

# Lepení neplněného polypropylenu

Ondřej Kopunec

---

Bakalářská práce  
2012



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická  
Ústav výrobního inženýrství  
akademický rok: 2011/2012

## **ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Ondřej KOPUNEC**  
Osobní číslo: **T090015**  
Studijní program: **B 3909 Procesní inženýrství**  
Studijní obor: **Technologická zařízení**

Téma práce: **Lepení neplněného PP**

Zásady pro vypracování:

- 1. Vypracování literární studie na dané téma**
- 2. Příprava zkušebních vzorečků na experimentální část**
- 3. Provedení experimentu**
- 4. Vyhodnocení naměřených výsledků**

Rozsah bakalářské práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

**Dle doporučení vedoucího práce.**

Vedoucí bakalářské práce:

**Ing. Martin Bednařík**  
Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání bakalářské práce:

**13. února 2012**

Termín odevzdání bakalářské práce:

**25. května 2012**

Ve Zlíně dne 9. února 2012

  
doc. Ing. Roman Čermák, Ph.D.  
*děkan*



  
prof. Ing. Berenika Hausnerová, Ph.D.  
*ředitel ústavu*

Příjmení a jméno: KOPUNEC ONDŘEJ.....

Obor: Technologická zařízení

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby <sup>1)</sup>;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen na příslušném ústavu Fakulty technologické UTB ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3 <sup>2)</sup>;
- beru na vědomí, že podle § 60 <sup>3)</sup> odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 <sup>3)</sup> odst. 2 a 3 mohu užít své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Ve Zlíně 22. května 2012

Kopunec Ondřej

<sup>1)</sup> zákon č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, § 47 Zveřejňování závěrečných prací:

(1) Vysoká škola nevydělčně zveřejňuje disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce, u kterých proběhla obhajoba, včetně posudků oponentů a výsledku obhajoby prostřednictvím databáze kvalifikačních prací, kterou spravuje. Způsob zveřejnění stanoví vnitřní předpis vysoké školy.

(2) Disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce odevzdané uchazečem k obhajobě musí být též nejméně pět pracovních dnů před konáním obhajoby zveřejněny k nahlížení veřejnosti v místě určeném vnitřním předpisem vysoké školy nebo není-li tak určeno, v místě pracoviště vysoké školy, kde se má konat obhajoba práce. Každý si může ze zveřejněné práce pořizovat na své náklady výpisy, opisy nebo rozmnoženiny.

(3) Platí, že odevzdáním práce autor souhlasí se zveřejněním své práce podle tohoto zákona, bez ohledu na výsledek obhajoby.

<sup>2)</sup> zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 35 odst. 3:

(3) Do práva autorského také nezasahuje škola nebo školské či vzdělávací zařízení, užije-li nikoli za účelem přímého nebo nepřímého hospodářského nebo obchodního prospěchu k výuce nebo k vlastní potřebě dílo vytvořené žákem nebo studentem ke splnění školních nebo studijních povinností vyplývajících z jeho právního vztahu ke škole nebo školskému či vzdělávacímu zařízení (školní dílo).

<sup>3)</sup> zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 60 Školní dílo:

(1) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení mají za obvyklých podmínek právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla (§ 35 odst. 3). Odpírá-li autor takového díla udělit svolení bez vážného důvodu, mohou se tyto osoby domáhat nahrazení chybějícího projevu jeho vůle u soudu. Ustanovení § 35 odst. 3 zůstává nedotčeno.

(2) Není-li sjednáno jinak, může autor školního díla své dílo užít či poskytnout jinému licenci, není-li to v rozporu s oprávněnými zájmy školy nebo školského či vzdělávacího zařízení.

(3) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení jsou oprávněny požadovat, aby jim autor školního díla z výdělku jím dosaženého v souvislosti s užitím díla či poskytnutím licence podle odstavce 2 přiměřeně přispěl na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložily, a to podle okolností až do jejich skutečné výše; přitom se přihlídí k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

## **ABSTRAKT**

Bakalářská práce se zabývá lepením neplněného polypropylenu. V teoretické části jsou shrnuty základy technologie lepení, zkoušení lepených spojů a rozdělení lepidel. Praktická část řeší přípravu lepených spojů a jejich zkoušky na trhacím stroji Zwick 1456. Měření byly vyhodnocovány vzorky ze základního materiálu, vzorky lepených spojů s neupraveným povrchem, spoje s povrchovou úpravou primerem a radiačním síťováním.

Klíčová slova: Lepení, lepené spojení, pevnost, lepidlo.

## **ABSTRACT**

This bachelor thesis deals with bonding of unfilled polypropylene. The theoretical part summarizes the basics of the technology of bonding, testing of bonding and distribution. The practical part deals with the preparation of bonding and its testing with the testing machine Zwick 1456. The basic material samples, samples of bonds without a modified surface and samples of bonds with a primer-enhanced surface were evaluated by measurement.

Key words: Bonding, adhesive joints, strength, glue.

Tímto bych chtěl poděkovat vedoucímu své bakalářské práce, panu Ing. Martinu Bednaříkovi za odborné vedení a rady, pomoc při zpracování bakalářské práce.

Prohlašuji, že odevzdaná verze bakalářské práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

# OBSAH

<b>ÚVOD</b> .....	<b>10</b>
<b>I TEORETICKÁ ČÁST</b> .....	<b>11</b>
<b>1 ZÁKLADY TEORIE LEPENÍ PLASTŮ</b> .....	<b>12</b>
1.1 STRUKTURA LEPENÉHO SPOJE.....	12
1.2 VÝHODY A NEVÝHODY LEPENÝCH SPOJŮ .....	13
1.2.1 Výhody lepených spojů.....	14
1.2.2 Nevýhody lepených spojů .....	14
1.3 VÝZNAM LEPENÝCH SPOJŮ S POROVNÁNÍ S KLASICKÝMI METODAMI SPOJŮ .....	14
<b>2 TEORIE ADHEZE A KOHEZE</b> .....	<b>15</b>
2.1 TEORIE MECHANICKÉ ADHEZE.....	15
2.2 TEORIE SPECIFICKÉ ADHEZE .....	16
2.2.1 Teorie polarizace .....	16
2.2.2 Teorie elektrostatická .....	17
2.2.3 Teorie difúze .....	17
2.2.4 Reologická teorie .....	18
<b>3 PEVNOST ADHERENDU A CHYBY LEPENÝCH SPOJŮ</b> .....	<b>19</b>
3.1 PEVNOST ADHERENDU.....	19
3.2 HLAVNÍ CHYBY LEPENÝCH SPOJŮ .....	20
3.2.1 Nízká pevnost lepeného spoje.....	20
3.2.2 Slabá odolnost složek spojení proti prostředí.....	20
3.2.3 Nízká životnost.....	21
3.2.4 Chyby vzhledu .....	21
3.2.5 Funkční nedostatky .....	21
3.2.6 Jiné nedostatky a jejich nevýhody.....	21
<b>4 ROZDĚLENÍ A VOLBA LEPIDEL</b> .....	<b>22</b>
4.1 ZÁKLADNÍ DĚLENÍ LEPIDEL .....	22
4.2 DRUHY LEPIDEL .....	23
4.3 HLAVNÍ POUŽITÍ JEDNOTLIVÝCH DRUHŮ LEPIDEL.....	23
4.4 OBECNÝ POSTUP VOLBY LEPIDLA .....	25
4.4.1 Druhy lepené hmoty .....	25
4.4.2 Namáhání lepeného spoje .....	26
4.4.3 Technologické podmínky lepení .....	26
<b>5 TECHNOLOGICKÝ POSTUP LEPENÍ</b> .....	<b>27</b>
5.1 PŘÍPRAVA POVRCHU LEPENÉHO MATERIÁLU (ADHERENDU) .....	27
5.2 PŘÍPRAVA LEPIDLA .....	27
5.3 MONTÁŽ LEPENÉHO SPOJE.....	27
5.4 VYTVOŘENÍ PEVNÉHO LEPENÉHO SPOJE .....	28
<b>6 ZÁKLADNÍ DRUHY LEPENCÝ SPOJŮ</b> .....	<b>29</b>
6.1 PŘEKRYTÝ SPOJ .....	30
<b>7 ZKOUŠKY PEVNOSTI LEPENÝCH SPOJŮ</b> .....	<b>32</b>
7.1 DESTRUKTIVNÍ ZKOUŠKY .....	32
7.1.1 Metody nerovnoměrného odtrhnutí.....	32



7.1.2	Metody rovnoměrného odtrhnutí .....	33
7.1.3	Metody s využitím namáhání ve smyku.....	34
7.1.4	Únavové zkoušky lepených spojů.....	34
7.2	NEDESTRUKTIVNÍ ZKOUŠKY .....	35
<b>II</b>	<b>PRAKTICKÁ ČÁST .....</b>	<b>37</b>
<b>8</b>	<b>CÍL BAKALÁŘSKÉ PRÁCE .....</b>	<b>38</b>
<b>9</b>	<b>VLASTNOSTI ZVOLENÉHO MATERIÁLU .....</b>	<b>39</b>
<b>10</b>	<b>VLASTNOSTI ZVOLENÝCH LEPIDEL.....</b>	<b>41</b>
10.1	KYANOAKRYLÁTOVÁ LEPIDLA FIRMY CYBERBOND.....	41
10.1.1	CYBERBOND 1008 .....	42
10.1.2	CYBERBOND 2008 .....	43
10.1.3	CYBERBOND 2028 .....	44
10.2	DVOUSLOŽKOVÁ METHAKRYLÁTOVÉ LEPIDLA FIRMY PLEXUS.....	45
10.2.1	Plexus MA300.....	46
10.2.2	Plexus MA832.....	47
<b>11</b>	<b>VÝROBA ZKUŠEBNÍCH VZORKŮ .....</b>	<b>48</b>
11.1	PŘÍPRAVA ZKUŠEBNÍCH TĚLÍSEK NA LEPENÍ .....	49
11.1.1	Radiační síťování .....	50
11.1.2	Povrchová úprava primerem CYBERBOND 9056.....	51
11.2	PŘÍPRAVA LEPIDEL .....	52
11.3	VLASTNÍ LEPENÍ VZORKŮ .....	53
11.4	TAHOVÁ ZKOUŠKA LEPENÝCH SPOJŮ.....	55
<b>12</b>	<b>VYHODNOCENÍ NAMĚŘENÝCH VÝSLEDKŮ TAHOVÝCH ZKOUŠEK.....</b>	<b>57</b>
12.1	VLIV OZÁŘENÍ NA PEVNOST ZÁKLADNÍCH MATERIÁLŮ.....	57
12.2	VYHODNOCENÍ ZKOUŠEK LEPENÝCH SPOJŮ LEPIDLEM CYBERBOND 1008.....	58
12.3	VYHODNOCENÍ ZKOUŠEK LEPENÝCH SPOJŮ LEPIDLEM CYBERBOND 2008.....	60
12.4	VYHODNOCENÍ ZKOUŠEK LEPENÝCH SPOJŮ LEPIDLEM CYBERBOND 2028.....	62
12.5	VYHODNOCENÍ ZKOUŠEK LEPENÝCH SPOJŮ LEPIDLEM PLEXUS MA832 .....	63
12.6	VYHODNOCENÍ ZKOUŠEK LEPENÝCH SPOJŮ LEPIDLEM PLEXUS MA300 .....	64
12.7	POROVNÁNÍ VÝSLEDKŮ NEJVYŠŠÍCH PEVNOSTÍ LEPENÝCH SPOJŮ.....	65
	<b>DISKUZE VÝSLEDKŮ .....</b>	<b>67</b>
	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>68</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....</b>	<b>69</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....</b>	<b>71</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>72</b>
	<b>SEZNAM TABULEK.....</b>	<b>74</b>
	<b>SEZNAM PŘÍLOH.....</b>	<b>75</b>

## ÚVOD

Lepidla a jejich používání jsou starší jako sama historie, pokud historií rozumíme období, o kterém se zachovaly jakékoliv písemné dokumenty. Lepení bylo známé dříve, jako byl člověk schopný zaznamenávat historii, proto dokumenty o lepení nacházíme jen ve formě zachovaných výrobků. Počátky lepení je třeba hledat ještě v době kamenné, když pračlověk objevil lepivost některých látek. Přírodní živice ze stromů a rostlin, hlína, vosky byly prvním adhezním spojením, ale o lepidlech v dnešní podobě je nemůžeme srovnávat. Poznatek, že některé předměty se dají navzájem dobře spojit, vznikl pravděpodobně náhodou kdysi v předhistorii a je celkem možné, že přibližně ve stejném období na různých místech. Praktický život rozšířil tento poznatek pomocí výměny výrobků a zkušeností tak, že primitivní způsoby lepení byly poměrně široce známé. Důkazem tohoto se zdá být skutečnost, které se zachovala napříč rozličným vlivům je kořen slova lepidlo a lepení je v mnoha jazycích podobný. Například latinské *lutum* je dost zřetelně zodpovídá německému *Leim* nebo *Lehm*. Latinské *gluten*, od kterého zřejmě pochází anglicky *glue*, má velmi blízko ruskému slovu *klej* a k řeckému *gleba*. [5]

## **I. TEORETICKÁ ČÁST**

## 1 ZÁKLADY TEORIE LEPENÍ PLASTŮ

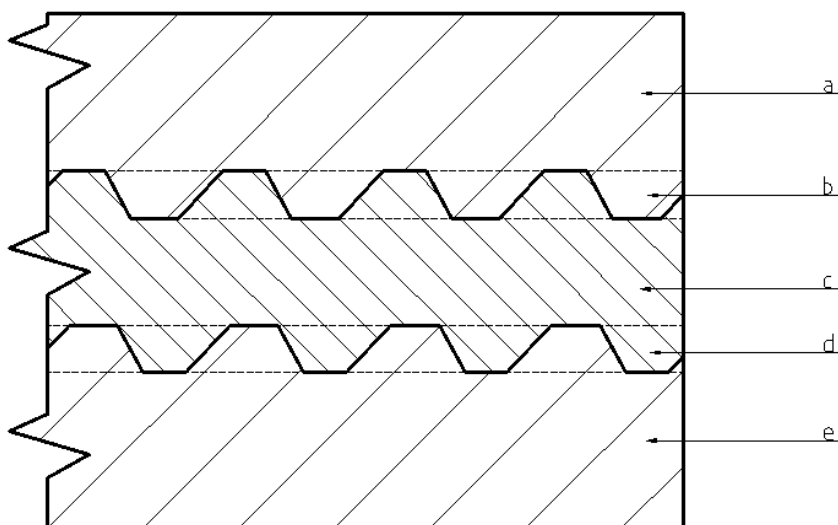
Lepení plastů lze charakterizovat jako technologický proces, při kterém se vytváří nerozebíratelné spojení dvou stejných nebo odlišných materiálů za použití zvoleného adheziva (lepidla). Na rozdíl od lepení kovů se lepení polymerů jeví jako jednoduché spojování polymerů polymerů, ale ve skutečnosti to tak jednoduché není. Polymerní materiály jsou totiž mnohem komplikovanější než kovy a liší se nejenom molekulovou hmotností, ale i množstvím přísad (barviva, změkčovadla, stabilizátory, atd.), z nichž mnohé přímo brání lepení. Pevnost lepeného spoje závisí na čtyřech parametrech:

- a) přilnavosti lepidla k lepenému povrchu (adheze),
- b) na soudržnosti hmoty lepidla (koheze),
- c) na smáčivosti lepeného povrchu kapalným lepidlem,
- d) na pevnosti (soudržnosti) lepeného materiálu. [6,7]

### 1.1 Struktura lepeného spoje

Každý konstrukčně pevný lepený spoj lze považovat za soubor pěti navzájem vázaných vrstev, kde míra adheze každé jednotlivé vrstvy k vrstvám sousedním i koheze vrstev samých může značně ovlivnit celkovou kvalitu spoje. Jde o tyto vrstvy:

1. lepený materiál na jedné straně spoje,
2. mikrovrstva, v níž se lepidlo a nerovnosti (póry) povrchu lepené hmoty prolínají, na druhé straně spoje,
3. vlastní film lepidla,
4. mikrovrstva, v níž se lepidlo a nerovnosti (póry) povrchu lepené hmoty prolínají, na druhé straně spoje,
5. lepený materiál na druhé straně spoje. [1]



Obr. 1. Schématické složení lepeného spoje. [1]

*a - povrch hmoty na jedné straně spoje; b - mezivrstva, v níž se prolíná lepidlo a mikropórovitý povrch hmoty na jedné straně spoje; c - film lepidla; d - mezivrstva, v níž se prolíná lepidlo a mikropórovitý povrch hmoty na druhé straně spoje, e - povrch hmoty na druhé straně spoje*

Schéma lepeného spoje je znázorněno na předchozím obrázku (Obr. 1). Spoj takové struktury může ovšem vzniknout jen za určitých podmínek. Především se musí zvolit lepidlo, u něhož lze předpokládat maximální specifickou adhezi k dané hmotě. Lepidlo musí být rovnoměrně naneseno na jednu nebo obě styčné plochy, které musí dokonale smáčet. Po uzavření spoje se musí lepidlo ve spáře stejnoměrně rozrstvit, musí proniknout do mikroskopických pórů povrchu a vytvořit aktivní film. Nakonec je třeba, aby lepidlo ve spáře přešlo z tekuté fáze do fáze tuhé (u klasických tekutých lepidel) nebo z tuhé pevné fáze do fáze tekuté a znovu do fáze tuhé (u taveninových lepidel). [1]

## 1.2 Výhody a nevýhody lepených spojů

Lepení se i jako jiné zpracovatelské metody, vyznačuje nejen mnoha výhodami, ale i některými zápornými a limitujícími činiteli, např. vyššími nároky na čistotu a přesnost práce. Při rozhodování o typu spoje je třeba uvážit výhody a nevýhody lepených spojů od tradičních způsobů spojování. [3]

### 1.2.1 Výhody lepených spojů

Lepení dovoluje spojovat materiály stejné nebo i různorodé bez ohledu na jejich tloušťku. Aplikací lepidel není narušena celistvost spojovaných částí a spojení může být vodotěsné i plynotěsné. Není narušován profil ani estetický vzhled lepených částí. Dále lepené spoje tlumí vibrace v konstrukci a zvyšuje tuhost. Lepený spoj zabraňuje vzniku elektrolytické koroze kovových adherendů a lepením se nezvyšuje hmotnost spojovaných částí, čím je jedním z předpokladů miniaturizace. Spoje také mohou být barevně přizpůsobitelné, ale i průhledné. Lze dosahovat vysokých pevností spojů, především při namáhání ve smyku a rázové pevnosti. [3]

