


# Spojování elastických materiálů s textilií

Matěj Szczepanek

---

Bakalářská práce  
2020

 Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav inženýrství polymerů

Akademický rok: 2019/2020

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE (projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Matěj Szczepanek**  
Osobní číslo: **T19620**  
Studijní program: **B2808 Chemie a technologie materiálů**  
Studijní obor: **Polymerní materiály a technologie**  
Forma studia: **Prezenční**  
Téma práce: **Spojování elastických materiálů s textilií**

### Zásady pro vypracování

Předmětem teoretické části bakalářské práce je vypracování literární rešerše možných způsobů a technik spojování elastických materiálů s textilií.

V praktické části budou provedeny základní techniky spojování elastických dílů s vybraným typem textilu, na kterých se vyhodnotí mechanické vlastnosti.

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

Seznam doporučené literatury:

1. Edward M. Petrie , Handbook of Adhesives and Sealants, The McGraw-Hill Companies, New York, Chicago, 2007, ISBN: 9780071479165
2. Bryan Crowther, Handbook of Rubber bonding. Rapra Technology, Shawbury, United Kingdom, 1994, ISBN: 1-85957-394-0

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Pavel Bažant, Ph.D.**  
Ústav inženýrství polymerů

Datum zadání bakalářské práce: **2. ledna 2020**  
Termín odevzdání bakalářské práce: **22. května 2020**

L.S.

---

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

---

**doc. Ing. Tomáš Sedláček, Ph.D.**  
ředitel ústavu

Ve Zlíně dne 19. února 2020

## PROHLÁŠENÍ AUTORA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Beru na vědomí, že:

- bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému a dostupná k nahlédnutí;
- na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- podle § 60 odst. 1 autorského zákona má Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- podle § 60 odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užít své dílo – 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);
- pokud bylo k vypracování bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tj. k nekomerčnímu využití), nelze výsledky bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- pokud je výstupem 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.

### Prohlašuji,

- že jsem na bakalářské práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.
- že odevzdaná verze bakalářské práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou obsahově totožné.

Ve Zlíně, dne:

Jméno a příjmení studenta:

.....  
podpis studenta

## **ABSTRAKT**

Teoretická část bakalářské práce se zabývá obecně lepením a lepením vulkanizátu s termoplasty. Podrobněji budou rozebrány typy materiálů, princip a metody lepení. V praktické části je provedeno lepení EMPD vulkanizátu s polyamidovou textilií různými metodami. Charakterizována je pevnost lepeného spoje.

Klíčová slova: EPDM, polyamid, lepení, svařování

## **ABSTRACT**

The theoretical part of the bachelor's thesis deals with the general bonding and bonding of vulcanizate with thermoplastics. The types of materials, the principle and methods of bonding will be discussed in more detail. In the practical part, the bonding of EMPD vulcanizate with polyamide fabric will be performed by various methods. The strength of the joint is characterized.

Keywords: EMPD, polyamide, bonding, welding

Největší poděkování patří mému vedoucímu téhle bakalářské práce panu Ing. Pavlu Bažantovi, Ph.D, který mi při tvorbě práce nesmírně pomohl a neztratil trpělivost ani nervy. Dále bych chtěl poděkovat všem akademickým zaměstnancům za pomoc při studiu. V neposlední řadě bych poděkoval rodině za podporu a oporu.

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

# OBSAH

<b>ÚVOD</b> .....	<b>10</b>
<b>I TEORETICKÁ ČÁST</b> .....	<b>11</b>
<b>1 MECHANISMUS LEPENÍ</b> .....	<b>12</b>
1.1 ADHEZE.....	12
1.1.1 Druhy adheze .....	12
1.2 KOHEZE.....	13
1.3 SMÁČIVOST .....	13
<b>2 FAKTORY OVLIVŇUJÍCÍ KVALITU SPOJE</b> .....	<b>14</b>
2.1 POLARITA.....	14
2.1.1 Slabě a středně polární látky .....	14
2.1.2 Silně polární látky .....	14
2.1.3 Některá nepolární látky .....	14
2.2 KRYSTALINITA POLYMERŮ.....	14
2.3 OBSAH PLNIV .....	14
2.4 OBSAH ZMĚKČOVADEL.....	14
2.5 SOUDRŽNOST POVRCHU.....	15
2.6 ROVNOST A HLADKOST POVRCHU.....	15
2.7 ČISTOTA POVRCHU .....	15
2.8 DÉLKOVÁ ROZTAŽNOST .....	16
2.9 ROZPUSTNOST, BOTNÁNÍ.....	16
<b>3 VLASTNOSTI LEPIDEL</b> .....	<b>17</b>
3.1 POLYMERAČNÍ STUPEŇ.....	17
3.2 VEDLEJŠÍ SKUPINY NA ŘETĚZCI .....	17
3.3 PŘÍDAVEK PLNIVA .....	17
3.4 PŘÍDAVEK ZMĚKČOVADLA .....	17
3.5 OBSAH ROZPOUŠTĚDEL .....	18
3.6 VSKOZITA LEPIDLA .....	18
3.7 HOMOGENITA LEPIDLA.....	18
3.8 OBJEMOVÁ STÁLOST FILMU LEPIDLA.....	18
<b>4 POVRCHOVÉ ÚPRAVY MATERIÁLU</b> .....	<b>19</b>
4.1 MECHANICKÉ OČIŠŤOVÁNÍ.....	19
4.2 ODMAŠŤOVÁNÍ.....	19
4.2.1 Organické rozpouštědla.....	19
4.2.2 Vodné roztoky alkalických solí.....	19

4.2.3	Bobtnání organickými rozpouštědly .....	20
4.3	POUŽITÍ PRIMERU .....	20
4.4	PLAZMOVÁNÍ POVRCHU .....	20
<b>5</b>	<b>DRUHY LEPIDEL .....</b>	<b>22</b>
5.1	LEPIDLA ROZTOKOVÁ, TUHNOUCÍ ODPAŘENÍM VODY .....	22
5.2	LEPIDLA DISPERZNÍ, TUHNOUCÍ ODPAŘENÍM VODY .....	22
5.3	LEPIDLA ROZTOKOVÁ, TUHNOUCÍ ODPAŘENÍM TĚKAVÝCH ROZPOUŠTĚDEL .....	22
5.4	LEPIDLA REAKTIVNÍ, TUHNOUCÍ VLIVEM ZVÝŠENÉ TEPLoty .....	22
5.5	LEPIDLA REAKTIVNÍ, TUHNOUCÍ VLIVEM VLHKOSTI .....	22
5.5.1	Kyanoakrylátová lepidla .....	22
5.6	LEPIDLA REAKTIVNÍ, TUHNOUCÍ PO PŘIDÁNÍ TVRDIDEL .....	22
5.7	LEPIDLA TAVNÁ .....	23
5.8	LEPIDLA STÁLE LEPIVÁ .....	23
<b>6</b>	<b>LEPENÍ KAUKČUKŮ A PRYZÍ .....</b>	<b>24</b>
6.1	SPOJOVÁNÍ PRYZE A KAUKČUKŮ NAVZÁJEM .....	24
7.1	METODY DESTRUKTIVNÍ .....	25
7.1.1	Pevnost ve smyku .....	25
7.1.3	Pevnost v odlupování .....	26
7.1.4	Pevnost při rázovém namáhání .....	26
7.1.5	Pevnost při statickém zatížení .....	26
7.1.6	Zkouška stárnutí .....	26
7.2	METODY NEDESTRUKTIVNÍ .....	27
7.2.1	Akustická defektoskopie .....	27
7.2.2	Optické metody .....	27
7.2.3	Radioizotopová defektoskopie .....	27
7.2.4	Ultrazvuková defektoskopie .....	27
<b>8</b>	<b>OSTATNÍ METODY SPOJOVÁNÍ MATERIÁLŮ .....</b>	<b>28</b>
8.1	MECHANICKÉ SPOJOVÁNÍ .....	28
8.2	SVAŘOVÁNÍ .....	28
8.2.1	Tepelné svařování .....	28
8.2.2	Ultrazvukové svařování .....	28
8.3	NANÁŠENÍ KAUKČUKOVÝCH SMĚSÍ .....	28
<b>II</b>	<b>PRAKTICKÁ ČÁST .....</b>	<b>29</b>
<b>9</b>	<b>CÍL BAKALÁŘSKÉ PRÁCE .....</b>	<b>30</b>
<b>10</b>	<b>POPIS A CHARAKTERIZACE MATERIÁLŮ .....</b>	<b>31</b>
10.1	MATERIÁLY .....	31
10.2	CHARAKTERIZACE MATERIÁLŮ .....	32
11.1	SLEPENÍ ZATÍŽENÍM .....	33



11.2	APLIKOVÁNÍ PRIMERU A NÁSLEDNÉ LEPENÍ.....	33
11.3	LEPENÍ VTEŘINOVÝM LEPIDLEM .....	33
11.4	ÚPRAVA POVRCHU PLASMOVÁNÍM A NÁSLEDNÉ LEPENÍ.....	33
11.5	ULTRAZVUKOVÉ SVAŘOVÁNÍ .....	34
<b>12</b>	<b>MECHANICKÉ VLASTNOSTÍ LEPENÉHO SPOJE .....</b>	<b>35</b>
12.1	PŘÍPRAVA TESTOVACÍCH TĚLÍSEK .....	35
12.2	ZKOUŠKA .....	35
<b>13</b>	<b>VÝSLEDKY.....</b>	<b>36</b>
13.1	ANALÝZA FTIR.....	36
13.2	ANALYZOVANÁ A POUŽITÁ LEPIDLA .....	37
13.2.1	Styren-Izoprenový kaučuk (SIS).....	37
13.2.2	Butylakrylát (BA).....	37
13.2.3	Kyanakrylátová lepidlo (vteřinové lepidlo) .....	37
13.3	PEVNOST LEPENÉHO SPOJE .....	38
13.3.1	Použití rozdílného závaží .....	38
13.3.2	Použití primeru.....	38
13.3.3	Použití vteřinového lepidla .....	39
13.3.4	Úprava povrchu plazmováním .....	40
13.3.5	Ultrazvukové svařování .....	40
<b>14</b>	<b>DISKUZE .....</b>	<b>42</b>
	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>44</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....</b>	<b>45</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK .....</b>	<b>47</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>48</b>
	<b>SEZNAM TABULEK.....</b>	<b>49</b>

## ÚVOD

Spojováním různých materiálů lepením lze dosáhnout spojů, kterých bychom jinými techniky spojování docílili jen s těžší. Lepením lze snadno spojit jak velké plochy, tak i plochy malých rozměrů. Existuje nespočet různých typů lepidel, s nimiž lze spojit prakticky jakékoli dva materiály, a to ať stejného typu nebo různorodé.

