

# **Výzkum adheze a koheze a jejich vlivu na vlastnosti sendvičových struktur**

Bc. Ján Holčík

---

Diplomová práce  
2014



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

akademický rok: 2013/2014

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: Bc. Ján Holčík

Osobní číslo: T12592

Studijní program: N3909 Procesní inženýrství

Studijní obor: Výrobní inženýrství

Forma studia: kombinovaná

Téma práce: Výzkum adheze a koheze a jejich vlivu na vlastnosti sendvičových struktur

Zásady pro vypracování:

1. Vypracujte literární rešerši o problematice lepení a vlivu lepidla na vlastnosti sendvičových struktur.

- Základní definice sendvičových struktur, používané materiály, způsoby výroby, aplikace
- Definice lepení a jednotlivých pojmů, druhy lepidel u sendvičových struktur
- Testování soudržnosti vrstev sendvičových struktur

2. Experimentální část

- Návrh konstrukce přípravku pro testování lepivosti dle ASTM
  - Tvorba modelu a výkresové dokumentace
  - Vytipování nejvhodnějšího lepidla pro spoj kov x kompozit
  - Testování lepivosti na daném přípravku a porovnání s výsledky dalších typů testů
3. Zhodnocení návrhu a naměřených dat, závěry

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

[1] Ehrenstein, G. W.: Polymerní kompozitní materiály. Scientia Praha, 2009.

[2] Vinson, J. R., The Behavior of Sandwich Structures of Isotropic and Composite Materials, CRC Press, 1999

[3] Zenkert, D., Nordic Industrial Fund: The Handbook of Sandwich Construction. Worcestershire; EMAS Publishing, 1997.

[4] Campbell, F.C.: Structural Composite Materials. Ohio; ASM International, 2010.

[5] Elektronické zdroje dle doporučení vedoucího bakalářské práce

Vedoucí diplomové práce:

**Ing. Ladislav Fojtl**

Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání diplomové práce:

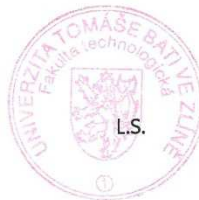
**10. února 2014**

Termín odevzdání diplomové práce:

**12. května 2014**

Ve Zlíně dne 10. února 2014

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



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

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové 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 práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové práce bude uložen na příslušném ústavu Fakulty technologické UTB ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl jsem seznámen s tím, že na moji diplomovou 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 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 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 práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové 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 05.05.2014

.....

---

<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 dílo).

<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 dílo:

(1) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení mají za obvyklých podmínek právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla (§ 35 odst. 3). Odpirá-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 přihlédne k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

## **ABSTRAKT**

Cieľom diplomovej práce bol výskum adhézie a kohézie a ich vplyv na sendvičové štruktúry. Prvá časť práce pojednáva a princípe funkcie sendvičov, používaných materiáloch v potťahoch, jadrách a tiež používaných lepidlách. V ďalšej časti práce sú popísané spôsoby testovania lepidlivosti pri výrobe sendvičových materiáloch. Tretia kapitola teoretickej časti pojednáva o teórii lepenia, a princípe adhézie a kohézie.

Kľúčové slová: sendvičová štruktúra, adhézia, kohézia, jadro sendviču, potťah sendviču, lepidlo, adhezivo, adherend

## **ABSTRACT**

The aim of diploma thesis has been research of adhesion and cohesion and their influence on the properties of sandwich structures. First part of thesis content a principle of function the sandwich structures, information about materials used in the coating, cores of sandwich and used adhesives. The next part describes how to test the stickiness of sandwich materials in production. The third part discusses the theory adhesives and cohesive principle.

Keywords: Sandwichstructures, Adhesion, Cohesion, Core sandwich, Coating sandwich, Adhesive, Adherend

Pod'akovanie patrí všetkým, ktorí mi akoukoľvek formou pomohli pri spracovaní tejto diplomovej práce. Moje pod'akovanie patrí predovšetkým vedúcemu práce Ing. Ladislavovi Fojtlovi za pomoc, vedenie, cenné pripomienky, podporu a ochotu.

Prehlasujem, že odovzdaná verzia diplomovej práce a verzia elektronická nahraná do IS/STAG sú totožné.

# OBSAH

<b>ÚVOD.....</b>	<b>10</b>
<b>I TEORETICKÁ ČÁST.....</b>	<b>12</b>
<b>1 SENDVIČOVÉ ŠTRUKTÚRY .....</b>	<b>13</b>
1.1 ZAŤAŽENIE SENDVIČOVÉHO PANELU .....	14
1.2 POUŽÍVANÉ MATERIÁLY .....	14
1.2.1 Poťahové materiály .....	15
1.2.2 Materiály používané v jadre sendvičových prvkov .....	19
1.2.2.1 Voštinové jadrá (Honey comb cores) .....	20
1.2.3 Výber lepidla a jeho vlastností.....	22
1.2.3.1 Polymeračný stupeň lepidla .....	22
1.2.3.2 Viskozita lepidla .....	22
1.2.3.3 Homogenita lepidla.....	23
1.2.3.4 Objemová stálosť lepidla .....	23
<b>2 TESTOVACIE METÓDY SÚDRŽNOSTÍ JEDNOTLIVÝCH VRSTIEV.....</b>	<b>25</b>
2.1 TESTOVANIE LEPIVOSTI ŠMYKOVÝM NAMÁHANÍM .....	25
2.2 TESTOVANIE PLOŠNÉHO NAPÄTIA PRI SENDVIČOVÝCH ŠTRUKTÚRACH S VOŠTINOVÝM JADROM .....	26
2.3 TESTOVANIE NAVÍJANÍM NA VALEC.....	29
2.4 VPLYV PROSTREDIA NA VÝSLEDKY TESTOV SENDVIČOVÝCH KOMPOZITOV.....	30
<b>3 LEPENIE .....</b>	<b>32</b>
3.1 VPLYV LEPENÉHO MATERIÁLU, LEPIDLA A TECHNOLOGICKÝCH PODMIENOK NA VLASTNOSTI SPOJOV.....	33
3.1.1 Lepený materiál.....	33
3.2 ADHÉZIA .....	37
3.2.1 Mechanická väzba .....	40
3.2.2 Elektrostatická teória.....	41
3.2.3 Difúzna teória.....	41
3.2.4 Chemická teória .....	41
3.2.5 Reologická teória .....	42
3.3 SLABÉ VÄZBOVÉ VRSTVY .....	42
<b>II PRAKTICKÁ ČÁST .....</b>	<b>45</b>
<b>4 CIELE DIPLOMOVEJ PRÁCE.....</b>	<b>46</b>
<b>5 VYTVORENIE 3D MODELU A VÝKRESOVEJ DOKUMENTÁCIE TESTOVACIEHO PRÍRPAVKU.....</b>	<b>47</b>
<b>6 VÝBER LEPIDLA KU SKÚŠKE .....</b>	<b>50</b>
6.1 VÝSLEDKY TESTOV LEPIDIEL.....	53
<b>7 OVERENIE FUNKČNOSTI PRÍPRAVKU.....</b>	<b>65</b>
7.1 MATERIÁLY A VÝROBA TESTOVACÍCH VZORIEK.....	65
7.2 VÝSLEDKY TESTOVANIA PLOŠNÉHO NAPÄTIA .....	68
7.3 POROVNANIE A ANALÝZA VÝSLEDKOV TESTOV PLOŠNÉHO NAPÄTIA .....	75



<b>ZÁVER .....</b>	<b>79</b>
<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....</b>	<b>81</b>
<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....</b>	<b>83</b>
<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>84</b>
<b>SEZNAM TABULEK.....</b>	<b>86</b>
<b>SEZNAM PŘÍLOH.....</b>	<b>87</b>

## ÚVOD

Diplomová práca pojednáva o problematike lepenia, vplyvu lepidla a lepených materiálov na vlastnosti sendvičových štruktúr. Obsahuje základné definície sendvičových štruktúr, používané materiály pri ich výrobe a testovanie súdržnosti jednotlivých vrstiev sendvičových štruktúr.

**V prvej kapitole tejto diplomovej práce** sa dozvieme o princípe funkcie a zložení sendvičových materiálov. Sendvičové štruktúry predstavujú zvláštny druh kompozitu, ktorý sa skladá z dvoch vonkajších vrstiev tzv. poťahov sendviču a jadra sendviču. Sendviče sa na rozdiel od jednoduchých laminátov vyznačujú vyššou tuhosťou, lepšími izolačnými vlastnosťami a nižšou hmotnosťou.

Ako poťahy sú najčastejšie používajú vláknové kompozity, ktoré ponúkajú pevnostné vlastnosti podobné alebo dokonca vyššie ako u kovov. Napriek tomu ich tuhosť býva nižšia. Vlákna v týchto kompozitoch sú prevažne sklenené, aramidové alebo uhlíkové. Musia spĺňať rôzne požiadavky, predovšetkým vysokú tuhosť v ohybe, vysokú pevnosť v ťahu i v tlaku a v neposlednom rade odolnosť voči nárazu a vonkajšiemu prostrediu. Tieto lamináty často vstupujú do výrobného procesu ako predimpregnované tkaniny, bežne nazývané ako prepreg.

Ako jadro sendviča sú najčastejšie používané polymérne peny, materiály na báze dreva alebo voštiny – tzv. Honey comb. Jadro sa vyznačuje predovšetkým nízkou hustotou a dostatočne vysokým modulom pružnosti a pevnosti v šmyku, tuhosti a pevnosti v tlaku a inými vlastnosťami, ktoré udávajú použitie sendvičového materiálu (tepelná akustická izolácia a pod.).

**Náplňou druhej kapitoly** je testovanie metódy súdržnosti jednotlivých vrstiev sendviču. Tá je dôležitá pri prenášaní šmykového namáhania z vonkajších vrstiev na jadro sendviča. Jednotlivé podkapitoly obsahujú jednotlivé typy testovania a to:

- Testovanie lepivosti šmykovým namáhaním
- Testovanie plošného napätia pri štruktúrach s voštinovým jadrom
- Testovanie navíjania na valec

V poradí tretia kapitola je venovaná teórií lepenia. Je kladený dôraz na vlastnosti lepidla, teórie adhézie a kohézie plus vplyvu povrchov lepených materiálov na kvalitu spoja.

Ďalšie kapitoly spadajú do „praktickej časti“ tejto diplomovej práce. Zaoberajú sa návrhom konštrukcie, tvorbe modelu a výkresovej dokumentácie a následnej výroby prípravku na testovanie lepivosti podľa normy ASTM C297. Ďalej vo vytipovaní niekoľkých lepidiel pre spoj kovu a kompozitu, testovanie pevnosti lepených spojov, následného výberu jedného z nich a použitie pri lepení vzoriek sendvičov do navrhnutého a vyrobeného prípravku. Taktiež sa tu vykonala skúška lepivosti, ktorej analýza tvorí záverečnú časť praktickej časti.

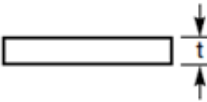
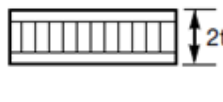
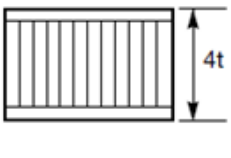
## TEORETICKÁ ČÁST

## 1 SENDVIČOVÉ ŠTRUKTÚRY

Sendvičová konštrukcia je druh vrstveného materiálu zloženého z nosných potáhov, ktoré sú spojené s jadrom sendviča obvykle syntetickými lepidlami na báze fenol – formaldehydových alebo epoxidových živíc. Ako jadrá sa uplatňujú penové materiály s nízkou hustotou, ako ľahčené PVC, PUR, PS. Ďalej možno použiť voštiny väčšinou s hexagonálnou štruktúrou, tzv. Honeycomb. Na rozdiel od homogénnych výrobkov nie je výsledná únosnosť sendviča v ohybe daná iba materiálovou charakteristikou – pevnosťou, ale je výslednicou zložitého mechanického chovania sendvičovej štruktúry. Ich únosnosť závisí na geometrických, materiálových ale aj technologických parametroch. Je obmedzená poruchami rôzneho typu [1].

Vonkajšie nosné vrstvy sendviča predstavujú v podstate tenkostenné prvky uložené na pružnom podklade jadra a sú teda náchylné k istým formám straty stability. Tieto porušenia môžu byť sprevádzané odtrhnutím- separáciou nosných vrstiev od jadra a ich následným porušením. V princípe ide o to, že pri homogénnych prútoch je materiál v oblasti okolo neutrálnej osi využívaný neefektívne. V tejto oblasti je totiž namáhaný nepatrne na rozdiel od namáhania v krátkych vláknoch prierezu. Použitím ľahkého jadra s malou tuhosťou, tuhých a pevných potáhových vrstiev možno dosiahnuť vysokej tuhosti a pevnosti pri minimálnej hmotnosti [1].

Obr. č. 1. popisuje rapidný nárast únosnosti a tuhosti pri náraste hrúbky sendviča pri minimálnom raste hmotnosti

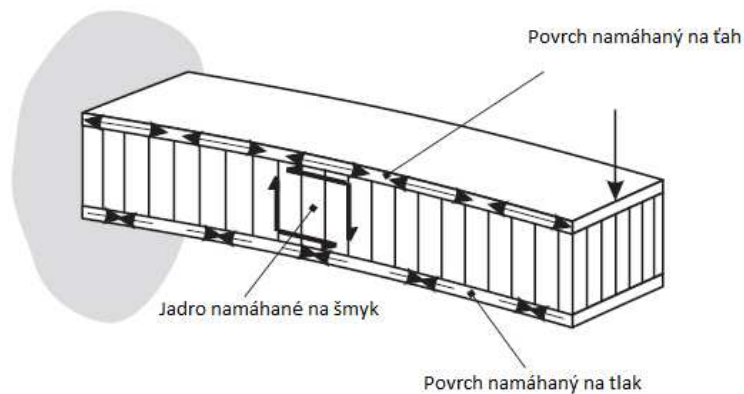
	Plech	Sendvičová konštrukcia	Hrubšia sendvičová konštrukcia
			
<b>Relatívna tuhosť</b>	100	700	3700
<b>Relatívna únosnosť</b>	100	350	925
<b>Relatívna hmotnosť</b>	100	103 3% nárast hmotnosti	106 6% nárast hmotnosti

Obr. č.1 Zmena únosnosti a tuhosti pri náraste hrúbky sendviča [16]

### 1.1 Zaťaženie sendvičového panelu

Zoberme si pevne votknutý prút s zaťažением na voľnom konci. Použité zaťaženie vytvára ohybový moment, ktorý je maximálny na votknutej strane. Jadro je namáhané na tlak a šmyk. Vrchný poťah je namáhaný na ťah, spodný poťah namáhaný na tlak.

Navonok pracuje panel ako homogénna štruktúra. Na obr. č. 2 je znázornený princíp funkcie sendviču pri zaťažení na voľnom konci. Priehyb sendvičového panelu sa teda skladá z ohybovej a šmykovej zložky. Je teda závislí na relatívnej pevnosti v ťahu a tlaku povrchových materiálov a taktiež na module pružnosti v šmyku materiálu použitého v jadre [2].



Obr. č. 2 Princíp funkcie sendviču pri zaťažení na voľnom konci

### 1.2 Používané materiály

Ako je uvedené v predchádzajúcej časti, sendvič sa skladá z troch alebo viacerých zložiek poťahov, jadra a lepených spojov. Všeobecne platí, že jednotlivé časti môžu byť z rôznych materiálov a dokonca aj oba lepené spoje môžu byť vytvorené s použitím rôznych lepidiel, všetko v závislosti na požiadavkách týkajúcich sa štruktúry a výrobného procesu. Možnosti voľby materiálov sú obrovské najmä od zavedenia kompozitov ako poťahových materiálov sa zvýšila na takmer nekonečné množstvo rôznych kombinácií, to všetko s rôznymi vlastnosťami. Dokonca aj počet dostupných jadier sa dramaticky zvýšil v posledných rokoch od zavedenia ľahčených plastov. Pri výrobe sendvičových konštrukcií je rovnako tak problém výber materiálov, ako problém dimenzovania.

