

Lepení HDPE

Josef Jakubíček

Bakalářská práce
2012



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

akademický rok: 2011/2012

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Josef JAKUBÍČEK**
Osobní číslo: **T090010**
Studijní program: **B 3909 Procesní inženýrství**
Studijní obor: **Technologická zařízení**

Téma práce: **Lepení HDPE**

Zásady pro vypracování:

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

Rozsah bakalářské práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

Dle doporučení vedoucího práce

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Martin Bednařík

Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání bakalářské práce:

13. února 2012

Termín odevzdání bakalářské práce:

25. května 2012

Ve Zlíně dne 10. února 2012



doc. Ing. Roman Čermák, Ph.D.
děkan





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

Příjmení a jméno: JAKUBÍČEK JOSEF

Obor: TECHNOLOGICKÁ ZAŘÍZENÍ

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby¹⁾;
- 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. 3²⁾;
- beru na vědomí, že podle § 60³⁾ 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 § 60³⁾ odst. 2 a 3 mohu užít své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Ve Zlíně 23.5.2012

Jakubiček

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

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 dílo:*

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

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

(3) *Škola nebo školské či vzdělávací zařízení jsou oprávněny požadovat, aby jim autor školního díla z výdělku jím dosaženého v souvislosti s užitím díla či poskytnutím licence podle odstavce 2 přiměřeně přispěl na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložily, a to podle okolností až do jejich skutečné výše; přitom se přihlídáne 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 vysokohustotního polyetylenu (HDPE). Práce je rozdělena na dvě části. V teoretické části je popsána problematika vzniku lepeného spoje, jeho zkoušení a činitelé ovlivňující pevnost a kvalitu. V praktické části je popsána příprava zkušebních vzorků a měření jejich pevnosti.

Klíčová slova: Lepení, lepené spoje, HDPE, pevnost, lepidlo

ABSTRACT

This bachelor's thesis deals with properties of adhesively bonded joints of high-density polyethylene (HDPE). The thesis is divided into two parts. The theoretical part describes bonded joint, its formation and testing and factors affecting its strength and quality. The practical part describes preparation of test samples and measuring of strength of bonded joints.

Keywords: Adhesive bonding, bonded joints, HDPE, strength, adhesive

Tímto bych chtěl velice poděkovat vedoucímu své bakalářské práce, panu Ing. Martinu Bednaříkovi za vynaložený čas, trpělivost, ochotu, cenné rady, a připomínky, které mi pomohli v řešení dané problematiky.

OBSAH

ÚVOD	11
I TEORETICKÁ ČÁST	12
1 TEORIE LEPENÍ	13
1.1 LEPENÝ SPOJ	13
1.2 VÝHODY A NEVÝHODY	14
1.2.1 Výhody	14
1.2.2 Nevýhody	15
1.3 ADHEZE A KOHEZE	15
1.3.1 Teorie Adheze	15
1.3.2 Koheze.....	17
2 ČINITELÉ OVLIVŇUJÍCÍ SOUDRŽNOST LEPENÉHO SPOJE	18
2.1 POVRCH LEPENÉ HMOTY	18
2.1.1 Polarita	18
2.1.2 Krystalinita polymerů.....	18
2.1.3 Obsah plniv	18
2.1.4 Obsah změkčovadel	19
2.1.5 Soudržnost povrchu.....	19
2.1.6 Rovnost a hladkost povrchu	19
2.1.7 Čistota povrchu	20
2.1.8 Délková roztažnost.....	21
2.1.9 Rozpustnost, bobtnavost	21
2.2 LEPIDLO	21
2.2.1 Polymerační stupeň	21
2.2.2 Vedlejší skupiny na řetězci polymeru	22
2.2.3 Přídavek plniva.....	22
2.2.4 Přídavek změkčovadla	22
2.2.5 Obsah rozpouštědla	23
2.2.6 Viskozita lepidla.....	23
2.2.7 Kyselost a alkalita	23
2.2.8 Homogenita lepidla	23
2.2.9 Objemová stálost filmu lepidla	24
2.3 TECHNOLOGICKÉ PODMÍNKY ZPRACOVÁNÍ.....	24
2.3.1 Konstrukce lepených spojů	24
2.3.2 Předběžná úprava spojovaných ploch	28
2.3.3 Příprava lepicích směsí	30
2.3.4 Nanášení lepidla	31
2.3.5 Význam tlaku	31
2.3.6 Význam teploty	32
2.3.7 Podmínky a doba tuhnutí lepidla.....	33
2.3.8 Stav zpracovatelského zařízení	33
3 LEPIDLA	34
3.1 ROZDĚLENÍ LEPIDEL	34
3.1.1 Podle původu.....	34
3.1.2 Podle konzistence.....	34

3.1.3	Podle způsobu tuhnutí	35
3.1.4	Podle tepelných vlastností filmu lepidla	35
3.1.5	Podle odolnosti filmu lepidla k vodě	36
3.2	HLAVNÍ SLOŽKY LEPIDEL	36
3.3	SKLADOVÁNÍ LEPIDEL	37
3.4	VOLBA LEPIDLA	37
3.4.1	Druh lepené hmoty	38
3.4.2	Předpokládané namáhání spoje	38
3.4.3	Technologickým podmínkám provedení.....	38
4	HODNOCENÍ KVALITY LEPENÝCH SPOJŮ	39
4.1	METODY DESTRUKTIVNÍ.....	39
4.1.1	Pevnost lepených spojů ve smyku.....	39
4.1.2	Pevnost lepených spojů v tahu	39
4.1.3	Pevnost lepených spojů v odlupování	39
4.1.4	Pevnost lepených spojů při namáhání rázem	40
4.1.5	Zkouška lámavosti lepených spojů	40
4.1.6	Zkouška soudržnosti lepeného spoje při statickém zatížení	40
4.1.7	Zkouška trvalé pevnosti a stárnutí.....	40
4.2	METODY NEDESTRUKTIVNÍ	40
4.2.1	Akustická defektoskopie	40
4.2.2	Optické zkušební metody	41
4.2.3	Defektoskopie pomocí radioizotopů	41
4.2.4	Ultrazvuková defektoskopie.....	41
II	PRAKTICKÁ ČÁST	42
5	CÍL BAKLÁŘSKÉ PRÁCE	43
6	VOLBA MATERIÁLU A LEPIDEL	44
6.1	VOLBA MATERIÁLU HDPE.....	44
6.1.1	Vlastnosti HDPE	45
6.1.2	Lepení zvoleného materiálu	45
6.2	VOLBA LEPIDEL.....	46
6.2.1	CYBERBOND 1008	47
6.2.2	CYBERBOND 2008	48
6.2.3	CYBERBOND 2028	49
6.2.4	PLEXUS MA300	50
7	VÝROBA A ZKOUŠENÍ LEPENÝCH SPOJŮ	51
7.1	VÝROBA VZORKŮ	51
7.1.1	Arburg420CAAdvanced	51
7.2	PŘEDBĚŽNÁ ÚPRAVA VZORKŮ	52
7.2.1	Primer CB 9056.....	52
7.2.2	Radiační síťování	53
7.3	POPIS POSTUPU LEPENÍ ZKUŠEBNÍCH VZORKŮ	55
7.3.1	Příprava	55
7.3.2	Formy pro lepení	56
7.3.3	Zhotovení lepených spojů	57

7.4	STROJ PRO TAHOVOU ZKOUŠKU	58
7.5	STATISTICKÉ VYHODNOCENÍ	59
8	VÝSLEDKY TAHOVÉ ZKOUŠKY	60
8.1	ZÁKLADNÍ MATERIÁL OZÁŘENÝ NEROZSTŘÍHANÝ	60
8.2	CYBERBOND 1008	61
8.3	CYBERBOND 2008	63
8.4	CYBERBOND 2028	64
8.5	PLEXUS MA300	66
8.6	SROVNÁNÍ NEJLEPŠÍCH VÝSLEDKŮ VZORKŮ LEPENÝCH BEZ ÚPRAVY ZKUŠEBNÍCH TĚLES	68
8.7	SROVNÁNÍ NEJLEPŠÍCH VÝSLEDKŮ PŘI OZÁŘENÍ VZORKŮ	69
8.8	SROVNÁNÍ NEJLEPŠÍCH VÝSLEDKŮ LEPIDEL PŘI POUŽITÍ PRIMERU	70
8.9	SROVNÁNÍ NEJLEPŠÍCH VÝSLEDKŮ VŠECH LEPIDEL	71
9	DISKUZE	72
	ZÁVĚR	73
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	74
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	75
	SEZNAM OBRÁZKŮ	76
	SEZNAM TABULEK	78
	SEZNAM PŘÍLOH	79

ÚVOD

V posledních letech zaznamenalo lepení v oblasti spojování plastů velký rozmach, který způsobil, že je řazeno mezi nové techniky spojování, i když je velmi staré. Ve srovnání s klasickými metodami spojování poskytuje lepení nové kombinační možnosti a dovoluje získat spoj takových tvarů a vlastností, které nejsou dosažitelné jinými způsoby spojování.

Lepení totiž umožňuje jak pevné a pružné spoje současně, tak i vrstvení materiálů na sebe. Lepit můžeme téměř všechny materiály, a to mezi sebou navzájem, i s jinými materiály. Za optimální pevnosti konstrukčně použitelných lepených spojů v hlavních kritériích namáhání se považují hodnoty odpovídající hodnotám spojovaného materiálu.

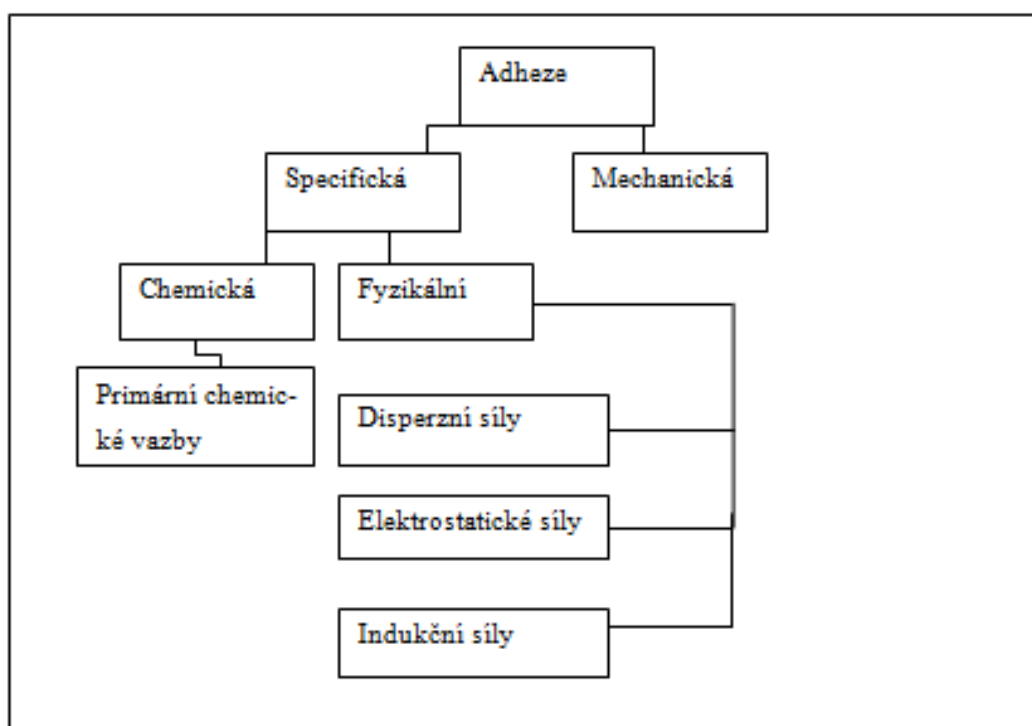
Nemůžeme očekávat, že každé lepidlo poskytne pevné spoje na všech materiálech. I když některá lepidla lze s úspěchem použít na spoustu materiálů, nelze je považovat za univerzální. Univerzální lepidla na všechny materiály neexistují. Jen s určitými druhy lepidel, na konkrétních materiálech a za konkrétních podmínek je možné získat spoje s optimálními vlastnostmi v určitém směru.

Pro úspěšné použití lepidel je velice důležitá znalost technologie lepení a faktorů, které ovlivňují pevnost lepeného spoje. Lepené jsou na rozdíl od klasických spojů provedených nýty a šrouby nepropustné pro kapaliny. Můžeme kombinovat klasické způsoby spojování a lepení. Lepením se nenarušuje hladkost povrchu tedy ani estetický vzhled výrobku. Nezhoršují se taky mechanické vlastnosti konstrukčního materiálu vrtáním otvorů pro spojovací prvky. [7,8]

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 TEORIE LEPENÍ

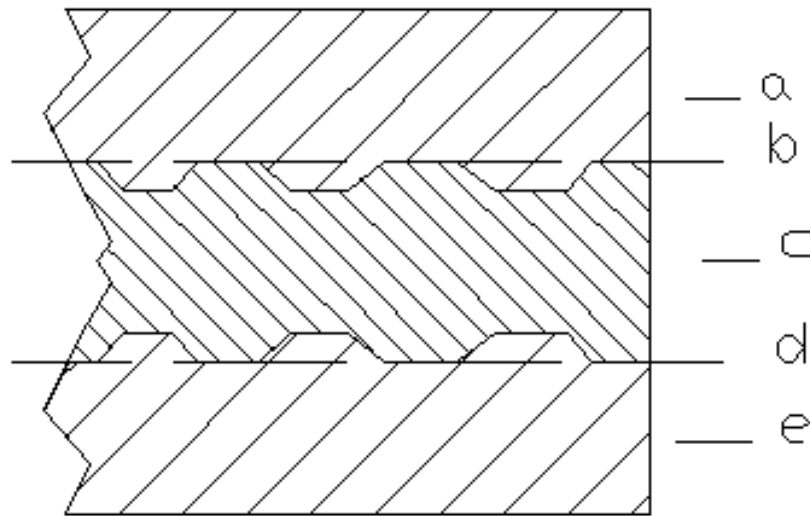
Lepením rozumíme technologický postup, při kterém se dosahuje trvalého spoje se stejným nebo rozdílným materiálem, pomocí lepidel. Lepidla jsou látky, které spojují povrchy přilnavostí (adhezí) a jeho vlastní soudržností (kohezí). Základním předpokladem k tomu, aby se mohly uplatnit adhezivní síly, je dokonalý styk lepidla s povrchem lepené hmoty. Přehled adhezivních vlivů je na obrázku (obr. 1). Hodnoty koheze závisí na složení filmu lepidla v konečné fázi lepení. Adheze i koheze se uplatňují ve slepovaných spojkách současně. [4,8]



Obr. 1. Přehled adhezivních vlivů.[8]

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. Lepený spoj je zobrazen na následujícím obrázku (obr. 2). [8]



Obr. 2. Schéma struktury lepeného spoje.[8]

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

1.2 Výhody a nevýhody

Lepení stejně jako jiné zpracovatelské metody se vyznačuje mnoha výhodami i nevýhodami i některými zápornými či limitujícími činiteli. Při rozhodování, o použití lepidla je třeba zvážit všechny výhody i nevýhody.[7]

1.2.1 Výhody

- Lepení dovoluje spojovat stejné nebo různorodé materiály bez ohledu na jejich tloušťku.
- Aplikací lepidel není narušena celistvost spojovaných dílců.
- Je možné připravit spoje vodotěsné i plynotěsné.
- Není narušován profil ani estetický vzhled lepeného souboru.
- Lepený spoj tlumí vibrace v konstrukci a zvyšuje tuhost i vzpěrovou pevnost souboru.

- Lepený spoj zabraňuje vzniku elektrolytické koroze kovových materiálů.
- Lepením se nezvyšuje hmotnost souboru, což je jedním z předpokladů miniaturizace.
- Spoje mohou být průhledné nebo i barevně přizpůsobené.
- Lze dosáhnout vysoké pevnosti spojů, zejména při namáhání ve smyku a rázové pevnosti. [7]

1.2.2 Nevýhody

- Klade vysoké požadavky na rovinnost a čistotu povrchu lepených dílců.
- Jsou nutné speciální úpravy povrchu u materiálů se špatnými adhezními vlastnostmi.
- Konstrukčně použitelné spojené jsou rozebíratelné.
- Většina lepených spojů je citlivá na namáhání v odlupování.
- Maximální pevnosti spoje je dosaženo až po určité době.
- Odolnost vůči vyšším teplotám je omezena.
- Film termoplastických lepidel je citlivý vůči dlouhodobému statickému namáhání.
- Lepení v průmyslovém měřítku je náročnější na vybavení pracoviště. [7]

1.3 Adheze a Koheze

1.3.1 Teorie Adheze

Teorie mechanické adheze

Lepidlo nejdříve proniká do pórů a nerovností povrchu, kde poté ztuhne a vytvoří mechanicky prolnutý systém, podobný spojení velkého počtu miniaturních kolíčků. Pro vysvětlení adheze lepidel k neporézním materiálům je tato teorie nepoužitelná. [7]

Teorie polarizace

Látky polární a látky silně polární se zpravidla nemísí, a proto je předpoklad vzniku adheze mezi nimi minimální. Vztah mezi polaritou a adhezní aktivitou materiálu je podle různých autorů ovlivňován jeho strukturou a rozpustností. [7]

Tab. 1. Vztah polarity a rozpustnosti k adhezním vlastnostem adherendů.[7]

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

Teorie elektrostatická

V letech 1948 až 1950 se zjistilo, že přilnavost filmu lepidla na kov nebo vysokomolekulární plasty závisí na rychlosti odtrhávání spoje. Při zvyšování rychlosti odtrhávání spojů ve vakuu byla pozorována emise elektronů, prokázána jak vizuálně, tak elektrometricky.

Při úzkém kontaktu dvou nesejných polymerů nebo polymeru a kovu dochází mezi oběma materiály k přechodu elektronů, jedna z vrstev se stává chudší a druhá bohatší, což vede k vytváření dvojvrstvy, která je jakýmsi mikrokondenzátorem. [7]

Teorie difuze

Má platnost za předpokladu že:

- a) polymerní látky obsažené v lepidlech a lepeném materiálu jsou rozpustné a navzájem mísitelné,
- b) makromolekuly adheziva i materiálu vykazují dostatečnou pohyblivost.