Praktických využití a příkladů je nespočet. Konkrétní problematika, kterou se budeme zabývat, je pevnost spoje gumové podložky s textilií. Příkladem je gumová podložka v automobilech, která zde hraje ochrannou roli, kde odděluje vodu, či případné nečistoty od koberečku na zemi automobilu. Konkrétní spoj je tedy mezi gumovou podložkou a textilií, připomínající suchý zip, kterým se snadno přichytí na kobereček, ale stejně snadno se od něj oddělí. Ovšem v případě, když uživatel ve snaze oddělit gumovou podložku přeruší výše zmíněný spoj a zůstane na koberečku pouze textilie, tak to nebude nejlepší vizitka automobilové firmy.

V téhle bakalářské práci budou tedy testovány různé metody spojování materiálů a srovnání různých lepidel. Důležitým srovnávacím faktorem je síla spoje, ale také jeho estetický vzhled.

## **I. TEORETICKÁ ČÁST**

# 1 MECHANISMUS LEPENÍ

Lepení je proces, při kterém dojde prostřednictvím lepidla (adheziva) ke spojení stejných, či rozdílných materiálů. Lepení se uplatňuje bezmála ve všech průmyslových odvětvích, stává se tedy jednou z nejběžnějších spojovacích metod současnosti.

Většina adheziv je v tekuté formě, za účelem lepší přilnavosti k materiálům. Hovoříme tedy o přilnavosti (adhezi) lepidla k danému materiálu. Aby spoj mezi materiály byl pevný, má pro lepidlo po zatuhnutí velký význam také soudržnost neboli koheze. V neposlední řadě se u lepidel sleduje také jeho smáčivost vůči danému materiálu. [1, 2]

## 1.1 Adheze

Adheze je schopnost dvou povrchů se navzájem přitahovat pomocí adhezních sil. Pro docílení vzájemné přitažlivosti dvou ploch bez použití jakéhokoli adheziva by tedy bylo třeba tyto dvě plochy vzájemně přiblížit na molekulární vzdálenost, která je asi  $3 \cdot 10^{-8}$  m. Z teoretického hlediska je to možné, ale z praktické stránky nemožné. Základní předpoklady pro vznik těchto sil bez použití lepidla je dokonale hladký, čistý a souběžný povrch obou materiálů.

Daleko snadněji se dá adheze pozorovat mezi pevnou a kapalnou látkou, protože kapalina se velice snadno kopíruje drsný povrch materiálu a dostane se i do mikropórů, kde vytěsni pohlcené páry a plyny. To ovšem nedělá každou kapalinu adhezivem.

Vazba mezi povrchem materiálu a adhezivem může být mechanická nebo chemická. U drsných a členitých povrchů převažuje spíše mechanická vazba. U materiálů s méně pórovitým nebo hladkým povrchem se více uplatňuje vazba chemická. [3, 4]

### 1.1.1 Druhy adheze

**Adsorpční adheze** je jeden z hlavních faktorů adheze mezi adhezivem a povrchem materiálu. Mezi molekulami adheziva a molekulami materiálů začnou působit malé elektrostatické síly zvané van der Waalsovy síly. Aby tohle dobře fungovalo, musí se molekuly adheziva dobře roztahovat po povrchu a smáčet jej. Musí být smáčenlivé. V tomhle případě zde nejsou žádné chemické vazby mezi molekulami adheziva a povrchu.

**Chemická adheze** je mnohem silnější než adsorpční. Zde se dokáží vytvořit chemické vazby mezi molekulami adheziva a povrchem. Chemické vazby dokáže vytvořit pouze určité

adhezivum na určitém povrchu a k chemické reakci dochází pouze na svrchní vrstvě materiálu. [7]

**Mechanická adheze** využívá póru, trhlin a nerovností na povrchu lepeného materiálu. Tekuté adhezivum snadno pronikne do těchto trhlin a po zatuhnutí vytvořit mechanické vazby. Teoreticky by se dalo říct, že adheziva s nižší viskozitou daleko snadněji vnikne do pórů, a proto bude adheze silnější. V praxi to překvapivě funguje naopak. S nižší viskozitou adheziva také klesá pevnost spoje. [1, 3]

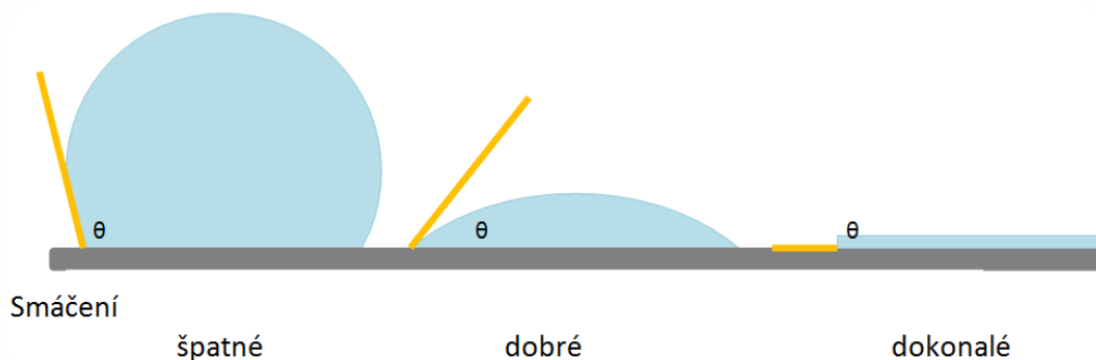
**Difúzní adheze** naznačuje, že molekuly adheziva mohou difundovat do povrchu materiálu a naopak. [3]

## 1.2 Koheze

Kohezní síly zajišťují soudržnost lepidla. Míru koheze určuje kohezní energie neboli energii potřebnou k oddělení částic lepidla. Kohezní energie závisí na van der Waaslových silách působících mezi jednotlivými molekulami lepidla, ale také na vzájemném propletení molekul. Soudružnost lepidla ale také závisí na charakteru a tepelném namáhání lepidla. Například lepidla na bázi termoplastů budou se zvýšenou teplotou měknout a tím se bude snižovat jejich koheze. Obecně by koheze měla být větší než adheze. [4, 6]

## 1.3 Smáčivost

Je projev povrchové energie kapaliny a říká, jak se dokáže kapalina přilnout k povrchu pevných látek. Pokud má kapalina menší povrchové napětí než povrch, na který je kapalina nanášena, tak kapalina smáčí povrch a naopak. Zda kapalina povrch smáčí nebo ne, určuje kontaktní úhel. Tento úhel se jednoduše zjistí vyfocením nanášené kapky na povrchu a tečnovou metodou se změří jeho velikost. [7]



Obr. č. 1 – Smáčivost kapalin [7]

## 2 FAKTORY OVLIVŇUJÍCÍ KVALITU SPOJE

### 2.1 Polarita

#### 2.1.1 Slabě a středně polární látky

Polyestery, **PVC**, **PMMA**, fenoplasty, aminoplasty aj. se dají lepit polárními lepidly stejného typu jako lepený materiál.

#### 2.1.2 Silně polární látky

Některé polyuretany, polyamidy a celulóza se již lepí hůře než materiály slabě polární.

#### 2.1.3 Některé nepolární látky

**PE**, **PP**, **PTFE** se nedají vůbec lepit nebo jen velmi těžce. Tyhle materiály se proto hojně povrchově upravují oxidací, což má za následek místní zvýšení polarity. Adhezi lze také zlepšit přidávkem polárních plniv, změkčovadel apod. [8]

### 2.2 Krystalinita polymerů

Krystalické polymery mají tendenci krystalizovat. Ke krystalizaci vedou rovnoměrné stavby řetězce. Polymery ale nemůžou být zcela krystalické, a proto je jejich část tvořena také amorfní složkou. Krystalinita pozitivně ovlivňuje mechanické a fyzikální vlastnosti polymerů, proto se ve většině případů snažíme o co největší podíl krystalické složky. Z pohledu lepení však krystalinita má účinek nežádoucí. Čím méně krystalického podílu v polymeru, tím lépe se bude lepit. [8, 14]

### 2.3 Obsah plniv

Většina plniv je polárního charakteru, a tak adhezi lepidel k materiálu spíše zlepšují. Výjimkou jsou grafit a saze. [8]

### 2.4 Obsah změkčovadel

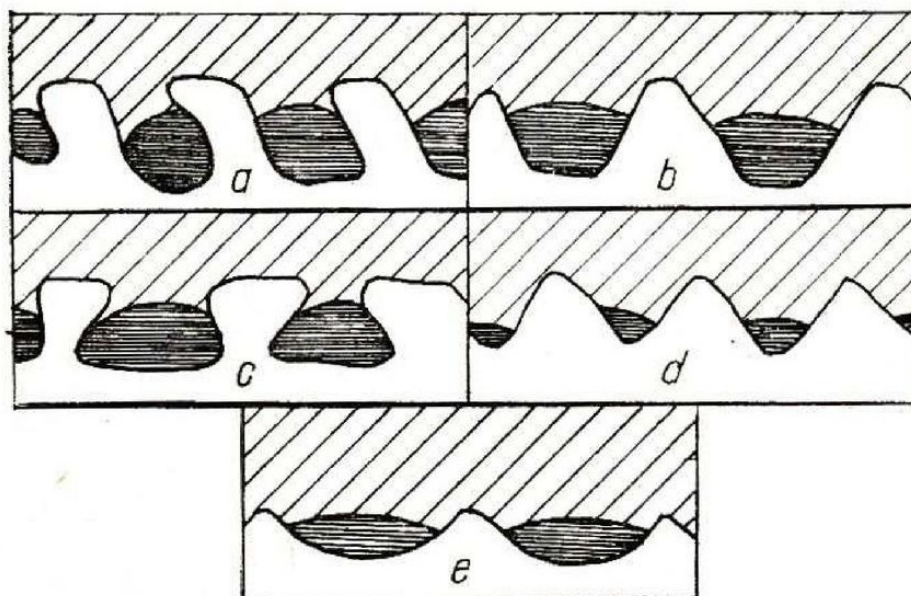
Materiály obsahující nízkomolekulární změkčovadla jako ftaláty, fosfáty apod., mohou být lepeny jen lepidly, která se nebudou se změkčovadly mísit. V opačném případě by migrující změkčovadlo film lepidla naleptalo a spoj by nebyl tak pevný. [5, 8]

