

# **Pevnost lepených spojů vybraných polymerů**

Radim Michálek

---

Bakalářská práce  
2015

 Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

akademický rok: 2014/2015

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Radim Michálek**  
Osobní číslo: **T14878**  
Studijní program: **B3909 Procesní inženýrství**  
Studijní obor: **Technologická zařízení**  
Forma studia: **prezenční**

Téma práce: **Pevnost lepených spojů vybraných polymerů**

Zásady pro vypracování:

1. Vypracování literární rešerše na dané téma.
2. Výroba a příprava těles pro experiment.
3. Provedení experimentu.
4. Vyhodnocení naměřených výsledků.

Rozsah bakalářské práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

1. **BROCKMANN, Walter.** Adhesive bonding: materials, applications and technology. Weinheim: Wiley-VCH, c2009, xviii, 414 s. ISBN 978-3-527-31898-8.
2. **OSTEN, Miloš.** Lepení plastických hmot. 2., opr. vyd. Praha: SNTL – Státní nakladatelství technické literatury, 1974, 150 s.
3. **PETERKA, Jindřich.** Lepení konstrukčních materiálů ve strojírenství. 1. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1980, 788 s.

Vedoucí bakalářské práce:

**Ing. Martin Bednařík**

Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání bakalářské práce:

**30. ledna 2015**

Termín odevzdání bakalářské práce:

**22. května 2015**

Ve Zlíně dne 9. února 2015

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



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

Přijetí a jméno: PIKÁLEK RADIM

Obor: TZ

## 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. květen 2015

  
.....

<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 nevydělečně 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>31</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 díla:

(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 výdělků 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**

Cílem bakalářské práce je porovnat vlastnosti a pevnost lepených spojů vybraných polymerů. V teoretické části je popsána adheze, technologie lepení polymerů a vlastnosti lepených spojů. Dále jsou zde uvedeny popisy lepidel a jejich využití u různých polymerů. V praktické části jsou vyhodnoceny zkoušky pevnosti lepených spojení a adheze.

Klíčová slova: Lepení, lepené spoje, polymery, pevnost, lepidlo, adheze.

## **ABSTRACT**

The aim of this work is to compare the qualities and strength of bonded joints selected polymeric materials. The theoretical part describes the technology bonding polymers and the properties of bonded joints. There are also descriptions of glues and their use in various polymers. In the practical part are evaluated by testing the strength of glued connections.

Keywords: Bonding, bonded joints, polymers, strength glue.

Na tomto místě bych rád poděkoval především vedoucímu mé bakalářské práce Ing. Martinu Bednaříkovi, za příkladné vedení, podmětné rady a cenné připomínky.

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

# OBSAH

<b>ÚVOD</b> .....	<b>11</b>
<b>I TEORETICKÁ ČÁST</b> .....	<b>12</b>
<b>1 TEORIE LEPENÍ</b> .....	<b>13</b>
1.1 ADHEZE A KOHEZE .....	13
1.2 STRUKTURA LEPENÉHO SPOJE A FÁZE JEHO VZNIKU.....	14
1.3 VÝHODY A NEVÝHODY LEPENÝCH SPOJŮ .....	14
<b>2 PROVEDENÍ LEPENÉHO SPOJE</b> .....	<b>16</b>
2.1 TVORBA LEPENÉHO SPOJE.....	16
2.2 PODMÍNKY ZPRACOVÁNÍ .....	16
2.2.1 Příprava povrchu výrobku .....	16
2.2.2 Příprava lepidel .....	16
2.2.3 Nanášení lepidel .....	17
2.2.4 Doba a podmínky tuhnutí lepidla .....	17
2.2.5 Urychlení tuhnutí lepidla ve spoji .....	17
2.2.6 Fixace lepených spojů pomocí tlaku .....	18
2.2.7 Chyby při lepení polymerů .....	18
2.3 FAKTORY OVLIVŇUJÍCÍ KVALITU SPOJE.....	18
2.3.1 Polarita .....	18
2.3.2 Krystalinita polymerů.....	19
2.3.3 Obsah plniv a změkčovadel.....	19
2.3.4 Soudružnost povrchu.....	19
2.3.5 Rovnost a hladkost povrchu .....	20
2.3.6 Délková roztažnost.....	20
2.3.7 Čistota lepeného povrchu .....	20
2.3.8 Rozpustnost a botnavost.....	20
2.4 PŘEDBĚŽNÉ ÚPRAVY LEPENÉHO POVRCHU .....	21
2.4.1 Mechanické opracování.....	21
2.4.2 Odmašťování spojů .....	21
2.4.3 Chemické moření .....	21
2.5 FAKTORY OVLIVŇUJÍCÍ PEVNOST LEPÉHO SPOJE.....	22
2.5.1 Tloušťka spoje.....	22
2.5.2 Typ zatěžování spoje .....	22
2.5.3 Doba vytvrzování lepidla .....	22
2.5.4 Vady ve vrstvě lepidla .....	22
<b>3 LEPIDLA</b> .....	<b>24</b>



3.1	ROZDĚLNÍ LEPIDEL PODLE PRINCIPU TUHNUTÍ VE SPOJI.....	24
3.2	ZÁKLADNÍ ROZDĚLENÍ LEPIDEL .....	24
3.3	KLASIFIKACE LEPIDEL .....	25
3.4	POŽADAVKY NA LEPIDLA.....	25
3.5	PŘEDBĚŽNÉ ÚPRAVY LEPÍCÍCH SMĚSÍ A LEPIDEL.....	26
3.5.1	Zahušťování lepidla.....	26
3.5.2	Ředění lepidla.....	26
3.5.3	Zvyšování voděodolnosti lepidla.....	27
3.5.4	Zvyšování přilnavosti lepidla .....	27
3.5.5	Barvení lepidla .....	27
3.5.6	Ovlivnění pracovní životnosti lepicích směsí .....	27
<b>4</b>	<b>ZKOUŠKY LEPENÝCH SPOJŮ .....</b>	<b>28</b>
4.1	NEDESTRUKTIVNÍ METODY .....	28
4.2	DESTRUKTIVNÍ METODY .....	28
4.2.1	Namáhání v tahu.....	28
4.2.2	Namáhání rázem.....	29
4.2.3	Pevnost v odlupování .....	29
4.2.4	Zkouška lámavosti.....	29
4.2.5	Zkouška časové pevnosti a stárnutí .....	29
<b>5</b>	<b>LEPENÍ VYBRANÝCH DRUHŮ POLYMERŮ .....</b>	<b>30</b>
5.1	POLYOLEFINY .....	30
5.1.1	Polypropylen (PP) .....	30
5.1.2	Lepení polypropylenu (PP).....	31
5.2	PŘÍKLADY LEPENÍ DALŠÍCH POLYMERNÍCH MATERIÁLŮ.....	31
5.2.1	Lepení Polyamidu (PA).....	31
5.2.2	Lepení Polyvinylchloridu (PVC).....	31
5.2.3	Lepení Polystyrenu (PS).....	32
5.2.4	Lepení Polymethylmethakrylátu (PMMA).....	32
5.2.5	Lepení Polykarbonátu (PC) .....	32
<b>II</b>	<b>PRAKTICKÁ ČÁST .....</b>	<b>33</b>
<b>6</b>	<b>CÍL BAKALÁŘSKÉ PRÁCE .....</b>	<b>34</b>
<b>7</b>	<b>VÝROBA ZKUŠEBNÍCH VZORKŮ.....</b>	<b>35</b>
7.1	POSTUP VÝROBY ZKUŠEBNÍCH TĚLES.....	35
7.1.1	Použitý materiál.....	35
7.2	VOLBA LEPIDEL .....	36
7.3	PŘÍPRAVA ZKUŠEBNÍCH TĚLES NA LEPENÍ .....	37
7.3.1	Radiační síťování .....	37
7.3.2	Aktivace Primerem.....	38
7.4	ZKOUŠKA PEVNOSTI LEPENÉHO SPOJE.....	39
7.5	KONTAKTNÍ ÚHEL SMÁČENÍ.....	39
<b>8</b>	<b>ZKOUŠKY PEVNOSTI LEPENÝCH SPOJENÍ.....</b>	<b>41</b>

8.1	ZKOUŠKA SMÁČENLIVOSTI POVRCHU .....	41
8.2	MODIFIKACE IONIZAČNÍM BETA ZÁŘENÍM.....	42
8.2.1	Pevnost lepeného spoje za použití lepidla Cyberbond 1008 .....	42
8.2.2	Lepidlo Cyberbond 2028 .....	43
8.2.3	Lepidlo Cyberbond 5008 .....	44
8.2.4	Lepidlo Cyberbond 2008 .....	45
8.2.5	Lepidlo Plexus MA 300 .....	46
8.2.6	Porovnání nejvyšších hodnot jednotlivých lepidel.....	47
	<b>DISKUZE VÝSLEDKŮ .....</b>	<b>49</b>
	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>50</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY .....</b>	<b>51</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK .....</b>	<b>53</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>54</b>
	<b>SEZNAM TABULEK.....</b>	<b>55</b>
	<b>SEZNAM PŘÍLOH.....</b>	<b>56</b>

## ÚVOD

Lepení se stalo s novým vývojem syntetických lepidel moderním způsobem nerozebíratelného spojování materiálů. Oproti metodám svařování, nýtování, stloukání, sešívání a šroubování má lepení mnohem více možností a umožňuje dosažení spojů s vlastnostmi, kterých nebylo možno dosáhnout jinými spojovacími metodami.

Pro materiály jako jsou například kůže, papír, dřevo a pryž je lepení běžnou a ověřenou metodou, kdežto pro živé tkáně a kovy není metoda příliš běžná. Lepení, způsob nerozebíratelného spojení, má mnoho výhod a předností. Na rozdíl od spojů nýtových a šroubových jsou takové spoje nepropustné pro kapaliny nebo plyny. Avšak kombinace běžných způsobů spojování a lepení není vždy vyloučena. Hladkost povrchu a estetický vzhled výrobku není lepením narušen. Mechanické vlastnosti materiálu se nezhoršují vyvrtáním otvorů pro spojovací prvky. Lepený spoj při dynamickém namáhání rozvádí rovnoměrněji vzniklé pnutí, nežli jiný spoj. Lepení je využitelné jak pro velkoplošné spoje, tak i pro lepení většího počtu různých malých součástí.

Nicméně, nelze ovšem očekávat, že každé lepidlo je využitelné pro všechny druhy materiálů. I přes to ale některá z lepidel (např. epoxidová lepidla), mají velmi velký rozsah použití, nelze je ale považovat za univerzální. Univerzální lepidla neexistují. K maximální pevnosti a odolnosti lepeného spoje dojdeme jedině s určitým lepidlem na zvoleném materiálu. A to pouze tehdy, známe-li dobře vlastnosti lepeného materiálu, použitého lepidla a jejich adheznost. [1,2]

## **I. TEORETICKÁ ČÁST**

## 1 TEORIE LEPENÍ

Lepení je spojení dvou či více ploch prostřednictvím lepidla, které má dobrou přilnavost ke všem lepeným plochám. Lepení je jeden ze způsobů jak lze spojit různé či stejné materiály. Díky skládání klasických i méně používaných materiálů na sebe nám lepení pomáhá vyrábět materiály nových vlastností a kvalit. Spojování pomocí lepidel nám pomáhá i v nepropustnosti vůči kapalinám a plynům. Na rozdíl od ostatních spojů, jako například šroubových či nýtových, nám lepení nezhoršuje mechanické vlastnosti spojovaného materiálu.

Pevnost lepeného spoje určují fyzikální a chemické vlastnosti adheziva (lepidla) i adherentu (spojovaného materiálu). [3]

### 1.1 Adheze a koheze

Pro pevnost lepeného spoje má především hlavní význam adheze a koheze. Adheze neboli přilnavost lepidla k lepenému materiálu a koheze vzájemná soudržnost částic téhož materiálu.

