

Univerzita Pardubice

Fakulta chemicko-technologická

Ústav chemie a technologie makromolekulárních látek

Oddělení syntetických polymerů, vláken a textilní chemie

Srovnání pevnostních charakteristik polyuretanových a akrylátových lepidel na různých  
typech adherendů

Pavel Štefánek

Bakalářská práce

2020

Univerzita Pardubice  
Fakulta chemicko-technologická  
Akademický rok: 2019/2020

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Pavel Štefánek**  
Osobní číslo: **C17399**  
Studijní program: **B2829 Anorganické a polymerní materiály**  
Studijní obor: **Polymerní materiály a kompozity**  
Téma práce: **Srovnání pevnostních charakteristik polyurethanových a akrylátových lepidel na různých typech adherendů**  
Zadávací katedra: **Ústav chemie a technologie makromolekulárních látek**

### Zásady pro vypracování

1. V literární rešerši přehledně popište problematiku polyurethanových a akrylátových lepidel, různé typy, vlastnosti a jejich aplikační využití.
2. V teoretické části se dále zaměřte na teorii lepení a důležitost úpravy lepeného povrchu pro kvalitu lepeného spoje.
3. Charakterizujte různá lepidla na bázi polyurethanů a akrylátů z oblasti tzv. „hobby“ lepidel a připravte jednotlivé vzorky lepených spojů na adherendech z různých typů materiálu.
4. Studujte vliv jednotlivých typů lepidel a adherendů na pevnostní charakteristiky při měření pevnosti ve smyku.
5. Srovnajte a diskutujte zjištěné výsledky měřených vlastností v závislosti na typu lepidla a adherendu.

Rozsah pracovní zprávy:  
Rozsah grafických prací:  
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná**

Seznam doporučené literatury:

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Luboš Prokúpek, Dr.**  
Ústav chemie a technologie makromolekulárních látek

Datum zadání bakalářské práce: **20. prosince 2019**

Termín odevzdání bakalářské práce: **4. července 2020**

L.S.

**prof. Ing. Petr Kalenda, CSc.**  
děkan

**Ing. David Veselý, Ph.D.**  
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 28. února 2020

Prohlašuji:

Tuto práci jsem vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byl jsem seznámen s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Beru na vědomí, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, a směrnicí Univerzity Pardubice č. 7/2019 Pravidla pro odevzdávání, zveřejňování a formální úpravu závěrečných prací, ve znění pozdějších dodatků, bude práce zveřejněna prostřednictvím Digitální knihovny Univerzity Pardubice.

V Pardubicích dne 28. 5. 2020

Pavel Štefánek

## Poděkování

Děkuji Ing. Luboši Prokūpkovi, Dr. za vedení práce, připomínky k práci a cenné rady, které mi během této bakalářské práce poskytoval.

Bakalářská práce vznikla za podpory projektu Modernizace praktické výuky a zkvalitnění praktických dovedností v technicky zaměřených studijních programech, reg. číslo CZ.02.2.67/0.0/0.0/16\_016/0002458 operačního programu Výzkum, vývoj a vzdělávání. Tento projekt je spolufinancován Evropskou unií.



EVROPSKÁ UNIE  
Evropské strukturální a investiční fondy  
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání



## **Anotace**

Tato bakalářská práce se zabývá problematikou a srovnáním pevnostních charakteristik polyuretanových a akrylátových lepidel u různých typů adherendů. První část práce se věnuje problematice polyuretanových a akrylátových lepidel a to konkrétně aplikaci, vlastnostem a typům jednotlivých lepidel.

V další části je věnována pozornost na teorii lepení a úpravy povrchu lepeného adherendu pro zlepšení kvality vznikajících spojů. A na závěr této části je stručně popsáno, jak se hodnotí kvalita lepených spojů dle normy ČSN EN 1465.

Pro třetí část bylo vybráno celkem sedm lepidel, konkrétně čtyři polyuretanová a tři akrylátová. U těchto lepidel byly testovány mechanické vlastnosti lepených spojů, které byly vytvořeny těmito lepidly na různých typech adherendů. V neposlední řadě byly změřeny charakteristické teploty pro tyto lepidla, které byly nakonec vzájemně porovnány mezi sebou.

## **Klíčová slova**

Polyuretanová lepidla, akrylátová lepidla, lepené spoje, kvalita lepeného spoje

## **Comparison of strength characteristic of polyuretane and acrylic adhesives on various types of adherents**

## **Annotation**

This bachelor thesis deals with the problematics and mechanical properties of polyuretane adhesives and acrylic adhesives on different types of adherends. The first part of this works is devoted to these two type sof adhesives, especially to application, properties and types.

The next part is devoted to bonding theory and how to prepare the surface for beter quality of nascent joints. Finally in this part is briefly introdukce, how to judge the quality glued joints by norm ČSN EN 1465.

For the third part, seven adhesives were selected, specifically four polyuretane and three acrylic. The mechanical properties of glued joints were tested using these adhesives on various types of adherends. And finally the characteristic temperatures were measured for these adhesives. These measured temperatures were then compared to make final conclusion.

## **Keywords**

Polyuretane adhesives, acrylic adhesives, glued joints, quality of glued joints

Úvod .....	11
1 Teoretická část.....	12
1.1 Obecné rozdělení přírodních a syntetických lepidel.....	12
1.1.1 Polyuretanová lepidla .....	13
1.1.2 Akrylátová lepidla.....	14
1.2 Teorie lepení.....	15
1.2.1 Nevýhody lepení .....	15
1.2.2 Výhody lepení.....	15
1.3 Teorie adheze.....	16
1.3.1 Adhezní a kohezní síly .....	16
1.3.1.1 Mechanická teorie .....	16
1.3.1.2 Teorie adsorpce.....	17
1.3.1.3 Elektrostatická teorie.....	17
1.3.1.4 Difúzní teorie .....	17
1.3.1.5 Teorie polarizace.....	18
1.4 Struktura lepeného spoje a jednotlivé fáze jeho vzniku.....	18
1.4.1 Kontaktní úhel smáčení .....	19
1.5 Vlivy ovlivňující pevnost lepeného spoje při lepení .....	20
1.5.1 Ovlivnění pevnosti spoje z hlediska adherendu.....	20
1.5.1.1 Krystalinita lepených polymerů.....	20
1.5.1.2 Polarita.....	21
1.5.1.3 Použití primeru .....	21
1.5.1.4 Obsah plniv a změkčovadel.....	21
1.5.1.5 Rovnost a hladkost povrchu .....	22
1.5.1.6 Rozpustnost a botnavost.....	23
1.5.1.7 Botnání adherendů organickými rozpouštědly .....	23
1.5.1.8 Čistota povrchu .....	23

1.5.1.9	Odmašťování .....	23
1.5.1.9.1	Odmašťování vodnými roztoky alkalických solí.....	24
1.5.1.9.2	Odmašťování pomocí organických rozpouštědel .....	24
1.5.1.9.3	Žihání adherendu plamenem .....	25
1.5.1.10	Mechanické opracování.....	25
1.5.1.11	Délková roztažnost.....	25
1.5.2	Ovlivnění pevnosti spoje z hlediska lepidla .....	27
1.5.2.1	Polymerační stupeň a tvar makromolekuly .....	27
1.5.2.2	Postranní skupiny na polymerním řetězci .....	27
1.5.2.3	Přídavek plniva .....	27
1.5.2.4	Přídavek změkčovadla.....	27
1.5.2.5	Obsah rozpouštědla .....	28
1.5.2.6	Viskozita lepidla .....	28
1.5.2.7	Objemová stálost filmu lepidla .....	28
1.6	Hodnocení kvality lepeného spoje .....	28
1.6.1	Zkušební metody nedestruktivní.....	29
1.6.2	Zkušební metody destruktivní .....	29
1.6.2.1	Dynamické zkoušky .....	29
1.6.2.2	Statické zkoušky .....	29
1.6.2.3	Ostatní zkoušky.....	29
1.6.3	Stanovení pevnosti ve smyku dle ČSN EN 1465.....	29
2	Experimentální část .....	31
2.1	Použité suroviny .....	31
2.1.1	Použitá lepidla.....	31
2.1.1.1	Bison power adhesive .....	31
2.1.1.2	Bison PU MAX.....	32
2.1.1.3	TEKAFIX PU 40 .....	32



2.1.1.4	Konstrukční lepidlo Soudal 60A.....	33
2.1.1.5	VERO-MAK 24.....	34
2.1.1.6	Acralock SA 10-05 BLK.....	35
2.1.1.7	3M Scotch-Weld DP8405NS.....	36
2.1.2	Použité adherendy.....	37
2.1.3	Použité chemikálie.....	37
2.2	Příprava vzorků.....	37
2.2.1	Příprava vzorků pro měření pevnosti lepených spojů ve smyku.....	37
2.2.2	Příprava vzorků pro TMA a DMA.....	39
2.3	Metody měření.....	39
2.3.1	Měření pevnosti ve smyku.....	39
2.3.2	Měření TMA.....	40
2.3.3	Měření DMA.....	42
3	Výsledky a diskuze.....	44
3.1	Výsledky měření pevnosti ve smyku.....	44
3.1.1	Bison power adhesive.....	44
3.1.2	Bison PU MAX.....	47
3.1.3	TEKAFIX PU 40.....	49
3.1.4	Konstrukční lepidlo Soudal 60A.....	52
3.1.5	VERO-MAK 24.....	54
3.1.6	Acralock SA 10-05 BLK.....	57
3.1.7	3M Scotch-Weld DP8405NS.....	59
3.2	Celkové porovnání pevnosti ve smyku u zkoumaných lepidel.....	62
3.3	Výsledky měření DMA a TMA.....	66
	Závěr.....	67
	Zdroje použité literatury:.....	68
	Seznam grafů.....	72

Seznam obrázků .....	73
Seznam tabulek .....	76
Seznam vzorců .....	77
Seznam rovnic .....	77
Seznam zkratek .....	78

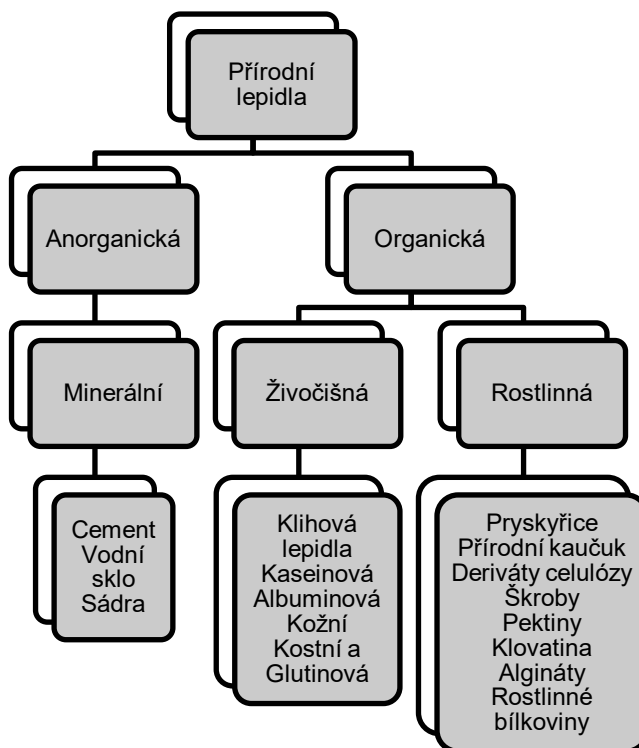
# Úvod

Historie a dějiny lepení spolu se samotnými lepidly vycházejí již z raného období lidských dějin. První důležitou věcí je uvědomit si co pojem lepidlo znamená. Co to tedy je? Lepidlo je materiál s nekovovou strukturou, který pomocí adheze, koheze a povrchového napětí je schopen spojit dva materiály k sobě. Během tohoto procesu nedochází k výrazné změně struktury u lepených materiálů. První lepidla byla používána již před 4000 lety v Egyptě. Byla to lepidla na bázi přírodních materiálů, jako je kaseinový olej, glutinový olej, vaječný bílek popřípadě latex. Další skupinou jsou klišy, kterou jsou živočišného či rostlinného původu. Klišy jsou známé z USA a z Anglie z doby okolo 17. století. Velký rozvoj chemie způsobil, že se v 19. století objevily první syntetické materiály, které se začaly ve 20. století hojně využívat pro výrobu lepidel. Nejvíce se tento fakt projevil před druhou světovou válkou, kdy byl zaznamenán velký rozvoj ve výrobě plastických hmot. Jejich základ tvořili syntetické pryskyřice, které měly mnohem lepší vlastnosti než doposud používaná přírodní lepidla. Tato syntetická lepidla umožnila vznik nových neprobádaných oblastí jako je výroba kompozitních materiálů. V současné době se na vývoji lepidel pracuje velmi intenzivně, protože je kladen důraz na zdravotní nezávadnost, voděodolnost, nízkou cenu a fyzikální vlastnosti lepidel, které jsou dnes využívány. Dnes jsou lepidla využívána v automobilovém průmyslu například, pro lepení karoserií a autoskel. Dále také ve stavebním a elektrotechnickém průmyslu, kde se lepí izolační materiály a zajišťují elektronické komponenty. Další oblasti využití jsou floristika, filtrační přepážky, výroba nábytku, lepení obalových materiálů, pěnový, obuvní a textilní průmysl. Další významnou aplikací jsou lepidla pro domácí použití, pro lepení širokého spektra věcí, které máme v domácnostech. V této bakalářské práci jsem se na tuto skupinu zaměřil a to konkrétně na lepidla akrylátová a polyuretanová. U těchto lepidel bylo cílem zjistit pevnost ve smyku u určité skupiny adherendů a stanovit teploty skelného přechodu  $T_g$  a teploty  $T_1$  a  $T_2$ . [1, 2, 3]

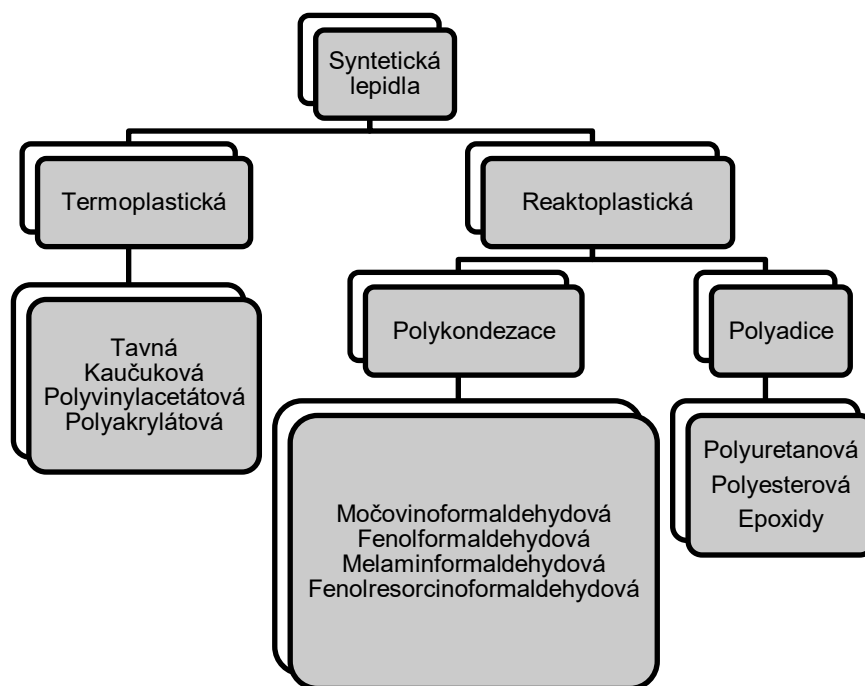
# 1 Teoretická část

## 1.1 Obecné rozdělení přírodních a syntetických lepidel

Lepidla lze obecně dělit do dvou skupin na lepidla přírodní a syntetická. Na obrázku 1 a 2 jsou podrobněji rozděleny tyto dvě hlavní skupiny.



Obrázek 1: Rozdělení přírodních lepidel [3]



Obrázek 2: Rozdělení syntetických lepidel [3]

### 1.1.1 Polyuretanová lepidla

U polyuretanových lepidel rozlišujeme několik typů:

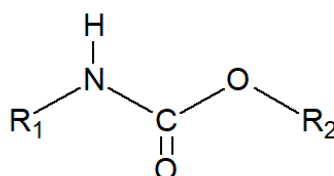
Typy polyuretanových lepidel: [4]

Jednosložková	
Tuhá lepidla	Lepidlo je vytvrzeno teplem, vzniká teplotně stabilní struktura.
Pružná lepidla	Lepidlo je vytvrzeno vzdušnou vlhkostí, vzniká elastická struktura.
Dvousložková	Rozdělení stejné jako u jednosložkových lepidel na tuhá a pružná, příprava je prováděna smísením polyolu a izokyanátu.

Polyuretany jako lepidla, jsou nejčastěji dvousložkové systémy vznikající z alkoholu a isokyanátu. Připravují se pro konkrétní aplikaci, kde je nutné smíchat jednotlivé složky za vzniku uretanové skupiny (Vzorec 1). U těchto systémů není nutné vytvrzování vzdušnou vlhkostí, jako je tomu u jednosložkových polyuretanových tmelů. Stejně jako epoxidová lepidla jsou velmi polární, tudíž mají velmi dobrou adhezi k širokému spektru povrchů. Na druhou stranu mají velkou afinitu k vodě, která je zapříčiněna jejich polární strukturou. Při dlouhodobé expozici ve vlhku a venkovních podmínkách dochází z části k rozpadu na výchozí monomery. Depolymerace je způsobena hydrolyzou uretanových a esterových skupin,

dochází ke změně skupenského stavu z pevného na kapalný. Polyuretanová lepidla jsou vhodná k lepení skla, dřeva, železa hliníku, betonu, mramoru, gumy a plastů. Využívají se například v automobilovém, elektrotechnickém průmyslu a ve sportovních aplikacích. Následuje přehled vlastností polyuretanových lepidel: [5, 6, 7]

- Velká pevnost, flexibilita a schopnost dobře absorbovat nárazy, vibrace a otřesy
- Schopnost přizpůsobit se teplotní roztažnosti mezi odlišnými materiály
- Výborná adheze pro velkou skupinu materiálů
- Vhodné k lepení gumy, betonu, dřeva, plastů a kovových materiálů
- Malá odolnost vůči rozpouštědlům a vysokým teplotám
- Menší tepelná stálost než u epoxidů
- Vlivem ozonu a UV záření polyuretany tvrdnou a křehnou



Vzorec 1: Uretanová skupina

### 1.1.2 Akrylátová lepidla

U akrylátových lepidel rozlišujeme několik typů:

Typy akrylátových lepidel: [8]

Anaerobní	Lepidla jsou vytvrzena kovem, který slouží jako katalyzátor.
Vytvrzovány UV zářením	Lepidla využívající záření k vytvrzení spoje.
Kyanoakryláty	Lepidla známá jako rychle tvrdnoucí nebo též vteřinová lepidla.
Metylmetakryláty	Patří do této skupiny, liší se však jinými výchozími monomery.

