

# **Pevnost lepeného spoje vybraných druhů polymerů**

Petra Kovářová

---

Bakalářská práce  
2013



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

akademický rok: 2012/2013

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Petra KOVÁŘOVÁ**

Osobní číslo: **T10780**

Studijní program: **B3909 Procesní inženýrství**

Studijní obor: **Technologická zařízení**

Forma studia: **prezenční**

Téma práce: **Pevnost lepeného spoje vybraných typů polymerů**

Zásady pro vypracování:

1. Vypracování literární studie na dané téma.
2. Příprava zkušebních těles pro 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 BP.**

Vedoucí bakalářské práce:

**doc. Ing. David Mañas, Ph.D.**

Ústav výrobního inženýrství

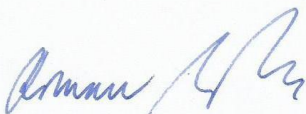
Datum zadání bakalářské práce:

**8. února 2013**

Termín odevzdání bakalářské práce:

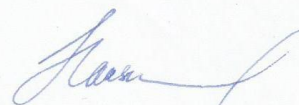
**17. května 2013**

Ve Zlíně dne 11. února 2013



doc. Ing. Roman Čermák, Ph.D.  
děkan





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

Příjmení a jméno: KOVÁŘOVA PETRA

Obor: TŽ

## 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 14. května 2013

Petra Kovářová

<sup>2)</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 nahlázení 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). Odpirá-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 přihlíádne 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 u vybraných polymerů. Teoretická část popisuje technologii lepení polymerů a vlastnosti lepených spojů. Dále jsou zde popsány druhy lepidel a jejich použití u různých druhů polymerů. Praktická část se zabývá vyhodnocením pevnosti lepených spojů.

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

## **ABSTRACT**

Aim of this work is to compare the strength of adhesive joints of selected polymeric materials. The theoretical part describes the technology of polymers and bonding properties of bonded joints. Types of adhesives, and their use in different types of polymers are describe. The practical part deals with the evaluation of the strength of bonded joints.

Keywords: Adhesive bonding, bonded joints, polymers, strengt, adhesive.

Tímto bych chtěla velice poděkovat vedoucímu mé bakalářské práce, panu doc. Ing. Davidu Maňasovi, Ph.D. a zároveň Ing. Martinu Bednaříkovi, za pomoc, ochotu, věnovaný čas a cenné rady. A v neposlední řadě celé mé rodině a přáteli, kteří mě podporovali při studiu.

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 PŘEDNOSTI A NEDOSTATKY LEPENÝCH SPOJŮ .....	13
1.3 TVORBA SPOJE.....	14
<b>2 PROVEDENÍ LEPENÉHO SPOJE</b> .....	<b>15</b>
2.1 KONSTRUKCE LEPENÝCH SPOJŮ.....	15
2.2 PODMÍNKY ZPRACOVÁNÍ .....	15
2.2.1 Příprava povrchu .....	15
2.2.2 Chyby při lepení .....	16
2.2.3 Příprava lepicích směsí .....	16
2.2.4 Nanášení lepidla .....	16
2.2.5 Fixace lepených spojů tlakem .....	17
2.2.6 Urychlení tuhnutí lepidla ve spoji .....	17
2.2.7 Podmínky a doba tuhnutí lepidla.....	18
2.3 FAKTORY OVLIVŇUJÍCÍ SOUDRŽNOST LEPENÉHO SPOJE .....	18
2.3.1 Polarita .....	18
2.3.2 Krystalinita polymerů.....	18
2.3.3 Obsah plniv a změkčovadel .....	19
2.3.4 Délková roztažnost.....	19
2.3.5 Soudržnost povrchu.....	19
2.3.6 Rovnost a hladkost povrchu .....	19
2.3.7 Čistota povrchu .....	20
2.3.8 Rozpustnost a botnavost.....	20
2.4 PŘEDBĚŽNÉ ÚPRAVY POVRCHU .....	21
2.4.1 Úprava rovinnosti a hladkosti .....	21
2.4.2 Odmašťování.....	21
2.4.3 Chemické moření .....	21
2.5 FAKTORY OVLIVŇUJÍCÍ PEVNOST LEPENÉHO SPOJE.....	22
2.5.1 Tloušťka lepeného spoje .....	22
2.5.2 Typ zatěžování .....	22
2.5.3 Doba vytvrzování .....	23
2.5.4 Vady ve vrstvě lepidla.....	23
<b>3 LEPIDLA</b> .....	<b>25</b>
3.1 ZÁKLADNÍ ROZDĚLENÍ LEPIDEL .....	25
3.2 POŽADAVKY NA LEPIDLA .....	26
3.3 KLASIFIKACE LEPIDEL .....	27
3.4 PŘEDBĚŽNÉ ÚPRAVY LEPIDEL A LEPÍCÍCH SMĚSÍ .....	27
3.4.1 Ředění .....	27
3.4.2 Zahušťování .....	27
3.4.3 Zvyšování přilnavosti lepidla.....	28
3.4.4 Zvyšování vodovzdornosti lepidla .....	28



3.4.5	Přibarvování lepidla .....	28
3.4.6	Ovlivnění pracovní životnosti lepidel .....	28
<b>4</b>	<b>LEPENÍ VYBRANÝCH DRUHŮ POLYMERŮ .....</b>	<b>29</b>
4.1	LEPENÍ PE .....	29
4.1.1	Charakteristika .....	29
4.1.2	Lepení .....	30
4.2	LEPENÍ PA .....	30
4.2.1	Charakteristika .....	30
4.2.2	Lepení .....	30
4.3	LEPENÍ PP .....	31
4.3.1	Charakteristika .....	31
4.3.2	Lepení .....	31
4.4	LEPENÍ PVC .....	31
4.4.1	Charakteristika .....	31
4.4.2	Lepení .....	32
4.5	LEPENÍ PS .....	32
4.5.1	Charakteristika .....	32
4.5.2	Lepení .....	32
4.6	LEPENÍ PMMA .....	33
4.6.1	Charakteristika .....	33
4.6.2	Lepení .....	33
4.7	LEPENÍ PC .....	33
4.7.1	Charakteristika .....	33
4.7.2	Lepení .....	33
<b>5</b>	<b>ZKOUŠKY LEPENÝCH SPOJŮ .....</b>	<b>34</b>
5.1	NEDESTRUKTIVNÍ ZKUŠEBNÍ METODY .....	34
5.2	DESTRUKTIVNÍ ZKUŠEBNÍ METODY .....	35
5.2.1	Pevnost lepených spojů v tahu .....	35
5.2.2	Pevnost lepených spojů v odlupování .....	35
5.2.3	Pevnost lepených spojů při namáhání rázem .....	35
5.2.4	Zkouška lámavosti lepených spojů .....	35
5.2.5	Zkouška trvalé (časové) pevnosti a stárnutí .....	35
<b>II</b>	<b>PRAKTICKÁ ČÁST .....</b>	<b>36</b>
<b>6</b>	<b>CÍL BAKALÁŘSKÉ PRÁCE .....</b>	<b>37</b>
<b>7</b>	<b>PŘÍPRAVA ZKUŠEBNÍCH VZORKŮ A LEPENÍ .....</b>	<b>38</b>
7.1	VOLBA MATERIÁLU .....	38
7.1.1	Polyethylen o vysoké hustotě (HDPE) .....	38
7.2	VOLBA LEPIDLA .....	38
7.2.1	Cyberbond 2008 .....	39
7.2.2	Cyberbond 5008 .....	40
7.2.3	Cyberbond A806 .....	40
7.2.4	Cyberbond E705 .....	41
7.3	VÝROBA ZKUŠEBNÍCH VZORKŮ .....	41
7.3.1	Vstřikovací stroj Arburg 420 C Advanced .....	42

7.4	PŘÍPRAVA ZKUŠEBNÍCH VZORKŮ .....	43
7.4.1	Ionizační záření .....	44
7.4.2	Aktivace primerem .....	45
7.5	LEPENÍ ZKUŠEBNÍCH VZORKŮ .....	45
7.5.1	Příprava lepidel .....	45
7.5.2	Konstrukce lepeného spoje .....	46
7.6	MĚŘENÍ PEVNOSTI LEPENÝCH SPOJŮ .....	47
<b>8</b>	<b>ZKOUŠKY PEVNOSTI LEPENÝCH SPOJŮ ZA TEPLoty 23 °C.....</b>	<b>50</b>
8.1	VZORKY LEPENÉ STEJNÝM LEPIDLEM .....	50
8.1.1	Pevnost základního nelepeného materiálu .....	50
8.1.2	Sekundové lepidlo Cyberbond 2008 .....	51
8.1.3	Sekundové lepidlo Cyberbond 5008 .....	52
8.1.4	Lepidlo Cyberbond A806.....	54
8.1.5	Lepidlo Cyberbond E705 .....	55
8.2	POROVNÁNÍ PEVNOSTI LEPENÉHO SPOJE SE ZÁKLADNÍM MATERIÁLEM .....	56
8.2.1	HDPE ozářený dávkou 33 kGy .....	56
8.2.2	HDPE ozářený dávkou 66 kGy .....	58
8.2.3	HDPE ozářený dávkou 99 kGy .....	60
8.2.4	HDPE ozářený dávkou 132 kGy .....	61
8.2.5	HDPE ozářený dávkou 165 kGy .....	63
8.2.6	HDPE ozářený dávkou 198 kGy .....	64
<b>9</b>	<b>ZKOUŠKY PEVNOSTI LEPENÝCH SPOJŮ ZA TEPLoty 60 °C.....</b>	<b>67</b>
9.1	SEKUNDOVÉ LEPIDLO CYBERBOND 2008 .....	67
9.2	LEPIDLO CYBERBOND E705 .....	68
9.3	LEPIDLO CYBERBOND A806.....	70
	<b>DISKUZE VÝSLEDKŮ .....</b>	<b>72</b>
	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>74</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....</b>	<b>75</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....</b>	<b>76</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>77</b>
	<b>SEZNAM TABULEK.....</b>	<b>79</b>
	<b>SEZNAM PŘÍLOH.....</b>	<b>81</b>

## ÚVOD

S novým vývojem syntetických lepidel se stalo lepení moderním způsobem nerozebíratelného spojování pevných materiálů. Oproti metodám jako jsou nýtování, svařování, sešívání, stloukání a šroubování má lepení více možností a umožňuje dosáhnout spoju s vlastnostmi, kterých nebylo možno dosáhnout jinými metodami spojování.

Pro materiály jako jsou papír, kůže, pryž a dřevo je lepení běžnou a ověřenou metodou, kdež to pro kovy a živé tkáně není tato metoda příliš běžná. Lepení, jako způsob nerozebíratelného spojení má mnoho předností a výhod. Takové spoje jsou na rozdíl od spojů nýtových a šroubových nepropustné pro kapaliny či plyny. Avšak kombinování klasických způsobů spojování a lepení není vyloučeno. Estetický vzhled výrobku a hladkost povrchu není lepením narušeno. Nezhoršují se ani mechanické vlastnosti materiálu vrtáním otvorů pro spojovací prvky. Lepený spoj rozvádí při dynamické namáhání mnohem rovnoměrněji vzniklé pnutí, nežli jiný mechanický spoj. Lepení je vhodné jak pro velkoplošné spoje, tak pro lepení velkého počtu malých součástí.

Nemůžeme však očekávat, že každé lepidlo je vhodné pro všechny druhy materiálů. I přesto, že některá lepidla (např. epoxidová lepidla) mají velký rozsah využití, nelze je považovat za univerzální. Univerzální lepidla neexistují. Maximální odolnosti a pevnosti lepeného spoje dosáhneme jedině s určitým lepidlem na konkrétním materiálu. A to jen tehdy, známe-li důkladně vlastnosti lepeného materiálu a adhezní účinnost jednotlivých lepidel.[1,2]

## **I. TEORETICKÁ ČÁST**

## 1 TEORIE LEPENÍ

Lepení znamená spojení dvou materiálů pomocí lepidla, které má dobrou přilnavost k oběma plochám. Je to jeden ze způsobů, jak lze spojit stejné či různé materiály. Pomocí vrstvení klasických i méně používaných materiálů nám lepení umožňuje vyrábět materiály nových kvalit. Materiály spojené lepidlem jsou nepropustné pro kapaliny popřípadě i pro plyny. Oproti nýtovým či šroubovým spojům nezhoršuje lepení mechanické vlastnosti spojovaného materiálu například vyvrtáváním otvorů pro spojovací prvky.

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

### 1.1 Adheze a koheze

Adheze je definována jako přilnavost a je jedním ze základů pro úspěšné lepení. Mezi lepeným povrchem a lepidlem mohou vzniknout dvě vazby a to chemická a mechanická vazba. Nejen vazby jsou důležité pro dokonalé spojení materiálů, ale i smáčivost lepeného povrchu. Adhezní vazba nevznikne, nerozprostře-li se lepidlo rovnoměrně po povrchu.

Pevnost vrstvy lepidla se nazývá koheze. Adheze je vyšší nežli koheze tehdy, rozpojí-li se spoj ve vrstvě lepidla. Kohezní pevnost je charakterizována lepidlem a tepelným namáháním lepeného spoje. Adhezní a kohezní síly by měly být v rovnováze.[4]

### 1.2 Přednosti a nedostatky lepených spojů

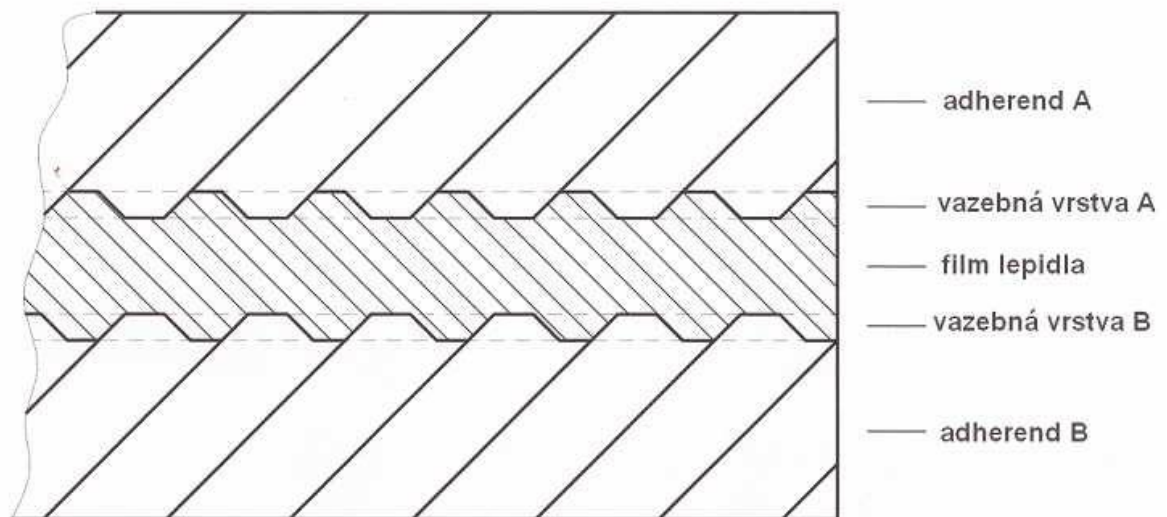
Tak jako všechny technologie, tak i lepení má své přednosti i limitující činitele. Proto je nutné srovnat výhody a nevýhody lepení oproti tradičním způsobům spojování.

Jednou z výhod lepení je spojení stejných, ale i rozdílných materiálů o různých tloušťkách a velikostech. Lepením je možné vytvořit vodotěsné a plynotěsné spoje. Lepený spoj tlumí vibrace v konstrukci a nezvyšuje hmotnost celku. Obzvláště při namáhání ve smyku a rázové pevnosti prokazují lepené spoje vysokou pevnost.

Mezi nevýhody patří vysoké požadavky na úpravu povrchu materiálu. Musí být zajištěna rovinnost a čistota povrchu. Jedná se o spoj nerozebíratelný a životnost některých lepidel je omezená. Jsou málo odolné proti zvýšeným teplotám. [4]

### 1.3 Tvorba spoje

Abychom docílili dokonalého spojení materiálu, musíme lepidlo nanést rovnoměrně na jednu nebo obě plochy, které musí lepidlo smáčet. Je nutné, aby lepidlo zateklo ve spáře rovnoměrně a vytvořilo aktivní film. Následně je zapotřebí, aby lepidlo přešlo z tekuté fáze do tuhé. Velký vliv má vyvinutý tlak, který podporuje fixaci dílů a taky napomáhá rovnoměrnému rozlití lepidla po ploše. Není však pravda, že se zvýšením tlaku se zvýší a pevnost spoje. Příliš velký tlak může mít i nepříznivé účinky. Může nastat vytlačení lepidla ze spáry. Naopak, není-li tak dostatečně veliký, může dojít k nerovnoměrnému rozvrstvení lepidla a spoj se může stát nespolehlivým. Způsoby lepení se liší zejména v nanášení lepidla a jeho aktivaci ve spáře.[2, 3]



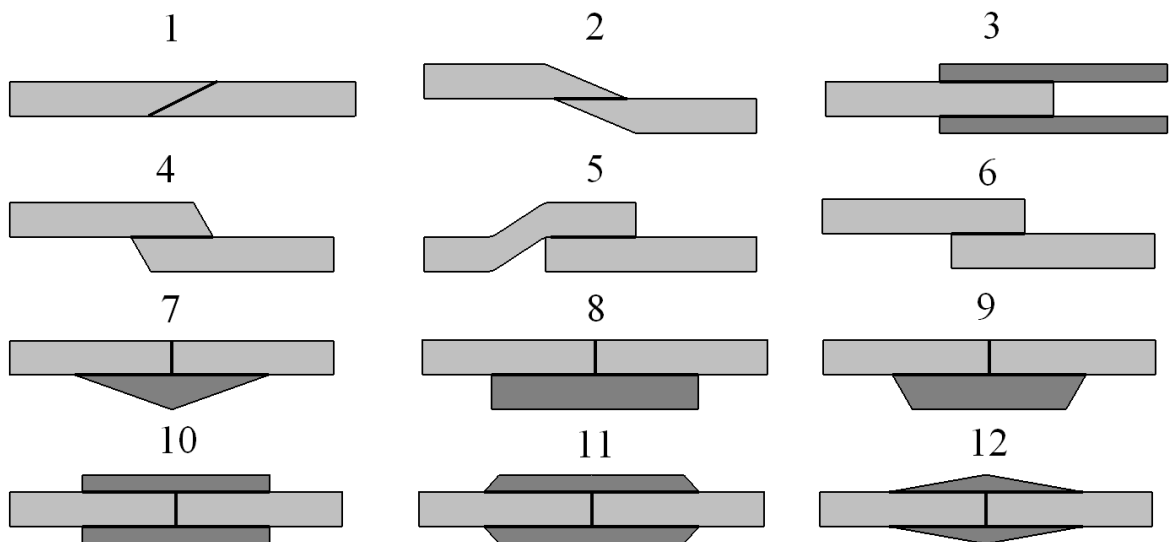
Obr. 1 Struktura lepeného spoje

## 2 PROVEDENÍ LEPENÉHO SPOJE

### 2.1 Konstrukce lepených spojů

Při konstrukci plastických hmot, je často nutné dbát na to aby:

- celek byl slepen co nejjednodušeji,
- lepení celku proběhlo v jedné technologické operaci,
- mechanické namáhání nebylo soustředěno do místa spoje, ale bylo rovnoměrně rozvedeno,
- celek byl namáhán co nejméně na odlupování.[1]



Obr. 2Přehled možností lepených spojů.

1 – spoj tupý, zkosený; 2 – spoj jednoduše přeplátovaný, zkosený; 3 – spoj dvojitěpřeplátovaný; 4 – spoj jednoduše přeplátovaný, zkosený; 5 – spoj lemový, jednoduše přeplátovaný; 6 – spoj jednoduše přeplátovaný; 7, 8 a 9 – celní spoje s příložkami různého tvaru; 10 – celní spoj s dvěma příložkami; 11 a 12 – celní spoje se dvěma zkosenými příložkami

### 2.2 Podmínky zpracování

#### 2.2.1 Příprava povrchu

Přilnavost lepidla a adheze mezi lepidlem a povrchem materiálu jsou faktory, které ovlivňují pevnost lepeného spoje. Adhezní síly jsou ovlivňovány elektrostatickými a chemickými efekty a ty závisí na přípravě povrchů. Jedině vhodnou přípravou povrchů lze dosáhnout optimální přilnavosti. Neupravený nebo špatně upravený povrch lepené plochy vede

k slabšímu spojení nebo k poruše spoje. S lepením je optimální začít co nejdříve po úpravě povrchu.

