

# **Spojování kompozitních součástí, volba spoje a testování**

Václav Šerý

---

Bakalářská práce  
2018



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

akademický rok: 2017/2018

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Václav Šerý**  
Osobní číslo: **T17884**  
Studijní program: **B3909 Procesní inženýrství**  
Studijní obor: **Technologická zařízení**  
Forma studia: **prezenční**

Téma práce: **Spojování kompozitních součástí, volba spoje a testování**

Zásady pro vypracování:

1. Literární rešerše v oblasti kompozitních materiálů, základy rozdělení, vlastnosti a využití
2. Spojování kompozitních součástí, volba spoje dle podmínek použití
3. Experimentální část, návrh vhodného spoje pro danou aplikaci
4. Experimentální zhotovení spoje a jeho testování
5. Vyhodnocení dosažených výsledků
6. Závěr bakalářské práce



Rozsah bakalářské práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

**Dle doporučení vedoucího bakalářské práce**

Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Soňa Rusnáková, Ph.D.**

Ústav výrobního inženýrství

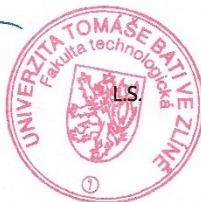
Datum zadání bakalářské práce: **2. ledna 2018**

Termín odevzdání bakalářské práce: **18. května 2018**

Ve Zlíně dne 19. února 2018



doc. Ing. František Buňka, Ph.D.  
*děkan*



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

Příjmení a jméno: Šerý, Václav.....


Obor: Technologická zařízení

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby <sup>1)</sup>;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen na příslušném ústavu Fakulty technologické UTB ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3 <sup>2)</sup>;
- beru na vědomí, že podle § 60 <sup>3)</sup> odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 <sup>3)</sup> odst. 2 a 3 mohu užít své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Ve Zlíně 4.5.2018.

  
.....

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

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

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

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

<sup>2)</sup> zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 35 odst. 3:

(3) Do práva autorského také nezasahuje škola nebo školské či vzdělávací zařízení, užije-li nikoli za účelem přímého nebo nepřímého hospodářského nebo obchodního prospěchu k výuce nebo k vlastní potřebě dílo vytvořené žákem nebo studentem ke splnění školních nebo studijních povinností vyplývajících z jeho právního vztahu ke škole nebo školskému či vzdělávacímu zařízení (školní díla).

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

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

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

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

## **ABSTRAKT**

Úkolem této bakalářské práce je výběr vhodného spoje pomocí kompozitních součástí a jeho následném otestování.

V teoretické části jsou popsány materiály kompozitů, jejich rozdělení a mechanické vlastnosti. Taktéž se v této práci zmiňuje technologie výroby kompozitních materiálů a použití v praxi. Teorie je blíže zaměřena na spojování těchto materiálů a jejich vzájemnou kombinaci.

Experimentální část obsahuje návrh i zhotovení vhodného spoje pro danou aplikaci, jeho testování a vyhodnocení dosažených výsledků.

Klíčová slova: kompozitní materiály, částicové a vláknové kompozity, rozebíratelné a nerozebíratelné spoje, lepení kompozitních součástí, pevnost ve smyku

## **ABSTRACT**

The task of this bachelor thesis is the selection of a suitable joint using composite components and its subsequent testing.

The composite materials, their distribution and mechanical properties are described in the theoretical part. This thesis also mentions the technology of the production of the composite materials and the utilization in practice. The theoretical part is focused on the combination of these materials and their mutual combination in more detail.

The experimental part includes the design and preparation of a suitable joint for the given application, its testing and the evaluation of the achieved results.

Keywords: composite materials, particulate and fiber composites, dismountable and non-dismountable joints, bonding of composite components, shear strength

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma **Spojování kompozitních součástí, volba spoje a testování** vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

V této práci bych rád zdůraznil poděkování, které hlavně patří mé vedoucí bakalářské práce, paní doc. Ing. Soni Rusnákové, Ph.D., za vstřícný přístup, odbornou pomoc a věcné připomínky jak k mému tématu, tak celkově za rady do života. Dále bych chtěl poděkovat stejnou cestou mým rodičům i celé rodině, za finanční i psychickou podporu během studia na vysoké škole.

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

# OBSAH

<b>ÚVOD</b> .....	<b>11</b>
<b>I TEORETICKÁ ČÁST</b> .....	<b>12</b>
<b>1 KOMPOZITNÍ MATERIÁLY</b> .....	<b>13</b>
1.1 ÚVOD .....	13
1.2 DEFINICE KOMPOZITU .....	13
1.3 CHARAKTERISTIKA .....	14
1.3.1 Homogenita a nehomogenita.....	14
1.3.2 Izotropie a anizotropie.....	15
1.3.3 Kompozitní působení .....	15
1.4 KLASIFIKACE KOMPOZITŮ .....	16
1.5 MATRICE.....	18
1.5.1 Reaktoplastické .....	18
1.5.2 Termoplastické.....	19
1.6 VÝZTUŽNÝ SYSTÉM.....	20
1.7 PRAKTICKÉ VYUŽITÍ KOMPOZITŮ .....	21
<b>2 SPOJOVÁNÍ KOMPOZITNÍCH MATERIÁLŮ</b> .....	<b>26</b>
2.1 NEROZEBÍRATELNÉ SPOJE.....	26
2.1.1 Součásti spojené lepením .....	26
2.1.1.1 Polarita .....	26
2.1.1.2 Rozdělení lepidel .....	27
2.1.1.3 Druhy lepidel .....	27
2.1.1.4 Pružné lepení.....	29
2.1.2 Součásti spojené nýtováním .....	29
2.1.2.1 Postup při nýtování .....	30
2.1.2.2 Druhy spojovacích prvků při nýtování .....	30
2.1.3 Termoplastické kompozity spojené svařováním.....	31
2.2 ROZEBÍRATELNÉ SPOJE .....	34
2.2.1 Spojování přes kompozitní prvky .....	34
2.2.2 Spojování přes ocelové prvky .....	35
2.2.3 Spojení závrtnými šrouby .....	36
2.2.4 Spojení pomocí šroubů a matic .....	37
2.2.5 Závitové vložky .....	37
2.2.6 Lisovací matice .....	39
2.3 SENDVIČOVÉ KONSTRUKCE.....	40
2.3.1 Charakteristika .....	41
2.3.2 Konkrétní aplikace v praxi .....	41
<b>3 TESTOVÁNÍ SPOJŮ A ZKUŠEBNÍ ZAŘÍZENÍ</b> .....	<b>43</b>
3.1 TESTOVÁNÍ LEPENÝCH SPOJŮ .....	43
3.1.1 Zkouška smykové pevnosti .....	43
3.1.2 Smluvní diagram napětí – deformace .....	43
3.1.3 Aritmetický průměr .....	45
3.1.4 Směrodatná odchylka .....	45
3.1.5 Výpočet pevnosti přeplátovaného spoje ve smyku .....	45



3.2	ZKUŠEBNÍ ZAŘÍZENÍ .....	46
<b>4</b>	<b>NÁVRH SPOJE PRO APLIKACI V PRAXI.....</b>	<b>47</b>
4.1	BRZDOVÁ DESTIČKA AUTOMOBILU.....	47
4.2	KOMPONENTY BRZDOVÉ DESTIČKY .....	47
4.2.1	Třecí materiály .....	47
4.2.1.1	Typy třecího obložení dle struktury.....	48
4.2.2	Opěrná deska .....	50
4.2.3	Držáky .....	50
4.3	KONSTRUKČNÍ LEPIDLA.....	50
<b>5</b>	<b>CÍL BAKALÁŘSKÉ PRÁCE .....</b>	<b>53</b>
<b>6</b>	<b>PŘÍPRAVA A ZHOTOVENÍ SPOJE .....</b>	<b>54</b>
6.1	ZKUŠEBNÍ VZORKY .....	54
6.1.1	Nerezový plech válcovaný za studena (A).....	54
6.1.2	Ocelová plochá tyč (B).....	54
6.1.3	Kompozitní vzorky.....	55
6.1.3.1	Výroba kompozitních panelů pomocí ruční laminace .....	55
6.2	PŘÍPRAVA VZORKŮ A LEPENÍ .....	56
6.2.1	Příprava vzorků .....	56
6.2.2	Lepení.....	56
6.3	POUŽITÉ TKANINY A PRYSKYŘICE .....	57
6.3.1	Tkanina z uhlíkových vláken toolcraft.....	57
6.3.2	Epoxidová pryskyřice HAVEL Composites L 285 MGS.....	57
6.3.3	Tužidlo HAVEL Composites H500 MGS .....	58
6.4	POUŽITÁ LEPIDLA A ODMAŠŤOVACÍ PROSTŘEDKY .....	58
6.4.1	DUOFIX novatio.....	58
6.4.2	Cyberbond E 706.....	58
6.4.3	HF servis A5050 .....	59
6.4.4	Odmašťovací prostředek Montage-Reiniger R 3000 .....	59
<b>7</b>	<b>TESTOVÁNÍ SPOJE .....</b>	<b>61</b>
7.1	POUŽITÉ ZAŘÍZENÍ PRO MĚŘENÍ MECHANICKÝCH ZKOUŠEK.....	61
•	Univerzální zkušební stroj ZWICK 1465 .....	61
7.2	ZKOUŠKA SMYKOVÉ PEVNOSTI.....	61
7.2.1	Varianta spojení AK-X .....	63
7.2.2	Varianta spojení AK-Y .....	64
7.2.3	Varianta spojení AK-Z.....	64
7.2.4	Varianta spojení BK-X.....	65
7.2.5	Varianta spojení BK-Y.....	66
7.2.6	Varianta spojení BK-Z .....	66
7.3	POROVNÁNÍ HODNOT ZKOUŠKY PEVNOSTI VE SMYKU .....	67
7.3.1	Znázornění hodnot pevnosti lepeného spoje ve smyku při tahovém namáhání .....	67
7.3.2	Znázornění hodnot síly potřebné k přetržení zkušebního tělesa .....	69
<b>8</b>	<b>VYHODNOCENÍ NAMĚŘENÝCH VÝSLEDKŮ .....</b>	<b>71</b>
8.1	SMYKOVÁ ZKOUŠKA .....	71
8.1.1	Hodnoty pevnosti lepeného spoje ve smyku při tahovém namáhání .....	71

8.1.2	Hodnoty síly potřebné k přetržení zkušebního tělesa.....	72
<b>ZÁVĚR</b>	.....	<b>73</b>
<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY</b>	.....	<b>75</b>
<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK</b>	.....	<b>79</b>
<b>SEZNAM OBRÁZKŮ</b>	.....	<b>82</b>
<b>SEZNAM TABULEK</b>	.....	<b>85</b>
<b>SEZNAM GRAFŮ</b>	.....	<b>86</b>
<b>SEZNAM PŘÍLOH</b>	.....	<b>87</b>

## ÚVOD

Vláknové kompozity doprovázejí člověka už od dávnověku, kdy lidé začali kombinovat různé materiálové prvky dohromady, například u výroby jílových cihel, kde uplatnili jíl jako matici a slámu jako vyztužující vlákna. Nicméně kompozity najdeme i kolem nás volně v přírodě. Dobrým příkladem je včelí plástev nebo dřevo, kde při pohledu na pařez stromu vidíme typickou strukturu pro kompozity (letokruhy).

Vývoj kompozitních materiálů se soustavně vyvíjí v globálním měřítku, tedy po celém světě. Kompozity se v dnešní době uplatňují v širokém spektru průmyslových odvětvích. Jejich úspěch tkví ve využití vysoké pevnosti, tuhosti a nízké hustoty vláken (např. skleněná nebo uhlíková).

Tyto materiály mají tedy schopnost kombinovat velmi dobré mechanické vlastnosti s jednoduchou výrobou a konstrukční přizpůsobivostí. Spolu s výrobou je tvořena i struktura materiálu, což je další vynikající vlastnost, která zefektivňuje výrobu.

Dalším zefektivněním výroby v současnosti je hledání nových technologických možností spojování kompozitů. Patří mezi ně pájení, nýtování, ale především lepení, které má velké a významné uplatnění v dnešní technologii spojování kompozitních materiálů. Důležitým faktorem je výběr vhodného lepidla pro daný spoj. Vybraná lepidla mají výhodné a důležité vlastnosti, jako je tlumení rázů nebo také odhlučnění.

Druhou skupinou jsou rozebíratelné spoje, kde nalezneme také široké uplatnění v praxi. Mezi výhody tady patří mnohdy větší zpevnění spojovaných materiálů a rozebrání systému bez poškození spojovacích prvků. Tyto prvky jsou víceméně stejné jako u běžných rozebíratelných spojů a patří sem šrouby, čepy, kolíky, pera a svěrné spoje.

## I. TEORETICKÁ ČÁST

# 1 KOMPOZITNÍ MATERIÁLY

## 1.1 ÚVOD

Každého znalce kompozitů zaujme především velká flexibilita relativně jednoduše tvořených materiálových struktur a jimi odpovídajících rozsáhlých spekter užitečných vlastností. Specifikou výroby kompozitních materiálů je také fakt, že skoro ve všech případech je kompozitní materiál vyráběn spolu s výsledným produktem (laminace sportovních lodí, navijáky rybářských prutů, tažení profilů) a je proto obtížné oddělit od sebe vlastnosti materiálu od prospěšných vlastností výrobku, což je u konkurenční konstrukční oceli nebo hliníku velmi jednoduché a podstatně to zjednodušuje optimalizaci a spolehlivost konstrukčních postupů. U málo sofistikovaných technologií (ruční laminace) může lehce dojít ke špatnému uložení výztuží, a tím k méně reprodukovatelným vlastnostem výrobků i polotovarů. Dostí velkou komplikací je anizotropie vlastností a heterogenita struktury. To, čím nadšeného invenčního konstruktéra polymerní kompozity zaujmou, je škála velmi výhodných vlastností, kterými jsou hlavně nízká hustota (obvykle 1600 až 2000 kg/m<sup>3</sup>) v porovnání s ocelí (7800 kg/m<sup>3</sup>) nebo hliníkem (2700 kg/m<sup>3</sup>), velmi velký interval pevností (200-4000 MPa) a tuhostí (10-400 GPa) ve srovnání s tradičními materiály, které poskytují jenom diskrétní hodnoty těchto veličin. Velkou předností je také odolnost vůči širokému spektru chemikálií, nízká tepelná vodivost asi 300x nižší než v porovnání s hliníkem, elektroizolační vlastnosti, prakticky žádný útlum elektromagnetických vln a velmi vysoký útlum zvukových vln. Dalšími přitažlivými výhodami nabízenými kompozity jsou jednoduchá a efektivní montáž a servis. Schopnost probarvení materiálu v objemu, ekonomická přípustnost také malých sérií, odstranění obrábění při docílení dostatečných tolerancí, vysoká životnost jsou dalšími výjimečnými hodnotami nabízenými polymerními kompozity vnímavému a zasvěcenému uživateli. [1]

## 1.2 DEFINICE KOMPOZITU

Slovo „kompozitní“ znamená „vytvořený nebo poskládaný ze dvou nebo více rozdílných částí“. Materiál, který má dvě či více odlišných materiálových složek neboli fází, je podle toho tedy složeným materiálem. Ale je to tak jen tehdy, když mají vytvářející fáze velmi odlišné fyzikální vlastnosti, a tím pádem i vlastnosti složeného materiálu jsou viditelně rozdílné od vlastností jeho složek, označujeme takový materiál jako kompozitní.

Například klasické kovy obsahují vždy většinou nechtěné nečistoty či slitinové prvky; plasty obecně obsahují malá množství plniv, apretur, pohlcovačů UV záření a dalších materiálů z důvodů ekonomických pro zjednodušení výroby aj., nejsou však obecně řazeny mezi kompozity. V kovech mají dílčí složky obvykle téměř identické vlastnosti (např. modul pružnosti),

nemají však často vláknový charakter a jedna z fází bývá přítomna v malém objemovém zlomku. Proto modul pružnosti slitinové oceli je necitlivý k množství přítomného karbidu a technologové obvykle nepovažují kovovou slitinu za kompozitní materiál, hlavně ne po stránce analytické. Avšak dvoufázové kovové slitiny jsou ve smyslu struktury vhodnou ukázkou částicových kompozitů. [2]

### 1.3 CHARAKTERISTIKA

Kompozity tvoří jedna nebo více nespojitých fází, vložených ve spojitě fázi. Diskontinuitní fáze je většinou tvrdší a pevnější s porovnáním se spojitou fází a říká se jí vyztužení nebo vyztužovací materiál, kdežto spojitá fáze se nazývá matrice. Nejvýraznější výjimkou z tohoto pravidla je uskupení materiálů nazývaných polymery modifikované kaučukem, které se skládají z pevné polymerní matrice, plněné kaučukovými částicemi. [2]

#### 1.3.1 Homogenita a nehomogenita

V atomárním měřítku je každý technický materiál nehomogenní. Proto je nutné požadovat, aby nehomogenity v kompozitu byly v mnohem větším měřítku než atomárním. Musí přitom být ale dostatečně malé, aby bylo možné v makroměřítku srovnatelném s rozměry konstrukčních dílů z tohoto kompozitu považovat tento kompozit za homogenní materiál. Kompozit je tedy vnitřně nehomogenní, ale z makroskopického hlediska homogenní, vede k zavádění vlastností kompozitního materiálu, které často bývají jen fiktivní. Při působení tahového napětí se tuhá částice protáhne, a z jejího prodloužení lze spočítat její relativní deformaci. Kompozit jako celek se také protáhne o určitou hodnotu, toto protažení je možné změřit a spočítat z něj relativní deformaci kompozitu jako celku. Pro konstrukční účely je tato hodnota velmi důležitá, ve skutečnosti se ale žádná složka takto nedeformuje, jde jen o fiktivní hodnotu, kterou je nutné spočítat z deformací částice a matrice. [3]

### 1.3.2 Izotropie a anizotropie

U polymerních kompozitů s uspořádanými vlákny (skleněnými, uhlíkovými) se jejich tuhost nebo pevnost ve směru vláken a kolmo na ně výrazně liší, dokonce až o několik řádů. Proto je nutné s anizotropií u kompozitů vždy počítat. [3]

Základní rozdělení materiálů z hlediska symetrie jeho vlastností jsou:

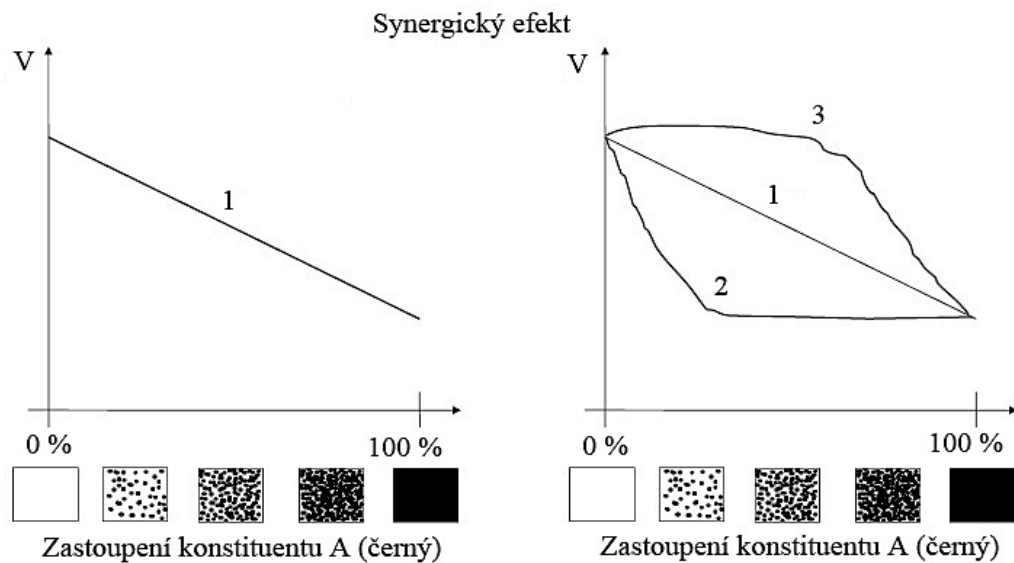
- 1) Izotropní materiál – má ve všech směrech stejné mechanické vlastnosti. Kdyby se nanasly vektory vlastností od počátku souřadného, tak by vznikla koule.
- 2) Anizotropní materiál – má vlastnosti v každém směru jiné a při nanesení jednotlivých vektorů vlastností od počátku souřadného systému by koncové body vytvořily obecnou plochu.
- 3) Kvaziizotropní materiál – má vlastnosti stejné ve směru tří základních os a jsou symetrické podle tří rovin tvořených těmito osami. Při nanesení vektorů vlastností od počátku souřadného systému, by koncové body vytvořily např. krychli.
- 4) Ortotropní materiál – má vlastnosti symetrické podle tří navzájem kolmých rovin. Ve třech kolmých směrech tvořených průsečnicemi těchto rovin (tzn. hlavní směry) má vlastnosti vzájemně různé, ale bez typických efektů anizotropie (např. při stlačení v tomto směru dojde jen k deformaci ve směru síly, ve všech ostatních směrech deformace nemá směr síly). Kdybychom nanasli na jednotlivé vektory vlastností od počátku souřadného systému, vytvořily by koncové body například kvádr.
- 5) Příčně izotropní materiál – je typický pro kompozity, má izotropní vlastnosti v určité rovině. Vlastnosti jsou symetrické podle této roviny a dvou rovin na ni i na sebe vzájemně kolmých. Průsečnice těchto dvou rovin je hlavní osa. Kdybychom nanasli jednotlivé vektory vlastností od počátku souřadného systému, vytvořily by koncové body rotační elipsoid. [3]

Pokud není kompozit příčně izotropní, je zpravidla zcela izotropní. Jiné případy anizotropie jsou u kompozitních materiálů výjimečné. [3]

### 1.3.3 Kompozitní působení

Jako kompozitní působení se označuje efekt, kdy dochází v kompozitu ke kombinaci pozitivních vlastností jeho složek tak, že celek přesahuje poměrný součet složek (synergický efekt).