Akrylátová lepidla patří mezi lepidla, která mají nízkou počáteční lepivost a tím vyžadují k připevnění delší dobu. Jejich předností je vysoká odolnost proti UV záření, ozonu a necitlivost vůči vlhkosti. Další vlastností je průhlednost, které se využívá při lepení skel a transparentních plastů. Lepený spoj je velmi stabilní, nežloutne, odolává vysokým teplotám, což je výborné řešení pro dlouhodobé venkovní aplikace. Lepidla a pásy na bázi akrylátů se hodí pro lepení polárních materiálů, které mají vysokou povrchovou energii. Mezi tyto materiály patří PVC, PET, ocel a hliník. Využití těchto lepidel je při montáži nových dílů v automobilovém průmyslu, fixaci magnetů v elektromotorech, konstrukci kovového a

skleněného nábytku a instalaci fotovoltaických modulů na panelové regály. Dále je uveden přehled vlastností akrylátových lepidel: [7, 9, 10, 11, 12]

- Vyšší rychlost vytvrzování než u epoxidových lepidel
- Větší tolerance k mastným a nepřipraveným povrchům pro lepení
- Stabilita při pokojové teplotě a dlouhá skladovatelnost
- Rázuvzdornost u lepených kovů a plastů
- Omezená teplotní odolnost lepeného spoje
- Úprava složení monomerů pro lepení termoplastických olefinů s nízkou povrchovou energií

## 1.2 Teorie lepení

Lepením rozumíme spojení dvou či více materiálů pomocí lepidla, které vytvoří trvale pevný spoj. Lepidlo je látka, která díky své adhezi (přilnavosti) a kohezi (soudržnosti) je schopna spojit různé materiály aniž by došlo ke změně struktury u slepované hmoty. Základním předpokladem pro uplatnění adhezních sil je, zajištění dokonalého styku lepidla s povrchem lepeného materiálu. Lze říci, že platí obecné pravidlo, které zní že, lepidlo musí smáčet povrch lepeného materiálu. [13, 14, 15]

### 1.2.1 Nevýhody lepení

Přehled základních nevýhod lepení:[16]

- Na adherend jsou kladeny vysoké požadavky na rovnost a čistotu povrchu
- Je nutné speciálně upravit povrch adherendů, které mají špatné adhezivní vlastnosti
- Při spojování konstrukcí již nelze spoj rozebrat
- Lepené spoje jsou citlivé na namáhání v odlupování
- Životnost lepidel je omezena
- Maximální pevnost spoje je dosažena až po určitém času
- Menší odolnost vůči vysokým teplotám
- Průmyslové použití lepidel je náročnější na strojové vybavení
- Delší doba tuhnutí některých lepidel

### 1.2.2 Výhody lepení

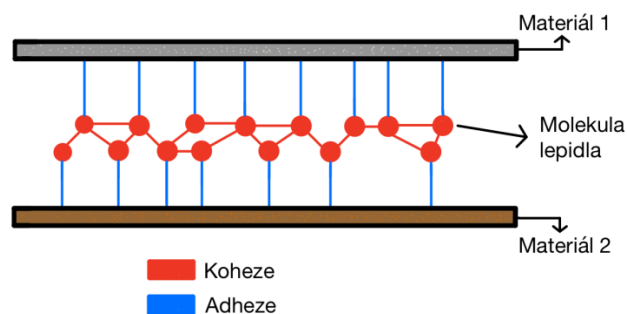
Přehled základních výhod lepení: [16]

- Lepení umožňuje spojovat stejné a chemicky odlišné materiály, bez ohledu na jejich tloušťku
- Nedochozí k narušení celistvosti spojovaných dílců
- Získáme spoje plynotěsné i vodotěsné

- Nenarušíme profil ani estetický vzhled lepeného systému
- Lepený spoj tlumí vibrace v konstrukcích a zároveň zvýší tuhost a vzpěrovou pevnost
- Při lepení kovových adherendů nevzniká elektrolytické koroze
- Lepením se nezvyšuje výrazně hmotnost lepeného celku
- Lepené spoje mohou být transparentní, popřípadě i barevné
- Lze dosáhnout vysoké pevnosti spojů, pokud se jedná namáhání ve smyku a rázovou pevnost

### 1.3 Teorie adheze

Původní chápání teorie adheze, bylo diskutováno na několika základních teoriích. Mezi tyto teorie patří mechanická, difúzní, elektrostatická a adsorpční. Podle teorie adheze, se adhezivum s adherendem lepí k sobě na základě sil, které působí mezi atomy na rozhraní, kde je zaručen intermolekulární kontakt. (Obrázek 3) [13, 15]



Obrázek 3: Základní představa vzniku adheze a koheze

#### 1.3.1 Adhezní a kohezní síly

Síly vyvolávající přilnavost lepidla (adheziva) a lepeného materiálu (adherendu) označujeme jako adhezi. Má-li lepidlo a spojovaný materiál stejné složení, jde o autoadhezi jednostrannou nebo oboustrannou. Pro pevnost lepeného spoje má význam nejen adheze lepidla k adherendu, ale i soudržnost filmu lepidla po ztuhnutí či vytvrzení. Jde o takzvanou kohezi, jejíž hodnoty závisí na složení filmu lepidla v konečné fázi lepení. [13, 14, 17]

K definici adhezních sil bylo zpracováno celkem pět teorií adheze.

##### 1.3.1.1 Mechanická teorie

Teorie mechanické adheze byla vysvětlena na soudržnosti lepených spojů. Tak že nejprve lepidlo pronikne do pórů a nerovností na povrchu, kde po ztuhnutí vytvoří mechanicky



prolnutý systém. Uvažujeme snížení viskozity adheziva, tím se zvyšuje jeho penetrace do povrchu adherendu, tato úvaha vede ke snížení pevnosti spoje, protože vznikne diskontinuální adhezivní film. [13, 14, 18]

### **1.3.1.2 Teorie adsorpce**

Adsorpční teorie spočívá na termodynamických úvahách o smáčení pevného povrchu kapalinami. Ke vzniku adhezivního spoje dojde ve dvou fázích. V první fázi nastává pohyb molekul adheziva k povrchu adherendu, na takovou vzdálenost, aby došlo k interakci obou fází pomocí Van der Waalsových sil. Druhá fáze nastane tehdy, když se molekuly adherendu a adheziva přiblíží na takovou vzdálenost, kdy začnou působit Van der Waalsovy síly. Tyto síly postačují ke vzniku dostatečně pevného adhezivního spoje. Příčina, kdy je pevnost spoje malá, je způsobena nedostatečnou interakcí adherendu s adhezivem. Adheziva často aplikujeme v kapalně formě na pevný adherend. Obecně platí, že povrchové napětí adheziva musí být menší, než povrchové napětí adherendu. První fázi lze urychlit změnou teploty, tlaku povrchového napětí adherendu. [13, 14, 18]

### **1.3.1.3 Elektrostatická teorie**

U elektrostatické teorie bylo základem měření závislosti adheze na rychlosti odtrhování spoje u systému lepidlo-kov a lepidlo-vysokomolekulární plast. Při zvyšování rychlosti odtrhování bylo zjištěno, že dochází k emisi elektronů. Emise byla prokázána vizuálně i elektrometricky. Je potvrzeno, když dojde k úzkému kontaktu dvou různých polymerů, proběhne mezi nimi výměna elektronů. Svrchní vrstva polymerů je chudší na elektrony, druhá naopak bohatší. To vede k vytvoření dvojvrstvy, která je jakýmsi mikrokondenzátorem. Oddělením vrstev od sebe dojde ke zvětšení rozdílu potenciálů až do momentu roztržení, kdy se rozdíl vyrovná. [13, 14, 18]

### **1.3.1.4 Difúzní teorie**

Základní představa vychází ze základu mikro-Brownova pohybu molekul, který umožňuje difúzi molekul lepidla do lepeného materiálu a naopak. Tento jev nastane když, polymerní látky v lepidlu a lepeném materiálu jsou rozpustné a navzájem mísitelné. Druhou podmínkou

je dostatečná pohyblivost makromolekul adherendu i adheziva. Proces difúze je ovlivněn mnoha faktory. Mezi tyto faktory nejčastěji řadíme: [13, 14, 18]

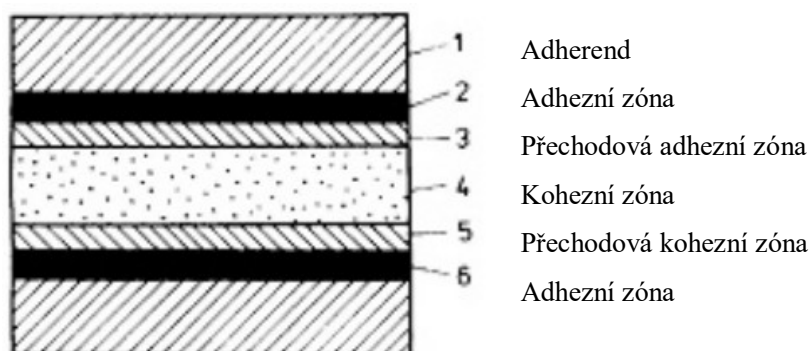
- Dobu kontaktu adherendu s lepidlem
- Tlak a teplotu
- Rychlejší difúzi menších molekul
- Kopolymery, popřípadě rozvětvené molekuly (snížení adheze)

### 1.3.1.5 Teorie polarizace

Chemická teorie vychází z představ, že síly které působí na fázovém rozhraní mezi adherendem a adhezivem mají charakter kovalentních vazeb, které mají vysoké hodnoty disociační energie. Na mezifázi se dále vyskytují síly fyzikálního charakteru, jako jsou Van der Waalsovy síly, Debyeovy indukční síly, Keesomovy elektrostatické síly a Londonovy disperzní síly. Aby došlo k adhezi musí proběhnout dvě fáze. První fází je dokonalý kontakt molekul lepidla s molekulami adherendu. Ve druhé fázi dojde k zachycení molekul lepidla na lepeném povrchu vlivem sekundárních přitažlivých sil. Obecně lze říci, že přidavkem funkčních skupin lze adhezi v některých případech snížit i zvýšit. [13, 14, 18]

## 1.4 Struktura lepeného spoje a jednotlivé fáze jeho vzniku

Veškeré pevné konstrukčně lepené spoje považujeme za skupinu pěti navzájem protínajících se vrstev. Výsledné vlastnosti spoje ovlivňuje vzájemná koheze jednotlivých vrstev a zároveň i velikost adheze jednotlivých vrstev k ostatním vrstvám ve spoji. Takto popsany lepený spoj (Obrázek 4) však vzniká za určitých podmínek. První podmínkou je volba vhodného lepidla s maximální specifickou adhezí k danému materiálu. Další podmínkou je rovnoměrné nanesení lepidla a jeho dokonalá smáčivost. Po uzavření spoje se musí lepidlo dobře rozvrstvit, proniknout do mikroskopických nerovností povrchu a vytvořit aktivní film. Nakonec dojde k vytvrzení lepidla ve spoji mezi materiály. [13, 15]

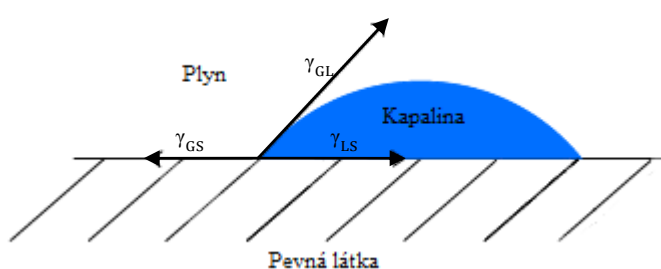


Obrázek 4: Struktura lepeného spoje [18]

### 1.4.1 Kontaktní úhel smáčení

Pro zjištění, zda je materiál dobře lepitelný, se u materiálů využívá hodnot kontaktního úhlu smáčení. Prostřednictvím těchto hodnot lze specifikovat smáčivost povrchů u lepených materiálů.

Smáčení kapaliny na pevném materiálu (Obrázek 5) je charakterizováno úhlem smáčení, který svírá tečnu k povrchu kapky, vedenou v bodě, kde dochází ke styku kapky s rozhraním. Vzniklé mezifázové rozhraní spolu s jeho vlastnostmi charakterizuje tvar vzniklé kapky kapaliny, kterou umístíme na povrch pevného nerozpustného materiálu. [19, 20]



Obrázek 5: Soustava pevná látka - kapka kapaliny

V soustavě nastávají celkem tři různé stykové plochy na rozhraní fází a to kapalina – pevná látka, plyn – kapalina a plyn – pevná látka. Ke každému z rozhraní přísluší hodnoty povrchového napětí  $\gamma_{LS}$ ,  $\gamma_{GL}$  a  $\gamma_{GS}$ , kde indexy charakterizují danou kombinaci prostředí. Křivka, která je v kontaktu se všemi rozhraními, se nazývá linie smáčení. Úhel smáčení  $\theta$  leží mezi rozhraním kapalina – pevná látka a plyn – kapalina. [19, 20]

Vztah mezi úhlem smáčení a jednotlivými fázovými rozhraními popisuje Youngova rovnice (Rovnice 1):

$$\gamma_{GS} - \gamma_{LS} = \gamma_{GL} \cos \theta \quad \text{nebo} \quad \frac{\gamma_{GS} - \gamma_{LS}}{\gamma_{GL}} = \cos \theta$$

Rovnice 1: Tvary Youngovy rovnice

Hodnoty  $\gamma_{XY}$  přísluší povrchovému napětí na rozhraní příslušných dvou fází. Tato rovnice platí pouze pro ideálně hladký homogenní povrch.

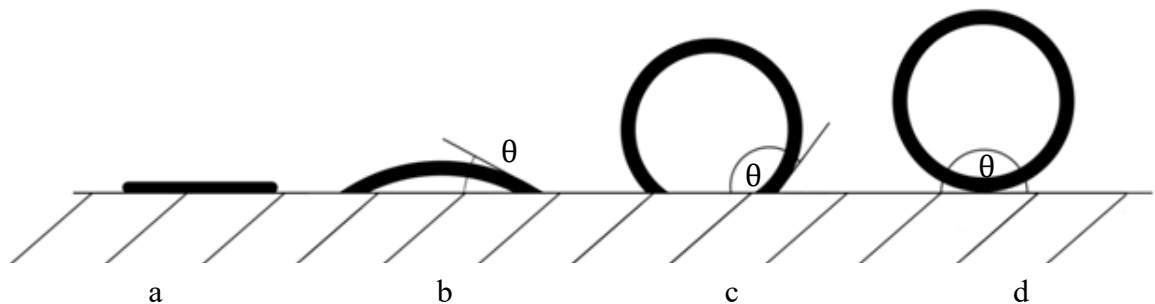
Velikost úhlu smáčení (Obrázek 6) určuje, zda je kapalina schopna smáčet povrch či ne. Pokud je úhel smáčení menší než  $90^\circ$  kapalina smáčí pevnou látku dobře. Pokud je úhel

smáčení větší než  $90^\circ$  nastanou dva případy, a to že kapalina pevnou látku smáčí špatně nebo ji nesmáčí vůbec. Pokud je úhel smáčení  $180^\circ$  kapalina pevnou látku nesmáčí vůbec a pokud se tento úhel blíží k nule pevná látka je velmi dobře smáčena kapalinou (je dokonale rozlita). [19, 20]

Při hodnotě úhlu smáčení  $\theta = 0$  platí Youngova rovnice (Rovnice 2) ve tvaru:

$$\gamma_S = \gamma_L + \gamma_{LS}$$

Rovnice 2: Youngova rovnice pro  $\theta = 0$



Obrázek 6: Úhel smáčení kapalin: a –  $\theta = 0$ , b –  $\theta < 90^\circ$ , c –  $\theta > 90^\circ$ , d –  $\theta = 180^\circ$

## 1.5 Vlivy ovlivňující pevnost lepeného spoje při lepení

### 1.5.1 Ovlivnění pevnosti spoje z hlediska adherendu

#### 1.5.1.1 Krystalinita lepených polymerů

Krystalinita má na lepitelnost polymerů nepříznivý vliv. Čím větší je krystalický podíl, tím lepitelnost klesá a naopak. Amorfni polymery nemají takové fyzikální a mechanické vlastnosti, avšak lze u nich dosáhnout lepších výsledků při lepení, než u polymerů, které mají rovnoměrnou stavbu makromolekulárního řetězce a sklon ke krystalinitě, jako je PA, PE, PTFE a PP. [13, 14]

### **1.5.1.2 Polarita**

Silně polární materiály, nejčastěji polyamidy, některé polyuretanové hmoty a hydratovaná celulóza, se lepí problematictěji než materiály slabě polární.

Nepolární materiály jako, vysokomolekulární PIB, PP, PTFE a PE jsou velmi obtížně lepitelné až nelepitelné. Tento problém, lze vyřešit zvýšením místní polaroty pomocí oxidace povrchu materiálu. Další z možností jak upravit polaritu je přidavek polárních plniv, polárních kopolymerů a změkčovadel.

Středně až slabě polární materiály, jako PMMA, PVC, celuloid, fenoplasty, polyestery, aminoplasty a epoxidové pryskyřice, lze lepit polárními lepidly s obdobným nebo stejným chemickým složením jako lepený materiál.

Problém způsobuje lepení materiálů s odlišnou polaritou. Podle Thinia, lze dosáhnout dobrých výsledků tak, že do lepidla přidáme kopolymer s odlišnými polárními skupinami nebo polární polymer, který má postranní dlouhé nepolární řetězce. [13, 14]

### **1.5.1.3 Použití primeru**

Primer je nejčastěji používán k nátěru konkrétního povrchu, v místě kde chceme aplikovat lepidlo. Primer zlepšuje adhezi mezi povrchem materiálu a lepidlem. Nejčastěji jsou nanášeny na čistý povrch pomocí štětce nebo stříkací pistole. Složení primeru zahrnuje rozpouštědlo, které se po nanesení odpaří a určitou skupinu chemických látek. Část těchto látek reaguje s lepeným povrchem a druhá zvyšuje afinitu k lepidlu. Po odpaření rozpouštědla vznikne tenká vrstvička na, kterou již můžeme aplikovat lepidlo. [21]

### **1.5.1.4 Obsah plniv a změkčovadel**

Nejvíce využívaná plniva v plastických hmotách (dřevná moučka, skleněná vlákna, celulóza) je polárního charakteru, adhezi lepidel k povrchu zlepšují. Výjimkou jsou plniva na bázi uhlíku, které nevykazují polární charakter a adhezi k povrchu naopak snižují.