Materiály sú často vyberané nie čisto na základe mechanických vlastností, ale skôr z dôvodov, ako je odolnosť voči prostrediu, povrchové úpravy, použitie konkrétneho spôsobu výroby, náklady, odolnosť proti opotrebeniu hmotnosť a podobne [2].

### 1.2.1 Potáhové materiály

Takmer každý konštrukčný materiál, ktorý je k dispozícii vo forme tenkého listu, môže byť použitý pre vytvorenie plochého sendvičového panela. Primárne vlastnosti potáhových materiálov pri sendvičových štruktúrach sú:

- vysoká tuhosť v ohybe
- vysoká pevnosť v ťahu a pevnosť v tlaku
- odolnosť proti nárazu
- povrchová úprava
- odolnosť voči prostrediu (chemické, UV, teplo, atď.)
- odolnosť proti opotrebeniu

Bežne používané materiály môžu byť rozdelené do dvoch hlavných skupín, kovové a nekovové materiály. Prvá skupina obsahuje ocele, nerezové ocele a zliatiny hliníka. Tam je obrovské množstvo zliatin s rôznymi pevnostnými vlastnosťami, zatiaľ čo tuhosť je podobná.

Výhody kovov ako potáhových materiálov sú:

- vysoká tuhosť a pevnosť
- nízka cena
- kvalitný povrch
- vysoká odolnosť proti nárazu

Nevýhody sú najmä vysoká hustota

Hustota a Youngov modul kovov sú veľmi málo ovplyvnené zložením zliatiny, zatiaľ čo pevnosť sa veľmi líši medzi rôznymi zliatinami .

Väčšia z týchto dvoch skupín je druhá. Spadajú sem materiály, ako je preglejka, dyha, laminát a vláknové kompozity .

Najdôležitejšie z nekovových materiálov sú vláknové kompozity. Dôvodom pre to je skutočnosť, že väčšina kompozitov ponúkajú pevnostné vlastnosti podobné, alebo dokonca vyššie ako u kovov, aj keď ich tuhosť je často nižšia.

Preto, aby sa dosiahlo vysokej tuhosti, kompozity sú použité v sendvičoch s ľahkým jadrom. Ďalším dôležitým dôvodom je to, že výroba sendvičov s použitím kompozitov ako potáhov je oveľa jednoduchšia, než pri výrobe sendvičových konštrukcií s kovovými vonkajšími vrstvami. Ďalším rysom kompozitov je ich anizotropné správanie, t.j. majú rôzne mechanické vlastnosti v rôznych smeroch. Čo sa z počiatku javí ako možný problém pri dimenzovaní, ale je v skutočnosti výhodou, pretože ponúka možnosť prispôbiť si vlastnosti v spojení so spôsobom zaťažovania. Napríklad, je možné umiestniť dostatočné množstvo vlákien v jednom smere na prenášanie väčšinu mechanického zaťaženia v danom smere a iné množstvo v inom smere [13].

Najdôležitejšie materiály používané ako výstuž pri výrobe kompozitov sú:

**Sklenené vlákna:** Najčastejšie používaný výstužný materiál u kompozitov používaných v nosných sendvičových konštrukciách je tzv. E - sklenené vlákno. Má dobré mechanické vlastnosti a odolnosť voči prostrediu a jeho konkurencieschopnosť pochádza predovšetkým z relatívne nízkej ceny. Existujú aj iné druhy sklenených vlákien, ako sú zosilnené S - a R - vlákna. Majú o niečo lepšie mechanické vlastnosti, ale ich cena je v súčasnej dobe podstatne vyššia. Hlavnou zložkou skla  $\text{SiO}_2$ , asi 50 - 70 % [3]. Ďalšie zložky často tvoria oxidy kovov ako je  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  a  $\text{CaO}$ . Hlavnou nevýhodou u sklenej výstuže je, že modul pružnosti je pomerne nízky a hustota je vyššia ako u iných výstuh [14].

**Aramidové vlákna:** Tento typ vláknovej výstuže je známejšia pod svojim obchodným názvom Kevlar® , ale dnes existuje mnoho aramidových vlákien od niekoľkých výrobcov. Je vyrobený z aromatických polyamidov, má nízku hustotu, vysoký modul pružnosti a vysokú pevnosť. Vlákna sú veľmi odolné proti opotrebeniu, z toho dôvodu sa kompozitné materiály s touto výstužou sa ťažko obrábajú. Je to vlákno s najvyšším pomerom pevnosti v ťahu k hmotnosti zo všetkých známych vlákien, ale s oveľa horšiu pevnosťou v tlaku [14].

**Uhlíkové vlákna:** Uhlíkové vlákna sú zostavené z dlhých uhlík - uhlík molekulárnych reťazcov, ktoré poskytujú veľmi tuhé vlákna.

Našli svoje využitie vo vyspelých aplikáciách, kde je nevyhnutné použitie ľahkých materiálov s vysokou tuhosťou.



Uhlíkové vlákna majú nízky koeficient tepelnej rozťažnosti, dobré trecie vlastnosti, dobrú penetráciu X žiarenia a sú nemagnetické. Hlavnou nevýhodou je vysoká cena, že všetky uhlíkové kompozity sú pomerne krehké a taktiež vysoká miera anizotropie.[14].

V tab. č. 1 možno vidieť mechanické vlastnosti rôznych druhov výstužných materiálov v porovnaní s hustotu materiálov.

Tab. č. 1 Výstužné materiály, ich hustota a mechanické vlastnosti

<b>Materiál vlákna</b>	<b>Hustota <math>\rho</math> (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>E (Gpa)</b>	<b>pevnosť <math>\delta</math> (MPa)</b>
E- Sklenené vlákno	2600	70	2500
S- Sklenené vlákno	2600	85	4800
Aramid (Kevlar 49)	1400	125	2200
Carbon HS	1750	220	3000
Carbon HM	1950	400	2500
Bórove vlákno	2600	400	3400

### Matrice

Hlavnou úlohou matrice je zaistenie celistvosti kompozitného telesa, t.j. dokonalé spojenie nosnej časti a vytvorenia tvaru, ktorý musí zaistiť riadnu funkciu telesa. Materiálové vlastnosti matrice a vlákien musia byť v súlade so snahou o dosiahnutie optimálnych vlastností celého kompozitu. Špecifické funkcie matrice je možné vyjadriť v niekoľkých bodoch:

- spojuje vlákna v kompaktný celok
- sprostredkuje zaťaženie vlákien, v miestach prerušenia vlákien, medzivláknami u krátko vláknových kompozitov, medzi vláknami nerovnomerne zaťaženými, premostuje trhliny vo vláknach atď.
- vytvára vonkajší funkčný povrch telesa a estetický vzhľad vrátane farby

Obecnou mechanickou požiadavkou na matricu je dobrá adhézia k výstuži a dobrá medzná ťažnosť [8].

K dispozícii je veľké množstvo matricových materiálov, ktoré môžu byť použité v spojení s výstuhami, t.j. polyestery, vinylestery, epoxidové živice, fenolické živice, polyuretány.

Väčšinou sa používajú termosety najmä v podobe nízko viskózneho kvapaliny, ktorá tuhne po chemicko reakcii tzv. zasieťovaním s nízko molekulovou hmotnosťou monomeru a prepolymeru do polymérnej siete s vysokou molekulárnou hmotnosťou, pričom vzniká teplo v exotermickej a nevratnej reakcii [6].

Na rozdiel od termosetov, termoplasty sú tuhé pri teplote miestnosti a skladajú sa z polymérnych reťazcov s vysokou molekulárnou hmotnosťou, ale bez väzieb medzi reťazcami. Preto môžu byť skvapalnené zvýšením teploty a spevnené znížením teploty vo vratnom procese [13].

V tab. č. 2 je porovnanie základných mechanických a fyzikálnych vlastností materiálov najčastejšie používaných ako matrice kompozitných materiálov.

Tab. č. 2 Porovnanie základných vlastností matric

Materiál	$\rho$	E	$\delta$	T max
	kg/m <sup>3</sup>	GPa	MPa	°C
Iso-polyester	1100	4	40	-
Orto-polyester	1100	4	40	-
Vinylester	1100	8	50	-
Epoxy	1100	12	60	-
PEEK	1310	3.8	80	334
PPS	1400	4	65	285
PP	900	1.7	35	170
Polyimide (Nylon 6)	1070	1.0	60	210

Pri výrobe sendvičov sa používajú na výrobu potáhových vrstiev tieto materiály často vo forme prepregov (preimpregnated fibres). Ich hlavnou zložkou je výstuž, ktorá je predimpregnovaná čiastočne vytvrdenými živicami. Prepregové listy sa môžu vrstviť do požadovanej hrúbky, tvarovať vo formách a následne dotvrdiť pôsobením tepla a tlaku.

Hlavnou výhodou prepregov je vysoký podiel vláknovej výstuže, rovnomernosť a hladkosť vyrobených dielov, ktoré súvisia s preddefinovaným presným uložením výstuže.

Medzi nevýhody možno zaradiť vyššiu cenu oproti ostatným kompozitným materiálom, značný odpad pri spracovaní a potreba skladovať materiál pri nízkych teplotách, aby sa spomalila sieťovacia reakcia, nakoľko látka, ktorou sú vlákna impregnované obsahuje aj sieťovacie činidlo [17].

### 1.2.2 Materiály používané v jadre sendvičových prvkov

Jadrá použité v sendvičových konštrukciách možno rozdeliť do štyroch hlavných skupín :

- voštiny (tzv. Honey comb)
- materiály na báze dreva, najmä balza
- polymérne peny, termoplastické alebo termosetické, vlnité jadrá

Jadro by malo mať predovšetkým nízku hustotu. Aj napriek tomu, že priečne sily vytvárajúce normálové napätie v jadre sú zvyčajne nízke, aj malé zníženie hrúbky jadra by zapríčinilo veľkého zníženie tuhosti v ohybe a teda Youngov modul kolmo k povrchu by mal byť vysoký. Jadro je väčšinou namáhané na šmyk a to vytvára globálne deformácie a hlavne šmykové napätie. Jadro musí byť vybrané, tak aby odolalo bez problémov aplikovanému priečnemu zaťaženiu a s modulu pružnosti v šmyku dostatočne vysokým, aby sa dosiahla požadovaná šmyková tuhosť. Ďalšie funkcie sendviča, ako je tepelná a akustická izolácia je tiež závislá hlavne od materiálu jadra a jeho hrúbky. Materiály vybrané pre jadro sendvičovej konštrukcie sa dodávajú v rôznych materiálových typov, tvarov a mechanických a fyzikálnych vlastností. Aplikácie konečného použitia veľmi často diktuje, aký materiál je najlepšie pre výslednú konštrukčnú aplikáciu [16].

Základné vlastnosti dôležité pre jadro môžu byť zhrnuté nasledovne:

- hustota (kladie sa dôraz na nízku hmotnosť jadra kompozitu)
- modul pružnosti v šmyku
- pevnosť v šmyku
- tuhosť a pevnosť kolmo k rovine dosky (tieto materiály musia znášať tlakové zaťaženie pôsobiace kolmo na povrchové časti sendviču)
- ďalšie vlastnosti podľa požiadaviek na použitie, napr. tepelná alebo akustická izolácia

Tab. č.3 zoraďuje niekoľko používaných materiálov používaných v sendvičových štruktúrach a ich mechanické a fyzikálne vlastnosti, majúce vplyv na vlastnosti výsledného sendviču. Niektoré z týchto vlastností už boli uvedené vyššie, sú silne závislé na hustote peny, ich zvýšenie je úmerné stupňu zhutnenia, hustoty buniek a teplota použitia[14].

Tab. č. 3 Vlastnosti materiálov používaných na výrobu jadier [14]

<i>Materiál jadra</i>	<i>Rozsah hustoty</i>	<i>Pevnosť v šmyku</i>	<i>Modul pružnosti v šmyku</i>	<i>Max. Tlakové zaťaženie,</i>	<i>Max.teplota použitia °C</i>
	<i>kg/m<sup>3</sup></i>	<i>MPa</i>	<i>MPa</i>	<i>MPa</i>	
Balšové drevo	96-250	1.85-4.94	108-312	6.5-26.6	165
Polyuretánové peny (PUR)	21-400	0.15-3.1	1.55-104	0.2-0.35	135
Polystyrénové peny (PS)	30-60	0.25-0.60	4.5-2020	0.3-0.9	100
Polyvinylchloride Pena (PVC)	30-400	0.35-4.5	8.3-108	0.3-5.8	55-120
Polymethacrylimide Peny (PMI)	30-300	0.8-7.5	19-290	0.8-16	140-285
Polyetherimide Peny (PEI)	60-110	0.8-1.4	18-30	0.7-1.4	180-190
Styrene-acrylonitrile Copolymer peny (SAN)	48-160	1.3-3.5	13.8-41.4	0.35-10.3	135
Epoxydové peny	80-320	0.45-5.2		0.62-7.4	177 -350
Fenolické peny	5-160	0.01-1.45		0.014-2.07	145-200
Uhlíkové peny	30-560	0.05-3.9		0.2-60	-2500

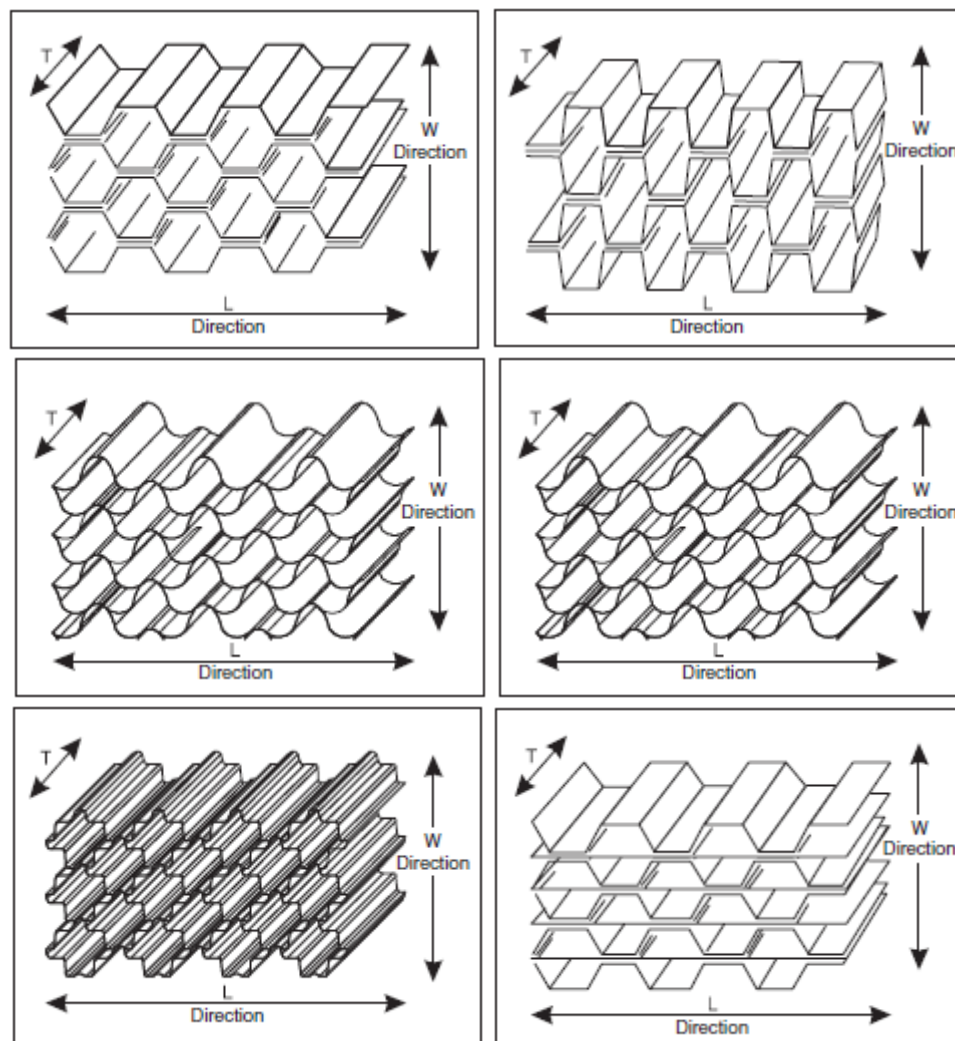
### 1.2.2.1 Voštinové jadrá (*Honeycomb cores*)

Sú používané predovšetkým vo vesmírnych a leteckých aplikáciách. Základom sú materiály typu včelieho plástu. Avšak lacné voštinové materiály vyrobené z impregnovaného papiera sú tiež použité v konštrukčných aplikáciách. Voštinové materiály môžu byť vyrobené v rôznych tvaroch, ako sú bunky štvorcového, obdĺžnikového, trojuholníkového alebo vlnitého tvaru, ale najčastejšie je používaný tvar hexagonálny.