### 1.2.2 Nevýhody lepených spojů

Lepení klade vysoké požadavky na čistotu a rovnost povrchu lepených částí, jsou nutné různé úpravy povrchu u adherendů se špatnými adhezními vlastnostmi. Konstrukční spoje nejsou rozebíratelné a většina lepených spojení je náchylná na namáhání v odlupování. Životnost reaktivních směsí je omezena a maximální pevnost spojení vzniká až po dosažení určité doby. Je omezena odolnost vůči vyšším teplotám. Spoje jsou citlivější k dlouhodobému statickému namáhání, které vede k tečení polymerní složky lepidla. [3]

## 1.3 Význam lepených spojů s porovnáním s klasickými metodami spojů

Nejdůležitější výhodou lepených spojů ve srovnání s klasickými metodami spojování je zvýšení celkové pevnosti vhodně konstruovaného spoje. Při nýtování a šroubování otvory zmenšují průřez spojovaných dílů a kromě toho vyvolávají vysokou koncentraci napětí, takže spojovaný materiál nemůže být pevnostně využit. Pevnostní výhody lepených spojů oproti svařovaným spojům nejsou vždy tak jednoznačné, jako je tomu při porovnání s nýtováním a šroubováním. [2]

Další výhodou lepení oproti nýtování a svařování je to, že nedochází k narušování struktury a zachovává se vnější vzhled. [6]

## 2 TEORIE ADHEZE A KOHEZE

Vyvolání vzájemné přitažlivosti mezi dvěma tuhými materiály bez použití lepidla by předpokládalo, že spojované plochy materiálů budou k sobě přiblíženy na molekulární vzdálenost. Tento požadavek nelze v podstatě splnit, protože kontaktní plochy by musely být absolutně rovné a absolutně souběžné i absolutně čisté. Pokud zanedbáme technickou obtížnost takové úpravy, ztroskotáme nakonec na tom, že i nejhladší a nejčistší povrch je nerovný a je znečištěn stopami plynů a vodních par absorbovaných v jeho mikropórech. [3]

Snadněji než mezi pevnými látkami vzniká přilnavost mezi povrchy pevných a tekutých, nebo měkkých látek. Kapalina se přizpůsobí nerovnostem povrchu a dokáže z mikropórů povrchu vypudit většinu pohlcených par a plynů. Aby se kapalina stala lepidlem, musí lepený povrch dobře smáčet a za určených podmínek přejít do pevného stavu. Určitou výjimkou jsou lepidla citlivá na tlak s tzv. samolepícím efektem, fungující převážně na bázi mechanického zakotvení. [3]

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. [3]

Pro pevnost lepeného spoje má význam nejen adheze lepidla k adherendu, ale i soudržnost filmu lepidla po ztuhnutí nebo vytvrzení. Jde o tzv. kohezi, jejíž hodnoty závisí na složení filmu lepidla v konečné fázi lepení. Podstatu adhezních jevů se pokusilo teoreticky i experimentálně objasnit řada autorů. [3]

Koheze představuje vlastní pevnost vrstvy lepidla. Jestliže se lepený spoj roztrhne ve vrstvě lepidla, znamená to, že adheze i pevnost lepeného materiálu je vyšší než koheze. Kohezní pevnost závisí na charakteru lepidla (dvousložkové epoxidy mají vysokou kohezi; měkké akryláty pro výrobu trvale lepivých samolepících etiket mají nízkou kohezi) a na tepelném namáhání lepeného spoje (většina jednosložkových lepidel jsou termoplasty a měknou při zvyšování teploty). [7]

### 2.1 Teorie mechanické adheze

Mezi prvními, kdo vyslovili názor na podstatu adheze, byli ve dvacátých letech tohoto století McBain a D. G. Hopkins. V teorii mechanické adheze se pokusili vysvětlit soudržnost lepených spojení tím, že lepidlo nejprve pronikne do pórů a nerovností povrchu, kde ztuhnutí vytvoří mechanicky prolnutý systém, podobný spojení pomocí velkého počtu mi-

niaturních kuliček. Tato teorie dlouho neobstála. Například McLaren prokázal, že spoje dřeva na řezech podélných k vláknům vykazují vyšší mechanické pevnosti než spoje čelních řezů, kde je četnost pórů vyšší a mělo by tedy docházet k lepšímu zakotvení. Pro vysvětlení adheze lepidel k neporézním materiálům, např. ke sklu a kovům, je teorie mechanické adheze nepoužitelná. [3]

## 2.2 Teorie specifické adheze

### 2.2.1 Teorie polarizace

K prvním pracím, které se zabývají vztahem adheze a vzájemné účinnosti molekul lepené hmoty a lepila, náleží teorie polarizace, kterou publikoval de Bruyn v roce 1935. Je známo, že atomy prvků jsou v molekule spojeny pevnými chemickými vazbami, které jsou označovány jako primární. Tyto vazby se vyskytují ve třech různých podobách, a to jako vazby elektrovalentní (iontové), kovalentní a kovové. Liší se jednak oblastmi výskytu a hodnotami disociační energie potřebné k jejich zrušení. Kromě primárních vazeb mezi atomy se ve hmotě předpokládá existence dalších přitažlivých sil působících mezi molekulami, které označujeme jako sekundární. Tyto síly fyzikálního charakteru jsou označovány jako síly Van der Waalsovy. Dělí se dále na elektrostatické síly Keesomovy, indukční síly Debyeovy a disperzní síly Londonovy. [3]

Většina autorů se shoduje v názoru, že vznik specifické adheze mezi adherendem a adhezivem je podmíněn zdárným průběhem dvou na sebe navazujících fází. Podmínkou první je absolutní kontakt molekul lepidla s molekulami adherendu. Ve druhé fázi dojde za příznivých podmínek k absorpci, tj. k zachycení molekul lepidla na lepeném povrchu vlivem sekundárních přitažlivých sil. [3]

Elektrostatické síly Keesomovy jsou následkem vzájemného působení permanentních dipólů, tj. molekul s asymetrickým rozložením elektrických nábojů. K jejich vzniku dochází tak, že při vazbě dvou různých atomů není společný elektronový pár vždy ve stejné vzdálenosti oběma atomům, ale bývá posunut k atomu, který jej více přitahuje. Tento atom získá náboj záporný a druhý atom náboj kladný, přitom vazba mezi nimi nabývá polárního charakteru. Podle polohy elektricky aktivních míst je možné molekuly rozlišit takto:

- molekuly bez aktivních míst – nepolární,
- molekuly s aktivně negativními místy – negativně polární,
- molekuly s aktivně pozitivními místy – pozitivně polární,



– molekuly s aktivně pozitivními a aktivně negativními místy – pozitivně. [3]

Tab. 1. Adhezní vlastnosti polymerů. [3]

Adherend	Polarita	Rozpustnost v organických rozpouštědlech	Adhezní vlastnosti
Polyethylen	nepolární	nerozpustný	špatné
Polypropylen	nepolární	nerozpustný	špatné
Polyisobutylen	nepolární	rozpustný	dobré
Polystyren	nepolární	rozpustný	dobré
Polyvinylchlorid	polární	rozpustný	dobré
Polymethylmethakrylát	polární	rozpustný	dobré
Polyamid	polární	nerozpustný	špatné

### 2.2.2 Teorie elektrostatická

Derjagin, Krotovova a Morozovová v letech 1948 až 1950 zjistili, že přilnavost filmu lepidla na kov nebo makromolekulární plasty závisí na rychlosti odtrhování spoje. Hodnoty energie naměřené při odtržení byly vyšší, než by odpovídalo účinkům mezimolekulární přitažlivosti. Při zvyšování rychlosti odtrhování spojů ve vakuu byla kromě tohoto pozorována emise elektronů. Byl vysloven názor, že při úzkém kontaktu dvou nestejných polymerů nebo polymeru a kovu dochází mezi oběma materiály k přechodu elektronů. Jedna z hraničních vrstev se stává chudší a druhá bohatší na elektrony, což podle uvedené teorie vede k vytvoření dvojvrstvy, která je jakýmsi mikrokondenzátorem. Působí-li pak síla ve směru oddálení obou vrstev, zvětšuje se rozdíl potenciálů až do momentu roztržení, kdy se rozdíl vyrovná. Závislost odporu působícího proti odtrhávající síle na rychlosti odtrhování byla vysvětlena tím, že při pomalém odtrhování mohou elektrické náboje pomalu odtekat, kdežto při zvýšené rychlosti odtrhování je tomu naopak. [3]

### 2.2.3 Teorie difúze

Za zakladatele je považován S.S. Vojutskij, který vychází v podstatě z mechanické teorie s tím, že místo úrovně mikroskopické, uvažuje úroveň molekulární. Jejím základem byly studie autoadheze polymerů. V takových případech uplatňuje interdifúze makromolekulár-

ních segmentů přes fázové rozhraní tak výrazně, že vede k vymezení fázového rozhraní. Pokud jsou makromolekulární segmenty různých polymerů dostatečně pohyblivé a vzájemně kompatibilní (rozpustné) může se interdifuze uplatnit i v případech rozdílných polymerů. Pevnost adhezního spojení pak závisí na několika faktorech, především na:

- době kontaktu,
- teplotě,
- charakteru polymerů,
- molekulární hmotnosti polymerů. [4]

#### 2.2.4 Reologická teorie

Je to nejnovější teorie, podle které je adheze způsobená na rozhraní dvou materiálů a pevnost adhezivního (lepeného) spoje je dána zásadně fyzikálně-mechanickými a reologickými vlastnostmi materiálů, které vytváří lepený systém. Při podrobném zkoumání přetržení se zjistilo, že roztržení pravého spoje nikdy neproběhne na jeho rozhraní, ale v jednom nebo druhém materiálu (kohezní lom). Proto velký význam bude mít koheze jednotlivých součástí systému. Z tohoto docházíme k závěru, že cokoliv způsobuje mezifázovou adhezi, pevnost lepeného spoje je dána mechanickými vlastnostmi materiálů vytvářející spoj a napětími ve spoji a ne mezifázovými silami, přestože lom je v podstatě vždy kohezní. [4]

Toto vysvětlení neřeší otázky příčiny vzniku spoje, ale umožňuje realistické výpočty pevnosti spojení. Nezabírá se silami, které vyplývají na pevnost spoje, ale bere do úvahy jevy, které utváří vazebnou vrstvu a její vlastnosti.

Musíme ovšem brát do úvahy nevyhnutelnost lepidla pro vznik spoje. Z toho vyplývá, že akceptujeme hlavní úlohu koheze, musíme zabezpečit podmínky pro vznik vazebné vrstvy mezi adhezí a adherendem. [4]

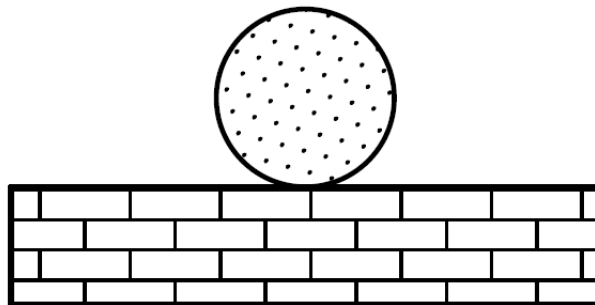
### 3 PEVNOST ADHERENDU A CHYBY LEPENÝCH SPOJŮ

Lepený spoj je náročný systém, jehož kvalita závisí na mnoha faktorech. Pro svou nespornou výhodnost se tento způsob spojování stále více využívá v různých odvětvích techniky a průmyslu. Abychom se při tomto výhodném způsobu tvorby pevných konstrukcí, velmi výhodných zejména pro podmínky dynamického zatížení náročných výrobků, vyhnuli nepříznivým výsledkům, musíme analyzovat chyby a jejich příčiny. [5]

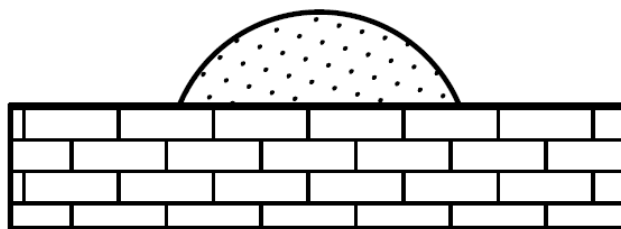
#### 3.1 Pevnost adherendu

Pro výrobce lepidel je ideální navrhovat lepidlo pro lepení nesoudržných materiálů (papír, pěnový polyuretan, plst'), protože skoro každé lepidlo má pak větší kohezi než samotný lepený materiál. Při roztržení spoje dojde k porušení soudržnosti slepeného materiálu (např. papír se roztrhne vedle slepeného spoje). Z čehož vyplývá že:

- Nejlépe se lepí porézní povrchy polárních materiálů (dřevo, papír).
- Povrchové napětí lepidla musí být vždy nižší než povrchové napětí lepeného povrchu, protože jinak nemůže dojít ke smočení povrchu lepidlem.



Obr. 2. Kapalina nesmáčí materiál. [7]



Obr. 3 Kapalina smáčí materiál. [7]

- Špatně se lepí nepolární materiály, jako např. PE, PP, ABS, silikon, PTFE. Jejich povrch je nutné před lepením polarizovat, například koronizací elektrickým výbojem.
- Nesoudržné materiály lze pevně lepit i měkkými lepidly (například papír lze lepit velmi měkkým akrylátem pro výrobu samolepících etiket). [7]

### 3.2 Hlavní chyby lepených spojů

Hlavní chyby lepených spojů můžeme shrnout do několika skupin:

- nízká pevnost,
- slabá odolnost složek spoje proti prostředí,
- nízká životnost,
- chyby vzhledu,
- funkční nedostatky,
- jiné nedostatky spojení a jejich nevýhody. [5]

#### 3.2.1 Nízká pevnost lepeného spoje

Příčinou nízké pevnosti je ve většině případů slabá vazebná vrstva, která souvisí s nesprávnou technologií lepení (neodstranění slabých vrstev, neodmaštění, nesprávné nanášení, nízká teplota při tavných lepidlech) nebo s nesprávným výběrem materiálu (špatná smáčivost adherendu, vzájemně nevhodné mechanické vlastnosti, negativní reakce mezi adherendem a lepidlem). [5]

Ve spojení vzniká velká koncentrace napětí, jež zapříčiňuje vznik bublin v lepené vrstvě, které vznikají buď při nanášení, nebo vlivem nerovného povrchu adherendu. Nerovnoměrnost lepené vrstvy může zapříčinit špatná fixace při vytvrzování, vysoká viskozita lepidla a nerovnoměrná zrnitost plniva. [5]

#### 3.2.2 Slabá odolnost složek spojení proti prostředí

Slabá odolnost složek spojení proti prostředí, tj. ztráta pevnosti vlivem podmínek mimo spojení. Její příčinou je zpravidla proniknutí agresivních látek, nevhodný výběr materiálů spoje pro dané prostředí, vlivy způsobující stárnutí, nedokonalá nebo žádná povrchová úprava spoje, hydrolýza nebo vyluhování lepicí vrstvy, rozpustnost, koroze substrátu, nízká tepelná odolnost složek spoje nebo křehnutí za nízkých teplot. [5]

### 3.2.3 Nízká životnost

Nízká životnost, tj. ztráta pevnosti ve spoji. Tyto chyby vznikají zejména při technologii lepení, např. vyvoláním koroze adherendu nezreagovanými zbytky tvrdidel, vznikem slabé vrstvy v hotovém spoji nebo některými parametry dynamického namáhání (vysoká frekvence kmitů, rezonance a nerovnoměrnosti vyvolávající předčasnou únavu spoje a jeho destrukci). [5]

### 3.2.4 Chyby vzhledu

Zejména důležitá, když lepení je součástí procesu dokončování výrobku, Jde zejména o přetoky vytvrzeného lepidla (nevyhnutelnost další operace - obroušení), nevhodná barva lepidla proti ostatním materiálům (tento faktor se může někdy výhodně využívat), ne-transparentnost. [5]

### 3.2.5 Funkční nedostatky

Chyby spoje, které ovlivňují funkčnost výrobku:

- elektroizolační vlastnosti lepidla (tam, kde se nemá narušit vodivost),
- snížení přetoku, např. v spojení trubek,
- nevhodné umístění spoje v celkové konstrukci. [5]

### 3.2.6 Jiné nedostatky a jejich nevýhody

Mezi další nedostatky lepených spojů patří:

- citlivost na náhlé změny teploty, zejména u materiálů s vysokými rozdíly v tepelné roztažnosti,
- relativně dlouhý čas do nabytí konečné částí pevnosti,
- nerozebíratelnost spoje,
- složitá oprava poškozeného spoje, nebo jeho částí,
- vysoké nároky na důkladnou práci,
- zdravotně náročné prostředí pro práci při lepení. [5]

## 4 ROZDĚLENÍ A VOLBA LEPIDEL

Lepidla rozdělujeme podle následujících čtyř požadavků:

- chemického druhu lepených materiálů (lepidlo, které je vhodné pro lepení dřeva nemusí dobře spojovat ocel),
- fyzikálních vlastností materiálů (materiály tuhé, měkké, pružné, nesavé, savé),
- požadavku na kvalitu spoje (spoje tvrdé, pružné, vodovzdorné, odolné teplotě, snadno rozlepitelné atd.),
- požadavku na technologii (nanášení válcem, štětcem, tryskou, rychlé nebo pomalé lepení atd.). [7]

### 4.1 Základní dělení lepidel

Tab. 2. Lepidla kapalná. [7]

Lepidla kapalná	
Reaktivní dvousložková	Vytvrzují chemickou reakcí dvou složek (epoxidy, polyuretany, močovinoformaldehydová, fenolformaldehydová aj.)
Reaktivní jednosložková	Vytvrzují vulkanizací, vzdušnou vlhkostí (polyuretany, kyanoakrylaty, silikony)
Rozpouštědlová	Vytvrzují odpařením rozpouštědel (kaučuková, polyuretanová, nitrocelulózová aj.)
Vodná roztoková	Vytvrzují odpařením vody (škrobová, dextrinová, kaseinová, deriváty celulózy aj.)
Vodná disperzní	Vytvrzují odpařením vody spojením jednotlivých částic polymeru do souvislého filmu

Tab. 3. Lepidla tavná. [7]

Lepidla pevná	
Tavná	Do lepidvého stavu se přivedou roztavením, vytvrzují ochlazením.
Redispergovatelné prášky	Rozmícháním ve vodě vznikne disperze, která vytvrzuje odpařením vody a spojením částic polymerů za vzniku souvislého filmu)