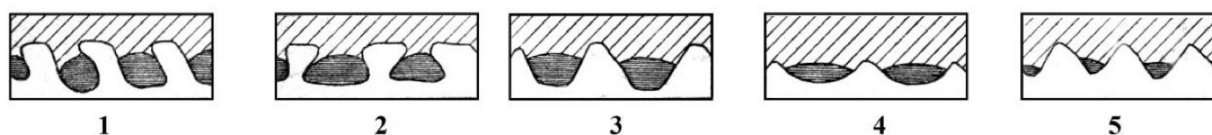
Fólie, měkké plastické hmoty a lehčené materiály s větším obsahem nízkomolekulárních změkčovadel, lze bezpečně lepit jen lepidly, která se s těmito změkčovadly nemísí. Použit lze vulkanizovaná kaučuková lepidla, tvrditelná lepidla a některé kopolymery. Jinak dochází k migraci molekul změkčovadla, které rozleptá film lepidla a tím dojde ke snížení pevnosti spoje. Dnes jsou tyto nízkomolekulární změkčovadla nahrazovány měkkými termoplastickými hmotami. [13, 14, 22]

### 1.5.1.5 Rovnost a hladkost povrchu

Každá styčná plocha je charakterizována třemi druhy povrchu:

- Geometrický povrch daný rozměry spoje
- Účinný povrch skutečně smáčený lepidlem
- Mikropovrch – teoretická styčná plocha

Geometrický povrch obsahuje délkové rozměry a tloušťkové tolerance lepené plochy, které vytvářejí charakteristiku souběžnosti spojovaných ploch. Tyto dva činitele mají zásadní vliv na stejnosměrné rozvrstvení lepidla. Na účinný styk lepidla s povrchem má při dané viskozitě lepidla vliv tvar nerovností mikropovrchu. Zdrsněním povrchu materiálu na 1-6 mikrometru nastane několik možností (Obrázek 7). Tímto zdrsněním získáme plochu kónickou nerovnost, kde dochází k dobré smáčivosti a k téměř samovolné adhezi. Naopak na leštěném materiálu vznikají miskovitě nerovnosti, u kterých je velice špatná smáčivost i adheze. V případě velkých nerovností v povrchu materiálu nedokáže lepidlo proniknout dostatečně do prohlubní materiálu, které jsou naplněny vzduchem. Z literatury tyto nerovnosti definujeme jako kónická otevřená, válcová a kónická uzavřená nerovnost. [13, 14, 22]



Obrázek 7: Geometrie povrchu materiálu: 1 – Válcová uzavřená nerovnost, 2 – Kónická uzavřená nerovnost, 3 – Kónická otevřená nerovnost, 4 – Miskovitá nerovnost a 5 – Plochá kónická nerovnost [14]

### **1.5.1.6 Rozpustnost a botnavost**

Určitá skupina termoplastických polymerů se rozpouští a botná v organických rozpouštědlech, která lze najít v disperzních či roztokových lepidlech. Pokud lepíme kompaktní tlustostěnné materiály, tak této vlastnosti hojně využíváme. Někdy dokonce používáme pro lepení čistá rozpouštědla. Pozor však při lepení fólií, kdy tento jev je nežádoucí, protože dochází k deformaci povrchu. [13, 14, 22]

### **1.5.1.7 Botnání adherendů organickými rozpouštědly**

Touto metodou se upravují zejména polyolefiny, například polypropylen. Předpokládá se, že po proniknutí rozpouštědla pod povrch polymeru, dojde k oddálení řetězců makromolekul. Tímto procesem se zvyšuje plocha kontaktu mezi lepidlem a adherendem. Dále se zlepšují i podmínky pro difúzi lepidla. Rozpouštědlo použité k botnání adherendu nesmí být hmotou dlouho zadržováno. Nejčastěji se pracuje s toluenem, xylenem, trichloretylenem a dekalkem. Proces probíhá tak, že se adherend ponoří do rozpouštědla zahřátého na 85 °C asi na 15 sekund, dokud povrch nezbledá. Účinnost lze zvýšit předeřtáním adherendu. Aktivace povrchu trvá zhruba dva dny. [13, 14]

### **1.5.1.8 Čistota povrchu**

Absolutní kontakt lepidla s povrchem lepeného materiálu nastane tehdy, když je povrch zbaven separačně působících látek, nejčastěji se jedná o korozi, mastnotu a adsorbované plyny. [13, 14, 22]

### **1.5.1.9 Odmašťování**

Existují tři způsoby jak odmašťovat jednotlivé lepené části:

- Převedením mastnoty do stabilizované emulze za pomoci roztoků alkalických solí
- Rozpouštěním mastných látek vhodnými rozpouštědly se širokou účinností
- Žihání adherendu plamenem

Pokud okolnosti dovolují, je třeba dát přednost kapalinám zdravotně nezávadným, nehořlavým a stálým za vyšších teplot. [13, 14, 21]

#### **1.5.1.9.1 Odmašťování vodnými roztoky alkalických solí**

Oproti organickým rozpouštědlům, kdy se nečistoty rozpouští, se v tomto případě zbavujeme nečistot řadou fyzikálních a chemických pochodů. Nečistoty se uvolní od podkladu a jsou rozptýleny a stabilizovány v kapalině. Kupříkladu k odstranění vyšší mastné kyseliny, která je obsažena v organických tucích se využívá alkálií, které za zvýšené teploty neutralizují vyšší mastnou kyselinu za vzniku mýdla, které přejde do roztoku. V dnešní době se nejčastěji využívá směs křemičitanů, sodných solí kyseliny fosforečné s uhličitanem a tenzidy. Pro odmašťování slitin hliníku a mědi jsou vhodné přípravky s obsahem křemičitanů. Naopak u oceli se používají roztoky silně zásadité, které obsahují fosforečnan a hydroxid sodný. Alkalické odmašťovací roztoky se nejčastěji používají ve formě 2 až 5 % vodných roztoků. Doba odmašťování závisí na stupni znečištění adherendu a na způsobu ohřívání a cirkulace lázně. Adherendy po odmaštění je nutné opláchnout tekoucí vodou, následně pak destilovanou vodou a osušit za teplot okolo 60 °C. [13, 14, 21]

#### **1.5.1.9.2 Odmašťování pomocí organických rozpouštědel**

Při práci s těmito rozpouštědly se adherendy odmašťují pomocí vatových tampónů nebo štětcem. Větší předměty se odmašťují ve větších komorách, kde se ponořují přímo do rozpouštědla. Tyto komory se doplňují čerstvě predestilovaným rozpouštědlem. Rozpouštědla, která se nejčastěji používají, dělíme na hořlavá a nehořlavá. Do hořlavých rozpouštědel patří nižší alkoholy, aceton, toluen a směsi alifatických uhlovodíků. Tyto rozpouštědla jsou poměrně levná a netoxická, výjimku tvoří benzen. Pro odmaštění termoplastů a pryže se nejlépe hodí alkohol, popřípadě benzín. Nehořlavá rozpouštědla zastupují převážně chlorované uhlovodíky jako je trichlorethylen. Jedná se o kapaliny s charakteristickým zápachem s narkotickým účinkem. Jejich páry jsou těžší než vzduch. Chlorované uhlovodíky se nejčastěji využívají pro odmaštění kovů, protože působením světla a tepla dochází k jejich rozkladu. Vzniklý chlorovodík urychluje další rozklad a koroduje odmašťované kovy i příslušná zařízení. Proto se do rozpouštědel přidávají alkalicky reagující stabilizátory, konkrétně do trichlorethylenu se přidává ethylenamin. [13, 14, 21]



### **1.5.1.9.3 Žihání adherendu plamenem**

Tato metoda spočívá v žihání, kontaktních ploch adherendu nesvítivým plamenem o teplotě 800 až 1000 °C. Žihání se provádí opatrně, tak aby povrch adherendu rovnoměrně zmatněl. A aby nedošlo k poškození, protavení nebo spálení povrchu doporučuje se chladit rubovou stranu adherendu a povrch žihat z větší dálky a opakovaně, pro lepší odmaštění. [13, 14]

### **1.5.1.10 Mechanické opracování**

Mechanickým opracováním kontaktních ploch lepených částí se upravuje tvar lepené spáry, odstraňují se hrubé nerovnosti povrchu, nerozpustné nečistoty a vrstvy, které zakrývají aktivní povrch adherendu. Způsob mechanického opracování závisí na vlastnostech lepených částí, např. na tloušťce stěn, tepelné odolnosti a tuhosti materiálu. Dále závisí na konstrukci spoje a na prostředcích, kterými disponujeme. V domácích podmínkách býváme odkázáni na pilování, ruční hoblování, obrušování ocelovým kartáčem nebo brusnými papíry.

V průmyslu se kontaktní plochy upravují frézováním, soustružením, strojním hoblováním, obrušováním mezi válci popřípadě otryskáváním. V průběhu těchto úprav má být materiál co nejméně tepelně a mechanicky namáhán, aby nedošlo k poškození nebo opálení povrchu, popřípadě by nemělo dojít k vnitřnímu pnutí v materiálu. Těmto stavům lze předejít použitím ostrých nástrojů a vysokými otáčkami při malých posuvech za přítomnosti chlazení vzduchem nebo vhodným chladicím médiem.

Také broušení povrchu musí být podřízeno určitým zásadám. Brusnými prostředky nesmí být povrch adherendu silně rozdírán, protože by došlo vlivem velkých rýh k zabránění smáčivosti mikropovrchu adherendu. [13, 14]

### **1.5.1.11 Délková roztažnost**

Celá skupina plastů je schopna za tepla měnit svůj tvar, hovoříme zde o délkové roztažnosti (Tabulka 1), která je až desetkrát větší než u klasických materiálů. Klasickým materiálem je myšleno například sklo, beton, dřevo a kovy. Při lepení plastu například s kovem je nutno brát v potaz tento parametr, protože lze vhodnými úpravami minimalizovat pnutí, deformaci popřípadě porušení spoje. [13, 14]

Tabulka 1: Hodnoty koeficientu délkové teplotní roztažnosti  $\alpha$  různých materiálů [23]

	Polymer	Zkratka	$\alpha$ [ $K^{-1}$ ]
Termoplasty	Nízkohustotní polyetylen	PE-LD	$25 \cdot 10^{-5}$
	Vysokohustotní polyetylen	PE-HD	$20 \cdot 10^{-5}$
	Polypropylen	PP	$(15 \div 18) \cdot 10^{-5}$
	Akrylonitril-butadien-styren	ABS	$(6 \div 11) \cdot 10^{-5}$
	Polyamid 6	PA-6	$(8 \div 10) \cdot 10^{-5}$
	Polykarbonát	PC	$(6 \div 7) \cdot 10^{-5}$
	Polytetrafluorethylen	PTFE	$(10 \div 12) \cdot 10^{-5}$
	Lehčené plasty		
Reakto-plasty	Fenoplasty		$(3 \div 5) \cdot 10^{-5}$
	Aminoplasty		$(5 \div 6) \cdot 10^{-5}$
	Epoxydová pryskyřice	EP	$(1 \div 4) \cdot 10^{-5}$
Elastomery	Přírodní kaučuk	NR	$(20 \div 40) \cdot 10^{-5}$
	Butadien-akrylonitrilový kaučuk	NBR	
	Butadien-styrenový kaučuk	SBR	
	Chloroprenový kaučuk	CR	
	Ethylen-propylenový kaučuk	EPM	
	Silikonové kaučuky	Q	$19 \cdot 10^{-5}$
Ostatní	Sklo		$0,5 \cdot 10^{-5}$
	Ocel		$1,1 \cdot 10^{-5}$
	Měď		$1,65 \cdot 10^{-5}$

## **1.5.2 Ovlivnění pevnosti spoje z hlediska lepidla**

### **1.5.2.1 Polymerační stupeň a tvar makromolekuly**

Vliv polymeračního stupně polymeru v lepidle je poněkud zavádějící. S narůstající délkou makromolekuly se zvyšuje tepelná odolnost, viskozita roztoků a je zaznamenán i růst kohezních sil. Naopak adheze k lepenému materiálu klesá. Dalším faktem je, že makromolekuly s nižším polymeračním stupněm lépe difundují do mikroskopických pórů materiálu, avšak u lepidel s velkým polymeračním stupněm je pro nás výhodou vznik pevného filmu lepidla. Tudiž lze říci, že je vhodné mít takové lepidlo, kde je vhodný poměr nízkomolekulárních a vysokomolekulárních látek. Tímto se zajistí potřebná vysoká adheze k materiálu, tak i dostatečná koheze pro správnou funkci lepidla. [13, 14, 24]

### **1.5.2.2 Postranní skupiny na polymerním řetězci**

Těmito skupinami je určována polarita, rozpustnost a tuhost filmu lepidla. Vhodnou kombinací postranních skupin na hlavním řetězci lze ovlivňovat vlastnosti podle dané situace. [13, 14]

### **1.5.2.3 Příklad plniva**

Plniva v lepidlech mají velký význam. Lze s nimi regulovat viskozitu a tím nepřímo ovlivnit difúzi lepidla do pórů materiálu. Dále můžeme ovlivnit tloušťku filmu lepidla, rozvést vnitřní pnutí lepidla, vyrovnat fyzikální vlastnosti lepidla i lepeného materiálu, jako je například tepelná vodivost, která se upravuje přidávkem kovového prachu. [13, 14, 24]

### **1.5.2.4 Příklad změkčovadla**

Změkčovadly ovlivníme tuhost filmu lepidla, ale i adhezi k materiálu. Jako změkčovadla se používají nejčastěji ftaláty, arylfosfáty, alkylfenolové a alkydové pryskyřice. Změkčením a větší přilnavostí filmu je vysvětlen lepší pohyb makromolekul v lepidle, tím pádem lepidlo lépe difunduje do mikroskopických pórů lepeného materiálu. Obecně obsah změkčovadel v lepidle nepřekračuje 20 %. [13, 14]

### 1.5.2.5 Obsah rozpouštědla

Rozpouštědlo v lepidlech slouží k usnadnění rovnoměrnému nánosu lepidla na lepený povrch materiálu. Dále zlepšuje smáčivost povrchu adherendu a tím i difúzi do pórů. Důležité je i odstranění rozpouštědla z lepidla, toho lze dosáhnout čtyřmi způsoby:

- Předběžným odpařením ve fázi otevřeného sestavení spoje
- Vsáknutím do jednoho nebo druhého lepeného adherendu s následným odpařením
- Polymerizací, jde-li o reaktivní rozpouštědlo (monomer)

### 1.5.2.6 Viskozita lepidla

Čím je lepidlo viskóznější, tím hůře se nanáší a v extrémním případě může docházet i k nedokonalému smáčení povrchu lepeného materiálu. U fenolických a močovinných lepidel dochází vlivem stárnutí k výraznému zvýšení viskozity, tomuto lze zabránit skladováním v chladu, kdy už polykondenzační reakce ustává. [13, 14, 24]

### 1.5.2.7 Objemová stálost filmu lepidla

V průběhu tuhnutí lepidla v lepeném spoji dochází k jeho objemovým změnám. Tyto změny se nejméně projevují u lepidel tavných a reaktivních. Naopak největší ztráty na objemu pozorujeme u lepidel rozpouštědlových a disperzních na bázi termoplastických polymerů, které obsahují 50 % sušiny. [13, 14, 24]

## 1.6 Hodnocení kvality lepeného spoje

Zkoušky u lepených spojů provádíme, abychom zjistili mechanické vlastnosti pro různé způsoby namáhání. Z těchto charakteristik pak dále vyvodíme jak je dané lepidlo vhodné ke konkrétní aplikaci. Testování lze dělit celkem na dvě skupiny a to na destruktivní a nedestruktivní zkoušky. V rámci této bakalářské práce jsou spoje testovány na pevnost ve smyku podle normy ČSN EN 1465 Lepidla – Stanovení pevnosti ve smyku při tahovém namáhání přeplátovaných lepených soustav.

### **1.6.1 Zkušební metody nedestruktivní**

Tyto zkoušky umožňují ověřit kvalitu lepených spojů, bez nutnosti jejich destrukce. Jedná se především o využití rentgenového záření, ultrazvuku, magnetismu a elektrických metod, pomocí kterých získáme například vady na konkrétním spoji bez jeho porušení. Zde je vybráno pár metod, které se využívají: [25]

- Optická zkušební metoda
- Ultrazvuková defektoskopie
- Akustická defektoskopie
- Radiologické zkoušky

### **1.6.2 Zkušební metody destruktivní**

Do této skupiny zkoušek řadíme celkem tři podskupiny a to: [26]

#### **1.6.2.1 Dynamické zkoušky**

- Zkouška na únavu lepeného spoje
- Rázová pevnost

#### **1.6.2.2 Statické zkoušky**

- Pevnost ve smyku
- Pevnot v tahu a tlaku
- Pevnost v odlupování
- Zkouška lámavosti

#### **1.6.2.3 Ostatní zkoušky**

- Tepelná odolnost
- Životnost

### **1.6.3 Stanovení pevnosti ve smyku dle ČSN EN 1465**

Principem této destruktivní zkoušky je zatěžování připraveného lepeného spoje silou v tahu, která je rovnoběžná s plochou u lepeného spoje. Tato síla vyvodí na zkoumaný lepený spoj smykové namáhání. Vzorek je uchycen do čelistí trhacího stroje, kde je postupně namáhán tahovou silou, kterou zaznamenáváme spolu s konstantním posunem čelistí. Vzorek se

zatěžuje do té doby, než dojde k porušení analyzovaného spoje, k porušení by mělo dojít v rozmezí 25 až 60 sekund od zahájení zkoušky. Nejvyšší hodnotu síly, která je potřebná k přetržení označujeme  $F_m$ , kterou spolu s plochou lepeného spoje  $S$  využíváme pro výpočet pevnosti. Pevnost ( $\tau$ ) překlátovaného spoje ve smyku se vypočítá dle Rovnice 3. [27]

$$\tau = \frac{F_m}{S} \text{ [MPa]}$$

Rovnice 3: Výpočet pevnosti ve smyku

## 2 Experimentální část

### 2.1 Použité suroviny

#### 2.1.1 Použitá lepidla

K experimentu byla použita pouze „hobby“ lepidla na bázi polyuretanů a akrylátů a to celkem sedm druhů.

