

Vliv beta záření na pevnost lepeného spoje vybraných typů polykarbonátů

Jakub Milička

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: **Jakub MILIČKA**
Osobní číslo: **T10295**
Studijní program: **B3909 Procesní inženýrství**
Studijní obor: **Technologická zařízení**
Forma studia: **prezenční**

Téma práce: **Vliv beta zařetí na pevnost lepeného spoje
vybraných typů polykarbonátů**

Zásady pro vypracování:

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

Rozsah bakalářské práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

Dle doporučení vedoucího práce.

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Martin Bednařík

Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání bakalářské práce:

8. února 2013

Termín odevzdání bakalářské práce:

10. května 2013

Ve Zlíně dne 11. února 2013



doc. Ing. Roman Čermák, Ph.D.
děkan



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

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 ¹⁾;
- 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 ²⁾;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ 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 ³⁾ odst. 2 a 3 mohu užit 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 17.5.2013



.....

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

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

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

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

²⁾ 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 díla vytvořené žákem nebo studentem ke splnění školních nebo studijních povinností vyplývajících z jeho právního vztahu ke škole nebo školskému či vzdělávacímu zařízení (školní dílo).

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

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

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

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

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá vlastnostmi lepených spojů polykarbonátu (PC). Práce je rozdělena na teoretickou a praktickou část. V teoretické části je řešena problematika vzniku lepeného spoje, typy lepidel a činitelé ovlivňující kvalitu a pevnost lepeného spoje. V praktické části je řešena výroba a příprava zkušebních vzorků a měření pevnosti jejich spojů.

Klíčová slova: Lepené spoje, PC, kvalita, pevnost, lepidlo

ABSTRACT

This bachelor's thesis deals with the properties of adhesively bonded joints polycarbonate (PC). The work is divided into theoretical and practical parts. In the theoretical part, the issues of bonded joints, types of adhesives and factors affecting the quality and strength of the bond. In the practical part is the production and preparation of test samples and measuring the strength of their connections.

Keywords: Adhesive bonding, PC, quality, strength, adhesive

Tímto bych chtěl velice poděkovat vedoucímu své bakalářské práce, panu Ing. Martinu Bednaříkovi za spolupráci, vynaložený čas, cenné rady a připomínky, které mi věnoval při zpracování bakalářské práce.

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

OBSAH

ÚVOD	11
1 TEORETICKÁ ČÁST	12
1 TEORIE LEPENÍ	13
1.1 LEPENÝ SPOJ	14
1.2 TEORIE ADHEZE A KOHEZE	14
1.3 VÝHODY LEPENÝCH SPOJŮ	15
1.4 NEVÝHODY LEPENÝCH SPOJŮ	16
2 ČINITELE OVLIVŇUJÍCÍ KVALITU LEPENÉHO SPOJE	17
2.1 POVRCH LEPENÉ HMOTY	17
2.1.1 Drsnost povrchu	17
2.1.2 Čistota povrchu	17
2.1.3 Rozpustnost a bobtnavost.....	18
2.1.4 Soudržnost povrchu.....	18
2.1.5 Smáčivost	18
2.1.6 Krystalinita polymerů.....	19
2.1.7 Délková roztažnost.....	19
2.2 LEPIDLO (ADHEZIVO).....	21
2.2.1 Viskozita lepidla.....	21
2.2.2 Příklad plniva a změkčovadla.....	21
2.2.3 Homogenita lepidla	21
2.2.4 Polymerační stupeň	22
2.2.5 Obsah rozpouštědla	22
2.2.6 Kyselost a alkalita	22
2.3 TECHNOLOGIE ZPRACOVÁNÍ	23
2.3.1 Konstrukce lepených spojů	23
2.3.2 Úprava spojovaných ploch	24
2.3.3 Nános lepidla.....	25
2.3.4 Význam fixace a tlaku.....	25
2.3.5 Vliv teploty.....	26
2.3.6 Podmínky a doba tuhnutí lepidla.....	27
3 VÝBĚR LEPIDLA	28
3.1 URČENÍ DRUHU LEPENÉHO MATERIÁLU.....	28
3.1.1 Identifikační zkoušky polymerů	28
3.2 VLASTNOSTI SPOJE	29
3.2.1 Mechanické vlastnosti	29
3.2.2 Odolnost vůči vlhkosti	30
3.2.3 Odolnost vůči teplotě	30
4 LEPIDLA	31

4.1	HLAVNÍ SLOŽKY LEPIDLA	31
4.2	ČLENĚNÍ LEPIDEL	31
4.2.1	Dle konzistence	32
4.2.2	Dle původu	32
4.2.3	Dle způsobu dosažení pevnosti spoje.....	33
4.2.4	Dle teploty zpracování.....	33
4.2.5	Dle chemické reakce lepidla.....	33
5	ROZDÍLY LEPENÍ PC, PVC, PE	35
5.1	LEPENÍ PC.....	35
5.1.1	Předběžná úprava	35
5.2	LEPENÍ PVC.....	36
5.2.1	Předběžná úprava	36
5.3	LEPENÍ PE.....	37
5.3.1	Předběžná úprava	37
6	KVALITA LEPENÉHO SPOJE.....	38
6.1	METODY DESTRUKTIVNÍ.....	38
6.1.1	Pevnost lepených spojů v tahu	38
6.1.2	Pevnost lepených spojů ve smyku.....	38
6.1.3	Pevnost lepených spojů v odlupování	38
6.1.4	Pevnost lepených spojů při namáhání rázem	39
6.1.5	Zkouška lámavosti lepených spojů.....	39
6.1.6	Zkouška trvalé pevnosti a stárnutí.....	39
6.2	METODY NEDESTRUKTIVNÍ.....	40
6.2.1	Ultrazvuková defektoskopie.....	40
6.2.2	Optická zkušební metoda	40
6.2.3	Akustická defektoskopie	40
II	PRAKTICKÁ ČÁST	41
7	CÍL BAKALÁŘSKÉ PRÁCE	42
8	ZVOLENÍ MATERIÁLU A LEPIDEL	43
8.1	MATERIÁL PC MACROLON – AL2447, AL2647	43
8.1.1	Zpracování polykarbonátu.....	43
8.1.2	Použití polykarbonátu	43
8.1.3	Vlastnosti.....	43
8.2	LEPIDLA	44
8.2.1	CYBERBOND E705.....	45
8.2.2	CYBERBOND 5008	45
8.2.3	CYBERBOND 2028	46
8.2.4	PLEXUS MA310	47
9	VÝROBA, ÚPRAVA A PŘÍPRAVA ZKUŠEBNÍCH VZORKŮ	48
9.1	VÝROBA ZKUŠEBNÍCH VZORKŮ.....	48
9.1.1	Vstřikovací stroj Arburg 420C Advanced.....	48

9.2	ÚPRAVA ZKUŠEBNÍCH VZORKŮ	49
9.2.1	Radiační síťování	49
9.2.2	Primer Cyberbond 9050	51
9.3	PŘÍPRAVA ZKUŠEBNÍCH VZORKŮ	51
9.3.1	Nastříhání vzorků a příprava lepidla	51
9.3.2	Použití přípravku pro lepení	52
10	VYHODNOCENÍ PEVNOSTI LEPENÝCH SPOJŮ	53
10.1	TAHOVÁ ZKOUŠKA MATERIÁLU PC MACROLON – AL2447	54
10.1.1	Základní materiál (nerozstříhaný)	54
10.1.2	Lepidlo Cyberbond 2028	55
10.1.3	Lepidlo Cyberbond 5008	57
10.1.4	Lepidlo Cyberbond E705	58
10.1.5	Lepidlo Plexus MA310	60
10.2	TAHOVÁ ZKOUŠKA MATERIÁLU PC MACROLON – AL2647	61
10.2.1	Základní materiál (nerozstříhaný)	61
10.2.2	Lepidlo Cyberbond 2028	62
10.2.3	Lepidlo Cyberbond 5008	64
10.2.4	Lepidlo Cyberbond E705	65
10.2.5	Lepidlo Plexus MA310	67
10.3	SROVNÁNÍ VÝSLEDKŮ	69
10.3.1	Srovnání výsledků vzorků bez povrchové úpravy	69
10.3.2	Srovnání výsledků při ozáření vzorků	70
10.3.3	Srovnání výsledků při použití Primeru	71
10.3.4	Srovnání nejlepších výsledků všech lepidel	72
11	DISKUZE VÝSLEDKŮ	73
	ZÁVĚR	74
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	75
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	77
	SEZNAM OBRÁZKŮ	78
	SEZNAM TABULEK	80
	SEZNAM PŘÍLOH	81

ÚVOD

Vývoj moderních syntetických lepidel vyřešil řadu problémů souvisejících se zpracováním plastických hmot. Umožnil vrstvit klasické materiály – dřevo, textil, kovy, beton nebo lehčené hmoty. Na tomto základě vznikla výroba tištěných spojů pro potřeby elektrotechnického průmyslu. Pomocí lepených spojů lze zhotovovat antikorozi obklady, trubní spoje, sendvičové konstrukce i velkoplošné panely v kombinaci s dekoračními lamináty a plechy laminovanými vrstvou plastické hmoty.

Pro konstruktéra má lepení jako způsob vytváření nerozebíratelných spojů mnoho předností a výhod. Lepené spoje jsou na rozdíl od klasických spojů provedených nýty a šrouby nepropustné pro kapaliny, popř. i pro plyny. Kombinace klasických způsobů spojování a lepení nejsou přitom vyloučeny. Lepením se nenarušuje hladkost povrchu a tedy ani estetický vzhled výrobku. Nezhoršují se též mechanické vlastnosti konstrukčního materiálu vrtáním otvorů pro spojovací prvky. Při dynamickém namáhání konstrukce rozvádí lepený spoj vzniklé pnutí mnohem rovnoměrněji než kterýkoliv jiný mechanický spoj.

Lepení je výhodné nejen pro vytváření velkoplošných spojů, ale i pro upevňování velkého počtu malých součástí, pro sestavování rovnoměrných celků z prefabrikovaných (např. laminátových) dílců apod.

Vhodnost použití lepeného spoje se ovšem musí pro každý jednotlivý případ vždy předem ověřit a hodnoty dosažených pevností porovnat s hodnotami vlastností původního materiálu.

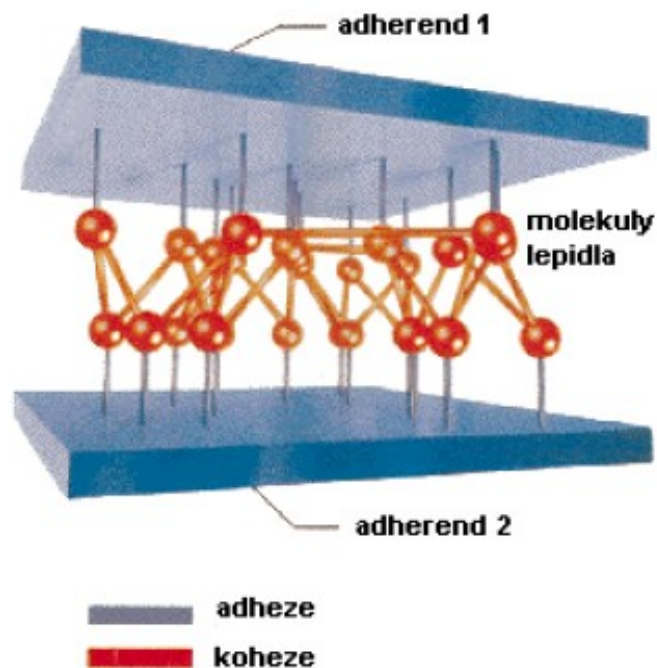
I. TEORETICKÁ ČÁST

1 TEORIE LEPENÍ

Ovlivňující faktory pevnosti lepeného spoje má především adheze a koheze. Adhezí se označuje přilnavost lepidla vůči lepenému materiálu a kohezí se označuje vzájemná soudržnost částic téhož materiálu. V případě, že je adheze lepeného spoje větší než koheze spojovaných materiálů, dochází při mechanickém namáhání k poruše materiálu mimo lepený spoj. Je-li koheze lepeného materiálu větší než adheze lepeného spoje, dochází při mechanickém namáhání k destrukci lepeného spoje. [3]

Pro realizaci soudržného spoje jsou nezbytné následující podmínky:

1. lepidlo musíme nanést na obě stykové plochy, které musí v tekutém stavu smáčet,
2. musí být dané podmínky k tomu, aby se ve spáře vytvořil stejnosměrný film lepidla,
3. film lepidla musí ve spáře vytvrdnout a musí vázat povrchy dílů. [3]



Obr. 1. Adheze a koheze v lepeném spoji. [17]

1.1 LEPENÝ SPOJ

Každý konstrukčně pevný lepený spoj lze považovat za soubor pěti navzájem vázaných vrstev, kde míra adheze každé jednotlivé vrstvy k vrstvám sousedním i koheze vrstev samých může velmi ovlivnit celkovou kvalitu spoje. [2]

Schematické znázornění lepeného spoje je uvedeno na předchozím obrázku (Obr. 2). Spoj takové struktury může ovšem vzniknout jen za určitých podmínek. Především se musí zvolit lepidlo, u něhož lze předpokládat maximální specifickou adhezi k dané hmotě. Lepidlo se musí rovnoměrně nanést na jednu nebo obě plochy, které musí být dokonale smáčeny. Po uzavření spoje se musí lepidlo ve spáře stejnoměrně rozvrstvit, musí proniknout do mikroskopických pórů povrchu a vytvářet aktivní film. Poté je třeba, aby lepidlo ve spáře přešlo z tekuté fáze do fáze tuhé (u klasických tekutých lepidel) nebo z tuhé pevné fáze do fáze tekuté a znovu do fáze tuhé (u taveninových lepidel). [2, 4]

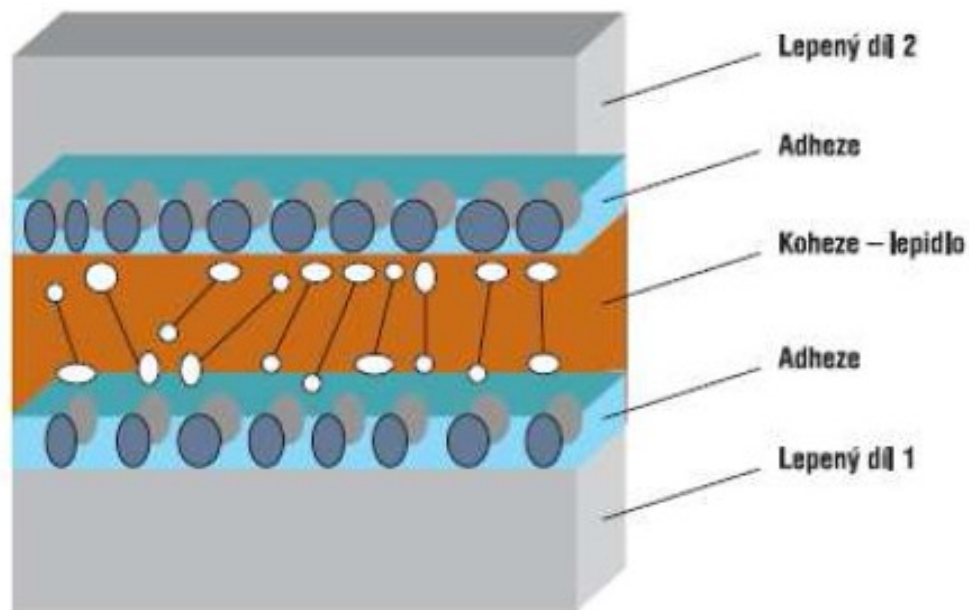
1.2 TEORIE ADHEZE A KOHEZE

Adheze je definovatelná jako síla přilnavosti a je základním předpokladem úspěšného lepení.

Jestliže lepidlo nedokáže dostatečně pevně přilnout k lepenému materiálu, spoj nedrží a dochází k rozlepení na rozhraní lepený materiál – lepidlo. Pro vznik adhezních sil existují dva teoretické modely vazby mezi lepidlem a lepeným povrchem:

- mechanická vazba,
- chemická vazba.

Kromě mechanické a chemické vazby je mimořádně důležitá také smáčivost lepeného povrchu lepidlem. Jestliže lepidlo není schopno se rovnoměrně rozprostřít po lepeném povrchu, žádná adhezní vazba nevznikne. Smáčivost souvisí s polaritou lepeného povrchu a povrchovým napětím lepidla a povrchu. Koheze představuje vlastní pevnost vrstvy lepidla. Jestliže se lepený spoj roztrhne ve vrstvě lepidla, znamená to, že adheze i pevnost lepeného materiálu je vyšší než koheze. Kohezní pevnost závisí na charakteru lepidla a na tepelném namáhání lepeného spoje. Adhezní a kohezní síly by měly být přibližně v rovnováze. [5, 6]



Obr. 2. Spojovací síly v lepeném spoji. [7]

1.3 VÝHODY LEPENÝCH SPOJŮ

Hlavní přednosti lepených spojů jsou především tyto:

- Lepení nám dovoluje spojovat stejnorodé nebo různorodé materiály bez ohledu na to jakou mají tloušťku.
- Aplikováním lepidel nenarušujeme celistvost spojovaných dílců.
- Je možná příprava spojů vodotěsných i plynotěsných.
- Nehrozí narušení profilů ani estetického vzhledu lepeného souboru.
- Lepený spoj nám tlumí vibrace v konstrukci a zvyšuje vzpěrovou pevnost i tuhost souboru.
- Lepený spoj brání vzniku elektrolytické koroze kovových materiálů.
- Lepením se nám nenavyšuje hmotnost souboru, což je jeden z předpokladů miniaturizace.
- Spoje mohou být barevně přizpůsobené nebo i průhledné.
- Můžeme dosáhnout vysoké pevnosti lepených spojů, zejména při namáhání ve smyku a rázové pevnosti. [8]

1.4 NEVÝHODY LEPENÝCH SPOJŮ

Mezi hlavní nedostatky lepených spojů především patří:

- Vysoké požadavky na rovinnost a čistotu povrchu lepených dílců.
- Nutnost speciálních úprav pro povrchy materiálů, které mají špatné adhezní vlastnosti.
- Konstrukčně použitelné spoje jsou nerozebíratelné.
- Většina lepených spojů jsou málo odolná na namáhání v odlupování.
- Maximální pevnost lepeného spoje dosáhneme až po určité době.
- Omezená je odolnost vůči vyšším teplotám.
- U termoplastických lepidel je film citlivý vůči dlouhodobému statickému namáhání.
- Lepení je v praxi je náročné na vybavení pracoviště. [8]

2 ČINITELE OVLIVŇUJÍCÍ KVALITU LEPENÉHO SPOJE

2.1 POVRCH LEPENÉ HMOTY

2.1.1 Drsnost povrchu

U lepené plochy rozeznáváme tři druhy lepených povrchů:

- geometrický povrch, určený vnějšími rozměry lepené plochy,
- mikropovrch, zahrnující plochu všech nerovností,
- účinný povrch, tj. část mikropovrchu, která je smáčená lepidlem.



Obr. 3. Základní typy nerovností lepených ploch. [10]

1 – válcová nerovnost; 2 – kónická otevřená nerovnost; 3 – kónická uzavřená nerovnost; 4 – kónická plochá nerovnost; 5 – kónická misková nerovnost

U geometrických povrchů, zahrnujeme délkové rozměry lepené plochy a tloušťkové tolerance, které vytvářejí charakteristiku souběžnosti spojovaných ploch, ovlivňují především stejnoměrnou vrstvu lepidla ve spáře. Na účinný styk lepidla s daným povrchem má při dané viskozitě lepidla vliv tvar nerovností mikropovrchu.

Pro zdokonalení pevnosti lepeného spoje se používá pískování zrn o velikosti 0,1 až 0,2 mm a smirkování papírem o drsnosti 90 nebo 100. Nejvhodnější hloubka zdrsnění je uváděna v rozmezí 1 až 6 μm . Lepidla, která vytvrzují za studena jsou zpravidla na tvar nerovnosti povrchu citlivější, než lepidla vytvrzována při zvýšené teplotě a tlaku. [10, 2]

2.1.2 Čistota povrchu

Úplný kontakt lepidla a povrchu lepené hmoty předpokládá, že plocha určená k lepení je zbavena všech látek, které působí separačně, hlavně mastnoty a korozní zplodiny. K odmašťování se používá moření chemickými látkami a rozpouštědla.