## 4.2 Druhy lepidel

Základní rozdělení lepidel:

- a) *reaktivní lepidla* (epoxidová, polyuretanová dvousložková, polyuretanová jednosložková, silikonová, fenolformaldehydová, resorcinolformaldehydová, močovinoformaldehydová, melaminformaldehydová, kyanoakrylátová),
- b) *rozpuštědlová lepidla* (chloroprenová, polyuretanová, kaučuková - z přírodního kaučuku, kaučuková - ze styrenbutadienového kaučuku, polyvinylacetátová, nitrocelulósová),
- c) *vodná roztoková lepidla* (škrobová, dextrinová, kaseinová, klišová, karboxymethylcelulósová, vodní sklo),
- d) *vodní disperzní lepidla* (akrylátová, styrenakrylátová, polyvinylacetátová, kopolymerní vinylacetátová, kaučuková - ze styrenbutadienového kaučuku, polyuretanová),
- e) *tavná* (polyuretany, polyamidy),
- f) *prášková* (polyvinylacetátová, močovinoformaldehydová). [7]

## 4.3 Hlavní použití jednotlivých druhů lepidel

Tab. 4. Použití rozpouštědlových lepidel. [7]

Rozpouštědlová				
Druh lepidla				
Princip vytvrzování	Vhodné pro lepení materiálu	Aplikační oblast	Výhody	Nevýhody
Chloroprenová				
Odpaření rozpouštědel a vulkanizace kaučuku přítomnými aditivy	Kontaktní lepení kůže, některých plastů, kovů a dřeva	Obuvnictví, strojírenství, stavebnictví	Pružný a poměrně odolný spoj, snížená hořlavost suchého lepidla	Pomalá vulkanizace, nelepí termoplasty kromě PS a PVC

<b>Kaučuková (z přírodního kaučuku)</b>				
Odpaření rozpouštědel	Kontaktní lepení kůže, pryže, pomocné lepení	Obuvnictví	Výborná adheze k pryži, velmi pružný spoj	Problém stárnutí lepidla ve spoji, malá koheze
<b>Polyvinylacetátová</b>				
Odpaření rozpouštědel	Transparentní lepení dřeva, papíru, textilu, skla a některých plastů (PS, PMMA)	Výroba nábytku, hračky, hobby	Čirý spoj, dobrá adheze k polárním povrchům	Omezená chemická a tepelná odolnost spoje

Tab. 5. Použití Reaktivních lepidel. [7]

<b>Reaktivní lepidla</b>				
<b>Druh lepidla</b>				
<b>Princip vytvrzování</b>	<b>Vhodné pro lepení materiálu</b>	<b>Aplikační oblast</b>	<b>Výhody</b>	<b>Nevýhody</b>
<b>Epoxidová</b>				
Chem. Reakce mezi pryskyřicí a tužidlem	Dřevo, kovy, keramika, sklo, kůže, termosety	Auta, letadla, konstrukční lepení dřeva	Velmi vysoká pevnost ve smyku, teplotní a chem. odolnost	Nedostatečná pevnost v odlupování z hladkých ploch, nelepí termoplasty, pomalé tuhnutí
<b>Polyuretanová dvousložková</b>				



Chem. Reakce mezi pryskyřicí a tužidlem	Dřevo, kovy, keramika, sklo, kůže, některé termoplasty, sklo	Strojírenství, spojování plastových folií, speciální lepení dřeva, dopravní prostředky, izolační materiály	Vysoká pevnost ve smyku i v odlupování, teplotní a chem. Odolnost, adheze k obtížně lepitelným povrchům	Zdravotní škodlivost tužidla (izokyanáty), skladování tužidla v suchu
<b>Kyanokrylátová</b>				
Vulkanizace vlivem vzdušné a povrchové vlhkosti	Okamžité lepení kovů, některých plastů, pryže, dřeva	Strojírenství, hobby	Bleskové lepení	Příliš křehký a nepružný spoj, nedostatečná teplotní odolnost spoje.

#### 4.4 Obecný postup volby lepidla

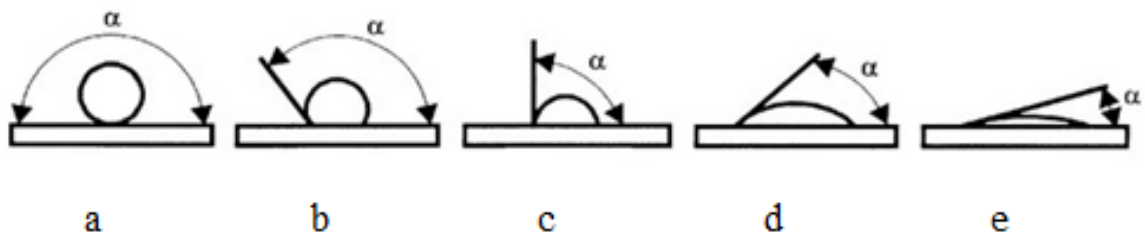
Volbu lepidla je potřeba podřídit těmto třem ukazatelům:

1. druhu lepené hmoty,
2. předpokládanému namáhání spoje,
3. technologickým podmínkám provedení. [7]

##### 4.4.1 Druhy lepené hmoty

Nejprve musíme vědět, jaké hmoty budeme spojovat a jaká je jejich rozpustnost v organických rozpouštědlech, poté tepelná stálost a roztažnost, jaký podíl změkčovadel obsahují. Pokud tyto údaje nejsou k dispozici, musíme je dodatečně zjistit. Pro orientační posouzení lze využít zkoušky hmoty v plamenu, kombinované se zkouškou rozpustnosti. Teprve po identifikaci druhu obou spojovaných materiálů je možno zvolit lepidlo optimálních vlastností. [8]

Druh lepené hmoty můžeme také zjistit tzv. Kapkovou metodou (Obr. 4). Kapková metoda závisí na úhlu, který svírá okraj kapky lepidla se základním materiálem. Podle toho lze poměrně přesně určit, zda je materiál slepitelný. Pokud je úhel menší než 25 stupňů, je splněn jeden předpoklad vytvoření opravdu kvalitního spoje. [8]



Obr. 4. Kapková metoda [8]

*a - žádná smáčcnlivost; b - minimální smáčcnlivost povrchu; c - nedostatečná smáčcnlivost povrchu; d - dostatečná smáčcnlivost povrchu; e - ideální smáčcnlivost povrchu*

#### 4.4.2 Namáhání lepeného spoje

Ze zvolených lepidel, která byla zvolena jako vyhovující z hlediska specifické adheze, je nutno vybrat taková, která vyhovují i předpokládanému zatížení budoucího spoje. Obecně lze říci, že pro chemicky i tepelně namáhané spoje vesměs vyhovují lepidla tvrditelná, vulkanizovatelná. Čiré a houževnaté spoje, vyznačující se dobrou odolností k vodě, poskytuje řada termoplastických lepidel. Jde-li o požadavky ve svých důsledcích protichůdné, je nutno hledat přijatelný typ lepidla a smířit se s kompromisem. [7]

#### 4.4.3 Technologické podmínky lepení

Při výběru lepidla pro určité druhy spojení je třeba přihlížet i k předpokládanému způsobu zpracování, tj. nanášení, předsoušení a tvrzení. Pro kontinuální nanášení jsou pochopitelně nejvhodnější lepidla, u kterých lze zajistit přiměřeně dlouhou životnost v tekutém stavu, přednostně tedy lepidla disperzní, roztoková nebo tavná a jen v nevyhnutelných případech vybraná lepidla tvrditelná, popřípadě s latentním tvrdidlem. Naopak tam, kde ekonomika provozu vyžaduje maximální zkrácení doby tvrzení, např. při lepení velkých ploch v etážových lisech, dáváme přednost lepidlům reaktivním. [7]

## 5 TECHNOLOGICKÝ POSTUP LEPENÍ

Technologický postup lepení je ve své podstatě vždy téměř shodný a má následující fáze:

1. příprava povrchu lepeného materiálu (adherendu),
2. příprava lepidla,
3. montáž lepeného spoje,
4. vytvoření pevného lepeného spoje.

### 5.1 Příprava povrchu lepeného materiálu (adherendu)

Hlavním cílem úpravy povrchu je maximální zvýšení smáčivosti a vznik adhezních vazeb (odstranění všech látek, vrstev a nerovností). Čím větší je lepená plocha a čím vyšší je počet vazeb, tím vyšší je i pevnost lepeného spoje. Příprava povrchu u lepených plastů spočívá buď ve fyzikálních operacích (např. broušení, smirkování, pískování, ultrazvukové čištění, polarizace oxidačním plamenem, sušení, ozařování UV zářením, iontové bombardování, apod.) nebo v chemických operacích (odmašťování, použití nátěrů příerů, moření, anodická oxidace, fosfatizace, apod.) [6]

### 5.2 Příprava lepidla

Příprava lepidla je v dnešní době téměř minimální, neboť výrobci dodávají lepidla již v takovém stavu, že se dají téměř okamžitě použít. Pokud je nutná nějaká speciální příprava lepidla, tak vždy se vychází z návodu dodaného výrobcem.

Podmínkou dosažení kvalitního lepeného spoje je nanesení souvislé a rovnoměrné vrstvy lepidla. Způsoby nanášení lepidla mohou být jednak ruční (štetce, tyčinky, stěrky, tuby, síta, apod.) pomocí přípravků (vytlačovací pistole, mechanické dávkovače, ruční nožové a válcové natírací zařízení) a strojní (polévací zařízení, zařízení s natíracím nožem a válcem a vzduchový nožem, stříkání pomocí pistolí, elektrostatické nanášení, apod.), ale i pomocí tepelných procesů (natavování, žárové stříkání, vytlačování taveniny) [6]

### 5.3 Montáž lepeného spoje

Lepidlo se projevuje svojí viskozitou a přilnavostí k lepeným materiálům, a proto je při lepení velmi důležitá tzv. montážní doba. To je doba, během které dojde k přiložení druhého lepeného materiálu. Po spojení musí dojít k zafixování spojovaných materiálů a musí

začít působit tlak, který jednak způsobí dokonalé přilnutí k lepeným povrchům a jednak zajistí dosažení požadované tloušťky lepidla. Tlak nesmí být moc velký, aby nedošlo k vytlačení lepidla.

#### **5.4 Vytvoření pevného lepeného spoje**

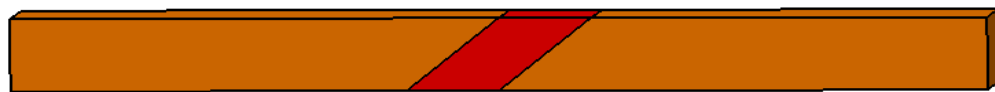
Většinou probíhá působením teploty na dříve vytvořený spoj za současného působení tlaku nebo za normálních podmínek okolí. Lepení za studena probíhá při teplotě 15 až 25°C, lepení za zvýšených teplot je nad 25°C a při teplotě přes 100°C jde o lepení za horka (nebezpečí vzniku pnutí vlivem odlišné roztažnosti). [6]

## 6 ZÁKLADNÍ DRUHY LEPENÝCH SPOJŮ

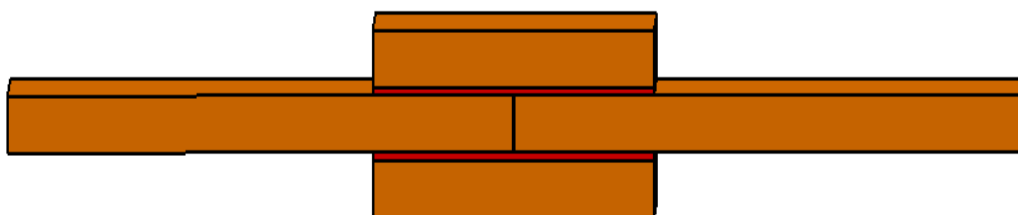
Mezi základní druhy lepených spojů patří spoj zkosený, přeplátovaný a se stykovou deskou. Při namáhání lepeného spoje nejdříve dochází k deformaci lepeného materiálu a následně k deformaci lepidla. Nejmenší pevnost mají lepené spoje, jsou-li namáhány na odlupování - na ohyb. Nejvíce odolávají namáhání na smyk. [6]



*Obr. 5. Přeplátovaný spoj. [6]*



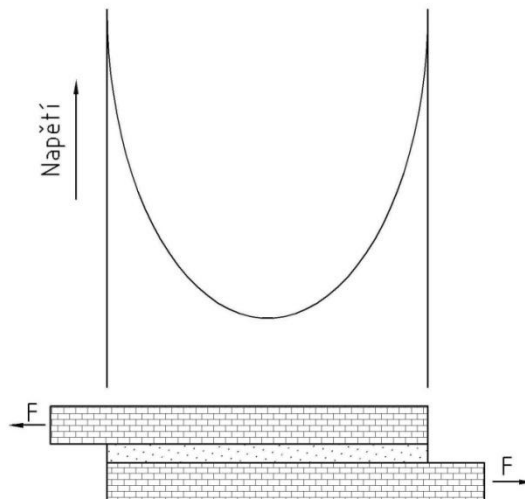
*Obr. 6. Zkosený spoj. [6]*



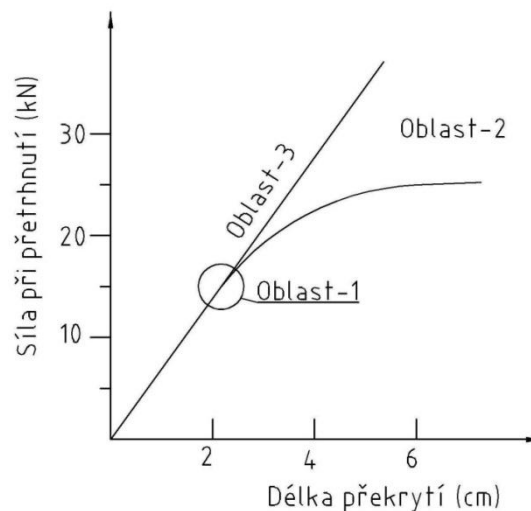
*Obr. 7. Se stykovou deskou. [6]*

## 6.1 Překrytý spoj

Nejběžnějším spojením je jednoduchý překrývaný spoj. Z níže uvedeného obrázku (Obr. 8) jde vidět, že na hranách vzniká koncentrace napětí. Hrany překrytí přenášejí největší podíl zatížení. To způsobuje, že zatížení, při kterém se porušuje spoj, je podstatně nižší jako skutečná pevnost lepidla. Z toho se dále odvozuje, že pevnost překrytého spoje stoupá s velikostí překrytí. [5]



Obr. 8. Napětí v překrytém spoji. [5]



Obr. 9. Závislost pevnosti spoje na délce překrytí. [5]

*oblast-1 je oblast optimální velikosti překrytí.; oblast-2 je skutečný růst napětí;*

*oblast-3 je předpokládaný růst napětí*

Velikost plochy spojení je součin šířky spojení a délky překrytí. Pevnost je přímo úměrná šířce. Zvýšení pevností spojení s délkou přerytí však není, je lineární.

Na rozdíl od délky přerytí, šířka spoje má na jeho mechanické vlastnosti lineární vliv. Tedy s rostoucí šířkou spoje stoupá napětí při přetrhnutí, ale pevnost ve smyku od šířky spoje nezávisí. [5]

## 7 ZKOUŠKY PEVNOSTI LEPENÝCH SPOJŮ

Po zhotovení spojů se zkouší hlavně pevnost a ostatní mechanické vlastnosti. Tyto vlastnosti závisí od konstrukce a tvaru spoje, od materiálů z kterých se spoj skládá, od směru, způsobu a velikosti namáhání. Zkoušek mechanických vlastností je velké množství. V praxi se tyto zkoušky nejčastěji rozdělují na destruktivní a nedestruktivní. [5]

### 7.1 Destruktivní zkoušky

Destruktivní zkoušky se nejvýhodněji rozdělují do skupin podle charakteru odtrhování jednotlivých složek spoje:

- a) *metoda nerovnoměrného odtrhnutí* je zkouška spojení tuhých materiálů, nebo materiálů, které jsou alespoň pružné,
- b) *metody rovnoměrného odtrhnutí* se používají zpravidla při zkoušení kombinovaných systému (guma – kov, plast – kov),
- c) *metody s využitím napětí ve smyku* se využívají zejména při zkoušení pevnosti tuhých spojů spojených překrývanými spoji, kdy smykové napětí působí v rovině spoje a vzniká smykovým tahem, tlakem nebo krutem. [5]

#### 7.1.1 Metody nerovnoměrného odtrhnutí

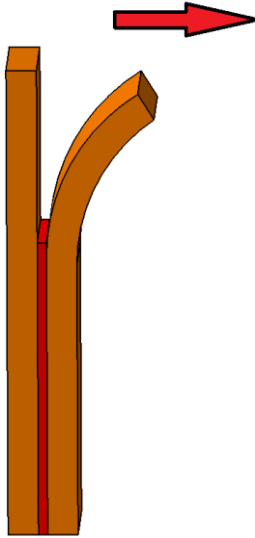
Všeobecným znakem této skupiny zkoušek je excentrické působení destrukční síly, která působí blíže k některému okraji spoje.

