

**Česká zemědělská univerzita v Praze**

**Technická fakulta**

**Katedra materiálu a strojírenské technologie**



**Bakalářská práce**

**Analýza využití technologie lepení v technické praxi**

**Stanislav Škoda**

**© 2023 ČZU v Praze**



# ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Stanislav Škoda

Technika a technologie v dopravě a spojích  
Silniční a městská automobilová doprava

Název práce

**Analýza využití technologie lepení v technické praxi**

Název anglicky

**Analysis of the Use of Adhesive Bonding Technology in Technical Practice**

---

## Cíle práce

Cílem závěrečné práce je shromáždění a analýza aktuálních poznatků z oblasti využití technologie lepení materiálů v technické praxi se zaměřením na automobilový průmysl. Na základě závěrů z literárního rozboru bude studentem stanoven přínos práce.

## Metodika

Analýza sekundárních zdrojů – současný stav řešeného problému (literární rešerše). Závěry a přínos závěrečné práce.

## **Doporučený rozsah práce**

30-40 stran

## **Klíčová slova**

polymer, lepený spoj, automobilový průmysl, materiálové inženýrství, výzkum

---

## **Doporučené zdroje informací**

ADAMS, R. D., COMYN, J., WAKE, W. C.: Structural adhesive joints in engineering. 2nd ed. London: Chapman & Hall, 1997.

BROCKMANN, W.: Adhesive bonding: materials, applications and technology. Weinheim: Wiley – VCH, 2009.

DAVIES, G.: Materials for automobile bodies. Oxford: Butterworth – Heinemann, 2003. 277.

EBNESAJJAD, S.: Adhesives technology handbook. Norwich: William Andrew, 2008.

MESSLER, R. W.: Joining of materials and structures from pragmatic process to enabling technology. Burlington: Elsevier, 2004.

Odborné články (vědecká literatura): International Journal of Adhesion and Adhesives, The Journal of Adhesion, Journal of Material Science, Polymers, Materials, Composite Structures, Manufacturing Technology, Composites Part B: Engineering a další

---

## **Předběžný termín obhajoby**

2022/2023 LS – TF

## **Vedoucí práce**

Ing. Viktor Kolář, Ph.D.

## **Garantující pracoviště**

Katedra materiálu a strojírenské technologie

Elektronicky schváleno dne 15. 1. 2022

**prof. Ing. Miroslav Müller, Ph.D.**

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 23. 2. 2022

**doc. Ing. Jiří Mašek, Ph.D.**

Děkan

V Praze dne 13. 03. 2023

### **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že svoji bakalářskou práci "Analýza využití technologie lepení v technické praxi" jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu použitých zdrojů na konci práce. Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 16.3.2023

---

## **Poděkování**

Rád bych touto cestou poděkoval svému vedoucímu bakalářské práce Ing. Viktoru Kolářovi, Ph.D. za cenné připomínky a rady týkající se zpracování bakalářské práce. Také bych rád poděkoval mým rodičům a blízkým za podporu a důvěru v celém mém studiu i mimo něj.



# **Analýza využití technologie lepení v technické praxi**

## **Abstrakt**

Bakalářská práce se zabývá teorií adhezních spojů formou rešerše, která seznamuje se základními pojmy, se kterými se čtenář v oblasti adhezních spojů setká. Přibližuje základní rozdělení lepidel. Věnuje se teorii adhezního spoje a všem procesům, vznikajícím u lepených spojů. Zmiňuje, jakým způsobem přispívají k výsledné pevnosti a trvanlivosti lepeného spoje. Pojednává o technologickém postupu lepení, počínaje správnou povrchovou úpravou spojovaných materiálů. Bakalářská práce uvádí přípravu a míchání vícesložkových lepidel v praxi. Přináší ukázky ručního nanášení lepidla pomocí pneumatické pistole a výslednou montáž dílů. Zaměřuje se na využití lepených spojů v průmyslu a přináší několik konkrétních aplikací technologie při stavbě autobusů.

**Klíčová slova:** polymer, lepený spoj, adheze, materiálové inženýrství, výzkum



# **Analysis of the Use of Adhesive Bonding Technology in Technical Practice**

## **Abstract**

The bachelor's thesis deals with the theory of adhesive joints in the form of research, which introduces the basic concepts that the reader will encounter in the field of adhesive joints. Approximates the basic distribution of adhesives. It deals with the theory of adhesive joints and all processes occurring in adhesive bonding. It mentions how they contribute to the resulting strength and durability of the bonded joint. It discusses the technological process of bonding, starting with the correct surface treatment of the materials to be joined. The bachelor's thesis describes the preparation and mixing of 2-component adhesives in practice. It provides examples of manual application of adhesive using a pneumatic gun and the resulting assembly of parts. It focuses on the use of adhesive bonding in industry and brings several specific applications of the technology in the construction of buses.

**Keywords:** polymer, adhesive bonding, adhesion, material engineering, research

# Obsah

<b>1 Úvod.....</b>	<b>1</b>
<b>2 Historie lepení.....</b>	<b>2</b>
<b>3 Základní rozdělení lepidel .....</b>	<b>4</b>
3.1 Rozdělení podle počtu složek.....	4
3.2 Rozdělení podle principu tuhnutí lepeného spoje .....	5
3.3 Rozdělení podle vytvrzování chemickou reakcí .....	5
<b>4 Teorie adhezního spojení.....</b>	<b>6</b>
4.1 Adheze.....	6
4.1.1 Van der Waalsovy síly .....	7
4.1.2 Elektrostatické síly.....	7
4.1.3 Difúzní teorie .....	8
4.1.4 Chemické vazby.....	8
4.1.5 Mechanické spojení .....	9
4.2 Koheze.....	10
4.3 Smáčivost .....	11
<b>5 Výhody a nevýhody lepení.....</b>	<b>11</b>
<b>6 Návrh lepeného spoje.....</b>	<b>12</b>
6.1 Základní typy lepeného spoje.....	15
6.2 Degradace lepeného spoje.....	15
6.3 Rozložení napětí.....	16
<b>7 Technologický postup lepení .....</b>	<b>17</b>
7.1 Příprava spojovaných materiálů .....	17
7.2 Příprava lepidla .....	22
7.3 Nanášení lepidla .....	23
7.4 Montáž spoje .....	24
<b>8 Využití lepených spojů v praxi.....</b>	<b>25</b>
8.1 Automobilový průmysl .....	25
8.2 Využití lepení při výrobě autobusů .....	27
8.3 Lepení v leteckém průmyslu .....	30
<b>9 Závěr.....</b>	<b>32</b>
<b>10 Seznam použitých zdrojů .....</b>	<b>33</b>

## Seznam obrázků

Obrázek 1. Rez De Havilland DH106 Comet 1 – ukázka lepení Reduxem [2].....	3
Obrázek 2. Adheze a koheze mezi materiálem a lepidlem [3] .....	6
Obrázek 3. Van der Waalsovy síly [7].....	7
Obrázek 4. Elektrostatická teorie adheze [7] .....	8
Obrázek 5. Difúzní teorie [7].....	8
Obrázek 6. Chemické vazby [7].....	9
Obrázek 7. Mechanické spojení [7] .....	10
Obrázek 8. Adhezní a kohezní poruchy lepených spojů [1] .....	10
Obrázek 9. Úhel smáčivosti [3] .....	11
Obrázek 10. Příklady správného návrhu spoje [9].....	13
Obrázek 11. Nanášení lepidla na lišty .....	14
Obrázek 12. Nýtování lišt k rámu .....	14
Obrázek 13. Olištovaný rám měchu kloubového autobusu .....	14
Obrázek 14. Příklad vybraných plochých adhezních spojů. [11] .....	15
Obrázek 15. Lepený plech .....	19
Obrázek 16. Zdrsnění povrchu .....	19
Obrázek 17. Čistící prostředek.....	19
Obrázek 18. Čištění povrchu plechu .....	20
Obrázek 19. Rám měchu.....	20
Obrázek 20. Primer .....	21
Obrázek 21. Primer se nanáší na oba povrchy .....	21
Obrázek 22. Nanášení Primeru na rám .....	21
Obrázek 23. Nanášení Primeru na plech .....	22
Obrázek 24. Schnutí nátěru .....	22
Obrázek 25. Mísící zařízení na přípravu lepidla .....	23
Obrázek 26. Skladování složky A .....	23
Obrázek 27. Vzduchová aplikační pistole s lepidlem.....	24
Obrázek 28. Lepidlo nanesené na rám měchu .....	24
Obrázek 29. Zajištění tloušťky vrstvy pomocí podložek.....	25
Obrázek 30. Zafixování dílů svěrkami.....	25
Obrázek 31. Použití lepidel ve stavbě karoserie [19] .....	26
Obrázek 32. Zadní kryt .....	28
Obrázek 33. Boční opláštění .....	28
Obrázek 34. Boční sklo .....	29
Obrázek 35. Tmelení spár .....	29
Obrázek 36. Svařovaná karoserie .....	30
Obrázek 37. Lepený segment podlahy .....	30
Obrázek 38. Aplikace lepení přilnavostí na letadle Airbus A380. [22].....	31

# 1 Úvod

Lepení je proces spojování dvou nebo více materiálů dohromady pomocí lepidla, které drží dva povrchy pohromadě. Zdánlivě jednoduché, ale jedná se o sofistikovaný a technologicky složitý proces, který se zabývá samotnou přípravou povrchů i přípravou a výběrem vhodného lepidla. Výběr lepidla závisí na materiálu spojovaných dílů, přičemž závisí také na prostředí, ve kterém bude spoj aplikován. Velkou roli hraje i samotná konstrukce lepeného spoje, kterou ovlivňuje v nemalé míře orientace vnějších sil působících na spoj. Proto se musí celý proces lepení řídit specifickými postupy, které je vhodné dodržovat.

Využívá se k vytvoření pevných a odolných spojů mezi širokou škálou materiálů, včetně kovů, plastů, kompozitu a keramiky. Lepení nabízí hned několik výhod oproti ostatním typům spojů, jako je svařování, šroubování nebo nýtování. Nedochozí při něm k tepelnému ovlivnění materiálu. Lepené spoje jsou lehké, pružné, a dokonce i esteticky příjemné. Další výhodou je těsnost spoje. Zabraňuje vniknutí vlhkosti, plynů a dalších nečistot mezi dva povrchy které mohou způsobit korozi nebo jiné poškození. Kromě toho je energeticky nenáročná a velkou výhodou je také ekonomická stránka.

Hojně se využívá v různorodých odvětvích. Lze se s ním setkat prakticky všude, například ve stavebnictví, zdravotnictví, či vodárenství nebo v textilním i potravinářském průmyslu, dokonce při vývoji nových materiálů.

