

Mendelova univerzita v Brně

Lesnická a dřevařská fakulta

Ústav nábytku, bydlení a designu

**Vliv teploty na pevnost svařeného a lepeného
spoje z materiálu Resysta®**

DIPLOMOVÁ PRÁCE

2015/2016

Bc. Štěpán Hrabovský

Prohlášení:

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

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

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

V Brně, dne:.....

podpis studenta:.....

Poděkování:

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu mé diplomové práce panu Ing. Josefovi Hlavatému, Ph.D za ochotu, trpělivost a všechny rady, které mi během vypracování této práce poskytl a také za to, že souhlasil s vedením této práce. Dále bych chtěl poděkovat firmě mmcité, a.s., především pak Ing. Michalovi Šromovi, který souhlasil se spoluprací, Ing. Michalovi Kolářovi, PhD za komunikaci, konzultace a řešení problémů v průběhu tvorby práce a také MgA. Jitce Trčkové za zprostředkování spojení se s vedením firmy. Dále děkuji také panu Ing. Zdeňku Adamcovi, PhD. za ochotu konzultovat statistické vyhodnocení získaných dat a v neposlední řadě děkuji také své rodině za podporu při studiu.

ABSTRAKT

Autor: **Bc. Štěpán Hrabovský**

Název práce: **Vliv teploty na pevnost svařeného a lepeného spoje z materiálu Resysta®**

Tato diplomová práce nejprve stručně pojednává o vlastnostech a využití materiálu Resysta. Hlavním cílem práce je stanovení vlivu teploty na mezní smykové napětí svařeného a lepeného spoje v tahu u součástí z materiálu Resysta pro aplikaci u nábytku pro vnější prostředí, vyhodnocení vlivu teploty na tyto spoje a vyhodnocení výsledků získaných měření. Dalším cílem je i zkouška meze pevnosti samotného materiálu Resysta a zjištění vlivu směru uložení dílců v desce z materiálu Resysta. Výsledky práce poslouží pro konkrétní firmu také jako podklad pro rozhodování mezi technologií lepení a svařování a jako podklad pro zadávání na zakázku vyrobeného jednoúčelového stroje na svařování materiálu Resysta.

Při expozičních teplotách -30 °C, 20 °C a 60 °C byly provedeny zkoušky mezního smykového napětí v tahu svařených a lepených spojů a zkouška meze pevnosti tahu samotného materiálu Resysta. Zkoušky byly provedeny dle ČSN EN 205 a ISO 527-1 na zkušebním stroji Instron 3365.

Laboratorní testy ukázaly, že se zvyšující teplotou hodnoty mezního smykového napětí v tahu klesaly ve spoji svařeném i lepeném a s rostoucí teplotou klesala i mez pevnosti u materiálu Resysta. Statisticky byl potvrzen i vliv směru uložení dílců v desce z materiálu Resysta. V podélném směru byla pevnost v tahu vyšší než pevnost v příčném směru vzhledem k delší hraně desky.

Klíčové slova:

Resysta, pevnost spoje v tahu, vliv teploty, lepidlo, svařování, kompozit, rýžové slupky, pevnost spoje, polymerní kompozitní materiál, mez pevnosti v tahu, mezní smykové napětí v tahu

ABSTRACT

Author: Bc. Štěpán Hrabovský

Title: **Influence of temperature on tensile strength of welded and glued joints made from Resysta® material**

This master thesis shortly deals with properties and usage of the Resysta material. The main objective of this thesis is to determine a temperature influence on tensile strength of welded and glued joints made from the material Resysta, for an usage such as an outdoor furniture, temperature influence analysis of the joints and to present the results of the analysis obtained by measurements. Further objectives are: tensile strength experiment of material Resysta and to determine influence of placing the pieces in a desk in different directions. Results will serve as a basis for a specific firm; as a basis for deciding between technology of gluing and a technology of welding and also for input for a custom made single purpose machine made for welding of material Resysta.

Tests were performed in exposure temperatures -30 °C, 20 °C and 60 °C. We will perform two tests; first test will focus on the tensile strength of glued and welded joints and second one will try to test of tensile strength of Resysta material. Experiments were conducted according to standards ČSN EN 205 and ISO 527-1 on the Instron 3365 testing machine.

Laboratory tests showed that values of tensile strength were decreased while increasing the exposure temperature and this was consistent in every test performed. A statistical significance was also confirmed in work piece direction influence on a board. There were higher values of the tensile strength in longitudinal direction than in the transverse.

Keywords:

Resysta, bond strength tensile, the influence of temperature, glue, welding, composites, rice hulls, bond strength, polymer composite material, tensile strength

Obsah

1	ÚVOD	9
2	CÍL PRÁCE	10
3	LITERÁRNÍ PŘEHLED	11
3.1	MATERIÁL RESYSTA	11
3.2	TECHNICKÉ PARAMETRY	13
3.3	VYUŽITÍ A OPRACOVÁNÍ MATERIÁLU RESYSTA	14
3.4	SLOŽENÍ	17
3.4.1	PVC	18
3.4.2	RÝŽOVÉ SLUPKY	18
3.4.2.1	SLOŽENÍ RÝŽOVÉ SLUPKY	19
3.4.2.2	CELULÓZOVÁ VLÁKNA	21
3.4.3	RETARDÉR HOŘENÍ APYRAL 60CD	21
3.5	LEPENÍ MATERIÁLŮ NA BÁZI CELULÓZA-HEMICELULÓZA-LIGNIN	22
3.5.1	TEORIE LEPENÍ DŘEVĚNÝCH MATERIÁLŮ	22
3.6	SVAŘOVÁNÍ DŘEVA	24
3.7	SVAŘOVÁNÍ PLASTU	25
3.8	KOMPOZITNÍ MATERIÁLY	27
3.8.1	TEPLOTNÍ HRANICE POUŽITÍ VYZTUŽENÝCH PLASTŮ	29
3.8.2	MATRICE	30
3.8.2.1	TERMOPLASTY	31
3.8.2.2	REAKTOPLASTY	32
3.9	PEVNOST MATERIÁLU V TAHU	32
4	STANOVENÍ METODIKY A PŘÍPRAVA VZORKŮ	34
4.1	VÝROBA VZORKŮ A POSTUP OVĚŘOVACÍ ZKOUŠKY MEZNÍHO SMYKOVÉHO NAPĚTÍ V TAHU SVAŘENÉHO SPOJE	34
4.2	VÝROBA VZORKŮ A POSTUP DRUHÉ A TŘETÍ OVĚŘOVACÍ ZKOUŠKY - MEZNÍ SMYKOVÉ NAPĚTÍ V TAHU - SVAŘENÝ A LEPENÝ SPOJ	36
4.3	VÝROBA A TEMPEROVÁNÍ ZKUŠEBNÍCH VZORKŮ	38
4.3.1	MEZNÍ SMYKOVÉ NAPĚTÍ SVAŘENÉHO A LEPENÉHO SPOJE V TAHU A MEZ PEVNOSTI MATERIÁLU RESYSTA V TAHU PŘI TEPLOTĚ 20 °C	41

4.3.2	MEZNÍ SMYKOVÉ NAPĚTÍ SVAŘENÉHO A LEPENÉHO SPOJE V TAHU A MEZ PEVNOSTI MATERIÁLU RESYSTA V TAHU PŘI TEPLOTĚ 60 °C.....	41
4.3.3	MEZNÍ SMYKOVÉ NAPĚTÍ SVAŘENÉHO A LEPENÉHO SPOJE V TAHU A MEZ PEVNOSTI MATERIÁLU RESYSTA V TAHU PŘI TEPLOTĚ -30 °C	42
4.4	ANALÝZA DAT	43
5	LABORATORNÍ VÝSLEDKY	46
5.1	OVĚŘOVACÍ ZKOUŠKY	46
5.1.1	PRVNÍ OVĚŘOVACÍ ZKOUŠKA PRO VOLBU METODIKY – MEZNÍHO SMYKOVÉHO NAPĚTÍ V TAHU – SVAŘENÝ SPOJ	46
5.1.2	DRUHÁ OVĚŘOVACÍ ZKOUŠKA PRO VOLBU METODIKY A LEPIDLA - MEZNÍ SMYKOVÉ NAPĚTÍ V TAHU – LEPENÝ SPOJ	46
5.1.3	TŘETÍ OVĚŘOVACÍ ZKOUŠKA PRO VOLBU METODIKY – MEZNÍ SMYKOVÉ NAPĚTÍ V TAHU – SVAŘENÝ SPOJ.....	46
5.2	STANOVENÍ MEZNÍHO SMYKOVÉHO NAPĚTÍ V TAHU – LEPENÝ SPOJ	47
5.3	STANOVENÍ MEZNÍHO SMYKOVÉHO NAPĚTÍ V TAHU – SVAŘENÝ SPOJ.....	47
5.4	MEZ PEVNOSTI V TAHU MATERIÁLU RESYSTA – VZORKY VYROBENY V PODÉLNÉM SMĚRU.....	48
5.5	MEZ PEVNOSTI MATERIÁLU RESYSTA V TAHU – VZORKY VYROBENY V PŘÍČNÉM SMĚRU	49
5.6	STATISTICKÉ VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ	50
5.6.1	ANALÝZA DAT MEZNÍHO SMYKOVÉHO NAPĚTÍ V TAHU SVAŘENÝCH A LEPENÝCH SPOJŮ	50
5.6.2	ANALÝZA DAT MEZE PEVNOSTI MATERIÁLU RESYSTA V TAHU	52
6	VYHODNOCENÍ A DISKUZE DOSAŽENÝCH LABORATORNÍCH VÝSLEDKŮ	56
6.1.1	OVĚŘOVACÍ ZKOUŠKY	56
6.2	MEZNÍ SMYKOVÉ NAPĚTÍ V TAHU – SVAŘOVANÉ A LEPENÉ SPOJE.....	57
6.3	MEZ PEVNOSTI MATERIÁLU RESYSTA V TAHU	58
7	ZHODNOCENÍ PŘÍNOSŮ PRO PRAXI A ZÁVĚR.....	60
8	ASSESSMENT OF BENEFITS FOR PRACTICE AND CONCLUSION	61
9	SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK	62
10	PŘEHLED POUŽITÉ LITERATURY	63
10.1	SEZNAM ODBORNÉ LITERATURY	63
10.2	INTERNETOVÉ ZDROJE.....	66
11	SEZNAM OBRÁZKŮ	68
12	SEZNAM TABULEK.....	71

13	PŘÍLOHY.....	73
13.1	OVĚŘOVACÍ ZKOUŠKY	73
13.2	MEZNÍ SMYKOVÉ NAPĚTÍ V TAHU – LEPENÝ SPOJ.....	77
13.2.1	MEZNÍ SMYKOVÉ NAPĚTÍ V TAHU – LEPENÝ SPOJ PŘI TEPLITĚ 20 °C.....	78
13.2.2	MEZNÍ SMYKOVÉ NAPĚTÍ V TAHU – LEPENÝ SPOJ PŘI TEPLITĚ 60 °C.....	80
13.2.3	MEZNÍ SMYKOVÉ NAPĚTÍ V TAHU – LEPENÝ SPOJ PŘI TEPLITĚ 60 °C.....	81
13.3	MEZNÍ SMYKOVÉ NAPĚTÍ V TAHU – SVAŘENÝ SPOJ	82
13.3.1	MEZNÍ SMYKOVÉ NAPĚTÍ PEVNOSTI V TAHU – SVAŘENÝ SPOJ PŘI TEPLITĚ 20 °C.....	83
13.3.2	MEZNÍ SMYKOVÉ NAPĚTÍ V TAHU – SVAŘENÝ SPOJ PŘI TEPLITĚ 60 °C.....	84
13.3.3	MEZNÍ SMYKOVÉ NAPĚTÍ V TAHU – SVAŘENÝ SPOJ PŘI TEPLITĚ -30 °C	86
13.4	MEZ PEVNOSTI V TAHU – SVAŘENÝ SPOJ	87
13.4.1	MEZ PEVNOSTI MATERIÁLU RESYSTA V TAHU PŘI TEPLITĚ 20 °C	88
13.4.2	MEZ PEVNOSTI MATERIÁLU RESYSTA V TAHU PŘI TEPLITĚ 60 °C	89
13.4.3	MEZ PEVNOSTI MATERIÁLU RESYSTA V TAHU PŘI TEPLITĚ -30 °C	91

1 ÚVOD

Dřevo je překrásný materiál, který je používán už od nepaměti. Je to jeden z přírodních obnovitelných zdrojů, bez kterého bychom si svět snad ani nemohli představit. Má dobré fyzikální i mechanické vlastnosti, ale kolísáním vody vázané a následným vznikem tvarových změn a vad nemusí být k využití v exteriéru optimální volbou. Z tohoto důvodu se hledají alternativní materiály, které by byly vhodnější pro použití ve venkovním prostředí. Jednou z těchto alternativ může být právě materiál Resysta.

Dalším dnes z mnoha diskutovaných témat je ekologie. Nekonečný růst na zemi je nemožný, a proto je potřeba myslet na budoucnost a udělat všechno proto, abychom dosáhli trvale udržitelného rozvoje, který neignoruje ekologickou stránku při vývoji lidské společnosti. Jedním z dnes již aplikovaných způsobů, jak se k takovému stavu přiblížit, je využívání recyklovaných a recyklovatelných materiálů. Do takových materiálů zapadá i materiál Resysta, u kterého lze odpad znovu využít při výrobě nových výrobků. Znamená to, že výroba je bezodpadová.

Důležitým faktorem v dnešním uspěchaném a konkurenčním světě nejen v dřevařském průmyslu je také časová flexibilita a rychlost reakce na tržní konkurenci. Z tohoto hlediska je kompozit Resysta výhodným materiálem, protože rýže jako zdroj její slupky se sklízí dvakrát ročně a pěstuje se i v Evropě. To znamená, že potřebné množství hlavní suroviny na výrobu materiálu Resysta by mělo být dostatek.

2 CÍL PRÁCE

Hlavním cílem práce je stanovení vlivu teploty na mezní smykové napětí svařeného a lepeného spoje v tahu u součástí z materiálu Resysta pro aplikaci u nábytku pro vnější prostředí. Zkoušení vzorků bude provedeno při teplotách $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$, $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $60\text{ }^{\circ}\text{C}$, což má napodobit podmínky venkovního prostředí na různých oblastech světa, kam firma mmcité výrobky exportuje. Práce řeší i další cíle. Jedním z vedlejších cílů je i zkouška meze pevnosti samotného materiálu Resysta při stejných teplotních podmínkách jak již bylo uvedeno výše. Z důvodu hypotézy nedokonalé homogenity deskového materiálu Resysta, je dalším vedlejším cílem zjištění potenciálního vlivu směru uložení dílců v desce na mez pevnosti v tahu. Pro firmu mmcité budou výsledky sloužit jako podklad pro lepší pochopení chování tohoto materiálu v praxi a dost možná také i při rozhodování a zadávání na zakázku vyrobeného jednoúčelového stroje na svařování.

3 LITERÁRNÍ PŘEHLED

3.1 Materiál Resysta

Resysta je extrémně trvanlivý, slunci, dešti, mrazu, plísním a slané vodě odolný materiál složený z 60 % rýžovými slupkami, 22 % soli a 18 % minerálního oleje. Na první pohled připomíná dřevo, ale nemá tolik nedostatků. Nevyžaduje téměř žádnou údržbu, je odolný vůči škůdcům a plísním a nepraská. Vzhledově vypadá mnohem lépe než většina ostatních kompozitních materiálů a jeho povrch je příjemný na dotyk. Resysta už teď splňuje většinu budoucích požadavků na ekologickou udržitelnost materiálu, je recyklovaná a recyklovatelná. Tento materiál je možné také opracovávat podobně jako dřevo, tedy řezat, brousit, vrtat, frézovat, ohýbat nebo natírat (*Obr. 3, Obr. 4, Obr. 5, Obr. 6, Obr. 7*).

Dosahuje vysokých hodnot mechanických vlastností, je teplotně stálý a chemicky odolný. Z těchto důvodů je materiál vhodný pro použití v exteriéru, kde se často setkáváme s negativně působícími povětrnostními vlivy jako teplota, mráz, vlhko, slunce apod. Neabsorbuje vodu, tedy ani nebobtná a nevznikají v něm trhliny. Oproti dřevu nemá třísky, takže je možné materiál použít i bez náročných povrchových úprav.

(mmcité, 2016; BBC, 2011)

Firma mmcité prozatím používá především duté vylisované profily, které vynikají vysokou pevností a stabilitou, která se ještě může umocnit vkládáním kovových prvků do dutiny profilů. Z profilů vyrábí lavičky, odpadkové koše a nádoby na rostliny. Momentálně firma pracuje na vývoji technologií práce s materiálem Resysta za účelem možnosti využití materiálu i v podobě velkoplošného materiálu a ohýbání. Jeden metr čtvereční desky z materiálu Resysta o tloušťce 5 mm stojí kolem 600 Kč. (mmcité, 2016; Resysta, 2015)

V následující tabulce (*Tab. 1*) najdeme schématické porovnání vlastností materiálu Resysta s tropickým dřevem, nativním dřevem a s tzv. dřevoplastem (WPC – wood-plastic composite). Ve všech porovnávaných vlastnostech je Resysta hodnocena lépe nebo minimálně na stejné úrovni jako ostatní materiály. Někdo však i přesto může preferovat přírodní dřevo, protože čistě ze subjektivního hlediska může být jeho vzhled hodnocen mnohem lépe než materiál Resysta.

Tab. 1 Schématické porovnání vlastností materiálu Resysta s tropickým dřevem, WPC a nativním dřevem (Revaly,2016)

Vlastnosti	Resysta	Tropické dřevo	Nativní dřeva	WPC (Woodplastic- Composite)
Na dotek	++	++	+	-
Voděodolnost	++	-	-	-
UV-stálost	++	--	--	-
Odolnost proti houbám	++	+	+/-	+
Vyblednutí nebo zešednutí	++	+	+/-	+
Opracovatelnost	+	+	+	+
Životnost	++	-	-	+
Recyklovatelnost	++	+/-	-	-
Barevná stálost	+	+	+	-
Praskání	++	-	-	+
Třepení /třísky/	++	-	-	+
Bobtnání	++	-	-	+
Lepení	+	+/-	+	-
Požární odolnost	+	+	+	-

3.2 Technické parametry

V následující tabulce (Tab. 2) se nachází přehled všech dostupných technických parametrů.

Tab. 2 Technické parametry materiálu Resysta (Resysta, 2015)

Vlastnost	Hodnota/výsledek	Jednotka	Norma
Hustota	1,46	g/m ³	ASTM D2395:2002
Index toku taveniny	2-3	cm ³ /10 min	ISO 1133
Koeficient lineární tepelné roztažnosti	45	3,6 x 10 ⁻⁵ mC	ASTM D696
Odolnost proti skluznosti povrchu	Třída C (nejvyšší)	-	DIN 51097
Odolnost proti hoření	B2 (E) - standardní hořlavost	-	EN ISO 11925-2
Odolnost proti hoření dle NFPA (US)	Třída A	-	ASTME84
Odolnost proti hoření (Britský standard)	Třída 1	-	BS 476 Teil 6&7
Emise	Splňuje požadavky	-	LGA
Zkouška tvrdosti podle Brinella	81,10	N/mm ²	EN 1534
Koeficient smykového tření μ	0,46	-	EN 13893
Koeficient smykového tření μ lakováno	0,52	-	EN 13894
Odolnost vrutu proti vytažení	5777	N	EN 320.2011-07
Tepelná vodivost (λ)	0,199	W/(mK)	EN 12664
Stanovení propustnosti pro vodní páru	5777	N	DIN EN ISO 12572
Absorpce vody a vlhkosti	Téměř bez vyskytu	-	ASTM D1037:2006a
Absorpce vody při 100 % relativní vlhkosti vzduchu po 6 h	0,73	%	ISO 62
Absorpce vody při 100 % relativní vlhkosti vzduchu po 32 h	1,12	%	ISO 63
Absorpce vody při 100 % relativní vlhkosti vzduchu po 124 h	1,85	%	ISO 64
Pevnost v ohybu	46	N/mm ²	ISO 178
Modul pružnosti v ohybu	3850	N/mm ²	ISO 178
Pevnost v tahu	21,80	N/mm ²	ISO 527
Modul pružnosti v tahu	2340	N/mm ²	ISO 527
Pevnost ve střihu	16,80	N/mm ²	EN 392
Rázová houževnatost	5,99	kJ/m ²	ISO 180/1eU
Odolnost proti dřevokazným houbám (Stopkovýtusné houby)	Třída 1 (Bez napadení)	-	DIN V EN V 12038:2002
Odolnost proti hnijícím houbám	Třída 1 (Bez napadení)	-	CEN/TS 15083-2
Odolnost proti plísním a	Velmi odolné	-	EN 15534-1:2012
Odolnost proti podzemním termitům	Vysoká odolnost (téměř bez váhové ztráty)	-	ASTM D3345-08

3.3 Využití a opracování materiálu Resysta

Vzhledem k dobrým fyzikálním, mechanickým i chemickým vlastnostem, lze použít Resystu téměř na jakýkoli stavebně truhlářský výrobek, nábytek apod. Naprostá odolnost proti vlhkosti umožňuje použití materiálu v prostředí, které je pro dřevo běžně nepříznivé.

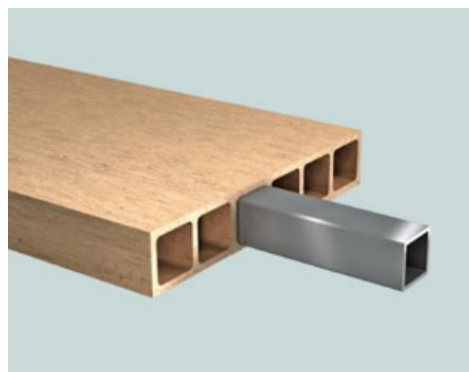
Možné použití materiálu:

- Venkovní terasy (*Obr. 1*)
- Obložení stěn
- Výroba nábytku
- Pokládka podlah
- Stavba venkovních přístřešků a garáží
- Výroba plotů, zábradlí nebo schodů
- Pokládka podlahy na molech a lodích
- Prostory kolem bazénů
- A mnoho další

Pokud je potřeba použít delšího profilu, u kterého se čeká zatížení v ohybu, lze jej vyztužit pomocí železného Jäcklu (*Obr. 2*).



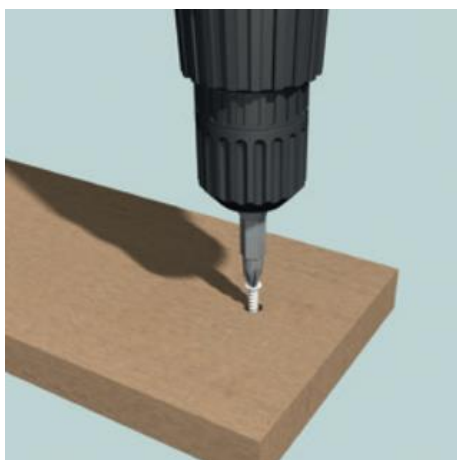
Obr. 1 Příklad použití materiálu Resysta na zahradní terase v Bostonu 2013 (Resysta, 2015)



Obr. 2 Použití Jäcklového profilu pro vyztužení vytlačeného profilu z materiálu Resysta (Andersenstokke, 2015)

Při opracování materiálu Resysta lze použít tyto technologie:

- **Spojování pomocí spojovacích vrtů** (Obr. 3)
- **Vrtání** (Obr. 4)
- **Frézování** (Obr. 5)
- **Lepení běžně dostupnými lepidly** (Obr. 6)
- **Ohýbání teplem** (Obr. 7) – Ohýbání je možné po zahřívání materiálu při teplotě 125 °C po dobu cca 3 min (SIMONA® SIMOWOOD, 2014)
- **Svařování teplem** (Obr. 8)



*Obr. 3 Montáž materiálu Resysta pomocí
přišroubování vrtů (Andersenstokke, 2015)*



*Obr. 5 Frézování materiálu Resysta
(SIMONA, 2016)*



*Obr. 4 Vrtání otvorů do materiálu Resyst
(Andersenstokke, 2015)*

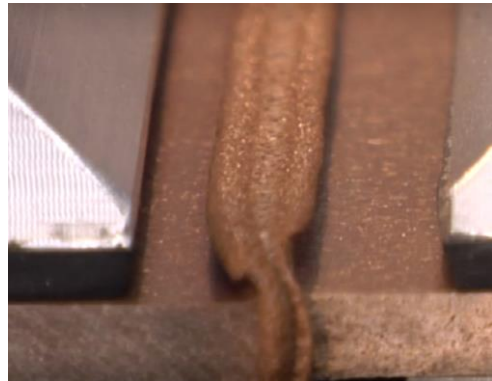


*Obr. 6 Lepení materiálu Resysta
(SIMONA, 2016)*



Figure 14:
Warm bent

Obr. 7 Beztržiskové obrábění materiálu Resysta ohybem za tepla (SIMONA, 2016)



Obr. 8 Dva kusy svařených plátů materiálu SIMOWOOD made of Resysta (SIMONA, 2016)

Firma mmcité používá Resystu k výrobě odpadkových košů, venkovních laviček, a nádob na květiny (*Obr. 10*). Z počátku si materiál Resysta objednávali ve formě již hotových profilů, nyní však používají suchou směs, ze které si strojně nechávají vytlačovat profily. Jeden z problémů, se kterým se firma setkala právě při výrobě laviček, byla voda, která se dostala přes lepenou spáru dovnitř dílců lepených na čelní strany dutých protlačovaných profilů (*Obr. 9*). To mělo za následek vznik koroze vložených železných profilů a vytékání rezavé vody ven. Toto budou chtít eliminovat právě svařováním materiálu Resysta.