U spoje, v kterém je pružný nebo ohybový jeden člen, dochází při zkoušce k odtrhávání (odlepování) pružného členu od členu druhého. O dvou pružných členech říkáme, že se odtrhávají nebo rozlepují. Často se však oba tyto způsoby nazývají odlepování. [5]

Podstatou zkoušky, u pevnosti v odlupování, je namáhání zkušebního spoje odlupováním statickým tahem ve směru kolmém na lepenou plochu. Pevností v odlupování se rozumí síla, potřebná k oddělení dvou slepených ploch. Význam této zkoušky je dvojitý. Jednak jako zkoušky pro zjištění dodržení správné technologie lepení, jednak jako zkoušky sloužící pro výběr lepidla pro danou aplikaci. Není dosud známo, do jaké míry pevnost v odlupování představuje skutečné zatížení. Přestože se změna její hodnoty nemusí podstatnou měrou projevit při statických a dokonce ani při dynamických zkouškách lepených dílů, je její hodnota pro výběr lepidla u většiny lepených dílů rozhodující. Nízké hodnoty zmíněné pevnosti se mohou nepříznivě projevit například při místních zatíženích, ke kterým zpravi-



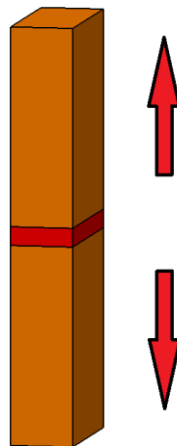
dla dochází při montáži. Konstruktor by se tedy měl snažit při lepení volit vždy lepidlo s co největší pevností v odlupování (s výjimkou trubkových spojů). [2]



Obr. 10. Vzorek pro zkoušky pevnosti v odlupování. [2]

### 7.1.2 Metody rovnoměrného odtrhnutí

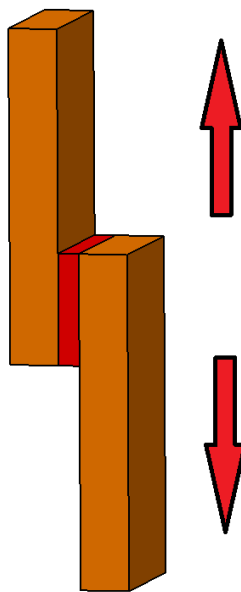
Na rozdíl od metody nerovnoměrného odtrhnutí, při kterém trhlinka ve spoji zpravidla postupuje od některého okraje, až se odtrhne spoj po celé ploše, metodou rovnoměrného odtrhnutí se miní velikost síly, potřebné na odtrhnutí spoje na celé dotykové (lepené) ploše současně. [5]



Obr. 11. Vzorek pro rovnoměrné odtrhnutí[2]

### 7.1.3 Metody s využitím namáhání ve smyku

Zkušební metody, při kterých pobíhají v lepené vrstvě smykové (stříhové) napětí, jsou nejznámější a nejvíc rozšířené. Často se používají při rozličných materiálech. Jsou určeny pro spoje tuhých substrátů, při čemž se na části spoje působí paralelně s rovinou spoje - tahem, tlakem, nebo krutem. Hodnoty pevnosti na spojích, které mají normalizované parametry, se udávají v MPa. Na níže uvedených obrázcích jsou schematicky znázorněny způsoby zkoušek na pevnost ve smyku (stříhu). [5]



Obr. 12. Vzorek pro zkoušky ve smyku. [2]

Určitou modifikací metody na zkoušení pevnosti ve smyku je zkouška rázové pevnosti.

Podstatou zkoušky pevnosti ve smyku (stříhu) je namáhání zkušebního spoje ve smyku statickým tahem ve směru podélné osy až do porušení vzorku. Pevnost ve smyku se udává v MPa. Na níže uvedeném obrázku je zobrazen tvar zkušebních vzorků. Důležitou vlastností lepených spojů, která rozhoduje o použitelnosti lepidla v určité konstrukci, je jejich tepelná odolnost při zatížení, charakterizovaná pevností ve smyku při požadované teplotě a statickou pevností ve smyku při této teplotě při dlouhodobém zatížení 200 nebo více hodin. Pro díly vystavené slunečnímu záření jsou rozhodující hodnoty při teplotě 80°C. [2]

### 7.1.4 Únavové zkoušky lepených spojů

Únavové zkoušky patří k destruktivním zkouškám, které se používají zejména pro velmi náročné aplikace. Únavová zkouška se definuje jako namáhání daným opakovaným zatíže-

ním a schopností spoje odolávat přetrhnutí. Namáhání má stanovenou frekvenci a amplitudu. Směr napětí může být v rovině, respektive s rovinou spoje, nebo kolmo na rovinu spoje při ohybových zkouškách. Zkoušky se dělají za určité teploty a výsledky se udávají v čase, respektive počet cyklů až do zničení spoje za daných podmínek. [5]

## 7.2 Nedestruktivní zkoušky

Metody nedestruktivních zkoušek jsou založené na použití radioaktivních záření, akustické a ultrazvukové rezonance, elektronové mikroskopie, elektronové emise, porovnávání elektrické impedance, dielektrické konstanty, tepelné vodivosti, infračerveného záření, laserových paprsků a holografie. [5]

Nestanovuje se tedy jen pevnost. Vlastnosti materiálů konstrukcí se však nedestruktivními zkouškami stanovují jen nepřímo, co je příčinou časté nedůvěry. [5]

Při stanovení pevnosti spoje nedestruktivní metodou se stanovuje korelace mezi pevností spoje a některými vlastnostmi lepeného systému, které mohou ukázat, zda má daný spoj adekvátní vlastnosti jako systém. Přesnost této korelace patří mezi rozhodující faktory pro akceptování nedestruktivní metody. [5]

Z hlediska zjišťování kvality a z ní odvozené pevnosti lepeného spoje se v průmyslu používají následující zkoušky:

- zjišťování dokonalého odmaštění a dekontaminace povrchu (měření kontaktního úhlu, měření energie elektronové emise),
- zjišťování druhu oxidované vrstvy a její tloušťky,
- zjišťování správné textury a topografie oxidované vrstvy. [5]

Z teorie je známé, že pro kvalitu a pevnost spoje jsou tyto vlastnosti velmi důležité. Ve chvíli, kdy se zjistí optimální vlastnosti povrchu lepených dílů, vytvoří se předpoklad pro dokonalý spoj. Tento předpoklad je však třeba doplnit údaji o kvalitě koheze lepicí vrstvy. Proto se měří tloušťka, rovnoměrnost a celistvost lepicí vrstvy a to:

- měřením dielektrické konstanty lepicí vrstvy,
- měřením změn tepelné vodivosti a tepelné kapacity,
- porovnáním změn kapalných krystalů nebo termografických nátěrů a indikátorů při zahřívání spoje z jedné strany,
- fotografováním pronikajícího infračerveného záření,

- měřením intenzity pronikavého radioaktivního záření,
- měřením přenosu zvukových, nebo ultrazvukových vibrací,
- měřením odrazu ultrazvukových vibrací. [5]

## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**

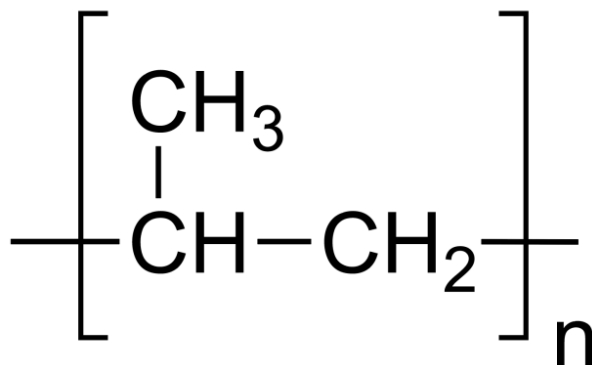
## 8 CÍL BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Cílem bakalářské práce bylo vypracovat teoretickou studii se zaměřením na lepení neplněného polypropylenu a následně porovnat pevnost lepených spojů u zvoleného typu materiálu a jeho povrchovými úpravami. Pro lepení bylo použito dvou vybraných lepidel, dvě methakrylátová lepidla a tři kyanakrylátová. Pevnost lepených spojů byla zjišťována tahovou zkouškou na univerzálním trhacím stroji Zwick 1456 v dílnách Ústavu výrobního inženýrství.

Zásady pro vypracování byly následující:

1. Vypracování teoretické studie.
2. Příprava zkušebních vzorků.
3. Provedení zkoušek vzorků.
4. Vyhodnocení naměřených výsledků.

## 9 VLASTNOSTI ZVOLENÉHO MATERIÁLU



Obr. 13. Strukturální vzorec polypropylenu.

Polypropylen má podobně jako polyetylen prakticky nepolární strukturu. Vzhledem ke stupni krystalinity dosahujícímu 60% až 75% je však neprůhledný. Teplota tání čistého izotaktického polypropylenu je 176 °C, obchodních produktů v rozmezí 160 °C do 170 °C. Kromě vyšší teploty měknutí a tím i použitelnosti při vyšších teplotách se polypropylen liší od lineárního polyethylenu nižší hustotou, menší odolností vůči mrazu, oxidací a povětrnosti, ale na druhé straně větší pevností, tvrdostí a odolností vůči oděru. Je také méně rozpustný pro plyny a páry. Odolnost polypropylenu vůči chemikáliím je ve srovnání s polyethylenem rovněž větší, zvláště při zvýšených teplotách. Podobně se však rozpouští při teplotách nad 80 °C v aromatických a chlorovaných uhlovodících. Minerální a rostlinné oleje absorbuje polypropylen jen nepatrně veze změny mechanických vlastností. [9]

Tab. 6. Fyzikální vlastnosti polypropylenu. [9]

Hustota [kg. m-3]	900 až 910
Pevnost v tahu [MPa]	22 až 32
Tažnost [%]	120 až 700
Houževnatost [KJ.m-2]	10 až 15
Navlhavost [%]	0,1

Polypropylen se zpracovává podobně jako polyetylen, tj. vstřikováním a vyfukováním na menší a duté předměty, vytlačováním na trubky, desky, profily, výtlačným vyfukováním na fólie. Desky a bloky lze také lisovat z granulí. I použití polypropylenu je podobné,

vzhledem k jeho lepším mechanickým vlastnostem se více využívá na součásti strojů a přístrojů, např. automobilovém a spotřebním průmyslu (vstříkované dílce přístrojových desek a ventilátorů, nárazníky, součásti vysavačů, kuchyňských přístrojů). Odolnost vůči sterilizačním teplotám umožňuje jeho použití na dílce injekčních stříkaček a jiné zdravotnické techniky. Na rozdíl od polyethylenu se polypropylen široce využívá k výrobě mechanicky i chemicky odolných vláken. [9]



## 10 VLASTNOSTI ZVOLENÝCH LEPIDEL

Pro zkoušení lepených spojů neplněného polypropylenu, byly vybrány následující druhy lepidel:

Tab. 7. Typy zvolených lepidel

Kyanoakrylátové lepidla	CYBERBOND 1008
	CYBERBOND 2008
	CYBERBOND 2028
Methylakrylátové lepidla	PLEXUS MA300
	PLEXUS MA832

### 10.1 Kyanoakrylátová lepidla firmy CYBERBOND

Kyanoakrylátová lepidla jsou známá také jako superlepidla. Nejdůležitějšími vlastnosti kyanoakrylátových lepidel jsou tyto:

- jde o jednosložková lepidla, a proto je snadná manipulace se systémem,
- bez ředidel,
- velmi rychlá doba tvrdnutí.

Kyanoakrylátová lepidla jsou především používána pro lepení elastomerů, plastů, dřeva a kovů. Součásti spojené těmito lepidly poskytují uživateli spolehlivou mechanickou pevnost, dobré celkové pevnostní vlastnosti na většině nepórovitých materiálů, dostatečné hodnoty tepelné odolnosti, zlepšené hodnoty elasticity, dobré podmínky stárnutí a odolnosti vůči klimatu, jakož i odolnost proti ozónu. Kyanakrylaty polymerizují během několika sekund vlivem vlhkosti ve vzduchu a vlhkosti ve spojovaném materiálu. K dosažení optimálních podmínek je důležité pracovat s tenkými adhezivními vrstvami. Pouze tehdy může polymerizace hladce začít. Díky velmi rychlé době tvrdnutí jsou možnosti lepení omezeny na poměrně malé části (1 cm<sup>2</sup>).[14]

Kyanoakrylátová lepidla dosahují velmi vysokých hodnot přilnavosti na většině materiálů, i na hladkých površích. To je důvodem, proč se uživatel skutečně nemusí zabývat pevností

ve smyku a v tahu. Na druhé straně, adhezní vrstva obvykle zůstává křehká. proto by se mělo zamezovat odlupování. [14]

Stav povrchu spojovaných součástí má značný vliv na úspěšné slepení. Drsnost součástí není u kyanoakrylátových lepidel tak důležitá díky tomu, že kyanoakrylátová lepidla dosahují velmi dobrých pevnostních vlastností i na velmi hladkých površích. Důležitější než drsnost je čistota povrchu. Pro dosažení čistého povrchu jsou známy následující metody:

- postup pískování
- chemická předúprava (koroze)
- abrazivní metody (brusný papír)
- pára (odmaštění parou)
- čištění (např. čistič Cyberbond 9999)[14]

### 10.1.1 CYBERBOND 1008



Obr. 14. CYBERBOND

1008. [10]

Lepidlo CYBERBOND 1008 se používá pro kovové povrchy, je nízkoviskózní a rychle tvrdnoucí.

Tab. 8. Fyzikální vlastnosti lepidla CYBERBOND 1008. [10]

Fyzikální vlastnosti lepidla CYBERBOND 1008	
<b>Monomerní kyanoakrylát (tekutý)</b>	
Základní monomer	etyléster
Vzhled	bezbarvné/čiré

Viskozita při 25 °C	9 - 15 MPa.s
Hustota při 20 °C	1,09 g/cm <sup>3</sup>
Bod vzplanutí	80 °C
<b>Manipulační pevnost spoje, doba pro vytvoření manipulovatelného spoje:</b>	
kov	20 - 30 sekund
plast	4 - 6 sekund
gumu	3 - 6 sekund
dřevo	nedoporučuje se
Záruka na uskladnění	12 měsíců při pokojové teplotě
<b>Polymerní kyanoakrylát (pevný)</b>	
Pevnost v tahu na NBR (guma)	64 N/cm <sup>2</sup>
Smyková pevnost oceli	10 - 22 N/cm <sup>2</sup>
Teplotní rozsah pro použití (polymer)	-55 - 95 °C

### 10.1.2 CYBERBOND 2008



Obr. 15. CYBERBOND

2008. [10]

Doporučuje se pro rychlé spoje na dobře slícovaných hladkých plastech a neporézních pryžích. [10]

Tab. 9. Fyzikální vlastnosti lepidla CYBERBOND 2008. [10]

<b>Fyzikální vlastnosti lepidla CYBERBOND 2008</b>	
<b>1) Monomerní kyanoakrylát (tekutý)</b>	
Základní monomer	etyléster
Vzhled	bezbarvné/čiré
Viskozita při 20 °C	12 - 18 MPa.s
Hustota při 20 °C	1,06 g/cm <sup>3</sup>
Bod vzplanutí	85 °C
<b>Manipulační pevnost spoje, doba pro vytvoření manipulovatelného spoje:</b>	
kov	18 - 28 sekund
plast	2 - 4 sekund
gumu	1 - 3 sekund
dřevo	>60 sekund
Záruka na uskladnění	12 měsíců při pokojové teplotě
<b>Polymerní kyanakrylát (pevný)</b>	
Pevnost v tahu na NBR (guma)	66 N/cm <sup>2</sup>
Smyková pevnost oceli	11 - 20 N/cm <sup>2</sup>
Teplotní rozsah pro použití (polymer)	-55 - 95 °C
dřevo	>60 sekund

### 10.1.3 CYBERBOND 2028



Obr. 16. CYBERBOND  
2028. [10]

Tab. 10. Fyzikální vlastnosti lepidla CYBERBOND 2028. [10]

<b>Fyzikální vlastnosti lepidla CYBERBOND 2028</b>	
<b>Monomerní kyanoakrylát (tekutý)</b>	
Základní monomer	etylester
Vzhled	bezbarvné/čiré
Viskozita při 20 °C	160 - 240 MPa.s
Hustota při 20 °C	1,05 g/cm <sup>3</sup>
Bod vzplanutí	85 °C
<b>Manipulační pevnost spoje, doba pro vytvoření manipulovatelného spoje:</b>	
kov	20 - 35 sekund
plast	2 - 4 sekund
gumu	2 - 4 sekund
dřevo	>60
Záruka na uskladnění	9 měsíců při pokojové teplotě
<b>Polymerní kyanakrylát (pevný)</b>	
Pevnost v tahu na NBR (guma)	64 N/cm <sup>2</sup>
Smyková pevnost oceli	12 - 22 N/cm <sup>2</sup>
Teplotní rozsah pro použití (polymer)	-55 - 95 °C

## 10.2 Dvousložková methakrylátové lepidla firmy Plexus

Vlastnosti lepidel Plexus:

- Rychlé vytvrzování při pokojové teplotě redukuje dobu zpracování.
- Odolnost proti olejům, naftě, dalším chemikáliím, UV - světlu a vysokým teplotám.
- Minimální odpařování rozpouštědel.
- Lepí různorodé materiály.
- Prakticky žádná úprava povrchu před lepením.
- Vysoká odolnost proti rázu.
- Vynikající odolnost lepidla proti stárnutí.
- Ekologicky nezávadný[13]

## 10.2.1 Plexus MA300



Obr. 17. Lepidlo Plexus MA300.

Plexus MA300 je dvousložkové methakrylátové lepidlo vyvinuté pro strukturální lepení dílů z termoplastů, kovů a kompozitů. V poměru 1:1 má dobu zpracování 4 až 6 minut a dosahuje 75 % celkové pevnosti během 10 až 15 minut při pokojové teplotě. [11]

Tab. 11. Fyzikální a mechanické vlastnosti Plexus MA300. [11]

<b>Fyzikální vlastnosti (nezreagované) - pokojová teplota</b>		
	<b>Lepidlo</b>	<b>Aktivátor</b>
<b>Barva</b>	Bělavá	Žlutá
<b>Hustota, [g/cm<sup>3</sup>]</b>	1,01	0,96
<b>Směsný poměr objemový</b>	1	1
<b>Směsný poměr váhový</b>	1	1
<b>Viskozita, [MPa.s]</b>	40 000 - 60 000	40 000 - 60 000
<b>Mechanické vlastnosti (zreagované) - pokojová teplota</b>		
<b>Pevnost v tahu</b>		
<b>Pevnost, [MPa]</b>	20 - 24	
<b>Modul, [MPa]</b>	931 - 1137	
<b>Deformace k selhání [%]</b>	15-25	
<b>Přeplátovaný spoj ve smyku</b>		
<b>Kohezní pevnost [MPa]</b>	20 - 24	

## 10.2.2 Plexus MA832



Obr. 18. Plexus MA832.

Lepidlo Plexus MA832 je moderní dvousložkové methakrylátové lepidlo určené pro lepení strukturálních kovů bez povrchových úprav. MA832 také dobře lepí termoplastické a kompozitní materiály. V poměru 10:1 má dobu zpracování přibližně 14 minut a dosahuje 75 % celkové pevnosti za 50 - 55 minut. [12]

Tab. 12. Fyzikální a mechanické vlastnosti Plexus MA832.[12]

<b>Fyzikální vlastnosti (nezreagované) - pokojová teplota</b>		
	<b>Lepidlo</b>	<b>Aktivátor</b>
<b>Barva</b>	Bílá	Šedá
<b>Hustota, [kg/cm<sup>3</sup>]</b>	970	1110
<b>Směsný poměr objemový</b>	10	1
<b>Směsný poměr váhový</b>	8,86	1
<b>Viskozita, [MPa.s]</b>	40 000 - 60 000	40 000 - 60 000
<b>Mechanické vlastnosti (zreagované) - pokojová teplota</b>		
<b>Pevnost v tahu</b>		
<b>Pevnost, [MPa]</b>	24,1 - 27,6	
<b>Modul, [MPa]</b>	931 - 1137	
<b>Deformace k selhání [%]</b>	30 - 60	
<b>Překládaný spoj ve smyku</b>		
<b>Kohezní pevnost [MPa]</b>	15,9 - 19,3	

## 11 VÝROBA ZKUŠEBNÍCH VZORKŮ

Zkušební vzorky byly vyrobeny vstříkáním, dle normy ČSN EN ISO 527 – 2 na vstřikovací stroj Arburg 420C Advanced.