### 2.2.2 Chyby při lepení

- nízká pevnost je způsobena nedostatečným odmaštěním povrchu
- špatně zvoleným materiálem může dojít k negativní reakci mezi lepidlem a spojovaným materiálem (špatná snášenlivost)
- nesprávným a nerovnoměrným nanášením lepidla mohou vznikat bubliny v lepicí vrstvě, chyba může nastat i při nevhodné tloušťce lepidla
- hlavní příčinou nízké životnosti spoje jsou degradační pochody způsobené UV zářením

### 2.2.3 Příprava lepicích směsí

Ne každé lepidlo můžeme zpracovat v takovém stavu, v jakém jsme ho zakoupili. Proto musí některé úpravy provést zpracovatel sám. Většinou se jedná o úpravu hustoty, stékaivosti, rychlosti schnutí, tvrzení, přilnavosti nebo tuhosti lepidla.

Před úpravou musí být lepidlo vytemperováno na teplotu, která je v místnosti. U lepidel v malém balení to není problém, ale je-li lepidlo v sudech, doporučuje se umístit sudy do příslušné místnosti několik dní dopředu. Zpravidla se připravují jen takové dávky lepidla, které se zpracují dříve, než dojde ke změně viskozity.

Lepidla, která se používají na vodovzdorný spoj, jsou zahušťována anorganickými plnivými. Dobře připravené směsi jsou zcela homogenní a veškeré přísady jsou v nich rovnoměrně rozptýleny. Připravené směsi, je nutno skladovat v nádobách s víčkem, aby nedocházelo ke zvyšování viskozity vlivem odpařování rozpouštědla. [1]

### 2.2.4 Nanášení lepidla

Při nanášení lepidla řešíme tři problémy:

- kolik nanášet,
- jak nanášet,
- čím nanášet.



Množství nanášeného lepidla se udává vždy v gramech na jeden metr čtvereční ( $\text{g/m}^2$ ) celkové lepené plochy. Udávají se horní a spodní limity dávkovací hranice. Optimální množství lepidla závisí na lepeném materiálu. Lepidla bývají ve formě tekuté a tuhé. Konzistence kapalných lepidel se může lišit podle jejich druhu. Často se pohybuje v širokém rozmezí od řídké kapaliny až po mazlavou pastu. Pevná lepidla jsou dodávány jako drť, tyčinky, rosol apod.

Nehledě na počáteční stav lepidla musíme lepicí směs nanášet v takovém stavu, aby v určitém momentu vytvořila tekutý film, který smáčí mikro póry povrchu. U tekutých lepidel je to ihned, kdež to u tuhých lepidel až po zahřátí na určitou teplotu.

Rovnoměrný nános lepidla je samozřejmostí. Jsou však dvě možnosti nanášení a to jednostranný nános nebo oboustranný. U tuhých spojů se lepidlo nanáší po celé délce.

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

### 2.2.5 Fixace lepených spojů tlakem

Fixace vzájemné polohy dílů je důležitou operací před vyvozením tlaku na spoj. Důvodem je, že mnoho lepidel nejprve zřídne, takže by mohlo dojít k posunutí dílců, zejména u těch, které nemají stykové plochy souběžné. Nežádoucí posuv může nastat taktéž při zavedení tlaku nebo zvýšení teploty.

Proti posunutí se využívá mnoho metod jako např. utažení mezi svorky, zachycení lepicí páskou, podepřením.

Správně zvolený tlak umožňuje dosáhnoutí rovnoměrného rozvrstvení lepidla ve spáře. U poddajného materiálu dokonce k vyrovnání drobných nerovností, které bránily souběžnému spojování ploch. Je nutné, aby tlak působil kolmo na lepené plochy.

Tlak vyvolaný na spoj musí odpovídat jak viskozitě lepidla, tak tlakové pevnosti podkladu. Lepidla, která v určité fázi ztrácejí viskozitu, mohou být vystavena jen nízkým tlakům. Musí se dbát, aby nedocházelo k vytlačování lepidla tlakem ze spáry.[1]

### 2.2.6 Urychlení tuhnutí lepidla ve spoji

K vytvoření tuhého filmu lepidla ve spoji je nutné, aby lepidlo přešlo z tekuté fáze (kdy smáčelo povrch) do fáze tuhé. Na tuhnutí lepidel má zpravidla vliv teplota. Podle teploty rozlišujeme:

- lepení za normální teploty od 15 do 25 °C,
- lepení za tepla od 30 do 100 °C,
- lepení za horka nad 100 °C.

Při chladu se tuhnutí reaktivního lepidla zpomaluje a klesne-li teplota pod +10 °C nevytvrdnou vůbec. Při nastavování tvrdící teploty lepidla je limitujícím činitelem tepelná odolnost lepeného materiálu, popřípadě tepelná roztaživost teplem, jde-li o dva různé materiály. Lepený celek lze zahřívat více způsoby. Nejjednodušším způsobem zahřívání spoje je přenesení do tepelné místnosti.[1]

### **2.2.7 Podmínky a doba tuhnutí lepidla**

Tuhnutí lepidla ve spoji závisí na jeho složení, na teplotě okolí a na pórovitosti lepených ploch. Reaktivní lepidla tuhnutí příčinou chemické reakce. Při zvýšené teplotě reagují reaktivní lepidla rychleji.

Lepidla tavná tuhnutí ochlazením spoje na normální teplotu. Aby se zabránilo nežádoucímu předčasnému tuhnutí lepidla, doporučuje se lepené plochy předehřívat.[4]

## **2.3 Faktory ovlivňující soudržnost lepeného spoje**

### **2.3.1 Polarita**

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

Hůře lepitelné hmoty jsou silně polární. Mezi ně patří zejména polyamidy.

Kdež to nepolární hmoty, jako jsou polyetylen a polypropylen, jsou buď těžce lepitelné, nebo dokonce až nelepitelné. Proto je nutno tento problém vyřešit úpravou a to oxidací. Oxidace vede k místnímu zvýšení polarit. Přídavkem polárních plniv, polárních kopolymerů a změkčovadel lze taktéž zlepšit do jisté míry lepitelnost nepolárních polymerů. [5]

### **2.3.2 Krystalinita polymerů**

Ne všechny polymery mají amorfní strukturu. Některé termoplasty např. polyetylén, polypropylén, polyamid mají nerovnoměrnou stavbu makromolekulárních řetězců a sklon ke

krystalinitě. Mají lepší mechanické a fyzikální vlastnosti než polymery amorfní. Se zvyšujícím se krystalinickým podílem lepitelnost polymeru klesá. [6]

### 2.3.3 Obsah plniv a změkčovadel

S výjimkou grafitu a sazí je většina plniv obsažených v plastických hmotách (celulóza, dřevěná moučka, azbest, skleněná vlákna apod.) polárního charakteru a adhezi lepidel k povrchu hmoty zlepšuje nebo alespoň nezhoršuje.

Měkké plastické hmoty, ať už fólie, nebo lehčené materiály, pokud obsahují ve větším množství nízkomolekulární změkčovadla (ftaláty, fosfáty apod.), mohou být spolehlivě lepeny jen lepidly, která se s těmito změkčovadly nemísí. Migrující změkčovadla po jisté době film lepidla rozleptá a ohroží tím pevnost spoje. Proto se nízkomolekulární změkčovadla nahrazují měkkými termoplastickými hmotami. [5]

### 2.3.4 Délková roztažnost

Většina plastických hmot má 6 až 10 krát větší délkovou roztažnost za tepla než klasické materiály, jako je např. sklo, dřevo nebo beton a kovy. U kombinovaných spojů, není-li tomu zabráněno jejich speciálním provedením, se tato vlastnost může stát příčinou vzniku pnutí a následné deformace nebo porušení spoje. [2]

### 2.3.5 Soudržnost povrchu

Soudržnost povrchové vrstvy lepené hmoty je jedním z faktorů, na kterém závisí pevnost lepeného spoje. Tato vlastnost je podstatná při zpracovávání lehčených pěnových materiálů, kaširovaných vícevrstvých hmot a skelných laminátů. Některé pěnové hmoty mají při menší objemové váze jen velmi malou soudržnost. Zpravidla i při malém zatížení lepeného spoje dochází k jeho destrukci stržením jedné z povrchových vrstev. Pevnost spoje může být zhoršená i tím, že rozpouštědlo či tvrdidlo, které je obsažené v lepidle, naruší soudržnost kaširované nebo poprašované vrstvy s nosičem. I nevhodným zdrsňením může dojít ke zhoršení soudržnosti povrchové vrstvy. [2]

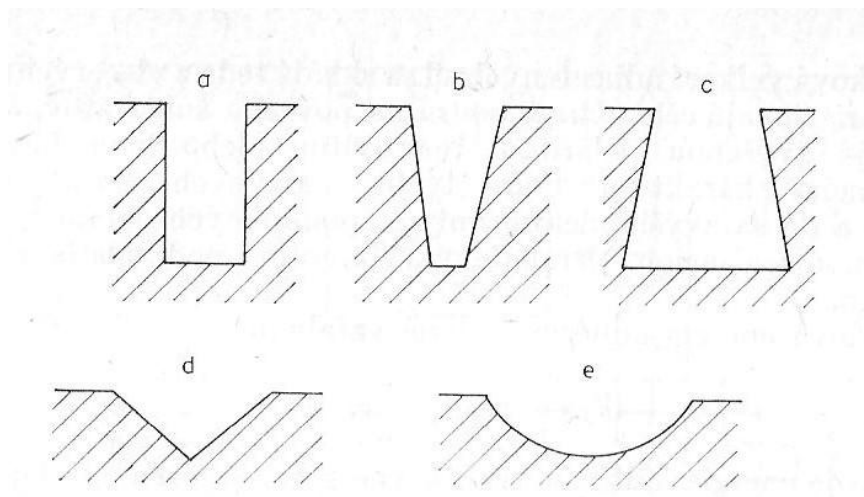
### 2.3.6 Rovnost a hladkost povrchu

Každá styčná plocha má tři druhy povrchu:

- a) geometrický povrch, daný konstrukčními rozměry spoje,

- b) mikropovrch, tj. teoreticky možná plocha, zahrnující veškeré nerovnosti a póry,
- c) účinný povrch, tj. část mikropovrchu, skutečně smáčená lepidlem.

Geometrický povrch zahrnuje délkové rozměry lepené plochy a tloušťkové tolerance vytvářející charakteristiku souběžnosti spojovaných ploch, ovlivňující především stejnoměrné rozvrstvení lepidla ve spáře. Na dokonalé přilnutí lepidla s povrchem má vliv tvar nerovností mikropovrchu. Jen tvarově výhodné zdrsnění povrchu má příznivý vliv na pevnost spoje. Jako optimální hloubka zdrsnění se uvádí 1 až 6  $\mu\text{m}$ . Lepidla, která se tvrdí za normálních teplot jsou na tvar povrchu citlivější než lepidla, která jsou vytvrzována při vysokých teplotách. [2]



Obr. 3 Typy nerovností u lepených ploch.

*a – válcová, b – kónická, c – kónická uzavřená,  
d – kónická plochá, e – miskovitá*

### 2.3.7 Čistota povrchu

Aby byl zajištěn dokonalý kontakt lepidla s povrchem lepené hmoty, musí se nejprve plocha určená k lepení zbavit separačně působících látek. A to zejména mastnoty a korozních zplodin. K odmašťování se nejčastěji používá rozpouštědel a moření chemickými látkami. [2]

### 2.3.8 Rozpustnost a botnavost

Řada termoplastických polymerů se rozpouští nebo botná v organických rozpouštědlech, která jsou obsažena v roztokových lepidlech. Při práci s kompaktními tlustostěnnými mate-

riály je tato okolnost pro dosažení lepší adheze výhodou (lepí se i čistými rozpouštědly), kdežto při lepení fólií, kdy může být příčinou deformace povrchu, není žádoucí. [2]

## 2.4 Předběžné úpravy povrchu

### 2.4.1 Úprava rovinnosti a hladkosti

Úprava rovinnosti spojovaných dílců se týká především konstrukčních materiálů, jako je dřevo, kovy a tvrdé plastické hmoty. Touto úpravou se odstraňují nerovnosti a nečistoty povrchu. Pro zdrsňování plastických hmot se používá především broušení smirkovými papíry.

### 2.4.2 Odmašťování

Jako druhá operace, která navazuje na mechanické opracování a předchází chemickému moření je odmašťování, které se používá u náročných spojů, které vyžadují optimální předběžnou úpravu stykových ploch. Provádí se jak těkavými organickými rozpouštědly, tak i vodnými roztoky saponátů. Podmínkou při odmašťování je nerozpustnost upravované plochy.

Při úpravě malých ploch, či při menším množství kusů je možné odmaštění vatovými tampony namočenými v rozpouštědle.

U velkých ploch nebo velkém množství kusů se odmašťování provádí rozpouštědly systémem dvou lázní (nečisté a oplachování) nebo v parách vroucího rozpouštědla, které je sice méně bezpečné, ale za to zaručuje dobrý výsledek.

Z hlediska bezpečnostního a ekonomického je nejvýhodnější odmašťování pomocí teplých vodních saponátů. Tato metoda se používá všude tam, kde je lepený materiál citlivý vůči organickým rozpouštědlům nebo kde by zbytky par rozpouštědel, které by se zachytily v mikropórech povrchu, mohly nepříznivě ovlivnit pevnost spoje. Plochy, které se odmašťují roztoky saponátů se před dalším použitím oplachují proudící vodou a suší. Na plochy již očištěné nesmí stékat splachovací kapalina.

### 2.4.3 Chemické moření

Některé plastické hmoty jako jsou například polyolefiny a polyamidy se vyznačují tím, že v původním stavu nejsou dobře lepitelné. Ani při použití osvědčených lepidel se nedosahuje spoje přiměřeného podílu pevnosti spojovaných materiálů. Zdrsnění a odmaštění spojo-

vaných ploch nedokáže daný problém odstranit. Z různých metod, které byly vyzkoušeny, se nejlépe osvědčily metody spočívající v aktivaci pomocí roztoků chemikálií, například silných minerálních kyselin.[1]

## 2.5 Faktory ovlivňující pevnost lepeného spoje

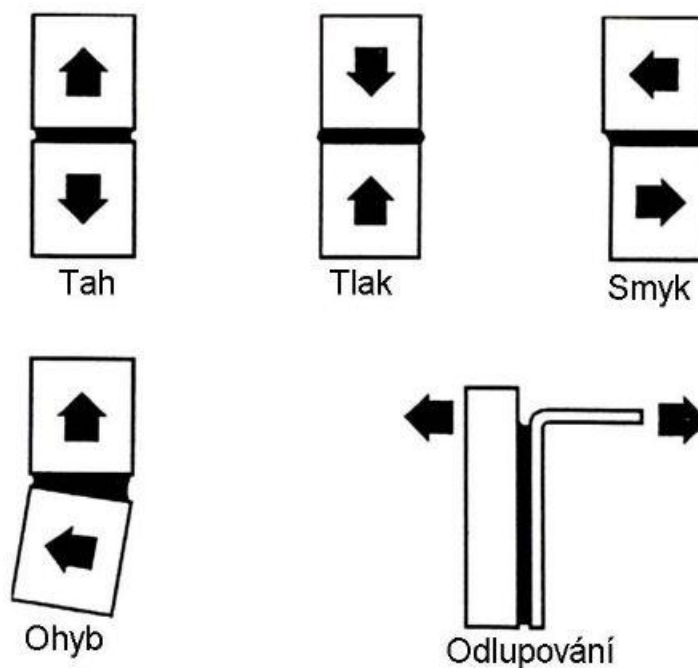
### 2.5.1 Tloušťka lepeného spoje

Na výslednou pevnost lepeného spoje má velký význam tloušťka lepidla. Nedá se říct, že existuje optimální tloušťka lepené hmoty, protože pro každé lepidlo je jiná. Proto bychom měli při konstrukci lepeného spoje dodržovat tloušťku lepidla předepsané výrobcem. Při nedodržení optimální tloušťky adheziva může dojít ke snížení pevnosti lepeného spoje.

### 2.5.2 Typ zatěžování

Lepené spoje mohou být zatěžovány staticky nebo dynamicky a jejich materiálové vlastnosti jsou určeny především třemi charakteristickými zatěžovacími stavy: tah, smyk a odlup. Tyto charakteristické stavy se většinou objevují v kombinacích. Jen ojediněle se můžeme s nimi setkat samostatně (čistý tah nebo čistý smyk).

Lepené spoje vykazují nejvyšší únosnost při namáhání na smyk. Nižší pevnost mají při namáhání na tah a nejhůrší vlastnosti mají při namáhání na odlup.



Obr. 4 Typy namáhání lepených spojů.

### 2.5.3 Doba vytvrzování

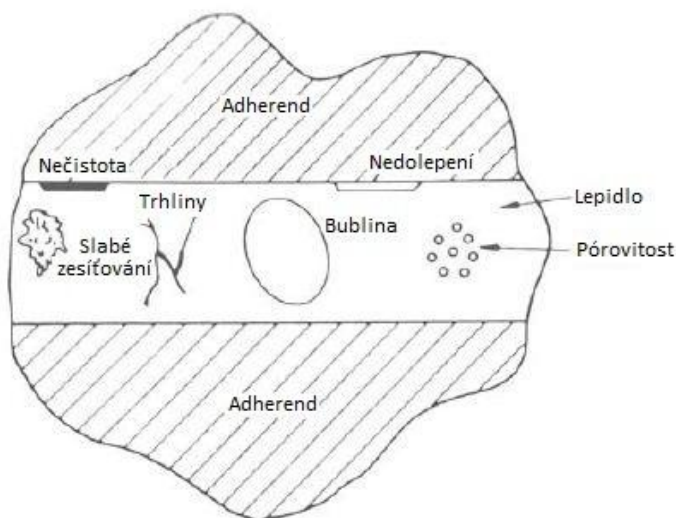
Na rozdíl od spojování materiálů jinými technologiemi, jako je nýtování nebo šroubové spojení, nedosahuje lepený spoj ihned po zhotovení maximální pevnosti. Doba, která je nutná pro vytvrzení je vždy závislá na použitém adhezivu a je udávána výrobcem.

Se zvyšujícími se požadavky na pevnost spoje se zvyšuje i doba vytvrzování. Čím vyšší je teplota vytvrzování, tím bývá doba potřebná pro dosažení pevnosti lepeného spoje kratší.

### 2.5.4 Vady ve vrstvě lepidla

Při vytváření a následné kontrole lepeného spoje je nutné dodržet technologický postup stanovený výrobcem. Přesným dodržením postupu lépe dosáhneme požadovaných vlastností lepeného spoje a vyhneme se vadám, které mohou vzniknout. I malý defekt může změnit rozložení napětí ve spoji. Vady ve spoji nepříznivě ovlivňují a snižují pevnost lepeného spoje, která je závislá především na jeho ploše. Nejčastější vady vyskytující se v lepeném spoji jsou:

- nečistoty,
- slabé zesíťování,
- trhliny,
- bubliny,
- pórovitost.



Obr. 5 Typy defektů v lepeném spoji.

Ke zjišťování defektů se využívá buď vizuální kontrola, nebo fyzikální metody. Mezi fyzikální metody patří skenování ultrazvukem a infračerveným zářením. [7]

Tab. 1. Příčiny a inspekční metody defektů.

Defekt	Příčina	Inspekční metoda
Pórovitost	Vniknutí plynů(vzduch, vodní pára)	Vizuální kontrola Infračervené záření Radiografie Ultrazvuk
Bubliny	Špatná aplikace lepidla Tečení lepidla Relativní posunutí adherendů	
Špatná koheze	Špatné promíchání jednotlivých složek Špatné skladování Špatná polymerace	Ultrazvuková spektroskopie Akustické emise
Trhliny	Špatná polymerace Tepelné diletace	
Špatná adheze	Kontaminace povrchu adhezive před lepením Nanášení lepidla po začátku procesu vytvrzování	Akustické emise



### 3 LEPIDLA

Lepidlem se rozumí materiál, který je schopný spojovat k sobě povrchy tuhých látek adhezními a kohezními silami.

V dnešní době máme na trhu velký výběr druhů lepidel od různých výrobců. Na výrobu lepidel se používá přírodních a syntetických surovin. Pro lepší orientaci se lepidla třídí z různých hledisek, nejčastější však podle chemického složení. [1]

#### 3.1 Základní rozdělení lepidel

Základní rozdělení lepidle je uvedeno v následující tabulce:

Tab. 2. Základní rozdělení lepidel.