Mezi lepidlem a lepeným povrchem mohou vzniknout dvě vazby, vazba chemická a mechanická. Ale nejen vazby jsou důležité pro správné spojení materiálů, významnou roli hraje i smáčivost lepeného povrchu. Nerozprostře-li se lepidlo rovnoměrně po celém povrchu lepené části, adhezní vazba nevznikne.

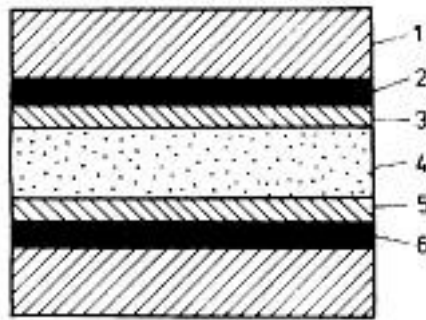
Pevnost nanesené vrstvy lepidla se označuje jako koheze. Adheze dosahuje vyšší hodnoty nežli koheze tehdy, rozpojí-li se spoj ve vrstvě lepidla. Kohezní pevnost spoje je charakterizována použitým lepidlem a tepelným namáháním lepeného spoje. Kohezní a adhezní síly by měly být v rovnováze. [5]



Obr. 1 Smáčivost povrchu [10]

## 1.2 Struktura lepeného spoje a fáze jeho vzniku

Aby bylo dosaženo dokonalého spoje, musí být lepidlo nanášeno rovnoměrně na jednu nebo obě plochy, tak aby je lepidlo smáčelo. Lepidlo musí zatéct do spáry rovnoměrně a vytvořit aktivní film. Poté je potřebné, aby lepidlo přešlo z tekuté do pevné fáze. Velký vliv na lepení má vyvinutý tlak na materiál, který napomáhá k fixaci dílů a rovnoměrnému rozlití lepidla po ploše. Není ale pravda, že se zvýšeným tlakem se zvýší i pevnost spoje. Vyvinutí příliš velkého tlaku může mít nepříznivé účinky. Může dojít k odtečení lepidla ze spáry. Naopak, není-li tlak potřebně velký, může dojít k nerovnoměrnému rozprostření lepidla a spoj se může stát nespolehlivým. Způsoby lepení se zejména liší v nanášení lepidla a jeho aktivaci ve spáře. [2, 3]



Obr. 2 Struktura lepeného spoje [20]

Lepený spoj je složen z následujících vrstev:

1. adherend (základní materiál)
2. adhezní zóna
3. přechodová adhezní zóna
4. kohezní zóna
5. přechodová kohezní zóna
6. adhezní zóna

## 1.3 Výhody a nevýhody lepených spojů

Jako všechny ostatní technologie, má i lepení své přednosti i limitující činitele. Proto se srovnávají výhody a nevýhody všech technologií oproti lepení.

Jednou z velkých výhod lepení je možnost spojení stejnorodých, ale i různorodých materiálů o různých velikostech a tloušťkách. Díky lepení je možné vytvořit spoje, které jsou jak vodotěsné tak i plynotěsné. Lepený spoj tlumí vibrace v konstrukcích a nezvedá hmotnost celku. Zejména při namáhání ve smyku a rázové pevnosti vykazují lepené spoje velmi vysokou pevnost.

Mezi hlavní nevýhody patří velmi vysoké požadavky na úpravu povrchu lepeného materiálu. Musí být zajištěna čistota a rovinnost povrchu materiálu. Lepení patří do nerozebíratelných spojů a životnost lepidla je omezená. Lepené spoje jsou málo odolné vůči zvýšeným teplotám. [5]

## 2 PROVEDENÍ LEPENÉHO SPOJE

### 2.1 Tvorba lepeného spoje

Při konstrukci plastických hmot je nutné dbát na to aby:

- slepení celku bylo co nejjednodušší
- lepení všech částí proběhlo v jedné technologické operaci
- celek byl co nejméně namáhán na odlupování [1]
- mechanické namáhání bylo stejnoměrně rozvedeno, nikoliv soustředěno do jediného místa spoje

### 2.2 Podmínky zpracování

#### 2.2.1 Příprava povrchu výrobku

Hlavními znaky, které ovlivňují pevnost spoje, jsou přilnavost lepicí směsi a adheze mezi lepidlem a povrchem lepeného materiálu. Adhezní síly jsou ovlivňovány chemickými a elektrostatickými efekty a ty závisí na přípravě povrchů. K optimální přilnavosti lze dojít jedině vhodnou přípravou povrchů. Špatně upravený nebo neupravený povrch lepené plochy vede často k poruše spoje nebo ke slabšímu spojení. S lepením je nejlepší začít co nejdříve po upravení povrchu součásti.

#### 2.2.2 Příprava lepidel

Ne všechny lepidla jdou zpracovat ve stejném stavu, v jakém jsou zakoupeny. Proto některé úpravy musí zpracovatel provést sám. Ve většině případech se jedná o úpravu hustoty, rychlosti tuhnutí, stékavosti, přilnavost nebo tuhosti lepidla.

Před úpravou je nutné, aby bylo lepidlo zahřáto na pokojovou teplotu. U malých balení lepidel to není problém, avšak u lepidel v sudech se doporučuje umístit sud do místnosti několik dní předem. U lepidel se uvažuje zejména velikost dávky, která se dokáže zpracovat dříve, než dojde ke změně viskozity.

Lepidla používající se na voděodolný spoj, jsou zahušťována pomocí anorganických plniv. Správně přichystané směsi jsou plně homogenní a veškeré přísady v nich jsou rovnoměrně



rozptýleny. Aby nedocházelo k odpařování rozpouštědla z připravené směsi, je potřeba skladovat směsi v nádobách s víčkem. [1]

### 2.2.3 Nanášení lepidel

Při nanášení lepidla se řeší tři hlavní problémy:

- jakou vrstvu lepidla nanášet
- jakým způsobem ji nanášet
- čím lepidlo nanášet

Množství použitého lepidla se udává vždy v gramech na metr čtvereční ( $\text{g}/\text{m}^2$ ) celkové lepené plochy. Udávají se spodní a horní limity dávkovací hranice. Na lepeném materiálu závisí optimální množství lepidla. Lepidla jsou ve formě tuhé nebo tekuté. Podle druhu kapalných lepidel se může lišit jejich konzistence. Pohybuje se často v širokém rozmezí od mazlavé pasty až po řídkou kapalinu. Pevná lepidla jsou dodávána jako tyčinky, rosol, drť apod.

Lepicí směs se nanáší, nehledě na počáteční stav lepidla, tak aby v patřičném momentu vytvořila tekutý film, který smáčí všechny mikro póry na povrchu lepené části. U tuhých lepidel toho dosáhneme po zahřátí na určitou teplotu, u tekutých lepidel je to ihned.

Samozřejmostí je rovnoměrný nános lepidla. Jsou dvě možnosti jak lepidlo nanášet, jednostranně nebo oboustranně. U tuhých spojů se nanáší lepidlo po celé jeho délce.

Lepidla můžeme nanášet pomocí nanášecího zařízení nebo ručně. Záleží však na vlastnostech a na ploše lepeného materiálu, množství lepených spojů a konzistenci lepidla. [1]

### 2.2.4 Doba a podmínky tuhnutí lepidla

Tuhnutí závisí na teplotě okolí, složení lepidla a na pórovitosti lepených ploch. Reaktivní lepidla tuhnou příčinou chemické reakce. Reaktivní lepidla reagují mnohem rychleji při zvýšení teploty.

### 2.2.5 Urychlení tuhnutí lepidla ve spoji

K dosažení tuhého filmu lepidla v lepeném spoji je nutné, aby lepidlo přešlo z tekuté fáze do fáze tuhé. Teplota má zpravidla vysoký vliv na tuhnutí lepidla. Dle teploty rozlišujeme:

1. lepení za normální (pokojové) teploty od 15 do 25 °C,
2. lepení za zvýšené teploty od 30 do 100 °C,
3. lepení za vysoké teploty nad 100 °C.

Reaktivní lepidla při chladu tuhnou pomaleji a klesne-li teplota pod +10 °C nevytvrdnou vůbec. Limitujícím činitelem při nastavování tvrdící teploty lepidla je tepelná odolnost lepeného materiálu. Lepený celek lze zahřívat více způsoby. Nejjednodušším je přenesení do teplejší místnosti. [1]

### **2.2.6 Fixace lepených spojů pomocí tlaku**

Důležitou operací před vyvozením tlaku na spoj je fixace vzájemné polohy dílů. Hlavním důvodem je, že mnoho lepidel nejdříve zředí a poté až ztuhne, takže by mohlo dojít k posunutí dílců, zejména u takových, které mají souběžné stykové plochy. Nežádoucí posuv může nastat i při zvýšení teploty nebo při zavedení tlaku.

Proti posunutí materiálu se využívá mnoho metod jako např. podepření, zachycení lepicí páskou, utažením mezi svorky.

### **2.2.7 Chyby při lepení polymerů**

Nedostatečným odmaštěním povrchu je způsobena nízká pevnost spoje. Špatným zvolením materiálu může dojít k negativní reakci mezi spojovaným materiálem a lepidlem (špatná snášlivost). Nerovnoměrným či nesprávným nanášením lepidla mohou vzniknout bubliny v lepicí vrstvě, chyba může vzniknout i při nevhodné tloušťce naneseného lepidla.

## **2.3 Faktory ovlivňující kvalitu spoje**

### **2.3.1 Polarita**

Polyvinylchlorid, polyestery, polymethylmetakrylát, fenoplasty a řada dalších, jsou slabě a středně polární hmoty, které lze lepit převážně všemi polárními lepidly stejného původu jako je lepená hmota.

Silně polární hmoty jsou hůře lepitelné. Zde patří zejména polyamidy.

Naopak nepolární hmoty, jako jsou polypropylen a polyetylen, jsou buď těžce lepitelné, nebo dokonce až nelepitelné. Tento problém je řešen oxidací. Oxidace vede k místnímu zvýšení polaritě. Přídavkem polárních kopolymerů, polárních plniv a změkčovadel lze také zlepšit do jisté míry u nepolárních polymerů jejich lepitelnost. [4]

### 2.3.2 Krystalinita polymerů

Amorfní strukturu nemají všechny polymery. Některé termoplasty např. polypropylen, polyamid, polyetylen mají nerovnoměrnou stavbu makromolekulárních řetězců a sklon ke krystalinitě. Mají lepší fyzikální a mechanické vlastnosti než polymery amorfní. Lepitelnost polymeru klesá se zvyšujícím se krystalinickým podílem. [6]

### 2.3.3 Obsah plniv a změkčovadel

Kromě sazí a grafitu je většina plniv obsažených v plastických hmotách (dřevěná moučka, azbest, celulóza, skleněná vlákna a jiné) polárního charakteru a přílnavost lepidel k povrchu materiálů zlepšuje nebo alespoň nezhoršuje.