##### 2.1.1.1 Bison power adhesive

Bison power adhesive (Obrázek 8) je dvousložkové polyuretanové lepidlo, slouží k lepení nerezavějící oceli, železa, zinku, mramoru, betonu, dřevu a sklu. Zvláště je vhodné pro lepení tvrdých plastů jako je PMMA, PVC a PC. Není však vhodné pro lepení PP, PE, PTFE a silikonů. Vlastnosti lepidla jsou uvedeny v Tabulce 2. [28]

Tabulka 2: Vlastnosti – Bison power adhesive

Výrobce	Bison Německo
Pevnost spoje	180 kg/cm <sup>2</sup>
Teplotní stálost	-30 °C až 100 °C



Obrázek 8: Lepidlo Bison power adhesive

### 2.1.1.2 Bison PU MAX

Bison PU MAX (Obrázek 9) je vysokopevnostní tekuté polyuretanové lepidlo pro velmi namáhané spoje. Lepidlo je použitelné jak v interiéru a exteriéru k lepení tvrdého i měkkého dřeva, dřevotřísky, OSB desek, PVC, ABS, PC, kovů, betonu a cihel. Vlastnosti lepidla jsou uvedeny v Tabulce 3. [29]

Tabulka 3: Vlastnosti – Bison PU MAX

Výrobce	Bison Německo
Teplotní stálost	-20 °C až 125 °C
Voděodolnost	ČSN EN 204 D4



Obrázek 9: Lepidlo Bison PU MAX

### 2.1.1.3 TEKAFIX PU 40

TEKAFIX PU 40 (Obrázek 10) je jednosložkový polyuretanový tmel s velmi dobrou přilnavostí. Používá se pro lepení většiny stavebních materiálů jako je dřevo, kov a plasty. Vlastnosti lepidla jsou uvedeny v Tabulce 4. [30]



Tabulka 4: Vlastnosti – TEKAFIX PU 40

Výrobce	TKK d.o.o. Slovinsko
Tvrдость	40 Shore A
Teplotní stálost	-40 °C až 80 °C
Hustota	1,16 g/cm <sup>3</sup>



Obrázek 10: Lepidlo TEKAFIX PU 40

#### 2.1.1.4 Konstrukční lepidlo Soudal 60A

Konstrukční jednosložkové polyuretanové lepidlo Soudal 60A (Obrázek 11) slouží k lepení dřevěných částí, konstrukcí a nábytku. Dále také k lepení cihel, betonu, kovů, gumy, polystyrenu a pěnových hmot. Lepidlo nestéká a má vysokou lepicí sílu. Po vytvrzení je transparentní a trvale odolné vodě dle ČSN EN 204 D4. Lze použít na lepení mírně vlhkých materiálů a k vyplnění nerovností, protože při vytvrzování mírně napění. Vlastnosti lepidla jsou uvedeny v Tabulce 5. [31]

Tabulka 5: Vlastnosti – Konstruktivního lepidla Soudal 60A

Výrobce	Soudal N.V. Belgie
Barva	Transparentní
Vytvrzení	Vlhkostí
Teplotní stálost	-30 °C až 100 °C
Hustota	1,11 g/cm <sup>3</sup>



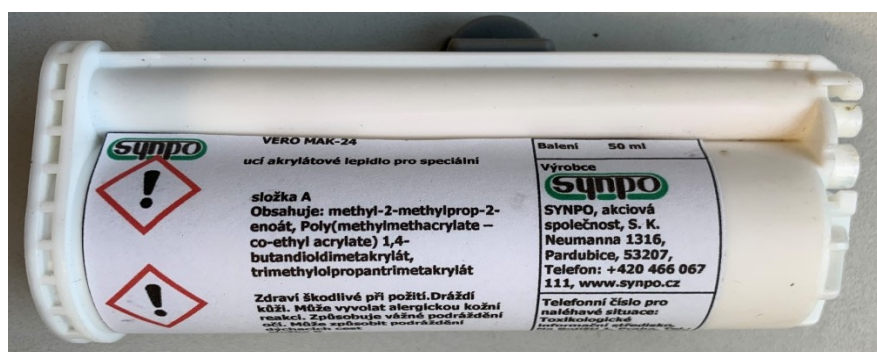
Obrázek 11: Konstruktivní lepidlo Soudal 60A

### 2.1.1.5 VERO-MAK 24

VERO-MAK 24 (Obrázek 12) je dvousložkové akrylátové lepidlo, které je vhodné k lepení plastů, ocele a hliníku. Vlastnosti lepidla jsou uvedeny v Tabulce 6. [32]

Tabulka 6: Vlastnosti – VERO-MAK 24

Výrobce	SYNPO a.s. Pardubice	
Barva	Bílá	
Složka	Složka A	Složka B
Viskozita	10 – 50 Pa.s	300 – 1200 mPa.s
Hustota	1,28 g/cm <sup>3</sup>	1,20 g/cm <sup>3</sup>



Obrázek 12: Lepidlo VERO-MAK 24

### 2.1.1.6 Acralock SA 10-05 BLK

Acralock SA 10-05 BLK (Obrázek 13) je dvousložkové lepidlo na bázi metakrylátových adheziv, se směšovací poměrem 10:1. Lepidlo má vysokou pevnost ve smyku v kombinaci s dobrou houževnatostí a středním protažením. S těmito vlastnostmi se hodí k lepení kovů bez primeru, PET, PC, PVC a ABS. Naopak je nevhodné pro lepení skla, dřeva, teflonu, polyolefinu a polyacetátů. Vlastnosti lepidla jsou uvedeny v Tabulce 7. [33]

Tabulka 7: Vlastnosti – Acralock SA 10-05 BLK

Výrobce	Acralock USA	
Barva	Černá	
Složka	Složka A	Složka B
Viskozita	200 – 400 Pa.s	100 – 200 Pa.s
Hustota	0,98 g/cm <sup>3</sup>	1,11 g/cm <sup>3</sup>



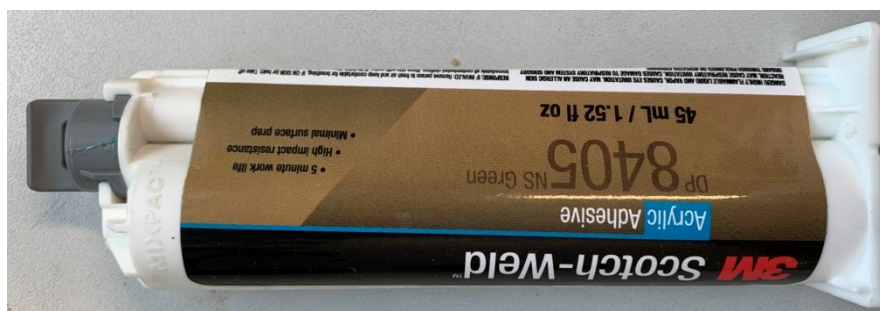
Obrázek 13: Lepidlo Acralock SA 10-05 BLK

### 2.1.1.7 3M Scotch-Weld DP8405NS

Akrylátové lepidlo 3M Scotch-Weld 8405NS (Obrázek 14) je dvousložkové, nestékavé lepidlo na bázi MMA. Lepidlo je mícháno ve směšovacím poměru 10:1, doba zpracovatelnosti je 5 minut a výsledná barva je zelená. Vyniká svojí vysokou odolností proti nárazu, má vysokou adhezi k řadě plastů a kovů, které mohou být mírně mastné. Vlastnosti lepidla jsou uvedeny v Tabulce 8. [34]

Tabulka 8: Vlastnosti – 3M Scotch-Weld DP8405NS

Výrobce	3M	
Složka	Složka A	Složka B
Barva	Modrá	Bílá
Viskozita	20 – 25 Pa.s	50 – 80 Pa.s
Hustota	1,08 g/cm <sup>3</sup>	1,07 g/cm <sup>3</sup>



Obrázek 14: Lepidlo 3M Scotch-Weld DP8405NS

## 2.1.2 Použité adherendy

Pro jednotlivé testy byly zhotoveny lepené spoje z následujících adherendů:

- Hliník
- Uhlíkatá ocel
- Polyvinylchlorid
- Polykarbonát
- Sololit
- Dřevo

## 2.1.3 Použité chemikálie

Pro odstranění mastnoty z adherendů byly použity následující chemikálie:

- Chloroform k odmaštění ocelových adherendů
- Ethanol k odmaštění adherendů z PVC, PC, dřeva a sololitu
- Aceton k odmaštění hliníkových adherendů

## 2.2 Příprava vzorků

### 2.2.1 Příprava vzorků pro měření pevnosti lepených spojů ve smyku

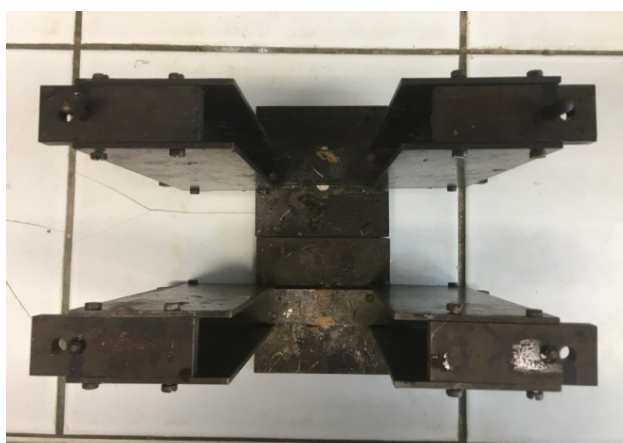
Před samotným lepením a následným měřením bylo nutno nejprve upravit povrchy jednotlivých adherendů. Postup, kterým byla práce řízena vycházel z normy ČSN EN 1465. Z této normy bylo vycházeno jen z části, protože jsme se snažili přiblížit k povrchové úpravě, která je prováděna v běžné praxi, popřípadě v domácích podmínkách. V případě dodržování přesného normovaného postupu je celá příprava poměrně časově a technologicky velmi náročná a v domácích podmínkách neproveditelná při použití „hobby“ lepidel. Tím pádem jsme proces zjednodušili a převzali jsme celkem dva kroky, a to mechanické zdrsňení a odmaštění konkrétního povrchu.

Nejprve byly jednotlivé adherendy obroušeny elektrickou bruskou, se zrnitostí brusného papíru 120. Po obroušení jsme přešli k odmaštění, u hliníkových adherendů byl použit aceton, u ocelových adherendů chloroform a u adherendů z PVC, PC, dřeva a sololitu ethanol.

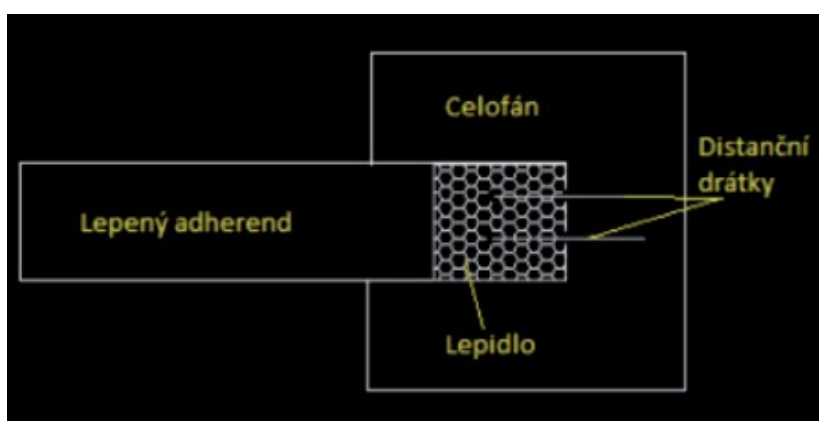
Takto předupravený adherend o rozměrech 110×25×1,5 mm byl vložen do lepicí formy (Obrázek 15). Na předupravenou stranu bylo nanášeno takové množství lepidla, aby došlo

k rozptýlení lepidla po celé ploše styčných ploch. Pro zajištění konstantní tloušťky lepeného spoje je nutno umístit na lepidlo dva distanční drátky o průměru 0,12 mm. Na druhý konec lepicí formy byla umístěna distanční podložka o stejné tloušťce jako adherend, aby spoje zůstaly v rovině a nedocházelo k jejich lámání. Jednotlivé lepené spoje je nutné oddělit pomocí čtverečků z celofánu, aby nedošlo k jejich vzájemnému slepení. Slepené adherendy se v lepicí formě zatížily 1 kg závažím na dobu 24 hodin, abychom zajistili dostatečné vytvrzení lepidla. Postup lepení je znázorněn na Obrázcích 16 a 17. Pro každý adherend a každé lepidlo bylo vždy připraveno 10 lepených spojů.

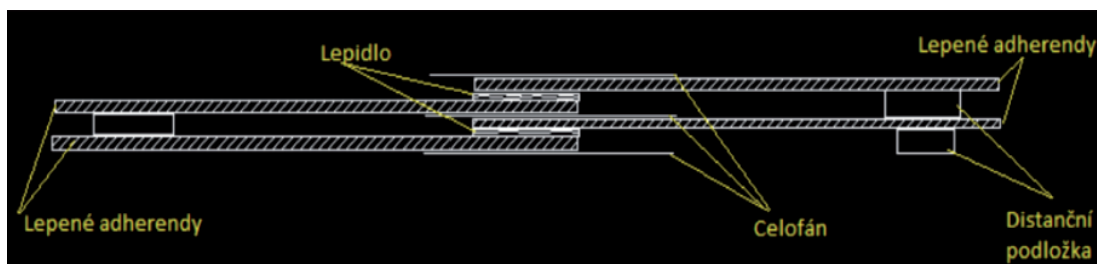
Po 24 hodinách byly adherendy vyjmuty z lepicí formy a ponechány k dotvrzení vždy po dobu jednoho týdnu. Po jednom týdnu byly odstraněny přetoky lepidla pomocí nože. Nakonec byly přilepeny lepicí páskou distanční podložky tak, aby po upnutí do čelistí byl lepený spoj v rovině.



Obrázek 15: Lepicí forma



Obrázek 16: Postup lepení 1 [35]



Obrázek 17: Postup lepení 2 [35]

## 2.2.2 Příprava vzorků pro TMA a DMA

Pro tyto analýzy byly z lepidla odlity tělíška do formy ze silikonu. Pro TMA byly vyříznuty čtverečky o rozměrech zhruba 5×5×2 mm a pro DMA hranoly o rozměrech zhruba 30×5×2 mm.

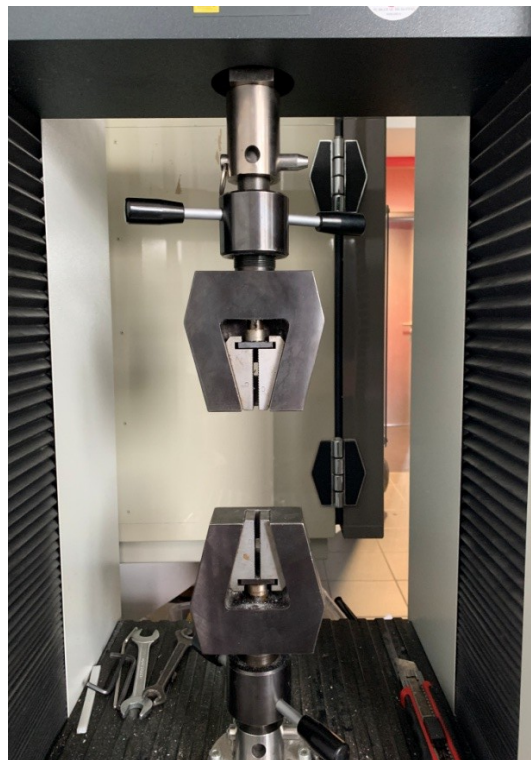
## 2.3 Metody měření

### 2.3.1 Měření pevnosti ve smyku

Měření pevnosti ve smyku bylo prováděno na trhacím stroji MTS – 4/M (Obrázek 18) na lepených spojích pro šest typů adherendů. Každý vzorek byl upevněn do čelistí trhacího stroje (Obrázek 19). Adherendy byly vyrovnány nalepením distančních podložek do roviny, aby nedocházelo k lámání spoje mimo rovinu. Po přetržení lepeného spoje následovalo vyhodnocení. Výsledkem vyhodnocení byl modul pružnosti v [MPa], mez pevnosti ve smyku v [MPa, N] a tažnost v [%]. Upínací délka na čelistech byla 112,5 mm a rychlost posunu byla nastavena na 1 mm/min.



Obrázek 18: Trhací stroj MTS – 4/M



Obrázek 19: Čelisti trhačského stroje

### 2.3.2 Měření TMA

Termomechanická analýza je založena na měření změn výšky vzorku v závislosti na čase, teplotě a vložené síle. Touto metodou stanovujeme teplotu skelného přechodu  $T_g$ , koeficient tepelné roztažnosti  $\alpha$  v daném teplotním intervalu nebo jeho závislost na teplotě a body měknutí a tání analyzovaných materiálů.

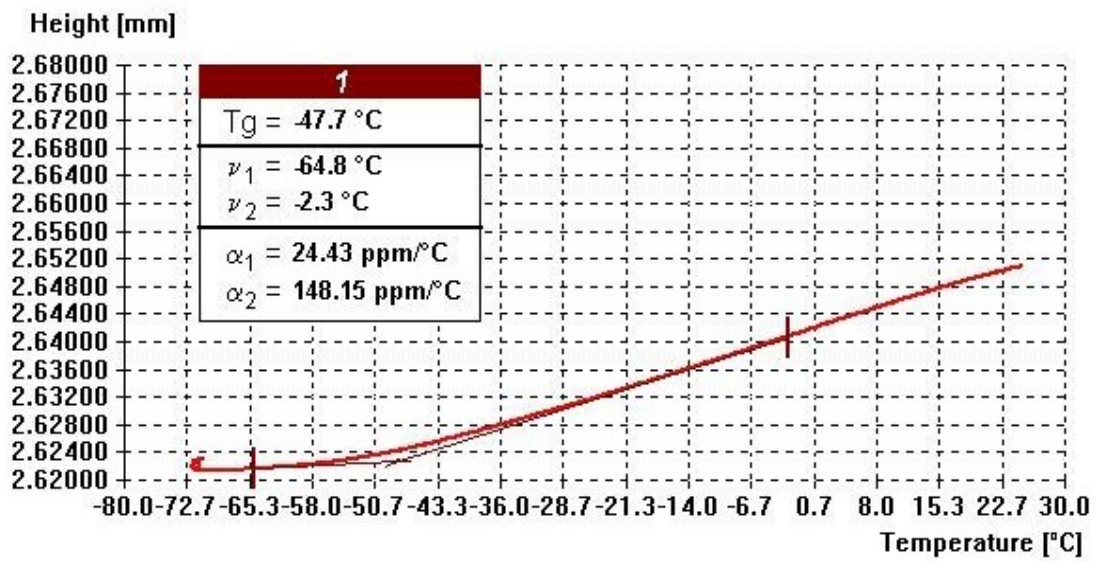
Vzorky byly proměřovány za definovaného teplotního režimu na přístroji TMA CX04R firmy R.M.I (Obrázek 20). Na vzorek bylo působeno silou 50 mN. Teplota skelného přechodu byla zjištěna ze závislosti výšky vzorku na teplotě (Obrázek 21), odečtení teploty ze čtvrtého kroku. (Jiný teplotní režim pro lepidlo VERO-MAK 24 – teplotní rozsah od 0 do 120 °C)

- Krok č. 1: Ochlazení na teplotu -70°C rychlostí 3 °C/min
- Krok č. 2: Ohřev na teplotu 25 °C rychlostí 3 °C/min
- Krok č. 3: Ochlazení na teplotu -70°C rychlostí 3 °C/min
- Krok č. 4: Ohřev na teplotu 25 °C rychlostí 3 °C/min





Obrázek 20: TMA CX04R



Obrázek 21: Ukázka vyhodnocení TMA u lepidla TEKAFIX PU 40

### 2.3.3 Měření DMA

Dynamická termomechanická analýza je založena na principu mechanického namáhání vzorku definovanou silou (neboli napětím) a na měření deformační odezvy vzorku za různých podmínek. Kupříkladu s měnící se teplotou. Pokud namáhání vykazuje sinusový průběh, jedná se o klasickou dynamickou analýzu. Vyhodnocením získaných průběhů napětí a deformace, získáme závislost modulu pružnosti a ztrátového úhlu na teplotě a dále i na čase, frekvenci působící síly a velikosti deformace. Stanovené průběhy slouží k určení charakteristických vlastností materiálu, kterým je teplota skelného přechodu, stupeň krystalizace, gel point, míra orientace, ztráty v materiálu (jeho tlumící schopnosti) a měření tečení metodou creepu.