LEPIDLA				
podle původu:	podle konsistence:	podle způsobu tuhnutí:	podle tepelných vlastností filmu lepidla:	podle odolnosti filmu lepidla k vodě:
<b>lepidla organická</b>  <i>z přírodních surovin</i> pryskyřičná škrobová glutinová albuminová bitumenová  <i>syntetická</i> polykondenzační polymerační polyadiční  <b>lepidla anorganická</b>  vodní sklo cementy sádra  <b>lepidla smíšená</b>  albumin-cement albumin-síra močovinová s vodním sklem	<b>lepidla tuhá</b>  lepicí fólie lepidla v prášku a granulích  <b>lepidla polotuhá</b>  lepicí pásky lepicí pasty lepidivé tmely  <b>lepidla tekutá</b>  lepidla v roztoku lepidla disperzní	<b>lepidla reaktivní</b>  <i>jednosložková:</i> tuhnoucí účinkem zvýšené teploty nebo vzdušné vlhkosti  <i>dvousložková a viceslož-</i> <i>ková:</i> tuhnoucí vlivem tvrdících katalyzátorů za normální i zvýšené teploty  <b>lepidla nereaktivní</b>  <i>roztoková:</i> tuhnoucí v důsledku vytěknání vody nebo organického roz- pouštědla  <i>disperzní:</i> tuhnoucí v důsledku vsáknutí vody do podkladu  <i>taveninová:</i> tuhnoucí po ochlazení spáry na nor- mální teplotu	<b>lepidla termosetická</b>  fenolická rezorcinová močovinová melaminová epoxidová polyuretanová polyesterová  <b>lepidla termoplastická</b>  polyvinylacetátová polyvinylchloridová polymetakrylátová polyvinylacetalová polystyrenová lepidla z derivátů celulózy  <b>lepidla kaučuková</b>  chlórkaučuková polychloroprenová polybutadienakrylo-nitrilová	<b>lepidla neodolná proti vodě</b>  škrobová glutinová albuminová polyvinylalkoholová metylcelulózo- vá karboxymethylcelulózo- vá  <b>lepidla krátkodobě odolná proti vodě</b>  močovinová polyvinylacetátová nitrátcelulózo- vá polyvinyléterová  <b>trvale odolná proti vodě</b>  fenolformaldehydová rezorcinová melaminová polyuretanová polyesterová polymetakrylátová epoxidová

Rozdělení lepidel podle skupenství:

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

Rozdělení podle odolnosti vůči vodě:

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

Rozdělení podle teploty vytvrzení:

- studená – vytvrzení při 20 až 30 °C,
- teplá – vytvrzení při 30 až 100 °C,
- horká – vytvrzení nad 100°C.[8]

### 3.2 Požadavky na lepidla

Jedním ze základních požadavků při výběru lepidla je, aby se co nejvíce se svými vlastnostmi podobalo lepeným materiálům. Z aplikačních hledisek je na lepidlo kladeno mnoho požadavků, které by mělo splňovat:

- 1) zajišťovat dostatečnou pevnost spoje,
- 2) mít dostatečnou lepivost v tekutém stavu,
- 3) poskytovat spoje s co největší tepelnou odolností (vlastnosti spoje by se neměly měnit v dostatečně širokém teplotním rozmezí, průměrně od -30 do +80 °C),
- 4) poskytovat spoje s co největší odolností proti vnějším vlivům (vodě, chemickým a biologickým činidlům),
- 5) při tvrdnutí se minimálně smršťovat a neuvolňovat žádné látky ovlivňující podklad,
- 6) mít vhodné elektrické vlastnosti (být elektricky vodivé nebo naopak elektricky nevodivé),
- 7) být bez zápachu a zdravotně nezávadné,
- 8) mít dobrou skladovatelnost,
- 9) vyžadovat minimální úpravy a operace před lepením,
- 10) umožňovat jednoduché nanášení,
- 11) být levné.

### 3.3 Klasifikace lepidel

Základní typy lepidel lze charakterizovat takto:

- *Klížidlo* je lepidlo, jehož adhezni základ je rozpustný ve vodě.
- *Disperzní lepidlo* je vhodná disperze organického lepidla.
- *Roztokové lepidlo* obsahuje pojivo rozpuštěné v těkavých organických rozpouštědlech. Tímto způsobem lze lepit mnoho polymerních materiálů. Plné pevnosti se dosáhne až po vytěkání rozpouštědla.
- *Bezrozpouštědlová lepidla* neobsahují těkavá rozpouštědla.
- *Lepivý tmel* je typ lepidla, které buď vůbec neobsahují těkavé rozpouštědlo, nebo ho obsahuje jen v malém množství a zůstává tvárné i při normální teplotě.
- *Tavné lepidlo* je tvořeno termoplastickou hmotou, která se před použitím převede do plastického stavu – roztaví se. Ke spojení dochází ihned po ztuhnutí lepidla ochlazením. [3]

### 3.4 Předběžné úpravy lepidel a lepicích směsí

#### 3.4.1 Ředění

Ředění se provádí za účelem lepšího nanášení lepidla, a aby se vytvořil stejnoměrný film v požadované tloušťce. Úprava viskozity se provádí nejčastěji rozpouštědlem, buď to rozpouštědlem, které bylo použito při výrobě lepidla, nebo rozpouštědlem doporučeným od výrobce. To se týká především rozpouštědlových lepidel. Při menší úpravě viskozity se nemusíme obávat, že spoj bude méně pevný. Kdež to při větším zředění se lepidlo vsakuje rychleji a tím vzniká chudý a nesoudržný spoj.

#### 3.4.2 Zahušťování

Některá lepidla se často zahušťují plnivy nebo se nastavují, tj. upravují plnivy i ředidly současně. Zahušťování má význam technický i ekonomický. Plněná lepicí směs dovoluje spojovat i plochy, které nejsou zcela rovné. Plnivem lze taktéž snížit vsakování lepidla do porézního podkladu, snížit smrštění filmu po vytvrzení lepidla. Některá plniva jako například škrob a koloidní kysličník křemičitý, jsou schopna potlačit stékavost lepidla.

Plnivem můžeme taky vyrovnat fyzikální vlastnosti lepeného materiálu a lepidla (délkovou roztažnost teplem a tepelnou roztažnost). Do každého lepidla mohou být plniva přidána jen v určitém množství. Nad hranicí se snižuje pevnost spoje.

### 3.4.3 Zvyšování přilnavosti lepidla

Přídavkem změkčovadel, alkyfenolických pryskyřic a lineárních polyesterů se zlepšuje adheze lepidla. Při spojování termoplastických hmot je nutno upravit roztokové nebo disperzní lepidlo takovým rozpouštědlem, které rozpouští spojovanou hmotu. Povrch materiálu nabobtná a současně se zvýší i pevnost spoje.

### 3.4.4 Zvyšování vodovzdornosti lepidla

Úpravy lepících směsí za účelem zvýšení odolnosti filmu lepidla vůči vodě se týká především syntetických lepidel na bázi vodných roztoků a disperzí. Hodí se k tomu látky, které chemicky reagují s lepidlem nebo se s ním mísí a které zvyšují hydrofobnost jeho filmu.

### 3.4.5 Přibarvování lepidla

Někdy se vyžaduje i barevný soulad spáry s lepeným materiálem. Proto se tekutá lepidla barví organickými barvivy, která jsou rozpustná v příslušných rozpouštědlech. Dále se mohou lepidla barvit přídavkem pigmentu a ty se přidávají buď to v prášku, nebo v pastě.

U reaktivních lepidel mohou pigmenty ovlivnit životnost a rychlost vytvrzování spoje. Snášitelnost pigmentů či barviv s lepidlem a vliv pigmentu na rychlost vytvrzování se musí předem vyzkoušet na vzorku.

### 3.4.6 Ovlivnění pracovní životnosti lepidel

Jedním z nejhlavnějších požadavků, které se kladou na lepidla je dostatečně dlouhá pracovní životnost a krátká doba vytvrzování. Životnost některých lepidel lze zvýšit přídavkem speciálních tvrdidel.

Pracovní životnost rozpouštědlových lepidel může být ovlivněna i skladbou rozpouštědel – vyšší obsah rozpouštědel s vyšším bodem varu prodlužuje dobu otevřeného sestavení spoje. Životnost lepících směsí ovlivňuje i nižší teplota pracovního prostředí.[1]

## 4 LEPENÍ VYBRANÝCH DRUHŮ POLYMERŮ

### 4.1 Lepení PE

#### 4.1.1 Charakteristika

Je to tuhá, v tenké vrstvě ohebná a téměř průhledná látka. PE se obvykle dělí na polyetylen o nízké hustotě (low density polyethylene, LDPE) a polyetylen o vysoké hustotě (high density polyethylene, HDPE).

Řetězce makromolekul LDPE jsou silně rozvětveny, proto se často označuje jako rozvětvený polyetylen a vyrábí se radikálovou polymerací. Kdež to HDPE má převážně lineární strukturu.

PE nepropouští vodní páry a je mrazuvzdorný. Patří mezi plasty, které špatně odolávají povětrnostním podmínkám a slunečnímu záření.

Výhody PE:

- nízká cena,
- snadná zpracovatelnost,
- výborné elektroizolační vlastnosti,
- velmi dobrá chemická odolnost,
- tuhost a vláčnost i při nízkých teplotách,
- průhlednost tenkých fólií,
- zdravotní nezávadnost.

Použitelnost PE je omezena:

- nízkým bodem měknutí,
- sklonem k praskání pod napětím,
- sklonem k oxidaci,
- zákalem materiálu při tlustších vrstvách,
- voskovitým vzhledem a nízkou odolností proti poškrábání,
- nízkou pevností v tahu,

- hořlavostí (příčemž rozšiřování požáru je podporováno odkapáváním hořící taveniny).[9]

#### 4.1.2 Lepení

Díky své chemické netečnosti je polyetylen ideálním materiálem pro výrobu předmětů, které jsou při používání vystavovány korozním vlivům. Často se uplatňuje v chemickém průmyslu (na těsnění, potrubní rozvody aj.), v obalové technice (fólie, transportní nádoby aj.), ve spotřebním průmyslu i v mnoha dalších oborech. Avšak k jeho širšímu uplatnění brání nevyřešené otázky týkající se spojování. Má nepolární charakter a je nerozpustitelný v běžných organických rozpouštědlech. Proto je polyetylen bez speciální povrchové úpravy prakticky nelepitelný a neznáme lepidlo, kterým by se na neupraveném povrchu docílilo pevného a dobrého spojení. Po této stránce není rozdíl mezi vysokotlakým a nízkotlakým polyetylenem. [2]

### 4.2 Lepení PA

#### 4.2.1 Charakteristika

Polyamidy jsou lineární polymery obsahující v řetězcích amidové skupiny – CONH-. K jednoduchému označování alifatických polyamidů byl zaveden systém, který udává počet uhlíkových atomů ve stavebních jednotkách řetězců: PA6, PA66, PA610 atd.

Polyamidy jsou v tuhém stavu z 30 až 50% krystalické a neprůhledné. Jsou vysoce houževnaté, tvrdé a odolné proti oděru. Mají dobré elektroizolační charakteristiky. Mechanické vlastnosti jsou závislé na typu, molekulové hmotnosti a obsahu vody. Čím vyšší je poměr skupin –COHN- a –CH<sub>2</sub>-, tím vyšší je i nasákavost a změkčující účinek vody.

PA mají malý rozsah teplot tání a tuhnutí. Všechny PA jsou odolné proti účinku pohonných látek, olejů a velké řadě rozpouštědel i roztoků. [9]

#### 4.2.2 Lepení

Vzhledem k tomu, že PA je velmi elastický a houževnatý, musí se při vzájemném slepování brát na to ohled a film lepidla ve spáře musí odpovídat těmto vlastnostem. Ačkoliv jsou polyamidy polárního charakteru, není jejich spojování lepením ještě zcela vyřešeno. [2]

## 4.3 Lepení PP

### 4.3.1 Charakteristika

Jedná se o neprůhledný polymer, který má v podstatě nepolární strukturu, díky které má výborné elektroizolační vlastnosti v široké oblasti frekvencí. Chemickou odolností je téměř totožný s PE. I přesto, že je podobný HDPE, liší se od něj:

- nižší hustotu,
- vyšší teplotou měknutí (a tím použitelností pro vyšší teploty),
- lepší odolnost vůči korozi za napětí (praskání),
- vyšší pevností v tahu a v tlaku, vyšší tvrdostí a vyšší odolností proti oděru,
- větší citlivostí vůči oxidaci, zejména povětrnosti,
- menší propustností pro plyny a páry.

Krystalická struktura PP lze ovlivnit při zpracování. Při velmi rychlém ochlazení taveniny PP lze získat vysoce transparentní tenkostěnné výrobky (fólie). Polypropylen lze použít pro různé výrobky, u nichž je žádána tuhost, mechanická pevnost a dobré elektroizolační vlastnosti. [9]

### 4.3.2 Lepení

Problémy s lepení PE a PP jsou v podstatě stejné. Pro získání konstrukčně vyhovujících spojů je nutná úprava povrchů, vedoucí ke zvýšení polarity polymeru. Fólie a větší plochy lze lepit kaučukovými lepidly citlivými na tlak. Spoje s dobrou smykovou pevností nám poskytuje polychloroprenová lepidla. Nejsou však vhodná pro pevnost v odlepování. Častěji se proto používají lepidla epoxidová a polyuretanová. [2]

## 4.4 Lepení PVC

### 4.4.1 Charakteristika

Polyvinylchlorid je jedním s nejdůležitějších termoplastů. Má mnoho výhodných vlastností za relativně nízkou cenu. Žádný jiný polymer nemá tak široké možnosti použití – používá se k opláštění kabelů, pro výrobu potrubí, ubrusů, okenní rámu atd.

Vyrobený PVC je bílý prášek termoplastického charakteru. Neměkčený PVC má vlastnosti, které nejdou obecně dosáhnout u jiných plastů:

- 1) vynikající odolnost vůči vodě a kyselinám,
- 2) vysoká tvrdost, odolnost proti oděru a mechanickou pevnost,
- 3) dobrý elektroizolační vlastnosti,
- 4) vysoký lesk a čírost.

Ve srovnání s PE, PP či PS je PVC těžce zpracovatelný termoplast. Má nízkou tepelnou stabilitu a nevýhodné tokové vlastnosti. To vede při zpracování k nutnosti použití maziva a změkčovadla i stabilizátoru. [9]

#### 4.4.2 Lepení

Z hlediska vlastností pro určení druhu lepidla můžeme polymery na bázi vinylchloridu rozdělit na polyvinylchlorid neměkčený, polyvinylchlorid měkčený a komerčně běžné kopolymery. Nejpoužívanějšími lepidly k lepení neměkčeného PVC jsou roztoky chlorovaného polyvinylchloridu. Často se používají i roztoky kopolymeru vinylchloridu – vinylacetát. K lepení se používají i lepidla na bázi polymerních esterů kyseliny akrylové a metakrylové. [2]

### 4.5 Lepení PS

#### 4.5.1 Charakteristika

Standardní PS se vyznačují vodojasností, vysokým leskem a výbornými elektroizolačními vlastnostmi. Za běžných podmínek jsou odolné proti tepelné degradaci i oxidaci. PS není doporučován pro venkovní použití, protože fotooxidací žloutne a křehne. PS je rozpustný v aromatických uhlovodících, vyšších ketonech, tetrahydrofuranu aj. Má velký sklon ke vzniku trhlin korozí za napětí, což zabraňuje jeho použití na mechanicky namáhané výrobky. Je tvrdý, ale dost křehký. [9]

#### 4.5.2 Lepení

Lepidla na bázi styrenu a jeho kopolymerů jsou na trhu hojně zastoupeny. Při výběru lepidla, musí být jasné o jaký polystyren či kopolymer se jedná. Mohou být však aplikována lepidla, která tuhnou za normálních nebo jen mírně zvýšených teplot do 55 °C. [2]



## 4.6 Lepení PMMA

### 4.6.1 Charakteristika

Polymethylmetakrylát a jeho příbuzné kopolymery jsou surovinovou strukturou na bázi organického skla. PMMA je i v tlustých vrstvách naprosto čirý a bezbarvý. Díky tomu je dokonale průhledný a lze jej snadno vybarvovat. V odolnosti proti povětrnostním podmínkám předčí všechny běžné termoplasty. Jen nepatrnou změnu v čirosti nebo zbarvení lze zpozorovat až po mnohaletém působení tropického podnebí. Při teplotě 130 až 140°C je PMMA kaučukovitý a snadno tvarovatelný. Má výborné mechanické a elektroizolační vlastnosti, odolává vodě a kyselinám. Lze jej mechanicky obrábět. [9]

### 4.6.2 Lepení

U PMMA výběr lepidla a dosažení požadovaného spojení nečiní problém. Nejjednodušším způsobem lepení PMMA je lepení rozpouštědly (chloroform, aceton, toulén, xylen apod.). Rozpouštědla nesmí vyvolat zakalení spoje a lepené plochy by měly na sebe dobře doléhat. Díly se noří do rozpouštědla na tak dlouho, než lepené plochy změknou. Po odkapání se plochy spojí a ponechají se dostatečnou dobu schnout. [4]

## 4.7 Lepení PC

### 4.7.1 Charakteristika

I za velmi nízkých teplot vynikají polykarbonáty vysokou rázovou houževnatostí a rozměrovou stabilitou až do 140°C. Mají dobré elektroizolační vlastnosti, vysokou mechanickou pevnost (obzvlášť v tahu), nízkou absorpci vody a jsou odolní proti UV-záření. Jsou odolné proti zředěným roztokům kyselin, alifatickým uhlovodíkům a alkoholům. Mají však nedostatečnou odolnost proti dlouhodobému působení vroucí vody a páry a amoniaku. Dlouhodobé působení metanolu způsobuje jejich degradaci. [9]

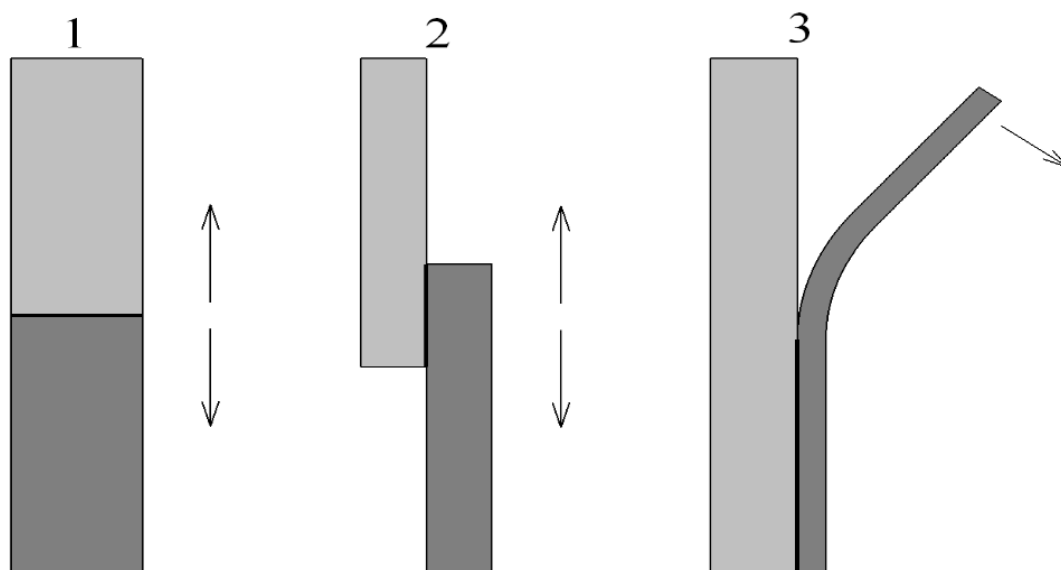
### 4.7.2 Lepení

Lepitelnost PC je označována jako dobrá. K lepení PC se využívají rozpouštědly a roztoky polykarbonátů. Vhodná jsou i kyanoakrylátová lepidla a lepidla na bázi polyuretanů. [2]

## 5 ZKOUŠKY LEPENÝCH SPOJŮ

Soudržnost lepeného spoje je dána jakostí tří složek a to lepidla, lepené hmoty a zpracovatelských podmínek. K hodnocení lepených spojů se nejčastěji ze všech metod používá metod destruktivních. Destruktivní metody spočívají v hodnocení pevnosti spoje, který je namáhán ve smyku, v tahu, v odlupování a v rázu (obr. 6).