Měkké plastické hmoty, ať už fólie, nebo lehčené materiály, pokud obsahují ve větším množství nízkomolekulární změkčovadla (fosfáty, ftaláty apod.), mohou být spolehlivě lepeny jen lepidly, která se nemísí s těmito změkčovadly. Migrující změkčovadla po jisté době film lepidla rozleptá a ohrozí tím pevnost spoje. Z tohoto důvodu se nízkomolekulární změkčovadla nahrazují měkkými termoplastickými hmotami. [4]

### 2.3.4 Soudružnost povrchu

Jedním z faktorů lepené hmoty je soudržnost povrchové vrstvy, na které závisí pevnost lepeného spoje. Tato vlastnost je podstatná při zpracování lehčených pěnových materiálů, sklených laminátů a kaširovaných vícevrstevných hmot. Při menší objemové váze mají některé pěnové hmoty jen velmi malou soudržnost. Zpravidla i při malém zatížení lepeného spoje dochází k jeho destrukci stržením jedné z povrchových vrstev. Pevnost spoje může být zhoršena i tím, že tvrdidlo či rozpouštědlo, které je obsaženo v lepidle, naruší soudržnost poprašované nebo kaširované vrstvy s nosičem. Ke zhoršení soudržnosti povrchové vrstvy může dojít i nevhodným zdrsněním. [2]

### 2.3.5 Rovnost a hladkost povrchu

Každá styčná plocha má tři druhy povrchu:

- a) geometrický povrch, který je daný konstrukčními rozměry spoje
- b) mikropovrch, tj. možná teoretická plocha, zahrnující všechny nerovnosti a póry
- c) účinný povrch, tj. část mikropovrchu, skutečně smáčeného lepidlem

Délkové rozměry lepené plochy a tloušťkové tolerance vytvářející charakteristiku souběžností spojovaných ploch zahrnuje geometrický povrch, ovlivňující především stejnoměrné rozvrstvení lepidla ve spáře. Tvar nerovností mikropovrchu má vliv na dokonalé přilnutí lepidla s povrchem. Pouze tvarově zvýhodněné zdrsnění lepeného povrchu má příznivý vliv na lepší pevnost spoje. Optimální hloubka zdrsnění se uvádí 1 až 6  $\mu\text{m}$ . Lepidla, vytvrzující za běžných teplot, jsou na tvar lepeného povrchu mnohem citlivější, než lepidla vytvrzující za vysokých teplot. [2]

### 2.3.6 Délková roztažnost

Většina z plastických hmot má 6 až 10 krát větší délkovou roztažnost za tepla než klasické materiály, jako je např. dřevo, sklo nebo beton a kovy. U kombinovaných spojení může dojít vlivem této vlastnosti ke vzniku pnutí a k následné deformaci nebo i porušení spoje. [2]

### 2.3.7 Čistota lepeného povrchu

Pro zajištění dokonalého kontaktu lepidla s povrchem lepené hmoty se musí nejprve plocha určená k lepení zbavit separačně působících látek. A to především korozních zplodin a mastnoty. K tomu se nejčastěji používá rozpouštědel a moření chemickými látkami. [2]

### 2.3.8 Rozpustnost a botnavost

V organických rozpouštědlech se rozpouští nebo botná řada termoplastických polymerů. Při práci s kompaktními tlustostěnnými materiály je tato okolnost pro dosažení lepší adheze výhodou (lepí se i čistými rozpouštědly), kdežto při lepení fólií, může být příčinou deformace povrchu, není žádoucí. [2]

## 2.4 Předběžné úpravy lepeného povrchu

### 2.4.1 Mechanické opracování

Tato úprava spojovaných dílců se především týká konstrukčních materiálů, jako jsou kovy, dřevo a tvrdé plastické hmoty. Odstraňují se nerovnosti a nečistoty povrchu. Broušení smirkovými papíry se používá především pro zdrsňování plastických hmot.

### 2.4.2 Odmašťování spojů

Druhou operací navazující na mechanické opracování je odmašťování. Tato operace se využívá u náročných spojů vyžadujících optimální úpravu dotykových ploch. Provádí se vodnými roztoky saponátů a i těkavými organickými rozpouštědly. Nerozpustnost upravované plochy je podmínkou při odmašťování.

Odmašťování vatovými tampóny namočenými v rozpouštědle je možné při úpravě malých ploch nebo při menším množství kusů.

U velkých ploch nebo velkém počtu kusů provádíme odmašťování rozpouštědly metodou dvou lázní (nečisté a oplachování), popřípadě v parních lázních vroucích rozpouštědel, které zaručuje dobrý výsledek.

Odmašťování teplými vodnými saponáty je nejvýhodnější jak z hlediska bezpečnostního tak i ekonomického. Tento postup využíváme u lepení materiálů citlivých na organické rozpouštědla, nebo tam kde by se zbytky rozpouštědlových par mohly zachytit v mikropórech povrchu. Plochy, odmašťující se roztoky saponátů, se před dalšími využitími oplachují pomocí proudící vody a poté se suší. Je nutné dbát na to, aby na očištěné plochy již dále nestékala splachovací kapalina.

### 2.4.3 Chemické moření

Plastické hmoty, jako například polyolefiny (polypropylen, polyetylen), jsou známy tím, že v základním stavu nejsou dobře lepitelné. Ani za použití odzkoušených lepidel se nedosáhne spoje přiměřeného podílu pevnosti spojovaných materiálů. Odmaštěním a zdrsněním ploch nelze tento problém odstranit. Nejlépe se osvědčily metody spočívající v aktivaci pomocí roztoků chemikálií (např. aktivace přípravkem Primer). [1]

## 2.5 Faktory ovlivňující pevnost lepeného spoje

### 2.5.1 Tloušťka spoje

Velký význam na výslednou pevnost lepeného spoje má tloušťka lepidla. Proto je nutné dodržovat při konstrukci lepeného spoje tloušťku lepidla předepsanou výrobcem. Pokud nedodržíme optimální tloušťku adheziva, může nastat snížení pevnosti lepeného spoje.

### 2.5.2 Typ zatěžování spoje

Lepené spoje mohou být zatěžovány dynamicky nebo staticky a jejich materiálové vlastnosti jsou určeny především třemi charakteristickými zatěžovacími stavy: smyk, tah a odlup. Většinou se tyto stavy objevují v kombinacích. Samostatně se s nimi můžeme setkat jen ojediněle.

Spoje vytvořené lepením vykazují nejvyšší únosnost namáhání smykem, nižší na tah a nejhorší na odlup.

### 2.5.3 Doba vytvrzování lepidla

Lepený spoj nedosahuje ihned po zhotovení maximální pevnosti, na rozdíl od spojování materiálů dalšími technologiemi, jako je například nýtování nebo šroubové spojení. Doba potřebná k vytvrzení lepidla závisí na použitém adhezivu a je udána výrobcem.

S rostoucími požadavky na pevnost lepeného spoje roste i potřebná doba k vytvrzení. Se zvyšující se teplotou vytvrzování klesá doba potřebná pro dosažení pevného spojení.

### 2.5.4 Vady ve vrstvě lepidla

Při sestavování lepeného spoje a jeho následné kontrole je potřebné dodržovat technologické postupy stanové výrobcem. Přesným dodržением postupů se lépe dojde k požadovaným vlastnostem lepeného spoje a k omezení vad, které mohou nastat. I zanedbatelný defekt může vést ke změně rozložení napětí ve spojení. Vady spoje velmi ovlivňují lepený spoj i jeho pevnost. Nejčastější druhy vad, které se vyskytují v lepeném spoji jsou:

- slabé zesíťování
- nečistoty
- trhliny

- bubliny
- pórovitost.

K zjištění různých defektů lze využít vizuální kontroly. Nebo fyzikální metody, mezi které patří například skenování ultrazvukem nebo infračerveným zářením.

### 3 LEPIDLA

Lepidlem chápeme materiál, který je schopný spojovat k sobě stejné či různé povrchy tuhých látek kohezními a adhezními silami.

V dnešní době je na trhu velký výběr lepidel od mnoha různých výrobců. K výrobě lepidel se používají přírodní a syntetické suroviny. Pro lepší orientaci se lepidla třídí dle různých hledisek, především však podle chemického složení. [1]

#### 3.1 Rozdělení lepidel podle principu tuhnutí ve spoji

*Tab. 1 Rozdělení lepidel podle principu tuhnutí*

Lepidla tuhnoucí vsáknutím a odpařením rozpouštědel ve spoji	Lepidla reaktivní
Rozpouštědlová lepidla disperzní	Lepidla tuhnoucí vlivem vlhkosti prostředí
Rozpouštědlová lepidla roztoková	Lepidla tuhnoucí kontaktem s polymery bez přístupu vzduchu
Tavná lepidla	Lepidla tuhnoucí po přidání tvrdidel
Lepidla stále lepivá	Lepidla tuhnoucí zvýšenou teplotou
	Lepidla tuhnoucí UV zářením, a nebo světlem [10]

#### 3.2 Základní rozdělení lepidel

Rozdělení lepidel podle odolnosti vůči vodě:

- vodovzdorná (odolávají páře a horké vodě),
- středně vodovzdorná (odolávají studené vodě) - epoxidová,
- nevodovzdorná.

Rozdělení podle skupenství

- pevná (prášková),
- tekutá,
- fólie.



Rozdělení podle teploty vytvrzení:

- studená - vytvrzení při teplotě 20 až 30 °C,
- teplá - vytvrzená při teplotě 30 až 100 °C,
- horká - vytvrzení při teplotě nad 100°C. [7]

### 3.3 Klasifikace lepidel

Základní druhy lepidel lze charakterizovat takto:

- Klíždlo je lepidlo, jehož adhezní základ je rozpustný ve vodě.
- Disperzní lepidlo je vodná disperze organického lepidla.
- Roztokové lepidlo obsahuje pojivo rozpuštěné v organických těkavých rozpouštědlech. Tento způsob se používá pro lepení mnoha druhů polymerních materiálů. Plná pevnost se dosáhne až po vytěkání rozpouštědla.
- Bezrozpouštědlová lepidla neobsahují těkavá rozpouštědla.
- Tavné lepidlo je tvořeno termoplastickou hmotou, která se před použitím převede do plastického stavu - roztaví se. Ochlazením ihned po ztuhnutí lepidla dochází ke spojení.
- Lepivý tmel je lepidlo, které buď vůbec neobsahuje těkavé rozpouštědlo, nebo ho obsahuje jen v malém množství a zůstává tvárné i při normální teplotě. [3]

### 3.4 Požadavky na lepidla

Lepidlo volíme tak, aby se v největší míře podobalo vlastnostem lepeného materiálu.. Na lepidlo, z aplikačních hledisek klademe velké množství požadavků, které by mělo splňovat:

- 1) mít dostatečnou lepivost v tekutém stavu,
- 2) zajišťovat dostatečnou pevnost spoje,
- 3) poskytovat spoje s co největší odolností vůči okolním vlivům (vodě, biologickým a chemickým činidlům),
- 4) poskytovat spoje s co největší teplotní odolností (v teplotním rozmezí průměrně od -30 do +80 °C),

- 5) mít vhodné elektrické vlastnosti (být elektricky nevodivé nebo naopak elektricky vodivé),
- 6) při vytvrzování se nesmršťovat a neuvolňovat žádné látky ovlivňující podklad,
- 7) mít dobrou skladovatelnost,
- 8) být bez zápachu a zdravotně nezávadné,
- 9) umožňovat jednoduché nanášení,
- 10) nevyžadovat velké úpravy a operace před lepením částí,
- 11) být levné. [9]

### 3.5 Předběžné úpravy lepicích směsí a lepidel

#### 3.5.1 Zahušťování lepidla

Zahušťování má význam jak ekonomický tak i technický. Ekonomický z důvodu snížení nákladů při spotřebě lepidla a technický pro změnu vlastností lepidel. Některá lepidla se často zahušťují plnivy nebo nastavují, tj. upravují ředidly i plnivy současně. Nerovné plochy nám dovoluje spojovat plněná lepicí směs. Plnivem lze taky minimalizovat vsáknutí lepidla do porézního podkladu, snížit smrštění filmu po ztuhnutí lepidla. Některými plnivými, například koloidním kysličníkem křemičitým a škrobem, lze potlačit stékání lepidla.

Plnivem lze vyrovnat fyzikální vlastnosti lepidla a lepeného materiálu (tepelnou roztažnost a délkovou roztažnost teplem). Plniva mohou být do každého lepidla přimíchána jen v daném množství. Nad danou hranicí se sníží pevnost spoje.

