96325	3241,36214	2100,58416
10	5252,89283	5251,6787	3598,68848	3632,50123	3875,89508	3540,23635	3345,87412	2528,72533
11			4937,98714	4373,33963	3983,71231	3411,28734	3499,86367	2666,36341
12			5212,23013	4650,09587	4244,69852	3652,86966	3254,09632	2589,46571
13			4769,20113	4635,74508	4361,17624	3907,65425	3235,63215	2750,86954
14			3778,50323	3753,02582	4869,36501	3584,54123	3267,63654	2505,90563
15			4473,3364	4454,18007	3969,21482	3991,26334	3465,03267	2496,50654
16			4750,09522	4150,23654	4102,99161	3792,86698	3289,56117	2608,98584
17			4885,20381	4265,12548	4050,17234	3987,99825	3203,54487	2568,78691
18			3596,41569	3982,74128	4175,63012	3808,36635	3389,03214	2739,36314
19			4726,07601	4000,18697	3953,61631	3781,65841	3474,36541	2563,45145
20			3603,66318	3959,80365	4001,13652	3842,55416	3249,60322	2433,12548
21			4959,73624	3775,89654	3932,87231	3927,89423	3241,74124	2669,10274
22			5203,16193	4837,22711	3844,83215	3618,66541	3309,54123	2156,56586
23			4736,62313	4212,23063	3962,71693	3946,25654	3541,65488	2028,72579
24			3791,54873	4839,19113	4070,70852	3812,86411	3257,12541	2589,36123
25			4483,96223	3638,36323	4102,99161	3367,78412	3299,02117	2517,19874
26			4853,19321	4483,33564	3850,17282	3610,31527	3274,03214	2670,41548
27			4798,15632	4778,36522	4324,36541	3711,63152	3299,87414	2507,41025
28			3567,41314	4863,78508	3953,66954	3632,63221	3484,36632	2497,69847
29			4767,56131	3973,69582	4101,33252	3151,27251	3253,74256	2496,69554
30			3698,68462	4212,00167	3953,36211	3863,86521	3289,98562	2600,63541
Průměr	5251,87219	5251,09476	4475,02545	4278,87361	4125,11875	3705,47705	3321,10931	2541,82199
Maximum	5252,89283	5251,8887	5250,16113	4863,78508	4875,45508	3997,70825	3541,65488	2770,62036
Minimum	5251,05664	5250,3621	3567,41314	3506,69148	3844,83215	3097,96325	3105,56312	2028,72579
Medián	5251,78076	5250,9185	4743,35918	4304,55647	4027,64456	3746,64497	3289,7734	2566,37418
Směrodatná odchylka	0,64762	0,56702	562,13240	423,75932	255,02613	224,82424	104,61911	172,33455

Tab. 8 Hodnoty maximálního napětí vzorků u metody smykového tlaku pod úhlem 45°

NECYKLOVANÉ VZORKY	Pevnost ve spáře tlakový smyk - napětí τ (Mpa)							
	25°	35°	40°	50°	60°	70°	80°	90°
1	2,47537	2,47574	2,33711	2,04778	2,05069	1,88454	1,54858	1,30608
2	2,47551	2,47523	2,47495	2,18715	2,29831	1,70177	1,59224	1,22034
3	2,47571	2,47576	2,2442	2,23499	1,8638	1,84379	1,60791	1,25315
4	2,47616	2,47515	1,77604	1,66712	2,00544	1,81154	1,50901	1,20135
5	2,47576	2,47562	2,09462	2,19395	2,05069	1,74308	1,46398	1,29651
6	2,47542	2,47532	2,24209	1,65307	2,06269	1,69723	1,58667	1,20866
7	2,47553	2,47504	2,27743	1,90336	1,86375	1,80037	1,64465	1,17206
8	2,47571	2,4753	1,68688	2,22137	1,88803	1,71726	1,52344	1,22659
9	2,47616	2,47507	2,22223	2,22655	1,86246	1,46039	1,52799	0,99022
10	2,47624	2,47567	1,69644	1,71238	1,82711	1,66888	1,57726	1,19205
11			2,32779	2,06161	1,87794	1,6081	1,64985	1,25694
12			2,45707	2,19208	2,00097	1,72198	1,534	1,22069
13			2,24822	2,18531	2,05588	1,84209	1,52529	1,29677
14			1,7812	1,76919	2,29544	1,68977	1,54038	1,1813
15			2,10875	2,09972	1,87111	1,8815	1,63343	1,17686
16			2,23922	1,95644	1,93417	1,78797	1,55071	1,22989
17			2,30291	2,0106	1,90927	1,87996	1,51017	1,21094
18			1,69537	1,87748	1,96841	1,79528	1,59761	1,29135
19			2,22789	1,88571	1,86375	1,78269	1,63783	1,20842
20			1,69878	1,86667	1,88615	1,8114	1,53188	1,14699
21			2,33804	1,77997	1,85397	1,85163	1,52817	1,25823
22			2,45279	2,28029	1,81247	1,70586	1,56013	1,01661
23			2,23287	1,98566	1,86804	1,86028	1,66955	0,95635
24			1,78735	2,28122	1,91895	1,7974	1,53542	1,22064
25			2,11376	1,71514	1,93417	1,58759	1,55517	1,18662
26			2,28782	2,11346	1,81499	1,70192	1,54339	1,25885
27			2,26187	2,25254	2,03853	1,74968	1,55558	1,182
28			1,68169	2,29281	1,86378	1,71244	1,64255	1,17743
29			2,24745	1,87322	1,93339	1,48552	1,53383	1,17695
30			1,74358	1,98556	1,86363	1,82144	1,55091	1,22595
Průměr	2,47576	2,47539	2,10955	2,01708	1,94460	1,74678	1,56559	1,19823
Maximum	2,47624	2,47576	2,47495	2,29281	2,29831	1,88454	1,66955	1,30608
Minimum	2,47537	2,47504	1,68169	1,65307	1,81247	1,46039	1,46398	0,95635
Medián	2,47571	2,47531	2,23604	2,02919	1,89865	1,76619	1,55081	1,20980
Směrodatná odchylka	0,00031	0,00027	0,26499	0,19976	0,12022	0,10598	0,04932	0,08124



Obr. 44 Graf vykreslující klesající hodnoty zatížení se zvyšující se teplotou



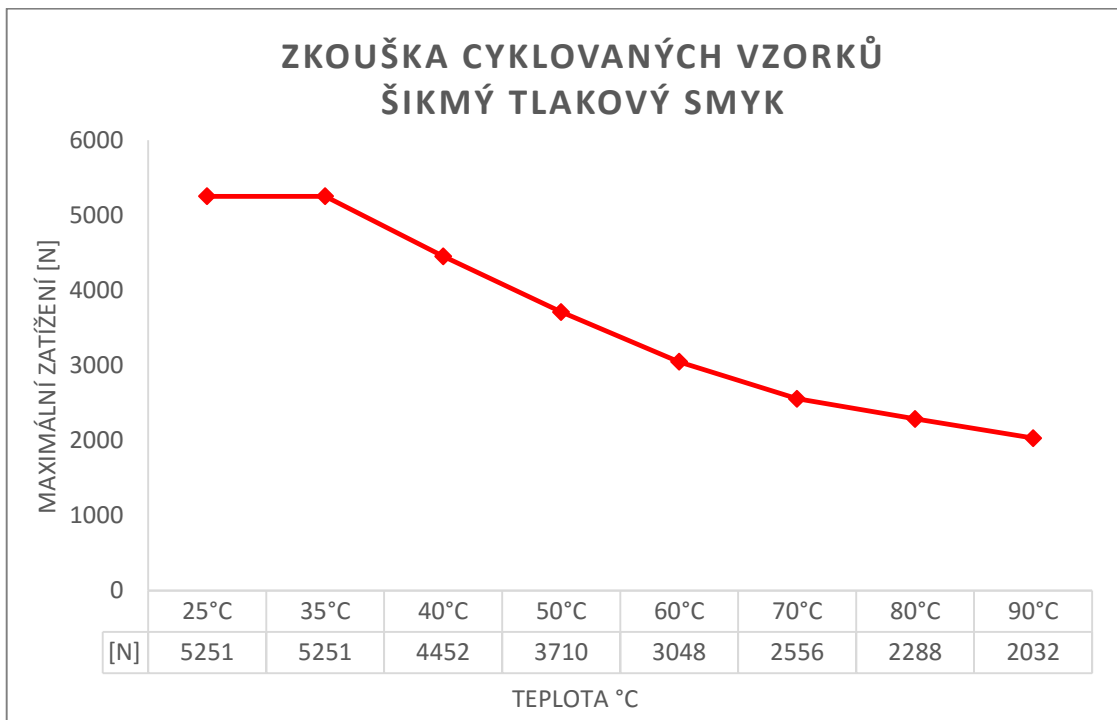
Obr. 45 Krabicový graf pro necyklované vzorky

Tab. 9 Hodnoty maximálního zatížení vzorků u metody smykového tlaku pod úhlem 45°

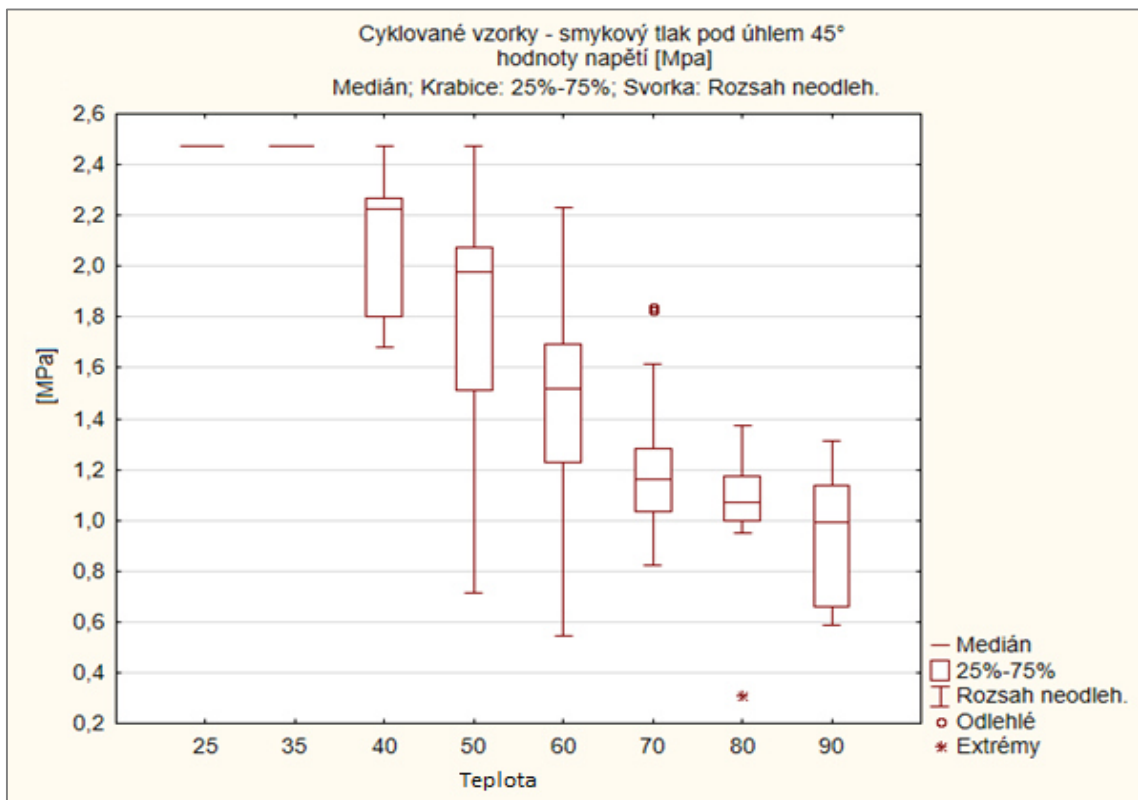
CYKLOVANÉ VZORKY	Maximální zatížení [N]							
	25°	35°	40°	50°	60°	70°	80°	90°
1	5251,0566	5251,8481	4957,7568	5252,70898	3815,01855	2671,1023	2484,53784	1567,05786
2	5251,3442	5250,7651	5250,1611	4199,73731	2596,52515	3894,7119	2435,94702	2631,33138
3	5251,7808	5251,8887	4760,6611	3210,87134	3210,19367	1904,2347	2111,24292	2002,34094
4	5252,7212	5250,5772	3767,5444	4569,00879	4719,98736	3174,1782	2107,89062	2120,50614
5	5251,8828	5251,5786	4443,3624	4397,31201	3340,82528	1998,7833	2720,70947	1242,26843
6	5251,1566	5250,9382	4756,1953	4598,73877	3591,38696	2489,696	2167,87842	2710,01123
7	5251,3846	5250,3621	4831,1538	1520,47876	3892,71021	3429,1465	2091,20801	2337,30322
8	5251,7805	5250,8987	3578,417	4287,21729	3306,26318	2117,6799	2015,84814	1353,09277
9	5252,7321	5250,8962	4714,0703	2611,76587	3237,16846	2609,8745	651,45752	1867,33782
10	5252,8928	5251,6787	3598,6885	3212,10596	2785,79175	2435,3301	2157,08472	2681,96541
11			4466,2341	4232,10398	3017,72388	2540,605	2485,03955	2013,03091
12			4989,2635	4187,32173	2941,93538	2276,8452	2407,93408	2241,92061
13			4769,6632	3210,23134	1679,80066	2333,6565	2910,10327	1263,63254
14			3892,542	3559,03279	2273,42676	1748,3904	2360,52051	2080,90123
15			4741,6512	4388,55201	1159,05811	2718,6113	2117,46729	2342,30254
16			4874,4673	4613,73812	3855,87621	2670,1054	2524,21453	1403,08421
17			4803,321	1520,40071	2606,32451	3874,7102	2395,60702	1580,03626
18			3564,4122	4293,21541	3250,19215	1923,2967	2191,56192	2624,36321
19			4728,0751	2684,32581	4733,21543	3189,1541	2163,03062	2007,02194
20			3588,6622	3258,10506	3410,84352	1988,7863	2732,11947	2129,63214
21			4867,2268	4580,00821	3590,38023	2189,3105	2136,83202	1292,96543
22			5230,2411	4392,31631	3894,65421	3429,3201	2084,36211	2780,67823
23			4555,6641	4871,73805	3296,26322	2203,6329	2099,86324	2407,89322
24			3827,5014	2543,53876	3257,87946	2619,2346	2651,45032	1393,96377
25			4523,3656	4637,28329	2788,72275	2337,2101	2157,08325	2717,20123
26			4806,0323	2687,33987	3022,72118	2549,825	2405,99955	2363,30982
27			4811,2039	3283,48796	2941,93506	2302,321	2497,90008	1384,63977
28			3572,4142	4390,31257	1689,80566	2401,8724	2900,15527	2718,05629
29			4612,4203	3598,73801	2283,53676	1858,4063	2367,36051	2367,33222
30			3688,1285	2520,47856	1251,30811	2808,3654	2127,40329	1359,21477
Průměr	5251,87324	5251,14316	4452,35003	3710,40712	3048,04913	2556,27990	2288,66042	2032,81318
Maximum	5252,8928	5251,8887	5250,1611	5252,70898	4733,21543	3894,7119	2910,10327	2780,67823
Minimum	5251,0566	5250,3621	3564,4122	1520,40071	1159,05811	1748,3904	651,45752	1242,26843
Medián	5251,78065	5250,91846	4721,07272	4193,52952	3223,68107	2462,51306	2276,04122	2100,70369
Směrodatná odchylka	0,64903	0,52585	540,74205	962,66362	849,41567	556,53904	392,08459	518,15899