Ze vztahů mezi adhezní účinností a podmínkami byli vyvozeny tyto závěry:

- a) adhezní účinnost se zvětšuje s dobou kontaktu materiálů a lepidla,
- b) zvýšením tlaku se zvětšuje plocha kontaktu, a tím i množství difundující látky,
- c) zvýšením teploty stoupá rychlost difuze molekul,

- d) molekuly menších rozměrů difundují rychleji,
- e) molekuly rozvětvené a kopolymery s krystalickou strukturou difuzi ztěžují. [7]

Teorie adsorpce

Na místech styku dvou různých fází vzniká mezifázové rozhraní, v němž se vyskytuje volná energie. Jestliže síly povrchové energie materiálu převýší součet sil sbalujících kapku kapaliny lepidla, je porušena její stabilita a kapalina se rozprostře po povrchu, v tom případě hovoříme o úplném smáčení povrchu.[7]

Teorie přímých chemických vazeb

Primární chemické vazby byly jako příčina adheze uznávány jen výjimečně, ačkoli bylo známo, že mohou zajistit podstatně pevnější spojení molekul než síly mezimolekulární přitažlivosti. Ačkoliv význam chemických vazeb jako hlavní složky adhezivních sil nebyl prokázán, lze připustit ve vybraných případech jejich evidentní podíl na adhezi.[7]

1.3.2 Koheze

Koheze, soudržnost nebo tzv. vnitřní adheze je druhý činitel, který ovlivňuje kvalitu lepidla a spoje. Je to vlastně souhrn sil, které drží jednotlivé molekuly lepidla (adheziva) pohromadě. Velikost koheze udává tzv. kohezní energie, což je velikost energie potřebné k odtržení jedné částičky od ostatních. Hodnota koheze je dále závislá na dobrých mechanických vlastnostech lepidla a také pevnosti spoje. [3]

2 ČINITELE OVLIVŇUJÍCÍ SOUDRŽNOST LEPENÉHO SPOJE

2.1 Povrch lepené hmoty

2.1.1 Polarita

Vliv hmoty na její lepitelnost lze ve zkratce shrnout jako:

- a) Slabě až středně polární hmoty, jako je například polyvinylchlorid, polymethylmetakrylát, polyestery, celuloid, fenoplasty, aminoplasty, se lepí lépe než silně polární hmoty.
- b) Silně polární hmoty zejména polyamidy, hydrátová celulóza a některé z polyuretanových hmot, se lepí hůře než hmoty slabě polární
- c) Některé nepolární hmoty, jako například polyetylén, polypropylén, polytetrafluoretylén, a vysoko molekulární polyizobutylén jsou těžce lepitelné až nelepitelné. Problém se proto obchází předběžnou úpravou povrchu oxidací, jež vede k místnímu zvýšení polarit. Lepitelnost nepolárního polymeru lze do jisté míry zlepšit i přidávkou polárních plniv, polárních kopolymerů, změkčovadel apod. Jde ovšem o překrývající se vlivy, které nic nemění na vztahu základního polymeru k lepidlu. Potíže činí i slepování hmot s rozdílnou polaritou.[8]

2.1.2 Krystalinita polymerů

Ne všechny plastické hmoty mají amorfní strukturu. Některé termoplasty polyetylén, polypropylén, polytetrafluoretylén, polyamid jeví v důsledku rovnovážné stavby makromolekulárního řetězce sklon ke krystalinitě. Vyznačují se vesměs lepšími mechanickými a fyzikálními vlastnostmi než polymery amorfní. Z hlediska dosažení optima těchto vlastností je tedy ataktický podíl v polymerech nežádoucí. Na lepitelnost má však krystalinita také vliv právě opačný. Se zvyšujícím se krystalinickým podílem lepitelnost polymeru klesá a naopak. [8]

2.1.3 Obsah plniv

S výjimkou grafitu a sazí je většina plniv obsažených v plastických hmotách (celulóza, dřevěná moučka, azbest, skleněná vlákna apod.) polárního charakteru a adhezi lepidel k povrchu zlepšuje nebo alespoň nezhoršuje. [8]

2.1.4 Obsah změkčovadel

Měkké plastické hmoty, ať už folie, nebo lehčené materiály, pokud obsahují ve větším množství nízkomolekulární změkčovadla (ftaláty, fosfáty apod.), mohou být spolehlivě lepeny jen lepidly, které se s těmito změkčovadly nemísí. Jsou to např. vulkanizovatelná kaučuková lepidla, lepidla tvrditelná a některé kopolymery. Jinak migrující změkčovadlo film lepidla rozleptá, čímž je ohrožena pevnost spoje. Nízkomolekulární rozpouštědla se proto nahrazují měkkými termoplastickými hmotami, zejména polyizobutylenem a dalšími. Je-li měkčící složka zabudována v makromolekule polymeru, je ohrožení spoje migrací změkčovadla vyloučeno. [8]

2.1.5 Soudržnost povrchu

Jiným z faktorů, na nichž závisí pevnost spoje, je soudržnost povrchové vrstvy lepené hmoty. Tato vlastnost je velmi důležitá při zpracování lehčených pěnových materiálů, kaširovaných vícevrstvých hmot, dekoračních materiálů elektrostaticky poprašovaných a skelných laminátů. Některé pěnové hmoty, zejména na fenolické a močovinové bázi mají při menší objemové váze jen velice malou soudržnost. I při malém zatížení lepeného spoje dojde zpravidla k jeho destrukci stržením jedné z povrchových vrstev. V uvedených případech může být pevnost spoje zhoršena například tím, že rozpouštědlo nebo tvrdidlo obsažené v lepidle naruší soudržnost kaširované nebo poprašované vrstvy s nosičem. Ke zhoršení soudržnosti povrchové vrstvy může dojít i nevhodným zdrsněním jestliže hmota obsahovala těsně pod povrchem orientované plnivo-nosič. [8]

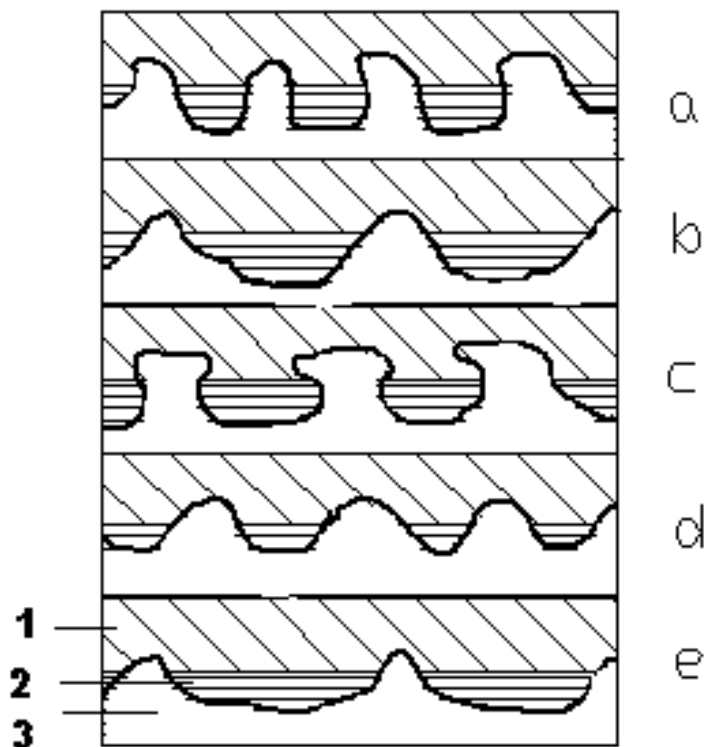
2.1.6 Rovnost a hladkost povrchu

Každá styčná plocha představuje tři druhy povrchu:

- a) geometrický povrch, daný konstrukčními rozměry spoje,
- b) mikropovrch, tj. teoreticky možná styčná plocha, zahrnující veškeré nerovnosti a póry,
- c) účinný povrch, tj. část mikropovrchu, skutečně smáčená lepidlem.

Geometrický povrch zahrnující délkové rozměry lepené plochy a tloušťkové tolerance vytvářející charakteristiku souběžnosti spojovaných ploch, ovlivňuje především stejnoměrnost rozvrstvení lepidla ve spáře. Na účinný styk lepidla s povrchem má při dané viskozitě lepidla vliv tvar nerovností mikropovrchu. Podle Bruyna jde o pět typů nerovností (Obr. 3). Lze tedy říci, že jen tvarově výhodné zdrsnění povrchu může mít příznivý vliv na pevnost

spoje. Jako optimální hloubka zdrsnění se zpravidla uvádí 1 a 6 μm . Přitom lepidla tvrzená za normální teploty jsou na tvar povrchu citlivější než lepidla vytvrzovaná za horka. [8]



Obr. 3. Pět typů nerovností podle deBruyna.

a - válcová nerovnost, b – kónická otevřená nerovnost, c-kónická uzavřená nerovnost, d-kónická plochá nerovnost, e-miskovitá nerovnost, 1 – geometrický povrch, 2 - mikropovrch, 3 - účinný povrch

2.1.7 Čistota povrchu

Absolutní kontakt lepidla s povrchem lepené hmoty předpokládá, že plocha určená k lepení je zbavena všech separačně působících látek, zejména mastnoty, korozních zplodin a adsorbovaných plynů. Odstranění prvních dvou druhů není v zásadě problémem, k odmašťování se používá rozpouštědel a moření chemickými látkami. Odstranění adsorbované plynové vrstvy, o jejíž existenci svědčí výsledky pokusů s ultrazvukem, nebylo dosud spolehlivě vyřešeno. [8]

2.1.8 Délková roztažnost

Většina plastických hmot má 6 až 10 krát větší délkovou roztažnost za tepla než klasické materiály, jako je například sklo, dřevo nebo beton a kovy (Tab. 2). U kombinovaných spojů, jestli tomu zabráněno jejich zvláštním provedením a tato vlastnost může stát příčinou vzniku pnutí a následné deformace nebo porušení spoje. [8]

Tab. 2. Koeficienty délkové roztažnosti plastických hmot.[8]

Druh materiálu	Koeficient délkové roztažnosti $\alpha \cdot 10^6$ [deg ⁻¹]
Polyamid	100-120
Polyester	10-25
Polyetylen	180-220
Polypropylen	200
Polystyren	80

2.1.9 Rozpustnost, bobtnavost

Řada termoplastických polymerů se rozpouští nebo bobtná v organických rozpouštědlech, která jsou obsažena v roztokových popřípadě disperzních lepidlech. Při práci s kompaktními tlustostěnnými materiály je tato okolnost pro dosažení lepší adheze výhodou, kdežto při lepení folií, kdy může být příčinou deformace povrchu, není žádoucí. [8]

2.2 Lepidlo

2.2.1 Polymerační stupeň

Vliv polymeračního stupně polymeru obsaženého v lepidle je do značné míry protichůdný.

S rostoucí délkou molekuly stoupá viskozita roztoků, adheze k podkladu zpravidla klesá a koheze stoupá, a naopak. S vyšším polymeračním stupněm se zpravidla zlepšuje také tepelná odolnost. Makromolekuly s nižším polymeračním stupněm lépe difundují do mikroskopických pórů povrchu. Makromolekuly vyššího polymeračního stupně jsou vhodnější pro vytvoření pevného filmu lepidla. Protože pro správnou funkci lepidla ve spáře je nutná jak vysoká adheze k podkladu, tak dostatečná koheze, musí být v lepidle zastoupeny v kompromisním poměru vysokomolekulární i nízkomolekulární složky. Proto se například

adhezní vlastnosti a elasticita vysokomolekulárních látek zlepšují přidavkem změkčovadel nebo nízkomolekulárních měkkých pryskyřic. Podle dosavadních zkušeností se pro použití na lepidla hodí polymery polymeračního stupně od 50 do 300. Volba jmenovitého polymeračního stupně je ovšem možná jen při výrobě lepidel na bázi nereaktivních polymerů. [8]

2.2.2 Vedlejší skupiny na řetězci polymeru

Vedlejšími skupinami na řetězci polymeru jsou určovány polární charakteristiky, rozpustnost a tuhost filmu lepidla. Vhodnou kombinací příbuzných polymerů lze dosáhnout zvýraznění vlastností v tom či onom směru. Roztok polybutylakrylátu je lepidlem, které vytváří podstatně elastičtější film a vyznačuje se lepší přilnavostí než roztok polymetylmetyakrylátu. Velmi markantní je vliv substituentů na makromolekule celulózy. [8]

2.2.3 Přídavek plniva

Přídavek plniva v lepidle splňuje několiký účel. Především se jím reguluje viskozita a nepřímo tedy prosakování lepidla do podkladu a tloušťka filmu lepidla. Plnivo může také sloužit k rozvedení vnitřního pnutí lepidla (mouka močovinoformaldehydových lepidel) nebo vyrovnání fyzikálních vlastností lepidla a lepené hmoty, například délkové roztažnosti teplem a tepelné vodivosti (přídavek kovového prachu). Některá plniva se hodí jako nastavovadla, která lepící směs zlevňují. K tomuto účelu se používá různých organických a anorganických látek, zpravidla inaktivního charakteru, například kaolinu, porcelánové moučky, kysličníku titaničitýho, technické žitné mouky, škrobu, mletých kovů, popřípadě i vzduchu pokud je o takzvané šlehané lepící směsi. Při zahušťování dvousložkových lepidel platí zásada, že plnivo se přidává, dolepila vždy před přidáním tvrdidla. Mají-li se s plnivem mísit velmi viskózní lepidla, směs se přechodně ředí těkavým organickým rozpouštědlem. [8]

2.2.4 Přídavek změkčovadla

Je známo, že nejen tuhost filmu lepidla, ale i jeho adhezi k podkladu lze ovlivnit přidavkem změkčovadla. Používá se arylfosfátů, ftalátů, glykolů a měkkých pryskyřicových produktů například kumaron-indenové, alkylfenolové a alkydové pryskyřice. Větší měkkost a přilnavost filmu obsahujícího změkčovadlo je vysvětlována lepší pohyblivostí makromolekul a jejich snadnějším pronikáním do mikroskopických pórů povrchu lepené hmoty. Obsah změkčovadel v lepidle nepřekračuje zpravidla 20%. Nejsou-li tekutá změkčovadla s polymerem obsaženým v lepidle chemicky vázána, mohou po delší době migrovat do sused-

ních vrstev, pokud je tyto vrstvy přijímají. V takovém případě může dojít i ke zhoršení pevnosti spoje. [8]

2.2.5 Obsah rozpouštědla

Rozpouštědla slouží v lepidlech jako pomocný prostředek, usnadňující rovnoměrné nanesení polymeru na lepený povrch. Zlepšuje se také smáčivost povrchu, a tím i kontakt lepidla s mikropovrchem hmoty. Rozpouštědlo se z filmu lepidla musí vždy zase odstranit. Děje se tak trojím způsobem:

- a) předběžným odpařením ve fázi otevřeného sestavení spoje,
- b) vsáknutím jedné nebo obou lepených ploch a následným odpařením,
- c) polymerací, jde-li o reaktivní rozpouštědlo (monomer). [8]

2.2.6 Viskozita lepidla

Je funkcí obsahu sušiny, polymeračního stupně filmotvorného polymeru, poměru rozpouštědla k ředidlu a teploty. Čím je lepidlo viskóznější, tím hůře se nanáší a v extrémním případě dochází i k nedokonalému smáčení povrchu lepené hmoty. U některých reaktivních lepidel viskozita stárnutím také samovolně vzrůstá. Taková lepidla se musí uchovávat v chladu (při 0 až 5 °C), kdy polykondenzační reakce prakticky ustávají. Rozpouštědlová lepidla všeho druhu se mají skladovat v uzavřených nádobách, aby se zabránilo odpařování rozpouštědel, a tím i vzrůstu viskozity. [8]

2.2.7 Kyselost a alkalita

Některá dvousložková lepidla se vytvrzují silně kyselými nebo silně alkalickými tvrdícími katalyzátory, například fenolické lepidlo Umacol B kyselinou p-toluensulfonovou apod. Takových lepidel nelze použít k lepení povrchů, které by potřebnou kyselost nebo alkalitu obsaženého tvrdidla otupovaly. Silně kyselé nebo alkalické lepicí směsi vyžadují mimo to zvláštní péči o čistotu zařízení a dodržování předpisů bezpečnosti práce. [8]

2.2.8 Homogenita lepidla

Je samozřejmým předpokladem úspěšného lepení. Lepidla s obsahem plniva se musí před nanášením dobře promíchat, neboť při dlouhodobém uskladnění plnivo sedimentuje. Podobně může u lepidel obsahujících vodu dojít při uskladnění v mrazu k oddělení pryskyřičných produktů od vodné vrstvy. Zpětná homogenizace takto oddělených vrstev není vždy dobře proveditelná. Absolutní homogenita se vyžaduje i při směšování reaktivních

lepidel s tvrdidly a jinými pomocnými látkami. Není tedy přípustné přidávat tvrdidlo v krystalické formě, je-li předepsáno použití roztoku. [8]

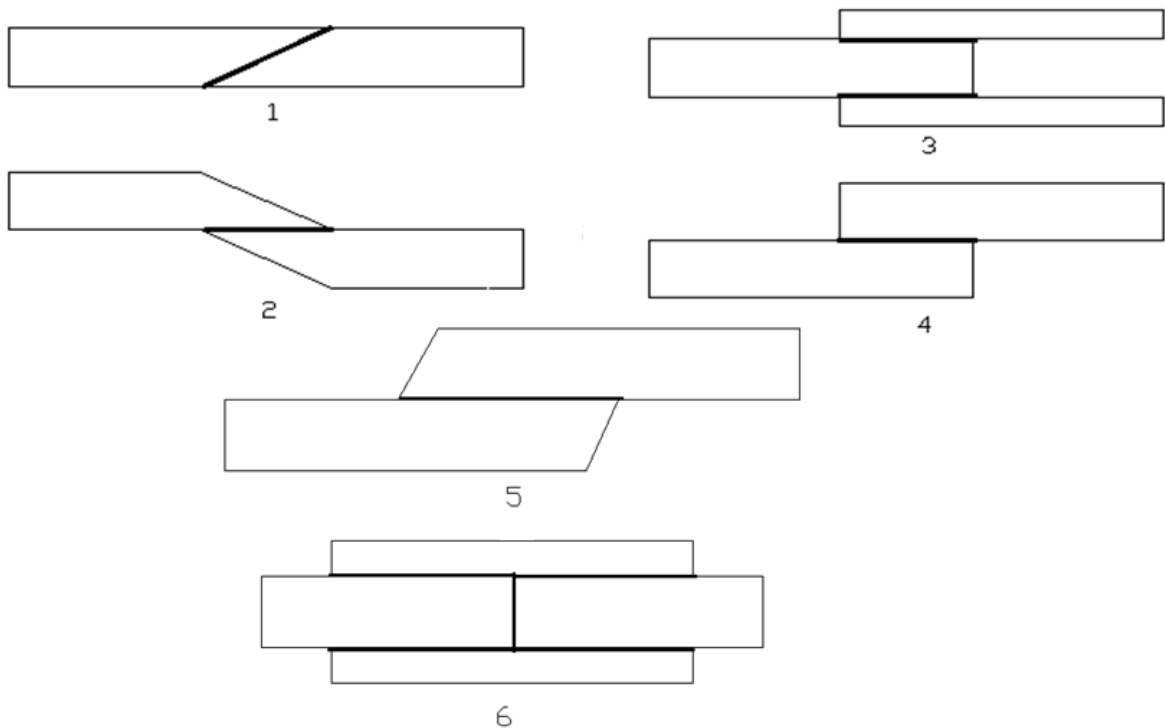
2.2.9 Objemová stálost filmu lepidla

Při tuhnutí lepidla ve spáře dochází i k jeho objemovým změnám. Nejméně se smršťují lepidla tavná a lepidla reaktivní. K největší ztrátě objemu dochází naopak u rozpouštědlových a disperzních lepidel na bázi termoplastických polymerů, která obsahují max 40 až 50% sušiny. Některé polymery, například polystyren, zadržují rozpouštědlo velmi dlouho, takže dosažení objemové stability spáry je obtížné.[8]

2.3 Technologické podmínky zpracování

2.3.1 Konstrukce lepených spojů

Lepené spoje jsou mechanicky namáhány v tahu, tlaku, ve smyku, v odlupování, v rázové pevnosti a v kroucení. Ne ovšem těmto vlivům lepidla dobře odolávají. Proto musí být konstrukce upraveny tak, aby byl spoj namáhán co nejméně v odlupování a kroucení, na které je většina lepidel velice citlivá. Namáhání se v takových případech soustřeďuje jen do určitých míst spoje, což vede k lokálnímu přetížení a poškození filmu lepidla. Také spoje čelních ploch, namáhané převážně v tahu, tlaku nebo v lámání, je možno volit jen tehdy, jsou-li spojované plochy dostatečně velké. Optimálních hodnot mechanické pevnosti se za daných podmínek dosahuje použitím spojů s uměle zvětšenou spárou, zejména u spojů jednostranně a oboustranně přeplátovaných, u spojů s jednostrannými nebo oboustrannými příložkami, u spojů čelních ploch tzv. spárou tvaru V, u spojů násuvných apod. Úpravami se zvětší geometrický povrch dotykových ploch a dosáhne se takového rozvedení sil, že spoj je zatěžován převážně ve smyku. Z technologického hlediska je při konstrukci lepených spojů nutné dbát i na to, aby dotykové plochy lepených materiálů byly co nejméně členité a po slepení nevyžadovali další úpravy. Lepení souboru by mělo probíhat vždy v jedné operaci, aby nevznikaly časové ztráty a aby předchozí spoj nebyl dodatečně zatěžován vyšší teplotou a tlakem. Přehled konstrukčních spojů je zobrazen na následujícím obrázku (Obr. 4).[7]



Obr. 4. Přehled konstrukčních řešení lepených spojů.[7]