## 2.5 Soudržnost povrchu

Tenhle problém se může objevit u materiálů, které jsou pěnové, kaširované, dekoračně elektrostaticky popráškované nebo u skleněných laminátů. Pěnové materiály mají zpravidla menší soudržnost. Mohlo by tedy dojít při zatížení spoje k destrukci stržením jeho povrchové vrstvy. U kaširovaných nebo popráškovaných materiálech může tvrdidlo nebo rozpouštědlo v lepidle narušit soudržnost popráškované vrstvy s materiálem. [5, 8]

## 2.6 Rovnost a hladkost povrchu

Na účinnost lepidla má největší vliv tvar mikropovrchu materiálu. Na obrázku č. 2 jsou základní typy nerovností. Tyhle nerovnosti samozřejmě ovlivňují také smačivost lepidla. Se zmenšující velikostí trhlin a pórů (typ d) se adheze zvyšuje a může docházet i k adhezi samovolné bez použití lepidla. Drsnější nerovnosti mohou být naopak pro lepení nepříznivé, protože lepidlo bude hůře zatékat do trhlin plné plynů a nebude tak tyhle plochy smáčet. Na leštěných površích se mohou nacházet miskovité nerovnosti (typ e). Tyhle nerovnosti mohou mít příznivý nebo nepříznivý vliv na lepení v závislosti na jejich velikosti. Optimální hloubka nerovností je mezi 1 a 6  $\mu\text{m}$ . [8]



Obr. č. 2 – Typy nerovností povrchu podle deBruyna [8]

## 2.7 Čistota povrchu

Aby lepidlo mělo absolutní kontakt s plochou, musí být lepená plocha zbavena všech látek, které ruší tento kontakt. Je to zejména mastnota, koroze a adsorbovaný plyn. Ke zbavení

mastnoty se používají různá rozpouštědla a na korozi mechanická či chemická síla. Postup, jak se ale zbavit adsorbované plynové vrstvy, není dosud spolehlivě vyřešen. [8, 5]

## **2.8 Délková roztažnost**

Plasty mají zpravidla větší délkovou roztažnost než třeba sklo, dřevo nebo kovy, a to až 6 - 10krát. Takle roztažnost často bývá příčinou pnutí, a to pak může deformovat nebo porušit spoj. [8]

## **2.9 Rozpustnost, botnání**

V roztokových nebo disperzních lepidlech jsou obsažena organická rozpouštědla, ve kterých se mnoho termoplastů rozpouští nebo botná. Tenhle fakt může být výhodou, lepí-li se materiál s tlustou stěnou, kde rozpouštědlo zlepšuje adhezi. U folií, kde může docházet k deformaci povrchu, není rozpouštědlo žádoucí. [8, 14]



### 3 VLASTNOSTI LEPIDEL

#### 3.1 Polymerační stupeň

Vlastnosti ovlivněné polymeračním stupněm polymeru v lepidle může kvalitu lepidla, jak zlepšovat, tak i zhoršovat. Čím větší bude polymerační stupeň, tím delší budou řetězce makromolekul a adheze k povrchu bude menší. Naopak koheze samotného lepidla bude stoupat. Proto jsou lepidla s vyšším polymeračním stupněm vhodnější spíše pro vytvoření tvrdého filmu. Zvýšená viskozita lepidla způsobená délkou řetězců se dá snížit přidáním změkčovadel nebo nízkomolekulárních měkkých pryskyřic. V praxi se obvykle používají lepidla s polymeračním stupněm od 50 do 300. [5]

#### 3.2 Vedlejší skupiny na řetězci

Vedlejší skupiny na řetězci určují finální rozpustnost a tuhost filmu lepidla, ale také jeho polární charakteristiky. [5, 8]

#### 3.3 Přídavek plniva

Plniva v lepidlech jsou z několika důvodů. Významně se plnivy upravuje viskozita a také tloušťka filmu. Přídavek plniva může také sloužit ke snížení vnitřního pnutí, nebo také regulovat délkovou roztažnost lepidla a jeho tepelnou vodivost (plněním kovovým prachem). Plniva se také využívají za účelem zlevnit výsledný produkt. Používají se k tomu plniva, která nijak nereagují s lepidlem například kaolín, oxid titaničitý, škrob, nebo mleté kovy. Chceme-li mísit plniva s velmi viskózními lepidly, musí se směs přechodně zředit těkavým rozpouštědlem. [8]

#### 3.4 Přídavek změkčovadla

Přídavek změkčovadla značně ovlivní jeho viskozitu a tím i jeho adhezi i kohezi. Jako změkčovadla se často používají ftaláty, glykoly, alkydové pryskyřice apod. Změkčovadlo umožní makromolekulám lepidla lépe se pohybovat a tím i lépe přilnout k povrchu nebo zatéct do pórů a nerovností v povrchu lepeného materiálu. Obsah změkčovadel by neměl překročit 20 %. Nebudou-li ale změkčovadla vázány v lepidle chemicky, mohou tyto molekuly změkčovadla migrovat do jiných částí lepidla a tím výrazně zhoršit pevnost spoje. [8, 14]

### 3.5 Obsah rozpouštědel

Pomocným prostředkem pro snadnější a rovnoměrnější nanášení lepidla na povrch lepeného materiálu je rozpouštědlo. Změkčovadla také zlepšují smáčivost lepidla, tudíž má lepidlo větší kontaktní plochu s lepeným materiálem. Rozpouštědlo v lepidle nemůže zůstat, proto se z něj musí odstranit nejběžněji odpařením před slepení materiálů, nebo polymerací lepidla, je-li rozpouštědlo zároveň i monomerem. [8]

### 3.6 Viskozita lepidla

Viskozita se mění v závislosti na teplotě, obsahu plniv, na délce polymerních řetězců a také na poměru rozpouštědla a ředila. Čím menší bude mít lepidlo viskozitu, tím lépe se bude na povrch nanášet a lépe bude smáčet daný povrch. Viskozita některých lepidel může časem samovolně stoupat, ale tomu se dá předejít vhodným skladováním lepidla v chladu (nejběžněji od 0 do 5 °C), kdy ustávají polykondenzační reakce. [5, 8]

### 3.7 Homogenita lepidla

Je-li v lepidle obsaženo plnivo, musí se před použitím řádně promíchat. Při delším skladování lepidla může dojít k sedimentaci plniva. Také lepidla obsahující vodu se mohou složky pryskyřice oddělit od vodné vrstvy. Homogenizace lepidla před použitím je tedy velice důležitá, mnohdy také nesnadno proveditelná. [5]

### 3.8 Objemová stálost filmu lepidla

Když lepidlo tuhne, obvykle mění svůj objem. Tavná a reaktivní lepidla se smršťují méně než lepidla obsahující rozpouštědla a disperzní lepidla obsahující termoplasty. Taková lepidla zpravidla obsahují ne více než 50 % sušiny. [8, 14]

## 4 POVRCHOVÉ ÚPRAVY MATERIÁLU

Úprava povrchu materiálu je ve většině případů velice důležitá. Bez základních úprav by nebylo možné materiály spojit, nebo by spojení bylo velice obtížné, a spoj by neměl takovou pevnost, jak by se očekávalo.

### 4.1 Mechanické očišťování

Mechanickým čištěním se upravuje především povrch, který chceme lepit. Odstraňují se tak hrubé nerovnosti, nečistoty, které jsou nerozpustné, ale také se odstraní vrstvy, které překrývají aktivní povrch materiálu. Nejjednodušší čištění může být hoblování, nebo broušení brusným papírem nebo ocelovým kartáčem. V průmyslu se ale využívá například frézování, soustružení nebo strojní hoblování. V praxi se dbá na to, aby materiál byl co nejméně tepelně namáhán a nedošlo tak k vnitřnímu pnutí. Proto se také používá chlazení jak vzduchem, tak i chladicí kapalinou. [9]

### 4.2 Odmašťování

U náročnějších spojů po mechanickém očištění povrchu následuje odmašťování a poté ještě chemické moření. U méně náročnějších spojů je odmašťování finální úpravou povrchu.

#### 4.2.1 Organické rozpouštědla

Organická rozpouštědla lze rozdělit na hořlavé a nehořlavé. Mezi ty hořlavé patří hlavně benzín, aceton, toluen a alkoholy. Tyhle hořlavá rozpouštědla jsou levnější a méně toxickou (až na benzín) volbou. Benzínem a alkoholy se nejčastěji odmašťují pryže a termoplasty.

Mezi nehořlavé rozpouštědla patří hlavně chlorované uhlovodíky. Tyto rozpouštědla mají charakteristickou vůni a velmi často i narkotické účinky. Rozpouštědla na bázi chlorovaného uhlovodíku se používají hlavně na odmaštění kovů.

Nejběžnějším způsobem procesu odmašťování je ručně vatovým tampónem nebo štětečkem. Nicméně nejúčinnější postup je odmašťování v parách rozpouštědla, kdy je předmět umístěn nad vroucím rozpouštědlem. Páry kondenzují na povrchu materiálu a zkapávají do rozpouštědla.

#### 4.2.2 Vodné roztoky alkalických solí

Vodné roztoky mastnotu přímo nerozpouští, ale uvolní je z povrchu materiálu a díky fyzikálním a chemickým dějům je mastnota udržena v kapalině.

Například vyšší mastné kyseliny se v alkalickém prostředí neutralizují za vzniku mýdla. Tenzidy zase snižují povrchové nebo mezifázové napětí olejů a tím je odstraní z povrchu.

### 4.2.3 Bobtnání organickými rozpouštědly

Tohoto jevu se využívá hlavně u termoplastů, jako jsou polyolefiny. Pronikání rozpouštědla do povrchu materiálu zvětšuje kontaktní plochu mezi termoplastem a lepidlem.

Tento proces lze spojit i se samotným odmašťováním, použijeme-li směs rozpouštědla, který pronikne do materiálu a zároveň odstraní mastnoty a tuky. [9]

## 4.3 Použití primeru

Primer, funguje jako spojovací vrstva mezi substrátem a lepidlem a zlepšuje adhezi. Používají se hlavně na povrchy, které se obtížně lepí, nebo v aplikacích s velmi vysokými nároky na odolnost proti vlhkosti a teple.

Nanášení primeru, který je kompatibilní se specifickým lepidlem, je často nejvhodnější nebo jediný způsob, jak dosáhnout optimální přilnavosti k substrátu. Kromě toho může základní nátěr také fungovat jako bariéra chránící povrch před infiltrací vody nebo jiných vnějších prvků, a proto výrazně zvyšuje odolnost proti stárnutí.