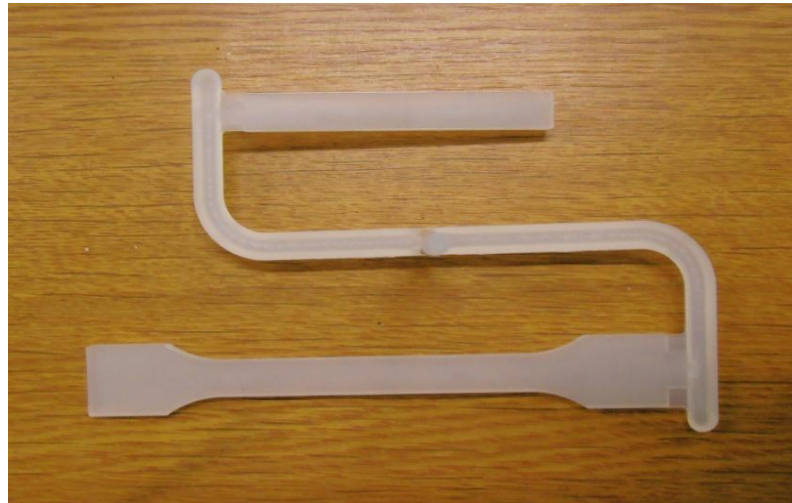
Obr. 19. Vstřikovací stroj Arburg 420C Advanced. [15]

Tab. 13. Technická data vstřikovacího stroje Arburg 420 C.[15]

Uzavírací síla	max. 1000 kN
Otevření	max. 500 mm
Výška formy	min. 250 mm
Světlost mezi upínacími deskami	max. 750 mm
Vzdálenost mezi vodícími sloupy	420 x 420 mm
Velikost upínací desky (hor. x vert.)	570 x 570 mm
Vyhazovací síla	max. 40 kN
Zdvih vyhazovače	max. 175 mm
Výkon čerpadla	15 kW
Průměr šneku	40 mm
Objem dávky	max. 188 cm <sup>3</sup>
Vstřikovací rychlost	max. 182 cm <sup>3</sup> /s
Kroutící moment šneku	max. 430 Nm
Přítlačná síla trysky	max. 60 kN



## 11.1 Příprava zkušebních tělísek na lepení

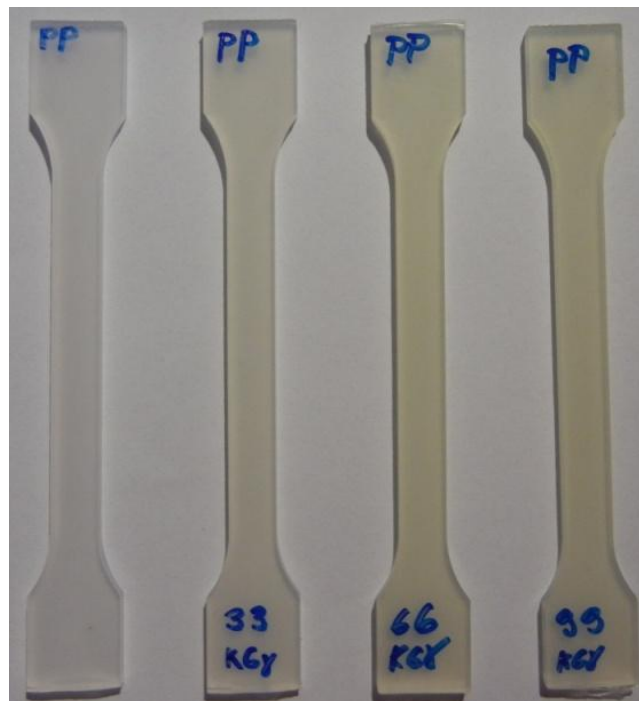


Obr. 20. Výstřik zkušebního tělíska a plátku na přelátování.

Po odstranění vtokových zbytků byla zkušební tělíska a pásy na přelátování odeslána na ozáření do firmy BGS Beta – Gama – Service GmbH & Co. KG sídlící v Německu.

Tělíska byla ozařována beta zářením za použití elektronového urychlovače o energii záření 10MeV. Zkušební vzorky polypropylenu byly ozářeny dávkami záření 33, 66, 99 kGy.

Na následujícím obrázku je vidět, jak se zvyšující dávkou ozáření mění barva materiálu.



Obr. 21. Zkušební tělíska seřazené podle dávky Ozáření.

### 11.1.1 Radiační síťování

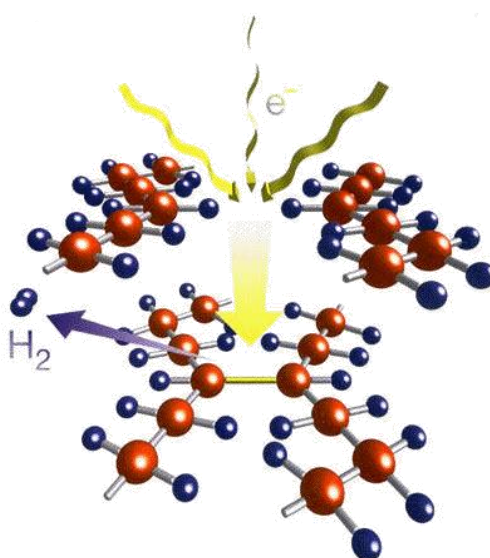
Radiační síťování je nová rozvíjející se technologie zlepšující mechanické, chemické a teplotní vlastnosti plastů za použití beta nebo gama záření. To umožňuje v některých případech použití levnější masových nebo konstrukčních plastů, které tímto zesíťováním dosahují vlastností drahých konstrukčních a speciálních termoplastů.[16]

Toto zesíťování je dosaženo bombardováním molekul proudem vysoce energetických elektronů nebo paprsky gama. Tato energie je absorbována materiálem, dochází ke vzniku radikálů (rozpad vazeb C - H), které postupně vzájemně reagují a vytvářejí požadované spojení. Síť tak vzniká postupným spojením dvou volných radikálů mezi sousedními řetězci za vzniku vazby C - C.[16]

Radiační síťování má pozitivní efekt v oblastech, kde je potřeba výdrže materiálu na dlouhodobě vysokých provozních teplotách, zlepšují se creepové vlastnosti, odolnost proti otěru a tvarová paměť.[16]

Použitím záření o energii menší než 10 MeV nepřichází v úvahu nebezpečí vzniku radioaktivity v ozařovacím zařízení ani v ozařovaném produktu. Hlavním předpokladem pro ozařování materiálu je přítomnost tří a více funkčních monomerů. [16]

Využití radiačního síťování je především pro trubkové profily, izolace kabelů a hadice, systémy podlahových topení, tvarované a vstřikované díly, kompozity, polymerní granuláty, kde cíleně měníme reologické vlastnosti.[16]



Obr. 22. Schéma radiačního síťování. [16]

Radiační síťování mění následující mechanické vlastnosti polymerů:

- nárůst modulu,
- pokles poměrného prodloužení při přetržení (tažnosti),
- redukce studeného tečení (creepu),
- zvýšení pevnosti (zejména z dlouhodobého hlediska),
- nárůst tvrdosti (Shore),
- zlepšení meze únavy (při střídavém ohybu),
- zlepšení povrchové pevnosti vůči otiskům a nespojitosti vstříkovaných dílů,
- zlepšení odolnosti proti vnitřnímu pnutí a redukce přenosu a růstu,
- zlepšení zotavení materiálu ,
- zlepšení chování při dlouhodobém zatížení vnitřním tlakem. [16]

### 11.1.2 Povrchová úprava primerem CYBERBOND 9056



*Obr. 23. Primer  
Cyberbond  
9056[10]*

Primer Cyberbond 9056 umožňuje spojovat nepolární plasty jako např. polyethylen, polypropylen, polyformaldehyd, silikon nebo moderní termoplastické elastomery pomocí kya-  
noakrylátových lepidle Cyberbond. Tento primer mění povrchové napětí a má následující  
výhody:

- vysoká pevnost spojení u materiálů, které jinak není možné slepit,
- rychlé a jednoduché použití,
- větší možnost volby z různých plastových materiálů.

Primer Cyberbond 9056 se nanáší štětečkem na lepené materiály. Po odpaření je možné okamžitě použít kyanoakrylátové lepidlo Cyberbond. Díly je ale také možno lepit až po 24 hodinách. [10]

*Tab. 14. Fyzikální vlastnosti primeru CYBERBOND 9056. [10]*

<b>Chemický základ:</b>	Heptan
<b>Fyzikální vlastnosti:</b>	
Hustota při 20 °C:	0,68 g/m <sup>3</sup>
Teplotní vzplanutí:	-1 °C

## 11.2 Příprava lepidel

Pro lepení byly použity dva druhy lepidel, sekundová kyanoakrylátová a dvousložková methakrylátová lepidla. Kyanoakrylátová lepidla nevyžadují zvláštní přípravu. Methakrylátová lepidla se musela nanášet pomocí vytlačovací pistole za pomoci statického mixéru, který slouží k smísení jednotlivých složek lepidla a tím bylo lepidlo dokonalé homogenity směsi.



*Obr. 24. Vytlačovací pistole na lepidlo Plexus MA300.*



*Obr. 25. Statický mixér.*

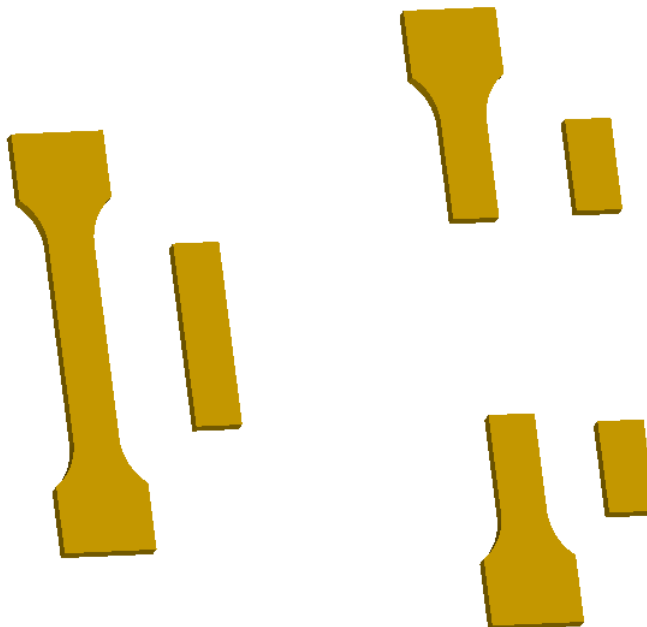
### 11.3 Vlastní lepení vzorků

Pro lepení byl zvolen čelní spoj s dvěma příložkami z hlediska dostatečné pevnosti.

Postup lepení vzorků:

- Rozstříhnutí vzorků a pásků na přeplátování v půlce.
- Případné očištění vzorků od prachu či mastnot.
- Vložení vzorků do pomocného přípravku lepení.
- Pokud byl použit primer, tak se nejprve nanese na vzorky a na pásky a nechá chvíli účinkovat.
- Nanesení lepidla na pásek a přiložení na rozpůlený vzorek.
- Dostatečné přitlačení pásku.

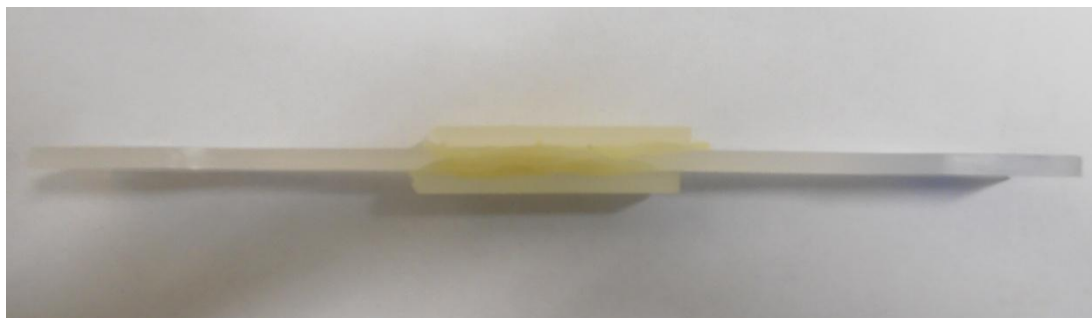
- Po zatuhnutí lepidla se vzorky obrátily a vložily do druhého přípravku a stejným postupem se vzorky slepily páskem na přeplátování.



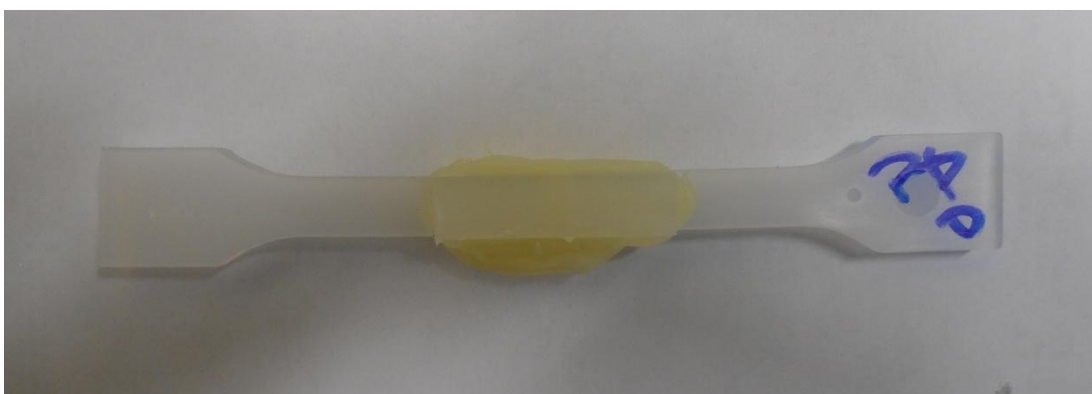
*Obr. 26. Příprava zkušebních vzorků.*



*Obr. 27. Přípravky sloužící k přesnému a kvalitnímu slepení vzorků.*



*Obr. 28. Lepený spoj lepidlem Plexus MA300.*



*Obr. 29. Lepený spoj lepidlem Plexus MA300.*

#### **11.4 Tahová zkouška lepených spojů**

Zkoušky lepených spojů byly prováděny na univerzálním trhacím stroji Zwick 1456, na kterém byla zjišťována tahová zkouška. Součástí stroje byl software TestExpert, který vyhodnocoval naměřené hodnoty.

Zjišťovaly se pevnosti následujících zkušebních vzorků, jednoosým tahem:

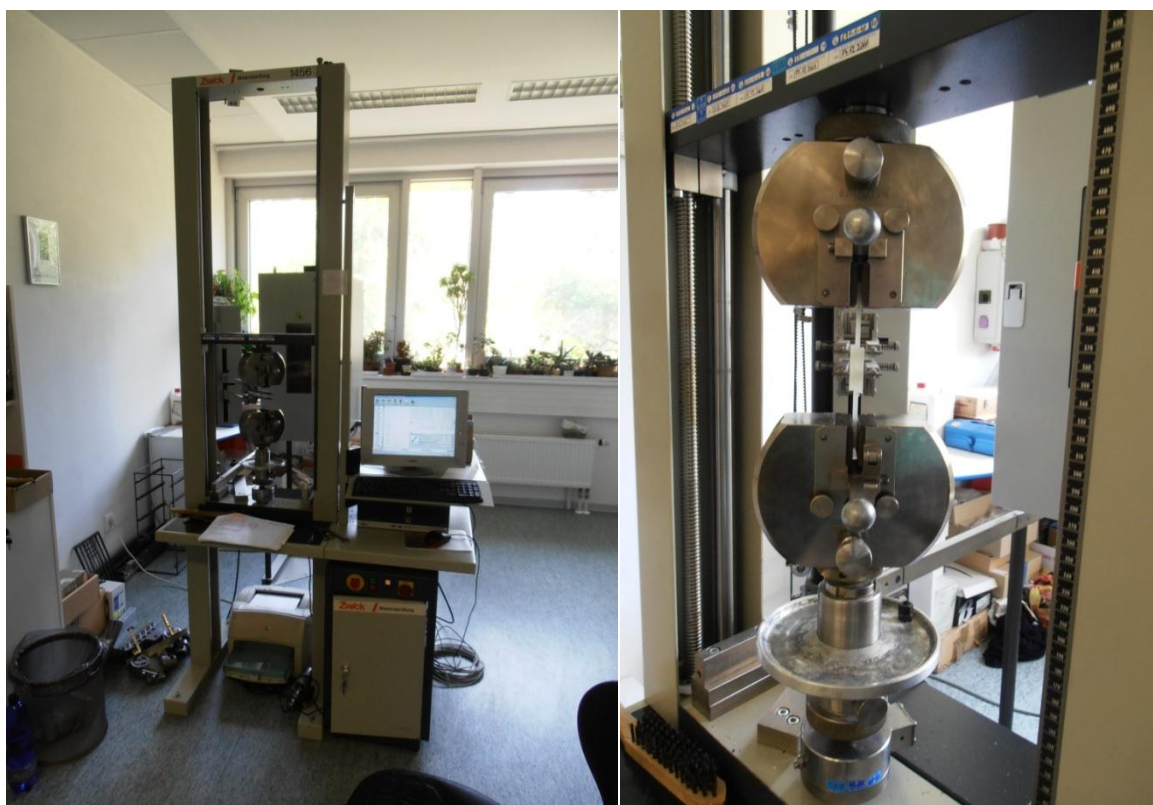
- Pět neupravených zkušebních těles.
- Ozářené vzorky – 33, 66, 99 kGy, od každého druhu pět těles.
- Slepené vzorky (ozářené, neozářené), od každého druhu lepeného spoje 8x.

Z naměřených hodnot se sestavily tabulky a následně se vypočítaly hodnoty aritmetických průměrů a chyby měření, které byly vyneseny do grafů.



Tab. 15. Rovnice aritmetického průměru a chyby měření.