U kompozitních materiálů je výhodné, aby byl tento jev co nejsilnější, a to především u těch vlastností, na které se kladou vyšší nároky. [3]



Obr. 1 Závislost hodnoty vlastnosti  $V$  (např. ohyb. tuhosti, pevnosti) materiálu složeného ze dvou konstituentů  $A$  a  $B$  na zastoupení konstituentu  $A$  [4]

Konstituent je společný název pro složku a fázi. Složka je chemická látka skládající soustavu. Soustavou zde rozumíme kompozitní materiál (složka je zde například netkaná textilie). Za fázi kompozitu označujeme odlišné struktury jedné složky, což je podobné Gibsově definici fáze jako homogenní části soustavy, oddělené hranicí od ostatních fází fázovým rozhraním.

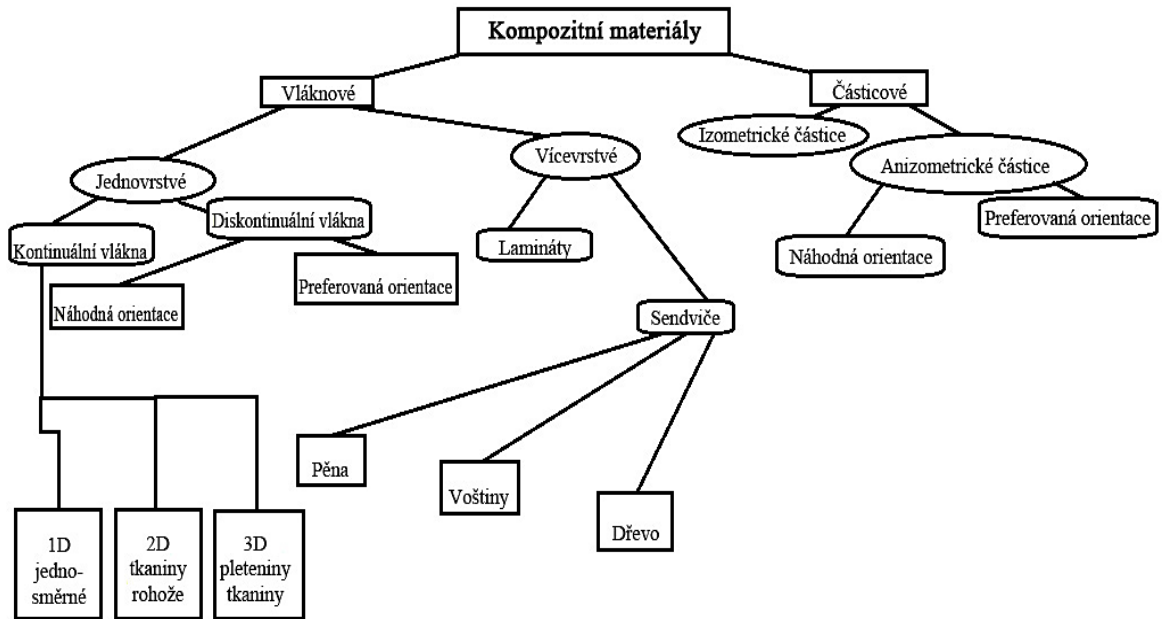
Pojmy složka a fáze můžeme chápat v termodynamickém smyslu, který je čtenáři znám z Gibsova zákona fází. [4]

#### 1.4 KLASIFIKACE KOMPOZITŮ

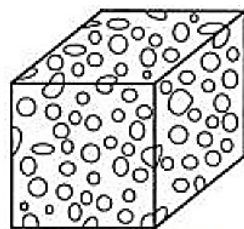
Většina doposud vyvinutých kompozitních materiálů je vyráběna za účelem zlepšení mechanických vlastností, jako je pevnost, tuhost, tažnost a žáruvzdornost. Je pak normální, že se společně studují kompozity, které mají jednotný mechanismus pevnostního chování. Tento mechanismus je velmi závislý na geometrii vyztužení. Proto je patřičné rozřadit kompozity dle geometrie reprezentativní jednotky vyztužení. Obrázek 2 představuje běžné přijaté klasifikační schéma pro kompozitní materiály. V této klasifikaci je rozlišovací charakteristikou částic v podstatě to, jestli je vláknová nebo není. Může být kulová, krychlová, čtyřstěnná, destičková nebo jiného pravidelného či nepravidelného tvaru, ale je přibližně rovnoosá. Vlákno je charakterizováno svou délkou, která je poměrně větší



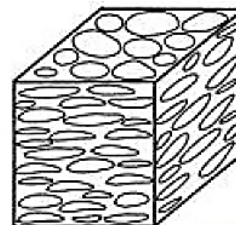
s porovnáním s jeho průřezovými rozměry. Kompozity vyztužené částicemi jsou též nazývány jako partikulové. Kompozity vyztužené vlákny se pak pochopitelně nazývají vláknové kompozity. [2]



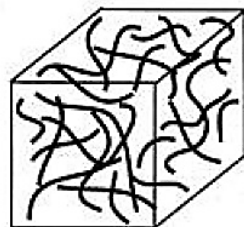
Obr. 2 Rozdělení kompozitních materiálů [5]



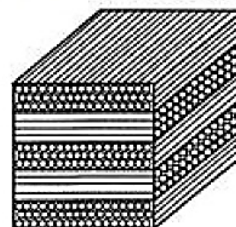
Zrnitý kompozit 3D



Zrnitý kompozit s usměrněnou strukturou 2,5D



Vláknitý kompozit bez orientace



Laminát

Obr. 3 Různé druhy kompozitů dle typu výztuže [4]

## 1.5 MATRICE

Spojité složka, která zastává funkci pojiva výztuže a chrání většinou křehká vlákna. Polymerní matrice jsou výrazně poddajnější než vlákna, pevnost v tahu je u všech matic menší, než je pevnost vláken (u polymerních matic až o dva řády).

Pro kompozitní materiály s kontinuálními vlákny se nejvíce používají reaktoplastické nebo termoplastické matrice. [3]

### 1.5.1 Reaktoplastické

U reaktoplastů je nutný proces vytvrzování. Je to proces, který vede k vytvoření prostorové makromolekuly s nekonečnou molární hmotností. Vytvrzování probíhá při určité teplotě rychlostí závislou na druhu pryskyřice a typu tvrdidla. Některé technologie vyžadují přídavek urychlovače, aby byla zkrácena doba vytvrzování za studena, naopak ve směsích pro způsob lisovací technologie (SMC) zase bývá inhibitor reakce pro prodloužení skladovací doby prepregu za normální teploty. [3]

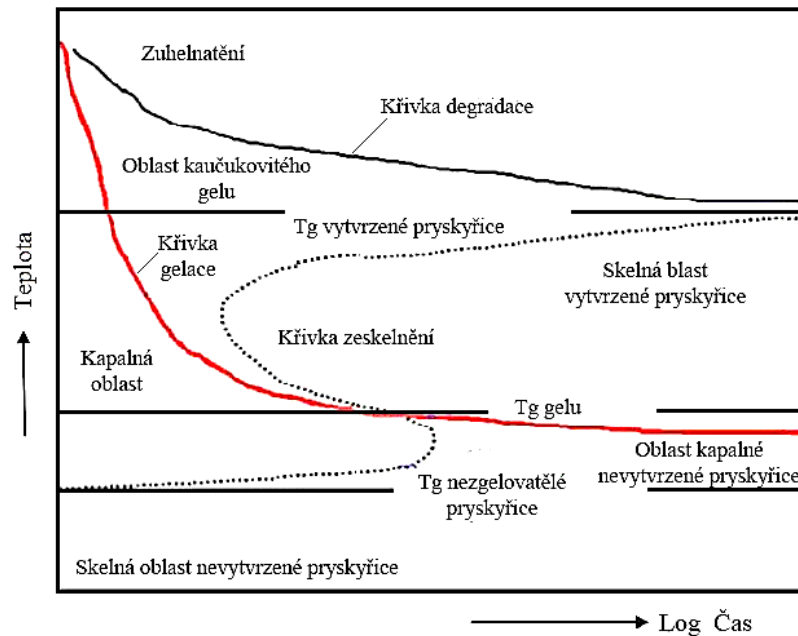


*Obr. 4 Polyesterová čirá pryskyřice POLYLITE [6]*

Velmi důležitou charakteristikou vytvrzovacího procesu je tzv. doba gelace (želatinace), po jejímž uplynutí se viskózní pryskyřice změní na elastickou tuhou hmotu s malým modulem pružnosti (kaučukovitého chování). Od tohoto okamžiku již pryskyřice ztrácí schopnost protékat a vzlínat mezi vlákny výztuže. Dobu gelace pro danou teplotu vytvrzování možno zjistit těmito metodami:

- Měřením dielektrických vlastností směsi pryskyřice-tvrdidlo. Ztráta hybnosti makromolekulárních řetězců se výrazně projeví na křivce dielektrických ztrát.

- Měřením změn mechanických ztrát u ultrazvukem rozkmitávané jehly, ponořené do aktivované pryskyřice (patent firmy RAPRA, UK).
- Hodnocením změn viskozity pryskyřice (bez rozpouštědla) znázornit v diagramu TTT (“Time-Temperature-Transformation”) viz obr. 5. [3]



Obr. 5 Diagram TTT [7]

### 1.5.2 Termoplastické

Kompozity s termoplastickou maticí se mohou dodatečně tvarovat nebo svařovat. Po ochlazení matrice jsou kompozity hotové k použití, dají se skladovat na neomezenou dobu, při zvýšené teplotě však změknou. Se sníženým obsahem vláken u kompozitu se zvyšuje sklon ke zkřivení.

Termoplastické matrice s kontinuálními vlákny poskytují oproti reaktoplastickým tyto výhody:

- pregregy mají neomezenou skladovací dobu
- při použití vhodných termoplastů má matrice výbornou chemickou odolnost, neabsorbuje vlhkost, oproti nemodifikovaným reaktoplastům a má velmi dobrou houževnatost
- výroba dílů tvarováním ohřátých desek je velmi produktivní, při spojování desek je nutno matici natavit, tuhnutí matrice závisí na rychlosti odvodu tepla

Jejich nevýhodou je nízká tepelná odolnost a výrazně nižší cena oproti reaktoplastickým. [3]

## 1.6 VÝZTUŽNÝ SYSTÉM

Hlavním úkolem výztuže v kompozitním materiálu je především zajistit mechanické vlastnosti materiálu, jako je tuhost a pevnost. Na výztuži však záleží i elektrické vlastnosti, a proto typ výztuže má klíčový vliv na vlastnosti profilu.

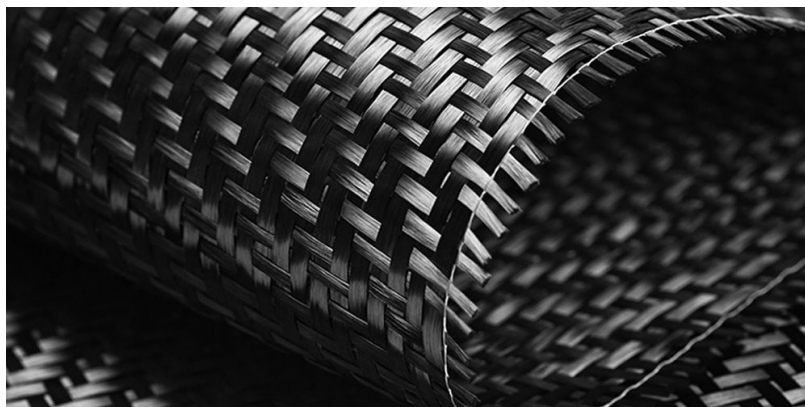
Konstrukční profily jsou často vystaveny zatížení, které působí kolmo k jejich délce. Tyto profily musí být schopné odolávat tahům a napětí vyvolaném při odstraňování šroubu atd. Proto se používá nejen jednosměrně orientovaný roving, ale také roving s příčně orientovanými vlákny. Je možné také použít rohože a tkaniny s různou orientací vláken. Rohože a tkaniny s orientací vláken mezi  $45^\circ$  a  $90^\circ$  zásadně zvyšují odolnost vůči napětí vyvolanému při odstraňování šroubů a zlepšují mechanické vlastnosti v příčném směru.

Běžně používaným typem výztuže je:

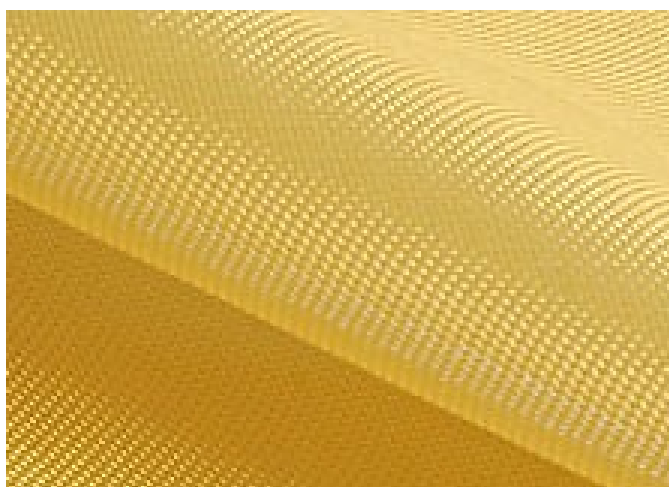
- a) skleněné vlákno-dodává kompozitu všeobecně dobré vlastnosti
- b) uhlíkové vlákno-přidává vysokou tuhost
- c) aramidové vlákno-zvyšuje odolnost proti rázům [8]



*Obr. 6 Skelná výztuž-rovingová tkanina [9]*



*Obr. 7 Uhlíkové vlákno [10]*



*Obr. 8 Aramidová tkanina [11]*

## 1.7 PRAKTICKÉ VYUŽITÍ KOMPOZITŮ

Nepochybná skutečnost, že kompozity představují nejefektivnější využití potenciálních možností hmoty, a tím maximalizaci energetických úspor nejen z hlediska materiálu, ale i z ohledu využívání konstrukce, se odráží v rychlém pronikání kompozitů do všech oborů hospodářství.

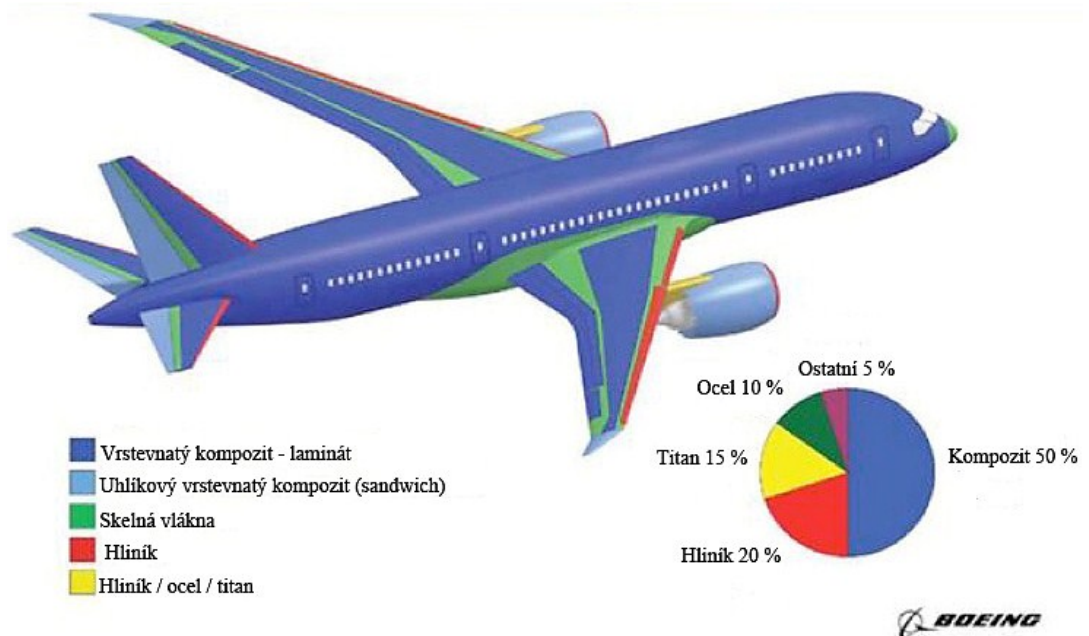
O největší pokrok v konstrukčním využití kompozitů (z velké části vláknového typu) se zasloužil jako obvykle letecký a kosmický průmysl, intenzivně sponzorovaný státními, téměř bezmeznými výdaji na „obranu“. Všeobecně použitelný technický přínos tohoto úsilí lze považovat pravděpodobně za jedinou přednost stále rostoucích výdajů na zbrojení v celém světě, vzbuzených „nezbytností inovace vojenské techniky“. [12]

- **Využití kompozitů u letadel**

První konstrukční komponenty letadla byly horizontální stabilizační plochy, použité v roce 1964 na americkém letadle F 111 (voštinové konstrukce). Umožnily redukci hmotnosti proti obdobným hliníkovým částem o 25 %. V r. 1970 byla navržena ocasní část z kompozitu epoxid-bórová vlákna u letadla F14; cena byla o dost vyšší než s použitím kovu, avšak využití bylo odůvodněno především nezbytností snížit váhu hlavně na konci letadla, kde je hmotnost kritická.

Použití vláknových kompozitů (s vlákny grafitovými a aramidovými) pro některé sekundární a primární části letadel se osvědčilo zejména tehdy, když se dosavadní voštinová (žebříková) struktura nosných částí nahradila integrálně prováděnou (vytvrzovanou) vnitřní částí pěnovkového typu a mechanicky kompaktním pláštěm, se zpevněnými místy největšího namáhání vhodnou vláknovou výztuží (hybridní systém). [12]

Na obrázku 9 vidíme leteckou aplikaci vláknových kompozitů. Za povšimnutí stojí fakt, že kompozitní díly tvoří procentuálně největší podíl na součástech letadla.



Obr. 9 Kompozitní díly Boeingu 787 [13]

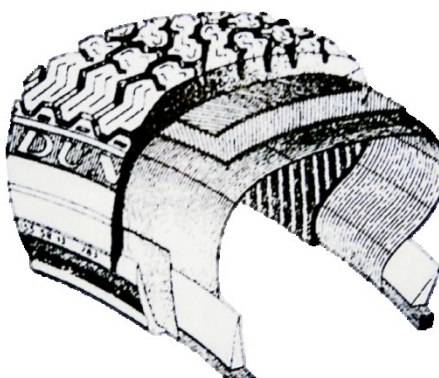
- **Využití kompozitních materiálů v automobilovém průmyslu**

Využití vláknových kompozitů nejenom umožnilo rozvoj nejmodernější letecké a kosmické techniky, nýbrž přineslo vysoké energetické a materiálové úspory v různých sférách průmyslu. Například použitím epoxidu vyztuženého hliníkovými vlákny pro výrobu šestimístního vozu Ford (1979) se ušetřilo 565 kg, tj. 1/3 hmotnosti (na nahrazených dílech činí hmotnostní úspora až 70%). Uhlíkové kompozity jsou vhodné pro hnací hřídele automobilů, pro listové pružiny atd., s životností vyšší a s hmotností o 40 až 70 % menší než z oceli. Obrázek 10 popisuje použití uhlíkových vláken u karoserie automobilů. [12]



*Obr. 10 Použití uhlíkových vláken u pevné karoserie automobilů [14]*

Dále se pak vláknové kompozity hojně využívají dopravním průmyslu u běhounů moderních pneumatik, kde se ocelová vlákna nahrazují kevlarem. Ukázku vidíme na obr. 11.



*Obr. 11 Běhoun pneumatiky [12]*

- **Kompozity ve sportu, umění a stavebnictví**

Kromě sportovních předmětů (jízdní kola, lodě, lyže, rakety, golfové hole) se začaly vyrábět z kompozitů C-epoxy i housle, necitlivé na vlhkost, teplotu a na stárnutí, s vyšší tuhostí a asi se čtvrtinovou pracností. Tyto kompozity umožňují nejen dosáhnout optimálního tvaru, ale mají i podstatně příznivější dynamické chování (zejména vyšší tlumení), menší dotvarování (to umožňuje použití i pro přesné obráběcí stroje) a vysokou chemickou odolnost, ale poskytují také výraznou úsporu ceny a vložené energie.