Termoplastické hmoty je možné odmašťovat jen takovými rozpouštědly a roztoky, které nenapadají termoplastickou hmotu. Ve všech případech jsou vhodné vlašné roztoky saponátů a velmi často metanol nebo lehký benzín. [2]

2.1.3 Rozpustnost a bobtnavost

Mnoho termoplastických polymerů se rozpouští nebo bobtná v organických rozpouštědlech, které obsahují roztoková, popř. disperzní lepidla. Při práci s kompaktními tlustostěnnými materiály je tato okolnost pro dosažení lepší adheze výhodná (lze lepit i čistými rozpouštědly), kdežto při lepení fólií, kdy by mohlo dojít k deformaci povrchu, není žádoucí. [2]

2.1.4 Soudržnost povrchu

Této vlastnosti se využívá při zpracování lehčených pěnových materiálů, skelných laminátů a kaširovaných vícevrstevných hmot. Určité pěnové hmoty, zejména na fenolické a močovinnové bázi, mají při menší objemové váze velmi malou soudržnost. I při malém zatěžování lepeného spoje dochází zpravidla k jeho destrukci stržením jedné z povrchových vrstev.

U uvedených případů, může být pevnost spoje zhoršena např. tím, že rozpouštědlo nebo tvrdidlo obsažené v lepidle narušuje soudržnost kaširované nebo poprašované vrstvy s nosičem. [2]

2.1.5 Smáčivost

Smáčivost, lze popsat jako schopnost kapaliny přilnout k povrchu některých pevných látek a udává nám povrchové napětí lepidla. Hlavní předpoklad pro vytvoření kvalitního lepeného spoje je to, že by povrchové napětí lepidla mělo být nižší, než je hodnota povrchového napětí materiálu, který chceme spojit. [9]

Smáčivost se určuje dle okrajového úhlu, který se tvoří na hranici vodní hladiny a pevného tělesa. Čím menší je okrajový úhel, tím je lepší smáčivost. Když je okrajový úhel větší než 90° , smáčivost se změní v odpudivost. Dobrá smáčivost tedy patří do jedné z podmínek dobré lepidlosti lepidla. [9]



Obr. 4. Smáčení povrchu kapalinami. [13]

2.1.6 Krystalinita polymerů

Všechny plastické hmoty nemají amorfni strukturu. Některé termoplasty jako (polyetylén, polypropylén, polytetrafluóretylén, polyamid) jeví v důsledku rovnoměrné stavby makromolekulárního řetězce sklon ke krystalinitě. Čím vyšší je krystalinický podíl, tím je menší lepitelnost polymeru. [2]

2.1.7 Délková roztažnost

U většiny plastických hmot se setkáme s 6 až 10krát větší délkovou roztažností za tepla než u klasických materiálů, jako např. sklo, dřevo, beton a kovy (Tab. 1). U kombinovaných spojů může tato vlastnost být příčinou vzniku pnutí a následně také deformace nebo porušení spoje. [2]

Tab. 1. Součinitel délkové teplotní roztažnosti plastů a konstrukčních materiálů. [10]

Konstrukční materiál	Firemní název	Součinitel délkové teplotní roztažnosti $\cdot 10^6$ (K ⁻¹)
Anilinformaldehydové hmoty, výlisky	Duranil 230	50 až 60
Epoxidová hmota neplněné odlitky laminát se skleněnou tkaninou	ChSEpoxy 2000 ChSEpoxy 110	60 26
Fenolformaldehydové hmoty výlisky plněné dřevěnou moučkou výlisky plněné minerálním plnivem výlisky s papírovými a textilními odřezky vrstvený tvrzený papír vrstvený tvrzený textil resolová konstrukční hmota plněná grafitem a azbestem	Kartit Textit Faolit	30 až 50 15 až 25 15 až 30 18 až 23 15 20 až 70
Melaminoformaldehydové hmoty výlisky plněné celulosou výlisky plněné azbestem nebo skleněnými vlákny dekorační lamináty	Meladur Umacart D	20 až 50 20 až 30 40
Močovinoformaldehydové hmoty výlisky plněné celulosou		40 až 50
Polyamid	Silon	100 až 120
Polyesterové hmoty laminát z výtuzí ze skleněné tkaniny	ChS Polyester 104	10 až 25
Polyethylen neplněný		180 až 220
Polyformaldehyd	Delrin	80
Polykarbonát	Makrolon	60
Polymethylmetakrylát		70 až 80
Polypropylen		200
Polystyren		80
Polytetrafluorethylen	Teflon	55 až 100
Hliník		5 až 8
Měď		16
Porcelán		4 až 6
Silikátové sklo		5 až 8
Železo		11

2.2 LEPIDLO (ADHEZIVO)

2.2.1 Viskozita lepidla

Viskozita lepidla je funkce obsahu sušiny, polymeračního stupně filmotvorného polymeru, poměru rozpouštědla k teplotě a ředidlu. Čím má lepidlo vyšší viskozitu, tím hůře se nanáší. U reaktivních lepidel (fenolických, močovinových) viskozita stárnutím samovolně vzrůstá. Taková lepidla se doporučují uchovávat v chladu, kdy se docílí ustání polykondenzačních reakcí. Rozpouštědlová lepidla všech druhů se mají skladovat v uzavřených nádobách, aby se vyhnuli odpařování rozpouštědel, a tím i vzrůstu viskozity. [2]

2.2.2 Příklad plniva a změkčovadla

Příklad plniva v lepidle má několik významů. Zejména se jím reguluje viskozita a nepřímo tedy prosakování lepidla do podkladu a výšku filmu lepidla. Plnivo dále slouží k rozvedení vnitřního pnutí lepidla nebo k vyrovnávání fyzikálních vlastností lepidla a lepeného materiálu, např. délkové roztažnosti vlivem tepla a tepelné vodivosti. Určitá plniva se hodí jako nastavovadla, která se odráží na nižší ceně lepidla. K tomuto účelu se využívá různých jak organických tak i anorganických látek např. kaolínu, porcelánové moučky, kysličníku titaničitého, škrobu, mletých kovů, popřípadě i vzduchu, jedná-li se o tzv. šlehané lepicí směsi. Při zahušťování dvousložkových lepidel platí, že plnivo se přidává do lepidla vždy dříve, než přidáme tvrdidlo. Má-li se s plnivem mísit velmi viskózní lepidlo, směs se přechodně rozředí tekavým organickým rozpouštědlem. [2]

Je známo, že nejen tuhost filmu lepidla, ale i jeho adheze k podkladu je ovlivnitelná přídatkem změkčovadla. Používá se akrylfosfátů, ftalátů, glykolů a měkkých pryskyřičných produktů (alkylfenolových a alkydových pryskyřic). [2]

2.2.3 Homogenita lepidla

Homogenita je u lepidel samozřejmým předpokladem pro úspěšné lepení. Lepidla, která obsahují plniva se musí před nanášením dobře promýchat, neboť při dlouhodobém uskladnění dochází k sedimentaci plniva. Podobně v mrazu dochází u lepidel, které obsahují vodu k oddělení pryskyřičných produktů od vodné vrstvy. Zpětná homogenizace takto oddělených vrstev není vždy úspěšná. Úplná homogenita se vyžaduje i při směšování reaktivních lepidel s tvrdidly a jinými pomocnými látkami. [2]

2.2.4 Polymerační stupeň

Vliv polymeračního stupně polymeru obsaženého v daném lepidle bývá do značné míry protichůdný. Se zvyšující se délkou molekuly roste viskozita roztoků, adheze k podkladu se zpravidla snižuje a koheze se zvyšuje, a naopak. S vyšším polymeračním stupněm bývá zpravidla lepší také tepelná odolnost. Makromolekuly s nižším polymeračním stupněm mají lepší difundaci do mikroskopických pórů povrchu. Makromolekuly vyššího polymeračního stupně jsou více vhodné pro vytvoření pevného filmu lepidla. Protože pro správnou funkčnost lepidla ve spáře je nezbytná jak vysoká adheze vůči podkladu, tak i dostatečná koheze, v lepidle musí být zastoupeny ve vyrovnaném poměru vysokomolekulární i nízkomolekulární složky. Z toho důvodu se zlepšují adhezní vlastnosti a elasticita vysokomolekulárních látek přidáním změkčovadel nebo nízkomolekulárních měkkých pryskyřic. Dle dosavadních zkušeností jsou pro lepidla vhodné polymery, které mají polymerační stupeň od 50 do 300. Možnost volby jmenovitého polymeračního stupně je ovšem možná jenom při výrobě lepidel s bázi nereaktivních polymerů. [2]

2.2.5 Obsah rozpouštědla

Rozpouštědla jsou v lepidlech určena jako pomocný prostředek pro usnadnění rovnoměrného nanesení polymeru na lepený povrch. Zvyšují také smáčivost povrchu, což znamená i kontakt lepidla s mikropovrchem hmoty. Rozpouštědlo je nutné z filmu vždy zase odstranit. Lze to třemi způsoby:

- a) předběžným odpařením ve fázi otevřeného sestavení spoje,
- b) vsáknutím do jedné nebo obou lepených ploch a poté následným odpařením,
- c) polymerací, jedná-li se o reaktivní rozpouštědlo (monomer). [2]

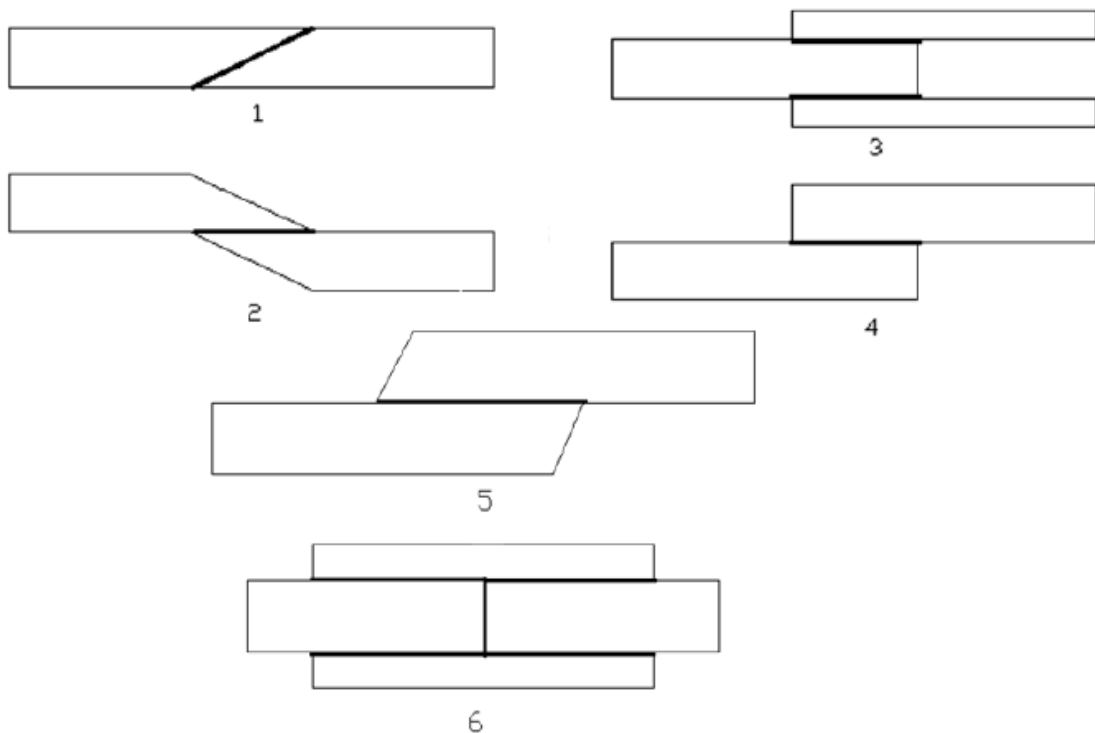
2.2.6 Kyselost a alkalita

Některé typy dvousložkových lepidel se vytvrzují velmi kyselými nebo velmi alkalickými tvrdícími katalyzátory, např. fenolické lepidlo Umacol B kyselinou p-toluensulfonovou. Takové lepidla není možno použít k lepení povrchů, u kterých by potřebnou alkalitu nebo kyselost obsaženého tvrdidla otupovaly. [2]

2.3 TECHNOLOGIE ZPRACOVÁNÍ

2.3.1 Konstrukce lepených spojů

Lepené spoje bývají mechanicky namáhány v tahu, tlaku, v odlupování, ve smyku, v kroucení a v rázové pevnosti. Všem těmto vlivům, ale lepidla dobře neodolávají. Proto je nutná úprava konstrukce, aby byl spoj namáhán co nejméně v kroucení a odlupování, na toto namáhání je totiž většina lepidel velice citlivá. Namáhání se v těchto případech soustřeďuje jen do určitých míst spoje, což má za následek lokální přetížení a také poškození filmu lepidla. Také spoje čelních ploch, u nichž je namáhání převážně v tlaku, tahu nebo v lámání, je možné volit jen v tom případě, mají-li spojované plochy dostatečnou velikost. Optimální hodnoty mechanické pevnosti se zadaných podmínek, lze dosáhnout použitím spojů s umělým zvětšením spáry, především u spojů jednostranně nebo oboustranně přelátovaných, dále pak u spojů čelních ploch tzv. spárou tvaru V, s jednostrannými nebo oboustrannými příložkami a u spojů násuvných. Provedením určitých úprav se zvětší geometrický povrch u dotykových ploch a dosáhneme takového rozvedení sil, že spoj je zatěžován převážně smykem. Z hlediska technologického je při konstrukci lepených spojů nutné dodržovat i to, aby dotykové plochy u lepených materiálů měli co nejmenší členitost a po slepení nevyžadovali dalších úprav. Lepení souboru by se mělo realizovat vždy v jedné operaci, z důvodu časových ztrát, a také aby u předchozího spoje nedocházelo k dodatečnému zatěžování vyšším tlakem a teplotou. Přehled konstrukčních spojů je vyobrazen na obrázku (Obr. 5). [8]



Obr. 5. Přehled konstrukčních řešení lepených spojů. [16]

1 – spoj tupý zkosený, 2- spoj jednoduše přeplátovaný, zkosený, 3- spoj dvojitě přeplátovaný, 4- spoj jednoduše přeplátovaný, 5- spoj jednoduše přeplátovaný, zkosený, 6- čelní spoj se dvěma příložkami.

2.3.2 Úprava spojovaných ploch

Předběžná úprava lepených ploch má tyto účely:

- Obrobením povrchu a odstraněním separačně působících látek dosáhneme přímého a rovnoměrného styku lepidla s lepenou hmotou.
- Fyzikální nebo chemickou aktivací se podle potřeby zlepší adhezní vlastnosti povrchu.
- V zájmu lepší kvality lepeného spoje se někdy slepované materiály předem klimaticky nebo tepelně upravují.
- Oblast v okolí spoje se chrání před znehodnocením nebo poškozením lepidlem. [2]

2.3.3 Nános lepidla

Souvislost, rovnoměrnost a správná tloušťka nános lepidla na jedné nebo obou styčných plochách lepeného spoje jsou prvním krokem pro úspěšné lepení. O tom, bude-li nános jednostranný nebo oboustranný, rozhoduje charakter spoje a druh lepidla. Obecně pak platí, že rozpouštědlová neboli rychle schnoucí lepidla, jejichž tuhnutí postupuje v důsledku difúze nebo odpařování rozpouštědla do podkladu, musí být nanášeno na obě lepené plochy. Reaktivní lepidla, u kterých dochází k tuhnutí v důsledku reakce v celé hmotě zároveň, lze nanášet pouze jednostranně. Nános lepidla musí být dostačující k vytvoření přiměřeného filmu lepidla ve spáře, s lehkým krůpějovým přetokem. U lepidel tekutých s celkovým nánosem v rozmezí od 100 do 300 g/m² lepené plochy. Při zpracovávání lepidel bývá potřeba ještě větší. Na tloušťku filmu jsou některé druhy lepidel velmi citlivé. Močovinná lepidla se po vytvrzení vyznačují značným vnitřním pnutím, je třeba aplikovat relativně nejtenčí nános. Kdežto u lepidel epoxidových má být zachována minimální tloušťka filmu 0,2 mm. Tzv. lepicí folie (teplem aktivovatelná lepidla nanášená na jemném celulózovém nosiči) umožňují dodržení stanovené tloušťky. Možnost dodržení předepsané tloušťky nánosu ovšem závisí i na pórovitosti a kvalitě podkladu. Při jednostranném nánosu se lepidlo obvykle nanáší na ten materiál, který má horší adhezní vlastnosti nebo na méně pórovitou plochu. V případě, že se slepují hmoty velmi pórovité, do kterých lepidlo dobře vsakuje, se musí buď zahustit, nebo opakovat nános. U lepení voštinových konstrukcí se lepidlo většinou na voštinu nanáší. Pokud spojujeme pěnové hmoty s jinou vrstvou, např. s krycí fólií, nanáší se lepidlo dle potřeby buď na pěnu, pokud má být spoj prodyšný, nebo na fólii, chceme-li spoj neprodyšný. Postup je dán druhem spojovaných materiálů, konstrukcí spoje, formou lepidla a počtu spojovaných ploch. V zásadě jsou dvě možnosti: tekutá lepidla lze nanášet ručně, nebo vhodným nanášecím zařízením. [2]

2.3.4 Význam fixace a tlaku

Důležitý úkon před vyvozením tlaku na spoj je fixace vzájemné polohy lepených dílů. Fixace je potřeba, zejména u reaktivních lepidel, v první fázi vytvrzování totiž nejprve zřídnou, takže dílce, které nejsou zajištěny, mohou změnit svou polohu. Důvodem vyvození tlaku na spoj je zejména stejnoměrné rozvrstvení lepidla ve spáře a srovnání menších nerovností povrchu, které by zabraňovali souběžnosti spojovaných ploch.

Tlak působí zásadně kolmo na lepené plochy a musí být přiměřený jak tlakové pevnosti podkladu, tak i viskozitě lepidla. Lepidla, která mají v počáteční fázi reakce tendenci nejprve ztrácet viskozitu, např. lepidla epoxidová, by měla být vystavena jen velmi nízkým tlakům a to v rozmezí od 0,02 až 0,1 MPa.

Postup práce je takový, aby lepidlo při působení tlaku nebylo ze spáry vytlačeno. Krůpějovitě vytékání lepidla, které se nachází po celém obvodu spáry je při správném nánosu nejlepším důkazem toho, že ve spoji došlo k vytvoření rovnoměrně rozloženého adhezního filmu. Tlakem působíme na spoj časově vymezenou dobou, která je potřeba ke ztuhnutí lepidla.

K potřebnému tlaku jsou používány přítlačná válcová zařízení, hydraulické lisy a pneumatické systémy s přítlačnou membránou (pryžovou). [8, 4]

2.3.5 Vliv teploty

Kvalitu nánosu lepidla a časový průběh tuhnutí ve spoji ovlivňuje teplotní režim. V prvním případě je zvýšená teplota výkonným regulátorem viskozity lepidla a prostředkem k urychlenému předsušení nánosu při kontinuálním nanášení rozpouštědlových, popř. disperzních lepidel na fólie a deskové materiály bývá nános předsušen, pokud je nutno, jsou používány vyhřívané tunely a sušárny. Nepřetržitý pás hmoty nebo přířezy rozdělené na požadovaný formát jsou dopraveny po válečkové dráze, popřípadě na pásovém dopravníku s dvěma až třemi teplotními zónami a teplotou odstupňovanou tak, aby se nanosená vrstva lepidla stejnoměrně, ale urychleně předsušila. Na teplotu pro tuhnutí lepidla ve spoji platí, že s teplotou roste rychlost tvrzení termoplastických lepidel přibližně exponenciálně. Kdežto nižší teplota zpomaluje vytvrzování daných lepidel. V praxi rozlišujeme lepení za normální teploty, které je charakterizováno tím, že lepidlo ve spáře tuhne při teplotě v místnosti, lepení za zvýšené teploty, tj. při teplotách v rozmezí 25°C až 100°C a lepení za horka, v případě, že teplota spáry je vyšší než 100°C. Lepidla obsahující termoplastické polymery, za zvýšené teploty nebo za horka měknou, na tomto principu je založena práce s lepidly tavného typu. U lepení za vyšších teplot nemůže být překročena hranice tepelné odolnosti spojovaných materiálů. Zvýšená teplota by také neměla být příčinou vzniku pnutí mezi dvěma materiály, které mají podstatně rozdílnou délkovou roztažnost teplem. Vyšší teplota a tlak jsou aplikovány současně. Pro ohřev se používají vyhřívané etážové lisy, přetlakové parní komory, přítlačná válcová zařízení a jiné. [2]

2.3.6 Podmínky a doba tuhnutí lepidla

Tuhnutí lepidla ve spoji závisí na jeho složení, na pórovitosti lepených ploch a také na teplotě okolí. U reaktivních lepidel vyvolává tuhnutí jejich chemická reakce, zapříčiněná přídavkem tvrdícího katalyzátoru, limitovaného zvýšení tvrdící teploty, účinku vzdušné vlhkosti, popřípadě kombinovaným působením všech těchto faktorů. Reaktivní lepidla mají vyšší reakci při zvýšené teplotě a při zvýšeném obsahu tvrdidla, a naopak. Obsah inaktivních plniv a ředidel zpravidla reakci zpomaluje u teplot pod $+10^{\circ}\text{C}$ se tvrzení reaktivních lepidel dokonce velmi zpomaluje. K tomu bychom měli přihlížet zejména při práci v zimním období. U nereaktivních lepidel, k nimž náleží zejména roztoky a disperze termoplastických polymerů, je tuhnutí lepidla ve spáře podmíněno těmto dvěma faktory:

- a) předběžným odpařením rozpouštědla ve fázi otevřeného sestavení spoje,
- b) vsáknutím zbytku rozpouštědla do pórovitého podkladu.