V neposlední řadě se aplikuje ve velkém měřítku v automobilovém průmyslu a při stavbě autobusů. Zde našlo velké uplatnění zejména díky své schopnosti vytvořit velmi odolný spoj, kde je nárůst přidaného materiálu menší, než u běžných způsobů spojování jako je svařování. To umožňuje snížit hmotnost vozidla a zlepšit tím jeho jízdní vlastnosti a dosáhnout také nižší spotřeby pohonných hmot.

## 2 Historie lepení

První lidé využívali k lepení smůlu. Roztavená pryskyřice po zchladnutí a vytvrdla vytvořila pevný spoj, který zároveň utěsnil spáry. Lepidla se proto používala nejen ke spojování, ale také k těsnění a plnila funkci dnešního tmelu. První prokázané využití pochází už z doby kamenné. Archeologické nálezy z prehistorických pohřebišť, datované do období 4000 př. n. l., obsahovaly zničenou keramiku, opravenou pryskyřicí.

V chrámech z Babylonu byly nalezeny sochy, které měly klížené oči do očních důlků. Tento klíh držel několik tisíc let. V antice a starověku se k lepení používal albumin, získávaný ze zvířecí kůže, krve či parohů. Vařením kostí, kůží a zbytků ryb se vyráběl glutin a rybí klíh. K lepení zlatých fólií na papír se používaly vaječné bílky. Římané a Řekové vynalezli techniku dýchování a intarzie, princip spočívá ve skládání a lepení tenkých vrstev dřeva na sebe.

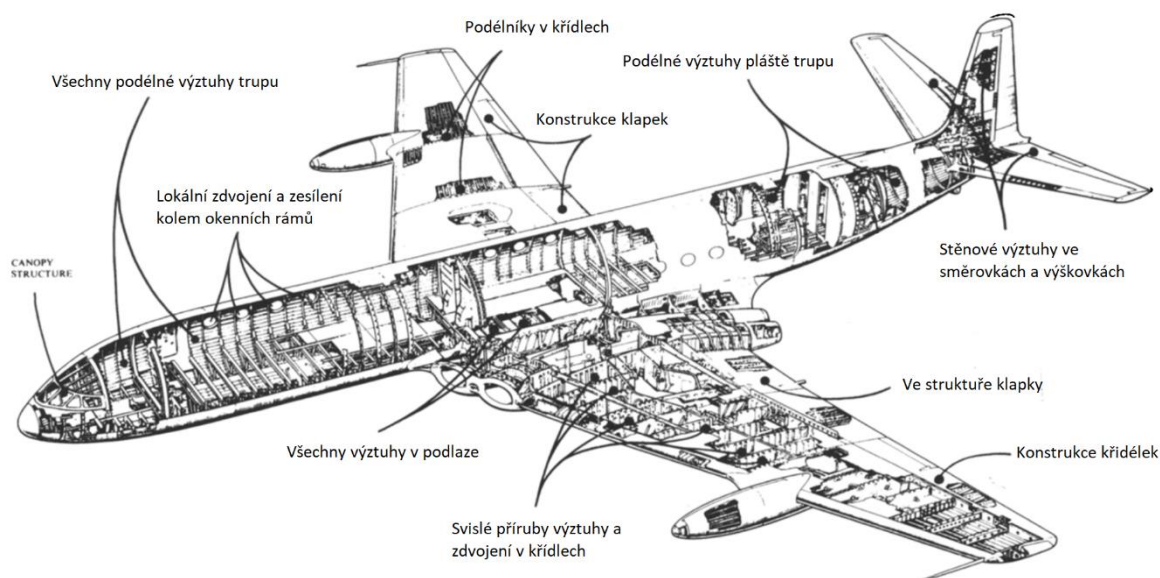
Přibližně v roce 1750, byl v Británii udělen první patent na výrobu rybího lepidla. Roku 1823 bylo v Anglii patentováno lepení kaučukem. Počátkem průmyslového používání lepidel byl rok 1912, kdy se na výstavě v Bautzenu předvedl výrobní postup lepení obuvi, který zahrnoval i speciální stroj pro nanášení adheziva Ago. Až do druhé světové války se lepily pouze materiály, které dokázaly lepidlo vsáknout, např. kůže nebo dřevo. [1]

Techniku lepení výrazně změnil objev fenolformaldehydové pryskyřice, modifikované polyvinylformalem, nazývané REDUX. Vlastnosti a výsledky spojené s Reduxem byly představeny společností British Aircraft Constructors (SBAC) v roce 1942, ale předtím, než by mohlo RAF tuto techniku využít, armáda použila Redux ke konstrukci tisíců Cromwell a Churchill tanků. Byly to tanky používané během druhé světové války. Výroba těchto tanků byla založena na lepení kovových plechů pomocí lepidla Redux. Tato technologie lepení umožnila výrobu tanků rychleji a levněji než tradiční svařování. Lepidlo Redux bylo také velmi odolné vůči vibracím a nárazům. Tyto tanky byly použity v mnoha bitvách a prokázaly svou účinnost a spolehlivost. Ukázalo se, že lepená verze má desetkrát delší životnost než nýtované spoje. [2]

Teprve 28. července 1944 úspěšně proběhl první let letadla s nově spojenými, konstrukčními komponenty. Tím letadlem byl de Havilland Hornet, který spolu se svým námořním protějškem Sea Hornet měl křídlovou konstrukci založenou na složitých dřevo/kovových komponentech. Žebra obsahovala mnoho takových spojů, aby křídlo mohlo nést velmi vysoké předpokládané tahové napětí. Takže díky konstrukčnímu lepení nebyla

rychlost obětována zvýšenou hmotností. S požadavkem na skládání křídel Sea Hornet pro vnitřní skladování, byly do blízkosti křídlových kloubů zahrnuty další lepené zpevňovací prvky. [2]

Podobné lepené techniky byly použity k posílení oblastí dřevěného trupu, kde byly připojovány interní prvky. Nakonec, a nejdůležitěji, kde se očekávaly výjimečně vysoké úrovně stresu, například na bodu připojení pro ocasní kolo a zachytávač háku k zadnímu trupovému přepažení, bylo poprvé použito kov-kovové konstrukční lepení k vytvoření zpevňující vrstvy z integrovaného lepeného hliníkového plechu.[2]



Obrázek 1. Rez De Havilland DH106 Comet 1 – ukázka lepení Reduxem [2]

V současné době se technologie lepení používá v různých odvětví průmyslu. V automobilovém průmyslu, se lepidel využívá k lepení karoserií a interiérů vozidel. Setkáváme se s ní v materiálovém inženýrství při výrobě kompozitu. Díky vytrvalému výzkumu se lepení začíná uplatňovat i ve zdravotnictví při opravě kostí a k zastavení krvácení v ranách. V neposlední řadě se s lepeným spojem setkáváme i v letectví nebo v elektrotechnice. Technologie lepení je stále více používána k nahrazování tradičních metod spojování materiálů. Navzdory jejich rozsáhlé historii mají stále co nabídnout, dále se rozvíjejí a mají vysokou perspektivu využití i v budoucnu.

### 3 Základní rozdělení lepidel

Lepidla se dělí podle různých kritérií, například podle chemického složení, způsobu aplikace, nebo podle toho, zda se zpevňují chemickou reakcí nebo fyzikálním procesem. Základní rozdělení lepidel podle chemického složení lze vymezit na přírodní a syntetická. Přírodní se rozdělují dále na organická a anorganická lepidla.

Organická lepidla jsou nejčastěji používaná lepidla. Tato lepidla jsou složena z organických sloučenin, jako jsou například epoxidové pryskyřice, polyuretany, fenolové pryskyřice, a mnoho dalších.

Anorganická lepidla jsou lepidla, která jsou vyrobená ze sloučenin neorganických prvků, jako jsou kovové soli, kyseliny, zásady a oxidy. Tato lepidla jsou často využívána pro lepení skla, keramiky, kovů a jiných materiálů, které mají nízkou povrchovou energii a jsou těžké k přilepení pomocí syntetických lepidel.

Syntetická lepidla jsou vyráběna chemickým syntetizováním organických sloučenin a lze je rozdělit na několik základních typů, jako jsou termoplasty, elastomery a adhezivy na bázi disperze.[1]

#### 3.1 Rozdělení podle počtu složek

Lepidla se dělí podle počtu složek, které obsahují. Základní rozdělení podle počtu složek zahrnuje:

1. Jednosložková lepidla: Obsahují pouze jedinou složku a jsou obvykle snadno použitelná a připravená k použití. Většinou se jedná o syntetická lepidla, která se vytvrzují chemickou reakcí nebo změnou teploty.
2. Vícesložková lepidla: Obsahují dvě nebo více složek, které musí být smíchány před použitím. Tato lepidla nabízejí vyšší výkon a širší škálu vlastností, ale vyžadují pečlivější míchání a aplikaci. Příklady zahrnují epoxidová lepidla a polyuretanová lepidla.
3. Reaktivní lepidla: Jsou složena z více než dvou složek a vytvrzují se reakcí mezi těmito složkami. Tato lepidla nabízejí vysokou pevnost a chemickou odolnost, ale vyžadují pečlivou přípravu a aplikaci. Příklady zahrnují cyanoakrylátová lepidla a akrylátová lepidla.[3]

### 3.2 Rozdělení podle principu tuhnutí lepeného spoje

Pro vytvoření adhezních podmínek ve spoji musí adhezivum přejít z tekuté fáze do tuhé. Tento proces se nazývá vytvrzování. Rozlišuje se vytvrzování podle způsobu, jakým změna proběhne. Jednotlivé druhy adheziv se dělí na:

1. Roztoková a disperzní, fyzikálně schnoucí lepidla – vytvrzují se fyzikálními změnami, jako je odpaření rozpouštědla, ztráta vlhkosti nebo zahřátím. Tato lepidla jsou často organického původu.
  2. Reaktivní, chemicky schnoucí lepidla – vytvrdí se chemickou reakcí, která probíhá mezi složkami lepidla nebo mezi lepidlem a povrchem substrátu. Často se vytvrzují reakcí s tvrdidlem nebo při expozici tepelnému záření.
  3. Tavná lepidla lze dále rozdělit na:
    - Termoplastická lepidla tuhnou při ochlazení, avšak po ohřátí se opět stávají tavnými a lze je znovu zpracovávat.
    - Termoaktivní lepidla jsou v tuhnutí trvalá, což znamená, že po ochlazení již nelze změnit jejich skupenství na taveninu.
  4. Lepidla vytvrzovaná ultrafialovým zářením jsou založena na principu polymerace pomocí UV záření. Tato lepidla obsahují monomery a iniciátory, které při vystavení UV záření polymerují a vytvářejí pevný spoj.
  5. Lepidla citlivá na tlak, jsou lepidla, která zůstanou lepkavá a flexibilní i po vytvrzení. Fungují na základě přilnavosti mezi lepidlem a povrchem a jsou aktivována tlakem. Pokud se tlak uvolní, lepidlo ztratí svou lepkavost a může být snadno odstraněno.
- [1]

### 3.3 Rozdělení podle vytvrzování chemickou reakcí

Podle způsobu vytvrzování se lepidla dělí na lepidla, která vytvrzují chemickou reakcí a ta se dále dělí do tří typů: polykondenzace, polymerace a polyadice.