Lze očekávat podobný vývoj i pro jiné konstrukce, např. stavebnictví uplatníme-li analogický přístup. Navíc zvýšení objemu výroby jednotlivých kompozitů dále sníží jejich ceny, čímž bude zvýrazněna i ekonomická výhodnost proti tradičním konstrukcím z homogenních materiálů. Na obrázku 12, 13 a 14 vidíme použití uhlíkových vláken vrstveného kompozitu ve sportu, a také použití ve stavebnictví v podobě armatur. [12]

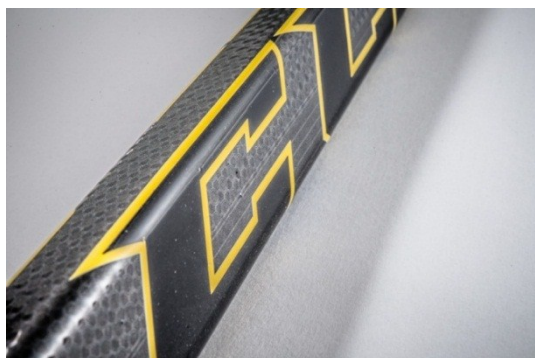


*Obr. 12 Karbonový rám jízdního kola [15]*





*Obr. 13 Golfová hůl tvořená kombinací titanu a sedmivrstvého karbonového kompozitu [16]*



*Obr. 14 Hokejová hůl značky CCM z karbonových vláken [17]*



*Obr. 15 Kompozitní armatury [18]*

## 2 SPOJOVÁNÍ KOMPOZITNÍCH MATERIÁLŮ

U kompozitních soustav je důležité spojování, které většinou hraje rozhodující faktor při návrhu a využívání konstrukce. Trvanlivost a kvalita spoje závisí do velké míry na úpravě povrchů před spojováním (stejně jako u spojů homogenních materiálů), na technologii, podmínkách okolí a na typu zatížení. Obvykle nestačí pro hodnocení spoje statické zatížení, a to ani jako kvalitativní ukazatel; rovněž vliv frekvence i prostředí je pro různé spoje velmi odlišný. Je tedy nezbytné podrobit zkušební elementy vždy zatížení typickému pro běžné provozní podmínky, pokud chceme získat opodstatněnou představu o skutečné životnosti spoje. [19]

### 2.1 NEROZEBÍRATELNÉ SPOJE

#### 2.1.1 Součásti spojené lepením

Pro konstruktéra má lepení jako vytváření spojů mnoho výhod. Lepené spoje jsou na rozdíl od nýtových nebo šroubových spojů nepropustné pro kapaliny. Lepením se nenarušuje hladkost povrchu, a tím pádem ani estetický vzhled výrobku. Nezhoršují se ani mechanické vlastnosti konstrukčního materiálu vrtáním otvorů pro spojovací prvky. Při dynamickém namáhání konstrukce rozvádí lepený spoj vzniklé pnutí daleko více rovnoměrněji, než jakýkoliv jiný mechanický spoj.

Vývoj moderních syntetických lepidel vyřešil řadu problémů, souvisejících se zpracováním plastických hmot. Zprostředkoval vrstvit klasické materiály-dřevo, textil, kovy atd. Pomocí lepených spojů se dají zhotovovat antikorozi obklady, trubkové spoje, sendvičové konstrukce nebo i velkoplošné panely.

Teoretické předpoklady adheze lepidla k podkladu a jeho vlastní koheze jsou předmětem stálé pozornosti. Základním předpokladem k tomu, aby se mohly uplatnit adhezní síly, je především dokonalý styk lepidla s povrchem lepeného materiálu. Říkáme, že lepidlo musí povrch smáčet, což úzce souvisí s různými faktory, např. s čistotou povrchu, povrchovým napětím roztoků, jejich viskozitou atd. [20]

##### 2.1.1.1 Polarita

Vliv polarity lepených hmot je zvláště důležitý u lepení plastických hmot.

Plastické hmoty lze podle polarity rozdělit do tří základních skupin:

- 1) Slabě až středně polární hmoty-patří tady polyestery, fenoplasty, aminoplasty, epoxidové hmoty, celuloidy, polyvinylchlorid, polymethylmetakrylát. Jsou lepitelné polárními lepidly stejného původu jako lepená hmota.
- 2) Silně polární hmoty-sem patří polyamidy, hydratovaná celulóza, a některé z polyuretanových hmot. Lepí se hůře než hmoty slabě polární.
- 3) Některé nepolární hmoty-například polyetylén, polypropylén, polytetrafluoretylén a vysokomolekulární polyizobutylén. Tyto hmoty jsou velmi obtížně lepitelné, dokonce i nelepitelné. [20]

### 2.1.1.2 Rozdělení lepidel

- Podle složení:
  - jednosložková lepidla-lepidla smíchaná s ředidlem, k vytvrzení dochází na vzduchu po odpaření ředidla, případně odebráním kyslíku, vlhkosti vzduchu či teplem, lepicí plochy se mohou spojit až po zaschnutí lepicího filmu.
  - dvousložková-ty působí po smíchání dvou složek (lepidla a tužidla), následuje rychlá reakce, směs nutno zpracovat během předepsané doby.
- Podle teploty zpracování:
  - lepidla tuhnoucí za studena-jsou schopny vytvrzení díky chemické reakci za pokojové teploty (20 °C), doba vytvrzení je podle druhu 5 sekund až několik dní.
  - lepidla tuhnoucí zatepla-vytvrdnou při zahřátí na 150 °C až 250 °C během 5 minut až několika hodin. [20]

### 2.1.1.3 Druhy lepidel

#### A. Epoxidová konstrukční lepidla

Jsou charakteristická vysokou mechanickou pevností a chemickou a teplotní odolností. Jsou vhodná především pro pevné konstrukční spoje. Doporučeno je lepení kovů (ocel, hliník), kompozitních materiálů, skla, betonu, dřeva apod. [21]



Obr. 16 Epoxidové konstrukční lepidlo Adekit A130 [21]

#### B. Polyuretanová elastická lepidla

Dvoukomponentní polyuretany jsou určeny především pro elastické spoje, kde je očekávána odolnost proti různému teplotnímu roztažení lepených substrátů. Disponují vysokou roztažností (řádově desítky až stovky procent). Vynikají taktéž dobrou odolností proti vibracím. [21]



Obr. 17 Nanášení polyuretanového lepidla [21]

#### C. Metakrylátová lepidla

Metakrylátová lepidla jsou vynikajícím doplňkem k standartním epoxidovým a polyuretanovým lepidlům a využívají se hlavně pro lepení kovů (hliník, ocel, galvanizovaná ocel, nerez), kompozitů (lamináty), termosetů a termoplastů (ABS, PMMA, RIM, polykarbonáty) pro vysokou pevnost spoje spojenou s odolností proti vibracím. Metakryláty nevyžadují použití primerů a rovněž tak příprava povrchu substrátů před lepením nemusí být dokonalá. Metakryláty se používají pro lepení v teplotních oblastech od -50 do +120 °C. [21]



Obr. 18 Metakrylátové lepidlo TE305 [22]

#### 2.1.1.4 Pružné lepení

Vysoce výkonná a spolehlivá metoda spojování komponentů. Je velmi mnoho používána v širokých oblastech průmyslové výroby a montáže.

Elastická lepidla umí tlumit nebo vyrovnávat dynamická napětí. Kromě svých elastických vlastností vykazují vysokou vnitřní kohezi a relativně vysoký modul, díky kterému jsou spoje velmi tuhé a současně mají elastické vlastnosti.

Konstrukční výhody: zvyšují odolnost proti dynamickému zatížení, zabraňují únavě materiálu a jeho poškození rovnoměrným přenosem napětí, vyrovnávají výrobní tolerance spojovaných součástí, tlumí rázy i vibrace. [23]



Obr. 19 Elastické lepidlo Sikabond T52 [24]

#### 2.1.2 Součásti spojené nýtováním

Pro nerozebíratelné spoje se může použít také metoda nýtování. Nýty mohou být různých rozměrů, tvarů i materiálů (většinou nerezové, hliníkové, mosazné i měděné). Pevnost nýtovaného spoje se zvyšuje slepením styčných ploch. Pro rozložení napětí po nýtování

se občas doporučuje použít podložky. Podobně jako u vrtání se i tady doporučuje použít o něco větší průměr nástroje, než je jmenovitý průměr nýtu. [19]

### 2.1.2.1 Postup při nýtování

Při nýtování zpravidla používáme kladivo, ocelovou podložku (případně kovadlinu), podpěrný hlavičkář a zatahovák, popřípadě nýtovací kleště. Takový běžný nýt a nýtovací kleště můžeme vidět na obrázku 20 a 21. Pro nýtování musí mít kladivo přiměřenou hmotnost. Nejprve se jím tluče na zatahovák, a následně se pěchuje část nýtu, vyčnívající z díry, přičemž se vykove přibližný tvar nýtové hlavy. Hlava nýtu se pak dokončí závěrným hlavičkářem.

K utěšňování nýtových spojů se používají tužlíky. Pokud je u hlavy nýtu otřep nebo výronek, odsekne se sekáčem, a pak se okraj hlavy zatlačí do lechu. Tupý břit tužlíku, na který se tluče kladivem, je přiměřeně zakřivený. Tužlík s přímým břitem se používá k tužení okrajů tlustších plechů, které se mírně kosí. [19]



Obr. 20 Běžný nýt s nýtovací hlavou [25]



Obr. 21 Nýtovací kleště [26]

### 2.1.2.2 Druhy spojovacích prvků při nýtování

- Rozpínací nýt: nýt s rozložením zátěže s pomocí čtyř křidélek k použití do měkkých, křehkých a obtížně zpracovatelných materiálů.

- Nýt LSR s rozložením zátěže: nýt s pomocí tří nožiček k použití do měkkých, křehkých a obtížně zpracovatelných materiálů a slouží k velkým upínacím plochám.
- Nýt pro automatizované systémy se zásobníky: velmi bezpečné výrobky, krátký pracovní cyklus.
- Nýtovací matice FASTEKS KD-TECH: technologie kontrolované deformace závěrné hlavy, extrémně odolné závity.
- Nýtovací matice JACK-NUT: matice do porézniých a měkkých materiálů, velká svíraná plocha. [27]



*Obr. 22 Klasická nýtovací matice otevřená s plochou hlavou [28]*

### 2.1.3 Termoplastické kompozity spojené svařováním

Charakteristickým znakem termoplastů je, že zatímco samotné řetězce drží pohromadě primární vazby (kovalentní), jednotlivé makromolekuly jsou vázány sekundárními vazbami a jejich vzájemné interakce jsou ve většině případů slabé, Van der Waalsovy síly, vodíkové můstky atd. Když jsou molekuly aktivovány teplem, tyto vazby jsou oslabeny, náčež materiál změkne a nakonec roztaje. Při zvýšení teploty nad hodnotu charakteristickou pro daný polymer a opětovným chlazením opět přejdou do tuhého skupenství. U semikrystalických polymerů PP, PE, PEEK, PA atd. je zpravidla touto teplotou teplota tání ( $T_m$ ) a u amorfniých polymerů jako PMMA, PS, PC atp. teplota skelného přechodu ( $T_g$ ).

Obecně platí, že  $T_m$  se zvyšuje s délkou řetězce, většími přitažlivými silami mezi molekulami, klesající pohyblivostí řetězce, zvyšující se tuhostí řetězce a rostoucí délkou řetězce. Krystalinita ovlivňuje vlastnosti polymerů, např. zvyšuje hustotu, pevnost, tuhost, odolnost proti tečení a odolnost vůči teplotě. Amorfni termoplasty naopak vykazují

dobrou tažnost, houževnatost, odolnost proti nárazu a jsou průhledné. Termoplasty mohou být dále klasifikovány podle jejich spotřeby na komoditní (PE, PP, PVC, PS), konstrukční (PA, PMMA, POM, PC, PPO, PPE, PET, PBT) a speciální (PSU, PPS, PTFE, PEEK, PEI, PAI, LCP).

Termoplastické polymerní matrice mohou viditelně redukovat cenu kompozitů (o 25 až 80 % proti reaktoplastickým), je to jeden z důvodů, proč je jim v poslední době věnována zvýšená pozornost. Cenové úspory jsou hlavně výsledkem snadnější výroby i složitých tvarů. Zpracování termoplastů je teoreticky jednodušší a rychlejší, protože mohou být vyrobeny během několika minut či dokonce sekund, kdežto výroba u reaktoplastů kvůli síťování trvá i hodiny. Přínosem je také zdravotní nezávadnost a nízká absorpce vlhkosti. Tepelně vodivé materiály s termoplastickou matricí běžně obsahují vhodná aditiva, která upravují tyto vlastnosti – UV stabilizace, odolnost vůči hoření nebo barvení. Rozsah použití je daný tepelnou odolností matrice. [29]

Svařování plastů je technologie spojování dílů z plastu za použití tepla či tlaku s přídatným materiálem nebo bez něho, přičemž se v svařovací zóně spojovaných ploch nachází materiál ve viskózně-tekutém stavu. Svařování plastů lze použít jen u termoplastů, které se dají přivedeným teplem převést do plastického, popř. tekutého stavu. Reaktoplasty nelze svařovat, jelikož po zpracování jsou dále netavitelné, nejdou převést do plastického stavu. Výhodné jsou termoplasty s rozsáhlou oblastí viskózního stavu (horní a spodní teplotou teploty tání, respektive teploty viskózního toku) a termoplastické hmoty s pozvolným přechodem do tekutého stavu, např. PVC, PP, PE, PS. Termoplasty se strmým přechodem, např. PA, jsou pro svařování méně vhodné. Ještě větší opatrnost je nutné dbát u termoplastů s tendencí k oxidaci za vysokých teplot, např. u POM. Při použití dvou různých typů plastů nebo např. u plněných plastů, a to jak u základního materiálu, tak i mezi přídatným a základním materiálem, je vhodné uvažovat s výrazným poklesem pevnosti svarového spoje. Tyto svarové spoje nemohou splňovat náročné podmínky, kladené na jejich pevnost a jsou určeny výhradně pro podřadné účely. Některé technologie svařování termoplastů najdeme na následující stránce v tabulce 1. [30]



Tab. 1 Technologie svařování termoplastů [31]

Druh plastu	Technologie svařování termoplastů				
	Horkým plynem	Topným tělesem	Třením	Ultrazvukem	Vysokofrekvenční
PE-Polyetylén	Dobrá	Dobrá	Dobrá	Omezená	Žádná
PP-Polypropylén	Dobrá	Dobrá	Dobrá	Omezená	Žádná
PVC- Polyvinilchlorid	Dobrá	Dobrá	Dobrá	Dobrá	Dobrá
PVC měkkčný	Omezená	Omezená	Žádná	Žádná	Dobrá
PS-Polystyren	Omezená	Dobrá		Dobrá	Žádná
PS houževnatý	Omezená	Dobrá		Dobrá	Žádná
ABS- Akrylonitrilbuta- dienstyren	Dobrá	Dobrá	Dobrá	Dobrá	Omezená
SAN- Styrenakryloni- tril	Dobrá	Dobrá	Dobrá	Dobrá	Omezená
PMMA- Polymethylme- takrylát	Dobrá	Omezená	Dobrá	Dobrá	Dobrá
PA-Polyamid	Omezená	Omezená	Dobrá	Omezená	Omezená
POM- Polyoxymetylen	Dobrá	Dobrá	Dobrá	Dobrá	Žádná
PC-Polykarbonát	Žádná	Žádná	Dobrá	Omezená	Omezená
PBTP- Polybutylénteref- talát	Omezená	Dobrá	Dobrá	Dobrá	
PPO- Polyfenylénoxid			Dobrá	Dobrá	
PS-Polysulfid			Dobrá	Dobrá	

PI-Polyimid	Žádná	Žádná	Žádná	Žádná	Žádná
PTFE-Polytetrafluóretylén	Žádná	Žádná	Žádná	Žádná	Žádná

## 2.2 ROZEBÍRATELNÉ SPOJE

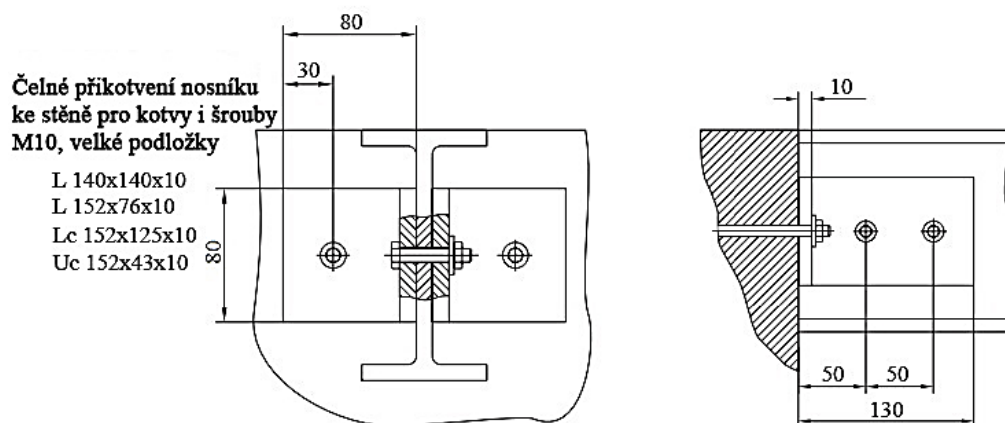
### 2.2.1 Spojování přes kompozitní prvky

PREFA KOMPOZITY a.s. Brno pro jimi vyráběné kompozitní profily spojované kompozitními spojovacími prvky, doporučuje následující předpisy pro poměr průměru díry pro šroub ke vzdálenosti os od hran: [19]

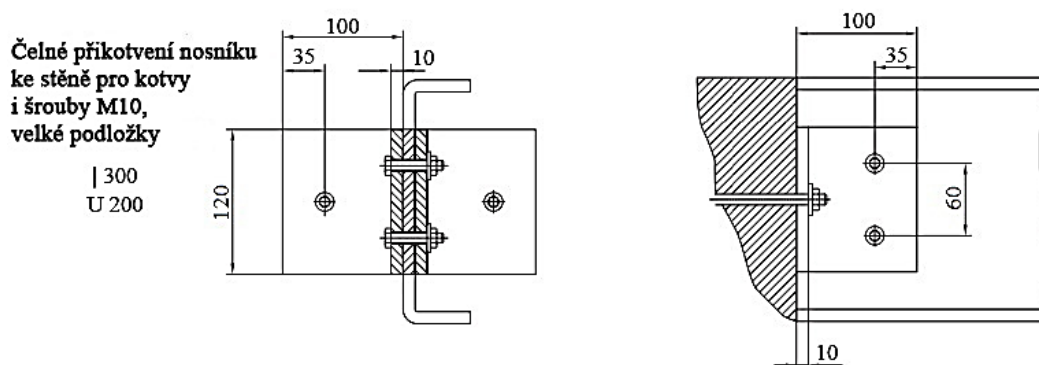
Tab. 2 Pravidla poměru u rozměrů spojovacích prvků [19]

Vzdálenost osy	Rozmezí	Optimální rozmezí	Šroub	Rozmezí	Optimální rozmezí
a) Vzdálenost osy díry šroubu od konce profilu	2,0-4,5	3,0	1 a)	20-45 mm	30 mm
b) Vzdálenost osy díry šroubu od boční hrany profilu	1,5-3,5	2,0	1 b)	15-35 mm	20 mm
c) Rozteč šroubů	4,0-5,0	5,0	1 c)	40-50 mm	50 mm
			2 a)	24-54 mm	36 mm
			2 b)	18-42 mm	24 mm
			2 c)	48-60 mm	60 mm

Kotvení standardních kompozitních nosníků PREFEN pomocí kompozitních spojovacích L-prvků je vyobrazeno na následujících obrázcích: [19]



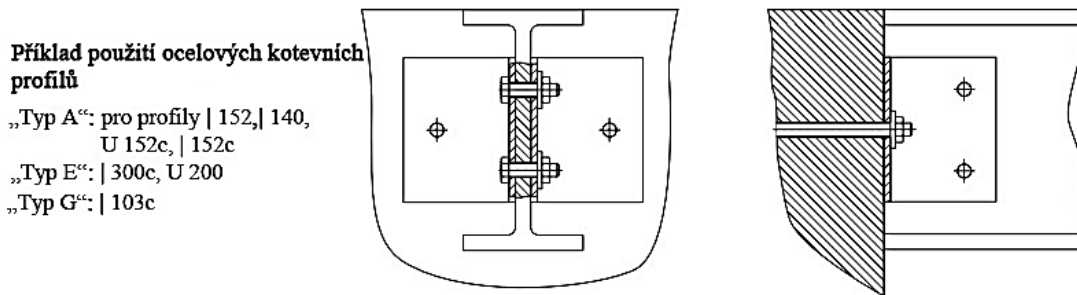
Obr. 23 Kotvení kompozitních nosníků PREFEN [19]



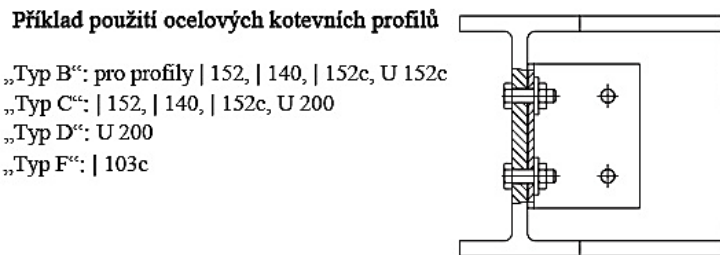
Obr. 24 Kotvení kompozitních nosníků PREFEN [19]

### 2.2.2 Spojování přes ocelové prvky

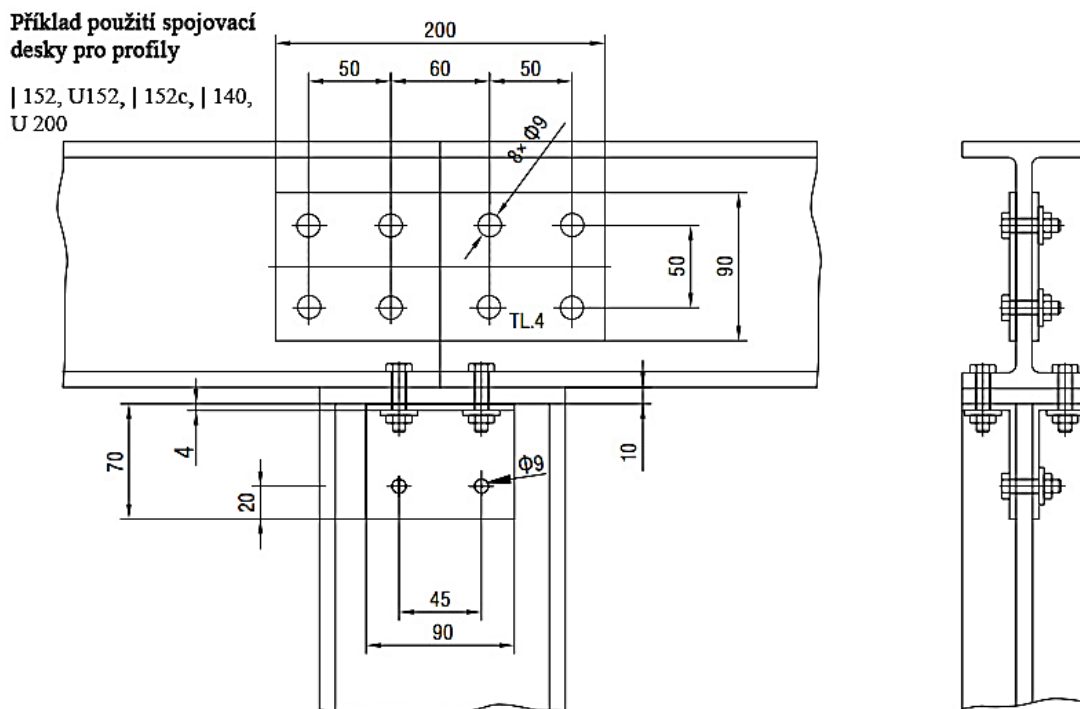
PREFA KOMPOZITY a.s. pro jimi vyráběné kompozitní profily spojované nerezovými prvky doporučuje pro standardní spojení nerez/kompozit-nerez používat pro spojování šrouby M8 a pružné podložky příslušné kvality a pro kotvení kotvy M12 mechanické nebo chemické náležité kvality. Výpočet a návrh kotev je uvedený v technické příručce „Ochranné zábradlí PREFASAF“ v části, která pojednává o kotvení sloupů pomocí ocelových patek. Používání spojovacích šroubů M8 je omezeno tloušťkou náležitého kompozitního profilu minimálně 10 mm. Pro malé tloušťky je nutné použít šrouby M10. Standardní provedení kotevních a spojovacích elementů je uvedeno na výkresu „Typové kotevní a spojovací profily“ a „Typová spojovací deska“. [19]



Obr. 25 Příklad použití ocelových kotevních profilů [19]



Obr. 26 Příklad použití ocelových kotevních profilů [19]



Obr. 27 Příklad použití spojovací desky pro profily [19]

### 2.2.3 Spojení závrtnými šrouby

Pokud není požadovaný přenos větších sil, může se zvolit způsob spojení pomocí samořezných šroubů. Do korozivního prostředí se mohou použít šrouby z nerezové oceli, popřípadě se hlavy šroubů ochrání vrstvou polyesteru nebo epoxidu.