Tab. 10 Hodnoty maximálního napětí vzorků u metody smykového tlaku pod úhlem 45°

CYKLOVANÉ VZORKY	Pevnost ve spáře tlakový smyk - napětí τ (Mpa)							
	25°	35°	40°	50°	60°	70°	80°	90°
1	2,47537	2,47574	2,33711	2,47615	1,79842	1,25917	1,17122	0,73872
2	2,47551	2,47523	2,47495	1,97978	1,22401	1,83598	1,14832	1,24042
3	2,47571	2,47576	2,24420	1,51362	1,51330	0,89766	0,99525	0,94391
4	2,47616	2,47515	1,77604	2,15385	2,22502	1,49632	0,99367	0,99962
5	2,47576	2,47562	2,09462	2,07291	1,57488	0,94224	1,28255	0,58561
6	2,47542	2,47532	2,24209	2,16787	1,69300	1,17365	1,02195	1,27751
7	2,47553	2,47504	2,27743	0,71676	1,83504	1,61652	0,98580	1,10182
8	2,47571	2,47530	1,68688	2,02101	1,55859	0,99828	0,95028	0,63785
9	2,47616	2,47530	2,22223	1,23120	1,52602	1,23031	0,30710	0,88027
10	2,47624	2,47567	1,69644	1,51420	1,31323	1,14803	1,01686	1,26429
11			2,10540	1,99503	1,42257	1,19765	1,17146	0,94895
12			2,35196	1,97392	1,38684	1,07332	1,13511	1,05685
13			2,24844	1,51332	0,79187	1,10010	1,37184	0,59568
14			1,83496	1,67774	1,07170	0,82420	1,11276	0,98095
15			2,23524	2,06878	0,54639	1,28157	0,99818	1,10417
16			2,29785	2,17494	1,81768	1,25870	1,18993	0,66142
17			2,26431	0,71672	1,22863	1,82656	1,12930	0,74484
18			1,68028	2,02384	1,53216	0,90665	1,03311	1,23714
19			2,22884	1,26540	2,23126	1,50338	1,01966	0,94612
20			1,69171	1,53589	1,60789	0,93752	1,28793	1,00392
21			2,29443	2,15904	1,69252	1,03205	1,00731	0,60951
22			2,46556	2,07056	1,83596	1,61660	0,98258	1,31082
23			2,14756	2,29656	1,55387	1,03880	0,98989	1,13509
24			1,80430	1,19904	1,53578	1,23472	1,24991	0,65712
25			2,13233	2,18604	1,31462	1,10177	1,01686	1,28090
26			2,26559	1,26682	1,42492	1,20200	1,13420	1,11407
27			2,26802	1,54785	1,38684	1,08532	1,17752	0,65273
28			1,68405	2,06961	0,79658	1,13225	1,36715	1,28130
29			2,17432	1,69646	1,07647	0,87606	1,11598	1,11597
30			1,73860	1,18816	0,58987	1,32388	1,00287	0,64074
Průměr	2,47576	2,47541	2,09886	1,74910	1,43686	1,20504	1,07888	0,95828
Maximum	2,47624	2,47576	2,47495	2,47615	2,23126	1,83598	1,37184	1,31082
Minimum	2,47537	2,47504	1,68028	0,71672	0,54639	0,82420	0,30710	0,58561
Medián	2,47571	2,47531	2,22554	1,97685	1,51966	1,16084	1,07294	0,99028
Směrodatná odchylka	0,00031	0,00025	0,25491	0,45380	0,40042	0,26236	0,18483	0,24426



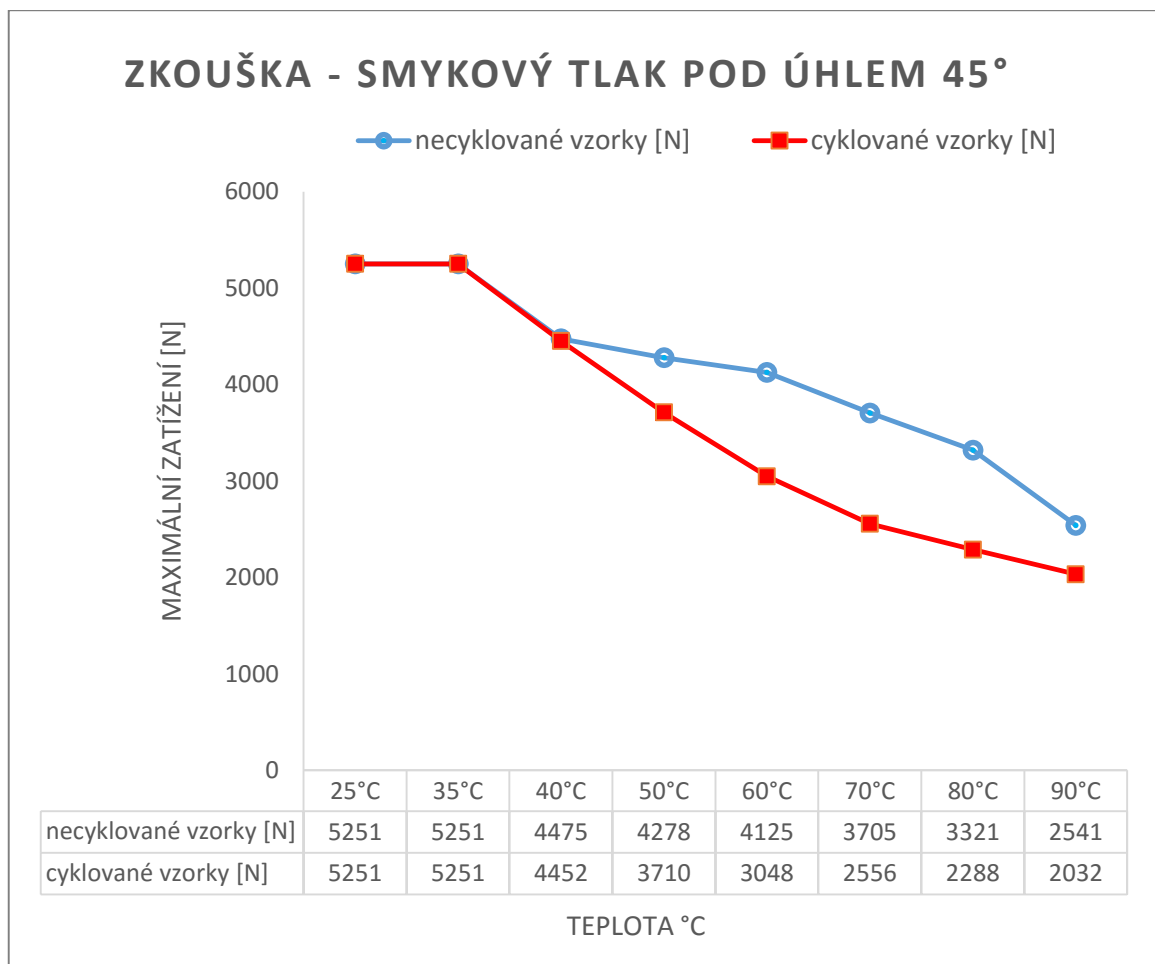
Obr. 46 Graf zobrazující klesající tendenci hodnot zatížení u cyklovaných vzorků



Obr. 47 Krabicový graf pro hodnoty pevností u cyklovaných vzorků

Tab. 11 Porovnání dosažených zatížení mezi cyklovanými a necyklovanými vzorky v závislosti na teplotě

Teplota	Necyklované vzorky [N]	Procentuální snížení	Cyklované vzorky [N]	Procentuální snížení
25°C	5251	0	5251	0
35°C	5251	0	5251	0
40°C	4475	14,77 %	4452	15,22 %
50°C	4278	18,60 %	3710	29,35 %
60°C	4125	21,44 %	3048	41,96 %
70°C	3705	29,44 %	2556	51,31 %
80°C	3321	36,75 %	2288	56,43 %
90°C	2541	51,61 %	2032	61,31 %



Obr. 48 Graf vykreslující rozdíly mezi maximálními hodnotami zatížení cyklovaných a necyklovaných vzorků

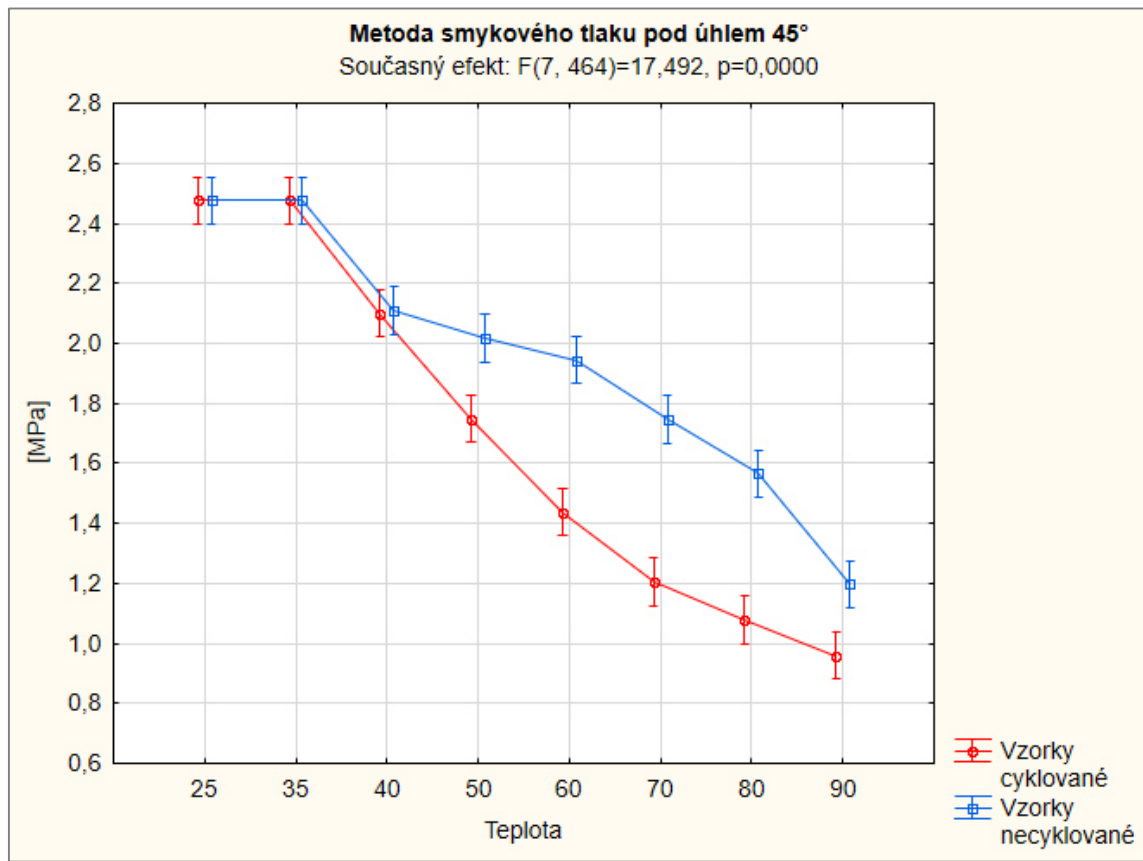
Tab. 13 Test mnohonásobného porovnání zobrazující srovnatelné skupiny dle teplot

Tukeyův HSD test; proměnná [MPa] smykový tlak pod úhlem
Homogenní skupiny, alfa = ,05000 (Neúplné vyhledávání)
Chyba: meziskup. PČ = ,04776, sv = 464,00

Teplota	Vzorky	[MPa] Průměr	1	2	3	4	5	6
90	cyklované	0,958277	****					
80	cyklované	1,078885	****	****				
90	necyklované	1,198226		****				
70	cyklované	1,205042		****				
60	cyklované	1,436864			****			
80	necyklované	1,565586			****	****		
70	necyklované	1,746779				****		
50	cyklované	1,749103				****		
60	necyklované	1,944600					****	
50	necyklované	2,017080					****	
40	cyklované	2,098858					****	
40	necyklované	2,109547					****	
35	necyklované	2,475390						****
35	cyklované	2,475413						****
25	necyklované	2,475756						****
25	cyklované	2,475757						****