Primery se obvykle nanášejí v tenkém filmu, aby se zajistilo správné vysušení povlaku. Vzhledem k dlouhodobému účinku suchého primeru může být aplikace primeru a proces spojování obecně prováděn nezávisle v různých časech. V závislosti na materiálu mohou některé substráty před nanesením primeru vyžadovat „oxidační předúpravu“. Přilnavost k substrátu a soudržnost základního filmu lze zlepšit smícháním základního nátěru se síťovacím činidlem.

U některých materiálů (např. PP) je naprosto nezbytné přidat síťovací činidlo. [10]

## 4.4 Plazmování povrchu

Je to efektivní úprava, kterou lze upravit povrchové vlastnosti materiálu a to neinvazivně (bez porušení vnitřní struktury nebo objemových vlastností). Tahle povrchová úprava dokáže zjednodušit nejen technologický postup, ale také uspořit čas a náklady. Nejčastěji se povrch materiálu plazmuje před pokovením, lepením či potiskem.

Úprava plazmováním váže na řetězce molekul nacházejících se na povrchu nové funkční skupiny. Vytvoří se aktivní částice (ionty, radikály atd.) vlivem průchodu plynu plasmovým

výbojem. Tyto částice pak vytvoří nové vrstvy nebo díky nim dojde k chemické reakci. Následkem je pak změna povrchové energie, která zvýší smáčivost, nebo také adhezní vlastnosti materiálu. [11]

## **5 DRUHY LEPIDEL**

### **5.1 Lepidla roztoková, tuhnoucí odpařením vody**

Tyto lepidla tuhnou vsáknutím a odpařením vody, která hraje roli rozpouštědla. Aby se mohlo vsáknutí uskutečnit, musí být spojovaný povrch dostatečně porézní a propustný pro plyny. Taková lepidla mají obvykle nízký obsah sušiny a vytváří tenký film. [14]

### **5.2 Lepidla disperzní, tuhnoucí odpařením vody**

Disperzními lepidly se lepí dřevo, papír, textilie a další porézní materiály. Jsou to systémy dvou nebo více fází, kde jsou makromolekuly dispergovány nejčastěji ve vodě. [5, 9]

### **5.3 Lepidla roztoková, tuhnoucí odpařením těkavých rozpouštědel**

Tyhle lepidla jsou tvořeny obzvláště polymery a deriváty celulózy, které jsou rozpustné v organických rozpouštědlech. Tvoří tak viskózní roztok s dobrou adhezí. [8, 9]

### **5.4 Lepidla reaktivní, tuhnoucí vlivem zvýšené teploty**

Některé syntetické pryskyřice nebo lepidla lze bez přídavku tvrdidel vytvrdit pomocí zvýšené teploty. Zpracovávají se tak hlavně fenolické a melaminová pojiva. [14]

### **5.5 Lepidla reaktivní, tuhnoucí vlivem vlhkosti**

#### **5.5.1 Kyanoakrylátová lepidla**

Jde o jednosložková lepidla obsahující účinnou látku alkylalfa-kyanakrylát v monomerní formě. Lepidla se vyznačují velmi rychlou reaktivností. Lepidlo tuhne polymerací obsaženého monomeru, které je spuštěno vzdušnou vlhkostí. Tuhnutí zpravidla proběhne během několika sekund až minut.

Film lepidla je houževnatý a elastický, s vysokou adhezí. Lze je použít prakticky na většinu druhů materiálu od plastů přes kovy, dřevo až po lepení živých biologických tkání. [9]

### **5.6 Lepidla reaktivní, tuhnoucí po přidání tvrdidel**

Mezi taková lepidla patří zejména lepidla epoxidová, polyesterová, polyuretanová nebo fenol-formaldehydová. [9]

## 5.7 Lepidla tavná

Tavná lepidla se od předchozích typů lepidel liší především technologií zpracování. Při běžné teplotě jsou lepidla jako pevné tuhé látky, většinou termoplasty. Zpracovávají se zahřátím na teplotu, při které se polymer roztaví a stane se lepivým (120 až 200 °C). [9, 14]

## 5.8 Lepidla stále lepivá

Jsou též označována jako lepidla citlivá na tlak a používají se výhradně v kombinaci s vhodnými nosiči. Jsou to tzv. samolepicí pásky nebo fólie s jednostranně i oboustranně nanesenou lepicí vrstvou.

Spoje samolepicí pásky se dosáhne pouhým přitlačením a vlastnosti lepivého filmu se nemění. [9, 14]

## 6 LEPENÍ KAUKČUKŮ A PRYŽÍ

Pro výrobu pryže je třeba vulkanizovat přírodní nebo syntetický kaučuk. K nejběžnějším typům pryží patří např. vulkanizáty přírodního kaučuku (isoprénový kaučuk), chloroprenového kaučuku, butadien-styrenového kaučuku. Většina kaučuků po vulkanizaci nejsou rozpustné v organických rozpouštědlech, jen v nich mohou botnat a deformovat se.

Podle adhezivních vlastností kaučuků je lze rozdělit na dva typy, a to na nepolární (přírodní a butadien-styrenový kaučuk) a na polární (chloroprénový a akrylonitrilbutadienového kaučuku). Tyhle adhezivní vlastnosti negativně ovlivňují saze jako plnivo. [5]

### 6.1 Spojování pryže a kaučuků navzájem

Je nutné zabezpečit mechanickou pevnost spoje, ale také i celkovou pružnost, aby v místě spoje nevznikalo vnitřní pnutí.

Nejsnadněji se spojují polární a tvrdé pryže. Obtížněji se pak lepí pryže nepolární a s obsahem změkčovadla (tuhost 45–50 Shore A). Změkčovadlo může ovlivňovat film lepidla.

Spojujeme-li nevulkanizované směsi stejného složení je to relativně jednoduché. Není potřeba žádných jiných pojiv. Dvě plochy se mohou spojit za tepla svařením a vulkanizací anebo za normálních teplot aktivací povrchu rozpouštědlem.

Chceme-li vulkanizací spojit směsi různého složení, je potřeba nanést na kontaktní plochy tzv. složená pojiva (směsné roztoky obou typů kaučuku).

Poněkud obtížněji se spojují dva spoje z vulkanizované pryže. Oba zesíťované kusy totiž již nemohou téct ani difundovat prostřednictvím rozpouštědel. Lepidlo pro lepení takových materiálů musí obsahovat rozpouštědlo s kaučukem stejného složení, polarity a vulkanizačním činidlem pro aktivaci za horka.

Jelikož výrobky z pryže jsou nepropustné pro plyny, nanesené roztoky lepidla je nutné před slepením nechat obvykle zcela zaschnout. Směs se později aktivuje tlakem za normální nebo vysoké teploty. Obsahuje-li směs lepidla vulkanizační činidlo, dojde na spoji k vulkanizaci důsledkem tepla. Doba schnutí lepidla se může u různých kaučukových směsí lišit. Zpravidla se doba schnutí pohybuje v mezích 5 až 20 min. [5, 9]

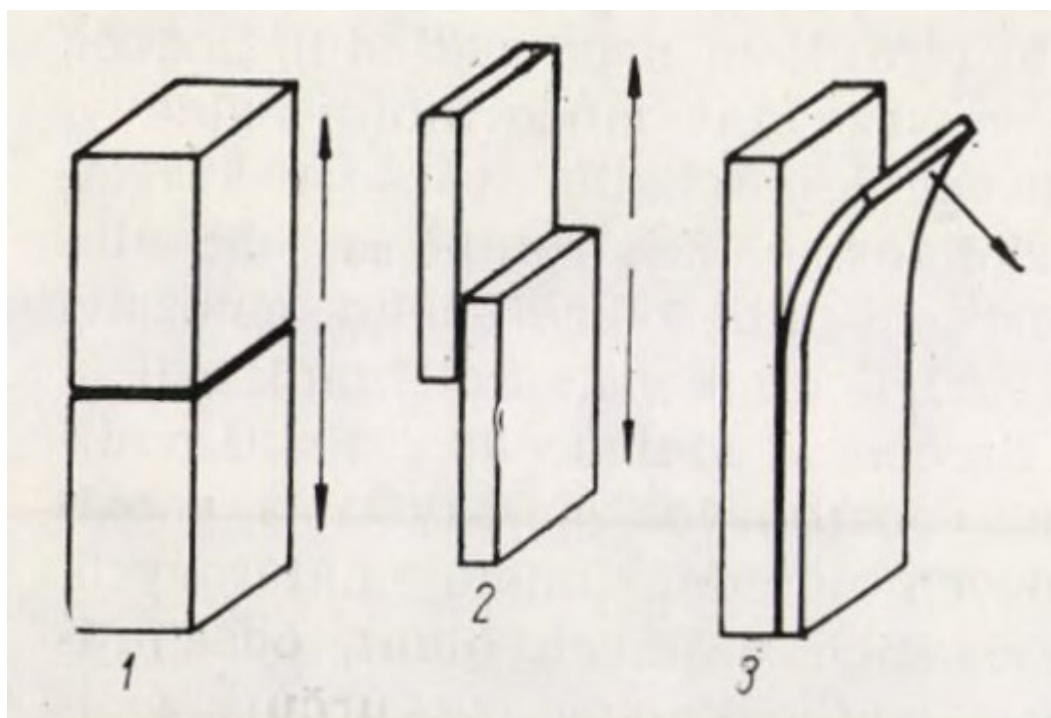


## 7 ZKUŠEBNÍ METODY KVALITY SPOJE

### 7.1 Metody destruktivní

#### 7.1.1 Pevnost ve smyku

Hodnocení se provádí podle normy ČSN EN 1465. Zkouška namáhá spoj tahem ve směru podélné osy, dokud se vzorek nepřeruší. U zkušebních tělísek z plastového materiálu dochází k deformování tělíska a vychýlení nebo deformaci lepeného spoje. Kvůli protahování zkušebních tělísek nepůsobí ve spoji síly rovnoměrně, a proto jsou hodnoty pevnosti zkreslené. Pro zkoušky spojů u plastů byly proto stanoveny úpravy, které zajistí rovnoměrné působení síly ve směru osy spoje. [9]



Obr. č. 3 – Namáhání spoje ve 1 – tahu, 2 – smyku, 3 – odlupování [9]

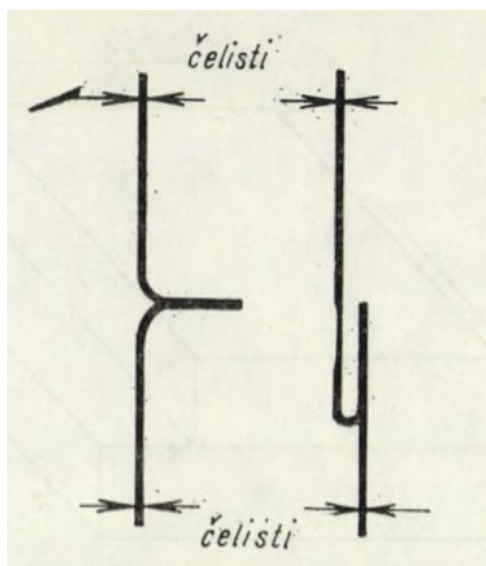
#### 7.1.2 Pevnost v tahu

Tato zkouška slouží zejména pro měření pevnosti lepených spojů dřeva. Zkouška je prováděna na normalizovaných těliscích. [9, 14]

### 7.1.3 Pevnost v odlupování

Zkouška je prováděna zejména, pokud je alespoň jedna ze slepených částí ohebná. Výsledkem zkoušky je graf, kde pevnost v odlupování je průměrná hodnota z hodnot střední části grafu.