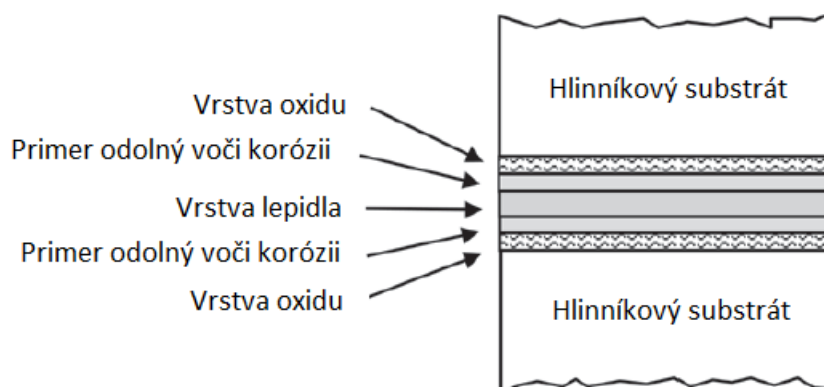
Posledné dve uvedené konfigurácie sa používajú predovšetkým v situáciách keď jadro musí byť zakrivené pri výrobe sendvičového prvku[13].

Rôzne typy hexagónnych jadier sú zobrazené na obrázku obr. č 3. Pri použití voštiny z hliníku, sa zvyšuje adhézia k lepidlu vytvorením pórov z oxidu hlinitého použitím technológie anodická oxidácia napríklad kyselinou fosforečnou alebo kyselinou chrómovou. Na ten sa následne naniesie primer na báze epoxidovej živice, ktorá vyplní vytvorené póry, ochráni vytvorený povrch pred nečistením, a pri lepení stane zastane funkciu adhézneho mostíka.

Táto štruktúra je znázornená na obr. č.3[13]



Obr. č. 3 Rôzne typy voštinových jadier [14]



Obr. č. 4 Jednotlivé vrstvy pri lepení hliníku s povrchovou úpravou oxidáciou [13]

### 1.2.3 Výber lepidla a jeho vlastností.

Materiálové charakteristiky adherendov dôležité pri lepení sú prvým ukazovateľom pri výbere lepidla. Je dôležitá znalosť štruktúry zloženia a priepustnosť plynov u oboch lepených dielov. Ich zloženie určuje druh lepidla z hľadiska špecifickej adhézie k oboch povrchom. Štruktúra a priepustnosť plynov sú ďalšie podmienky pri výbere lepidla z hľadiska jeho zloženia a spôsobu tuhnutia v spoji. Podľa týchto charakteristík vyberáme druh lepidla [16].

#### 1.2.3.1 Polymeračný stupeň lepidla

Vplyv polymeračného stupňa, daného dĺžkou molekúl filmotvorného polyméru obsiahnutého v lepidle je do značnej miery protichodný. S narastajúcou dĺžkou makromolekúl stúpa viskozita roztoku a kohézia filmu lepidla. Adhézia však z pravidla klesá. Naopak lepidlá obsahujúce polyméry s nižším polymeračným stupňom vzhľadom k nižšej viskozite lepšie difundujú do mikropovrchu adherendu, poskytujú však film s nižšou kohéziou. Pretože pre správnu funkciu lepidla v spoji je potrebná tak vysoká adhézia, tak aj vysoká kohézia jeho filmu musia byť v lepidle zastúpené tak vysokomolekulárne tak nízkomolekulárne látky [16].

#### 1.2.3.2 Viskozita lepidla

Viskozita je mierou vnútorného trenia v kvapaline a je jedným z činiteľov ovplyvňujúcich tokové vlastnosti látky. Závisí na obsahu a polymerizačnom stupni filmotvornej látky, obsahu a kvalite plniva, pomere rozpúšťadla a riedidla a na teplote.

Čím je lepidlo viskóznější, tým sa obtiažnejšie nanáša a roztiera, v extrémnych prípadoch môže nastať nedokonalé zmáčanie mikropovrchu adherendu. Pri niektorých reaktívnych lepidlách viskozita stúpa so starnutím lepidla a to tým rýchlejšie, čím je vyššia skladovacia teplota. Viskozita narastá taktiež pri odparovaní rozpúšťadla [16].

### **1.2.3.3 Homogenita lepidla**

Homogenita lepiacej zmesi je základným predpokladom spoľahlivého spoja. Z tohto hľadiska je potrebné venovať pozornosť najmä lepidlám s obsahom nerozpustných prísad a viaczložkovým lepidlám, ktoré sa musia pred použitím dôkladne premiešať. Aby sa všetky zložky lepidla dokonale premiešali je potrebné zvoliť správne poradie pridávania tvrdidla a plnidla [16].

### **1.2.3.4 Objemová stálosť lepidla**

Z hľadiska stálosti spoja je potrebné mať na pamäti aj objemové zmeny, ku ktorým dochádza pri zmene skupenstva lepidla z tekutého na tuhý film. Čím je vyšší obsah aktívnych zložiek a plnív v lepidle, tým sú menšie následné objemové zmeny. Aktívnou látkou sa rozumie nielen polymér ale aj ďalšie reakcie schopné látky, napríklad reaktívne rozpúšťadlá a zlúčeniny, ktoré zaisťujú zosieťovanie štruktúry lepidla. Najmenej sa zmršťujú lepidlá tavné a bezrozpúšťadlové reaktívne lepidlá. Najviac znižujú objem lepidlá rozpúšťadlové a disperzné. Niektoré filmotvorné polyméry ako je napríklad polystyrén, polyvinylacetát alebo polybutylmethakrylát zadržujú rozpúšťadlá veľmi dlho, takže sa objemovej stálosti spoja dosiahne až za 2-3 týždne. Ak si vyžaduje tvar lepenej špáry hrubšiu vrstvu lepidla, alebo ako môže správanie lepidla ovplyvniť tenkú vrstvu adherendu, odporúčajú sa lepidlá objemovo stálejšie.

Pri výrobe sendvičových štruktúr sa najčastejšie používajú reaktívne lepidlá na báze epoxidovej živice, buď vo forme jednozložkovej, dvojzložkovej pasty, alebo lepiacej fólie. Lepiace fólie sú dodávané v roľkách chránené separačným papierom. Druh sa volí v závislosti na požadovanej teplote vytvrdnutia, mernej hmotnosti filmu a požadovaných mechanických vlastností [16].

Výhoda fólie spočíva predovšetkým v rovnakej hrúbke po celej ploche, a tým pádom zjednodušuje rovnomerné nanášanie lepidla na lepenú plochu.

Z tohto dôvodu je celý proces lepenia ľahšie udržateľný v stabilnom stave:

- nie je potrebné miešať dve zložky
- majú vynikajúce mechanické vlastnosti
- lepia kovy, lamináty, drevo, kameň[16]

Príklady spoločnosti, ktoré vyrábajú lepiace fólie, názvy produktových rád:

- 3M- Scotch-Weld™,
- 5M- LETOXIT® KFL – majú formu tmavo šedej prižnej fólie hrúbky 0,3mm, ktorá je chránená z jednej strany polyetylénovou fóliou a z druhej silikonovým papierom. Sú namotané na ruličke priemeru 250mm alebo 1000mm. Pri spracovaní za zvýšenej teploty nedochádza k odparovaniu prchavých látok.
- HEXCEL-REDUX®,
- AXIOM-rada AX2000

Epoxidové lepidlá sú veľmi kvalitné, vhodné pre mnoho materiálov. Lepí sa s nimi predovšetkým sklo, keramika a kovy. Pevné spoje vznikajú aj pri lepení gumy, sklenených polyesterových, epoxidových laminátov a dreva. Použiteľné sú taktiež na lepenie niektorých termoplastov, ako je polymethylmethakrylát, polyvinylchlorid, neupravený polyetylén, polypropilén. Príprava epoxidových živíc je založená na reakcií viacmocných fenolov s epichlorhydrinom. Ako viacmocný fenol sa zväčša používa dian.

Podľa vzájomného pomeru oboch zložiek a podmienok reakcie vznikajú živice s rôznymi vlastnosťami. Ako lepidlá sa používajú buď bez ďalších úprav, alebo sú ich vlastnosti ďalej upravované látkami ako sú zmäkčovadlá alebo reaktívne rozpúšťadlá.

Epoxidy sa nanášajú z pravidla len na jednu z lepených plôch. Nános má byť dostatočne výdatný, tak aby hrúbka filmu dosiahla 0,1-0,2mm. Preto sa spoje fixujú minimálnym tlakom 0,02 MPa. Hrúbka špáry sa dá poistiť primiešaním distančných drôtikov, alebo korundových zŕn do plniva. Vytvrdené epoxidové lepidlá vytvárajú nerozpustné, netaviteľné, tvrdé až čiastočne elastické spoje. Pri vytvrdení nevznikajú vedľajšie produkty. Môžu sa plniť anorganickými plnivami, do obsahu 30-40% hmotnosti základnej živice. Ako plnivo slúži práškový hliník, železo alebo zinok pre úpravu tepelnej vodivosti a rozťažnosti. Ďalej azbest, porcelánová múčka, koloidný oxid kremičitý a iné[16].



## 2 TESTOVACIE METÓDY SÚDRŽNOSTÍ JEDNOTLIVÝCH VRSTIEV

Medzi testovacie metódy súdržnosti jednotlivých vrstiev patria predovšetkým: ťahová skúška na plochu, testovanie lepidlosti šmykovým namáhaním a v neposlednom rade testovanie plošného napätia pri sendvičových štruktúrach s voštinovým jadrom.

### 2.1 Testovanie lepidlosti šmykovým namáhaním

Tri najrozšírenejšie šmykové skúšky lepidlosti sú zobrazené na Obr. 19. Spôsob testovania lepidlosti na šmyk

Jedná sa o jednoduchý test, dvojité šmykové test a viac vrstvový test.

Pri testovaní lepidla je dôležité sledovať súdržnosť lepu a lepených častí a jeho porušenie.

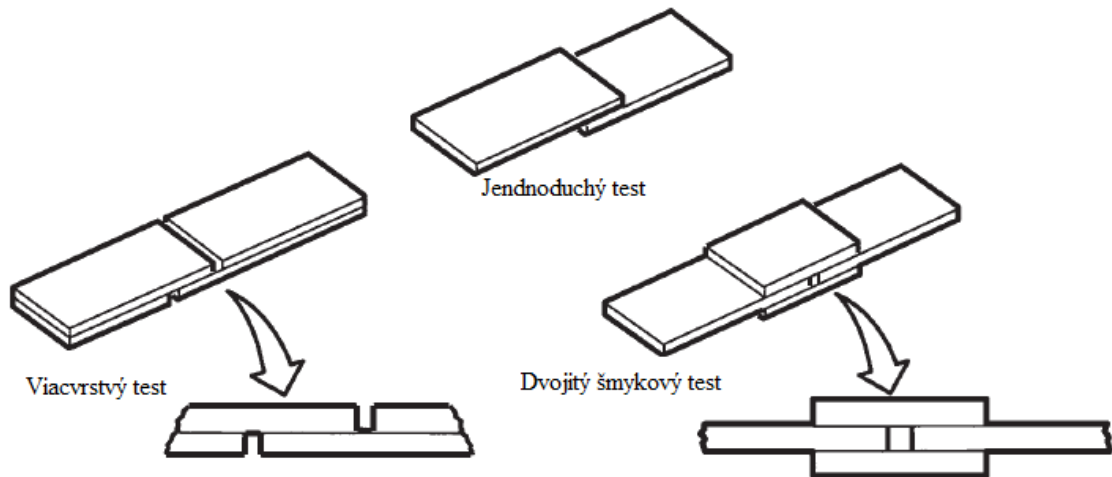
V prípade, že sa lepidlo odlepí od lepenej vrstvy, test nie je platný a väčšinou svedčí o nesprávnej príprave povrchu.

Jednoduchý šmykový test, popísaný normou ASTM D 1002 je najjednoduchší, ale najmenej efektívny, vzhľadom na prítomnosť excentrického zaťaženia.

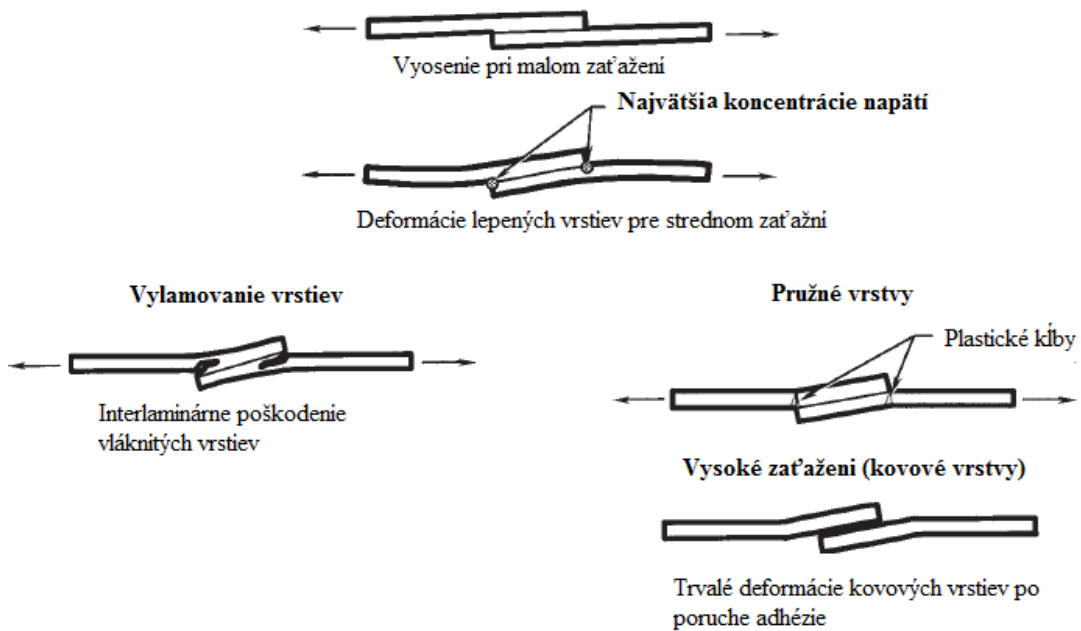
Rôzne druhy poškodení v závislosti na použítom materiáli sendvičových štruktúr v dôsledku excentrického namáhania sú znázornené na obr. č. 20. Možnosti poškodení pri jednoduchom šmykovom teste lepidlosti[9].

Kompozity s kovovými vonkajšími vrstvami majú s narastaním tohto excentrického napätia tendenciu sa ohýbať a nastávajú trvalé deformácie. Laminátované vonkajšie vrstvy sa môžu štiepiť a lámať v jednotlivých medzivrstvách.

Táto skúška sa používa na testovanie prípravy povrchu na lepenie, najmä pri kovových sendvičových vrstvách(Al, Ti) ale je možné použitie aj pri polymérnych vrstvách, ktoré obsahujú vlákna, bez rozdielu ich orientácie [4, 6].