Výsledky slouží ke kontrole vlastností lepidel a spojů i jako podklad pro konstrukční výpočty.



Obr. 6 Namáhání lepeného spoje.

1 – namáhání v tahu; 2 – namáhání ve smyku; 3 – namáhání v odlupování

### 5.1 Nedestruktivní zkušební metody

Nedestruktivní metody zajišťují zkoušky lepených spojů bez jejich poškození. Pevnost spoje, však nelze těmito metodami měřit. Odhalují skryté vady, jako jsou neslepená místa, místa s nedostatečným nebo žádným nánosem lepidla, trhliny a puchýře.

Nedestruktivní metody jsou založeny na následujících principech:

- *Akustická defektoskopie* – po rozkmitání tělesa, vydává tělo v místě vady zvuk jiné amplitudy, jiné vlnové délky než v místě, kde je spoj správný.
- *Optické metody* - spočívají v prosvětlování spoje intenzivním světlem u tenkých spojů u silnějších spojů se využívá rentgenových paprsků.

- *Defektoskopie pomocí radioizotopů* – lepidlo se označuje vhodným radioaktivním izotopem a kontroluje se jeho rozložení ve spoji.
- *Ultrazvukové defektoskopie* - zkoušený celek se umístí mezi ultrazvukový generátor a přijímač ultrazvukových vln a tím se zjistí místa s vadným spojem.

## 5.2 Destruktivní zkušební metody

### 5.2.1 Pevnost lepených spojů v tahu

Zkouška slouží k hodnocení čelných spojů a provádí se na zkušebních tělesech, které jsou normalizovány. Spoj se podrobí namáhání v tahu v trhacím stroji. Vyhodnocuje se síla, která je potřebná k roztržení vzorku.

### 5.2.2 Pevnost lepených spojů v odlupování

Zkouška se provádí jen tehdy, je-li alespoň jeden ze slepovaných materiálů ohebný. Podle tuhosti spojovaných materiálů se určí úhel odlupování, u polotuhých materiálů je menší než 90°.

### 5.2.3 Pevnost lepených spojů při namáhání rázem

Rozumí se tím, jaká nejmenší síla musí být vyvinuta k porušení zkušebního vzorku při působení rázem. Při zkoušce je lepený spoj namáhán ve smyku rázovým tlakem ve směru podélné osy. Zkouška se provádí na kyvadlovém přístroji.

### 5.2.4 Zkouška lámavosti lepených spojů

Spoj je namáhán statickým tlakem kolmo na podélnou osu a plochu spoje do porušení zkušebního tělesa. Zkouška se provádí především u tvrdých materiálů např. lepení kovů s plastickými hmotami. Provádí se jak za normálních teplot, tak i zvýšených.

### 5.2.5 Zkouška trvalé (časové) pevnosti a stárnutí

Zjišťuje se chování lepených spojů při trvalejším použití. V praxi je spoj podroben nejen dlouhodobému namáhání, ale i účinkům teploty, vlhkosti, povětrnostním vlivům, vlivům různých prostředí apod., jenž přispívá jeho stárnutí.

Negativní vliv na stárnutí spojů má migrace změkčovadel obsažených v lepených materiálech. Projevuje se, jsou-li oba lepené materiály (lepená hmota i film lepidla) rozpustné ve změkčovadle nebo v něm botnají. [1]

## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**

## 6 CÍL BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Cílem bakalářské práce bylo porovnat pevnost lepených spojů vybraného polymeru a to HDPE (vysokohustotní polyethylen), který byl ozářen různou dávkou kGy. Byly vybrány čtyři druhy lepidel (CYBERBOND 2008, CYBERBOND 5008, CYBERBOND A806, CYBERBOND E705) a primer (ZJISTIT NÁZEV!!!). Pevnost lepeného spoje byla zjišťována na trhacím stroji Zwick 1456 pomocí tahové zkoušky na Ústavu výrobního inženýrství. Pro každý typ zkušebního materiálu bylo použito pět vzorků.

V závěru je porovnání a vyhodnocení výsledků mezi lepidly, ozářeným materiálem a neo-zářeným materiálem.

## 7 PŘÍPARAVA ZKUŠEBNÍCH VZORKŮ A LEPENÍ

Pro zjišťování pevnosti lepených spojů byl vybrán polymerní materiál, který se běžně používá v průmyslu, a čtyři druhy lepidel.

### 7.1 Volba materiálu

#### 7.1.1 Polyethylen o vysoké hustotě (HDPE)

Polyethylen se dnes vyrábí různou řadou výrobních technologií. Díky tomu, že se rozdíl ve struktuře nejvíce projeví v hustotě polymeru, dělí se polyethylen na o nízké hustotě (LDPE) a polyethylen o vysoké hustotě (HDPE).

HDPE bývá často označován jako lineární polyethylen, protože má převážně lineární strukturu. Jeho výroba probíhá polyinzerčním mechanismem a uskutečňuje se při nízkých nebo středních tlacích. [10]

*Tab. 3 Charakteristika a vlastnosti HDPE[10]*

Vlastnost	HDPE
Hustota [ $\text{kgm}^{-3}$ ]	do 960
Krystalinita [%]	do 93
Pevnost v tahu [MPa]	do 25
Tažnost [%]	do 1000

Polyethylen je tuhá látka, která je v tenkých vrstvách či filmech ohebná, elastická a téměř průhledná. Popřípadě s mléčným zakalením. Na dotek je voskovitého charakteru. Všechny druhy PE mají vysokou krystalinitu. Kromě hustoty mají na vlastnosti PE vliv také molekulová hmotnost a polydisperzita.

Každý PE má možnosti použití podle toho, zdali je vyžadována vysoká vláčnost rozvětvených typu (např. fólie), nebo vyšší pevnost lineárního PE (při vstřikování tenkostěnných výrobků). PE lze zpracovávat obvyklými způsoby pro zpracování termoplastů. [10]

### 7.2 Volba lepidla

Pro lepení vzorků byly vybrány čtyři druhy lepidel z toho dva druhy sekundových a dva druhy dvousložkových lepidel firmy Cyberbond.

Firma Cyberbond vyrábí vysoce účinné lepidla a klade důraz na kvalitu. Lepidla jsou určena pro průmyslovou výrobu. [11]

Kyanoakrylátová sekundová lepidla - jsou také známá jako super lepidla - jsou to rychle vytvrzující jednosložková lepidla. Tato sekundová lepidla najdou upotřebení v průmyslové výrobě ale často také v domácnostech. Je důležité skladovat je na vhodném místě.

Při výběru sekundových lepidel je třeba zvážit vhodnost jeho použití na aplikaci a to vzhledem k několika faktorům. Jsou to zejména, materiály lepených ploch, požadovaná pevnost spoje a mechanické namáhání všeobecně, rychlost fixace, těsnost spoje, vzhled spoje, tepelné nebo chemické namáhání spoje, elektrické vlastnosti a obecně vlastnosti po vytvrzení. [12]

### 7.2.1 Cyberbond 2008

Nejrychlejší lepidlo vhodné pro pryže a plasty. Určeno pro lepení hladkých a neporézních pryží ve vteřinách.[12]



*Obr. 7 Lepidlo*

*Cyberbond 2008 [12]*

Tab. 4 Základní vlastnosti Cyberbond 2008[12]

<b>Základní monomer</b>	etyléster
<b>Vzhled</b>	bezbarvé/čiré
<b>Viskozita při 20 °C</b>	12 - 18 [mPa*s]
<b>Hustota při 20 °C</b>	1,06 [g/cm <sup>3</sup> ]
<b>Bod vzplanutí</b>	85 °C
<b>Teplotní rozsah pro použití (polymer)</b>	-55 do +95 °C

### 7.2.2 Cyberbond 5008

Tab. 5 Základní vlastnosti Cyberbond 5008 [12]

<b>Základní monomer</b>	alkoxyester
<b>Vzhled</b>	bezbarvé/čiré
<b>Viskozita při 20 °C</b>	40 - 80 [mPa*s]
<b>Hustota při 20 °C</b>	1,07 [g/cm <sup>3</sup> ]
<b>Bod vzplanutí</b>	112 °C
<b>Teplotní rozsah pro použití (polymer)</b>	-30 do +70 °C

### 7.2.3 Cyberbond A806

Pro rychlé a pevné spojení tvarově stabilních dílů. Vhodné pro velkoplošné lepení. Vytvrzuje i v silné vrstvě. Lze lakovat, vyplňuje díry.[12]



Obr. 8 Lepidlo Cyberbond A806



Tab. 6 Základní vlastnosti Cyberbond A806 [12]

<b>A + B směs tekutá</b>	
<b>Základ lepidla</b>	methylnmethakrylát a tvrdidlo
<b>Barva po míšení</b>	bílá/mléčná
<b>Viskozita</b>	60 [mPa*s]
<b>Teplota vzplanutí</b>	10 °C
<b>Poměr míšení</b>	1:1
<b>Doba zpracovatelnosti (gelovatění)</b>	10 - 20 min
<b>Konečné vytvrzení po</b>	24 hodinách
<b>Teplotní rozsah pro použití (polymer)</b>	-40 do +120 °C

### 7.2.4 Cyberbond E705

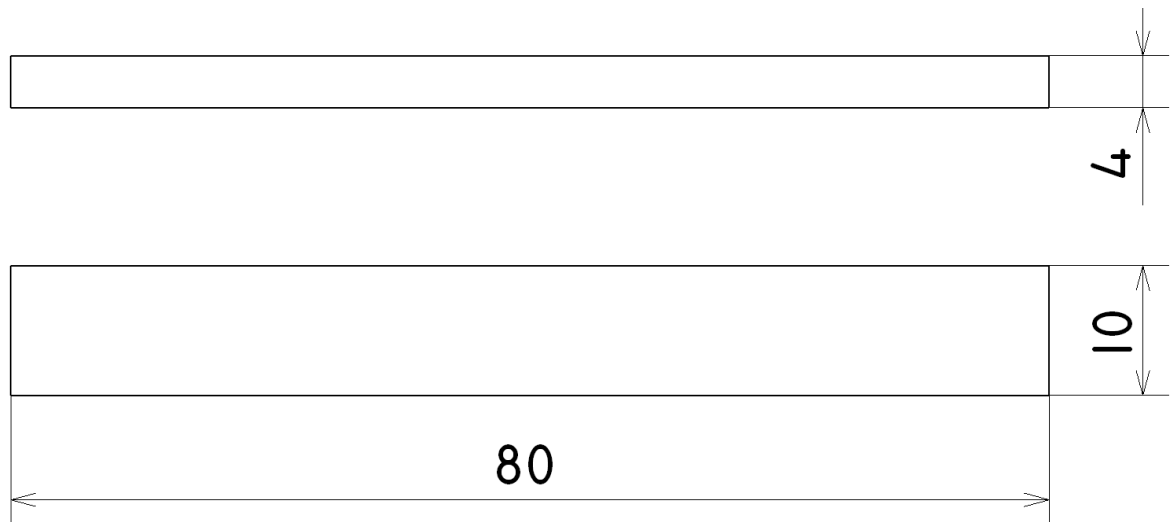
2-komponentní epoxidové lepidlo lepí většinu ploch plastů, kovů, skla, keramiky, dřeva a některých gum. [12]

Tab. 7 Základní vlastnosti Cyberbond E705 [12]

<b>Základ lepidla</b>	epoxid
<b>Barva po míšení</b>	slámově žluté
<b>Hustota</b>	1,2 [g/cm <sup>3</sup> ]
<b>Viskozita</b>	10 [mPa*s]
<b>Doba zpracovatelnosti</b>	5 - 8 minut
<b>Poměr míšení</b>	1:1
<b>Funkční po</b>	15 min
<b>Konečné vytvrzení po</b>	3 - 6 hodinách
<b>Teplotní rozsah pro použití (polymer)</b>	-40 do +95 °C

## 7.3 Výroba zkušebních vzorků

Zkušební vzorky byly vyrobeny na vstřikovacím stroji Arburg 420C Advanced vstřikováním, v dílnách Ústavu výrobního inženýrství. Byly zhotoveny vzorky s obdélníkovými pásky pro přeplátování (Obr. 9), jejichž rozměry jsou shodné s rozměry uvedenými v normě ČSN EN ISO 527-2 (Obr. 10).



Obr. 9 Tvar a rozměry plátka pro přeplátování[10]



Obr. 10 Zkušební vzorek s páskem pro přeplátování [10]

### 7.3.1 Vstříkovací stroj Arburg 420 C Advanced

U vstříkovacího stroje Arburg 420 C Advanced (Obr. 11) se spojuje nejosvědčenější technika s inovačním 32-bitovým multiprocesorovým řídicím systémem SELOGICA. Tato výkonná kombinace je robustní, má dlouhou životnost a díky své flexibilitě a modulární konstrukci je předurčena pro univerzální řešení všech úkolů v oblasti vstříkování.

Modulární koncepce umožňuje velké množství různých, individuálně konfigurovatelných kombinací. Řídicí systém, hydraulika, rozměry upínacích desek, uzavírací síly a vstříkovací jednotky jsou k dispozici ve formě modulů v montážních stupních, vyhovujících požadavkům praxe. [4]



Obr. 11 Vstřikovací stroj Arburg 420 C Advanced.[4]

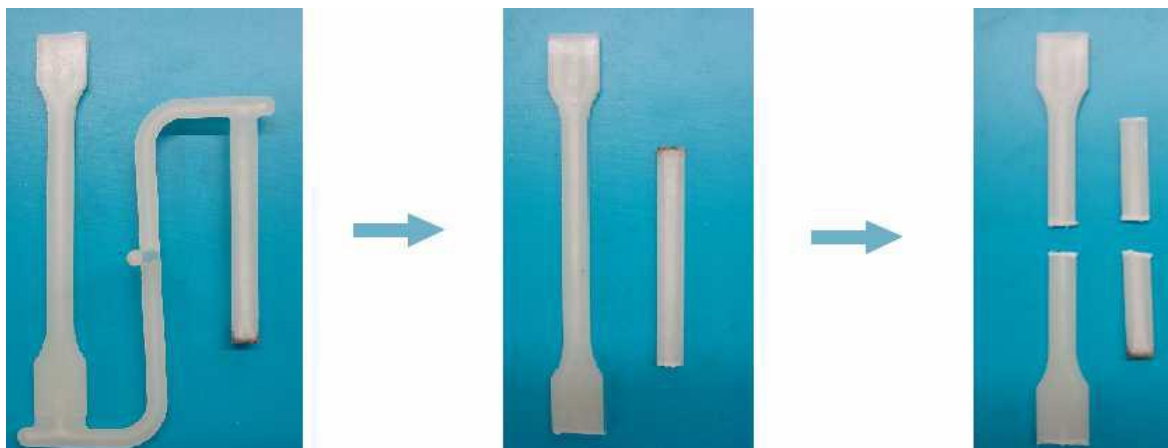
Tab. 8 Technické parametry vstřikovacího stroje Arburg 420 C Advanced. [4]

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

## 7.4 Příprava zkušebních vzorků

Po vystříknutí byly zkušební vzorky a pláty na přeplátování ozářeny ionizačním beta zářením o dávkách 33, 66, 99, 132, 165, 198 kGy.

Zkušební tělesa s pásky na přeplátování byly před samotným lepením pomocí nůžek uprostřed přestříhnuty. Na některých vzorcích byl před lepením nanesen na lepená místa primer.



Obr. 12 Příprava zkušebních vzorků[4]

#### 7.4.1 Ionizační záření

U ionizačního záření mají kvanta natolik vysokou energii, že jsou schopna vyrážet elektrony z atomového obalu a tím látku ionizovat. Vyskytuje se ve formě korpuskulárního nebo elektromagnetického záření. Korpuskulární záření je druh částicového záření představující proud částic o uspořádaném pohybu s nenulovou klidovou hmotností, pohybující se rychlostí menší než je rychlost světla. Elektromagnetické záření je záření ve tvaru příčné vlny charakterizované dvěma na sebe navzájem kolmými vektory. Kvanta tohoto záření nemají klidovou hmotnost a pohybují se rychlostí světla.

Mezi základní druhy záření patří alfa, beta a gama záření. Pro ozáření vzorků bylo použito beta záření. Beta částice mají stejnou hmotnost jako elektrony, ale mohou být buď negativně, nebo pozitivně nabitě. Díky svým malým rozměrům náboje proniknou snadněji materiálem než alfa částice, ale jsou snadněji odchýlitelné. Jejich vysoká rychlost znamená, že jsou lehce ionizující. Beta záření může proniknout materiálem o nízké hustotě či malé tloušťce. K jejich zastavení stačí vrstva vzduchu o šířce jeden metr či milimetr tlustý kov.

Beta záření má výrazně vyšší prostup materiálem než alfa záření, ale díky nepravidelné trase elektronu nejde definovat jejich hloubku průniku v materiálu. Avšak maximální hloubku průniku můžeme odhadnout. Její hodnota se pak liší podle druhu polymeru a to především v závislosti na hustotě materiálu.

Polymery se ozařují ze dvou důvodů. Prvním důvodem je zlepšení jeho vlastností a tím druhým zbavení materiálu nežádoucích látek. Ionizační beta záření způsobuje zlepšení podmínek a to:

- zlepšení mechanických vlastností (nárůst modulu pružnosti, zvýšení pevnosti, snížení poměrného prodloužení při přetržení, zvýšení meze pevnosti u studených spojů, nárůst tvrdosti),
- zlepšení tepelných vlastností (zlepšení tvarové stálosti za tepla, zlepšení trvalé deformace při zatížení tlakem, zvýšení tepelné odolnosti a odolnosti proti stárnutí),
- zlepšení chemických vlastností (zvýšení rozpustnosti, zvýšení odolnosti proti trhlinám způsobeným pnutími).

Všechny výše uvedené vlastnosti jsou závislé na druhu polymeru a na dávce ozáření. Každý polymerní materiál se po ozáření chová jinak, proto nemůžeme očekávat zlepšení vlastností ve všech oblastech. [10]

#### **7.4.2 Aktivace primerem**

Primer pro kyanakrylátová lepidla umožňuje spojovat nepolární materiály (PE, POM, PP). Mění povrchové napětí materiálu.

Výhody primeru:

- vysoká pevnost spojů u materiálů, které nelze jinak spojit,
- rychlé a jednoduché použití.

Primer se nanáší pomocí štětečku na lepené plochy. Po odpaření lze ihned nanášet lepidlo. [11]

## **7.5 Lepení zkušebních vzorků**

### **7.5.1 Příprava lepidel**

Sekundová lepidla nevyžadovala před samotným použitím žádnou úpravu. Naopak na dvousložkové lepidlo Cyberbond A806 byla použita vytlačovací pistole (Obr. 13) se statickým mixerem, který slouží k smíchání obou složek (Obr. 14). Druhé dvousložkové lepidlo Cyberbond E705 bylo před použitím vytlačeno a promícháno.



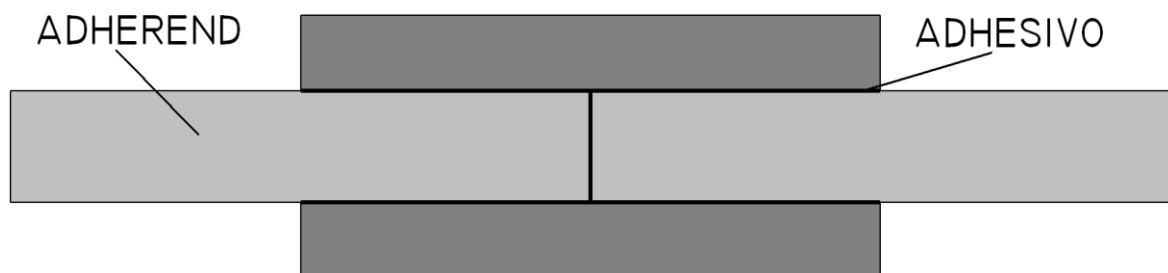
Obr. 13 Vytlačovací pistole na lepidlo.[4]



Obr. 14 Statický mixér.[4]

### 7.5.2 Konstrukce lepeného spoje

Pro slepení vzorků, aby byl spoj pevný, byl vybrán čelní spoj s dvěma příložkami (Obr. 15).



Obr. 15 Schéma lepeného spoje.