Aritmetický průměr	$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n}$
Střední kvadratická chyba	$\delta = \frac{\sqrt{\frac{\sum x^2 - \frac{1}{n}(\sum x)^2}{n}}}{\sqrt{n}}$



Obr. 30. Trhací stroj Zwick 1456 a upnutí zkušebního tělíska.

Tab. 16. Technické parametry trhacího stroje Zwick. [15]

<b>Maximální posuv příčnicku</b>	800 mm/min
<b>Snímače síly</b>	2,5 a 20 kN
<b>Teplotní komora</b>	-80 až 250 °C
<b>TestExpert software</b>	Tah/Ohyb/Tlak

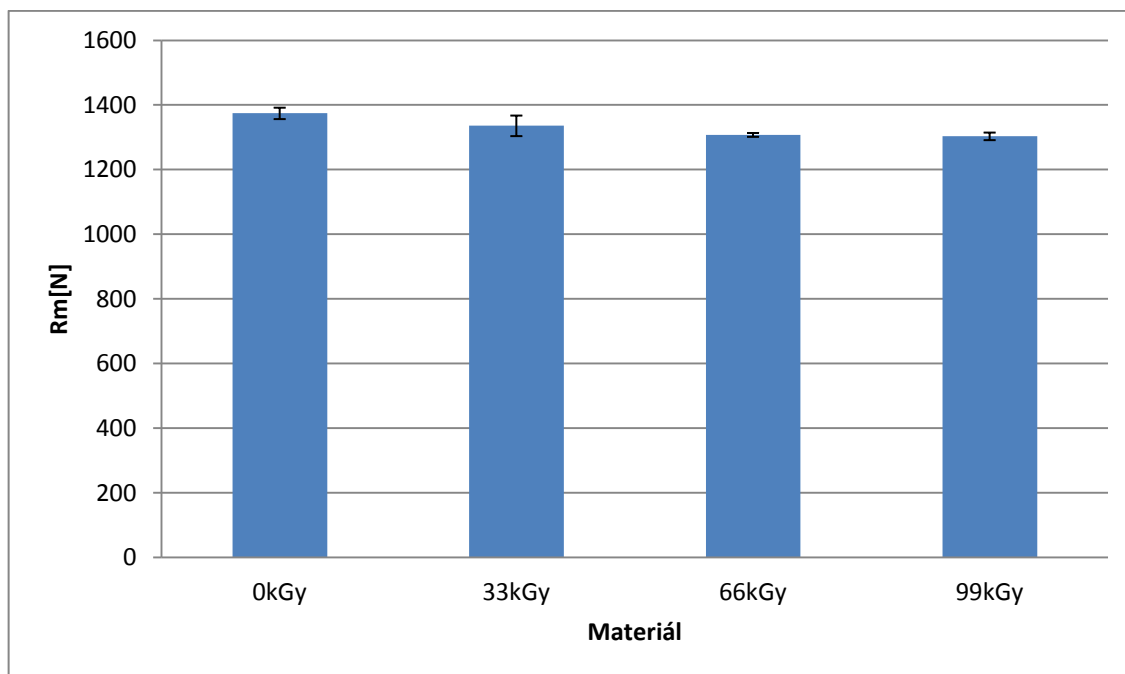


## 12 VYHODNOCENÍ NAMĚŘENÝCH VÝSLEDKŮ TAHOVÝCH ZKOUŠEK

### 12.1 Vliv ozáření na pevnost základních materiálů

Tab. 17. Průměrné hodnoty maximální zatěžující síly u základního materiálu.

Zkoušky zkušebních tělísek				
Číslo měření	Rm[N]			
	0kGy	33kGy	66kGy	99kGy
1	1306,45	1270,01	1300,67	1262,01
2	1373,91	1427,19	1292,67	1292,88
3	1392,31	1396,43	1307,78	1316,19
4	1403,37	1286,01	1308,19	1319,04
5	1395,2	1298,89	1328,72	1325,77
<b>PRŮMĚRNÁ HODNOTA</b>	<b>1374,25</b>	<b>1335,71</b>	<b>1307,61</b>	<b>1303,18</b>
<b>CHYBA MĚŘENÍ</b>	<b>17,62</b>	<b>31,78</b>	<b>5,99</b>	<b>11,69</b>



Obr. 31. Vliv ozáření na pevnost základních materiálů.

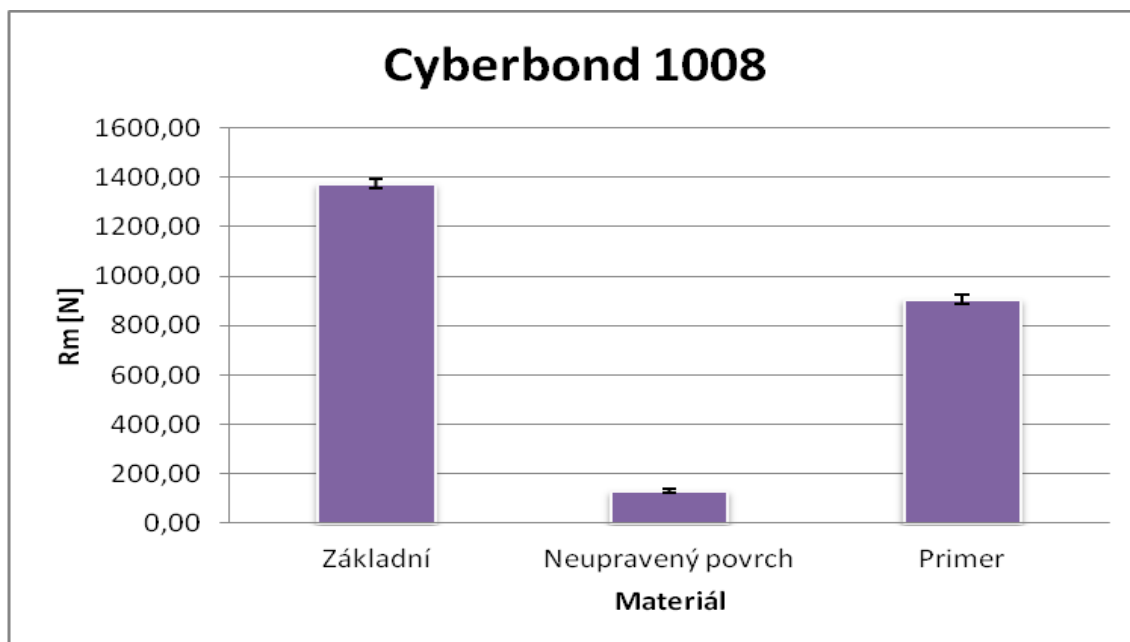
Při zkoušení zkušebních těles (neupraveného materiálu, a dávkami ozáření 33, 66, 99 kGy) bylo zjištěno, že neupravený materiál má největší pevnost v jednoosém namáhání  $R_m = (1374,25 \pm 17,62)$  N a s postupně se zvyšujícím ozářením se pevnost snižovala až na

$R_m = (1303,18 \pm 11,69)$  N při nejvyšším ozáření 99 kGy, se průměrná pevnost snížila oproti základnímu materiálu o 5 %

## 12.2 Vyhodnocení zkoušek lepených spojů lepidlem Cyberbond 1008

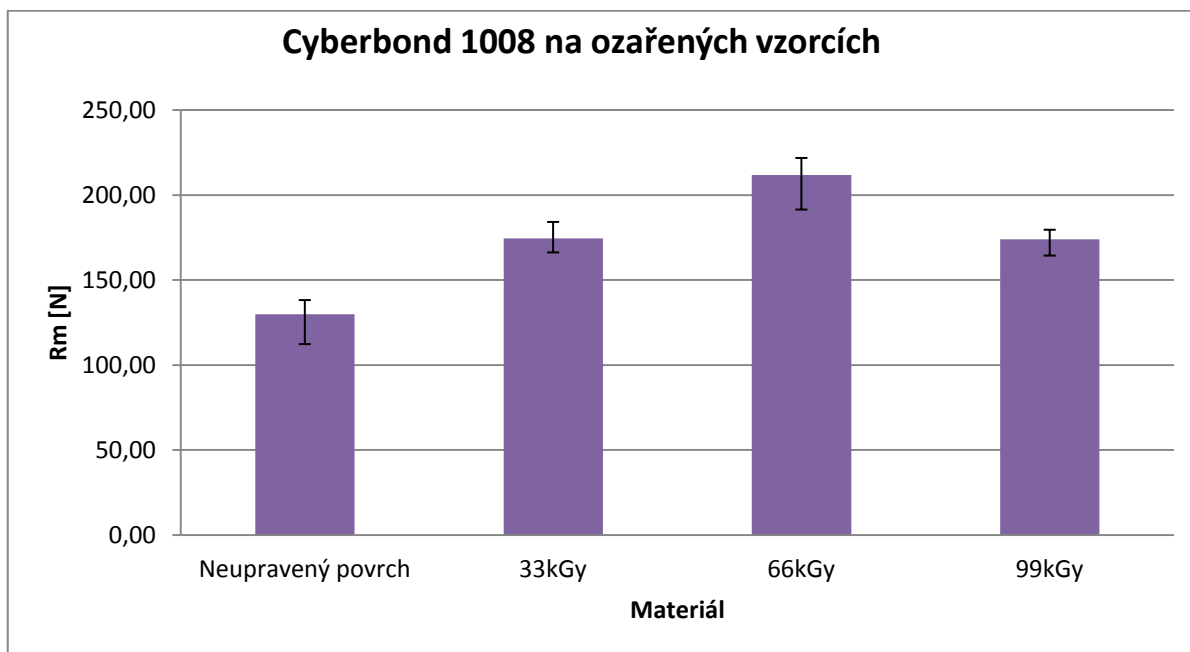
Tab. 18. Průměrné hodnoty maximální zatěžující síly u lepidla Cyberbond 1008.

Lepidlo Cyberbond 1008						
Číslo měření	R <sub>m</sub> [N]					
	Základní	Neupravený povrch	Primer	33kGy	66kGy	99kGy
1	1306,45	159,88	911,46	167,01	199,81	174,17
2	1373,91	138,94	960,41	199,85	205,27	182,28
3	1392,31	117,26	930,59	169,05	207,56	185,38
4	1403,37	130,54	926,56	173,37	198,28	160,68
5	1395,2	106,91	833,93	155,9	180,72	159,64
6	...	129,49	842,27	214,67	251,99	177,71
7	...	108,92	942,04	155,09	233,1	160,56
8	...	146,98	911,56	160,66	217,58	191,24
<b>PRŮMĚRNÁ HODNOTA</b>	<b>1374,25</b>	<b>129,87</b>	<b>907,35</b>	<b>174,45</b>	<b>211,79</b>	<b>173,96</b>
<b>CHYBA MĚŘENÍ</b>	<b>17,62</b>	<b>8,28</b>	<b>20,42</b>	<b>9,65</b>	<b>9,94</b>	<b>5,54</b>



Obr. 32. Průměrné hodnoty maximální zatěžující síly mezi lepenými spoji s neupraveným povrchem a za použití primeru, u lepidla Cyberbond 1008.

Nejmenší průměrnou pevnost má neupravený povrch při aplikaci lepidla Cyberbond 1008  $R_m = (129,87 \pm 8,28)$  N dosahuje 14 % naměřené průměrné pevnosti téhož lepidla s použitím primeru  $R_m = (907,35 \pm 17,62)$  N. Průměrná pevnost lepených vzorků s povrchovou úpravou primerem vzrostla o 86 % nad vzorky s neupraveným povrchem.



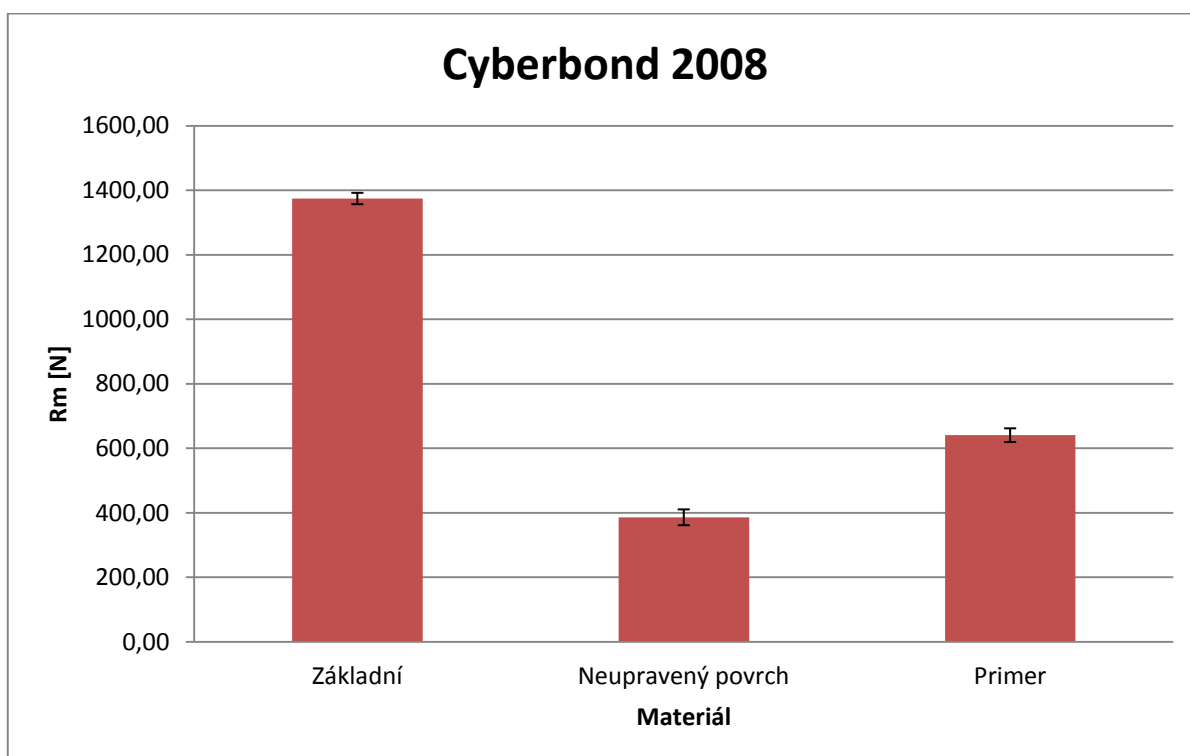
Obr. 33. Průměrné hodnoty maximální zatěžující síly u neupraveného lepeného spoje a ozářeného, lepeného lepidlem Cyberbond 1008.

Z ozářených lepených spojů mají vzorky ozářené dávkou 66 kGy  $R_m = (211,79 \pm 9,94)$  N nejvyšší pevnost, u kterých vzrostla průměrná pevnost neupravenému povrchu o 39 %. Nejmenší průměrnou pevnost z ozářených spojů mají vzorky ozářené dávkou 99 kGy, kterým průměrná pevnost lepených vzorků vzrostla oproti neupravenému povrchu o 18 %.

### 12.3 Vyhodnocení zkoušek lepených spojů lepidlem Cyberbond 2008

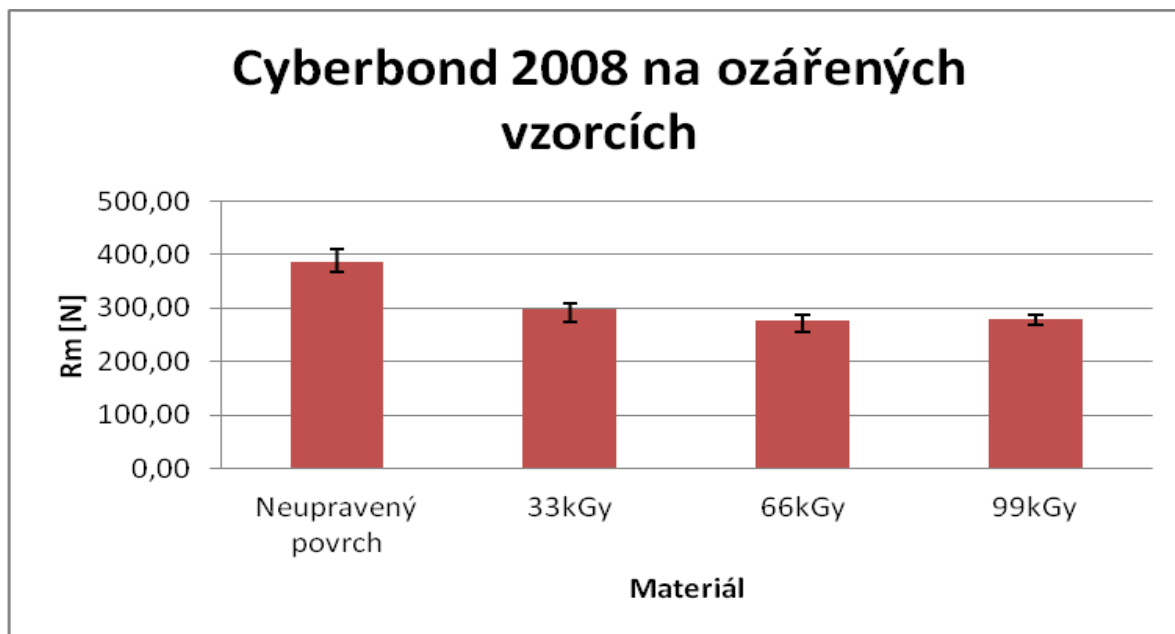
Tab. 19. Průměrné hodnoty maximální zatěžující síly u lepidla Cyberbond 2008.

Lepidlo Cyberbond 2008						
Číslo měření	Rm[N]					
	Základní	Neupravený povrch	Primer	33kGy	66kGy	99kGy
1	1306,45	412,71	642,77	307,48	268,1	278,78
2	1373,91	328,81	683,62	302,64	307,58	260,83
3	1392,31	415,7	651,49	294,47	252,86	274,54
4	1403,37	399,16	632,13	311,15	261,75	302,59
5	1395,2	378,29	716,82	291,72	291,15	274,98
6	...	281,35	560,69	256,88	266,73	308,33
7	...	446,06	602,35	287,84	303,63	260,29
8	...	423,28	632,74	334,12	269,54	272,54
<b>PRŮMĚRNÁ HODNOTA</b>	<b>1374,25</b>	<b>385,67</b>	<b>640,33</b>	<b>298,29</b>	<b>277,67</b>	<b>279,11</b>
<b>CHYBA MĚŘENÍ</b>	<b>17,62</b>	<b>24,52</b>	<b>21,22</b>	<b>9,91</b>	<b>9,10</b>	<b>7,88</b>



Obr. 34. Průměrné hodnoty maximální zatěžující síly mezi lepenými spoji s neupraveným povrchem a za použití primeru, u lepidla Cyberbond 2008.