Obr. č. 5 Spôsoby testovania lepidlosti na šmyk



Obr. č. 6 Možnosti poškodení pri jednoduchom šmykovom teste lepidlosti

## 2.2 Testovanie plošného napätia pri sendvičových štruktúrach s voštinovým jadrom

Testovanie plošného napätia je zobrazené na obr. č. 7. Testovanie plošného napätia pri sendvičových štruktúrach s voštinovým jadrom a špecifikované normou ASTM C297.

Podstata testu spočíva v pripravení kruhového ( $D=50\text{mm}$  alebo  $75\text{mm}$ ) alebo štvorcového vzorku (so stranou  $50\text{ mm}$  alebo  $75\text{ mm}$ ), pri čom hrúbka nie je podstatná.

Tento sa prilepí na oceľové alebo hliníkové bloky a následné ťahanie blokov smerom od seba. Povrch vrchné aj spodnej časti by mali byť dobre zdrsnené a vyčistené. To isté platí aj o kovových blokoch testovacieho prípravku. Toto spojenie sa nesmie počas testovania porušiť, inak je skúška neplatná. Tlak pri lepení vzorku ku blokom by mal byť menší ako tlak použitý pri lepení kompozitu pri výrobe a taktiež teplota pri vytvrdzovaní tohto lepeného spoja by nemala byť vyššia ako teplota pri lepení počas výroby.

Tento test je taktiež aplikovateľný na samotné voštinové jadro, ktoré sa priamo prilepí na bloky testovacieho prípravku. Bloky by mali byť voľne rotovateľné, aby pôsobiace zaťaženie bolo len čisto ťahové. To nám môže totiž drasticky znížiť maximálne lomové zaťaženie. Ideálne je použiť univerzálne otočné spojenie na obe tyče zaisťujúce pôsobenie zaťaženia. Metódou možno zistiť aké napätie treba vyvolať na rozlepenie jednotlivých vrstiev od seba. Je odporúčané fotograficky zaznamenať spôsob rozlepenia[3].

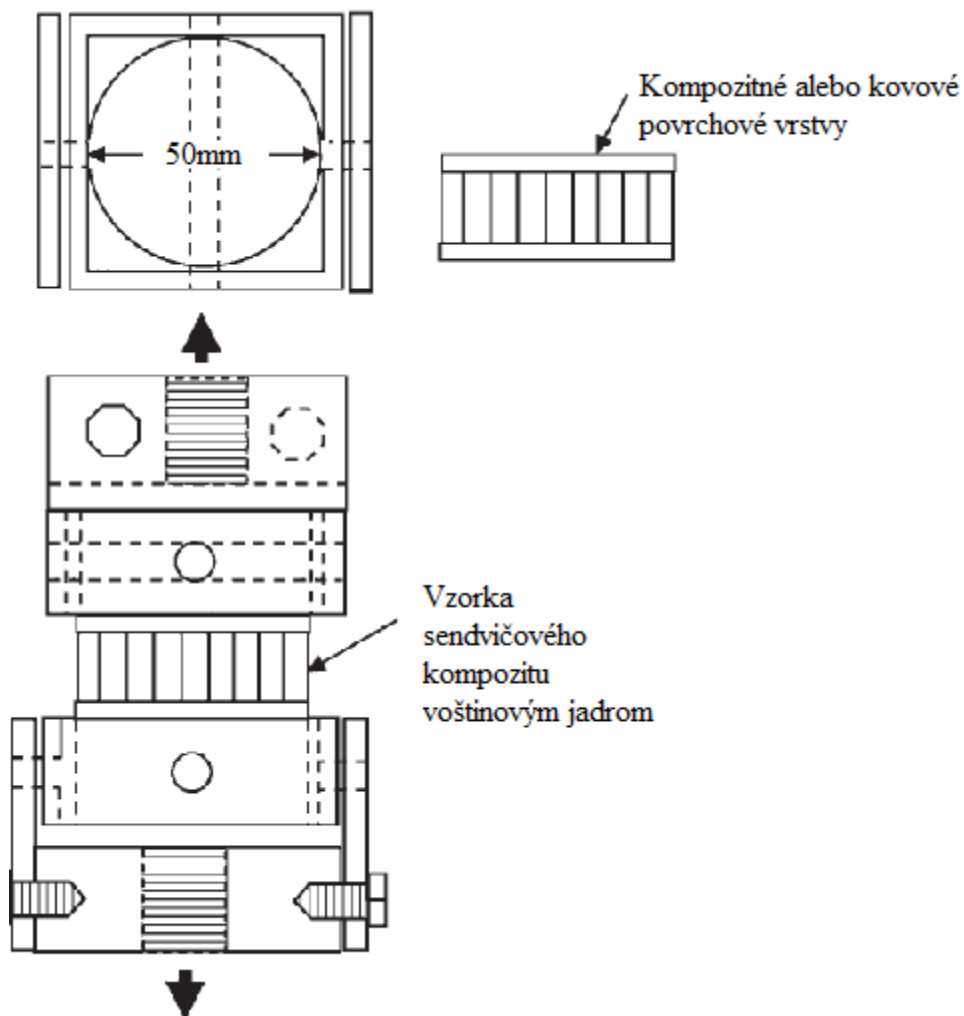
#### **Spôsoby poškodenia sú nasledovné:**

- porušenie jadra
- porušenie adhézie na jadre
- porušenie adhézie na povrchových doskách
- porušenie kohézie lepidla

Porušenie jadra môže nastať dvoma spôsobmi. Prvý je, že sa jadro roztrhne blízko stredu. To sa stane pri najvyššom možnom zaťažení vzorky. Niekedy použité lepidlo nemá dostatočný rádius na stenách bunky voštinového jadra a to sa poškodí na kraji, kde bola bunka rezaná. To sa obvykle stane pri nižšom zaťažení. Ak jadro nie je poškodené a neobsahuje zvyšky lepidla znamená to, že jadro nemá dostatočnú príľnavosť. To mohlo spôsobiť napríklad znečistenie pred lepením. Aby sme sa tomuto problému vyhli s voštinovým jadrom by sa nemalo zaobchádzať s holými rukami a mali by sme ho chrániť pred znečistením. Pred lepením sa napríklad používajú odmasťovacie prípravky v podobe hmly a však treba sa uistiť, že sú všetky časti dokonale suché pred začatím lepenia.

Ak pri analýze porušenia sú viditeľné zvyšky lepidla na povrchových doskách a aj jadre, jedná sa o porušenie súdržnosti. Zvýšenie pevnosti možno dosiahnuť zmenšením rozmerov buniek voštinového jadra a tak zväčšením lepiacej plochy [3].

Kontroluje plošnú pevnosť lepenia použitím ťahového zaťaženia. Vzorka môže byť okrúhla alebo hranatá. Sendvičový panel je testovaný odlepovaním vrchných vrstiev od jadra. Vo výsledku testu je dôležitý ako dosiahnuté napätie pri porušení štruktúry, tak aj spôsobom odlepenie jednotlivých vrstiev. Porušenie by malo nastať buď v dôsledku porušenia jadra alebo porušenia lepidla. Ak príde k poškodeniu v dôsledku porušenia lepidla, na oboch stranách by mali byť viditeľné jeho zvyšky. Sila nameraná v tomto teste je veľmi závislá na hustote voštinového jadra. Najvyššie sily sú namerané pri väčšej hustote jadra, a väčšej hrúbke stien buniek v jadre [4].

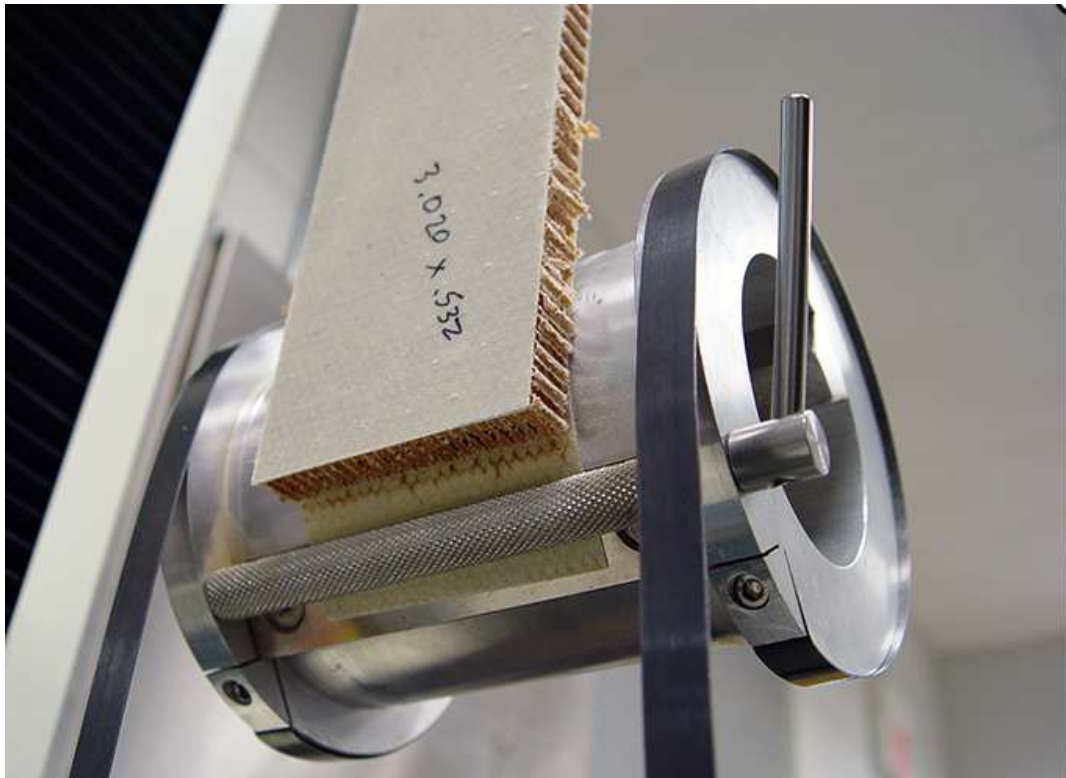


Obr. č. 7 Testovanie plošného napätia pri sendvičových štruktúrach [6]

### 2.3 Testovanie navíjaním na valec

Táto testovacia metóda je použiteľná pri sendvičových štruktúrach s relatívne tenkými povrchovými doskami. Maximálna hrúbka by mala byť 0,8mm pre hliník, 0,5mm pre oceľ a 1mm pre sklolaminát.

Dôvod obmedzenej hrúbky vrchných materiálov je ich navíjanie na bubon s priemerom 100mm. Testovacia vzorka má rozmery 76x356mm.

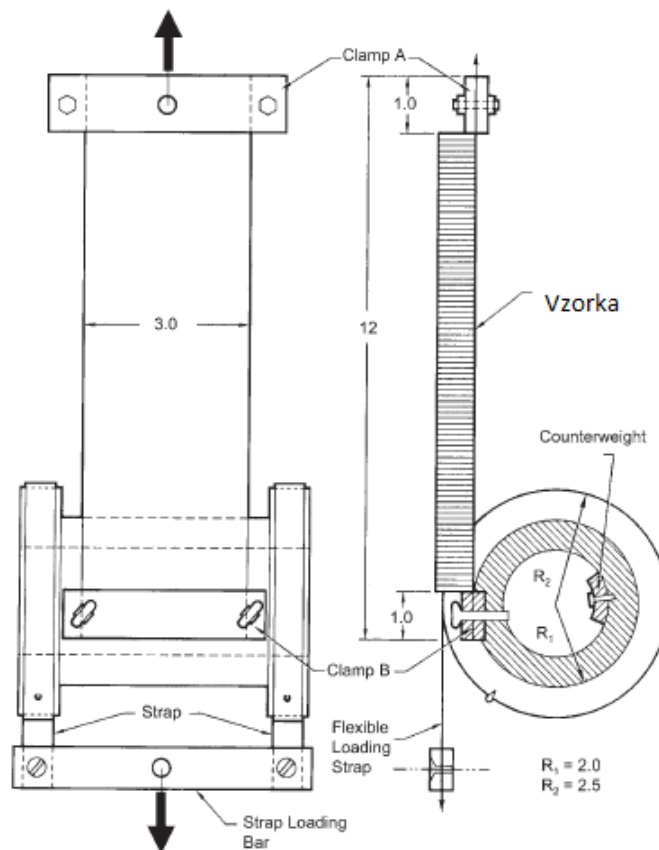


Obr. č. 8 Testovanie navíjaním na valec [3]

Princíp testovania je zobrazený na obr. č. 9 princíp testovania navíjaním na valec.

Ťahom dolu za pásy valca sa valec otáča, posúva sa smerom hore a odlupuje vrchnú vrstvu sendvičovej vzorky. Rýchlosť posuvu je podľa normy stanovená 25mm za minútu.

Výsledky testu udáva aký krútiaci moment je treba na porušenie adhézia alebo kohézie (podľa vzhľadu vzorky po testovaní) medzi jadrom a vonkajšou vrstvou [3].



Obr. č. 9 Princíp testovania navíjaním na valec [3]

## 2.4 Vplyv prostredia na výsledky testov sendvičových kompozitov

Je bežnou praxou, že kompozitné materiály sú veľmi citlivé na vplyv prostredia. Skúšky kompozitných materiálov sa zvyčajne vykonávajú pri najnižšej teplote použitia napr.  $-50^{\circ}\text{C}$  a pri najvyššej odporúčanej teplote napr.  $120^{\circ}\text{C}$  pri epoxidových matriciach. Okrem toho sú výsledky testov podmienené vlhkosťou prostredia. Zvýšená teplota prostredia v kombinácii s vysokou vlhkosťou, sú príčinou najväčšej degradácie. Príveľká vlhkosť môže zapríčiniť poškodenie matrice. Zvýšená počiatočná vlhkosť však môže pomôcť pri rýchlejšom absorbovaní vlhkosti až do stredu vzorku. MIL – HDBK-17 uvádza, že tento spôsob je prijateľný len ak počiatočná vlhkosť nepresiahne 95 % pri teplote  $75^{\circ}\text{C}$ . Vzorka vystavená vlhkosti 70% pri teplote  $70^{\circ}\text{C}$  neabsorbovala požadovanú vlhkosť ani po 180 dňoch. Testovanie by malo byť vykonané ihneď po absorbovaní dostatočného množstva vody z prostredia [7].

Typicky väčšina termosetov a semykryštalických termoplastov sú odolné voči väčšine organických rozpúšťadiel a hydraulických kvapalín. Niektoré termoplasty sú citlivé na organické rozpúšťadla, najmä odstraňovače náterov s obsahom dichlórmétanu. Testovanie kompozitov by malo teda prebiehať po vystavení vplyvu, rôznym druhom kvapalín, a zistiť tak zmenu mechanických vlastností a vymedziť tak použitie daného materiálu pre dané prostredie[4].

### 3 LEPENIE

Lepenie znamená spojenie dvoch rôznych plôch prostredníctvom lepidla, ktoré má dobrú príľnavosť k obom plochám. Každé lepidlo je v okamihu lepenia v tekutom stave, pretože iba tak môže dokonale príľnúť k povrchom lepených materiálov.

Pevnosť lepeného spoja závisí na štyroch parametroch.

- príľnavosti lepidla k lepenému materiálu – Adhézia
- súdržnosť hmoty lepidla(pevnosť lepidla) - Kohézia
- zmáčavosť lepeného povrchu daným lepidlom
- súdržnosť lepeného materiálu [12].

Tak ako iné spracovateľské metódy, vyznačuje sa aj lepenie nielen mnohými výhodami, ale i niektorými zápornými a limitujúcimi činiteľmi, napríklad vyššími nárokmi na čistotu a presnosť práce. Pri rozhodovaní o typu spoje je treba uvážiť prednosti a nevýhody lepenia v porovnaní s tradičnými spôsobmi spojovania[16].