Tuhnutí disperzních a rozpouštědlových lepidel je možno při dané pórovitosti lepených ploch zkrátit nebo prodloužit jejich smíšením s níž vroucími nebo naopak vysoko vroucími ředidly. Lepidla tavná tuhnou při ochlazení spoje na normální teplotu. Nežádoucí, ale je aby tavné lepidlo tuhlo na nosiči předčasně, a proto se doporučuje předeřívání lepených hmot. [2]

3 VÝBĚR LEPIDLA

V první řadě je nutné si uvědomit, že lepidlo, které by mělo být univerzální a použitelné pro všechny druhy materiálů neexistuje. Určité druhy materiálů slepíme jen po speciální úpravě povrchu, která u individuálních prací bývá obtížná. Při výběru lepidla je důležité znát složení, struktury a propustnosti plynů pro oba lepené díly. Složení určuje druh lepidla z hlediska specifické adheze k oběma povrchům. Podmínkou při výběru lepidla z hlediska jeho složení a způsobu jakým tuhne ve spoji je propustnost plynů a struktura. [3]

3.1 URČENÍ DRUHU LEPENÉHO MATERIÁLU

Poznat na první pohled materiály jako dřevo, kůže, pryž, sklo, tkaniny, porcelán a běžné druhy kovových slitin bývá jednoduché. Složitější případ nastane při určení plastů, které mají velice široký sortiment. [3, 13]

3.1.1 Identifikační zkoušky polymerů

Základní druhy plastů rozeznáváme i bez použití analytických přístrojů. Postačí nám k tomu základní charakteristické vlastnosti, jako je vzhled, hustota, houževnatost nebo chování v plameni. [14]

Polymer dokážeme charakterizovat dle vzhledu. Už dle tvaru výrobku (fólie, vlákna, výlisek) můžeme usuzovat, o jaký polymer se bude pravděpodobně jednat. Také vlastnosti optické a samotný povrch polymerního materiálu, jako je lepivost, drsnost, nám poskytnou důležité informace. [15]

Rychlá a průkazná zkouška k identifikaci druhu polymeru je zkouška plamenem. K přesnému určení o jaký materiál jde je však nezbytně nutné analyzovat čistý polymerní materiál. V opačném případě můžeme očekávat značný vliv přísad, které silně ovlivňují hoření, vývoj sazí, zhasení plamene a také hoření po vyjmutí z plamene. Zkouška probíhá tak, že sledovaný vzorek polymerního materiálu držíme v kleštích těsně nad plamenem. V průběhu zkoušky sledujeme hoření materiálu jak nad plamenem, tak i po jeho vyjmutí. Výsledky pozorování můžeme orientačně porovnat (Tab. 2). Nejsou-li výsledky jednoznačné, máme k dispozici další zkoušky např. houževnatosti, hustoty, či chováním plastu při suché destilaci. [15]

Tab. 2. Zkoušky plastických hmot plamenem. [13]

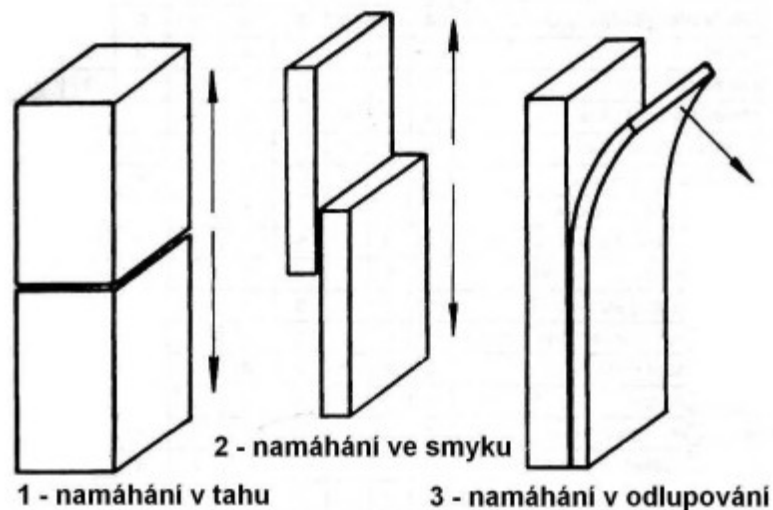
Hmota	Barva, charakter plamene	Zápach dýmu	Průvodní jev	Pravděpodobné báze
hoří i po vyjmutí z plamene	prudké vzplanutí, plamen intenzivně bílý	nahořklý, částečně po kafru	chloupky sazí na okraji příškvarku	celuloid
	žlutě oranžový, svítivý, čadivý	nasládlý, aromatický	tavenina odkapává, vlákno se táhne	PS
	žlutě oranžový, svítivý, čadivý	nasládlý, aromatický, částečně po spálené gumě	příškvár gumovitý, změklý, zduřelý, vlákno se netáhne	ABS
	modrý, prskající, s bílým okrajem	nasládlý, po květinách	tavenina odkapává	PMMA
	modrý, klidný, s bílým okrajem	po taveném vosku	tavenina odkapává, vlákno se trhá	PE
	modrý, klidný, s bílým okrajem	po taveném vosku	tavenina odkapává, vlákno se trhá	PP
	žlutý, čadivý	čpavý, nahořklý, po formalinu a fenolu	netaje, okraje zuhelnatělé, v okolí puchýřky	fenoplast
žlutooranžový s bílým okrajem	žlutooranžový s bílým okrajem	po spálené rohovině	tavenina odkapává, vlákno se táhne	PA
	žlutý se zeleným pásmem u základny, svítivý, klidný	ostře kyselé	zduřelý černý příškvár	PVC
	neklidný, červenooranžový	aromatický	příškvár zduřelý, zuhelnatělý	PC
nehoří vůbec	nehoří	ostrý, nakyslý	hmota se rozkládá	teflon

3.2 VLASTNOSTI SPOJE

Podstatné hledisko při výběru lepidla a technologie lepení jsou vlastnosti lepeného souboru, které požadujeme při jeho použití. Bývají to nároky na mechanickou pevnost, chemickou stálost, tepelnou odolnost, voděvzdornost spoje, odolnost vůči povětrnostním podmínkám, případně další požadavky. Všem nárokům současně není vždy možno vyhovět, a proto je třeba uvážit, které jsou nejdůležitější z hlediska funkce a volit kompromis řešení. [3]

3.2.1 Mechanické vlastnosti

Lepený spoj můžeme zatěžovat buď staticky (tahem, smykem, odlupováním), nebo dynamicky (kroucením, opakovanými rázy, chvěním). Nejmenší odolnost mají lepidla při namáhání v odlupování. Dynamickému namáhání odolávají nejlépe spoje z lepidel epoxidových. [3]



Obr. 6. Namáhání lepeného spoje. [3]

3.2.2 Odolnost vůči vlhkosti

Druhy lepidel jako dextrinová, škrobová, glutinová, lepidla na bázi polyvinylalkoholu akarboxymethylcelulosity voděodolná nejsou. Dobrou odolnost vůči vodě a vlhkosti mají po vytvrzení lepidla polyuretanová epoxidová, fenolická i lepidla samovulkanizující kaučuková. Z oblasti termoplastu se jedná o roztoková lepidla na bázi chlorovaného polyvinylchloridu, polymethylmetakrylátu, polystyrenu. [3]

3.2.3 Odolnost vůči teple

Spoje odolné vůči teple poskytuje mimo silikonových pryskyřic a anorganických pojiv také většina termoreaktivních pryskyřic, především typy vytvrzené za vyšších teplot. Mezi lepidla, která jsou odolná do teploty 100°C, patří lepidla epoxidová, polyuretanová a fenolická. Na zvýšení tepelné odolnosti mají vliv přísady kovových prášků a minerálních plniv. [3]

4 LEPIDLA

4.1 HLAVNÍ SLOŽKY LEPIDLA

Rozlišujeme tyto základní složky, ze kterých se lepidlo skládá:

1. *Adhezivní základ*. Je to látka, která má dodat lepidlu a zhotovenému spoji určité požadované vlastnosti, zejména pevnost a odolnost.
2. *Nosné medium*. Podle formy lepidla to může být rozpouštědlo, fólie, papír, nebo vlákno. Úlohou je zabezpečovat určitou konzistenci lepidla.
3. *Katalyzátory a tvrdidla*. Jejich funkcí je zabezpečit vytvrzovací reakci. Nemusí být zastoupeny v každém lepidle.
4. *Urychlovače, inhibitory, retardéry*. Jsou to látky, které kontrolují vytvrzovací proces. Urychlovač urychluje vytvrzovací reakci, naopak inhibitor ji zpomaluje.
5. *Modifikátory*. Zařazujeme zde přísady, které mění technologické vlastnosti, použití, nebo výsledné vlastnosti spoje. Patří sem plniva, nadouvadla, ředidla, stabilizátory aj. [12]

4.2 ČLENĚNÍ LEPIDEL

Lepidla tvoří rozsáhlou a chemicky velmi různorodou skupinu. To se také výrazně projevuje ve způsobu jejich třídění do jednotlivých kategorií. Dělí se podle několika hledisek, žádné z nich však nevystihuje úplně přesně jejich povahu. Nové typy lepidel ze syntetických pryskyřic umožnily nová uplatnění a vynutili si současně nové klasifikace. Kromě nejstarších dělení lepidel podle účelu, původu fyzikálního stavu a způsobu zpracování zařazují se lepidla do jednotlivých skupin podle způsobu dosažení pevnosti, spoje, chemického složení, obsahu rozpouštědel, koncentrace vodíkových iontů atd. [9]

4.2.1 Dle konzistence

Tab. 3. Rozdělení lepidel dle konzistence. [2]

Tuhá lepidla	Polotuhá lepidla	Tekutá lepidla
- Lepicí folie - Lepidla v prášku a v granulích	- Lepicí pásy - Lepicí pasty	- Lepicí pásy - Lepicí pasty - Lepivé tmely - Lepidla v roztoku - Disperzní lepidla

4.2.2 Dle původu

Největší vliv na vlastnosti lepidla, na možnosti použití a na způsob zpracování mají výchozí suroviny, z nichž je lepidlo vyrobeno. Dělení lepidel do jednotlivých skupin podle původu vystihuje jejich charakter nejlépe, a proto je zatím nejrozšířenější. Podle původu dělíme lepidla na přírodní a syntetická.

Přírodní lepidla dělíme na lepidla:

a) Rostlinná (mouky, škroby, dextriny, pektiny, algináty, přírodní pryskyřice, přírodní kaučuk, rostlinné slizy a gumy), která se uplatňují v mnoha oborech pro snadnou dostupnost, dobrou zpracovatelnost a cenu. Často se kombinují se syntetickými pryskyřicemi a deriváty celulosy rozpustnými ve vodě. Dává se jim přednost zejména v papírenském průmyslu, textilnictví a při spojování povrchů, které nejsou vystaveny účinkům vody. [9]

b) Živočišná (klihy glutinové, kaseinové, albuminové a rybí), která se uplatňují při výrobě gumovaných papírů, lepicích pásek, jako pojiva při výrobě smirkových, skelných a velurových papírů, v knihařství a papírenství. Ve formě nejčistší želatiny se používají při práci s dřevem a ve fotografickém průmyslu. [9]

Syntetická lepidla dělíme na lepidla:

a) Termoreaktivní (epoxidová, polyesterová) vytvrzují se teplem. Zahřátím dochází, většinou za spolupůsobení katalyzátorů, k chemické reakci, při níž vznikne makromolekulární látka, která má jednotlivé řetězce makromolekul prostorově svázané. Termoreaktivní neboli termosetická lepidla ztvrdnou a jsou nerozpustná. [9]

b) *Termoplastická* (akrylátová, vinylická, polyamidová) u kterých nedochází působení tepla k chemické reakci, nýbrž pouze ke změně fyzikálních vlastností. Termoplasty zahřátím změknou a stávají se tvárnými. [9]

c) *Polosyntetická* (lepidla na bázi derivátů celulosy), při jejichž výrobě se vychází z přírodních polymerů (celulosy, kaučuku). Před vypracováním syntetických lepidel byla polosyntetická lepidla důležitou základnou pro výrobu lepidel přírodních. Chemickým zásahem (esterifikací, cyklizací) se upravují jejich vlastnosti a vznikají lepidla mnohdy vynikajících kvalit. [9]

4.2.3 Dle způsobu dosažení pevnosti spoje

Při zpracování lepidla je velmi důležité, jak se dosáhne pevnosti spoje. V podstatě jde o to, jakým způsobem se lepidlo ve formě solu převede v gel.

Známe tyto způsoby:

- a) *vysušením* – odpařením vody nebo organického rozpouštědla,
- b) *aktivováním rozpouštědlem* – některá lepidla po zaschnutí nelepí, proto se suchý nátěr lepidla zvlhčí, neboli aktivuje rozpouštědlem,
- c) *teplotou* – ochlazením, nebo naopak zvýšením teploty,
- d) *tlakem* – některá lepidla jsou po zaschnutí citlivá na tlak a materiály s jejich nánosem mohou být spojeny přitlačením,
- e) *chemicky* – pomocí katalyzátorů, iniciací teplem, světlem, jejich kombinací. [9]

4.2.4 Dle teploty zpracování

Rozdělujeme lepidla tuhnoucí:

- a) *za tepla*, které vytvrdnou díky chemické reakci při pokojové teplotě a doba tvrzení je podle druhu lepidla od 5 sekund až do několika dní,
- b) *za studena*, které vytvrdnou při zahřátí na 150 °C až 250 °C během 5 minut až několika hodin. [11]

4.2.5 Dle chemické reakce lepidla

Podle chemické reakce lepidla rozdělujeme lepidla na kyselá (kostní klíž), zásaditá (rostlinný klíž) a neutrální.

Některá lepidla mají největší lepivost v určitém prostředí (kyselém, zásaditém nebo neutrálním). Zejména materiály světlých odstínů je výhodné spojovat neutrálními lepidly, aby nedošlo k reakci s podkladem nebo ke změně barvy. [9]

5 ROZDÍLY LEPENÍ PC, PVC, PE

5.1 LEPENÍ PC

Polykarbonáty patří mezi dobře lepitelné adherendy. Velmi dobře se uplatňuje lepení rozpouštědly a roztoky (koncentrace 10 až 15 %) polykarbonátu v rozpouštědlech (chloroform, dioxan, tetrachlorethan atd.). Vhodná jsou i kyanoakrylátová lepidla a lepidla na bázi polyuretanů. [1]

Tab. 4. Pevnost a lámavost lepeného spoje PC. [1]

Adherendy	Pevnost ve smyku (MPa) ČSN 66 8510, tl. vz. 4 mm					Lámavost (N/vzorek) ČSN 66 8511, tl. Vz. 4 mm					Rázová pevnost (J cm ⁻²) ČSN 66 8512				
	KÖ Kleber M 225	Vukoplast D 418	Agomet A+B	ChSEpoxy 110 + D 190	ChS polyester 104	KÖ Kleber M 225	Vukoplast D 418	Agomet A+B	ChSEpoxy 110 + D 190	ChS polyester 104	KÖ Kleber M 225	Vukoplast D 418	Agomet A+B	ChSEpoxy 110 + D 190	ChS polyester 104
PC - PC	7,26	7,04	7,42	3,90	3,80	518	436	457	209	156	2,08	3,20	2,56	0,27	0,43
PC - ocel	11,2	10,0	12,6	5,90	6,85	299	374	240	231	150	0,08	1,39	0,14	0,14	0,14
PC - litina	12,6	8,70	11,3	5,80	7,40	312	362	231	218	150	1,21	0,78	0,18	0,21	0,12
PC - hliník	10,6	8,10	9,60	5,80	6,80	320	405	250	268	290	1,13	0,60	0,10	0,17	0,11
PC - nerezavějící ocel	14,0	10,6	10,6	6,30	9,00	281	405	250	231	300	1,15	0,97	0,12	0,16	0,11
PC - bronz	13,4	9,00	12,0	6,10	6,20	312	374	209	231	312	1,58	2,24	0,48	0,49	0,19
PC - měď	13,6	7,50	11,6	7,30	6,40	290	405	209	250	169	1,50	0,88	0,15	0,15	0,15
PC - mosaz	10,1	8,60	9,28	6,00	6,00	499	343	312	312	181	1,07	0,54	0,21	0,16	0,12
PC - dural	12,7	7,08	8,70	6,70	6,80	312	343	250	250	250	0,41	1,08	0,22	0,21	0,13

5.1.1 Předběžná úprava

Plochy určené k lepení je třeba lehce obrousit a odmastit ethylalkoholem nebo benzínem. Výlisky a výrobky mechanicky obráběné a tvarované se doporučuje před lepením temperovat za zvýšené teploty, aby se předešlo pozdějšímu vzniku jemných trhlinek na okrajích spáry. [1]

5.2 LEPENÍ PVC

Nejpoužívanějšími lepidly k lepení neměkčeného PVC jsou roztoky chlorovaného polyvinylchloridu. Často se používají i roztoky kopolymeru vinylchlorid – vinylacetát. K lepení se používají i lepidla na bázi polymerních esterů kyseliny akrylové a metakrylové. [1]

Tab. 5. Pevnost a lámavost lepeného spoje neměkčeného PVC. [1]

Adherendy	Pevnost ve smyku (MPa) ČSN 66 8510, tl. vz. 4 mm					Lámavost (N/vzorek) ČSN 66 8511, tl. Vz. 4 mm					Rázová pevnost (J cm ⁻²) ČSN 66 8512				
	KÖ KleberM 225	VukoplastD 418	Agomet A+B	N 2 - E	C 1 PVC - E	KÖ KleberM 225	VukoplastD 418	Agomet A+B	N 2 - E	C 1 PVC - E	KÖ KleberM 225	VukoplastD 418	Agomet A+B	N 2 - E	C 1 PVC - E
PVC - PVC	6,72	11,5	7,70	4,61	7,99	393	653	521	287	406	0,53	0,96	0,32	0,96	0,29
PVC - ocel	13,4	10,8	18,4	5,86	12,7	380	415	499	218	309	0,37	0,88	0,27	0,19	0,14
PVC - litina	13,2	10,5	13,6	5,84	12,1	353	415	434	234	274	0,48	0,76	0,37	0,35	0,11
PVC - hliník	11,6	9,38	11,1	6,53	9,48	430	371	544	262	277	0,76	0,65	0,72	0,7	0,11
PVC - nerezavějící ocel	14	11,2	16,4	5,88	11,2	393	499	506	228	287	0,29	1,15	0,32	0,46	0,11
PVC - bronz	13,3	10,1	15,6	7,00	12,1	365	465	547	281	350					
PVC - měď	14,9	11,5	15,5	6,17	10,8	406	514	600	265	268	0,37	0,44	0,16	0,56	0,13
PVC - mosaz	12,2	7,89	14,9	6,44	12,1	318	502	555	218	224	0,50	0,92	0,38	0,37	0,10
PVC - dural	10,3	10,1	17,4	6,78	8,87	349	384	528	262	234	0,46	0,75	0,13	1,47	0,21

K lepení měkčeného PVC se používají lepidla na bázi chlorovaného polyvinylchloridu, polyuretanů, polymerních esterů kyseliny akrylové a metakrylové, polychloroprenu, polyvinylacetátu apod. [1]

5.2.1 Předběžná úprava

Neměkčené PVC se odmastí trichlorethylenem a pak se otryská nebo smirkuje plátnem o zrnitosti 100 až 200. Potom se díly znovu odmastí. U měkčeného PVC postačí odmaštění methylethylketonem. [1]

5.3 LEPENÍ PE

Lepení PE bez předběžné úpravy povrchu dává jen velmi malou pevnost. Používá se většinou jen při uzavírání obalů a při nalepování etiket. Pro lepení neupraveného PE se využívají roztoková lepidla na bázi kaučuku, citlivá na tlak. [1]