Pozn.: Pro spojení kompozitů jsou klasické šrouby do dřeva nevhodné. [19]



*Obr. 28 Samořezné šrouby [32]*

#### **2.2.4 Spojení pomocí šroubů a matic**

Spojení konstrukčních částí z kompozitních materiálů pomocí šroubů a matic má několik benefitů (stejný technologický i montážní postup jako u klasických materiálů, snadná kontrola pevnosti spoje a možnost demontáže), ale také několik úskalí, kterých by se měl konstruktér vyvarovat. Jedná se zpravidla o pečlivé zvážení umístění děr pro šrouby, kde nesprávně navržené dimenzování, tj. nadměrná blízkost děr od hrany profilu, konce profilu, či rozteče děr pro šrouby může způsobit havárii konstrukce z důvodu vytržení části materiálu kompozitního profilu nebo enormního zvýšení smykových sil a následné delaminace. Doporučuje se také používání větších podložek pro zmenšení otláčení. [19]

#### **2.2.5 Závitové vložky**

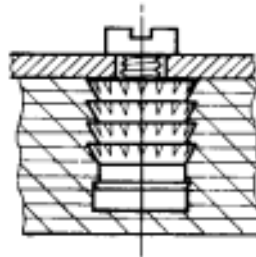
- Vložka TAPPEX MULTISERT: vtláčovací závitová vložka; bez hlavy nebo s hlavou; materiál mosaz [33]



*Obr. 29 Vložka MULTISERT bez hlavy [33]*



Obr. 30 Vložka MULTISERT s hlavou [33]

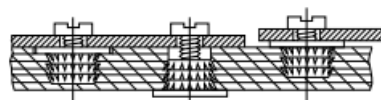


Obr. 31 Použití vložky TAPPEX MULTISERT [33]

- Vložka TAPPEX MICROBARB: vložka s mikrodrážkami; pro tenkostěnné materiály [33]



Obr. 32 Vložka MICROBARB s mikrodrážkami [33]

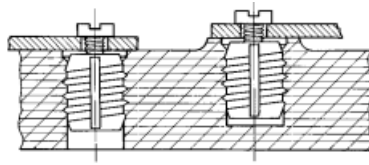


Obr. 33 Použití vložky TAPPEX MICROBARB [33]

- Vložka TAPPEX TRISERT: šroubovací závitová vložka; materiál mosaz, ocel, nerezová ocel [33]



Obr. 34 Vložka TRISERT šroubovací [33]



Obr. 35 Použití vložky TRISERT [33]

- Vložka TAPPEX HIMOULD: závitová vložka k zalití; vyšší svěrací síla; materiál mosaz [33]



Obr. 36 Závitová vložka typu HIMOULD [33]

- Vložka IN-STOP: závitová vložka rozpínací; materiál mosaz. [33]

### 2.2.6 Lisovací matice

- Matice FASTEKS+ FLEXINUT: tlumí nárazy a otřesy; materiál neopren, závitová vložka je z mosazi [32]



Obr. 37 Matice z neoprenové a mosazné části [34]

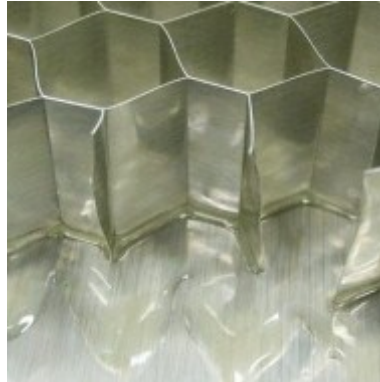
- Matice FASTEKS+: celokovové lisovací matice. [32]



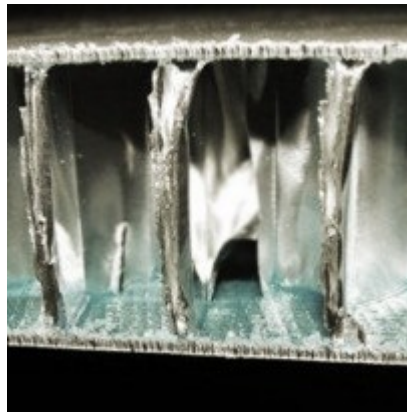
Obr. 38 Kovová lisovací matice FASTEKS+ [34]

### 2.3 SENDVIČOVÉ KONSTRUKCE

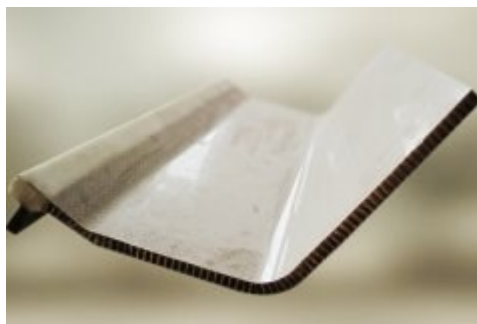
Sendviče jsou progresivní konstrukce s vysokou ohybovou pevností a tuhostí při nízké hmotnosti, ale mají i řadu dalších výhod. Uplatnění nacházejí nejen v letecké a dopravní technice, ale i v ostatních průmyslových odvětvích. [35]



*Obr. 39 Celohliníkový sendvičový panel [36]*



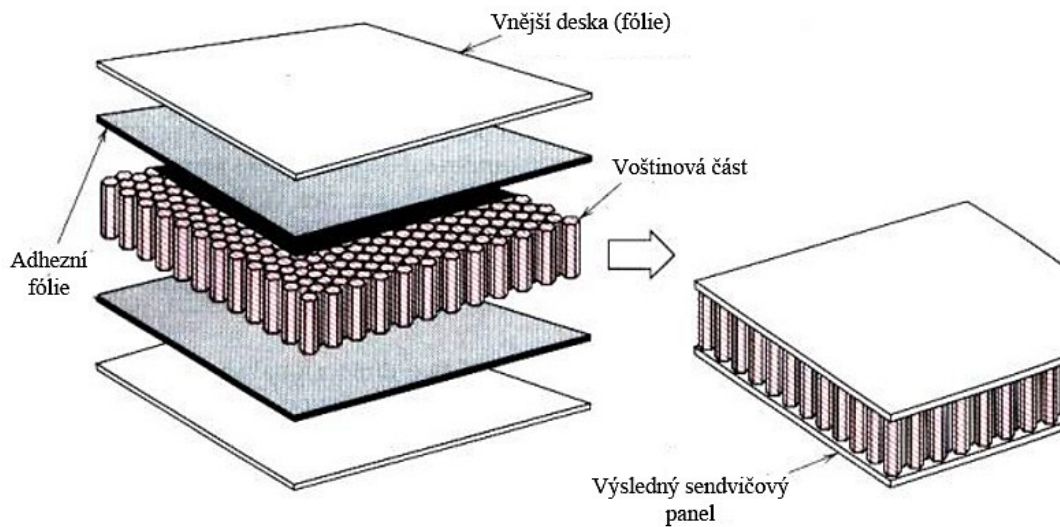
*Obr. 40 Řez celohliníkového panelu [36]*



*Obr. 41 Kompozitní sendvičový panel [36]*

Sendvičové konstrukce řadíme k vrstevnatým konstrukcím. Ty jsou tvořeny různými jednoduchými či složenými materiály odlišného charakteru vzájemně pevně spojenými. [35]





Obr. 42 Výroba sendvičové konstrukce [37]

### 2.3.1 Charakteristika

Efektivní struktura sendviče je taková, která je tvořena dvěma pevnými a tuhými potahy zatěžovanými tahovými a tlakovými silami a jádrem o relativně nízké hustotě přenášejícím smykové síly mezi potahy.

Sendvičové konstrukce se uplatňují převážně v letecké a dopravní technice, kde se využívá jejich hlavních předností, a to vysoké ohybové pevnosti a tuhosti při nízké hmotnosti. Sendviče však lze nalézt i v ostatních průmyslových odvětvích. Mezi další zajímavé výhody patří např. únavová odolnost, odolnost proti šíření trhlin, odolnost proti rázům, žáruvzdornost nebo akustická izolace. [35]

### 2.3.2 Konkrétní aplikace v praxi

Mezi konkrétní příklady můžeme zahrnout např. kryt podvozku letounu Aero Ae-270 (sendvič tvořený kompozitními potahy s uhlíkovými vlákny a pěnovým jádrem). [35]



Obr. 43 Letoun Aero Ae-270 [38]

Dále můžeme zmínit voštinová jádra z hliníkové voštiny, která byla použita pro sendvičové panely pro nízkopodlažní tramvaj Astra, kde hlavním požadavkem byla vysoká tuhost při nízké hmotnosti. Stejnou koncepcí disponují také rovinné desky pro holografické experimenty.

Další zajímavou aplikací jsou sendviče pro zdravotnická polohovatelná lůžka, která umožňují rentgenovat pacienta přímo na lůžku. Lůžko je tvořeno rámem, ke kterému jsou přišroubovány sendvičové desky. Hlavním požadavkem byl nízký koeficient útlumu pro rentgenové záření, při dostatečné ohybové pevnosti a tuhosti a zároveň nízké hmotnosti. [35]



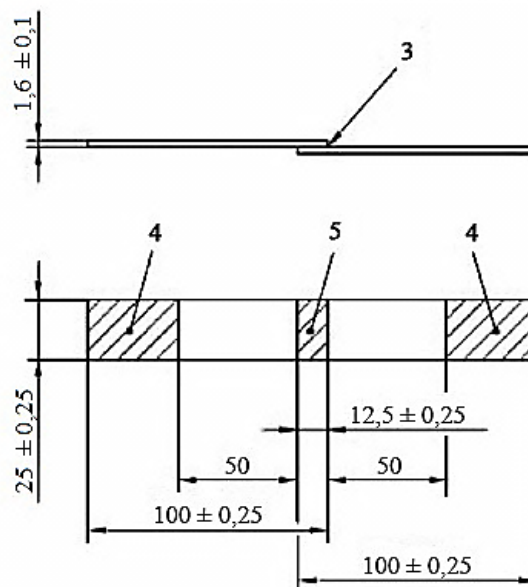
*Obr. 44 Polohovací lůžko Triton Plus [39]*

### 3 TESTOVÁNÍ SPOJŮ A ZKUŠEBNÍ ZAŘÍZENÍ

#### 3.1 Testování lepených spojů

##### 3.1.1 Zkouška smykové pevnosti

Podstata zkoušky se zakládá na stanovení smykového namáhání jednoduchého přeplátovaného spoje mezi tuhými adherendy, na které působí zatěžující tahová síla. Vyhodnocuje se síla potřebná k přetržení přeplátovaného spoje, popřípadě napětí. Zkušební těleso je upnuto v čelistech, které jsou umístěny symetricky. Působící síla je v rovině lepeného spoje. Zkouška probíhá tak, že se při konstantní rychlosti zatěžuje zkušební těleso až do okamžiku, kdy dojde k porušení a k jeho plastické deformaci. Tvar a rozměry zkušebního tělesa se řídí dle normy ČSN EN 1465. Nejvyšší síla se zaznamená a uvede se jako síla příslušná k deformaci příslušného tělesa. Pevnost ve smyku se udává v MPa. [35]



Obr. 45 Schématické znázornění lepeného přeplátovaného spoje dle ČSN EN 1465

(3 - vrstva lepidla, 4 - plocha pro čelisti zkušebního přístroje,  
5 - plocha smyku) [40]

##### 3.1.2 Smluvní diagram napětí – deformace

Závislost síla – prodloužení, získané na zkušebních tělesech různých velikostí, vyhotovených z jednoho druhu materiálu, je možné přepočítat na jedinou závislost smluvní napětí – poměrná deformace podle vztahů:

- Smluvní napětí:

$$R = \frac{F}{S_0} \text{ [MPa]} \quad (1)$$

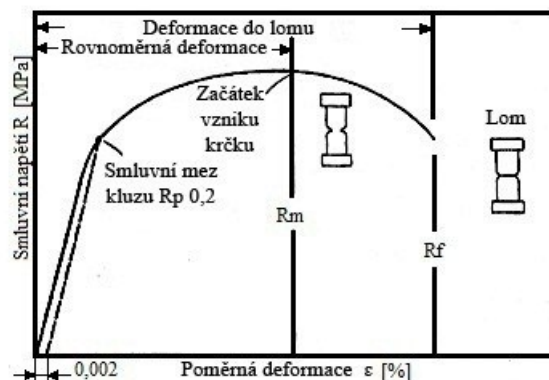
- Poměrná deformace:

$$\varepsilon = \frac{L-L_0}{L_0} \cdot 100 \text{ [%]} \quad (2)$$

$S_0$  – původní průřez tělesa,

$L_0$  – původní měrná délka zkušební tělesa,

$L - L_0$  – přírůstek délky tělesa. [35]



Obr. 46 Smluvní diagram napětí – deformace [35]

Počáteční úsek diagramu je přímkový a odpovídá elastické deformaci. V případě, že deformace je snímána snímačem umístěným na zkušebním tělese, pak tato přímka je přímo popsána Hookeovým zákonem  $\sigma = E \cdot \varepsilon$ , kde  $\varepsilon$  je modul pružnosti v tahu materiálu zkušební tyče. Pro spolehlivý výpočet modulu pružnosti  $E$  je nutné, aby zvětšení snímače bylo (500-1000) násobné. Je-li prodloužení zkušební tělesa odvozeno pouze z posuvu příčnicku zkušebního stroje, pak sklon počátečního úseku takového diagramu zahrnuje vedle elastické deformace zkušební tělesa i elastické deformace zkušebního stroje. Elastická deformace zkušebního stroje je řádově vyšší, proto nelze modul  $E$  vyhodnotit.

V další části diagramu napětí-deformace, dochází k odklonu od přímkové závislosti (v důsledku vzniku plastické deformace), přírůstek napětí v závislosti na deformaci postupně klesá až na nulovou hodnotu. Až do tohoto okamžiku se měrná část zkušební tyče

deformuje rovnoměrně (dochází k rovnoměrnému zužování průřezu). Další deformace je provázána poklesem napětí a vznikem krčku na měrné části tyče. V praxi se na základě průběhu závislosti smluvní napětí - poměrná deformace vyhodnocují dvě napěťové materiálové charakteristiky, smluvní mez pevnosti a mez kluzu. [35]

### 3.1.3 Aritmetický průměr

Střední hodnota (aritmetický průměr) je definován jako součet všech hodnot náhodné proměnné  $x_i$  dělený počtem hodnot  $n$ . Vypočtený průměr pak udává, jaká stejná část z úhrnu hodnot sledované číselné proměnné připadá na jednu jednotku souboru. [35]

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (3)$$

### 3.1.4 Směrodatná odchylka

Je definována jako kladná odmocnina výběrového rozptylu. [35]

$$s = \sqrt{s^2} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (4)$$

### 3.1.5 Výpočet pevnosti přeplátovaného spoje ve smyku

Stejně jako u jiných metod spojování materiálů, je možné také u lepení vypočítat smykovou pevnost tohoto spoje. Pro výpočet smluvní hodnoty pevnosti ve smyku lepeného přeplátovaného adherendu při namáhání lze použít vztah: [41]

$$R_{ms} = \frac{F_{max}}{b_0 \cdot l_0} \quad (5)$$

kde

$R_{ms}$  – smluvní pevnost lepeného spoje ve smyku [MPa],

$F_{max}$  – síla potřebná k deformaci zkušebního tělesa [N],

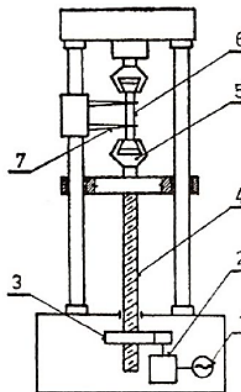
$b_0$  – původní šířka spoje [mm],

$l_0$  – původní délka spoje [mm]. [41]

### 3.2 Zkušební zařízení

Zkouška tahem se provádí na vhodném zkušebním přístroji. Ten může být jak jednoúčelový, tak i univerzální. Na univerzálním zařízení se dá pochopitelně provádět několik druhů mechanických zkoušek.

Stroj je tvořen pevným rámem, upínacím ústrojím (5), do nějž je upnuto zkušební těleso (6), a zatěžovacím ústrojím sestávajícím z pohybového šroubu (4), ozubeného kola s maticí (3), převodovky (2) a elektromotoru (1). Deformaci zkušebního vzorku zaznamenává snímač prodloužení (7). [42]

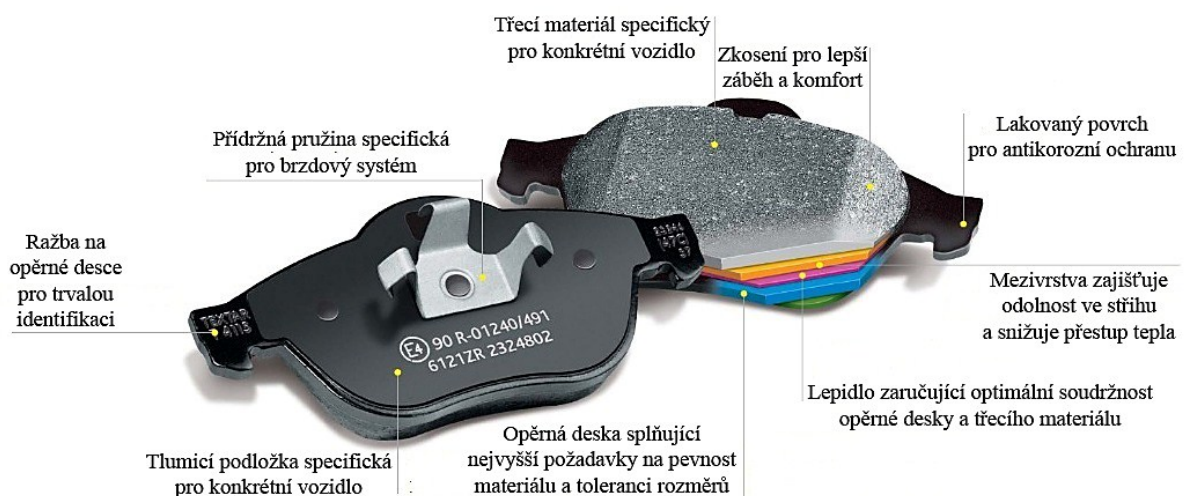


Obr. 47 Univerzální mechanický zkušební stroj [42]

## 4 NÁVRH SPOJE PRO APLIKACI V PRAXI

### 4.1 Brzdová destička automobilu

Na následujícím obrázku máme brzdovou destičku TEXTAR, složenou z několika vrstev o různých materiálech. Každá vrstva přispívá určitým podílem na správnou funkčnost, brzdný účinek a také k optimální životnosti destičky, což souvisí např. s odvodem tepla či nečistot z funkční části destičky.



Obr. 48 Brzdová destička od výrobce TEXTAR [43]

### 4.2 Komponenty brzdové destičky

#### 4.2.1 Třecí materiály

Třecí materiál je používán pro poskytnutí brzdného účinku, je-li třen proti jinému materiálu. Prvními materiály byly tradičně bavlna, konopí a dřevo třené proti dřevěnému či železnému kolu. Brzdový materiál musí splňovat to, co se od něj očekává. To může být ovlivněno použitím materiálu s vysokým součinitelem tření nebo použitím velkých sil ve formě páky, posilovače brzdného účinku nebo více diskových kotoučových brzd. [44]

Nejprve se zváží správný součinitel tření. Ten se musí rovnat navrhovanému součiniteli na osu automobilu, kvůli zajištění výkonu brzd v rovnováze s ostatními osami.