Běžně se tato zkouška používá u lepených spojů kaučukových roztoků lepidel nebo k určení pevnosti spoje u dvou fólií. [9]



Obr. č. 4 – Schéma upnutí zkušebního tělíska při stanovení pevnosti spoje v odlupování [9]

### 7.1.4 Pevnost při rázovém namáhání

Spoj je při téhle zkoušce namáhán rázově ve smyku. Zkoušku lze provést na kyvadlovém stroji (např. Charpyho kladivě). Měří se nejmenší síla, která přeruší spoj rázem. [9]

### 7.1.5 Pevnost při statickém zatížení

Podle použití a druhu lepidla se testuje pevnost spoje při zatížení ve smyku nebo odlupování. Zkušební tělíska jsou zavěšena a zatížena na stanovenou dobu (např. 24 hodin). Po uplynulé době se zjišťuje stav lepeného spoje. [14]

### 7.1.6 Zkouška stárnutí

U téhle zkoušky je zkoumán vliv povětrnostních podmínek, které dlouhodobě namáhají spoj (teplota, vlhkost, prostředí...). Zkouška odhalí chování spoje při dlouhodobém používání.

Mimo jiné se také pozoruje migrace rozpouštědla, které může být obsaženo jak v lepeném materiálu, tak i v lepidle. Výsledky těchto zkoušek mohou mít jen orientační charakter. [14]

## **7.2 Metody nedestruktivní**

### **7.2.1 Akustická defektoskopie**

Metoda odhalí pomocí rozdílných amplitud kmitů a rozdílného zvukového spektra vadná místa v lepeném spoji. [5, 9]

### **7.2.2 Optické metody**

Tenké lepené spoje se prosvítí světlem. Pokud jsou stěny materiálu tlustší, použije se rentgenové záření. [9, 14]

### **7.2.3 Radioizotopová defektoskopie**

Před použitím lepidla pro slepení zkušební vzorku se do lepidla přimíchá vhodný radioizotop a poté se sleduje jeho rozložení ve spoji. [9]

### **7.2.4 Ultrazvuková defektoskopie**

Zkoumá lepené spoje hlavně u kovů. Vzorek je umístěn mezi generátor a přijímač ultrazvukových vln. Jsou tak zjištěna vadná místa spoje. [9]

## 8 OSTATNÍ METODY SPOJOVÁNÍ MATERIÁLŮ

### 8.1 Mechanické spojování

Zde patří většina běžných nelepených spojů. Při takovém spojování materiálů lze použít například hřebíky, spojovací sponky, vruty, šrouby, ale také i sešívání. Některé nelepené spoje disponují výhodou opětovného rozpojení a následného spojení.

### 8.2 Svařování

#### 8.2.1 Tepelné svařování

Tepelným svařování se spojují výhradně fólie za pomoci tepla. Předpokladem pro dobré spojení materiálů je jejich přibližně stejný bod tání a chemická slučitelnost. Svařováním teplem se spojují jen termoplasty, které se dají teplem roztavit. U reaktoplastů tenhle typ svařování není možný, protože jsou netavitelné. [16]

#### 8.2.2 Ultrazvukové svařování

Při ultrazvukovém svařování se převádí energie do vysokofrekvenčního mechanického pohybu. Ten se projeví jako vibrace a díky nim a přítlačné síle, která působí na materiál, se vytváří teplo. Pomocí tepla se materiál v kontaktním bodě začne tavit a vytvoří pevné spojení.

V generátoru se standartní napětí o frekvenci 50 Hz převádí na 20–40 kHz. Vysokofrekvenční energie se následně pomocí piezoelektrického převodníku převede na mechanický pohyb. [17]

### 8.3 Nanášení kaučukových směsí

Nejčastěji se tahle technika používá při výrobě pneumatik. Tzv. pogumování textilních a ocelových kordů je důležité z hlediska izolace jednotlivých nití, možnosti konfekce pláště ale i ochrany.

Na pogumovacích linkách je kord napínán soustavou válců a odváděn ze zásobníku k pogumování. Samotné pogumování probíhá mezi válci, kde se vytlačuje směs nanášena na kord. Textilní nitě kordu jsou pogumovány z obou stran a odváděny na navíjecí cívku. [15]

## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**

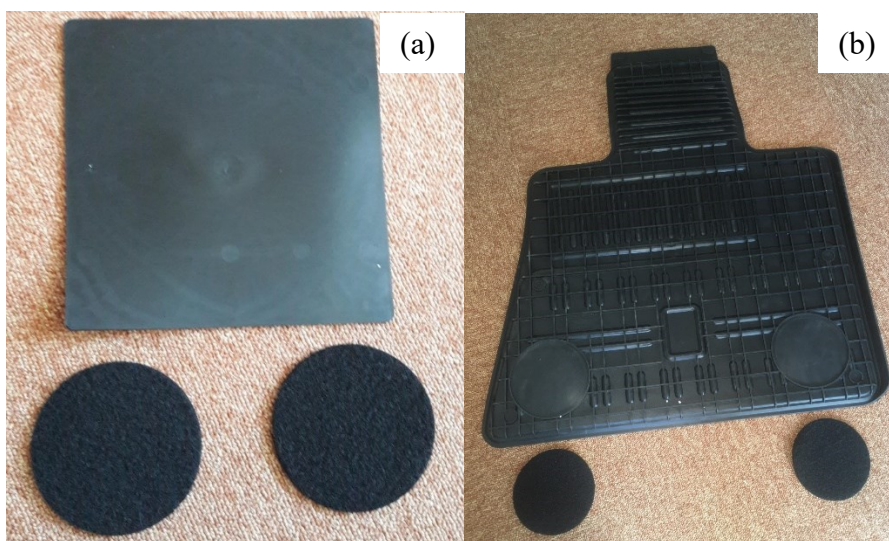
## 9 CÍL BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Praktická část bakalářské práce se bude zabývat pevností lepeného spoje mezi elastomerní podložkou a textilií. Cílem práce je najít způsob lepení těchto materiálů, aby lepený spoj splňoval stanovenou normu pevnosti spoje, za použití různých druhů lepidel, různých technologických postupů lepení a povrchových úprav. Požadovaná pevnost spoje je 14 N/cm.

## 10 POPIS A CHARAKTERIZACE MATERIÁLŮ

### 10.1 Materiály

Zkušební vzorky byly v podobě terčů o průměru 10 cm vyrobeny z polyamidu 6. Terč byl stranově odlišný. Na vrchní straně terčů obsahoval polyamidovou plst'. Spodní strana byla rovná a hladká. Spodní strana sloužila k připojení druhého dílu podložky z EPDM (Obrázek 5a). Celek slouží jako simulace ochranného produktu koberečku před znečištěním, či namočením, používaný v automobilech (obrázek 5b). Celá podložka včetně terčů je přichycena přes systém suchého zipu k podkladní textilii, které je součástí vozu, tímto způsobem je celý díl vyjmutelný, vyměnitelný a dostatečně nepohyblivý. Terčů byly dodány ve třech modifikacích, kdy spodní strana neobsahovala lepidlo či obsahovala lepidlo 1 a lepidlo 2. Terčů s lepidly obsahovaly ochranou odnímatelnou fólii, proti nežádoucímu slepení.



Obr. č. 5 – Fotografie simulace produktu (a) a finálního výrobku EPDM podložky a PA6 textilie (b)

## 10.2 Charakterizace materiálů

Charakterizace vzorků byla provedena pomocí FTIR spektroskopie. (Nicolet iS5, Ge krystal).

Pomocí infračervené spektroskopie s využitím ATR techniky byly zkoumány a ověřeny vzorky. Vzorek se umístil na germaniový krystal a pomocí interakce infračerveného záření s ním byla vygenerována spektra chemického složení. Tyhle spektra byla následně prozkoumána a srovnána s databází spekter.

**Zařízení:** Nicolet 1S5 + ATR modul s germaniovým krystalem

**Měřicí podmínky:** Pozadí i vzorek snímán na 64 skenů s rozlišením 4

**Měřené spektrum:** od 550 do 4000  $\text{cm}^{-1}$



*Obr. č. 6 – FT-IR spektrometr – Nicolet iS5 [18]*



## 11 PŘÍPRAVA VZORKŮ

Jednotlivé vzorky byly spojovány vždy různými technologickými postupy a s použitím různých lepidel. Připraveny byly každou metodou vždy alespoň tři zkušební vzorky.

### 11.1 Slepění zatížením

U terčků s lepidlem 1 a lepidlem 2 se provedl test zatížením. Bylo otestováno, zda má vliv zatížení, které působí na textilií a gumovou podložku na pevnost spoje, či nikoli. Terčíky byly vždy po dobu 30 sekund zatíženy závažím o hmotnosti 5 kg, 25 kg a 50 kg. Nejefektivnější varianta byla poté použita i dále pro další metody lepení, aby bylo docíleno co nejpevnějšího spoje.

### 11.2 Aplikování primeru a následné lepení

Na EPDM podložku byl aplikován komerční primer. Z vrstvičky primeru se musí odpařit rozpouštědlo, než se nalepí textilie s lepidlem. Proces odpařování trval 24 hodin, a to je obrovská nevýhoda při velkovýrobě. Jakmile se rozpouštědlo v primeru odpařilo, byly slepeny vzorky s každým druhem lepidla a zatíženy po dobu 30 sekund vahou 50 kg.