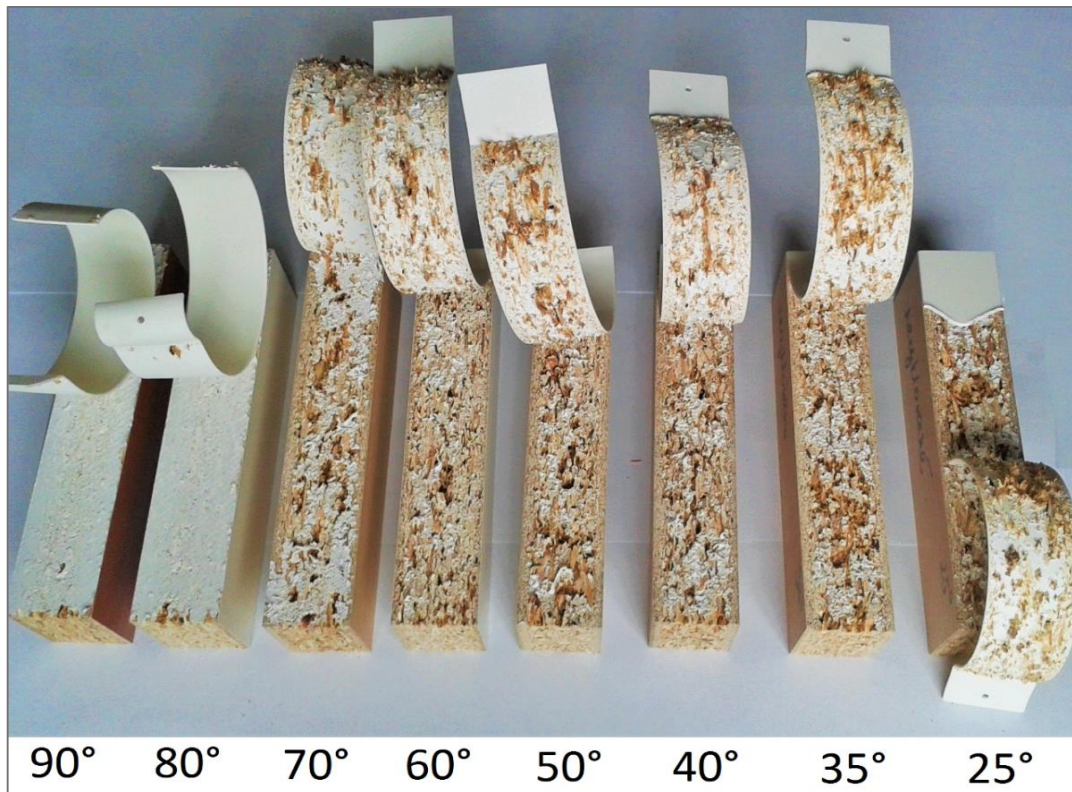
Tab. 14 Výsledky testu vícefaktorové ANOVY

Efekt	Jednorozměrné testy významnosti pro [MPa] smykový tlak pod úhlem Sigma-omezená parametrizace Dekompozice efektivní hypotézy				
	SČ	Stupně volnosti	PČ	F	p
Abs. člen	1578,089	1	1578,089	33039,25	0,00
Teplota	112,621	7	16,089	336,84	0,00
Vzorky	7,916	1	7,916	165,74	0,00
Teplota*Vzorky	5,848	7	0,835	17,49	0,00
Chyba	22,163	464	0,048		

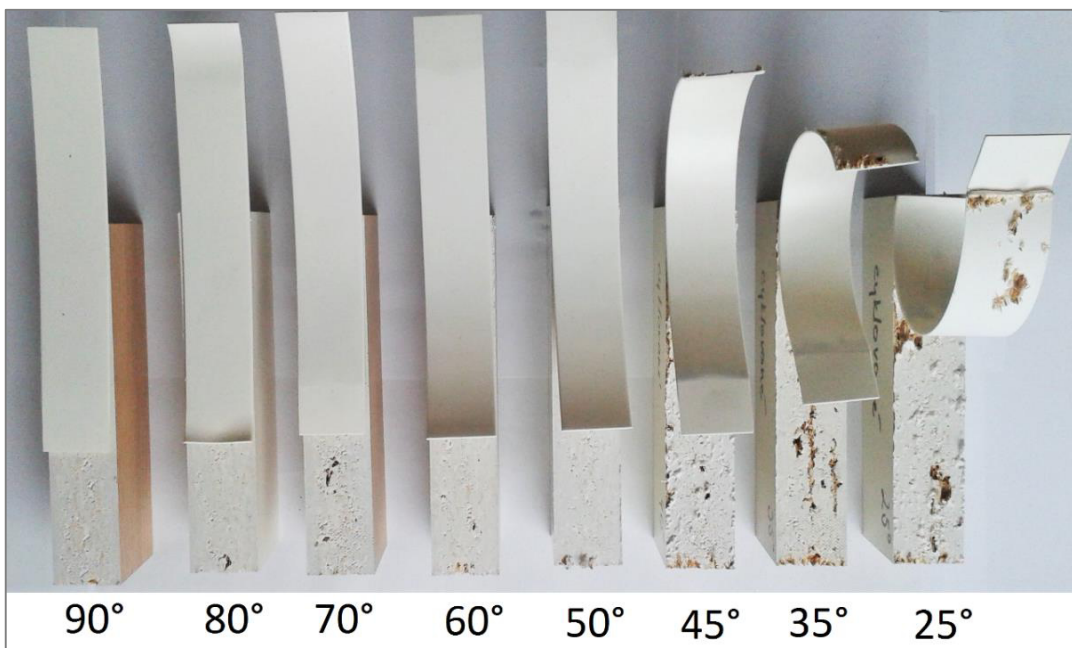


Obr. 49 Graf vícefaktorové ANOVY pro metodu smykového tlaku

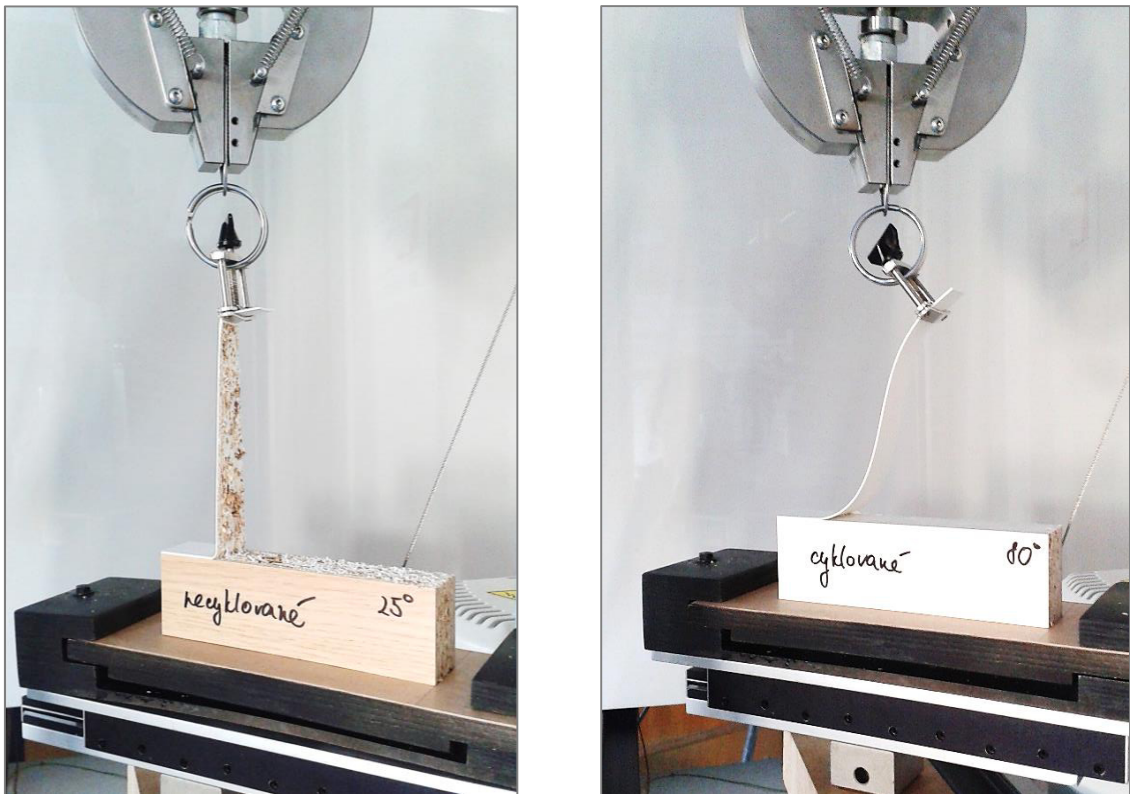
8.3 Ukázky vzorků po laboratorní zkoušce odlupování



Obr. 50 Ukázka necyklovaných vzorků dle použitých teplot při testování (vlastní knihovna)



Obr. 51 Ukázka cyklovaných vzorků dle použitých teplot při testování (vlastní knihovna)

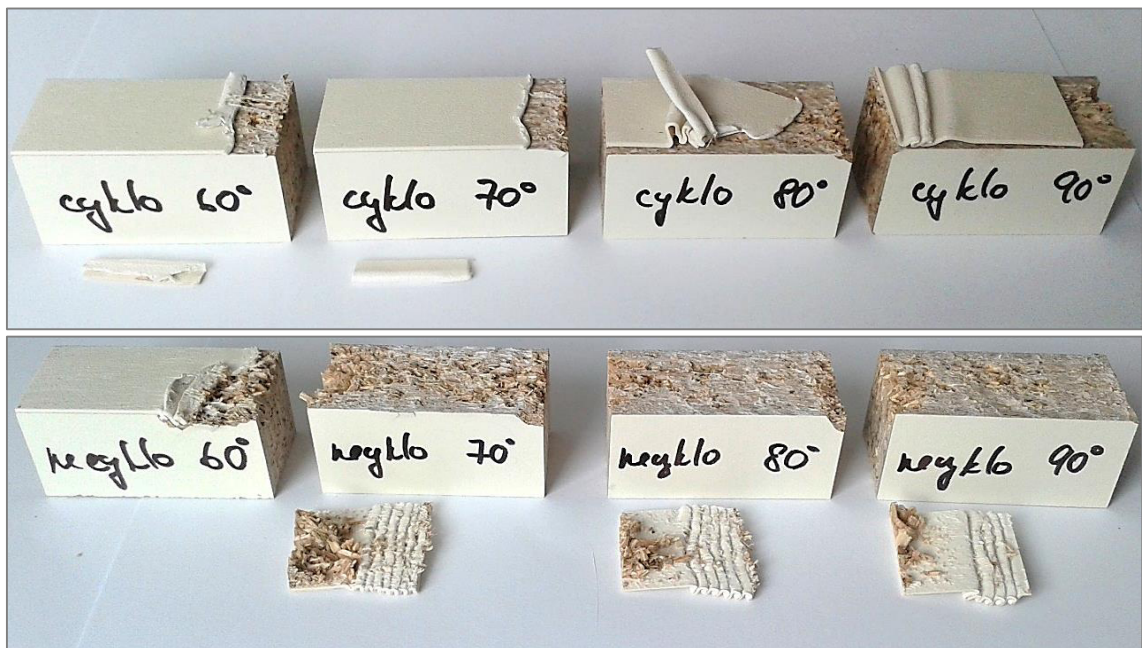


Obr. 52 Ukázka rozdílného chování vzorků - necyklovaný a cyklovaný typ (vlastní knihovna)

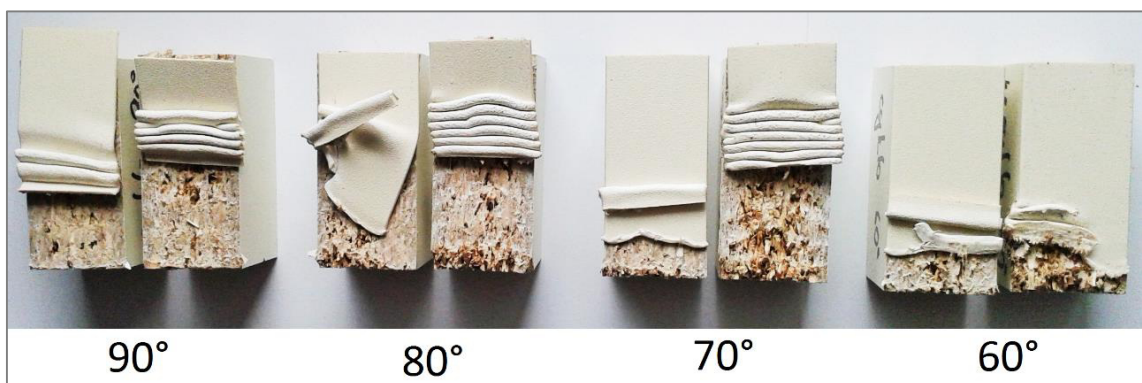
8.4 Ukázky vzorků po laboratorní zkoušce smykového tlaku



Obr. 53 Ukázka vzorků po testování smykového tlaku; vzorky zůstaly nezměněny (vlastní knihovna)



Obr. 54 Srovnání chování cyklovaných a necyklovaných vzorků dle použitých teplot při testování
(vlastní knihovna)



Obr. 55 Ukázka cyklovaných a necyklovaných vzorků dle použitých teplot při testování
(vlastní knihovna)

9 Vyhodnocení výsledků

9.1 Vyhodnocení výsledků pro zkoušku odlupování pod úhlem 90°

Výše uvedené výsledky Tab. 2–6, Obr. 38–43, str. 55–60, pro zkoušku odlupování dle ČSN EN 28510-1 poukazují na vzniklé pevnostní rozdíly mezi cyklovanými a necyklovanými vzorky. Za standardních podmínek (teplotě $T = 23 \pm 2$ °C a relativní vlhkosti vzduchu $\varphi = 50 \pm 5$ %) dosahují necyklované vzorky maximálního zatížení téměř 300 N, cyklované vzorky dosahují o 100 N méně, průměrně okolo 190 N. U necyklovaných vzorků dochází k mírné ztrátě pevnosti se zvyšující se teplotou, která se pohybuje od 2 % do 13 % (vztaženo na referenční vzorek při standardních podmínkách) až do 60 °C, teprve po překročení této teploty nastává rychlý pokles. U cyklovaných vzorků nastává nejprve prudký pokles pevnosti se zvyšující se teplotou během zkoušky do 40 °C, který je poté následován již pouze mírnou ztrátou pevnosti lepeného spoje. Při maximální teplotě zkoušky tj. 90 °C dosahují necyklované vzorky 90 N, cyklované vzorky se blíží hodnotami zatížení k nule.