Hlavní prvky u třecího materiálu jsou:

- Prskyřice,
- Vlákna,
- Lubrikanty,

- Plnidla,
- Brusidla. [44]

Všechny třecí materiály by měly mít stálý součinitel tření v projektovaných mezích maximální rychlosti vozu, použití tlaků požadovaných při maximálním brzdění a maximální teploty disku předvídané v nejhroších situacích, např. při nejvyšším zatížení vozidla a prudkém brzdění.

Při vývoji nového materiálu by mělo být zohledněno následující:

- Rychlost a váha vozu,
- Terénní a klimatické podmínky,
- Použití (pro účely taxi, obecné, soutěžní),
- Požadavky údržby,
- Tvrdost a stlačitelnost materiálu. [44]

Všechny materiály vybrané pro sekundární potřebu, pokud nejde o originální směs, jsou vybrány, aby byly co nejbližší originálu a vyhovovaly konstrukci vozu podle navrhovaných parametrů. [44]

#### 4.2.1.1 Typy třecího obložení dle struktury

Volba materiálu obložení závisí na strategii výrobce brzdových destiček. Některé materiály mají lepší třecí koeficient, jiné lépe roznášejí teplo, některé pískají.

Destičky se podle struktury třecího materiálu dělí na 4 základní typy:

- Semi-metallic: struktura třecího materiálu je ze 30 až 65 procent metalická. Zpravidla je tvořená směsí nasekané mědi, železného prachu a ocelové vlny smíchané s modifikátory tření. Brzdové destičky s touto směsí mají výbornou životnost a tepelnou vodivost. Bohužel více opotřebovávají brzdové kotouče a mohou být hlučné. Jejich účinnost je také snížena při nízkých teplotách. [45]





*Obr. 49 Brzdové obložení semi-metallic [45]*

- Non-asbestos: známé jako “NAO”, nebo také “organic”. Materiál těchto brzdových destiček je vyroben z vláken organických látek, jako je uhlík, guma, sklo, kevlar, s vysokou tepelnou odolností a různých plnidel. Jsou měkčí, než ostatní typy a méně hlučné, ale rychle se sjíždějí a hodně práší. [45]



*Obr. 50 Destička s třecím materiálem typu “NAO” [45]*

- Low metallic NAO: vyrobeny podobně jako “NAO” z organických látek, ale s příměsí od 10 do 30 procent mědi nebo ocelové vaty pro zvýšení tepelné vodivosti. V důsledku přidání kovového materiálu jsou hlučnější než “NAO”.
- Ceramic: třecí materiál je tvořen směsí keramických vláken a plnidel. Keramické brzdové destičky jsou většinou nejdražší. Jejich provoz je tichý, čistý, a přitom mají výborný brzdový účinek. [45]



*Obr. 51 Destička s keramickým třecím segmentem [45]*

### 4.2.2 Opěrná deska

Standardním materiálem opěrné desky je rovná měkká ocel, která má pro tento účel ideální vlastnosti. Tloušťka se pohybuje od klasických 3 mm na malých destičkách přes 6-7 mm pro lehké užitkové vozy, až po 10 mm u velkých průmyslových destiček. Rozměrové tolerance jsou 0,10-0,13 mm na šířku, aby umožnil brzdícímu třmenu vůli. Rovinnost je požadována do 0,15 mm, plochá až konvexní na brzdě straně (k třecímu materiálu).

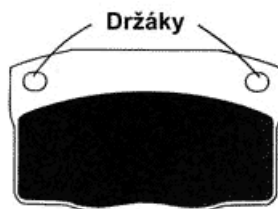
V některých případech (motocyklové závody) byly používány hliníkové slitiny. Hliníkové opěrné desky musí být silnější, aby poskytly žádoucí tuhost. Každý tvar je specifický, odpovídající tvaru třmenu a je výsledkem ustavičné potřeby vyvinout a zlepšit konstrukci tuhého protilehlého brzdového pístu, posun a pohyb destičky v plovoucím brzdovém třmenu. [44]



Obr. 52 Opěrná deska [44]

### 4.2.3 Držáky

Otvory v opěrné desce umožňují u některých typů správnou montáž brzdových destiček a fixaci v těle brzdě. Zajišťují též správné usazení a fixaci proti náhodnému uvolnění brzdové destičky. [44]

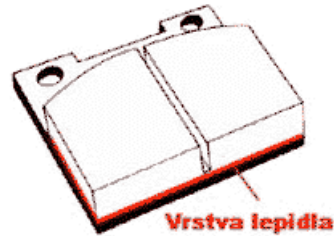


Obr. 53 Držáky pro montáž do těla brzdě [44]

## 4.3 Konstruktivní lepidla

Lepidla obecně jsou vytvrzující pryskyřice nebo guma, založené na slučitelnosti s komponenty brzdových materiálů. Lepidlo je aplikováno na destičku, která nese třecí

segment ve formě roztoku, založeném na ředidle či na vodě. Tato vrstva se nechá zaschnout v přesné vrstvě dříve, než plně vytvrdí. Vytvrzení zabraňuje měknutí lepidla, a tudíž musí být čas a teplota tvrzení přesně dodrženy. [44]



*Obr. 54 Vhodné lepidlo dle materiálů brzdové destičky [44]*

## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**

## 5 CÍL BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Cílem této práce bylo vypracovat literární rešerši v oblasti kompozitních materiálů, obeznámit čtenáře s jejich vlastnostmi, základního rozdělení kompozitů a jejich využití v praxi. Dále pak výběr vhodného spoje, testování a jeho využití v určité oblasti průmyslu.

- Literární rešerše v oblasti kompozitních materiálů, základy rozdělení, vlastnosti a využití,
- Spojování kompozitních součástí, volba spoje dle podmínek použití,
- Experimentální část, návrh vhodného spoje pro danou aplikaci,
- Experimentální zhotovení spoje a jeho testování,
- Vyhodnocení dosažených výsledků,
- Závěr bakalářské práce.

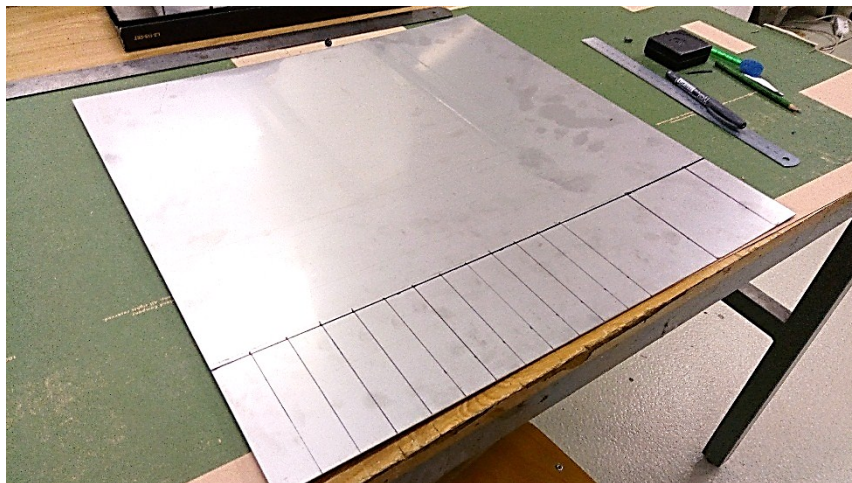
## 6 PŘÍPRAVA A ZHOTOVENÍ SPOJE

### 6.1 Zkušební vzorky

Výroba vzorků byla provedena v nástrojové a montážní hale firmy Mould & Matic Solutions s.r.o. a taktéž v dílenských prostorách UTB Fakulty Technologické budovy U5. ve Zlíně. Nerezové vzorky se stříhaly na tabulových nůžkách a vzorky z ploché ocelové tyče se řezaly na stolní pásové pile. K experimentu bylo připraveno 18 vzorků z nerezového materiálu a 18 vzorků z ocelové tyče. Kompozitní vzorky v počtu 36 kusů se nařezaly na stolní kotoučové pile. Dále následovalo upravení rozměrů na konzolové strojní frézce. Hrany se nakonec jemně opilovaly pilníkem. Tato korektura tvaru a rozměrů zkušebních těles se řídila dle normy ČSN EN 1465, která se vztahuje na zkoušení smykové pevnosti lepeného překlátovaného spoje.

#### 6.1.1 Nerezový plech válcovaný za studena (A)

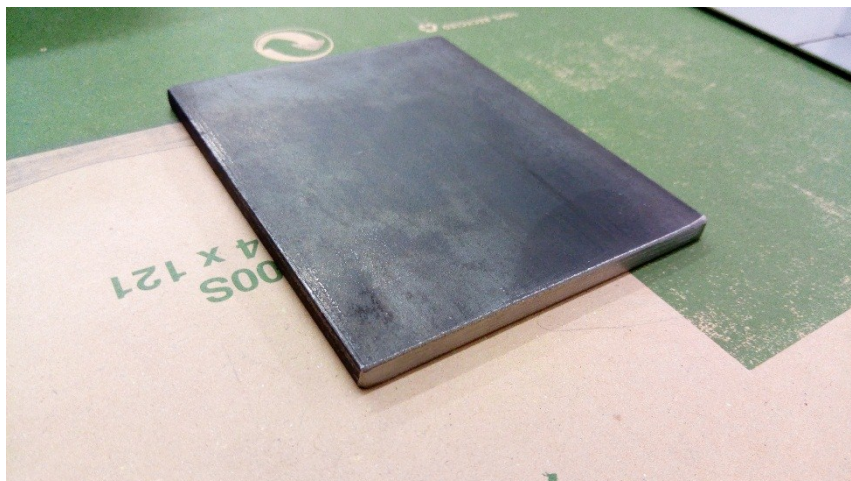
Materiál válcovaný dle normy ČSN EN ISO 9445-2, vyroben z oceli značky 1.4301+2R dle ČSN EN 10088-2. Rozměry plechu činí 1000x2000 mm o tloušťce 1,6 mm. K experimentu bylo připraveno 18 vzorků z tohoto nerezového materiálu.



*Obr. 55 Vzorky z nerezového plechu*

#### 6.1.2 Ocelová plochá tyč (B)

Materiál válcovaný za tepla dle normy ČSN EN 10058, vyroben z oceli značky 1.0038 dle ČSN EN 10025-2. Tyč je široká 100 mm a její tloušťka je 3 mm. Udávaná mezní úchylka šířky je  $\pm 1,5$  mm a mezní úchylka tloušťky  $\pm 0,5$  mm.



Obr. 56 Ocelová plochá tyč

### 6.1.3 Kompozitní vzorky

Tyto normalizované zkušební vzorky se vyráběly na fakultě technologické UTB ve Zlíně, v laboratoři mechanických zkoušek. Celý postup se řídil předepsaným způsobem, a to dle normy ČSN EN ISO 295 a ČSN EN ISO 293. V této laboratoři jsou vhodné výrobní podmínky (teplota, vlhkost) a také pomůcky (forma, nanášecí váleček, potřebný materiál atd.). Výroba zkušebních těles probíhala podle technologické operace, která se nazývá ruční laminace.

#### 6.1.3.1 Výroba kompozitních panelů pomocí ruční laminace

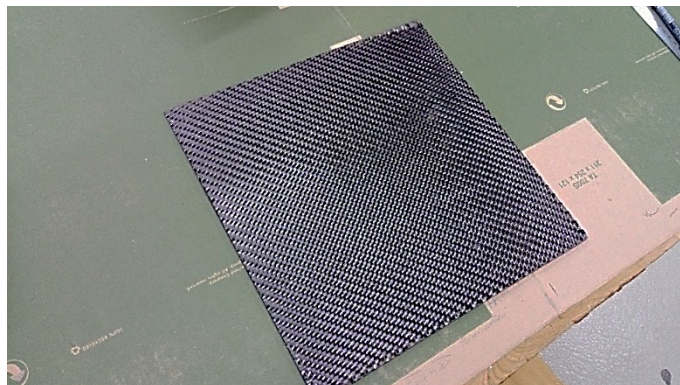
Výroba byla provedena ruční laminací. Jako pomůcky byly použity nůžky, svinovací metr a pravítko. Nejprve se nastříhaly z uhlíkového vláknového plátka výztuže o rozměrech 300x330 mm, zvolený počet výztuží byl 6 vrstev a tloušťka byla dána taktéž výrobou a činila 4,7 mm.

Dále byla odseparována forma voskem, tato operace se třikrát opakovala a čas mezi dalším nanesením vosku činil 10 minut. Mezitím se připravila směs epoxidové pryskyřice a tužidla v poměru 100:40, gramáž byla zvolena 500 g.

Na každou vrstvu plátka se nanoslo požadované množství připravené směsi válečkem, následně se přiložila další vrstva plátka a operace se opakovala až po poslední vrstvu. Doba následného vytvrzení ručně laminovaného výrobku byla 24 hodin.

Po uplynutí této doby se výrobek opatrně strhl ze skleněné formy a byl připraven k nařezání na požadované rozměry, určené normou ČSN EN 1465. Před přípravou samotných vzorků se upravila kompozitní deska tím, že se ořízly hrany na stolní kotoučové

pile, které měly vady a nerovnosti. Následně se z desky na pile nařezalo 36 stejných panelů.



*Obr. 57 Vyrobená kompozitní deska*

## 6.2 Příprava vzorků a lepení

### 6.2.1 Příprava vzorků

Vzorky se obrousily na brusném kotouči se smirkovým papírem zrnitosti 60. Zdrsnění se provedlo pouze na funkčních částech vzorků, tj. na jednom konci, kde vznikne následně přeplátovaný spoj dle ČSN EN 1465. Dále byly vzorky očištěny odmašťovačem Montage-Reiniger 3000 dle normy ČSN EN 13887.



*Obr. 58 Zdrsnění vzorků na brusném kotouči*

### 6.2.2 Lepení

Po určité době odvětrání asi 15 minut se vzorky následně lepily vybranými konstrukčními lepidly. Tloušťka lepidla se kontrolovala drátěnými rozpěrkami, které se vložily na lepenou plochu ve směru působení zatížení. Použitím rozpěrek jsme dosáhli konstantní vrstvy lepidla po celé lepené ploše adherendu. Zde jsme se taktéž řídili dle normy ČSN EN 1465.



Nakonec se vzorky vložily do malých svorkovnic a zlehka zatížily. Nejdelší doba vytvrzování činila 24 hodin.



Obr. 59 Zatížené vzorky po lepení

## 6.3 Použité tkaniny a pryskyřice

### 6.3.1 Tkanina z uhlíkových vláken toolcraft

Tato tkanina je vhodná pro nosné prvky v leteckém průmyslu, taktéž velmi používaná v automobilovém průmyslu a také v oblasti sportu při opravách sportovního náčiní. Svou pevností převyšují většinu kovů, zvládá vysoké teplotní zatížení. Další předností je malá tažnost, hmotnost, a především vysoká pevnost v tahu.

Technické parametry produktu:

- Množství 0,5 m<sup>2</sup>,
- Měrná hmotnost 245 g/m<sup>2</sup>,
- Délka 1 m,
- Šířka 0,5 m.

### 6.3.2 Epoxidová pryskyřice HAVEL Composites L 285 MGS

Pryskyřice o velmi vysoké kvalitě především pro letecký průmysl a pro modely. Pryskyřice s tužidlem vytváří velmi viskózní směs a díky tomu jsou vlákna rychle a kvalitně prosycena. Díky tomu má výrobek podstatně nižší hmotnost a vyšší užitkovou hodnotu. Doporučené tužidlo k této pryskyřici udává stejný výrobce např. tužidlo H 500 s poměrem míchaní 100:40 váhově nebo 100:50 objemově. Doba zpracovatelnosti 100 g/25 °C je cca 10 minut. Jako další typy tužidel můžeme použít také H 285, H 286 nebo H 287. K probarvování je možné použít pigmentové pasty do epoxidů. Tužidla

lze před vmícháním do pryskyřice slévat a různě kombinovat a vytvořit si tak optimální dobu zpracovatelnosti pro daný výrobek.

### 6.3.3 Tužidlo HAVEL Composites H500 MGS

Tužidlo pro vytvrzování epoxidové pryskyřice L 285 (stejný výrobce). Poměr míchání činí 100:40 váhově a 100:50 objemově. Doba zpracovatelnosti je u 100 g/20 °C je 10-15 minut. Je to tužidlo pro rychlé vytvrzování i za nízkých teplot, již od +10 °C.

## 6.4 Použitá lepidla a odmašťovací prostředky

### 6.4.1 DUOFIX novatio

Transparentní rychle tvrdnoucí lepidlo na bázi epoxidu. Toto dvousložkové lepidlo je čiré barvy, výhodou je možnost přebarvení. DUOFIX novatio je vhodný pro opravárenství a údržbu, dobře lepí kov, sklo i kámen a také mnoho umělých hmot. Manipulační čas je 3-4 minuty. Ostatní technické parametry najdeme v příloze II.



Obr. 60 Konstrukční lepidlo DUOFIX

### 6.4.2 Cyberbond E 706

Dvousložkové epoxidové lepidlo čiré barvy, velmi rychle tvrdnoucí. Toto lepidlo je určené k lepení různých materiálů, jako např. kov, sklo, plasty, kámen, keramika, porcelán, dřevo apod. Doba funkčnosti je 3-5 minut a konečná doba pevnosti je po 10-15 minutách. Teplotní rozsah činí -40 až +90 °C. Předepsaný poměr míchání je 1:1. Smyková pevnost např. u hliníku/7 dní činí až 12 MPa, hustota lepidla je 1,16 g/cm<sup>3</sup>. Další technická data viz. příloha III.



Obr. 61 Lepidlo Cyberbond E706

#### 6.4.3 HF servis A5050

Dvousložkové vysokomolekulární metakrylové lepidlo s manipulační pevností mezi 5-6 minutami. Po vytvrzení lepidla získáme velmi pevný a houževnatý spoj. Charakteristické pro A5050 je velmi vysoká pevnost a teplotní odolnost. Disponuje také odolností proti loupání a rázovým šokům. Konečné vytvrzení je pouhých 6 hodin. Více technických dat viz. příloha IV.



Obr. 62 Metakrylové lepidlo A5050

#### 6.4.4 Odmašťovací prostředek Montage-Reiniger R 3000

Čisticí a odmašťovací sprej od výrobce MAKRA, rychle a účinně odstraňuje olej, šmír, tuky, maziva a zbytky lepidel. Tento přípravek je použitelný na většinu povrchů, rychle se odpařuje a nezanechává stopy. Vhodný je pro čištění brzd, motorů, spojek, převodovek, strojních částí. Tento typ odmašťovače je použitelný na kov, sklo, keramiku apod.



*Obr. 63 Odmašťovací prostředek MAKRA Montage-Reiniger R3000*

## 7 TESTOVÁNÍ SPOJE

### 7.1 Použité zařízení pro měření mechanických zkoušek

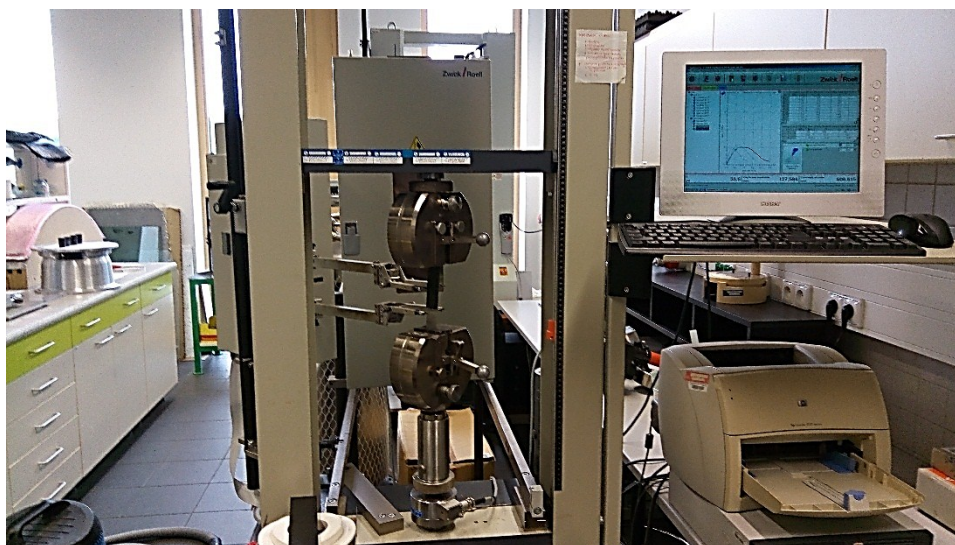
- **Univerzální zkušební stroj ZWICK 1465**

Zařízení určené pro mechanické zkoušení materiálu, kde se provádí zejména tahové a smykové zkoušky. Součástí zařízení je připojený extenzometr. Měření probíhalo za konstantní teploty laboratoře, která je udržována klimatizací a činila 23 °C. Relativní vlhkost vzduchu v laboratoři byla na úrovni 58 %.

Základní technické údaje zkušebního stroje ZWICK:

*Tab. 3 Technické údaje zařízení*

Snímače síly	2,5-20 kN
Max. posuv příčnicku	800 mm/min
Test Expert software	Tah, Tlak, Ohyb
Teplotní komora	-80/+250 °C



*Obr. 64 Zkušební stroj ZWICK 1465*

### 7.2 Zkouška smykové pevnosti

Pro tuto mechanickou zkoušku k testování lepených překládaných adherendů jsou vybrány 2 druhy kovového materiálu ve spojení se zkušebními kompozitními panely:

- Nerezový plech válcovaný za studena,
- Ocelová plochá tyč.