#### 3.5.2 Ředění lepidla

Za účelem lepšího nanášení lepidla se provádí ředění, které přispívá k vytvoření stejnoměrného filmu lepidla o potřebné tloušťce. Nejčastěji se úprava viskozity provádí rozpouštědlem, buď to rozpouštědlem použitým při výrobě lepidla, nebo rozpouštědlem doporučeným výrobcem. To se týká především rozpouštědlových lepidel. S menší úpravou viskozity se nemusíme obávat méně pevného spoje. Při větším zředění lepidla se bude vsakovat mnohem rychleji, čím vznikne chudý a nesouměrný spoj.

### 3.5.3 Zvyšování voděodolnosti lepidla

Zvýšení odolnosti filmu lepidla vůči vodě se týká především syntetických lepidel na bázi disperzí a vodných roztoků. K této operaci se používají látky, které díky chemické reakci s lepidlem, reagují nebo se promíchávají a tím zvyšují hydrofobnost lepidla.

### 3.5.4 Zvyšování přilnavosti lepidla

Adheze lepidla se zlepšuje přidávkem změkčovadel, alkyfenolických pryskyřic a lineárních polyesterů. U spojování termoplastů je nutné upravit disperzní nebo roztokové lepidlo takovým rozpouštědlem, které rozpustí spojovanou hmotu. Povrch nabobtná a zároveň se i zvýší pevnost lepeného spoje.

### 3.5.5 Barvení lepidla

V některých případech se vyžaduje i barevný soulad lepidla s lepeným materiálem. Proto se organickými barvivy barví tekutá lepidla, která jsou rozpustná v příslušných rozpouštědlech. Druhým způsobem je barvení lepidla přidávkem pigmentu a ty se přidávají buď v pastě, nebo prášku.

Pigmenty u reaktivních lepidel mohou ovlivnit životnost a rychlost tuhnutí spoje. Na předem připravených vzorcích se provádí snášlivost barev a pigmentů s lepidlem a jejich vliv na dobu vytvrzování.

### 3.5.6 Ovlivnění pracovní životnosti lepících směsí

Využitelnost rozpouštědlových lepidel můžeme ovlivnit i uskladněním rozpouštědel - větší obsah rozpouštědel s větším bodem varu prodlouží dobu otevřeného poskládání spoje. Použitelnost lepících směsí nám ovlivní i nižší teplota prostředí, ve kterém pracujeme.

Z nejdůležitějších požadavků, které se kladou na lepidla je krátká doba vytvrzování a dostatečně dlouhá pracovní životnost. Tu lze u některých lepidel zvýšit přidávkem speciálních tvrdidel. [1]

## 4 ZKOUŠKY LEPENÝCH SPOJŮ

Pevnost lepeného spoje závisí na třech složkách a to lepidlu, lepené hmotě a zpracovatelských podmínkách. Nejčastěji se k vyhodnocení pevnosti využívá metoda destruktivní. Zde patří zkoušky na namáhání v tahu, smyku, odlupování a rázu.

Získané hodnoty slouží pro kontrolu vlastností lepidel i spojů a pro podklad konstrukčních výpočtů.

### 4.1 Nedestruktivní metody

Prováděné zkoušky bez poškození lepeného spoje. Bohužel těmito metodami nelze měřit pevnost spoje. Ukazují nám ukryté vady, jako například neslepená místa, trhliny, puchýře a místa s nedostatečnou nebo žádnou vrstvou lepidla.

Mezi nejběžnější nedestruktivní metody patří:

- Akustická defektoskopie - rozkmitáme-li těleso, začne vydávat zvuk rozdílné amplitudy v místě vady s jinou vlnovou délkou než v místě správného spoje.
- Optické metody - u tenkých spojů prosvětlení intenzivním světlem, u silnější pomocí rentgenových paprsků.
- Ultrazvuková defektoskopie - testovaný objekt se vloží mezi ultrazvukový generátor a přijímač ultrazvukových vln díky čemu se zjistí místo s vadným spojením.
- Defektoskopie pomocí radioizotopů - označení lepidla radioaktivním izotopem a kontrola jeho rozprostření ve spoji.

### 4.2 Destruktivní metody

#### 4.2.1 Namáhání v tahu

Provádí se na normalizovaných zkušebních tělesech, pro hodnocení čelných spojů. Zkouška je prováděna na trhacích strojích, kde je spoj podroben namáhání na tah. Vyhodnocuje se síla potřebná k přetržení zkušebního vzorku.

#### 4.2.2 Namáhání rázem

Zkouška spočívá k zjištění nejmenší síly potřebné k porušení zkoušeného vzorku při působení rázem. Lepený spoj je namáhán na kyvadlovém přístroji ve smyku rázovým tlakem ve směru podélné osy.

#### 4.2.3 Pevnost v odlupování

Provádí se jen tehdy, pokud je alespoň jeden z lepených materiálů ohebný. Určí se podle tuhosti lepených materiálů úhel na odlupování, u polotuhých materiálů je úhel menší než 90°.

#### 4.2.4 Zkouška lámavosti

Na spoj se vytváří statický tlak kolmo na podélnou osu a plochu spoje dokud nedojde k porušení zkoušeného tělesa. Zkoušku provádíme většinou u tvrdých materiálů, obzvláště při lepení kovů společně s plastickými hmotami. Zkoušku lze provádět za normální i zvýšené teploty.

#### 4.2.5 Zkouška časové pevnosti a stárnutí

Testuje se chování spojů při dlouhodobém používání. V praxi se spoj podrobuje kromě dlouhodobého namáhání i účinkům vlhkosti, teploty, povětrnostním vlivům i vlivům okolních prostředí a dalším, což způsobuje stárnutí.

Na stárnutí spojů má špatný vliv i úbytek změkčovadel, které jsou obsaženy v lepených materiálech. Projevuje se, pokud je lepená hmota a film lepidla rozpustný ve změkčovadlech nebo v něm botnají.

## 5 LEPENÍ VYBRANÝCH DRUHŮ POLYMERŮ

### 5.1 Polyolefiny

Polyolefiny jsou polymery vyrobené z jednoduchých olefinů, těž nazývaných jako alkeny. Ekvivalentní název je polyalken, což je více moderní název, ačkoli název polyolefin se stále používá v petrochemickém průmyslu. Mezi nejvýznamnější polyolefiny patří polyetylen (PE), polypropylen (PP), poly-1-buten (PB-1). [16]

Problém lepení polyolefinických plastů je velmi nízká povrchová energie - je velmi špatná smáčivost povrchu lepidly. To ve svém důsledku znamená, že nedochází k rozlití lepidla po celém povrchu a tím nedojde k vytvoření dostatečně velké kontaktní plochy mezi lepidlem a adherendem. V počátcích využívání plastů byla jedinou možností chemické předúpravy plastů pro lepení pomocí rozpouštědel. Později se pro hromadnou výrobu začaly uplatňovat fyzikální metody - plamen a korónový výbor. V současnosti existuje i několik dalších chemických metod předúpravy - modré leptání, oxidace kyselinami, modifikace povrchu jinými polymery. [18]

#### 5.1.1 Polypropylen (PP)

Polypropylen je krystalický a neprůhledný polymer. PP vykazuje díky své, v podstatě nepolární struktuře, výborné elektroizolační vlastnosti, podobně jako PE. Při zpracování PP se dá velmi výrazně ovlivnit jeho krystalická struktura. Dostatečně rychlým ochlazením taveniny je možné získat transparentní tenkostěnné výrobky (fólie).

Tab. 2 Fyzikální vlastnosti Polypropylenu [8]

Hustota [ $\text{kgm}^{-3}$ ]	900 až 910
Pevnost v tahu [MPa]	22 až 32
Tažnost [%]	120 až 700
Houževnatost [ $\text{kJm}^{-2}$ ]	10 až 15
Navlhavost [%]	0,1

Polypropylen se zpracovává vstřikováním při teplotě 205 až 280 °C a vytlačováním na trubky, desky, fólie a profily při teplotě 200 až 270 °C. PP lze použít na různé výrobky, u nichž jsou žádány tuhost, mechanická pevnost a dobré elektroizolační vlastnosti. V automobilovém průmyslu se např. uplatňují vstřikované dílce z PP na přístrojové desky, ventilátory a jiné. Široká je také aplikace polypropylenu při výrobě textilních vláken. Polypropylenová vlákna mají mechanické pevnosti srovnatelné s vlákny polyamidovými, jsou elastická a schopná absorbovat deformační energii. [15]

### 5.1.2 Lepení polypropylenu (PP)

Problémy spojené s lepením jsou stejné jako u PE. K dosažení dobrých spojů je nutná úprava povrchu, kterou zvedneme polaritu polymeru.

Aby bylo možné lepit nepolární plasty, je nutné před lepením jejich povrch upravit tak, aby se stal polárnějším a aby se na něm vyskytovaly reakce schopné chemické skupiny. Proto se například polyethylen (PE) a polypropylen (PP) před lepením povrchově oxidují. Pro oxidaci se používá buď ošlehnutí plamenem, nebo působení silných oxidačních činidel (kyselina chromsírová nebo peroxid vodíku s kyselinou sírovou), ale nejčastěji tak zvaná koronizace elektrickým jiskrovým výbojem. [17]

## 5.2 Příklady lepení dalších polymerních materiálů

### 5.2.1 Lepení Polyamidu (PA)

PA patří mezi elastické a houževnaté materiály, proto při lepení musíme brát tuto skutečnost v potaz. Přestože polyamidy patří k materiálům polárního charakteru, jejich slepování není ještě úplně vyřešeno.

### 5.2.2 Lepení Polyvinylchloridu (PVC)

Polyvinylchlorid lze rozdělit na neměkčený a měkčený. Nejvíce používané lepidla ke spojování neměkčeného PVC jsou roztoky chlorovaného polyvinylchloridu. Hodně se využívají i roztoky kopolymeru vinylchloridu - vinylacetát. Využívají se i lepidla na bázi polymerních esterů kyseliny metakrylové a akrylové.

### 5.2.3 Lepení Polystyrenu (PS)

Lepidla s bázi styrenu jsou na trhu zastoupeny ve velkém množství. U výběru lepidla musíme vědět, na co přesně bude použito. Avšak mohou být využity jen lepidla tuhnoucí za normálních nebo jen málo zvýšených teplot do 55°C.

### 5.2.4 Lepení Polymethylmethakrylátu (PMMA)

Nejlehčí způsob jak lepit PMMA je lepit jen rozpouštědly (aceton, chloroform, xylen, toluen apod.). Nesmí se při použití rozpouštědel vyvolat zakalení spoje. Plochy by měly k sobě dobře dolehnout. Spojované části se dávají do rozpouštědel, dokud jejich plochy nezměknou. Poté se nechají okapat a přiloží se k sobě na dostatečnou dobu potřebnou ke spojení.

### 5.2.5 Lepení Polykarbonátu (PC)

Ke spojování PC se používají rozpouštědla a roztoky polykarbonátů. Vhodná jsou i kyanoakrylátová lepidla a lepidla na bázi polyuretanů. [2]



## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**

## 6 CÍL BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Hlavním cílem bylo prozkoumat vliv ionizačního beta záření na pevnost lepeného spoje u materiálu PP. Pro konstrukci lepeného spoje byly využity 4 typy kyanoakrylátových lepidel a jeden typ 2-složkového metakrylátového lepidla. Pevnost spoje byla testována na trhacím stroji Zwick 1456 tahovou zkouškou.