Test mnohonásobného porovnání naměřené hodnoty seřazuje do skupin dle průměrných hodnot. První skupina je složena z cyklovaných vzorků od 60 °C do 90 °C, v této skupině průměrná hodnota nepřesahuje 14 N. Další skupinu formují cyklované vzorky vystaveny teplotě 50–70 °C. Tukeyův test rozděluje necyklované vzorky do dvojic dle působící teploty následovně: 25 °C a 35 °C; 40 °C a 50 °C; 50 °C a 60 °C. Velice důležitou skupinu tvoří dvojice cyklovaných (35 °C) a necyklovaných (90 °C) vzorků. Zde je jednoznačný vliv cyklického teplotního namáhání po dobu jednoho měsíce v teplotní komoře. Získané průměrné hodnoty v N se liší pouze o 2 N, což je zanedbatelný rozdíl. Lze tedy konstatovat, že průměrná pevnost cyklovaných vzorků u mírně zvýšené teploty 35 °C odpovídá průměrné pevnosti necyklovaných vzorků, které jsou během zkoušky vystavovány teplotě až 90 °C.

Dle fotografických podkladů – Obr. 50–52, lze pozorovat: necyklované vzorky vykazují větší pevnost, než vzorky cyklované – ABS hrana nese vytrhaná vlákna z dřevotřískové desky a je deformovaná do oblouku vlivem pohybu trhačského zařízení. U pokojové teploty 25 °C přesahuje pevnost lepeného spoje pevnost nábytkové hrany, hrana ABS se roztrhla v průběhu zkoušky. U vyšších teplot tj. 70 °C, 80 °C a 90 °C se

začala vyskytovat vrstva PUR lepidla na dílci. U 70 °C vykazoval lepený spoj velkou pevnost, byla vytrhávána vlákna z dřevotřískové desky, ale současně se na dílci vyskytoval i nesouvislý film lepidla. Změna nastala u 80 °C, kdy byl již téměř zcela pokryt dílec PUR lepidlem bez zjevně vytrhaných vláken, ABS hrana byla zkroucená pod vyvinutou silou trhacího zařízení. U 90 °C byl dílec zcela pokryt lepidlovým filmem a ABS hrana nebyla natolik deformovaná.

Zcela odlišný charakter chování lze sledovat u cyklovaných vzorků, kde od počáteční teploty zkoušení 25 °C na dílci zůstával nesouvislý film lepidla, který pokrýval téměř celý zkušební vzorek. Ze vzorků z dřevotřískové desky bylo vytrháno pouze několik vláken, které zůstaly nalepeny na ABS hraně. Do 45 °C byla pevnost lepeného spoje 30 N, což vedlo k deformaci ABS hrany. Od 50 °C zůstával na dílci souvislý film polyuretanového lepidla, ABS hrana se během zkoušky odlupovala po celé délce dílce, byla minimálně deformovaná, již nebylo dodrženo odlupování pod úhlem 90° (tento fakt je znázorněn na Obr. 52). Po zkoušce odlupování vypadaly vzorky vizuálně téměř srovnatelně v rámci působících teplot, pevnostní rozdíl lze rozpoznat především z naměřených hodnot trhacího zařízení.

9.2 Vyhodnocení výsledků pro zkoušku smykového tlaku

Výše uvedené výsledky – Tab. 7–14, Obr. 44–49, str. 61–69, pro zkoušku smykového tlaku pod úhlem 45° ukazují pevnostní rozdíly mezi cyklovanými a necyklovanými vzorky při zatěžování zvýšenými teplotami během zkoušky. Za standardních podmínek a při teplotě 35 °C přesahují oba typy vzorků maximální zatížení vyvinuté trhacím strojem bez jejich viditelného poškození. Hodnoty naměřených pevností jsou téměř shodné do 40 °C. Zde dochází ke změně chování u cyklovaných, ale i u necyklovaných vzorků. Necyklované vzorky vykazují do 60 °C pouze mírný pokles pevnosti, charakter křivky u cyklovaných vzorků naopak ukazuje strmý pokles pevnosti v lepeném spoji. U nejvyšší použité teploty testování (90 °C) se hodnoty pevnosti lepených spojů k sobě začínají opět blížit.

Test mnohonásobného porovnání naměřené hodnoty seřadil do skupin dle průměrných hodnot. První skupina je složena z cyklovaných vzorků 80 °C a 90 °C, kde se průměrná hodnota pohybovala okolo 1 MPa. Obdobné výsledky měření dosahují

i vzorky cyklované vystavené teplotě 80 °C a 70 °C a 90° necyklované. Srovnatelné hodnoty mají vzorky cyklované u 60 °C a necyklované u 80 °C. Další skupinu tvoří cyklované vzorky zatěžovány 50 °C a necyklované vzorky 70 °C a 80 °C. Početnější skupinu tvoří necyklované vzorky vystavené teplotě 40 °C, 50 °C, 60 °C a cyklované vzorky 40 °C. Poslední skupinu tvoří necyklované a cyklované vzorky pro 25 °C a 35 °C.

Tukeyův test názorně spojil nižší teploty cyklovaných vzorků a vyšší teploty necyklovaných vzorků podle dosažené pevnosti. Na základě tohoto testu je jednoznačná skutečnost: necyklované vzorky odolávají lépe působení teploty vždy až o 20 °C vyšší než vzorky, které byly vystaveny extrémním podmínkám v teplotní komoře.

U první ukázky snímků vzorků pro smykový tlak pod úhlem 45° lze sledovat, že vzorky nejsou po laboratorní zkoušce deformovány – teplota 25 °C a 35 °C. Pevnost spoje lepeného polyuretanovým tavným lepidlem byla vyšší, než silový rozsah trhacího zařízení. Pouze při detailním pohledu lze spatřit jemnou deformaci hrany na začátku působení speciálního přípravku. Podobný charakter chování měly vzorky až do 50 °C, v tomto teplotním rozsahu tj. 25–50 °C docházelo během zkoušek i k úplnému zničení vzorků vlivem velké pevnosti v lepeném spoji, která zachovávala ABS hranu na DTD. Od 60 °C se vždy zcela zdeformovala ABS hrana během laboratorní zkoušky.

U cyklovaných vzorků se nevyskytovala vytrhaná vlákna na ABS hraně, buď docházelo k utržení hrany, nebo k její částečné deformaci. Polyuretanové lepidlo po silovém působení trhacího zařízení tvořilo nesouvislý film na hraně vzorku. U 80 °C a 90 °C se hrana na začátku působení zkrabatila a poté se bez dalšího nutného silového působení zcela uvolnila. Necyklované vzorky vykazovaly rozdílné vlastnosti. Pevnost u nich byla mnohem vyšší než u cyklovaných vzorků. ABS hrana vytrhávala vlákna z dřevotřískové desky, u 60 °C dokonce došlo k poškození nosného materiálu - dřevotřískové desky. Zvýšená teplota působila i na pevnost ABS hrany, proto se na začátku působení síly vždy zkrabatila, teprve poté došlo k jejímu celkovému uvolnění.

10 Diskuze

Následující kapitola obsahuje výsledky pevností lepených spojů tavného polyuretanového lepidla (PUR) a ethylvinylacetátového lepidla (EVA), lepené spoje byly podrobeny laboratorní zkoušce v odlupování zkušebního tělesa z ohebného a tuhého adherendu – Část 1: Odlupování pod úhlem 90 stupňů a zkoušce smykového tlaku pod úhlem 45 stupňů. V kapitole jsou porovnány výsledky pevností lepených spojů dosažených v rámci působení zvýšených teplot. Výsledky EVA lepidel pochází z bakalářských prací: Vliv lepidla na pevnost lepených spojů za zvýšených teplot s využitím metody šikmého smyku od Petry Košutové a Vliv lepidla na pevnost lepených spojů za zvýšených teplot od Lenky Vrbové.

V kapitole je rozebrána problematika rozdílné technologie při výrobě vzorků pro laboratorní testování, je uveden graf pro znázornění odlišných hodnot získaných během laboratorního měření.

Cílem diplomové práce bylo zjistit účinek vlivu zvýšené teploty na polyuretanová lepidla. Tento faktor má velký vliv na pevnost lepeného spoje spolu s vlhkostí vzduchu, protože mění vlastnosti dřeva a materiálů na bázi dřeva a současně mění i vlastnosti tavných lepidel. V letních měsících v České republice teplota vzduchu ve stínu roste až k 35 °C podle současných údajů z ČHMÚ, při přepravě nábytku po České republice může teplota uvnitř kontejneru být okolo 50 až 55 °C při slunečných dnech, mimo hranice Evropské unie lze hovořit až o 70 °C, což představuje teplotu uvnitř kontejneru s tmavou vnější povrchovou úpravou, který je přepravován intermodální dopravou. V případě ztráty pevnosti v lepeném spoji mezi nábytkovou hranou a dílcem z dřevotřískové desky může dojít k posuvu hrany, jejímu odloupení od podkladového materiálu v rozích apod. Tím je otevřena cesta pro vnikání vlhkosti do nosného materiálu. Dřevotřísková deska je hygroskopický materiál, tzn., že může dojít k bobtnání a sesychání tohoto středového materiálu. Výše uvedené skutečnosti vedou k poškození přepravovaného zboží.

Ze strany zákazníků i výrobců je kladen velký důraz na kvalitu nábytku vyváženého z České republiky. Z tohoto důvodu je nutné testovat nábytek náročnějšími

teplotními zkouškami, protože je vystaven negativním vlivům okolního prostředí během jeho přepravy.

Výsledky provedených laboratorních zkoušek naznačují, že pevnostní charakteristiky lepených spojů jsou ovlivněny expozicí zvýšeným teplotám během testování, ale zároveň i měsíčním cyklickým teplotním namáháním před samotnou laboratorní zkouškou.

Tab. 15 Srovnání maximálního zatížení vzorků dle použitého tavného lepidla (vlastní knihovna)

Zkouška v odlupování - Průměr zatížení při průměrné hodnotě [N]			
Teplota	Necyklované vzorky - PUR lepidlo [N]	Cyklované vzorky - PUR lepidlo [N]	Cyklované vzorky - EVA lepidlo [N]
25°C	293	191	56
35°C	286	74	47
40°C	278	60	41
50°C	267	19	18
60°C	254	13	9
70°C	167	10	4
80°C	104	5	
90°C	86	2	

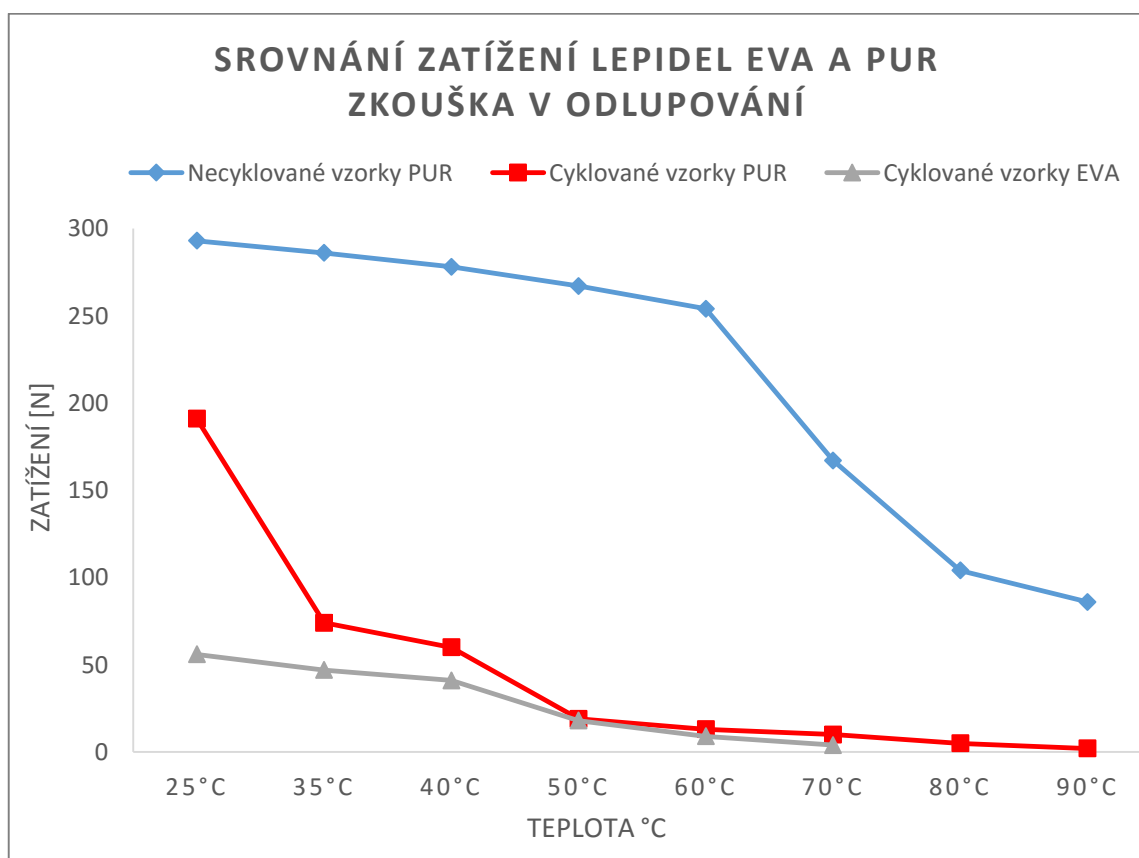
Tab. 15 zobrazuje hodnoty zatížení spoje lepeného polyuretanovým lepidlem a ethylenvinylacetátovým lepidlem. U teploty 25 °C (tj. běžné vnitřní teploty prostředí) PUR lepidlo dosahuje hodnoty 293 N, lepidlo podrobena teplotnímu cyklickému namáhání 191 N. EVA lepidlo dosahuje pouze necelých 30 % zatížení tj. 56 N polyuretanových lepidel (vztaženo na cyklované vzorky lepené PUR). Necyklované vzorky lepené PUR lepidlem i při maximální teplotě 90 °C převyšují svými hodnotami zatížení vzorky lepené EVA lepidlem, které byly testovány při teplotě 25 °C. EVA lepidla v tomto případě dosahují pouze 65 % zatížení PUR, přitom teplotní rozdíl během zkoušky v odlupování byl 65 °C. Cyklované vzorky PUR (25 °C) překonávají zatížením EVA lepidla (25 °C) téměř 4x. Zvrat nastává až u působení 50 °C, kdy se začínají postupně srovnávat hodnoty zatížení spojů lepených PUR lepidlem a EVA lepidel pro cyklované vzorky.