#### **Prednosti lepenia:**

- lepenie dovoľuje spájať rovnaké alebo rôznorodé materiály bez ohľadu na ich hrúbku
- aplikáciou lepidiel nie je narušená celistvosť spojovaných častí
- nie je narušený profil ani vzhľad
- lepený spoj tlmí vibrácie lepenej konštrukcie a zvyšuje jej tuhosť a pevnosť
- lepený spoj zabraňuje vzniku elektrostatickej korózie kovových adherendov
- lepením sa nezvyšuje hmotnosť konštrukcie
- spoje môžu byť priehľadné alebo farebne prispôbené
- možno dosiahnuť vysokú pevnosť spojov, najmä pri namáhaní v šmyku a rázovej pevnosti[16].

#### **Nevýhody lepenia:**

- kladie vysoké požiadavky na čistotu lepených súčastí (adherendov)
- sú potrebné špeciálne úpravy povrchov u adherendov s nedostatočnými adhéznymi vlastnosťami



- konštrukčne použiteľné spoje nie súrozoberateľné
- väčšina lepených spojov je málo odolná voči odlupovaniu
- životnosť reaktívnych lepiacich zmesí je obmedzená
- maximálna pevnosť spoje je dosiahnutá až po určitej dobe
- je obmedzená odolnosť voči vyšším teplotám[16].

### **3.1 Vplyv lepeného materiálu, lepidla a technologických podmienok na vlastnosti spojov**

Spájanie materiálov lepením je pomerne zložitý proces. Jeho konečný výsledok pevný a kvalitný zlepený spoj môže ovplyvňovať rad rôznych faktorov.

#### **3.1.1 Lepený materiál**

Na vplyv lepeného materiálu musíme brať do úvahy:

##### **Geometria povrchu:**

U lepených povrchov rozlišujeme tri druhy povrchov. A to:

- povrch viditeľný, daný konštrukčnými rozmermi spoja
- mikropovrch- teoreticky možnú stykovú plôch vrátane všetkých nerovností a pórov
- povrch účinný, ktorý je častou mikropovrchu skutočne zmáčanou lepidlom

Ak sa má v spoji vytvoriť súvislý rovnomerný povrch lepidla je potrebné aby dotykové plochy oboch adherendov boli maximálne súbežné. Ak toto nieje možné je nutné aplikovať lepidlá so 100%-ným obsahom filmotvorného polyméru, alebo zahusteného do konzistencie lepievého tmelu, aby sa vyrovnali nerovnosti podkladu. Do akej miery pokryje lepidlo mikropovrch adherendu závisí na jeho konzistencii, čistoty povrchu a tvare povrchových nerovností. Vyskytuje sa asi šesť rôznych tipov týchto nerovností. Ich tvar a veľkosť sú dané jednak prirodzenou štruktúrou adherendu (póry), spôsobom jeho výroby, (valcovanie, vytlačovanie) alebo spôsobom ich povrchovej úpravy (brúsenie, morenie, leštenie). Napríklad pre hrubé zdršňované povrchy sú nevýhodné, pretože neumožňujú aby bol plyn vytlačený lepidlom.

Vzduch, ktorý obsahuje vodnú paru, oxid siričitý zostáva vnerovnostiach trvalo uzavretý. Pre povrch hliníku je naopak typická plochá kónická nerovnosť. Tento tvar sa považuje za výhodný, pretože je plyn pri správnej viskozite lepidla vytlačovaný. S miskovitou nerovnosťou sa stretáme na leštených plochách. Účinnosť zmačania mikropovrchu lepidlom je tým väčšia čím menšia je hĺbka a priemer nerovností.

Výhodnejšie sú teda plochy hladko a ostro opracované (frézované, hobľované) nie hrubo zdrsnované alebo leštené.[16]

### **Zloženie a chemické účinky adherendu**

K optimálnemu ovplyvneniu súdržnosti spoja jedným alebo oboma adherendami môže prísť ak sú dané podmienky pre vznik priamych chemických väzieb.

Pravým opakom sú prípady, kedy chemické zloženie adherendu priamo spomaľuje alebo zastavuje tuhnutie lepidla. Nedoporučuje sa napr. lepiť meď a jej zliatiny polymerizačnými lepidlami akrilátového typu, nakoľko je meď účinný inhibítor polymeračných reakcií a film lepidla zpravidla nestuhne. Podobne môžu mať negatívny vplyv na film lepidla zmäkčovadlá pri lepení napr. mäkkých PVC fólií. Tie môžu migrovať do lepidla a meniť jeho vlastnosť. Voči tomuto sú odolné len lepidlá schopné zosieťovania.[16]

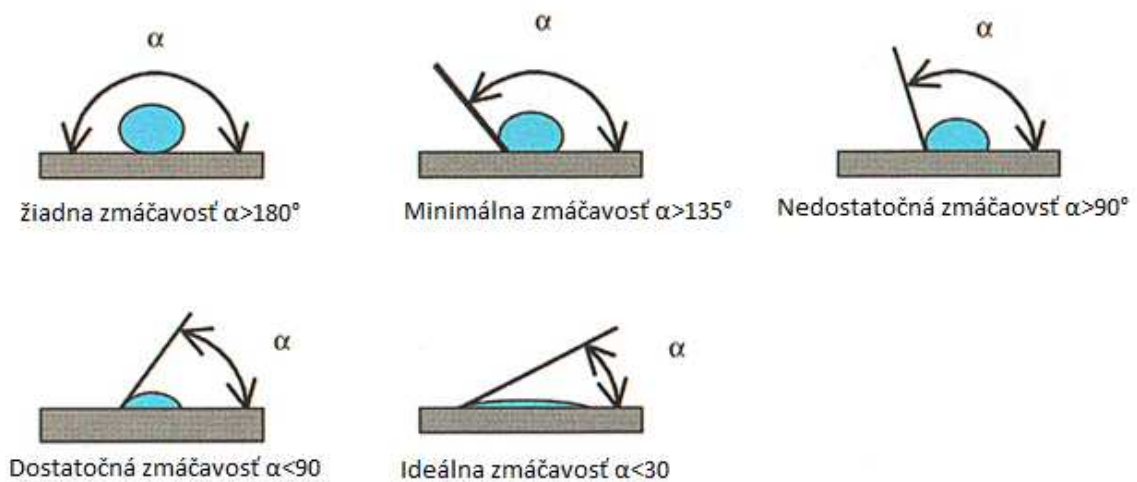
### **Zmäčavosť**

Okrem mechanických a chemických adhézných síl je pri lepení mimoriadne dôležitá zmačavosť lepeného povrchu kvapalným lepidlom. Ak nie je lepidlo schopné sa rovnomerne rozprestrieť na lepený povrch, nemôže vzniknúť adhézna vrstva. Zmäčavosť súvisí s polaritou lepeného povrchu a povrchovým napätím medzi lepidlom a povrchom. Pretože lepidlá obsahujú množstvo reakcie schopných chemických skupín, sú molekuly lepidla jednostranne elektricky orientované, čiže sú polárne. Sú schopné dobre zmačať polárne povrchy ako sú napríklad drevo, papier a iné deriváty celulózy, mierne povrchovo oxidované kovy, prírodné textílie, ale napríklad aj sklo. Naopak nepolárne povrchy sú mnohé plasty, vosky a syntetické textílie. Pretože voda má zo všetkých tekutín najväčšie povrchové napätie ( $0,0718 \text{ N}\cdot\text{m}^{-1}$ ), je možné z jej správania na povrchu pevnej látky usudzovať ako bude daný povrch zmačávaný inými kvapalinami alebo lepidlami[16].

Polarita povrchu látok je príčinou vzniku povrchového napätia. Čím je vyššia hodnota povrchového napätia, tým je pevný povrch alebo kvapalina polárnejšia.

Ak je povrchové napätie pevného povrchu vyššie ako povrchové napätie kvapaliny, dôjde k rozliatiu kvapaliny po povrchu. Ak je tento pomer opačný, kvapalina zostane na povrchu v podobe guľôčky ako na obr. č. 10 zmäčavosť lepeného povrchu. Týmto uhlom zmäčanie, niekedy nazývaným kontaktným uhlom teda možno kvantitatívne vyjadriť stupeň zmäčania.

Pre vyjadrenie povrchového napätia sa používa jednotka mNm [11].



Obr. č. 10 Zmäčavosť lepeného povrchu [12]

### Súdržnosť povrchu

Pre vznik spoľahlivého spoja je okrem iného dôležitá i dostatočná súdržnosť lepených povrchov. Tá je daná zložením adherendu, jeho štruktúrou, prípadne i spôsobom povrchovej úpravy. Obvykle platí, že čím vyššia je objemová hmotnosť materiálu, tým súdržnejší je jeho povrch. Materiály s nízkou alebo zníženou súdržnosťou nemôžu vytvoriť pevný spoj. Po odrhnutí sú na filme lepidla spravidla viditeľné zbytky adherendu. Medzi takéto materiály možno zaradiť ľahčené penové hmoty, minerálne plsti, semyšované povrchy, mäkké drevovláknité dosky, pokovované povrchy a podobne. Súdržnosť povrchov niektorých poréznych materiálov napr. papiera a omietok možno čiastočne zvýšiť impregnáciou zriedenými pojivami. [16]

### **Čistota povrchu**

Jedným z predpokladov pre dosiahnutie súdržného spoja je maximálny kontakt lepidla s mikropovrchom adherendu. Ak sú kontaktné plochy znečistené, nie je možné očakávať dobré výsledky. Lepidlo sa nedostane k povrchu lepeného materiálu ale iba k povrchu nečistoty, takže súdržnosť lepeného spoja závisí na súdržnosti adherendu a nečistoty. Na matnom povrchu nemusí byť znečistenie viditeľné a k zníženiu a k zníženiu pevnosti postačí aj náhodný dotyk prsta. Vo vzťahu k pevnosti spoja sú na znečistenie povrchu zvlášť citlivé hladké, neporézne povrchy ako sklo, porcelán alebo kovy. V podstate sa pre lepenie môže považovať znečistený každý povrch, ktorý nebol pre tento účel zvlášť upravený. U tuhých, kompaktných materiálov sa mechanicky odstraňujú povrchové vrstvy, v iných prípadoch postačí odmastenie organickými rozpúšťadlami. [16]

### **Priepustnosť pre plyny**

Dôležitým činiteľom pri výbere lepidla a pracovného postupu je priepustnosť plynov pre oba adherendy. Táto vlastnosť je spravidla daná veľkosťou, početnosťou a prepojením pórov alebo u plastov molekulárnou štruktúrou hmoty. Za úplne nepriepustné sa považujú kovy, sklo, porcelán a termosetické polyméry. [16]

### **Hrúbka a tuhosť**

Hrúbka lepeného materiálu a k nej zodpovedajúca tuhosť v mieste spoja je ďalšie z kritérií správneho výberu lepidla. Čím je materiál hrubší a menej ohybný, tým klesá pravdepodobnosť deformácie spoja a zvyšuje sa jeho odolnosť voči dynamickému namáhaniu.

V prípade spájania pružných alebo tenkostenných materiálov vyberáme lepidlo, poskytujúce ohybný a vláčny spoj. V opačnom prípade, pri spájaní hrbých, neohybných materiálov použijeme lepidlo vytvárajúce tvrdý film, pričom sa snažíme dosiahnuť maximálnych hodnôt v šmykovej a rázovej pevnosti.

Pri lepení pružných, tenkostenných materiálov na tvrdý neohybný povrch, vyberáme lepidlá, ktoré vytvárajú tvrdý a však húževnatý film s maximálnou pevnosťou v odlupovaní a primeranou pevnosťou v šmyku.[16]

### **Rozpustnosť a bobtnavosť**

Rozpustnosť adherendu v organických rozpúšťadlách možno výhodne využiť pri aplikácii rozpúšťadlových lepidiel, pretože dáva predpoklad na vznik autoadhézie. Rozpustnosť adherendu môže byť za rovnakých podmienok aj príčinou závad, najmä pri práci s tenkostennými adherendami ako sú fólie alebo penovými materiálmi. Ak nemôže rozpúšťadlo zo spoja včas uniknúť, čo sa stáva pri veľkom nánose lepidla a krátkej dobe otvoreného zostavenia spoja, vznikajú najmä pri spojovaní málo priepustných materiálov na povrchu rozpusteného materiálu pľuzgieri.[16]

### **Teplotná dilatácia**

Je známe, že tuhé materiály zväčšujú pri zahriatí svoj objem a po ochladení sa znova zmršťujú, pri tom nie vždy do pôvodného rozmeru a polohy. Tieto zmeny závisia na zložení materiálu, jeho štruktúre a teplote. V smere usporiadania makromolekúl alebo vlákien plniva býva tepelná rozťažnosť väčšia, pri materiáloch s neorientovanou štruktúrou vo všetkých smeroch rovnaká. Pri lepení môžu nastať tieto prípady:

-Sú lepené dva rovnaké materiály, v rovnakom smere štruktúry, lepidlo s rovnakým zložením, je zmena rozmerov spoja vyvolaná tepelnou dilatáciou minimálna.

-Ak sú spojované dva rôzne materiály, môže byť ich odlišná tepelná rozťažnosť príčinou vnútorného pnutia v špáre, ktoré sa môže prejaviť odlupovaním jednotlivých vrstiev, alebo popraskaním povrchu tenkostenných vrstiev.[16]

Materiály s vysokou tepelnou rozťažnosťou musia byť lepené adhezívom, ktoré tvorí pružný film. Okrem toho by sa malo jednať o lepidlo, ktoré vytvrdzuje. Pri teplotách, pri ktorých bude lepená štruktúra používaná.[16]

## **3.2 Adhézia**

Adhézia je základný predpoklad úspešného lepenia. Ak nie je lepidlo schopné dostatočne prilnúť k materiálu, dochádza k odpeleniu a porušeniu spoja na rozhraní lepidlo-lepený povrch. V tomto prípade sú vlasaté kohézne sily lepidla aj materiálu silnejšie než adhézne sily. [10]

Je to teda sila vyvolávajúca príľnavosť lepidla (adheziva) k lepenému materiálu (adherendu). Ak má lepidlo rovnaké zloženie ako lepený materiál jedná sa o autoadhéziu.

Spoj je slabý, keď je prítomná slabosť, ktorú chápe ako slabé adhezívne väzby (nedostatočné väzby), a pevný keď sú prítomné pevné väzby.[16]

Túto úvahu odôvodňuje faktorom, že aj na čerstvom lome materiálu rýchlo vzniká vrstva absorbovaného plynu a vlhkosti. Táto vrstva má síce dobrú príľnavosť k substrátu, ale je mechanicky podstatne slabšia ako daný materiál a utvára zónu slabosti, ktorá spôsobuje ľahkú deštrukciu spoja. Niekedy nazýva tieto vrstvy tranzitnými - *prechodovými*.

Podľa tohto je lepidlo potrebné na to, aby nahradilo túto slabú vrstvu a súčasne vyrovnalo povrchové nerovnosti adherendu. Príčiny vrstiev s oslabenou súdržnosťou môžu byť:

**Pozdĺž povrchu to môžu byť:**

- geometrické zmeny
- anizotropia fyzikálnych a fyzikálno-mechanických vlastností (z oblasti s rôznou kryštalickou štruktúrou, s rôznou hustotou, tvrdosťou a pod.),
- zmeny zapríčinené nečistotami a rozličnými vonkajšími vplyvmi.

**Kolmo na povrch:**

- povrchové absorbované vrstvy,
- povrchové oxidačné alebo iné chemicky modifikované vrstvy,
- zmeny v zložení častíc
- zmeny v hustote materiálu a tvrdosti,
- zmeny v elektrickej vodivosti,
- zmeny v pórovitosti.

**Experimentálne sa dokázalo, že:**

- plochy opracované na čo najdokonalejšiu hladkosť, tak aby sa spojované molekuly priblížili na molekulárnu vzdialenosť t.j. paralelne priložené k sebe a stlačené zaťažením  $P$  možno odtrhnúť silou  $F$ , ktorá je väčšia ako  $P$ , teda

$$\frac{F}{P} > 1$$

- ak sa takáto operácia urobí vo vysokom vákuu, ktoré spôsobí desorpciu slabých vrstiev, dosiahne pomer rádovo hodnotu až

$$\frac{F}{P} \cong 10^5$$

Toto sú tzv. *spoje solid-to-solid*, teda spoje dvoch pevných látok bez adhezíva.