Nastříhané vzorky (ozářené i neozářené), byly vloženy do předem připravených forem (Obr. 16). Lepidlo bylo ručně nanášeno v dostatečně silné vrstvě na každý plátek a ten byl přiložen na zkušební vzorek. Po době, která byla potřebná k vytvrzení lepidla,

byly vzorky přetočeny a přeplátovány druhou polovinou pásku. Všechny vzorky se nechaly minimálně 24 hodin vytvrdit.



*Obr. 16 Formy na lepení se vzorky.*

## 7.6 Měření pevnosti lepených spojů

Pevnost lepeného spoje byla zjišťována na trhacím stroji Zwick 1456 (Obr. 17) pomocí tahové zkoušky. Naměřené hodnoty byly zpracovány programem TestExpert, který je součástí trhacího stroje.

Zkoušky lepených spojů probíhaly ve dvou fázích. Nejprve byla pevnost spoje zjišťována při teplotě okolí 23 °C a následně při zvýšené teplotě 60 °C.

Při zkoušce byly vzorky zatíženy jednoosým tahem, pro zkoušky při vyšší teplotě byla použita teplotní komora, která byla předem vyhřátá na požadovanou teplotu. Po vyhřátí komory následovala výdrž na dané teplotě 20 minut, aby se vzorky dostatečně prohřály.

Naměřené hodnoty byly zpracovány do tabulek a následně vyneseny do grafů.



Obr. 17 Trhací stroj Zwick 1456.

Tab. 9 Technické parametry trhacího stroje Zwick 1456.

<b>Snímač síly:</b>	20 kN a 2,5 kN
<b>Celková výška:</b>	2012 mm
<b>Pracovní výška:</b>	1160 mm
<b>Pracovní šířka:</b>	420 mm
<b>Maximální posuv prícniku:</b>	800 mm/min
<b>TestExpert software:</b>	Tah/Ohyb/Tlak



*Tab. 10 Technické parametry teplotní komory.*

<b>Teplotní komora</b>	-80/+250 °C
<b>Maximální teplotní odchylka:</b>	±3,5 °C
<b>Vnější rozměry (VxŠxT):</b>	850x400x840 mm
<b>Čas ohřevu na +250 °C</b>	< 30 min
<b>Čas ochlazení na -60 °C</b>	< 20 min

## 8 ZKOUŠKY PEVNOSTI LEPENÝCH SPOJŮ ZA TEPLoty 23 °C

V této experimentální části byl, zkoumán vliv ozáření na pevnost spoje HDPE. Vzorky byly ozářeny beta zářením o dávkách 33, 66, 99, 132, 165 a 198 kGy. Nejdříve byly porovnány vzorky lepené stejným lepidlem následně byly porovnány lepené spoje se základním materiálem.

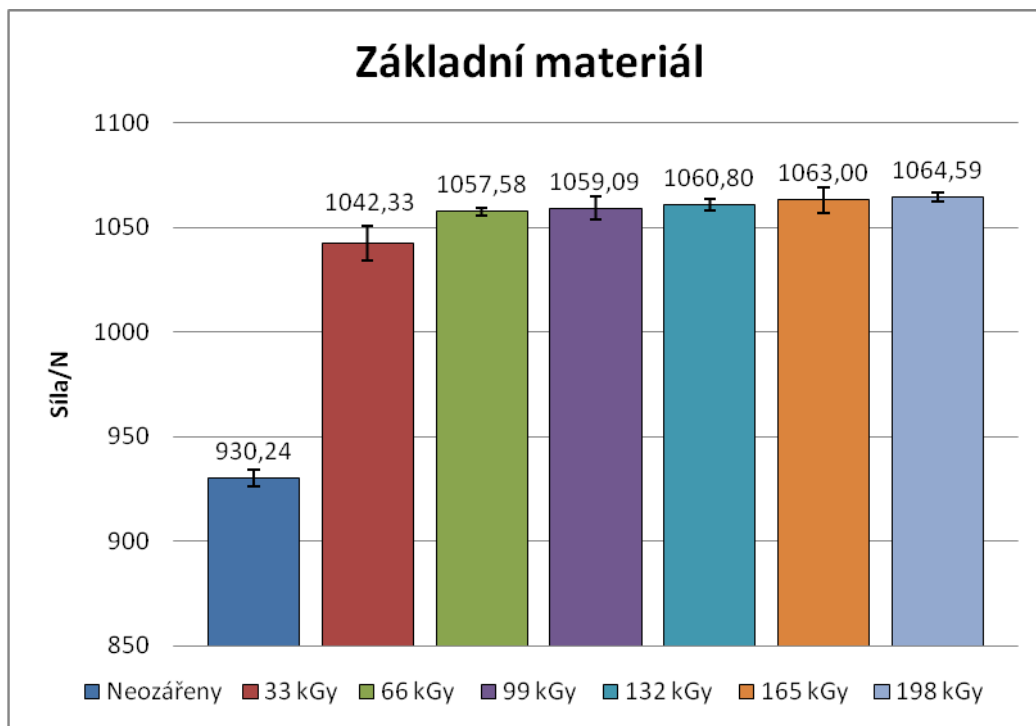
### 8.1 Vzorky lepené stejným lepidlem

#### 8.1.1 Pevnost základního nelepeného materiálu

*Tab. 11 Maximální zatěžující síla základního materiálu.*

Nelepený základní materiál							
č. m.	Neozářeny (Fm [N])	33 kGy (Fm [N])	66 kGy (Fm [N])	99 kGy (Fm [N])	132 kGy (Fm [N])	165 kGy (Fm [N])	198 kGy (Fm [N])
1	920,25	1009,92	1064,12	1078,57	1054,38	1069,58	1067,93
2	923,58	1051,31	1054,75	1057,18	1060,26	1049,46	1059,46
3	929,04	1048,74	1054,54	1063,05	1056,53	1048,08	1070,37
4	941,19	1049,53	1060,31	1048,99	1067,52	1073,05	1064,86
5	937,14	1052,14	1054,2	1047,65	1065,33	1074,83	1060,34
<b>Průměr</b>	930,24	1042,33	1057,58	1059,09	1060,80	1063,00	1064,59
<b>SMCH</b>	3,96	8,12	1,99	5,62	2,50	5,87	2,11

Jak plyne z Obr. 18, pevnost materiálu se pozvolna zvyšuje spolu s dávkou ozáření. Kde nejvyšší hodnoty nabyl vzorek ozářen 198 kGy. Naopak nejnižší pevnost vykazoval neupravený materiál (Fm = 930,24 N).



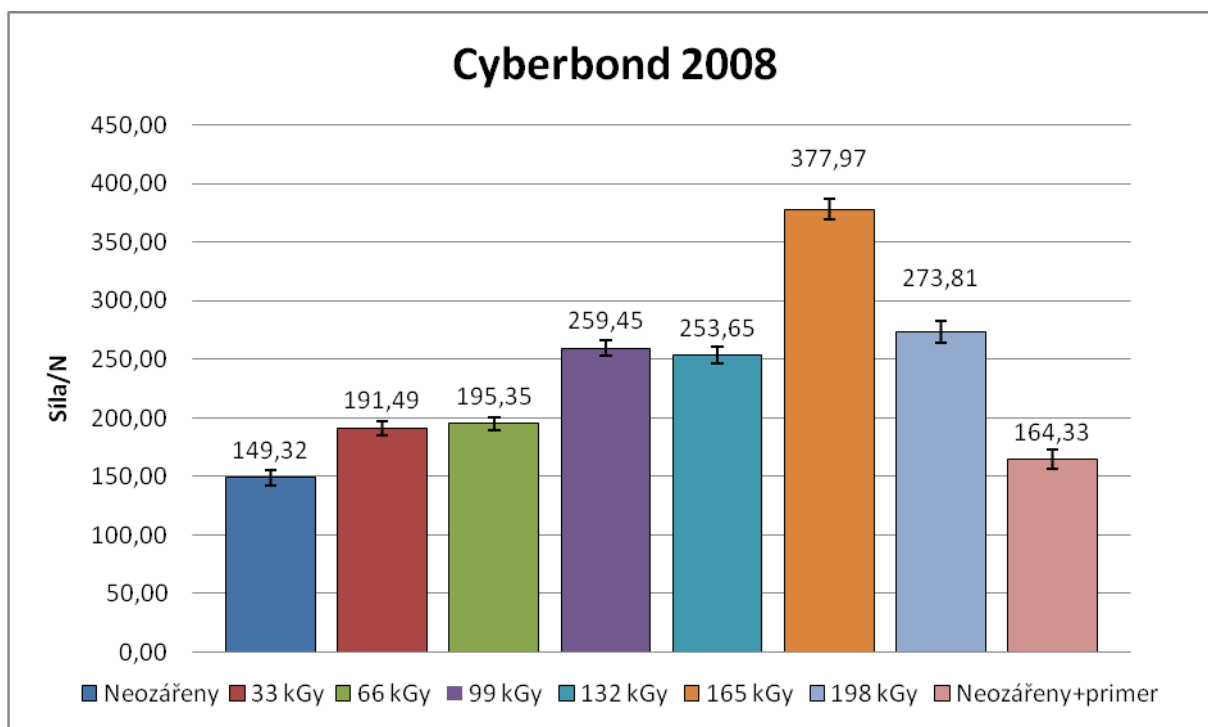
Obr. 18 Porovnání Fm základního materiálu.

### 8.1.2 Sekundové lepidlo Cyberbond 2008

Tab. 12 Maximální zatěžující síla materiálu, ozářeného různými dávkami ozáření, lepeného sekundovým lepidlem Cyberbond 2008.

Sekundové lepidlo Cyberbond 2008								
č. m.	Neozářeny (Fm [N])	33 kGy (Fm [N])	66 kGy (Fm [N])	99 kGy (Fm [N])	132 kGy (Fm [N])	165 kGy (Fm [N])	198 kGy (Fm [N])	Neozářený + primer (Fm [N])
1	139,26	192,08	177,55	264,23	266,94	402,75	240,65	174,73
2	151,37	187,45	210,64	269,89	273,27	369,28	280,4	159,72
3	136,84	213,51	203,94	236,73	250,58	351,03	294,98	135,32
4	173,46	189,09	190,54	272,57	246,98	381,22	269,62	168,14
5	145,65	175,34	194,1	253,81	230,47	385,55	283,39	183,75
<b>Průměr</b>	149,32	191,49	195,35	259,45	253,65	377,97	273,81	164,33
<b>SMCH</b>	6,55	6,20	5,70	6,53	7,59	8,61	9,22	8,25

Jak je patrné z Obr. 19 a Tab. 13, při porovnání pevnosti lepeného spoje sekundovým lepidlem Cyberbond 2008, dosahuje ozářený materiál vyšší pevnosti nežli základní neozářený materiál. Přičemž nejvyšší hodnoty nabývá lepený spoj s materiálu ozářeným dávkou 165 kGy (Fm = 377,97 N).



Obr. 19 Vliv ozáření na pevnost lepeného spoje, slepeného lepidlem Cyberbond 2008.

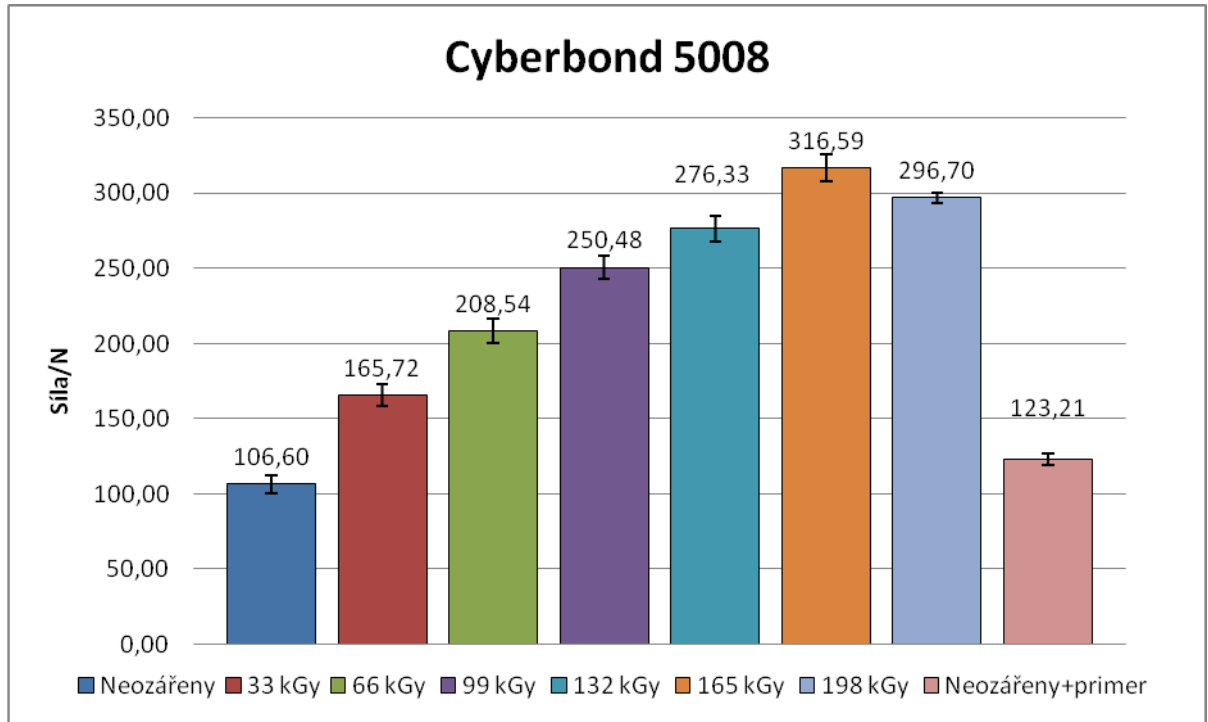
Z Obr. 19 je patrné, že nejvyšší pevnosti bylo dosaženo u materiálu ozářeného dávkou 165 kGy, kde se jeho pevnost zvýšila téměř tři krát.

### 8.1.3 Sekundové lepidlo Cyberbond 5008

Tab. 13 Maximální zatěžující síla materiálu, ozářeného různými dávkami ozáření, lepeného sekundovým lepidlem Cyberbond 5008.

Sekundové lepidlo Cyberbond 5008								
č. m.	Neozářeny (Fm [N])	33 kGy (Fm [N])	66 kGy (Fm [N])	99 kGy (Fm [N])	132 kGy (Fm [N])	165 kGy (Fm [N])	198 kGy (Fm [N])	Neozářený + primer (Fm [N])
1	120,43	166,42	215,58	244,28	256,36	299,53	301,14	115,09
2	117,41	149,32	209,32	255,25	255,47	324,28	282,96	123,2
3	86,06	152,96	192,38	227,06	289,28	334,85	301,49	135,41
4	103,91	168,85	233,86	274,25	291,12	291,44	302,08	116,53
5	105,2	191,06	191,54	251,54	289,41	332,87	295,81	125,83
<b>Průměr</b>	106,60	165,72	208,54	250,48	276,33	316,59	296,70	123,21
<b>SMCH</b>	6,08	7,36	7,88	7,67	8,34	8,89	3,61	3,65

Jak vyplývá z Obr. 20 nejvyšší pevnosti spojů, slepených sekundovým lepidlem Cyberbond 5008, dosahovaly vzorky ozářené dávkami 165 a 198 kGy, kdy se jejich pevnost zvýšila téměř tři krát.



Obr. 20 Vliv ozáření na pevnost lepeného spoje, slepeného lepidlem Cyberbond 5008.

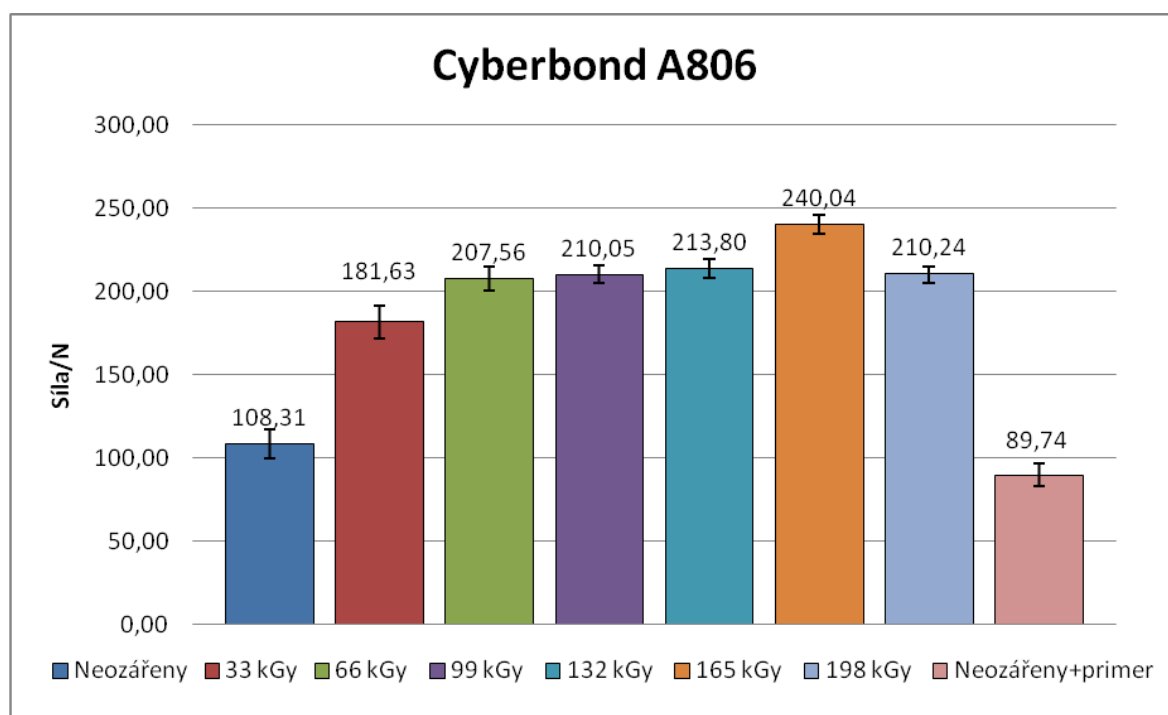
Z naměřených a zpracovaných hodnot jsme zjistili, že pevnost lepeného spoje se zvyšuje spolu s ozářením. Nejvyšší pevnosti dosáhl spoj, jehož materiál byl ozářen dávkou 165 kGy ( $F_m = 316,59$  N). Kdež to nejnižší hodnota byla naměřena u spoje s neozařeným materiálem ( $F_m = 106,60$  N), což je patrné z Obr. 20.

### 8.1.4 Lepidlo Cyberbond A806

Tab. 14 Maximální zatěžující síla materiálu, ozářeného různými dávkami ozáření, lepeného lepidlem Cyberbond A806.

Lepidlo Cyberbond A806								
č. m.	Neozářeny (Fm [N])	33 kGy (Fm [N])	66 kGy (Fm [N])	99 kGy (Fm [N])	132 kGy (Fm [N])	165 kGy (Fm [N])	198 kGy (Fm [N])	Neozářený + primer (Fm [N])
1	81,17	211,34	191,27	199,84	199,48	220,28	199,57	76,66
2	123,33	198,13	189,45	204,37	201,63	238,16	219,04	82,6
3	96,49	169,89	221,19	223,49	219,21	247,86	200,91	103,11
4	112,96	165,99	212,31	222,44	216,9	239,86	223,82	77,1
5	127,59	162,82	223,58	200,09	231,8	254,04	207,84	109,22
<b>Průměr</b>	108,31	181,63	207,56	210,05	213,80	240,04	210,24	89,74
<b>SMCH</b>	8,65	9,72	7,27	5,34	5,98	5,71	4,84	6,86

Z Obr. 21 vyplývá, že HDPE ozářený dávkou 132 a 165 kGy, vykazují nejvyšší pevnosti, která se zvýšila dva krát.



Obr. 21 Vliv ozáření na pevnost lepeného spoje, slepeného lepidlem Cyberbond A806.

Z výsledků měření je patrné, že při porovnávání pevnosti lepených spojů u ozářeného a neozářeného HDPE, lepeného lepidlem Cyberbond A806, docházím k nárůstu jeho pevnosti. Nejvyšší pevnosti dosáhl HDPE ozářený dávkou 165 kGy ( $F_m = 240,04$  N), naopak nejnižší hodnoty dosáhl neozářená (základní) materiál, který byl před samotným lepením natřen primerem ( $F_m = 89,74$  N) (Obr. 21).