Pro lepení povrchově upraveného PE se využívají lepidla reaktivní, popř. taveninová. Požadavku odpovídají např. epoxidová lepidla s aminoamidovým tvrdidlem. [1]

5.3.1 Předběžná úprava

Spolehlivých výsledků lze při lepení PE dosáhnout po předběžné chemické, elektrofyzikální, popř. radiační úpravě povrchu zaměřené na zvýšení jeho polariry. Dále lze lepitelnou PE zlepšit zvýšením obsahu polárních plniv. [1]

6 KVALITA LEPENÉHO SPOJE

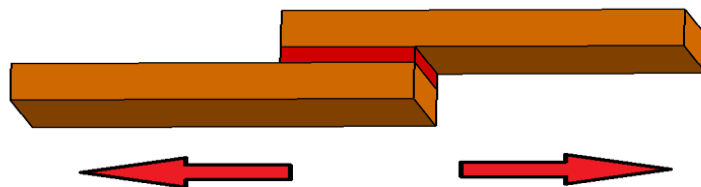
6.1 METODY DESTRUKTIVNÍ

6.1.1 Pevnost lepených spojů v tahu

Provádí se na normalizovaných válcových tělesech o průměru 25 mm a výšce 10 mm. Spoj se v trhacím stroji podrobí namáhání vtahu a přitom se měří potřebná síla k roztržení vzorku. [8]

6.1.2 Pevnost lepených spojů ve smyku

Běžné jsou lepené spoje přeplátované, trubkové nebo násuvné, u nichž se zkouší hlavně pevnost ve smyku. Pevnost lepených spojů ve smyku při zatěžování v tahu. Zkouška spočívá v namáhání přeplátovaného spoje statickým tahem ve směru podélné osy do porušení vzorku. Při zatížení může podle druhu materiálu zkušebního tělesa dojít k vychýlení neb deformaci roviny lepeného spoje. Například při hodnocení pevnosti spoje u plastů se zkušební těleso protahuje a spoj se vychyluje z osy namáhání. Při různých modulech pružnosti filmu lepidla a plastických hmot pak vzniká nerovnoměrné rozložení sil ve spoji a neměřené hodnoty pevnosti jsou zkreslené. Zjištěné hodnoty nelze proto v těchto případech považovat za čistou pevnost ve smyku, i když je tak uváděna. Proto byly pro zkoušení spojů plastů navrženy různé úpravy, které mají zajistit působení smykové síly ve směru osy lepeného spoje. Zkouška podle normy je vhodná především pro kovy, u nichž nedochází během zkoušky k větší deformaci. [8]

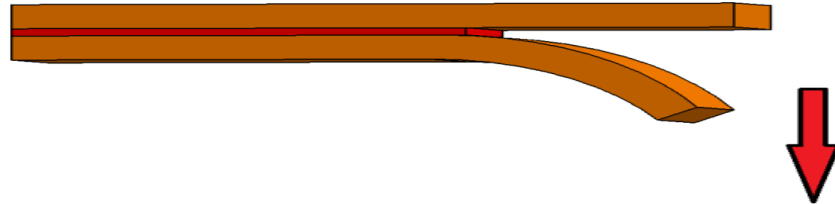


Obr. 7. Vzorek pro zkoušky ve smyk. [10]

6.1.3 Pevnost lepených spojů v odlupování

Tato zkouška se provádí, je-li alespoň jeden ze spojovaných materiálů ohebný. Podle tuhosti spojovaných materiálů se určí úhel odlupování, u polotuhých materiálů je menší než

90°. Pevnost lepených spojů v odlupování se běžně zkouší např. u kaučukových roztokových lepidel nebo disperzních lepidel určených k lepení ohebných materiálů na ohebné i neohebné podklady. [8]



Obr. 8. Vzorek pro zkoušky pevnosti v odlupování. [10]

6.1.4 Pevnost lepených spojů při namáhání rázem

Rázová pevnost spojů je nejmenší síla potřebná k porušení zkušebního vzorku rázem. Při zkouškách je lepený spoj namáhán ve smyku rázovým tlakem ve směru podélné osy. Zkouška se provádí na kyvadlovém stroji. [8]

6.1.5 Zkouška lámavosti lepených spojů

Spoj je namáhán statickým tlakem kolmo na podélnou osu a plochu spoje do porušení zkušebního tělesa. Zkouška se doporučuje především pro hodnocení spojů tvrdých materiálů, např. pro kombinaci kovů s plastickými hmotami. [8]

6.1.6 Zkouška trvalé pevnosti a stárnutí

Umožňuje zjistit chování lepených spojů při trvalém používání. V praxi je spoj podroben nejen dlouhodobému namáhání, ale někdy také vlivům teploty, vlhkosti, povětrnosti, prostředí apod., jež jsou příčinou jeho stárnutí. Změny vlastností lepených spojů způsoben uvedenými vlivy se hodnotí na vzorcích podrobených stárnutí. Skutečný obraz o jeho průběhu může ovšem přinést jen dlouhodobý vliv daných podmínek. Časově náročný průběh zkoušky přirozeného stárnutí se v praxi nahrazuje zkušebními cykly, za nichž je spoj vystaven střídavému působení vroucí vody, proudění suchého vzduchu apod. Výsledky těchto zkoušek mohou mít pouze orientační charakter. [8]

6.2 METODY NEDESTRUKTIVNÍ

Jednotlivé metody nedestruktivní defektoskopie umožňují ověřit jakost lepených výrobků, aniž by byly poškozeny. Nelze jimi však měřit pevnost spoje. Naproti tomu dovolují odhalit skryté vady spojů, např. neslepená místa, trhliny a puchýře. Rozlišujeme tyto typy nedestruktivních metod:

6.2.1 Ultrazvuková defektoskopie

Zkoušený celek se umístí mezi ultrazvukový generátor a přijímač ultrazvukových vln, a tak se zjistí místa s vadným slepením. [8]

6.2.2 Optická zkušební metoda

Spočívají v prosvětlení tenkých lepených celků intenzivními světelnými zdroji nebo u tlustších souborů rentgenovými paprsky. [8]

6.2.3 Akustická defektoskopie

Těleso vydává po rozkmitání v místech vadného spoje zvuk jiné amplitudy, jiné vlnové délky a zvukového spektra, než v místech kvalitního spoje. [8]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

7 CÍL BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Cílem mé bakalářské práce bylo porovnat pevnost lepených spojů u různých typů materiálu PC, za použití kyanoakrylátových sekundových lepidel Cyberbond 2028, Cyberbond 5008, dvousložkového epoxidového lepidla Cyberbond E 705 a dvousložkového methakrylátového lepidla Plexus MA310. Pevnost lepených spojů jsme porovnávali u materiálu s povrchem ošetřeným beta zářením, Primerem Cyberbond 9050 a bez povrchové úpravy.

Zásady pro vypracování bakalářské práce byly tyto:

1. Vypracování literární studie na dané téma.
2. Provedení přípravy vzorků.
3. Provedení měření pevnosti lepených spojů.
4. Vyhodnocení výsledků měření.

8 ZVOLENÍ MATERIÁLU A LEPIDEL

8.1 MATERIÁL PC MACROLON – AL2447, AL2647

8.1.1 Zpracování polykarbonátu

Polykarbonát je vyráběn ve formě granulí nebo pelet, které se dále zpracovávají za použití tepla a tlaku do požadovaného tvaru. Nejběžnějšími metodami zpracování jsou vytlačování (extruze) a vstřikování. [18]

8.1.2 Použití polykarbonátu

Světová spotřeba polykarbonátu je asi 3 milióny tun ročně a každoročně roste zhruba o 10 %, především díky vývoji nových typů PC a novým aplikacím. PC je kompatibilní s řadou dalších polymerů. Běžně se PC modifikuje pryží, která ještě zvyšuje nárazovou houževnatost materiálu. Směs PC/PBT zlepšuje mechanické vlastnosti materiálu při nízkých teplotách a zlepšuje odolnost vůči povětrnostním vlivům. Unikátní vlastnosti polykarbonátu a jeho kompatibilita s jinými polymery umožňují jeho široké použití v řadě odvětví. Největší množství PC se spotřebuje ve stavebnictví pro veškeré ploché i obloukové zasklívání. [18]

8.1.3 Vlastnosti

- Odolnost proti degradujícímu vlivu přímého slunečního záření.
- Značná odolnost proti nárazům.
- Stabilita fyzikálních a mechanických vlastností v širokém teplotním rozmezí (-40 až 115°C).
- Vynikající tepelně izolační vlastnosti.
- Protihluková izolace.
- Nízká hmotnost – umožnění výrazného odlehčení konstrukcí.
- Možnost ohýbání zastudena.
- Velmi dobrá propustnost světla.

- Jednoduchá opracovatelnost. [19]

Tab. 6. Fyzikální vlastnosti PC MAKROLON. [20]

Materiál	AL2447	AL2647
Hustota [g/cm³]	1,20	1,20
Prodloužení při přetržení [%]	>50	110
Pevnost v tahu [MPa]	66	63
Prodloužení při tahu [%]	6	6
Navlhavost [%]	0,30	0,35

8.2 LEPIDLA

Pro lepení vybraných typů PC byly vybrány dva druhy sekundových kyanoakrylátových lepidel, jeden druh dvousložkového epoxidového lepidla od firmy Cyberbond a jeden druh dvousložkového methakrylátového lepidla od firmy Plexus.

Kyanoakrylátová sekundová lepidla

Kyanoakrylátová sekundová lepidla jsou známá také jako super lepidla. Jedná se o rychle vytvrzující jednosložková lepidla. Mají široké využití jak v průmyslové výrobě, tak i v domácnostech. 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 nebo mechanické namáhání všeobecně. [21]

Methakrylátová dvousložková lepidla

Lepidla vícesložková reaktivní jsou většinou založena na tvrditelných pryskyřicích. Dvousložková methakrylátová lepidla svým složením a vlastnostmi do tohoto celku nezapadají. Při jejich zpracování totiž nedochází k vytvrzení pryskyřice, ale k polymeraci monomeru použitého jako rozpouštědlo. Dvousložková methakrylátová lepidla jsou založena na kombinaci jemného perlového polymeru a monomerního methylmethakrylátu. [3]

Epoxidová lepidla

Epoxidová lepidla mají všeobecně po svém vytvrzení vynikající odolnost lepeného spoje ve vlhku, při mechanickém namáhání i při vysokých či naopak nízkých teplotách. Proto nacházejí své uplatnění v celé řadě výrobků, kde se jeví technologie lepení jako nejvýhodnější. Jsou vhodná pro lepení mnoha materiálů, vzájemně se odlišují různým časem zpracovatelnosti, dobou vytvrzování, pevností ve smyku nebo teplotní odolností. Je možné s nimi lepit dřevo, sklolaminát, kovy a v neposlední řadě i plasty. [22]

8.2.1 CYBERBOND E705

Velmi rychle tvrdnoucí dvousložkové epoxidové lepidlo pro lepení většiny ploch plastů, kovů, skla, keramiky, dřeva a některých gum. [21]

Tab. 7. Vlastnosti Cyberbond E705. [21]

Základ lepidla	Epoxid
Barva po smíšení	Slámové žluté
Hustota při 20°C [g/cm³]	1,2
Doba zpracování [min]	15
Konečné vytvrzení po [hod]	3-6



Obr. 9. Cyberbond E705. [21]

8.2.2 CYBERBOND 5008

Kyanoakrylátové lepidlo s nízkou úrovní zápachu, odolné proti vnějším vlivům, u kterého po vytvrzení nevzniká žbelení. [21]

Tab. 8. Vlastnosti Cyberbond 5008. [21]

Základ lepidla	Alkoxyester
Barva	Bezbarvé/čiré
Hustota při 20°C [g/cm³]	1,07
Manipulační pevnost pro plast (ABS) [s]	14 - 17
Bod vzplanutí [°C]	120



Obr. 10. Cyberbond 5008. [21]

8.2.3 CYBERBOND 2028

Kyanoakrylátové lepidlo vhodné pro porézní pryže a plasty. Nestéká jako řídké typy, vyplní nerovnosti materiálu. Povrch lepených ploch u PP, PE a teflonu je nutné před lepením aktivovat. [21]

Tab. 9. Vlastnosti Cyberbond 2028. [21]

Základ lepidla	Etylester
Barva	Bezbarvé/čiré
Hustota při 20°C [g/cm³]	1,05
Manipulační pevnost pro plast (ABS) [s]	2 - 4
Bod vzplanutí [°C]	85



Obr. 11. Cyberbond 2028. [21]

8.2.4 PLEXUS MA310

Dvousložkové methakrylátové lepidlo pro strukturální lepení termoplastů, kovů a kompozitů. Zvláště dobře se hodí pro lepení termoplastických materiálů. Kombinuje vysokou pevnost a tuhost se schopností přilnout k obtížně lepitelným materiálům. Doporučen pro lepení ABS, akrylových hmot, epoxidů, skelných vláken, PVC, polyesterů a esterů vinylů. [23]

Tab. 10. Vlastnosti Plexus MA310. [23]

Základ lepidla	Lepidlo	Aktivátor
Barva	Bělavá	Žlutá
Hustota při 20°C [g/cm ³]	1,03	0,97
Doba zpracování [min]	15 - 18	
Doba fixace [min]	30 - 35	

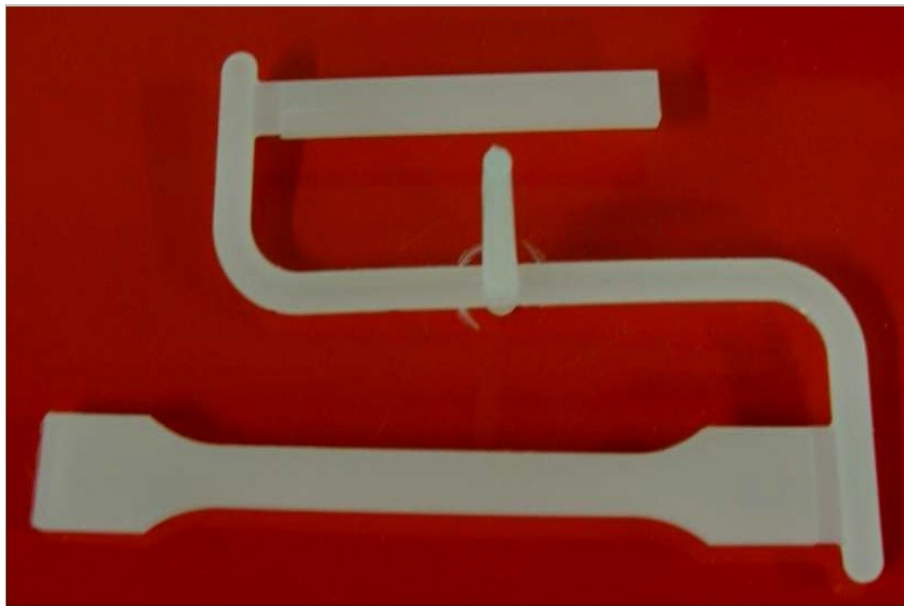


Obr. 12. Plexus MA310.

9 VÝROBA, ÚPRAVA A PŘÍPRAVA ZKUŠEBNÍCH VZORKŮ

9.1 VÝROBA ZKUŠEBNÍCH VZORKŮ

Zkušební vzorky spolu s obdélníkovými pásky byly zhotoveny z PC na vstřikovacím stroji Arburg 420C Advanced (Obr. 13). Zkušební vzorek má rozměry a tvar dle normy ČSN EN ISO 527-2. Obdélníkové pásky mají rozměr 80x10x4 mm.



Obr. 13. Zkušební vzorek i s vtokovým zbytkem.

9.1.1 Vstřikovací stroj Arburg 420C Advanced

U vstřikovacího stroje Arburg 420 C Advanced (Obr. 14) 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 vstřikování.

Modulární koncepce umožňuje velké množství různých, individuálně konfigurovatelných kombinací. Řídicí systém, hydraulika, rozměry upínacích desek, uzavírací síly i vstřikovací jednotky jsou k dispozici ve formě modulů v montážních stupních, vyhovujících požadavkům praxe. [1]



Obr. 14. Vstřikovací stroj Arburg 420 C Advanced. [1]

Tab. 11. Technická data Arburg 420 C Advanced. [1]

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

9.2 ÚPRAVA ZKUŠEBNÍCH VZORKŮ

Určitý počet zkušebních vzorků obou typů polymerů byl zaslán na ozáření do Německé firmy BGS Beta-Gama-Service GmbH & Co. KG. Vzorky byly ozářeny beta zářením o dávkách 33, 66, 99, 132, 165, 198 kGy. Na zbývající části zkušebních vzorků byl použit aktivátor povrchu Primer Cyberbond 9056.

9.2.1 Radiační síťování

Je takový proces, při kterém dochází ke spojení vazeb pomocí chemické reakce navzájem reagujících volných radikálů (rozpad vazeb C-H), které se uvolňují, jakmile materiál ab-

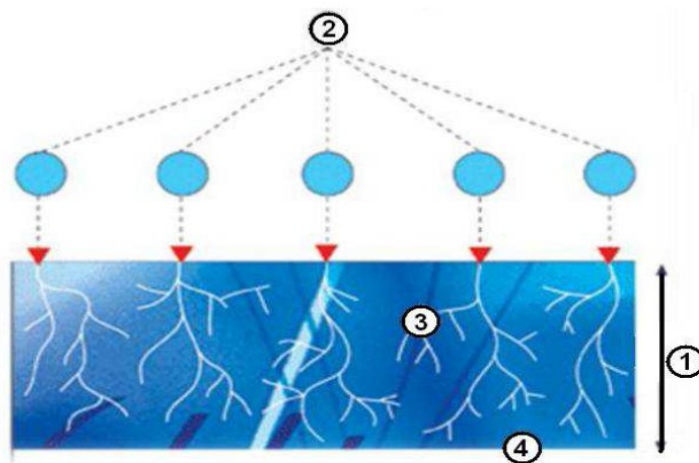
sorbuje určité množství energie na jednotku hmoty získanou z ionizačního záření. Vznik sítě je zapříčiněn postupným spojováním dvou volných radikálů mezi navzájem sousedními řetězci při vzniku vazeb C-C.

Průběh radiačního síťování nastává za pokojové teploty bez použití dalších přísad kromě síťovacího činidla. Jestli bychom jej u některých polymerů nepřidali, polymer by nezesít'oval, ale naopak by zdegradoval a tím by ztratil své tepelné i mechanické vlastnosti. Používá se beta nebo gama záření.

Radiačním síťováním dochází ke změnám a hlavně ke zlepšení vlastností jako je tažnost a pružnost při dlouhém mechanickém a tepelném zatížení. Termoplasty mají za určitých teplot vlastnosti jako elastomery. To se projevuje hlavně nad teplotou tání a tím může termoplast odolávat vyšším teplotám než běžný neozářený termoplastický díl. [24]

Sít'ování pomocí beta záření

Probíhá v zařízeních s urychlovači elektronů. Žhavicí katoda emitující elektrony, které jsou urychlovány pomocí elektromagnetického pole. Rychlost elektronů závisí na střídavém napětí mezi žhavicí anodou a katodou. Pracuje se zde s vysokou intenzitou dávek ozáření, ale s omezením hloubky vniknutí v závislosti na energii (Obr. 15). Elektronové beta záření bývá využíváno pro síťování většiny polymerů z důvodu vysokých dávek záření, které bývají v urychlovačích dodány během několika málo sekund. [24]



Obr. 15. Elektronové záření beta. [24]

1- hloubka vniknutí elektronů, 2 – primární elektrony,

3 – sekundární elektrony, 4 – ozářený materiál

9.2.2 Primer Cyberbond 9050

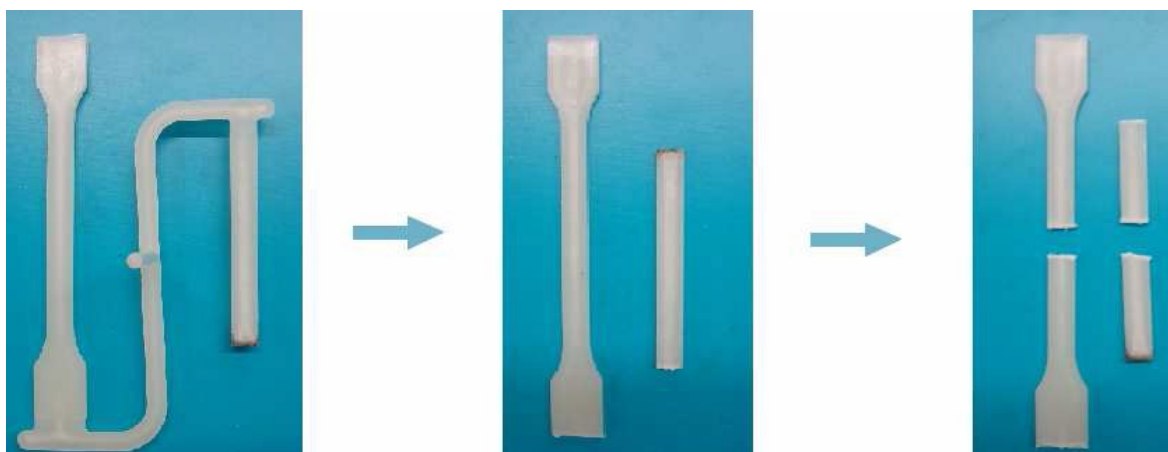
Primer Cyberbond 9050 Vám umožní spojit nepolární materiály, jako např. polyetylen (PE), polypropylen (PP), polyoximetylen (POM), jakož i moderní termoplastické elastome-ry (TPE) pomocí kyanoakrylátového lepidla Cyberbond. Cyberbond 9050 mění povrchové napětí.