První spojení kov-kompozit bude označen zkratkou (AK) a druhá varianta spojení (BK).

Ke spojení již připravených kovových a kompozitních panelů máme k dispozici 3 druhy konstrukčních lepidel:

- HF servis A5050,
- DUOFIX novatio,
- Cyberbond E 706.

Pro zjednodušení jsou přiděleny zkratky také druhům lepidla, a to HF servis A5050 (X), DUOFIX novatio (Y), Cyberbond E 706 (Z).



*Obr. 65 Detail upnutého zkušebního adherendu v čelistech přístroje*

Prostřednictvím této mechanické zkoušky se bude zjišťovat pevnost lepeného spoje ve smyku při tahovém namáhání  $R_{ms}$  a síla potřebná k přetržení zkušebního tělesa  $F_{max}$ . Hodnota  $R_{ms}$  se dopočítá vhodným vztahem dle ČSN EN 1465.

Vzorky se rozdělí do 2 skupin, podle druhu lepeného kovového panelu s kompozitem. V každé skupině se použily 3 odlišná konstrukční lepidla. V obou skupinách se tudíž uplatnilo 18 vzorků, tj. 3 podskupiny (varianty) po 6 vzorcích:

1. skupina:

- Varianta AK-X,
- Varianta AK-Y,
- Varianta AK-Z.

2. skupina:

- Varianta BK-X,
- Varianta BK-Y,
- Varianta BK-Z.

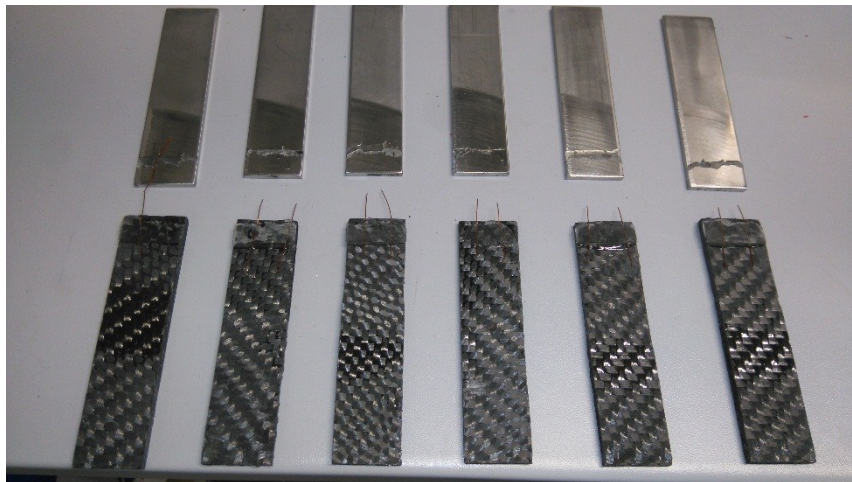
### 7.2.1 Varianta spojení AK-X

Tab. 4 Naměřené mechanické vlastnosti

č. vzorku	1	2	3	4	5	6
$F_{\max}$ (N)	4610	4660	5400	4570	3060	5270
$R_{ms}$ (MPa)	14,75	14,91	17,28	14,62	9,79	16,86

Tab. 5 Statistické hodnoty mechanických vlastností

skupina 1	$F_{\max}$	$R_{ms}$
n=6	N	MPa
$\bar{x}$	4590	14,7
s	832	2,66
v	18,1	18,12



Obr. 66 Vzorky skupiny AK-X po provedení smykové zkoušky

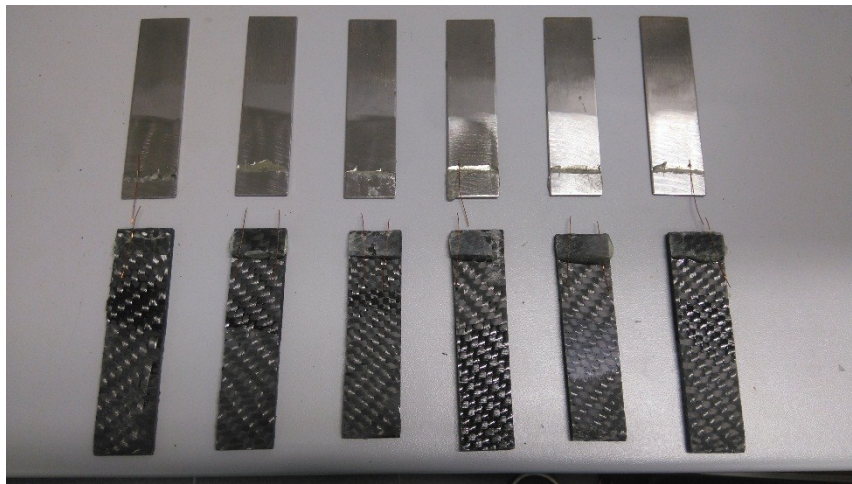
### 7.2.2 Varianta spojení AK-Y

Tab. 6 Naměřené mechanické vlastnosti

č. vzorku	1	2	3	4	5	6
$F_{\max}$ (N)	5600	2060	5300	3800	4600	4390
$R_{ms}$ (MPa)	17,92	6,59	16,96	12,16	14,72	14,05

Tab. 7 Statistické hodnoty mechanických vlastností

skupina 1	$F_{\max}$	$R_{ms}$
n=6	N	MPa
$\bar{x}$	4290	13,73
s	1270	4,06
v	29,58	29,58



Obr. 67 Vzorky skupiny AK-Y po provedení smykové zkoušky

### 7.2.3 Varianta spojení AK-Z

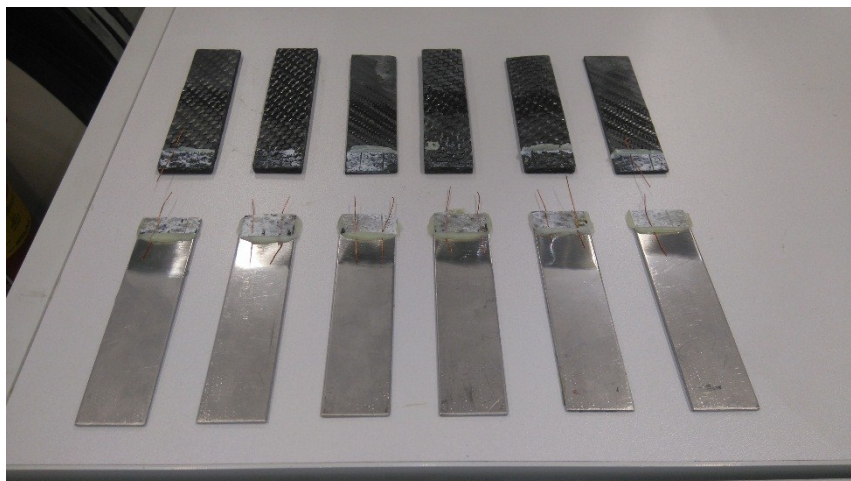
Tab. 8 Naměřené mechanické vlastnosti

č. vzorku	1	2	3	4	5	6
$F_{\max}$ (N)	2860	2980	2290	2220	2170	4520
$R_{ms}$ (MPa)	9,15	9,54	7,33	7,1	6,94	14,46

Tab. 9 Statistické hodnoty mechanických vlastností

skupina 1	$F_{\max}$	$R_{ms}$
n=6	N	MPa
$\bar{x}$	2840	9,09
s	891	2,85
v	31,4	31,41





Obr. 68 Vzorky skupiny AK-Z po provedení smykové zkoušky

#### 7.2.4 Varianta spojení BK-X

Tab. 10 Naměřené mechanické vlastnosti

č. vzorku	1	2	3	4	5	6
$F_{\max}$ (N)	4340	4060	3190	2610	2130	2370
$R_{\text{ms}}$ (MPa)	13,89	12,99	10,21	8,35	6,82	7,58

Tab. 11 Statistické hodnoty mechanických vlastností

skupina 1	$F_{\max}$	$R_{\text{ms}}$
n=6	N	MPa
$\bar{x}$	3120	9,97
s	914	2,93
v	29,31	29,34



Obr. 69 Vzorky skupiny BK-X po provedení smykové zkoušky

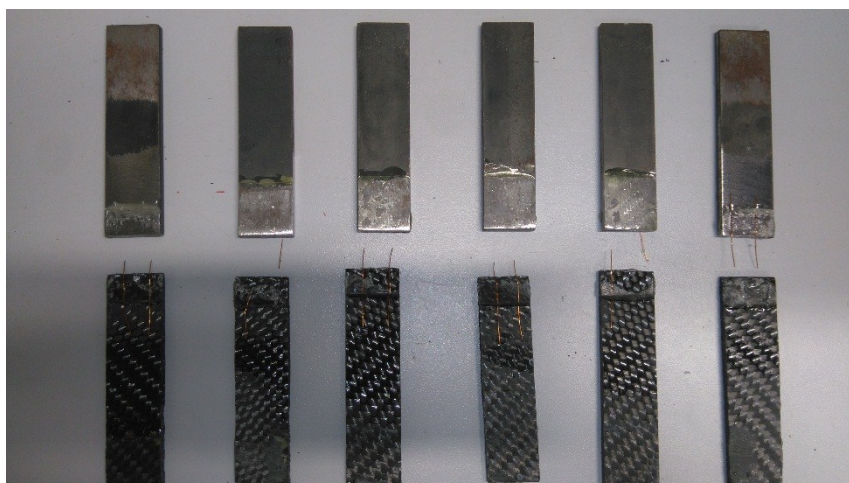
### 7.2.5 Varianta spojení BK-Y

Tab. 12 Naměřené mechanické vlastnosti

č. vzorku	1	2	3	4	5	6
$F_{\max}$ (N)	2380	1960	1950	2100	1290	2950
$R_{ms}$ (MPa)	7,62	6,27	6,24	6,72	4,13	9,44

Tab. 13 Statistické hodnoty mechanických vlastností

skupina 1	$F_{\max}$	$R_{ms}$
n=6	N	MPa
$\bar{x}$	2110	6,74
s	549	1,75
v	26,05	26,01



Obr. 70 Vzorky skupiny BK-Y po provedení smykové zkoušky

### 7.2.6 Varianta spojení BK-Z

Tab. 14 Naměřené mechanické vlastnosti

č. vzorku	1	2	3	4	5	6
$F_{\max}$ (N)	1210	1300	3260	2300	1530	1200
$R_{ms}$ (MPa)	3,87	4,16	10,43	7,36	4,9	3,84

Tab. 15 Statistické hodnoty mechanických vlastností

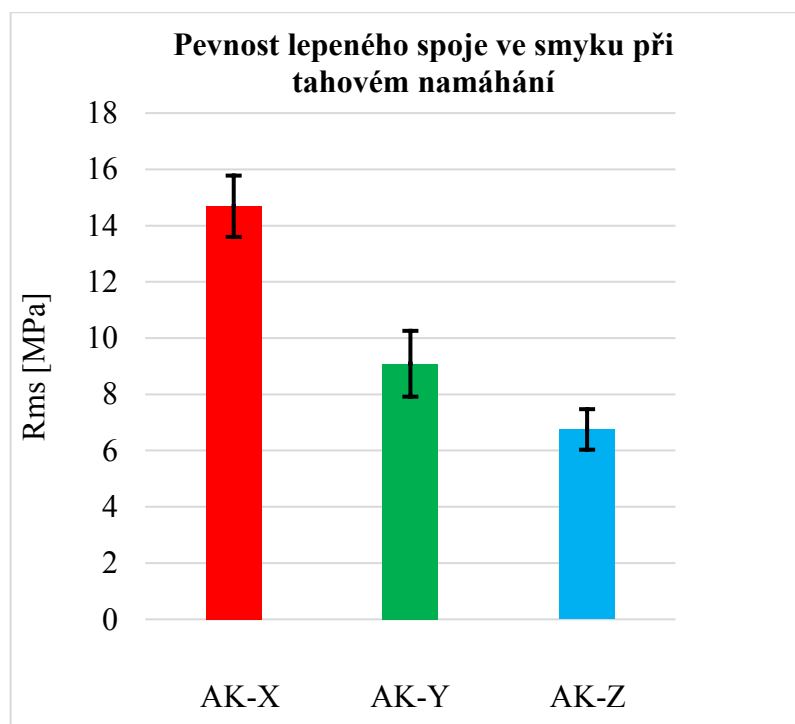
skupina 1	$F_{\max}$	$R_{ms}$
n=6	N	MPa
$\bar{x}$	1800	5,76
s	825	2,64
v	45,89	45,89



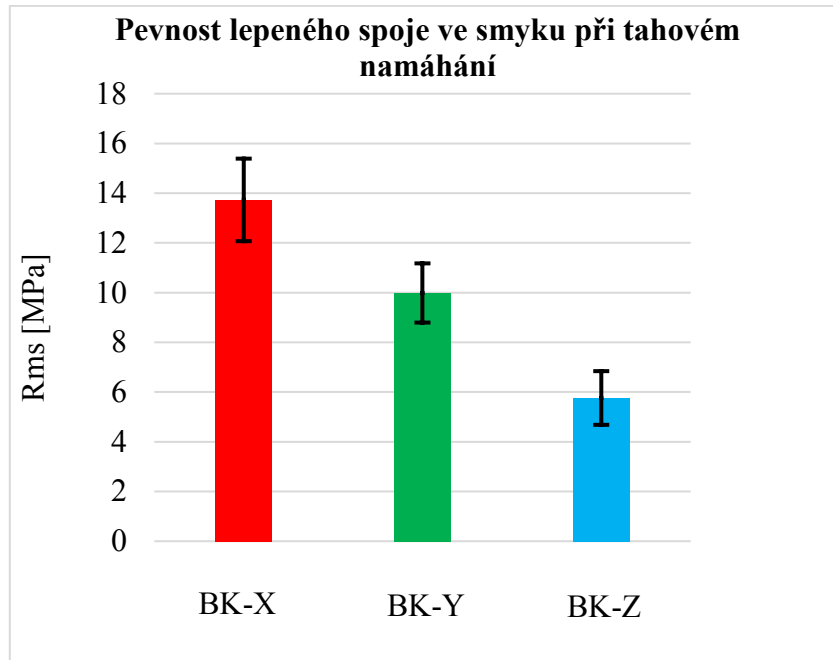
Obr. 71 Vzorky skupiny BK-Z po provedení smykové zkoušky

### 7.3 Porovnání hodnot zkoušky pevnosti ve smyku

#### 7.3.1 Znázornění hodnot pevnosti lepeného spoje ve smyku při tahovém namáhání



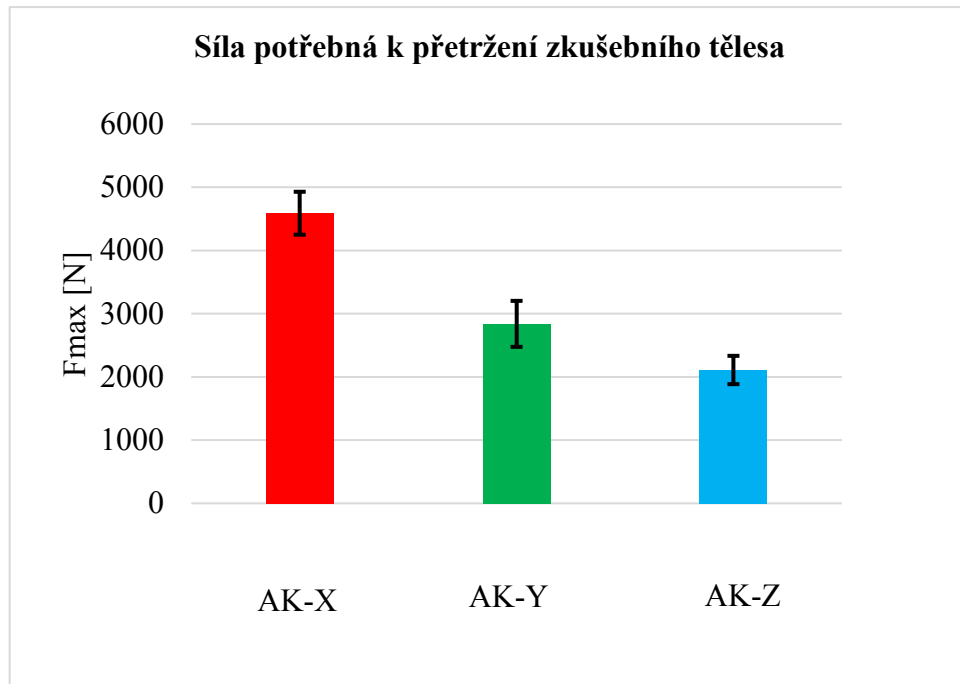
Graf 1 Porovnání hodnot pevnosti ve smyku při tahovém namáhání mezi jednotlivými podskupinami



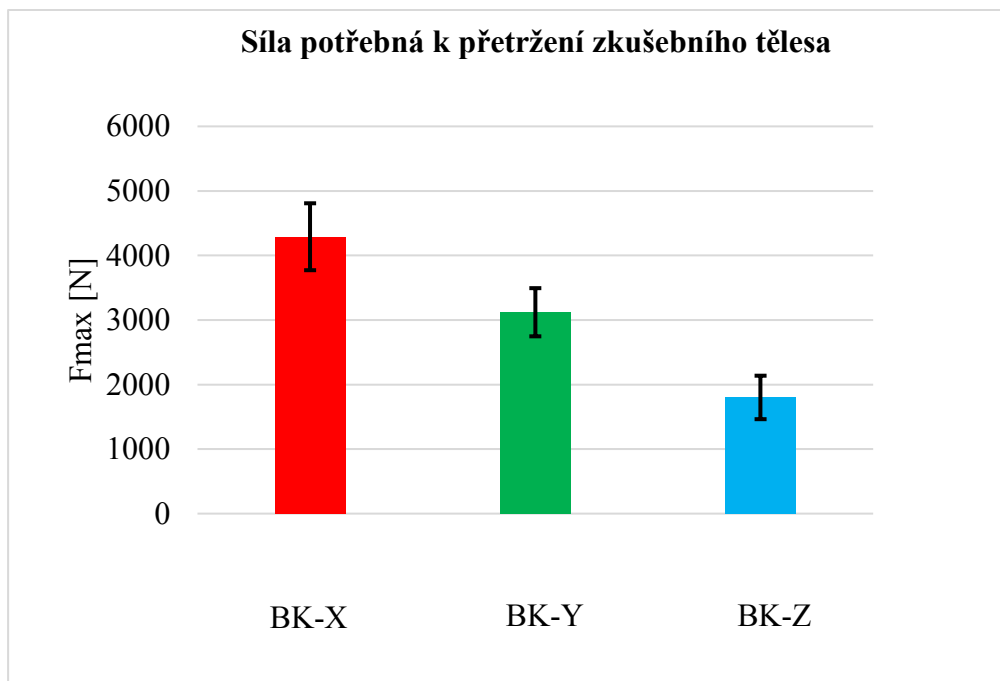
*Graf 2 Porovnání hodnot pevnosti ve smyku při tahovém namáhání mezi jednotlivými podskupinami*

- V grafech jsou znázorněny výstupní data jednotlivých použitých konstrukčních lepidel tří variant spojení, a to ve formě pevnosti lepeného překlátovaného spoje ve smyku při tahovém namáhání. Tato hodnota pevnosti se počítá ze vztahu dle ČSN EN 1465 a uvádí se v megapascalích. Zkratky (AK), (BK) značí použité materiály překlátovaného spoje a (X), (Y), (Z) použitá lepidla, viz kapitola 7.2.

### 7.3.2 Znázornění hodnot síly potřebné k přetržení zkušebního tělesa



*Graf 3 Porovnání hodnot síly potřebné k přetržení zkušebního tělesa mezi jednotlivými podskupinami*



*Graf 4 Porovnání hodnot síly potřebné k přetržení zkušebního vzorku mezi jednotlivými podskupinami*

- V těchto grafech vidíme zaznamenané hodnoty síly potřebné k přetržení příslušného zkušebního tělesa. Je to nejvyšší (maximální) síla v průběhu smykové zkoušky a je udávána v newtonech. Zkratky písmen představují totéž, co v předchozím grafu.

## 8 VYHODNOCENÍ NAMĚŘENÝCH VÝSLEDKŮ

K použití zkušebních panelů byly vybrány 2 kovové materiály ve spojení s kompozitními panely:

- Nerezový plech válcovaný za studena,
- Plochá ocelová tyč.

První spojení kov-kompozit jsme označili zkratkou (AK) a druhou variantu spojení (BK).

Na základě volby spoje a vhodného spojení materiálů se při testování zkoušky smykové pevnosti použily tyto 3 druhy lepidel:

- HF servis A5050 (X),
- DUOFIX novatio (Y),
- Cyberbond E706 (Z).

Pro zjednodušení byla přidělena zkratka také druhům lepidla, a to HF servis A5050 (X), DUOFIX novatio (Y), Cyberbond E706 (Z).

Vzorky se rozdělily do 2 skupin, podle druhu materiálu lepeného kovového vzorku s kompozitním panelem. V každé skupině se použily 3 odlišná konstrukční lepidla:

1. skupina:

- Varianta AK-X,
- Varianta AK-Y,
- Varianta AK-Z.

2. skupina:

- Varianta BK-X,
- Varianta BK-Y,
- Varianta BK-Z.

Při zkouškách jsme vyhodnotili hodnoty pevnosti lepeného spoje ve smyku při tahovém namáhání  $R_{ms}$  (MPa) a síly potřebné k přetržení zkušebního tělesa  $F_{max}$  (N).