Obr. 9 Detail lepeného dílce na čelní stranu dutého vytlačovaného profilu vyrobeného z materiálu Resysta (Resysta.mmcit, 2016)



Obr. 10 Příklady výrobků firmy mmcité z materiálu Resysta (Resysta.mmcit, 2016)

3.4 Složení

O materiálu Resysta se mluví jako o hybridním materiálu obsahující rostlinné vlákna a polyvinylchlorid (PVC) s dobrými technickými a ekologickými vlastnostmi. Kombinací přírodních vláken získaných z rýžových slupek s polymerním PVC je získáno materiálu, který je na pohled podobný dřevu.

Výhodou oproti dřevu je, že z důvodu menšího obsahu ligninu v rýžových slupkách na Resystu působí ultrafialové záření (UV) v menší míře. To u dřeva způsobuje tzv. fotodegradaci, které se projevuje zašednutím. Světlostálosti je docíleno částečně také přítomností stabilizátoru, což je přísada, která absorbuje ultrafialové záření, tzn. nejenergetičtější složku slunečního světla, která způsobuje degradaci polymerů.

Jako většina syntetických polymerů je i PVC vyrobeno z ropy. V tomto kontextu je však vhodné zmínit, že na výrobu syntetických produktů se spotřebuje pouze 5 % z celkové světové produkce ropy. Nicméně dnes už je možné vyrobit polymerní materiál i z obnovitelných zdrojů. Nehořlavosti je docíleno přidáním 10 % retardéru Apyral 60CD.

Jak rostlinná, tak polymerní část materiálu je 100 % recyklovatelná, takže v případě potřeby je možné transformovat tento termoplastický materiál z jednoho produktu na druhý. Na konci životního cyklu lze Resystu využít i jako palivo na výrobu energie.

Všechny tyto vlastnosti dělají z materiálu Resysta ekologicky vybalancovaný materiál, který je navíc velmi trvanlivý, téměř bezúdržbový a bez potřeby použití impregnačních látek jako jsou insekticidy, fungicidy nebo retardéry hoření. Resysta má

dobré vlastnosti i ze zdravotního hlediska. Je zdravotně nezávadný a do okolního prostředí nevyvolává škodlivé látky. (Stetter, 2008)

3.4.1 PVC

Kolik procent PVC obsahuje Resysta výrobce neuvádí. Je však možné, že minerálním olejem, kterého obsahuje 18 %, je myšleno právě PVC. Polyvinylchlorid je nevýznamnějším představitelem skupiny vinylových polymerů a společně s polyetylenem a polypropylenem nejmasověji vyráběným syntetickým plastem. Příčinou jeho rozšíření je poměrně levná výroba vinylchloridu a jeho významné vlastnosti (dobrá zpracovatelnost, chemická odolnost, možnost měkčené i neměkčené formy). Z hlediska mechanických vlastností má i dobrou pevnost a dalším důležitým faktorem je dobrá odolnost vůči hoření.

Výsledkem výroby je vždy prášek, který se pak zpracovává buď bez změkčovadel na tvrdé výrobky (trubky, armatury, profily v nábytkářství a stavebnictví, fólie a desky k obkládání fasád, atd.) nebo se změkčovadly na výrobky polotuhé až elastické (podlahoviny, izolace elektrických vodičů, koženky, atd.). Vytlačováním se z lehčeného tvrdého PVC vyrábějí trubky a profily opracovávané jako dřevo a používané ve stavebnictví a v nábytkářství. Výhodou tohoto materiálu je možnost svařování, nevýhodou tvrdého PVC je bezproblémové použití jen cca do 60 °C. Další nevýhodou může být křehkost. Polyvinylchloridový odpad lze i chemicky recyklovat, např. na chlor a uhlíkatý zbytek použitelný jako palivo. (GAS, 2001)

3.4.2 Rýžové slupky

Rýžová slupka (RH – rice hull) je jedním z nejvíce široce dostupných zemědělských odpadů v mnoha zemích produkujících rýži po celém světě. V celosvětovém měřítku se každý rok vypěstuje kolem 650 milionů tun neloupané rýže. V průměru 20 % z toho je slupka, což odpovídá celkové roční produkci 120 milionů tun. Ve většině zemí produkujících velké množství rýže je většina rýžové slupky, buď spálena, nebo vyhozena jako odpad. Spalováním rýžové slupky vzniká popel. Z každých 1000 kg neloupané rýže je vyprodukováno cca 220 kg (22%) slupek, a je-li slupka spálena v kotlích, asi 55 kg (25%) popelu (RHA- rice hull ash).

Odstraňováním slupek z rýže rafinací vzniká kvůli nízkému komerčnímu zájmu problém s likvidací odpadu. Také manipulace je vzhledem k její nízké objemové hmotnosti problematická. RHA je také velká hrozba pro životní prostředí způsobující znečištění půdy a okolního prostředí. Proto je komerční využití rýžových slupek (Resysta) a jejich popelu skvělou alternativou k odstranění těchto problémů.

Rýžové slupky se využívají v mnoha různých odvětvích, například při výrobě hnojiv, ohňostrojů, biopaliv, džusů, krmiv pro domácí zvířata, výplně do polštářů, izolačního materiálu, karbidů křemíku, pneumatik či při kvašení piva.(WIKIPEDIE, 2016; Kumar A., Kalyani, Kumar D. a Parkash, 2012)

3.4.2.1. Složení rýžové slupky

Rýžové slupky obsahují 75 – 90 % organických látek (lignin, celulóza, atd.) a zbytek jsou minerální látky jako oxid křemičitý, alkálie a stopové prvky. (Kumar A., Kalyani, Kumar D. a Parkash, 2012)

Dle Wannapeera, Worasuwannarak a Pipatmanomai (2007) obsahuje rýžová slupka 34 % celulózy, 24 % hemicelulózy a 19 % ligninu (*Obr. 19*).

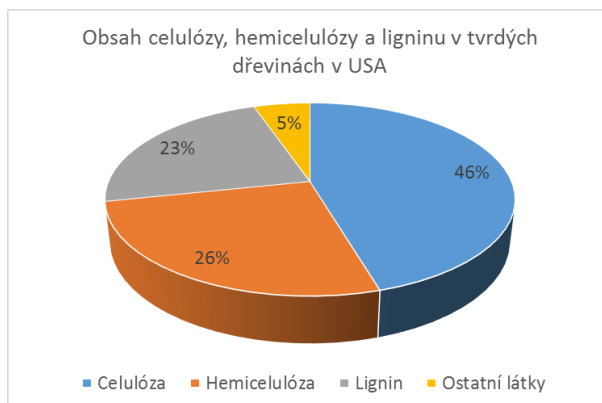
Celulóza je v přírodě velmi často se vyskytující polysacharid o sumárním vzorci $[C_6H_{10}O_5]_n$. Jedná se o lineární polymer s vysokou molární hmotností sestávající z glykosidických vazeb 1 až více než 4 monomerů β -glukózy s možností výskytu polymeračního stupně až 15 000. Molekuly celulózy jsou uspořádány do vláken zvaných fibrily, které jsou uspořádány do větších stavebních prvků, které tvoří buněčnou stěnu vláken.

Jako součást buněčných stěn se nevyskytuje celulóza v čisté podobě, ale tvoří komplexy s průvodními látkami, jako jsou hemicelulózy, pektiny a lignin, který slouží jako impregnační prostředek. Celulóza různého původu není zcela identická, vyskytuje se v jednodušších nebo složitějších formách.

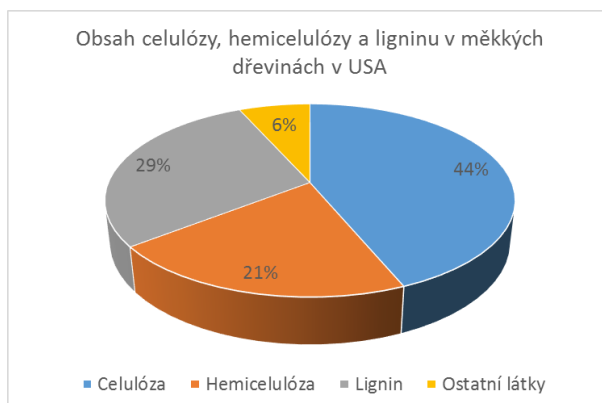
Lignin je vysokomolekulární polyfenolická amorfni látka. Plní funkci především jako spojovací médium mezibuněčných vláken a mezi jednotlivými celulóзовými buňky.

Hemicelulózy jsou spojeny s celulózou a jsou to rozvětvené polymery s nízkou molekulovou hmotností. Skládají se z několika různých druhů pento a hexo monomerů cukru. Hrají důležitou roli při výrobě papíru. (Kameník, 2016; Miller, 1999; Rowell 2013)

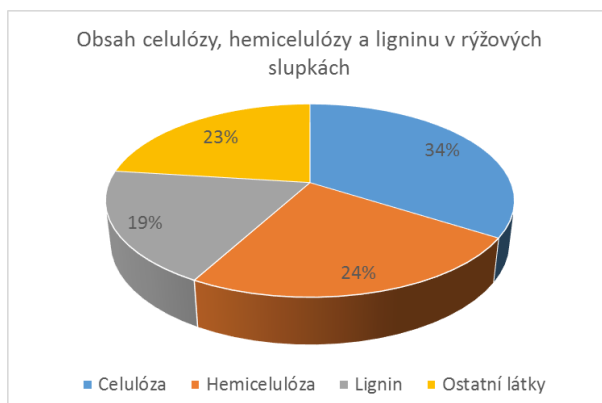
Pro porovnání je zde uvedeno také zastoupení polysacharidů ve dřevě a v rýžové slupce (Obr. 11, Obr. 12 a Obr. 13).



Obr. 11 Obsah celulózy, hemicelulózy a ligninu v tvrdých dřevinách v USA (Miller, 1999)



Obr. 12 Obsah celulózy, hemicelulózy a ligninu v měkkých dřevinách v USA (Miller, 1999)



Obr. 13 Obsah celulózy, hemicelulózy a ligninu v rýžových slupkách (Kameník, 2016)

3.4.2.2. Celulózová vlákna

Pro vyztužování plastů jsou ze všech přírodních vláken vhodná pouze vlákna rostlinná, která mají jako základ celulózu. Mezi nejběžnější patří len, konopí, bavlna, juta, ramie a bavlna. Jejich výhodou je odolnost proti stárnutí a nezávadnost při měnících se klimatických podmínkách. Vzhledem k nízké měrné hmotnosti a dobré pevnosti především v tahu, jsou zajímavou surovinou pro lehké konstrukce. Další výhodou může být nízká abrazivnost při mechanickém opracování nebo možnost spalování při likvidaci. Nevýhodou může být závislost vláken na podmínkách růstu, vliv velikosti slupek, citlivost na působení vlhkosti, omezená možnost volby matrice vzhledem k nebezpečí rozkladu vláken při vysoké teplotě zpracování (200 °C), omezená délka vláken nebo možnost degradačních změn po napadení biologickými činiteli. (Šnévajssová, 2012)

Mechanické vlastnosti rýžových slupek jsou z velké části odvozeny od pevnosti celulózy. Díky její výborné mechanické pevnosti je předurčena především k technickému použití. Pevnosti v tahu je zde dosaženo uspořádáním dlouhých makromolekul ve směru osy vlákna. V celulóze se vyskytují jak krystalické, tak amorfnní části, což má vliv na celkovou pevnost. Záleží tedy na pevnosti dlouhých makromolekul, ale také na soudržnosti mezi jednotlivými molekulami v amorfních oblastech. (Šnévajssová, 2012)

3.4.3 Retardér hoření Apyral 60CD

Ahyral 60CD je zpomalovač hoření. V ochraně proti požáru se retardéry používají velmi často a vzhledem k stále poměrně častým vznikům požárů jak v obytných, komerčních či firemních prostorách, jsou velmi důležité. Hlavní a jedinou látkou v tomto retardéru je hydroxid hlinitý. (WIKIPEDIE, 2016)

Hydroxid hlinitý je nejrozšířenější hydroxidový zpomalovač. Je používán v celé řadě elastomerů, termoplastů, reaktoplastů a pryskyřic zpracovávaných při teplotách pod 200 °C. Při procesu hoření dochází k endotermické reakci, která ochlazuje materiál, následně dochází k odpaření vody a oxidu uhličitého za zředění hořlavých plynů a ve finále vzniká ochranná bariéra z AlO₃ mezi zdrojem hoření a polymerem. (Münster, 2011)

APYRAL ® od firmy Nabaltec je bezhalogenový produkt šetrný k životnímu prostředí, který se používá jako přísada zpomalující hoření v široké paletě kaučukových

a polymerních materiálů. Při tepelném rozkladu nevytváří toxické nebo korozivní plyny a kromě toho, výrazně snižuje i hustotu kouře. APYRAL® je účinný v rozhodující fázi procesu hoření před vypuknutím plně rozvinutého požáru. (NABALTEC, 2012)

3.5 Lepení materiálů na bázi celulóza-hemicelulóza-lignin

Lepidla jsou makromolekulární látky, jejichž molekuly jsou v roztocích seskupeny do větších částic (tzv. koloidní roztoky). Jsou to materiály o vysoké vnitřní soudržnosti (kohezi) schopná spojovat další materiály v důsledku přilnavosti (adheze). Kapitola 3.5.1 je věnována teorii lepení dřevěných materiálů a to z důvodu, že dřevěný materiál je složením velmi blízko materiálu z rýžových slupek a je tedy z velké části aplikovatelný i na polymerní materiál s obsahem rostlinných vláken. (Tesařová, Hlavatý a Čech, 2014)

3.5.1 Teorie lepení dřevěných materiálů

Lepení je ovlivněno následujícími fyzikálně chemickými vlastnostmi lepidla (Holub, 2010):

a) Mezimolekulární síly

Atomy jsou spojeny v molekuly primárními meziatomovými silami, které se nazývají síly chemické vazby. Při velmi těsném přiblížení molekul lepidla a lepené látky za dostatečného tlaku mezi nimi vznikají rovněž tyto sekundární přitažlivé síly. Tyto síly se podílejí nejvyšší měrou na celkové adhezi.

b) Adheze

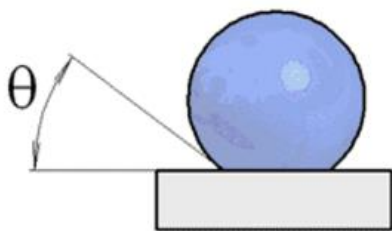
Jedná se o přilnavost různorodých molekul vyvolaná především mezimolekulárními přitažlivými silami mezi molekuly lepidla a lepeného materiálu. Dalším vlivem je i tzv. mechanická adheze, která funguje na principu mechanických kolíčků (mechanické spojovací prostředky) vytvořených zatečením a vytvrdnutím lepidla v nerovnostech a pórech dřeva. Mechanická adheze má na celkovou pevnost spoje podíl asi 10-30 %.

c) Koheze

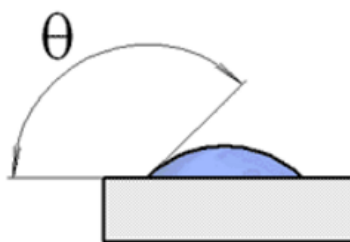
Je to vnitřní molekulová soudržnost materiálu závisující na velikosti a struktuře makromolekul lepidla po vytvrzení. Koheze lepidla musí být vyšší než koheze lepeného materiálu (větší pevnost ve spoji než v samostatném materiálu).

d) Smáčení povrchu tuhých látek kapalinami

Adheze je také ovlivněna smáčením povrchu lepené plochy lepidlem. Smáčivost je schopnost kapky lepidla nebo jiné kapaliny roztéct se po povrchu lepeného materiálu. Stupeň smáčení závisí na působení přitažlivých a odpuzivých sil mezi kapalinou a povrchem hmoty. Každá kapalina má snahu vlivem povrchového napětí zaujmout co nejmenší možnou plochu. Stupeň smáčivosti lze vyjádřit úhlem smáčení, který svírá tečna k povrchu kapky, vedená v bodě styku kapky s rozhraním.



Obr. 14 Kapalina s velkým povrchovým napětím a malým úhlem smáčení (Osel, 2005)



Obr. 15 Kapalina s nízkým povrchovým napětím a velkým úhlem smáčení (Osel, 2005)

V praxi jsou kromě základních vlastností požadované i další (Holub, 2010):

- Vyhovující pevnost lepených spojů a odolnost proti vodě a dalším činitelům
- Značný obsah sušiny
- Jednoduchost přípravy směsi
- Dostatečně dlouhá otevřená doba lepidlové směsi
- Možnost využití v sériové výrobě
- Krátká nebo regulovatelná doba vytvrzení
- Nízká abrazivnost při obrábění

- Šetrné působení v kontaktu s kovááním a dřevem
- Malá kontrakce vytvrzené spáry
- Dlouhá doba skladovatelnosti

Principy jak přechází lepidlo z tekutého stavu do pevného jsou (Holub, 2010):

- Lepidla tuhnoucí vlivem reakce lepidla se vzdušnou vlhkostí (Auratech AR94201 a Cosmo PU 180.120)
- Fyzikální změnou stavu odpaření rozpouštědla z nanesené lepidlové směsi (Tangit PVC-U)
- Fyzikální změnou stavu odpařením vody z naneseného disperzního vodou ředitelného lepidla
- Ochlazením roztaveného lepidla
- Lepidla stále lepivá
- Lepidla bez přístupu vzduchu
- Lepidla tuhnoucí zesíťováním polymeru
- Lepidla vytvrdnutá zesíťováním vyvolané vysokou teplotou
- Vytvrzování naneseného lepidla UV zářením
- Tvorba lepidlového filmu v poli mikrovlnného záření

3.6 Svařování dřeva

Objev vibračního svařování dřeva, dnes již funkční technologie spojování bez použití média v podobě lepidla, byl zcela náhodný. Výzkumníci z francouzského Státního výzkumného zemědělského ústavu (INRA) experimentovali s polymerací tuhých lepidel pomocí tlakového tření a když jednou pověřený laborant zapomněl použít lepidlo, spojované kusy byly i přesto trvale spojeny dohromady. (Český rozhlas, 2005)

Spojení u této technologie je způsobeno především tavením a splétáním amorfního materiálu jakým dřevo je a to s největší zásluhou ligninu. Spojení způsobí kombinace dlouhých buněk dřeva, dřevních vláken a tvorba vláken spletené sítě ponořené v matici roztaveného materiálu (*Obr. 16*), který pak ztuhne. Takto se vytvoří síť dřevních buněk

a vláken s roztaveným ligninem sloužící jako polymerní matrice. Další pozitivní vliv při spojování měl i výskyt chemické reakce ligninu s furfurelem. Tato reakce nemá příliš velký vliv během samotného svařování (3 sekundy), ale zvyšuje se v následujících 3-5 sekund, kdy je na materiál stále vyvíjen tlak. Teplota přímo ve spojované spáře byla 170 °C a více, což je vyšší než teplota skelného přechodu T_g ligninu a hemicelulózy. V místě spoje se také zjistilo ztuhnutí materiálu. Optimální tlak byl 2 MPa. Průměrná pevnost v tahu takto spojeného dřeva při daných podmínkách byla 10-11 MPa.

(Pizzi a kol., 2003)

Tímto způsobem vznikají pevné spoje vykazující podobné hodnoty jako u spojů lepených. Například dle Rodrigueze a kol. (2010) vykazovala bříza a javor při 12% vlhkosti podobné a někdy i vyšší hodnoty pevnosti v tahu než u spojů lepených a to ve všech 3 hlavních směrech (radiální, tangenciální a příčný). Navíc jsou svařované spoje oproti lepeným mnohem více odolné vůči vlhkosti. (Mittal a Pizzi, 2011)



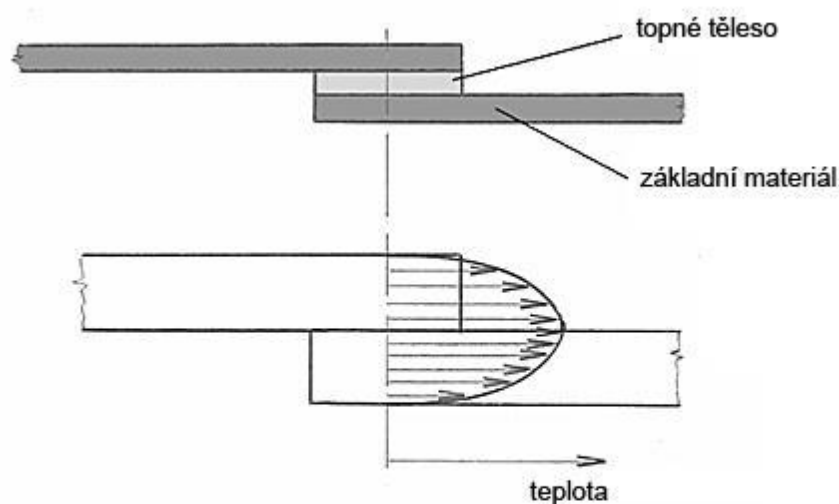
Obr. 16 Propletení ligninu s celulóзовými vlákny a buňkami (tracheidy) po svařování dřeva na 100 x zvětšeném snímku pořízeném elektronovým mikroskopem (Pizzi a kol., 2003)

3.7 Svařování plastu

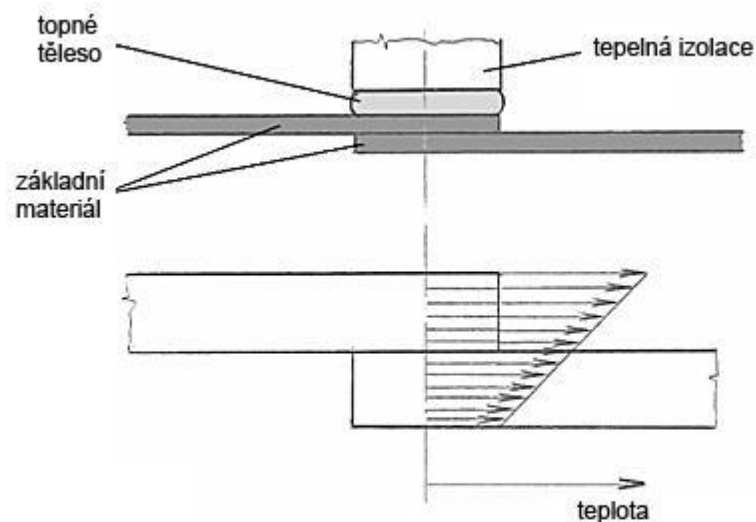
Na rozdíl od reaktoplastů se dají svařovat jen termoplasty. Dále se dají termoplasty spojovat mechanicky a lepením. Podstatou svařování plastů je zvýšení teploty v místě

požadovaného spoje až na 250 °C, kdy se plast taví. Poté se oba natavené kousky přitlačí požadovaným tlakem k sobě a nechají přirozeně vychladnout. Základní parametry svařování jsou teplota, tlak, čas a vliv okolního prostředí. (Vermouzek, 2010)

Svařovat lze horkým tělesem přímou (Obr. 17) a nepřímou (Obr. 18) metodou s rozdílem, že u nepřímé metody působí zdroj tepla na protilehlé ploše vůči spáře, takže teplo musí projít celou tloušťkou jednoho ze svařovaných dílců. Tato metoda se používá jen u materiálu s tloušťkou do 5 mm. Další metody jsou svařování radiací, třením, polyfuzí, horkým klínem, horkým plynem, ultrazvukem, atd. Vzhledem k práci nejsou tyto další metody příliš důležité, proto nejsou dále rozepisovány. (Vermouzek, 2010)



Obr. 17 Svařování plastových dílců přímou metodou horkým tělesem (Vermouzek, 2010)



Obr. 18 Svařování plastových dílců nepřímou metodou horkým tělesem
(Vermouzek, 2010)

Firma SIMONA už zkušenosti se svařováním materiálu Resysta má. Optimální svařovací parametry dle SIMONA jsou v následující tabulce (Tab. 3).

Tab. 3 Optimální parametry svařování materiálu Resysta dle SIMONA (2016)

Svařovací parametr	Hodnota
Tlak [N/mm ²]	0,3
Čas nahřívání [s]	80
Čas lisování [s]	20
Dosažení manipulačního času [min]	16
Teplota [°C]	230

3.8 Kompozitní materiály

Obecně se dá říct, že kompozit je materiál složený z dvou nebo více komponent nebo fází, které vykazují výrazně odlišné fyzikální a chemické vlastnosti. Kompozity mají ve srovnání s jednotlivými komponentami, tj. vlákny a pryskyřicí, podstatně odlišné unikátní vlastnosti. Nevyztužená matrice (pojivo) má především nevýhodu v tom, že má poměrně nízké hodnoty mechanických vlastností (modul pružnosti, pevnost, atd.). Výhodou je nízká hustota a snadná zpracovatelnost. Vlákna mají naopak dobrou pevnost

a tuhost, ale jsou příliš křehká a náchylná v některých agresivních prostředí. (Jančář, 2003)

Pro dosažení lepších vlastností v přírodě často nacházíme výskyt synergických vlastností různorodých materiálů podobně jako je tomu při snaze navrhnutí kvalitního kompozitního materiálu člověkem. Například řez bambusového stonku a řez vrstvené struktury epoxidové pryskyřice vyztužené uhlíkovými vlákny. Struktura těchto řezů je velmi podobná a liší se pouze rozměrově. Podobných příkladů se v přírodě dá najít více a nejen u mikrostruktury, ale i při aplikaci principů lehčených konstrukcí. Jeden z prvních přírodních kompozitů byla cihla, kdy jíl posloužil jako matrice a celulózové vlákna jako výztuž. (Ehrenstein, 2009 a Jančář, 2003)

Důvody pro použití vláken jako konstrukčního materiálu vychází ze čtyř paradoxů materiálu (Ehrenstein, 2009; Vojtěch 2010):

1) Paradox pevného materiálu

Skutečná pevnost materiálu je podstatně nižší než pevnost vypočítaná teoreticky matematickou analýzou. To oproti u kovů platí především u plastů. Například teoretická pevnost železa je zhruba 40 000MPa, ale reálná je výrazně nižší (cca 100 MPa).