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

Velkoplošné spoje

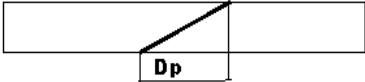
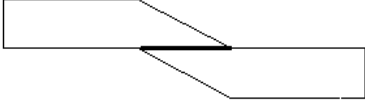
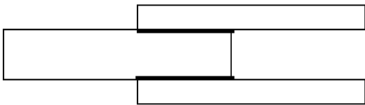
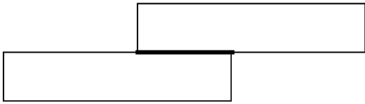
Jsou nejjednodušším typem lepeného spoje. Je častý hlavně v povrchových úpravách deskových materiálů a sendvičových konstrukcí za pomoci nábytkových krytin, folií, tapet a plechů, dále při obkládání a tapetování stěn. Respektování požadavku materiálové symetrie souboru je nutné, především tehdy, spojují-li se materiály s rozdílnou délkovou roztažností a materiály objemově nestálé tj. bobtnající nebo smršťující se podle změn vlhkosti a teploty prostředí. Například volně uložené deskové nosiče ze dřeva a jeho aglomerátů se mají povrchově upravovat na obou stranách zásadně stejným materiálem ve stejném směru výrobních znaků, a pokud je možno týmž lepidlem, jinak se soubor deformuje. Velkoplošné spoje jsou dále využívány při výrobě vícevrstvých materiálů – laminátů. Kombinací syntetických pojiv s plnivý orientované struktury (s tkaninou, papírem) vznikají nové materiály s vynikajícími vlastnostmi. Lamináty jsou vhodné pro konstrukce předmětů namáhaných chvěním, rázy, kroucením podobně. Jednotlivé vrstvy rozvádějí dynamické namáhání kon-

strukce natolik, že se destruktivní vliv omezuje jen na vrstvy přilehlé silové zatížení například nárazu. [7]

Přepřátované spoje

Jsou to rovněž plošné spoje a využívají se zejména při lepení tenkých materiálů. V těchto případech lze totiž zanedbat vliv ohybového momentu, vznikajícího následkem excentricky zatíženého spoje u souborů tlustších adherendů (materiálů). U jednostranně přepřátovaných spojů se soustřeďuje tahové napětí především na koncích přepřátování a působí zde jako síla podporující odlupování. Při zvyšujícím se zatížení se na obou koncích přepřátování zvětšuje napětí až do kritického momentu, kdy se spoj směrem od konců přepřátování ke středu spáry naruší a roztrhne. Spoj se přetrhne tím dříve, čím větší je deformace lepených částí. Deformace materiálů mohou ovšem vzniknout nejen následkem vysokého zatížení spoje, ale i tečením materiálu při relativně nízkém zatížení, například při lepení tvrdých termoplastických hmot. Na vzniku kritického napětí se podílejí i další činitele, například jakost filmu lepidla, teplotní délková roztažnost obou materiálů. Film lepidla, který překonává rozdíly v protažení mezi lepenými částmi je přitom zatížen smykovými silami, které jsou nejvyšší na obou koncích přepřátování a nejnižší uprostřed. Protažení materiálu a následné deformace lepeného souboru jsou tedy u jednostranně přepřátovaných spojů příčinou toho, že je dosahováno menších pevností v momentu zlomu, než jakých by se dosáhlo u materiálů absolutně tuhých, namáhaných výhradně ve smyku. Délka přepřátování záleží na druhu materiálů a tloušťce lepených dílců. Matematické vyjádření je vždy velmi složité a nepřesné, protože nemůže podchytit všechny děje souvisící. V praxi je však možné řídit se pravidlem, že délka přepřátování má být nejméně pětinasobkem tloušťky lepených dílců. Vliv délky přepřátování na pevnost spoje ve smyku a jeho celkovou únosnost ukazuje (tab. 3). Výsledky uvedené v tabulce jsou vztaženy k odolnosti čelního, jednoduše zkoseného spoje, který je považován za 100%ní standard. Z tabulky vyplývá, že nosnost vyjadřující maximální celkové zatížení spoje stoupá se zvětšující se délkou přepřátování. Pevnost ve smyku vyjadřující přepočet na jednotku lepené plochy naopak se zvětšující se délkou přepřátování klesá. Podobný vztah platí i pro šířku přepřátování. Se zvětšováním šířky stoupá pouze jeho celková nosnost. Kladný vliv větší tloušťky, a tedy i tuhosti materiálů na pevnost přepřátovaných spojů ve smyku vychází z předpokladu vyšší tvarové stálosti, a tím i nižších deformací vedoucích k namáhání spoje v odlupování.

Tab. 3. Přehled nosností a pevností ve smyku vybraných lepených spojů.[7]

Typ spoje	Nosnost $N \text{ mm}^2$ [%]		Pevnost ve smyku Mpa [%]	
	Při styčné ploše $D_p=10\text{mm}$	Při styčné ploše $D_p=20\text{mm}$	Při styčné ploše $D_p=10\text{mm}$	Při styčné ploše $D_p=20\text{mm}$
 1	100	100	100	100
 2	61	100	67	56
 3	70	86	79	44
 4	54	64	54	32

Spoje čelních ploch

Jsou jiným typem lepených spojů tzv. spoje natupo. V neupravené formě jsou použitelné jen pro dostatečně tlusté materiály. Spodní hranici není možné jednoznačně stanovit, záleží na vlastnostech lepených dílců a na požadované odolnosti spoje. Jde o desítky milimetrů v rozmezí 30 až 50 mm pro spodní limit. Při spojování tenkých materiálů musí být spoje natupo vhodně upraveny zvětšením geometrického povrchu. Toho lze dosáhnout buď úkosy, anebo různě tvarovanými drážkami. Jiným typem spoje s úkosem je úprava spáry tvaru V. Používá se například při spojování desek z tvrdých plastů, zejména z PMMA, reaktivními lepidly, která se nesmršťují. Vrcholový úhel spáry V se řídí tloušťkou lepeného materiálu, optimálních vlastností spoje se dosahuje v rozmezí 30 až 60 °. [7]

Násuvné trubkové spoje

Jsou obdobou přeplátovaných plochých spojů a spojů s příložkami jsou lepené násuvné spoje. Osvědčují se zejména při spojování trubek z lehkých kovů a z plastů. Spoje se dělají navzájem přesunutě, s vnějším návlekiem, popř. s vnitřní vložkou. Dobrých výsledků se

dosahuje u trubkových spojů s lepenými přírubami, záslepkami a kalibračními vložkami. [7]

Sendvičové konstrukce

Jsou zvláštním druhem lepeného konstrukčního materiálu, který se pro svou lehkost a vynikající mechanické vlastnosti uplatňuje ve stavebním a leteckém průmyslu i při stavbě lodí. Středovou vrstvu tvoří vždy lehký materiál například PUR nebo PVC. Krycí vrstvy bývají z duralových plechů, z polyesterových sklolaminátů aj. Předpokladem stability sendvičové konstrukce je symetrie souboru a soudržný spoj mezi jádrem a krycí vrstvou. Největší pozornost vyžadují místa, kterými je do vrstev sendviče zaváděno zatížení, a dále způsob ukončení okrajů a popř. provedení oprav. Tato exponovaná místa musí být upravena tak, aby spoj mezi jádrem a pláštěm nebyl vystaven přímému působení sil, které by vedly k odlupování pláště. Proto se sendvičové konstrukce doplňují vložkami různých tvarů nebo průchozími spojkami, svírajícími soubor z obou stran pomocí kruhových příložek. Pro spojování, ukončování a opravu lepených sendvičových materiálů byla navržena řada konstrukčních variant. [7]

2.3.2 Předběžná úprava spojovaných ploch

Má tento účel:

- a) obrobení povrchu a odstraněním separačně působících látek se umožní přímý a rovnoměrný styk lepidle s hmotou,
 - b) chemickou nebo fyzikální aktivací se podle potřeby zlepší adhezivní vlastnosti podkladu,
 - c) v zájmu dobré kvality spoje se někdy slepované materiály předem tepelně nebo klimaticky upravují,
 - d) okolí spoj se chrání před znehodnocením lepidlem, pomocí jednotlivých postupů.
- [8]

Mechanické obrábění

Při obrábění termoplastů organickými rozpouštědly nesmí nerovnost povrchu spojovaných ploch překročit 0,025 mm a při lepení rozpouštědlovými lepidly 0,05 mm. Za vyhovující lze považovat plochy frézované, neleštěné. Při strojním obrábění se ovšem termoplast nesmí přehřívat, a proto je žádoucí chlazení vodou nebo vzduchem. Jemné zdrsnění povrchu spojovaných ploch lze doporučit při lepení termoplastů s omezenou rozpustností, zejména

u polyolefínů, polyamidů, polyvinylchloridu atd. Ani v ostatních případech není na závadu, poněvadž zvyšuje podíl aktivního povrchu, umožňuje rychlejší naleptání povrchové vrstvy rozpouštědlem a odstraňuje eventuálně i film voskového separátoru. [8]

Odmašťování

K odmaštění spoje se přistupuje vždy až po mechanické úpravě spáry, tj. po ofrézování a obroušení, jelikož při těchto operacích dochází vždy ke znečištění hmoty mastnými nástroji. Odmašťování nutné v každém případě, a to i tehdy, počítá-li se s chemickou úpravou povrchu mořením ve speciálních lázních. Jinak totiž zůstane mastnota na povrchu mořící lázně a při vyjmutí předmětu k němu znovu přilne. Pokud to situace dovolí, mají se v zájmu spolehlivosti spoje odmašťovat dílce ve dvou lázních – v prvních pro hrubé odmaštění a v druhé pro čisté. Termoplastické hmoty lze odmašťovat jen takovými rozpouštědly a roztoky, které termoplastickou hmotu nenapadají. Ve všech případech vyhoví vložné roztoky saponátů a z organických rozpouštědel velmi často metanol nebo lehký benzín.[8]

Úprava aktivity povrchu

Ner rozpustné, nepolární polyolefiny, jako je polyetylén, polypropylén, polytetrafluoretylén, polytrifluórchlóretylén a kopolymer fluórovaného etylénu s propylénem se mohou úspěšně slepovat jen tehdy, je-li jejich povrch předem aktivován. Řada metod navržených k tomuto účelu je vesměs založena na procesech oxidačního charakteru nebo na úpravách, jimiž se zvětšuje počet adhezivních dvojných vazeb.[8]

Temperance

V některých termoplastických hmotách, zejména PMMA, PS a PC, snadno dochází při jejich zpracovávání ke vzniku vnitřního pnutí, způsobené většinou nesprávným režimem mechanického obrábění, tepelného tvarování, lisování a vstřikování. Za určitých podmínek (vlivem stárnutí, povětrnosti, rozpouštědel a změkčovadel) může se vnitřní pnutí projevit jemným popraskáním povrchu tzv. stříbřením. Rozpoznání míst s vnitřním pnutím umožňuje prohlídka díle přes polarizační folii. Vnitřní pnutí lze odstranit jen zvláštní tepelnou úpravou, tzv. temperací. Používá se k tomu teplovzdušných sušáren, v nichž lze udržet nastavenou teplotu s přesností na $0 \pm 2^\circ\text{C}$. Tuto podmínku splňují sušárny s tepelným zdrojem umístěným mimo komoru. Blokované organické sklo běžného typu se temperuje při teplotě 80 až 95°C , výlisky z polystyrenu 70 až 80°C . Pro desky a výlisky s tloušťkou stěny do 10 mm se udává nejkratší doba temperace asi 3 hodiny. Pro tlustší desky se doba tempe-

race prodlužuje, a to na každé 3mm tloušťky asi o hodinu. Aby nevzniklo ve hmotě nové pnutí, musí se pak velmi pomalu ochlazovat při vypnutém zdroji až na 40°C.[8]

Ochrana okolí spoje před znečištěním

Při slepování užitkových předmětů z průhledných plastických hmot se doporučuje chránit lesklý povrch hmoty v okolí spoje před potřísněním rozpouštědlovými lepidly. Proto se na exponovaná místa nalepuje široká papírová lepicí páska s vodorozpustným lepidlem. Dobrého výsledku se dosáhne i nanesením želatinové vrstvy s přídavkem glycerinu. [8]

Klimatizace

Týká se hlavně porézních a nasákavých materiálů, podléhajících objemovým změnám při kolísání okolní teploty a vlhkosti. Jsou-li ty to materiály vlhčí, než by odpovídalo rovnovážnému stavu s průměrnou relativní vlhkostí ovzduší v místě funkce souboru, a jsou-li v takovém stavu pevně nalepeny na jiný materiál, vzniká mezi oběma při vysychání značné pnutí. Lepený soubor může být deformován, tenký materiál popraská. Proto se doporučuje nasákavé materiály před lepením klimatizovat, tj. uskladnit je na určitou dobu v prostředí s uměle upravenou vlhkostí vzduchu do té doby, než vlhkost materiálu dosáhne úrovně, která je pro danou technologii lepení nejvhodnější. [7]

2.3.3 Příprava lepicích směsí

Ne vždy lze lepidla zpracovávat přímo ve stavu, v jakém byla dodána. Lepidla uskladňovaná ve studených místnostech se před použitím musí temperovat na normální pracovní teplotu tj. 15 až 25°C. Lepidlo se proto má vždy v původním obalu několik dní před použitím přemístit do výrobního prostoru. Jindy je pro zajištění stejnoměrného rozlivu a tloušťky nánosu nutná úprava viskozity buď přídavkem ředidla, nebo naopak přimíšením vhodného plniva. Lepidla pro spojování průhledných součástí se mají před nanesením vakuově odplynit. Reaktivní dvousložková a vícesložková lepidla před použitím míchají s příslušným tvrdidlem, urychlovačem a dalšími přísadami. Postupuje se obvykle tak, že se lepidlo předem smíchá s přísadami, které reaktivitu resp. růst viskozity směsi neovlivňují, a teprve těsně před použitím se přidává tvrdící katalyzátor. Dávkování jednotlivých složek musí být sladěno tak, aby lepicí směs měla i dostatečnou pracovní životnost. Pro kontinuální nanášení se tím rozumí životnost nejméně 1,5 až 2 hodiny za normální pracovní teploty. V manipulační místnosti proto musí být k dispozici pomůcky pro přesné dávkování tj. váhy a

odměrky. K promíchání jednotlivých složek lepicích směsí se používá různých typů míchacích strojů se šnekovými, lopatkovými nebo košovými míchadly.[8]

2.3.4 Nanášení lepidla

Rovnoměrnost, souvislost a správná tloušťka nánosu lepidla na jedné nebo obou styčných plochách spoje jsou prvním předpokladem úspěšného lepení. O tom, zda má být nános jednostranný nebo oboustranný, rozhoduje druh lepidla a celkový charakter spoje. Obecně platí, že rozpouštědlová, rychle schnoucí lepidla, jejichž tuhnutí postupuje v důsledku odpařování nebo difúze rozpouštědla do podkladu z jedné nebo obou hladin filmu, se musí nanášet na obě lepené plochy. Reaktivní lepidla, která tuhnou v důsledku reakce v celé hmotě současně, lze nanášet jednostranně. Nános lepidla musí stačit k vytvoření přiměřeného filmu lepidla ve spáře, s mírným krůpějovým přetokem. U tekutých lepidel s celkovým nánosem v mezích od 100 do 300 g/m² lepené plochy. Při zpracovávání lepivých tmeľů může být spotřeba ještě větší. Některé druhy lepidel jsou velmi citlivé na tloušťku filmu. Například močovinová lepidla, která se po vytvrzení vyznačují značným vnitřním pnutím, vyžadují relativně nejtenčí nános. Naopak u lepidel epoxidových má být zachována minimální tloušťka filmu 0,2 mm. Optimální dodržení tloušťky umožňují tzv. lepicí fólie, tj. teplem aktivovatelná lepidla nanesená na jemném celulósovém nosiči. Možnost dodržení předepsané tloušťky nánosu ovšem závisí i na kvalitě a pórovitosti podkladu. Při jednostranném nánosu se lepidlo obvykle nanáší na materiál s horšími adhezními vlastnostmi nebo na plochu méně pórovitou. Slepují-li se hmoty velmi pórovité, do nichž lepidlo snadno vsakuje, musí se lepidlo buď zahustit, nebo se musí nános opakovat. Při lepení voštinových konstrukcí se lepidlo zpravidla na voštinu nanáší. Spojují-li se pěnové hmoty s jinou vrstvou, např. s krycí fólií, nanáší se lepidlo podle potřeby buď na pěnu, má-li být spoj prodyšný, nebo na fólii, postačí-li spoj neprodyšný. Postup závisí na druhu spojovaných materiálů, na konstrukci spoje, na formě lepidla a počtu resp. Metráži spojovaných ploch. Jsou v zásadě jen dvě alternativy: tekutá lze nanášet ručně, nebo vhodným nanášecím zařízením.[8]

2.3.5 Význam tlaku

Působení tlaku na soubor lepených ploch napomáhá jejich fixaci proti posunutí nebo odchlípení a přispívá ke stejnoměrnému rozvrstvení lepidla po celé ploše spoje. Současně se přitom vyrovnávají menší nerovnosti podkladu a lepidlo snáze pronikne do povrchových pórů. Při spojování plastických hmot lepením jde zpravidla o tzv. zatížení nízkým tlakem,

tj. tlakem 0,2 až 3 kp/cm². Je omylem domnívat se, že zvýšením tlaku se úměrně zvýší i pevnost spoje. Nadměrný tlak může mít spíše negativní účinky. Může např. dojít k tomu, že lepidlo se ze spáry vytlačí a vznikne chudý, nesoudržný spoj. Jindy může příliš velký tlak způsobit, že i velmi jemná struktura podkladu se prokreslí na povrch krycího materiálu-folie, nebo že vznikne pnutí v termoplastických hmotách, čímž se zhorší jejich optické vlastnosti, rozměrová stálost atd. Nedostatečné zatížení spoje může vést zase závadám jiného druhu: lepidlo bývá nerovnoměrně rozvrstveno a spoj je z hlediska pevnosti přinejmenším nespolehlivý a jde-li o čiré materiály, i vzhledově nekvalitní. V praxi se používá převážně hydraulických lisů, přítlačných válcovacích zařízení a pneumatických systému pracujících pomocí pryžových folií. Spojované plochy musí zůstat pod tlakem tak dlouho, až koheze lepidla dosáhne stupně postačujícího k jejich pevnému vzájemnému spojení.[8]

2.3.6 Význam teploty

Teplotní režim ovlivňuje kvalitu nánosu lepidla a časový průběh jeho tuhnutí ve spoji. V prvním případě je zvýšená teplota účinným regulátorem viskozity lepidla a prostředkem k urychlenému předsušení nánosu při kontinuálním nanášení rozpouštědlových, popř. disperzních lepidel na fólie a deskové materiály se nános předsuší, je-li nutno, ve vyhřívaných tunelových sušárnách různého typu. Nepřetržitý pás hmoty nebo přířezy rozřezané na potřebný formát jsou vedeny po válečkové dráze, eventuálně pásovém dopravníku dvěma až třemi teplotními zónami s teplotou odstupňovanou tak, aby se vrstva lepidla urychleně, ale stejnoměrně předsušila. Pro vliv teploty na tuhnutí lepidla ve spoji platí vztah, že s teplotou roste rychlost tvrzení termoplastických lepidel zhruba exponenciálně. Naopak nižší teplota brzdí vytvrzování těchto lepidel. V praxi se rozlišuje lepení za normální teploty, charakterizované tím, že lepidlo ve spáře se nechává tuhnout při teplotě místnosti, lepení za zvýšené teploty, tj. při teplotách nad 25°C s maximem asi 100°C a lepení za horka, je-li teplota spáry vyšší než 100°C. Lepidla, která obsahují termoplastické polymery, za zvýšených teplot nebo za horka měknou, na tom je založena práce s lepidly tavného typu. Při lepení za vyšších teplot se ovšem nesmí překročit hranice tepelné odolnosti spojovaných hmot. Zvýšená teplota také nesmí být příčinou vzniku pnutí mezi dvěma materiály s podstatně rozdílnou délkovou roztažností teplem. Tlak a vyšší teplota se aplikují současně. Používaná zařízení, např. vyhřívané etážové lisy, přetlakové parní komory, přítlačná válcová zařízení a jiné.[8]