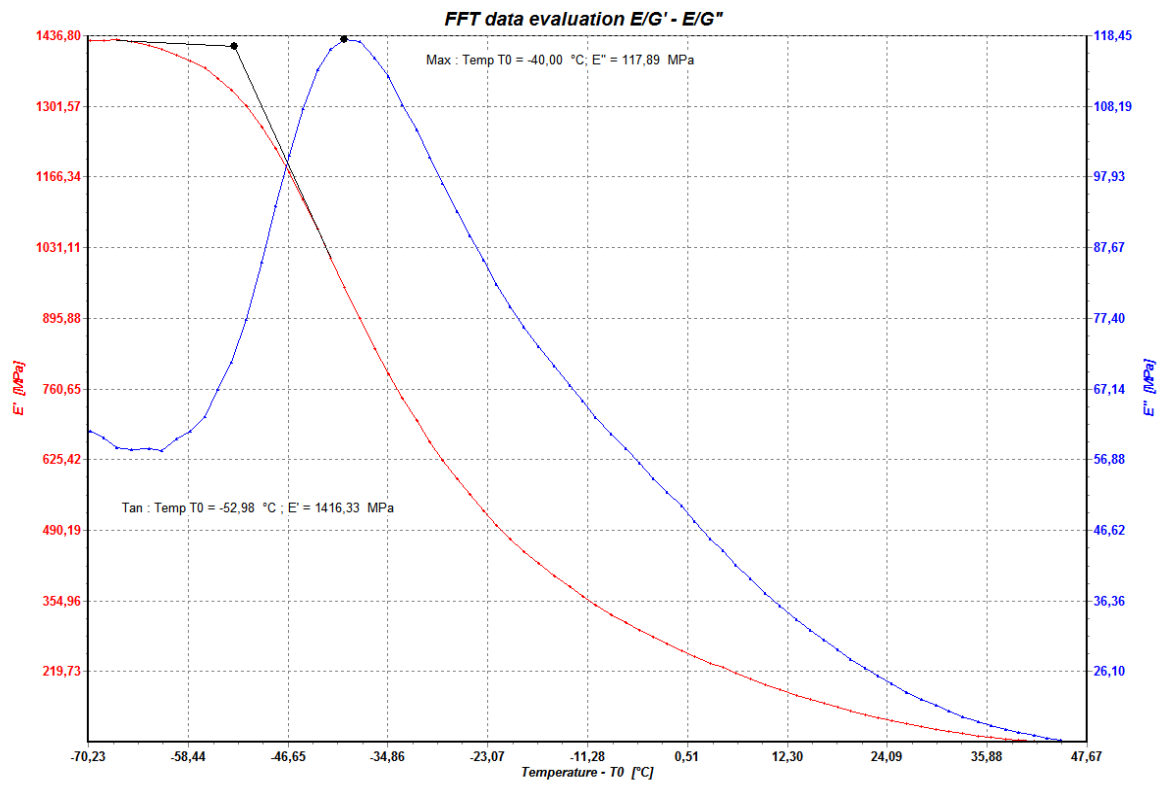
Jako měřicí mód bylo v našem případě použito uspořádání jednoduchého vetknutého nosníku. Měření bylo prováděno na přístroji DMA DX04T firmy R.M.I (Obrázek 22). Vzorky lepidel byly proměřovány za daných podmínek. Stanovení teplot  $T_1, T_2$  blízkých teplotě  $T_g$  bylo provedeno z grafické závislosti reálné a imaginární složky modulu pružnosti na teplotě (Obrázek 23): teplota  $T_1$  [°C] jako tangenta ze závislosti reálné složky modulu pružnosti, teplota  $T_2$  [°C] jako maximum ze závislosti imaginární složky modulu pružnosti.

Podmínky měření:

- Měřicí mód: jednoduchý vetknutý nosník
- Frekvence: 1 Hz
- Konstantní deformace  $\pm 0,15$  mm
- Teplotní režim:
  - Ochlazení na teplotu  $-70$  °C rychlostí  $10$  °C/min
  - 10 minut temperace
  - Ohřev na teplotu  $25$  °C rychlostí  $3$  °C/min
- Pro lepidla VERO-MAK 24 a Bison power adhesive byl použit jiný teplotní režim, teplotní rozsah  $0$  až  $120$  °C



Obrázek 22: DMA DX04T



Obrázek 23: : Ukázka vyhodnocení DMA u lepidla TEKAFIX PU 40

### 3 Výsledky a diskuze

V této bakalářské práci byly připraveny lepené spoje pro celkem 7 lepidel a pro 6 typů adherendů. Na zhotovených spojích byly sledovány mechanické vlastnosti konkrétně mez pevnosti ve smyku v závislosti na typu adherendu. Dále byly pomocí TMA měřeny teploty skelného přechodu a pomocí DMA teploty blízké teplotě skelného přechodu  $T_1$  a  $T_2$ .

#### 3.1 Výsledky měření pevnosti ve smyku

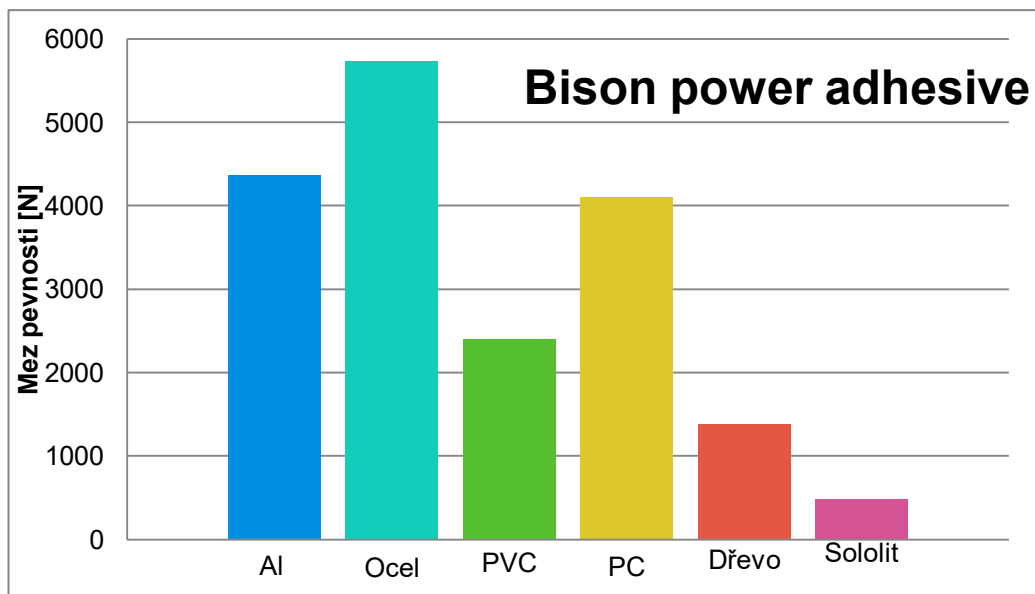
V následující části jsou rozebrány a souhrnně uvedeny výsledky mechanických vlastností při měření pevnosti ve smyku pro jednotlivá lepidla.

##### 3.1.1 Bison power adhesive

Naměřené hodnoty pevnosti ve smyku pro lepidlo Bison power adhesive jsou uvedeny v tabulce 9 a grafu 1.

Tabulka 9: Výsledky měření pevnosti ve smyku – Bison power adhesive

Adherend	Mez pevnosti [N]	Mez pevnosti [MPa]	Tažnost [%]	Modul pružnosti [MPa]
Hliník	4368,63 ± 241,25	6,88 ± 0,51	2,59 ± 0,55	798,21 ± 173,32
Ocel	5731,10 ± 754,54	9,55 ± 1,35	2,42 ± 0,56	1035,44 ± 23,47
PVC	2393,50 ± 271,03	3,68 ± 0,54	4,15 ± 0,91	180,74 ± 4,60
PC	4096,40 ± 304,74	5,97 ± 0,28	8,58 ± 1,00	147,38 ± 4,01
Dřevo	1381,80 ± 107,41	2,20 ± 0,15	1,57 ± 1,06	244,16 ± 18,09
Sololit	484,40 ± 52,25	0,84 ± 0,10	0,67 ± 0,06	139,49 ± 28,46



Graf 1: Mez pevnosti ve smyku – Bison power adhesive

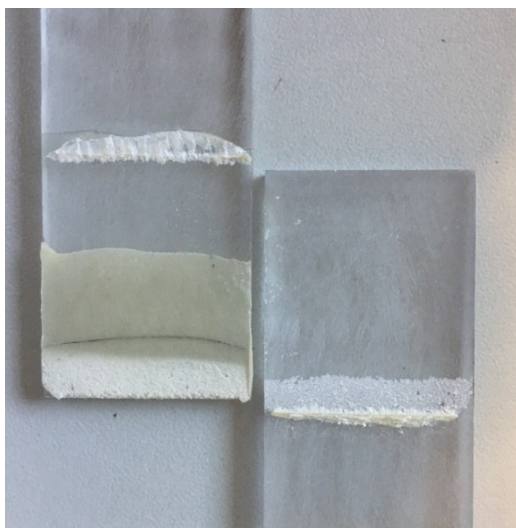
Z tabulky a grafu je zřejmé, že lepidlo Bison power adhesive tvořilo nejpevnější spoj na oceli, kde docházelo k adheznímu porušení lepeného spoje. U lepených spojů na hliníku byla pevnost ve smyku velmi dobrá, zde docházelo k porušení samotného adherendu a zároveň k adheznímu porušení spoje. Z tohoto lze usuzovat, že se nacházíme na pomezí pevnosti materiálu a nejvyšší pevnosti lepidla. U PC adherendu byla též pevnost ve smyku poměrně vysoká, i zde docházelo k adheznímu porušení jako na oceli. U adherendů z PVC, docházelo také k adheznímu porušení, pevnost lepeného nebyla už tak vysoká, ale hodnotu lze brát za poměrně dobrou v oblasti hobby použití. U dřeva a sololitu došlo k porušení samotného materiálu, tudíž i zde máme hodnoty pevnosti těchto dvou materiálů. Jednotlivá porušení lepeného spoje pro daný adherend jsou na obrázcích 24 až 29.



Obrázek 24: Ocel – Bison power adhesive



Obrázek 25: Hliník – Bison power adhesive



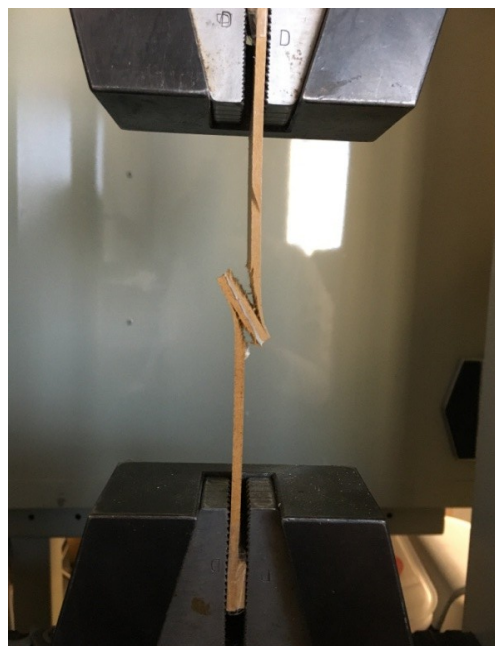
Obrázek 26: PC – Bison power adhesive



Obrázek 27: PVC – Bison power adhesive



Obrázek 28: Dřevo – Bison power adhesive



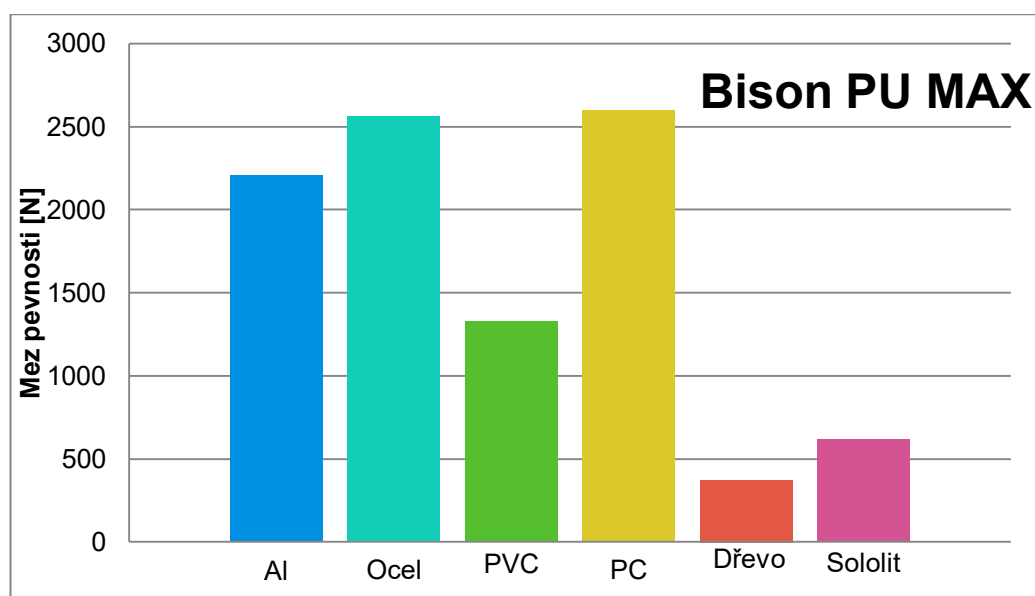
Obrázek 29: Sololit – Bison power adhesive

### 3.1.2 Bison PU MAX

Naměřené hodnoty pevnosti ve smyku pro lepidlo Bison PU MAX jsou uvedeny v tabulce 10 a grafu 2.

Tabulka 10: Výsledky měření pevnosti ve smyku – Bison PU MAX

Adherend	Mez pevnosti [N]	Mez pevnosti [MPa]	Tažnost [%]	Modul pružnosti [MPa]
Hliník	2202,76 ± 241,94	3,69 ± 0,39	1,60 ± 0,51	602,66 ± 145,12
Ocel	2563,52 ± 225,37	4,06 ± 0,35	1,30 ± 0,37	697,85 ± 141,01
PVC	1329,51 ± 121,13	2,13 ± 0,18	2,35 ± 0,52	175,97 ± 11,14
PC	2595,16 ± 270,92	3,81 ± 0,40	5,30 ± 0,71	137,90 ± 3,94
Dřevo	372,89 ± 50,61	0,66 ± 0,09	0,41 ± 0,04	176,18 ± 15,14
Sololit	616,85 ± 74,45	1,02 ± 0,12	0,83 ± 0,34	181,45 ± 5,81



Graf 2: Mez pevnosti ve smyku – Bison PU MAX

Lepidlo Bison PU MAX je do jisté míry univerzální jako lepidlo Bison power adhesive, ovšem jak je uvedeno v tabulce a grafu hodnoty pevnosti ve smyku nejsou zdaleka tak vysoké jako u předchozího lepidla. Podle výrobce je lepidlo primárně určeno k lepení dřeva a dále i na ostatní materiály jak je uvedeno výše (Kapitola 2.1.1). Měřením bylo zjištěno, že největší pevnost ve smyku byla u adherendů z oceli, hliníku a PC. Naopak u adherendů z PVC, dřeva

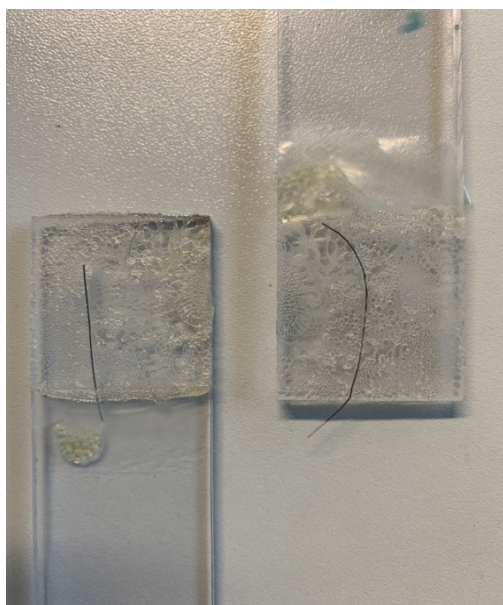
a sololitu nebyla pevnost tak vysoká, to je pravděpodobně způsobeno nízkou adhezí materiálů k lepidlu, popřípadě velkou pěnovostí lepidla. Ve všech případech se jednalo o adhezní přerušení lepených spojů, výjimkou byly spoje u dřeva a sololitu kde bylo porušení spoje kohezní. Jednotlivá porušení lepeného spoje pro daný adherend jsou na obrázcích 30 až 35.



Obrázek 30: Hliník – Bison PU MAX



Obrázek 31: Ocel - Bison PU MAX

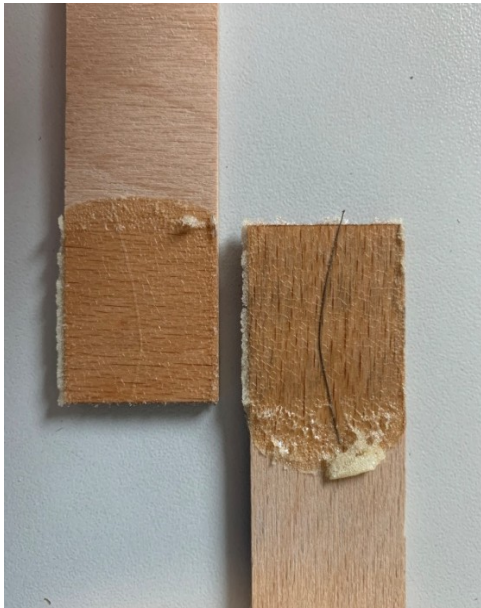


Obrázek 32: PC – Bison PU MAX



Obrázek 33: PVC – Bison PU MAX





Obrázek 34: Dřevo – Bison PU MAX



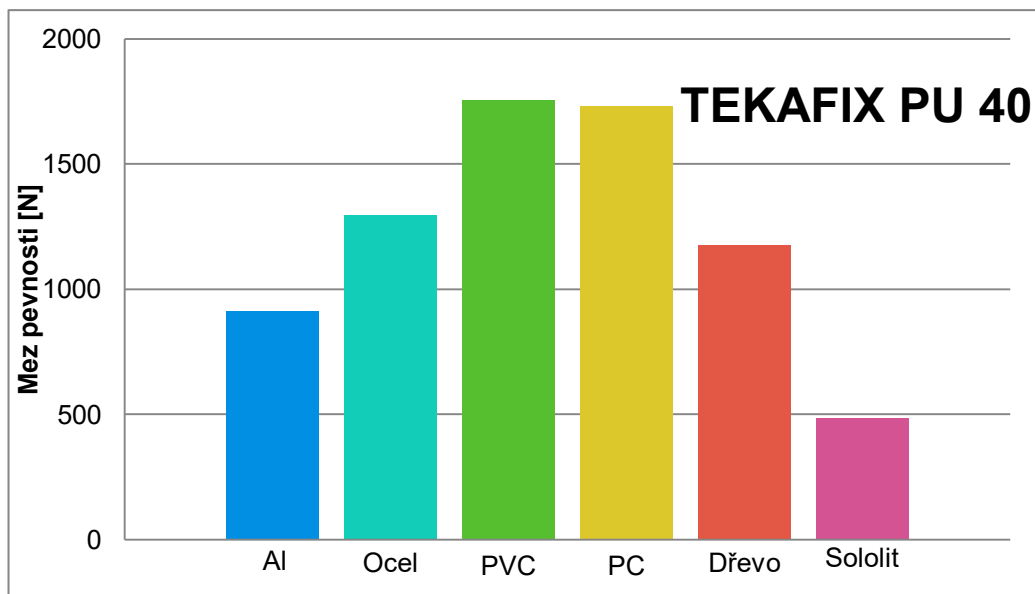
Obrázek 35: Sololit – Bison PU MAX

### 3.1.3 TEKAFIX PU 40

Naměřené hodnoty pevnosti ve smyku pro lepidlo TEKAFIX PU 40 jsou uvedeny v tabulce 11 a grafu 3.