2) Paradox vláknité struktury

Materiál v podobě vlákna má několikanásobně vyšší pevnost než stejný materiál v kompaktní formě. Čím je vlákno tenčí, tím je jeho pevnost vyšší. Vlákná je žádoucí zmenšovat jen do velikosti cca 14 μm , protože tenčí vlákna pronikají do plic a mohou způsobovat negativní zdravotní účinky.

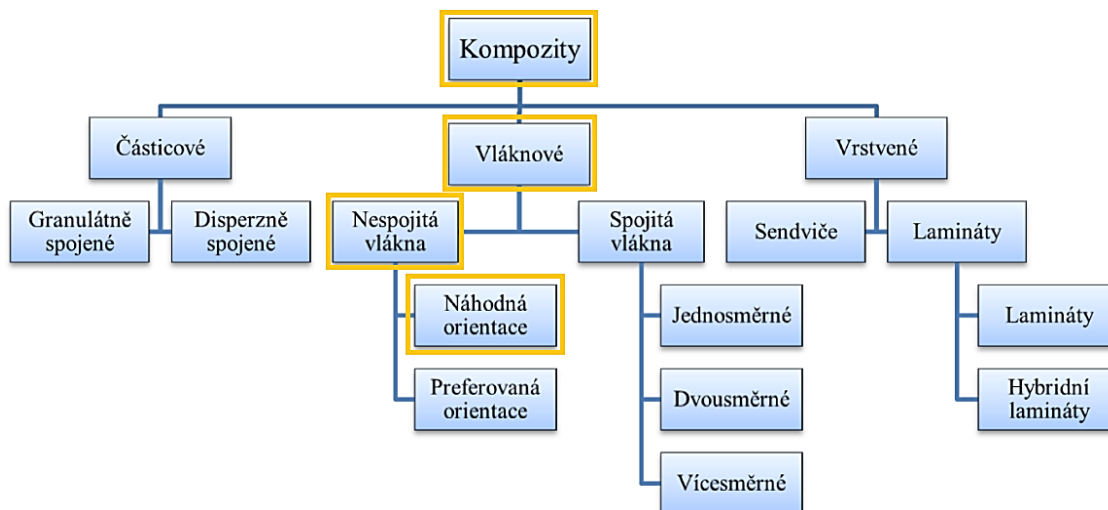
3) Paradox délky zatížení

Čím kratší je zatěžovaná část vlákna, tím vyšší je jeho naměřená pevnost. Pozitivní vliv kratší délky a menšího průměru vlákna lze dosáhnout díky nižšímu vlivu a výskytu poruch.

4) Paradox kompozitního materiálu

Kompozitní materiál jako celek může převzít napětí, které by jeho slabší složku porušilo. Od pevnější složky kompozitu může převzít vyšší podíl její teoretické pevnosti, než kdyby byla namáhána samostatně. Tento paradox platí především v zatížení tahem, protože při ostatních zatížení nejsou jednotlivé složky kompozitu schopny převzít svůj podíl na přenosu sil. Například vlákno při zatížení v tlaku není schopné udržet svůj tvar, respektive svoji vzpřímenost, apod.

Vzhledem k typu vláken a složení bychom materiál Resysta mohli popsat jako jednovrstvý kompozit s diskontinuálními a náhodně orientovanými vlákny (Obr. 19).



Obr. 19 Rozdělení mikrokompozitních materiálů podle geometrie a orientace výztuže (Vojtěch, 2010)

3.8.1 Teplotní hranice použití vyztužených plastů

Teplotní hranice použití vyztužených plastů jsou určovány teplotou, při níž dochází ke značné ztrátě tuhosti matrice. Obvyklým způsobem stanovení této hranice je vyšetření závislosti modulu pružnosti na teplotě. Zatímco u vláken se při zvýšené teplotě modul pružnosti téměř nemění, u termoplastů je možný pokles až o 3 řády. Ztráta tuhosti se váže na reverzibilní uvolnění fyzikálních vazeb, přičemž u termosetů chemické vazby zůstávají zachovány. Závislost modulu pružnosti na teplotě u jednotlivých druhů plastů

je vyobrazena na obrázku níže (Obr. 20). Teplota skelného přechodu je jako bod největší změny vlastností málo vhodný pro definici hranice mezního použití kompozitních materiálů, neboť k poklesu mechanických vlastností dochází již při značně nižších teplotách. Teplotní hranici lze definovat pomocí tzv. 2% metody. Další způsob je empirická metoda dle vztahu:

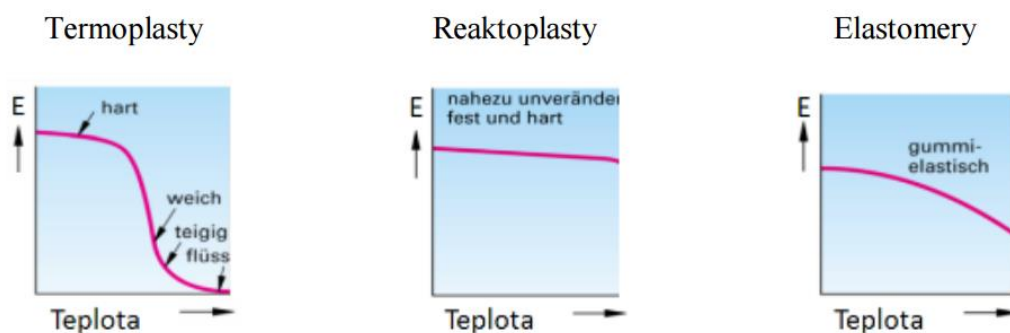
$$T_{max} = T_{g0} - 20 \text{ } ^\circ\text{C}$$

kde:

T_{max} Teplotní hranice použití vyztužených plastů [$^\circ\text{C}$]

T_{g0} Tabulková hodnota teploty skelného přechodu [$^\circ\text{C}$]

To v případě PVC, který má teplotu skelného přechodu cca $87 \text{ } ^\circ\text{C}$ znamená, že teplotní hranice použití je kolem $67 \text{ } ^\circ\text{C}$. (Ehrenstein, 2009 a Thomke, 2013)



Obr. 20 Závislost modulu pružnosti na teplotě u jednotlivých druhů plastů (Thomke, 2013)

3.8.2 Matrice

Jedná se o materiál, kterým je prosycen systém vláken a partikulárních komponent za vzniku tvarově stálého výrobku.

Úkolem matrice je:

- Převedení namáhání z vlákna na vlákno
- Přenos namáhání na vlákna
- Zajištění tvarové stálosti výrobku
- Ochrana vláken před vlivy okolí

Při výrobě musí mít matrice vhodnou viskozitu a povrchové napětí a musí být vhodně zvolena vzhledem k vláknům, tak aby byla zajištěná dobrá adheze na rozhraní vlákno-matrice. Reaktoplasty jsou pro výrobu méně energeticky náročné, protože mnohdy jsou i při běžné teplotě v tekutém stavu. Navíc i při zvýšení teploty mají nižší viskozitu než termoplasty, u kterých je důležitá vyšší teplota pro dosažení dostatečné smáčivosti a prosycení vláken. Výhodou termoplastů je, že v průběhu jejich zpracování probíhá pouze roztavení a ztuhnutí matrice a nikoli chemický proces, který by ničil životní prostředí. (Loyda, 2011 a Jančář, 2003)

Optimálních vlastností kompozitu lze dosáhnout jen tehdy, podaří-li se převést všechny působící síly na vlákna. Základním předpokladem je proto kvalitní spojení mezi vláknem a matricí, čehož lze dosáhnout úpravou chemickými látkami nebo plazmatem. (Ehrenstein, 2009)

Obecně dochází před dosažením meze kluzu ve smyku matrice na konci vláken k prokluzu, umožňující přenos pouze menších sil, které odpovídají velikosti tření mezi vláknem a matricí. Počáteční prokluz přechází ve vytažení vláken určité délky. Čím menší je schopnost matrice přenést namáhání do vlákna, tím delší musí být vlákno. Minimální délka pro jeho plné využití je tzv. kritická délka. (Loyda, 2011 a Jančář, 2003)

Náklady na zpracování vláken do plastu jsou u běžných materiálů, jako PS, PVC a PE, v porovnání se zpracovatelskými náklady nevyztužených plastů poměrně vysoké, proto se většinou nevyztužují. U polymerního kompozitního materiálu s obsahem PVC jakým Resysta je, se pravděpodobně zpracovatelské náklady vybalancují nízkou cenou rýžových slupek.

Z hlediska klasifikace podle typu matric existují dva základní typy polymerních pryskyřic, a to **termoplasty a reaktoplasty**. (Loyda, 2011 a Jančář, 2003)

3.8.2.1. Termoplasty

Do této skupiny patří například polyetylen (PE), polykarbonát (PC), polystyren (PS), polypropylen (PP), ale i polyvinylchlorid (PVC). Tyto plasty s teplotou převyšující teplotu skelného přechodu přechází do kaučukovitého elastického stavu, dále do stavu plastického a konečně na tekutinu. V elastickém stavu je můžeme působením síly natahovat. Po přerušení působení síly se však elasticky vrací do původního stavu (někdy

ne okamžitě). V plastickém stavu můžeme materiál tvarovat. Toho se využívá především při výrobě vytlačováním, vyfukováním a válcováním. Při možnosti úpravy termoplastů do tekutého stavu je můžeme použít při odlévání nebo častěji při vstřikování. Při vyšší teplotě je možné termoplasty i svařovat, ale při nežádoucích teplotách a dlouhém času může docházet k termooxidaci, čímž dochází k destrukci materiálu. Z toho důvodu je dobré minimalizovat dobu zahřívání. (Loyda, 2011 a Jančář, 2003)

3.8.2.2. Reaktoplasty

Typickými představiteli jsou například bakelit (PF), UF (močovinoformaldehydová pryskyřice) nebo UP (polyesterová pryskyřice). Látky, které při zvýšené teplotě setrvávají v tuhém stavu. Z důvodu ireversibilní reakce zesíťováním nepřechází do plastického nebo elastického stavu, nelze je na taveninu a ani se nedají svařovat. Síťováním makromolekuly se dosahuje velké pevnosti, ale současně i křehkosti. (Loyda, 2011 a Jančář, 2003)

3.9 Pevnost materiálu v tahu

Tato vlastnost vyjadřuje odolnost materiálu proti největším zatížení, předcházejícímu přetržení zkušební tyče. (Green, Winandy a Kretschman, 1999)

Nejjednodušším vyjádřením pevnosti běžných homogenních materiálů je pevnost v tahu, ve kterém je zkušební tělísko o délce L s kruhovým nebo obdélníkovým průřezem A upevněno za jeden konec a vystaveno zatížení v podélném směru. S rostoucím zatížením F se zvětšuje také protažení v podélném směru δ . Nakonec se zkušební tělísko poruší a přetrhne F_{max} . Různý materiál se může porušit odlišným způsobem, díky čemuž můžeme vizuálně odhadnout houževnatost materiálu. Při zatížení vláken, kdy se projevuje značné zesílení a vyztužení matrice, je mezní protažení kompozitu určeno tažností vláken. U materiálu s vyšší pevností je roztržená část vláknitá nebo třískovitá, u materiálu s menší pevností schodovitá až téměř hladká (platí především u dřeva). Mez pevnosti lze vyjádřit pomocí následujícího vztahu (Royslance, 1996):

$$\sigma_W = \frac{F_{max}}{A_0} \text{ [Pa]}$$

kde:

F_{\max}maximální zatížení [N]

A_0 průřez zkušebního tělesa [mm]

$A_0 = ab$ [mm]

4 STANOVENÍ METODIKY A PŘÍPRAVA VZORKŮ

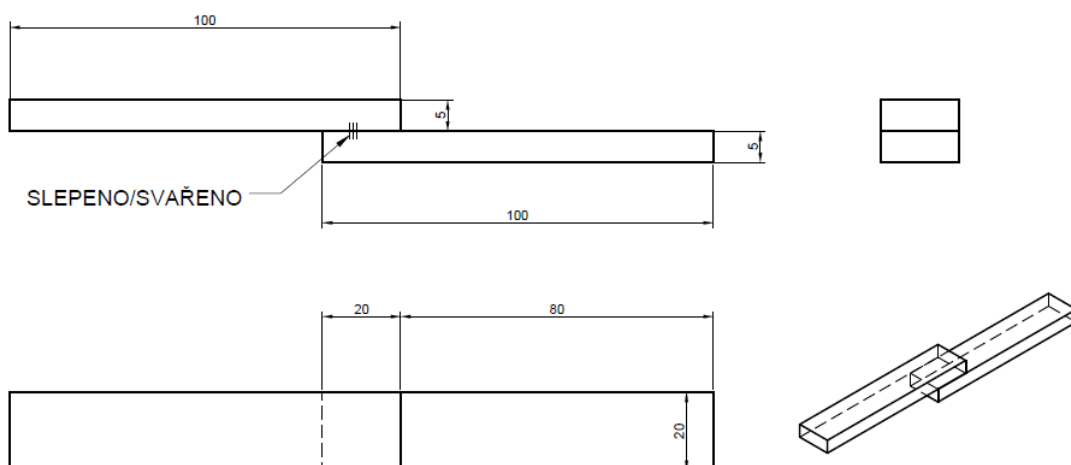
Na úplném začátku měla firma mmcité jen malou představu o tom, jakou technologii spojování materiálu Resysta, popřípadě jaký typ lepidla či jaké parametry při svařování, zvolit. I z tohoto důvodu se podoba a přesný postup praktické části diplomové práce vyvíjely průběžně.

4.1 Výroba vzorků a postup ověřovací zkoušky mezního smykového napětí v tahu svařeného spoje

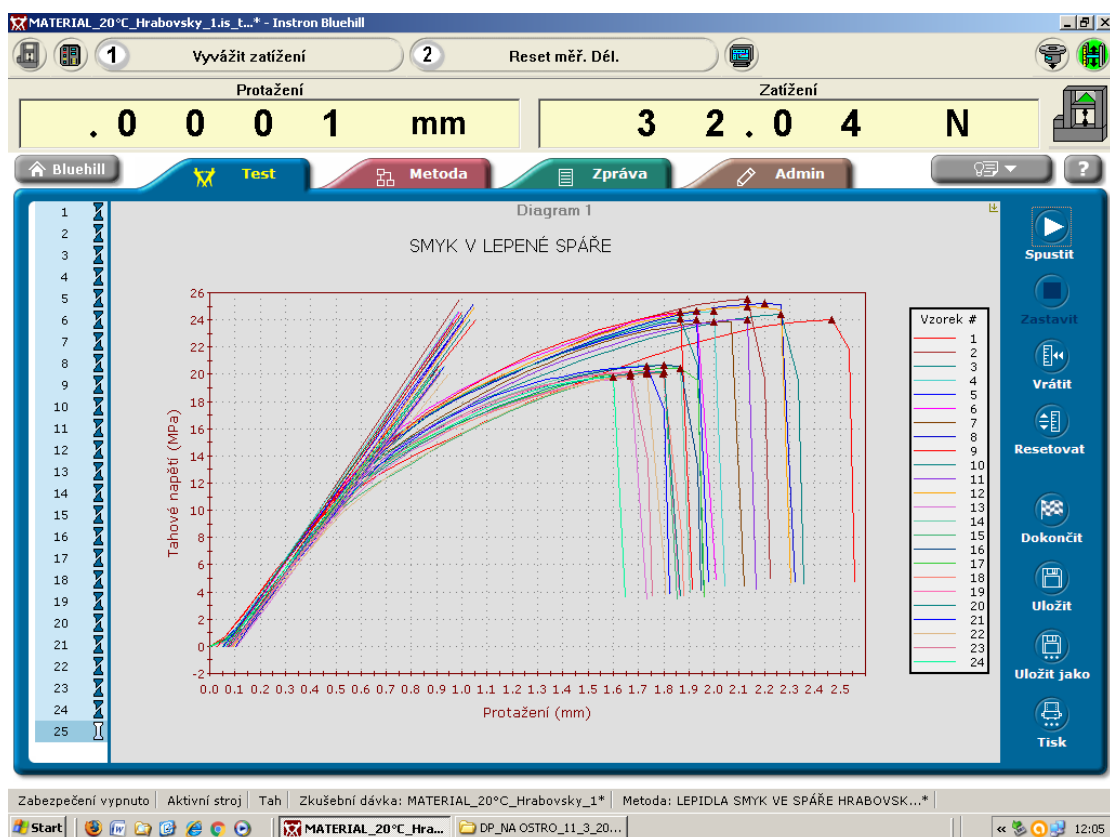
V pilotní zkoušce bylo měřeno jen 6 kusů zkušebních vzorků ze svařeného materiálu Resysta. Vzorky byly vyrobeny, respektive vyřezány na formátovací pile z vytlačovaných profilů, které si firma sama vyrábí. Na jeden zkušební vzorek bylo zapotřebí dvou částí s rozměry 5 x 20 x 100 mm s překrytím svařených ploch cca 20 mm (*Obr. 21*). Obě plochy svařovaných dílců byly nahřívány žehličkou po dobu 180 sekund. Po změření obou ploch infračerveným teploměrem (*Obr. 23*) byla zjištěna teplota cca 160 °C a z důvodu rychlého klesání teploty po odebrání tepelného zdroje byly oba dílce co možná nejrychleji přiloženy a silou rukou přitlačeny a tím svařeny k sobě.

Dle Merendy (2009) je teplota 170 °C nad teplotou skelného přechodu ligninu, což cca odpovídá i teplotě při svařování dřeva (str. 24).

U takto vyrobených vzorků bylo měřeno mezní smykové napětí v tahu na trhačím stroji Instron 3365. Před spuštěním stroje byl zkušební vzorek vždy uchycen v upínacích kleštích. Těsně před spuštěním samotného namáhání je vždy potřeba vynulovat hodnoty zatížení a protažení materiálu. Po vyjmutí se vzorek na obou přetrhnutých částí označí (*Obr. 24*). Hodnoty byly zpracovány na notebooku Acer Travelmate 4500 v programu Instron Bluehill (*Obr. 22*) a zaznamenány na grafu (*Obr. 41*) a v tabulce (*Tab. 18*).



Obr. 21 Rozměry zkušebního tělesa pro svařování v počáteční fázi



Obr. 22 Printsreen softwarového rozhraní z programu Instron Bluehill



Obr. 23 Infračervený teploměr Voltcraft IR
260-8S



Obr. 24 Přetrhnutý svařený a označený
zkušební vzorek z materiálu Resysta

4.2 Výroba vzorků a postup druhé a třetí ověřovací zkoušky - mezní smykové napětí v tahu - svařený a lepený spoj

Na základě doporučení z různých zdrojů bylo vybráno 5 druhů lepidel:

A: Auratech AR94201 – výsledky měření (Obr. 25, Obr. 42 a Tab. 19)

B: Cosmo PU 180.120 – výsledky měření (Obr. 26, Obr. 43, Tab. 20)

C: Tangit PVC-U – výsledky měření (Obr. 27, Obr. 44 a Tab. 21)

D: Cosmo 200-330 – vyřazeno z důvodu nevytvrzení směsi

E: Petec Kleben & Dichten ecoline – výsledky měření (Obr. 28, Obr. 45, Tab. 22)

Dvousložkové lepidlo Cosmo 200-300 bylo z důvodu složité přípravy a nevytvrzení lepicí směsi vyřazeno již při výrobě zkušebních vzorků. Z ostatních 4 druhů lepidel byly úspěšně vyrobeny pilotní zkušební lepené vzorky, jejichž zhotovení bylo inspirováno doporučeními normy ČSN EN 205.

V této fázi bylo nachystáno celkem 19 zkušebních vzorků (8 ks lepených s tloušťkou 5 mm, 8 ks lepených s tloušťkou 8 mm a 3 ks svařovaných s tloušťkou 8 mm). Na každý druh lepidla se připravily 2 zkušební vzorky (8 ks dohromady) s již uvedenými

rozměry 5 x 20 x 100 mm (Obr. 21). Na základě zjištění předchozího testu svařovaných dílců, kdy porušení nastalo v materiálu, bylo rozhodnuto vytvořit také lepené vzorky (8 ks dohromady) se stejnými rozměry, ale s větší tloušťkou - 8 mm. Cílem bylo dosažení porušení v lepené spáře, nikoli v materiálu. 3 ks rozměrově stejných vzorků s tloušťkou 8 mm byly vyrobeny i na zkoušku mezního smykového napětí svařeného spoje.

Postup zkoušení na trhacím stroji Instron 3365 byl už popsán v kapitole 4.1.1 (str. 34)



Obr. 25 Přetrhnuté zkušební vzorky lepené lepidlem Auratech AR94201



Obr. 26 Přetrhnuté zkušební vzorky lepené lepidlem Cosmo PU 180.120



Obr. 27 Přetrhnuté zkušební vzorky lepené
lepidlem Tangit PVC-U



Obr. 28 Přetrhnuté zkušební vzorky lepené
lepidlem Petec Kleben & Dichten ecoline

4.3 Výroba a temperování zkušebních vzorků

Na zkoušky, jejichž výsledky už byly určeny ke statistickému hodnocení a srovnávání, bylo potřeba vyrobit potřebný počet zkušebních vzorků. Vzorky byly vyrobeny se stejnými rozměry jako vzorky v ověřovacích zkouškách, jen tloušťka se zvolila ještě větší než doposud, a to 10,5 mm. Počet a rozdělení vzorků podle daných zkoušek je vyobrazeno níže (Tab. 4). Pro zkoušku meze pevnosti materiálu v tahu se vyrobily vzorky tvarově a rozměrově odlišné než ostatní. Jejich rozměry vycházely z normy ISO 527-1 (Obr. 30). Základní rozměry byly 5 x 20 x 150 mm. Jako výchozí materiál posloužila deska materiálu resysta o rozměrech 5 x 1050 x 2500 mm.

Nejprve se na nářezovém centru Holzma HPP 230 v příčném směru odřízl pás široký 150 mm, čímž bylo získáno dílce o rozměrech 150 x 1050 mm, ze kterého se dále vyrobilo 35 ks dílců o rozměrech 20 x 150 mm. I přesto, že materiál Resysta by měl být zcela homogenní, firma mmcité zde má určité podezření vlivu směru uložení materiálu v desce na pevnost. Z tohoto důvodu se cca polovina dílců (35 ks) určených na výrobu zkušebních vzorků vyrobila v podélném směru vůči delší straně plotny a dalších 40 ks v příčném směru vůči delší straně plotny. Pro výrobu dalších 40 ks dílců se tedy

postupovalo obdobně, ale dílce byly v desce otočeny o 90 stupňů. Tzn., že se uřezal pás o rozměrech 150 x 2500 mm a z něho potřebných 40 ks vzorků o rozměrech 20 x 150 mm. Dále se na CNC vyrobila šablona z 18 mm plošné desky překližované (PDP) s výsledným tvarem a rozměry zkušební vzorku (Obr. 29), která posloužila ke kopírování jejího tvaru při frézování všech 75 ks vzorků. Jako nástroj horní elektrické frézky Makita RP0900 posloužila stopková válcová fréza s ložiskem. Pomocí vrutů byla frézka připevněna do dřevotřískové desky (DTD), která byla následně položena na truhlářské podpěry s nástrojem frézky směřující směrem nahoru. Každý dílec určený k výrobě zkušební vzorku byl jednotlivě přilepen pomocí oboustranné pásky na vyrobenou šablonu a následně ofrézován. Vyrobené vzorky bylo v posledním kroku potřeba očistit od pásky.

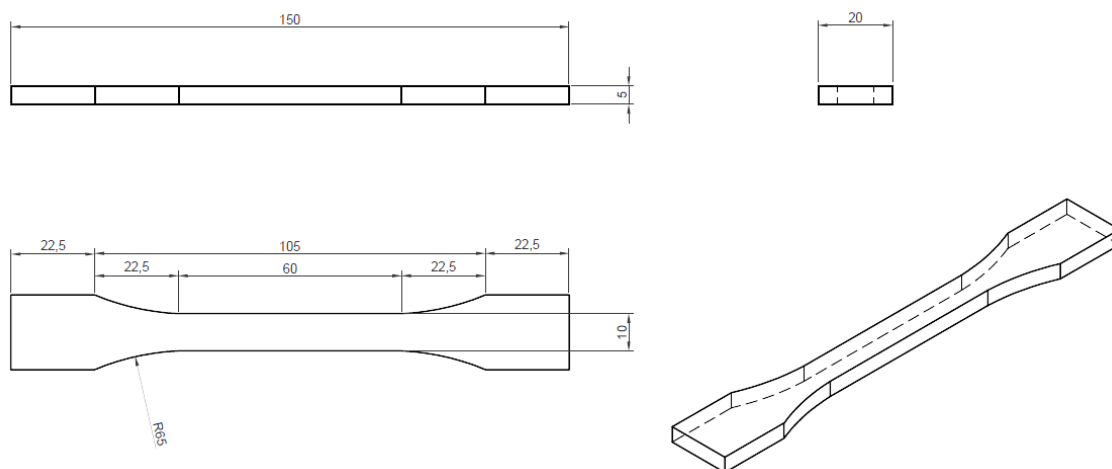
Před samotnými zkouškami se vybrané vzorky 5 dní temperovaly. Celkem 75 ks vzorků bylo uloženo do laboratorního inkubátoru Incucell (Obr. 31), kde bylo vnitřní prostředí nastaveno na 60 °C a celkem 75 ks vzorků bylo uloženo do mrazicího boxu Elcold (Obr. 32), kde byla teplota nastavena na -30 °C.