### 11.3 Lepení vteřinovým lepidlem

Terčík bez lepidla byl slepen s EPDM podložkou bez jakékoli povrchové úpravy pomocí vteřinového lepidla „Kleber C2“ na kyanoakrylátové bázi. Po nanesení lepidla na EPDM podložku byl ihned přiložen terčík spodní stranou a spoj byl ponechán bez zatížení, aby nevnikly nežádoucí přetoky lepidla.

### 11.4 Úprava povrchu plasmováním a následné lepení

Pro plasmování byl použit přístroj PlasmaBeam DUO PC. PlasmaBeam DUO PC je přístroj pro čištění a aktivaci povrchů pomocí atmosférického plazmatu. Disponuje dvěma tryskami, každá ošetří povrch o šířce max. 12 mm. Průtok plynu je konstantní, regulace účinku na materiál se provádí změnou vzdálenosti a rychlosti vzájemného pohybu plazmové trysky a upravovaného povrchu. Přístroj je vybaven monitorováním průtoku plynu a vstupních procesních parametrů generátoru. Generátor má frekvenci 20 kHz a výkon 300 W.



Obr. č. 7 – Přístroj PlasmaBeam DUO PC [19]

Nejprve se oplazmovala jen EPDM podložka kontinuálním přejezdem plasma tužky (doba 2 s). Tento proces se opakoval 4x. Následně se opakování zvýšilo na 8 cyklů. Jako další způsob bylo zvoleno plasmování terčíku s lepidlem 1 i 2. Tentokrát se provedlo hned 8 přejezdů obdobným způsobem. Jako poslední varianta se oplazmovaly jak terčíky, tak EPDM podložky. Opět se provedlo 8 kontinuálních přejezdů plasma tužky.

### 11.5 Ultrazvukové svařování

Dalším způsobem spojování uvedených materiálů, bylo provedeno pomocí ultrazvukového a impulzního svařování. Pro ultrazvukové svařování bylo použito zařízení HiQ Dialog o frekvenci 20 kHz a sonotrodě o rozměrech: šířka 15 mm, délka 150 mm.

U svařování ultrazvukem nebylo jednoduché určit ideální procesní podmínky (síla, čas svařování). Vzorek byl buď zcela propálen, anebo nadržel vůbec. Nakonec se jako nejvhodnější podmínky jevila doba 0,4 s z vrchu pro vzorek s lepidlem 1 a pro druhý vzorek bez lepidla působil ultrazvuk 0,6 sekund zespod. Přítlačná síla byla vždy 10 N.



Obr. č. 8 – Poškozený vzorek kvůli špatným podmínkám ultrazvukového svařování

## 12 MECHANICKÉ VLASTNOSTÍ LEPENÉHO SPOJE

### 12.1 Příprava testovacích tělísek

Ze slepených vzorků se vždy vysekla testovací tělíska o požadované délce a šířce. Vysekávalo se na ručním lisu za pomoci standardizovaných vysekávacích nožů. Tělíska měla vždy šířku 20 mm a délku 100 mm. Primárně se vysekávaly tělíska ze středu slepeného dílu terčíku – EPDM podložky.

### 12.2 Zkouška

U každého tělíska byla provedena tahová zkouška na pevnost spoje v odlupování. Všechny tělíska byla testována na univerzálním zkušebním trhacím stroji Testometric MT350-5CT. Zkouška probíhala podle stanovených parametrů. Rychlost trhání byla 100 mm/min a vrstvy se od sebe trhaly přibližně ve 180° úhlu. Ke každé čelisti byla připevněna vždy jedna z vrstev. Zkoumána byla vždy pevnost spoje v lepení. Pro každý test, bylo připraveno 5 testovacích vzorků

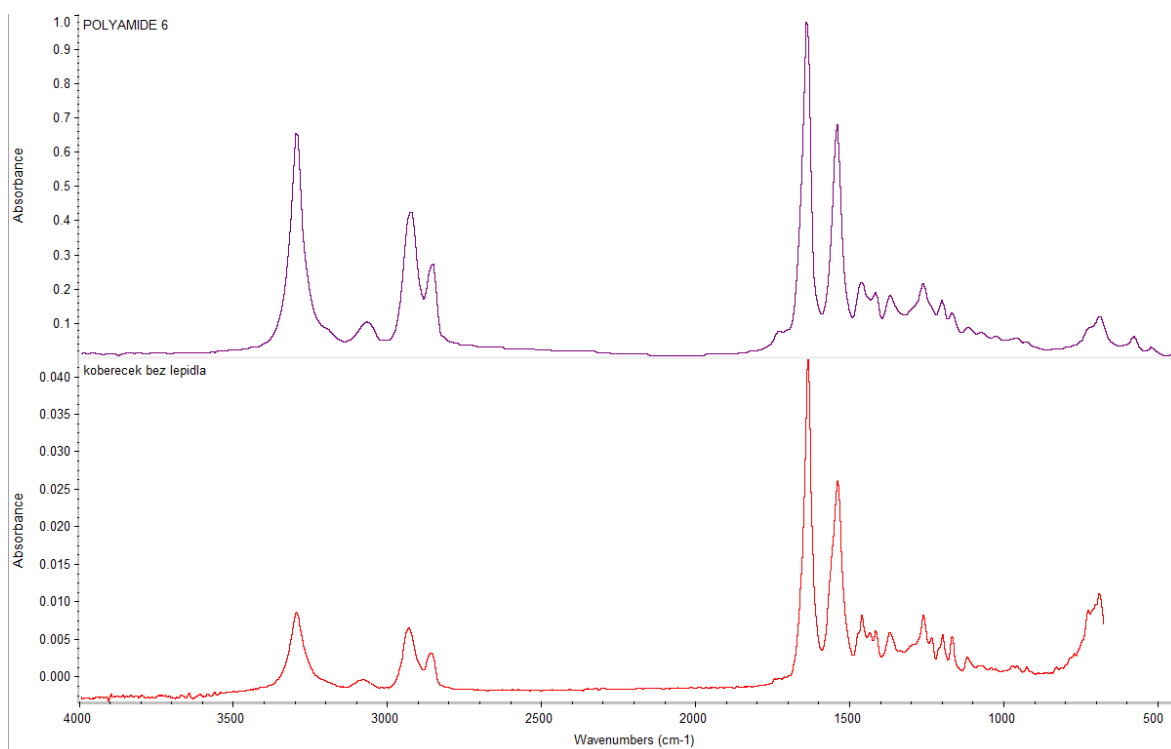


*Obr. č. 9 – Znárodnění průběhu tahové zkoušky*

## 13 VÝSLEDKY

### 13.1 Analýza FTIR

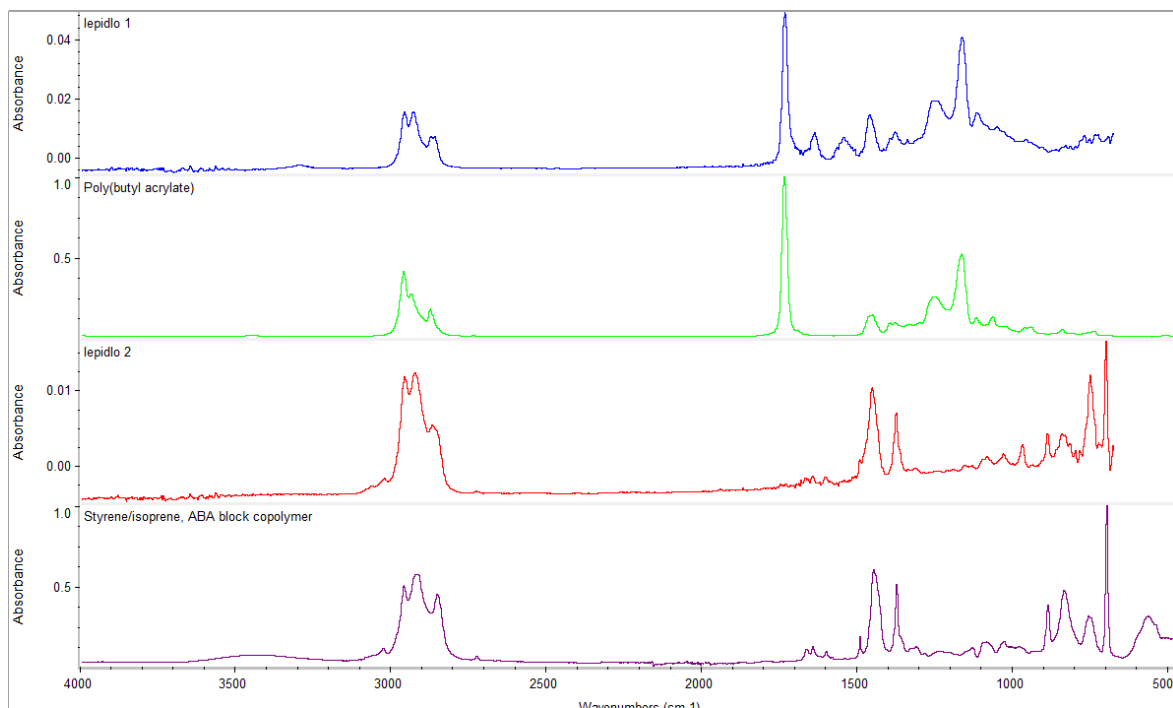
Vzorky lepidel a textilního materiálu, se kterými se pracovalo, byly analyzovány pomocí FTIR spektroskopické analýze. Vygenerovaná spektra byla následně porovnána s databází.



Obr. č. 10 – Výsledek analýzy FTIR pro textilní materiál

Naměřené spektrum se nejvíce shodovalo se spektrem Polyamidu 6 nalezeného v databázi spekter. Textilní materiál využit jako část suchého zipu byl tedy polyamid 6, někdy nazýván též Nylon 6, který se běžně zvlákňuje a využívá pro tyto účely.

Zjišťován byl také druh použitých lepidel již nanesených na spodní straně textilního terčíku. U obou lepidel byla v databázi spekter najitá shoda. V případě lepidla 1 se jedná o lepidlo butylakrylátového typu, kdy při porovnání spektra vzorku s knihovnou vykazuje shodu 93 %. Následně je lepidlo označené v textu jako BA. U lepidla 2 bylo identifikováno, že se jedná o lepidlo na bázi styren-izoprenového kaučuku (shoda 84 %). Lepidlo je dále označené v textu jako SIS.