Tabulka 11: Výsledky měření pevnosti ve smyku – TEKAFIX PU 40

Adherend	Mez pevnosti [N]	Mez pevnosti [MPa]	Tažnost [%]	Modul pružnosti [MPa]
Hliník	911,06 ± 74,27	1,51 ± 0,12	0,61 ± 0,32	527,33 ± 101,84
Ocel	1297,02 ± 112,01	2,18 ± 0,24	0,68 ± 0,17	611,42 ± 137,09
PVC	1756,44 ± 155,04	2,98 ± 0,23	3,38 ± 0,39	178,25 ± 7,07
PC	1732,70 ± 170,40	2,60 ± 0,32	3,66 ± 0,37	123,96 ± 9,41
Dřevo	1175,36 ± 85,25	2,10 ± 0,17	1,91 ± 0,56	217,00 ± 25,91
Sololit	487,56 ± 41,00	0,87 ± 0,09	0,56 ± 0,05	177,65 ± 13,51



Graf 3: Mez pevnosti ve smyku – TEKAFIX PU 40

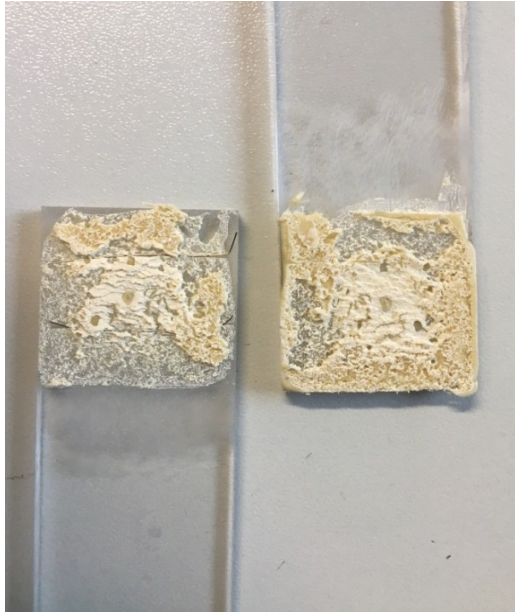
Lepidlo TEKAFIX PU 40 mělo největší hodnoty pevnosti ve smyku u adherendů z PC a PVC. U sololitu a dřeva je pevnost lepených spojů též velmi dobrá, jelikož naměřené hodnoty bereme jako pevnosti těchto materiálů. Naopak u ocelových a hliníkových adherendů byla pevnost ve smyku poměrně nízká, tudíž toto lepidlo není příliš vhodné k lepení kovových materiálů. U všech adherendů došlo k adheznímu porušení lepeného spoje. Jednotlivá porušení lepeného spoje pro daný adherend jsou na obrázcích 36 až 41.



Obrázek 36: Hliník – TEKAFIX PU 40



Obrázek 37: Ocel – TEKAFIX PU 40



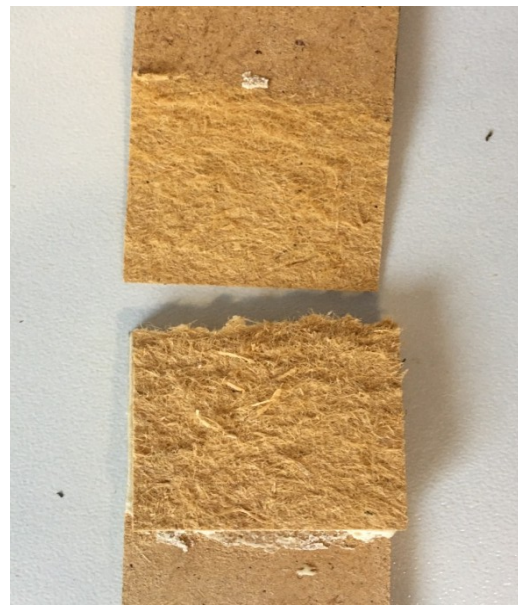
Obrázek 38: PC – TEKAFIX PU 40



Obrázek 39: PVC – TEKAFIX PU 40



Obrázek 40: Dřevo – TEKAFIX PU 40



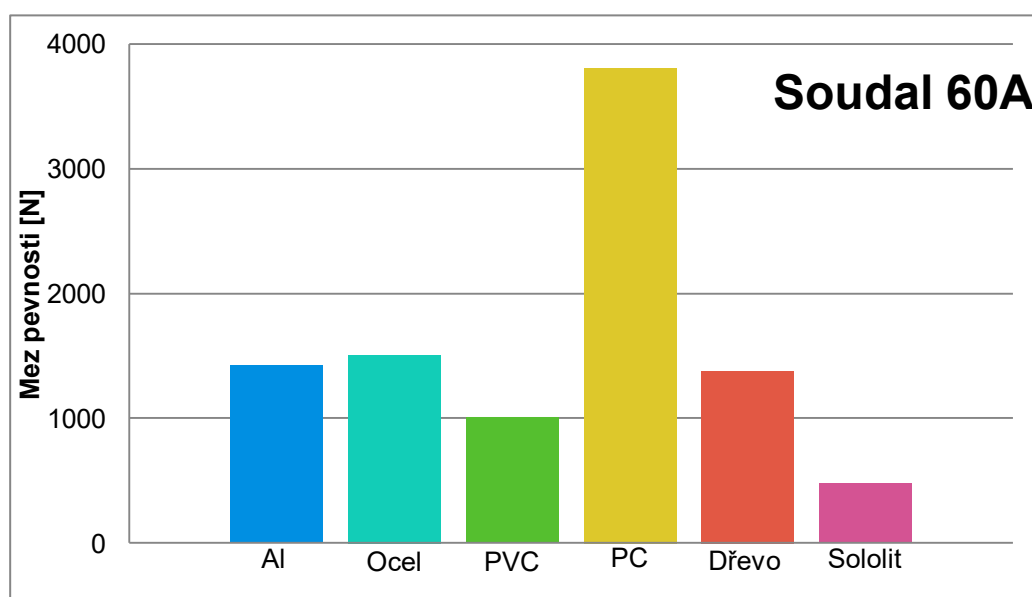
Obrázek 41: Sololit – TEKAFIX PU 40

### 3.1.4 Konstrukční lepidlo Soudal 60A

Naměřené hodnoty pevnosti ve smyku pro lepidlo Soudal 60A jsou uvedeny v tabulce 12 a grafu 4.

Tabulka 12: Výsledky měření pevnosti ve smyku – Konstrukční lepidlo Soudal 60A

Adherend	Mez pevnosti [N]	Mez pevnosti [MPa]	Tažnost [%]	Modul pružnosti [MPa]
Hliník	1419,00 ± 200,39	2,42 ± 0,33	1,14 ± 0,55	819,2 ± 101,16
Ocel	1508,00 ± 205,40	2,54 ± 0,35	0,66 ± 0,28	1111,25 ± 198,22
PVC	1003,00 ± 150,20	1,72 ± 0,26	1,22 ± 0,30	201,29 ± 5,59
PC	3807,28 ± 577,68	5,94 ± 0,90	7,53 ± 1,35	151,96 ± 4,99
Dřevo	1380,52 ± 201,67	2,42 ± 0,29	1,81 ± 0,90	317,82 ± 50,85
Sololit	477,00 ± 39,35	0,83 ± 0,07	0,54 ± 0,11	197,58 ± 8,60



Graf 4: Mez pevnosti ve smyku - Konstrukční lepidlo Soudal 60A

U konstrukčního lepidla Soudal 60A docházelo k nejpevnějšímu spoji na adherelech z PC. Na ocelových a hliníkových adherelech patřila naměřená hodnota pevnosti ve smyku k těm nižším v porovnání s ostatními lepidly. U dřeva a sololitu došlo opět k porušení adhereců jako u předchozího lepidla. Z výsledků vyplývá, že toto lepidlo se hodí pro lepení PC. Ve všech případech se jednalo o adhezní porušení lepeného spoje. Jednotlivá porušení lepeného spoje pro daný adherend jsou na obrázcích 42 až 47.



Obrázek 42: Hliník – Soudal 60A



Obrázek 43: Ocel – Soudal 60A



Obrázek 44: PC – Soudal 60A



Obrázek 45: PVC – Soudal 60A



Obrázek 46: Dřevo – Soudal 60A



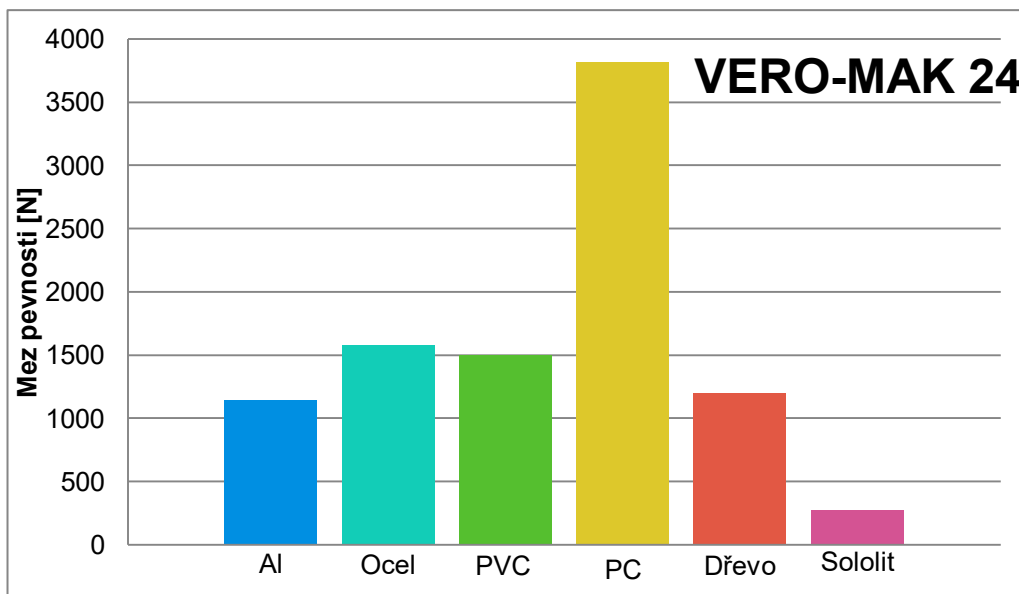
Obrázek 47: Sololit – Soudal 60A

### 3.1.5 VERO-MAK 24

Naměřené hodnoty pevnosti ve smyku pro lepidlo VERO-MAK 24 jsou uvedeny v tabulce 13 a grafu 5.

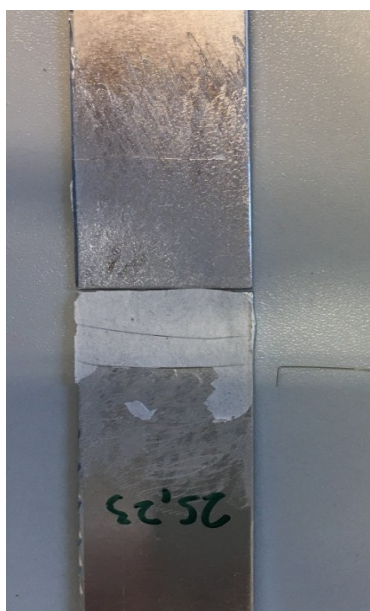
Tabulka 13: Výsledky měření pevnosti ve smyku – VERO-MAK 24

Adherend	Mez pevnosti [N]	Mez pevnosti [MPa]	Tažnost [%]	Modul pružnosti [MPa]
Hliník	1140,90 ± 117,99	1,84 ± 0,19	0,57 ± 0,49	735,92 ± 128,58
Ocel	1583,72 ± 260,05	2,58 ± 0,42	0,22 ± 0,07	1221,15 ± 157,28
PVC	1502,52 ± 188,44	2,55 ± 0,36	1,32 ± 0,21	201,25 ± 4,56
PC	3818,04 ± 550,80	5,86 ± 0,88	8,89 ± 0,51	151,42 ± 2,08
Dřevo	1201,13 ± 171,92	1,95 ± 0,29	0,67 ± 0,11	325,84 ± 62,86
Sololit	277,76 ± 10,50	0,46 ± 0,02	0,43 ± 0,02	126,14 ± 4,29



Graf 5: Mez pevnosti ve smyku – VERO-MAK 24

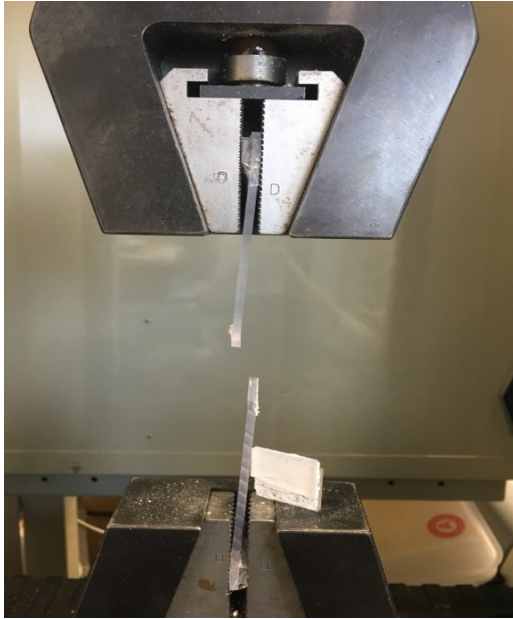
Lepidlo VERO-MAK 24 vykazovalo nejlepší pevnost spoje na adherendu z PC, kde došlo k porušení samotného adherendu. U sololitu a PVC došlo též k porušení samotného adherendu, tudíž u tohoto lepidla máme celkem tři hodnoty pevnosti samotných adherendů. U ocelových, hliníkových a dřevěných adherendů docházelo k adhezivnímu porušení lepeného spoje. Lepidlo VERO-MAK 24 je nejvhodnější k lepení PC, k ostatním adherendům je vhodnější využít například lepidlo Bison power adhesive, které je nejuniverzálnější. Jednotlivá porušení lepeného spoje pro daný adherend jsou na obrázcích 48 až 53.



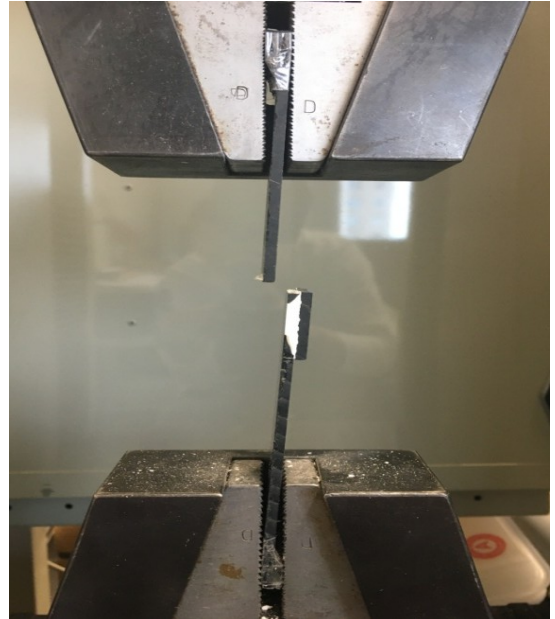
Obrázek 48: Hliník – VERO-MAK 24



Obrázek 49: Ocel – VERO-MAK 24



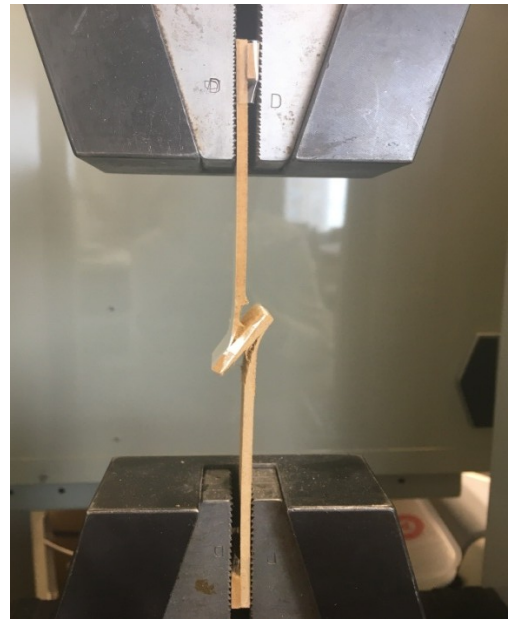
Obrázek 50: PC – VERO-MAK 24



Obrázek 51: PVC – VERO-MAK 24



Obrázek 52: Dřevo – VERO-MAK 24



Obrázek 53: Sololit – VERO-MAK 24

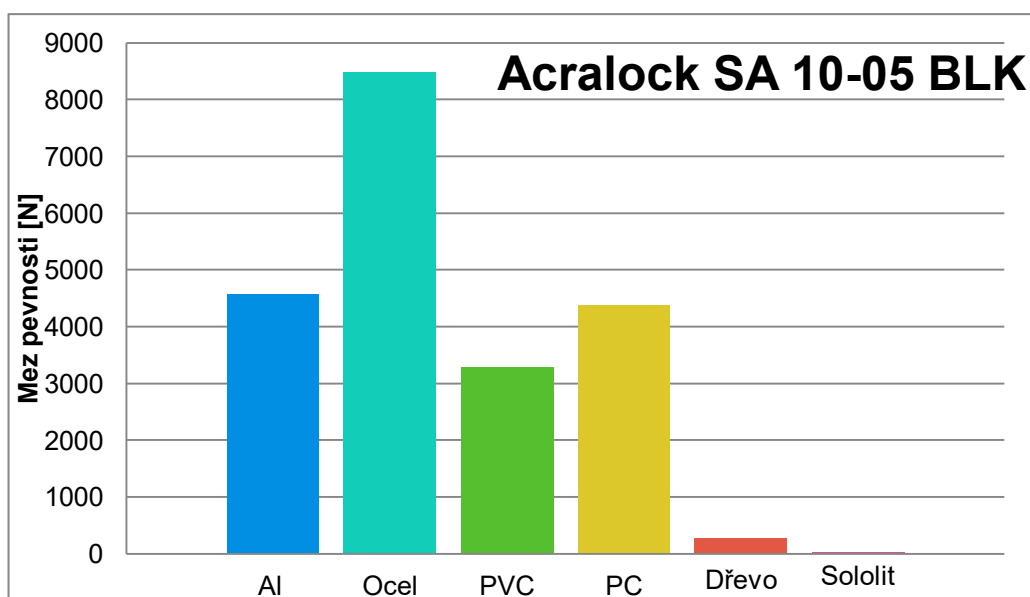


### 3.1.6 Acralock SA 10-05 BLK

Naměřené hodnoty pevnosti ve smyku pro lepidlo Acralock SA 10-05 BLK jsou uvedeny v tabulce 14 a grafu 6.