Nejvyšší průměrné pevnosti lepených spojů při aplikaci lepidla Cyberbond 2008 bylo dosaženo za použití primeru  $R_m = (640,33 \pm 21,22)$  N, u kterého vzrostla průměrná pevnost o 40% oproti průměrné pevnosti neupraveného povrchu.



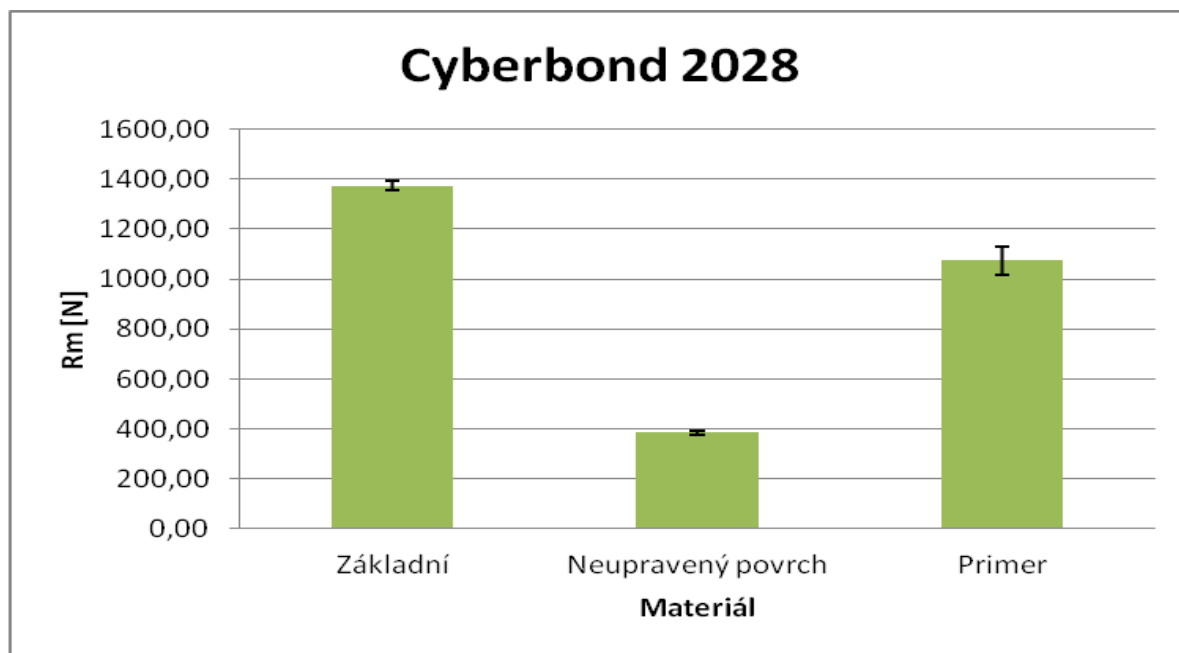
Obr. 35. Průměrné hodnoty maximální zatěžující síly u neupraveného lepeného spoje a ozářeného, lepeného lepidlem Cyberbond 2008.

Z ozářených vzorků mají nejvyšší průměrnou maximální zatěžující sílu vzorky při ozáření 33kGy  $R_m = (298,29 \pm 9,91)$  N, u kterých se snížila průměrná pevnost oproti průměrné pevnosti vzorků s neupraveným povrchem o 33 %.

## 12.4 Vyhodnocení zkoušek lepených spojů lepidlem Cyberbond 2028

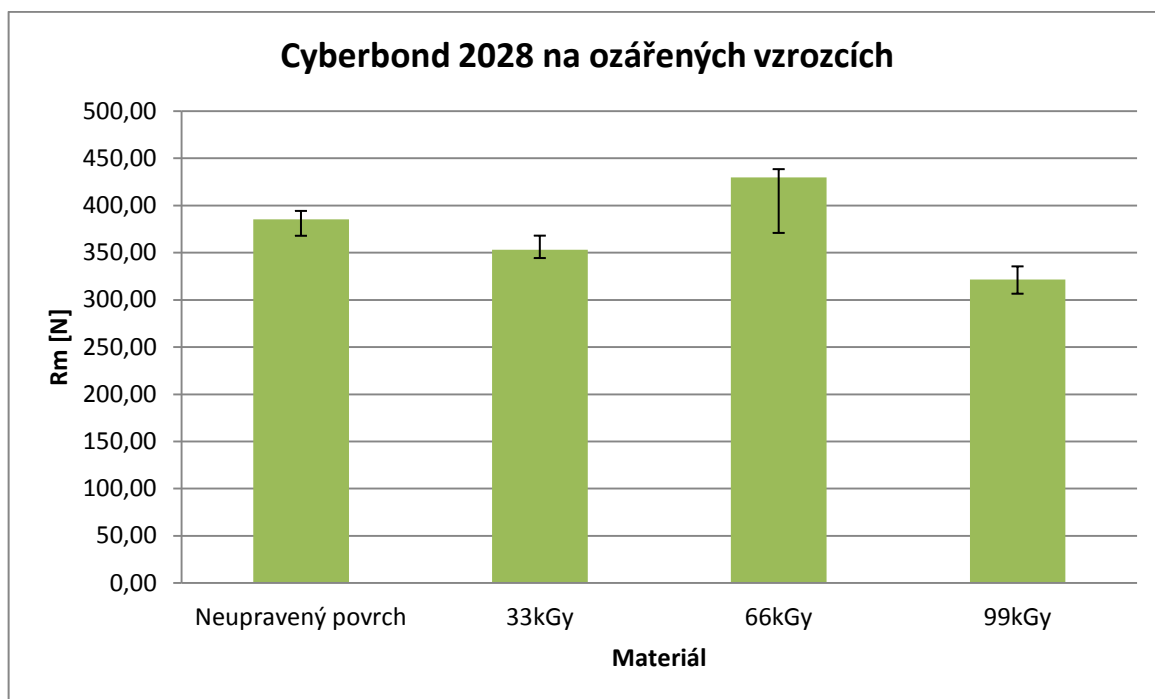
Tab. 20. Průměrné hodnoty maximální zatěžující síly u lepidla Cyberbond 2028.

Lepidlo Cyberbond 2028						
Číslo měření	Rm[N]					
	Základní	Neupravený povrch	Primer	33kGy	66kGy	99kGy
1	1306,45	366	1260,93	300,07	432,1	300,09
2	1373,91	406,84	1001,36	397,78	458,03	296,67
3	1392,31	356,62	1203,77	381,5	423,82	375,57
4	1403,37	396,91	1183,69	367,37	411,04	299,8
5	1395,2	379,54	1076,61	342,53	441,15	362,72
6	...	393,79	969,16	378,72	425,8	307,37
7	...	410,39	880,41	332,22	398,89	301,68
8	...	373,82	1010,76	323,55	447,67	328,12
<b>PRŮMĚRNÁ HODNOTA</b>	<b>1374,25</b>	<b>385,49</b>	<b>1073,34</b>	<b>352,97</b>	<b>429,81</b>	<b>321,50</b>
<b>CHYBA MĚŘENÍ</b>	<b>17,62</b>	<b>8,72</b>	<b>58,93</b>	<b>15,02</b>	<b>8,63</b>	<b>13,94</b>



Obr. 36. Průměrné hodnoty maximální zatěžující síly mezi lepenými spoji s neupraveným povrchem a za použití primeru, u lepidla Cyberbond 2028.

Nejvyšší průměrné pevnosti lepených spojů při aplikaci lepidla Cyberbond 2028 bylo dosaženo za použití primeru  $R_m = (1073,34 \pm 58,93)$  N, který dosahuje 35 % naměřené průměrné pevnosti neupraveného povrchu  $R_m = (385,49 \pm 8,72)$  N. Průměrná pevnost vzorků s povrchovou úpravou primerem se zvýší oproti povrchu s neupraveným povrchem o 64 %.



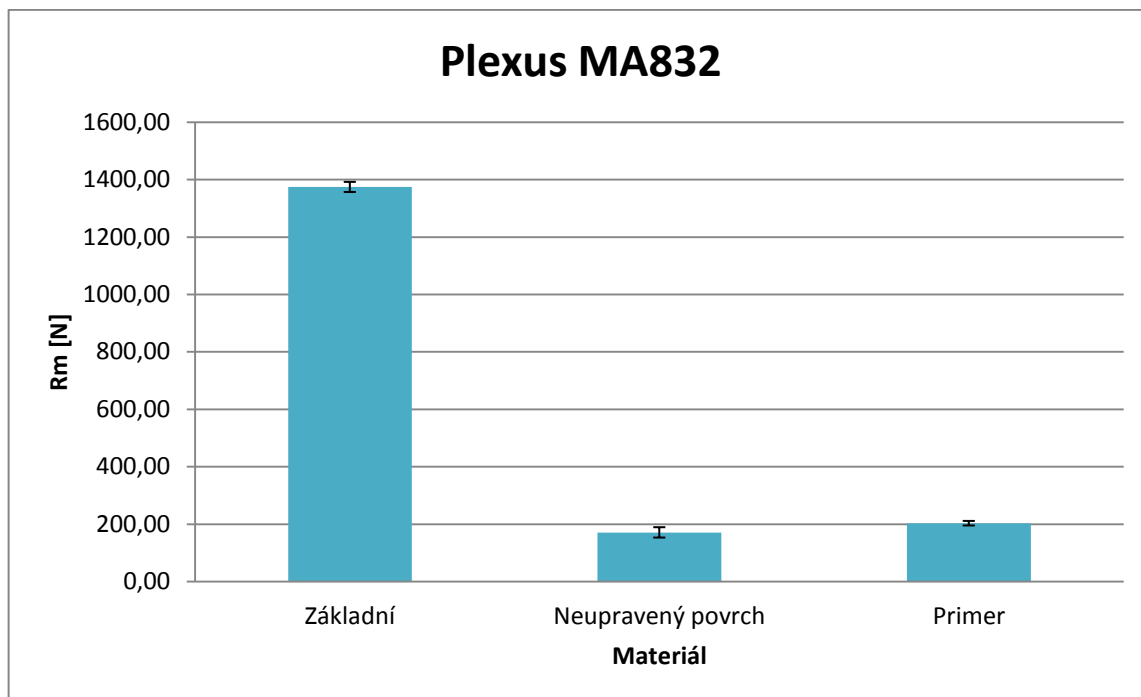
Obr. 37. Průměrné hodnoty maximální zatěžující síly u neupraveného lepeného spoje a ozářeného, lepeného lepidlem Cyberbond 2028.

Nejvyšší pevnost z ozářených vzorků mají vzorky ozářené dávkou 66 kGy  $R_m = (429,81 \pm 8,63)$  N, které mají o 10 % větší pevnost jak vzorky s neupraveným povrchem. Nejnižší průměrnou pevnost mají vzorky ozářené dávkou 99 kGy  $R_m = (321,50 \pm 13,94)$  N, u kterých se sníží průměrná pevnost oproti neupravenému materiálu o 16 %.

## 12.5 Vyhodnocení zkoušek lepených spojů lepidlem Plexus MA832

Tab. 21. Průměrné hodnoty maximální zatěžující síly lepených spojů lepidlem Plexus MA832.

Lepidlo Plexus MA832			
Číslo měření	Rm[N]		
	Základní	Neupravený povrch	Primer
1	1306,45	165,61	202,03
2	1373,91	80,47	219,61
3	1392,31	202,72	229,98
4	1403,37	175,15	216,63
5	1395,2	186,45	195,62
6	...	199,43	176,25
7	...	201,43	187,92
8	...	159,74	199,22
<b>PRŮMĚRNÁ HODNOTA</b>	<b>1374,25</b>	<b>171,38</b>	<b>203,41</b>
<b>CHYBA MĚŘENÍ</b>	<b>17,62</b>	<b>18,01</b>	<b>7,93</b>



Obr. 38. Průměrné hodnoty maximální zatěžující síly mezi lepenými spoji s neupraveným povrchem a za použití primeru, lepidlem Plexus MA832.

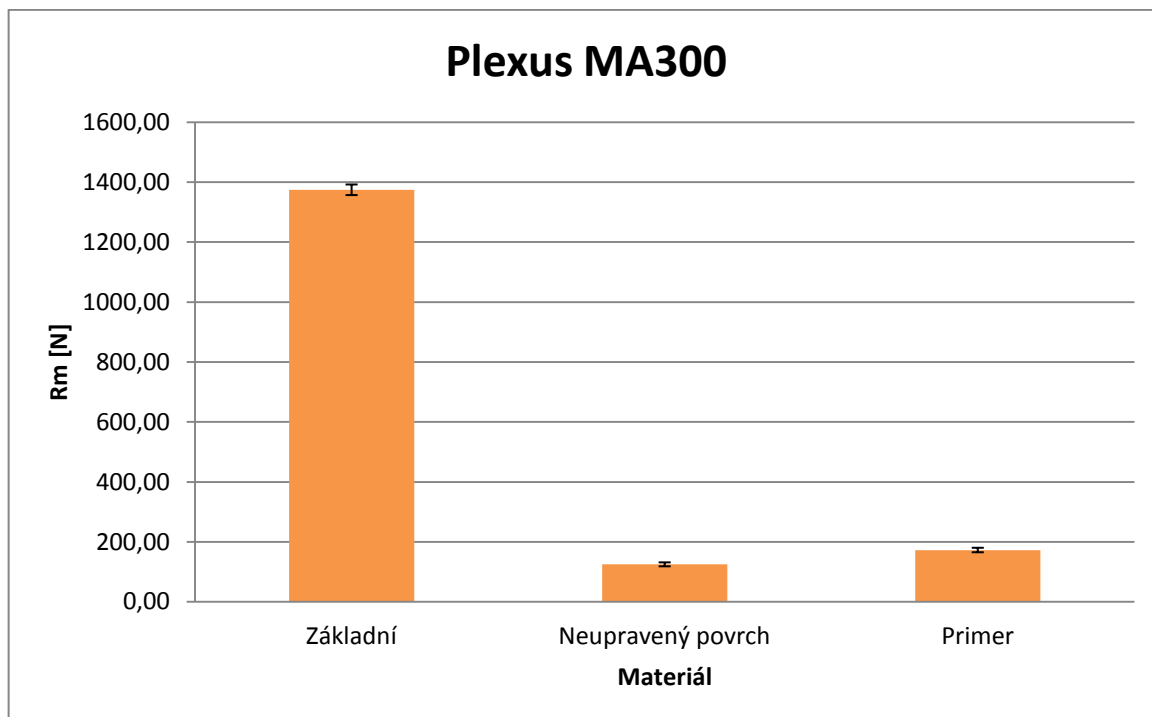
Nejvyšší průměrné pevnosti lepených spojů při aplikaci lepidla Plexus MA832 bylo dosaženo za použití primeru  $R_m = (203,41 \pm 7,93)$  N, u kterého se oproti neupravenému povrchu  $R_m = (171,38 \pm 18,01)$  N zvětšila o 28 % jeho průměrná pevnost.

## 12.6 Vyhodnocení zkoušek lepených spojů lepidlem Plexus MA300

Tab. 22. Průměrné hodnoty maximální zatěžující síly lepených spojů lepidlem Plexus MA300.

Lepidlo Plexus MA300			
Číslo měření	Rm[N]		
	Základní	Neupravený povrch	Primer
1	1306,45	128,13	183,22
2	1373,91	142,57	159,85
3	1392,31	105,11	190,96
4	1403,37	125,14	150,83
5	1395,2	119,93	162,04
6	...	149	170,5
7	...	115,32	198,93
8	...	115,14	166,21
<b>PRŮMĚRNÁ HODNOTA</b>	<b>1374,25</b>	<b>125,04</b>	<b>172,82</b>
<b>CHYBA MĚŘENÍ</b>	<b>17,62</b>	<b>6,56</b>	<b>7,44</b>





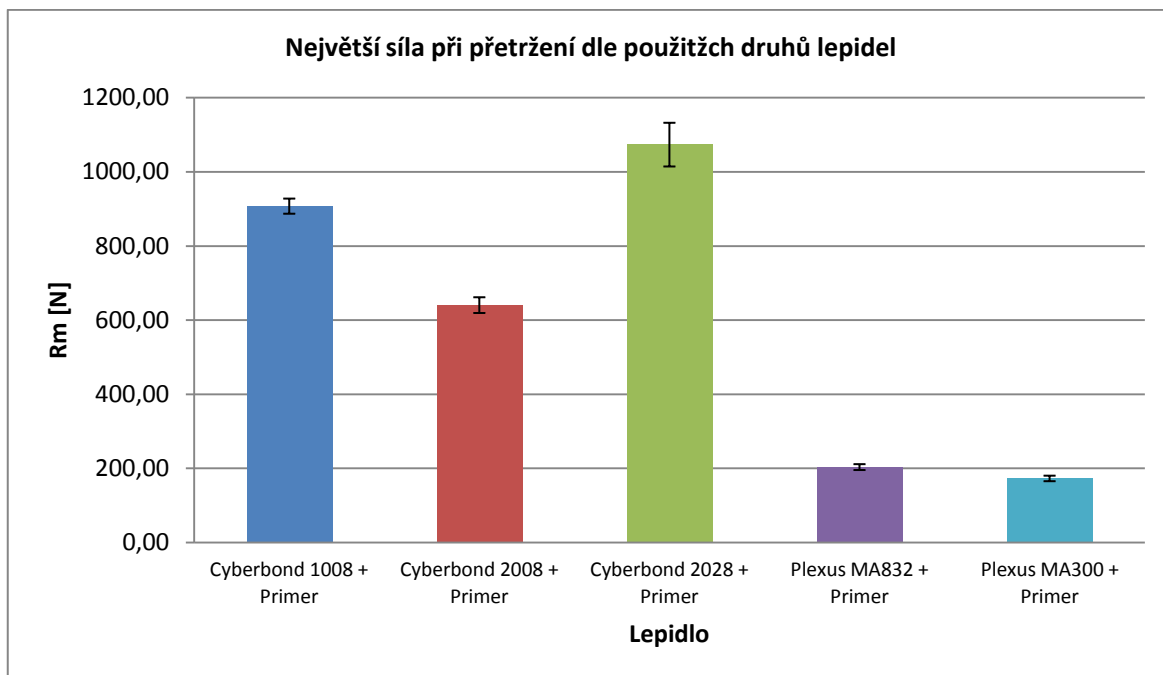
Obr. 39. Průměrné hodnoty maximální zatěžující síly mezi lepenými spoji s neupraveným povrchem a za použití primeru, lepidlem Plexus MA300.