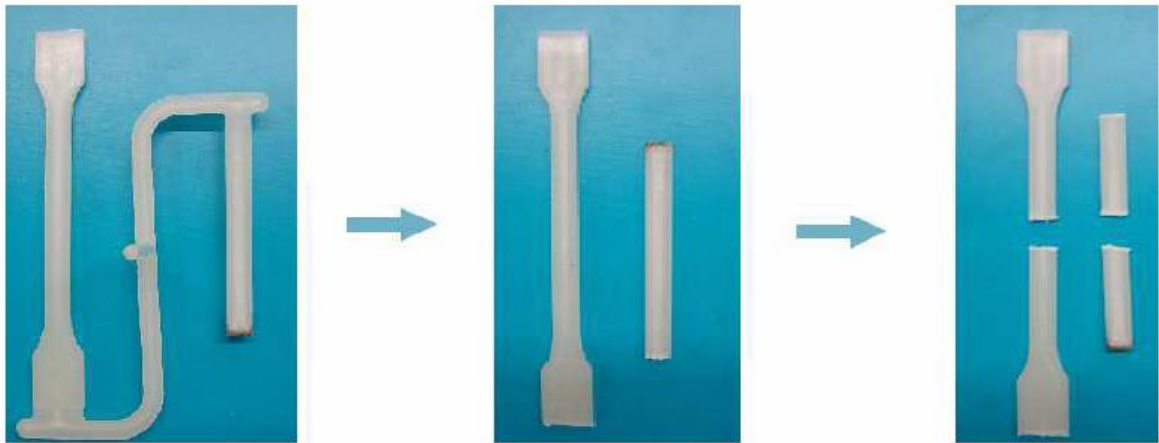
Zásady pro vypracování bakalářské práce byly následující.

1. Vypracování literární rešerše na dané téma.
2. Výroba a příprava těles pro experiment.
3. Provedení experimentu.
4. Vyhodnocení naměřených výsledků

## 7 VÝROBA ZKUŠEBNÍCH VZORKŮ

### 7.1 Postup výroby zkušebních těles

Zkušební tělesa byla vyrobena vstřikováním na vstřikovacím stroji Arburg 420C Advanced na Ústavu výrobního inženýrství. Pro přeplatování byly taktéž zhotoveny obdélníkové pás-ky.



Obr. 3 Postup práce se zkušebními tělisky [5]

#### 7.1.1 Použitý materiál

Jako materiál pro testování byl zvolen Polypropylen (PP) V-PTS-CREALEN-EP-2300L1\*M800. K zajištění síťování byl použit polyfunkční monomer s označením TAIC (triallylisokyanurát), který má za úkol iniciovat v polymeru požadované síťovací reakce. Celý proces přípravy granulátu polyfunkčním monomerem byl realizován ve firmě PTS PlasticTechnology Servise.

Tab. 3 Výrobní podmínky PP tělísek

Vstřikovací rychlost [mm/s]	50
Vstřikovací tlak [MPa]	80
Čas vstřikování [s]	0,5
Čas chlazení [s]	40
Teplota formy [°C]	50
Dráha dávkování [mm]	40
Dotlak [MPa]	8
Celkový čas dotlaku [s]	5

## 7.2 Volba lepidel

K testování pevnosti lepených spojů bylo vybráno 5 druhů lepidel, čtyři lepidla sekundová od firmy Cyberbond a jedno lepidlo dvousložkové od firmy Plexus. Lepidla firmy Cyberbond patří k vysoce účinným, především jsou využívány v průmyslové výrobě.

Kyanokrylátová sekundová lepidla - jednosložková lepidla, velmi rychle vytvrzující. Využívají se jak v průmyslové výrobě, tak i v domácnostech. Nutné skladovat na vhodných místech.

*Tab. 4 Vlastnosti lepidla Cyberbond 2008[12]*

Vzhled	bezbarvé/čiré
Základní monomer	etyléster
Viskozita při 25°C	9 - 15 mPa*s
Hustota při 20°C	1,09 g/cm <sup>3</sup>
Bod vzplanutí	80°C
Doba vytvoření spoje - plast (ABS)	4 - 6 sekund
Doba vytvoření spoje - kov (ocel)	20 - 35 sekund
Teplotní rozsah pro použití (polymer)	-55 až 95 °C

*Tab. 5 Vlastnosti lepidla Cyberbond 2028[12]*

Vzhled	bezbarvé/čiré
Základní monomer	etyléster
Viskozita při 20°C	160 - 240 mPa*s
Hustota při 20°C	1,05 g/cm <sup>3</sup>
Bod vzplanutí	85°C
Doba vytvoření spoje - plast (ABS)	2 - 4 sekund
Doba vytvoření spoje - kov (ocel)	20 - 35 sekund
Teplotní rozsah pro použití (polymer)	-55 až +95 °C

*Tab. 6 Vlastnosti lepidla Cyberbond 5008[12]*

Vzhled	bezbarvé/čiré
Základní monomer	alkoxyester
Viskozita při 25°C	45 - 80 mPa*s
Hustota při 20°C	1,07 g/cm <sup>3</sup>
Bod vzplanutí	112°C
Doba vytvoření spoje - plast (ABS)	14 - 17 sekund
Doba vytvoření spoje - kov (ocel)	35 - 70 sekund
Teplotní rozsah pro použití (polymer)	-30 až +70 °C

Tab. 7 Vlastnosti lepidla Cyberbond 2008[12]

Vzhled	bezbarvé/čiré
Základní monomer	etylester
Viskozita při 20°C	12 - 18 mPa*s
Hustota při 20°C	1,06 g/cm <sup>3</sup>
Bod vzplanutí	85°C
Doba vytvoření spoje - plast (ABS)	2 - 4 sekund
Doba vytvoření spoje - kov (ocel)	18 - 28 sekund
Teplotní rozsah pro použití (polymer)	-55 až +95 °C

Plexus MA 300 je 2-složkové lepidlo víceúčelové metakrylátové lepidlo s vysokou pevností, houževnatostí, výbornou chemickou odolností pro lepení termoplastů, kovů a kompozitních materiálů. Využívá se pro spojování různorodých materiálů, např. ABS, lamináty, styreny, ocel, karbon a další. [13]

### 7.3 Příprava zkušebních těles na lepení

Příprava zkušebních těles byla provedena pomocí radiačního síťování, kdy byly vzorky ozářeny dávkami 33, 66 a 99 kGy. Další přípravou bylo i ošetření povrchu přípravkem Primer Cyberbond CB9056.

#### 7.3.1 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 levnějších masových nebo konstrukčních plastů, které tímto zesíťováním dosahují vlastností drahých konstrukčních a speciálních termoplastů.[11]

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.[11]

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.[11]

Použitím záření o energii menší než 10 MeV nepřichází v úvahu nebezpečí vzniku radioaktivity v ozařovacím zařízení ani v ozařovaném produktu. Hlavním předpokladem pro ozáření materiálu je přítomnost tří a více funkčních monomerů. [11]

Využití radiačního síťování je především pro trubkové profily, izolace kabelů a hadice, systémy podlahových topení, tvarované a vstříkované díly, kompozity, polymerní granuláty, kde cíleně měníme reologické vlastnosti.[11]

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. [11]

### 7.3.2 Aktivace Primerem

Primer Cyberbond CB9056 umožňuje vytvoření lepeného spojení u nepolárních materiálů. Pomáhá aktivovat povrchové napětí potřebné k lepení. Nanáší se na lepený spoj. Ihned po odpaření může být lepený spoj vytvořen.

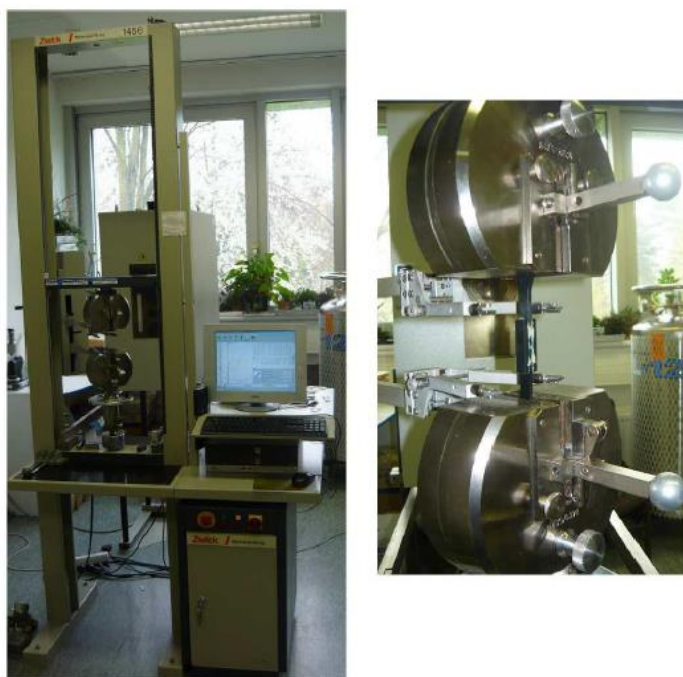
Využívá se k:

- vysokopevnostnímu spojení materiálů, které nelze bez modifikace lepit
- rychlému a snadno využitelnému způsobu pro podporu lepených spojů

## 7.4 Zkouška pevnosti lepeného spoje

Zkušební vzorky a pásy byly před lepením pomocí kleští rozpůleny. Poté dle vybraných lepidel zhotoveny lepené spoje. Po zhotovení spoje byla tahovou zkouškou zjišťována pevnost lepeného spojení pomocí trhacího stroje Zwick 1456. Součástí tohoto zařízení je i program TestExpert, který zpracovává naměřené hodnoty.

Zkouška spočívala zatížením vzorků jednoosým tahem. Získané hodnoty byly zpracovány do tabulek a vyneseny do grafické podoby.



*Obr. 4 Trhací stroj Zwick 1456 [9]*

## 7.5 Kontaktní úhel smáčení

Kontaktní úhel smáčení charakterizuje smáčivost lepeného povrchu a jeho měření bylo provedeno na přístroji Advex Instruments. Měření je založeno na rozprostření malé kapičky referenční kapaliny na povrch zkoumaného materiálu před kamerou. Kamerou je získán obrázek, který se přenese do počítače, ve kterém probíhá vyhodnocování výsledků. Čím je úhel menší, tím materiál vykazuje lepší smáčivost (Obr. 1) a důsledku toho dochází ke zlepšení adheze a výsledné pevnosti lepeného spoje. [14]



*Obr. 5 Příklad přístroje Advex Instruments [19]*



## 8 ZKOUŠKY PEVNOSTI LEPENÝCH SPOJENÍ

V této části zkoušky je zkoumán vliv ozáření na materiál PP a pevnost jeho spojení. Experiment byl prováděn za pokojové teploty na vzorcích: neozářených a ozářených dávkou 33, 66 a 99 kGy a za použití přípravku Primer - Cyberbond CB9056.

### 8.1 Zkouška smáčlivosti povrchu

Zkouška byla provedena na přístroji Advex Instruments. Využitá kapalina k experimentu byla vybrána destilovaná voda. Bylo dokázáno, že pomocí ionizačního záření se zmenšuje úhel a tím se zvyšuje i smáčivost povrchu. Z Tab. 8 vyplývá, že nejvyšší smáčivosti povrchu dosáhl materiál ozářený ionizačním beta zářením dávkou 66 kGy. Nejvyšších hodnot kontaktních úhlů bylo dosaženo u neozářeného materiálu. Po ozáření klesly kontaktní úhly o průměrně 28%.