Tabulka 14: Výsledky měření pevnosti ve smyku – Acralock SA 10-05 BLK

Adherend	Mez pevnosti [N]	Mez pevnosti [MPa]	Tažnost [%]	Modul pružnosti [MPa]
Hliník	4568,57 ± 55,99	8,02 ± 0,16	2,98 ± 0,48	944,63 ± 121,06
Ocel	8479,45 ± 226,57	14,43 ± 0,41	4,62 ± 0,51	895,47 ± 136,44
PVC	3288,00 ± 19,39	5,35 ± 0,06	6,72 ± 0,25	188,92 ± 2,17
PC	4376,48 ± 53,67	6,93 ± 0,13	11,03 ± 0,59	149,60 ± 5,30
Dřevo	271,23 ± 114,26	0,48 ± 0,20	0,32 ± 0,10	171,27 ± 42,45
Sololit	39,07 ± 5,33	0,06 ± 0,01	0,64 ± 0,02	18,28 ± 5,94



Graf 6: Mez pevnosti ve smyku – Acralock SA 10-05 BLK

Lepidlo Acralock SA 10-05 BLK vykazovalo celkově největší pevnost na ocelových adherendech, kde docházelo k adheznímu porušení lepeného spoje. U adherendů z PVC, PC a hliníku byla hodnota pevnosti ve smyku rovna pevnosti jednotlivých adherendů, neboť docházelo k porušení adherendů. Toto lepidlo není vhodné k lepení dřeva a sololitu, kde naměřené hodnoty byly opravdu velmi nízké. Důvodem je migrace nízkomolekulární složky lepidla do adherendu, což je patrné na obrázcích 58 a 59. I u zbylých adherendů docházelo

k adheznímu porušení lepeného spoje. Jednotlivá porušení lepeného spoje pro daný adherend jsou na obrázcích 54 až 59.



Obrázek 54: Hliník – Acralock SA 10-05 BLK



Obrázek 55: Ocel – Acralock SA 10-05 BLK



Obrázek 56: PC – Acralock SA 10-05 BLK



Obrázek 57: PVC – Acralock SA 10-05 BLK



Obrázek 58: Dřevo – Acralock SA 10-05 BLK



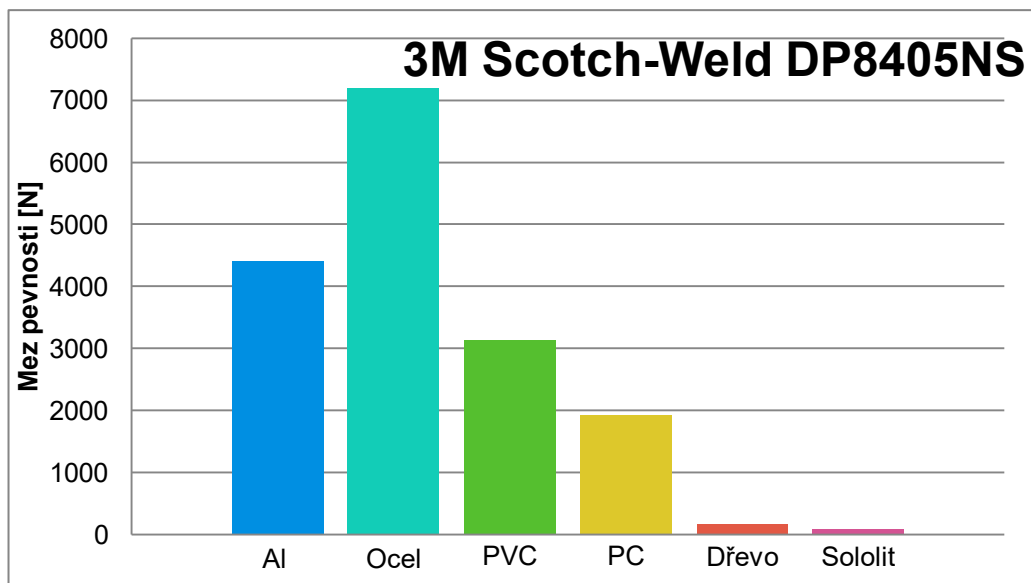
Obrázek 59: Sololit – Acralock SA 10-05 BLK

### 3.1.7 3M Scotch-Weld DP8405NS

Naměřené hodnoty pevnosti ve smyku pro lepidlo 3M Scotch-Weld DP8405NS jsou uvedeny v tabulce 15 a grafu 7.

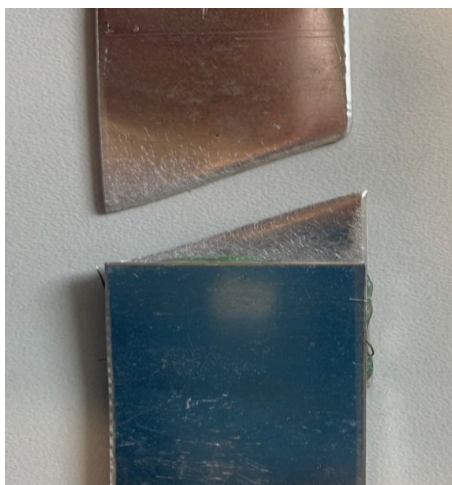
Tabulka 15: Výsledky měření pevnosti ve smyku – 3M Scotch-Weld DP8405NS

Adherend	Mez pevnosti [N]	Mez pevnosti [MPa]	Tažnost [%]	Modul pružnosti [MPa]
Hliník	4405,16 ± 177,29	7,74 ± 0,30	3,01 ± 0,63	836,02 ± 135,95
Ocel	7197,77 ± 868,70	12,52 ± 1,74	3,38 ± 0,77	1041,77 ± 134,96
PVC	3131,76 ± 293,57	5,19 ± 0,53	6,61 ± 0,74	182,61 ± 8,13
PC	1926,60 ± 392,59	2,93 ± 0,60	2,83 ± 0,96	147,36 ± 2,07
Dřevo	166,67 ± 25,57	0,29 ± 0,04	0,22 ± 0,06	176,24 ± 17,72
Sololit	78,80 ± 48,25	0,13 ± 0,08	0,22 ± 0,11	63,48 ± 23,12



Graf 7: Mez pevnosti ve smyku – 3M Scotch-Weld DP8405NS

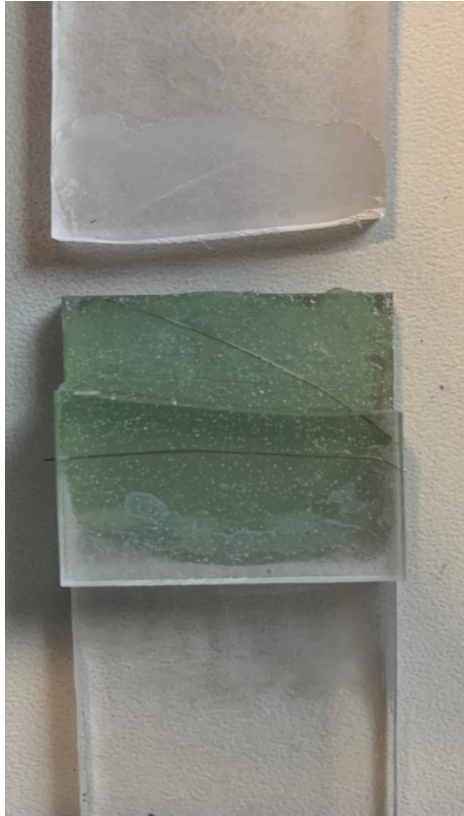
Z naměřených výsledků u lepidla od společnosti 3M je zřejmé, že největší pevnost lepeného spoje byla u adherendů z oceli, a to celkově druhá nejvyšší. Velmi dobrou pevnost spojů vykazovalo lepidlo u adherendů z PC, PVC a hliníku, kde hodnota opět odpovídala pevnosti daného adherendu. U PC docházelo k porušení adherendu na lepeném spoji. Stejně jako lepidlo Acralock SA 10-05 BLK je toto lepidlo nevhodné pro lepení dřeva a sololitu, protože docházelo k migraci nízkomolekulární složky do adherendu, což je patrné i na obrázcích 64 a 65. Adhezní porušení lepeného spoje se projevilo u veškerých adherendů. Jednotlivá porušení lepeného spoje pro daný adherend jsou na obrázcích 60 až 65.



Obrázek 60: Hliník – 3M Scotch-Weld DP8405NS



Obrázek 61: Ocel – 3M Scotch-Weld DP8405NS



Obrázek 62: PC – 3M Scotch-Weld DP8405NS



Obrázek 63: PVC – 3M Scotch-Weld DP8405NS



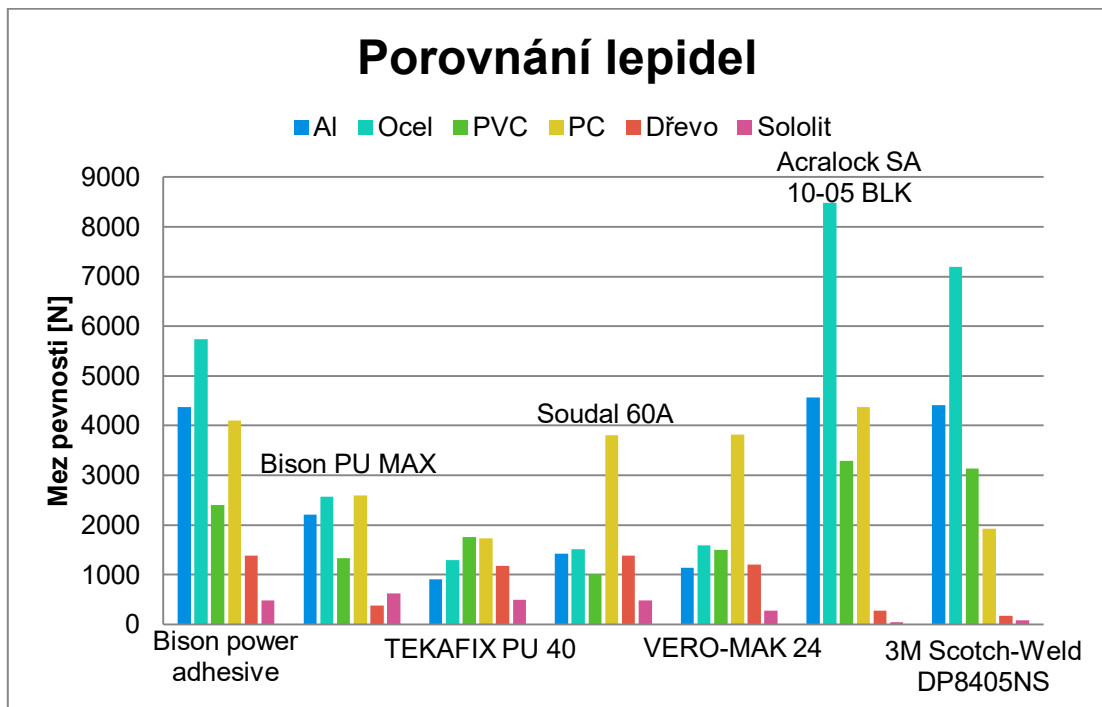
Obrázek 64: Dřevo – 3M Scotch-Weld DP8405NS



Obrázek 65: Sololit – 3M Scotch-Weld DP8405NS

### 3.2 Celkové porovnání pevnosti ve smyku u zkoumaných lepidel

V grafu 8 jsou uvedeny souhrnně pevnosti ve smyku u všech zkoumaných lepidel v rámci této práce. V tabulkách 16 a 17 jsou souhrnně uvedeny druhy porušení lepeného spoje, které během měření nastaly.



Graf 8: Celkové porovnání mechanických vlastností u analyzované skupiny lepidel

Tabulka 16: Přehled porušení lepených spojů (\*- neprojevení porušení, ✓ - projevení porušení a ✓\* - porušení v adherendu)

Bison power adhesive		
Typ adherendu	Kohezní porušení	Adhezní porušení
Hliník	✘	✓*
Ocel	✘	✓
PVC	✘	✓
PC	✘	✓
Dřevo	✘	✓*
Sololit	✘	✓*
Bison PU MAX		
Typ adherendu	Kohezní porušení	Adhezní porušení
Hliník	✘	✓
Ocel	✘	✓
PVC	✘	✓
PC	✘	✓
Dřevo	✓	✘
Sololit	✓	✘
TEKAFIX PU 40		
Typ adherendu	Kohezní porušení	Adhezní porušení
Hliník	✘	✓
Ocel	✘	✓
PVC	✘	✓
PC	✘	✓
Dřevo	✘	✓*
Sololit	✘	✓*
Soudal 60A		
Typ adherendu	Kohezní porušení	Adhezní porušení
Hliník	✘	✓
Ocel	✘	✓
PVC	✘	✓
PC	✘	✓*
Dřevo	✘	✓*
Sololit	✘	✓*

Tabulka 17: Přehled porušení lepených spojů (\*- neprojevení porušení, ✓ - projevení porušení a ✓\* - porušení v adherendu)

VERO-MAK 24		
Typ adherendu	Kohezní porušení	Adhezní porušení
Hliník	✘	✓
Ocel	✘	✓
PVC	✘	✓*
PC	✘	✓*
Dřevo	✘	✓
Sololit	✘	✓*
Acralock SA 10-05 BLK		
Typ adherendu	Kohezní porušení	Adhezní porušení
Hliník	✘	✓*
Ocel	✘	✓
PVC	✘	✓*
PC	✘	✓*
Dřevo	✘	✓
Sololit	✘	✓
3M Scotch-Weld DP8405NS		
Typ adherendu	Kohezní porušení	Adhezní porušení
Hliník	✘	✓*
Ocel	✘	✓
PVC	✘	✓*
PC	✘	✓*
Dřevo	✘	✓
Sololit	✘	✓



V celkovém grafickém porovnání vykazují nejvyšší hodnoty pevnosti ve smyku na hliníkových adheredech lepidla Bison power adhesive, 3M Scotch-Weld DP8405NS a Acralock SA 10-05 BLK. Naopak nejhorší mechanické vlastnosti vykazovalo lepidlo TEKAFIX PU 40.

Pro ocelové adherendy jsou výsledky naprosto shodné jako u hliníku, nejlepší i nejhorší hodnoty pevnosti ve smyku byly u stejných lepidel.

Na PVC měla nejlepší hodnoty pevnosti ve smyku lepidla Acralock SA 10-05 BLK a 3M Scotch-Weld DP8405NS. U zbylých lepidel lze říci, že hodnoty meze pevnosti ve smyku jsou obdobné.

Polykarbonátové adherendy nejlépe lepila lepidla Bison power adhesive, Soudal 60A, VERO-MAK 24 a Acralock SA 10-05 BLK. Zbylá lepidla měla opět obdobné výsledky a nebyla příliš vhodná k lepení tohoto typu adherendu.

K lepení dřeva jsou podle výsledného shrnutí nejvhodnější lepidla Bison power adhesive, TEKAFIX PU 40, Soudal 60A a VERO-MAK 24. Velmi nízké hodnoty meze pevnosti ve smyku vykazovalo lepidlo Acralock SA 10-05 BLK, 3M Scotch-Weld DP8405NS a Bison PU MAX.

Sololit podle konečných dat je vhodné lepit lepidly na bázi polyuretanů, které měli daleko lepší hodnoty meze pevnosti ve smyku než lepidla na bázi akrylátů.

Hodnoty tažnosti byly velmi malé, což poukazuje, že lepidla jsou tvrdá a křehká. Vyjimku tvořily pouze lepené spoje na PC, kde hodnoty byly vyšší oproti zbylým adherendům. Toto může být způsobeno tím, že docházelo k prodlužování samotného adherendu.

### 3.3 Výsledky měření DMA a TMA

Naměřené teploty skelného přechodu  $T_g$  a teploty  $T_1$  a  $T_2$  blízké  $T_g$ , jsou uvedeny v tabulce 18.

Tabulka 18: Výsledky měření DMA a TMA

Lepidlo	$T_1$ [°C]	$T_2$ [°C]	$T_g$ [°C]
Bison power adhesive	6,43	37,00	10,7
Bison PU MAX	-58,04	-46,50	-44,70
TEKAFIX PU 40	-52,98	-40,00	-47,70
Soudal 60A	-53,01	-24,50	-38,80
VERO-MAK 24	57,10	71,80	73,90
Acralock SA 10-05 BLK	-39,21	-27,30	-43,30
3M Scotch-Weld DP8405NS	-22,57	11,10	-0,80

Z měření je patrné, že hodnoty teplot  $T_1$ ,  $T_2$  a  $T_g$  jsou velmi rozdílné, rozdíly jsou způsobeny rozdílným chemickým složením a různými aditivy. To mělo za následek přizpůsobení teplotního režimu během měření pro lepidla VERO-MAK 24 a Bison power adhesive, které nebyly v rozmezí -70 až 25 °C, proto jsme zvolili rozsah 0 až 120 °C. Tyto hodnoty lze tedy brát jako hodnoty, které charakterizují dané lepidlo, proto zde není důvod k jejich vzájemnému porovnávání. Polyuretanová lepidla Bison PU MAX, TEKAFIX PU 40 a SOUDAL 60A mají velmi podobné hodnoty, z této skupiny má vyšší hodnoty pouze lepidlo Bison power adhesive. Akrylátová lepidla mají hodnoty teplot vyšší než lepidla polyuretanová. Velké rozdíly hodnot u akrylátových lepidel jsou pravděpodobně zapříčiněny různým složením výchozích monomerů, obsahem aditiv a u lepidla Acralock SA 10-05 BLK malým obsahem bisfenolu A.