Nejvyšších průměrných pevností lepených spojů při aplikaci lepidla Plexus MA300 bylo dosaženo za použití primeru  $R_m = (172,82 \pm 7,44)$  N, u kterého se oproti neupravenému povrchu  $R_m = (125,04 \pm 6,56)$  N zvětšila o 28 % jeho průměrná pevnost.

## 12.7 Porovnání výsledků nejvyšších pevností lepených spojů

Tab. 23. Hodnoty nejsilnějších lepených spojů použitých lepidel.

Číslo měření	Největší síla při přetržení dle použitých druhů lepidel $R_m$ [N]				
	Cyberbond 1008 + Primer	Cyberbond 2008 + Primer	Cyberbond 2028 + Primer	Plexus MA832 + Primer	Plexus MA300 + Primer
1	911,46	642,77	1260,93	202,03	183,22
2	960,41	683,62	1001,36	219,61	159,85
3	930,59	651,49	1203,77	229,98	190,96
4	926,56	632,13	1183,69	216,63	150,83
5	833,93	716,82	1076,61	195,62	162,04
6	842,27	560,69	969,16	176,25	170,5
7	942,04	602,35	880,41	187,92	198,93
8	911,56	632,74	1010,76	199,22	166,21
<b>PRŮMĚRNÁ HODNOTA</b>	<b>907,35</b>	<b>640,33</b>	<b>1073,34</b>	<b>203,41</b>	<b>172,82</b>
<b>CHYBA MĚŘENÍ</b>	<b>20,42</b>	<b>21,22</b>	<b>58,93</b>	<b>7,93</b>	<b>7,44</b>



Obr. 40. Porovnání hodnot nejsilnější lepených spojení jednotlivých druhů lepidel

Ze souhrnu největších sil u jednotlivých druhů lepidel uvedených v následující tabulce (Tab. 24.) bylo zjištěno, že lepidla mají nejvyšší maximální zatěžující sílu za použití primeru. Dále je z uvedených údajů vidět, že nejlepší spojení při jednoosém namáhání neplněného polypropylenu je za použití lepidla Cyberbond 2028 + primer.

Tab. 24. Procentuální vyjádření pevnosti nejlepšího lepeného spoje vůči základnímu materiálu.

Procentuální vyjádření pevnosti nejlepšího lepeného spoje vůči základnímu materiálu.		
Lepidlo	Rm[N]	[%]
Cyberbond 1008 + Primer	907,35	66
Cyberbond 2008 + Primer	640,33	47
Cyberbond 2028 + Primer	1073,34	78
Plexus MA832 + Primer	203,41	15
Plexus MA300 + Primer	172,82	13

## DISKUZE VÝSLEDKŮ

Ke zkouškám byl vybrán materiál z neplněného polypropylenu, který se používá v průmyslu a dva druhy dvousložkových a tři druhy sekundových lepidel. Lepení bylo prováděno na vzorcích bez povrchové úpravy a s povrchovými úpravami. Úpravy zkušebních těles byly provedeny radiačním sít'ováním s dávkami ozáření 33, 66, 99 kGy u zvolených sekundových lepidel, nebo za použití primeru u všech použitých lepidel. Při tahových zkouškách byla zjišťována maximální zatěžující síla. Měření základních zkušebních tělísek a tělísek s třemi dávkami ozáření, jejíž výsledky jsou uvedeny v (Tab. 17.), ze které vyplývá, že s rostoucí dávkou ozáření klesá průměrná pevnost zkušebních těles.

Měření lepených vzorků s neupraveným povrchem při aplikaci všech druhů použitých lepidel. Z naměřených výsledků bylo zjištěno, že lepidla Cyberbond 2008 a 2028 mají bez úpravy povrchu přibližně stejnou průměrnou maximální zatěžující sílu  $R_m = 385$  N, které jsou uvedeny v ( Tab.19. a 20.). Nejmenší průměrná pevnost  $R_m = (125,04 \pm 6,56)$  N uvedena v ( Tab. 22.) byla naměřena u lepidla Plexus MA300, toto lepidlo dosahuje pouze 9% průměrné pevnosti základního materiálu  $R_m = (1374,25 \pm 17,62)$  N.

Měření lepených vzorků s povrchovou úpravou primerem při aplikaci všech druhů použitých lepidel. Tato spojení byly samostatně vyhodnocena v ( Tab. 23.), protože aplikací primeru na lepené spoje se zjistilo, že dosahují nejvyšších průměrných pevností. Celkově nejlépe při povrchové úpravě primerem obstála sekundová lepidla a nejhůře dvousložková lepidla. Nejlepší sekundové lepidlo Cyberbond 2028 za použití primeru mělo průměrnou pevnost  $R_m = (1073,34 \pm 58,93)$  N, oproti nejlepšímu dvousložkovému lepidlu Plexus MA832 o 81 % průměrnou pevnost vyšší. Poměr všech lepidel vůči základnímu materiálu je popsán v (Tab. 24.).

Měření lepených vzorků sekundovými lepidly s povrchovou úpravou radiačním sít'ováním bylo zjištěno, že u lepidel Cyberbond 1008 a 2028 je jako nejvhodnější dávkou ozáření 66 kGy, což můžeme vidět na grafech ( Obr. 34 a 38) a pro lepidlo Cyberbond 2008 je nejméně vhodnou dávkou. U jediného lepidla Cyberbond 2008 je největší průměrná pevnost  $R_m = (298,29 \pm 9,91)$  N dosahována už při 33 kGy a pak pevnost s ozářením klesá, což můžeme vidět na grafu ( Obr. 36.). Nejvyšší průměrnou pevnost  $R_m = (429,81 \pm 8,63)$  N ve všech ozařovaných dávkách má lepidlo Cyberbone 2028 a jako nejméně vhodné ze všech ozařovaných dávek má lepidlo Cyberbone 1008. Nejvhodnější lepené spojení s povrchovou úpravou je za použití lepidla Cyberbond 2028, které dosahuje 69 %.

## ZÁVĚR

Bakalářská práce řeší pevnost lepených spojů z neplněného polypropylenu sekundovými (Cyberbond 1008, 2008 a 2028) a dvousložkovými lepidly (Plexus MA300 a MA832). Lepení bylo prováděno na vzorcích bez povrchové úpravy a s povrchovými úpravami. Úpravy povrchu byly provedeny radiačním síťováním u zvolených sekundových lepidel, nebo za použití primeru u všech použitých lepidel. Při tahových zkouškách byla zjišťována maximální zatěžující síla základních vzorků s různými dávkami ozáření 33, 66, 99 kGy a lepených vzorků.

Z naměřených dat bylo zjištěno, že u základních vzorků se pevnost s dávkou ozáření snižuje. Při zkouškách všech lepených spojů došlo k porušení ve spoji.

Při lepení vzorků s neupraveným povrchem bylo naměřeno, že lepidla Cyberbond 2008 a 2028 mají přibližně stejnou a také největší průměrnou pevnost ze tří použitých sekundových lepidel a dvou dvousložkových.

Dále bylo zjištěno, že lepené vzorky s povrchovou úpravou primerem mají větší pevnost, než lepené vzorky za použití radiačního síťování. Jako nejlepším lepidlem pro lepení neplněného polypropylenu bylo zjištěno lepidlo Cyberbond 2028 s použitím primeru, které dosahovalo 78% průměrné pevnosti základního materiálu.

Jako nejvhodnějším lepidlem pro lepení ozářených vzorků je lepidlo Cyberbond 2028 s dávkou 66 kGy, které dosahovalo nejlepších výsledků.

**SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY**

- [1] OSTEN, Miloš. *Lepení plastických hmot*. Vyd. 1. Praha : SNTL, 1972. 149 s
- [2] PETERKA, Jindřich. *Lepení konstrukčních materiálů ve strojírenství*. 1. vyd. Praha : Státní nakladatelství technické literatury, 1980. 788 s.
- [3] OSTEN, Miloš. *Práce s lepidly a tmely*. 2., přeprac. vyd. Praha : SNTL, 1982. 283 s
- [4] LANGMAIER, Ferdinand. *Adhese a adhesiva*. 1. vyd. Zlín : FT VUT, 1999. 106 s. ISBN 8021413735.
- [5] KOVAČIČ, Ludomír. *Lepenie kovov a plastov*. 1. vyd. Bratislava : Alfa, 1980. 389 s
- [6] LENFELD, Petr. Zpracování plastů: Doplnkové technologie pro zpracování plastů. *Katedra tváření kovů a plastů* [online]. [cit. 2012-03-11]. Dostupné z: [http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta\\_tkp/sekce\\_plasty/12.htm](http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/12.htm)
- [7] *Základy teorie lepení.pdf. ABC LEPIDLA - internetový obchod: Rádce lepení - Teorie lepení, pojmy z oblasti lepení* [online]. © 2005 [cit. 2012-03-11]. Dostupné z: [http://www.abclepidla.cz/pdfs/Zaklady\\_teorie\\_lepeni.pdf](http://www.abclepidla.cz/pdfs/Zaklady_teorie_lepeni.pdf)
- [8] *Lepení plastů býval tvrdý oříšek. Český kutil - Internetový hobby receptář: Zajímavosti- Pepův tip - Magazín* [online]. 31.01.2010 [cit. 2012-03-11]. Dostupné z: <http://www.ceskykutil.cz/lepeni-plastu-byval-tvrdy-orisek>
- [9] DUCHÁČEK, Vratislav. *Základní pojmy z chemie a technologie polymerů, jejich mezinárodní zkratky a obchodní názvy*. Vyd. 1. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická, 1996, 56 s. ISBN 8070802650.
- [10] Cybershop[online]. [cit. 2012-05-21]. Dostupné z WWW: [<Http://www.cybershopcz.com/>](http://www.cybershopcz.com/)
- [11] Hortrade[online]. [cit. 2012-05-21]. Dostupné z WWW: [<Http://www.hortrade.cz/komponenty/plexus/plexus\\_ltd\\_ma300.doc>](http://www.hortrade.cz/komponenty/plexus/plexus_ltd_ma300.doc)
- [12] *Curbellplastics*. [online]. [cit. 2012-05-21]. Dostupné z: <http://www.curbellplastics.com/technical-resources/pdf/adhesives-plexus-ma832.pdf>.

- [13] Praktikloziska. [online]. [cit. 2012-05-21]. Dostupné z: <http://www.praktikloziska.cz/admin/uploaded/image/eshop/technicke%20listy/PermaBond.pdf>
- [14] Cyberbond. [online]. [cit. 2012-05-21]. Dostupné z: [http://www.cyberbond.cz/administrace/mod\\_obsah/data/9/download/CYBERBONDCALEPIDLABROZURA06.pdf](http://www.cyberbond.cz/administrace/mod_obsah/data/9/download/CYBERBONDCALEPIDLABROZURA06.pdf)
- [15] BEDNAŘÍK, Martin. Vlastnosti lepených spoju- polymery. Zlín, 2009. 74 s. Bakalářská práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně.
- [16] LAMBOROVÁ, Romana. Recyklace ozářených polymerů. Zlín, 2009. diplomová práce (Ing.). Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. Fakulta technologická.

**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

Rm	Maximální zatěžující síla [N].
Obr.	Obrázek.
Tab.	Tabulka.
kGy	Kilogray (jednotak dávky ozáření).
ČSN	Česká technická norma.
EN	Evropská technická norma.
ISO	Mezinárodní technická norma.
PP	Polypropylene.
PE	Polyethylene.
ABS	Akrylonitril - butadién - styren.
PTFE	Poyltetrafluóretylén.
PS	Polystyrén.
PMMA	Polymethylmetakrylát.
MPa	Megapaskal (jednotka tlaku).

**SEZNAM OBRÁZKŮ**

<i>Obr. 1. Schématické složení lepeného spoje. [1]</i> .....	13
<i>Obr. 2. Kapalina nesmáčí materiál. [7]</i> .....	19
<i>Obr. 3 Kapalina smáčí materiál. [7]</i> .....	19
<i>Obr. 4. Kapková metoda [8]</i> .....	26
<i>Obr. 5. Přeplátovaný spoj. [6]</i> .....	29
<i>Obr. 6. Zkosený spoj. [6]</i> .....	29
<i>Obr. 7. Se stykovou deskou. [6]</i> .....	29
<i>Obr. 8. Napětí v překrytém spoji. [5]</i> .....	30
<i>Obr. 9. Závislost pevnosti spoje na délce překrytí. [5]</i> .....	30
<i>Obr. 10. Vzorek pro zkoušky pevnosti v odlupování. [2]</i> .....	33
<i>Obr. 11. Vzorek pro rovnoměrné odtrhnutí[2]</i> .....	33
<i>Obr. 12. Vzorek pro zkoušky ve smyku. [2]</i> .....	34
<i>Obr. 13. Strukturní vzorec polypropylenu.</i> .....	39
<i>Obr. 14. CYBERBOND</i> .....	42
<i>Obr. 15. CYBERBOND</i> .....	43
<i>Obr. 16. CYBERBOND</i> .....	44
<i>Obr. 17. Lepidlo Plexus MA300.</i> .....	46
<i>Obr. 18. Plexus MA832</i> .....	47
<i>Obr. 19. Vstřikovací stroj Arburg 420C Advanced. [15]</i> .....	48
<i>Obr. 20. Výstřík zkušebního tělíska a plátku na přeplátování.</i> .....	49
<i>Obr. 21. Zkušební tělíska seřazené podle dávky</i> .....	49
<i>Obr. 22. Schéma radiačního sítování. [16]</i> .....	50
<i>Obr. 23. Prime Cyberbond 9056[10]</i> .....	51
<i>Obr. 24. Vytlačovací pistole na lepidlo Plexus MA300.</i> .....	53
<i>Obr. 25. Statický mixér.</i> .....	53
<i>Obr. 26. Příprava zkušebních vzorků.</i> .....	54
<i>Obr. 27. Přípravky sloužící k přesnému a kvalitnímu slepení vzorků.</i> .....	54
<i>Obr. 28. Lepený spoj lepidlem Plexus MA300.</i> .....	55
<i>Obr. 29. Lepený spoj lepidlem Plexus MA300.</i> .....	55
<i>Obr. 30. Trhací stroj Zwik 1456 a upnutí zkušebního tělíska.</i> .....	56
<i>Obr. 31. Vliv ozáření na pevnost základních materiálů.</i> .....	57



<i>Obr. 32. Průměrné hodnoty maximální zatěžující síly mezi lepenými spoji s neupraveným povrchem a za použití primeru, u lepidla Cyberbond 1008. ....</i>	<i>58</i>
<i>Obr. 33. Průměrné hodnoty maximální zatěžující síly u neupraveného lepeného spoje a ozářeného, lepeného lepidlem Cyberbond 1008. ....</i>	<i>59</i>
<i>Obr. 34. Průměrné hodnoty maximální zatěžující síly mezi lepenými spoji s neupraveným povrchem a za použití primeru, u lepidla Cyberbond 2008. ....</i>	<i>60</i>
<i>Obr. 35. Průměrné hodnoty maximální zatěžující síly u neupraveného lepeného ..... </i>	<i>61</i>
<i>Obr. 36. Průměrné hodnoty maximální zatěžující síly mezi lepenými spoji s neupraveným povrchem a za použití primeru, u lepidla Cyberbond 2028. ....</i>	<i>62</i>
<i>Obr. 37. Průměrné hodnoty maximální zatěžující síly u neupraveného lepeného spoje a ozářeného, lepeného lepidlem Cyberbond 2028. ....</i>	<i>63</i>
<i>Obr. 38. Průměrné hodnoty maximální zatěžující síly mezi lepenými spoji s neupraveným povrchem a za použití primeru, lepidlem Plexus MA832. ....</i>	<i>64</i>
<i>Obr. 39. Průměrné hodnoty maximální zatěžující síly mezi lepenými spoji s neupraveným povrchem a za použití primeru, lepidlem Plexus MA300. ....</i>	<i>65</i>
<i>Obr. 40. Porovnání hodnot nejsilnější lepených spojení jednotlivých druhů lepidel .....</i>	<i>66</i>

**SEZNAM TABULEK**

<i>Tab. 1. Adhezní vlastnosti polymerů. [3]</i> .....	17
<i>Tab. 2. Lepidla kapalná. [7]</i> .....	22
<i>Tab. 3. Lepidla tavná. [7]</i> .....	22
<i>Tab. 4. Použití rozpouštědlových lepidel. [7]</i> .....	23
<i>Tab. 5. Použití Reaktivních lepidel. [7]</i> .....	24
<i>Tab. 6. Fyzikální vlastnosti polypropylenu. [9]</i> .....	39
<i>Tab. 7. Typy zvolených lepidel</i> .....	41
<i>Tab. 8. Fyzikální vlastnosti lepidla CYBERBOND 1008. [10]</i> .....	42
<i>Tab. 9. Fyzikální vlastnosti lepidla CYBERBOND 2008. [10]</i> .....	44
<i>Tab. 10. Fyzikální vlastnosti lepidla CYBERBOND 2028. [10]</i> .....	45
<i>Tab. 11. Fyzikální a mechanické vlastnosti Plexus MA300. [11]</i> .....	46
<i>Tab. 12. Fyzikální a mechanické vlastnosti Plexus MA832.[12]</i> .....	47
<i>Tab. 13. Technická data vstřikovacího stroje Arburg 420 C.[15]</i> .....	48
<i>Tab. 14. Fyzikální vlastnosti primeru CYBERBOND</i> .....	52
<i>Tab. 15. Rovnice aritmetického průměru a chyby měření.</i> .....	56
<i>Tab. 16. Technické parametry trhacího stroje Zwick. [15]</i> .....	56
<i>Tab. 17. Průměrné hodnoty maximální zatěžující síly u</i> .....	57
<i>Tab. 18. Průměrné hodnoty maximální zatěžující síly u lepidla Cyberbond 1008.</i> .....	58
<i>Tab. 19. Průměrné hodnoty maximální zatěžující síly u lepidla Cyberbond 2008.</i> .....	60
<i>Tab. 20. Průměrné hodnoty maximální zatěžující síly u lepidla Cyberbond 2028.</i> .....	62
<i>Tab. 21. Průměrné hodnoty maximální zatěžující síly</i> .....	63
<i>Tab. 22. Průměrné hodnoty maximální zatěžující síly</i> .....	64
<i>Tab. 23. Hodnoty nejsilnějších lepených spojů použitých lepidel.</i> .....	65
<i>Tab. 24. Procentuální vyjádření pevnosti nejlepšího</i> .....	66

## SEZNAM PŘÍLOH

CD ROM