Obr. č. 11 – Výsledky analýzy FTIR pro obě lepidla

## 13.2 Analyzovaná a použitá lepidla

### 13.2.1 Styren-Izoprenový kaučuk (SIS)

Jsou to vysoce výkonné termoplastické elastomery s kombinací vysoké pevnosti, nízké tvrdosti a nízké viskozity pro snadné termoplastické zpracování v tavenině nebo v roztoku. Polymery SIS jsou založeny na styrenu a isoprenu a jsou vyznačovány nejnižší tvrdostí a nejnižší viskozitou všech styrenových blokových kopolymerů. Jsou ideální pro formulování lepidel citlivých na tlak (balicí páska, štítky atd.), lepidel pro sprejové pleny, elastické filmy a mnoho dalších inovativních aplikací. [12]

### 13.2.2 Butylakrylát (BA)

Jelikož lepidlo patří mezi stále lepivá, hojně se využívá u lepících pásek (hlavně oboustranných), kde velice dobře přilnou na lepeném povrchu. Butylakryláty mají obecně nízkou hustotu a nízkou viskozitu.

### 13.2.3 Kyanakrylátová lepidlo (vteřinové lepidlo)

Kyanoakrylátová lepidla vynikají vysokou adhezí a velmi rychlým tuhnutím.

Konkrétní použité vteřinové lepidlo s označením „Kleber C2“ je bez rozpouštědlové lepidlo určené k lepení pryžových materiálu všech druhů navzájem nebo s tvrdými plastickými plasty jako je PMMA, PS nebo PVC. [13]

### 13.3 Pevnost lepeného spoje

#### 13.3.1 Použití rozdílného závaží

Vzorky lepené BA a SIS lepidlem byly zatíženy postupně vahou 5 kg, 25 kg a 50 kg po dobu 30 sekund. Bylo pozorováno, zda má zvětšující se zátěž nějaký vliv na pevnost lepeného spoje.

Tab. č. 1 – Naměřené hodnoty pevnosti spoje lepeného BA lepidlem při různé zátěži

Zatížení [kg]	Lepidlo BA	Lepidlo SIS
	Pevnost v lepení [N/cm]	[N/cm]
5	1,0 ± 0,2	2,8 ± 0,5
25	1,3 ± 0,1	3,9 ± 0,8
50	1,8 ± 0,3	7,6 ± 1,2

V tabulce č. 1 lze vidět, že zatížení má pozitivní vliv na pevnost lepeného spoje. Nejvyšších pevností bylo dosaženo při zatížení 50 kg. U spoje s lepidlem BA dosahuje hodnota 1,8 N/cm. U lepidla SIS je to 7,6 N/cm. Ukazuje se, že lepidlo SIS vykazuje vyšší pevnost lepeného spoje pro všechny zvolené zatížení. Ale i tak hodnota pevnosti, nedosahuje úrovně, která byla stanovena. Otázkou zůstává, kdyby vzorek s lepidlem SIS byl zatížen vyšší silou (např. 100 kg), jestli by lepený spoj dosahoval požadované pevnosti 14 N/cm. Tento vliv nebyl dále zkoumán. Zatížení 50 kg a čas 30 s byl použit i pro další metody spojení dílů jako sekundární vlivy.

#### 13.3.2 Použití primeru

Primer byl nanesen na EPDM podložku a následně se nechalo rozpouštědlo odpařit. Lepený spoj se zatížil po dobu 30 sekund závažím 50 kg. Výsledky jsou uvedeny v tabule 2.

Tab. č. 2 – Hodnoty pevnosti spoje s použitím primeru a zatížení 50 kg.

Druh lepidla	Pevnost v lepení [N/cm]
BA lepidlo	2,1 ± 0,3
SIS lepidlo	9,1 ± 1,4

Porovnáme-li hodnoty z tabulky č. 1 a tabulky č. 2, je pevnost v lepení u obou z lepidel větší s použitím primeru. Zvětšení není příliš velké. U obou lepidel se pevnost v lepení zvýšila asi o 20 %, což odpovídá teorii o významu primeru při lepení, kdy lepidlo má lepší adhezi k nově vytvořenému filmu primeru než k původnímu materiálu. Ale i s vyžitím primeru nebylo dosaženo požadované pevnosti lepeného spoje.

### 13.3.3 Použití vteřinového lepidla

Pro lepení dílu bylo použito kyanoakrylátové lepidlo, které se nanoslo na EPDM podložku a zakrylo čistým textilním terčíkem bez lepidla. Vzorek zatížen v tomto případě nebyl.

Tab. č. 3 – Hodnota pevnosti spoje lepeného kyanoakrylátovým lepidlem bez zatížení

	Pevnost v lepení [N/cm]
Kyanoakrylátové lepidlo	46,3 ± 4.6

Pevnost spoje lepený vteřinovým lepidlem dosáhla hodnot 46,3 N/cm a významně převýšil požadovanou hodnotu, a to až třikrát. Jelikož spoj lepený vteřinovým lepidle již splňuje požadované parametry, není třeba povrch gumové destičky dále upravovat.

### 13.3.4 Úprava povrchu plazmováním

Oplazmovaný povrch byl slepen a zatížen 50 kg po dobu 30 sekund.

Tab. č. 4 – Hodnoty pevnosti spoje při oplazmování povrchu a zatížení 50 kg

Způsob plasmování	BA lepidlo	SIS lepidlo
	Pevnost v lepení [N/cm]	Pevnost v lepení [N/cm]
4 vrstvy – podložka	2,1 ± 0,4	6,1 ± 0,7
8 vrstev – podložka	2,5 ± 0,2	6,8 ± 0,8
8 vrstev – textilie	1,8 ± 0,3	2,8 ± 0,5
8 vrstev – obě části	1,6 ± 0,3	4,2 ± 0,4

Z tabulky č. 4 je patrné, že hodnoty pevnosti se liší u obou použitých lepidel vlivem různé přípravy oplazmovaného povrchu. V obou případech jsou lepší výsledky, pokud je plasmou upraven povrch jen EPDM podložky. Spoj s lepidlem SIS vykazuje vyšší hodnoty, než spoj s lepidlem BA. Na druhou stranu lze konstatovat, že úprava povrchu plasmou pro spoj BA má pozitivní vliv. Zatímco u spoje s lepidlem SIS nikoliv. Při porovnání hodnot tabulky 1 a tabulky 4. vidíme, že u lepidla SIS dosahuje pevnost lepého spoje po úpravě povrchu plazmatem nižších hodnot než bez jejího použití.

### 13.3.5 Ultrazvukové svařování

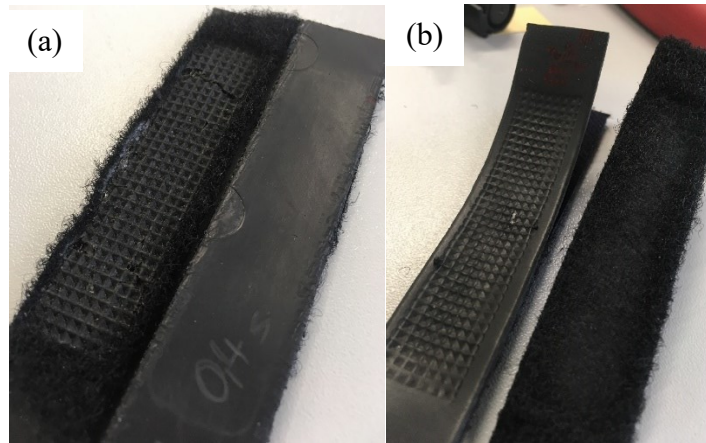
U této metody byly použitelné pouze dva vzorky, a to se SIS lepidlem a textilií bez lepidla. Ostatní vzorky byly natolik poničené, nebo se vůbec neslepily, že nebylo možné tahovou zkoušku provést.

Tab. č. 5 – Pevnost v lepení při ultrazvukovém svařování s přítláčnou silou 10 N

	Pevnost v lepení [N/cm]
BA lepidlo – působení ultrazvuku 0,4 s	-
SIS lepidlo – působení ultrazvuku 0,4 s	3,6 ± 1,2
Textilie bez lepidla – působení ultrazvuku 0,6 s	13,2 ± 2,3



Z tabulky č. 5 je zřejmé, že působení ultrazvuku na SIS lepidlo má negativní vliv na pevnost spoje. Oproti tomu spoj u terčíku bez lepidla vykazoval vysokou pevnost, nepatrně nižší, než je požadovaná pevnost. Vzorky po ultrazvukovém svařování byly ale značně deformované a esteticky nevyhovují požadavkům, jak je vidět na obrázku 12.



*Obr. č. 12 – Tělisko svařené ultrazvukem po dobu 0,4 sekund z vrchu se SIS lepidle (a),  
tělisko svařené ultrazvukem zespod po dobu 0,6 sekund bez lepidla (b)*

## 14 DISKUZE

Pro testování lepených spojů byla použita EPDM podložka a polyamidová textilie. Na polyamidové textiii bylo naneseo lepidlo. Jedno z lepidel bylo na bázi butylakrylátu a druhé na bázi styren-izoprenového kaučuku. K dispozici byly také vzorky textilie bez jakéhokoli lepidla a kyanoakrylátové vteřinové lepidlo.

První krok praktické části, bylo prozkoumat, zda má vliv zatížení lepených vzorků různým zatížením. Z tabulky 1 je zřejmé, že stoupajícím zatížení roste pevnost lepeného spoje.

U lepidla obsahující butylakrylátovou složku bylo zvětšení pevnosti mezi zatížením 5 kg a 50 kg až 180 %. U styren-izoprenového lepidla bylo zvýšení pevnosti spoje až 280 %. Díky této zjištěné závislosti lze přemýšlet také, jakou vahou lze lepený spoj ještě zatížit, aby mělo zatížení stále pozitivní vliv na pevnost spoje, ale přitom nezpůsobilo poškození samotného materiálu.

Použit byl komerčně prodávaný primer. Po jeho nanesení na EPDM podložku a zaschnutí byla přilepena polyamidová textilie s nanesenými lepidly. Díky tomu, že primer vytvořil novou vrstvu, na kterou mohla lepidla přilnout, se u obou zkoumaných lepidel zvýšila pevnost spoje. U obou lepidel došlo přibližně k 20% zvýšení pevnosti lepení, avšak stále spoj nedosahoval dostatečných pevností, aby splnil zadanou normu.

Při použití kyanoakrylátového lepidla dosahoval spoj vysokých hodnot pevnosti. Naměřená pevnost spoje přesahovala normu téměř třikrát (46,3 N/cm). Nevýhoda vteřinového lepidla byla, že při lepení spoje vznikaly neodstranitelné přetoky lepidla. To klade vyšší nároky na přesnost dávkování lepidla na díly. Další nevýhodou takového vteřinového lepidla je jeho vysoká cena.