## Závěr

Záměrem bakalářské práce byla řešena na polyuretanová, akrylátová lepidla, teorii lepení a důležitost úpravy lepeného povrchu pro kvalitu lepeného spoje. V úvodu je popsána problematika těchto dvou skupin lepidel se zaměřením na jejich vlastnosti, typy a využití. Dále je rozebrána teorie lepení spolu s úpravou lepených povrchů, jak z pohledu lepidla, tak lepeného adherendu. V poslední části je stručně shrnuto hodnocení kvality lepených spojů dle normy ČSN EN 1465.

V experimentální části byly použity celkem čtyři polyuretanová lepidla a tři akrylátová, celkem tedy sedm lepidel. Pomocí těchto lepidel byly vytvořeny lepené spoje a to celkem u šesti druhů adherendů. Takto připravené lepené spoje byly podrobeny měření pevnosti ve smyku na trhacím stroji MTS – 4/M. Během přípravy lepených spojů byly vytvořeny vzorky pro měření teplot blízkých teplotě skelného přechodu  $T_1$  a  $T_2$  pomocí metody DMA a ke změření teploty skelného přechodu  $T_g$  pomocí metody TMA.

Z celkového shrnutí vyplývá, že nejvyšší hodnoty pevnosti ve smyku na hliníku mělo lepidlo Acralock SA 10-05 BLK, stejně tomu bylo na ocelových, PVC a PC adherendech. Zde docházelo u hliníku, PVC a PC k porušení samotného adherendu, nikoliv lepeného spoje. Na dřevěných adherendech nejlépe vycházelo lepidlo Bison power adhesive, kdy opět docházelo k porušení adherendu. Lepidlo Bison PU MAX bylo nejvhodnější k lepení sololitu. Obecně je velmi těžké z tohoto spektra lepidel vybrat nejlepší lepidlo pro tuto skupinu adherendů. Musíme brát do úvahy druh lepeného materiálu a aplikační prostředí, od kterého se odvíjejí vlastnosti vzniklého lepeného spoje. Z tohoto spektra lepidel, co se týká „hobby“ oblasti by bylo nejvhodnější použít lepidlo Bison power adhesive, protože zde nedocházelo k velkým rozdílům ve výsledcích jako u ostatních konkurentů a jevílo se tedy jako nejuniverzálnější.

Teploty skelného přechodu u daného spektra lepidel se pohybovaly v rozmezí  $-60$  °C až  $80$  °C. Hodnoty pro každé lepidlo se lišily až na lepidla Bison PU MAX, TEKAFIX PU 40 a Soudal 60A, kde rozdíly nebyly tak patrné. Nejvyšší hodnotu  $73,9$  °C mělo lepidlo VERO-MAK 24, naopak vůbec nejnižší hodnotu mělo lepidlo TEKAFIX PU 40 a to  $-47,7$  °C. Naměřené hodnoty byly velmi rozdílné, protože lepidla mají velmi rozdílné chemické složení, a proto tyto hodnoty pouze charakterizují dané lepidlo a nejsou vhodné pro vzájemné porovnání.

## Zdroje použité literatury:

- 1 Metylan, Vše o tapetování – Lepidla [online], [cit. 2020-13-03].  
Dostupné z: <http://www.metylan.cz/vse-o-tapetovani/lepidla/teorie-lepeni.php>
- 2 BÜHNEN Polska – Tavné lepicí systémy, Oblasti použití [online], [cit. 2020-13-03].  
Dostupné z: <https://www.buehnen.de/cs/oblasti-pouziti>
- 3 ELUC elektronická učebnice, Řemesla – Lepidla [online], [cit. 2020-24-02]  
Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/1946>
- 4 Synthesia Technology, Polyurethane adhesives for panels [online], 28. 8. 2018, [cit. 2020-20-02]  
Dostupné z: <https://blog.synthesia.com/en/polyurethane-adhesives-panels>
- 5 3M katalog Polyuretanová lepidla [Online], [cit. 2020-18-02]  
Dostupné z: [https://www.3mcesko.cz/3M/cs\\_CZ/bonding-and-assembly-ctl/structural-adhesives/urethane-adhesives/](https://www.3mcesko.cz/3M/cs_CZ/bonding-and-assembly-ctl/structural-adhesives/urethane-adhesives/)
- 6 Křupalová, Z., Nauka o materiálech pro 1. a 2. ročník SOU učebního oboru truhlář, 2. vydání. Praha Sobotáles, 2004, ISBN 80-86817-02-04, [cit. 2020-10-02].  
Dostupné z: <https://www.bevedo.cz/napoveda/clanky/polyuretanova-lepidla/>
- 7 Licari, J. J., Swanson, D. W., *Adhesives Technology for Electronic Applications - Materials, Processing, Reliability*, 2. vydání, Elsevier Inc., 2011, [cit. 2019-25-10].  
Dostupné z: <https://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt008W96R1/adhesives-technology/properties-polyurethanes>
- 8 Permabond Engineering Adhesives, About Different Types of Acrylic Adhesives [online], [cit. 2020-20-02]  
Dostupné z: <https://www.permabond.com/2016/11/04/acrylic-adhesive/>

- 9 EUROPACK CHRUDIM s. r. o., Typy samolepicích pásek [online], [cit. 2020-20-02]  
Dostupné z: [http://www.europack.cz/clanky/\\_zobraz=typy-lepidel-samolepicich-pasek](http://www.europack.cz/clanky/_zobraz=typy-lepidel-samolepicich-pasek)
- 10 Tesa SE: Jak se z lepicí pásky stane vrcholový sportovec? [Online], 1. 9. 2016, [cit. 2020-15-02]  
Dostupné z: <https://www.tesa.com/cs-cz/wikitapia/jak-se-z-lepici-pasky-stane-vrcholovy-sportovec.html>
- 11 3M Průvodce výběrem strukturálních lepidel [Online], [cit. 2020-18-02]  
Dostupné z: [https://www.advasro.cz/userfiles/files/Prospekty/Pruvodce\\_vyberem\\_strukturalnich\\_lepidel.pdf](https://www.advasro.cz/userfiles/files/Prospekty/Pruvodce_vyberem_strukturalnich_lepidel.pdf)
- 12 3M Katalog akrylová lepidla [Online], [cit. 2020-18-02]  
Dostupné z: [https://www.3mcesko.cz/3M/cs\\_CZ/bonding-and-assembly-ctl/structural-adhesives/acrylic-adhesives/#discover](https://www.3mcesko.cz/3M/cs_CZ/bonding-and-assembly-ctl/structural-adhesives/acrylic-adhesives/#discover)
- 13 Osten, M., Práce s lepidly a tmely, 3. vydání, Praha, Státní nakladatelství technické literatury, 1986, 2. edice.
- 14 Osten, M., Lepení plastických hmot, 2. vydání, Praha, Státní nakladatelství technické literatury, 1974.
- 15 Gregor, M., Technologie a technika lepení základní informace, Lepidla.cz [online], 2011, [cit. 2019-09-09].  
Dostupné z: <https://www.lepidla.cz/cs/a/technologie-a-technika-lepeni--zakladni-informace.html>
- 16 Strojírenství, Výhody lepených spojů [online], [cit. 2020-15-03].  
Dostupné z: <https://strojirenstvi.studentske.cz/2008/10/vhody-lepench-spoj.html>
- 17 Bernardová, M., Špidlen, M., Teoretické základy lepeného spoje, 1997, [cit. 2020-16-03].  
Dostupné z: [http://www.orthodont-cz.cz/modul/casopis\\_clanek/soubory/Clanek-Ortodoncie-01-1997-01.pdf](http://www.orthodont-cz.cz/modul/casopis_clanek/soubory/Clanek-Ortodoncie-01-1997-01.pdf)

18 Frejdin, A., Pevnost' a životnost' lepených spojov, 1. vydání, Bratislava, Alfa vydavateľství technické a ekonomické literatury, 1981.

19 Bartovská, L., Šišková, M., Co je co v povrchové a koloidní chemii, Elektronické vydání, Vydavatelství VŠCHT Praha, 2005.

Dostupné z: [http://147.33.74.135/knihy/uid\\_es-001/hesla/uhel\\_smaceni.html](http://147.33.74.135/knihy/uid_es-001/hesla/uhel_smaceni.html)

20 Holub, J., Smáčivost povrchu vůči kapalinám a druhá viskozita kapalin, 2010, 37 s., Bakalářská práce, Vysoké Učení Technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství.

Dostupné z: [https://www.vutbr.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=29171](https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=29171)

21 Trhoň, V., Vliv povrchu na pevnost lepeného spoje, 2011, 100 s., Diplomová práce, Vysoké Učení Technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství.

Dostupné z: [https://www.vutbr.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=38664](https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=38664)

22 Taylor, P., Parker, R. S. R., Adhesion and Adhesives, 1. vydání, Londýn, Pergamon Press Ltd., 1966.

23 Běhálek, L., Polymery – Tepelné vlastnosti, Svitavy, Code Creator, 2016, ISBN 978-80-88058-68-7.

Dostupné z: <https://publi.cz/books/180/13.html>

24 Trhoň, V., Analýza lepidel ve všeobecném strojírenství, 2009, 39 s., Bakalářská práce, Vysoké Učení Technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství.

Dostupné z: [https://www.vutbr.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=16149](https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=16149)

25 Havránek, T., Vizualizace normálového a tečného napětí u lepených spojů, 2017, 76 s., Diplomová práce, Mendelova univerzita v Brně, Agronomická fakulta.

26 Růžička, V., Hodnocení nových úprav povrchů plechů používaných pro výrobu dílů karosérie, 2014, 52 s., Bakalářská práce, Technická Univerzita Liberec, Fakulta strojní.

- 27 Jeník, F., Studium vlivu úpravy povrchu na kvalitu spoje kov-plast, 2017, 47 s.,  
Bakalářská práce, České Vysoké Učení Technické v Praze, Fakulta strojní.
- 28 Aplikační list: Bison power adhesive, Bison
- 29 Aplikační list: Bison PU MAX, Bison
- 30 Aplikační list: TEKAFIX PU 40, TKK d.o.o. Slovinsko
- 31 Aplikační list: Konstrukční lepidlo Soudal 60A, Soudal N.V.
- 32 Aplikační list: VERO-MAK 24, Synpo a. s.
- 33 Aplikační list: Acralock SA 10-05 BLK, Acralock
- 34 Aplikační list: 3M Scotch-Weld DP8405NS zelené, 3M
- 35 Kouba, D., Polyurethanová lepidla. Pardubice, 2016. Středoškolská odborná činnost.  
Střední průmyslová škola chemická Pardubice.

## Seznam grafů

Graf 1: Mez pevnosti ve smyku – Bison power adhesive .....	45
Graf 2: Mez pevnosti ve smyku – Bison PU MAX .....	47
Graf 3: Mez pevnosti ve smyku – TEKAFIX PU 40 .....	50
Graf 4: Mez pevnosti ve smyku - Konstrukční lepidlo Soudal 60A .....	52
Graf 5: Mez pevnosti ve smyku – VERO-MAK 24.....	55
Graf 6: Mez pevnosti ve smyku – Acralock SA 10-05 BLK.....	57
Graf 7: Mez pevnosti ve smyku – 3M Scotch-Weld DP8405NS .....	60
Graf 8: Celkové porovnání mechanických vlastností u analyzované skupiny lepidel.....	62



## Seznam obrázků

Obrázek 1: Rozdělení přírodních lepidel [3] .....	12
Obrázek 2: Rozdělení syntetických lepidel [3] .....	13
Obrázek 3: Základní představa vzniku adheze a koheze .....	16
Obrázek 4: Struktura lepeného spoje [18] .....	18
Obrázek 5: Soustava pevná látka - kapka kapaliny .....	19
Obrázek 6: Úhel smáčení kapalin: $a - \theta = 0$ , $b - \theta < 90^\circ$ , $c - \theta > 90^\circ$ , $d - \theta = 180^\circ$ .....	20
Obrázek 7: Geometrie povrchu materiálu: 1 – Válcová uzavřená nerovnost, 2 – Kónická uzavřená nerovnost, 3 – Kónická otevřená nerovnost, 4 – Miskovitá nerovnost a 5 – Plochá kónická nerovnost [14] .....	22
Obrázek 8: Lepidlo Bison power adhesive .....	31
Obrázek 9: Lepidlo Bison PU MAX .....	32
Obrázek 10: Lepidlo TEFAFIX PU 40 .....	33
Obrázek 11: Konstrukční lepidlo Soudal 60A .....	34
Obrázek 12: Lepidlo VERO-MAK 24 .....	35
Obrázek 13: Lepidlo Acralock SA 10-05 BLK .....	36
Obrázek 14: Lepidlo 3M Scotch-Weld DP8405NS .....	36
Obrázek 15: Lepicí forma .....	38
Obrázek 16: Postup lepení 1 [35] .....	38
Obrázek 17: Postup lepení 2 [35] .....	39
Obrázek 18: Trhací stroj MTS – 4/M .....	40
Obrázek 19: Čelisti trhacího stroje .....	40
Obrázek 20: TMA CXO4R .....	41
Obrázek 21: Ukázka vyhodnocení TMA u lepidla TEKAFIX PU 40 .....	41
Obrázek 22: DMA DX04T .....	43
Obrázek 23: : Ukázka vyhodnocení DMA u lepidla TEKAFIX PU 40 .....	43
Obrázek 24: Ocel – Bison power adhesive .....	45
Obrázek 25: Hliník – Bison power adhesive .....	45
Obrázek 26: PC – Bison power adhesive .....	46
Obrázek 27: PVC – Bison power adhesive .....	46
Obrázek 28: Dřevo – Bison power adhesive .....	46
Obrázek 29: Sololit – Bison power adhesive .....	46
Obrázek 30: Hliník – Bison PU MAX .....	48

Obrázek 31: Ocel - Bison PU MAX.....	48
Obrázek 32:PC – Bison PU MAX .....	48
Obrázek 33: PVC – Bison PU MAX.....	48
Obrázek 34: Dřevo – Bison PU MAX.....	49
Obrázek 35: Sololit – Bison PU MAX .....	49
Obrázek 36:Hliník – TEKAFIX PU 40.....	50
Obrázek 37: Ocel – TEKAFIX PU 40.....	50
Obrázek 38:PC – TEKAFIX PU 40 .....	51
Obrázek 39:PVC – TEKAFIX PU 40 .....	51
Obrázek 40:Dřevo – TEKAFIX PU 40 .....	51
Obrázek 41:Sololit – TEKAFIX PU 40.....	51
Obrázek 42: Hliník – Soudal 60A.....	53
Obrázek 43: Ocel – Soudal 60A .....	53
Obrázek 44: PC – Soudal 60A .....	53
Obrázek 45: PVC – Soudal 60A .....	53
Obrázek 46: Dřevo – Soudal 60A .....	54
Obrázek 47: Sololit – Soudal 60A .....	54
Obrázek 48: Hliník – VERO-MAK 24.....	55
Obrázek 49: Ocel – VERO-MAK 24 .....	55
Obrázek 50: PC – VERO-MAK 24.....	56
Obrázek 51: PVC – VERO-MAK 24.....	56
Obrázek 52: Dřevo – VERO-MAK 24.....	56
Obrázek 53: Sololit – VERO-MAK 24 .....	56
Obrázek 54: Hliník – Acralock SA 10-05 BLK.....	58
Obrázek 55: Ocel – Acralock SA 10-05 BLK .....	58
Obrázek 56: PC – Acralock SA 10-05 BLK.....	58
Obrázek 57: PVC – Acralock SA 10-05 BLK.....	58
Obrázek 58: Dřevo – Acralock SA 10-05 BLK.....	59
Obrázek 59: Sololit – Acralock SA 10-05 BLK.....	59
Obrázek 60: Hliník – 3M Scotch-Weld DP8405NS .....	60
Obrázek 61: Ocel – 3M Scotch-Weld DP8405NS.....	60
Obrázek 62: PC – 3M Scotch-Weld DP8405NS .....	61
Obrázek 63: PVC – 3M Scotch-Weld DP8405NS.....	61

Obrázek 64: Dřevo – 3M Scotch-Weld DP8405NS.....	61
Obrázek 65: Sololit – 3M Scotch-Weld DP8405NS.....	61

## Seznam tabulek

Tabulka 1: Hodnoty koeficientu délkové teplotní roztažnosti $\alpha$ různých materiálů [23].....	26
Tabulka 2: Vlastnosti – Bison power adhesive.....	31
Tabulka 3: Vlastnosti – Bison PU MAX.....	32
Tabulka 4: Vlastnosti – TEKAFIX PU 40.....	33
Tabulka 5: Vlastnosti – Konstrukčního lepidla Soudal 60A.....	34
Tabulka 6: Vlastnosti – VERO-MAK 24.....	35
Tabulka 7: Vlastnosti – Acralock SA 10-05 BLK.....	35
Tabulka 8: Vlastnosti – 3M Scotch-Weld DP8405NS.....	36
Tabulka 9: Výsledky měření pevnosti ve smyku – Bison power adhesive.....	44
Tabulka 10: Výsledky měření pevnosti ve smyku – Bison PU MAX.....	47
Tabulka 11: Výsledky měření pevnosti ve smyku – TEFAFIX PU 40.....	49
Tabulka 12: Výsledky měření pevnosti ve smyku – Konstrukční lepidlo Soudal 60A.....	52
Tabulka 13: Výsledky měření pevnosti ve smyku – VERO-MAK 24.....	54
Tabulka 14: Výsledky měření pevnosti ve smyku – Acralock SA 10-05 BLK.....	57
Tabulka 15: Výsledky měření pevnosti ve smyku – 3M Scotch-Weld DP8405NS.....	59
Tabulka 16: Přehled porušení lepených spojů (✘- neprojevení porušení, ✔- projevení porušení a ✔* - porušení v adherendu).....	63
Tabulka 17: Přehled porušení lepených spojů (✘- neprojevení porušení, ✔- projevení porušení a ✔* - porušení v adherendu).....	64
Tabulka 18: Výsledky měření DMA a TMA.....	66

## Seznam vzorců

Vzorec 1: Uretanová skupina.....	14
----------------------------------	----

## Seznam rovnic

Rovnice 1: Tvary Youngovy rovnice .....	19
Rovnice 2: Youngova rovnice pro $\theta = 0$ .....	20
Rovnice 3: Výpočet pevnosti ve smyku .....	30

## Seznam zkratk

DMA	dynamická termomechanická analýza
OSB deska	deska lisovaná z orientovaných rozprostřených třísek
PA	polyamid
PC	polykarbonát
PE	polyethylen
PET	polyethylentereftalát
PIB	polyisobutylem
MMA	methylnmethakrylát
PMMA	polymethylnmethakrylát
PP	polypropylen
PTFE	polytetrafluorethylen
PVC	polyvinylchlorid
$T_1$	teplota blízká teplotě skelného přechodu
$T_2$	teplota blízká teplotě skelného přechodu
$T_g$	teplota skelného přechodu
TMA	termomechanická analýza
$\alpha$	koeficient délkové teplotní roztažnosti