2.3.7 Podmínky a doba tuhnutí lepidla

Tuhnutí lepidla ve spoji je závislé na jeho složení, na pórovitosti lepených ploch a na teplotě okolí. U reaktivních lepidel je příčinou jejich tuhnutí chemická reakce, vyvolaná přidávkou tvrdícího katalyzátoru, limitovaného zvýšením tvrdící teploty, účinku vzdušné vlhkosti, popřípadě kombinovaným působením všech těchto faktorů. Reaktivní lepidla reagují vesměs rychleji při zvýšené teplotě a při zvýšeném obsahu tvrdidla, a naopak. Obsah inaktivních plniv a ředidel reakci zpravidla zpomaluje při teplotách pod $+10^{\circ}\text{C}$ se tvrzení reaktivních lepidel velmi zpomaluje. K tomu se musí 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 dvěma faktory:

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

Tuhnutí rozpouštědlových a disperzních lepidel lze při dané pórovitosti lepených ploch zkrátit nebo prodloužit jejich smíšením s níž vroucími nebo naopak vysoko vroucími ředidly. Tavná lepidla tuhnou ochlazením spoje na normální teplotu. Je nežádoucí, aby tavné lepidlo na nosiči tuhlo předčasně, a proto se doporučuje lepené hmoty předehřívat.[8]

2.3.8 Stav zpracovatelského zařízení

Na kvalitu lepeného spoje má podstatný vliv i stav zpracovatelských pomůcek a zařízení. Ve fázi přípravy lepených ploch mohou první závady vzniknout vinou opotřebovaných, tupých obráběcích nástrojů nebo zanesených brusných kotoučů. Styčná plocha je opálená, shrnutá, eventuálně nedokonale zbavená separačních mezivrstev. Při nanášení lepidla působí největší potíže zařízení zanesená ztvrdlým lepidlem z předchozích operací. Jiným zdrojem závad jsou jednostranně opotřebované nanášecí válce, což vede k nerovnoměrnosti nánosu, tvorbě shluků lepidla apod. Jestliže z jakýchkoliv důvodů poklesl v lisovacím zařízení tlak během tuhnutí lepidla, vzniknou nesoudržné, odpružené spoje. Také nerovnoměrný přívod tepla, ať už způsobený zanesením topných desek lisu, nebo špatnou cirkulací teplého vzduchu (páry) v tvrdicích komorách, může vést k nerovnoměrnému vytvrzení spoje, ke vzniku puchýřů, k borcení souborů apod.[8]

3 LEPIDLA

Lepidla se vyrábějí ze syntetických a přírodních surovin. Průmyslová výroba lepidel navazuje především na výrobu plastů. Možnost kombinací lepidel dovoluje přípravu širokého sortimentu lepidel určené pro různé potřeby. Pro lepší orientaci spotřebitelů se lepidla třídí podle různých hledisek. Základní třídění lepidel je zobrazenou v (tab. 4, tab. 5, tab. 6, tab. 7, tab. 8). [2]

3.1 Rozdělení lepidel

3.1.1 Podle původu

Tab. 4. Rozdělení lepidel podle původu. [8]

Organická lepidla	Anorganická lepidla	Lepidla smíšená
a) Z přírodních surovin - Pryskyřicová - Škrobová - Glutinová - Albuminová - Bitumenová	- Vodní sklo - Cementy - Sádra	- Albumin-cement - Albumin-síra - Močovinová s vodním sklem
b) Syntetická - Polykondenzační - Polymerační - Polyadiční		

3.1.2 Podle konzistence

Tab. 5. Rozdělení lepidel podle konzistence. [8]

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

3.1.3 Podle způsobu tuhnutí

Tab. 6. Rozdělení lepidel podle způsobu tuhnutí. [8]

Lepidla reaktivní	Nereaktivní
<ul style="list-style-type: none"> - Jednosložková, tuhnoucí účinkem zvýšené teploty nebo vzdušné vlhkosti - Dvousložková a vícesložková, tuhnoucí vlivem tvrdících katalyzátorů za normální i zvýšené teploty 	<ul style="list-style-type: none"> - Roztoková, tuhnoucí v důsledku vytěkání vody nebo organického rozpouštědla - Disperzní, tuhnoucí v důsledku vsáknutí vody do podkladu - Taveninová, tuhnoucí po ochlazení spáry na normální teplotu - Stále lepivá

3.1.4 Podle tepelných vlastností filmu lepidla

Tab. 7. Rozdělení lepidel podle tepelných vlastností filmu lepidla. [8]

Termosetická lepidla	Termoplastická lepidla	Kaučuková lepidla
<ul style="list-style-type: none"> - Fenolická - Rezorcinová - Močovinová - Melaminová - Epoxidová - Polyuretanová - Polyesterová 	<ul style="list-style-type: none"> - Polyvinylacetátová - Polyvinylchloridová - Polymetaakrylátová - Polyvinylacetalová - Polystyrenová - Polyamidová - Lepidla z derivátů celulózy 	<ul style="list-style-type: none"> - Chlórkaučuková - Polychloroprenová - Polybutadienakrylonitrilová

3.1.5 Podle odolnosti filmu lepidla k vodě

Tab. 8. Rozdělení lepidel podle odolnosti filmu lepidla k vodě. [8]

Neodolná proti vodě lepidla	Krátkodobě odolná lepidla	Trvale odolná lepidla
<ul style="list-style-type: none"> - Škrobová - Glutinová - Albuminová - Polyvinylalkoholová - Karboxymethylcelulózo- vá 	<ul style="list-style-type: none"> - Močovinová - Polyvinylacetátová - Nitrocelulózová - Polyvinyléterová 	<ul style="list-style-type: none"> - Fenolformaldehydová - Rezorcinová - Melaminová - Polyuretanová - Polyesterová - Polymetaakrylátová - Epoxidová

3.2 Hlavní složky lepidel

Hlavních složek můžeme vyjmenovat celou řadu. Praxe ukazuje, že nejvýhodnější je považovat lepidlo za systém složený z pěti složek:

1. Adhezivní základ. Je to látka, která má dodat lepidlu a zhotovenému spoji určité požadované vlastnosti.

2. Nosné médium nosič. Podle formy lepidla to může být rozpouštědlo, ale i fólie, papír nebo textil.

3. Katalyzátory a tvrdidla. Tyto činidla nemusí být v každém lepidle. Jejich funkcí je zabezpečit vytvrzovací reakci.

4. Urychlovače, inhibitory a retardéry jsou látky, které kontrolují vytvrzovací proces a jsou v jednosložkových i ve vícesložkových reaktivních lepidlech.

5. Modifikátory modifikační přísady, v této skupině zařazujeme přísady, mění technologické vlastnosti, použití nebo výsledné vlastnosti spoje. [1]

3.3 Skladování lepidel

Pro skladování lepidel platí tyto zásady:

- skladovat pokud možno v původních, uzavřených obalech v chladných a suchých obalech,
- v místnostech při teplotách +10°C.

Co do časového limitu uskladnění jsou nejméně náročná lepidla rozpouštědlová, obsahující roztoky derivátů celulózy a termoplastických polymerů, jež se mohou v dokonale uzavřených skleněných nebo kovových obalech skladovat téměř bez omezení.

Poměrně krátká doba skladování obvykle 3 až 6 měsíců, se naproti tomu připouští u roztokových lepidel na bázi syntetických kaučuků. Většina těchto lepidel se samovolně vulkanizuje a postupně zvyšuje svou viskozitu až na mez upotřebitelnosti.

Mezi lepidla náročná na skladování patří polyvinylacetátové disperze, lepidla močovinoformaldehydová a fenolformaldehydová. Pokud disperzní lepidla zmrznou, jsou znehodnocena, protože se disperze rozvrství. Postupný pokles jakosti až k jejich znehodnocení nastává i při dlouhodobém skladování za běžných podmínek. Močovinná lepidla se mohou skladovat 6 až 12 týdnů.

Nejkratší dobu skladování mají vodné roztoky fenolických rezolových pojiv, v uzavřených obalech jsou při teplotě od 18°C skladovatelné 2 až 5 týdnů. Reaktivní lepidla močovinná, fenolická a polyesterová jsou použitelné do té doby, pokud zůstávají hustě tekoucí.

Nejdéle ze všech reaktivních lepidel se mohou skladovat lepidla epoxidová. Například pevné epoxidové pryskyřice mohou být v suchých místnostech s teplotou do 20°C skladovány až 2 roky. [7]

3.4 Volba lepidla

Výběr lepidla je třeba podřídit třem hlavním ukazatelům:

1. druh lepené hmoty,
2. předpokládanému namáhání spoje,
3. technologickým podmínkám provedení. [8]

3.4.1 Druh lepené hmoty

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

3.4.2 Předpokládané namáhání spoje

Z lepidel, která byla zvolena jako vyhovující z hlediska specifické adheze, je nutno vybrat taková, která vyhovují i předpokládanému zatížení budoucího spoje. Obecně lze říci, že pro tepelně a chemicky namáhané spoje vesměs vyhovují lepidla tvrditelná. Houževnaté a čiré spoje, vyznačující se i dobrou odolností k vodě, poskytuje řada termoplastických lepidel. Jde-li o požadavky ve svých důsledcích protichůdné, je nutno hledat přijatelný typ lepidla a smířit se kompromisem. [8]

3.4.3 Technologickým podmínkám provedení

Při výběru lepidla pro ten či onen spojovaný systém je třeba přihlížet i k předpokládanému způsobu zpracování, tj. nanášení, předsušení a tvrzení. Pro kontinuální nanášení jsou pochopitelně nejvhodnější lepidla, u nichž lze zajistit přiměřeně dlouhou životnost v tekutém stavu, přednostně tedy lepidla disperzní, roztoková nebo tavná a jen v nevyhnutelných případech vybraná lepidla tvrditelná. Naopak tam, kde ekonomika provozu vyžaduje maximální zkrácení doby tvrzení, dáváme přednost lepidlům reaktivním. [8]

4 HODNOCENÍ KVALITY LEPENÝCH SPOJŮ

Z množství spojů se převážně používají metody destruktivní, spočívající v hodnocení pevnosti spoje namáhaného ve smyku, v tahu, v odlupování a v rázu. Doplnkovými zkouškami bývají zkoušky pevnosti spojů při statickém zatížení a zkoušky trvalé pevnosti za zvolených podmínek, např. za zvýšené teploty nebo po expozici v různých kapalinách. Výsledek slouží ke kontrole vlastností lepidel a spojů i jako podklad pro konstrukční výpočty. [7]

4.1 Metody destruktivní

4.1.1 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 zkušební tělesa dojít k vychýlení nebo 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.[7]

4.1.2 Pevnost lepených spojů v tahu

Provádí se na normalizovaných válcových tělesech o průměru 25 mm a výšce 10 mm podle normy 621463. Spoj se v trhacím stroji podrobí namáhání vtahu a přitom se měří potřebná síla k roztržení vzorku.[7]

4.1.3 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. [7]

4.1.4 Pevnost lepených spojů při namáhání rázem

Rázová pevnost spojů je nejmenší síla potřebná k porušení zkušebního vzorku rázem. Při zkouškách je lepených spoj namáhán ve smyku rázovým tlakem ve směru podélné osy. Zkouška se provádí na kyvadlovém stroji. [7]

4.1.5 Zkouška lámavosti lepených spojů

Spoj je namáhán statickým tlakem kolmo na podélnou osu a plochu spoje do porušení zkušební tělesa. Zkouška se doporučuje především pro spoje tvrdých materiálů.

4.1.6 Zkouška soudržnosti lepeného spoje při statickém zatížení

Podle druhů lepidel a směrů a jejich použití se zkouší soudržnost lepeného spoje při statickém zatížení ve smyku nebo v odlupování. Zavěšená zkušební tělesa se po stanovenou dobu zatíží. Potom se zjišťuje, zda se během stanovené doby vlivem statického zatížení nerozlepila. [7]

4.1.7 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 způsobené 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. [7]

4.2 Metody nedestruktivní

4.2.1 Akustická defektoskopie

Těleso vydává po rozkmitání v místech vadného spoje zvuk jiné amplitudy, jiné vlnové délky a zvukového spektra než v místech kvalitního spoje. Na tomto poznatku je založeno několik metod akustické defektoskopie. [7]

4.2.2 Optické zkušební metody

Spočívají v prosvětlení tenkých lepených celků intenzivními světelnými zdroji nebo u tlustších souborů rentgenovými paprsky. [7]

4.2.3 Defektoskopie pomocí radioizotopů

Do lepidla se přidá vhodný radioizotop a kontroluje se jeho rozložení ve spoji. [7]

4.2.4 Ultrazvuková defektoskopie

Zkoušený celek se umístí mezi ultrazvukový generátor a přijímač ultrazvukových vln, a tak se zjišťují místa s vadným slepením. Tato metoda se uplatňuje především při kontrole lepených spojů kovů. [7]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

5 CÍL BAKLÁŘSKÉ PRÁCE

Cílem bakalářské práce bylo porovnat pevnosti lepených spojů u materiálu HDPE, při použití kyanoakrylátových sekundových lepidel (Cyberbond 1008,2008 a 2028) a poté dvou-složkové methakrylátové lepidlo (Plexus MA300). Dále byly porovnány pevnosti lepených spojů bez povrchové úpravy s povrchovou úpravou pomocí primeru a s úpravou pomocí radiačního síťování.

Zásady pro vypracování bakalářské práce byly následující:

1. Vypracovat literární studii na dané téma.
2. Provést přípravu vzorků.
3. Provést měření pevnosti lepených spojů.
4. Vyhodnotit výsledky měření

6 VOLBA MATERIÁLU A LEPIDEL

6.1 Volba materiálu HDPE

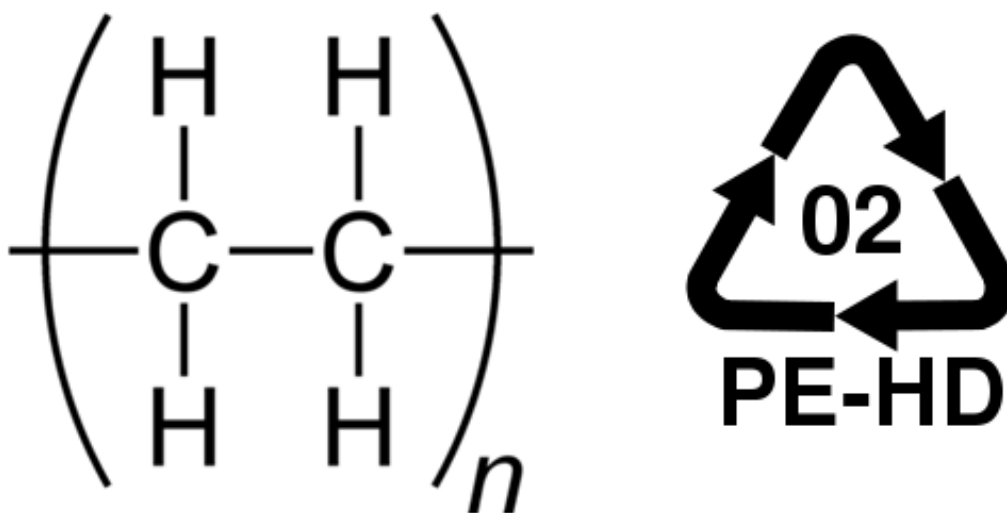
Polyetylén je bílá hořlavá látka, bez chuti a bez zápachu. Má vzhled parafínu a voskový omak. Za pokojové teploty je tuhý, v tenčí vrstvě ohebný. Suroviny pro výrobu etylénu jsou ropné benzinové frakce, zemní plyn, koksárenský plyn a hydrogenace acetylénu. Strukturní vzorek a označení na výrobcích jsou zobrazeny na následujícím obrázku (Obr. 5)

Rozeznáváme dva základní typy polyetylénu:

- Lineární-vysokohustotní HDPE (High-Density Polyethylen),
- Rozvětvený-nízkohustotní LDPE (Low-Density Polyethylen).

V roce 1953 vyvinul německý chemik Karl Ziegler a itál Giulio Natta Zieglerov-Nattaův katalyzátor, který umožnil polymeraci ethénu uskutečnit při normálním tlaku, když vzniká tzv. nízkotlakový polyetylén (HDPE).

Krystalinita HDPE je 65 až 95% (LDPE 50 až 75%). Má dobré tokové vlastnosti, výborné dielektrické vlastnosti. Oproti LDPE vyšší mechanické vlastnosti, vyšší odolnost vůči rozpuštědlům a vůči vroucí vodě.[5,11]



Obr. 5. Strukturní vzorec Polyetylenu (vlevo) a značení na výrobcích (vpravo).[11]

6.1.1 Vlastnosti HDPE

Tab. 9 Vlastnosti HDPE.[12]

Stupeň krystalizace [%]	60-80
Hustota [g/cm ³]	0,94-0,97
Modul pružnosti ve smyku [N/mm ²]	Cca 1000
Oblast tavení krystalů [°C]	130-135
Chemická odolnost	Vyšší
Mez pružnosti [N/mm ²]	20-30
Prodloužení v mezi pružnosti [%]	12
Modul pružnosti [N/mm ²]	1000
Koeficient teplotní roztažnosti [1/K]	$2 \cdot 10^{-4}$
Max. trvalé teplotní zatížení [°C]	100
Teplota měknutí [°C]	140

6.1.2 Lepení zvoleného materiálu

HDPE je houževnatý materiál, odolávající za normální teploty působení organických rozpouštědel, kyselin a alkálií. Jeho nepolární charakter je příčinou špatných adhezních vlastností. Obsah nepolárních plniv, zejména sazí, lepitelnost dále zhoršuje. Malá tepelná odolnost omezuje výběr lepidel. Konstrukčně použitelných spojů lze dosáhnout jen za cenu optimální úpravy povrchu oxidací nebo jinými metodami.

K aktivaci povrchu se používají tyto předběžné úpravy:

- a) Aktivace plamenem je vhodná hlavně k úpravě polyetylenů. Plochy odmaštěné chloridem zinečnatým se po oschnutí ožehnou nesvítivým plamenem plynového hořáku, až se povrch lehce zmatní.