Tab. 8 Měření úhlu smáčivosti pro dávky záření

PP				
Kapalina	Dávky záření (kGy)			
	0	33	66	99
<b>Destilovaná voda</b>	$(88,1 \pm 0,5)^\circ$	$(68,9 \pm 0,4)^\circ$	$(59,5 \pm 0,4)^\circ$	$(60,9 \pm 0,4)^\circ$



Obr. 6 Měření kontaktního úhlu smáčení [21]

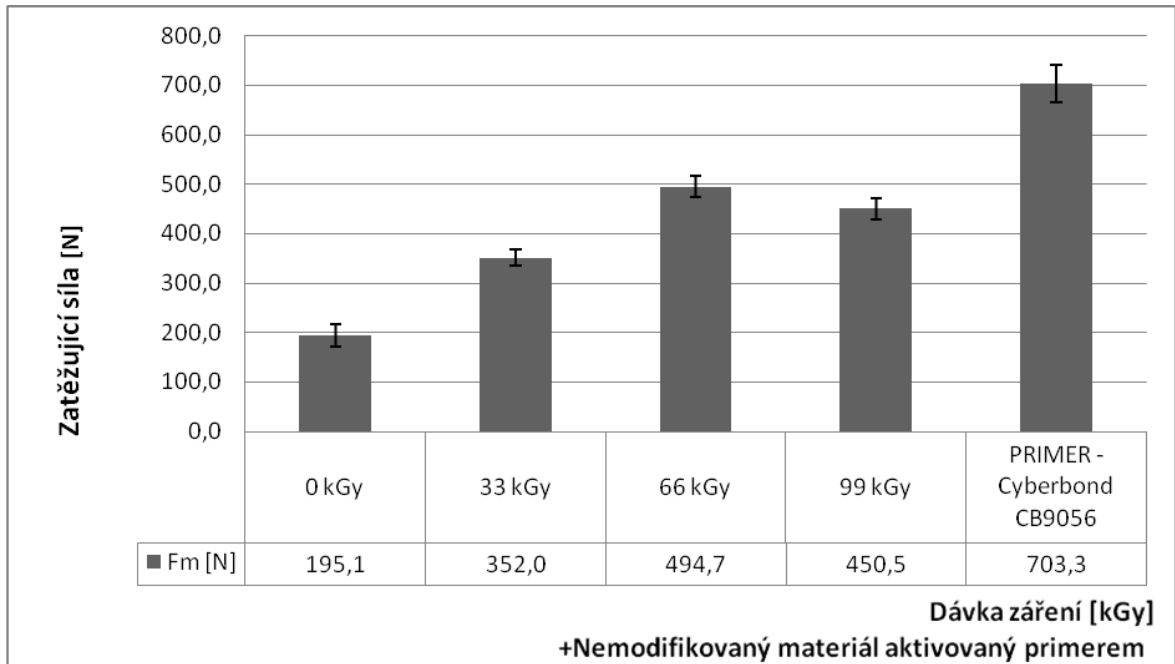
## 8.2 Modifikace ionizačním beta zářením

### 8.2.1 Pevnost lepeného spoje za použití lepidla Cyberbond 1008

Tab. 9 Maximální zatěžující síla lepidlo Cyberbond 1008

LEPIDLO	NEOZÁŘENÝ	33 kGy	66 kGy	99 kGy	PRIMER - Cyberbond CB9056
CYBERBOND 1008	157,0	359,2	482,5	465,9	706,8
	160,1	346,0	491,6	435,2	678,0
	179,5	366,7	510,9	450,7	771,6
	198,7	341,2	523,1	479,1	750,0
	205,6	345,1	485,9	470,0	650,9
	202,3	379,9	471,2	413,6	659,9
	199,0	331,2	479,8	436,8	717,4
	213,3	325,0	529,7	430,0	706,2
	225,8	364,6	470,0	469,3	703,1
	209,7	360,9	502,3	454,2	689,5
PRŮMĚR	195,1	352,0	494,7	450,5	703,3
Směrodatná odchylka	22,6	17,1	21,0	21,1	37,3

Z naměřených a vypočtených hodnot nejvyšší pevnosti lepeného spoje, při použití sekundového lepidla Cyberbond 1008, vykázal neozářený materiál, který byl ošetřen přípravkem Primer - Cyberbond CB9056 ( $F_m = 703,3$  N), jak plyne z Obr. 7. Nejnižší pevnost spoje dosáhl neozářený materiál ( $F_m = 195,1$  N).



Obr. 7 Maximální zatěžující síla – lepidlo Cyberbond 1008

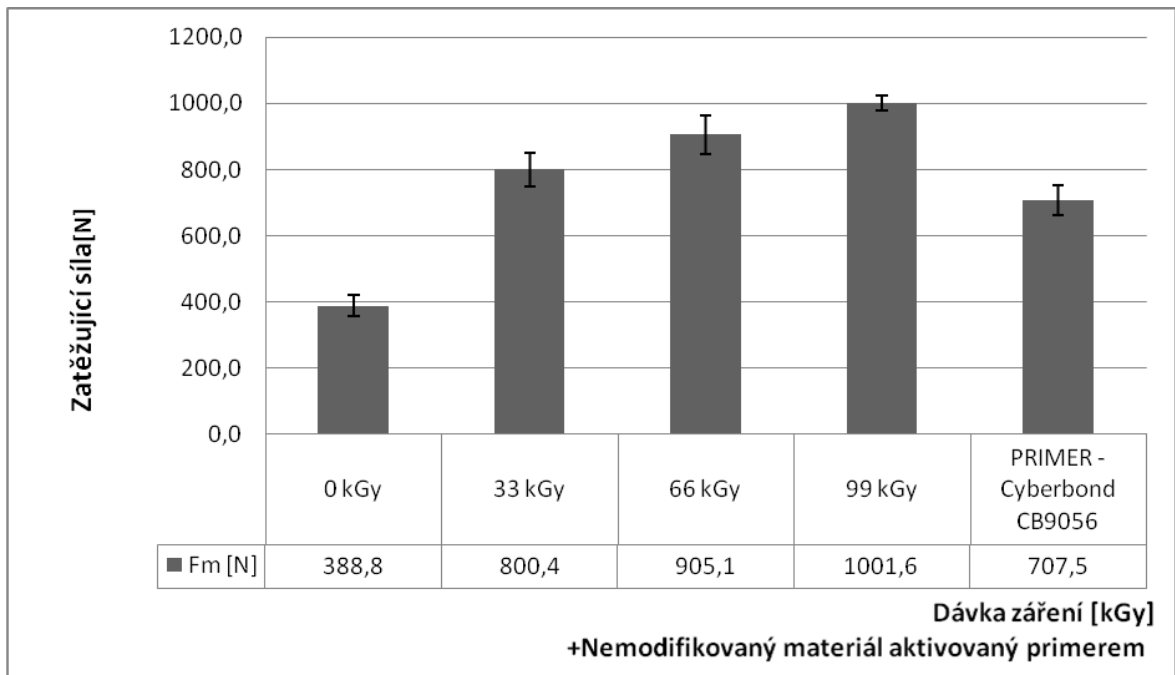
### 8.2.2 Lepidlo Cyberbond 2028

Tab. 10 Maximální zatěžující síla lepidlo Cyberbond 2028

LEPIDLO	NEOZÁŘENÝ	33 kGy	66 kGy	99 kGy	PRIMER - Cyberbond CB9056
CYBERBOND 2028	372,6	755,8	865,3	970,2	669,8
	398,2	841,4	858,6	1027,3	782,0
	422,3	757,6	820,0	997,0	725,9
	362,1	858,9	905,0	1026,0	674,1
	355,0	749,9	929,7	982,1	696,0
	405,2	755,0	866,5	992,0	744,5
	414,3	831,2	877,1	1029,7	761,3
	352,0	751,1	954,2	1004,3	650,1
	366,6	869,9	983,6	969,5	666,6
	439,8	833,6	991,4	1017,4	704,6
PRŮMĚR	388,8	800,4	905,1	1001,6	707,5
Směrodatná odchylka	31,1	50,4	57,6	23,1	44,5

Při použití sekundového lepidla Cyberbond 2028, vykazoval nejvyšší pevnost lepeného spoje materiál ozářený dávkou 99kGy ( $F_m = 1001,6$  N), jak plyne z Obr.8. Na druhou stranu nejnižší pevnosti dosáhl neozářený materiál ( $F_m = 388,8$  N). Lepidlo Cyberbond 2028 dosahovalo vysokých hodnot při tahové zkoušce. Ze všech ostatních lepidel mělo nejvyšší

maximální zatěžující sílu. Ze získaných dat bylo vyzkoušeno jako nejvhodnější lepidlo k lepení PP.



Obr. 8 Maximální zatěžující síla – lepidlo Cyberbond 2028

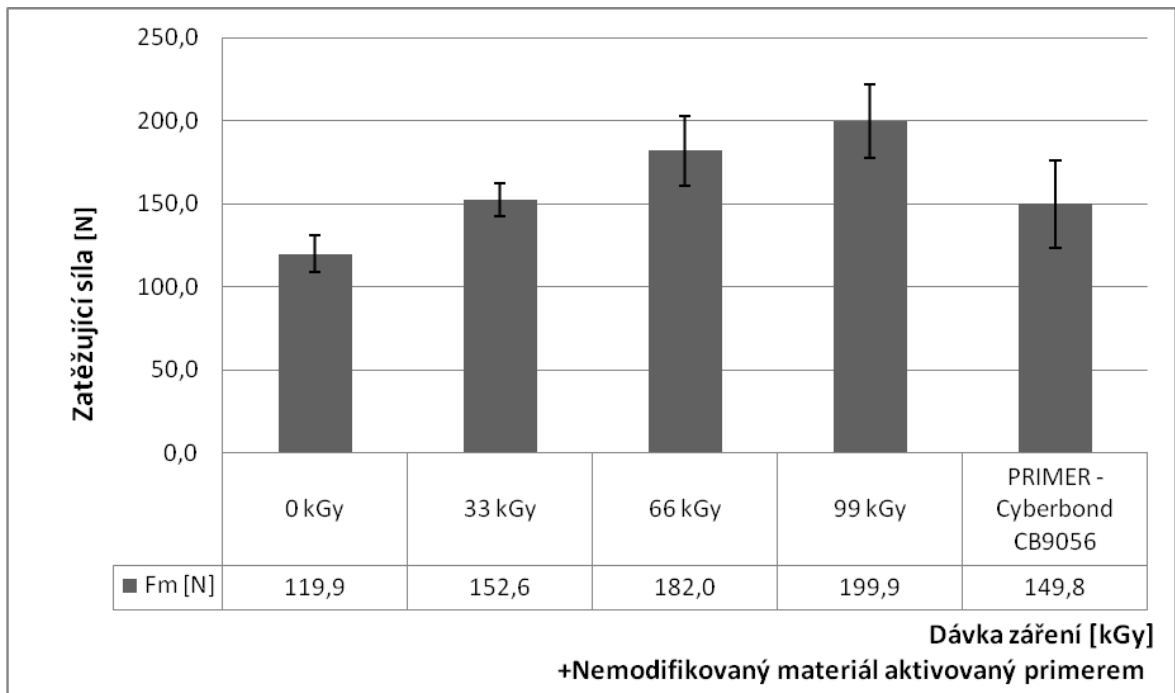
### 8.2.3 Lepidlo Cyberbond 5008

Tab. 11 Maximální zatěžující síla lepidlo Cyberbond 5008

LEPIDLO	NEOZÁŘENÝ	33 kGy	66 kGy	99 kGy	PRIMER - Cyberbond CB9056
CYBERBOND 5008	120,6	146,3	198,0	230,5	125,5
	98,1	148,3	135,0	161,3	196,0
	113,2	144,9	186,6	199,9	155,1
	137,9	157,6	166,6	222,0	140,0
	109,7	163,4	201,1	192,4	162,3
	121,1	141,0	205,9	188,3	175,6
	118,0	139,0	171,2	181,2	172,1
	127,9	155,7	188,8	185,0	131,6
	122,2	164,1	191,0	212,3	122,4
	130,0	166,0	175,4	226,0	117,8
PRŮMĚR	119,9	152,6	182,0	199,9	149,8
Směrodatná odchylka	11,2	10,0	20,9	22,4	26,4

Nejvyšší pevnosti vzorku, za použití sekundového lepidla Cyberbond 5008, dosáhl materiál ozářen dávkou 99kGy ( $F_m = 199,9$  N), jak je patrné z Obr. 9. Nejnižší maximální zatěžující-

cí sílu měl neozářený materiál ( $F_m = 119,9$  N). ze zkoušky na trhacím stroji bylo dokázáno, že lepidlo Cyberbond 5008 dosáhlo nejhorších výsledků ze všech lepidel.