Výhody jsou tyto: vysokopevnostní spojení materiálů, které nemohly být dříve spojeny, rychlý a snadno použitelný způsob podpory spojení, velká flexibilita volených materiálů. Cyberbond 9050 se natře na příslušné spojované části. Po odpaření může ihned začít apli-kace kyanoakrylátového lepidla Cyberbond. Součásti mohou být také přechodně uskladně-ny po dobu 24 hodin. [21]

9.3 PŘÍPRAVA ZKUŠEBNÍCH VZORKŮ

9.3.1 Nastříhání vzorků a příprava lepidla

Vzorky i plátovací obdélníčky jsme si nastříhali na pákových nůžkách v půlce jejich délky (Obr. 17).



Obr. 16. Rozstřížení zkušební vzorku.

Při aplikování dvousložkového methakrylátového lepidla jsme použili vytlačovací pistol (Obr. 18) a statický mixér (Obr. 19) ke smíchání obou složek z jednotlivých tub lepidla.



Obr. 17. Vytlačovací pistole.



Obr. 18. Statický mixér.

9.3.2 Použití přípravku pro lepení

Pro maximální přesnost a kvalitu lepených spojů jsme k lepení používali speciálně přizpůsobené přípravky. Přípravky byly vyrobeny pro 5 kusů lepených zkušebních vzorků a rozlišovali se hloubkou vyfrézovaného profilu dle strany, kterou chceme lepit. Zkušební vzorky byly z hlediska dostatečné pevnosti lepeny čelním spojem s dvěma příložkami.



Obr. 19. Přípravky pro lepení.

10 VYHODNOCENÍ PEVNOSTI LEPENÝCH SPOJŮ

Pevnost lepených spojů na zkušebních vzorcích byla zjišťována tahovou zkouškou na univerzálním zkušebním stroji Zwick 1456 (Obr. 21), jehož součástí je software Test Expert, pomocí kterého byly vyhodnoceny naměřené hodnoty.



Obr. 20. Univerzální zkušební stroj Zwick 1456.

Tab. 12. Technické údaje.

Maximální posuv příčnicku [mm/min]	800
Snímač síly [kN]	2,5 a 20
Teplotní komora [°C]	-80 / +250
Test Expert software	Tah/Ohyb/Tlak

Zkušební vzorky byly nejprve upnuty do čelistí trhacího stroje, poté byly zatěžovány jednoosým tahem při teplotě okolí (23°C). Dále jsme naměřené hodnoty přenesli do tabulek a stanovili jsme aritmetický průměr (Rov. 1) a střední kvadratickou chybu (Rov. 2). Nakonec jsme hodnoty přenesly do grafu.

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n} \quad (1)$$

$$\delta = \frac{\sqrt{\frac{\sum x^2 - \frac{1}{n}(\sum x)^2}{n}}}{\sqrt{n}} \quad (2)$$

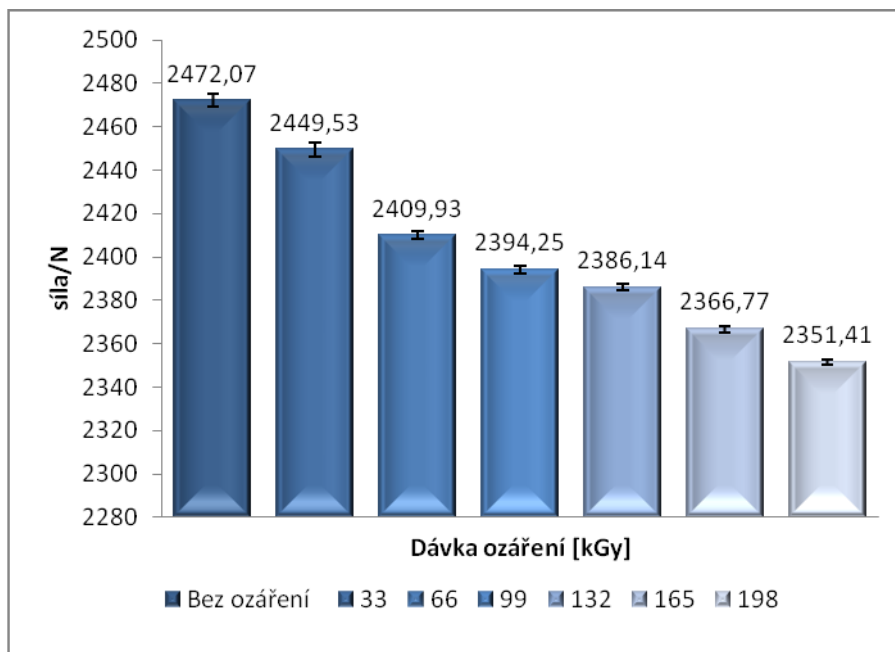
10.1 Tahová zkouška materiálu PC MACROLON – AL2447

10.1.1 Základní materiál (nerozstříhaný)

Při testování nerozstříhaných tělísek bylo zjištěno, že největší pevnost má tělísko bez ozáření. Čím větší byla dávka ozáření, tím se snižovala pevnost zkoušeného materiálu. Pokles pevnosti v tahu byl u tělísky s dávkou ozáření 198 kGy asi o 5% nižší, než u materiálu bez ozáření (Tab. 13, Obr. 22).

Tab. 13. Velikost maximální zatěžující síly u základního vzorku.

PC MACROLON AL-2447							
číslo měření	Dávka ozáření						
	Bez ozáření 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	2475,55	2447,82	2405,20	2396,24	2384,74	2368,81	2355,04
2	2465,12	2453,49	2411,90	2391,30	2381,60	2361,60	2350,60
3	2481,19	2459,43	2407,56	2398,65	2389,23	2365,74	2353,20
4	2466,50	2445,76	2415,11	2389,40	2385,61	2371,10	2349,55
5	2471,98	2441,14	2409,90	2395,66	2389,50	2366,60	2348,65
\bar{x}	2472,07	2449,53	2409,93	2394,25	2386,14	2366,77	2351,41
δ	2,95	3,17	1,71	1,70	1,48	1,59	1,19



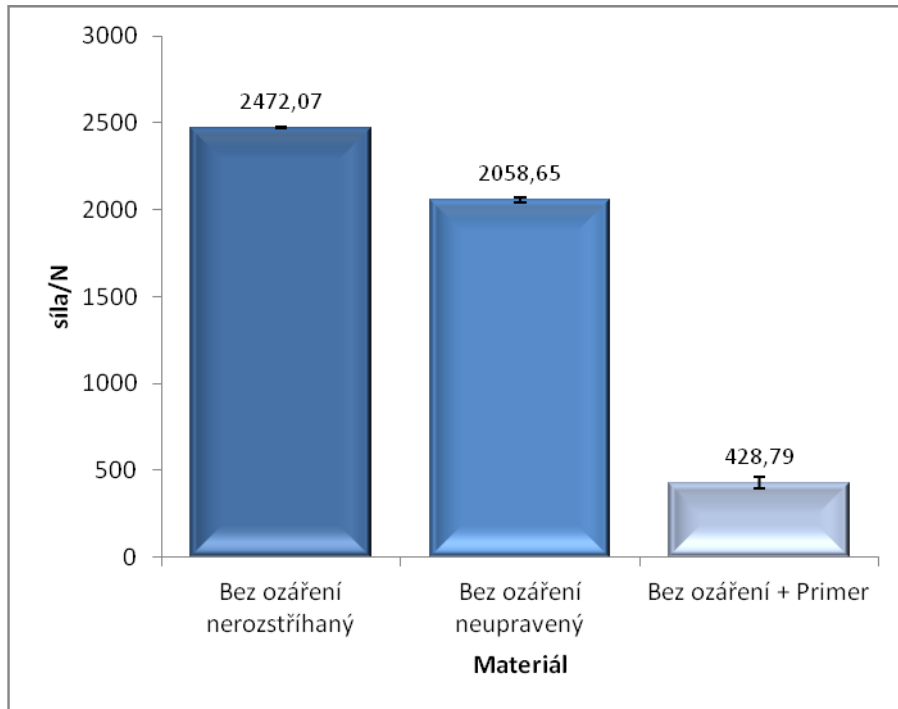
Obr. 21. Vliv ozáření na pevnost PC.

10.1.2 Lepidlo Cyberbond 2028

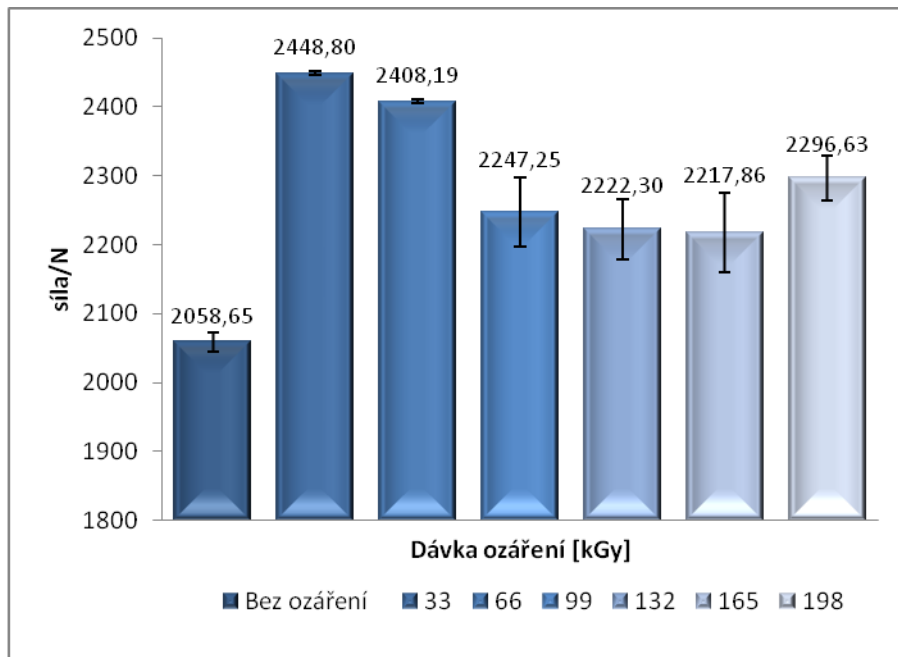
Při testování vlivu ozáření na lepené spoje pomocí lepidla CB 2028 byla zjištěna největší pevnost u vzorku s ozářením 33 kGy, který měl přibližně stejnou pevnost jako základní materiál a zvýšení pevnosti o 18% vůči lepenému materiálu bez úpravy povrchu. Nejnížší pevnost byla u vzorku bez ozáření s úpravou povrchu Primerem. Pevnost zde byla asi o 83% nižší než u základního materiálu a asi o 79% nižší než u lepeného materiálu bez úpravy povrchu. (Obr. 24, Obr. 23, Tab. 14).

Tab. 14. Velikost maximální zatěžující síly pro lepidlo CB 2028.

PC MACROLON AL-2447 (CB 2028)								
číslo měření	Úprava povrchu							
	Bez úpravy 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]	Primer Fm [N]
1	2075,04	2454,84	2416,77	2392,77	2156,71	2347,70	2327,82	479,33
2	2085,55	2440,11	2410,04	2168,95	2260,09	2250,41	2338,23	488,92
3	2078,28	2449,41	2398,68	2293,49	2343,96	2014,08	2168,51	472,02
4	2007,37	2451,06	2409,87	2104,82	2091,62	2298,50	2328,79	350,96
5	2047,02	2448,60	2405,60	2276,22	2259,14	2178,60	2319,79	352,73
\bar{x}	2058,65	2448,80	2408,19	2247,25	2222,30	2217,86	2296,63	428,79
δ	14,39	2,42	2,97	50,28	44,14	58,09	32,16	31,53



Obr. 22. Průměrné hodnoty maximální zatěžující síly bez úpravy povrchu a při použití Primeru.



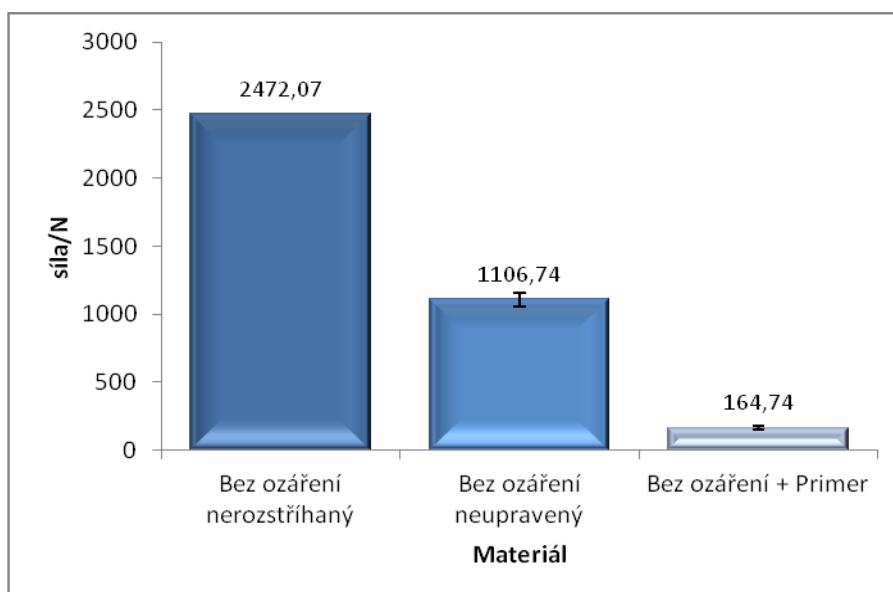
Obr. 23. Průměrné hodnoty maximální zatěžující síly, u ozářených vzorků spojených lepidlem CB 2028.

10.1.3 Lepidlo Cyberbond 5008

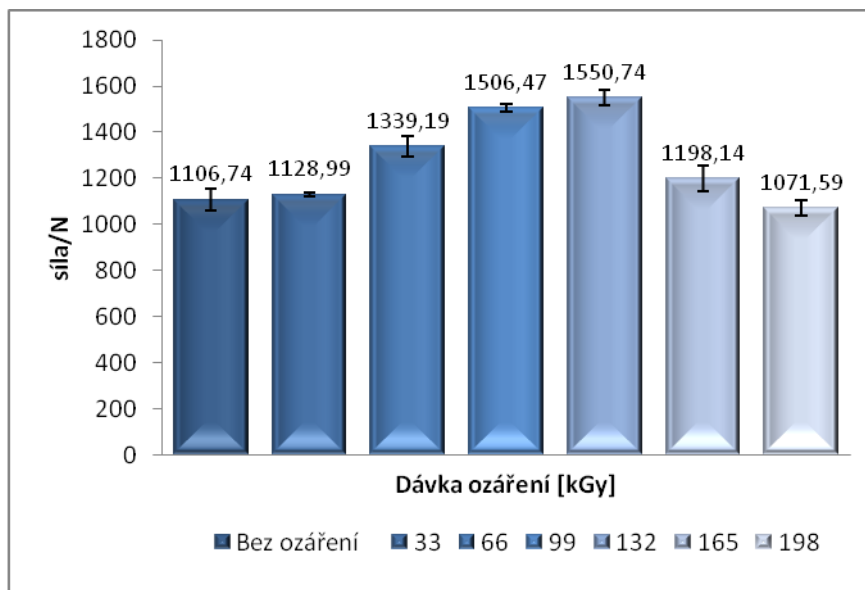
Při testování vlivu ozáření na lepené spoje pomocí lepidla CB 5008 byla zjištěna největší pevnost u vzorku s ozářením 132 kGy, který měl o 35% nižší pevnost než základní materiál, ale asi o 40 % vyšší než lepený materiál bez upraveného povrchu. Nejnižší pevnost měl opět vzorek bez ozáření s úpravou povrchu Primerem. Pevnost zde byla asi o 94 % nižší než u základního materiálu a asi o 85 % nižší než u lepeného materiálu bez úpravy povrchu (Obr. 25, Obr. 26, Tab. 15).

Tab. 15. Velikost maximální zatěžující síly pro lepidlo CB 5008.

PC MACROLON AL-2447 (CB 5008)								
číslo měření	Úprava povrchu							
	Bez úpravy 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]	Primer Fm [N]
1	1239,98	1113,43	1326,68	1461,68	1636,35	1281,43	1027,70	132,61
2	981,45	1166,18	1184,46	1550,16	1539,03	1335,64	1138,03	146,26
3	1114,49	1118,30	1370,52	1486,83	1489,24	1166,73	1144,66	139,99
4	1182,66	1121,63	1448,90	1532,40	1623,70	1008,65	982,08	198,37
5	1015,14	1125,40	1365,40	1501,29	1465,36	1198,26	1065,50	206,47
\bar{x}	1106,74	1128,99	1339,19	1506,47	1550,74	1198,14	1071,59	164,74
δ	48,82	9,50	43,48	15,81	34,54	56,01	31,41	15,59



Obr. 24. Průměrné hodnoty maximální zatěžující síly bez úpravy povrchu a při použití Primeru.



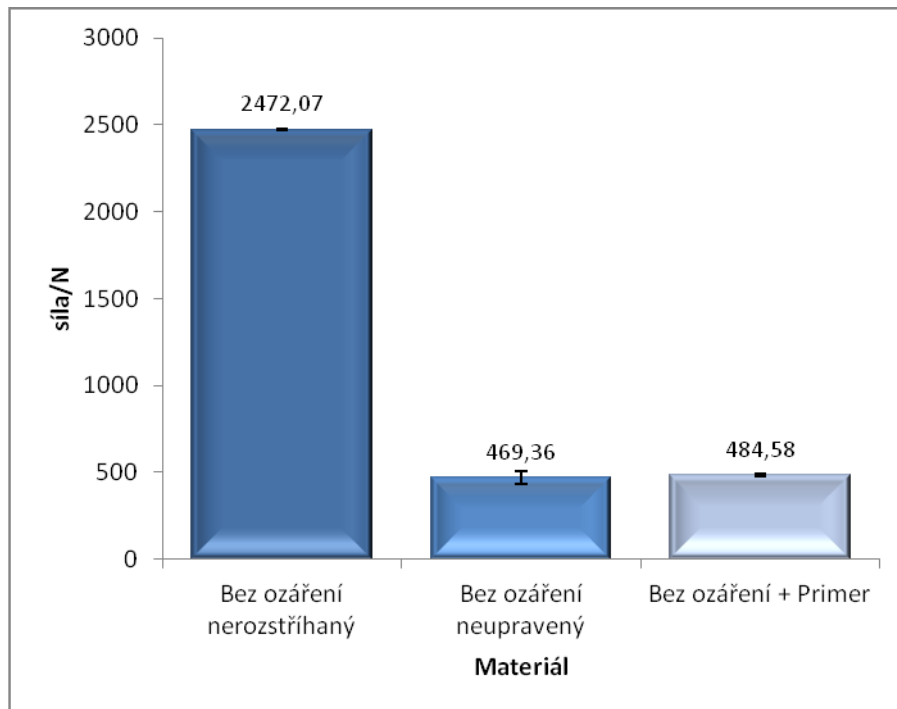
Obr. 25. Průměrné hodnoty maximální zatěžující síly u ozářených vzorků spojených lepidlem CB 5008.