Spoj pomocou lepidla treba vidieť ako systém, ktorý sa skladá

z 5 vrstiev(Obr. č. 11):

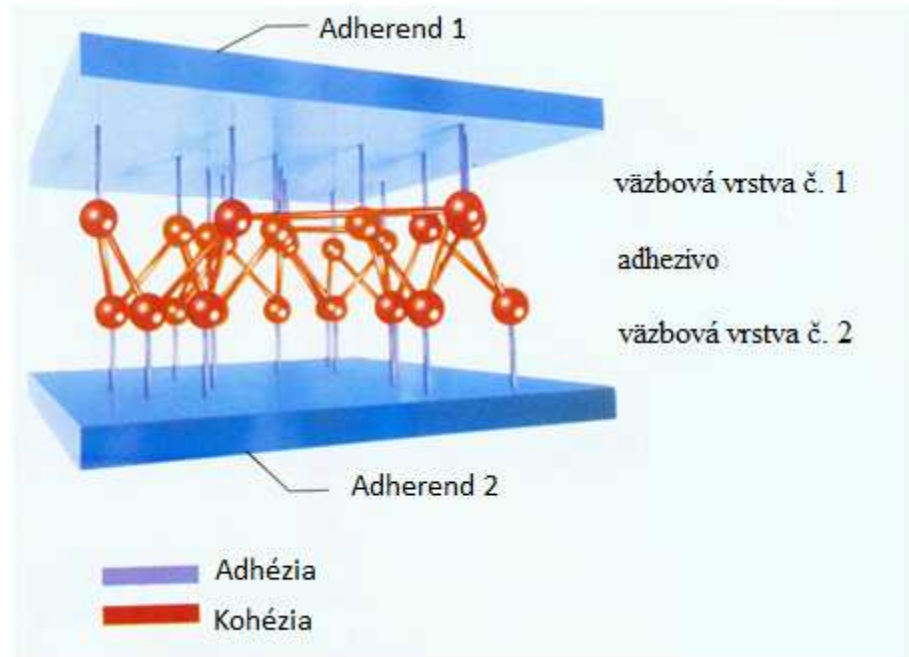
- adherend č. 1
- väzbová vrstva č. 1
- adhezívo
- väzbová vrstva č. 2
- adherend č. 2

Za silný spoj považujeme spoj, ktorého väzbové vrstvy sú také pevné, že lom prebieha mimo nich.

Za slabý spoj považujeme spoj, ktorého lom prebieha vo väzobnej vrstve, ktorú v tomto prípade budeme nazývať slabá väzobná vrstva (*weakboundarylayer*). [12]

Na to prečo vznikajú adhézne sily existuje viacero teoretických modelov

- mechanická väzba
- molekulová teória
- elektrostatická teória
- difúzna teória
- chemická teória
- reologická teória[12]

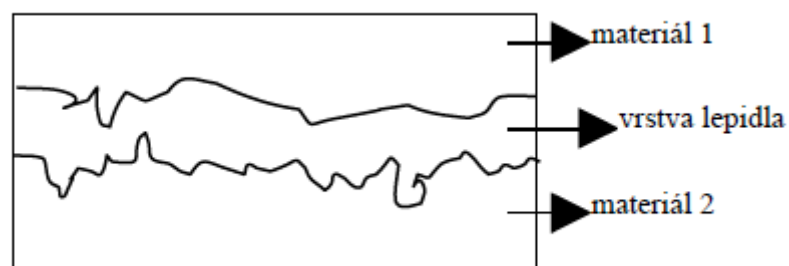


Obr. č. 12 Princíp lepenia, adhélia, kohélia [16]

### 3.2.1 Mechanická väzba

Medzi prvými kto vyslovil názor na podstatu adhémie boli v dvadsiatich rokoch dvadsiateho storočia Mc Brain a D.G. Hopkins. [16]

Uplatňuje sa len u členitých a alebo poréznych povrchoch. Kvapalnú lepidlo zateká pri lepení do pórov a nerovností a po jeho zatuhnutí vzniká akýsi zámok medzi hmotou lepidla a lepeným materiálom. Mechanická väzba je veľmi dôležitá pri lepení materiálov ako sú drevo, papier, keramika alebo penové plasty. Pri lepení leštených hladkých plôch je mechanická väzba zanedbateľná. [11]



Obr. č. 13 Mechanická väzba



### 3.2.2 Elektrostatická teória

Táto teória predpokladá dvojité vrstvy vytvorenú dotykom dvoch rozličných substancií v spoji ako základ pre vznik adhézie. Podľa toho spoj je kondenzátorom, ktorého rozdielne nabitú platňu sa priťahujú. Ak ich oddelíme, vzniknutý potenciálny rozdiel sa musí vybiť alebo vyžiariť ako elektrónová emisia.

Zatiaľ sa však nedokázalo, že dva elektricky nabitú povrchy zlomeného spoja sú identické s dvoma neutrálnymi povrchmi, z ktorých bol spoj pôvodne vytvorený (náboj údajne vzniká až po dotyku oboch vrstiev). [12]

### 3.2.3 Difúzna teória

Podľa tejto teórie pevnosť spoja vzniká vzájomnou difúziou polymérov (alebo iných, materiálov) naprieč rozhrania. Základom tohto tvrdenia je skutočnosť, že niektoré látky, napr. polyméry, môžu navzájom difundovať a priebeh tejto difúzie, ktorý závisí od času, teploty, viskozity, relatívnej molekulovej hmotnosti a pod. ovplyvňuje pevnosť spoja.

Túto teóriu však nemožno kvantifikovať ani použiť na výpočet pevnosti spoja z údajov o vlastnostiach pôvodných častí; vôbec nevysvetľuje možnosť spojenia materiálov, ktoré navzájom nedifundujú (a pritom sa ako napr. systém kov-sklo, úspešne lepia). Adhezívne javy nemožno vysvetliť ani pomocou tejto teórie. [12]

### 3.2.4 Chemická teória

Chemická väzba sa uplatňuje u poréznych i celkom hladkých povrchoch. Táto teória je založená na pôsobení slabých Van der Waalsových elektrických príťažlivých síl, medzi molekulami lepidla a lepeného materiálu, ale najmä na priamom chemickom pôsobení lepidla na lepený povrch. Preto sa dobre lepia materiály, ktoré majú reaktívny povrch, alebo povrch upravený tak, aby bez problémov prebehla chemická reakcia. Veľmi dobre sa lepia oxidované povrchy kovov a plastov a prírodné materiály ako je drevo, papier a celulóza s voľnými chemickými skupinami oxy-, hydroxy-, karbonyl-, karboxymethyl-, amino-, (-O, -OH, -CO, -COCH<sub>3</sub>, -NH<sub>2</sub>) a inými. Správne zvolené lepidlo musí obsahovať voľné skupiny schopné reakcie s povrchom lepeného materiálu. Ako vysoko reaktívne skupiny sa u lepidiel vyskytujú napríklad skupiny epoxy-, hydroxy-, karboxy-, isokyanáto- a ďalšie.

Na získanie pevného spoja, ktorý nebude vykazovať adhezívny, ale iba kohezívny lom, je podľa tejto teórie potrebné, aby materiály, ktoré sa majú spojiť navzájom reagovali vytváraním primárnych chemických väzieb naprieč rozhrania. Hoci takéto väzby niekedy vznikajú, všeobecne lepenie prebieha v termodynamických podmienkach, ktoré vznik chemických väzieb neumožňujú. Pokiaľ by takéto podmienky nastali, nemožno tvrdiť, že väzbové reakcie budú prebiehať len na povrchu materiálov ani to, v akom rozsahu takéto reakcie pevnosť spoja ovplyvňujú, alebo či pevnosť jednoznačne zvyšujú. [10]

### 3.2.5 Reologická teória

Je to najnovšia teória, podľa ktorej čokoľvek spôsobuje adhéziu na rozhraní dvoch materiálov, pevnosť adhezívneho (lepeného) spoja je daná zásadne fyzikálno-mechanickými a reologickými vlastnosťami materiálov, ktoré vytvárajú lepený systém. Pri podrobnom skúmaní lomov sa zistilo, že roztrhnutie pravého spoja nikdy neprebíha na jeho rozhraní, ale v jednom alebo druhom materiáli, teda lom je kohezívny. Preto veľký význam bude mať kohézia jednotlivých súčastí systému. Z tohto možno dôjsť k uzáveru; čokoľvek spôsobuje medzifázovú adhéziu, pevnosť lepeného spoja je daná mechanickými vlastnosťami materiálov utvárajúcich spoj a miestnymi napätiami v spoji, a nie medzifázovými silami, pretože lom je v podstate vždy kohezívny. [11]

Toto vysvetlenie nerieši otázku príčiny vzniku spoja, ale umožňuje realistické výpočty pevnosti spoja. Nezaoberá sa silami, ktoré vplývajú na pevnosť spoja (Van der Waalsove, Londonové a pod.), ale berie do úvahy javy, ktoré utvárajú väzbovú vrstvu a jej správanie. Ak neberieme do úvahy tzv. *solid to solid adhéziu* musíme brať do úvahy nevyhnutnosť lepidla pre vznik spoja. Z toho vyplýva, že ak aj akceptujeme hlavnú úlohu kohézie, musíme zabezpečiť podmienky pre vznik väzbovej vrstvy medzi adhezívom a adherendom. [12]

## 3.3 Slabé väzbové vrstvy

Na vznik silného spoja je nevyhnutne potrebné nahradiť slabé vrstvy pevnými. Slabú väzbovú vrstvu môžu spôsobiť:

- nasiaknuté vrstvy plynu,
- nasiaknuté vrstvy kvapaliny,
- častice tuhých látok na povrchu,
- tuhé vrstvy na povrchu s menšou kohéziou ako má ad alebo lepidlo.

Pevnú väzbovú vrstvu možno vytvoriť zásadne až po odstránení slabej vrstvy, čo možno dosiahnuť viacerými postupmi. Pritom však treba dbať na jej dokonalé a rovnomerné odstránenie. Pri niektorých operáciách sa slabá vrstva zatlačí do povrchu adherendu a tým sa znemožní jej úplné odstránenie. [12]

Slabá vrstva môže vzniknúť aj pôsobením ďalších vplyvov, ak napr.:

- použitím nevhodného spôsobu nanášania lepidla
- nevhodnou voľbou lepidla, resp. jeho zloženia (základný materiál, rozpúšťadlo, ich výsledný pomer, prísady a i.)
- nevhodným vytvrdzovaním (zmrštením pri vytvrdzovaní)
- kombináciou viacerých vymenovaných vplyvov

Slabé vrstvy bývajú veľmi často zapríčinené vzduchom, a to najmä vtedy, keď lepidlo zle zmáča adherend a pri nanášaní sa tvoria vzduchové bubliny, ktoré zostanú na svojom mieste aj po vytvrdení lepidla. Takéto bubliny na rozhraní fáz spravidla možno len veľmi ťažko zistiť. Dobré sa dajú určiť pri priehľadných lepidlách alebo pri priehľadných adherendoch napr. pomocou šikmého osvetlenia.

Keďže voda má horšiu zmáčavosť ako organické rozpúšťadlá slabá vrstva tohto typu sa vyskytuje pri lepidlách, ktoré obsahujú vodu ešte častejšie. Okrem toho sú materiály, ktoré sú samy o sebe nezmáčavé, napr. polytetrafluóretylén (PTFE), polyetylén (PE), polypropylén (PP) a iné. Porovnanie odlupovanej pevnosti spoja systémov PTFE-ocel' a PE-ocel', ktoré sa utvorili natavením, ukázalo, že pevnosť systému PE -ocel' bola podstatne menšia. Pritom normálne namáhanie lepeného spoja PTFE-ocel' dalo hodnoty blízke pevnosti PTFE. Na základe toho usudzuje Bikerman, že v systéme PTFE-ocel' slabú vrstvu zapríčiňuje vzduch, kým pri polyetyléne ide okrem toho aj o vplyv samého materiálu.

Známe sú časté pokusy odstrániť túto slabosť tým, že sa lepí vo vákuu. Vákuovacie vývevy však často spôsobujú kontamináciu olejom, ktorý sa veľmi ťažko odstraňuje. Keď však lepidlo obsahuje vhodné rozpúšťadlo danej mastnoty, nemusia vzniknúť problémy.

Aby mohol vzniknúť pravý spoj, treba odstrániť všetky slabé väzbové vrstvy bez ohľadu na to, čím sú spôsobené. To znamená, že musíme rátať so zásahom na adherende i so zásahom do lepidla. V oboch prípadoch ide v podstate o utvorenie takého vzťahu medzi substrátom a lepidlom a pri nanášaní čo najdokonalejšie rovnomerne pokryje celú lepenú plochu.

Ak hovoríme o zásahu na adherende, máme na mysli povrchovú úpravu. Spôsobov povrchovej úpravy je veľa, ale často sa zabúda, že neúspech ktorejkoľvek metódy môže závisieť od relatívnej vlhkosti vzduchu, ktorá pôsobí práve na očistené povrchy. Aj keď tento vplyv vylúčime, vyskytujú sa rozdiely v pevnosti spoja v závislosti od spôsobu povrchovej úpravy. Aby lepidlo odstránilo ďalšiu príčinu slabých väzbových vrstiev a to vzduch, musí adherend dobre zmáčat'. Uhol zmáčania závisí od systému troch fáz

- tuhý povrch
- kvapalina
- plyn

Na povrchu substrátu sa okrem povrchových vlastností prejavuje aj tvar a technologická história substrátu. To všetko utvára tak komplikovaný systém, že presný kontaktný uhol nemôžeme udávať, ale používa sa *rovnovážny kontaktný uhol*.

Určité problémy tu spôsobuje *hysteréza zmáčania*, t. j. jav, že na rovnakej základni kvapky môže byť rozličný objem kvapaliny, a teda kontaktný uhol bude rozličný. [10]

## **PRAKTICKÁ ČÁST**

## 4 CIELE DIPLOMOVEJ PRÁCE

Cieľom praktickej časti tejto diplomovej práce je testovať súdržnosť lepených častí vzoriek sendvičových prvkov. Test bude prebiehať podľa americkej normy ASTM C297.

Následne budú analyzovať výsledky trhacích skúšok. Dôležitá bude odlupová pevnosť jednotlivých vzoriek. Z nej bude následne zistený vplyv stlačenia pri výrobe vzoriek.

Ďalším dôležitým zistením bude taktiež spôsob porušenia súdržnosti jednotlivých vrstiev sendvičov.

Pred samotným testovaním budem musieť vytvoriť konštrukčný návrh testovacieho prípravku a vytvorenie výkresovej dokumentácie.

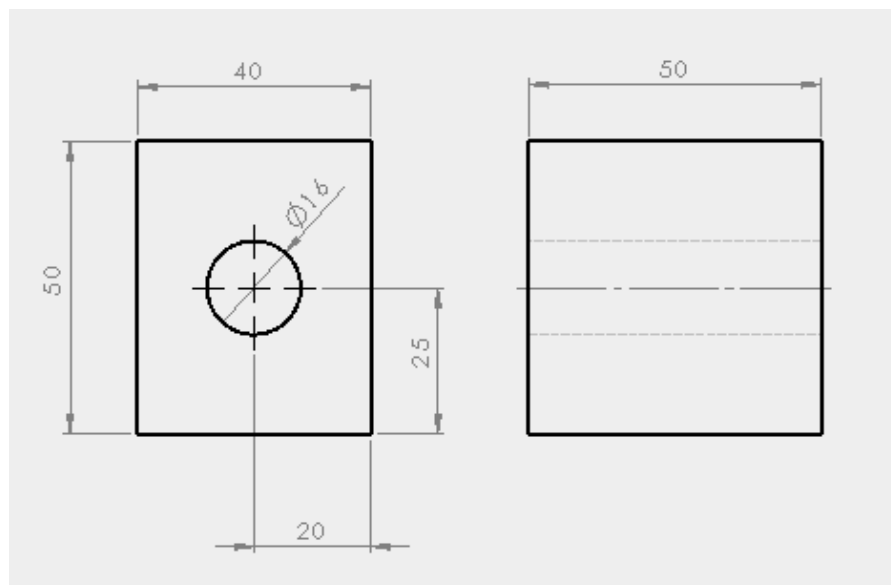
Následne budem vytipovať niekoľko druhov lepidiel a vybrať jedno z nich na základe testovania pevnosti spoja KOV-KOMPOZIT. Po výbere najvodnejšieho lepidla budem overovať funkčnosť prípravku na testovanie plošného napätia sendvičových vzoriek samotným testom.