Obr. 9 Maximální zatěžující síla – lepidlo Cyberbond 5008

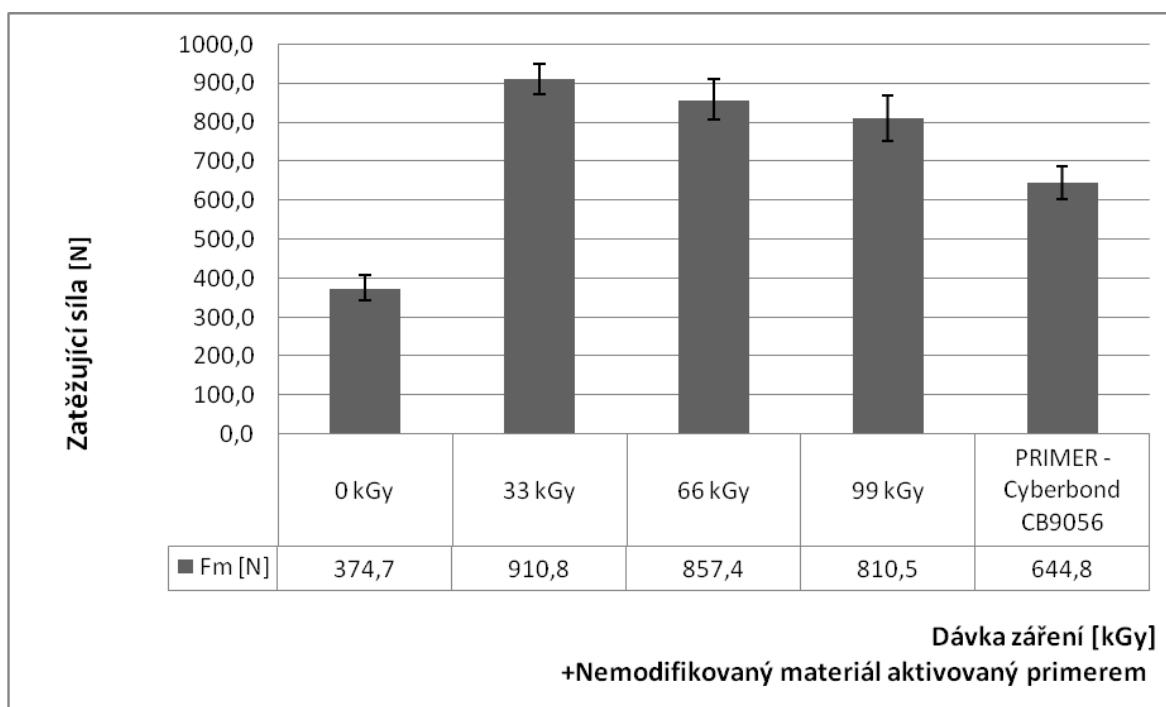
## 8.2.4 Lepidlo Cyberbond 2008

Tab. 12 Maximální zatěžující síla lepidlo Cyberbond 2008

LEPIDLO	NEOZÁŘENÝ	33 kGy	66 kGy	99 kGy	PRIMER - Cyberbond CB9056
CYBERBOND 2008	388,0	922,9	804,2	830,7	637,5
	351,3	881,7	837,3	761,3	656,5
	320,9	896,8	899,3	759,7	587,4
	328,8	987,4	782,6	775,8	613,2
	366,2	912,6	790,0	758,7	667,9
	391,0	869,3	906,8	750,1	693,7
	385,0	855,5	888,4	859,9	701,1
	392,4	929,0	853,2	892,4	686,3
	421,0	911,3	885,7	896,0	588,7
	402,3	941,9	926,9	819,9	616,0
PRŮMĚR	374,7	910,8	857,4	810,5	644,8
Směrodatná odchylka	32,3	38,2	51,8	57,2	42,5

Při použití sekundového lepidla Cyberbond 2008, dosáhl nejvyšší pevnosti ozářený materiál dávkou 33kGy ( $F_m = 910,8$  N), jak plyne z Obr.10. Naopak nejnižší pevnosti

dosáhl neozářený materiál ( $F_m = 374,7$  N). Pevnost spoje dosahovala vysokých hodnot na trhacím stroji.



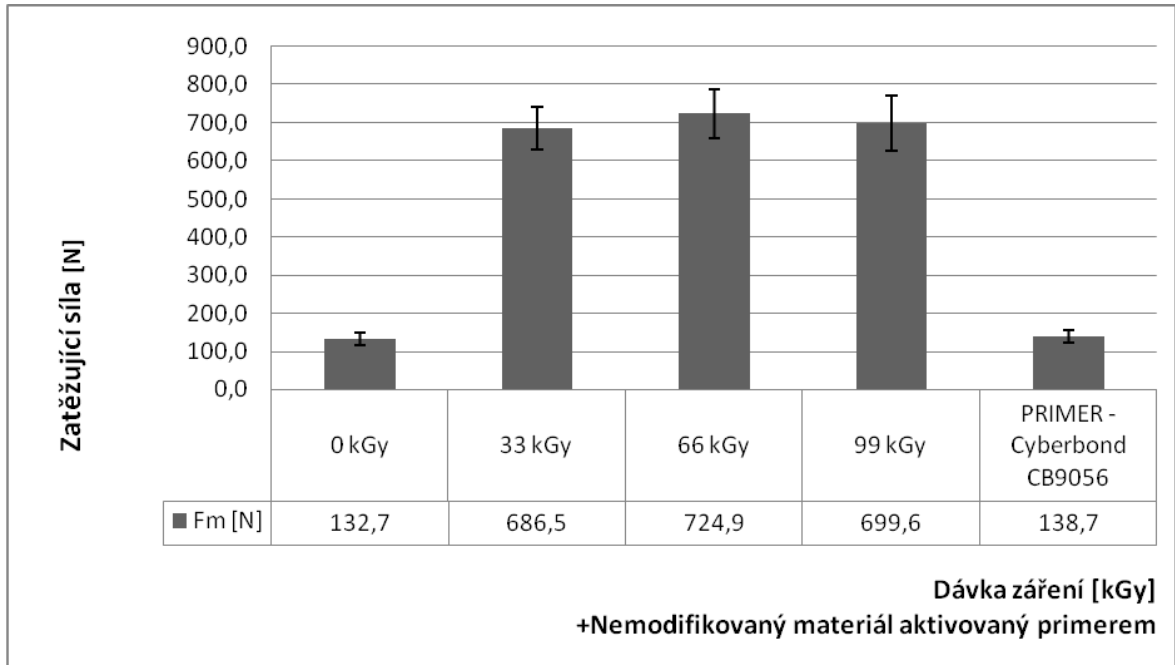
Obr. 10 Maximální zatěžující síla – lepidlo Cyberbond 2008

### 8.2.5 Lepidlo Plexus MA 300

Tab. 13 Maximální zatěžující síla lepidlo Plexus MA 300

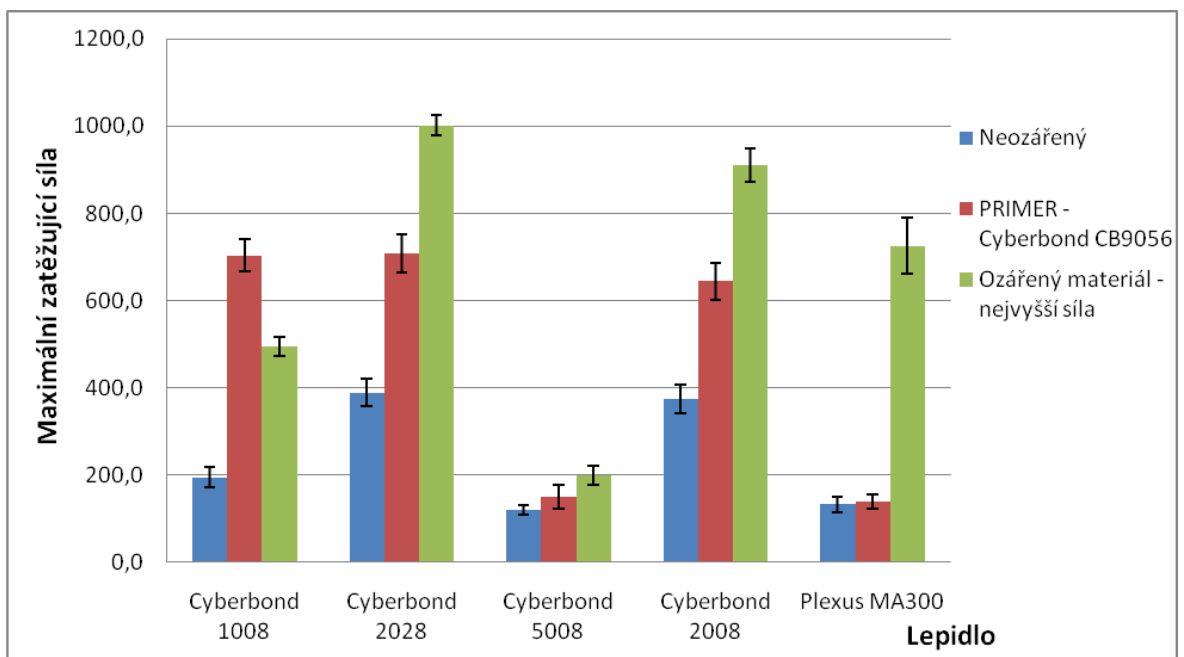
LEPIDLO	NEOZÁŘENÝ	33 kGy	66 kGy	99 kGy	PRIMER - Cyberbond CB9056
PLEXUS MA300	117,6	672,7	767,8	658,6	155,6
	154,3	644,0	714,0	637,2	144,7
	126,3	750,0	673,7	804,9	105,1
	161,0	782,1	755,4	764,2	133,6
	130,0	713,6	803,0	627,3	152,1
	118,9	629,9	688,1	622,1	144,0
	122,7	611,0	659,8	799,5	139,9
	158,1	738,5	777,8	732,0	160,0
	123,5	656,0	614,5	717,0	123,3
	114,1	667,4	795,2	633,4	128,9
PRŮMĚR	132,7	686,5	724,9	699,6	138,7
Směrodatná odchylka	18,0	56,6	64,2	72,9	16,6

Nejvyšší pevnost lepeného spoje, při použití lepidla Plexus MA300, dosáhl materiál ozářen dávkou 99kGy ( $F_m = 699,6$  N), jak plyne z Obr.11. Nejnižší pevnost spoje vykazoval neozařený materiál ( $F_m = 132,7$  N).



Obr. 11 Maximální zatěžující síla – lepidlo Plexus MA 300

### 8.2.6 Porovnání nejvyšších hodnot jednotlivých lepidel



Obr. 12 Porovnání nejvyšší hodnoty maximální zatěžující síly každého lepidla - neozařený materiál, aktivovaný primerem a ozářený materiálem

Z Obr. 12 plyne, že pevnost lepeného spoje u nemodifikovaného materiálu je velmi nízká. Naopak při použití přípravku Primer se několikanásobně zvýší jeho pevnost, kde u některých lepidel převyšuje i pevnost spoje ozářeného materiálu (Cyberbond 1008). Ze získaných výsledků vyplývá, že nejhorším lepidel pro lepení PP je lepidlo Cyberbond 5008, který vykazoval nejnižší pevnosti na maximální zatěžující sílu. Nejvhodnějším lepidlem k lepení PP, dle naměřených a vypočtených výsledků, bylo lepidlo Cyberbond 2028.