Graf – Obr. 56, (str. 78) názorně ukazuje velký rozdíl mezi cyklovanými a necyklovanými vzorky polyuretanových lepidel. Také poukazuje, o jak enormní rozdíl

se liší hodnoty zatížení PUR lepidel a EVA lepidel u zkoušky při teplotě 25 °C. Od teploty 50 °C se tyto velké rozdíly začínají vytrácet a oba druhy tavných lepidel se svými hodnotami blíží.

Úměrně se zvyšováním počtu cyklů roste únava lepidla a pevnost spoje se snižuje. Cyklické zkoušky při náhlých změnách teploty jsou jedním z nejnáročnějších způsobů teplotních zkoušek lepených spojů. (Frejdin, 1988)

Zde je nutné si uvědomit, že EVA lepidla byla cyklicky teplotně namáhána, ale o polovinu kratší dobu – tzn. od 14. 3. 2015 do 4. 4. 2015, PUR lepidla od 21. 12. 2015 do 21. 1. 2016 a rovněž byly použity jiné teploty. EVA lepidla odolávala působení 60 °C, PUR lepidla odolávala 70 °C. Při zohlednění těchto skutečností lze dojít k závěru, že PUR lepidla by získala větší hodnoty rozdílu od EVA lepidel, kdyby čelila totožným simulovaným podmínkám.



Obr. 56 Srovnání dosažených hodnot zatížení dle použitého lepidla

Tab. 16 Srovnání maximálního zatížení vzorků dle použitého tavného lepidla (vlastní knihovna)

Zatížení ve spáře tlakový smyk - maximální zatížení [N]			
Teplota	Necyklované vzorky - PUR lepidlo [N]	Cyklované vzorky - PUR lepidlo [N]	Cyklované vzorky - EVA lepidlo [N]
25°C	5251	5251	4163
35°C	5251	5251	3976
40°C	4475	4452	3868
50°C	4278	3710	2733
60°C	4125	3048	1732
70°C	3705	2556	962
80°C	3321	2288	
90°C	2541	2032	

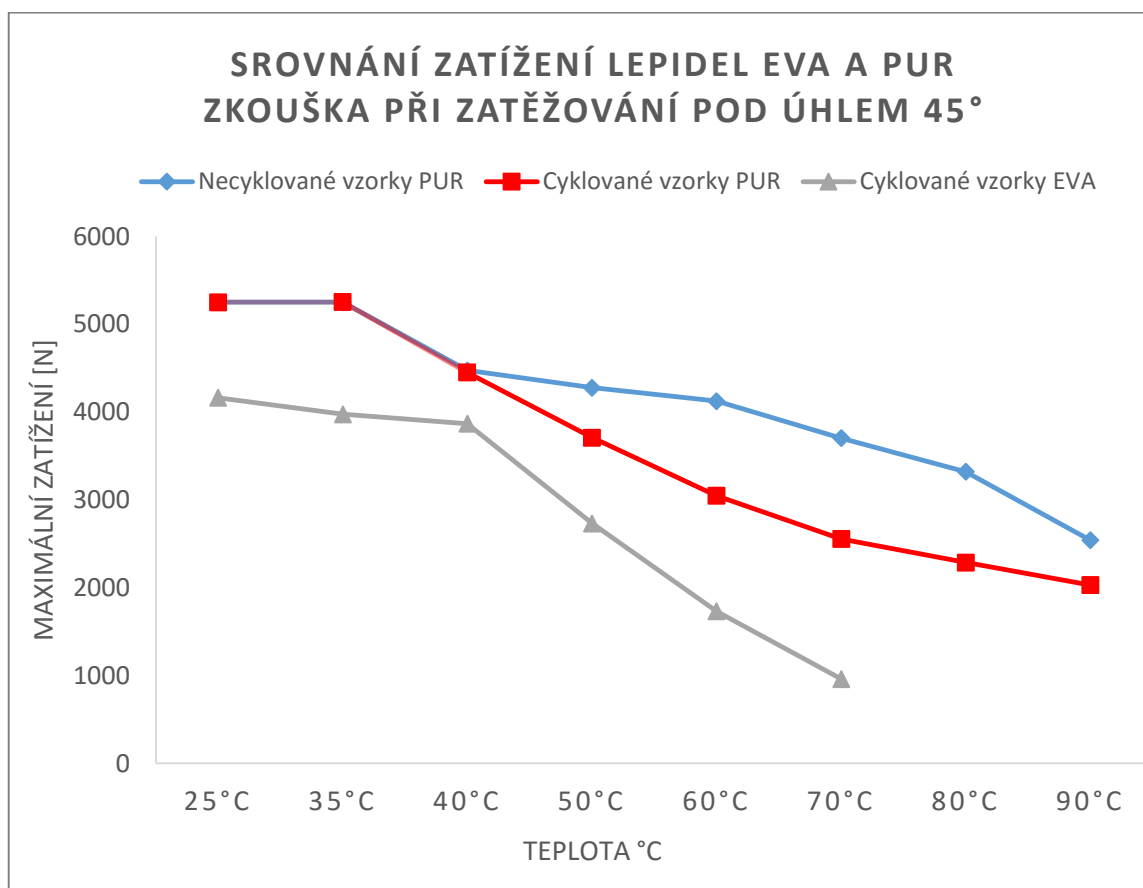
Tab. 16 zachycuje hodnoty zatížení spojů lepených polyuretanovým lepidlem a ethylenvinylacetátovým lepidlem. Polyuretanová lepidla u teplot 25 °C a 35 °C odolávají vyššímu zatížení, než bylo možné vyvinout trhacím strojem. Z tohoto důvodu se v tabulce vyskytují identická data, která naměřil software Bluehill. U zkoušky šikmého tlakového smyku se projevila velká rozdílnost v získaných datech pro PUR a EVA lepidla. Vzorky PUR mají téměř shodné chování až do působení 40 °C, od této teploty začíná rychleji klesat hodnota zatížení u cyklovaných vzorků.

Maximální zatížení spoje EVA lepidel bylo 4163 N u teploty 25 °C, což odpovídá necyklovaným vzorkům PUR lepidel, které byly během zkoušky vystaveny teplotě 60 °C a cca 45 °C u cyklovaných vzorků. EVA lepidla dosahují při teplotě 25 °C 79 % zatížení PUR lepidel. Cyklované vzorky s polyuretanovým lepidlem vystaveny maximální teplotě 90 °C se svojí pevností téměř rovnají ethylenvinylacetátovým lepidlům vystaveným teplotě cca 55 °C, což je významný rozdíl 35 °C.

Úměrně se zvyšováním počtu cyklů roste únava lepidla a pevnost spoje se snižuje. Cyklické zkoušky při náhlých změnách teploty jsou jedním z nejnáročnějších způsobů teplotních zkoušek lepených spojů. (Frejdl, 1988)

Opět je nutné si uvědomit, že EVA lepidla byla cyklicky teplotně namáhána, ale o polovinu kratší dobu – tzn. od 14. 3. 2015 do 4. 4. 2015, PUR lepidla od 21. 12. 2015 do 21. 1. 2016 a rovněž byly použity jiné teploty. EVA lepidla odolávala působení 60 °C, PUR lepidla odolávala 70 °C během teplotního namáhání.

Při přihlédnutí k těmto skutečnostem lze rovněž dojít k závěru, že by polyuretanová tavná lepidla svojí pevností lepených spojů více přesahovala nad ethylvinylacetátovými lepidly v případě totožného teplotního zatěžování.

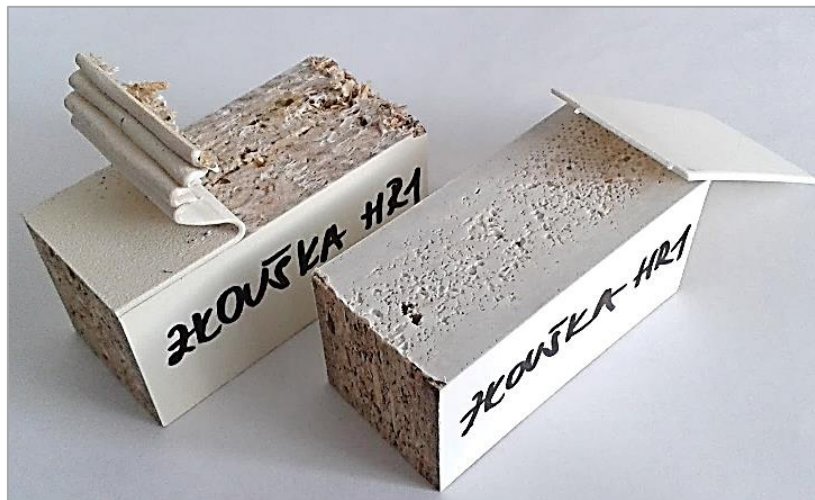


Obr. 57 Srovnání dosažených hodnot zatížení dle tavného lepidla (vlastní knihovna)

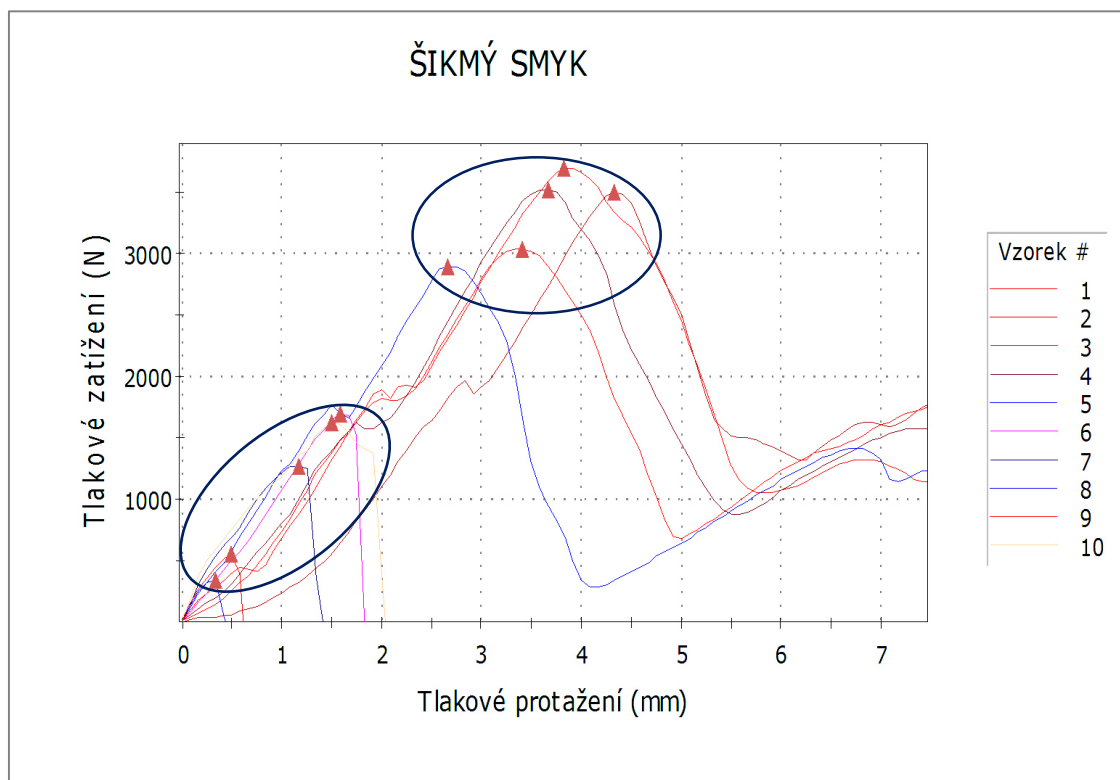
Během testování se rovněž projevil vliv rozdílného technologického zpracování vzorků. Vzorky byly od firmy HANÁK NÁBYTEK, a.s. obdrženy dvakrát. Poprvé ve formě desek, které bylo nutno nařezat na požadovaný rozměr zkušebních vzorků a podruhé již v čistém rozměru zkušebních vzorků. Z tohoto důvodu vznikl během testování rozdíl v naměřených hodnotách, ke kterému bylo přihlédnuto.