10.1.4 Lepidlo Cyberbond E705

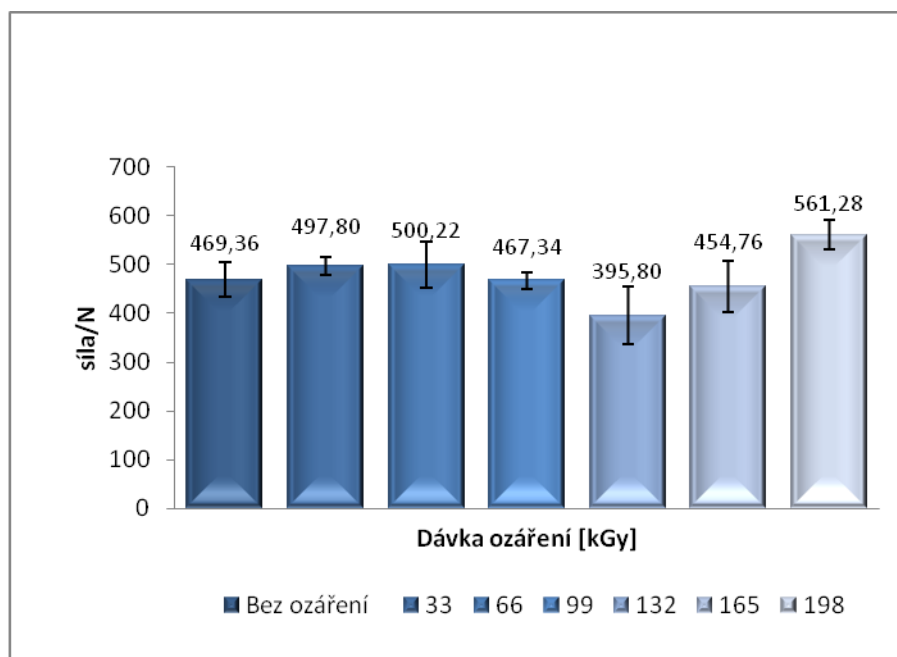
Při testování vlivu ozáření na lepené spoje pomocí lepidla CB E705 byla zjištěna největší pevnost u vzorku s ozářením 198 kGy, který měl asi o 77 % nižší pevnost než základní materiál, ale asi o 20 % vyšší pevnost než lepený materiál bez úpravy povrchu. Nejnižší pevnost měl vzorek s ozářením 132 kGy. Pevnost zde byla asi o 83% nižší než u základního materiálu a asi o 16 % nižší než u lepeného materiálu bez úpravy povrchu (Obr. 25, Obr. 26, Tab. 16).

Tab. 16. Velikost maximální zatěžující síly pro lepidlo CB E705.

PC MACROLON AL-2447 (CB E705)								
číslo měření	Úprava povrchu							
	Bez úpravy Fm [N]	33 kGy Fm [N]	66 kGy Fm [N]	99 kGy Fm [N]	132kGy Fm [N]	165kGy Fm [N]	198kGy Fm [N]	Primer Fm [N]
1	478,02	508,60	550,39	443,13	528,43	537,84	564,20	476,27
2	385,28	540,70	443,75	529,08	349,98	589,50	662,40	466,18
3	594,97	517,01	477,03	438,78	387,15	288,50	524,93	493,76
4	451,62	493,71	649,77	442,70	205,95	420,34	576,14	487,93
5	436,92	428,97	380,15	482,99	507,49	437,64	478,73	498,74
\bar{x}	469,36	497,80	500,22	467,34	395,80	454,76	561,28	484,58
δ	34,85	18,82	46,38	17,42	58,43	52,05	30,49	5,93



Obr. 26. Průměrné hodnoty maximální zatěžující síly bez úpravy povrchu a při použití Primeru.



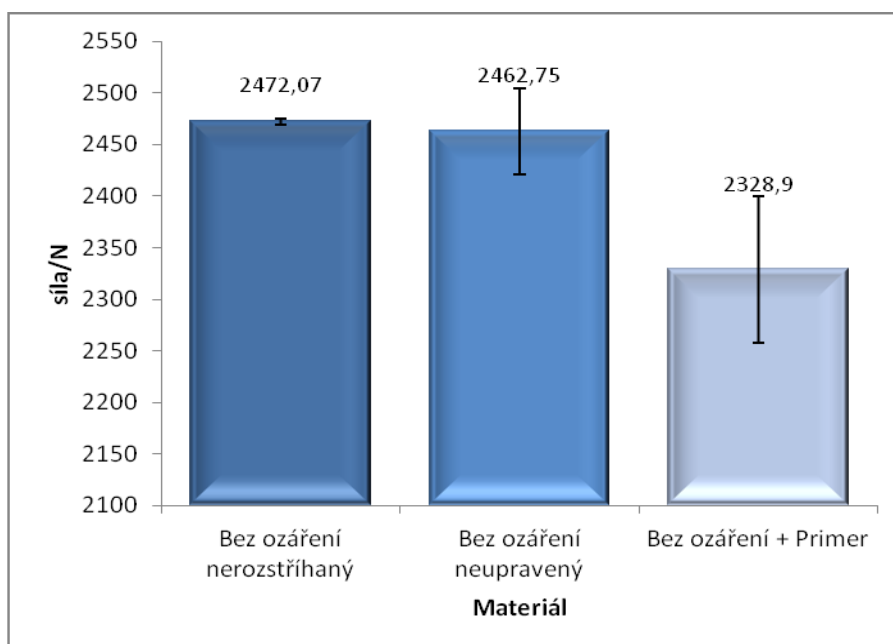
Obr. 27. Průměrné hodnoty maximální zatěžující síly, u ozářených vzorků spojených lepidlem CB E705.

10.1.5 Lepidlo Plexus MA310

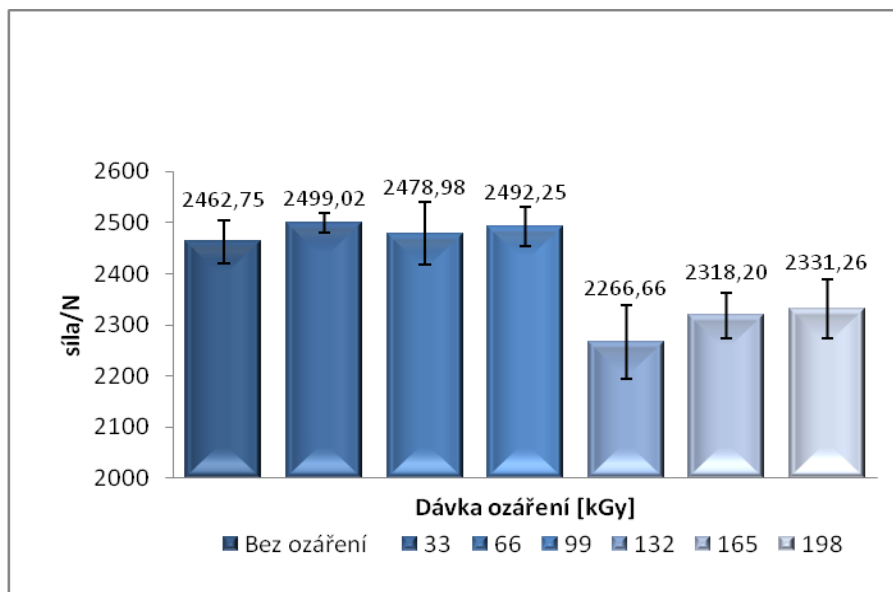
Při testování vlivu ozáření na lepené spoje pomocí lepidla Plexus MA310 byla zjištěna největší pevnost u vzorku s ozářením 33 kGy, který měl o 2 % vyšší pevnost než základní materiál a asi o 2 % vyšší než lepený materiál bez úpravy povrchu. Nejnižší pevnost měl vzorek s ozářením 132 kGy. Pevnost zde byla asi o 5 % nižší než u základního materiálu a asi o 8 % nižší než u lepeného materiálu bez úpravy povrchu (Obr. 29, Obr. 30, Tab. 17).

Tab. 17. Velikost maximální zatěžující síly pro lepidlo Plexus MA310.

PC MACROLON AL-2447 (Plexus MA310)								
číslo měření	Úprava povrchu							
	Bez úpravy 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]	Primer Fm [N]
1	2311,76	2523,24	2586,93	2581,51	2109,38	2327,00	2360,35	2339,20
2	2445,10	2537,14	2593,55	2447,08	2268,02	2489,12	2451,82	2425,47
3	2498,66	2526,36	2321,95	2589,20	2274,01	2254,29	2166,16	2055,17
4	2495,99	2440,19	2558,86	2412,59	2525,50	2276,79	2451,48	2442,91
5	2562,26	2468,19	2333,60	2430,89	2156,41	2243,80	2226,49	2381,73
\bar{x}	2462,75	2499,02	2478,98	2492,25	2266,66	2318,20	2331,26	2328,90
δ	42,08	18,97	62,03	38,42	72,09	45,07	58,34	70,76



Obr. 28. Průměrné hodnoty maximální zatěžující síly bez úpravy povrchu a při použití Primeru.



Obr. 29. Průměrné hodnoty maximální zatěžující síly, u ozářených vzorků spojených lepidlem Plexus MA310.

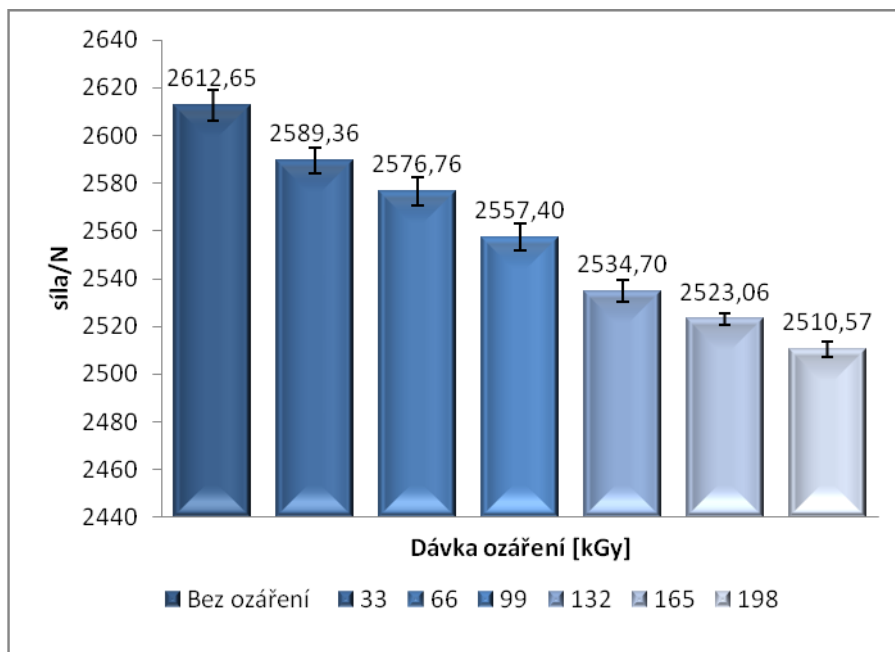
10.2 Tahová zkouška materiálu PC MACROLON – AL2647

10.2.1 Základní materiál (nerozstříhaný)

Při testování nerozstříhaných tělísek bylo zjištěno, že největší pevnost má tělísko bez ozáření. Čím větší byla dávka ozáření, tím se snižovala pevnost zkoušeného materiálu. Pokles pevnosti v tahu byl u tělíska s dávkou ozáření 198 kGy asi o 4 % nižší, než u materiálu bez ozáření (Tab. 18, Obr. 31).

Tab. 18. Velikost maximální zatěžující síly u základního vzorku.

PC MACROLON AL-2647							
číslo měření	Dávka ozáření						
	Bez ozáření 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	2598,66	2600,16	2579,53	2552,57	2534,34	2518,82	2506,32
2	2630,86	2596,12	2568,70	2549,51	2521,53	2525,52	2501,69
3	2625,96	2589,40	2582,94	2579,23	2548,36	2519,70	2513,83
4	2606,40	2569,43	2559,25	2557,80	2529,40	2519,40	2520,90
5	2601,38	2591,70	2593,40	2547,90	2539,86	2531,85	2510,11
\bar{x}	2612,65	2589,36	2576,76	2557,40	2534,70	2523,06	2510,57
δ	6,60	5,32	5,89	5,71	4,55	2,51	3,27



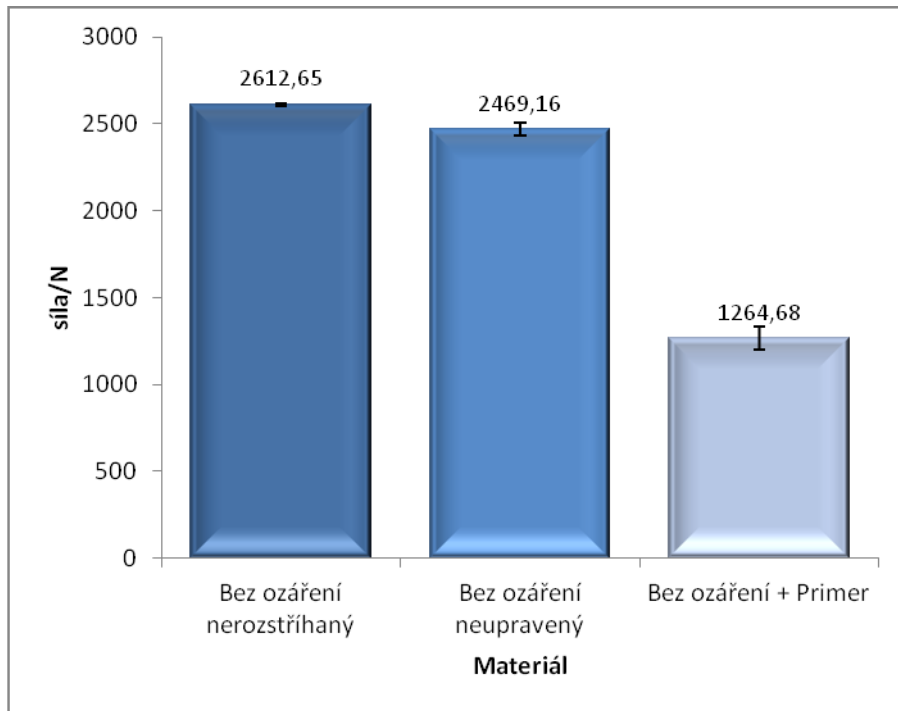
Obr. 30. Vliv ozáření na pevnost PC.

10.2.2 Lepidlo Cyberbond 2028

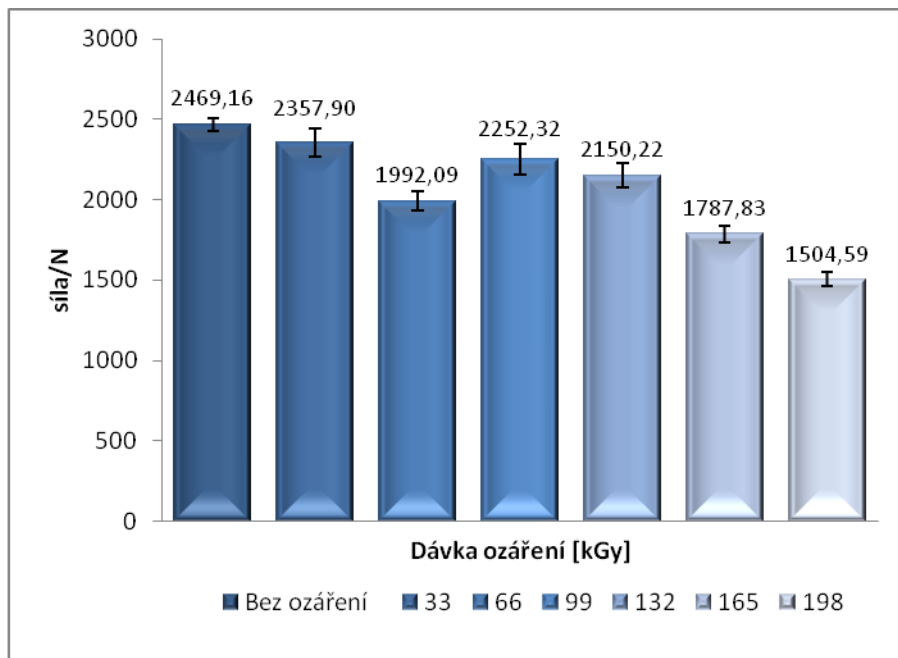
Při testování vlivu ozáření na lepené spoje pomocí lepidla CB 2028 byla zjištěna největší pevnost u vzorku bez úpravy povrchu, který měl asi o 5 % nižší pevnost než základní materiál. Nejnižší pevnost byla u vzorku bez ozáření s úpravou povrchu Primerem. Pevnost zde byla asi o 42 % nižší než u základního materiálu a asi o 39 % nižší než u lepeného materiálu bez úpravy povrchu (Obr. 32, Obr. 33, Tab. 19).

Tab. 19. Velikost maximální zatěžující síly pro lepidlo CB 2028.

PC MACROLON AL-2647 (CB 2028)								
číslo měření	Úprava povrchu							
	Bez úpravy 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]	Primer Fm [N]
1	2542,10	2226,20	2218,10	2032,89	2190,80	1698,64	1572,97	1256,05
2	2525,28	2160,68	1982,08	2442,98	1865,52	1783,36	1346,25	1089,16
3	2337,00	2266,88	1954,62	2435,43	2284,86	1949,98	1589,59	1148,32
4	2428,51	2550,26	1931,10	2008,43	2144,28	1854,96	1489,24	1398,77
5	2512,90	2585,48	1874,53	2341,89	2265,62	1652,21	1524,90	1431,11
\bar{x}	2469,16	2357,90	1992,09	2252,32	2150,22	1787,83	1504,59	1264,68
δ	38,41	87,56	59,21	96,32	75,56	53,46	43,37	67,12



Obr. 31. Průměrné hodnoty maximální zatěžující síly bez úpravy povrchu a při použití Primeru.



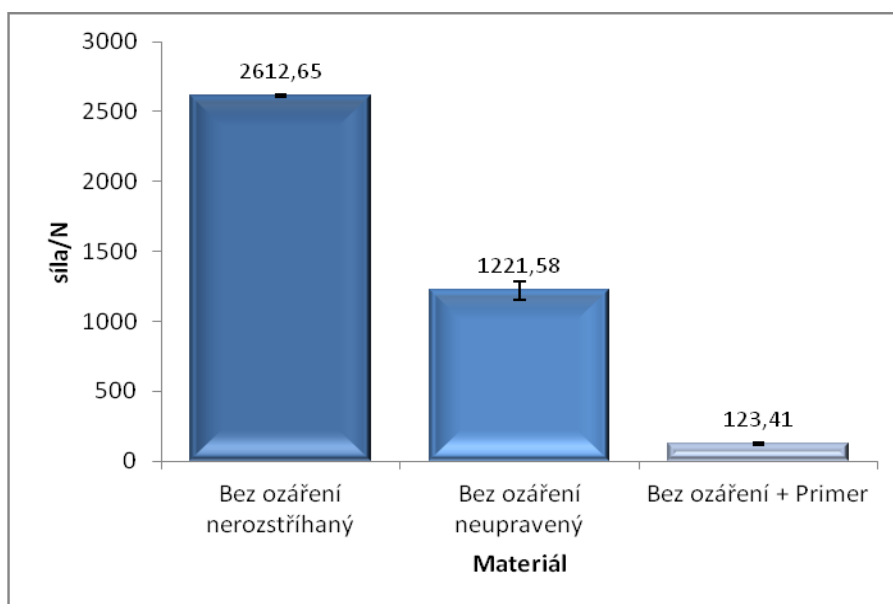
Obr. 32. Průměrné hodnoty maximální zatěžující síly, u ozářených vzorků spojených lepidlem CB 2028.

10.2.3 Lepidlo Cyberbond 5008

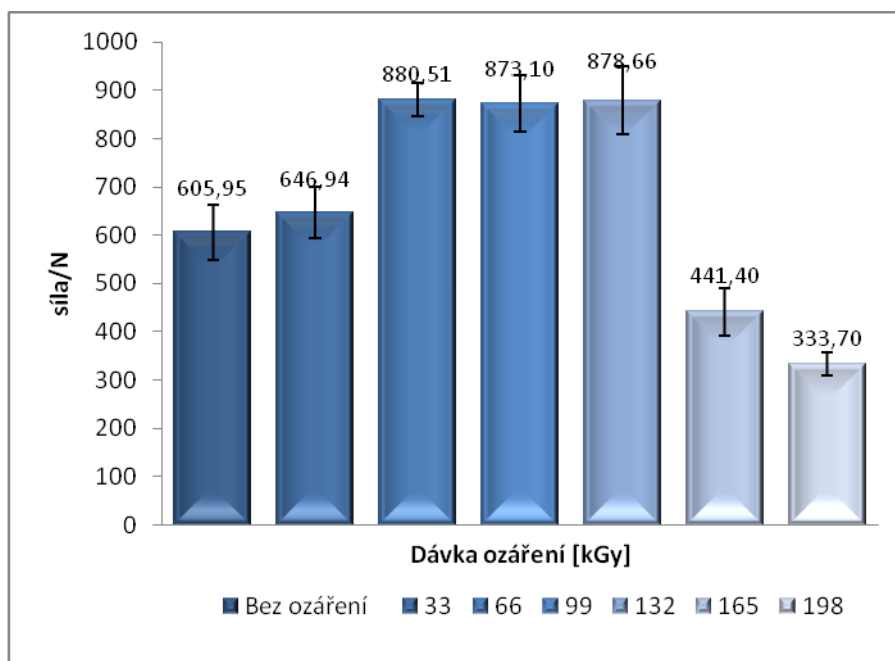
Při testování vlivu ozáření na lepené spoje pomocí lepidla CB 5008 byla zjištěna největší pevnost u vzorku s ozářením 132 kGy, který měl o 41 % nižší pevnost než základní materiál, ale asi o 22 % vyšší než lepený materiál bez úpravy povrchu. Nejnižší pevnost měl opět vzorek bez ozáření s úpravou povrchu Primerem. Pevnost zde byla asi o 95 % nižší než u základního materiálu a asi o 90 % nižší než u lepeného materiálu bez úpravy povrchu (Obr. 34, Obr. 35, Tab. 20).