Tab. 4 Rozdělení a počet zkušebních vzorků v závislosti od druhu zkoušky

Temperováno na teplotu [°C]	POČET ZKUŠEBNÍCH VZORKŮ V ZÁVISLOSTI OD DRUHU ZKOUŠKY [ks]		
	Pevnost svařeného spoje	Pevnost lepeného spoje	Pevnost materiálu
- 30	25	25	25
+ 20	25	25	25
+ 60	25	25	25
CELKEM DLE ZKOUŠKY	75	75	75
		CELKEM	225



Obr. 29 Šablona z 18 mm tlusté plošné desky překližované (PDP) s výsledným tvarem a rozměry zkušební vzorku na zkoušku pevnosti materiálu



Obr. 30 Rozměry zkušební tělesa pro zkoušku pevnosti materiálu v tahu



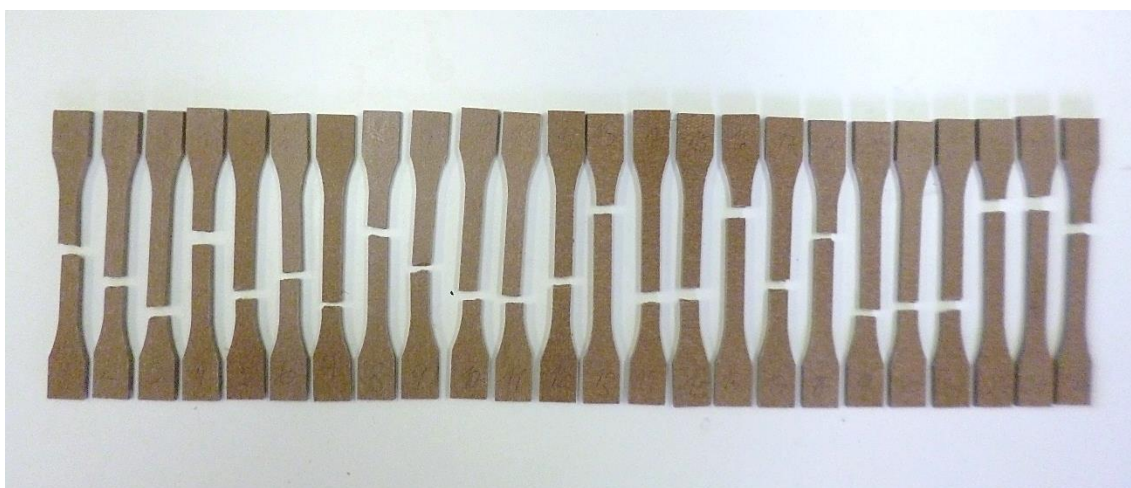
Obr. 31 Laboratorní inkubátor Incucell ze série Standard



Obr. 32 Ilustrační obrázek hluboko mrazících boxů Elcold (Biotrade, 2015)

4.3.1 Mezní smykové napětí svařeného a lepeného spoje v tahu a mez pevnosti materiálu Resysta v tahu při teplotě 20 °C

Tyto zkoušky byly ze všech nejjednodušší. Na zkušebním stroji Instron 3365 se postupně zkoušelo 25 ks slepených, 25 ks svařených a 25 ks vzorků určených ke zkoušce materiálu v tahu. Postupovalo se stejně jako v ověřovacích zkouškách 4.1 (str. 34). Na následující fotografii (Obr. 33) jsou již přetrhnuté svařované vzorky po zkoušce pevnosti v tahu při teplotě 20 °C. Fotografie vzorků jsou v příloze (Obr. 49 a Obr. 55).



Obr. 33 Vzorky po zkoušce pevnosti materiálu v tahu při teplotě 20 °C

4.3.2 Mezní smykové napětí svařeného a lepeného spoje v tahu a mez pevnosti materiálu Resysta v tahu při teplotě 60 °C

Před touto zkouškou se musely vzorky temperovat v prostředí s teplotou 60 °C. Postupně se zkoušelo 25 ks svařených, 25 ks slepených a 25 ks vzorků určených ke zkoušce meze pevnosti materiálu v tahu (Tab. 4). Přemísťování vzorků z laboratorního inkubátoru Incucell do zkušebního stroje bylo potřeba provádět postupně, tak aby se co nejvíce eliminovaly možné tepelné ztráty naakumulovaného tepla ze vzorků. Laboratorní inkubátor byl jen několik metrů od zkušebního stroje, takže se se vzorky mohlo manipulovat i po jednom kuse. Dále se postupovalo stejně jako v ověřovacích zkouškách 4.1 (str. 34). Na následující fotografii (Obr. 34) jsou již přetrhnuté lepené vzorky po

zkoušce meze pevnosti v tahu při 60 °C. Fotografie svařených vzorků a vzorků určených k testování pevnosti materiálu jsou v příloze (Obr. 57 a Obr. 64).



Obr. 34 Lepené vzorky po zkoušce pevnosti v tahu při 60 °C

4.3.3 Mezní smykové napětí svařeného a lepeného spoje v tahu a mez pevnosti materiálu Resysta v tahu při teplotě -30 °C

Před touto zkouškou se musely vzorky temperovat v mrazicím boxu Elcold v prostředí s teplotou - 30 °C. V den, kdy se tato zkouška prováděla, se načerpal tekutý dusík (Obr. 35), který na experimenty poskytla Agronomická fakulta Mendelovy univerzity v Brně. Aby bylo docíleno téměř hermeticky uzavřeného prostoru, do kterého se mohl vhnět dusík, použila se uzavřená komora (Obr. 36), která byl nasunuta po kolejnicích k tomu určených. Po připojení dusíku přes zaizolované hadice byl dusík vhněn pomocí vzduchu, který byl připojen těsně za výstupem hadice z bomby. Vzduch se reguloval pomocí vzduchové pistole a byl vytvářen pomocí vzduchového kompresoru Orlík ORL 7,5 CX. Celkem se spotřebovalo asi 15 kg kapalného dusíku. Postupně se zkoušelo 25 ks svařených, 25 ks slepených a 25 ks vzorků určených ke zkoušce meze pevnosti materiálu v tahu (Tab. 4). Při přemístění vzorků z mrazicího boxu Elcold byl

použit tzv. termobox vyrobený z polystyrenu, který zaručil co možná nejmenší ohřátí vzorků. Dále se postupovalo stejně jako ve zkušební fázi 4.1 (str. 34) jen s tím rozdílem, že vzorky se postupně vytahovaly dle potřeby z termoboxu. Fotografie již přetřhnutých vzorků jsou v příloze (Obr. 52, Obr. 59 a Obr. 66).



Obr. 35 Čerpání kapalného dusíku do bomby



Obr. 36 Pohled na upínací čelisti uvnitř uzavřené komory

4.4 Analýza dat

Odlehlé nebo extrémní hodnoty bývají způsobené chybami měření, překlepem nebo chybnou přípravou vzorku. Nelze-li provést nápravu, je potřeba taková data ze souboru vyloučit. Může se však stát, že některá hodnota může mít ve své podstatě hodnotu správnou a odchylka od ostatních hodnot může být způsobena nějakou náhodnou situací. Některé analytické metody jsou proti takovým hodnotám robustní, jiné mohou být citlivé. (Holec, 2012)

Histogramy včetně Shapiro-Wilkového testu pro získání hodnoty p byly vytvořeny v programu Statistica 10. Shapiro-Wilkův test nám doporučuje, jestli s daty pracovat jako s normálními či nikoli. Pokud je hodnota p větší jak hodnota alfa (0,05), která udává hladinu významnosti, tak můžeme data považovat za normální. Porovnání hodnoty p je

analogicky použito i v dalších testech. Z důvodu přehlednějšího výstupu byla popisná statistika vytvořena v programu Microsoft Excel 2013. (Hrabovský, 2013)

Pro analýzu rozptylu zde nelze použít opakovaných t-testů, protože se pro hypotézu zvyšuje chyba I. druhu. Analýza rozptylu naměřených dat byla vyšetřena pomocí testu dvoufaktorová ANOVA s opakováním, v programu STATISTICA nazvaná jako ANOVA s interakcemi.

V tomto testu je možné vyšetřit i význam interakce mezi jednotlivými faktory. Výsledkem ANOVY jsou jednotlivé hodnoty p pro každý faktor. Pokud je hodnota p větší než 0,05, přijímá se nulová hypotéza, která znamená, že střední hodnoty naměřených dat se významně neliší. Pokud je hodnota p menší jak 0,05, znamená to, že se přijímá alternativní hypotéza, která tvrdí, že rozdíl v naměřených hodnotách je statisticky významný. Pokud z testu vyplyne, že v rámci konkrétního faktoru se nachází nějaký statisticky významný rozdíl, je dále potřeba zjistit, ve které úrovni faktoru se nachází. To lze v případě této práce z důvodu vyřazení některých extrémních hodnot vyšetřit pomocí mnohonásobného porovnávání testem HSD s nestejným počtem vzorků. Tento test lze v programu STATISTICA najít v záložce Post-hoc.

Dále je z testu ANOVA možné vytvořit grafické náhledy, které jsou ideální pro rychlé čtení výsledků. Závislost dat nebylo třeba zjišťovat, protože každá zkouška se prováděla na novém vzorku, což znamená nezávislost dat.

Popisná statistika vychází z následujících vzorců a (Drápela 1999):

Medián

Je to prostřední hodnota vzestupně uspořádaného souboru.

Střední hodnota

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n w_i x_i}{\sum_{i=1}^n w_i}$$

Směrodatná odchylka

$$S = \sqrt{S^2}$$

Rozptyl výběru

$$S^2 = \frac{\sum_{j=1}^n (x_j - \bar{x})^2}{n-1}$$

Variační koeficient

$$S\% = \frac{S}{x} \cdot 100$$

Zažitá mechanická aplikace hodnoty alfa (0,05 nebo 0,01) nemusí být vždy úplně optimální. Může se stát, že se zamítá hypotéza, kdy hodnota p byla jen o velmi málo nižší než 0,05, např. 0,044. Pokud by však tato hodnota byla vyšší než hodnota alfa, tedy jen o 0,006, hypotéza by byla přijata.

Proto tato doporučení musíme brát pokud možno objektivně a nenásledovat pravidlo „všechno nebo nic, aneb co je nad 0,05 je nevýznamné a vice versa“ (Hrabovský, 2013).

5 LABORATORNÍ VÝSLEDKY

5.1 Ověřovací zkoušky

5.1.1 První ověřovací zkouška pro volbu metodiky – mezního smykového napětí v tahu – svařený spoj

Aritmetický průměr hodnot pevnosti v tahu svařovaných vzorků o tloušťce 5 mm byl u první ověřovací zkoušky 2,3 MPa.

5.1.2 Druhá ověřovací zkouška pro volbu metodiky a typu lepidla - mezní smykové napětí v tahu – lepený spoj

Aritmetické průměry hodnot druhé ověřovací zkoušky mezního smykového napětí v tahu lepených vzorků o tloušťkách 5 a 8 mm jsou vyobrazeny v *Tab. 5*. Hodnoty obou tlouštěk byly zprůměrovány a jsou jen orientační.

Tab. 5 Orientační hodnoty mezního smykového napětí v tahu lepených a svařovaných vzorků při druhé a třetí ověřovací zkoušce

	Auratech AR94201	Cosmo PU 180.120	Tangit PVC- U	Petec Kleben & Dichten ecoline	Svařeno
Přibližná hodnota meze pevnosti v tahu [MPa]	2	3,9	3,4	1,4	3,8

5.1.3 Třetí ověřovací zkouška pro volbu metodiky – mezní smykové napětí v tahu – svařený spoj

Aritmetický průměr hodnot mezního smykového napětí v tahu svařovaných vzorků o tloušťce 8 mm byl u třetí ověřovací zkoušky 3,8 MPa. Pro snadnější porovnávání s hodnotami z druhé ověřovací zkoušky lepených vzorků je hodnota uvedena v *Tab. 5*.

5.2 Stanovení mezního smykového napětí v tahu – lepený spoj

Normalita rozdělení naměřených dat při teplotách $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$, $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ byla vyšetřena pomocí Shapiro-Wilkového testu, který je součástí histogramu vyobrazeného v příloze (Obr. 47).

Popisná statistika se nachází v tabulce níže (Tab. 6). Nejvyšší střední hodnota (7,10 MPa) mezního smykového napětí v tahu lepené spáry se vyskytla při teplotě $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$, naopak nejnižší střední hodnota (3,54 MPa) byla při teplotě $60\text{ }^{\circ}\text{C}$. Při teplotě $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ dosáhla střední hodnota 5,08 MPa. Variační koeficienty jsou ve všech třech souborech dat poměrně nízké (8,14 %; 8,84 % a 8,6 %), což znamená, že soubor má nízkou variabilitu naměřených hodnot.

Tab. 6 Popisná statistika – mezní smykové napětí v tahu v lepené spáře při teplotách $30\text{ }^{\circ}\text{C}$, $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $60\text{ }^{\circ}\text{C}$

Mezní smykové napětí v tahu [MPa]			
Teplota [$^{\circ}\text{C}$]	-30	20	60
Stř. hodnota	7,10	5,08	3,54
Medián	7,01	5,08	3,51
Směr. odchylka	0,58	0,45	0,30
Rozptyl výběru	0,33	0,20	0,09
Variační koeficient [%]	8,14	8,84	8,60
Minimum	6,00	4,39	2,77
Maximum	8,21	6,05	4,15
Rozdíl max-min	2,21	1,67	1,38
Počet	25	21	25

5.3 Stanovení mezního smykového napětí v tahu – svařený spoj

Normalita rozdělení naměřených dat při teplotách $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$, $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ byla vyšetřena pomocí Shapiro-Wilkového testu, který je součástí histogramu vyobrazeného v příloze (Obr. 53).

Nejvyšší střední hodnota (6,37 MPa) mezního smykového napětí v tahu u lepené spáry byla při teplotě $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$, naopak nejnižší střední hodnota (3,94 MPa) byla při teplotě $60\text{ }^{\circ}\text{C}$. Při $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ byla střední hodnota 5,65 MPa. Variační koeficienty jsou ve všech třech souborech dat poměrně nízké (6,09 %; 7,73 % a 10,34 %). Znamená to, že soubor má nízkou variabilitu naměřených hodnot. Jen u dat získaných ze vzorků zkoušených při

teplotě 60 °C je variační koeficient větší než 10 %, což je ale stále poměrně nízká hodnota, která vypovídá o malé variabilitě dat.

Tab. 7 Popisná statistika – mezní smykové napětí v tahu ve svařené spáře při teplotách -30 °C, 20 °C a 60 °C

Mezní smykové napětí v tahu [MPa]			
Teplota [°C]	-30	20	60
Stř. hodnota	6,37	5,65	3,94
Medián	6,42	5,72	3,89
Směr. odchylka	0,39	0,44	0,41
Rozptyl výběru	0,15	0,19	0,17
Variační koeficient [%]	6,09	7,73	10,34
Minimum	5,19	4,44	3,05
Maximum	6,97	6,23	4,78
Rozdíl max-min	1,79	1,79	1,73
Počet	25	22	23

5.4 Mez pevnosti v tahu materiálu Resysta – vzorky vyrobeny v podélném směru

Normalita rozdělení naměřených dat při teplotách -30 °C, 20 °C a 60 °C byla vyšetřena pomocí Shapiro-Wilkového testu, který je součástí histogramu vyobrazeného v příloze (Obr. 60).

U naměřených dat ze zkušebních vzorků vyrobených v podélném směru vzhledem k plotně se znovu vyskytla nejvyšší střední hodnota meze pevnosti v tahu (30,1 Mpa) při teplotě -30 °C. Téměř o polovinu nižší střední hodnota meze pevnosti v tahu (15,46 Mpa) byla při 60 °C. Naopak rozdíl (5,61 MPa) středních hodnot při teplotách 20 °C a -30 °C nebyl příliš velký. Při teplotě 20 °C byla střední hodnota 24,49 MPa. Dle nízkých hodnot variačních koeficientů (6,76 %; 2,2 % a 7,54 %) je variabilita souborů nízká.

Tab. 8 Popisná statistika – Mez pevnosti v tahu materiálu při teplotách -30 °C, 20 °C a 60 °C -
vzorky vyrobeny v podélném směru

Mez pevnosti v tahu [MPa]			
Teplota [°C]	-30	20	60
Stř. hodnota	30,10	24,49	15,46
Medián	30,75	24,48	15,25
Směr. odchylka	2,04	0,54	1,17
Rozptyl výběru	4,14	0,29	1,36
Variační koeficient [%]	6,76	2,20	7,54
Minimum	25,74	23,83	14,10
Maximum	32,08	25,53	17,57
Rozdíl max-min	6,34	1,70	3,47
Počet	10	12	12

5.5 Mez pevnosti materiálu Resysta v tahu – vzorky vyrobeny v příčném směru

Normalita rozdělení naměřených dat při teplotách -30 °C, 20 °C a 60 °C byla vyšetřena pomocí Shapiro-Wilkového testu, který je součástí histogramu vyobrazeného v příloze (Obr. 66).

Střední hodnoty meze pevnosti materiálu Resysta v tahu naměřených ze vzorků vyrobených v příčném směru vzhledem k delší straně plotny vykázaly nižší hodnoty než u dat získaných ze vzorků vyrobených podélně. Při teplotách -30 °C, 20 °C a 60 °C byly střední hodnoty maximálního tahového napětí 23,97 MPa, 20,22 MPa a 12,11 MPa. Variační koeficienty (6,83 %; 1,45 % a 3,99 %), tedy i celková variabilita souborů, zde byly s porovnáním u ostatních zkoušek nejnižší.

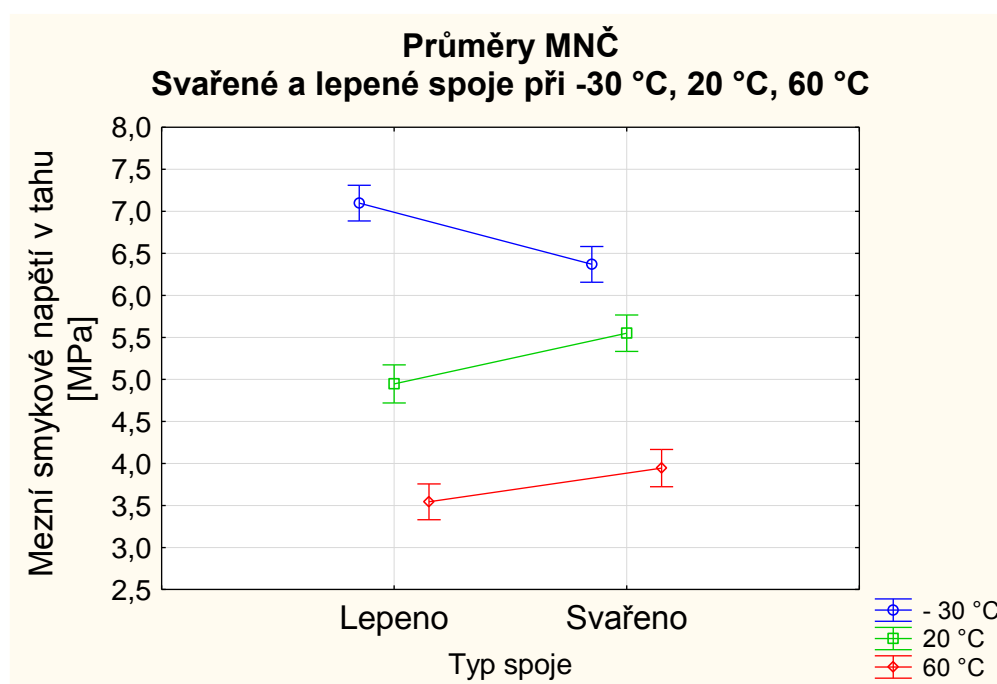
Tab. 9 Popisná statistika – Mez pevnosti materiálu Resysta v tahu při teplotách -30 °C, 20 °C a 60 °C - vzorky vyrobeny v příčném směru

Mez pevnosti v tahu [MPa]			
Teplota [°C]	-30	20	60
Stř. hodnota	23,97	20,22	12,11
Medián	24,45	20,14	12,14
Směr. odchylka	1,64	0,29	0,48
Rozptyl výběru	2,68	0,09	0,23
Variační koeficient [%]	6,83	1,45	3,99
Minimum	20,79	19,83	11,11
Maximum	26,62	20,67	12,89
Rozdíl max-min	5,83	0,84	1,78
Počet	13	12	13

5.6 Statistické vyhodnocení výsledků

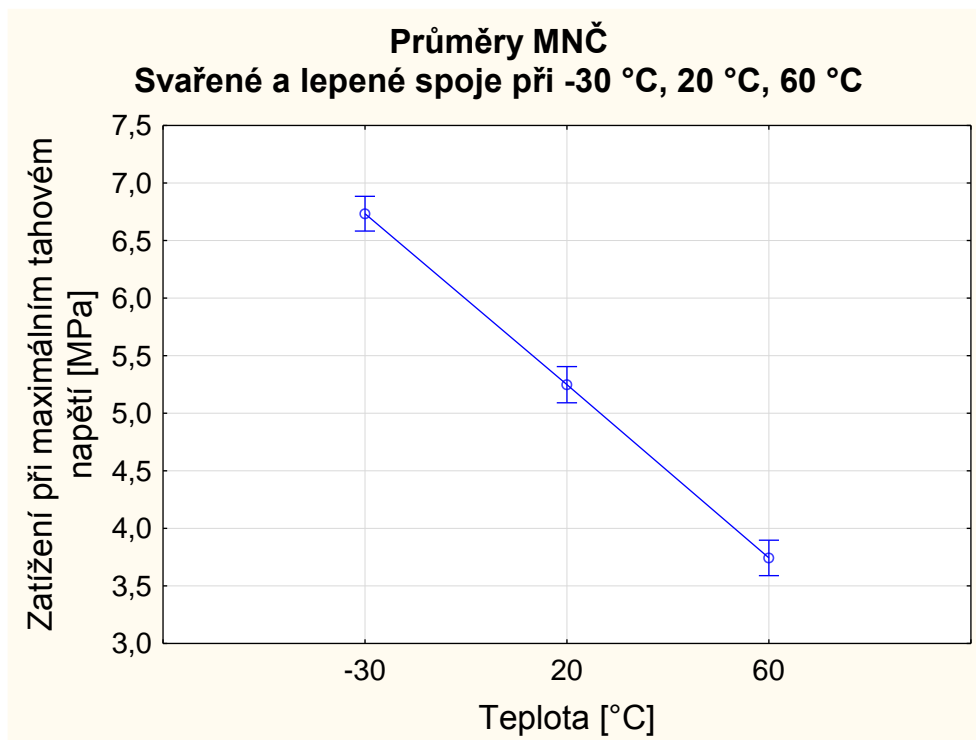
5.6.1 Analýza dat mezního smykového napětí v tahu svařených a lepených spojů

Na Obr. 37 je graficky zobrazeno mezní smykové napětí v tahu lepených a svařovaných vzorků při teplotách $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$, $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $60\text{ }^{\circ}\text{C}$. Na základě tohoto grafu lze říct, že pevnost vzorků rostla s nižší teplotou, a to nezávisle na typu spojení.



Obr. 37 Mezní smykové napětí v tahu lepených a svařených vzorků při teplotách $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$, $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $60\text{ }^{\circ}\text{C}$

Na dalším grafu (Obr. 38) jsou graficky zobrazeny aritmetické průměry a jejich intervaly spolehlivosti, konkrétně vliv faktoru teploty na hodnoty mezního smykového napětí v tahu při teplotách $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$, $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $60\text{ }^{\circ}\text{C}$.



Obr. 38 Vliv teploty na mezní smykové napětí v tahu lepených a svařovaných vzorků při teplotách -30 °C, 20 °C a 60 °C

Výsledky dvoufaktorové anovy jsou v následující tabulce (Tab. 10). Hodnoty p, zvýrazněné červeně potvrzují alternativní hypotézu, což znamená, že u daného faktoru byl potvrzen statisticky významný rozdíl. Pouze u faktoru typ spoje (svařeno/lepeno) byla potvrzena nulová hypotéza, tedy to, že typ spoje neměl statisticky významný rozdíl u středních hodnot mezního smykového napětí v tahu.

Tab. 10 Analýza rozptylu středních hodnot mezního smykového napětí v tahu lepených a svařovaných vzorků při teplotách -30 °C, 20 °C a 60 °C

ANOVA - Testy významnosti - mezní smykové napětí materiálu Resysta v tahu					
Efekt	SČ	Stupně volnosti	PČ	F	p
Teplota	218,760	2	109,380	378,78	0,000000
Typ spoje	0,300	1	0,300	1,04	0,309567
Teplota * Typ spoje	12,531	2	6,265	21,70	0,000000

Které konkrétní úrovně faktoru teplota jsou statisticky významné, zobrazuje HSD test mnohonásobného porovnávání s nestejnou velikostí souborů. Dle zvýraznění všech hodnot je zřejmé, že statisticky významné byly všechny úrovně.