Následující graf – Obr. 59 zobrazuje chování rozdílně vyrobených vzorků. Výše uvedené výsledky byly vybrány pouze pro vzorky vyrobeny stejným technologickým postupem (byly vybrány vzorky s čistým rozměrem od firmy HANÁK NÁBYTEK, a.s.),

aby nedocházelo k jejich zkreslení. Tyto vzorky dosahovaly menší pevnosti, lze tedy předpokládat, že skutečná pevnost spoje lepeného tavným polyuretanovým lepidlem, nebýt tohoto vlivu, je vyšší. Výsledky by dosahovaly větších pevnostních rozdílů nad ethylenvinylacetátovými tavnými lepidly.



Obr. 58 Vzorky vystaveny po stejný čas zvýšené teplotě a testovány současně (vlastní knihovna)



Obr. 59 Graf zobrazující rozdílné hodnoty tlakového zatížení zkušebních vzorků (vlastní knihovna)

11 Závěr

Diplomová práce se zabývala vlivem zvýšené teploty na spoj lepený tavným polyuretanovým lepidlem mezi ABS hranou a dřevotřískovou deskou. Tavná lepidla nejsou odolná vůči zvýšeným teplotám jen o několik stupňů nižším, než je jejich bod měknutí. Převážně kovové kontejnery mají vysokou tepelnou vodivost a teplota vnitřního prostředí může vlivem slunečního záření dosahovat až k 70 °C, pokud je kontejner tmavé povrchové úpravy. Vývoz nábytku z České republiky roste od roku 2009, exportuje se i do zemí mimo Evropskou unii, v těchto případech reálně hrozí riziko vystavení nábytku extrémním teplotním a vlhkostním podmínkám. Cíloví zákazníci očekávají od českého nábytku kvalitní zpracování, z toho důvodu byly vzorky určené k testování vystaveny extrémnímu teplotnímu působení, které sloužilo k ověření vlastností použitého tavného polyuretanového lepidla a potvrzení kvality a pevnosti lepeného spoje.

Účelem laboratorních zkoušek bylo ověření, zda použité polyuretanové lepidlo odpovídá požadavkům, které jsou na něj kladeny. Cílem práce bylo zkoumat chování vzorků vystavených cyklickému teplotnímu namáhání, které simulovalo extrémní podmínky během přepravy zboží za hranice Evropské unie. Se zvyšováním počtu cyklů rostla únava lepidla a pevnost spoje se snižovala. Cyklické zkoušky při náhlých změnách teploty se řadí mezi nejnáročnější způsoby teplotních zkoušek lepených spojů. Konkrétním cílem bylo stanovení velikosti vlivu zvýšené teploty na lepený spoj, tento cíl byl detailně statisticky vyhodnocen. Výše uvedené cíle diplomové práce byly splněny.

Intencí diplomové práce bylo získat výsledky ze dvou laboratorních měření, které testovaly pevnost spoje mezi ABS hranou a dřevotřískovou deskou. Zkouška dle ČSN EN 28510-1 Lepidla – Zkouška v odlupování pod úhlem 90 stupňů a zkouška smykového tlaku pod úhlem 45 stupňů. Pevnostní charakteristiky polyuretanového lepidla byly naměřeny a vyhodnoceny, současně byly srovnány s tavným ethylvinylacetátovým lepidlem. Výsledky laboratorních zkoušek potvrdily, že pevnost spojů lepených tavnými polyuretanovými lepidly je větší, než ethylvinylacetátovými lepidly.

Rovněž bylo statisticky specifikováno, jakým způsobem jsou ovlivněny vzorky cyklicky teplotně namáhané. Tukeyův test sloučil dohromady skupiny vzorků dle dosažených pevností v rámci působících teplot, přičemž poukázal na skutečnost: vzorky teplotně cyklicky nezatěžovány, které během zkoušek odolávaly vysokým teplotám, se svými hodnotami zatížení rovnaly vzorkům, které měšíc podstoupily teplotní cyklické namáhání, ale během zkoušek vzdorovaly nižším teplotám.

Uskutečněné laboratorní zkoušky potvrdily, že pevnost lepeného spoje je ovlivněna cyklickým teplotním namáháním, ale i zvýšenou teplotou během zkoušek. Extrémní vliv na pevnost spoje vykazuje cyklické teplotní zatěžování. Tímto způsobem zatěžované vzorky u zkoušky v odlupování ztratily např. u teploty 25 °C 35 % pevnosti, u 35 °C to bylo až 75 % pevnosti. U zkoušky smykového tlaku byl vliv cyklického zatěžování menší, u všech použitých teplot během zkoušky tj. od 25 °C do 90 °C, byla ztráta pevnosti v lepeném spoji okolo 30 %.

Testováním vlastností tavného lepidla se ověřovaly pevnostní charakteristiky, výsledky z laboratorního testování budou použity v praxi. Bude přihlédnuto k teplotám, které začaly výrazně ovlivňovat pevnost lepeného spoje. Diplomová práce poukazuje na negativní vlivy v logistických systémech přepravy nábytku, se kterými se v budoucnosti může potýkat zboží firmy HANÁK NÁBYTEK, a.s. a zboží od dalších českých nábytkářských firem, které exportují nábytek do zahraničí a využívají k transportu standardizované přepravní jednotky. Pro zachování vysoké kvality českého nábytku lze s těmito novými poznatky lépe předcházet poškozování exportovaného zboží během transportu.

12 Summary

The final thesis analyzes the influence of high temperatures on the quality of the glued joints with hot melt polyurethane adhesive. Hot melt adhesives are resistant to elevated temperatures only a few degrees lower than its softening point. Metal containers used for transport have high thermal conductivity and the temperature inside the container in the summer months reaches up to 70 °C. Export of furniture from the Czech Republic has been growing since 2009, furniture is exported also to the countries outside the European Union, and in these cases there is a real risk of exposure of furniture to extreme temperature and humidity conditions. Customers expect from the Czech furniture high quality, hence the samples were being tested, exposed to extreme temperature exposure, which served to verify the characteristics of hot melt polyurethane adhesive and confirmation of the quality and strength of the glued joint.

The purpose of the testing was to verify that the used polyurethane adhesive fulfill the requirements which are demanded. The aim of the study was to investigate the behavior of samples exposed to cyclic thermal stress which simulates extreme conditions during the transport of goods beyond the borders of the European Union. When transporting furniture in the container during the summer months there is a real danger of damaging the glued joints with hot melt adhesive. Particular objective was to determine the size of the impact of increased temperature on the glued joint, this objective was statistically evaluated. The above-mentioned objectives of the thesis were met.

The intentions of the thesis were to get the results from the two laboratory measurements that tested the strength of the glued joint between the ABS edge and particle board. Test according to EN 28510-1 Adhesives - Peel test performed at an angle of 90° and shear under compression loading at an angle of 45°. Strength characteristics were measured for polyurethane adhesive and evaluated, they were also compared with results of ethylene vinyl acetate hot melt adhesive. Results of laboratory tests have confirmed that the strength of joints glued with hot melt polyurethane adhesive is greater than strength of joints glued with ethylene vinyl acetate adhesive.

Also the impact of cyclic thermal stress on samples was statistically specified. Tukey test merged together groups of samples according to the achieved strength within the operating temperatures, while pointing out: the samples which were not thermally stressed, resisted higher temperature during the laboratory measurements than the samples which were thermally stressed.

Accomplished laboratory tests confirmed that the glued joint strength is affected by cyclic thermal stress but also high temperatures during the tests. Extreme influence on the glued joint strength has exposure to cyclic thermal stress. In this way samples loaded in peel tests lost e.g. at a temperature of 25 °C 35 % of strength, at 35 °C it was about 75 % of strength. In this way samples testing in peel tests lost e.g. at a temperature of 25 °C 35 % of strength, at 35 °C it was about 75 % of strength. In test of shear under compression loading at an angle, the influence of cyclic thermal stress is lower, all the temperatures used during the test, i.e. from 25 °C to 90 °C, the loss of strength is about 30 %. The purpose of testing the properties of hot melt adhesive was to verify the strength characteristics. The results from final thesis will be used in practice, there it will be take into account the temperature, which began dramatically affect strength of glued joint.

13 Seznam použité literatury

13.1 Knižní a časopisecké zdroje:

1. BERAN, S., 2015. Evoluce bezspárového lepení nábytkových hran. Dřevařský magazín Odborný časopis pro podporu dřevařské a nábytkářské výroby s vybranými recenzovanými články: společné vydávání pro Českou a Slovenskou republiku. Banská Bystrica, Trendwood-twd. ISSN 1338-371X
2. BROŽEK, M., 2003. Technologie spojování/dělení materiálů. MM průmyslové spektrum: technický měsíčník. Praha, Vogel Publishing, Str. 72.
3. BRUNECKÝ, P., 2009. Zpracování dřeva: materiály - výrobky - konstrukce – technologie: technická příručka pro truhláře, nábytkáře, stavební tesaře, projektanty, konstruktéry, technology a zpracovatele dřeva. Praha, Dashöfer, ISSN 1803-8905
4. ČAPKA, R., 2012. I krok zpět může posunout vývoj vpřed. Dřevařský magazín Odborný časopis pro podporu dřevařské a nábytkářské výroby s vybranými recenzovanými články: společné vydávání pro Českou a Slovenskou republiku. Banská Bystrica, Trendwood-twd. ISSN 1338-371X
5. DUBOVSKÝ, J., 1991. Latest Achievements in Research of Wood Structure and Physics: proceedings: Zvolen - Czechoslovakia : September 4-7, 2. nezm. vyd. Zvolen, Vysoká škola lesnícka a drevárska, 372 s. ISBN 80-228-0139-9
6. EISNER, K., 1966. Příručka lepení dřeva. 2., přeprac. a rozš. vyd. Praha, Státní nakladatelství technické literatury, 287 s.
7. EISNER, K., BERGER, V., 1958. Lepidla v dřevařském průmyslu. 1. vyd. Praha, Státní nakladatelství technické literatury, 193 s.
8. FREJDIN, A., 1988. Pevnosť a životnosť lepených spojov. 1., slov. vyd. Bratislava, Alfa, 282 s.
9. GELBIČ, J., 2000. Tavná lepidla: aplikace syntetických lepidel v knihařství, balení a kartonáži, výrobě nábytku. 1. vyd. Brno, Vydavatelství Knihař, 97 s. ISBN 80-86292-01-0.

10. HLAVATÝ, J., 2014. Vývoj zkušebních metod pro testování pevnosti a trvanlivosti nábytku během jeho namáhání při dopravě. Dizertační práce. Brno, Mendelova univerzita v Brně, Lesnická a dřevařská fakulta, 101s.
11. HRÁZSKÝ, J., KRÁL, P. 2007. Kompozitní materiály na bázi dřeva – Část I.: Aglomerované materiály. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, 253 s. ISBN 97880-7375-034-3.
12. JEŽO, P., 2015. Olepovačky BRANDT a HOMAG s technologií airTec. Dřevařský magazín Odborný časopis pro podporu dřevařské a nábytkářské výroby s vybranými recenzovanými články: společné vydávání pro Českou a Slovenskou republiku. Banská Bystrica, Trendwood-twd. ISSN 1338-371X
13. JOSTEN, E., REICHE T. a WITTCHEN A. 2010. Dřevo a jeho obrábění. 1. vyd. Praha, Grada. ISBN 978-80-247-2961-9.
14. KRONTORÁD, K., 2015. Výroba nábytku z deskových materiálů. 1. vyd. Brno, Mendelova univerzita v Brně, 131 stran. ISBN 978-80-7509-199-4.
15. LUKEŠ, T., 2015. Export nábytku: Pětina nábytku už jde za hranice. 15: 15 minut pro ekonomiku & byznys. Praha, Mladá fronta, 2007-. ISSN 1803-4543
16. MALÝ, Z., 2013. SLIM LINE: Nový standard v technologii olepování hran. Dřevařský magazín Odborný časopis pro podporu dřevařské a nábytkářské výroby s vybranými recenzovanými články: společné vydávání pro Českou a Slovenskou republiku. Banská Bystrica, Trendwood-twd. ISSN 1338-371X
17. NUTSCH, W., 2006. Příručka pro truhláře. 2., přeprac. vyd. Praha, Europa-Sobotáles, 615 s. ISBN 80-86706-14-1
18. OSTEN, M., 1982. Práce s lepidly a tmely. 2., přeprac. vyd. Praha, SNTL, 283 s.
19. OSTEN, M., 1996. Práce s lepidly a tmely. 3., přeprac. a zkrác. vyd. Praha, Grada, 129 s. ISBN 80-7169-338-3.
20. ROŽEK, P., 2007. Námořní doprava. Vyd. 1. Pardubice, Institut Jana Pernera, 79 s. ISBN 978-80-86530-39-0.
21. SVOBODA, J., BRUNECKÝ, P., HÁLA, B., 2013. Nábytkářský informační systém "NIS". Brno, Ircaes, 166 s. ISBN 978-80-87502-12-9

22. TESAŘOVÁ, D., 2014. Povrchové úpravy dřeva. 1. vyd. Praha, Grada, 134 s. ISBN 978-80-247-4715-6.
23. UHLÍŘ, A., 2003. Technologie II: pro studijní obor Nábytkářství. 3., přeprac. vyd. Praha, Informatorium, 190 s. ISBN 80-7333-008-3.
24. ZEMIAR, J., 2009 Technológia výroby nábytku. 1 vyd. Technická univerzita vo Zvolene, 287 s. ISBN 978-80-228-2064-6.