Tab. 20. Velikost maximální zatěžující síly pro lepidlo CB 2028.

PC MACROLON AL-2647 (CB 5008)								
číslo měření	Úprava povrchu							
	Bez úpravy 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]	Primer Fm [N]
1	1338,22	1291,64	1238,64	1363,96	1382,52	1239,76	1031,42	101,71
2	1248,39	1135,74	1202,47	1240,94	1588,67	1061,27	814,11	146,12
3	1371,70	1032,32	1518,62	1447,54	1529,11	947,03	1087,94	140,84
4	1131,88	1554,87	1357,82	1501,80	1422,74	1065,46	990,39	126,56
5	1017,73	1206,41	1269,81	1619,77	1530,70	1180,55	1037,10	101,81
\bar{x}	1221,58	1244,20	1317,47	1434,80	1490,75	1098,81	992,19	123,41
δ	65,75	88,56	56,48	63,82	38,08	51,04	47,14	9,40



Obr. 33. Průměrné hodnoty maximální zatěžující síly bez úpravy povrchu a při použití Primeru.



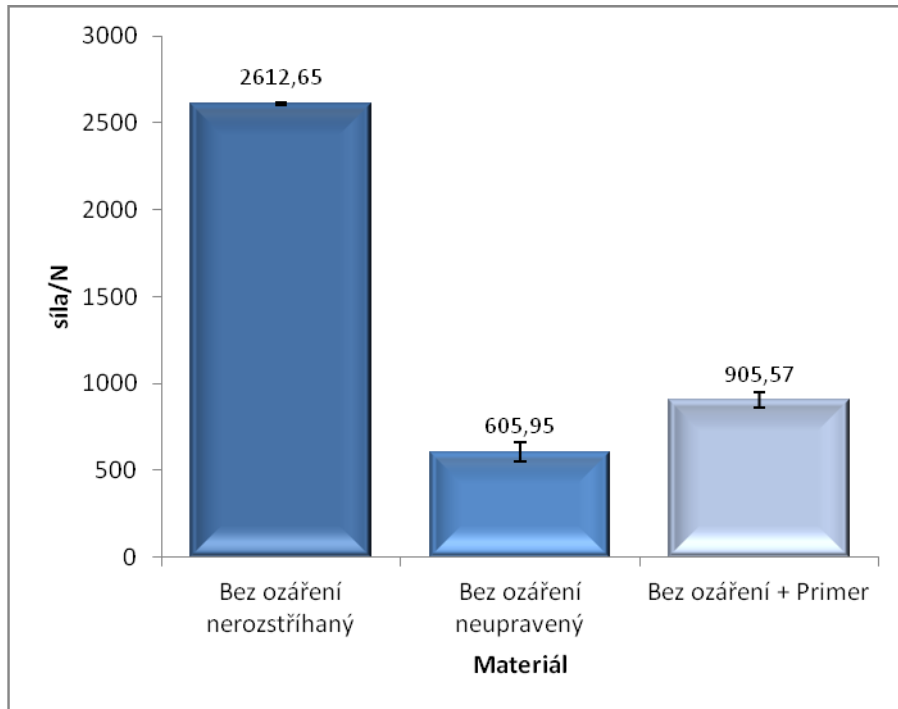
Obr. 34. Průměrné hodnoty maximální zatěžující síly, u ozářených vzorků spojených lepidlem CB 5008.

10.2.4 Lepidlo Cyberbond E705

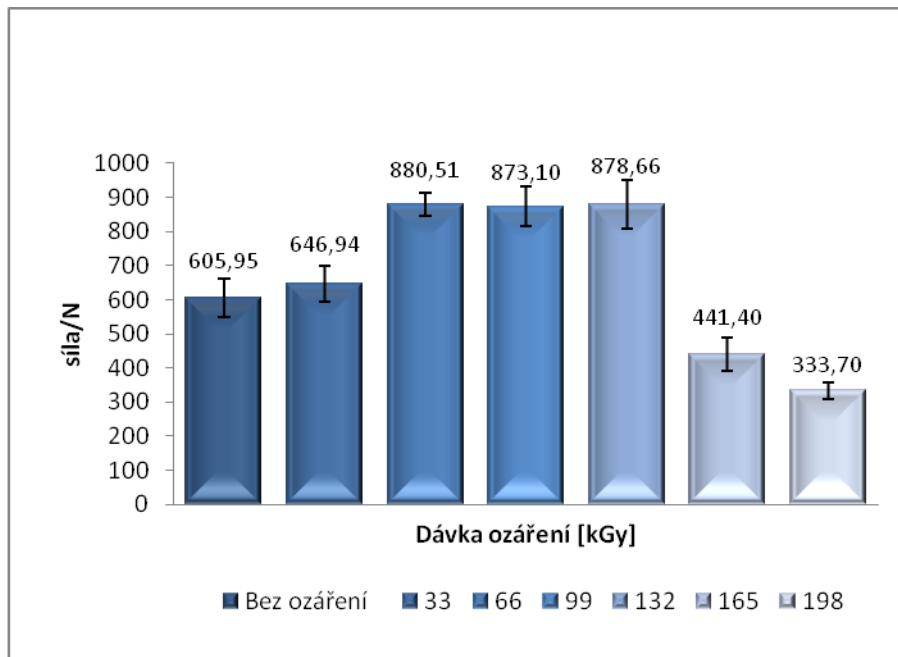
Při testování vlivu ozáření na lepené spoje pomocí lepidla CB E705 byla zjištěna největší pevnost u vzorku s ozářením 132kGy, který měl asi o 65 % nižší pevnost než základní materiál, ale asi o 45 % vyšší pevnost než lepený materiál bez úpravy povrchu. Nejnižší pevnost měl vzorek s ozářením 198 kGy. Pevnost zde byla asi o 87% nižší než u základního materiálu a asi o 45 % nižší než u lepeného materiálu bez úpravy povrchu (Obr. 36, Obr. 37, Tab. 21).

Tab. 21. Velikost maximální zatěžující síly pro lepidlo CB E705.

PC MACROLON AL-2647 (CB E705)								
číslo měření	Úprava povrchu							
	Bez úpravy 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]	Primer Fm [N]
1	503,29	474,80	773,87	964,12	1066,20	556,90	284,49	1000,52
2	692,73	770,16	876,46	646,65	701,38	520,30	380,76	748,70
3	750,43	585,98	981,67	946,82	736,85	303,46	396,25	963,95
4	632,60	698,35	865,25	918,67	895,77	476,12	275,45	895,45
5	450,70	705,41	905,32	889,24	993,12	350,21	331,54	919,25
\bar{x}	605,95	646,94	880,51	873,10	878,66	441,40	333,70	905,57
δ	56,46	52,25	33,52	58,02	70,75	49,05	24,44	43,20



Obr. 35. Průměrné hodnoty maximální zatěžující síly bez úpravy povrchu a při použití Primeru.



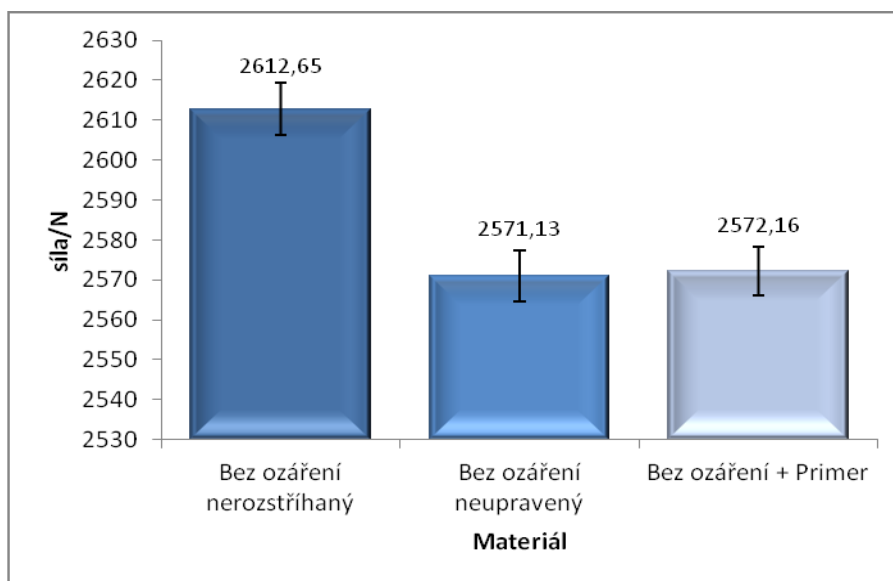
Obr. 36. Průměrné hodnoty maximální zatěžující síly, u ozářených vzorků spojených lepidlem CB E705.

10.2.5 Lepidlo Plexus MA310

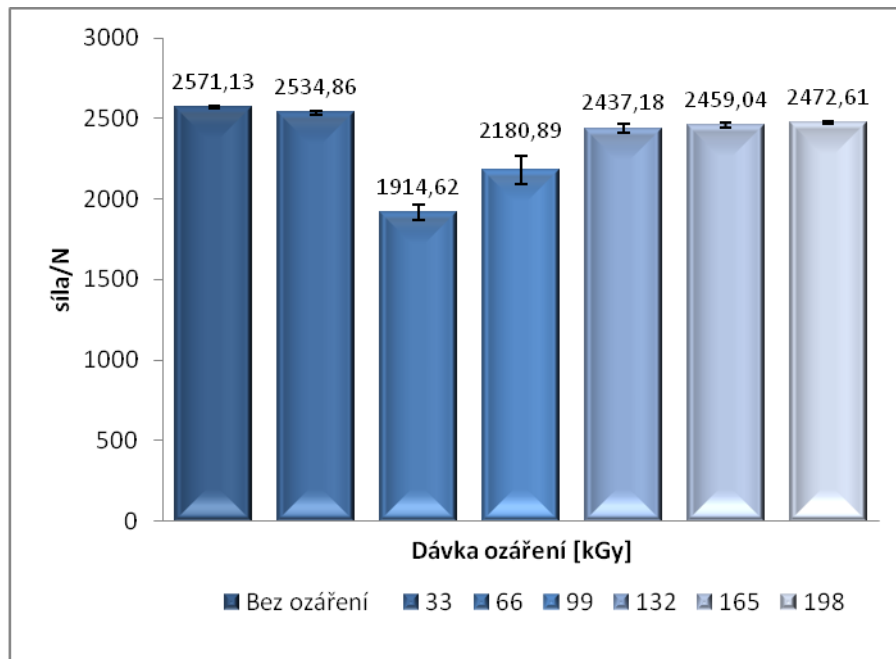
Při testování vlivu ozáření na lepené spoje pomocí lepidla Plexus MA310 byla zjištěna největší pevnost u vzorku s úpravou povrchu Primerem, který měl asi o 2 % vyšší pevnost než základní materiál a přibližně stejnou pevnost jako lepený materiál bez úpravy povrchu. Nejnižší pevnost měl vzorek s ozářením 66 kGy. Pevnost zde byla asi o 26 % nižší než u základního materiálu a asi o 25 % nižší než u lepeného materiálu bez úpravy povrchu (Obr. 38, Obr. 39, Tab. 22).

Tab. 22. Velikost maximální zatěžující síly pro lepidlo Plexus MA310.

PC MACROLON AL-2647 (Plexus MA310)								
číslo měření	Úprava povrchu							
	Bez úpravy 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]	Primer Fm [N]
1	2569,95	2543,20	1935,69	1931,84	2479,34	2462,68	2462,30	2582,72
2	2566,72	2545,36	1738,36	2410,25	2481,09	2480,43	2464,02	2566,89
3	2565,93	2539,60	1897,56	2235,11	2452,89	2401,22	2459,45	2555,44
4	2557,65	2547,97	2001,65	2012,50	2444,08	2498,09	2479,08	2589,65
5	2595,40	2498,15	1999,83	2314,75	2328,50	2452,80	2498,22	2566,09
\bar{x}	2571,13	2534,86	1914,62	2180,89	2437,18	2459,04	2472,61	2572,16
δ	6,40	9,28	48,29	90,51	28,12	16,40	7,25	6,17



Obr. 37. Průměrné hodnoty maximální zatěžující síly bez úpravy povrchu a při použití Primeru.

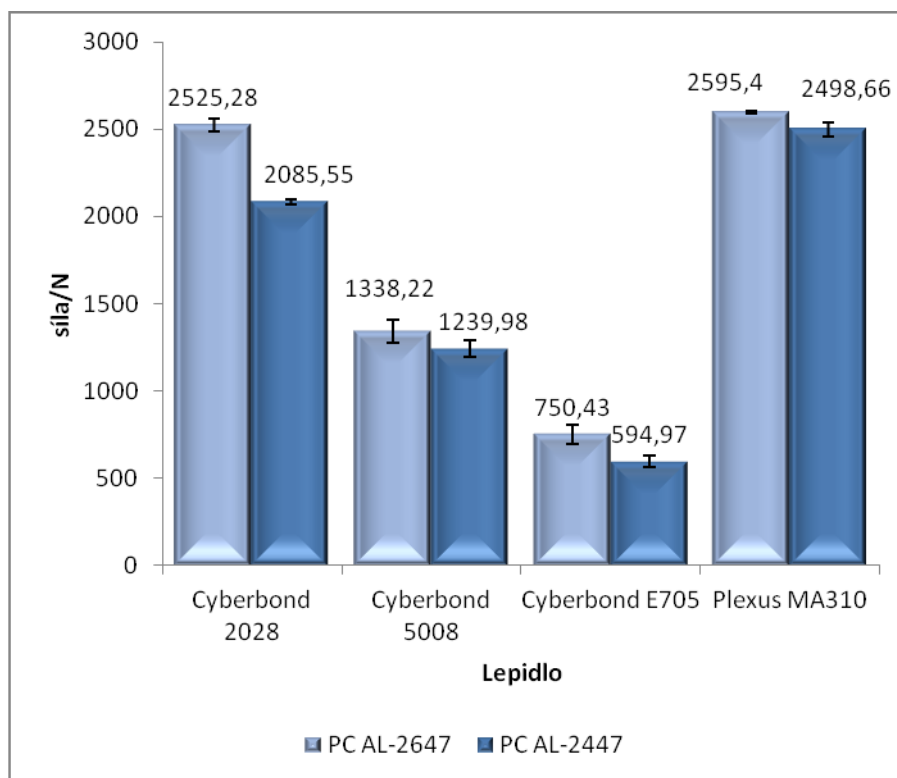


Obr. 38. Průměrné hodnoty maximální zatěžující síly, u ozářených vzorků spojených lepidlem Plexus MA310.

10.3 SROVNÁNÍ VÝSLEDKŮ

10.3.1 Srovnání výsledků vzorků bez povrchové úpravy

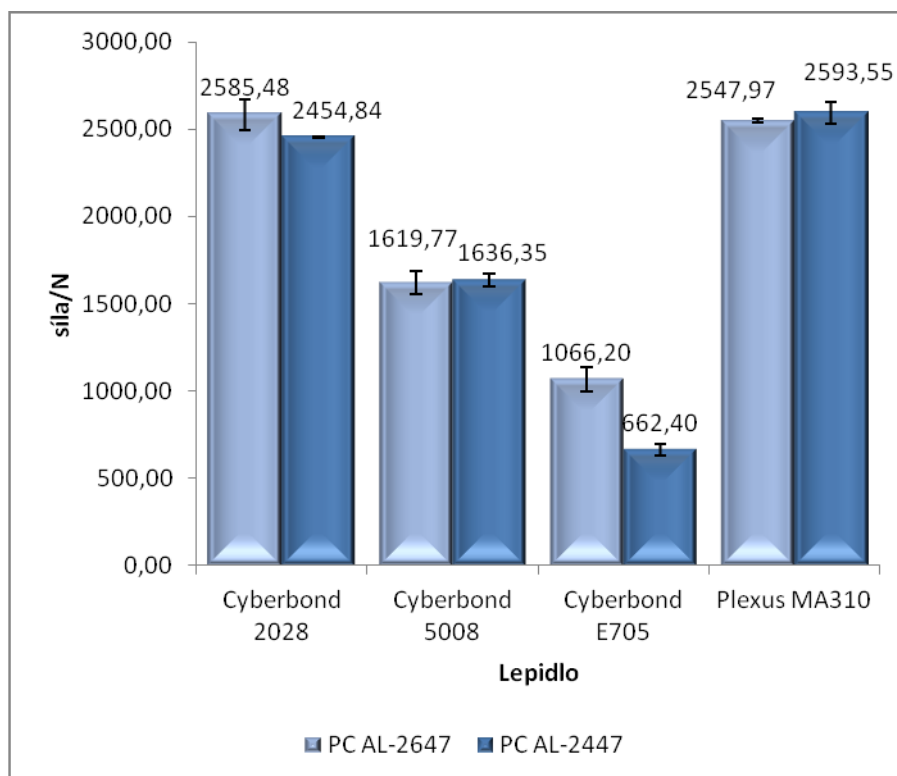
Po srovnání maximálních pevností lepených spojů obou typů PC bez povrchové úpravy má největší pevnost lepidlo Plexus MA310 u obou typů PC. U PC AL-2647 byla pevnost nižší jenom o 1 % než u základního materiálu, na což u PC AL-2447 byla pevnost dokonce o 1 % vyšší než u základního materiálu. Nejnížší pevnost má lepidlo CB E705 u obou typů PC. U PC AL-2647 byla pevnost nižší o 71 % u PC AL-2447 byla nižší o 76 %.



Obr. 39. Vybrané maximální velikosti zatěžujících sil u lepeného spoje PC bez povrchové úpravy.

10.3.2 Srovnání výsledků při ozáření vzorků

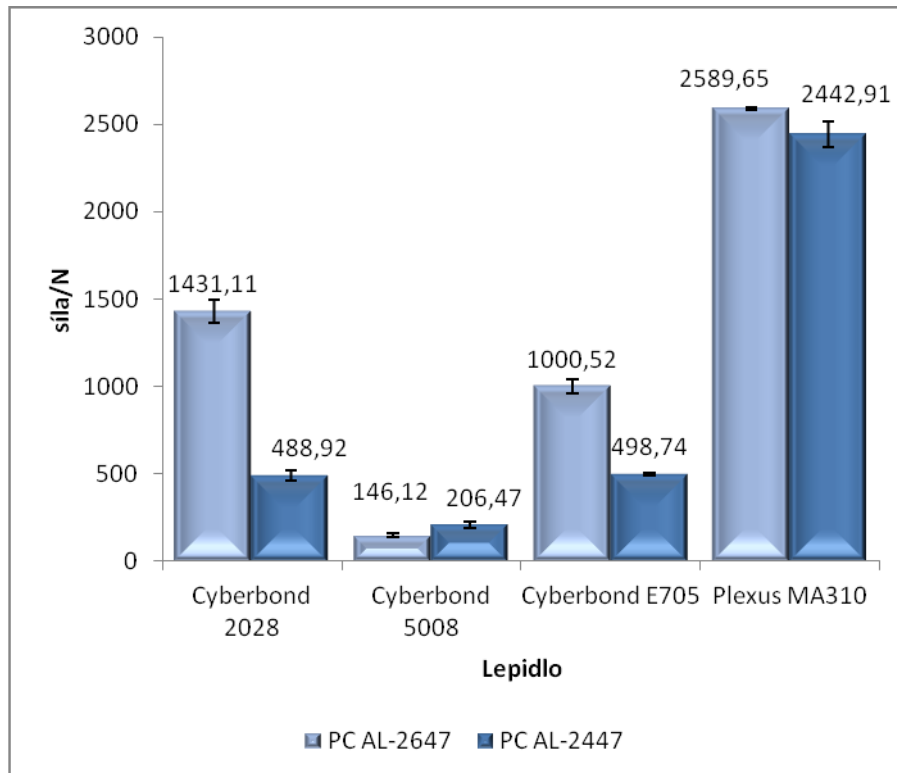
Po srovnání maximálních pevností lepených spojů obou typů PC při ozáření má největší pevnost lepidlo Plexus MA310 s ozářením 66 kGy u typu PC AL-2447 s hodnotou o 8 % vyšší než u základního materiálu. U PC AL-2647 to bylo lepidlo CB 2028 s ozářením 33 kGy, kde byla hodnota přibližně shodná jako u základního materiálu. Nejnižší pevnost má lepidlo CB E705 u obou typů PC. U PC AL-2647 s ozářením 132 kGy byla pevnost nižší o 55 % než u základního materiálu. U PC AL-2447 s ozářením 198 kGy byla nižší o 74 %.