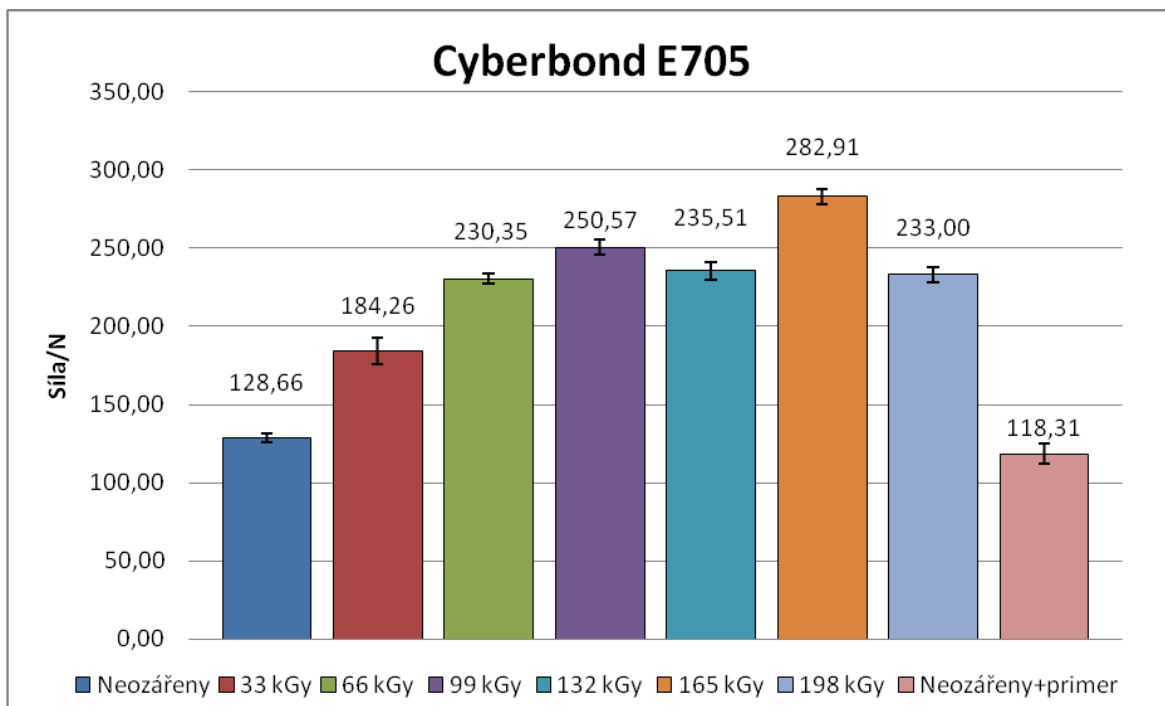
### 8.1.5 Lepidlo Cyberbond E705

*Tab. 15 Maximální zatěžující síla materiálu, ozářeného různými dávkami ozáření, lepeného lepidlem Cyberbond E705.*

Lepidlo Cyberbond E705								
č. m.	Neozářeny ( $F_m$ [N])	33 kGy ( $F_m$ [N])	66 kGy ( $F_m$ [N])	99 kGy ( $F_m$ [N])	132 kGy ( $F_m$ [N])	165 kGy ( $F_m$ [N])	198 kGy ( $F_m$ [N])	Neozářený + primer ( $F_m$ [N])
1	132,87	172,94	232,03	249,98	245,43	290,86	221,11	113,06
2	134,28	218,06	230,42	242,64	227,6	281,86	245,49	122,28
3	121,64	178,79	233,34	256,06	249,31	283,15	242,04	141,21
4	133,97	176,32	237,46	265,17	235,97	264,76	234,23	102,42
5	120,55	175,19	218,51	239,01	219,23	293,92	222,15	112,57
<b>Průměr</b>	128,66	184,26	230,35	250,57	235,51	282,91	233,00	118,31
<b>SMCH</b>	3,10	8,50	3,18	4,69	5,55	5,07	4,99	6,53

Při zkoušení spojů, lepených lepidlem Cyberbond E705, bylo zjištěno, že nejvyšší pevnost vykazuje materiál ozářený dávkou 165kGy ( $F_m = 282,91$  N) a nejnižší hodnotu vykazoval základní materiál, na který byl použit před lepením primer ( $F_m = 118,31$  N).

HDPE ozářen dávkou 165 kGy, který vykazoval nejvyšší  $F_m$ , zvýšil svou pevnost téměř dvaapůlkrát. Ozáření, které bylo na vzorky použito, zvýšilo při lepení dvousložkovým lepidlem Cyberbond E705 pevnost lepeného spoje. Naopak použití primeru, na neozářený materiál, jeho pevnost snížilo.



Obr. 22 Vliv ozáření na pevnost lepeného spoje, slepeného lepidlem Cyberbond E705.

## 8.2 Porovnání pevnosti lepeného spoje se základním materiálem

V této experimentální části byla porovnávána pevnost lepeného spoje základního neupraveného (neozářeného) HDPE s lepenými spoji ozářených materiálů.

### 8.2.1 HDPE ozářený dávkou 33 kGy

Tab. 16 Základní nenastříhaný materiál.

Základní materiál		
č. m.	HDPE	HDPE 33 kGy
1	920,25	1009,92
2	923,58	1051,31
3	929,04	1048,74
4	941,19	1049,53
5	937,14	1052,14
Průměr	930,24	1042,33
SMCH	3,96	8,12



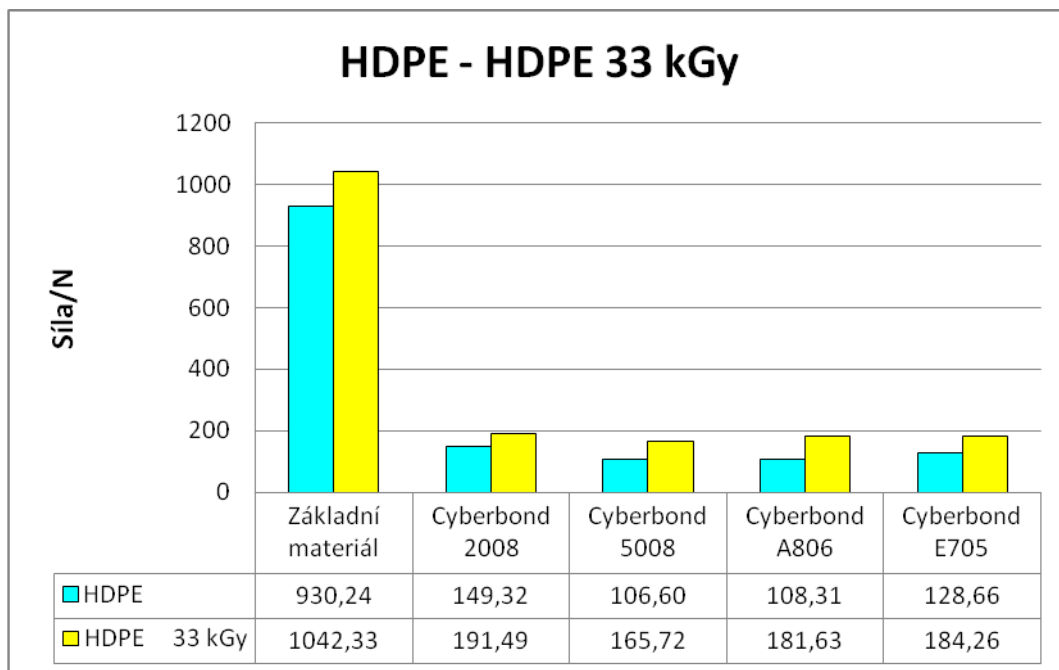
Tab. 17 Fm neozářeného lepeného HDPE.

Neozářený materiál				
č. m.	Cyberbond 2008	Cyberbond 5008	Cyberbond A806	Cyberbond E705
1	139,26	120,43	81,17	132,87
2	151,37	117,41	123,33	134,28
3	136,84	86,06	96,49	121,64
4	173,46	103,91	112,96	133,97
5	145,65	105,2	127,59	120,55
<b>Průměr</b>	149,32	106,60	108,31	128,66
<b>SMCH</b>	6,55	6,08	8,65	3,10

Tab. 18 Fm lepeného spoje ozářeného dávkou 33 kGy.

Materiál ozářený dávkou 33 kGy				
č. m.	Cyberbond 2008	Cyberbond 5008	Cyberbond A806	Cyberbond E705
1	192,08	166,42	211,34	172,94
2	187,45	149,32	198,13	218,06
3	213,51	152,96	169,89	178,79
4	189,09	168,85	165,99	176,32
5	175,34	191,06	162,82	175,19
<b>Průměr</b>	191,49	165,72	181,63	184,26
<b>SMCH</b>	6,20	7,36	9,72	8,50

Při porovnání základního neozářeného materiálu s materiálem zářeným dávkou 33 kGy, jsme zjistili, že HDPE ozářený dávkou 33 kGy má vyšší Fm než neupravený materiál. Z lepidel u neozářeného HDPE mělo nejvyšší pevnost sekundové lepidlo Cyberbond 2008 (Fm = 149,32 N), kdež to nejhorší pevnost sekundové lepidlo Cyberbond 5008 (Fm = 106,60 N). Z naměřených výsledků vyplynulo, že nejvyšší Fm u ozářeného HDPE mělo sekundové lepidlo Cyberbond 2008, kdež to nejnižší hodnotu mělo dvousložkové lepidlo Cyberbond A806 (Obr. 23).



Obr. 23 Srovnání pevnosti lepeného spoje základního materiálu s materiálem ozářeným dávkou 33 kGy.

Nejvyšší pevnosti vzorku ozářeného dávkou 33 kGy se dosáhlo sekundovým lepidlem Cyberbond 2008, jehož pevnost dosahovala 18% pevnosti základního vzorku. Naopak nejnižší pevnosti bylo dosaženo použitím sekundového lepidla Cyberbond 5008, jenž dosahoval 15,9% pevnosti základního vzorku.

### 8.2.2 HDPE ozářený dávkou 66 kGy

Tab. 19 Fm základního materiálu.

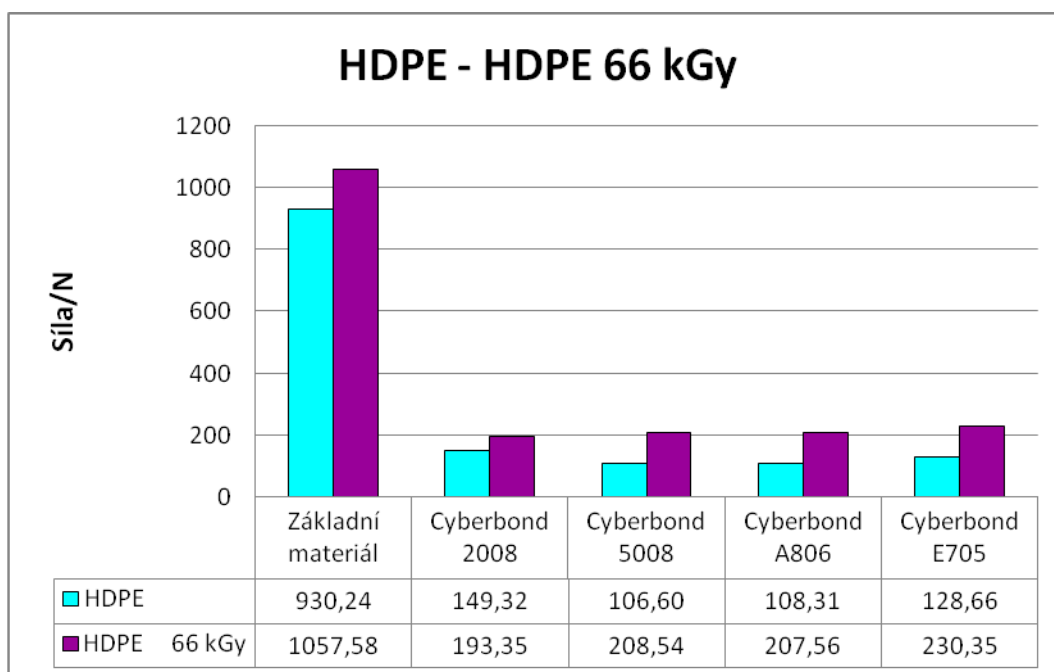
Základní materiál		
č. m.	HDPE	HDPE 66 kGy
1	920,25	1064,12
2	923,58	1054,75
3	929,04	1054,54
4	941,19	1060,31
5	937,14	1054,2
Průměr	930,24	1057,58
SMCH	3,96	1,99

Tab. 20 Fm lepeného spoje ozářeného dávkou 66 kGy.

Materiál ozářený dávkou 66 kGy				
č. m.	Cyberbond 2008	Cyberbond 5008	Cyberbond A806	Cyberbond E705
1	177,55	215,58	191,27	232,03
2	210,64	209,32	189,45	230,42
3	203,94	192,38	221,19	233,34
4	190,54	233,86	212,31	237,46
5	194,1	191,54	223,58	218,51
Průměr	195,35	208,54	207,56	230,35
SMCH	5,70	7,88	7,27	3,18

Nejvyšší pevnosti lepeného spoje HDPE ozářeného dávkou 66 kGy, dosahovalo dvousložkové lepidlo Cyberbond E705, jak je patrné z Obr. 24. Naopak nejnižší Fm mělo sekundové lepidlo Cyberbond 2008.

Při porovnání pevnosti spojů u neozářeného materiálu, bylo nejvyšší pevnosti dosaženo použitím sekundového lepidla Cyberbond 2008 ( $F_m = 149,32$  N) a nejnižší pevnost byla zjištěna u lepidla Cyberbond 5008 ( $F_m = 106,60$  N).



Obr. 24 Srovnání pevnosti lepeného spoje základního materiálu s ozářeným materiálem dávkou 66 kGy.

Při srovnání lepidle u HDPE ozářeném dávkou 66 kGy je patrný především nárůst pevnosti u dvousložkových lepidel Cyberbond A806 a Cyberbond E705. Lepidlo Cyberbond A806 dosahuje téměř 20% průměrné pevnosti základního materiálu. Lepidlo Cyberbond E705 dosahuje 22% průměrné pevnosti základního materiálu.

### 8.2.3 HDPE ozářený dávkou 99 kGy

Tab. 21 Fm základního materiálu.

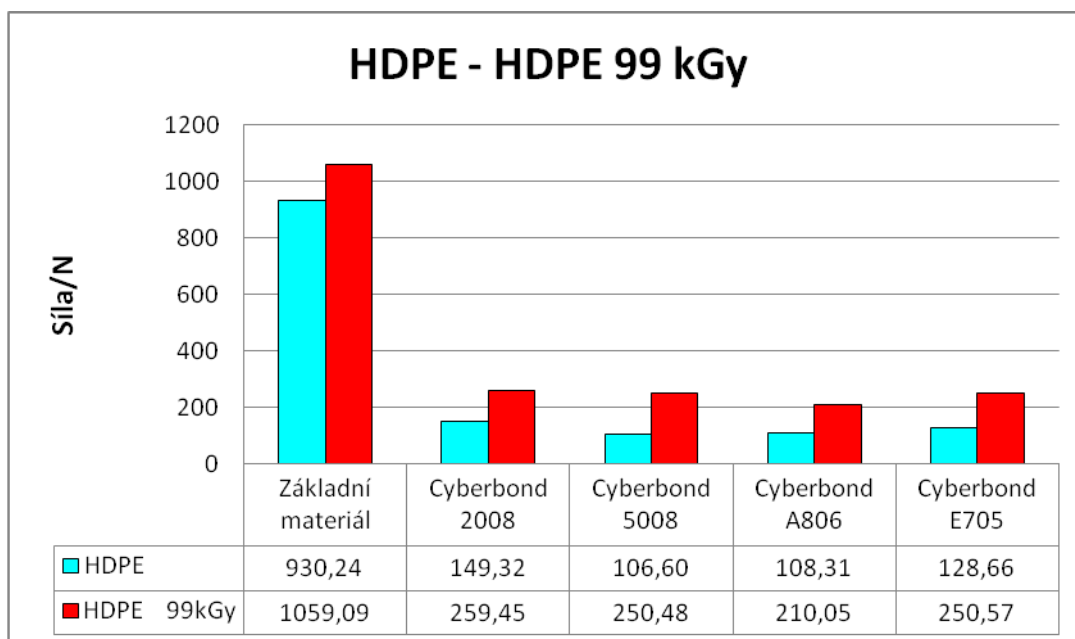
Základní materiál		
č. m.	HDPE	HDPE 99kGy
1	920,25	1078,57
2	923,58	1057,18
3	929,04	1063,05
4	941,19	1048,99
5	937,14	1047,65
Průměr	930,24	1059,09
SMCH	3,96	5,62

Tab. 22 Fm lepeného spoje ozářeného dávkou 99 kGy.

Materiál ozářený dávkou 99kGy				
č. m.	Cyberbond 2008	Cyberbond 5008	Cyberbond A806	Cyberbond E705
1	264,23	244,28	199,84	249,98
2	269,89	255,25	204,37	242,64
3	236,73	227,06	223,49	256,06
4	272,57	274,25	222,44	265,17
5	253,81	251,54	200,09	239,01
Průměr	259,45	250,48	210,05	250,57
SMCH	6,53	7,67	5,34	4,69

Při porovnávání pevnosti lepených spojů neozářených vzorků se vzorky ozářenými dávkou 99 kGy, lze vidět patrný nárůst u všech spojů ozářeného materiálu. Nejvyšší pev-

nosti u neozářeného materiálu dosahovalo sekundové lepidlo Cyberbond 2008 ( $F_m = 149,32 \text{ N}$ ), naopak nejnižší  $F_m$  mělo dvousložkové lepidlo Cyberbond A806.



Obr. 25 Srovnání pevnosti lepeného spoje základního materiálu s ozářeným materiálem dávkou 99 kGy.

Nejvyšší pevnosti lepených spojů z materiálu ozářeným dávkou 99 kGy, bylo dosaženo sekundovým lepidlem Cyberbond 2008, kdež to nejnižší pevnost vykazovalo dvousložkové lepidlo Cyberbond A806..

#### 8.2.4 HDPE ozářený dávkou 132 kGy

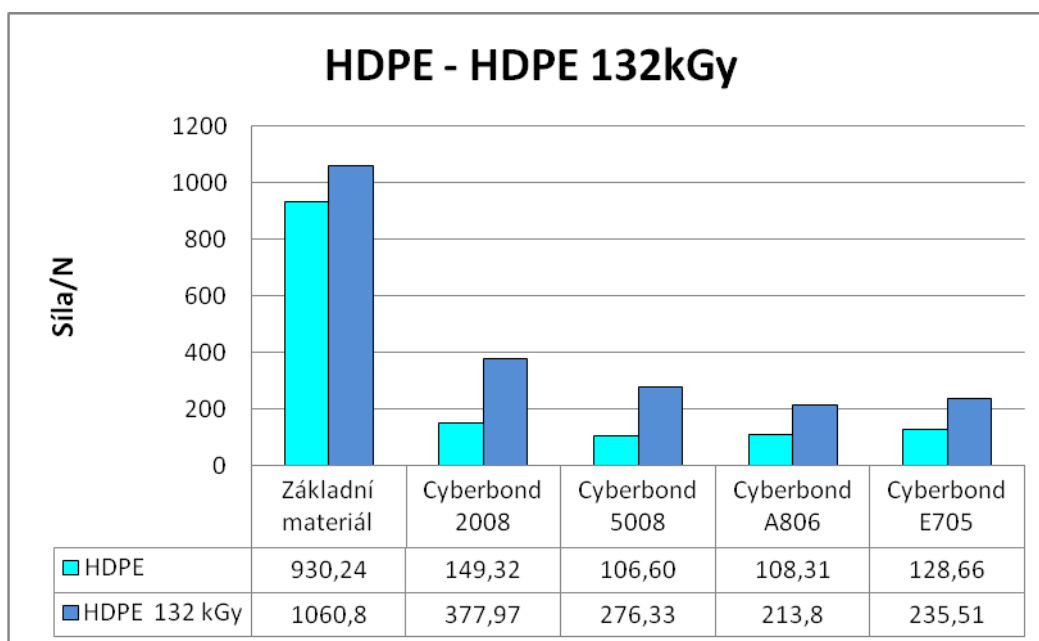
Tab. 23  $F_m$  základního materiálu.

Základní materiál		
č. m.	HDPE	HDPE 132 kGy
1	920,25	1054,38
2	923,58	1060,26
3	929,04	1056,53
4	941,19	1067,52
5	937,14	1065,33
Průměr	930,24	1060,80
SMCH	3,96	2,50

Tab. 24 Fm lepeného spoje ozářeného dávkou 132 kGy.