13.2 Normy

1. ČSN EN 923+A1 - Lepidla - Termíny a definice
2. ČSN EN 28510-1 Lepidla – Zkouška v odlupování zkušebního tělesa z ohebného a tuhého adherendu – Část 1: Odlupování pod úhlem 90 stupňů

13.3 Internetové zdroje

1. ASOCIACE ČESKÝCH NÁBYTKÁŘŮ Web: *Czech furniture* [online] citováno 1. října 2015. Dostupné z World Wide Web: www.czechfurniture.com
2. AUTOR NEUVEDEN Web: *Nábytkové hrany* [online] citováno 19. listopadu 2015. Dostupné z World Wide Web: www.nabytkovehrany.cz
3. AUTOR NEUVEDEN Web: *Základy teorie lepení* [online] citováno 9. října 2015. Dostupné z World Wide Web: www.abclepidla.cz
4. AUTOR NEUVEDEN Web: *Olepování zaměřeno na detail* [online] citováno 19. září 2015. Dostupné z World Wide Web: www.demos-trade.cz
5. AUTOR NEUVEDEN Web: *STEFANI SLIM LINE – Nový standard v technologii olepování* [online] citováno 11. srpna 2015. Dostupné z World Wide Web: www.italcomma.cz
6. AUTOR NEUVEDEN Web: *Technomelt PUR for top-quality edges* [online] citováno 6. října 2015. Dostupné z World Wide Web: www.henkel-adhesives.com
7. BANDUHN, N. et al., 2004. *Educational materials Bonding/adhesives textbook* [online] citováno 12. září 2015. Dostupné z: www.feica.com

8. ČESKÝ STATISTICKÝ ÚŘAD Web: *Český statistický úřad* [online] citováno 4. března 2016. Dostupné z World Wide Web: www.czso.cz
9. DEIBEL, D., MEULBROEK, M. Web: *Edgebanding Seminar* [online] citováno 23. listopadu 2016. Dostupné z: www.homag-canada.ca
10. EMIKAERE R. Web: *PUR delivers product improvement* [online] citováno 7. února 2016. Dostupné z World Wide Web: www.nordson.com
11. KUKLIŠ, L. Web: *Rok 2015 byl v globálním průměru rekordně teplý s odchylkou 0,9 stupně Celsia* [online] citováno 1. února 2016. Dostupné z World Wide Web: www.gnosis9.net
12. SHARNOW. Web: *Climatic conditions. Container handbook* [online] citováno 17. října 2015. Dostupné z World Wide Web: www.containerhandbuch.de
13. RAY L., D. DEIBEL. Web: *Dispensing reactive hot-melt polyurethane adhesives* [online] citováno 10. prosince 2015. Dostupné z World Wide Web: www.adhesivesmag.com

Seznam obrázků

Obr. 1 Struktura lepeného spoje (Banduhn et al. 2004).....	10
Obr. 2 Různé velikosti okrajového úhlu (zdroj: www.lepidla.cz).....	12
Obr. 3 Dýhované nábytkové hrany (zdroj: www.drevotrust.cz).....	18
Obr. 4 Melaminové nábytkové hrany (zdroj: www.lignomat.cz).....	18
Obr. 5 ABS hrana (zdroj: www.rehau.com).....	19
Obr. 6 Dřevotřísková deska surová (zdroj: www.drevoset.cz).....	20
Obr. 7 HPL laminát (zdroj: www.laminatyprotruhlare.cz).....	21
Obr. 8 Hrana LaserEdge složená ze dvou vrstev (Ježo, 2015).....	24
Obr. 9 Aplikační teplota se pohybuje v rozmezí 180 až 200 °C (zdroj:www.hranipex.cz).....	26
Obr. 10 Aplikační teplota se pohybuje v rozmezí 130 až 150 °C (zdroj:www.hranipex.cz).....	27
Obr. 11 Olepeno PUR lepidlem, tloušťka spáry 0,10 mm (Deibel a Meulbroek, 2009).....	29
Obr. 12 Olepeno EVA lepidlem, tloušťka spáry 0,20 mm (Deibel a Meulbroek, 2009).....	29
Obr. 13 Výsledky českého nábytkářského průmyslu (zdroj: www.czechfurniture.com).....	32
Obr. 14 Graf znázorňující hodnoty exportovaného a importovaného nábytku v miliardách Kč	33
Obr. 15 Námořní přístav s přepravou kontejnerů (zdroj: www.air2s.org).....	34
Obr. 16 Přepravovaný nábytek v kontejneru (zdroj: www.usainternationalshipping.com).....	35
Obr. 17 Graf znázorňující průběh teplot během dne v kontejneru bílé barvy.....	38
Obr. 18 Graf znázorňující průběh teplot během dne v kontejneru hnědé barvy.....	38
Obr. 19 Vzrůst teplot během července 2015 v Evropě (zdroj: www.noaa.gov).....	40
Obr. 20 Průměrné denní teploty dle ČHMÚ a experimentálního měření v obci Vatín.....	41
Obr. 21 Maximální denní teploty dle ČHMÚ a experimentálního měření v obci Vatín.....	41
Obr. 22 Zkušební vzorek pro zkoušku smykového tlaku pod úhlem 45° (vlastní knihovna).....	43
Obr. 23 Zkušební vzorek pro zkoušku zatěžování ve spáře odlupováním (vlastní knihovna).....	43
Obr. 24 Měření povrchové teploty dotykovým teploměrem Technoterm 9400 (vlastní knihovna)	44
Obr. 25 Umístění dataloggeru v domácnosti (vlastní knihovna).....	44
Obr. 26 Graf znázorňující průběh měření od 26. 12. 2014 do 5. 2. 2015.....	45
Obr. 27 Rozmístění vzorků v teplotní komoře (vlastní knihovna).....	46
Obr. 28 Zaznamenané teploty a relativní vlhkost v klimatizační komoře dataloggrem (vlastní hnhovna).....	47
Obr. 29 Průběh zkoušky – odlupovací agregát (vlastní knihovna).....	49
Obr. 30 Agregát pro smykový tlak pod úhlem 45° (vlastní knihovna).....	50

Obr. 31 Detail průběhu zkoušky (vlastní knihovna)	50
Obr. 32 Klimatizační komora Incucell V 111 (vlastní knihovna).....	51
Obr. 33 Tepelná komora INSTRON model 3119-409-22 (vlastní knihovna)	51
Obr. 34 Trhací stroj INSTRON 3665 (vlastní knihovna).....	52
Obr. 35 Dotykový teploměr Technoterm 9400 (vlastní knihovna)	52
Obr. 36 Digitální teploměr Greisinger GTH 1170 (vlastní knihovna).....	53
Obr. 37 Teplotní datalogger Testo 174H (zdroj: www.testo.cz).....	53
Obr. 38 Křivka grafu zobrazuje klesající hodnoty zatížení se zvyšující se teplotou.....	57
Obr. 39 Krabicový graf pro necyklované vzorky.....	57
Obr. 40 Křivka grafu zobrazuje klesající hodnoty zatížení se zvyšující se teplotou.....	58
Obr. 41 Krabicový graf pro cyklované vzorky	58
Obr. 42 Srovnání zatížení cyklovaných a necyklovaných vzorků	59
Obr. 43 Graf vícefaktorové ANOVY pro zkoušku odlupování	60
Obr. 44 Graf vykreslující klesající hodnoty zatížení se zvyšující se teplotou	63
Obr. 45 Krabicový graf pro necyklované vzorky.....	63
Obr. 46 Graf zobrazující klesající tendenci hodnot zatížení u cyklovaných vzorků.....	66
Obr. 47 Krabicový graf pro hodnoty pevností u cyklovaných vzorků.....	66
Obr. 48 Graf vykreslující rozdíly mezi maximálními hodnotami zatížení cyklovaných a necyklovaných vzorků.....	67
Obr. 49 Graf vícefaktorové ANOVY pro metodu smykového tlaku	69
Obr. 50 Ukázka necyklovaných vzorků dle použitých teplot při testování (vlastní knihovna) ..	70
Obr. 51 Ukázka cyklovaných vzorků dle použitých teplot při testování (vlastní knihovna)	70
Obr. 52 Ukázka rozdílného chování vzorků - necyklovaný a cyklovaný typ (vlastní knihovna)	71
Obr. 53 Ukázka vzorků po testování smykového tlaku; vzorky zůstaly nezměněny	71
Obr. 54 Srovnání chování cyklovaných a necyklovaných vzorků dle použitých teplot při testování	72
Obr. 55 Ukázka cyklovaných a necyklovaných vzorků dle použitých teplot při testování	72
Obr. 56 Srovnání dosažených hodnot zatížení dle použitého lepidla.....	78
Obr. 57 Srovnání dosažených hodnot zatížení dle tavného lepidla (vlastní knihovna).....	80
Obr. 58 Vzorky vystaveny po stejný čas zvýšené teplotě a testovány současně (vlastní knihovna)	81
Obr. 59 Graf zobrazující rozdílné hodnoty tlakového zatížení zkušebních vzorků (vlastní knihovna)	81

Seznam tabulek

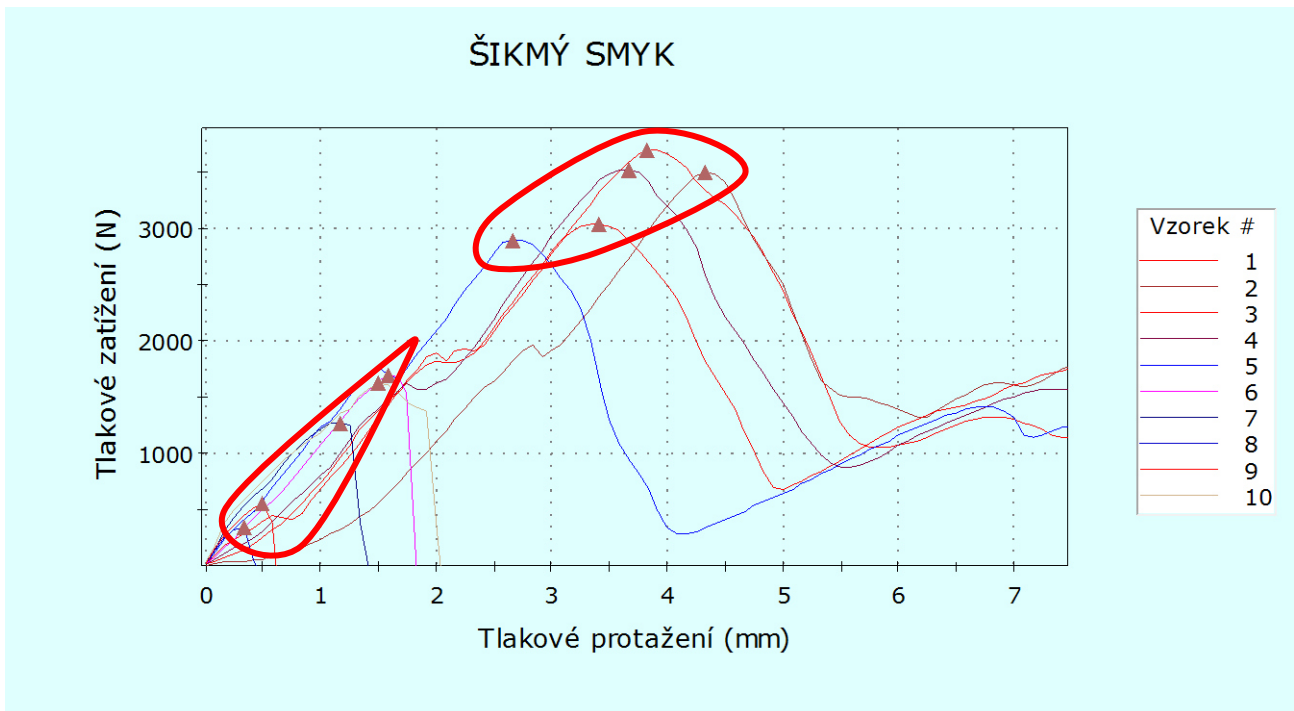
Tab. 1 Údaje z dataloggeru umístěného v teplotní komoře (vlastní knihovna)	46
Tab. 2 Maximální hodnoty napětí vzorků podrobených zkoušce odlupování	55
Tab. 3 Maximální hodnoty napětí vzorků podrobených zkoušce odlupování	56
Tab. 4 Porovnání hodnot zatížení mezi cyklovanými a necyklovanými vzorky v závislosti na teplotě.....	59
Tab. 5 Výsledky testu vícefaktorové ANOVY	59
Tab. 6 Test mnohonásobného porovnání zobrazující srovnatelné skupiny dle teplot.....	60
Tab. 7 Hodnoty maximálního zatížení vzorků u metody smykového tlaku pod úhlem 45°	61
Tab. 8 Hodnoty maximálního napětí vzorků u metody smykového tlaku pod úhlem 45°	62
Tab. 9 Hodnoty maximálního zatížení vzorků u metody smykového tlaku pod úhlem 45°	64
Tab. 10 Hodnoty maximálního napětí vzorků u metody smykového tlaku pod úhlem 45°	65
Tab. 11 Porovnání dosažených zatížení mezi cyklovanými a necyklovanými vzorky v závislosti na teplotě.....	67

Seznam zkratk

ABS	Akrylonitril-butadien-styren
AČN	Asociace českých nábytkářů
APAO	Amorfní poly-alfa-olefin
AIRTEC	Olepování pomocí horkého vzduchu
ČHMÚ	Český hydrometeorologický ústav
ČR	Česká republika
DTD	Dřevotřísková deska
EU	Evropská unie
EVA	Ethylen-vinyl acetát
HPL	High pressure laminate; vysokotlaké lamináty
ISO	Mezinárodní organizace pro normalizaci
MDF	Medium density fibreboard; středně hustá vláknitá deska
MEF	Melamin-formaldehydová pryskyřice
MUF	Melamin-močovinoformaldehydová pryskyřice
PF	Fenol-formaldehydová pryskyřice
PP	Polypropylen
PVAC	Polyvinylacetát
PVC	Polyvinylchlorid
TÜV	Technischer Überwachungs-Verein, Technické kontrolní sdružení
UF	Močovinoformaldehydová pryskyřice
UV	Ultraviolet light, ultrafialové záření
VOC	Volatile organic compound, těkavá organická látka
VD	Vláknitá deska