- b) Moření kyselinou chromsírovou. Lázeň se připraví z koncentrované kyseliny sírové, dichromanu disodného a vody. Vzhledem k velice agresivnímu charakteru kyseliny chromsírové mohou tuto operaci provádět pouze pověřené osoby.
- c) Používají se aktivátory při lepení kyanakrylátovými vteřinovými lepidly, kvůli zlepšení adheze. Aktivátor se nanáší štětcem a velmi rychle zaschne. Aktivaci je možné provádět i několik hodin před lepením.[6]

6.2 Volba lepidel

Sekundová lepidla

Kyanoakrylátová sekundová lepidla jsou také známá jako super lepidla. Jsou o rychle vytvrzující jednosložková lepidla. Tato sekundová lepidla najdou upotřebení v průmyslové výrobě, ale často také 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 a mechanické namáhání, rychlost fixace, těsnost spoje, vzhled spoje, tepelné nebo chemické namáhání spoje, elektrické vlastnosti a obecně vlastnosti po vytvrzení. [13]

Dvousložková methakrylátová lepidla

Lepidla reaktivní vícesložková jsou založena většinou na tvrditelných pryskyřicích. Dvousložková methakrylátová lepidla svým složením a vlastnostmi do tohoto celku nezapadají. Při jejich zpracování nedochází k vytvrzení pryskyřice, ale k polymeraci monomeru použitého jako reaktivní rozpouštědlo. Polymer zůstane i po této reakci termoplastický a rozpustný v organických rozpouštědlech. Dvousložková methakrylátová lepidla jsou založena na kombinaci jemného perlového polymeru a monomerního methylmethakrylátu. Chemikálie iniciačního systému potřebné pro vznik polymerační reakce jsou obsaženy v jedné nebo obou složkách lepidla. [7]

6.2.1 CYBERBOND 1008



Obr. 6. Cyberbond 1008. [13]

Vteřinové lepidlo určené pro lepení kovů, kombinace kov-kov, kov-pryž a kov-plast. Lepidlo je řídké a na kovech rychle vytvrzující. Vhodné pro spoje na neporézních dobře slíčováných materiálech. [13]

Tab. 10. Vlastnosti Cyberbond 1008. [13]

Fyzikální vlastnosti		
Vzhled	bezbarvé/ čiré	
Viskozita při 25°C	9 – 15	mPa*s
Hustota při 20°C	1,09	g / cm ³
Bod vzplanutí	80	°C
Manipulační pevnost spoje, doba pro vytvoření manipulovatelného spoje		
kov (ocel)	20 – 35	sekund
plast (ABS)	4 – 6	sekund
Pryž (EPDM)	3 – 6	sekund
Teplotní rozsah pro použití (polymer)	-55 do +95	°C

6.2.2 CYBERBOND 2008



Obr. 7. Cyberbond 2008. [13]

Sekundové lepidlo vhodné pro plasty a gumu Nejrychlejší lepidlo pro pryže a plasty. Pro lepení hladkých neporézních pryží. Extrémně rychlé spoje EPDM nepodléhající stárnutí.[13]

Tab. 11. Vlastnosti Cyberbond 2008. [13]

Fyzikální vlastnosti		
Vzhled	bezbarvé/ čiré	
Viskozita při 25°C	12-18	mPa*s
Hustota při 20°C	1,06	g / cm ³
Bod vzplanutí	85	°C
Manipulační pevnost spoje, doba pro vytvoření manipulovatelného spoje		
kov (ocel)	18 - 28	sekund
plast (ABS)	2 - 4	sekund
Pryž (EPDM)	1 - 3	sekund
Teplotní rozsah pro použití (polymer)	-55 do +95	°C

6.2.3 CYBERBOND 2028



Obr. 8. Cyberbond 2028. [13]

Lepidlo vhodné pro porézní pryže a plasty. Nestéká jako řídké typy, vyplní nerovnosti materiálu. PP, PE a teflon je nutné předem aktivovat Primerem CB9056.[13]

Tab. 12. Vlastnosti Cyberbond 2028. [13]

Fyzikální vlastnosti		
Vzhled	bezbarvé/ čiré	
Viskozita při 25°C	160-240	mPa*s
Hustota při 20°C	1,05	g / cm ³
Bod vzplanutí	85	°C
Manipulační pevnost spoje, doba pro vytvoření manipulovatelného spoje		
kov (ocel)	20 - 35	sekund
plast (ABS)	2 - 4	sekund
Pryž (EPDM)	2 - 4	sekund
Teplotní rozsah pro použití (polymer)	-55 do +95	°C

6.2.4 PLEXUS MA300



Obr. 9. Plexus MA300.

Je dvousložkové methakrylátové lepidlo vyvinuté pro strukturální lepení dřív z termoplastů, kovů a kompositu. V poměru 1:1 má dobu zpracování 4 až 6 minut a dosahuje 75 % celkové pevnosti během 10 až 15 minut při pokojové teplotě. Plexus MA300 nabízí kombinaci vysoké pevnosti a tuhosti, stejně jako schopnosti spojovat širokou paletu materiálů. Plexus MA300 je dodáván v náplních připravených k práci nebo v konvích po 20 l či 200 l sudech a může být míchán jako ne stékvavý gel při použití standardního míchacího zařízení.[10]

Tab. 13. Vlastnosti Plexus MA300.[10]

Mechanické vlastnosti (zreagované) – pokoj. Teplota		Fyzikální vlastnosti (nezreagované) - pokojová teplota		
Tah			Lepidlo	Aktivátor
Pevnost, MPa	20 - 24	Viskozita, cP	40,000 - 60,000	40,000 - 60,000
Modul, MPa	931 - 1137	Barva	bělavá	žlutá
Deformace k selhání (%)	15 - 25	Hustota, g/cm ³	1.1	0.96
		Směsný poměr objemový	1	1
		Směsný poměr váhový	1	1

7 VÝROBA A ZKOUŠENÍ LEPENÝCH SPOJŮ

7.1 Výroba vzorků

Zkušební vzorky byly vyrobeny vstřikováním na vstřikovacím stroji Arburg420CAAdvanced. Tvar a rozměry vzorků jsou shodné s rozměry uvedenými v normě ČSN EN ISO 527 – 2.

7.1.1 Arburg420CAAdvanced

U vstřikovacího stroje Arburg 420 C Advanced (Obr. 16) se spojuje nejosvědčenější technika s inovačním 32bitovým 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. 10. Vstřikovací stroj Arburg420CAAdvanced.[1]

Tab. 14. Technická data vstřikovacího stroje Arburg420 C.[1]

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

7.2 Předběžná úprava vzorků

Na část vzorků byl před samotným lepením aktivován povrch pomocí primeru a část vzorků byla odeslána do firmy BGS Beta-Gama-Service GmbH & Co. KG sídlící v Saalan der Donau v Německu, kde byly vzorky ozářeny radiačním beta zářením o dávkách 33, 66, 99, 132, 165 a 198 kGy.

7.2.1 Primer CB 9056

Primer Cyberbond 9056 umožňuje spojovat nepolární plasty jako např. polyethylen (PE), polypropylen (PP), polyformaldehyd, silikon nebo moderní termoplastické elastomery, pomocí kyanakrylatových lepidel Cyberbond. Cyberbond 9056 mění povrchové napětí.

Má následující výhody:

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

Cyberbond 9056 se nanáší štětečkem na lepené materiály. Po odpaření je možné okamžitě použít kyanakrylatové lepidlo Cyberbond. Díly je ale také možno lepit až po 24 hodinách.[13]



Obr. 11. Primer CB 9056

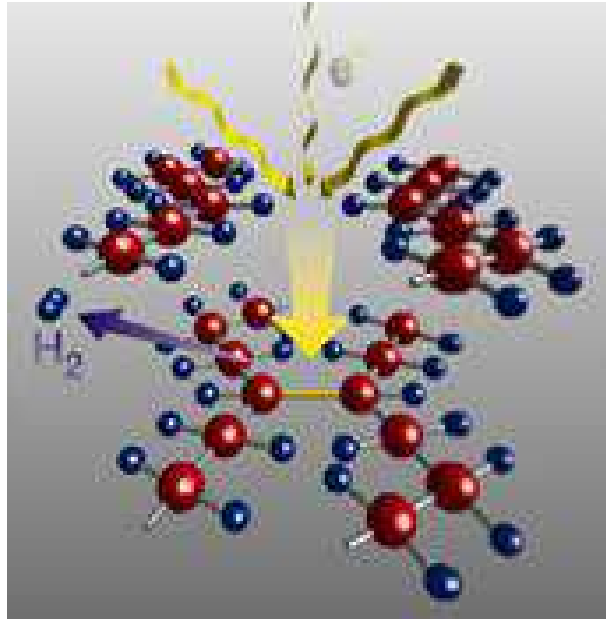
7.2.2 Radiační síťování

Princip radiačního síťování

Radiační síťování je proces, kde dochází ke spojení vazeb chemickou reakcí navzájem reagujících volných radikálů (rozpadají se vazby C-H), které se uvolňují, když materiál absorbuje množství energie na jednotku hmoty získanou z ionizačního záření. Síť vzniká postupným spojováním dvou volných radikálu mezi sousedními řetězci za vzniku vazeb C-C.

Radiační síťování probíhá za pokojových teplot bez použití jakýchkoliv dalších přísad kromě síťovacího činidla. Pokud bychom jej u některých polymerů nepřidali, polymer by nezesíťoval, ale naopak by došlo k jeho degradaci a tím i ke ztrátě jeho tepelných a mechanických vlastností. Ale také se do polymerních směsí může přidávat pro zlepšení vlastností, snížení dávek ozařování atd.

Radiačním síťováním jsou měněny a zlepšovány vlastnosti a to hlavně tažnost a pružnost při dlouhém tepelném a mechanickém zatížení. U termoplastů dojde k tomu, že za určitých teplot mají vlastnosti elastomerů. To se projevuje hlavně nad teplotou tání a tím může termoplast odolávat vyšším teplotám než běžný neozářený termoplastický díl.[9]



Obr. 12. Schéma radiačního síťování.[9]

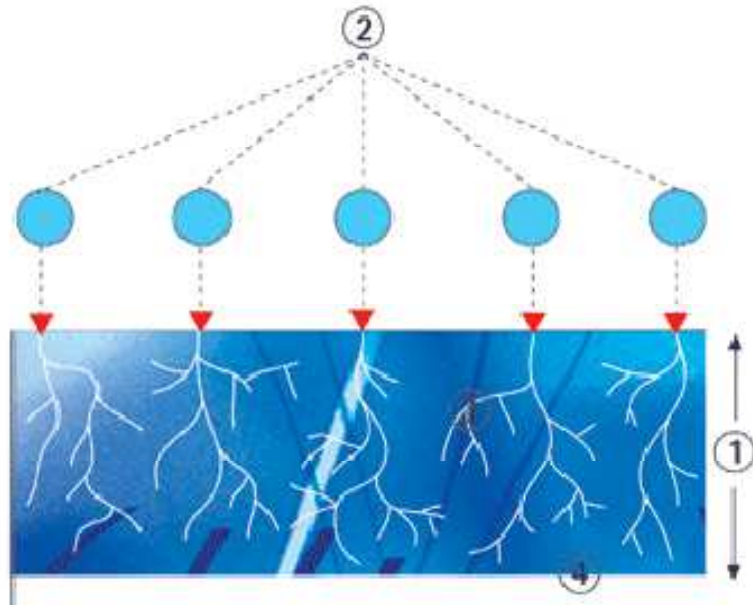
Síťování pomocí beta záření

Toto síťování probíhá v zařízeních s urychlovači elektronů. Základní princip elektronového urychlovače je srovnatelný s Braunovou elektronkou nebo rentgenkou. Žhavicí katoda emituje elektrony, které jsou urychlovány v elektromagnetickém poli. Rychlost elektronů je pak závislá na střídavém napětí mezi žhavicí katodou a anodou. Elektronové beta záření se používá pro síťování většiny polymerních materiálů, protože potřebují vysoké dávky záření, které jsou v urychlovačích elektronů dodány během několika sekund.[9]

Radiační síťování mění následující mechanické vlastnosti plastů:

- nárůst modulu,
- zvýšení pevnosti (zejména z dlouhodobého hlediska),
- pokles poměrného prodloužení při přetržení (tažnosti),
- redukce studeného tečení – (creepu),
- nárůst tvrdosti (Shore),
- zlepšení meze únavy (při střídavém ohybu),
- zlepšení povrchové pevnosti vůči otiskům a nespojitosti vstříkovaných dílů,
- zlepšení odolnosti proti vnitřnímu pnutí a redukce přenosu a růstu,
- zlepšení zotavení materiálu „memoryeffect“,
- zlepšení ořezuvzdornosti (podmíněně),

- zlepšení chování při dlouhodobém zatížení vnitřním tlakem. [9]

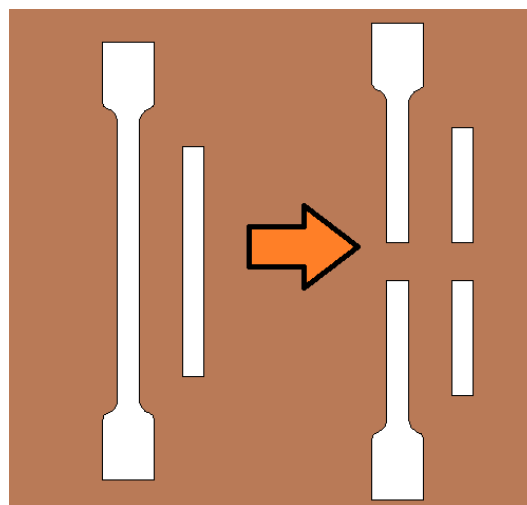


Obr. 13. Elektronové záření beta.[9]

1 hloubka vniknutí elektronů, 2 primární elektrony 3 sekundární elektrony, 4 ozářený materiál

7.3 Popis postupu lepení zkušebních vzorků

7.3.1 Příprava



Obr. 14. Rozstřížení zkušebního vzorku.

Pro lepení dvousložkových methakrylátových lepidel firmy ITW Plexus byla použita, vytláčovací pistole do které se dala tuba lepidla a poté došlo ke smísení jednotlivých složek a dosažení homogenní směsi ve statickém mixéru, nasazeném na vyústění tuby lepidla.

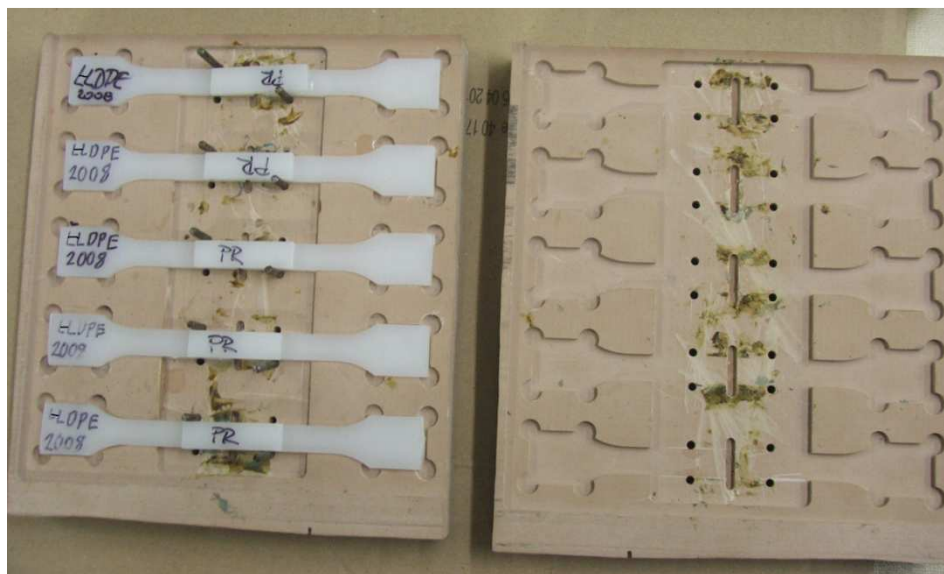


Obr. 15. Zařízení pro nános dvousložkového lepidla.

1-Vytlačovací pistole, 2-Tuba lepidla, 3-Statický mixer

7.3.2 Formy pro lepení

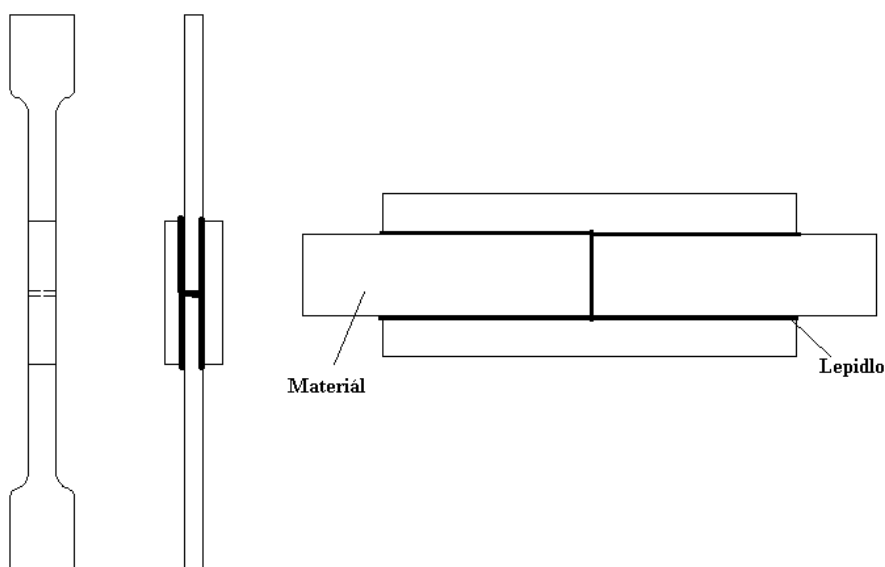
Pro dodržení kvality a přesnosti lepených spojů jsme vzorky lepili ve formách pro zkušební vzorky, aby byla zajištěna vzájemná poloha lepených dílů. Formy byly zhotoveny frézováním a každá z nich mohla být použita až na pět zkušebních těles.



Obr. 16. Formy pro lepení.

7.3.3 Zhotovení lepených spojů

Pro lepení zkušebních vzorků byl zvolen z hlediska dostatečné pevnosti čelní spoj se dvěma příložkami



Obr. 17. Čelní spoj se dvěma příložkami.

Lepení zkušebních těles probíhalo ve školních dílnách. Nejprve byly zkušební vzorky zbaveny nečistot a mastnoty a poté byly nastříhány. Po nastříhání se vzorky vložily do forem a nanášelo se lepidlo na jednu stranu páska pro přeplátování a ten byl přiložen na střed rozstříhnutého zkušebního tělesa. Vrstva lepidla se pohybovala okolo 1 až 2 milimetrů. Po uplynutí doby, která byla potřeba k vytvoření pevnějšího spoje, byly vzorky otočeny a poté

následoval stejný postup ale z druhé strany. Doba vytvrzování se pohybovala kolem 24 hodin.

7.4 Stroj pro tahovou zkoušku

Pevnost lepených spojů zkušebních vzorků jsme zjišťovali tahovou zkouškou na trhacím stroji Zwick 1456. Naměřené hodnoty byly vyhodnoceny softwarem Test Expert, který je součástí trhacího stroje.

Zkušební vzorky byly zatěžovány na trhacím stroji Zwick jednoosým tahem. Naměřené hodnoty byly vyneseny do tabulek a byl stanoven aritmetický průměr (Rov. 1) a střední kvadratická chyba (Rov. 2). Poté byly ze získaných hodnot sestaveny grafy.



Obr. 18. Trhací stroj zwick a způsob upnutí tělesa

Tab. 15. Technické údaje trhacího stroje Zwick 1456.[1]

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

7.5 Statistické vyhodnocení

Vyhodnocení výsledků měřených zkoušek bylo použito následujících vztahů statistického vyhodnocování.

Aritmetický průměr \bar{x} je ukazatel polohy, který označuje těžiště všech naměřených hodnot n .

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

Střední kvadratická chyba aritmetického průměru σ vyjadřuje nejistotu, s jakou přesností jsme aritmetickým průměrem stanovili měřenou veličinu.[5]

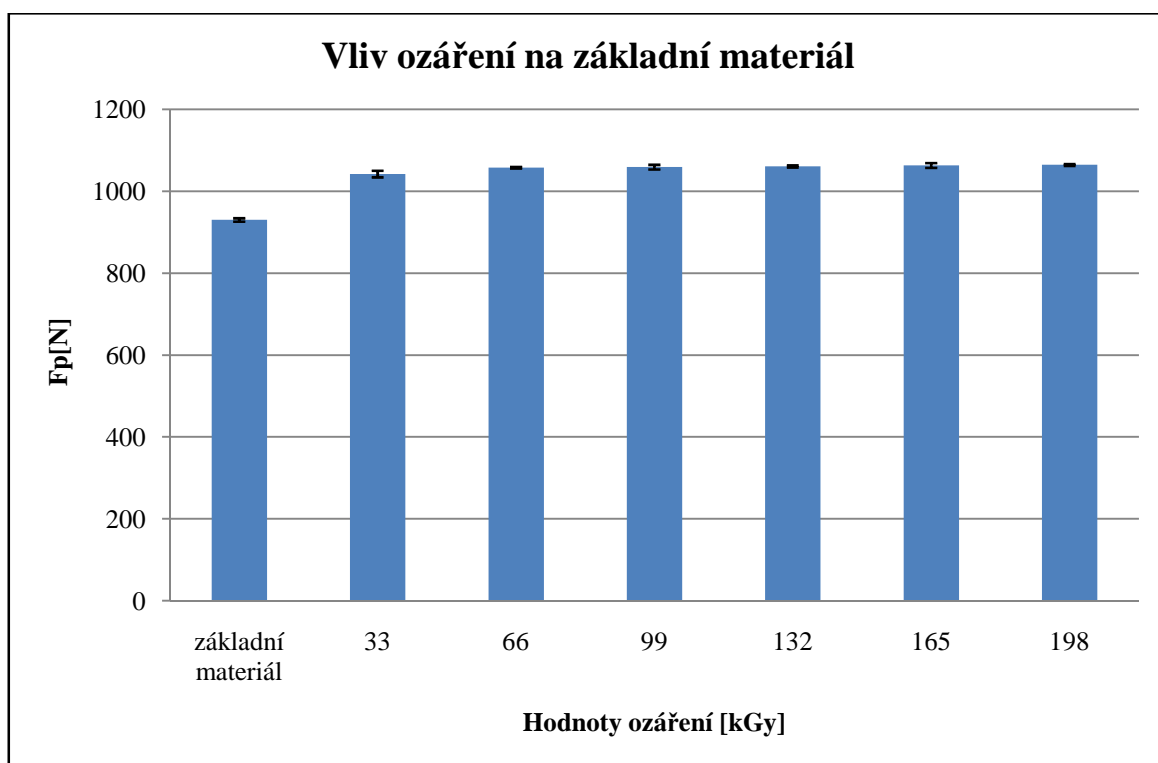
$$\delta = \frac{\sqrt{\frac{\sum x^2 - \frac{1}{n} (\sum x)^2}{n}}}{\sqrt{n}} \quad (2)$$

8 VÝSLEDKY TAHOVÉ ZKOUŠKY

8.1 Základní materiál ozářený nerozstříhaný

Tab. 16. Velikost maximální zatěžující síly u HDPE ozářeného různými dávkami záření na základní vzorek (nerozstříhaný).