## 5 VYTVORENIE 3D MODELU A VÝKRESOVEJ DOKUMENTÁCIE TESTOVACIEHO PRÍRPAVKU.

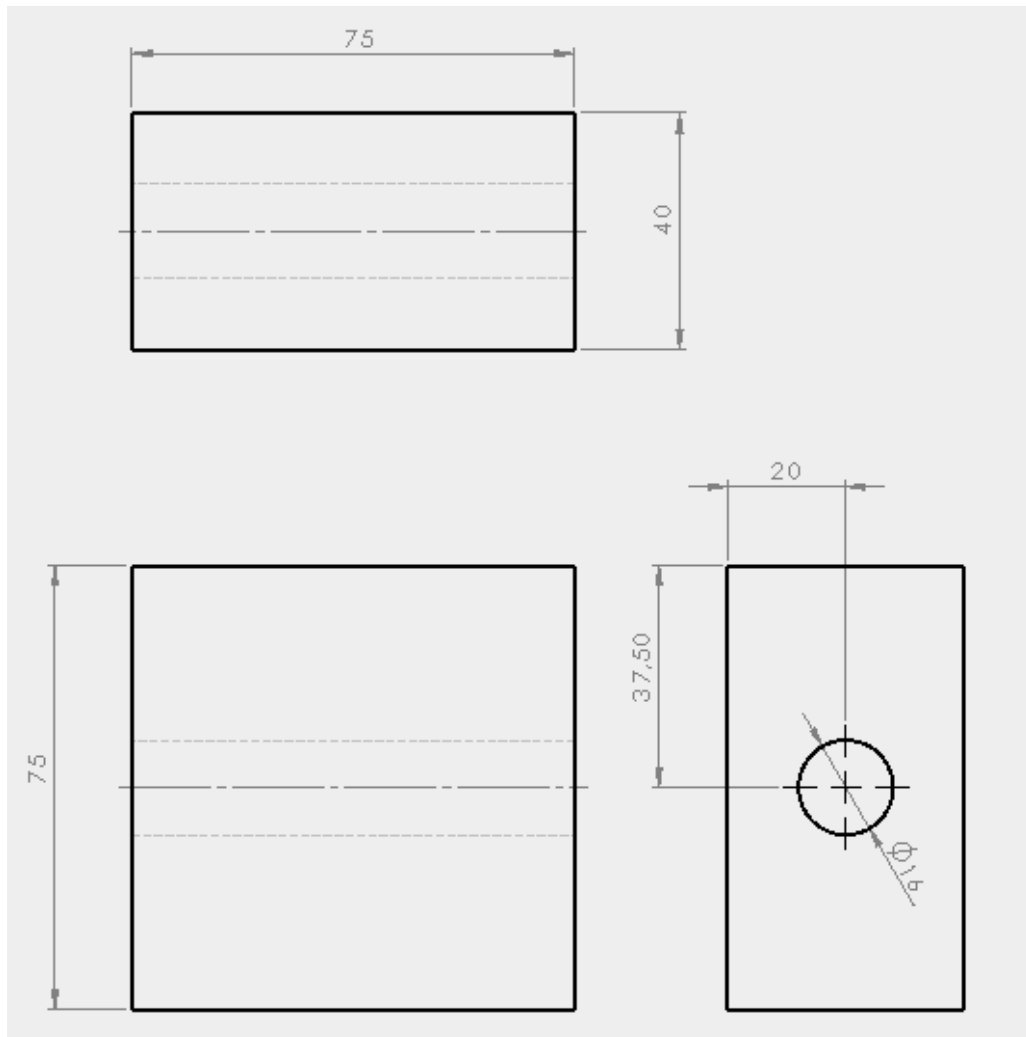
Prípravok bol navrhovaný podľa normy ASTM C297. Základná požiadavka bola na veľkosť upevňovacích kociek. V tab.č.4 sú udávané minimálne veľkosti kociek v závislosti na rozmeroch buniek voštinového jadra. Aby bol prípravok univerzálny boli navrhnuté a vyrobené kvádre o rozmere 50mmx50mm pre veľkosti buniek 3mm – 6mm (Obr.č.13) tak i kvádre s rozmerom 75mmx75mm(Obr.č.14), pre bunky s priemerom 6mm – 9mm. Z každého druhu bolo vyrobených 10 ks, tak aby sa dalo lepiť a naraz testovať 5ks vzoriek.

Tab. č. 4 Minimálna veľkosť vzorky v mm<sup>2</sup> v závislosti na veľkosti bunky

Min. veľkosť bunky (mm)	Max. veľkosť bunky (mm)	Min. veľkosť vzorky (mm <sup>2</sup> )
	3	625
3	6	2500
6	9	2625



Obr. č. 14Kváder pre veľkosť vzorky 50 mm x 50 mm



Obr. č. 15 Kváder pre veľkosť vzorky 75 mm x 75 mm

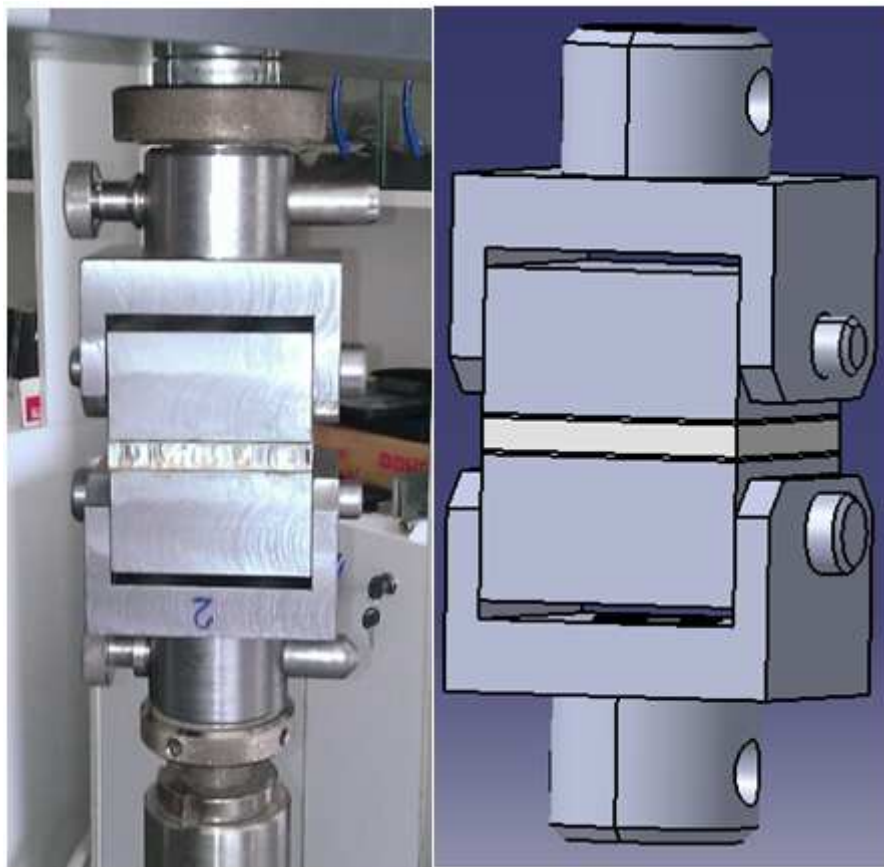
Jednotlivé vzorky nalepené na kvádroch sa do prípravku upevňujú pomocou dvoch kusov čapov  $D=16\text{mm}$ .

Ďalej bolo nutné prípravok navrhnuť tak, aby bolo možné jeho upnutie do univerzálneho testovacieho stroja ZWICK. 3D model bol vytvorený v programe Catia V5.

Finálna podoba testovacieho prípravku je na obr. č. 15.

3D model a výkresová dokumentácia je súčasťou tejto diplomovej práce ako príloha č. 1 a príloha č. 2.





Obr. č. 16 Vyrobený přípravok + 3D model

## 6 VÝBER LEPIDLA KU SKÚŠKE

Ako bolo spomenuté v predchádzajúcom texte, samotnému testu plošného napätia sendvičových štruktúr predchádzalo v prvom rade vytipovanie lepidiel. Pre tento účel boli vytipované 3 druhy. Dve z nich sú dvojzložkové methakrylátové lepidlá od firmy PLEXUS a jedno je polyuretánová pena namiešaná z komponentov od firmy BAYER.

### L1 – Plexus MA422

Jedná sa o dvojzložkové methakrylátové lepidlo vyvinuté pre lepenie termoplastov, kovov a kompozitov. V pomere 10:1 má dobu spracovateľnosti 17-24 minút. 75% celkovej pevnosti dosahuje za 35-40 minút. Používa sa pri lepení kompozitov v oblasti dopravných prostriedkov a lodného priemyslu. Je dodávaný v 200l sudoch, 20l konvách alebo dvojitých zmiešavacích kartušiach určených na priamu prácu. V tabuľke tab.č.5 sú uvedené fyzikálne vlastnosti nevytvrdeného lepidla pri izbovej teplote a v tab.č.6 mechanické vlastnosti vytvrdeného lepidla [17]

Podrobnejšie údaje o lepidle obsahuje príloha č. 3 Technický list PLEXUS MA 422

Tab. č. 5 Fyzikálne vlastnosti nevytvrdeného lepidla Plexus MA422 pri izbovej teplote. [17]

	Lepidlo	Aktivátor
Viskozita, cP	100,000 - 125,000	40,000 - 60,000
Farba	biela	modrá
Hustota, g/cm <sup>3</sup>	0.96	1.6
Zmiešavací pomer objemový	10	1
Zmiešavací pomer váhový	9.0	1

Tab. č. 6 Mechanické vlastnosti vytvrdeného lepidla Plexus MA422

Ťah (ASTM D638)	
Pevnosť, MPa	13.7 - 17.2
Modul, MPa	482.7 - 620.6
Deformácia k zlyhaniu (%)	75 - 100
Preplátovaný šmyk (ASTM D1002)	
Kohéznapevnosť, MPa	10.3 - 12.4

**L2 – Plexus MA832**

Jedná sa taktiež o dvojzložkové methakrylátové lepidlo. Je určené na lepenie kovov bez náterov. Taktiež dosahuje dobré výsledky pri lepení termoplastov a kompozitov. Pri miešaní s aktivátorom 10:1 je pracovná teplota okolo 14 min. a 75 % svojej pevnosti dosahuje v priemere za 55 min. Podrobnejšie údaje o lepidle obsahuje príloha č.4 Technický list PLEXUS MA 832

Tab. č. 7 Fyzikálne vlastnosti nevytvrdeného lepidla Plexus MA832 pri izbovej teplote. [18]

	<b>Lepidlo</b>	<b>Aktivátor</b>
Viskozita, cP	900,000 - 120,000	50,000 - 80,000
Farba	biela	Sivá
Hustota, g/cm <sup>3</sup>	0.96	1.6
Zmiešavací pomer objemový	10	1
Zmiešavací pomer váhový	9.0	1

Tab. č. 8 Mechanické vlastnosti vytvrdeného lepidla Plexus MA832 [18]

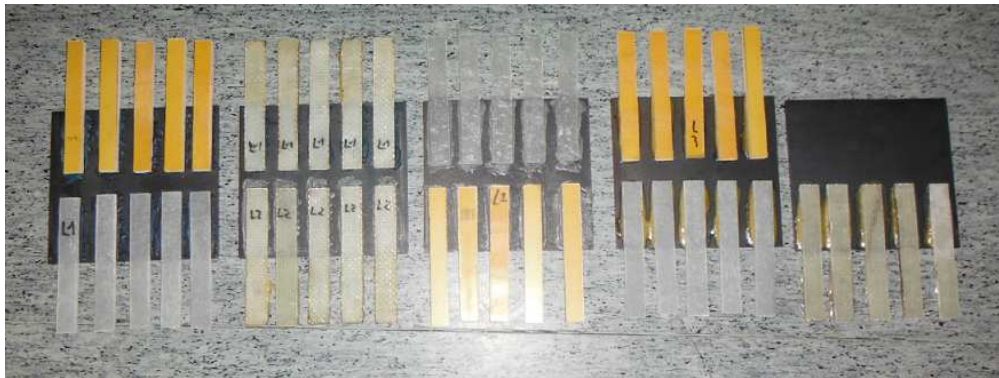
<b>Ťah (ASTM D638)</b>	
Pevnosť, MPa	13.7 - 17.2
Modul, MPa	482.7 - 620.6
Deformácia k zlyhaniu (%)	80
<b>Preplátovaný šmyk (ASTM D1002)</b>	
Kohéznosť, MPa	15 - 19

**L3 – Polyuretánové lepidlo pozostávajúce zo zložiek Desmodur VL a Desmophen-1150.**

Obe tieto látky sú výrobkami firmy BAYER. **Desmodur VL** je aromatický polyisokyanát. V kombinácii s vhodnými látkami rady Desmophen je určený na výrobu dvojzložkových polyuretánových náterov, tesniacich hmôt a lepidiel. Dodáva sa vo forme nízko viskóznej kvapaliny bez obsahu rozpúšťadiel. Má dobrú kompatibilitu s polyestermi a polyétermi s hydroxylovou skupinou. Spolu s Desmophen 1150 boli zmiešané hmotnostným pomerom 1:1. Podrobnejšie údaje o komponentoch lepidla obsahuje príloha č. 5 Technický list Desmodur VL a príloha č.6 Technický list Desmophen 1150.

Lepidlá boli testované na 3 druhoch vzoriek. Bolo pripravených 45 vzoriek s rozmerom 150mmx20mm. 15 vzoriek na báze polyesterového sklolaminátu, 15 vzoriek na báze epoxidového sklolaminátu a 15 vzoriek sendvičov, vytvorených z prepregu na báze fenolickej živice vystuženej taktiež sklenenými vláknami s penovým jadrom.

Vzorky boli následne zdrsnené brúsnym papierom drsnosti 120 a odmastené. Oceľové dosky boli bez povrchovej úpravy, iba domastené technickým benzínom. Lepidlo sa nanieslo na oceľovú platňu, a stierkou sa vytvorila rovnomerná vrstva. Vzorky boli lepené tak, aby sa dotýkali v polovici svojej dĺžky, t.j. 75mm vždy 5 vzoriek jedného materiálu s jedným druhom lepidla ako je vidieť na obr. č. 16.



Obr. č. 17 Lepenie vzoriek skleného laminátu k ocelovým platňam

Následne po vytvrdení lepu sa testovala pevnosť zlepenia na stroji ZWICK materialprüfung 1456 ako je vidieť na obr. č.17.



Obr. č. 18 Testovanie pevnosti zlepenia na stroji ZWICK materialprüfung 1456

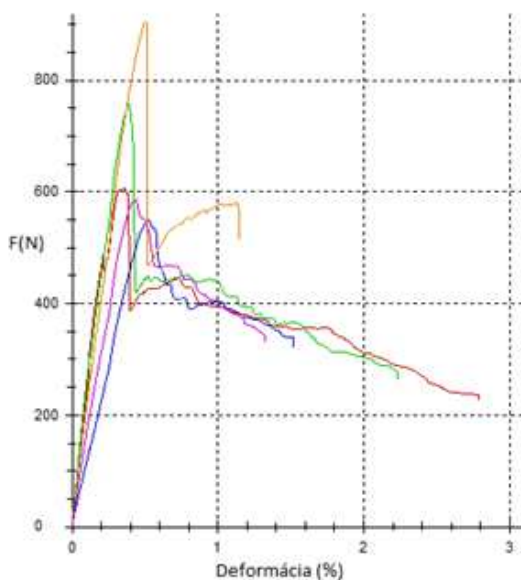
## 6.1 Výsledky testov lepidiel

Ako prvé bolo testované 5 ks vzoriek z polyesterovej živice prilepené lepidlom č 1.