- U polykondenzačních lepidel dochází ke kondenzaci dvou nebo více molekul s tvorbou vody, alkoholu nebo jiného vedlejšího produktu. Příkladem polykondenzačních lepidel jsou epoxidová lepidla.
- Polymerace je proces, při kterém se vytvrzování lepidla provádí reakcí mezi monomery, aniž by byly přidávány k molekulám lepidla. V důsledku toho

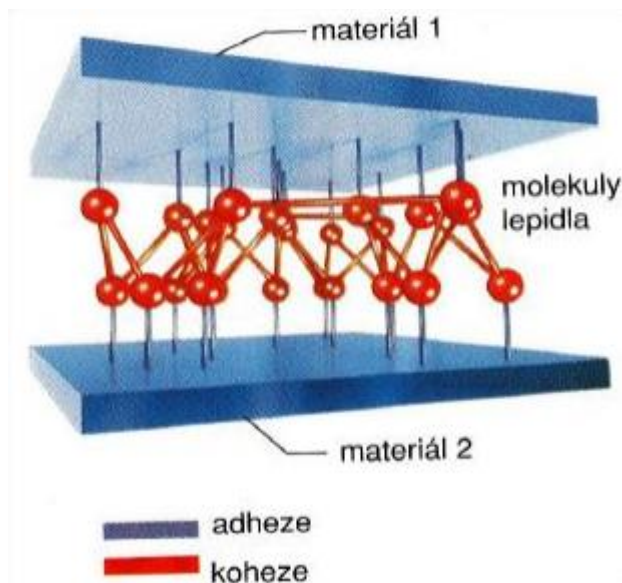


se monomery spojují a tvoří polymery s dlouhým řetězcem. Příkladem lepidel, která využívají polymeraci, jsou akrylátová lepidla.

- Polyadice zahrnuje proces, při kterém se přidávají monomery k molekulám lepidla. Tyto monomery obsahují funkční skupiny, které se mohou reagovat s funkčními skupinami v molekulách lepidla, což vede ke vzniku nových vazeb a vytvrzení lepidla. Příkladem lepidel, která využívají polyadice, jsou epoxidová lepidla. [4]

## 4 Teorie adhezního spojení

Teorie adhezních vazeb je soubor principů, které vysvětlují interakce na molekulární úrovni, ke kterým dochází mezi lepidlem a materiálem během procesu lepení. Teorie zahrnuje pochopení interakcí mezi lepidlem a lepenými povrchy. Pojednává o mezimolekulárních silách, které vznikají v místě spoje. Adheze, smáčivost a koheze jsou základní parametry určující pevnost spoje. [5]



Obrázek 2. Adheze a koheze mezi materiálem a lepidlem [3]

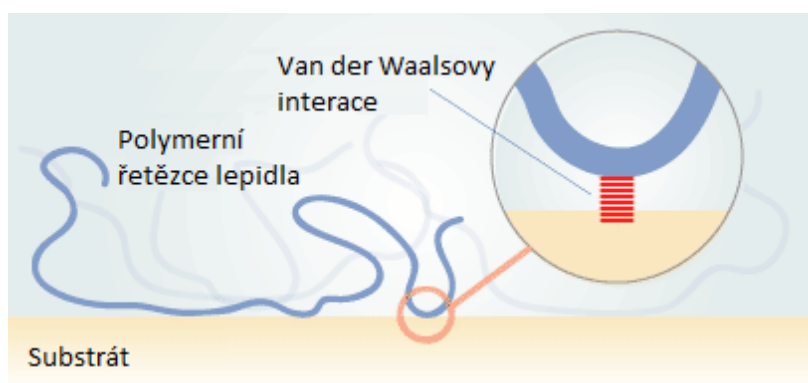
### 4.1 Adheze

Adheze je schopnost dvou různých materiálů k sobě přilnout. Jde o povrchový jev, ke kterému dochází, když se molekuly nebo atomy na rozhraní mezi dvěma materiály k sobě přitahují a vytvářejí vazbu. Adheze je komplexní proces, který závisí na povaze materiálů

petrie, chemii povrchu a podmínkách prostředí. Klíčové mezimolekulární síly, které přispívají k adhezni vazbě jsou:

#### 4.1.1 Van der Waalsovy síly

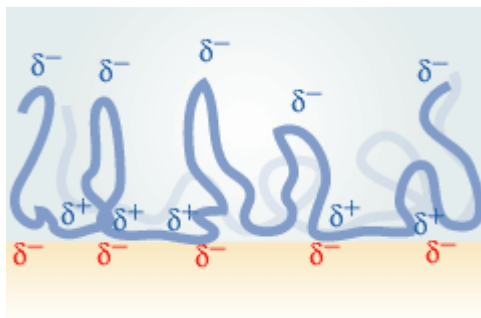
Jsou to slabé elektrostatické síly, které vznikají kolísáním elektronové hustoty v molekulách. Van der Waalsovy síly jsou obecně slabší než jiné mezimolekulární síly, jako jsou vodíkové nebo kovalentní vazby, ale stále mohou hrát důležitou roli ve vlastnostech a chování materiálů. Tyto síly mohou poskytovat slabou přitažlivou sílu krátkého dosahu mezi lepidlem a materiálem.[1] [6]



Obrázek 3. Van der Waalsovy síly [7]

#### 4.1.2 Elektrostatické síly

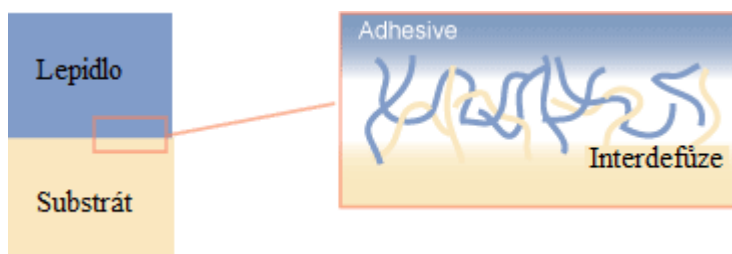
Tyto síly vznikají v důsledku přitažlivosti mezi kladnými a zápornými náboji na různých molekulách. V lepeném spoji mohou být elektrostatické síly přitažlivé nebo odpudivé v závislosti na nábojích přítomných na lepidle a na lepeném substrátu. Pokud například lepidlo a substrát mají opačný náboj, bude mezi nimi působit přitažlivá síla, což povede k pevnějšímu spojení. Naopak, pokud jsou náboje na lepidle a substrátu stejné, bude zde působit odpudivá síla, která může vazbu oslabit. Obecně platí, že lepidla s vyššími dielektrickými konstantami mívají silnější elektrostatické síly, protože mohou lépe polarizovat molekuly a zvýšit přitažlivé síly mezi nimi. Elektrostatické síly mohou hrát roli i v samotném procesu lepení. Například během počátečních fází spojování mohou elektrostatické síly usnadnit kontakt mezi lepidlem a substrátem indukci dočasných dipólů v molekulách. [6]



Obrázek 4. Elektrostatická teorie adheze [7]

#### 4.1.3 Difúzní teorie

Difúzní teorie lepidel je založena na myšlence, že molekuly lepidla mohou difundovat do substrátu a vytvořit vazbu vzájemnou penetrací s molekulami substrátu. Tato teorie navrhuje, aby lepidla vytvořila vazbu se substrátem kombinací mechanického spojení a difúze molekul lepidla do substrátu. Molekuly lepidla pronikají substrátem, kterým může být porézní materiál, jako je tkanina, kompozit nebo polymerní matrice. Lepidlo poté difunduje do substrátu a začne interagovat s molekulami substrátu. V průběhu času molekuly lepidla dále difundují do substrátu a interagují s jeho molekulami, čímž vytvářejí silnou vazbu. [5] [4]



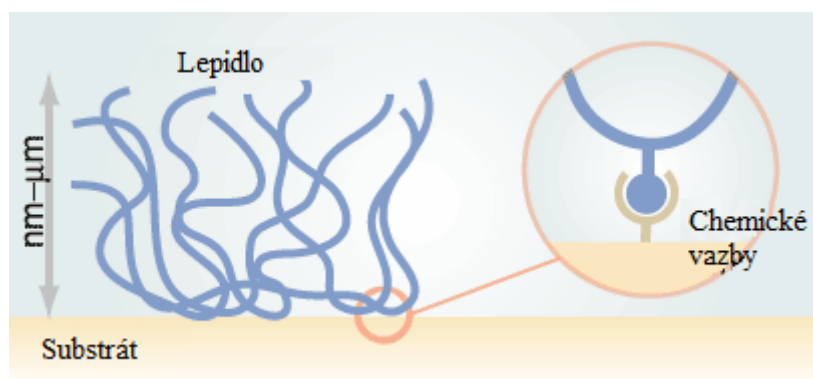
Obrázek 5. Difúzní teorie [7]

#### 4.1.4 Chemické vazby

Chemické vazby jsou založeny na principech kvantové mechaniky a pochopení toho, jak atomy interagují a vytvářejí molekuly. Existuje několik typů chemických vazeb, které se mohou vyskytovat v lepidlech, včetně kovalentních, iontových a vodíkových vazeb. Dochází k chemické reakci mezi lepidlem a substrátem, čímž se vytvoří vazba, která je mnohem pevnější a trvanlivější než vazba fyzikální, která by vznikla pouze na základě adheze. Při adhezi se molekuly adhezivní látky pouze přilnou k povrchu, zatímco při

chemické reakci se stávají součástí materiálu a vytvářejí novou, silnou vazbu. To je důvod, proč je chemické lepení velmi pevné a trvanlivé. Je důležité, aby materiály měly reaktivní povrch nebo byly předem chemicky upraveny, aby bylo možné dosáhnout kvalitního spoje. Při vytváření vazby dochází k chemické reakci, při které se vytváří kovalentní vazba přes rozhraní. Tato vazba je výrazně pevnější než adhezivní síly, které by jinak držely materiály pohromadě. Kovalentní vazba je založena na společném sdílení elektronového páru mezi atomy, kdy každý atom přispívá jedním elektronem k této vazbě. Tímto způsobem je vytvořena silná a pevná vazba mezi lepenými materiály.