Ukázalo se, že způsob úpravy povrchu (aktivace) vzorků plasmováním vedlo k tomu, že byly dosaženy různorodé výsledky. Nejlepších hodnot pevnosti dosahovaly vzorky, kde byl upraven povrch jen u EPDM podložky. Zatímco úprava povrchu plasmou zvýšila pro systémy s BA lepidlem pevnost lepeného spoje ca o 40 %, u systému s SIS lepidlem pevnost lepeného spoje poklesla o ca 10 %. Úprava povrchu plasmou mělo tedy pozitivní vliv pouze u lepidla na butylakrylátové bázi. Pokud byl ovšem upraven povrch polyamidového dílu, pevnost lepeného spoje v obou případech klesla oproti povrchu neupraveného.

Jako slibná (rychlá) technologie, kterou lze dobře spojovat termoplasty, ale velmi obtížně elastomerní látky, byla zvolena technologie pomocí ultrazvuku.

U ultrazvukového svařování bylo velmi obtížné stanovit podmínky spojování. Vzorek byl propálený nebo se vrstvy vůbec nespojily. Vyhovující podmínkou ultrazvukového svařování bylo působení ultrazvuku po dobu 0,4 sekund na textilní terčík pokryt SIS lepidlem. Slepění vzorku se podařilo dosáhnout taky u terčíku bez lepidla, kde ultrazvuk působil 0,6 sekund. U vzorku se SIS lepidlem došlo k výraznému poklesu pevnosti ve spoji, ale u vzorku bez lepidla, kde ultrazvuk působil 0,6 sekund, se pevnost spoje přiblížila k normě. Pevnost tohoto spoje byl 13,2 N/cm. Po vizuální stránce výsledné vzorečky obsahovaly prolisy ze sonotrody a v praxi by nebyly použitelné. Použitím jiné geometrie sonotrody (např. kruhové, hladké) by se tyto vzhledové vady eliminovaly.

## ZÁVĚR

Bakalářská práce se zabývá pevností lepeného spoje mezi EPDM podložkou a polyamidovým textilním terčíkem. Obsahem praktické části je charakterizovat lepené materiály a použítá lepidla. Následně se vyhodnotila pevnost lepeného spoje za použití různých lepidel a různých metod lepení a povrchových úprav.

Nejllepších výsledků u lepení lepidly bez povrchových úprav bylo dosaženo při zatížení 50 kg. U SIS lepidla byla pevnost 7,6 N/cm a u BA lepidla 1,8 N/cm.

S povrchovou úpravou EPDM podložky se nepodařilo dosáhnout požadované pevnosti spoje. Při použití primeru se pevnost zvětšila až o 20 %. U plazmování se výsledky rozcházel a při použití BA lepidla se pevnost zvýšila o 40 %, kdežto u SIS lepidla snížila o 10 %.

Pomocí ultrazvukového svařování se podařilo přiblížit požadovaným hodnotám, a to při spojování EPDM podložky s polyamidovou textilií bez lepidla. Pevnost spoje byla 13,2 N/cm. Ovšem nevýhodou ultrazvukového svařování byly nepřijatelné vzhledové vady.

Jedinou vyhovující metodou spojení těchto dílů vyhovující normě bylo lepení vteřinovým lepidlem s pevností spoje 46,3 N/cm.

**SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY**

- [1] HUBÁČEK, Ondřej. Lepení LLDPE [online]. Zlín, 2012 [cit. 2020-05-20].  
Dostupné z:  
[https://digilib.k.utb.cz/bitstream/handle/10563/21773/hub%C3%A1%C4%8Dek\\_2012\\_bp.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://digilib.k.utb.cz/bitstream/handle/10563/21773/hub%C3%A1%C4%8Dek_2012_bp.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- [2] KRASULA, Jiří. Výhody a nevýhody lepení částí karoserie silničního vozidla ve srovnání s jinými používanými technologickými postupy [online]. Pardubice, 2008 [cit. 2020-05-20]. Dostupné z:  
[https://dk.upce.cz/bitstream/handle/10195/28775/KrasulaJ\\_Lepeni%20karoserie\\_LB\\_1%20cast\\_2008.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://dk.upce.cz/bitstream/handle/10195/28775/KrasulaJ_Lepeni%20karoserie_LB_1%20cast_2008.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- [3] WOODFORD, Chris. Adhesives [online]. 2019 [cit. 2020-05-20]. Dostupné z:  
<https://www.explainthatstuff.com/adhesives.html>
- [4] VESELÝ, Jakub. Vliv stavu povrchu na únavovou a statickou pevnost lepeného spoje [online]. Plzeň, 2013 [cit. 2020-05-20]. Dostupné z:  
<https://otik.zcu.cz/bitstream/11025/9338/1/BAKALARSKA%20PRACE%20Jakub%20Vesely.pdf>
- [5] CROWTHER, Bryan. The handbook of rubber bonding. Shawbury: Rapra Technology, 2003. 384 s.
- [6] *Lepidla online*. Koheze [online]. [cit. 2020-05-20]. Dostupné z: <https://www.lepidla-online.cz/slovnicek-pojmu/koheze-7>
- [7] *Ekobal*. Povrchové napětí nepodceňujte [online]. 2019 [cit. 2020-05-20]. Dostupné z: <https://www.ekobal.cz/o-nas/aktuality/povrchove-napeti-nepodcenujte>
- [8] OSTEN, Miloš. Lepení plastických hmot. Vyd. 1. Praha: SNTL, 1972. 149 s.
- [9] OSTEN, Miloš. Práce s lepidly a tmely. 2., přeprac. vyd. Praha: SNTL, 1982. 283 s.
- [10] *Jowat*. Primer [online]. [cit. 2020-05-20]. Dostupné z: <https://www.jowat.com/en-TH/adhesives/primer/>
- [11] *Technický týdeník*. Plazma – efektivní nástroj pro povrchové úpravy. [online]. 2014 [cit. 2020-05-20]. Dostupné z: [https://www.technickytydenik.cz/rubriky/archiv-technik/plazma-efektivni-nastroj-pro-povrchove-upravy\\_27718.html](https://www.technickytydenik.cz/rubriky/archiv-technik/plazma-efektivni-nastroj-pro-povrchove-upravy_27718.html)

- [12] *General industrial polymers*. SIS (styrene-isoprene-rubber) [online]. [cit. 2020-05-20]. Dostupné z: <http://generalpolymers.net/sis.cfm>
- [13] *Plastservis Kömmerling*. Kleber C2 [online]. 2000 [cit. 2020-05-20]. Dostupné z: <http://www.plastservis.cz/photo/TL-2706-Kleber-C2.pdf>
- [14] PETRIE, Edward M. *Handbook of adhesives and sealants*. New York: McGraw-Hill, 1999. 896 s.
- [15] BERÁNEK, Lukáš. *Výroba pneumatik* [online]. Brno, 2013 [cit. 2020-05-20]. Dostupné z: [https://www.vutbr.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=64655](https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=64655)
- [16] VÍTEK, Miroslav. *Termické spojování plastů ve výrobě obalů* [online]. 2015 [cit. 2020-05-20]. Dostupné z: <https://logistika.ihned.cz/c1-64312900-termicke-spojovani-plastu-ve-vyrobe-obalu>
- [17] *Dukane*. *Ultrazvukové svařování* [online]. [cit. 2020-05-20]. Dostupné z: <http://www.dukane.eu/cz/ultrazvukove-svarovani-plastu>
- [18] *Tomas Bata University in Zlin*. FT-IR spektrometr – Nicolet iS5 [online]. [cit. 2020-05-20]. Dostupné z: <http://cps.utb.cz/cs/veda-a-vyzkum/pristrojove-vybaveni/spektroskopie/163-ft-ir-spektrometr-nicolet-is5>
- [19] *Tomas Bata University in Zlin*. *Plazmatužka – PlasmaBeam DUO PC – Diener electronic GmbH* [online]. [cit. 2020-05-20]. Dostupné z: <http://cps.utb.cz/cs/pistrojove-vybaveni/104-gelovy-permeani-chromatograf-agilent-gpc-pl-gpc220>

**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

Obr.	Obrázek
Tab.	Tabulka
PVC	Polyvinylchlorid
PMMA	Polymethylmethakrylát
PE	Polyethylen
PP	Polypropylen
PTFE	Polytetrafluorethylen
EPDM	Ethylen-propyle-dienový kaučuk
PA6	Polyamid 6
PS	Polystyren
SIS	Styren-Izoprenový kaučuk
BA	Butylakrylát

**SEZNAM OBRÁZKŮ**

Obrázek 1 - Smáčivost a nesmáčivost kapalin .....	13
Obrázek 2 - Typy nerovností povrchu podle deBruyna.....	15
Obrázek 3 - Namáhání spoje ve 1 – tahu, 2 – smyku, 3 – odlupování .....	25
Obrázek 4 - Schéma upnutí zkušebního tělíska při stanovení pevnosti spoje v odlupování .....	26
Obrázek 5 - Fotografie simulace produktu (a) a finálního výrobku EPDM podložky a PA6 textilie (b).....	31
Obrázek 6 - FT-IR spektrometr – Nicolet iS5 .....	32
Obrázek 7 - Přístroj PlasmaBeam DUO PC .....	34
Obrázek 8 - Poškozený vzorek kvůli špatným podmínkám ultrazvukového svařování .....	34
Obrázek 9 - Znázornění průběhu tahové zkoušky .....	35
Obrázek 10 - Výsledek analýzy FTIR pro textilním materiál.....	36
Obrázek 11 - Výsledky analýzy FTIR pro obě lepidla .....	37
Obrázek 12 - Tělíska svařené ultrazvukem po dobu 0,4 sekund z vrchu se SIS lepidle (a), tělíska svařené ultrazvukem zespodu po dobu 0,6 sekund bez lepidla (b).....	41



**SEZNAM TABULEK**

Tabulka 1 Naměřené hodnoty pevnosti spoje lepeného BA lepidlem při různé zátěži .....	38
Tabulka 2 Hodnoty pevnosti spoje s použitím primeru a zatížení 50 kg.....	39
Tabulka 3 Hodnota pevnosti spoje lepeného kyanoakrylátovým lepidlem bez zatížení .....	39
Tabulka 4 Hodnoty pevnosti spoje při oplazmování povrchu a zatížení 50 kg .....	40
Tabulka 5 Pevnost v lepení při ultrazvukovém svařování s přitlačnou silou 10 N .....	40