Tab. 11 HSD test mnohonásobného porovnávání s nestejnou velikostí souboru pro faktor teplota

HSD při nestejných N			
Mezní smykové napětí v tahu			
Faktor - teplota			
Teplota [°C]	6,7338	5,2615	3,7354
-30		0,000022	0,000022
20	0,000022		0,000022
60	0,000022	0,000022	

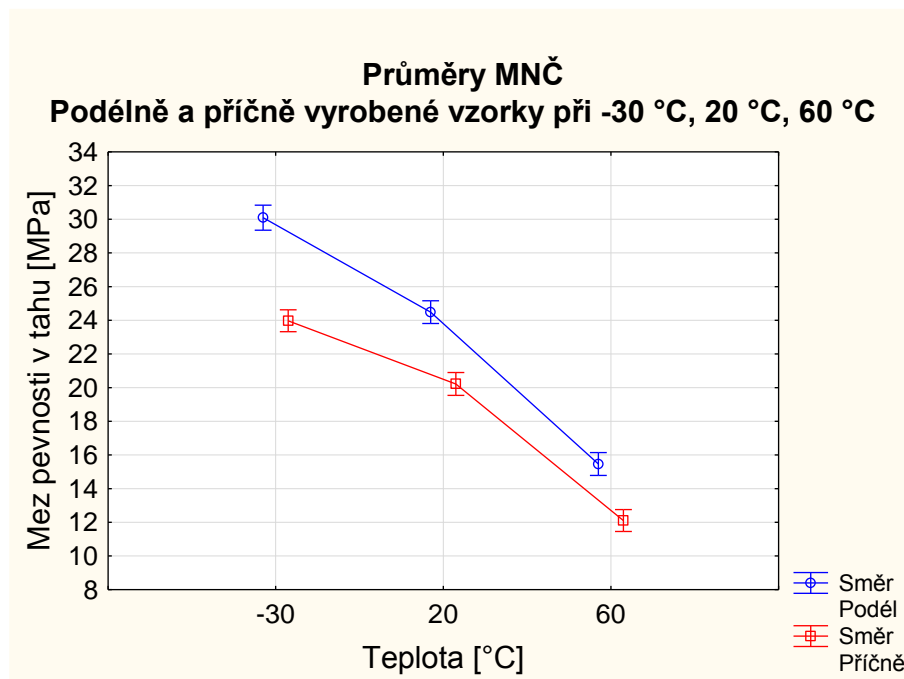
Pomocí tzv. homogenních skupin pro interakci jsou vyznačeny soubory, jejichž střední hodnoty mezního smykového napětí v tahu jsou považovány za stejné (Tab. 12).

Tab. 12 Test interakce jednotlivých faktorů pomocí tzv. homogenních skupin

Test interakce jednotlivých faktorů								
	Teplota [°C]	Spoj	Střední hodnota [MPa]	1	2	3	4	5
5	60	Lepeno	3,543560	****				
6	60	Svařeno	3,944000	****				
3	20	Lepeno	4,947227		****			
4	20	Svařeno	5,549625			****		
2	-30	Svařeno	6,369520				****	
1	-30	Lepeno	7,098000					****

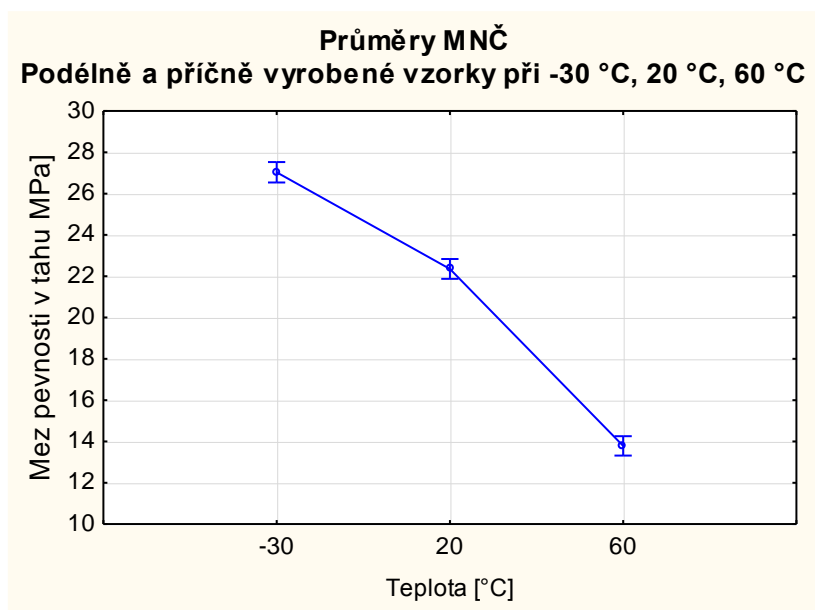
5.6.2 Analýza dat meze pevnosti materiálu Resysta v tahu

Na Obr. 39 je graficky zobrazena mez pevnosti materiálu Resysta v tahu podélně a příčně vyrobených vzorků při teplotách -30 °C, 20 °C a 60 °C. Na základě tohoto grafu lze říct, že pevnost vzorků v tahu rostla s nižší teplotou a to nezávisle na umístění vzorků v desce.



Obr. 39 Mez pevnosti v tahu podélně a příčně vyrobených vzorků při -30 °C, 20 °C a 60 °C

Na dalším grafu (Obr. 40) jsou graficky zobrazeny aritmetické průměry a jejich intervaly spolehlivosti, konkrétně vliv faktoru teploty na hodnoty meze pevnosti v tahu při teplotách -30 °C, 20 °C a 60 °C.



Obr. 40 Vliv teploty na mez pevnosti materiálu Resysta v tahu při teplotách -30 °C, 20 °C a 60 °C

V Tab. 13 jsou vyobrazeny výsledky dvoufaktorové anovy, ze kterých dle červeného zvýraznění zřejmé, že ve všech faktorech se objevily statisticky významné rozdíly.

Tab. 13 ANOVA test středních hodnot meze pevnosti materiálu Resysta v tahu podélně a příčně vyrobených vzorků při teplotách -30 °C, 20 °C a 60 °C

ANOVA - Testy významnosti - mez pevnosti v tahu materiálu Resysta					
Efekt	SČ	Stupně volnosti	PČ	F	p
Teplota	2164,56	2	1082,28	782,06	0,000000
Typ spoje	375,26	1	375,26	271,17	0,000000
Teplota * Typ spoje	23,41	2	11,71	8,46	0,000536

Z Tab. 14 lze odečíst p hodnoty, které vykazují statistickou významnost středních hodnot zatížení při maximálním tahovém napětí při všech expozičních teplotách

Tab. 14 HSD test mnohonásobného porovnávání s nestejnou velikostí souboru pro faktor teplota

HSD při nestejných N			
Mez pevnosti materiálu Resysta v tahu			
Faktor - teplota			
Teplota [°C]	26,634	22,353	13,718
-30		0,000113	0,000113
20	0,000113		0,000113
60	0,000113	0,000113	

Z Tab. 15 lze odečíst, že oba směry uložení vzorků v desce mají statisticky významný vliv na pevnost materiálu v tahu.

Tab. 15 HSD test mnohonásobného porovnávání s nestejnou velikostí souboru pro faktor směr vzorků v desce

HSD při nestejných N		
Mez pevnosti materiálu Resysta v tahu		
Faktor - směr uložení vzorku		
Směr	22,952	18,727
Podél		0,000113
Příčně	0,000113	

Pomocí tzv. homogenních skupin jsou vyznačeny soubory, jejichž střední hodnoty jsou považovány za stejné. (Tab. 16)

Tab. 16 Test interakce jednotlivých faktorů pomocí tzv. homogenních skupin

Test interakce jednotlivých faktorů								
	Teplota [°C]	Spoj	Střední hodnota [MPa]	1	2	3	4	5
6	60	Příčně	12,1		****			
5	60	Podél	15,5			****		
4	20	Příčně	20,2				****	
2	-30	Příčně	24,0	****				
3	20	Podél	24,5	****				
1	-30	Podél	30,1					****

6 VYHODNOCENÍ A DISKUZE DOSAŽENÝCH LABORATORNÍCH VÝSLEDKŮ

6.1.1 Ověřovací zkoušky

Střední hodnota (2,3 MPa) první ověřovací zkoušky mezního smykového napětí v tahu ve svařené spáře byla jen orientační. V této fázi šlo především o zjištění toho, jak se materiál Resysta bude při „trhání“ chovat, respektive jestli vzorky trhací stroj zvládne přetřhnout. I z tohoto důvodu byla plocha překrytí svařovaných dílů zvolená různě (20 x 20 mm; 20 x 30 mm; 15 x 20 mm; 10 x 20 mm). Zkouška ukázala, že spoj byl pevnější než samotný materiál, což je i požadavek každého kvalitního spoje.

První ověřovací zkouška mezního smykového napětí v tahu lepeného spoje byla provedena z důvodu výběru lepidla pro budoucí použití. Spoje zhotoveny lepidly Auratech AR 94201 a Petec Kleben & Dichten ecoline nevykázaly ve spáře velkou pevnost (2 a 1,4 MPa). Vzorky spojené těmito lepidly byly porušeny ve spoji, nikoli v materiálu. Dle Auratech (2013) je pevnost lepeného spoje tohoto lepidla 3 MPa, tedy o 1 MPa více než bylo změřeno. Spoje vyrobené lepidly Cosmo 180.120 a Tangit PVC-U vykázaly pevnost o něco vyšší (3,9 a 3,4 MPa) a byly porušeny v materiálu, nikoli v samotném spoji. Proto byly tyto lepidla potenciálními kandidáty lepidel pro použití v praxi. Bohužel se však při aplikaci lepidla Tangit PVC-U objevily příznaky podráždění sliznic, a proto bylo spolu s lepidly Auratec a Petec vyřazeno z výběru lepidel využitelných v praxi. Výrobce Henkel (2015) v technickém listu lepidla Tangit PVC-U také varuje na nebezpečí při vdechnutí, dráždění dýchacích cest a očí. Po vyřazení předchozích lepidel bylo jediné lepidlo Cosmo 180.120 předurčeno k následným zkouškám mezního smykového napětí v tahu svařené a lepené spáry a meze pevnosti materiálu Resysta v tahu. Výhodou tohoto lepidla je dobrá odolnost proti nižším i vyšším teplotám (-30 až 100 °C), proti vlhkosti a také fakt, že při aplikaci není potřeba vyvinout na lepené dílce příliš velký tlak.

Vzhledem ke způsobu porušení dopadla třetí ověřovací zkouška mezního smykového napětí v tahu u svařovaných vzorků o tloušťce 8 mm podobně jako první.

Tentokrát byla střední hodnota pro pevnost v tahu 3,8 MPa. Kvalita spoje byla znovu potvrzena porušením v materiálu.

6.2 Mezní smykové napětí v tahu – svařované a lepené spoje

Před započítáním analýzy dat bylo potřeba vyšetřit normalitu rozložení dat. To se provedlo až po následném vyřazení extrémních a odlehlých hodnot, které by celkovou analýzu mohly výrazně ovlivnit. Extrémní a odlehlé hodnoty pravděpodobně byly důsledkem nekvalitní výroby některých vzorků a to jak u svařování, tak při lepení. Při takovém množství vzorků jaké bylo vyráběno a při stereotypní práci, která trvala hodiny, se s možným výskytem zmetků počítá. U testování pevnosti materiálu se proto z důvodu absence spoje extrémní ani odlehlé hodnoty v souboru nevyskytly.

Původním záměrem zkoušek bylo zjištění vlivu různých teplot na pevnost lepeného a svařeného spoje. Ve většině vzorcích, se ale o pevnost lepeného a svařeného spoje přímo ve spáře nejednalo, protože porušení nastalo kombinací obou možných případů možného porušení, a to ve spáře i v materiálu zároveň. I přes tento fakt jsou v celé práci všechny testy zvané podle původního záměru, ke kterém byly určeny (např. Mezní smykové napětí v tahu – lepený spoj). Jedinou zkouškou, kde se porušil spoj přímo ve spáře, byla zkouška lepeného spoje při teplotě 20 °C. To mohlo být způsobeno krátkou dobou klimatizace lepeného spoje i přes to, že u lepidla Cosmo PU 180.120 je tato doba dle výrobce WEISS (2015) 24 hodin a vzorky byly klimatizovány min. 48 hodin.

Při teplotě -30 °C byl průměr středních hodnot mezního smykového napětí lepených a svařovaných vzorků 6,7 MPa. Při teplotě 60 °C to bylo téměř o polovinu méně – 3,7 MPa. Pomocí dvoufaktorového testu s opakováním byla potvrzena statistická významnost vlivu teploty na mez pevnosti materiálu Resysta v tahu nezávisle na typu spoje. S rostoucí teplotou hodnoty meze pevnosti v tahu klesaly.

Vliv typu spoje (svažený/lepený) na pevnost vzorků v tahu nebyl statisticky potvrzen. Pro firmu mmcité to znamená, že při integraci těchto dvou spojů do výroby nemusí pevnost obou typů spoje zohledňovat a mohou se více zaměřit na to, který spoj je levnější nebo jednodušší na výrobu. Je zde ale ještě vhodné zmínit, že při svařování vzorků bylo dosahováno teploty kolem 160 °C, což ale není ani teplota skelného přechodu ligninu (cca 170 °C), ani teplota doporučená pro technologii svařování dřeva (170 °C)

a ani teplota svařování Resysty doporučená firmou SIMONA (230 °C). Pokud by teplota byla o něco vyšší, je velmi pravděpodobné, že hodnoty pevnosti by také stoupaly, a to z důvodu propojení buněk ligninu a ostatních amorfních částí obdobně jako u technologie svařování dřeva.

Teplotní odolnost lepidla Cosmo PU 180.120 v technickém listu nenajdeme. Dle rámcového průzkumu polyuretanových lepidel od jiných výrobců na trhu však bylo zjištěno teplotní rozmezí -30 – 100 °C.

Statisticky významný rozdíl středních hodnot při interakci teploty a typu spoje byl potvrzen na všech úrovních, kromě dat získaných ze zkoušek pevnosti v lepené a svařované spáře při teplotě 60 °C, kdy jejich střední hodnoty 3,5 a 3,9 MPa jsou považovány za stejné.

6.3 Mez pevnosti materiálu Resysta v tahu

Do práce se vstupovalo s hypotézou, že existuje rozdíl pevnosti v příčném a podélném směru vzhledem k delší hraně desky materiálu Resysta. Tato hypotéza je podložena experimenty s ohýbáním. Ty byly prováděny v externí firmě TON. I přes letité zkušenosti s ohýbáním dřeva se při některých pokusech pracovníkům firmy TON nepovedlo dosáhnout výsledného požadovaného tvaru. To mohlo být způsobeno ignorací směru uložení daného dílce v desce a práce s materiálem Resysta jako s materiálem homogenním.

Hypotéza o vlivu směru uložení materiálu v desce byla statisticky potvrzena a vypovídá o tom, že vzorky vyrobené v podélném směru měly vyšší pevnost nezávisle na teplotě než u vzorcích vyrobených ve směru příčném.

Analýzou dat byl potvrzen vliv teploty na pevnost samotného materiálu Resysta. Trend vlivu teploty byl podobný jako v předchozích zkouškách. S narůstající teplotou se mez pevnosti materiálu Resysta v tahu snižovala jak u podélně, tak u příčně vyrobených vzorcích. Hodnoty meze pevnosti v tahu při teplotě -30 °C v příčném i v podélném směru (23,97 a 30,1 MPa) byly vždy téměř o polovinu vyšší než při teplotě 60 °C (12,11 a 15,46 MPa).

Statisticky významný rozdíl středních hodnot při interakci teploty a směru uložení vzorků v desce byl potvrzen ve všech úrovních, kromě u vzorků příčných při

teplotě 30 °C a podélných při teplotě 20 °C, u kterých byly střední hodnoty považovány za stejné. To bylo však způsobeno právě interakcí dvou různých teplot s dvěma různými směry uložení vzorků v desce materiálu Resysta.

Teplota skelného přechodu PVC je kolem 87 °C. Tím je pravděpodobně způsoben vliv teploty na pevnost svařeného spoje a materiálu Resysta. Čím víc se bude expoziční teplota blížit teplotě skelného přechodu, tím nižší pevnost bude spoj či materiál vykazovat, tak jak to potvrdily zkoušky v této práci. Teplota skelného přechodu látek zastoupených v rýžových slupkách je mnohem vyšší. Například T_g ligninu je kolem 170 °C.

Oslabení pevnosti v tahu s rostoucí teplotou ve všech provedených zkouškách může být způsobeno postupným tavením matrice (PVC). Příčinou toho je pravděpodobně oslabení adheze na rozhraní matrice-vlákno.

Materiál Resysta s obsahem PVC je recyklovatelný, avšak jen ve smyslu přidání „odpadu“ do nové dávky při výrobě nových desek, profilů či jiných výrobků. Co se s materiálem bude dít po skončení životního cyklu u zákazníka těžko odhadovat, ale navrácení materiálu zpět do firmy, která se zabývá výrobou materiálu Resysta to asi nebude. Všeobecně je známý fakt, že recyklace PVC není tak jednoduchá. Z celkového množství lze totiž recyklovat jen velmi malé procento PVC (cca 3 %). Ve většině případů totiž spalováním odpadu z PVC vznikají nebezpečné dioxiny a další toxické látky. Zda-li je materiál Resysta natolik ekologický za jaký ho výrobce vydává, zůstává otázkou.

7 ZHODNOCENÍ PŘÍNOSŮ PRO PRAXI A ZÁVĚR

Vzhledem k tomu, že materiál Resysta je na trhu relativně nový, tak není ještě příliš rozšířený a výrobci například nábytku s ním ještě nemají mnoho zkušeností. I proto vznikla tato práce, která má pomoci firmě mmcité se lépe seznámit s chováním tohoto materiálu, především pak s technologií lepení a svařování.

Z práce vyplývají tyto závěry:

- Jako nejvhodnější lepidlo z hlediska mezního smykového napětí spoje v tahu bylo na základě zkoušek a možného praktického použití vybráno polyuretanové lepidlo Cosmo 180.120
- Se zvyšující teplotou klesají hodnoty mezního smykového napětí v tahu ve spoji svařeném i lepeném (Cosmo 180.120)
- Svařené spoje vykázaly vyšší hodnoty mezního smykového napětí než spoje lepené. Pevnost svařeného spoje je navíc možné optimalizovat vhodným zvolením svařovacích parametrů (tlak, teplota, lisovací čas) a tím dosáhnout pevnosti vyšší.
- Se zvyšující teplotou klesají hodnoty meze pevnosti v tahu samotného materiálu.
- Statisticky byl potvrzen vliv směru uložení dílců v desce z materiálu Resysta. V podélném směru byla pevnost v tahu vyšší než pevnost v příčném směru vzhledem k delší hraně desky. Tento poznatek je možné aplikovat v praxi například při ohýbání materiálu Resysta.
- Materiál Resysta je vhodný na použití v prostředí při expozičních teplotách -30 až 60 °C
- Dle výsledků by se pravděpodobně mohly naskýtat problémy s materiálem a ve spojech materiálu Resysta především ve vyšších teplotách
- Střední hodnoty mezního smykového napětí a meze pevnosti v tahu pro jednotlivé faktory jsou vyobrazeny v následující tabulce (Tab. 17).

Tab. 17 Střední hodnoty mezního smykového napětí a meze pevnosti v tahu

Tahové napětí při max. tahovém protažení [MPa]			
Teplota [°C]	-30	20	60
Svařený spoj	6,37	5,65	3,94
Lepený spoj	7,10	5,08	3,54
Materiál (příčně)	23,97	20,22	12,11
Materiál (podélně)	30,10	24,49	15,46

8 SUMMARY OF BENEFITS FOR PRACTICE AND CONCLUSION

According to a new market status, material Resysta is not very common in usage in furniture industry. There are not enough relevant experiences when testing this product. Therefore, this thesis, which can help understand of behavior of this material, was created particularly considering both gluing and welding technologies.

Followings conclusions were found:

- The most appropriate type of glue chosen due to tensile strength and practice is Cosmo 180.120.
- The values of ultimate shear stress were decreasing with increasing temperature in glued and welded joints.
- The welded joints displayed better values in ultimate shear stress than glued joints. In addition, ultimate shear stress of welded joints can be optimized by appropriate setting of welding parameters (pressure, temperature, pressing time).
- A tensile strength values of the Resysta were decreasing with higher temperature.
- An influence on workpiece direction of placement on a board was confirmed as statistically significant. There were higher values of the tensile strength in a longitudinal direction compare to a transverse. Thus, it allows it to be applied in a practice for a bending of the Resysta material.
- The Resysta material is suitable for the use at temperature exposure of -30 to 60 °C.
- According to the results, the problems could occur with the material and the joints especially at higher temperatures.
- The average values of ultimate shear stress and tensile strength for individual factors are shown in the following table (Tab. 17).

Tab. 17 Average values of ultimate shear stress and tensile strength

<i>Ultimate shear stress and tensile strength [MPa]</i>			
Temperature [°C]	-30	20	60
Welded joint	6,37	5,65	3,94
Glued joint	7,10	5,08	3,54
Material (transverse)	23,97	20,22	12,11
Material (longitudinal)	30,10	24,49	15,46

9 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

ANOVA – Analysis of variance (Analýza rozptylu)

DTD – dřevotřísková deska

HSD – z angličtiny „honest significant difference“ (volně přeloženo jako poctivý statistický rozdíl)

INRA – French National Institute for Agricultural Research (Francouzský státní institut pro zemědělský výzkum)

MNČ – mnohonásobné členy

PC – polykarbonát

PDP – plošná deska překližovaná

PE – polyetylen

PF – fenolformaldehydová pryskyřice

PP – polypropylen

PS – polystyren

PU – polyuretan

PVC – polyvinylchlorid

PVC-U – neměkčený polyvinilchlorid

RHA – rice hull ash

UF – močovinoformaldehydová pryskyřice

UP – polyesterová pryskyřice

UV – ultrafialové záření

WPC – wood-plastic composite, tzv. dřevoplast

10 PŘEHLED POUŽITÉ LITERATURY

10.1 Seznam odborné literatury

- 1) AURATECHCZ: TECHNICKÝ LIST. Jičín, 2013. Dostupné také z: http://www.auratech.cz/Auratech/media/auratech/Technicke-listy/Tesnici%20hmoty/AR_94200_94201_94205_technicky_list.pdf
- 2) DRÁPELA, Karel a Jan ZACH. Statistické metody I: (pro obory lesního dřevařského a krajinného inženýrství). 1.vyd. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, 1999, 135 s. ISBN 80-7157-416-3.
- 3) EHRENSTEIN, Gottfried W. *Polymerní kompozitní materiály*. V ČR 1. vyd. Praha: Scientia, 2009. ISBN 978-80-86960-29-6.
- 4) GREEN, David W., Jerrold E. WINANDY a David E. KRETSCHMANN. FOREST PRODUCT LABORATORY. *Wood handbook, Wood as an Engineering material: Mechanical Properties of Wood*. U.S. Department of Agriculture: USDA, 1999.
- 5) HENKEL: *Technický list, Tangit PVC-U*. Praha 7, 2015.
- 6) HOLEC, Matěj. Chybějící a odlehlé hodnoty. ČVUT, 2012. Dostupné také z: https://cw.fel.cvut.cz/wiki/_media/courses/m33sad/2_cviceni.pdf
- 7) HOLUB, Jiří. Smáčivost povrchu vůči kapalinám a druhá viskozita kapalin. Brno, 2010. Bakalářská práce.
- 8) *Chemické úpravy celulózy pro použití v polymerních kompozitech*. Zlín, 2012. Dostupné také z: http://digilib.k.utb.cz/bitstream/handle/10563/22936/šnévajsová_2012_bp.pdf?sequence=1. Bakalářská práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně.
- 9) JANČÁŘ, Josef. Úvod do materiálového inženýrství polymerních kompozitů. Vyd. 1. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2003. ISBN 80-214-2443-5. Dostupné také z: <http://kramerius.mzk.cz/search/handle/uuid:d28dfcd0-d3dd-11e2-8f90-005056827e51>
- 10) KAMENÍK, Ivan. *Výzkum vlivu zastoupení surovinových složek substrátu na produkci žampionů*. Brno, 2011. Disertační práce. Mendelova univerzita v Brně. Vedoucí práce Jan Mareček.