Materiál ozářený dávkou 132kGy				
č. m.	Cyberbond 2008	Cyberbond 5008	Cyberbond A806	Cyberbond E705
1	402,75	256,36	199,48	245,43
2	369,28	255,47	201,63	227,6
3	351,03	289,28	219,21	249,31
4	381,22	291,12	216,9	235,97
5	385,55	289,41	231,8	219,23
<b>Průměr</b>	377,97	276,33	213,80	235,51
<b>SMCH</b>	8,61	8,34	5,98	5,55

Z naměřených hodnot vyplynulo, že nejvyšší pevnosti lepeného spoje u neozářeného materiálu bylo dosaženo sekundovým lepidlem Cyberbond 2008. Naopak nejnižší hodnoty s  $F_m = 106,60$  N nabývalo sekundové lepidlo Cyberbond 5008.



Obr. 26 Srovnání pevnosti lepeného spoje základního materiálu s ozářeným materiálem dávkou 132 kGy.

U ozářených vzorků, mělo nejvyšší pevnost rovněž sekundové lepidlo Cyberbond 2008 s  $F_m = 377,97$  N a nejnižší  $F_m$  dvousložkové lepidlo Cyberbond A806, jak je patrné z Obr. 26.

Nejvyšší nárůst pevnosti mělo sekundové lepidlo Cyberbond 2008, jenž dosahuje 24% pevnosti základního materiálu.

### 8.2.5 HDPE ozářený dávkou 165 kGy

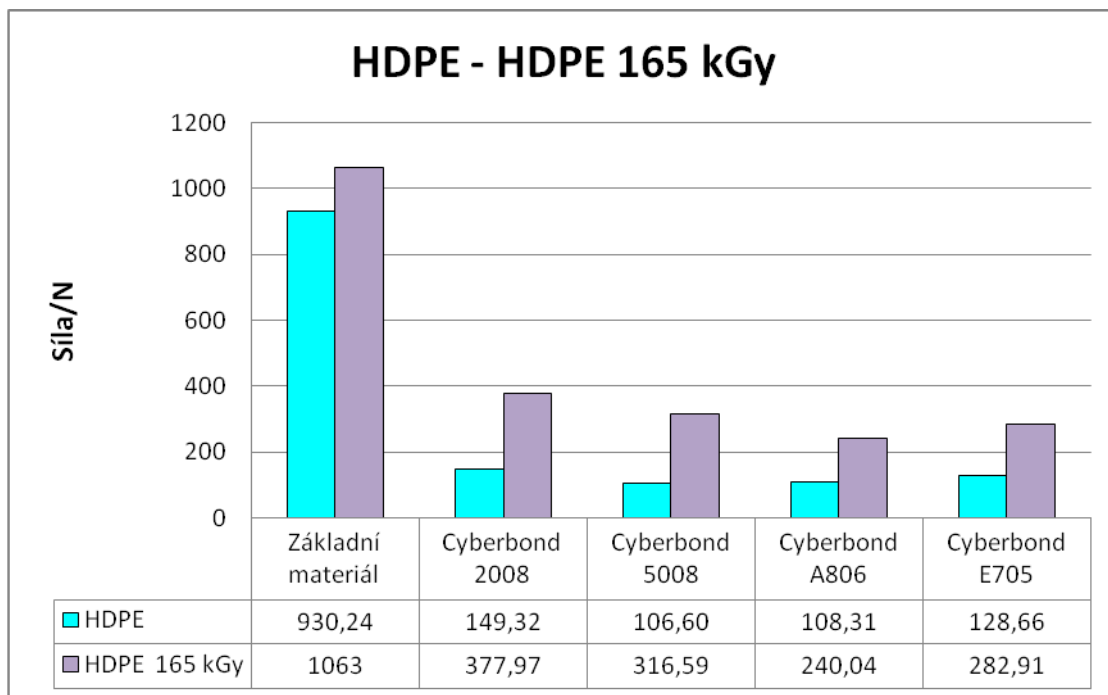
Tab. 25 Fm základního materiálu.

Základní materiál		
č. m.	HDPE	HDPE 165 kGy
1	920,25	1069,58
2	923,58	1049,46
3	929,04	1048,08
4	941,19	1073,05
5	937,14	1074,83
Průměr	930,24	1063,00
SMCH	3,96	5,87

Při srovnání lepidle u HDPE ozářeném dávkou 165 kGy je patrný především nárůst pevnosti u sekundového lepidla Cyberbond 2008 a lepidla Cyberbond 5008. Lepidlo Cyberbond 2008 dosahuje téměř 36% průměrné pevnosti základního materiálu. Lepidlo Cyberbond 5008 dosahuje 30% průměrné pevnosti základního materiálu.

Tab. 26 Fm lepeného spoje ozářeného dávkou 165kGy.

Materiál ozářený dávkou 165kGy				
č. m.	Cyberbond 2008	Cyberbond 5008	Cyberbond A806	Cyberbond E705
1	402,75	299,53	220,28	290,86
2	369,28	324,28	238,16	281,86
3	351,03	334,85	247,86	283,15
4	381,22	291,44	239,86	264,76
5	385,55	332,87	254,04	293,92
Průměr	377,97	316,59	240,04	282,91
SMCH	8,61	8,89	5,71	5,07



Obr. 27 Srovnání pevnosti lepeného spoje základního materiálu s ozářeným materiálem dávkou 165 kGy.

Nejvyšší pevnosti u ozářených vzorků dosahovalo sekundové lepidlo Cyberbond 2008 ( $F_m = 377,97$  N), naopak nejnižší  $F_m$  mělo dvousložkové lepidlo Cyberbond A806 ( $F_m = 240,04$  N).

### 8.2.6 HDPE ozářený dávkou 198 kGy

Tab. 27  $F_m$  základního materiálu.

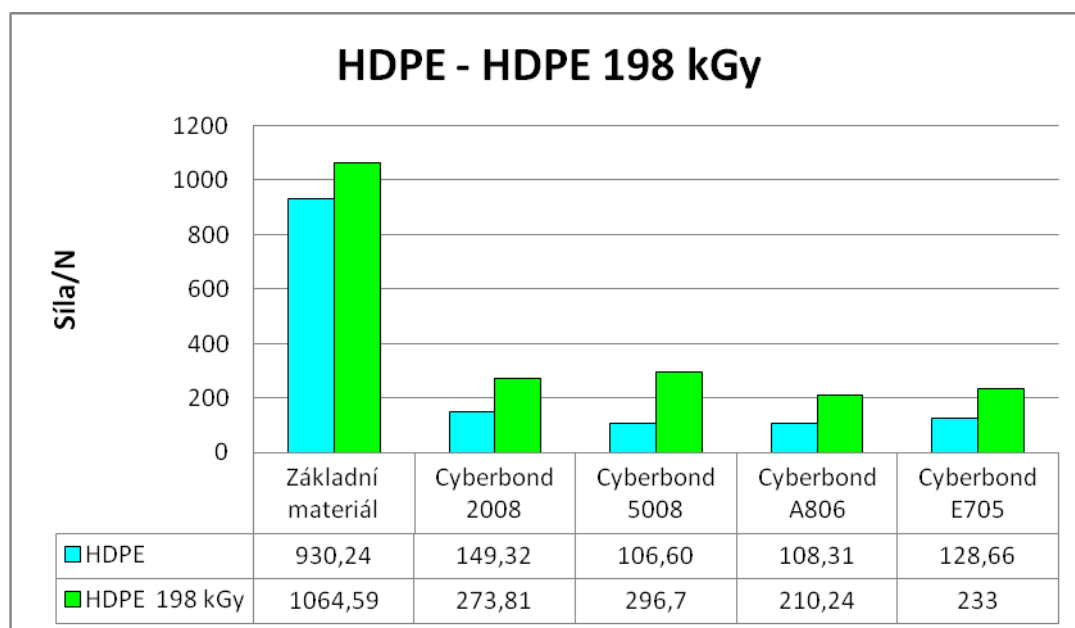
Základní materiál		
č. m.	HDPE	HDPE 198 kGy
1	920,25	1067,93
2	923,58	1059,46
3	929,04	1070,37
4	941,19	1064,86
5	937,14	1060,34
Průměr	930,24	1064,59
SMCH	3,96	2,11



Tab. 28 Fm lepeného spoje ozářeného dávkou 198 kGy.

Materiál ozářený dávkou 198kGy				
č. m.	Cyberbond 2008	Cyberbond 5008	Cyberbond A806	Cyberbond E705
1	240,65	301,14	199,57	221,11
2	280,4	282,96	219,04	245,49
3	294,98	301,49	200,91	242,04
4	269,62	302,08	223,82	234,23
5	283,39	295,81	207,84	222,15
<b>Průměr</b>	<b>273,81</b>	<b>296,70</b>	<b>210,24</b>	<b>233,00</b>
<b>SMCH</b>	<b>9,22</b>	<b>3,61</b>	<b>4,84</b>	<b>4,99</b>

Z Obr.28 je zřejmé, že nejvyšší Fm u vzorků ozářených dávkou 198 kGy má sekundové lepidlo Cyberbond 5008. Naopak nejmenší Fm vykazovalo dvousložkové lepidlo Cyberbond A806.



Obr. 28 Srovnání pevnosti lepeného spoje základního materiálu s ozářeným materiálem dávkou 198 kGy.

Při srovnání lepidle u HDPE ozářeném dávkou 198 kGy je patrný především nárůst pevnosti u sekundového lepidla Cyberbond 2008 a lepidla Cyberbond 5008. Lepidlo Cyber-

bond 2008 dosahuje téměř 26% průměrné pevnosti základního materiálu. Lepidlo Cyberbond 5008 dosahuje 28% průměrné pevnosti základního materiálu.

## 9 ZKOUŠKY PEVNOSTI LEPENÝCH SPOJŮ ZA TEPLoty 60 °C

V této experimentální části byla zjišťována pevnost lepených spojů za teploty 60 °C. Naměřené hodnoty byly zpracovány a graficky porovnány s hodnotami lepených spojů za teploty 23 °C.

### 9.1 Sekundové lepidlo Cyberbond 2008

Tab. 29  $F_m$  materiálů lepených sekundovým lepidlem Cyberbond 2008 při teplotě 23 °C.

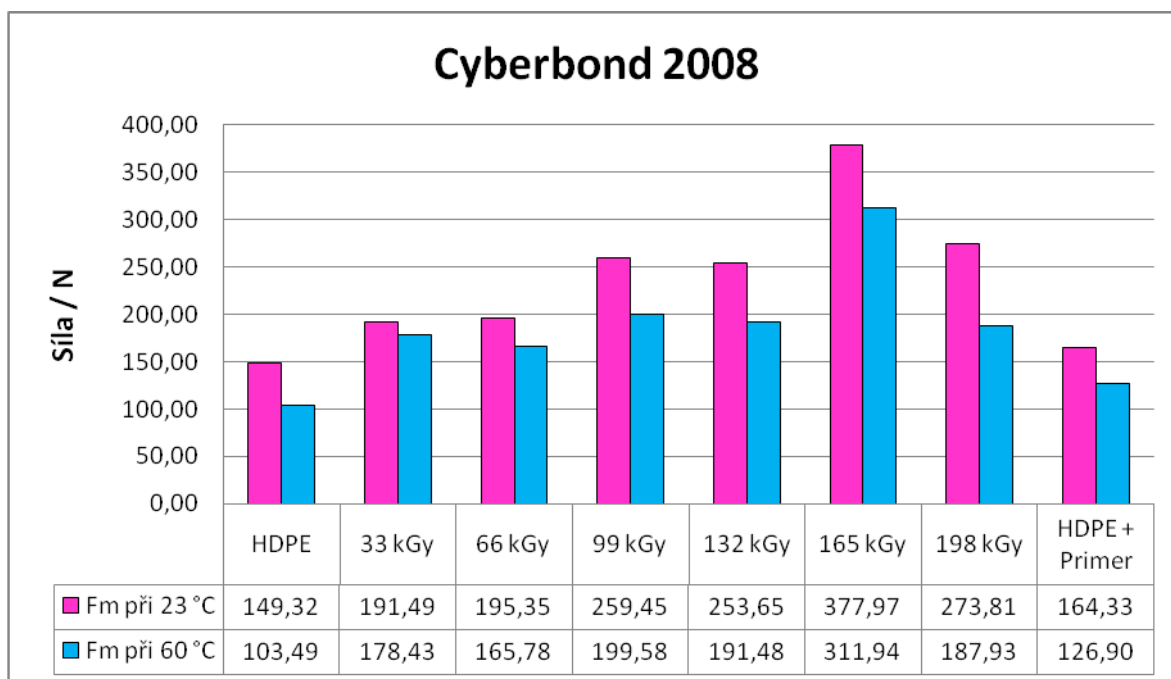
Cyberbond 2008 (teplota 23 °C)							
HDPE (Fm [N])	33 kGy (Fm [N])	66 kGy (Fm [N])	99kGy (Fm [N])	132 kGy (Fm [N])	165 kGy (Fm [N])	198 kGy (Fm [N])	HDPE + PRIMER (Fm [N])
149,32	191,49	195,35	259,45	253,65	377,97	273,81	164,33

Ze zkoušek za zvýšených teplot vyplývá, že při vyšší teplotě klesá pevnost lepených spojů a to až o více jak 30%. Nejvyšší pokles měl materiál ozářen dávkou 198 kGy (pokles o 32%). Naopak nejnižší pokles pevnosti spoje měl materiál ozářen dávkou 33 kGy (pokles o 7%).

Tab. 30  $F_m$  materiálů lepených sekundovým lepidlem Cyberbond 2008 při teplotě 60°C.

Cyberbond 2008 (teplota 60 °C)								
č. m	HDPE (Fm [N])	33 kGy (Fm [N])	66 kGy (Fm [N])	99kGy (Fm [N])	132 kGy (Fm [N])	165 kGy (Fm [N])	198 kGy (Fm [N])	HDPE + PRIMER (Fm [N])
1	89,26	151,66	174,72	209,99	181,14	322,83	182,69	116,21
2	132,92	188,57	140,28	213,25	180,18	318,59	197,01	140,73
3	105,56	169,78	164,56	181,97	194,4	306,85	185,04	137,61
4	95,63	190,28	169,85	198,08	198,96	314,98	169,39	129,87
5	94,07	191,86	179,49	194,62	202,73	296,47	205,53	110,07
<b>Průměr</b>	103,49	178,43	165,78	199,58	191,48	311,94	187,93	126,90
<b>SMCH</b>	7,82	7,79	6,84	5,62	4,61	4,68	6,21	5,97

Při teplotě 60 °C měl nejvyšší průměrnou pevnost materiál ozářen dávkou 165 kGy ( $F_m = 311,94$  N). Kdež to nejmenší pevnost vykazoval neozářený HDPE ( $F_m = 103,49$  N).



Obr. 29 Závislost maximální zatěžující síly, při teplotách 23 °C a 60 °C, na materiálu lepeného lepidlem Cyberbond 2008.

## 9.2 Lepidlo Cyberbond E705

Při porovnávání pevnosti lepených spojů, lepených dvousložkovým lepidlem Cyberbond E705, za zvýšených teplot s pevností lepených spojů při teplotě okolí, vyplívá z naměřených hodnot, že pevnost spoje při 60 °C je nižší, než pevnost spoje při teplotě 23 °C.

Tab. 31 Fm materiálů lepených sekundovým lepidlem Cyberbond E705 při teplotě 23 °C.

Cyberbond E705 (teplota 23 °C)							
HDPE (Fm [N])	33 kGy (Fm [N])	66 kGy (Fm [N])	99kGy (Fm [N])	132 kGy (Fm [N])	165 kGy (Fm [N])	198 kGy (Fm [N])	HDPE + PRIMER (Fm [N])
128,66	184,26	230,35	250,57	235,51	282,91	233,00	118,31

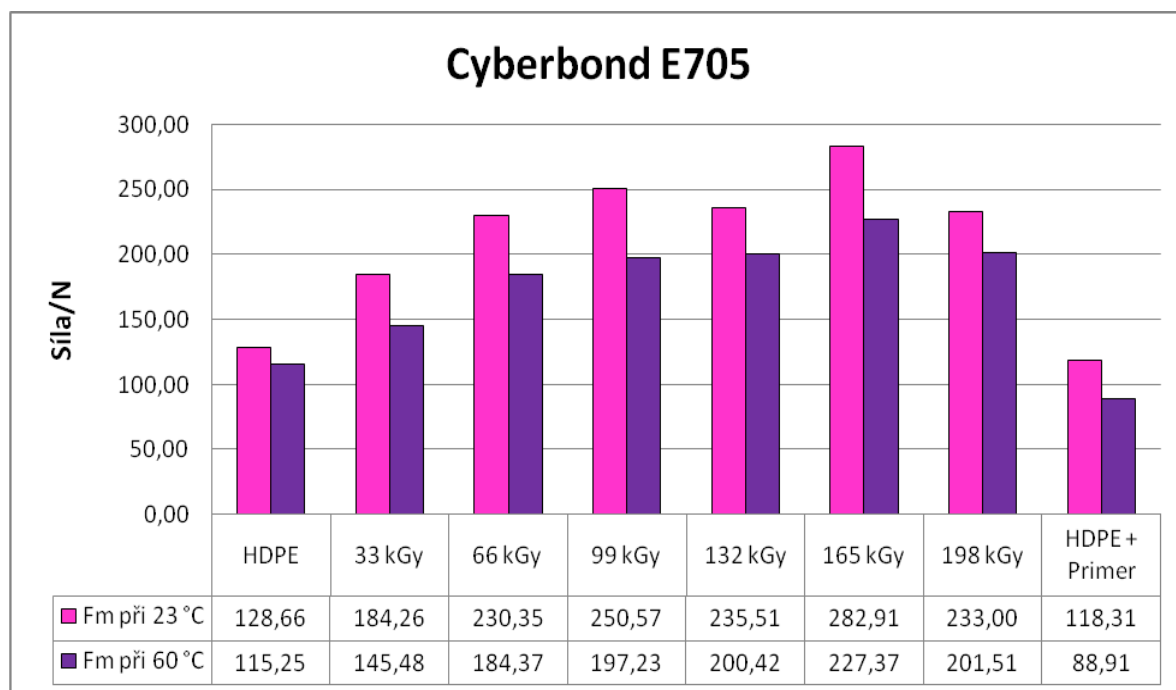
Při zkoušení pevnosti spoje HDPE lepeného dvousložkovým lepidlem Cyberbond E705 při teplotě 60 °C vykazoval nejvyšší pevnost vzorek ozářen dávkou 165 kGy, který měl pokles

pevnosti o 23% od vzorku zatíženého teplotou 23 °C. Naopak nejnižší pevnosti bylo dosaženo u neupraveného materiálu, na který byl před samotným lepením použit primer (Fm = 88,91 N).

Tab. 32 Fm materiálů lepených sekundovým lepidlem Cyberbond E705 při teplotě 60°C.

Cyberbond E705 (teplota 60 °C)								
č. m	HDPE (Fm [N])	33 kGy (Fm [N])	66 kGy (Fm [N])	99kGy (Fm [N])	132 kGy (Fm [N])	165 kGy (Fm [N])	198 kGy (Fm [N])	HDPE + PRIMER (Fm [N])
1	134,33	157,88	190,76	186,91	213,2	202,24	187,88	88,94
2	125,2	128,33	214,9	198,11	225,24	257,62	239,49	96,63
3	104,94	172,00	177,48	200,58	176,07	222,55	173,83	85,47
4	106,56	127,05	175,65	204,21	189,3	216,24	200,68	84,08
5	105,21	142,15	163,05	196,32	198,27	238,19	205,65	89,42
Průměr	115,25	145,48	184,37	197,23	200,42	227,37	201,51	88,91
SMCH	6,11	8,67	8,81	2,90	8,66	9,52	10,98	2,18

Nejvyšší pokles pevnosti měl již výše zmiňovaný neozářený materiál, na který byl použit primer a to o 25%. Naopak nejnižší pokles pevnosti lepeného spoje vykazoval neozářený HDPE (pokles o 11%).



Obr. 30 Závislost maximální zatěžující síly, při teplotách 23 °C a 60 °C, na materiálu lepeného lepidlem Cyberbond E705.

### 9.3 Lepidlo Cyberbond A806

Při porovnávání pevnosti lepených spojů, lepených dvousložkovým lepidlem Cyberbond A806, za zvýšených teplot s pevností lepených spojů při teplotě okolí, vyplívá z naměřených hodnot, že pevnost spoje při 60 °C je nižší, než pevnost spoje při teplotě 23 °C.