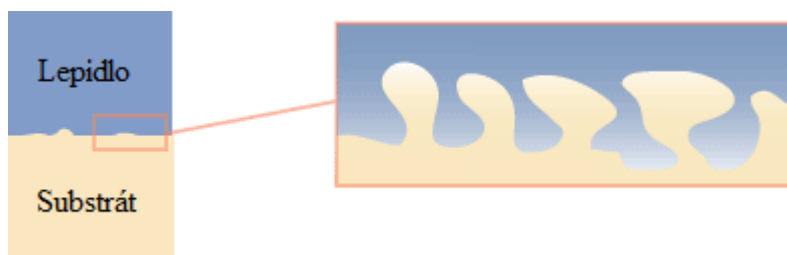
V některých případech může dojít k vytvoření chemické vazby mezi adhezivem a lepeným materiálem, ale obecně je proces lepení řízen termodynamickými podmínkami, které zpravidla vzniku chemických vazeb neodpovídají. To znamená, že zvýšení pevnosti ve spoji po průběhu reakce nelze zaručit. [5] [1]



Obrázek 6. Chemické vazby [7]

#### 4.1.5 Mechanické spojení

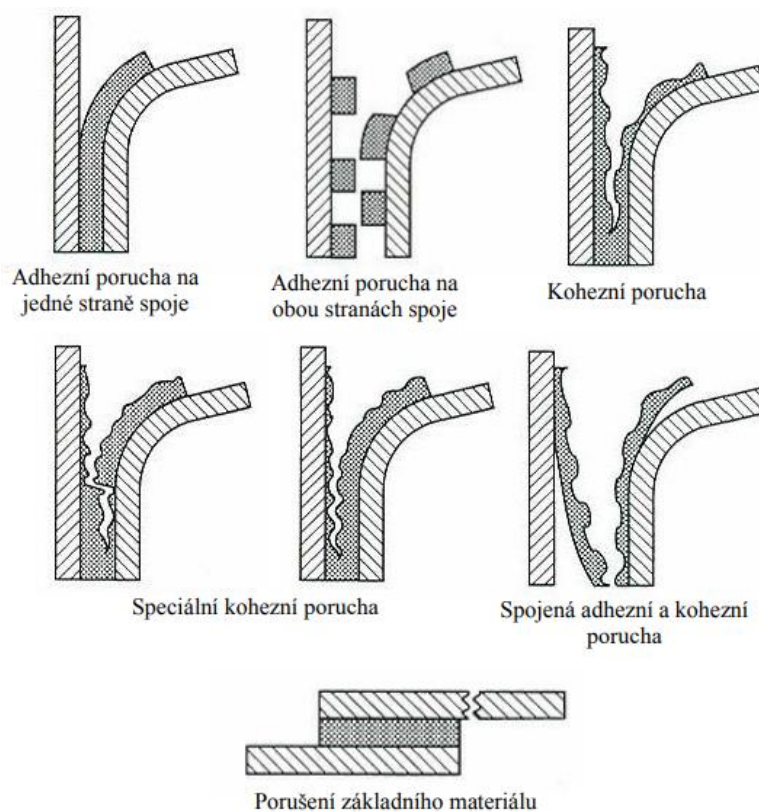
Jedná se o fyzikální mechanismus, ke kterému dochází, když lepidlo zatéká do mikroskopických nepravidelností povrchu substrátu a vytváří mechanické spojení. Uplatňuje se především u členitých a porézních povrchů. Lepidlo proniká do prohlubní a pórů povrchu a po vytvrzení vzniká pevný spoj. Je důležité, aby lepidlo proniklo do všech prohlubní a pórů, jinak by spoj nebyl ideální. Mechanická vazba je důležitá zejména při lepení materiálů jako jsou keramika a dřevo, ale u leštěných ploch je zanedbatelná. Lze tedy předpokládat, že když poklesne viskozita lepidla, tak bude spoj pevnější. Menší molekuly lepidla jsou schopny lépe pronikat povrchem substrátu, čímž se zvyšuje kontaktní plocha a pevnost spoje. [1]



Obrázek 7. Mechanické spojení [7]

## 4.2 Koheze

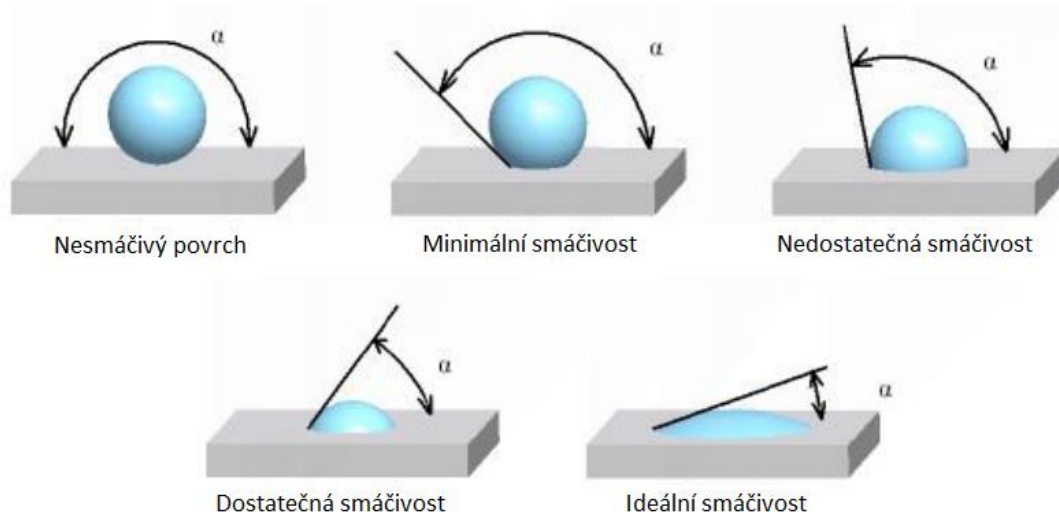
Koheze neboli vnitřní soudržnost lepidla, je schopnost podobných molekul nebo částic držet se pohromadě. Kohezní síly jsou to, co drží částice pohromadě a vytváří soudržnou sílu. Je to základní vlastnost a představuje vlastní pevnost lepidla. Pevnost charakterizuje tzn. kohezní energie, která je definována jako energie potřebná k rozbití intermolekulárních sil v samotném adhezivu. Kohezní energie je důležitým faktorem pevnosti a trvanlivosti lepeného spoje. Celkově je pochopení koheze adhezivních spojů důležité pro vývoj pevných a trvanlivých adhezivních spojů, které vydrží namáhání a podmínky prostředí, kterým jsou vystaveny. [3]



Obrázek 8. Adhezní a kohezní poruchy lepených spojů [1]

### 4.3 Smáčivost

V souvislosti s lepenými spoji se termín smáčivost týká schopnosti kapalného adheziva rozprostřít se v těsném kontaktu s pevným povrchem. Když lepidlo smáčí povrch, znamená to, že je schopno téct, šířit se po povrchu a těsně se dotýkat povrchu. To je důležité, protože to umožňuje lepidlu vytvořit silné mezimolekulární vazby s povrchem, což vede k pevnému a trvanlivému spojení. Schopnost lepidla smáčet povrch závisí na několika faktorech, včetně chemického složení lepidla, povrchové energie lepeného materiálu a podmínek prostředí během lepení. Pokud mají lepidlo a povrch podobnou povrchovou energii, je pravděpodobnější, že lepidlo povrch smáčí a vytvoří pevný spoj. Naopak, pokud je povrchová energie lepeného materiálu výrazně nižší než povrchová energie lepidla, může mít lepidlo potíže se smáčením povrchu a vytvořením silného spojení. [6] [1]



Obrázek 9. Úhel smáčivosti [3]

## 5 Výhody a nevýhody lepení

Lepením vzniká pevné nerozebíratelné spojení, pomocí přídavného tekutého materiálu, lepidla, které na základě teorie adheze v průběhu tuhnutí přilne ke spojovanému materiálu. Při výběru, jaký typ spoje použijeme, je nutné zvážit jeho výhody a nevýhody, kterými lepené spoje disponují oproti tradičním metodám jako je např. svařování, nýtování, pájení nebo šroubové spojení. [8] [3] [1]

Mezi výhody se řadí především:

- možnost spojovat různorodé materiály,

- nízká hmotnost,
- tlumí vibrace a hluk,
- spoje mají vysokou těsnost, lze vytvořit vodotěsné i plynotěsné,
- nedochází k tepelnému ovlivnění základního materiálu,
- lze spojovat díly s povrchovou úpravou,
- spoj je nevodivý a nevznikají galvanické články,
- rozložení napětí ve spoji je rovnoměrné,
- umožňuje spojovat velmi tenké plechy, které není možné svařovat ani nýtovat,
- nedochází k deformacím spojovaných částí.

Mezi nevýhody se řadí:

- spoj je nerozebíratelný,
- je nutné věnovat velkou pozornost přípravě povrchu,
- má špatnou tepelnou odolnost,
- kvalitu nelze posoudit vizuálně, je nutné spoj porušit,
- pevnost spojů je často nižší než u jiných běžných způsobů spojování,
- delší vytvrzovací čas.







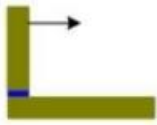
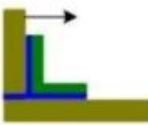




## 6 Návrh lepeného spoje

Lepené konstrukční spoje se díky svému konstrukčnímu provedení a funkčnímu namáhání běžně používají v automobilovém průmyslu v mnoha různých variantách.

Správná konstrukce spoje je klíčem k dosažení požadované pevnosti a nosnosti. Lepené spoje se vyznačují vysokou pevností ve smyku, ale obecně nízkou pevností v tahu. Například tahové napětí táhne vazbu od sebe, zatímco smykové napětí klouže oba povrchy proti sobě. Při navrhování lepených konstrukcí by konstruktér měl následovat vhodné principy, které zajistí, aby spoje měly dlouhou trvanlivost a vysokou pevnost, čímž bude zajištěna spolehlivost spoje.