HDPE	1	2	3	4	5	\bar{x} (Fp[N])	δ
Základní neozářený vzorek	920,25	923,58	929,04	941,19	937,14	930,24	3,96
Základní vzorek ozářený dávkou 33 kGy	1009,92	1051,31	1048,74	1049,53	1052,14	1042,33	8,12
Základní vzorek ozářený dávkou 66 kGy	1064,12	1054,75	1054,54	1060,31	1054,2	1057,58	1,99
Základní vzorek ozářený dávkou 99 kGy	1078,57	1057,18	1063,05	1048,99	1047,65	1059,09	5,62
Základní vzorek ozářený dávkou 132 kGy	1054,38	1060,26	1056,53	1067,52	1065,33	1060,8	2,5
Základní vzorek ozářený dávkou 165 kGy	1069,58	1049,46	1048,08	1073,05	1074,83	1063	5,87
Základní vzorek ozářený dávkou 198 kGy	1067,93	1059,46	1070,37	1064,86	1060,34	1064,59	2,11



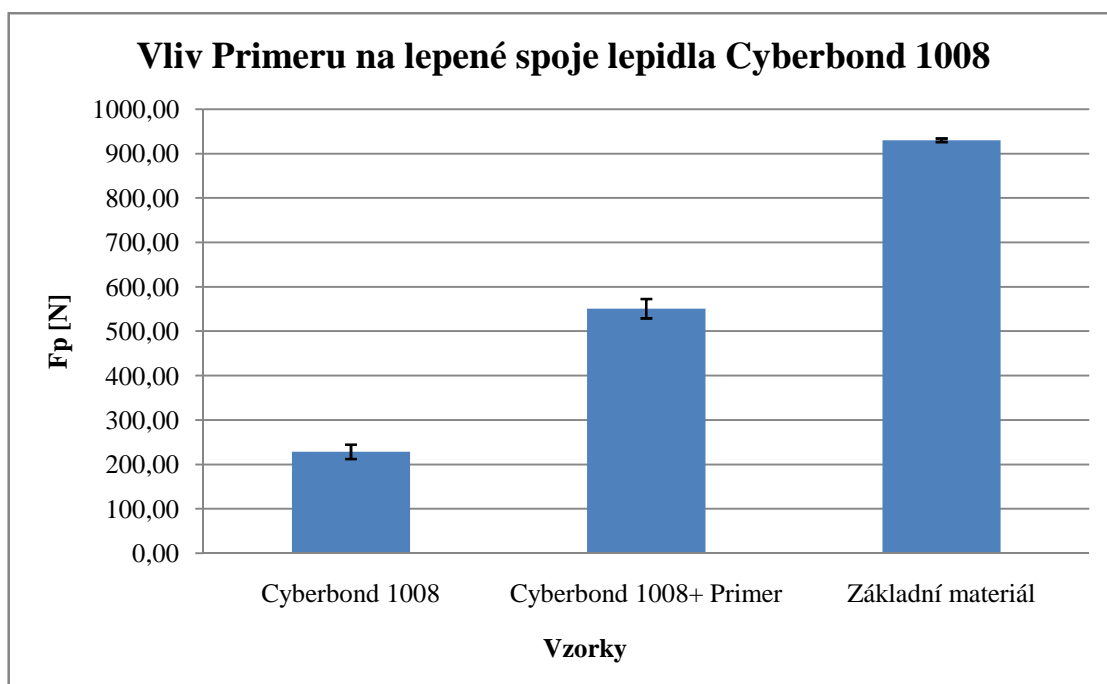
Obr. 19. Závislost průměrné hodnoty maximální zatěžující síly, u základního zkušební vzorku, na velikosti dávky ozáření.

Při zkoušení vlivu ozáření na základní nerozstříhaný materiál bylo zjištěno zlepšení u všech ozářených vzorků. Nejvyšší pevnost měl vzorek ozářený dávkou 198 kGy $F_p=1064,59$ N jehož pevnost byla o 14% vyšší než základního materiálu. A nejnižší pevnost byla nalezena u vzorku ozářeného 33 kGy $F_p=1042,33$ N, avšak tato pevnost byla stále o 12% vyšší než základního materiálu. (tab. 16, obr. 19)

8.2 Cyberbond 1008

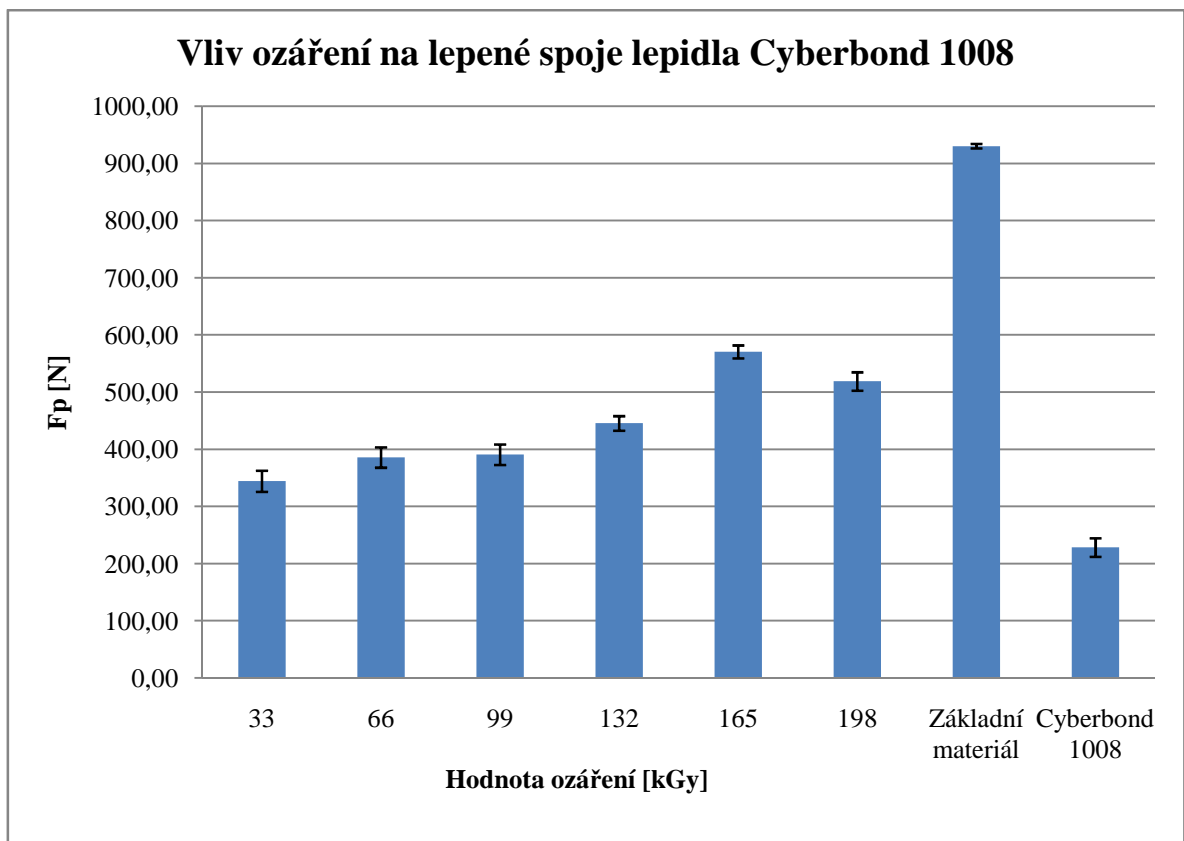
Tab. 17. Velikost maximální zatěžující síly u HDPE ozářeného různými dávkami záření a povrchovou aktivací pomocí primeru, spoje lepeného Cyberbond 1008.

HDPE+Lepidlo	1	2	3	4	5	6	7	8	\bar{x} (F_p [N])	δ
Cyberbond 1008	220,15	172,44	277,52	315,9	209,82	203,03	218,99	209,03	228,36	16,21
1008+ Primer	528,33	544,78	606,2	602,36	462,39	485,46	568,16	609,12	550,85	19,85
1008 +33 kGy	345,53	387,29	381,76	374,01	231,67	375,6	352,04	306,07	344,25	18,58
1008+66 kGy	356,78	452,02	439,75	408	413,26	374,49	317,43	324,87	385,83	17,88
1008 + 99 kGy	388,66	414,13	472,9	386,25	326,73	358,24	440,73	337,31	390,62	17,84
1008 +132 kGy	441,14	407,81	454,57	386,67	433,46	491,77	484,01	464,4	445,48	12,75
1008 +165 kGy	548,64	555,87	546,96	630,92	551,44	542,85	589,72	597,62	570,5	11,28
1008+198 kGy	534,06	478,82	523,87	596,93	566,57	481,02	467,99	500,8	518,76	16,13



Obr. 20. Závislost průměrné hodnoty maximální zatěžující síly, u spoje lepeného Cyberbond 1008, na primeru.

Při zkoušení lepených spojů s aktivací povrchu pomocí primeru s lepidlem Cyberbond 1008 bylo zjištěno výrazné zlepšení pevnosti u vzorku s aktivovaným povrchem pomocí primeru $F_p = 550,85\text{N}$, který dosáhl 59% pevnosti základního materiálu a nejnižší pevnost byla zjištěna u vzorků lepených spojů bez aktivovaného povrchu $F_p = 228,36\text{N}$, který dosáhl 24% pevnosti základního materiálu. (tab. 17, obr. 20)



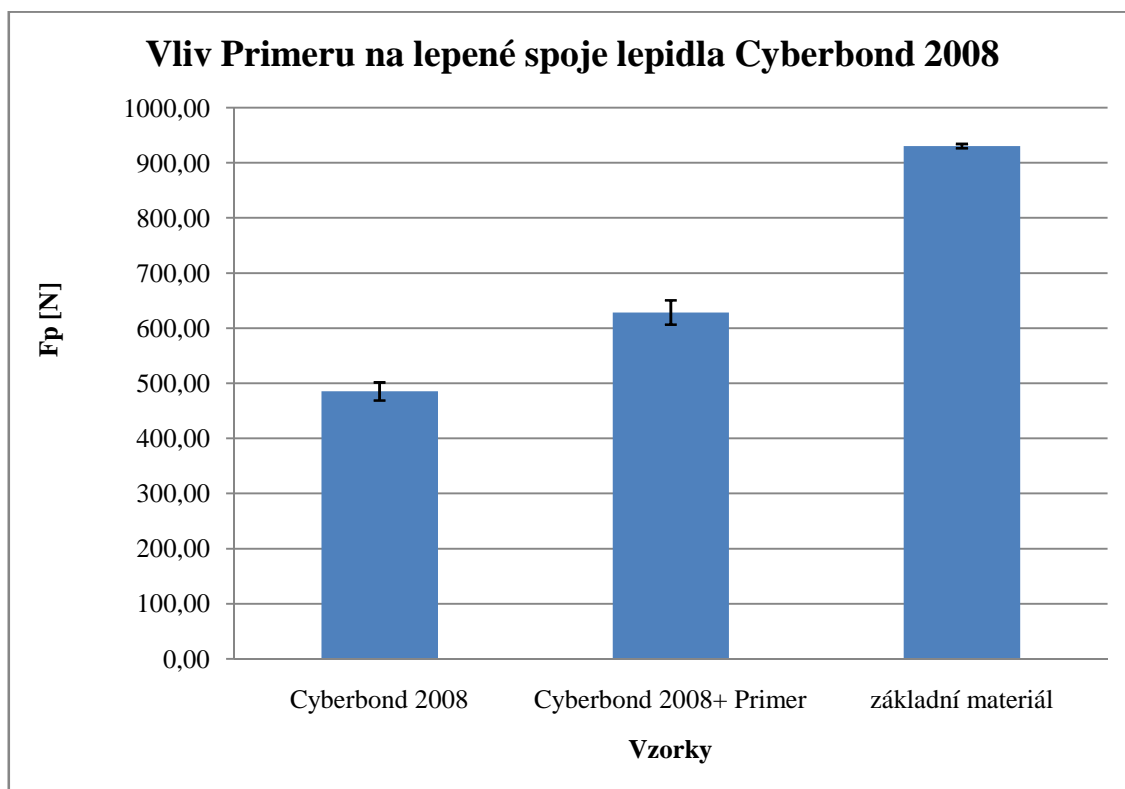
Obr. 21 Závislost průměrné hodnoty maximální zatěžující síly, u spoje lepeného Cyberbond 1008, na velikosti dávky ozáření.

Při zkoušení vlivu ozáření na lepené spoje pomocí lepidla Cyberbond 1008 byla zjištěna největší pevnost u vzorků ozářených dávkou 165 kGy $F_p = 570,5\text{N}$, který dosáhl 61% pevnosti základního materiálu a zlepšení o 150% vůči pevnosti lepidla bez upraveného povrchu. Nejnižší pevnost byla u vzorků ozářených dávkou 33 kGy $F_p = 344,25\text{N}$, který dosáhl 36% pevnosti základního materiálu a zlepšení o 50% vůči pevnosti lepidla bez upraveného povrchu. Při srovnání neozařeného a ozářeného vzorku je vidět výrazné zlepšení pevnosti lepeného spoje (Tab. 17, Obr. 21).

8.3 Cyberbond 2008

Tab. 18. Velikost maximální zatěžující síly u HDPE s povrchovou aktivací pomocí primeru spoje lepeného Cyberbond 2008.

HDPE+lepidlo	1	2	3	4	5	6	7	8	\bar{x} (Fp[N])	δ
Cyberbond 2008	486,46	521,2	503,93	386,49	499,75	449,38	516,63	518,52	485,3	16,36
Cyberbond 2008+ Primer	576,64	572,93	635,72	661,13	693,95	730,65	593,26	563,77	628,51	21,98



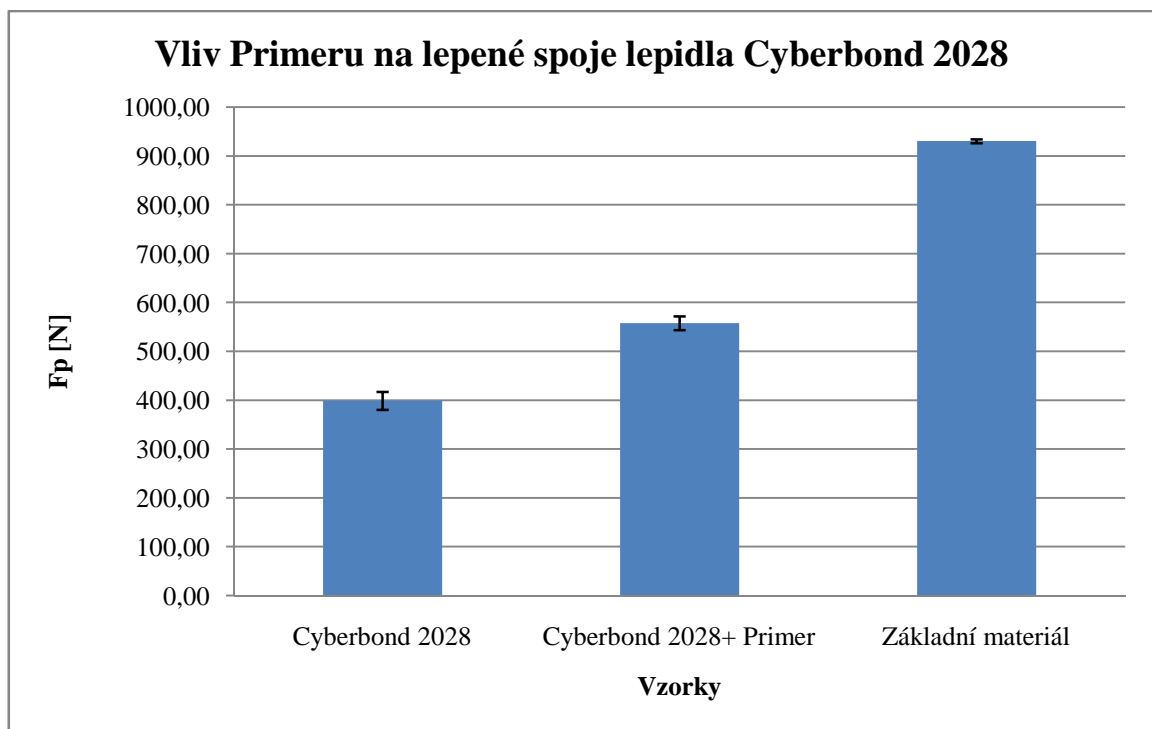
Obr. 22. Závislost průměrné hodnoty maximální zatěžující síly, u spoje lepeného Cyberbond 1008, na primeru.

Při zkoušení lepených spojů s aktivací povrchu pomocí primeru s lepidlem Cyberbond 2008 bylo zjištěno výrazné zlepšení pevnosti u vzorku s aktivovaným povrchem pomocí primeru $F_p=628,51\text{N}$, který měl 67% pevnosti základního materiálu a nejnižší pevnost byla zjištěna u vzorků lepených spojů bez aktivovaného povrchu $F_p=485,3\text{N}$, který měl 52% pevnosti základního materiálu. (Tab. 18, obr. 22)

8.4 Cyberbond 2028

Tab. 19. Velikost maximální zatěžující síly u HDPE ozářeného různými dávkami záření a povrchovou aktivací pomocí primeru, spoje lepeného Cyberbond 2028.