Tab. 33 *Fm materiálů lepených sekundovým lepidlem Cyberbond E705 při teplotě 23 °C.*

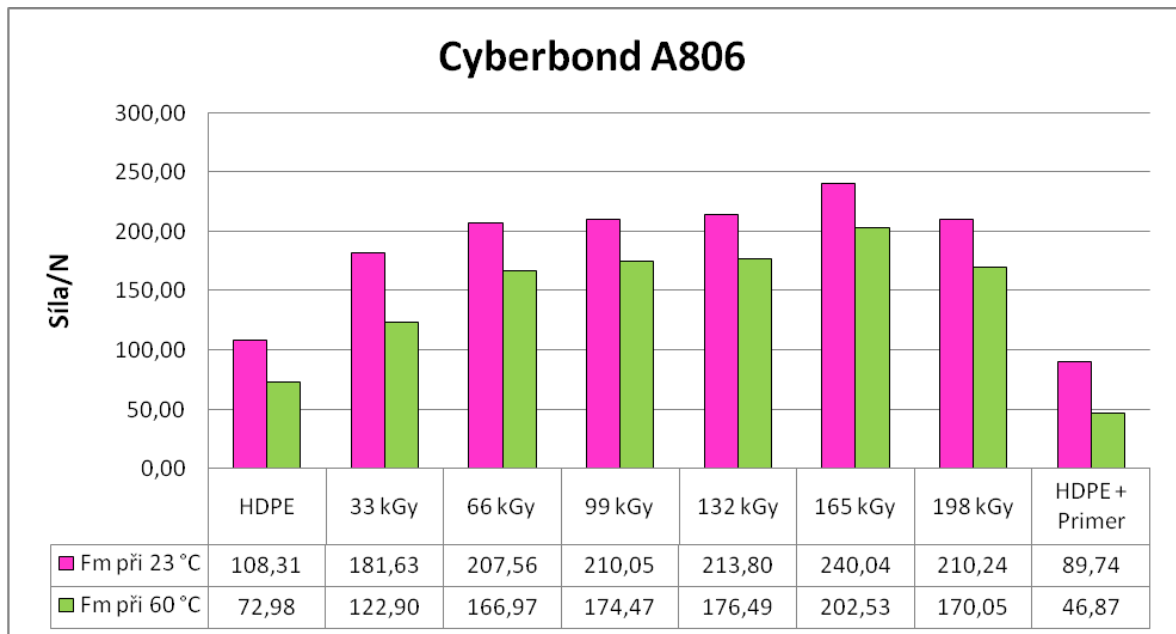
Cyberbond A806 (teplota 23 °C)							
HDPE (Fm [N])	33 kGy (Fm [N])	66 kGy (Fm [N])	99kGy (Fm [N])	132 kGy (Fm [N])	165 kGy (Fm [N])	198 kGy (Fm [N])	HDPE + PRIMER (Fm [N])
108,31	181,63	207,56	210,05	213,80	240,04	210,24	89,74

Při zkoušení pevnosti spoje HDPE lepeného dvousložkovým lepidlem Cyberbond A806, při teplotě 60 °C vykazoval nejvyšší pevnost vzorek ozářen dávkou 165 kGy (Fm = 202,53 N), který měl pokles pevnosti o 16% od vzorku zatíženého teplotou 23 °C. Naopak nejnižší pevnosti bylo dosaženo u neupraveného materiálu, na který byl před samotným lepením použit primer (Fm = 46,87 N).

Tab. 34 *Fm materiálů lepených sekundovým lepidlem Cyberbond E705 při teplotě 60°C.*

Cyberbond A806 (teplota 60 °C)								
č. m	HDPE (Fm [N])	33 kGy (Fm [N])	66 kGy (Fm [N])	99kGy (Fm [N])	132 kGy (Fm [N])	165 kGy (Fm [N])	198 kGy (Fm [N])	HDPE + PRIMER (Fm [N])
1	67,34	122,25	188,81	184,19	172,8	171,65	173,59	38,39
2	66,11	114,9	185,79	158,23	164,71	222,22	158,33	41,79
3	84,07	118,89	143,96	165,78	190,01	181,78	150,76	55,64
4	77,54	132,78	156,81	175,12	182,31	214,94	182,47	48,71
5	69,82	125,7	159,49	189,04	172,64	222,07	185,09	49,83
Průměr	72,98	122,90	166,97	174,47	176,49	202,53	170,05	46,87
SMCH	3,41	3,05	8,72	5,69	4,38	10,74	6,72	3,06

Nejvyšší pokles pevnosti měl již výše zmiňovaný neozářený materiál, na který byl použit primer a to o 48%. Naopak nejnižší pokles vykazoval HDPE ozářen dávkou 165 kGy (o 16%).



*Obr. 31 Závislost maximální zatěžující síly, při teplotách 23 °C a 60 °C, na materiálu lepeného lepidlem Cyberbond A806.*

## DISKUZE VÝSLEDKŮ

Bakalářská práce byla zaměřena na měření pevnosti lepených spojů u polymerních materiálů. Na zkušební vzorky byl použit materiál HDPE, který byl ozářen dávkami 33, 66, 99, 132, 165 a 198 kGy. Pevnost lepených spojů byla zjišťována pomocí tahové zkoušky na trhacím stroji Zwick 1456.

V první části experimentu byla zjišťována pevnost lepených vzorků za teploty okolí což v našem případě byla 23 °C. Z naměřených a zpracovaných hodnot vyplynulo, že ozářením HDPE se zvýší pevnost materiálu. Se zvyšující se dávkou ozáření se zvyšovala i pevnost materiálu. Pro neozářený (neupravený) vzorek byl nejvhodnější typ lepidla sekundové lepidlo Cyberbond 2008 ( $F_m = 149,32\text{N}$ ), naopak nejhorší pevnost lepeného spoje neozářeného materiálu mělo sekundové lepidlo Cyberbond 5008 ( $F_m = 106,60\text{ N}$ ) (Tab.13, Tab. 14). Použitím primeru na neozářený HDPE jsme u sekundových lepidel dosáhly zvýšení pevnosti o cca 14% od lepeného spoje, na kterém nebyl primer použit. Naopak použitím primeru u dvousložkových lepidel Cyberbond A806 a Cyberbond E705 jsme dosáhly snížením pevnosti lepeného spoje o 8% a 18%. (Tab. 15, Tab. 16 a Obr. 21, Obr. 22). Pro vzorek ozářený dávkou 33 kGy by bylo nejvhodnější lepidlo, které vykazovalo nejvyšší pevnost lepeného spoje dvousložkové lepidlo Cyberbond E705 ( $F_m = 184,26\text{ N}$ ) jak plyne z obrázku 22. Naopak nejhorší pevnostní vlastnosti byly u sekundového lepidla Cyberbond 5008 (Obr. 20). Nejvhodnějším lepidlem pro HDPE ozářeným dávkou 66 kGy bylo dvousložkové lepidlo Cyberbond E705, které dosahovalo 22% pevnosti základního materiálu. Kdežto nejhorší pevnost mělo sekundové lepidlo Cyberbond 2008, dosahující 18% pevnosti základního materiálu. Pro materiál HDPE 99 kGy by bylo dosaženo nejvyšší pevnosti lepeného spoje pomocí sekundového lepidla Cyberbond 2008 naopak nejhorší pevnosti dvousložkovým lepidlem Cyberbond A806. U materiálu ozářeným dávkou 132 kGy byla pevnost zvýšena třikrát pomocí sekundového lepidla Cyberbond 5008 ( $F_m = 276,33\text{ N}$ ), ale nejnižší pevnosti bylo dosaženo dvousložkovým lepidlem A806. Pro materiál HDPE 165 kGy by dosahovalo nejvyšší pevnosti sekundové lepidlo Cyberbond 2008, které dosahovalo 36% pevnosti základního materiálu. Naopak nejhorší pevnostní vlastnosti mělo lepidlo Cyberbond A806, se kterým nabývalo 26% pevnosti základního materiálu. Pro vzorek ozářený nejvyšší dávkou 198 kGy vycházelo jako nejvhodnější lepidlo Cyberbond 5008. Materiál ozářený dávkou 165 kGy vykazoval pro všechny lepené spoje nejvyšší pevnost. Všechny výše uvedené výsledky jsou zpracovány v tabulkách 13, 14, 15, 16 a jako grafy v obrázcích 19, 20, 21 a 22.



V druhé části experimentu byla zkoumána pevnost lepených spojů za zvýšené teploty a to 60 °C. Kdy před samotnou tahovou zkouškou se musela teplotní komora vyhřát na požadovanou teplo. Výsledky z této experimentální části ukázaly, že se zvýšenou teplotou klesla pevnost lepeného spoje. U sekundového lepidla Cyberbond 2008 měl nejvyšší pevnost materiál ozářen dávkou 165 kGy, jehož pokles pevnosti od pevnosti za teploty okolí byl o 18%. Nejvyšší pokles pevnosti o více jak 30 % vykazoval neozářený HDPE a HDPE ozářen dávkou 198 kGy. Pro dvousložkové lepidlo Cyberbond E705 měl nejvyšší pevnost lepeného spoje opět HDPE 165 kGy. Zde měl nejnižší procentuelní pokles pevnosti neozářený vzorek. U lepidla A806 vykazoval nejvyšší pevnost vzorek ozářen dávkou 165 kGy (pokles pevnosti o 16%). Nejhorší pevnostní vlastnosti měl neozářený materiál, na který byl před lepením použit primer. Všechny výsledky můžeme vidět v tabulkách 32, 34 a 36.

## ZÁVĚR

Bakalářská práce řeší problematiku pevnosti lepených spojů u polymerních materiálů. Součástí praktické části je výběr lepidel, přichystání a samotné lepení zkušebních vzorků, následné provedení pevnosti spojů za pomoci tahové zkoušky na trhacím stroji Zwick 1456. Pro lepení byl vybrán materiál, který je běžné používám v průmyslu. Vzorky HDPE byly po vystříknutí poslány na ozáření beta zářením. Ze zpracovaných výsledků vyplynulo, že se zvyšující se dávkou ozáření se zvyšuje i pevnost HDPE.

Měření pevnosti spojů bylo prováděno ve dvou krocích. Nejprve za teploty okolí 23 °C a následně za zvýšené teploty 60 °C v teplotní komoře. Na samotné lepení byly použity čtyři druhy lepidel. A to dvě sekundové, které před lepením nevyžadovaly žádné speciální úpravy a dvě dvousložkové lepidly. Ta musela být před lepením vytlačena pomocí vytlačovací pistole a důkladně smíchána. U sekundových lepidel Cyberbond 2008 a Cyberbond 5008 bylo dosaženo vynikajících výsledků materiály ozářenými dávkami 165 a 198 kGy. Pro dvousložková lepidly Cyberbond A806 a Cyberbond E705 byly nejvhodnější materiály ozářen rovněž dávkami 165 a 198 kGy.

Měření pevnosti v teplotní komoře ukázalo, že při zvýšené teplotě (60 °C), se zhoršují pevnostní vlastnosti u všech použitých materiálů i lepidel. Z toho vyplývá, že pro dosažení nejvyšší pevnosti musí být optimálně spojena dávka ozáření s použitým typem lepidla. Ze zkoušek při zvýšené teplotě vyplývá, že naše vzorky nejsou vhodné pro namáhání za vyšších teplot.

**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*.  
1. vyd. Praha: VŠCHT Praha, 2007. 203 s.
- [4] BEDNAŘÍK, Martin. *Vlastnosti lepených spojů - polymery*. Zlín, 2009. 74 s. Bakalářská práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně.
- [5] OSTEN, Miloš. *Lepení plastických hmot*. Praha1 : SNTL, 1972. 152 s.
- [6] ŽÁČEK, Štěpán. *Lepení polymerů*. Zlín, 2010. 70 s. Bakalářská práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně.
- [7] HRÁDEK, Zbyněk. *Metodika modelování lepených spojů v automobilovém průmyslu*. Brno, 2010. 96 s. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně.
- [8] MAJZLÍK, Radek. *Vlastnosti lepených spojů*. Zlín, 2007. 87 s. Diplomová práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně.
- [9] DUCHÁČEK, Vratislav. *Polymery-výroba, vlastnosti, zpracování, použití*.  
2. vyd. Praha : VŠCHT Praha, 2006. 280 s.
- [10] BEDNAŘÍK, Martin. *Lepení polymerů*. Zlín, 2011. 120 s. Diplomová práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně.
- [11] SLEZÁK, Jan. *Lepení neplněného PA*. Zlín, 2012. 65 s. Bakalářská práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně.

## Internetové zdroje:

- [12] Sekundová lepidla. *Lepidla Cyberbond* [online]. ©2009 [cit. 2013-05-14]. Dostupné z: <http://cybershopcz.com/>

**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

ČSN	Česká technická norma
F <sub>m</sub>	Maximální síla zatížení
HDPE	Polyethylen o vysoké hustotě
kGy	Dávka beta záření
Obr.	Obrázek
Tab.	Tabulka
SMCH	Střední kvadratický chyba
PA	Polyamid
PE	Polyethylen
PP	Polypropylen
PVC	Polyvinylchlorid
PS	Polystyren
PMMA	Polymethylmetakrylát
PC	Polykarbonát

**SEZNAM OBRÁZKŮ**

<i>Obr. 1</i> Struktura lepeného spoje .....	14
<i>Obr. 2</i> Přehled možností lepených spojů. ....	15
<i>Obr. 3</i> Typy nerovností u lepených ploch. ....	20
<i>Obr. 4</i> Typy namáhání lepených spojů. ....	22
<i>Obr. 5</i> Typy defektů v lepeném spoji. ....	23
<i>Obr. 6</i> Namáhání lepeného spoje. ....	34
<i>Obr. 7</i> Lepidlo Cyberbond 2008 [12] .....	39
<i>Obr. 8</i> Lepidlo Cyberbond A806.....	40
<i>Obr. 9</i> Tvar a rozměry plátka pro přeplátování[10] .....	42
<i>Obr. 10</i> Zkušební vzorek s páskem pro přeplátování [10] .....	42
<i>Obr. 11</i> Vstříkovací stroj Arburg 420 C Advanced.[4] .....	43
<i>Obr. 12</i> Příprava zkušebních vzorků[4] .....	44
<i>Obr. 13</i> Vytlačovací pistole na lepidlo.[4] .....	46
<i>Obr. 14</i> Statický mixér.[4] .....	46
<i>Obr. 15</i> Schéma lepeného spoje. ....	46
<i>Obr. 16</i> Formy na lepení se vzorky. ....	47
<i>Obr. 17</i> Trhací stroj Zwick 1456. ....	48
<i>Obr. 18</i> Porovnání Fm základního materiálu. ....	51
<i>Obr. 19</i> Vliv ozáření na pevnost lepeného spoje, slepeného lepidlem Cyberbond 2008. ....	52
<i>Obr. 20</i> Vliv ozáření na pevnost lepeného spoje, slepeného lepidlem Cyberbond 5008. ....	53
<i>Obr. 21</i> Vliv ozáření na pevnost lepeného spoje, slepeného lepidlem Cyberbond A806.....	54
<i>Obr. 22</i> Vliv ozáření na pevnost lepeného spoje, slepeného lepidlem Cyberbond E705.....	56
<i>Obr. 23</i> Srovnání pevnosti lepeného spoje základního materiálu s materiálem ozářeným dávkou 33 kGy. ....	58
<i>Obr. 24</i> Srovnání pevnosti lepeného spoje základního materiálu s ozářeným materiálem dávkou 66 kGy. ....	59
<i>Obr. 25</i> Srovnání pevnosti lepeného spoje základního materiálu s ozářeným materiálem dávkou 99 kGy. ....	61

<i>Obr. 26</i> Srovnání pevnosti lepeného spoje základního materiálu s ozářeným materiálem dávkou 132 kGy. ....	62
<i>Obr. 27</i> Srovnání pevnosti lepeného spoje základního materiálu s ozářeným materiálem dávkou 165 kGy. ....	64
<i>Obr. 28</i> Srovnání pevnosti lepeného spoje základního materiálu s ozářeným materiálem dávkou 198 kGy. ....	65
<i>Obr. 29</i> Závislost maximální zatěžující síly, při teplotách 23 °C a 60 °C, na materiálu .....	68
<i>Obr. 30</i> Závislost maximální zatěžující síly, při teplotách 23 °C a 60 °C, na materiálu .....	69
<i>Obr. 31</i> Závislost maximální zatěžující síly, při teplotách 23 °C a 60 °C, na materiálu .....	71

**SEZNAM TABULEK**

<i>Tab. 2. Příčiny a inspekční metody defektů. ....</i>	24
<i>Tab. 3. Základní rozdělení lepidel. ....</i>	25
<i>Tab. 4 Charakteristika a vlastnosti HDPE[10] .....</i>	38
<i>Tab. 5 Základní vlastnosti Cyberbond 2008[12].....</i>	40
<i>Tab. 6 Základní vlastnosti Cyberbond 5008 [12].....</i>	40
<i>Tab. 7 Základní vlastnosti Cyberbond A806 [12] .....</i>	41
<i>Tab. 8 Základní vlastnosti Cyberbond E705 [12] .....</i>	41
<i>Tab. 9 Technické parametry vstřikovacího stroje Arburg 420 C Advanced. [4].....</i>	43
<i>Tab. 10 Technické parametry trhacího stroje Zwick 1456. ....</i>	48
<i>Tab. 11 Technické parametry teplotní komory. ....</i>	49
<i>Tab. 12 Maximální zatěžující síla základního materiálu. ....</i>	50
<i>Tab. 13 Maximální zatěžující síla materiálu, ozářeného různými dávkami ozáření, lepeného sekundovým lepidlem Cyberbond 2008. ....</i>	51
<i>Tab. 14 Maximální zatěžující síla materiálu, ozářeného různými dávkami ozáření, lepeného sekundovým lepidlem Cyberbond 5008. ....</i>	52
<i>Tab. 15 Maximální zatěžující síla materiálu, ozářeného různými dávkami ozáření, lepeného lepidlem Cyberbond A806.....</i>	54
<i>Tab. 16 Maximální zatěžující síla materiálu, ozářeného různými dávkami ozáření, lepeného lepidlem Cyberbond E705.....</i>	55
<i>Tab. 18 Základní nenastríhaný materiál.....</i>	56
<i>Tab. 19 Fm neozářeného lepeného HDPE. ....</i>	57
<i>Tab. 20 Fm lepeného spoje ozářeného dávkou 33 kGy. ....</i>	57
<i>Tab. 21 Fm základního materiálu. ....</i>	58
<i>Tab. 22 Fm lepeného spoje ozářeného dávkou 66 kGy. ....</i>	59
<i>Tab. 23 Fm základního materiálu. ....</i>	60
<i>Tab. 24 Fm lepeného spoje ozářeného dávkou 99 kGy. ....</i>	60
<i>Tab. 25 Fm základního materiálu. ....</i>	61
<i>Tab. 26 Fm lepeného spoje ozářeného dávkou 132 kGy. ....</i>	62
<i>Tab. 27 Fm základního materiálu. ....</i>	63
<i>Tab. 28 Fm lepeného spoje ozářeného dávkou 165kGy. ....</i>	63
<i>Tab. 29 Fm základního materiálu. ....</i>	64
<i>Tab. 30 Fm lepeného spoje ozářeného dávkou 198 kGy. ....</i>	65

<i>Tab. 31 Fm materiálů lepených sekundovým lepidlem Cyberbond 2008 při teplotě 23 °C.....</i>	<i>67</i>
<i>Tab. 32 Fm materiálů lepených sekundovým lepidlem Cyberbond 2008 při teplotě 60°C.....</i>	<i>67</i>
<i>Tab. 33 Fm materiálů lepených sekundovým lepidlem Cyberbond E705 při teplotě 23 °C.....</i>	<i>68</i>
<i>Tab. 34 Fm materiálů lepených sekundovým lepidlem Cyberbond E705 při teplotě 60°C.....</i>	<i>69</i>
<i>Tab. 35 Fm materiálů lepených sekundovým lepidlem Cyberbond E705 při teplotě 23 °C.....</i>	<i>70</i>
<i>Tab. 36 Fm materiálů lepených sekundovým lepidlem Cyberbond E705 při teplotě 60°C.....</i>	<i>70</i>



## SEZNAM PŘÍLOH

PI CD ROM