### 8.1 Smyková zkouška

#### 8.1.1 Hodnoty pevnosti lepeného spoje ve smyku při tahovém namáhání

Z 1. grafu kapitoly 7.3.1 je patrné, že nejvyšší hodnotu pevnosti ve smyku zaznamenala varianta spojení (AK-X), ve které byl použit materiál přelátovaného spoje nerezový

plech-kompozit. Z obou grafů kapitoly 7.3.1 je zřejmé, že nejvyšší hodnoty zaznamenalo lepidlo HF servis A5050 s označením (X).

Naproti tomu nejnižší hodnotu pevnosti ve smyku nám udala varianta spojení (BK-Z) v kombinaci materiálů ocelová plochá tyč-kompozit. I v tomto případě, avšak nejnižší hodnoty zmiňovaných grafů, zastupuje jeden druh lepidla, a to Cyberbond E706 (Z). Lepidlo Cyberbond E706 (Z) má zhruba dvakrát menší pevnost ve smyku než lepidlo HF servis A5050 (X), a to u obou použitých variant spojení.

### 8.1.2 Hodnoty síly potřebné k přetržení zkušebního tělesa

Z třetího sloupcového grafu (tj. z kapitoly 7.3.2) vyplývá, že síla potřebná k deformaci příslušného zkušebního tělesa, je taktéž nejvyšší u varianty (AK-X), a naopak u podskupiny (BK-Z) nejnižší.

Ze všech uvedených grafů lze soudit, že zde dochází k ekvivalenci mezi hodnotami pevnosti lepeného spoje ve smyku při tahovém namáhání a silou potřebnou k deformaci příslušného zkušebního tělesa. Nejvyšší naměřená hodnota maximální síly, což je u varianty (AK-X), je cca o 60 % vyšší než nejnižší naměřená hodnota, která pochopitelně byla opět u varianty neboli podskupiny (BK-Z).

Výsledky variant spojení (AK) a (BK) lepené lepidlem HF servis A5050 (X) mají mezi sebou patrné rozdíly, nelze však přesně posoudit, jestli je to vlivem použitého materiálu přeplátovaného spoje, jelikož ostatní hodnoty síly v grafu 3 a grafu 4 vykazují při stejných podmínkách podobné výsledky.



## ZÁVĚR

Bakalářská práce se zabývá problematikou spojování kompozitů, testováním zvoleného spoje a jeho následnou aplikací v praxi, konkrétně lepení komponentů brzdové destičky.

Jako součást teoretické části práce bylo vypracovat literární rešerši v oblasti kompozitních materiálů, jejich klasifikaci, typy spojování a využití v různých oblastech průmyslu.

Praktická část je zaměřena na výběr lepeného adherendu, jeho následném testování, resp. stanovení pevnosti ve smyku při tahovém namáhání prostřednictvím zkoušky smykové pevnosti. V dílčí praktické části se volí kombinace lepených adherendů a adhesiv, které se aplikují na přeplátované spoje, a po vyhodnocení výsledků se nejlepší kombinace materiálů a typ lepidla doporučí jako vhodná volba k lepení komponentů brzdové destičky. Výběr konkrétního spoje se zaměřuje na lepení třecího segmentu brzdové destičky k opěrné desce.

Ke zkoušce smykové pevnosti, provedené na trhacím stroji ZWICK 1465, bylo k dispozici 36 vzorků, rozdělených do dvou hlavních skupin dle použitého kovového materiálu s kompozitem (tj. v obou skupinách figuruje 6 podskupin a každá obsahovala 6 přeplátovaných sestav), které byly nezávisle na sobě lepeny daným druhem lepidla. Po testování na trhacím stroji následovalo zpracování naměřených dat. Pomocí výpočetního programu Excel sady Microsoft Office se vypracovaly tabulky a grafy s požadovanými výstupními hodnotami. Dále se vyhodnotily výsledky.

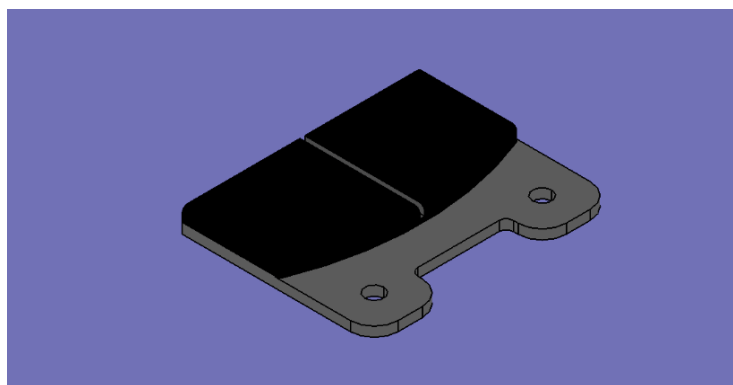
Výsledek práce a závěr se vztahuje ke zjištění nejlepší kombinace lepeného adherendu, porovnávaného ze dvou skupin, v níž figuruje 6 podskupin. Následně se doporučí v aplikaci ke spojení dílčích materiálů základního tvaru brzdové destičky, který je jako model vypracován ve 3D programu CATIA a pouze jako vhodná ukázka vložen do konce závěru bakalářské práce.

Při testování lepených spojů na pevnost ve smyku bylo zjištěno, že nejvyšších zaznamenaných hodnot pevnosti ve smyku při tahovém namáhání a síly potřebné k deformaci zkušebního tělesa, dosahuje varianta spojení nerezový plech-kompozit (AK) v kombinaci s lepidlem HF servis A5050 (X). Naopak nejnižších již zmíněných hodnot dosahuje kombinace spojení ocelová plochá tyč-kompozit (BK), lepená lepidlem Cyberbond E706 (Z).

Dle takto vyhodnocených charakteristik usuzují, že hlavní roli při testování hrálo použité lepidlo, neboť nejlepší výsledky má konstrukční lepidlo HF servis A5050, bez ohledu na použité materiálové spojení adherendu. Toto lepidlo viditelně převyšuje svými adhezními vlastnostmi další dvě použitá lepidla. Adhesivum značky HF servis má metylakrylátový charakter, DUOFIX novatio a Cyberbond E706 naopak epoxidový.

Z této úvahy tedy dedukují, že roli zde hraje charakter (typ) lepidla. Naše použité metylakrylátové lepidlo disponuje velmi dobrými vlastnostmi, jako je např. vysoká pevnost a teplotní odolnost. Vyniká také rezistencí proti vibracím, i proto je to vhodný přípravek pro konstrukční řešení, zejména v našem případě, kdy se z části zabýváme problematikou lepení třecího segmentu brzdové destičky. Avšak pro nás dostupné vybrané adhesivum značky HF servis by bylo spíše vhodné pro kompozitní (karbonovou) brzdu jízdního závodního kola, jelikož při brzdném efektu tohoto systému není vyvinuto zdaleka takových teplot, jako je tomu u brzdných soustav automobilů, kde se teplota pohybuje řádově ve stovkách stupňů celsia (dle účelu vozidla), u formule dokonce i přes 1000 °C.

Na závěr konstatují, že pro pevnostní spoj třecího segmentu vůči opěrné desce brzdové destičky jednoznačně vyhovuje lepidlo HF servis A5050. Z mého pohledu tedy doporučuji pokračovat v dané problematice např. formou diplomové práce firemního charakteru u konkrétní firmy, zabývající se přímo navrhováním a konstrukcí brzdových destiček. Dále vyzkoušet více materiálových variant lepených přeplátovaných adherendů. Současně bych do testování zahrnul také více druhů lepidel (pokud možno lepidla pro profesionální konstrukční použití s vyšší teplotní odolností), včetně adhesiva na bázi polyuretanu. Taktéž bych navrhl otestovat lepené spoje na zkoušku v odlupování, abychom mohli lépe analyzovat námi testovanou problematiku. Nakonec bych doporučil vyrobit prototyp brzdové destičky a vhodnou simulací brzdného systému zjistit chování spoje při brzdném účinku.



**SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY**

- [1] JANČÁŘ, Josef. *Úvod do materiálového inženýrství polymerních kompozitů*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta chemická, 2003, 193 s. ISBN 8021424435.
- [2] AGARWAL, Bhagwan D. a Lawrence J. BROUTMAN. *Vláknové kompozity*. Praha: SNTL-Nakladatelství technické literatury, 1987, 294 s.
- [3] JAKEŠ, Tomáš. *Návrh možností spojů a přechodů v kompozitních aplikacích* [online]. Zlín, 2013 [cit. 2018-01-10]. Dostupné z: [http://digilib.k.utb.cz/bitstream/handle/10563/24661/jake%C5%A1\\_2013\\_bp.pdf?sequence=1](http://digilib.k.utb.cz/bitstream/handle/10563/24661/jake%C5%A1_2013_bp.pdf?sequence=1). Bakalářská práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. Vedoucí práce doc. Ing. Soňa Rusnáková Ph.D.
- [4] VNOUČEK, Milan. *Kompozitní materiály* [online]. [cit. 2018-01-11]. Dostupné z: [https://www.opi.zcu.cz/download/kompozity09\\_10.pdf](https://www.opi.zcu.cz/download/kompozity09_10.pdf)
- [5] HRUDNÁK, Miroslav. *Materiálové charakteristiky a struktura kompozitních materiálů pro malé sportovní letouny* [online]. [cit. 2018-01-12]. Dostupné z: [http://www.kompozity.info/clanky/compdb/DP\\_Hrudnak.pdf](http://www.kompozity.info/clanky/compdb/DP_Hrudnak.pdf)
- [6] In: *Havel Composites* [online]. [cit. 2018-01-12]. Dostupné z: <http://www.havel-composites.com/shop/17-Polyesterova-pryskyrice/3564-Polyesterova-prys-POLYLITE-32032-20-pruzracna-odlevani-a-ORGONITY-MMAorto.html?pls=0>
- [7] *KOMPOZITY - Doc. Ing. Zdeněk Kořínek, CSc.* [online]. [cit. 2018-01-12]. Dostupné z: <http://mujweb.cz/zkorinek/?redirected=1524085035>
- [8] *Stefanmichna.com* [online]. [cit. 2018-01-12]. Dostupné z: [http://ww1.stefanmichna.com/download/technickematerialy\\_II/kompozitni\\_materialy.pdf](http://ww1.stefanmichna.com/download/technickematerialy_II/kompozitni_materialy.pdf)
- [9] In: *RAYMOND GROUP, s.r.o.* [online]. [cit. 2018-01-15]. Dostupné z: <http://www.edb.eu/sk-firma-87899-raymond-group-vsetin>
- [10] In: *Composite Materials Development and Evaluation* [online]. [cit. 2018-01-15]. Dostupné z: <https://tri-intl.com/services/composite-materials-dev-evaluation/>
- [11] In: *BOKATECH - Produkty* [online]. [cit. 2018-01-15]. Dostupné z: <http://www.bokatech.cz/produkty/tkaniny/aramidove/>
- [12] BAREŠ, Richard. *Kompozitní materiály*. Praha: SNTL, 1988, 325 s.
- [13] *Složení polymerů - přísady* [online]. [cit. 2018-01-15]. Dostupné z: <https://publi.cz/books/180/05.html>
- [14] In: *Hybrid: Karoserie* [online]. [cit. 2018-01-15]. Dostupné z: <http://www.hybrid.cz/tagy/karoserie>

- [15] In: *KOLO: Rady* [online]. [cit. 2018-01-19]. Dostupné z: <https://kolo.cz/clanek/potrebuje-na-kole-karbonovy-ram/kategorie/rady-vybirame-kolo>
- [16] In: *Golf pro všechny: Taylormade M1* [online]. [cit. 2018-01-19]. Dostupné z: <https://www.golfprovsechny.cz/taylormade-m1/article-481>
- [17] In: *Na ledě: Hokejka CCM Tacks 5052 s Gripem* [online]. [cit. 2018-01-19]. Dostupné z: <https://www.nalede.cz/hokejka-ccm-tacks-5052>
- [18] In: *ARIMAX: Príslušenstvo pre armovanie stavebnej ocele a zatepovanie* [online]. [cit. 2018-01-19]. Dostupné z: <http://www.arimax.sk/>
- [19] *Prefa Kompozity, a.s.: Katalog vlastností výrobků* [online]. [cit. 2018-01-24]. Dostupné z: <http://www.prefa-kompozity.cz/wp-content/uploads/2015/09/katalog-vlastnosti-vyrodku-cs.pdf>
- [20] OSTEN, Miloš. *Lepení plastických hmot*. 2., opr. vyd. Praha: SNTL, 1974, 150 s. Řada chemické literatury.
- [21] *Axson: Produkty* [online]. [cit. 2018-01-24]. Dostupné z: <https://www.axson.cz/produkty>
- [22] In: *Pre údržbu* [online]. [cit. 2018-01-24]. Dostupné z: <http://preudrzbu.sk/wp-content/uploads/2016/11/TE-305-foto-BNP-e1479679584523.png>
- [23] *Loctite: Řešení pro průmyslové trhy* [online]. [cit. 2018-01-27]. Dostupné z: [http://www.loctite.cz/czc/content\\_data/95037\\_neten\\_pro\\_prmyslov\\_trhy\\_katalog.pdf](http://www.loctite.cz/czc/content_data/95037_neten_pro_prmyslov_trhy_katalog.pdf)
- [24] In: *Multi Shop: Sikabond T52 FC klej do parkietow 300 ml* [online]. [cit. 2018-01-28]. Dostupné z: <http://www.multi.shop.pl/659-sikabond-t52-klej-do-parkietow.html>
- [25] In: *Fabory: TRIPO Rozpínací trhací nýt s vypuklou hlavou* [online]. [cit. 2018-01-28]. Dostupné z: <https://www.fabory.com/cs/spojovaci-material/nyty-a-koliky/tripo-rozpinaci-trhaci-nyt-s-vypouklou-hlavou-hlinik-almg-3-al-al-4-8x15mm/p/34121048015>
- [26] In: *Alfavaría: Kleště na trhací nýty 2-5 STANLEY 6-MR77* [online]. [cit. 2018-01-28]. Dostupné z: <https://shop.alfavaria.cz/kleste-na-trhaci-nyty-2-5-stanley-6-mr77-1768cz152/>
- [27] *KVT Fastening* [online]. [cit. 2018-01-28]. Dostupné z: <https://www.kvt-fastening.cz/vyrobky/katalogy/>
- [28] In: *Trans Technik: Nýtovací matice M 5* [online]. [cit. 2018-01-28]. Dostupné z: <http://www.trans-technik.cz/matice-nytovaci-m-5-al-0-5-3-0-otevrena-s-plochou-hlavou-2411105-132>

- [29] ZEMANOVÁ, Jana. *Tepelně vodivé termoplastické materiály* [online]. Zlín, 2016 [cit. 2018-01-28]. Dostupné z: [http://digilib.k.utb.cz/bitstream/handle/10563/38998/zemanov%C3%A1\\_2016\\_dp.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://digilib.k.utb.cz/bitstream/handle/10563/38998/zemanov%C3%A1_2016_dp.pdf?sequence=1&isAllowed=y). Bakalářská práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. Vedoucí práce Ing. Martina Polášková Ph.D.
- [30] *Katedra tváření kovů a plastů: Skripta* [online]. [cit. 2018-02-12]. Dostupné z: [http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta\\_tkp/sekce\\_plasty/12.htm#121](http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/12.htm#121)
- [31] In: *22 Technologie Svařování* [online]. [cit. 2018-02-12]. Dostupné z: [http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta\\_tkp/sekce\\_plasty/12-doplnekove%20technologie/22-technologie%20svarovani.jpg](http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/12-doplnekove%20technologie/22-technologie%20svarovani.jpg)
- [32] *Plasty a kompozitní materiály. KVT Fastening* [online]. [cit. 2018-02-12]. Dostupné z: [https://www.kvt-fastening.cz/media/6148b8fa-d62b-2929-f2d4-0439e2ca4592/KVT\\_PLASTICS\\_COMPOSITES\\_CZ\\_04-06-2013\\_web.pdf](https://www.kvt-fastening.cz/media/6148b8fa-d62b-2929-f2d4-0439e2ca4592/KVT_PLASTICS_COMPOSITES_CZ_04-06-2013_web.pdf)
- [33] *Závitové vložky TAPPEX. KVT Fastening* [online]. [cit. 2018-02-18]. Dostupné z: [https://www.kvt-fastening.cz/media/c406cfe2-1d16-0a54-f082-8f2a0a77dff/KVT\\_TAPPEX\\_CZ\\_28-02-2013\\_web.pdf](https://www.kvt-fastening.cz/media/c406cfe2-1d16-0a54-f082-8f2a0a77dff/KVT_TAPPEX_CZ_28-02-2013_web.pdf)
- [34] In: *KVT Fastening: FASTEKS FILKO blind rivet nuts* [online]. [cit. 2018-02-18]. Dostupné z: <https://www.kvt-fastening.ch/en/products/brands/fasteks/fasteks-filko/>
- [35] OČADLÍK, Zdeněk. *Návrh a testování lepených spojů u modulu tramvaje*. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2012, 83 s. Dostupné také z: <http://hdl.handle.net/10563/23075>. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. Fakulta technologická, Ústav výrobního inženýrství. Vedoucí práce doc. Ing. Soňa Rusnáková Ph.D.
- [36] In: *4composite, s.r.o.: Sendvičové panely* [online]. [cit. 2018-02-18]. Dostupné z: <http://www.4composite.cz/produkty/sendvicove-panely/>
- [37] *PED MUNI: FyzVlast3* [online]. [cit. 2018-02-18]. Dostupné z: <http://www.ped.muni.cz/wphy/fyzvla/fmkomplet3.htm>
- [38] In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2018-03-15]. Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/Aero\\_Ae\\_270\\_Ibis](https://cs.wikipedia.org/wiki/Aero_Ae_270_Ibis)
- [39] In: *Bičels: Proma Reha* [online]. [cit. 2018-03-15]. Dostupné z: <https://www.bicels.cz/index.php?page=proma-reha>
- [40] ČSN EN 1465. *Lepidla-Stanovení pevnosti ve smyku při tahovém namáhání přeplátovaných lepených sestav*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2009.

[41] ČERNOCH, Oldřich. *Statická pevnost spoje kov-kompozit*. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2016, 86 s. Dostupné také z: <http://hdl.handle.net/10563/38093>. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. Fakulta technologická, Ústav výrobního inženýrství. Vedoucí práce Ing. Alexander Čapka.

[42] *OVMT Mechanické zkoušky* [online]. [cit. 2018-03-15]. Dostupné z: <http://docplayer.cz/41155-Ovmt-mechanicke-zkousky.html>

[43] *ELIT: Produkty TEXTAR* [online]. [cit. 2018-03-15]. Dostupné z: <http://www.elit.cz/produkty/textar.html>

[44] *VEPA: Konstrukce brzdových destiček* [online]. [cit. 2018-03-15]. Dostupné z: [http://vepa.prodejce.cz/texty/texty\\_cj/konstru.htm](http://vepa.prodejce.cz/texty/texty_cj/konstru.htm)

[45] *Autodíly Mjauto: Třecí materiály brzdových destiček* [online]. [cit. 2018-04-13]. Dostupné z: <http://www.mjauto.cz/treci-materialy-brzdovych-desticek>

**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

UV	Ultraviolet.
SMC	Sheet Moulding Compound.
TTT	Time Temperature Transformation.
$\rho$	Hustota. [g/cm <sup>3</sup> ]
ABS	Akrylonitrilbutadienstyren.
PMMA	Polymethylmetakrylát.
RIM	Reaction Injection Moulding.
LSR	Load Spreading Rivet.
PP	Polypropylén.
PE	Polyetylén.
PEEK	Polyetereterketon.
PA	Polyamid.
PS	Polystyrén.
PC	Polykarbonát.
$T_m$	Teplota tání. [°C]
$T_g$	Teplota skelného přechodu. [°C]
PVC	Polyvinilchlorid.
POM	Polyoxmetylén.
PPO	Polyfenylénoxid.
PPE	Polyfenyléneter.
PET	Polyetyléntereftalát.
PBT	Polybutyléntereftalát.
PSU	Polysulfon.
PPS	Polyfenylénsulfid.
PTFE	Polytetrafluóretylén.