PŘÍLOHY

Výstupy z měření – tlakový smyk pod úhlem 45°



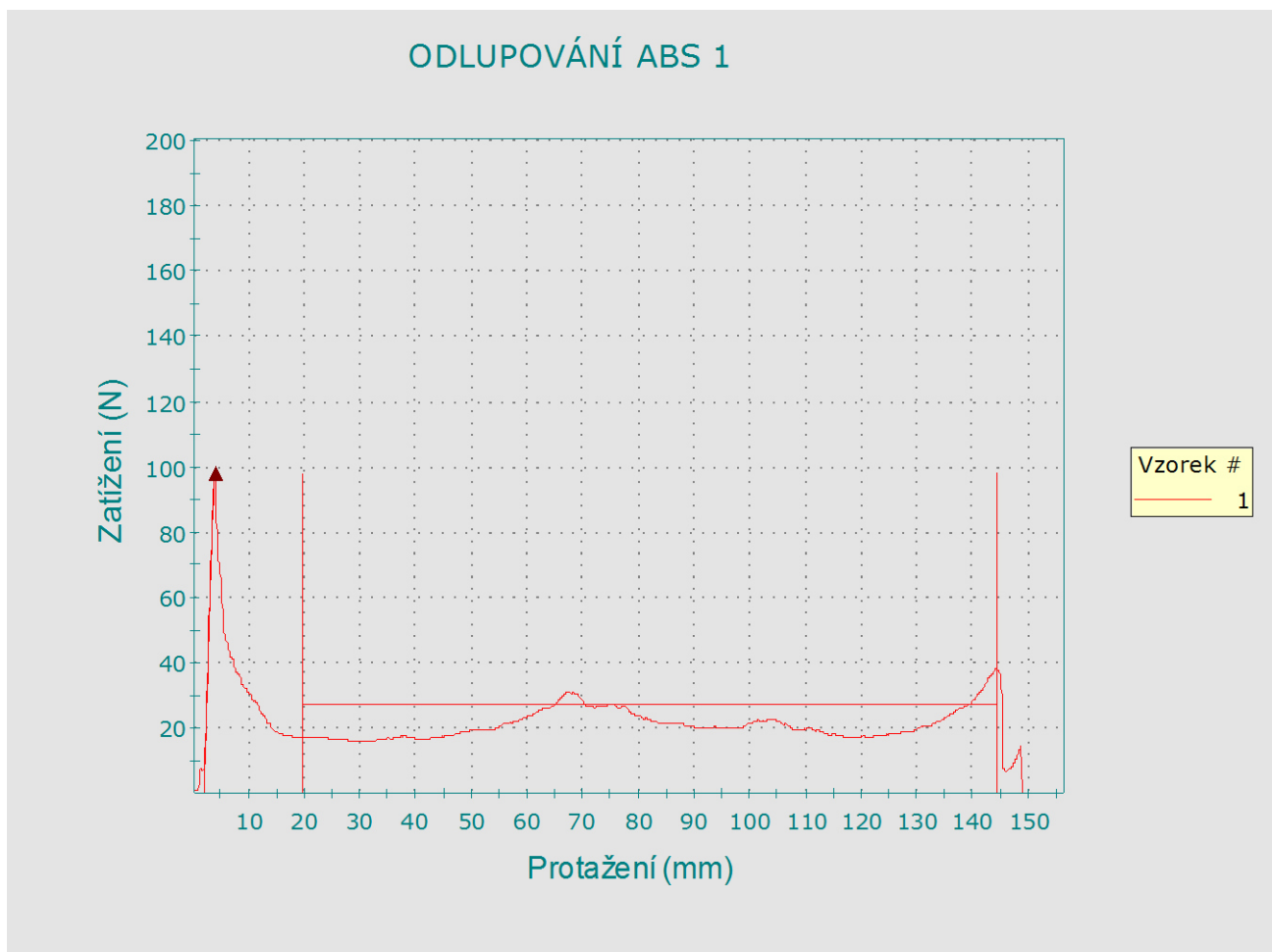
	Maximální zatížení (N)	Maximální pevnost (MPa)	Modul (MPa)	Průsečík X při modulu (mm/mm)	Tlakové napětí při mezi kluzu (Posun 2 mm/mm) (MPa)
1	3690,46191	2,19670	7,59780	0,04772	0,00553
2	3495,09570	2,08041	8,13779	0,16880	0,16551
3	3038,05713	1,80837	7,47949	0,04000	0,15464
4	3524,97827	2,09820	8,69237	0,09999	0,03384
5	2892,14917	1,72152	8,23788	0,04952	-0,21975
6	1699,31274	1,01150	7,70482	0,01688	-0,13488
7	1278,59558	0,76107	9,64347	-0,00133	-0,34320
8	336,03448	0,20002	-----	-----	-----
9	557,97321	0,33213	9,38788	-0,00111	-0,39799
10	1629,61646	0,97001	12,00827	-0,00152	-0,39614
Průměrná hodnota	2214,22747	1,31799	8,76553	0,04655	-0,12583
Maximální	3690,46191	2,19670	12,00827	0,16880	0,16551
Minimální	336,03448	0,20002	7,47949	-0,00152	-0,39799
Směrodatná odchylka	1266,19876	0,75369	1,43587	0,05658	0,22627
Medián	2295,73096	1,36651	8,23788	0,04000	-0,13488

Ukázka testovaných zkušebních vzorků



Výstupy z měření – Zkouška ČSN EN 28510-1 Lepidla – Zkouška v odlupování zkušebního tělesa z ohebného a tuhého adherendu – Část 1: Odlupování pod úhlem 90 stupňů

Dokumenty: Formát dokumentu	MS Word
Všeobecné: Method saved date	21.1.2016 07:52



	Průměr Zatížení při průměrné hodnotě (5 špičky + poklesy) (N)	Zatížení při porušení (Standardní) (N)	Medián špiček při průměrné hodnotě (N)	Počet špiček při průměrné hodnotě	Rozsah špiček při průměrné hodnotě (N)	Protažení při odlupování při porušení (Standardní) (mm)
1	27,41876	< -1,33	26,90	> 4	20,82947	160,06
2	14,09373	< -1,29	13,02	> 5	5,43994	160,08
3	20,93529	< -0,33	17,60	> 3	14,21264	160,08
4	29,02338	< -1,81	25,36	> 6	25,47839	160,04
5	29,01602	> 0,48	26,21	> 6	23,91709	160,30
6	11,58513	< -1,63	11,42	> 3	4,03058	160,08
7	16,59704	< -1,69	16,57	> 3	6,47669	160,25
8	69,02027	< -1,42	70,33	> 20	27,97686	160,09
9	36,48591	< -0,95	33,51	> 4	22,21438	160,00
10	60,36634	< -1,02	42,33	> 20	27,97686	160,09
11	29,58794	> 50,79	57,74	> 13	57,50728	154,25
12	12,69813	< -178	11,42	> 3	4,03058	160,08
13	16,87401	> 48,82	130,12	> 33	54,57545	156,92
14	69,08547	< -1,42	78,33	> 20	27,97686	160,09
15	37,78191	< -0,95	34,53	> 4	22,21438	160,03
16	61,32734	< -1,22	680,33	> 20	27,97686	160,09
17	28,43216	< -1,15	26,90	> 4	19,82937	160,06
18	18,21453	< -1,72	17,58	> 3	6,47669	160,25
19	28,94129	< -1,68	23,41	> 6	25,02141	160,00
20	29,34738	< -1,81	25,36	> 6	25,47839	160,04
21	29,39874	< -1,80	25,34	> 6	25,47899	160,04
22	14,62513	< -1,81	11,45	> 3	4,03058	160,08
23	16,06701	< -1,85	12,61	> 3	4,03058	160,17
24	70,92028	< -1,44	68,33	> 20	27,97686	156,92
25	38,20591	< -0,95	34,53	> 4	20,21433	160,08

	Průměr Zatížení při průměrné hodnotě (5 špičky + poklesy) (N)	Zatížení při porušení (Standardní) (N)	Medián špiček při průměrné hodnotě (N)	Počet špiček při průměrné hodnotě	Rozsah špiček při průměrné hodnotě (N)	Protažení při odlupování při porušení (Standardní) (mm)
26	14,02138	< -1,66	13,57	> 3	6,47669	160,08
27	20,30874	< -1,72	17,58	> 3	4,47669	160,04
28	29,02356	< -1,79	28,37	> 6	25,61247	160,30
29	29,01365	< -1,82	22,04	> 6	25,3247	160,08
30	69,08741	< -1,88	55,31	> 20	27,97686	160,25
Průměr	32,58179	-5,68517	55,27000	8,6667	20,70796	159,69733
Maximum	70,92028	50,79	680,33	33	57,5073	160,3
Minimum	11,58513	-178	11,42	3	4,03058	154,25
Medián	29,01484	-1,63000	25,78500	5,5000	23,06574	160,0800
Směrodatná odchylka	18,60235	33,93010	118,82600	7,83723	13,19750	1,28817

PUR hot melt adhesive for edgebanding

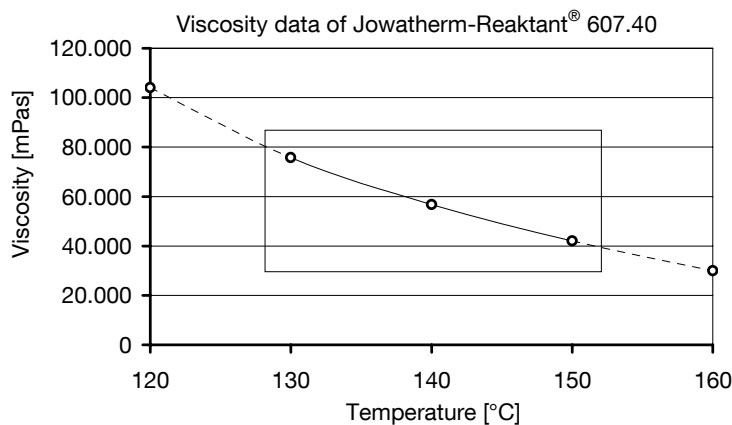
607.40/41/43

Application: To be applied with automatic edgebanders and high-speed wrapping machines. Wide field of application, e.g. edges made of HPL/CPL, polyester, PVC, ABS, PP, resinated paper, solid wood or veneer.

Characteristics/ Directions For Use: Fast setting, high initial strength. Crosslinking within a few days, depending on humidity and material moisture. Good elasticity at low temperatures as well as good resistance to solvents. Processing with special equipment from moisture-proof sealed containers. Also available in granulate form.

Application temperature [°C]: approx. 140 (depending on application)
Reaction time [d]: approx. 3 (depending on ambient conditions)

Technical Data: Density [g/cm³]: approx. 1.30
Appearance: final digit 0 = beige
final digit 1 = white
final digit 3 = black



continued on page 2

03/07 All data indicated are characteristics represented as average values. Our technical data sheets are constantly revised to represent the latest state of technology. This edition is replacing all previous ones, and is valid on the date of compilation.
Please turn this page for additional information.

Jowat 
Klebstoffe

- Cleaning:** If necessary, flush out hot melt remnants from the melt and applicator units with Jowat® Flushing Agent 930.70 (clear) or 930.74 (red). Crosslinked, solid material has to be dissolved with Jowat® Cleaner 930.60 (please test for suitability before use).
For more information, please refer to the “PUR hot melt Manual” under the heading “Maintenance and Cleaning” (available upon request).
- Storage:** May be stored for 6 months after date of delivery ex production site in original sealed containers, for 12 months in cartridges, cool and dry (15 - 25°C).
- Packaging:** Moisture-proof sealed containers. Types of packaging and units upon request.
- Remarks:** For further information concerning handling, transport and disposal, please refer to the Material Safety Data Sheet.
Our information on this data sheet is based on test results from our laboratories as well as on experience gained in the field by our customers. It can, however, not cover all parameters for each specific application and is therefore not binding for us. The information given in this leaflet represents neither a performance guarantee nor a guarantee of properties, nature, condition, state or quality. No liability may be derived from these indications nor from the recommendations made by our free technical advisory service.

Jowat Information

Glueing as one of the most efficient methods of bonding is constantly gaining importance and expanding into new areas of application. At the same time, the number of substrates to be bonded is also growing at an unprecedented rate. New methods and equipment to process adhesives are developed.

The in-house R & D departments of the Jowat AG are responding with intensive efforts to keep pace with these constant changes. A highly qualified team of chemists and engineers is using the latest techniques and brightest ideas to provide the utmost in advice our customers and to make sure that they get the adhesive which meets their needs.

Our information is based on test results from our laboratories as well as on experience gained in the field by our customers. This advice, however, cannot cover all eventualities for each specific application and as such is not binding for us. Please, contact our technical service department in each case to find out what the actual technical state of development for the respective product is, and request the latest data sheet. Any use of our product without this precautionary measure would be your sole responsibility.

The processing company itself must therefore test the adhesives manufactured by us for suitability in each individual case. This applies to the first use of a sample as well as to modifications during an ongoing production.

We are therefore requesting all our new customers to test our adhesives for suitability on original parts at conditions equal to normal processing conditions. The bond has then to be subjected to the actual stress which it would undergo when in use and has to be assessed. This test is absolutely necessary.

Customers who undertake modifications during a running production are requested to pass this information on to us. Please notify us when machines are set to new parameters as well as when the substrates to be bonded are changed. Only then will the Jowat AG be able to provide our most up-to-date information to the processor using our adhesives.

The information given in this leaflet is based on practical experience and on results of tests in our laboratory, and does in no way constitute any guarantee of properties. No liability may be derived from these indications nor from the recommendations made by our technical advisory service.