Při navrhování lepených spojů je důležité zvážit vlastnosti použitého lepidla a pokusit se omezit namáhání v tahu a odlupování, zvláště když je spoj kritický pro spolehlivost aplikace. Namáhaný lepený spoj je potřeba navrhnout tak, aby působící síly měly charakter smykového zatížení. Toho lze docílit např. správnou orientací lepené plochy anebo konstrukčním řešením. Pakliže je spoj zatěžován na tah nebo odlup, navržený spoj má výrazně menší pevnost. Odlupování je nežádoucí zatížení, protože není zaručena pevnost

a zvyšuje riziko porušení spoje. Tuto komplikaci je možno vyřešit zesílením spoje, respektive zesílením lepených materiálů. Další způsob, jak vytvořit pevnější spoj je kombinovat lepení s jiným konvenčním způsobem spojování, jako je nýtový nebo šroubový spoj. Navržený spoj by měl být, co nejméně komplikovaný. Velké a složité tvarované plochy jsou těžko lepitelné. A pro technologii lepení nejsou vhodné.

Návrh lepeného spoje	
Špatně	Dobře
	
	
	
	
	
	

Obrázek 10. Příklady správného návrhu spoje [9]

Doporučuje se, aby lepené díly měly větší tuhost než lepidlo. Povrchové úpravy pro dodatečné nýtování nebo svařování se provádí zásadně před lepením. Avšak samotné svařování provádíme až po lepení. Vhodná úprava povrchu lepených dílů, zvláště v případě lepení různých druhů materiálu, je také důležitá. Výrobci současně s lepidly nabízí i různé



čisticí prostředky a aktivátory. Je nutné dodržovat technologický postup, jakékoliv změny ve výrobním procesu mohou vést ke ztrátě adheze. [3]



*Obrázek 11. Nanášení lepidla na lišty*



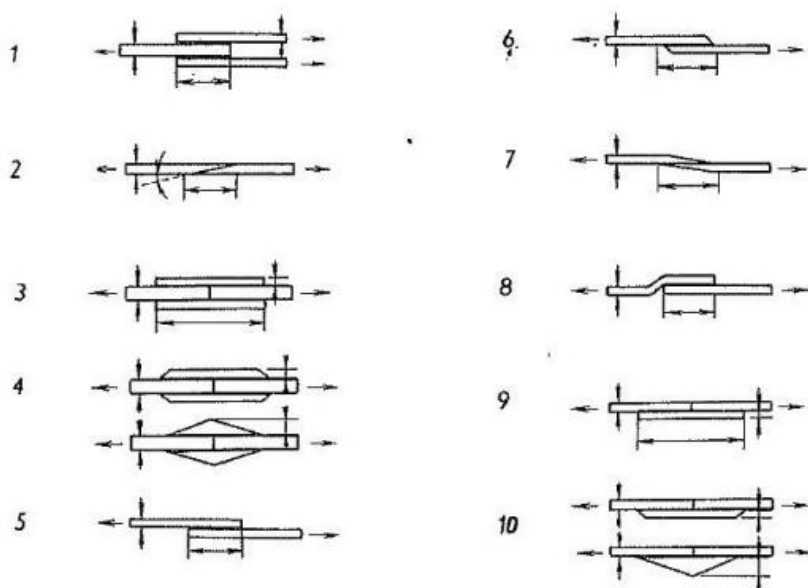
*Obrázek 12. Nýtování lišt k rámu*



*Obrázek 13. Olištovaný rám měchu kloubového autobusu*

## 6.1 Základní typy lepeného spoje

Na obrázku č. 23 jsou vidět různé typy spojů, které se v průmyslu používají. Při lepení se snažíme konstrukční díly sestavovat tak, aby docházelo k co možná nejmenšímu namáhání adhezivního spoje na odlupování. Překlátované spoje jsou v praxi nejběžnější, jsou vhodné pro lepení velkých povrchových ploch. Spoje s příložkou jsou běžné, je-li potřeba zvýšit tuhost. Kromě správně zvoleného konstrukčního řešení adhezivního spoje mohou být nepříznivé vlivy potlačeny i chemickými úpravami. Například použitím plniv. [10] [11]



Obrázek 14 Příklad vybraných plochých adhezivních spojů. 1 - dvojitě překlátovaný spoj, 2 - zkosený tupý spoj, 3 - spoj se dvěma příložkami, 4 - spoj se dvěma zkosenými příložkami, 5 - jednoduchý překlátovaný spoj, 6 - jednoduše překlátovaný modifikovaný spoj, 7 - jednoduchý překlátovaný zkosený spoj, 8 - lemový spoj, 9 - spoj s jednou příložkou, 10 - spoj s jednou zkosenou příložkou [11]

## 6.2 Degradace lepeného spoje

Degradace se týká rozpadu lepidla nebo jeho poškození v průběhu času. Často v důsledku vystavení různým faktorům jako je teplo, vlhkost, UV záření nebo vystavení chemikáliím. [1] [12] [13]

Při vystavení ultrafialovému (UV) záření ze slunečního světla nebo zdrojů umělého světla. UV záření může způsobit chemické reakce v adhezivním materiálu, které mají za následek ztrátu mechanické pevnosti, pružnosti a adhezivních vlastností. UV záření může mít významný vliv na trvanlivost spoje, zejména ve venkovním prostředí nebo prostředí

s vysokou teplotou. Ke zmírnění těchto účinků lze použít povlaky nebo jiné ochranné vrstvy k ochraně lepidla před UV zářením. [1] [13]

Lepené spoje mohou časem degradovat v důsledku vystavení extrémním teplotám. Vysoké teploty mohou způsobit změknutí lepidla a ztrátu pevnosti, zatímco nízké teploty mohou způsobit, že bude lepidlo tužší a náchylné k praskání. To může mít za následek ztrátu adheze, a nakonec selhání spoje. Kromě toho, když se teplota rychle mění, například během tepelného cyklování, může lepidlo vykazovat další namáhání, která mohou dále zhoršovat spoj. [1] [12] [13]

Vystavení vlhkosti může časem způsobit degradaci lepených spojů. Když jsou lepidla vystavena vlhkosti, mohou začít absorbovat vodu a bobtnat, což může oslabit spoj. To platí zejména pro lepidla, která nejsou odolná proti vodě. Navíc, pokud se vlhkost zachytí mezi lepidlem a podkladem, může vytvořit kapsu vlhkosti, která může podporovat korozi a dále degradovat spoj. Jedním z běžných způsobů řešení tohoto problému je použití bariéry proti vlhkosti, jako je tmel nebo nátěr, který může pomoci zabránit tomu, aby se vlhkost dostala k linii spoje a způsobila poškození. [1] [13]

Když jsou lepidla vystavena chemikáliím, mohou se začít rozpadat a ztrácet pevnost spojení. Je to proto, že chemikálie mohou reagovat s lepidlem a způsobit jeho degradaci nebo rozpad. Kromě toho mohou některé chemikálie proniknout do lepidla a způsobit jeho změknutí nebo ztrátu pevnosti v průběhu času. K vyřešení tohoto problému je důležité vybrat lepidlo, které je vhodné pro konkrétní chemickou expozici očekávanou v aplikaci. Některá lepidla jsou navržena tak, aby byla odolnější vůči určitým chemikáliím, zatímco jiná nikoli. [1] [13]

### 6.3 Rozložení napětí

U lepeného spoje je síla rozdělena mezi lepidlo a lepený materiál. Rozložení síly v lepeném spoji závisí na několika faktorech, včetně síly lepidla, plochy povrchu spoje a typu namáhání, které je aplikováno. Když je na lepený spoj aplikována síla, napětí se rozloží na celou povrchovou plochu spoje. Lepidlo pak přenáší toto napětí na lepený materiál. U dobře navrženého lepeného spoje je síla rozložena rovnoměrně po celé ploše spoje. To pomáhá předcházet koncentracím stresu, které mohou oslabit vazbu a způsobit její selhání.

Je důležité eliminovat excentrickou sílu v lepeném spoji, aby se zabránilo koncentraci napětí a předčasnému selhání spoje. Excentrická síla nepůsobí přímo podél osy vazby,

ale pod úhlem k ní. Když je na lepený spoj aplikována excentrická síla, vytváří se ohybový moment, který způsobuje koncentrace napětí na okrajích spoje. Ke koncentraci napětí dochází, protože lepidlo nemůže přenášet napětí rovnoměrně po povrchu spoje. Napětí se koncentruje na okrajích vazby, kde s největší pravděpodobností způsobí selhání vazby. To může mít za následek přetržení nebo odlupování adhezního spoje od podkladu, což může vést ke strukturálnímu selhání.

U dobře navrženého lepeného spoje by mělo být lepidlo nanášeno rovnoměrně a ve správné tloušťce, aby se zajistilo, že síla bude rovnoměrně rozložena po celé ploše spoje. Tloušťka lepidla bude záviset na několika faktorech, včetně typu lepidla, povrchu spoje a typu namáhání, které je aplikováno. Pokud je lepidlo příliš tenké, může se síla koncentrovat na okrajích spoje, což může vést ke koncentraci napětí a předčasnému selhání. Na druhou stranu, pokud je vrstva velká a lepidlo příliš husté, nemusí úplně vytvrdnout, což může také oslabit spoj a snížit jeho pevnost. Může být také nutné upravit metodu aplikace nebo použít přípravky nebo svorky, aby se tlak rovnoměrně rozložil a síla rovnoměrně rozložila po povrchu lepeného spoje. [7]

## **7 Technologický postup lepení**

Proces výroby lepeného spoje se skládá ze čtyř základních fází. První fází je příprava materiálů, které se budou spojovat. Druhou fází je příprava lepidla. Poté následuje nanášení lepidla na materiály a konečně montáž spoje. Je důležité dodržovat správný technologický postup, protože lepení je citlivé na chyby a může být ovlivněno různými faktory. Je třeba poznamenat, že konkrétní postup výroby lepeného spoje může být značně odlišný v závislosti na použitém materiálu, lepidle a metodě lepení. Proto je důležité dodržet doporučené postupy výrobců a případně využít odborného poradenství. [3] [14]

### **7.1 Příprava spojovaných materiálů**

Smáčivost lepidla se týká jeho schopnosti rozprostírat se a smáčet na povrchu lepeného materiálu. Vysoká smáčivost znamená, že se lepidlo může rovnoměrně rozprostřít a vytvořit silnou vazbu s materiálem, zatímco nízká smáčivost znamená, že lepidlo nemusí správně přilnout. Pro zajištění silné adhezivní vazby je důležité připravit povrchy lepených materiálů, aby se optimalizovala jejich smáčivost. Zde jsou některé způsoby přípravy povrchu:

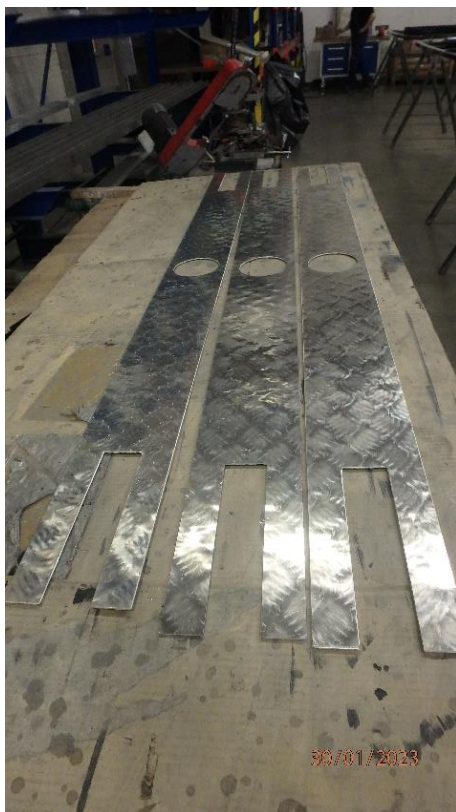
**Fyzikální metody** veškeré abrazivní úpravy povrchu. Používá se mechanické síly ke zdrsnění povrchu. Toho lze dosáhnout pomocí brusného papíru nebo drátěného kotouče. Otěr vytváří povrchovou texturu, která zlepšuje mechanické spojení a zároveň odstraňuje nečistoty které negativně ovlivňují adhezi

**Speciální metody** zahrnují například plazmovým obloukem, ozařování, čištění ultrazvukem nebo polarizace plamenem. V případě plazmové úpravy se povrch ošetřuje plazmovým obloukem a vytváří se na něm vrstva s vysokou energií. Ozařováním na povrchu materiálu vznikají iontové skupiny. Při čištění ultrazvukem se používá ultrazvuková vlna k odstraňování nečistot z povrchu materiálu. Polarizace plamenem přehřívá materiál a způsobuje polarizaci molekul na povrchu.

**Chemické metody** využívají chemických reakcí, aby se dosáhlo zvýšení smáčivosti povrchu nebo odstranění nečistot. Mezi tyto metody patří ošetření kyselinou nebo zásadou, odmaštění rozpouštědlem či použití adhezních přísad v lepidlech. Např. kyselina chlorovodíková se používá k odstranění koroze z kovových povrchů, zatímco alkalické ošetření se používá k odstranění organických nečistot a mastnoty. Odmašťování je velmi důležité, protože na povrchu kovu se mohou nacházet nečistoty nebo zbytky chemických látek. Pro odstranění těchto nečistot se používají odmašťovací prostředky, které dokáží nečistoty účinně rozpustit a odpařit beze zbytku. Tyto prostředky mohou být uhlovodíky, ketony, alkoholy nebo vodní emulze a jejich použití je často nezbytné. [3] [14]

Na obrázcích č. 15 až č. 24 je znázorněn technologický postup přípravy materiálu před lepením podlahy točny k rámu měchu u kloubových autobusů s využitím kombinace fyzikální a chemické metody. Nejprve se oba povrchy lepených materiálů zdrsní drátěným kotoučem. Poté se na plech i rám měchu nanáší a následně do sucha utírá papírovou utěrkou čistící prostředek DINITROL 520. Papírová utěrka musí být čistá, suchá, nemastná a nesmí pouštět žádná vlákna či barvu, ideálně světlé barvy kvůli vizuální kontrole znečištění. Stírání plochy se provádí dle znečištění 1–3 x opakovaně ihned za sebou. Po očištění se nechává povrch odvětrat min. 10 minut. Po oschnutí zůstává na povrchu bílý prášek, aktivační materiál. Na obě očištěné plochy po oschnutí čističe se nanáší v místě spojů DINITROL 550 MULTIPRIMER ve formě tenkého, dostatečně sytého, souvislého filmu. Jedná se o černý Primer, který významně zvyšuje přilnavost lepidla. Po ošetření nutno nechat 30 až 40 min. schnout. [15] [16]





Obrázek 15. Lepený plech



Obrázek 16. Zdrsnění povrchu



Obrázek 17. Čistící prostředek



*Obrázek 18. Čištění povrchu plechu*



*Obrázek 19. Rám měchu*



*Obrázek 20. Čištění povrchu rámu*





*Obrázek 20. Primer*



*Obrázek 21 Primer se nanáší na oba povrchy*



*Obrázek 22. Nanášení Primeru na rám*





Obrázek 23. Nanášení Primeru na plech    Obrázek 24. Schnutí nátěru

## 7.2 Příprava lepidla

V případě jednosložkových lepidel, je lepidlo připraveno k okamžitému použití a nemusí být další příprava potřebná. Dvousložková lepidla jsou složena z oddělených chemických složek, které se smísí a aktivují právě v době aplikace. Díky tomu je lze skladovat dlouhou dobu bez rizika změny vlastností lepidla. Při přípravě dvoukomponentních lepidel je důležité dodržovat poměry mezi jednotlivými složkami, aby došlo k optimální reakci. [15]

Pro lepení při výrobě automobilů, autobusů a kolejových vozidel je spolu s odpovídajícími předúpravami povrchu vhodnou volbou DINITROL 516 A/B. Jeho zvláštní výhodou je, že při vytvrzení nedochází k tvorbě  $\text{CO}_2$  a díky tomu jsou spoje bez bublinek. Jedná se o případ dvoukomponentního systému lepení. Skládá se z lepidla DINITROL 516 A, které se vytvrzuje vzdušnou vlhkostí a reaktivní urychlující pasty DINITROL 516 B. Systém lze aplikovat pomocí míchacích zařízení, které jsou na trhu běžně k dostání. Komponent A se aplikuje z hoboků za použití pístového čerpadla. Urychlující pasta, komponent B, se přimíchává z kartuší za pomoci odpovídajícího dávkovacího zařízení.

Mísící poměr se pohybuje mezi 100:9–100:14 a musí být upraven na čerpadle. Míchací zařízení je doporučováno statické s 18 mísícími elementy. Aplikace se provádí při pokojové teplotě. [15] [17]



Obrázek 25. Mísící zařízení na přípravu lepidla



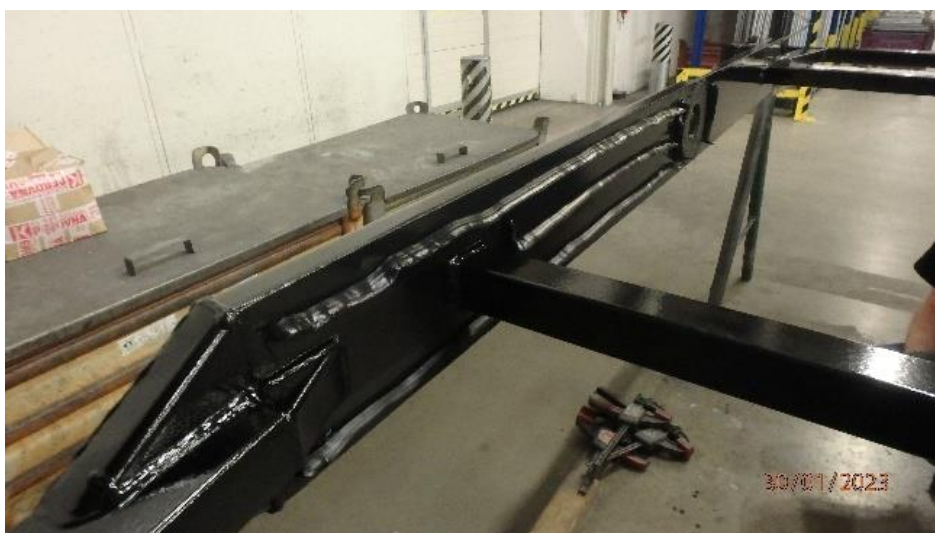
Obrázek 26. Skladování složky A

### 7.3 Nanášení lepidla

Nanášecí zařízení se liší podle tvaru a velikosti housenky a existuje jich mnoho druhů. Nanášení může být prováděno buď ručně pomocí vytlačovací pistole s elektrickým nebo vzduchovým posuvem. Pistole pro jedno a dvoukomponentní lepidla se liší, a pro dvoukomponentní lepidla se používají speciální mísiče. Tento způsob nanášení je levnější, ale neumožňuje přesné nastavení nanášeného množství, proto se v sériové výrobě používají moderní dávkovací a nanášecí systémy. Ty se skládají z trysky pro aplikaci lepidla na povrch a dávkovacího systému, který lepidlo dopravuje za určitých podmínek tlaku a teploty. V automobilovém průmyslu a v jiných odvětvích, kde jsou požadovány přesné nanášecí parametry, se používají komplexní robotizované pracoviště. [16]



*Obrázek 27. Vzduchová aplikační pistole s lepidlem*



*Obrázek 28. Lepidlo nanesené na rám měchu*

## 7.4 Montáž spoje

Při spojování dílů je nutné zajistit správné fyzikální a chemické podmínky pro vznik pevných vazeb. K tomu slouží fixace lepených dílů za určitého tlaku pomocí speciálních přípravků nebo svěrek. Tento tlak musí být udržován po celou dobu tvrdnutí lepidla, aby se zajistilo vytvoření adhezního spojení. Je to z důvodu, že jednou z vlastností některých lepidel je několikanásobné zvětšení objemu v průběhu vytvrzování, což umožňuje bezproblémové vyplnění spáry. Dodržení předepsané vrstvy lepidla lze docílit použitím speciálních příměsí, které obsahují tělíska o velikosti požadované tloušťky. Dalším způsobem pro zaručení správné vzdálenosti materiálů mohou být konstrukční prolisy v místě spoje. [16]