---

PEI	Polyeterimid.
PAI	Polyamidimid.
LCP	Liquid Crystal Polymer.
UV	Ultra Violet.
SAN	Styrénakrylonitril.
PBTP	Polybutyléntereftalát.
PI	Polyimid.
ČSN	Česká Statní Norma.
EN	Evropská Norma.
F	Síla vztažená k původnímu průřezu tělesa. [N]
$S_0$	Původní průřez tělesa. [mm]
$\varepsilon$	Poměrné prodloužení. [%]
$L_0$	Původní měrná délka zkušebního tělesa. [mm]
$L-L_0$	Přírůstek délky tělesa. [mm]
$R_p$	Smluvní mez kluzu u ocelí. [MPa]
R	Smluvní napětí. [MPa]
$R_m$	Smluvní mez pevnosti u ocelí. [MPa]
$R_f$	Okamžik lomu. [MPa]
$\sigma$	Napětí do meze Hookeova zákona. [MPa]
$\bar{x}$	Střední hodnota. [-]
$x_i$	Náhodná proměnná [-]
n	Počet hodnot.
s	Směrodatná odchylka. [-]
ISO	International Organization for Standardization.
$F_{max}$	Síla potřebná k přetržení příslušného zkušebního tělesa. [N]



Rms	Pevnost ve smyku při tahovém namáhání. [MPa]
v	Variační koeficient. [-]

## SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1 Závislost hodnoty vlastnosti V (např. ohyb. tuhosti, pevnosti) materiálu složeného ze dvou konstituentů A a B na zastoupení konstituentu A [4]</i>	16
<i>Obr. 2 Rozdělení kompozitních materiálů [5]</i>	17
<i>Obr. 3 Různé druhy kompozitů dle typu výztuže [4]</i>	17
<i>Obr. 4 Polyesterová čirá pryskyřice POLYLITE [6]</i>	18
<i>Obr. 5 Diagram TTT [7]</i>	19
<i>Obr. 6 Skelná výztuž-rovingová tkanina [9]</i>	20
<i>Obr. 7 Uhlíkové vlákno [10]</i>	21
<i>Obr. 8 Aramidová tkanina [11]</i>	21
<i>Obr. 9 Kompozitní díly Boeingu 787 [13]</i>	22
<i>Obr. 10 Použití uhlíkových vláken u pevné karoserie automobilů [14]</i>	23
<i>Obr. 11 Běhoun pneumatiky [12]</i>	23
<i>Obr. 12 Karbonový rám jízdního kola [15]</i>	24
<i>Obr. 13 Golfová hůl tvořená kombinací titanu a sedmivrstvého karbonového kompozitu [16]</i>	25
<i>Obr. 14 Hokejová hůl značky CCM z karbonových vláken [17]</i>	25
<i>Obr. 15 Kompozitní armatury [18]</i>	25
<i>Obr. 16 Epoxidové konstrukční lepidlo Adekit A130 [21]</i>	28
<i>Obr. 17 Nanášení polyuretanového lepidla [21]</i>	28
<i>Obr. 18 Metakrylátové lepidlo TE305 [22]</i>	29
<i>Obr. 19 Elastické lepidlo Sikabond T52 [24]</i>	29
<i>Obr. 20 Běžný nýt s nýtovací hlavou [25]</i>	30
<i>Obr. 21 Nýtovací kleště [26]</i>	30
<i>Obr. 22 Klasická nýtovací matice otevřená s plochou hlavou [28]</i>	31
<i>Obr. 23 Kotvení kompozitních nosníků PREFEN [19]</i>	35
<i>Obr. 24 Kotvení kompozitních nosníků PREFEN [19]</i>	35
<i>Obr. 25 Příklad použití ocelových kotevních profilů [19]</i>	36
<i>Obr. 26 Příklad použití ocelových kotevních profilů [19]</i>	36
<i>Obr. 27 Příklad použití spojovací desky pro profily [19]</i>	36
<i>Obr. 28 Samořezné šrouby [32]</i>	37
<i>Obr. 29 Vložka MULTISERT bez hlavy [33]</i>	37
<i>Obr. 30 Vložka MULTISERT s hlavou [33]</i>	38

<i>Obr. 31 Použití vložky TAPPEX MULTISERT [33]</i> .....	38
<i>Obr. 32 Vložka MICROBARB s mikrodrážkami [33]</i> .....	38
<i>Obr. 33 Použití vložky TAPPEX MICROBARB [33]</i> .....	38
<i>Obr. 34 Vložka TRISERT šroubovací [33]</i> .....	38
<i>Obr. 35 Použití vložky TRISERT [33]</i> .....	39
<i>Obr. 36 Závitová vložka typu HIMOULD [33]</i> .....	39
<i>Obr. 37 Matice z neoprenové a mosazné části [34]</i> .....	39
<i>Obr. 38 Kovová lisovací matice FASTEKS+ [34]</i> .....	39
<i>Obr. 39 Celohliníkový sendvičový panel [36]</i> .....	40
<i>Obr. 40 Řez celohliníkového panelu [36]</i> .....	40
<i>Obr. 41 Kompozitní sendvičový panel [36]</i> .....	40
<i>Obr. 42 Výroba sendvičové konstrukce [37]</i> .....	41
<i>Obr. 43 Letoun Aero Ae-270 [38]</i> .....	41
<i>Obr. 44 Polohovací lůžko Triton Plus [39]</i> .....	42
<i>Obr. 45 Schématické znázornění lepeného přeplátovaného spoje dle ČSN EN 1465 (3 - vrstva lepidla, 4 - plocha pro čelisti zkušebního přístroje, 5 - plocha smyku) [40]</i> .....	43
<i>Obr. 46 Smluvní diagram napětí – deformace [35]</i> .....	44
<i>Obr. 47 Univerzální mechanický zkušební stroj [42]</i> .....	46
<i>Obr. 48 Brzdová destička od výrobce TEXTAR [43]</i> .....	47
<i>Obr. 49 Brzdové obložení semi-metallic [45]</i> .....	49
<i>Obr. 50 Destička s třecím materiálem typu “NAO” [45]</i> .....	49
<i>Obr. 51 Destička s keramickým třecím segmentem [45]</i> .....	49
<i>Obr. 52 Opěrná deska [44]</i> .....	50
<i>Obr. 53 Držáky pro montáž do těla brzdiče [44]</i> .....	50
<i>Obr. 54 Vhodné lepidlo dle materiálů brzdové destičky [44]</i> .....	51
<i>Obr. 55 Vzorky z nerezového plechu</i> .....	54
<i>Obr. 56 Ocelová plochá tyč</i> .....	55
<i>Obr. 57 Vyrobená kompozitní deska</i> .....	56
<i>Obr. 58 Zdrsňení vzorků na brusném kotouči</i> .....	56
<i>Obr. 59 Zatížené vzorky po lepení</i> .....	57
<i>Obr. 60 Konstrukční lepidlo DUOFIX</i> .....	58
<i>Obr. 61 Lepidlo Cyberbond E706</i> .....	59

---

<i>Obr. 62 Metakrylové lepidlo A5050 .....</i>	<i>59</i>
<i>Obr. 63 Odmašťovací prostředek MAKRA Montage-Reiniger R3000 .....</i>	<i>60</i>
<i>Obr. 64 Zkušební stroj ZWICK 1465 .....</i>	<i>61</i>
<i>Obr. 65 Detail upnutého zkušebního adherendu v čelistech přístroje.....</i>	<i>62</i>
<i>Obr. 66 Vzorky skupiny AK-X po provedení smykové zkoušky.....</i>	<i>63</i>
<i>Obr. 67 Vzorky skupiny AK-Y po provedení smykové zkoušky .....</i>	<i>64</i>
<i>Obr. 68 Vzorky skupiny AK-Z po provedení smykové zkoušky .....</i>	<i>65</i>
<i>Obr. 69 Vzorky skupiny BK-X po provedení smykové zkoušky.....</i>	<i>65</i>
<i>Obr. 70 Vzorky skupiny BK-Y po provedení smykové zkoušky.....</i>	<i>66</i>
<i>Obr. 71 Vzorky skupiny BK-Z po provedení smykové zkoušky.....</i>	<i>67</i>

**SEZNAM TABULEK**

<i>Tab. 1 Technologie svařování termoplastů [25]</i> .....	33
<i>Tab. 2 Pravidla poměru u rozměrů spojovacích prvků [15]</i> .....	34
<i>Tab. 3 Technické údaje zařízení</i> .....	61
<i>Tab. 4 Naměřené mechanické vlastnosti</i> .....	63
<i>Tab. 5 Statistické hodnoty mechanických vlastností</i> .....	63
<i>Tab. 6 Naměřené mechanické vlastnosti</i> .....	64
<i>Tab. 7 Statistické hodnoty mechanických vlastností</i> .....	64
<i>Tab. 8 Naměřené mechanické vlastnosti</i> .....	64
<i>Tab. 9 Statistické hodnoty mechanických vlastností</i> .....	64
<i>Tab. 10 Naměřené mechanické vlastnosti</i> .....	65
<i>Tab. 11 Statistické hodnoty mechanických vlastností</i> .....	65
<i>Tab. 12 Naměřené mechanické vlastnosti</i> .....	66
<i>Tab. 13 Statistické hodnoty mechanických vlastností</i> .....	66
<i>Tab. 14 Naměřené mechanické vlastnosti</i> .....	66
<i>Tab. 15 Statistické hodnoty mechanických vlastností</i> .....	66

**SEZNAM GRAFŮ**

<i>Graf 1 Porovnání hodnot pevnosti ve smyku při tahovém namáhání mezi jednotlivými podskupinami.....</i>	<i>67</i>
<i>Graf 2 Porovnání hodnot pevnosti ve smyku při tahovém namáhání mezi jednotlivými podskupinami.....</i>	<i>68</i>
<i>Graf 3 Porovnání hodnot síly potřebné k přetržení zkušebního tělesa mezi jednotlivými podskupinami.....</i>	<i>69</i>
<i>Graf 4 Porovnání hodnot síly potřebné k přetržení zkušebního vzorku mezi jednotlivými podskupinami.....</i>	<i>69</i>

## SEZNAM PŘÍLOH

P I CD ROM

P II Technický list 1

P III Technický list 2

P IV Technický list 3

# PŘÍLOHA P II: TECHNICKÝ LIST 1

GUARANTEED  
QUALITY FOR  
PROFESSIONALS

## EPOXIDOVÉ LEPIDLO V PŘÍRUČNÍM BALENÍ

- Žádné odměřování složek díky zdvojené stříkačce
- Stlačit píst – smísit – hotovo
- Vysoká kvalita dvousložkového lepidla



## UPOZORNĚNÍ

Všechny informace včetně obrázků jsou udávány s maximální pečlivostí. Přesto je vhodné, aby si uživatel nezávisle na tom vyzkoušel vhodnost použití každého jednotlivého výrobku pro vlastní účely. Firma Novatio neručí za úplnost a přesnost těchto informací a odmítá záruku za vaše konkrétní použití výrobků. Záruka, kterou Novatio poskytuje, se týká pouze standardních prodejních podmínek tohoto výrobku. V žádném případě nenese odpovědnost za náhodné škody, ani za škody v důsledku nesprávného použití nebo prodeje výrobku jinému odběrateli.

**TECH  
MASTERS®**  
world of innovations

WWW.TECH-MASTERS.EU/CS

## LEPIDLA A TĚSNÍCÍ TMĚLY

### DFX

### Duofix

#### VŠEOBECNÉ INFORMACE

DUOFIX je rychle tvrdnoucí, průsvitné, dvoukomponentní epoxidové lepidlo s extrémní pevností lepených spojů. DUOFIX umožňuje rychlé spojení a opravy, a to i při relativně nízkých teplotách, avšak doba tvrdnutí je

v tomto případě delší než při pokojové teplotě. DUOFIX je ideální lepidlo pro opravy a údržbu, spojuje téměř všechny materiály jako např. kovy, sklo, kámen, keramiku, dřevo a mnohé tvrdé plastické hmoty.

#### TECHNICKÁ DATA

typ: dvousložkové epoxidové lepidlo

Tvrzení: 25 °C

Doba zpracování: 3 – 4 min

Doba do začátku reakce: 9 – 15 min.

50% pevnosti spoje: za 2 hod.

75% pevnosti spoje: za 4 hod.

100% pevnosti spoje: 3 dny

Odolnost proti teplotám po plném vytvrzení:

-25 až +120 °C

Minimální teplota při aplikaci: + 5 °C

Vskozita (25 °C) 10 Pa.s 7 Pa.s

Obsah 24 ml 12 ml 12 ml

Směšovací poměr: 1 : 1

Bod zápalu >200 °C 90 °C

Hustota g/cm<sup>3</sup> 1,179 (20 °C) 1,14 (20 °C)

Bezpečnostní opatření: viz. Bezpečnostní list

URČENO POUZE PRO PROFESIONÁLNÍ

UŽIVATELE.

Objednací číslo	Název	Balení	Zařazení
N512005	Duofix	28 g	LEPIDLA A TĚSNÍCÍ TMĚLY



TECH-MASTERS Czech, spol. s r.o.

Roztylská 1860/1 ♦ 148 00 Praha 4 - Chodov  
Tel +420-234 253 550 ♦ Fax +420-234 253 555  
E-Mail: czech@tech-masters.eu

**TECH  
MASTERS®**  
world of innovations



# PŘÍLOHA P III: TECHNICKÝ LIST 2

**Cyberbond**

The Power of Adhesive Information®

TS 16949, ISO 9001 & ISO 14001 certified

CB

## TECHNICKÝ LIST

### Cyberbond E706

#### Popis:

Cyberbond E706 je tekuté dvousložkové epoxidové lepidlo s výbornou pevností ve smyku. Vyznačuje se velmi rychlou manipulační pevností a krátkou dobou vytvrzení. Je určeno k lepení všech kovů, hliníku, duralu, dřeva, keramiky a skla, je vhodný pro lepení polymerních kompozitových materiálů (jako např. polyestery, epoxidy apod.).

#### Technická data:

viskozita (Brookfield) při 25°C	složka A - max. 15 Pa.s
hustota	1,16 g/cm <sup>3</sup>
mísící poměry	složka A : složka B = 1 : 1
smysková pevnost	-hliník 7dni=10 - 12Mpa
Mez pevnosti v odlupu na hliníku	7dni (23°C)= 6 – 9Mpa
Doba zpracovatelnosti při 23°C	3 - 5 minut
Manipulační pevnost při 23°C	10 minut
Vytvrzení 23°C	10 – 15 minut

#### Návod k použití:

1. Před použitím tmelu je třeba obě strany lepeného spoje důkladně zdrsnit (pro dokonalé ukotvení tmelu - malé zdrsnění snižuje pevnost lepeného spoje) a následně dílce očistit, případně odmastit acetonem.
2. Smícháme složku A + složku B v předepsaném hmotnostním poměru 1 : 1.
3. Spojte musí být po dobu vytvrzování dobře zatíženy a pevně spojeny. Takto nanesený tmel vytvrzuje při 23 °C cca 20- 30 minut. Se zvyšující se teplotou (např. horkým vzduchem) se úměrně snižuje doba vytvrzování.
4. Znečištěné nástroje umýt hadříkem namočeným v acetonu.

#### Balení:

Složka A + B, 1kg + 1kg, kartuše se směšovače 24ml, 50ml, 200ml.

#### Skladování:

Skladujte v suchu při teplotě 20°C

#### Upozornění:

Návod k použití lepidla je vyhotoven na základě našich zkoušek a zkušeností. Vzhledem k tomu, že nemáme žádný přímý vliv na váš způsob práce, nemůžeme převzít zodpovědnost za výsledky lepení. Před použitím doporučujeme vyzkoušet.

Údaje uváděné v tomto technickém listu, obzvláště návrhy ke zpracování výrobků Cyberbond, se zakládají na našich nejnovějších znalostech a zkušenostech. Protože se však materiály mohou velmi lišit a nemáme vliv na pracovní podmínky, doporučujeme provést dostatečný počet vlastních pokusů pro zjištění vhodnosti našich výrobků. Za škody vzniklé na základě zde uvedených pokynů nebo na základě ústního projednání neručíme, pokud by nám ovšem nebyl prokázán záměr nebo hrubá nedbalost.

Cyberbond CS s.r.o., Lukášova 85, 460 10 Liberec – Ostašov XX; tel: +420 481022377, fax: +420 481022377;  
info@cyberbond.cz; www.cyberbond.cz

Bankovní spojení: Raiffeisenbank a.s., číslo účtu: 4055344001/5500, IBAN CZ22 5500 0000 0040 5534 4001, SWIFT:RZBCCZPP

## PŘÍLOHA P IV: TECHNICKÝ LIST 3

# **MOLECULAR - ADHESIVES®**

### **A 5050 Konstrukční molekulární lepidlo 3. generace**

*A 5050* je třetí generace dvousložkových vysokomolekulárních METAKRYLIC konstrukčních lepidel, které kombinují velmi vysokou pevnost a teplotní odolnost tradičních AKRYLIC s kvalitou pružného „gumového“ vytvrzení odolného na „LOUPÁNÍ a RÁZOVÉ šoky“ a vysokou přilnavostí na plasty. Jeho revoluční molekulární struktura velkých molekul poskytuje extrémně vysokou pevnost a rozložení nárazů na celou molekulární strukturu.

Lepí kovy, hliník, barevné kovy, nerez ocel, sklo, epoxy a epoxy. plasty, skelná vlákna, ABS, polykarbonátová skla, Polyestery, GRP, bakelity, NYLON, plasty, keramiku a jejich různé kombinace. Nelepí měď a její slitiny.

**Pevnost spoje až do 350-380 kg/cm<sup>2</sup> a teplotní odolnost do +180°C.**

Počáteční manipulační pevnosti je dosaženo za 5-6 minut, 75% pevnost je po 8 - 12 minutách a konečné vytvrzení po 6 hodinách. A to vše i při spárách až do 5mm.

- Extrémně vysoká pevnost
- Vysoká teplotní odolnost
- Unikátní odolnost RÁZŮM a LOUPÁNÍ
- Rychle vytvrzující
- Jednoduchá aplikace



**Slepení se projeví vysokou rázovou pevností, tažnou pevností a vysokou pevností při odtrhování s dobrou pružnou adhezí, dokonce i na lehce zaolejovaném povrchu.**

Jednoduché aplikace jsou možné s použitím různých aplikačních pistolí a mixážních trysek, které se hodí na většinu aplikací (aplikace konzultujte s technikem firmy). Produkt je také vhodný pro automatické a poloautomatické dávkovací a nanášecí systémy. Povrch musí být čistý a suchý (odmastit S 1950 nebo S1960), nicméně *A 5050* je tolerantní k lehce zaolejovanému povrchu.

Je vhodné i pro vypalovací barvu (+180°C). **Maximální operační teplotní hranice je -40 až +180°C.**

#### **Aplikace:**

Ačkoliv *A 5050* lepí i na lehce zaolejovaném povrchu, doporučuje se pro maximální pevnost vyčistit povrch čističem S 1950 (Kovy S 1960) a lehce obrousit skelným papírem. *A 5050* může být aplikováno přímo z lahviček v poměru 1:1, kde pouhý styk obou složek je dostatečný pro vytvrzení.

Použití na :

- ABS
- PVC
- Polyester
- Hliník

- Akrylové pryskyřice
- Vinyl Esters
- Nerez ocel

- Uhlíková ocel
- Uretany
- GRP
- Barevné kovy

## Pevnosti spoje A 5050 : Substráty Kg/cm<sup>2</sup>

ocel-ocel	290 - 390	Polykarbonát	180 - 250
hliník-hliník	250 - 290	NYLON	15
měď-měď	nelepí	polyester-polyester	31
nerez ocel-nerez ocel	254	tvrdý PVC-tvrdý PVC	35 substrát poškozen
mosaz-mosaz	nelepí	ABS-ABS	47
chrom-chrom	182	styrol-styrol 24	
nikl-nikl	223	epoxid FRP-epoxid FRP	84 substrát poškozen
zinek-zinek	234	fenol FRP-fenol FRP	65 substrát poškozen

### Odolnost proti rozpouštědlům a povětrnostním vlivům

Složení vyhovuje ASTM D1002 u oceli se spárou 5 mm, vytvrzuje týden při 23° C.

	Teplota	1000 hodin	2000 hodin
RH 100%	40°C	60 %	35 %
Solný roztok	50°C	75 %	60%
Glykol	20°C	75 %	65 %
Motorový olej	40°C	75 %	93 %
Benzín	40°C	95 %	92 %
I P/ Alkohol	40°C	75 %	90 %

**Při pokojové teplotě tento produkt obstojí na 100 % ve všech těchto chemických testech.**

### Odolnost proti působení tepla

% počáteční pevnosti

	Hodiny	500	1000	2000 °C
100% <a href="#">RH@20°C</a>		90	95	98 @60°C
100% <a href="#">RH@23°C</a>		65	55	60 @70°C

### Vytvrzování a pevnosti :

Vytvrzovací čas ( 75% pevnost)	12 - 15 minut
Konečná pevnost po :	6 hodinách
Pevnost Kov-Kov :	29-39 N/mm <sup>2</sup>
Pevnost Plast-Plast :	18-25 N/mm <sup>2</sup>
Tvrdość:	75 shore D

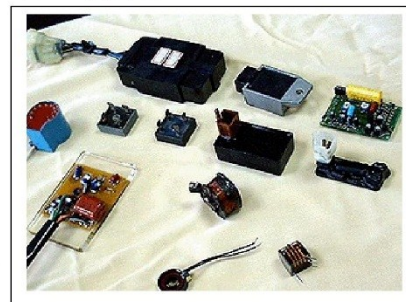
Skladování : Skladujte v chladnu, ve tmě mimo sluneční záření.

Životnost : 6 měsíců @ 20°C

### Chemický základ:

Složení :	Methyl Methacrylate
Barva :	bílá a světle žlutá viskózní kapalina
Barva po smíchání :	Jantarová
Rychlost vytvrzování 1:1 mix :	< 5 minuty
Rychlost vytvrzování poměrově :	2-7 minut
Viskozita :	200 000 cps @ 20°C (+500cps)

Spára :	< 5mm
Bod vzplanutí :	12°C
Životnost v originál. balení :	6 měsíců @ 20°C
Operační teplota :	-40° až do +180°C
Maximální teplotní odolnost : (krátkodobě)	+200°C
Pevnost v tahu na střiž :	35 - 38 N/mm <sup>2</sup>



### Upozornění:

Obsahuje metylmetakrylát a metakrylovou kyselinu. Dráždí oči, dýchací ústrojí a pokožku. Může způsobit podráždění při styku s pokožkou. Skladujte výrobek na chladném, tmavém, dobře větraném místě. Chraňte před zdroji vznícení - při práci nekuřte. Nevdechujte výpary. V případě kontaktu s očima okamžitě oči vymyjte proudem vody a vyhledejte lékařskou pomoc. Při kontaktu s pokožkou ji ihned umyjte mýdlem a vodou.

Uvedené hodnoty jsou průměrné a nepředstavují specifikaci.

Dodává : HF MARKET s.r.o., PLEŠNICE 25 , Tel.: 377 279 254-55, Fax.: 377 279 260

E-mail: [hmarket@hmarket.cz](mailto:hmarket@hmarket.cz) , [www.hmarket.cz](http://www.hmarket.cz)