Obr. 40. Vybrané maximální velikosti zatěžujících sil u lepeného PC při ozáření vzorků.

10.3.3 Srovnání výsledků při použití Primeru

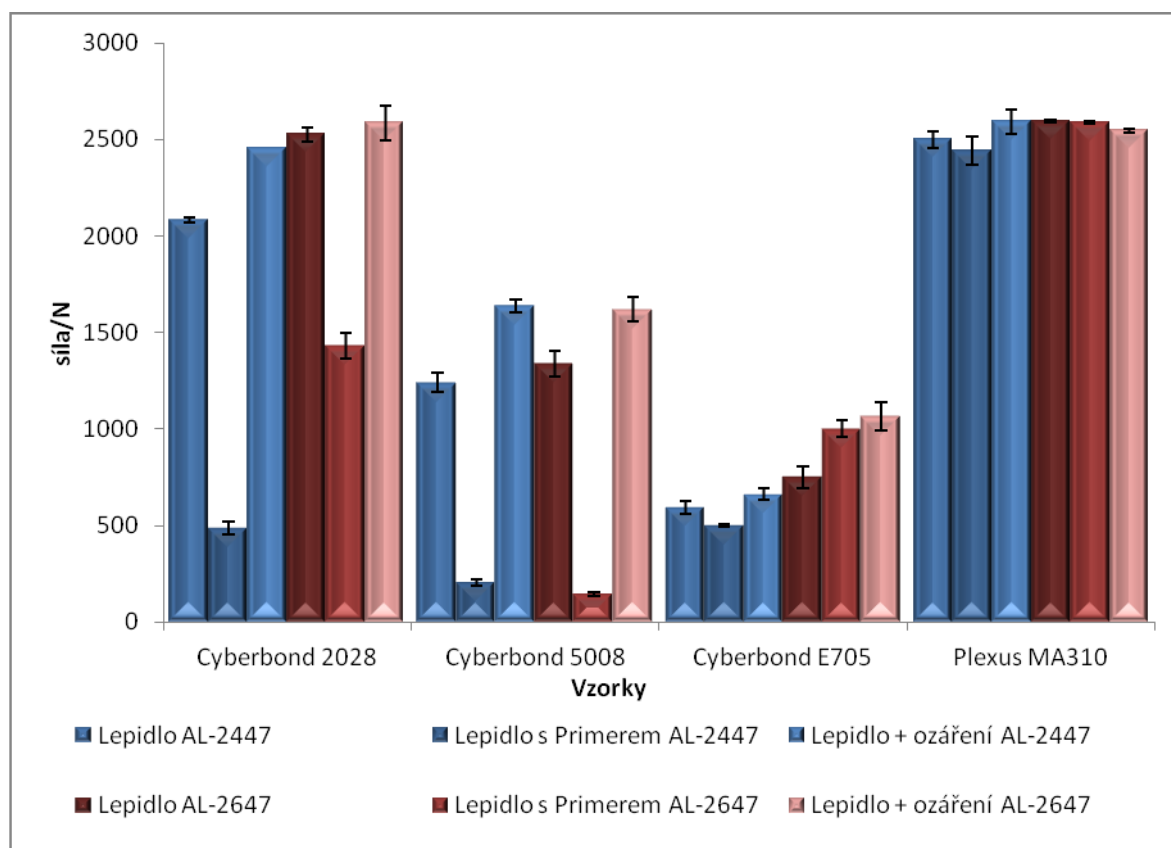
Po srovnání maximálních pevností lepených spojů obou typů PC při použití Primeru má největší pevnost lepidlo Plexus MA310 u obou typů PC. U PC AL-2447 i PC AL-2647 byla hodnota o 1 % nižší než u základního materiálu. Nejnižší pevnost má lepidlo CB 5008 u obou typů PC. U PC AL-2647 byla pevnost nižší o 92 % než u základního materiálu. U PC AL-2447 byla nižší o 94 %.



Obr. 41. Vybrané maximální velikosti zatěžujících sil u lepeného PC při použití Primeru.

10.3.4 Srovnání nejlepších výsledků všech lepidel

Po srovnání všech největších pevností spojů u použitých lepidel a ozáření nebo úpravě Primerem má největší pevnost lepidlo Plexus MA310 u obou typů PC. U PC AL-2647 to byl neupravený vzorek s pevností o 1 % nižší než základní materiál. U PC AL-2447 to byl vzorek s ozářením 66 kGy s pevností o 8 % vyšší než základní materiál. Nejnižší pevnost mělo lepidlo Cyberbond 5008 u obou typů PC. U PC AL-2647 to byl vzorek s použitím Primeru s pevností o 94 % nižší než základní materiál. U PC AL-2447 to byl také vzorek s použitím Primeru s pevností o 92 % nižší.



Obr. 42. Vybrané srovnání maximálních zatěžujících sil u všech lepidel.

11 DISKUZE VÝSLEDKŮ

K testování jsme používali dva typy polykarbonátu AL-2447 a AL-2647. K dispozici jsme měli 2 typy kyanoakrylátových lepidel (Cyberbond 2028 a 5008) a 2 typy dvousložkových lepidel, epoxidové (Cyberbond E705) a methakrylové (Plexus MA310). Výslednou pevnost jsme zjišťovali pomocí univerzálního zkušebního stroje Zwick 1456. V první fázi praktické části jsme zjišťovali pevnost lepených spojů bez povrchové úpravy a spojů s aktivovaným povrchem pomocí Primeru. Z hlediska lepení bez povrchové úpravy z výsledných hodnot vyplývá, že nejlepším lepidlem je pro oba typy polykarbonátu Plexus MA310, které dosáhlo 99 % průměrné pevnosti základního neozářeného materiálu pro PC AL-2447 a 98 % pro PC AL-2647. Naproti tomu nejnižší pevnost spoje pro povrchově neupravené vzorky u obou typů PC mělo lepidlo Cyberbond E705, které dosáhlo 19 % průměrné pevnosti základního neozářeného materiálu pro PC AL-2447 a 23 % pro PC AL-2647. Následně jsem zjišťoval pevnost lepeného spoje s povrchovou úpravou pomocí Primeru. Z výsledných hodnot vyplývá, že nejlepším lepidlem pro lepení PC s povrchovou úpravou pomocí Primeru je opět lepidlo Plexus MA310 pro oba typy PC. Průměrná pevnost lepeného spoje byla 94 % pevnosti základního materiálu pro PC AL-2447 a 98 % pro PC AL-2647. Nejnižší pevnost lepeného spoje s povrchovou úpravou pomocí Primeru u obou typů PC mělo lepidlo Cyberbond 5008, které dosáhlo 7 % průměrné pevnosti základního neozářeného materiálu pro PC AL-2447 a 5 % pro PC AL-2647. Ve druhé fázi praktické části jsme zjišťovali pevnost lepených spojů u vzorků, jejichž povrchy byly ozářeny ionizačním beta zářením. Z výsledných hodnot vyplývá, že nejlepším lepidlem pro lepení ozářeného PC AL-2447 je lepidlo Plexus MA310 a pro PC AL-2647 je to lepidlo Cyberbond 2028. U PC AL-2447 byl nejpevnější lepený spoj u vzorku s ozářením 66 kGy s průměrnou pevností 106 % průměrné pevnosti základního neozářeného materiálu. U PC AL-2647 to byl nejpevnější vzorek ozářený 33 kGy s průměrnou pevností 98 % průměrné pevnosti základního neozářeného materiálu.

ZÁVĚR

Bakalářská práce řeší pevnost lepených spojů dvou typů PC při určitých úpravách materiálu, ať už ozářením nebo povrchovou úpravou Primerem. Lepené spoje jsme realizovali pomocí sekundových kyanoakrylátových lepidel (Cyberbond 2028 a 5008), dvousložkového epoxidového (Cyberbond E705) a dvousložkového methakrylátového lepidla (Plexus MA310). Pevnost lepených spojů jsme zjišťovali tahovou zkouškou na stroji Zwick 1456.

Pevnost lepených spojů jsme testovali na neozářeném materiálu, materiálu s povrchem aktivovaným pomocí Primeru a materiál s úpravou ozářením dávkami 33 kGy, 66 kGy, 99 kGy, 132 kGy, 165 kGy a 198 kGy. Z výsledných hodnot vyplývá, že aktivace povrchu pomocí Primeru není v kombinaci těchto materiálů a vybraných lepidel příliš vhodná.

Při lepení PC s povrchovou úpravou pomocí ozáření dopadlo nejlépe lepidlo Plexus MA310 pro typ AL-2447 s dávkou ozáření 66 kGy a lepidlo Cyberbond 2028 pro typ AL-2647 s dávkou ozáření 33 kGy. U všech lepených spojů došlo po ozáření ke zvětšení pevnosti, ovšem záleželo na dávce ozáření. Nejhorším lepidlem u obou typů PC se podle výsledných hodnot stalo lepidlo Cyberbond E705, u kterého nám hodnoty vykazovaly velmi nízkou pevnost lepených spojů.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] BEDNAŘÍK, Martin. *Vlastnosti lepených spojů- polymery*. Zlín, 2009. 74 s. Bakalářská práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně.
- [3] OSTEN, Miloš. *Práce s lepidly a tmely*. 3. vyd. Praha 1: Grada Publishing, 1996. 136 s.
- [2] OSTEN, Miloš. *Lepení plastických hmot*. Praha 1: SNTL, 1972. 152 s.
- [4] KUTA, Antonín. *Technologie a zařízení pro zpracování kaučuků a plastů*. 1. vyd. Praha: VŠCHT Praha, 2007. 203 s.
- [5] MÜLLER, Miroslav, BROŽEK, Milan. Technologie lepení, mechanická úprava lepeného povrchu. *Svařování, dělení, spojování materiálů [online]*. 2004 [cit. 2012-12-28]. Dostupné z:
http://www.tmvydavatelstvi.cz/svarovani/0402/str_56.pdf
- [6] BERAN, Rudolf. Základy teorie lepení. *ABC LEPIDLA [online]*. 2005 [cit. 2012-12-28]. Dostupné z:
http://www.abclepidla.cz/pdfs/Zaklady_theorie_lepeni.pdf
- [7] MÜLLER, Miroslav. Vliv tloušťky lepené vrstvy na pevnost lepených spojů. *Svařování, dělení, spojování materiálů [online]*. 2003 [cit. 2012-12-28]. Dostupné z:
http://www.tmvydavatelstvi.cz/svarovani/05/str_24.pdf
- [8] OSTEN, Miloš. *Práce s lepidly a tmely*. 3. vyd. Praha 1: SNTL, 1986. 288 s.
- [10] PETERKA, Jindřich. *Lepení konstrukčních materiálů ve strojírenství*. 1. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1980. 788 s.
- [9] BOUBLÍK, Vlastimil. *Lepidla a jejich příprava*. 1. vyd. Praha 1: SNTL, 1966. 192 s.
- [11] Informační web pro žáky. *Lepené spoje*. [online]. 2012 [cit. 2012-12-28]. Dostupné z:
http://mechmes.websnadno.cz/dokumenty/pris09_lepenespoje.pdf
- [12] KOVAČIČ, Ludomír. *Lepeniekovov a plastov*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1980. 392 s.

- [13] GREGOR, Miroslav. UHU. *Lepení plastů* [online]. 2008 [cit. 2012-12-28].
Dostupné z: <http://www.uhu.cz/lepeni-plastu>
- [14] Zkoušení stavebních hmot a výrobku. *Identifikace plastů*. [online]. 2010 [cit. 2012-12-28]. Dostupné z:
http://homel.vsb.cz/~khe0007/opory/opory.php?stranka=plasty_identif
- [15] Ústav fyziky a materiálového inženýrství. *Identifikační zkoušky polymerů*. [online]. 2009 [cit. 2012-12-28]. Dostupné z:
http://ufmi.ft.utb.cz/texty/kzm/KZM_05.pdf
- [16] LENFELD, Petr. Doplnkové technologie pro zpracování plastů: Technologie spojování plastů. *Technologie II* [online]. 1998/2005 [cit. 2012-12-28].
Dostupné z:
http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/12.htm
- [17] Loctite. *Arburgallrounder*. [online]. 2011 [cit. 2012-12-28]. Dostupné z:
<http://www.kleje-loctite.pl/book/i021ch02.htm>
- [18] *Česká pobočka knihovny materiálů*. [online]. 2009 [cit. 2013-05-09].
Dostupné z: <http://www.happymaterials.com>
- [19] *Technické materiály a polotovary*. [online]. 2011 [cit. 2013-05-09].
Dostupné
z: <http://www.technickematerialy.cz/picture/shop/file/Makrolon.pdf>
- [20] *MatWeb*. [online]. [cit. 2013-05-09]. Dostupné z: <http://www.matweb.com>
- [21] *Cybershop* [online]. [cit. 2013-05-09]. Dostupné z:
<http://www.cybershopcz.com/>
- [22] *Chytré technologie ve světě kompozitů*. [online]. [cit. 2013-05-09].
Dostupné z: <http://www.5m.cz>
- [23] *Hortrade* [online]. [cit. 2013-05-09]. Dostupné z:
http://www.hortrade.cz/komponenty/plexus/plexus_ltd_ma310.doc
- [24] SCHINDLEROVÁ, Lucie. *Vliv radiačního síťování na vlastnosti vybraných polymerů*. Zlín, 2011. Diplomová práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

PC	Polykarbonát
ABS	Akrylonitrilbutadienstyren
PE	Polyethylen
PVC	Polyvinylchlorid
CB	Cyberbond
Obr.	Obrázek
Tab.	Tabulka
kGy	kiloGray (jednotka dávky ozáření)
ČSN	Česká technická norma
EN	Evropská norma
R _m	Maximální zatěžující síla
\bar{x}	Aritmetický průměr
δ	Střední kvadratická chyba aritmetického průměru

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1. Adheze a koheze v lepeném spoji. [17]</i>	13
<i>Obr. 2. Spojovací síly v lepeném spoji. [7]</i>	15
<i>Obr. 3. Základní typy nerovností lepených ploch. [10]</i>	17
<i>Obr. 4. Smáčení povrchu kapalinami. [13]</i>	18
<i>Obr. 5. Přehled konstrukčních řešení lepených spojů. [16]</i>	24
<i>Obr. 6. Namáhání lepeného spoje. [3]</i>	30
<i>Obr. 7. Vzorek pro zkoušky ve smyk. [10]</i>	38
<i>Obr. 8. Vzorek pro zkoušky pevnosti v odlupování. [10]</i>	39
<i>Obr. 9. Cyberbond E705. [21]</i>	45
<i>Obr. 10. Cyberbond 5008. [21]</i>	46
<i>Obr. 11. Cyberbond 2028. [21]</i>	47
<i>Obr. 12. Plexus MA310.</i>	47
<i>Obr. 13. Zkušební vzorek i s vtakovým zbytkem.</i>	48
<i>Obr. 14. Vstřikovací stroj Arburg 420 C Advanced. [1]</i>	49
<i>Obr. 15. Elektronové záření beta. [24]</i>	50
<i>Obr. 16. Rozstřížení zkušební vzorku.</i>	51
<i>Obr. 17. Vytlačovací pistole.</i>	52
<i>Obr. 18. Statický mixér.</i>	52
<i>Obr. 19. Přípravky pro lepení.</i>	52
<i>Obr. 20. Univerzální zkušební stroj Zwick 1456.</i>	53
<i>Obr. 21. Vliv ozáření na pevnost PC.</i>	55
<i>Obr. 22. Průměrné hodnoty maximální zatěžující síly bez úpravy</i>	56
<i>Obr. 23. Průměrné hodnoty maximální zatěžující síly, u ozářených</i>	56
<i>Obr. 24. Průměrné hodnoty maximální zatěžující síly bez úpravy</i>	57
<i>Obr. 25. Průměrné hodnoty maximální zatěžující síly u ozářených</i>	58
<i>Obr. 26. Průměrné hodnoty maximální zatěžující síly bez úpravy</i>	59
<i>Obr. 27. Průměrné hodnoty maximální zatěžující síly, u ozářených</i>	59
<i>Obr. 28. Průměrné hodnoty maximální zatěžující síly bez úpravy</i>	60
<i>Obr. 29. Průměrné hodnoty maximální zatěžující síly, u ozářených</i>	61
<i>Obr. 30. Vliv ozáření na pevnost PC.</i>	62
<i>Obr. 31. Průměrné hodnoty maximální zatěžující síly bez úpravy</i>	63

<i>Obr. 32. Průměrné hodnoty maximální zatěžující síly, u ozářených</i>	63
<i>Obr. 33. Průměrné hodnoty maximální zatěžující síly bez úpravy</i>	64
<i>Obr. 34. Průměrné hodnoty maximální zatěžující síly, u ozářených</i>	65
<i>Obr. 35. Průměrné hodnoty maximální zatěžující síly bez úpravy</i>	66
<i>Obr. 36. Průměrné hodnoty maximální zatěžující síly, u ozářených</i>	66
<i>Obr. 37. Průměrné hodnoty maximální zatěžující síly bez úpravy</i>	67
<i>Obr. 38. Průměrné hodnoty maximální zatěžující síly, u ozářených</i>	68
<i>Obr. 39. Vybrané maximální velikosti zatěžujících sil u lepeného</i>	69
<i>Obr. 40. Vybrané maximální velikosti zatěžujících sil u lepeného</i>	70
<i>Obr. 41. Vybrané maximální velikosti zatěžujících sil u lepeného</i>	71
<i>Obr. 42. Vybrané srovnání maximálních zatěžujících sil u všech lepidel.</i>	72

SEZNAM TABULEK

<i>Tab. 1. Součinitel délkové teplotní roztažnosti plastů a konstrukčních materiálů. [10]</i>	20
<i>Tab. 2. Zkoušky plastických hmot plamenem. [13]</i>	29
<i>Tab. 3. Rozdělení lepidel dle konzistence. [2]</i>	32
<i>Tab. 4. Pevnost a lámavost lepeného spoje PC. [1]</i>	35
<i>Tab. 5. Pevnost a lámavost lepeného spoje neměkčeného PVC. [1]</i>	36
<i>Tab. 6. Fyzikální vlastnosti PC MAKROLON. [20]</i>	44
<i>Tab. 7. Vlastnosti Cyberbond E705. [21]</i>	45
<i>Tab. 8. Vlastnosti Cyberbond 5008. [21]</i>	46
<i>Tab. 9. Vlastnosti Cyberbond 2028. [21]</i>	46
<i>Tab. 10. Vlastnosti Plexus MA310. [23]</i>	47
<i>Tab. 11. Technická data Arburg 420 C Advanced. [1]</i>	49
<i>Tab. 12. Technické údaje.</i>	53
<i>Tab. 13. Velikost maximální zatěžující síly u základního vzorku.</i>	54
<i>Tab. 14. Velikost maximální zatěžující síly pro lepidlo CB 2028.</i>	55
<i>Tab. 15. Velikost maximální zatěžující síly pro lepidlo CB 5008.</i>	57
<i>Tab. 16. Velikost maximální zatěžující síly pro lepidlo CB E705.</i>	58
<i>Tab. 17. Velikost maximální zatěžující síly pro lepidlo Plexus MA310.</i>	60
<i>Tab. 18. Velikost maximální zatěžující síly u základního vzorku.</i>	61
<i>Tab. 19. Velikost maximální zatěžující síly pro lepidlo CB 2028.</i>	62
<i>Tab. 20. Velikost maximální zatěžující síly pro lepidlo CB 2028.</i>	64
<i>Tab. 21. Velikost maximální zatěžující síly pro lepidlo CB E705.</i>	65
<i>Tab. 22. Velikost maximální zatěžující síly pro lepidlo Plexus MA310.</i>	67

SEZNAM PŘÍLOH

PI CD ROM