*Obrázek 29. Zajištění tloušťky vrstvy pomocí podložek*

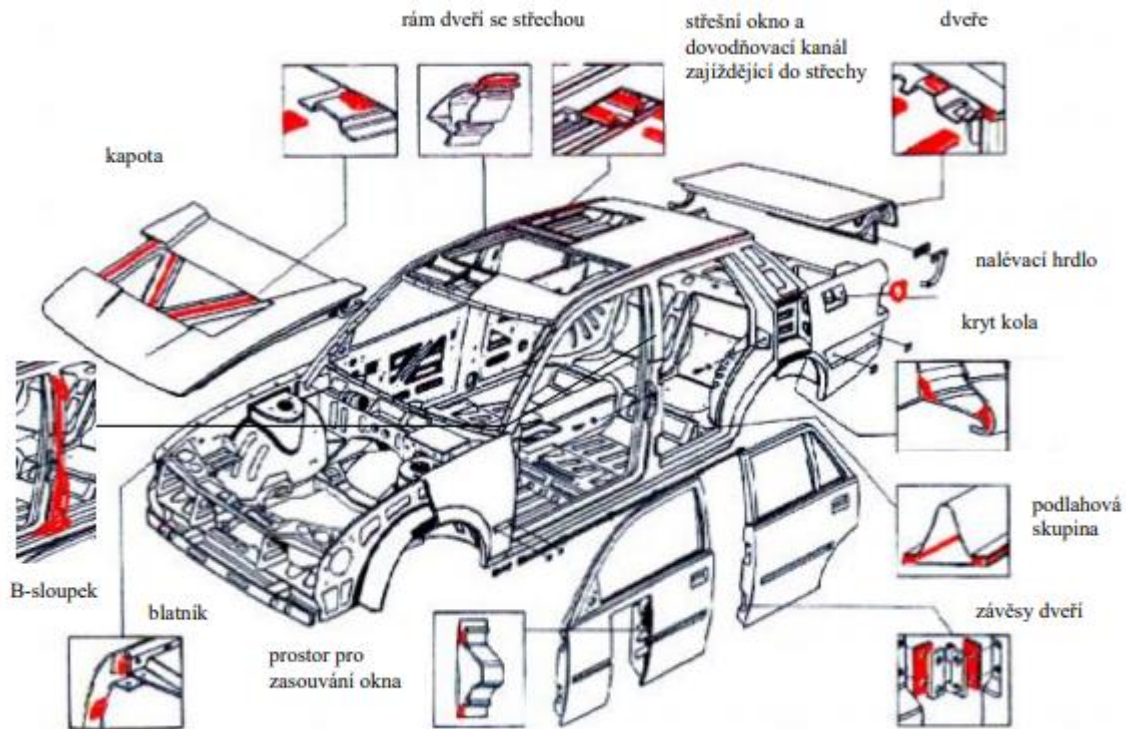


*Obrázek 30. Zafixování dílů svěrkami*

## **8 Využití lepených spojů v praxi**

### **8.1 Automobilový průmysl**

Lepení je široce používáno v automobilovém průmyslu ke spojování různých součástí dohromady. Celkově se jedná o všestranné a účinné řešení pro mnoho aplikací lepení automobilů. Spojování různých materiálů, jako je hliník, uhlíková vlákna a plasty, vede ke snížení hmotnosti a zlepšení spotřeby pohonných hmot. Lepidla mohou také snížit počet potřebných spojovacích prvků, což může dále snížit hmotnost a náklady. [3] [4] [18] [19]



Obrázek 31. Použití lepidel ve stavbě karoserie [19]

**Lepení karoserie:** Lepidla se používají k lepení konstrukčních součástí, jako jsou panely karoserie, střešní panely a dveře. Dokážou zajistit vysoce pevné spojení a čímž také pomáhají zlepšit celkovou tuhost a životnost vozidla.

**Snížení hluku a vibrací:** Lepené spoje lze použít ke snížení přenosu hluku a síly vibrací ve vozidle. Toho je dosaženo nanesením lepicích materiálů mezi různé součásti, jako je palubní deska, dveřní panely a karoserie vozu.

**Těsnění:** Spoje jsou vhodné k utěsnění různých součástí, jako jsou čelní skla, okna a střešní okna, aby se zabránilo vniknutí vody a vzduchu do kabiny. Lepidla pomáhají poskytnout vodotěsné a vzduchotěsné těsnění, které je nezbytné pro celkové pohodlí vozu.

**Interiéry:** Lepidla jsou ideálním řešením k připevnění součástí obložení interiéru, jako jsou dveřní panely, obložení stropu a koberce. Zde nabízí pevné a odolné připevnění, které vydrží náročné každodenní používání. Mimo funkční výhody lze zmínit i estetickou stránku.

**Brzdové destičky:** Dále se používá k připevnění třecího materiálu na kovovou nosnou desku brzdových destiček. Epoxidové lepidla jsou další oblíbenou volbou pro lepení brzdových destiček, protože nabízejí vysokou pevnost, stejně jako dobrou odolnost vůči vysokým teplotám vznikajícím při brždění. Poskytují také trvanlivost proti faktorům prostředí, jako je vlhkost a koroze.

**Bateriové články:** Jelikož je lepený spoj nevodivého typu, používá se také ke spojení jednotlivých článků v lithium-iontové baterii

**Ochrana proti nárazu:** Lepidla lze použít k připevnění různých součástí systému ochrany proti nárazu vozidla, jako jsou moduly airbagů a předpínače bezpečnostních pásů. Lepení může poskytnout pevné a spolehlivé připevnění, které pomáhá zajistit bezpečnost cestujících ve vozidle v případě nehody.

**Palivové nádrže:** K připevnění palivové nádrže ke karoserii vozidla se používá lepení. To poskytuje pevné a odolné příslušenství, které odolá hmotnosti paliva a různému zatížení vozidla během provozu.

**Součásti motoru a převodovky:** Jako jsou víka ventilů, olejové vany a sací potrubí. Způsob upevnění třecího obložení na kotouč spojky.

**Vnitřní a vnější obložení:** Připevnění různých součástí vnitřního a vnějšího obložení, jako jsou emblémy a odznaky, je řešeno pomocí lepidel, protože u nich nedochází k porušení laku.

**Klimatizační a ventilační systémy:** Lepidla se používají k lepení různých součástí klimatizačního a ventilačního systému vozidla, jako jsou potrubí, průduchy a motory ventilátorů.

**Komponenty sedadel:** Běžně se lepení používá pro montáž komponent sedadel. Jako je sestava rámu sedadla, připevnění pěny ke kovovému rámu nebo připevnění opěrek hlavy a područek.

**Sestavy světlometů a zadních světel:** K připevnění sestav světlometů a zadních světel ke karoserii vozidla se používá lepený spoj. To poskytuje pevné a odolné upevnění, které odolá silám, které se vyskytují během jízdy, jako je vítr, déšť a vibrace.

## 8.2 Využití lepení při výrobě autobusů

Aplikace lepidel a tmelů na autobusy od zasklení a opláštění až po lepení vnitřního obložení. Nejde jen o vodotěsnost oken pomocí zasklivačích lepidel, ale také o udržení struktury karoserie pohromadě. Aplikace lepidel a tmelů se nezaměřují pouze na rám, vnitřní obložení a exteriér autobusů, ale přispívají také k mechanismům pod kapotou, včetně součástí motoru a baterií. Normy stanovené pro lepení vnitřních panelů autobusů a obložení povzbuzují výrobce k výběru ekologických řešení s co nejmenším dopadem na životní prostředí. [4]

**Opláštění karoserie:** V poslední době se často používá technologie lepení nejen u osobních automobilů, ale i u autobusů. Svařovaná karoserie autobusu nikdy není dokonale rovná. Vznikají různé nerovnosti, které jsou na opláštění viditelné. Lze je pozorovat v případě kdy je opláštění přivařováno k profilům karoserie, které kopíruje všechny nerovnosti. Pro dorovnání se musí dodatečně vytmelit. Při lepení lze tento jev eliminovat a povrch působí jako téměř dokonale rovný. Aby se vyrovnaly nerovnosti povrchu karoserie vzniklé svařováním tenkostěnných profilů konstrukce, díl se nejprve upevní na krajích a poté se dolepí různou tloušťkou lepidla. Takže nevýhodou svařování je nejen vyšší hmotnost, ale i méně rovný povrch. [4] [20]



*Obrázek 32. Zadní kryt*



*Obrázek 33. Boční opláštění*

**Těsnění a lepení střech autobusů:** Střecha je jednou z nejdůležitějších částí autobusu. Její návrh je stále jednou z největších výzev pro výrobce autobusů, přestože lepidla a tmely poskytují větší volnost při návrhu a usnadňují návrh. Při výběru spojovacích a těsnících materiálů je třeba vzít v úvahu faktory, jako je vývoj vysokých teplot, koeficienty tepelné roztažnosti a strukturální integrita. Těsnící a lepicí systémy na střechu autobusů jsou často na bázi polyuretanu nebo hybridní systémy. Existují jako jedno a dvousložkové systémy, které umožňují rychlé vytvrzení a urychlení výrobního procesu. [4]

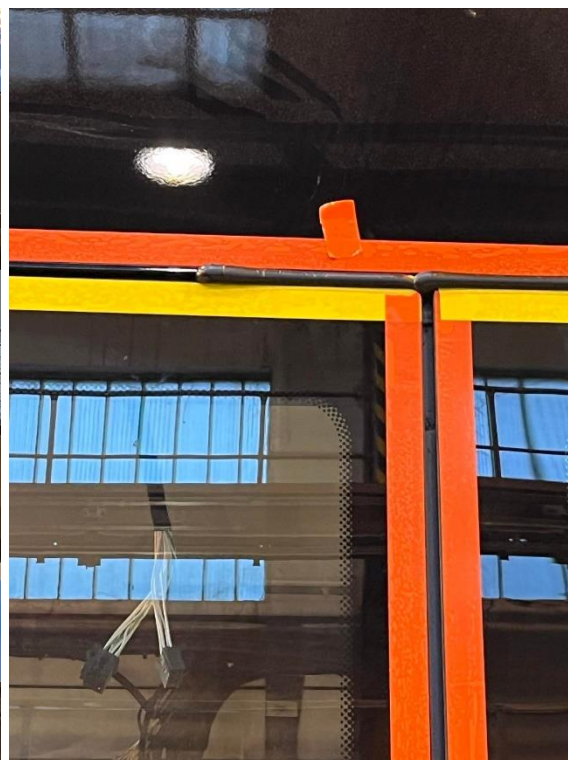
**Lepení skel:** Lepidlo na čelní sklo patří mezi nejstarší aplikace lepení známé v automobilovém průmyslu. Prvotním účelem lepidel na čelní sklo bylo udržet čelní sklo



vozidel na místě, ale dnes toho umí mnohem více. Lepidla nanesená na čelní skla a kolem nich podporují a zlepšují stabilitu vozidel a přispívají k bezpečnosti v případě nehody tím, že zajišťují, aby se čelní sklo neodlepilo od rámu. Poskytují pevné a odolné upevnění, které odolá silám, které se vyskytují během jízdy, jako je vítr, déšť a vibrace. Větší vozidla, jako jsou autobusy a zemědělské stroje, mohou vyžadovat další tmel pro ochranu spoje. V případě bočních skel je potřeba aby lepidlo bylo dostatečně elastické a dokázalo pohlcovat síly vznikající rozdílnou tepelnou roztažností karoserie. [4] [17]