- 11) KUMAR, Ajay, Kalyani MOHANTA, Devendra KUMAR a Om PARKASH. Properties and Industrial Applications of Rice husk: A review. *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering* [online]. 2012, 2(10), 90 [cit. 2016-03-23]. Dostupné z: http://www.ijetae.com/files/Volume2Issue10/IJETAE_1012_16.pdf
- 12) LOYDA, Miloslav. Svařování termoplastů. 2., dopl. a rozš. vyd. Praha: UNO Praha, 2011. ISBN 978-80-904949-0-9. Dostupné také z: <http://kramerius.mzk.cz/search/handle/uuid:d3d33aa0-7b85-11e4-8ce5-005056827e52>
- 13) MERENDA, Lukáš. Lisování smrkového dřeva v transverzálním směru a modifikace jeho materiálových vlastností pomocí dielektrického ohřevu a vysoké teploty. Brno, 2009. Disertační práce. Mendelova univerzita v Brně.
- 14) MILLER, Regis B. FOREST PRODUCT LABORATORY. *Wood handbook, Wood as an Engineering material: Structure of Wood*. U.S. Department of Agriculture: USDA, 1999.
- 15) *Modifikace hořlavosti polymerních materiálů a hodnocení efektivnosti těchto modifikací*. Zlín, 2011. Dostupné také z: http://digilib.k.utb.cz/bitstream/handle/10563/17124/_2011_bp.pdf?sequence=1. münster
Bakalářská práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně.
- 16) PIZZI, Antonio, Milena PROPERZI, Jean-Michel LEBAN, Michela ZANETTI a Frederic PICHELIN. MECHANICALLY-INDUCED WOOD WELDING. *Maderas: Cienc. tecnol.* 2003,5(2), 101-106. ISSN 0718-221X. Dostupné také z: http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-221X2003000200001
- 17) *Plasty - Stanovení tahových vlastností - Část 1: Základní principy*. Praha: Český normalizační institut, 2012.
- 18) *Plasty pro rozvod médií a svařované konstrukce*. 1. vyd. Praha: GAS, 2001. ISBN 80-86176-97-5.
- 19) RAOS, Pero a Mladen SERCER. *Encyklopedia of life support systems (EOLSS): Joining of plastics and composites*. Croatia. Dostupné také z: <http://www.eolss.net/sample-chapters/c05/e6-171-07-00.pdf>

- 20) RODRIGUEZ, G., P. DIOUF, P. BLANCHET a T. STEVANOVIC. Wood-Dowel Bonding by High-Speed Rotation Welding - Application to Two Canadian Hardwood species. *Journal of Adhesion Science and Technology*. 2010, **24**(8-10), 11. Dostupné také z: <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1163/016942410X516191>
- 21) ROWELL, Roger M (ed.). *Handbook of wood chemistry and wood composites*. 2nd ed. Boca Raton: CRC Press, c2013. ISBN 978-1-4398-5380-1.
- 22) ROYLANCE, David. *Mechanics of materials*. New York: Wiley, c1996. ISBN 04-715-9399-0.
- 23) STETTER, Prof. Dr. Karl. *Technical and ecological assessment of the new product Resysta*. Rosenheim, 2008.
- 24) TESAŘOVÁ, Daniela. *Povrchové úpravy dřeva*. 1. vyd. Praha: Grada, 2014. Profí. ISBN 978-80-247-4715-6.
- 25) THOMKE, David. *Konstrukční řešení automobilového dílu vyráběného hybridní technologií*. Zlín, 2013. Dostupné také z: http://digilib.k.utb.cz/bitstream/handle/10563/24304/thomke_2013_dp.pdf?sequence=1. Diplomová práce. UTB.
- 26) VERMOUZEK, Michal. *Renovace plastových součástí svařováním*. Brno, 2010. Bakalářská práce. Mendelova univerzita v Brně. Vedoucí práce Jiří Votava,.
- 27) VOJTĚCH, Dalibor. *Materiály a jejich mezní stavy*. Vyd. 1. Praha: Vydavatelství VŠCHT, 2010. ISBN 978-80-7080-741-5.
- 28) WANNAPEERA, Janewit, Nakorn WORASUWANNARAK a Suneerat PIPATMANOMAI. Production of High-Grade Carbonaceous Materials and Fuel Having Similar Chemical and Physical Properties from Various Types of Biomass by Degradative Solvent Extraction. *Songklanakarin Journal of Science and Technology*. 2008, **30**(3), 13.
- 29) WEISS: Technical Data Sheet. Haiger, 2015. Dostupné také z: http://www.weiss-chemie.com/html/files/pdf/tds/COSMO_PU/COSMO_PU_180/PU-180.120/TDS_COSMO_PU_180_120_EN.pdf
- 30) *Wood adhesives*. Editor K MITTAL, editor A PIZZI. Boca Raton: CRC Press, 2011. ISBN 978-90-04-19093-1.

- 31) Zkušební postupy pro lepidla na dřevo pro nekonstrukční stavební díly. Stanovení pevnosti lepeného spojení při tahovém namáhání. Praha: Český normalizační institut, 2003.

10.2 Internetové zdroje

- 1) Andersenstokke: DECK/UNIVERSAL BOARD. USA: Andersenstokke, 2015.
Dostupné také z: <http://www.andersenstokke.com/resysta-ub2/pdf/manual.pdf>
- 2) GROSPIETSCH, Jiří. Umíme svařit dřevo: Plus. Český rozhlas: Plus [online].
Praha, 2005 [cit. 2016-03-28]. Dostupné z:
http://www.rozhlas.cz/leonardo/technologie/_zprava/umime-svarit-drevo--196528
- 3) *Resysta: Resysta - The future material* [online]. 2015 [cit. 2016-03-23]. Dostupné z:
<http://www.resysta.de/en/material-resysta.html>
- 4) Samočisticí sklo z lotosového listu nebo motýlích křídel. Osel [online]. [cit. 2016-04-07]. Dostupné z: <http://www.osel.cz/1221-samocistici-sklo-z-lotosoveho-listu-nebo-motylich-kridel.html>
- 5) SIMONA® SIMOWOOD. SIMOWOOD Verarbeitungsfilm Warmformen: Processing information warm bending. In: *Youtube* [online]. 2014 [cit. 2016-03-23]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=Bpkk9otxaAU>
- 6) *WIKIPEDIE: Otevřená encyklopedie* [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikimedia Foundation, 2016 [cit. 2016-03-23]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Rýže>
- 7) *WIKIPEDIE: Otevřená encyklopedie* [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikimedia Foundation, 2016 [cit. 2016-03-23]. Dostupné z:
https://cs.wikipedia.org/wiki/Zpomalovač_hoření
- 8) SIMOWOOD made of Resysta®: Technical drawing. SIMONA [online]. Kirm, 2016 [cit. 2016-04-07]. Dostupné z:
<http://www.simona.de/index.php?id=206&L=1&search=wood&productBase=Sheets>
- 9) SIMOWOOD made of Resysta®: Usage. SIMONA [online]. Kirm, 2016 [cit. 2016-04-07]. Dostupné z:
<http://www.simona.de/static/sites/default/us/assets/Infomaterial/SIMOWOOD-english.pdf>

- 10) Pultové mrazicí boxy Elcold. Biotrade [online]. Praha, 2015 [cit. 2016-04-07].
Dostupné z: <http://www.biotrade.cz/prislusenstvi-6k/mrazici-boxy-22k/pultove-mrazici-boxy-elcold-15p>
- 11) *BBC: NEWS* [online]. 2011 [cit. 2016-03-23]. Dostupné z:
<http://www.bbc.com/news/business-13299292>
- 12) *Resysta.mmcite: Co je Resysta?* [online]. ČR [cit. 2016-03-23]. Dostupné z:
<http://resysta.mmcite.com/co-je-resysta>
- 13) *Revaly: Resysta* [online]. Plzeň, 2016 [cit. 2016-04-07]. Dostupné z:
<http://www.revaly.cz/inpage/porovnani/>

11 SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1 Příklad použití materiálu Resysta na zahradní terase v Bostonu 2013</i>	14
<i>Obr. 2 Použití Jäklového profilu pro vyztužení vytačeného profilu z materiálu Resysta</i>	14
<i>Obr. 3 Montáž materiálu Resysta pomocí přišroubování vruty</i>	15
<i>Obr. 4 Vrtání otvorů do materiálu Resysta</i>	15
<i>Obr. 5 Frézování materiálu Resysta</i>	15
<i>Obr. 6 Lepení materiálu Resysta</i>	15
<i>Obr. 7 Beztrískové obrábění materiálu Resysta ohybem za tepla</i>	16
<i>Obr. 8 Dva kusy svařených plátů materiálu SIMOWOOD made of Resysta</i>	16
<i>Obr. 9 Detail lepeného dílce na čelní stranu dutého vytačovaného profilu vyrobeného z materiálu Resysta</i>	16
<i>Obr. 10 Příklady výrobků firmy mmcité z materiálu Resysta</i>	17
<i>Obr. 11 Obsah celulózy, hemicelulózy a ligninu v tvrdých dřevinách v USA</i>	20
<i>Obr. 12 Obsah celulózy, hemicelulózy a ligninu v měkkých dřevinách v USA</i>	20
<i>Obr. 13 Obsah celulózy, hemicelulózy a ligninu v rýžových slupkách</i>	20
<i>Obr. 14 Kapalina s velkým povrchovým napětím a malým úhlem smáčení</i>	23
<i>Obr. 15 Kapalina s nízkým povrchovým napětím a velkým úhlem smáčení</i>	23
<i>Obr. 16 Propletení ligninu s celulóзовými vlákny a buňkami (tracheidy) po svařování dřeva na 100 x zvětšeném snímku pořízeném elektronovým mikroskopem</i>	25
<i>Obr. 17 Svařování plastových dílců přímou metodou horkým tělesem</i>	26
<i>Obr. 18 Svařování plastových dílců nepřímou metodou horkým tělesem</i>	27
<i>Obr. 19 Rozdělení mikrokompozitních materiálů podle geometrie a orientace výtuzě</i>	29
<i>Obr. 20 Závislost modulu pružnosti na teplotě u jednotlivých druhů plastů (Thomke, 2013)</i>	30
<i>Obr. 21 Rozměry zkušebního tělesa pro svařování v počáteční fázi</i>	35
<i>Obr. 22 Printscreen softwarového rozhraní z programu Instron Bluehil</i>	35
<i>Obr. 23 Infračervený teploměr Voltcraft IR 260-8S</i>	36
<i>Obr. 24 Přetrhnutý svařený a označený zkušební vzorek z materiálu Resysta</i>	36

<i>Obr. 25 Přetrhnuté zkušební vzorky lepené lepidlem Auratech AR94201</i>	<i>37</i>
<i>Obr. 26 Přetrhnuté zkušební vzorky lepené lepidlem Cosmo PU 180.120</i>	<i>37</i>
<i>Obr. 27 Přetrhnuté zkušební vzorky lepené lepidlem Tangit PVC-U.....</i>	<i>38</i>
<i>Obr. 28 Přetrhnuté zkušební vzorky lepené lepidlem Petec Kleben & Dichten....</i>	<i>38</i>
<i>Obr. 29 Rozměry zkušebního tělesa pro zkoušku pevnosti materiálu v tahu</i>	<i>40</i>
<i>Obr. 30 Šablona z 18 mm tlusté plošné desky překližované (PDP) s výsledným tvarem a rozměry zkušebního vzorku na zkoušku pevnosti materiálu.....</i>	<i>39</i>
<i>Obr. 31 Laboratorní inkubátor Incucell ze série Standard.....</i>	<i>40</i>
<i>Obr. 32 Ilustrační obrázek hluboko mrazících boxů Elcold</i>	<i>40</i>
<i>Obr. 33 Vzorky po zkoušce pevnosti materiálu v tahu při teplotě 20 °C</i>	<i>41</i>
<i>Obr. 34 Lepené vzorky po zkoušce pevnosti v tahu při 60 °C.....</i>	<i>42</i>
<i>Obr. 35 Čerpání kapalného dusíku do bomby.....</i>	<i>43</i>
<i>Obr. 36 Pohled na upínací čelisti uvnitř uzavřené komory.....</i>	<i>43</i>
<i>Obr. 37 Mezní smykové napětí v tahu lepených a svařených vzorků při teplotách -30 °C, 20 °C a 60 °C</i>	<i>50</i>
<i>Obr. 38 Vliv teploty na mezní smykové napětí v tahu lepených a svařovaných vzorků při teplotách -30 °C, 20 °C a 60 °C</i>	<i>51</i>
<i>Obr. 39 Mez pevnosti v tahu podélně a příčně vyrobených vzorků při -30 °C, 20 °C a 60 °C</i>	<i>53</i>
<i>Obr. 40 Vliv teploty na mez pevnosti materiálu Resysta v tahu při teplotách -30 °C, 20 °C a 60 °C</i>	<i>53</i>
<i>Obr. 41 První ověřovací zkouška - mezní smykové napětí ve svařené spáře</i>	<i>73</i>
<i>Obr. 42 Druhá ověřovací zkouška - mezní smykové napětí v lepené spáře - lepidlo Auratech AR94201</i>	<i>73</i>
<i>Obr. 43 Druhá ověřovací zkouška - mezní smykové napětí v lepené spáře - lepidlo 74</i>	<i>74</i>
<i>Obr. 44 Druhá ověřovací zkouška - mezní smykové napětí v lepené spáře – lepidlo Tangit PVC-U.....</i>	<i>74</i>
<i>Obr. 45 Druhá ověřovací zkouška - mezní smykové napětí v lepené spáře – lepidlo Petec Kleben & Dichten ecoline</i>	<i>75</i>
<i>Obr. 46 Druhá ověřovací zkouška – mez pevnosti v tahu – svařený spoj</i>	<i>75</i>

<i>Obr. 47 Histogram dat - mezní smykové napětí v tahu při teplotách -60 °C, 20 °C a 60°C - lepený spoj</i>	<i>77</i>
<i>Obr. 48 Mezní smykové napětí v tahu – lepený spoj při teplotě 20 °C (Cosmo 120.180).....</i>	<i>78</i>
<i>Obr. 49 Vzorky po zkoušce mezního smykového napětí v tahu při teplotě 20 °C – lepidlo Cosmo 180.120.....</i>	<i>79</i>
<i>Obr. 50 Mezní smykové napětí v tahu – lepený spoj při teplotě 60 °C (Cosmo 120.180).....</i>	<i>80</i>
<i>Obr. 51 Mezní smykové napětí v tahu – lepený spoj při teplotě -30 °C (Cosmo 120.180).....</i>	<i>81</i>
<i>Obr. 52 Vzorky po zkoušce mezního smykového napětí v tahu při teplotě -30 °C – lepidlo Cosmo 180.120.....</i>	<i>82</i>
<i>Obr. 53 Histogram dat - mezní smykové napětí v tahu při teplotách -60 °C, 20 °C a 60°C - svařený spoj</i>	<i>82</i>
<i>Obr. 54 Mezní smykové napětí pevnosti v tahu – svařený spoj při teplotě 20 °C.</i>	<i>83</i>
<i>Obr. 55 Vzorky po zkoušce mezního smykového napětí v tahu při teplotě 20 °C – svařený spoj</i>	<i>84</i>
<i>Obr. 56 Mezní smykové napětí v tahu – svařený spoj při teplotě.....</i>	<i>84</i>
<i>Obr. 57 Vzorky po zkoušce mezního smykového napětí v tahu při teplotě 60 °C – svařený spoj.....</i>	<i>85</i>
<i>Obr. 58 Mezní smykové napětí v tahu – svařený spoj při teplotě.....</i>	<i>86</i>
<i>Obr. 59 Vzorky po zkoušce pevnosti svařené spáry ve smyku při -30 °C.....</i>	<i>87</i>
<i>Obr. 60 Histogram dat - mez pevnosti v tahu při teplotách -60 °C, 20 °C a 60°C - svařený spoj (podélné vzorky)</i>	<i>87</i>
<i>Obr. 61 Histogram dat - mez pevnosti v tahu při teplotách -60 °C, 20 °C a 60°C - svařený spoj (příčné vzorky).....</i>	<i>88</i>
<i>Obr. 62 Mez pevnosti v tahu při teplotě 20 °C.....</i>	<i>88</i>
<i>Obr. 63 Mez pevnosti v tahu při teplotě 60 °C.....</i>	<i>89</i>
<i>Obr. 64 Vzorky po zkoušce meze pevnosti materiálu Resysta v tahu při 60 °C</i>	<i>90</i>
<i>Obr. 65 Mez pevnosti v tahu při teplotě -30 °C.....</i>	<i>91</i>
<i>Obr. 66 Vzorky po zkoušce meze pevnosti materiálu Resysta v tahu při -30 °C...</i>	<i>92</i>

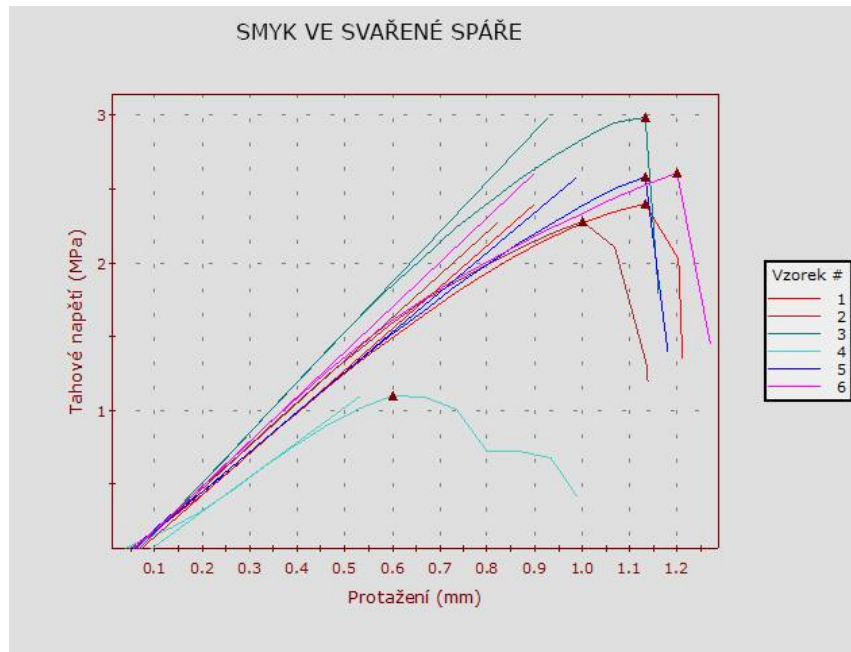
12 SEZNAM TABULEK

<i>Tab. 1 Schématické porovnání vlastností materiálu Resysta s tropickým dřevem, WPC.....</i>	12
<i>Tab. 2 Technické parametry materiálu Resysta</i>	13
<i>Tab. 3 Optimální parametry svařování materiálu Resysta dle SIMOWOOD.....</i>	27
<i>Tab. 4 Rozdělení a počet zkušebních vzorků v závislosti od druhu zkoušky</i>	39
<i>Tab. 5 Orientační hodnoty mezního smykového napětí v tahu lepených a svařovaných vzorků při druhé a třetí ověřovací zkoušce</i>	46
<i>Tab. 6 Popisná statistika – mezní smykové napětí v tahu v lepené spáře při teplotách 30 °C, 20 °C a 60 °C</i>	47
<i>Tab. 7 Popisná statistika – mezní smykové napětí v tahu ve svařené spáře při teplotách -30 °C, 20 °C a 60 °C.....</i>	48
<i>Tab. 8 Popisná statistika – Mez pevnosti v tahu materiálu při teplotách -30 °C, 20 °C a 60 °C - vzorky vyrobeny v podélném směru</i>	49
<i>Tab. 9 Popisná statistika – Mez pevnosti materiálu Resysta v tahu při teplotách -30 °C, 20 °C a 60 °C - vzorky vyrobeny v příčném směru</i>	49
<i>Tab. 10 Analýza rozptylu středních hodnot mezního smykového napětí v tahu lepených a svařovaných vzorků při teplotách -30 °C, 20 °C a 60 °C</i>	51
<i>Tab. 11 HSD test mnohonásobného porovnávání s nesterjnou velikostí souboru pro faktor teplota</i>	52
<i>Tab. 12 Test interakce jednotlivých faktorů pomocí tzv. homogenních skupin.....</i>	52
<i>Tab. 13 ANOVA test středních hodnot meze pevnosti materiálu Resysta v tahu podélně a příčně vyrobených vzorků při teplotách -30 °C, 20 °C a 60 °C</i>	54
<i>Tab. 14 HSD test mnohonásobného porovnávání s nesterjnou velikostí souboru pro faktor teplota</i>	54
<i>Tab. 15 HSD test mnohonásobného porovnávání s nesterjnou velikostí souboru pro faktor směr vzorků v desce</i>	55
<i>Tab. 16 Test interakce jednotlivých faktorů pomocí tzv. homogenních skupin.....</i>	55
<i>Tab. 17 Střední hodnoty mezního smykového napětí a meze pevnosti v tahu</i>	60
<i>Tab. 18 Naměřené hodnoty mezního smykového napětí v tahu první ověřovací zkoušky.....</i>	76

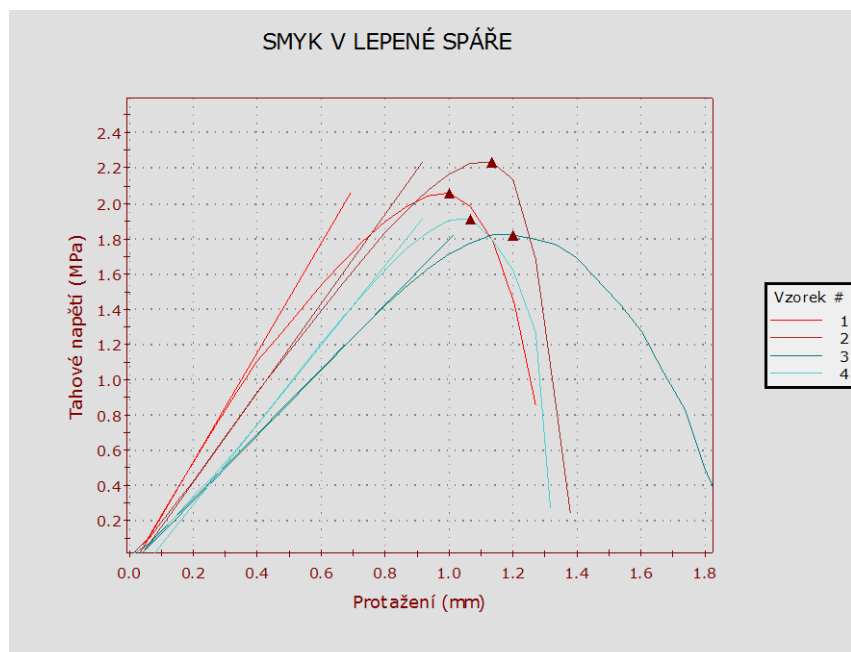
<i>Tab. 19 Naměřené hodnoty mezního smykového napětí v tahu druhé ověřovací zkoušky – lepidlo Auratech AR94201</i>	<i>76</i>
<i>Tab. 20 Naměřené hodnoty mezního smykového napětí v tahu druhé ověřovací zkoušky – lepidlo Cosmo PU 180.120</i>	<i>76</i>
<i>Tab. 21 Naměřených hodnoty mezního smykového napětí v tahu druhé ověřovací zkoušky – lepidlo Tangit PVC-U</i>	<i>76</i>
<i>Tab. 22 Naměřených hodnoty mezního smykového napětí v tahu druhé ověřovací zkoušky – lepidlo Petec Kleben & Dichten ecoline</i>	<i>77</i>
<i>Tab. 23 Naměřené hodnoty meze pevnosti v tahu druhé ověřovací zkoušky – svařený spoj</i>	<i>77</i>
<i>Tab. 24 Výsledky naměřených hodnot mezního smykového napětí v tahu – lepený spoj při teplotě 20 °C (Cosmo 180.120).....</i>	<i>79</i>
<i>Tab. 25 Výsledky naměřených hodnot mezního smykového napětí v tahu – lepený spoj při teplotě 60 °C (Cosmo 180.120).....</i>	<i>80</i>
<i>Tab. 26 Výsledky naměřených hodnot mezního smykového napětí v tahu – lepený spoj při teplotě -30 °C (Cosmo 180.120)</i>	<i>81</i>
<i>Tab. 27 Výsledky naměřených hodnot mezního smykového napětí v tahu – svařený spoj při teplotě 20 °C.....</i>	<i>83</i>
<i>Tab. 28 Výsledky naměřených hodnot mezního smykového napětí v tahu – svařený spoj při teplotě 60 °C.....</i>	<i>85</i>
<i>Tab. 29 Výsledky naměřených hodnot smyku ve svařené spáře při teplotě -30 °C</i>	<i>86</i>
<i>Tab. 30 Výsledky naměřených hodnot meze pevnosti materiálu Resysta v tahu při teplotě 20 °C.....</i>	<i>89</i>
<i>Tab. 31 Výsledky naměřených hodnot meze pevnosti materiálu Resysta v tahu při teplotě 60 °C.....</i>	<i>90</i>
<i>Tab. 32 Výsledky naměřených hodnot meze pevnosti materiálu Resysta v tahu při teplotě -30 °C.....</i>	<i>91</i>

13 PŘÍLOHY

13.1 Ověřovací zkoušky

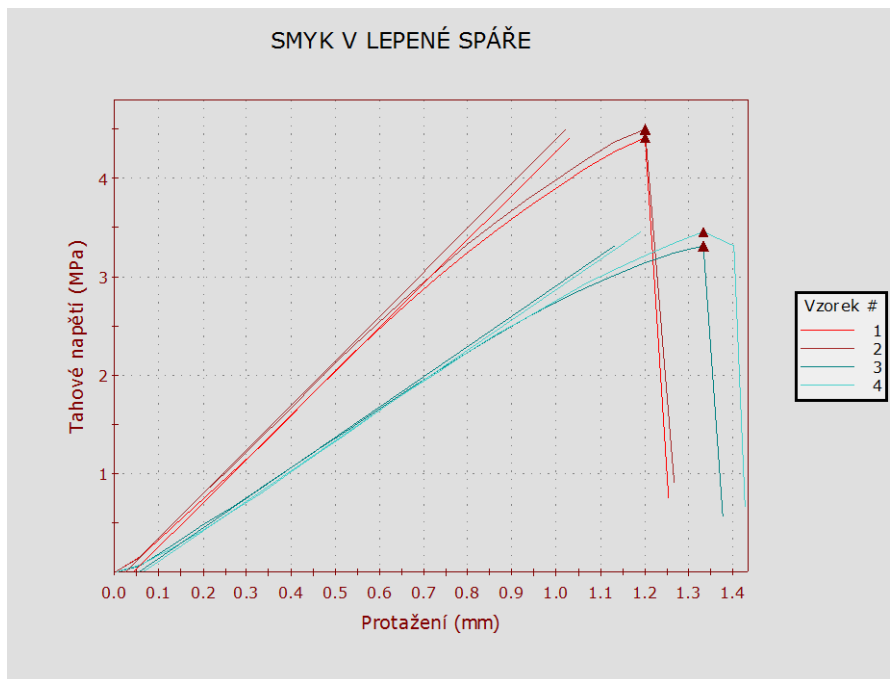


Obr. 41 První ověřovací zkouška - mezní smykové napětí ve svařené spáře



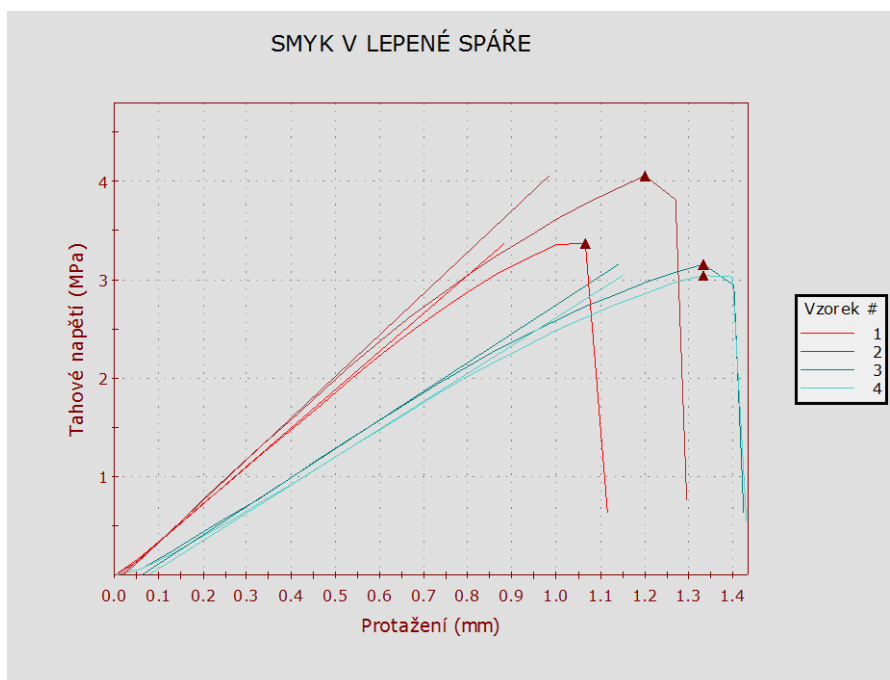
Obr. 42 Druhá ověřovací zkouška - mezní smykové napětí v lepené spáře - lepidlo Auratech