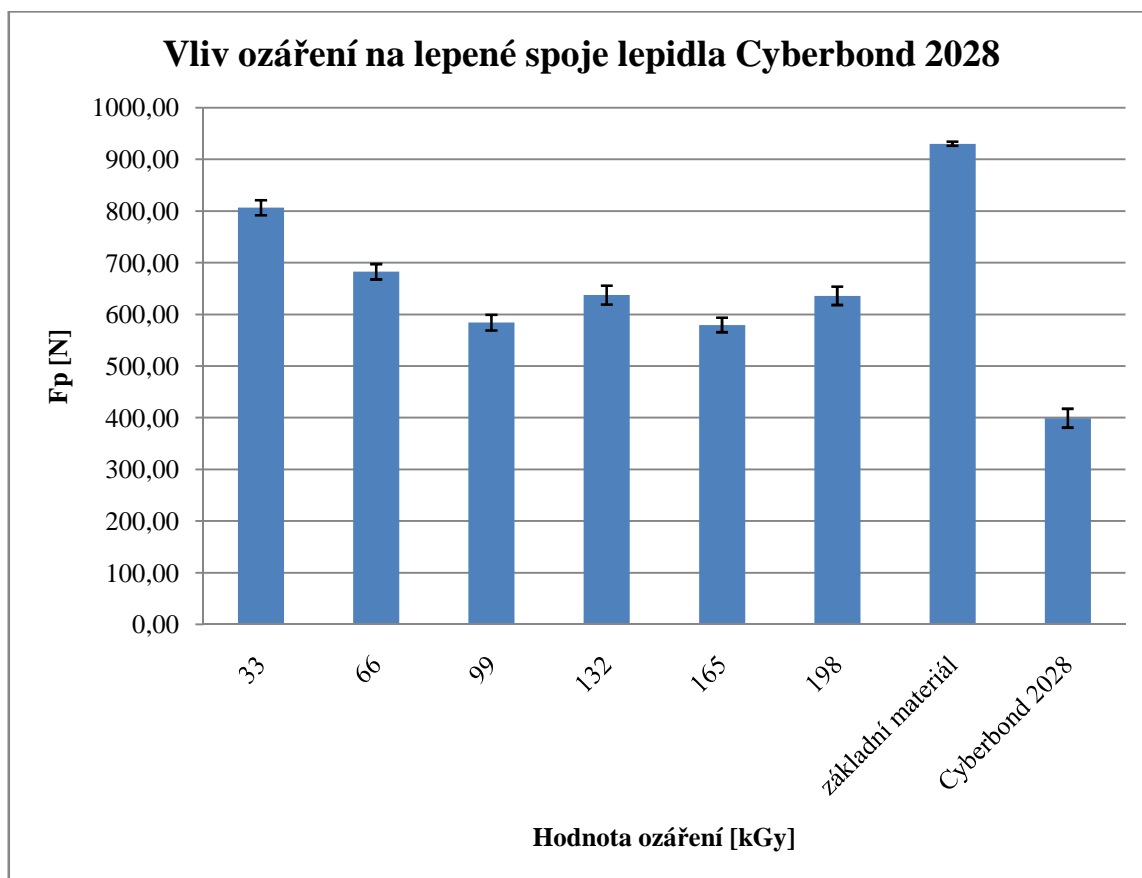
HDPE+Lepidlo	1	2	3	4	5	6	7	8	\bar{x} (Fp[N])	δ
Cyberbond 2028	419,95	385,88	476,4	395,27	293,25	392,01	427,89	402,98	399,2	18,27
2028+ Primer	610,94	603,1	564,29	542,03	546,16	527,97	489,76	579,52	557,97	14,2
2028+33 kGy	849,65	774,2	871,75	770,65	770,64	770,33	836,86	808,1	806,52	14,62
2028+66 kGy	708,59	710,78	631,41	690,15	643,93	629,73	704,88	741,3	682,6	14,87
2028+99 kGy	595	569,73	581,47	524,01	609,07	667,1	578,74	546,85	584	15,16
2008+132 kGy	654,71	540,73	634,49	716,09	651,82	674,14	625,52	602,97	637,56	18,29
2008+165 kGy	558,12	626,83	584,42	508,38	613,96	588,16	546,64	609,76	579,53	14,04
2008+198 kGy	606,81	627,7	616,08	647,68	604,79	731,23	571,77	681,55	635,95	17,78



Obr. 23. Závislost průměrné hodnoty maximální zatěžující síly, u spoje lepeného Cyberbond 2028, na primeru.

Při zkoušení lepených spojů s aktivací povrchu pomocí primeru s lepidlem Cyberbond 2028 bylo zjištěno výrazné zlepšení pevnosti u vzorků lepeného spoje s aktivovaným povrchem pomocí primeru $F_p=557,97\text{N}$, který dosáhl 59% pevnosti základního materiálu a

nejnižší pevnost byla zjištěna u vzorků lepených spojů bez aktivovaného povrchu $F_p=399,2\text{N}$, který dosáhl 49% pevnosti základního materiálu.(tab. 19, obr. 23)



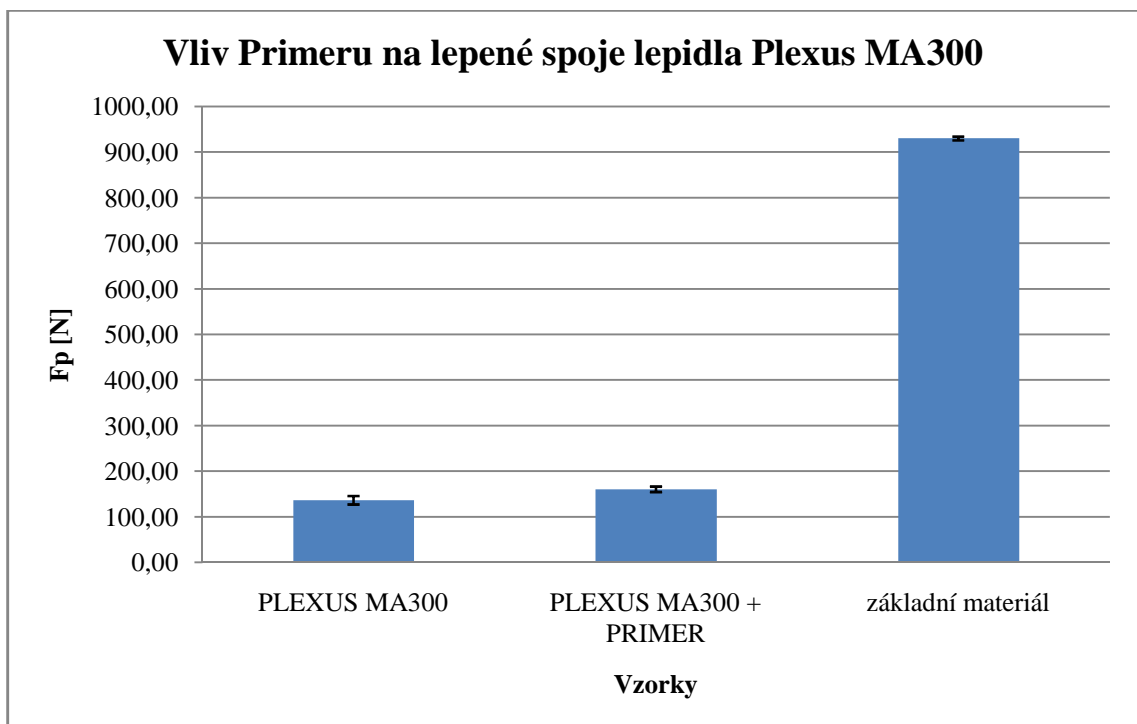
Obr. 24. Závislost průměrné hodnoty maximální zatěžující síly, u spoje lepeného Cyberbond 1008, na velikosti dávky ozáření.

Při zkoušení vlivu ozáření na lepené spoje pomocí lepidla Cyberbond 2028 byla zjištěna největší pevnost u vzorků lepených spojů ozářených 33kGy $F_p=806,52\text{N}$, který dosáhl 86% pevnosti základního materiálu a zlepšení pevnosti o 102% lepidla bez upraveného povrchu. Nejnižší pevnost byla u vzorků lepených spojů ozářených dávkou 165kGy $F_p=579,53\text{N}$, který dosáhl 62 % pevnosti základního materiálu a zlepšení pevnosti o 45% lepidla bez upraveného povrchu. Při srovnání neozářeného a ozářeného vzorku je vidět výrazné zlepšení pevnosti lepeného spoje, ovšem vzorek s aktivací povrchu pomocí primeru má pevnost přibližující se vzorkům lepených spojů ozářených některými dávkami ozáření. (tab. 19, obr. 24)

8.5 Plexus MA300

Tab. 20. Velikost maximální zatěžující síly u HDPE ozářeného různými dávkami záření a povrchovou aktivací pomocí primeru, spoje lepeného Plexus MA300.

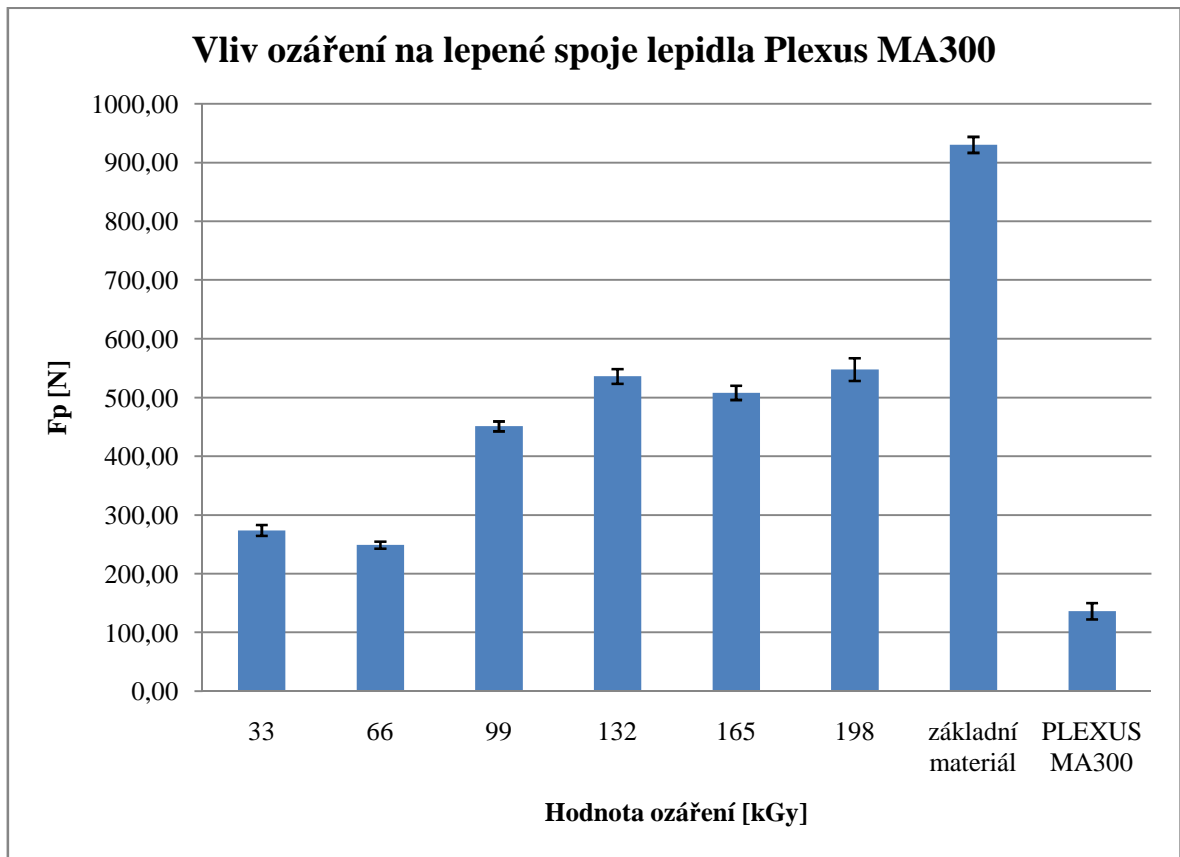
HDPE+Lepidlo	1	2	3	4	5	6	7	8	\bar{x} (Fp[N])	δ
PLEXUS MA300	98,6	138,28	149,64	122,83	167,91	123,49	116,48	174,23	136,43	9,24
MA300 + PRIMER	159,05	148,75	154,31	157,27	175,43	181,91	131,07	175,83	160,45	5,93
MA300+33 kGy	251,61	296,72	306,09	258,97	258,77	257,13	287,58	-	273,84	8,41
MA300+66 kGy	237,49	242,5	201,13	223,03	259,21	298,26	280,43	-	248,86	12,59
MA300+99 kGy	450,94	420,94	477,26	447,19	430,04	508,15	422,74	-	451,04	12,06
MA300+132 kGy	554,87	634,12	485,04	543,54	508,3	540,02	486,82	-	536,1	19,42
MA300+165 kGy	452,38	564,07	480,16	527,89	500,53	506,53	525,63	-	508,17	13,61
MA300+198 kGy	609,95	558,24	521,91	557,14	537,04	490,43	560,28	-	547,86	14,05



Obr. 25. Závislost průměrné hodnoty maximální zatěžující síly, u spoje lepeného Plexus MA300, na primeru.

Při zkoušení lepených spojů s aktivací povrchu pomocí primeru s lepidlem Plexus MA300 bylo zjištěno zlepšení pevnosti u vzorků lepeného spoje s aktivovaným povrchem pomocí

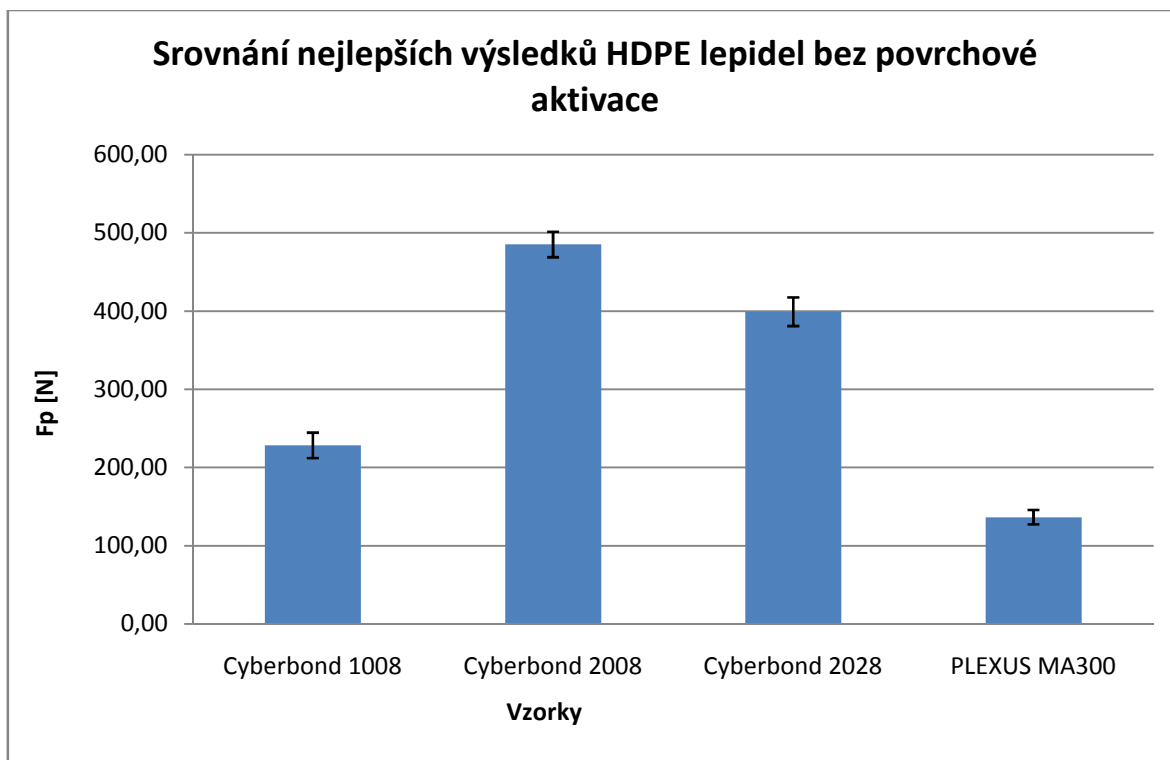
primeru $F_p=160,45\text{N}$, který dosáhl 17% pevnosti základního materiálu a nejnižší pevnost byla zjištěna u vzorků lepených spojů bez aktivovaného povrchu $F_p=136,43\text{N}$, který dosáhl 14% pevnosti základního materiálu. (tab. 20, obr. 25)



Obr. 26. Závislost průměrné hodnoty maximální zatěžující síly, u spoje lepeného Plexus MA300, na velikosti dávky ozáření.

Při zkoušení vlivu ozáření na lepené spoje pomocí lepidla Plexus MA300 byla zjištěna největší pevnost u vzorků lepených spojů ozářených 198kGy $F_p=547,86\text{N}$, který dosáhl 58% pevnosti základního materiálu a zlepšení o 200% vůči pevnosti lepidla bez povrchové úpravy. Nejnižší pevnost byla u vzorků lepených spojů ozářených dávkou 66kGy $F_p=248,86\text{N}$, který dosáhl 26% pevnosti základního materiálu a zlepšení o 82% vůči pevnosti lepidla bez upraveného povrchu. Při srovnání neozářeného a ozářeného vzorku je vidět výrazné zlepšení pevnosti lepeného spoje, ovšem vzorek s aktivací povrchu pomocí primeru nemá pevnost potřebnou k přiblížení se vzorkům lepených spojů ozářených všemi dávkami ozáření. (tab. 20, obr. 26)

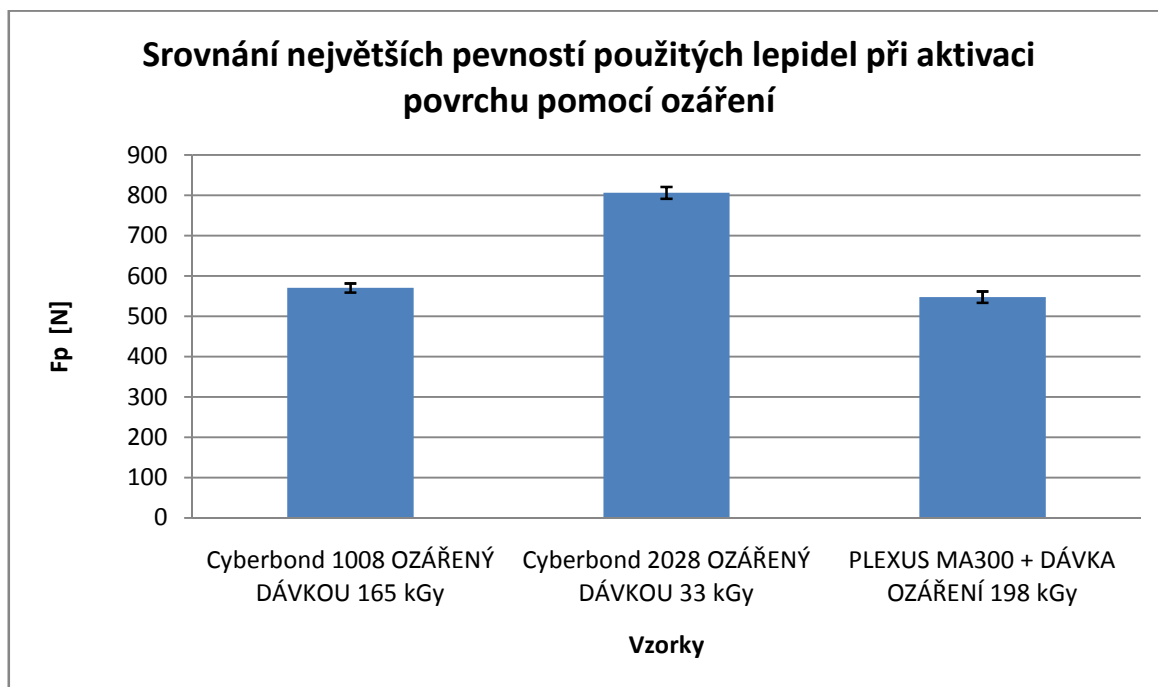
8.6 Srovnání nejlepších výsledků vzorků lepených bez úpravy zkušebních těles



Obr. 27. Vybrané maximální velikosti zatěžujících sil u lepeného spoje HDPE bez povrchové aktivace.