## DISKUZE VÝSLEDKŮ

Bakalářská práce byla zaměřena na měření pevnosti lepeného spojení polymerních materiálů. Zkušební vzorky byly vyrobeny z PP, které byly modifikovány ionizačním beta zářením o dávkách 33, 66 a 99 kGy. Na stroji Zwick 1466 byla zjišťována pevnost lepených spojení za využití tahové zkoušky.

Experiment byl prováděn na nemodifikovaném materiálu, ošetřeném přípravkem Primer Cyberbond CB9056 a materiál ozářeným ionizačním zářením dávkami 33, 66 a 99 kGy. Z výsledků měření vyplynulo, že díky záření, má PP vyšší lepitelné vlastnosti. Pro lepení nemodifikovaného materiálu bylo nejvhodnější lepidlo Cyberbond 2028 ( $F_m = 388,8 \text{ N}$ ), (Tab. 11, Obr. 8), ale podobného výsledku dosahovalo i lepidlo Cyberbond 2008 ( $F_m = 374,7 \text{ N}$ ), (Tab. 13, Obr. 10). Nejhorší pevnosti spojení dosáhlo lepidlo Cyberbond 5008 ( $F_m = 119,9 \text{ N}$ ), (Tab. 12, Obr. 9). Při použití Primeru na základní neozářený materiál se zvýšila jeho pevnost spoje v průměru o 80%. Pro vzorky ozářené zářením 33 kGy bylo nejvhodnější lepidlo Cyberbond 2008 ( $F_m = 910,8 \text{ N}$ ), (Tab. 13, Obr. 10), naopak nejhorších výsledků dosáhlo lepidlo Cyberbond 5008 ( $F_m = 152,6 \text{ N}$ ), (Tab. 12, Obr. 9). Nejlepším lepidlem pro PP ozářeným 66 kGy bylo lepidlo Cyberbond 2028 ( $F_m = 905,1 \text{ N}$ ), (Tab. 11, Obr. 8). Nejhorších výsledků spoje u materiálu ozářeného 66 kGy došlo u použití lepidla Cyberbond 5008 ( $F_m = 182,0 \text{ N}$ ), (Tab. 12, Obr. 9). Nejvhodnějším lepidlem pro modifikovaný materiál ionizačním zářením 99 kGy vyšlo u lepidla Cyberbond 2028 ( $F_m = 1001,6 \text{ N}$ ), (Tab. 11, Obr. 8). Nejhorších výsledků dosáhlo lepidlo Cyberbond 5008 ( $F_m = 199,9 \text{ N}$ ), (Tab. 12, Obr. 9).

Nejvhodnějším lepidlem k lepení PP dle naměřených výsledků bylo sekundové lepidlo Cyberbond 2028 a podobných výsledků dosáhlo i lepidlo Cyberbond 2008 (Tab. 13, Obr. 10), kde byly naměřeny u modifikovaného materiálu vysoké hodnoty maximální zatěžující síly.

Měření smáčivosti povrchu bylo provedeno na vzorku za použití destilované vody. Nejvyšší úhel smáčení dle naměřených výsledků dosáhl neozářený materiál. Nejnižší úhel smáčení vykazoval vzorek ozářený ionizačním beta zářením dávkou 66 kGy (Tab. 8). Po ozáření klesly hodnoty kontaktních úhlů průměrně o 28%. Bylo dokázáno, že ionizačním zářením na velký vliv na lepení polypropylenu.

## ZÁVĚR

V bakalářské práci řešíme problematiku pevnosti lepených spojů u polymerních materiálů. Součástí praktické části je výběr vhodného lepidla, přichystání a samotné lepení zkušebních vzorků, následné provedení pevnosti spojů pomocí tahové zkoušky na trhacím stroji Zwick 1456. K lepení byl zvolen materiál využívaný v průmyslu. Testované vzorky PP byly po vystříknutí, na vstříkovací stroji Arburg 420c Advanced, poslány na ozáření beta zářením.

Experimentem byla testována maximální zatěžující síla působící na vzorky bez úprav a na vzorky, které byly modifikovány beta zářením. Z naměřených výsledků bylo zřejmé, že se zvyšující se dávkou beta záření roste i pevnost spojení PP. Nejvyšší pevnosti lepeného spoje bylo dosaženo za použití sekundového lepidla Cyberbond 2028 na materiále ozářeného dávkou 99kGy ( $F_m = 1001,6\text{N}$ ). Nejnižší pevnost spoje vykázal neozářený materiál, za použití lepidla Cyberbond 5008 ( $F_m = 119,9\text{N}$ ). Při použití přípravku Primer - Cyberbond CB9056 na nemodifikovaný materiál, byla zvýšena pevnost lepeného spoje.

Všechny výše uvedené výsledky jsou zobrazeny v tabulkách a jako grafy v obrázcích.

Na přístroji Advex Instruments byl zjištěn i kontaktní úhel smáčení. Bylo dokázáno že, čím vyšší byla dávka beta záření, tím se zvýšila povrchová energie a tím i smáčivost povrchu. Experiment byl proveden za pomoci destilované vody na povrchu materiálu PP. Nejnižšího úhlu smáčení dosáhl vzorek ozářený dávkou 66 kGy.

**SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY**

- [1] OSTEN, Miloš. Práce s lepidly a tmely. Praha1 : SNTL, 1986. 288 s.
- [2] OSTEN, Miloš. Lepení plastických hmot. Praha1 : SNTL, 1972. 152 s.
- [3] KUTA, Antonín. Technologie a zařízení pro zpracování kaučuků a plastů.
- [4] OSTEN, Miloš. Lepení plastických hmot. Praha1 : SNTL, 1972. 152 s.  
1. vyd. Praha: VŠCHT Praha, 2007. 203 s.
- [5] BEDNAŘÍK, Martin. Vlastnosti lepených spojů - polymery. Zlín, 2009. 74 s. Bakalářská práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně.
- [6] ŽÁČEK, Štěpán. Lepení polymerů. Zlín, 2010. 70 s. Bakalářská práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně.
- [7] MAJZLÍK, Radek. Vlastnosti lepených spojů. Zlín, 2007. 87 s. Diplomová práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně.
- [8] DUCHÁČEK, Vratislav. Polymery-výroba, vlastnosti, zpracování, použití.
- [9] KOVÁŘOVÁ, Petra. Pevnost lepeného spoje vybraných druhů polymerů. Zlín, 2013. 26 s. Bakalářská práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně.
- [10] GREGOR, Miroslav. Technologie a technika lepení - základní informace.
- [11] LAMBOROVÁ, Romana. Recyklace ozářených polymerů. Zlín, 2009. diplomová práce (Ing.). Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. Fakulta technologická.
- [12] Sekundová lepidla. Lepidla Cyberbond [online]. ©2009 [cit. 2013-05-14]. Dostupné z: <http://cybershopcz.com/>
- [13]Methacrylátová lepidla. Lepidlo Plexus MA300 [online]. Dostupné z: <http://www.ulbrich.cz/plexus-ma300>
- [14] KASÁLKOVÁ. Měření smáčivosti plazmaticky modifikovaných polymerů jako substrátů pro růst buněk [online]. Dostupné z: [www.vscht.cz/ipl/LO/VL/Kasalkova\\_VL2.pdf](http://www.vscht.cz/ipl/LO/VL/Kasalkova_VL2.pdf)
- [15] STOKLASA, K. Makromolekulární chemie I - skripta, Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. Fakulta technologická, Zlín, 2005.

- [16] MLEZIVA, Josef. Polymery: výroba, struktur, vlastnosti a použití. Vyd. 1. Praha: Sobotáles, 1993. 525 s. ISBN 8090157041.
- [17] Základy teorie lepení [online]. Dostupné z: [http://www.abclepidla.cz/Files/file/files/Teorie\\_lepeni.pdf](http://www.abclepidla.cz/Files/file/files/Teorie_lepeni.pdf)
- [18] EBNESAJJAD, Sina. Surface Treatment of Materials for Adhesion Bonding. Norwich, NY, U.S.A : William Andrew Publishing, 2006. 277 s. ISB 978-0-8-8155-1523-4.
- [19] Advex instruments. See systém. [online]. Dostupné z: <http://www.advex-instruments.cz/>
- [20] Technologie a technika lepení - základní informace. [online]. Dostupné z: <http://www.lepidla.cz/cs/a/technologie-a-technika-lepeni--zakladni-informace.html>
- [21] Měření úhlu smáčení. [online]. Dostupné z: [http://vydavatelstvi.vscht.cz/knihy/uid\\_es-001/hesla/mereni\\_uhlu\\_smaceni.html](http://vydavatelstvi.vscht.cz/knihy/uid_es-001/hesla/mereni_uhlu_smaceni.html)

**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

Tab.	Tabulka
Obr.	Obrázek
PP	Polypropylen
PA	Polyamid
PE	Polyetylen
PVC	Polyvinylchlorid
PS	Polystyren
PMMA	Polymethylmethakrylát
PC	Polykarbonát
Např.	Například
Fm	Maximální síla

**SEZNAM OBRÁZKŮ**

<i>Obr. 1 Smáčenlivost povrchu [10]</i> .....	13
<i>Obr. 2 Struktura lepeného spoje [20]</i> .....	14
<i>Obr. 3 Postup práce se zkušebními tělísky [5]</i> .....	35
<i>Obr. 4 Trhací stroj Zwick 1456 [9]</i> .....	39
<i>Obr. 5 Přístroj Advex Instruments [19]</i> .....	40
<i>Obr. 6 Měření kontaktního úhlu smáčení [21]</i> .....	41
<i>Obr. 7 Maximální zatěžující síla – lepidlo Cyberbond 1008</i> .....	43
<i>Obr. 8 Maximální zatěžující síla – lepidlo Cyberbond 2028</i> .....	44
<i>Obr. 9 Maximální zatěžující síla – lepidlo Cyberbond 5008</i> .....	45
<i>Obr. 10 Maximální zatěžující síla – lepidlo Cyberbond 2008</i> .....	46
<i>Obr. 11 Maximální zatěžující síla – lepidlo Plexus MA 300</i> .....	47
<i>Obr. 12 Porovnání nejvyšší hodnoty maximální zatěžující síly každého lepidla - neozářený materiál, aktivovaný primerem a ozářený materiálem</i> .....	47

**SEZNAM TABULEK**

<i>Tab. 1 Rozdělení lepidel podle principu tuhnutí</i> .....	24
<i>Tab. 2 Fyzikální vlastnosti Polypropylenu [8]</i> .....	30
<i>Tab. 3 Výrobní podmínky PP tělísek</i> .....	35
<i>Tab. 4 Vlastnosti lepidla Cyberbond 2008[12]</i> .....	36
<i>Tab. 5 Vlastnosti lepidla Cyberbond 2028[12]</i> .....	36
<i>Tab. 6 Vlastnosti lepidla Cyberbond 5008[12]</i> .....	36
<i>Tab. 7 Vlastnosti lepidla Cyberbond 2008[12]</i> .....	37
<i>Tab. 8 Měření úhlu smáčivosti pro dávky záření</i> .....	41
<i>Tab. 9 Maximální zatěžující síla lepidlo Cyberbond 1008</i> .....	42
<i>Tab. 10 Maximální zatěžující síla lepidlo Cyberbond 2028</i> .....	43
<i>Tab. 11 Maximální zatěžující síla lepidlo Cyberbond 5008</i> .....	44
<i>Tab. 12 Maximální zatěžující síla lepidlo Cyberbond 2008</i> .....	45
<i>Tab. 13 Maximální zatěžující síla lepidlo Plexus MA 300</i> .....	46

## SEZNAM PŘÍLOH

PI CD ROM