AR94201

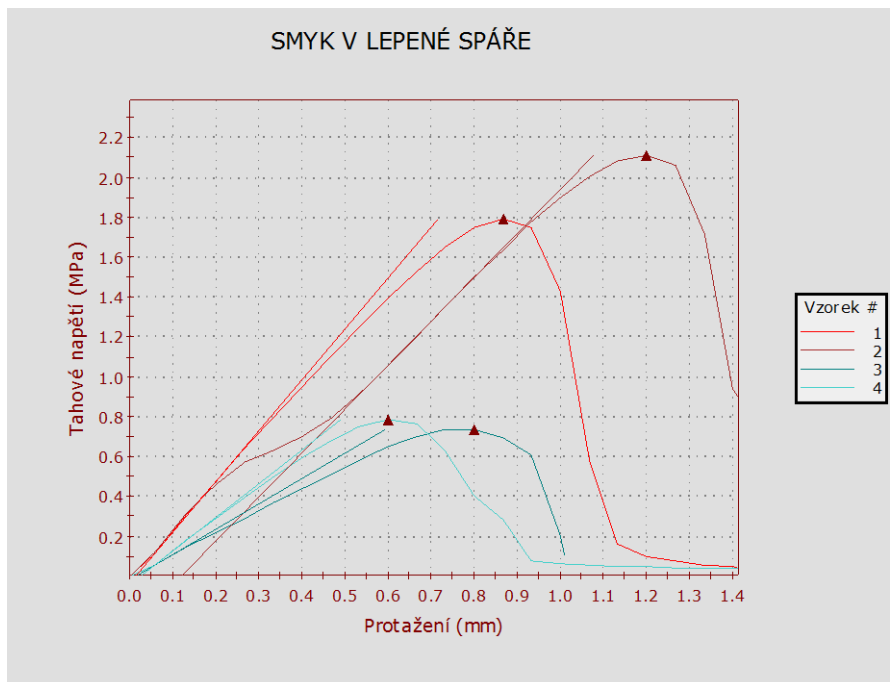


Obr. 43 Druhá ověřovací zkouška - mezní smykové napětí v lepené spáře - lepidlo

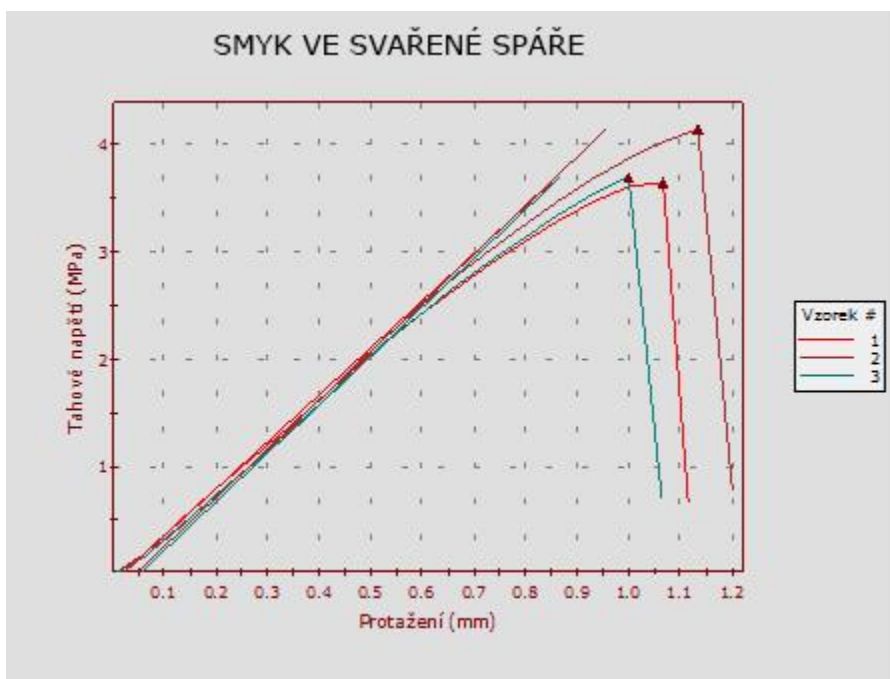
Cosmo PU 180.120



Obr. 44 Druhá ověřovací zkouška - mezní smykové napětí v lepené spáře – lepidlo Tangit PVC-U



Obr. 45 Druhá ověřovací zkouška - mezní smykové napětí v lepené spáře – lepidlo Petec Kleben & Dichten ecoline



Obr. 46 Druhá ověřovací zkouška – mez pevnosti v tahu – svařený spoj

Tab. 18 Naměřené hodnoty mezního smykového napětí v tahu první ověřovací zkoušky

Označení vzorku	Tahové napětí při maximálním tahovém protažení [MPa]	Zatížení při maximálním tahovém protažení [N]	Modul (Youngův) [MPa]
1	2,40	958,63	281,4
2	2,28	912,08	290,15
3	2,988	1195,08	339,92
4	1,10	437,94	233,87
5	2,58	1032,05	269,44
6	2,61	1042,53	303,47

Tab. 19 Naměřené hodnoty mezního smykového napětí v tahu druhé ověřovací zkoušky –
lepidlo Auratech AR94201

Označení vzorku	Tahové napětí při max. tahovém protažení [MPa]	Zatížení při max. tahovém protažení [N]	Modul (Youngův) [MPa]
1	2,06	822,37	310,12
2	2,24	894,45	253,17
3	1,82	728,03	185,6
4	1,91	765,53	226,25

Tab. 20 Naměřené hodnoty mezního smykového napětí v tahu druhé ověřovací zkoušky –
lepidlo Cosmo PU 180.120

Označení vzorku	Tahové napětí při max. tahovém protažení [MPa]	Zatížení při max. tahovém protažení [N]	Modul (Youngův) [MPa]
1	4,42	1766,50	446,24
2	4,50	1800,76	450,97
3	3,315	1325,84	307,72
4	3,46	1383,16	306,60

Tab. 21 Naměřených hodnoty mezního smykového napětí v tahu druhé ověřovací zkoušky –
lepidlo Tangit PVC-U

Označení vzorku	Tahové napětí při max. tahovém protažení [MPa]	Zatížení při max. tahovém protažení [N]	Modul (Youngův) [MPa]
1	3,37	1349,78	387,43
2	4,05	1619,73	420,32
3	3,162	1264,72	292,35
4	3,04	1217,31	282,85

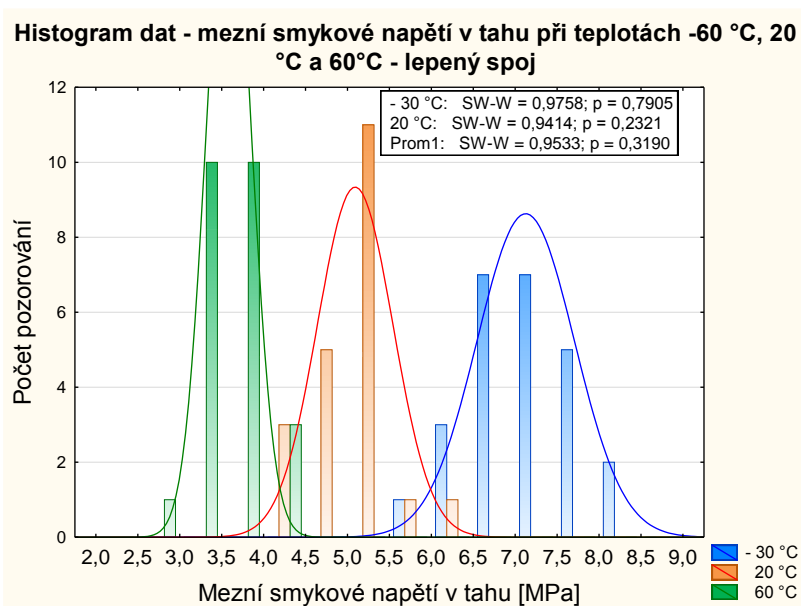
Tab. 22 Naměřených hodnoty mezního smykového napětí v tahu druhé ověřovací zkoušky – lepidlo Petec Kleben & Dichten ecoline

Označení vzorku	Tahové napětí při max. tahovém protažení [MPa]	Zatížení při max. tahovém protažení [N]	Modul (Youngův) [MPa]
1	1,79	717,59	255,71
2	2,11	844,34	220,37
3	0,733	293,22	127,24
4	0,79	315,12	169,45

Tab. 23 Naměřené hodnoty meze pevnosti v tahu druhé ověřovací zkoušky – svařený spoj

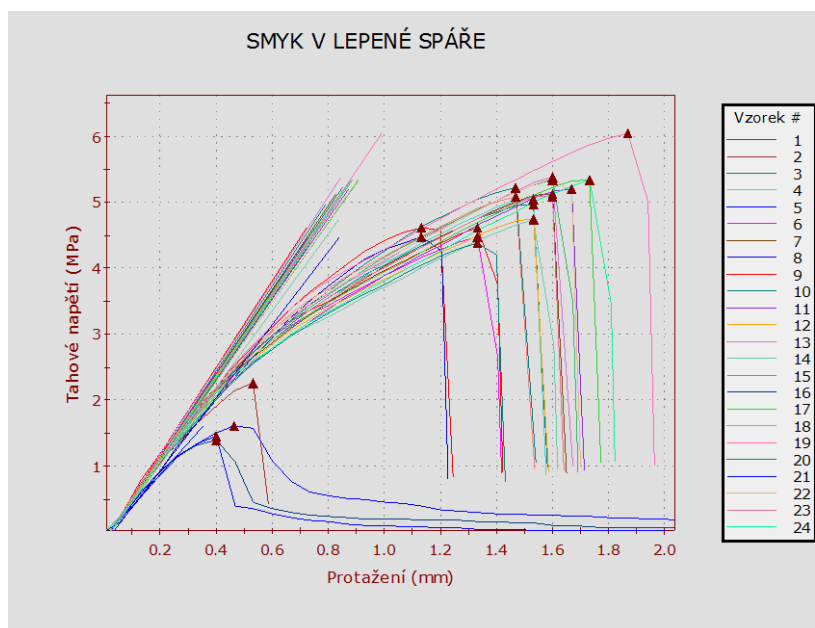
Označení vzorku	Tahové napětí při max. tahovém protažení [MPa]	Zatížení při max. tahovém protažení [N]	Modul (Youngův) [MPa]
1	3,65	1458,74	437,5
2	4,14	1656,40	453,61
3	3,694	1477,59	451,41

13.2 Mezní smykové napětí v tahu – lepený spoj



Obr. 47 Histogram dat - mezní smykové napětí v tahu při teplotách -60 °C, 20 °C a 60°C - lepený spoj

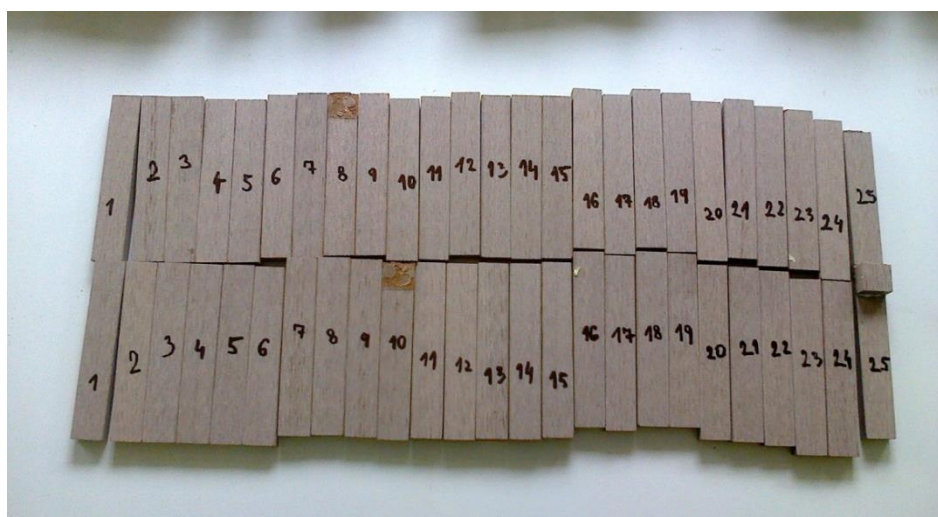
13.2.1 Mezní smykové napětí v tahu – lepený spoj při teplotě 20 °C



Obr. 48 Mezní smykové napětí v tahu – lepený spoj při teplotě 20 °C (Cosmo 120.180)

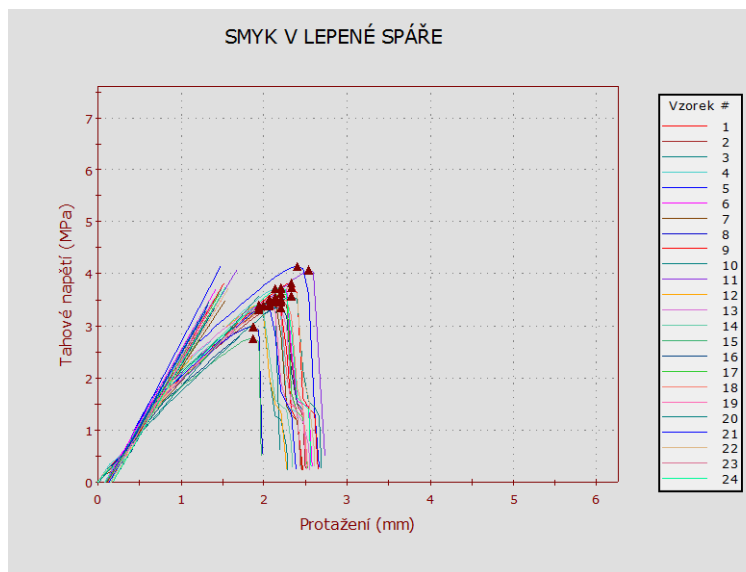
Tab. 24 Výsledky naměřených hodnot mezního smykového napětí v tahu – lepený spoj při teplotě 20 °C (Cosmo 180.120)

Označení vzorku	Tahové napětí při max. tahovém protažení [MPa]	Zatížení při max. tahovém protažení [N]	Modul (Youngův) [MPa]
1	4,62	1847,30	656,66
2	2,25	901,67	631,47
3	4,964	1985,72	647,49
4	5,04	2016,33	632,52
5	1,608	643,08	475,58
6	4,48	1790,44	634,00
7	5,13	2051,72	638,63
8	4,48	1791,24	554,50
9	4,611	1844,20	623,08
10	5,23	2090,88	629,30
11	5,205	2082,04	613,15
12	4,76	1904,70	627,32
13	5,384	2153,77	652,53
14	4,73	1892,01	582,85
15	5,34	2136,08	618,76
16	1,40	558,54	-----
17	5,343	2137,34	600,48
18	5,08	2032,44	626,91
19	6,052	2420,88	626,7
20	4,39	1754,70	615,70
21	1,444	577,80	-----
22	5,364	2145,48	606,53
23	5,08	2033,50	619,43
24	5,35	2138,22	623,74
25	5,96	2385,14	624,64



Obr. 49 Vzorky po zkoušce mezního smykového napětí v tahu při teplotě 20 °C – lepidlo Cosmo 180.120

13.2.2 Mezní smykové napětí v tahu – lepený spoj při teplotě 60 °C

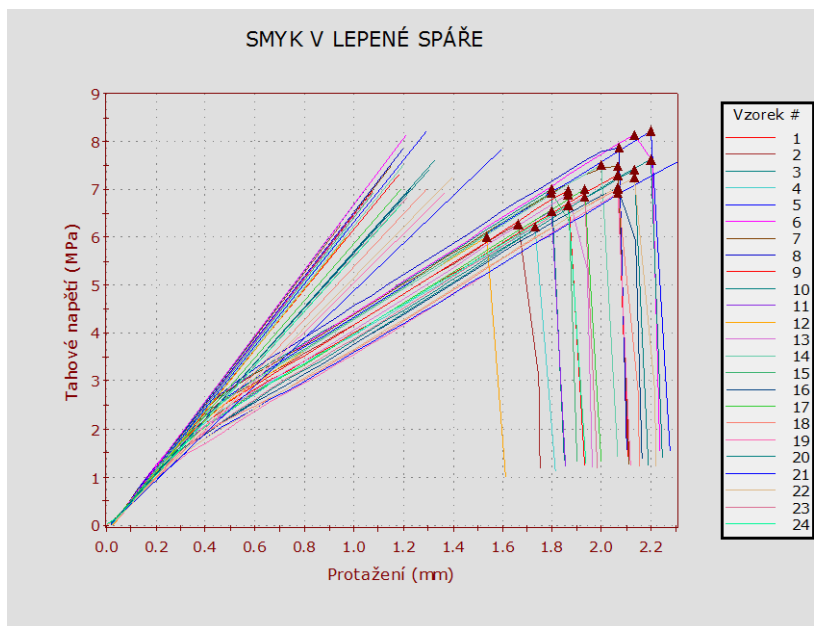


Obr. 50 Mezní smykové napětí v tahu – lepený spoj při teplotě 60 °C (Cosmo 120.180)

Tab. 25 Výsledky naměřených hodnot mezního smykového napětí v tahu – lepený spoj při teplotě 60 °C (Cosmo 180.120)

Označení vzorku	Tahové napětí při max. tahovém protažení [MPa]	Zatížení při max. tahovém protažení [N]	Modul (Youngův) [MPa]
1	3,41	1363,47	284,67
2	3,47	1389,34	262,84
3	3,297	1318,96	272,9
4	3,71	1482,59	265,21
5	4,154	1661,74	307,04
6	3,71	1485,27	279,26
7	3,49	1395,41	244,94
8	2,99	1196,65	255,28
9	3,837	1534,64	275,99
10	3,47	1389,16	287,52
11	4,069	1627,71	261,38
12	3,40	1358,66	282,97
13	3,515	1406,08	283,45
14	3,35	1339,22	292,41
15	2,774	1109,55	246,44
16	3,35	1338,26	270,33
17	3,636	1454,39	273,03
18	3,51	1402,47	266,78
19	3,42	1368,14	282,49
20	3,58	1433,12	185,89
21	3,392	1356,74	283,9
22	3,734	1493,54	265,2
23	3,56	1424,62	265,40
24	3,75	1499,30	277,70
25	4,02	1606,39	305,03

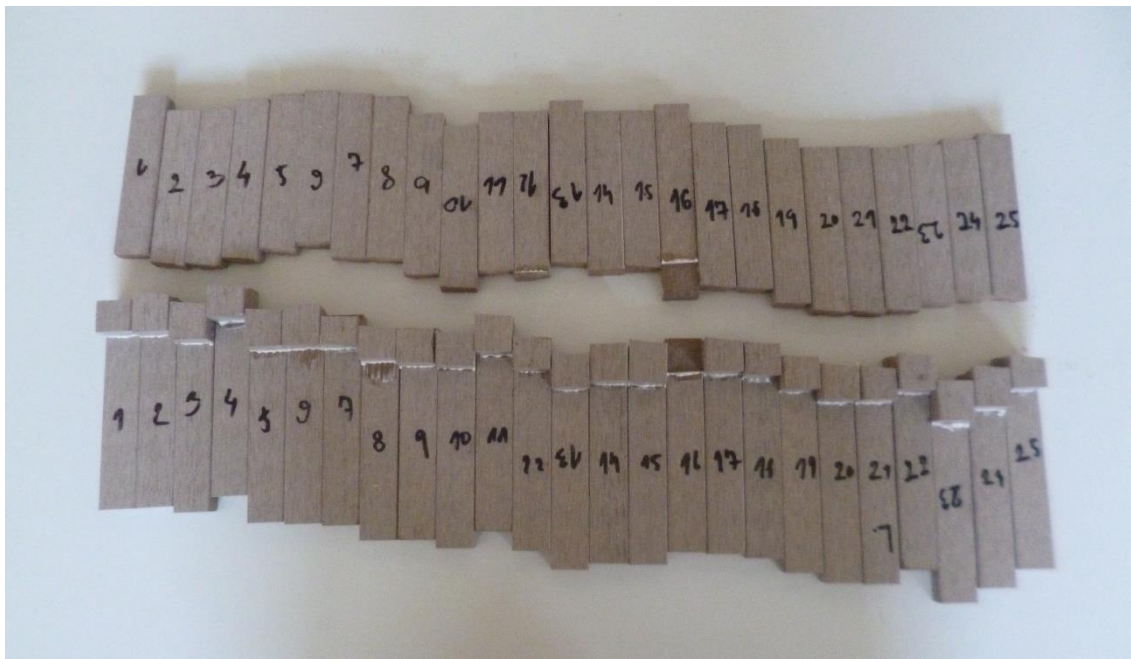
13.2.3 Mezní smykové napětí v tahu – lepený spoj při teplotě -30 °C



Obr. 51 Mezní smykové napětí v tahu – lepený spoj při teplotě -30 °C (Cosmo 120.180)

Tab. 26 Výsledky naměřených hodnot mezního smykového napětí v tahu – lepený spoj při teplotě -30 °C (Cosmo 180.120)

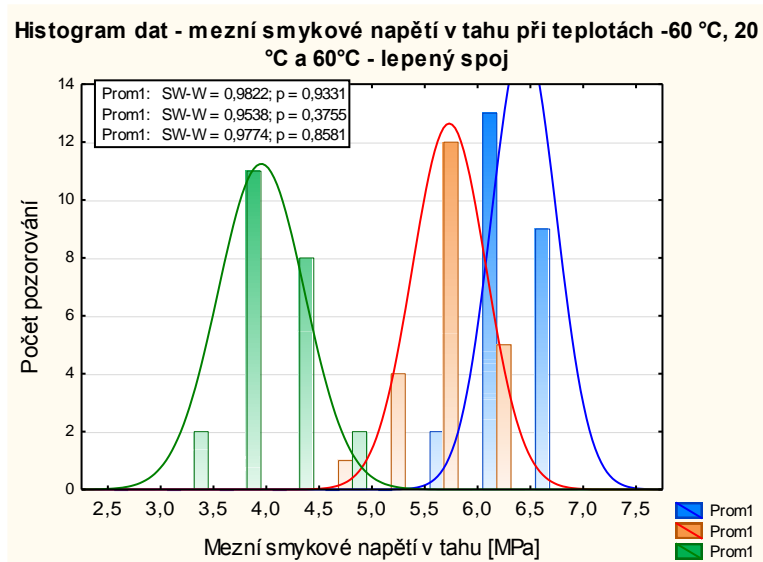
Označení vzorku	Tahové napětí při max. tahovém protažení [MPa]	Zatížení při max. tahovém protažení [N]	Modul (Youngův) [MPa]
1	7,31	2924,57	631,57
2	6,29	2515,13	680,82
3	7,005	2802,04	688,34
4	6,21	2484,76	651,30
5	8,205	3282,18	644,4
6	8,14	3256,66	684,20
7	7,50	3001,18	665,88
8	7,88	3151,51	668,03
9	6,983	2793,17	661,21
10	7,63	3050,66	581,39
11	6,559	2623,58	668,25
12	6,00	2399,36	636,80
13	6,896	2758,28	659,85
14	7,51	3003,70	635,24
15	6,933	2773,27	656,87
16	7,02	2808,43	578,68
17	7,001	2800,51	597,4
18	7,02	2806,65	550,36
19	6,92	2768,13	513,69
20	7,41	2963,66	576,10
21	7,833	3133,17	495,08
22	7,25	2899,91	527,64
23	6,85	2737,99	571,52
24	6,67	2668,35	568,35
25	6,43	2573,05	568,14



Obr. 52 Vzorky po zkoušce mezního smykového napětí v tahu při teplotě -30 °C – lepidlo Cosmo