Při srovnání největších pevností lepených spojů bez povrchové aktivace má největší pevnost lepených spojů lepidlo Cyberbond 2008 $F_p=485,3\text{N}$, které dosáhlo 52% pevnosti základního materiálu a nejnižší pevnost lepených spojů byla naměřena u lepidla Plexus MA300 $F_p=136,43\text{N}$, který dosáhl 14% pevnosti základního materiálu. (tab. 17, tab. 18, tab. 19, tab. 20, obr. 27)

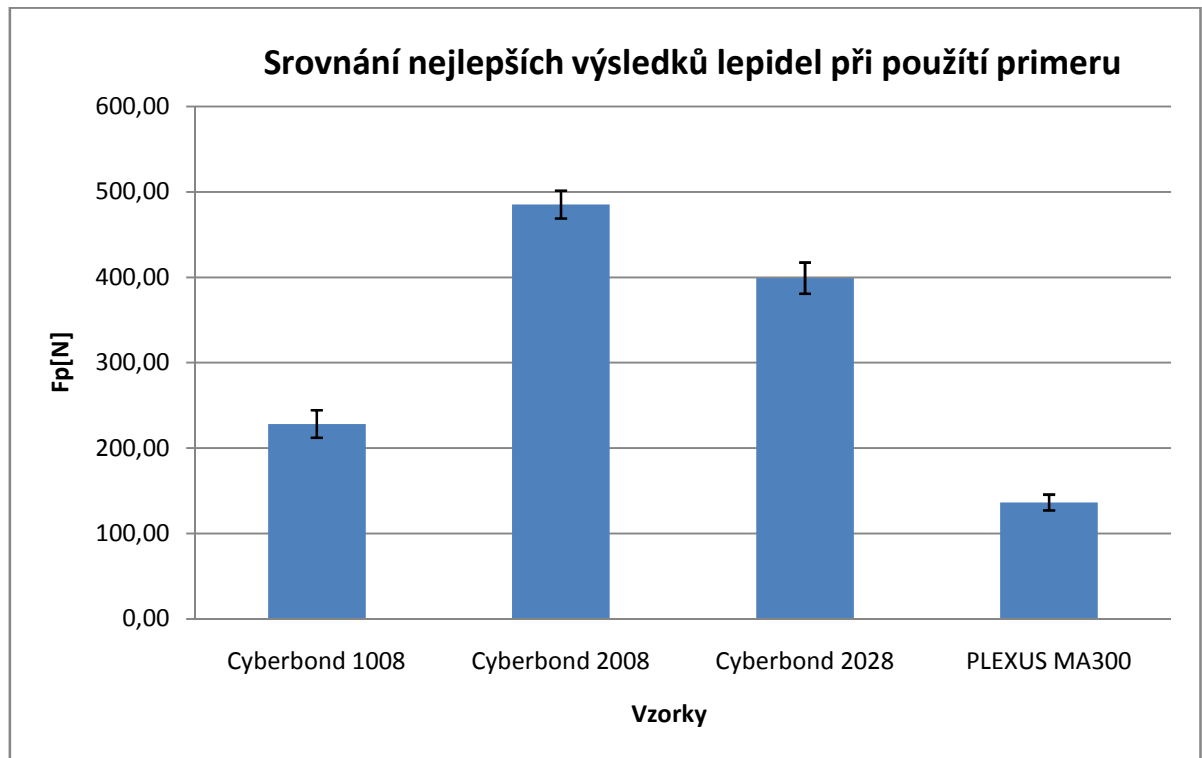
8.7 Srovnání nejlepších výsledků při ozáření vzorků



Obr. 28. Vybrané maximální velikosti zatěžujících sil u lepeného spoje HDPE s povrchovou aktivací pomocí primeru.

Při srovnání největších pevností lepených spojů s aktivací povrchu ozářením má největší pevnost lepidlo Cyberbond 2028 ozářené dávkou 33 kGy $F_p=806,52\text{N}$, který dosáhl 86% pevnosti základního materiálu a nejnižší pevnost byla naměřena u lepidla Plexus MA300 s dávkou 198 kGy $F_p=547,86\text{N}$, který dosáhl 58% pevnosti základního materiálu. (tab. 17, tab. 19, tab. 20, obr. 28)

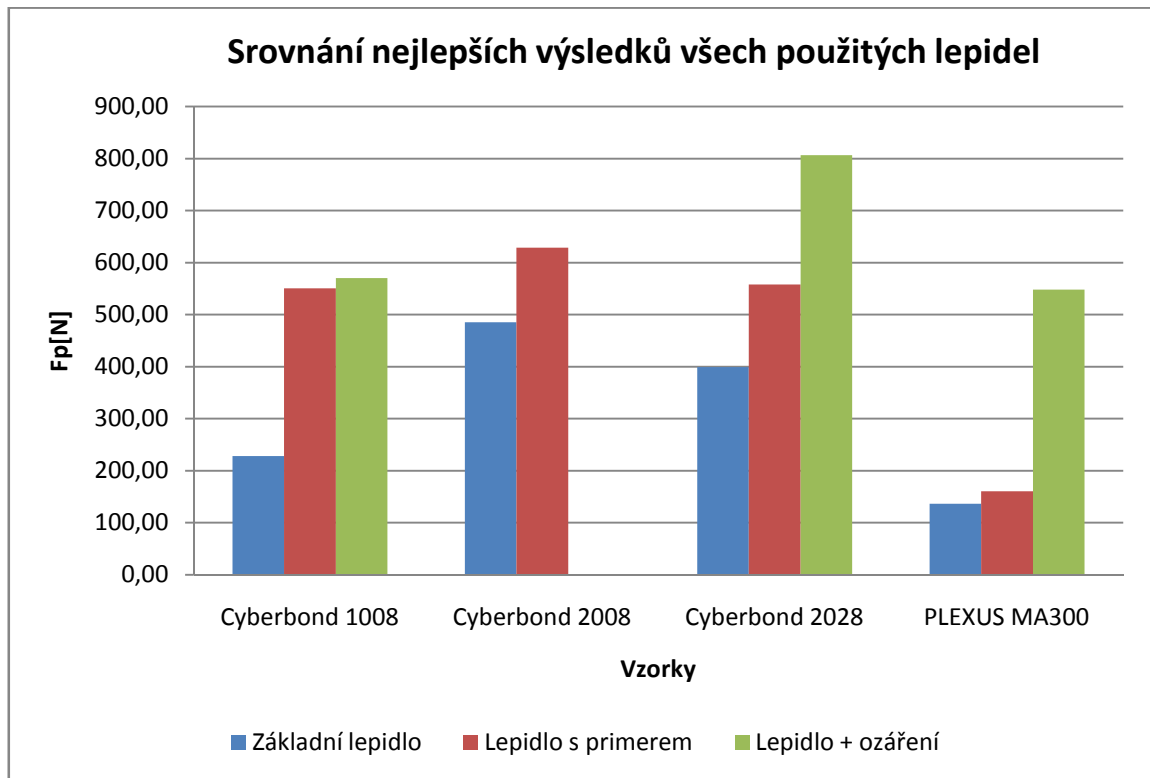
8.8 Srovnání nejlepších výsledků lepidel při použití primeru



Obr. 29. Vybrané maximální velikosti zatěžujících sil u lepeného spoje HDPE s povrchovou aktivací pomocí ozáření.

Při srovnání největších pevností lepených spojů s aktivací povrchu primerem má největší pevnost lepidlo Cyberbond 2008 $F_p=628,51\text{N}$, který měl 67% pevnosti základního materiálu a nejnižší pevnost byla naměřena u lepidla Plexus MA300 $F_p=160,45\text{N}$, který dosáhl 17% pevnosti základního materiálu.(tab. 17, tab. 18, tab. 19, tab. 20, obr. 29)

8.9 Srovnání nejlepších výsledků všech lepidel



Obr. 30 Vybrané srovnání maximálních zatěžujících sil u všech lepidel.

Při srovnání všech největších pevností spojů u použitých lepidel a povrchových úpravách, má největší pevnost lepidlo Cyberbond 2028 s povrchovou aktivací ozářením dávkou 33 kGy $F_p=806,52\text{N}$, který dosáhl 86% pevnosti základního materiálu. Nejnižší pevnost mělo základní lepidlo Plexus MA300 bez povrchové úpravy $F_p=136,43\text{N}$, který dosáhl 14% pevnosti základního materiálu.(tab. 17, tab. 18, tab. 19, tab. 20, obr. 30)

9 DISKUZE

K testům lepených spojů byl vybrán materiál HDPE, který se běžně využívá v průmyslu. A také 3 typy kyanoakrylátových sekundových lepidel (Cyberbond 1008, 2008 a 2028) a poté dvousložkové methakrylátové lepidlo (Plexus MA300). Pevnost lepených spojů byla zjišťována tahovou zkouškou na trhacím stroji Zwick 1456.

V první fázi praktické části jsem zjišťoval pevnost u vzorků bez povrchové úpravy a vzorků lepených spojů s aktivovaným povrchem pomocí primeru. Z naměřených hodnot vyplývá nejlepším lepidlem, pokud budeme chtít lepit bez povrchové úpravy, je lepidlo Cyberbond 2008, které dosáhlo bez povrchové úpravy průměrné pevnosti lepeného spoje 52% průměrné pevnosti základního neozářeného materiálu. Naproti tomu nejnižší pevnost lepeného spoje bez povrchové úpravy mělo lepidlo Plexus MA300, které dosáhlo průměrné pevnosti lepeného spoje 14% průměrné pevnosti základního neozářeného materiálu. Poté jsem zjišťoval pevnost lepeného spoje s povrchovou úpravou pomocí primeru. Z naměřených hodnot vyplývá nejlepším lepidlem, pokud budeme chtít lepit bez povrchové úpravy, je lepidlo Cyberbond 2008, které dosáhlo s povrchovou úpravou pomocí primeru průměrné pevnosti lepeného spoje 67% průměrné pevnosti základního neozářeného materiálu. Avšak oproti tomu nejnižší pevnost lepeného spoje s povrchovou úpravou pomocí primeru mělo lepidlo Plexus MA300, které dosáhlo průměrné pevnosti lepeného spoje 17% průměrné pevnosti základního neozářeného materiálu.

Ve druhé fázi praktické části jsem zjišťoval pevnost u vzorků lepených spojů s povrchovou úpravou pomocí ozáření. Ze zjištěných hodnot vyplývá, že nejlepším lepidlem pokud je možno povrch aktivovat ozářením, je lepidlo Cyberbond 2028 ozářené dávkou 33 kGy, které dosáhlo povrchovou aktivaci pomocí ozáření průměrné pevnosti lepeného spoje 86% průměrné pevnosti základního neozářeného materiálu. Nejnižší pevnost lepeného spoje s povrchovou úpravou pomocí ozáření má lepidlo Plexus MA300 ozářené dávkou 66kGy, které dosáhlo průměrné pevnosti lepeného spoje 26% průměrné pevnosti základního ho neozářeného materiálu.

ZÁVĚR

Bakalářská práce se zabývá problémem pevnosti lepených spojů HDPE. Součástí praktické části je volba materiálu HDPE, zhotovení a příprava vzorků, volba lepidel poté zhotovení lepených spojů a jejich měření. K měření HDPE byli použity 3 typy kyanoakrylátových sekundových lepidel (Cyberbond 1008, 2008 a 2028) a poté dvousložkové methakrylátové lepidlo (Plexus MA300). Pevnost lepených spojů byla zjišťována tahovou zkouškou na trhacím stroji Zwick 1456.

Byly provedeny testy lepených spojů HDPE na neozářeném materiálu, materiálu s povrchem aktivovaným pomocí primeru a poté materiálu s povrchem aktivovaným ozářením a to dávkami 33 kGy, 66 kGy, 99 kGy, 132 kGy, 165 kGy, 198 kGy. Z výsledků vyplývá, že aktivace primeru je vhodná pro jiné lepidlo než aktivace povrchu pomocí ozářením, také záleží, jakými dávkami jsou lepené spoje ozářeny.

Pro lepení HDPE bez povrchové úpravy bylo nejvhodnější lepidlo Cyberbond 2008, které dosáhlo nejlepších výsledků z použitých lepidel.

Při lepení HDPE s povrchovou úpravou pomocí primeru dosáhlo opět nejlepší výsledků lepidlo Cyberbond 2008, ovšem lepidla 1008 a 2028 se značně přiblížila, z toho vyplývá, že aktivace pomocí primeru je opravdu účinná.

Při lepení HDPE s povrchovou úpravou pomocí ozářením dosáhlo nejlepších výsledků lepidlo Cyberbond 2028 s dávkou ozářením 33 kGy. Všechny lepené spoje, které byly ozářeny, vykazovaly výrazné zlepšení pevnosti. Nejhorším lepidlem u všech typů lepidel a povrchových úprav se podle výsledků měření stal Plexus MA300, který dosahoval velmi nízkých pevností lepených spojů, ovšem většími dávkami ozářením dokázal překonat i pevnost 50% základního materiálu.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

Monografie:

- [1] BEDNAŘÍK, Martin. *Vlastnosti lepených spoju- polymery*. Zlín, 2009. 74 s. Bakalářská práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně.
- [2] BEDNAŘÍK, Martin. *Lepení polymerů- polymery*. Zlín, 2011. 120 s. Diplomová práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
- [3] BOUBLÍK, Vlastimil. *Lepidla a jejich příprava*. Vyd. 1. Praha: SNTL, 1964, 189 s.
- [4] ČADA, Oldřich. *Lepení plastických hmot a pryže*. Praha: VÚGPT, 1964, 45 s.
- [5] LAMBOROVÁ, Romana. *Recyklace ozářených polymerů*. Zlín, 2011. 95 s. Diplomová práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
- [6] OSTEN, Miloš. *Práce s lepidly a tmely*. Vyd. 3., přeprac. a zkrác., v Gradě vyd. 1. Editor Josef Mleziva. Praha: Grada, 1996, 129 s. Profi. ISBN 80-716-9338-3.
- [7] OSTEN, Miloš. *Práce s lepidly a tmely*. 3. vyd. Praha: SNTL, 1986, 285 s.
- [8] OSTEN, Miloš. *Lepení plastických hmot /*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1972, 150 s.
- [9] SCHINDLEROVÁ, Lucie. *Vliv radiačního síťování na vlastnosti vybraných Polymerů*. Zlín, 2011. 82 s. Diplomová práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Internetové zdroje:

- [10] *Hortrade*[online].[cit. 2012-05-19]. Dostupné z WWW:
<[Http://www.hortrade.cz/komponenty/plexus/plexus_ltd_ma300.doc](http://www.hortrade.cz/komponenty/plexus/plexus_ltd_ma300.doc)>
- [11] *Cs.wikipedia*. [online].[cit. 2012-05-19]. Dostupné z WWW:
<[Http://cs.wikipedia.org/wiki/Polyethylen](http://cs.wikipedia.org/wiki/Polyethylen)>
- [12] *Sk.wikipedia*. [online].[cit. 2012-05-19]. Dostupné z WWW:
<[Http://cs.wikipedia.org/wiki/Polyethylen](http://cs.wikipedia.org/wiki/Polyethylen)>
- [13] *Cybershop*[online]. [cit. 2012-05-19]. Dostupné z WWW:
<[Http://www.cybershopcz.com/](http://www.cybershopcz.com/)>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

HDPE	Vysokohustotní Polyetylén
Obr.	Obrázek
Tab.	Tabulka
kGy	kiloGray (jednotka dávky ozáření)
ČSN	Česká technická norma
PMMA	Polymethylmetakrylát
PUR	Polyuretan
PVC	Polyvinylchlorid
LDPE	Nízkohustotní polyetylén
PS	Polystyren
PC	Polykarbonát
F _p	Maximální zatěžující síla [N]
\bar{x}	Aritmetický průměr
σ	Střední kvadratická chyba aritmetického průměru

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1. Přehled adhezivních vlivů.</i>	13
<i>Obr. 2. Schéma struktury lepeného spoje.</i>	14
<i>Obr. 3. Pět typů nerovností podle deBruyna.</i>	20
<i>Obr. 4. Přehled konstrukčních řešení lepených spojů.</i>	25
<i>Obr. 5. Strukturní vzorec Polyetylen (vlevo) a značení na výrobcích (vpravo).</i>	44
<i>Obr. 6. Cyberbond 1008.</i>	47
<i>Obr. 7. Cyberbond 2008.</i>	48
<i>Obr. 8. Cyberbond 2028.</i>	49
<i>Obr. 9. Plexus MA300.</i>	50
<i>Obr. 10. Vstřikovací stroj Arburg420CAAdvanced.</i>	51
<i>Obr. 11. Primer CB 9056.</i>	53
<i>Obr. 12. Schéma radiačního sítování.</i>	54
<i>Obr. 13. Elektronové záření beta.</i>	55
<i>Obr. 14. Rozstřížení zkušební vzorku.</i>	55
<i>Obr. 15. Zařízení pro nános dvousložkového lepidla.</i>	56
<i>Obr. 16. Formy pro lepení.</i>	57
<i>Obr. 17. Čelní spoj se dvěma příložkami.</i>	57
<i>Obr. 18. Trhací stroj zwick a způsob upnutí tělesa.</i>	58
<i>Obr. 19. Závislost průměrné hodnoty maximální zatěžující síly, u základního zkušební vzorku, na velikosti dávky ozáření.</i>	60
<i>Obr. 20. Závislost průměrné hodnoty maximální zatěžující síly, u spoje lepeného Cyberbond 1008, na primeru.</i>	61
<i>Obr. 21. Závislost průměrné hodnoty maximální zatěžující síly, u spoje lepeného Cyberbond 1008, na velikosti dávky ozáření.</i>	62
<i>Obr. 22. Závislost průměrné hodnoty maximální zatěžující síly, u spoje lepeného Cyberbond 1008, na primeru.</i>	63
<i>Obr. 23. Závislost průměrné hodnoty maximální zatěžující síly, u spoje lepeného Cyberbond 2028, na primeru.</i>	64
<i>Obr. 24. Závislost průměrné hodnoty maximální zatěžující síly, u spoje lepeného Cyberbond 1008, na velikosti dávky ozáření.</i>	65
<i>Obr. 25. Závislost průměrné hodnoty maximální zatěžující síly, u spoje lepeného Plexus MA300, na primeru.</i>	66

Obr. 26. Závislost průměrné hodnoty maximální zatěžující síly, u spoje lepeného Plexus MA300, na velikosti dávky ozáření.	67
Obr. 27. Vybrané maximální velikosti zatěžujících sil u lepeného spoje HDPE bez povrchové aktivace.	68
Obr. 28. Vybrané maximální velikosti zatěžujících sil u lepeného spoje HDPE s povrchovou aktivací pomocí primeru.	69
Obr. 29. Vybrané maximální velikosti zatěžujících sil u lepeného spoje HDPE s povrchovou aktivací pomocí ozáření.	70
Obr. 30 Vybrané srovnání maximálních zatěžujících sil u všech lepidel.	71

SEZNAM TABULEK

<i>Tab. 1. Vztah polarity a rozpustnosti k adhezním vlastnostem adherendů.</i>	16
<i>Tab. 2. Koeficienty délkové roztažnosti plastických hmot.</i>	21
<i>Tab. 3. Přehled nosností a pevností ve smyku vybraných lepených spojů.</i>	27
<i>Tab. 4. Rozdělení lepidel podle původu.</i>	34
<i>Tab. 5. Rozdělení lepidel podle konzistence.</i>	34
<i>Tab. 6. Rozdělení lepidel podle způsobu tuhnutí.</i>	35
<i>Tab. 7. Rozdělení lepidel podle tepelných vlastností filmu lepidla.</i>	35
<i>Tab. 8. Rozdělení lepidel podle odolnosti filmu lepidla k vodě.</i>	36
<i>Tab. 9 Vlastnosti HDPE.</i>	45
<i>Tab. 10. Vlastnosti Cyberbond 1008.</i>	47
<i>Tab. 11. Vlastnosti Cyberbond 2008.</i>	48
<i>Tab. 12. Vlastnosti Cyberbond 2028.</i>	49
<i>Tab. 13. Vlastnosti Plexus MA300.</i>	50
<i>Tab. 14. Technická data vstřikovacího stroje Arburg 420 C.</i>	51
<i>Tab. 15. Technické údaje trhacího stroje Zwick 1456.</i>	58
<i>Tab. 16. Velikost maximální zatěžující síly u HDPE ozářeného různými dávkami záření na základní vzorek (nerozstříhaný).</i>	60
<i>Tab. 17. Velikost maximální zatěžující síly u HDPE ozářeného různými dávkami záření a povrchovou aktivací pomocí primeru, spoje lepeného Cyberbond 1008.</i>	61
<i>Tab. 18. Velikost maximální zatěžující síly u HDPE s povrchovou aktivací pomocí primeru spoje lepeného Cyberbond 2008.</i>	63
<i>Tab. 19. Velikost maximální zatěžující síly u HDPE ozářeného různými dávkami záření a povrchovou aktivací pomocí primeru, spoje lepeného Cyberbond 2028.</i>	64
<i>Tab. 20. Velikost maximální zatěžující síly u HDPE ozářeného různými dávkami záření a povrchovou aktivací pomocí primeru, spoje lepeného Plexus MA300.</i>	66

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha I CD-Rom

PŘÍLOHA P I: NÁZEV PŘÍLOHY