Obrázek 34. Boční sklo



Obrázek 35. Tmelení spár

**Pro těsnění podlah a blatníků:** Lepení se v současné době často používá i pro spojování podlah v autobusech. Tento postup se stává populárnějším díky vlastnostem lepidla, které umožňují vytvoření silného, ale zároveň pružného spoje, který zvládne absorbovat vibrace a tím snížit hluk a otřesy přenášené na podvozek. Kromě toho je výsledný spoj dokonale rovný a hladký, což přináší vysoký komfort cestujícím. Při lepení podlah se používají speciální typy lepidel, která jsou vyvinutá tak, aby byla odolná proti vlhkosti, chemikáliím a teplotním změnám. Lepení podlah autobusů přináší nejen výhody z hlediska technických parametrů, ale i z hlediska hygieny, jelikož snižuje množství spár a trhlin, které mohou být útočištěm pro bakterie a nečistoty. [20]





Obrázek 36. Svařovaná karoserie    Obrázek 37. Lepený segment podlahy

**Lepení výztuh, krytů:** Tento proces spočívá v aplikaci lepidla na plastový kryt nebo laminátový, následně se na lepidlo aplikuje kovová výztuha a celé se zafixuje dohromady pomocí svěrek a přípravků které usadí kovový rám v požadovaném místě, aby po montáži na karoserii autobusu vše dokonale lícovalo.[4] [17]

**Lepení izolace:** Základní nosnou konstrukci celého autobusu tvoří k sobě navzájem svařené tenkostěnné profily. U autobusů se používá jako izolace polystyren. Na boční strany se polystyren umísťuje mezi tenkostěnné profily konstrukce ještě před lepením bočních plechů z korozivzdorné oceli. [20]

### 8.3 Lepení v leteckém průmyslu

Lepení je široce používáno v leteckém průmyslu ke spojování různých součástí letadel, jako jsou panely, křídla a ocasní části. Použití lepení nabízí mnoho výhod oproti tradičním metodám mechanického upevnění, jako je nýtování, svařování nebo šroubování. Očekává se, že jeho použití bude nadále růst s tím, jak se vyvíjejí nová a vylepšená lepidla a jak se zvyšuje poptávka po lehčích, úspornějších a ekologičtějších letadlech.

Jednou z výhod je úspora hmotnosti. Protože lepidla rozkládají napětí na větší plochu, umožňuje použití tenčích a lehčích materiálů bez kompromisů v pevnosti. To vede

ke zlepšení účinnosti paliva, snížení emisí a zvýšení užitečného zatížení. Také poskytuje aerodynamičtější povrchy v místě spoje. Absence vyčnívajících spojovacích prvků snižuje odpor a zlepšuje celkový výkon.

Další výhodou lepení je zvýšená únavová životnost. Ve srovnání s mechanickými způsoby upevnění nabízí rovnoměrnější rozložení zatížení, což snižuje koncentraci napětí a zlepšuje životnost. Díky tomu je ideální volbou pro letecké konstrukce, které jsou po dobu své životnosti vystaveny cyklickému namáhání.



Obrázek 38. Aplikace lepení přilnavostí na letadle Airbus A380. [21]

Použití lepených spojů v letectví podléhá přísným předpisům a normám, aby byla zajištěna bezpečnost a spolehlivost. Lepidla musí být přísně testována, aby bylo zajištěno, že splňují požadovaná výkonnostní kritéria a jsou používána v souladu se specifickými konstrukčními a výrobními postupy. Pravidelné kontroly jsou také prováděny za účelem zjištění jakýchkoli známek poškození nebo degradace, které by mohly ohrozit integritu spojů. [22] [21]

## 9 Závěr

Cílem bakalářské práce bylo seznámit čtenáře se základními pojmy, které se v oblasti adhezních spojů vyskytují. Přiblížit a ukázat některé konkrétní případy využití technologie lepení v praxi.

V teoretické rešerši jsou popsány základy lepení a vlastnosti lepených spojů. Poznatky pramení z literárních zdrojů, které se problematikou lepení zabývají. Problematika adhezních spojů je obsáhlá progresivní oblast nerozebíratelného spojování materiálů v průmyslové sféře, která se neustále vyvíjí. Práce pojednává o náročnosti přípravy a citlivosti adhezního spoje na správnou přípravu. Je to jedna z jeho velkých nevýhod. Další je malá pevnost v porovnání například s nýtováním či svařováním. Tyto nedostatky se však vytrácejí s neustále postupujícím výzkumem v této oblasti.

Nedílnou součástí bakalářské práce byla návštěva výrobního závodu SOR Libchavy a jejich subdodavatele Elektrizaci Železnic Praha. Konzultace s technologií a zaměstnanci byly velice přínosné. Díky nim je v práci uvedeno, jak fungují některé výrobní procesy a aplikace lepidel v reálné situaci.

V bakalářské práci se podařilo seznámit s celým technologickým procesem lepení rámu měchu kloubového autobusu. Popisuje, jak se připravuje povrch spojovaných dílů, čím je nanášeno lepidlo a jakým způsobem je docíleno dodržení stejné tloušťky lepidla po celé délce spoje. Ukazuje několik konkrétních příkladů lepených spojů při stavbě autobusů, kde jsou spojovány různorodé materiály.

Správné dodržení pokynů výrobce lepidla je klíčovým faktorem pro dobrou pevnost adhezního spoje. Adhezní spoje jsou již několik staletí používány v průmyslu a zastávají stále větší místo v otázkách konstrukce – nerozebíratelných pevnostních spojů, tlumení vibrací a těsnění.

## 10 Seznam použitých zdrojů

- [1] PETRIE, E M. *Handbook of Adhesives and Sealants*. 3rd edition. New York: McGraw Hill, 2020. ISBN 978-1260440447.
- [2] BISHOPP, John A. The history of Redux® and the Redux bonding process. *International Journal of Adhesion and Adhesives* [online]. 1997, 17(4), 287–301 [vid. 2023-03-16]. ISSN 0143-7496. Dostupné z: doi:10.1016/S0143-7496(97)00023-7
- [3] DOUBEK, Pavel a Michaela KOLNEROVÁ. *Základy technologie lepení karosářských výlisků*. Vyd. 1. Liberec: Technická univerzita, 2014. ISBN 978-80-7494–170-2.
- [4] *Adhesive Platform* [online]. Dostupné z: <https://www.adhesiveplatform.com/>
- [5] BERAN, Rudolf. *Základy teorie lepení*. [online]. 2014 [vid. 2023-03-12]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/4987396-Zaklady-teorie-lepeni.html>
- [6] EBNESAJJAD, Sina a Arthur H LANDROCK. *Adhesives Technology Handbook (Plastics Design Library)*. 2. Vydání. Oxford: William Andrew, 2008. ISBN 9780815515333.
- [7] CONNOR, Mattson. *The Physics of Adhesives* [online]. 2014 [vid. 2023-03-12]. Dostupné z: [http://ffden-2.phys.uaf.edu/webproj/212\\_spring\\_2014/Connor\\_Mattson/connor\\_mattson/index.html](http://ffden-2.phys.uaf.edu/webproj/212_spring_2014/Connor_Mattson/connor_mattson/index.html)
- [8] BRIŠ, Petr, Jiří KUBĚNA a Jan ŠTRKAŇ. *Lepení v praxi*. První vydání. Praha: Grada, 2017. ISBN 978-80-271-0247-1.
- [9] MRŇA, Libor. *Lepení materiálů* [online]. [vid. 2023-03-17]. Dostupné z: [https://ust.fme.vutbr.cz/svarovani/img/opory/hsv\\_specialni\\_metody\\_svarovani\\_lepeni\\_materialu\\_mrna.pdf](https://ust.fme.vutbr.cz/svarovani/img/opory/hsv_specialni_metody_svarovani_lepeni_materialu_mrna.pdf)
- [10] BROCKMANN, Walter, Paul Ludwig GEISS, Jürgen KLINGEN a Bernhard SCHRÖDER. *Adhesive Bonding: Materials, Applications and Technology* [online]. 2009. Dostupné z: doi:10.1002/9783527623921
- [11] COGNARD, Phillipe. *Handbook of Adhesives and Sealants: Volume 1*. 2005. ISSN 18745695.

- [12] MÜLLER, Miroslav, Rostislav CHOTĚBOŘSKÝ, Petr HRABĚ a David HERÁK *Teplota a čas – vliv na pevnost lepených spojů | MM Průmyslové spektrum* [online]. 2005. [vid. 2023-03-16]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/teplota-a-cas-vliv-na-pevnost-lepenych-spoju>
- [13] MESSLER, Robert W. *Joining of Materials and Structures: From Pragmatic Process to Enabling Technology* [online]. 2004. Dostupné z: doi:10.1016/B978-0-7506-7757-8.X5000-3
- [14] EBNESAJJAD, Sina. *Handbook of Adhesives and Surface Preparation: Technology, Applications and Manufacturing*. 1st Edition. Oxford: William Andrews, 2011. ISBN 978-1437744613.
- [15] Materiály firmy Dinitrol.
- [16] Materiály firmy EŽ Praha a.s.
- [17] Materiály firmy SOR Libchavy.
- [18] *Adhesive and Sealant Solutions for Vehicle Systems Design » DGE* [online]. [vid. 2023-03-17]. Dostupné z: <https://dge-europe.com/adhesive-and-sealant-solutions-for-vehicle-systems-design/>
- [19] HRUŠOVÁ, Markéta. *Technologie lepení v automobilovém průmyslu*. [online]. [vid. 2023-03-17]. Dostupné z: <https://adoc.pub/technologie-lepeni-v-automobilovem-prmyslu.html>
- [20] JIRÁK, Jan. *Lepení interiérových dílů autobusů – SOR Libchavy* [online]. 2013 [vid. 2023-03-12]. Dostupné z: <https://dk.upce.cz/handle/10195/52145>
- [21] ROMANO, Maria Grazia, Michele GUIDA, Francesco MARULO, Michela Giugliano AURICCHIO a Salvatore RUSSO. *Characterization of adhesives bonding in aircraft structures. Materials* [online]. 2020, 13(21), 1–13 [vid. 2023-03-16]. ISSN 19961944. Dostupné z: doi:10.3390/MA13214816
- [22] NIU, Y, X XU a S GUO. *Structural Optimization Design of a Typical Adhesive Bonded Honeycomb-Core Sandwich T-joint in Side Bonding Using Multi-Island Genetic Algorithm* [online]. B.m.: Appl Compos Mater. 2021. Dostupné z: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10443-021-09882-2>