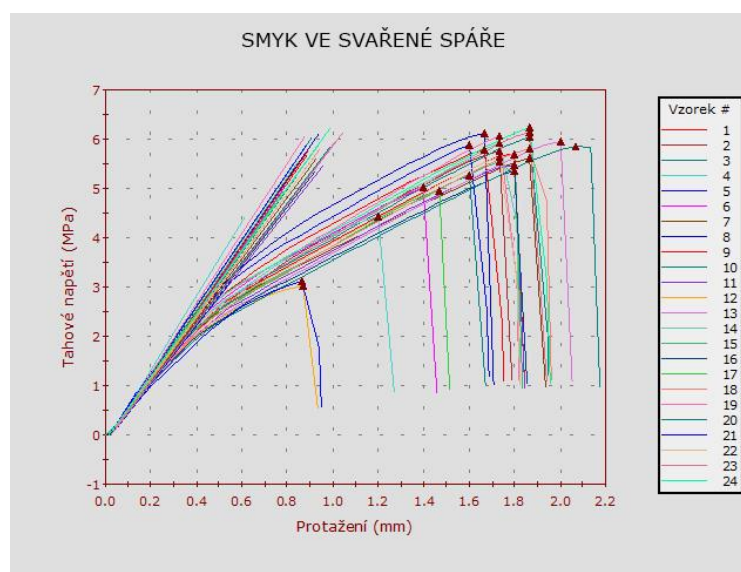
180.120

13.3 Mezní smykové napětí v tahu – svařený spoj



Obr. 53 Histogram dat - mezní smykové napětí v tahu při teplotách -60 °C, 20 °C a 60°C - svařený spoj

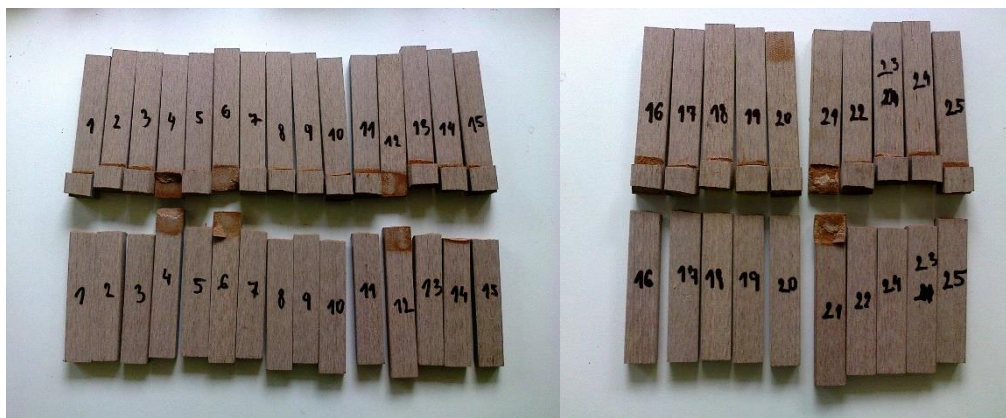
13.3.1 Mezní smykové napětí pevnosti v tahu – svařený spoj při teplotě 20 °C



Obr. 54 Mezní smykové napětí pevnosti v tahu – svařený spoj při teplotě 20 °C

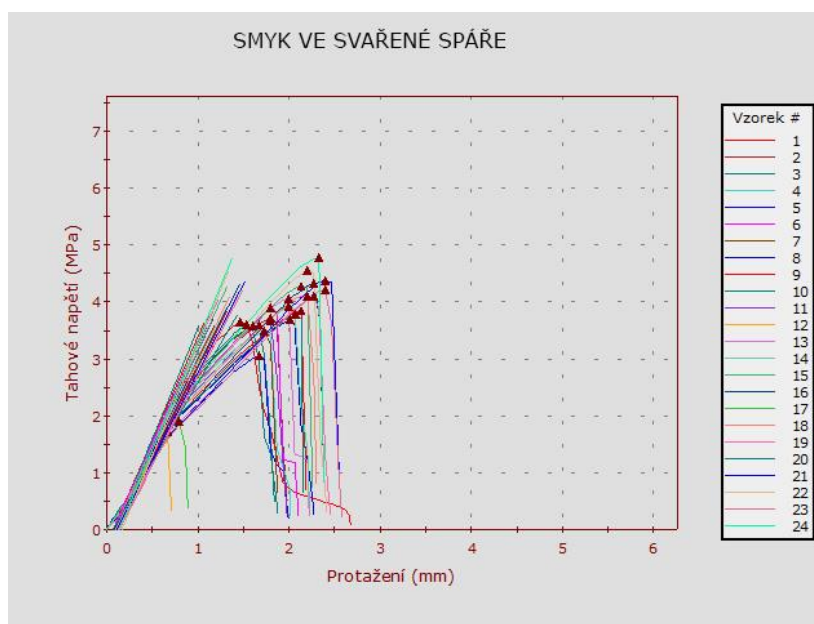
Tab. 27 Výsledky naměřených hodnot mezního smykového napětí v tahu – svařený spoj při teplotě 20 °C

Označení vzorku	Tahové napětí při max. tahovém protažení [MPa]	Zatížení při max. tahovém protažení [N]	Modul (Youngův) [MPa]
1	5,68	2272,90	661,68
2	5,75	2301,61	601,69
3	6,045	2417,86	680,94
4	4,44	1774,93	752,76
5	5,883	2353,38	679,12
6	5,03	2010,61	660,20
7	5,62	2246,20	619,13
8	6,12	2449,27	665,58
9	5,784	2313,78	668,47
10	5,26	2103,75	643,83
11	5,469	2187,64	584,24
12	3,03	1212,32	641,44
13	5,964	2385,66	603,8
14	5,92	2366,77	638,88
15	5,542	2216,79	672,68
16	5,35	2140,05	593,37
17	4,95	1979,92	652,39
18	5,81	2322,25	632,18
19	6,067	2426,84	709,83
20	5,86	2345,29	609,06
21	3,113	1245,19	591,28
22	5,642	2256,65	623,51
23	6,14	2457,18	601,94
24	6,23	2491,10	637,50
25	5,61	2243,42	607,78



Obr. 55 Vzorky po zkoušce mezního smykového napětí v tahu při teplotě 20 °C – svařený spoj

13.3.2 Mezní smykové napětí v tahu – svařený spoj při teplotě 60 °C



Obr. 56 Mezní smykové napětí v tahu – svařený spoj při teplotě
60 °C

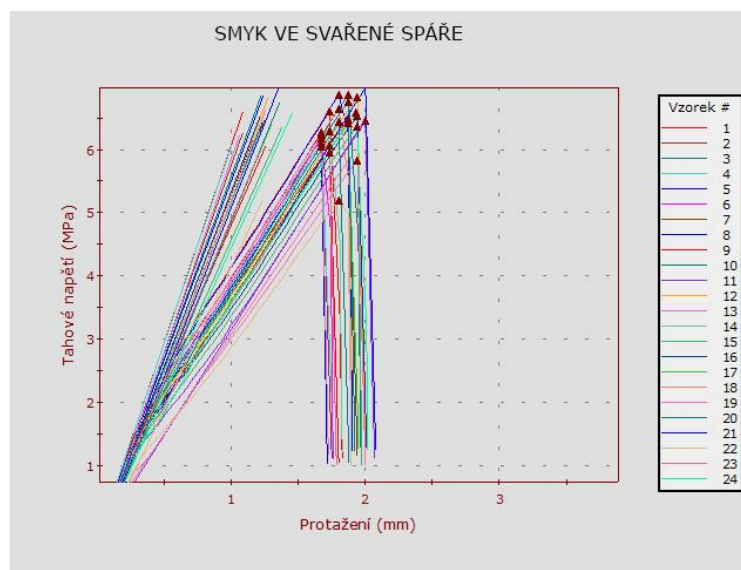
Tab. 28 Výsledky naměřených hodnot mezního smykového napětí v tahu – svařený spoj při teplotě 60 °C

Označení vzorku	Tahové napětí při max. tahovém protažení [MPa]	Zatížení při max. tahovém protažení [N]	Modul (Youngův) [MPa]
1	3,64	1455,22	363,05
2	3,72	1486,95	336,93
3	3,574	1429,57	351,82
4	3,48	1391,64	325,96
5	3,05	1220,00	291,66
6	3,89	1556,01	355,56
7	3,60	1438,27	329,6
8	3,69	1473,89	320,04
9	3,856	1542,37	314,5
10	3,59	1437,11	385,60
11	3,67	1468,00	345,22
12	1,72	689,13	328,16
13	4,055	1621,83	357,2
14	3,91	1565,58	315,86
15	4,292	1716,95	351,47
16	4,33	1729,83	312,71
17	1,899	759,71	308,95
18	4,10	1639,60	325,72
19	4,106	1642,48	313,94
20	3,78	1510,93	276,07
21	4,384	1753,65	312,27
22	4,553	1821,09	385,58
23	4,22	1687,08	311,83
24	4,78	1913,51	382,40
25	4,46	1782,76	345,93



Obr. 57 Vzorky po zkoušce mezního smykového napětí v tahu při teplotě 60 °C – svařený spoj

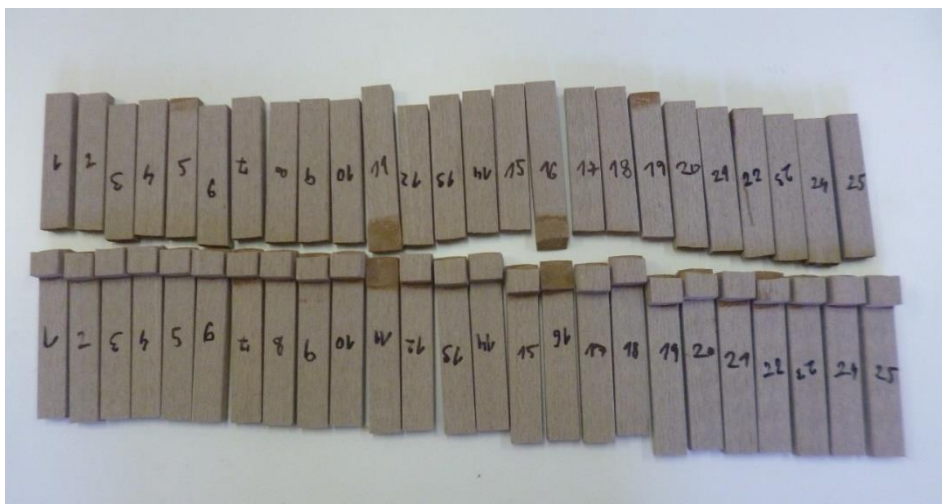
13.3.3 Mezní smykové napětí v tahu – svařený spoj při teplotě -30 °C



Obr. 58 Mezní smykové napětí v tahu – svařený spoj při teplotě
-30 °C

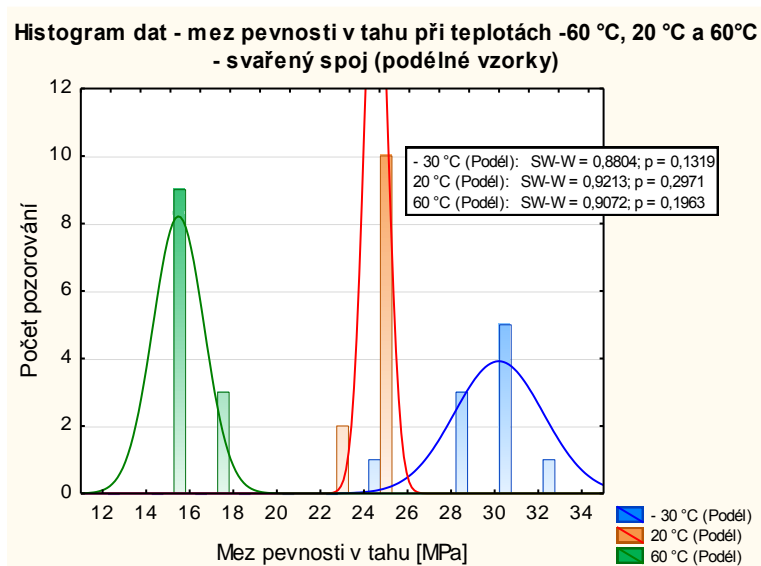
Tab. 29 Výsledky naměřených hodnot smyku ve svařené spáře při teplotě -30 °C

Označení vzorku	Tahové napětí při max. tahovém protažení [MPa]	Zatížení při max. tahovém protažení [N]	Modul (Youngův) [MPa]
1	6,61	2642,94	620,99
2	6,27	2507,78	594,31
3	6,857	2742,91	569,87
4	6,11	2443,79	622,45
5	6,856	2742,23	560,22
6	6,17	2469,42	543,45
7	6,47	2587,27	527,88
8	6,05	2421,49	543,83
9	6,067	2426,75	483,4
10	6,44	2575,89	540,00
11	6,449	2579,64	333,13
12	6,83	2731,65	549,08
13	6,226	2490,36	605,73
14	6,29	2517,50	526,66
15	6,361	2544,45	470,9
16	6,54	2614,01	552,15
17	6,416	2566,24	512,82
18	6,64	2657,23	556,17
19	5,827	2330,93	315,24
20	6,74	2696,50	512,36
21	6,973	2789,12	537,23
22	5,187	2074,94	446,95
23	5,96	2385,15	507,48
24	6,58	2632,27	466,03
25	6,31	2524,66	542,72



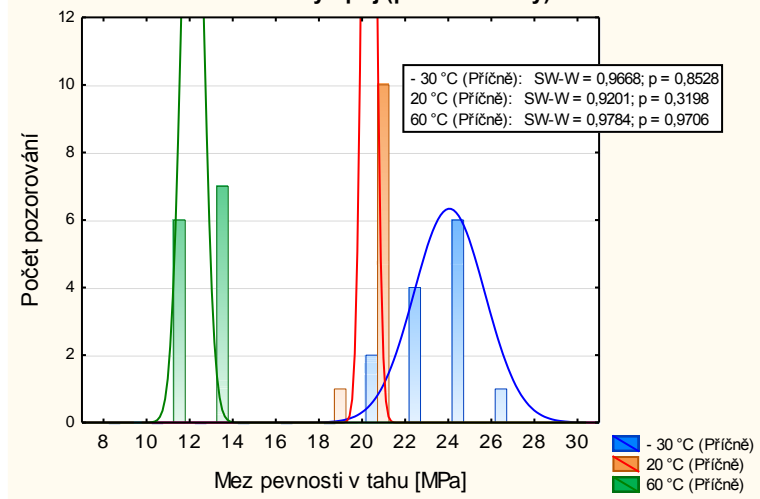
Obr. 59 Vzorky po zkoušce pevnosti svařené spáry ve smyku při -30 °C

13.4 Mez pevnosti v tahu – svařený spoj



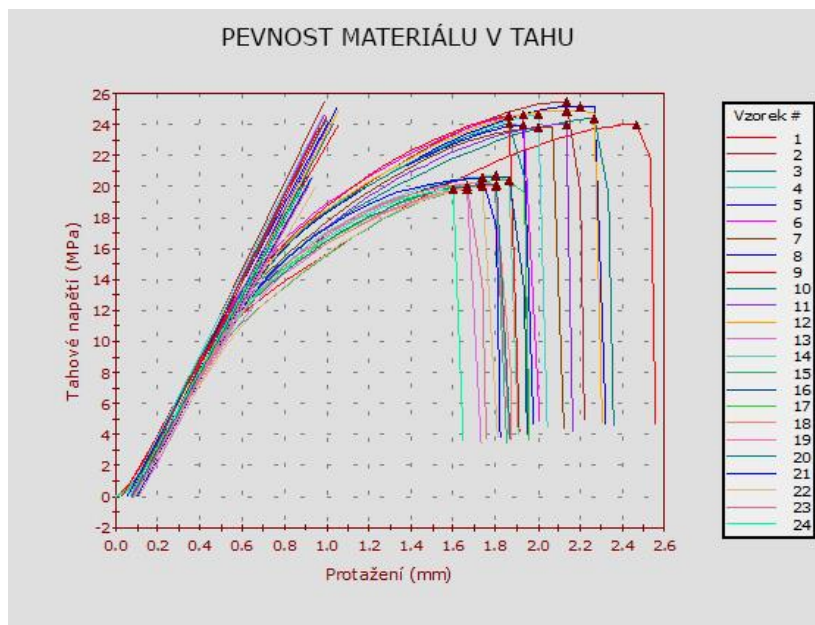
Obr. 60 Histogram dat - mez pevnosti v tahu při teplotách -60 °C, 20 °C a 60 °C - svařený spoj (podélné vzorky)

**Histogram dat - mez pevnosti v tahu při teplotách -60 °C, 20 °C a 60°C
- svařený spoj (příčné vzorky)**



Obr. 61 Histogram dat - mez pevnosti v tahu při teplotách -60 °C, 20 °C a 60°C - svařený spoj (příčné vzorky)

13.4.1 Mez pevnosti materiálu Resysta v tahu při teplotě 20 °C



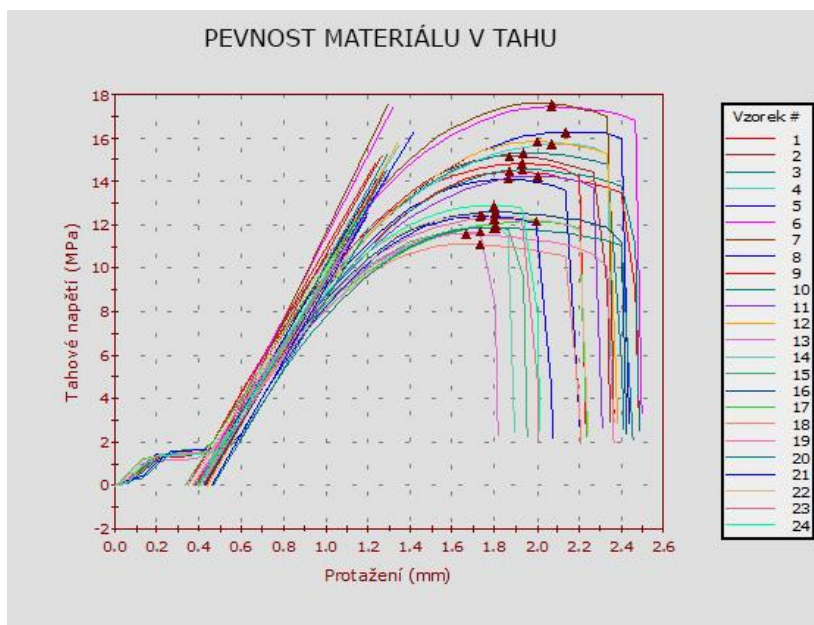
Obr. 62 Mez pevnosti v tahu při teplotě 20 °C

Tab. 30 Výsledky naměřených hodnot meze pevnosti materiálu Resysta v tahu při teplotě

20 °C

Označení vzorku	Tahové napětí při max. tahovém protažení [MPa]	Zatížení při max. tahovém protažení [N]	Modul (Youngův) [MPa]
1	24,00	1200,14	2343,83
2	25,53	1276,41	2779,18
3	24,405	1220,27	2568,69
4	24,65	1232,26	2659,21
5	24,018	1200,92	2539,96
6	24,66	1232,79	2682,20
7	23,83	1191,33	2648,32
8	25,20	1260,14	2664,12
9	24,546	1227,28	2685,04
10	24,05	1202,66	2567,81
11	23,992	1199,59	2617,54
12	24,95	1247,43	2602,03
13	19,838	991,90	2484,24
14	20,67	1033,66	2420,81
15	20,123	1006,15	2410,22
16	20,65	1032,54	2445,04
17	20,44	1022,02	2434,68
18	20,04	1001,94	2526,39
19	20,219	1010,94	2447,64
20	20,16	1008,16	2467,86
21	20,558	1027,88	2445,71
22	20,023	1001,17	2333,26
23	20,09	1004,68	2416,25
24	19,83	991,66	2453,98

13.4.2 Mez pevnosti materiálu Resysta v tahu při teplotě 60 °C



Obr. 63 Mez pevnosti v tahu při teplotě 60 °C

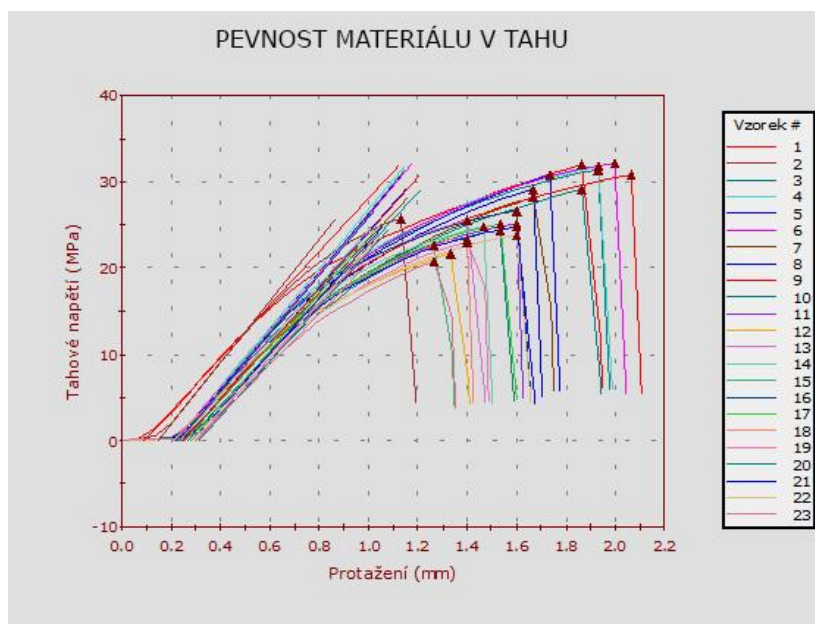


Obr. 64 Vzorky po zkoušce meze pevnosti materiálu Resysta v tahu při 60 °C

Tab. 31 Výsledky naměřených hodnot meze pevnosti materiálu Resysta v tahu při teplotě 60 °C

Označení vzorku	Tahové napětí při max. tahovém protažení [MPa]	Zatížení při max. tahovém protažení [N]	Modul (Youngův) [MPa]
1	14,82	741,02	1658,11
2	15,18	758,82	1715,38
3	15,316	765,80	1736,17
4	15,73	786,33	1625,09
5	16,295	814,76	1595,01
6	17,45	872,51	1889,33
7	17,57	878,51	2008,87
8	14,10	705,18	1673,61
9	14,463	723,15	1723,06
10	14,55	727,56	1672,81
11	14,258	712,89	1580,53
12	15,84	791,94	1747,49
13	11,669	583,43	1449,41
14	11,97	598,72	1406,77
15	11,885	594,25	1557,42
16	12,60	629,78	1619,31
17	12,143	607,13	1499,82
18	11,11	555,27	1522,47
19	11,594	579,68	1607,2
20	11,89	594,62	1604,43
21	12,392	619,62	1681,2
22	12,439	621,96	1639,25
23	12,29	614,38	1539,00
24	12,89	644,35	1625,14
25	12,51	625,38	1656,21

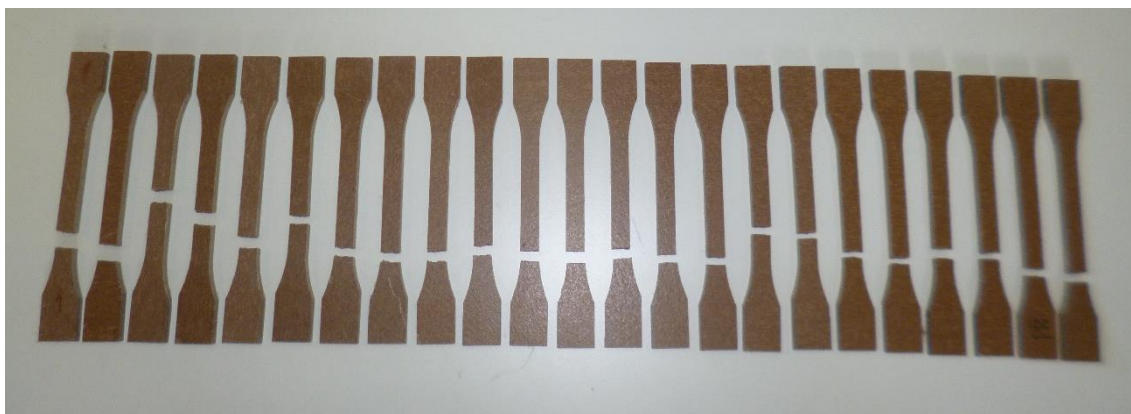
13.4.3 Mez pevnosti materiálu Resysta v tahu při teplotě -30 °C



Obr. 65 Mez pevnosti v tahu při teplotě -30 °C

Tab. 32 Výsledky naměřených hodnot meze pevnosti materiálu Resysta v tahu při teplotě -30 °C

Označení vzorku	Tahové napětí při max. tahovém protažení [MPa]	Zatížení při max. tahovém protažení [N]	Modul (Youngův) [MPa]
1	31,97	1598,25	3075,17
2	25,74	1286,96	3546,16
3	31,401	1570,06	3439,27
4	31,80	1589,80	3423,75
5	30,712	1535,61	3345,46
6	32,08	1603,98	3394,21
7	28,20	1410,03	3061,6
8	29,18	1459,13	3252,95
9	30,791	1539,57	3206,9
10	29,10	1455,14	3058,18
11	25,054	1252,73	3057,5
12	21,69	1084,36	2834,50
13	25,52	1276,02	3298,8
14	24,84	1241,86	3199,87
15	22,541	1127,05	3190,39
16	26,62	1331,18	3356,53
17	25,113	1255,66	3258,75
18	23,35	1167,51	3218,05
19	23,084	1154,19	3124,66
20	24,45	1222,30	3162,93
21	24,798	1239,90	3190,29
22	23,758	1187,89	3092,24
23	20,79	1039,57	2932,84



Obr. 66 Vzorky po zkoušce meze pevnosti materiálu Resysta v tahu při -30 °C