Maximálne hodnoty síl sú v tab. č.9 max. hodnoty síl pevnostnej skúšky spoja Polyester-lep L1-kov. Tieto hodnoty boli spriemerované v druhom stĺpci a vyšla hodnota 681,6 N. V 3 stĺpci je vypočítaná smerodajná odchýlky. Na obr. č 19 možno vidieť vzhľad vzoriek po odtrhnutí. Je patrné, že vydržal adhézny spoj kov-lep a taktiež kohézne sily lepidla zostali neporušené. I adhézne sily na rozhraní lep- kompozit zostali neporušené. Stopy sklenených vlákien napovedajú porušenie kohéznych síl v materiály polyesterového kompozitu, konkrétne boli porušené adhézne sily medzi výstužnými sklenenými vláknami a polyesterovou matricou.

Tab. č. 9 Max. hodnoty síl pevnostnej skúšky spoja Polyester - lep L1-kov

	Max. sila (N)	Priemer R (N)
<b>L1+ Polyester</b>	608	681,6
	759	
	550	
	906	
	585	

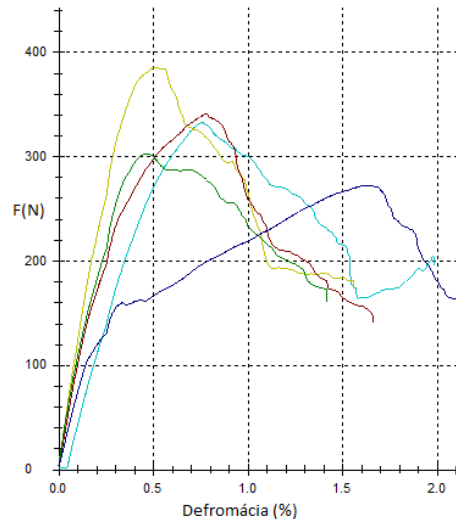


Obr.č. 19 Výsledok pevnostnej skúšky Polyester-lep L1-kov



Obr. č. 20 Typický vzhľad po odtrhnutí vzorky Polyester-lep L1-kov

Rovnakým postupom pokračovala skúška lepidla L1 v kombinácii s materiálom na báze epoxidovejživice. Výsledok skúšky zobrazuje graf na obr. č 17 Výsledok pevnostnej skúšky spoja epoxid-lep L1-kov

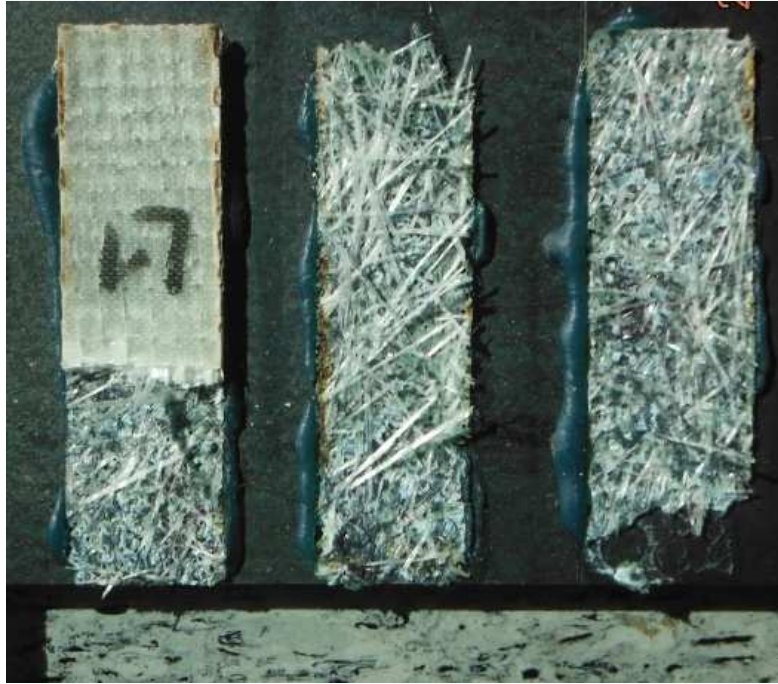


Obr. č. 21 Výsledok pevnostnej skúšky spoja Epoxid - lep L1-kov

Zoznam nameraných hodnôt spolu s ich aritmetickým priemerom a smerodajnou odchýlkou obsahuje tabuľka tab.č.10 max. hodnoty síl pevnostnej skúšky spoja epoxid- lep L1-kov. Priemerná hodnota je bola viac ako o  $\frac{1}{2}$  nižšia ako pri lepení polyesterového kompozitu. Obr. č21 vzhľad po odrhnutí vzorky epoxid- lep L1- kov je evidentné, že je to spôsobené slabšou súdržnosťou epoxidového kompozitu, zbytky sklenených vlákien napovedajú, že boli narušené adhézne sily na rozhraní matrica- sklenená výstuž.

Tab. č. 10 Max. hodnoty síl pevnostnej skúšky spoja epoxid- lep L1-kov

	Max. sila (N)	Priemer R (N)
<b>L1-epoxid</b>	333	327,2
	385	
	342	
	303	
	273	

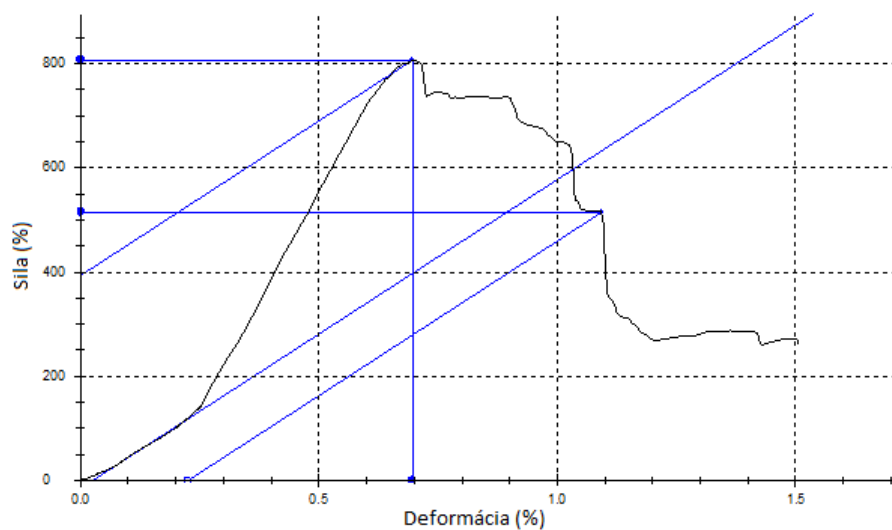


Obr. č. 22Vzhľad po odrhnutí vzorky epoxid- lep L1-kov

Ďalší krok bol test lepidlosti lepu L1 v kombinácii so vzorkou sendviču, ktorý mal pot'ah vytvorený z prepregu na báze fenolickej živice a jadrom z polyuretánovej peny.

Grafický výsledok skúšky je na Obr. Č 22.

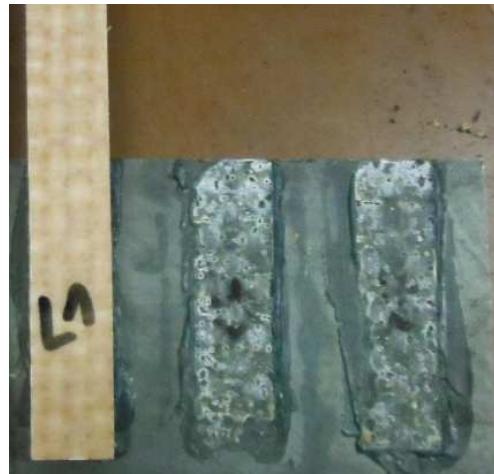
Tab.č.11 obsahuje namerané hodnoty maximálnych síl . Vzhľad vrstvy lepu po odlepení je na obr. Č 23.



Obr. č. 23Výsledok pevnostnej skúšky spoja fenol- lep L1-kov

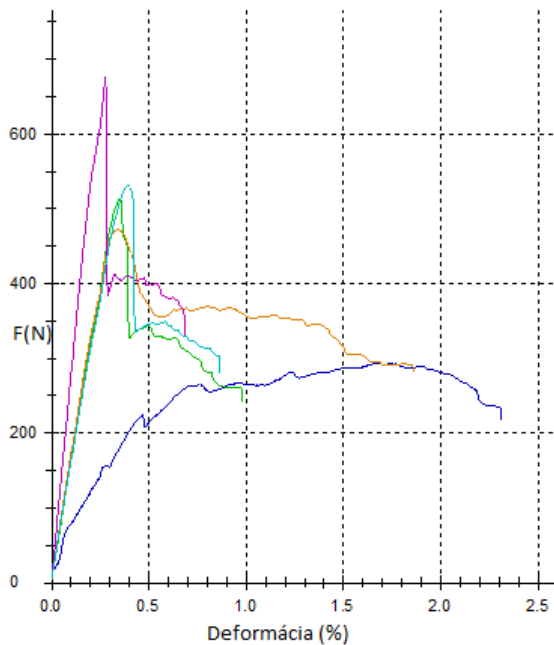
Tab. č. 11 Max. hodnoty síl pevnostnej skúšky spoja fenol- lep L1-kov

	Max. sila (N)	Priemer R (N)
<b>L1+ fenol</b>	281	472,4
	500	
	210	
	806	
	565	



Obr. č. 24 Vzhľad po odrhnutí vzorky epoxid- lep L1-kov

Ďalšie testované lepidlo označené ako L2- PLEXUS MA 832. Znova sa lepidlo testovalo na troch druhoch materiálov. Ako prvé sa testovala jeho účinnosť na polyesterovom kompozite. Graf z pevnostnej skúšky je na obr. č 24 Výsledok pevnostnej skúšky spoja Polyester-lep L2-kov. Tabuľka Tab.č.12 obsahuje maximálne namerané hodnoty.



Tab. č. 12 Max. hodnoty síl pevnostnej skúšky polyester- lep L2-kov

	Max. sila (N)	Priemer R (N)
<b>L2-polyester</b>	514	497,6
	293	
	472	
	678	
	531	

Obr. č. 25 Výsledok pevnostnej skúšky spoja polyester- lep L2-kov

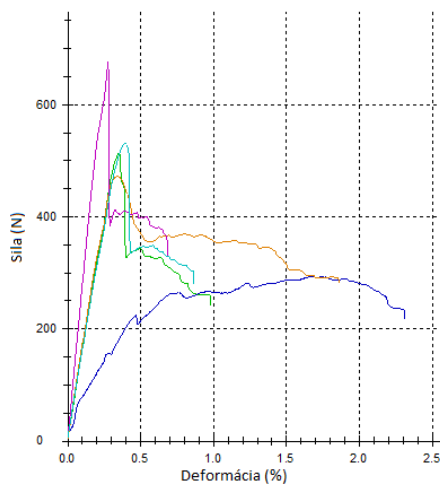


Z obr. č 25 je patrná horšia priľnavosť lepu L2 k povrchu polyesterového kompozitu. Povrch lepidla obsahuje síce zbytky sklenených vlákien, nie však v takom množstve ako pri použití lepu L1. Z časti teda boli porušené adhézne sily pôsobiace medzi lepidlom a povrchom kompozitu a z časti adhézne sily medzi matricou a sklenenou výstužou v samotnom lepenom materiály.



Obr. č. 26 Vzhľad po odrhnutí vzorky polyester- lep L2-kov

Ďalší povrch na ktorom bola testovaná pevnosť spoja lepidlom L2 bol epoxiový kompozit ako pri L1. Grafické výsledky tejto skúšky sú na obr. č 26. Ak porovnáme namerané a spriemerované hodnoty, ktoré možno vidieť v tab.č.13 sú veľmi podobné s testom lepi- vosti lepu L1 pri tomto materiály. I vzhľad zbytku lepu po odlepení je podobný. (obr. č. 27 vzhľad po odrhnutí vzorky epoxid- lep L2-kov) Je to spôsobené tým, že pri oboch testoch došlo k porušeniu lepeného materiálu. Pevnosť lepidiel teda nemala vplyv na výsledky skúšok.



Obr. č. 27 Výsledok pevnostnej skúšky spoja epoxid- lep L2-kov

Tab. č. 13 Max. hodnoty síl pevnostnej skúšky epoxid- lep L2-kov

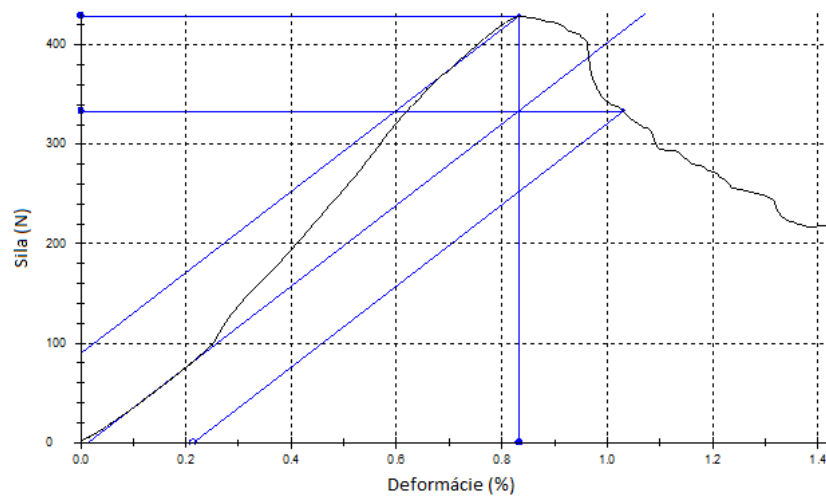
	Max. sila (N)	Priemer R (N)
<b>L3-epoxid</b>	289	236,6
	253	
	237	
	227	
	177	



Obr. č. 28 Vzhľad po odrhnutí vzorky epoxid- lep L2-kov

Posledný materiál, na ktorom bolo skúšané lepidlo L2 bol opäť sendvič s jadrom z PU peny a poťahmi z prepregu na baze fonolickej živice. Grafický výsledok skúšky je na obr. č 28. Tab.č.14 obsahuje namerané hodnoty z tejto skúšky. Obsahuje len 4 hodnoty, nakoľko pri teste sa vzoriek zdeformoval a výsledok skúšky by nemal výpovednú hodnotu.

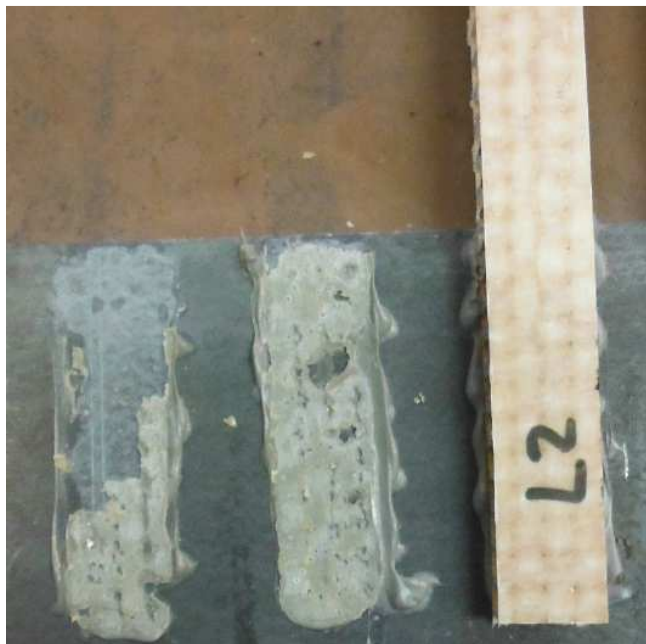
Vzhľad po odlepení vzorky možno vidieť na obr. č. 29. Na zbytku lepidla je odtlačok povrchu lepeného vzorku a čiastočne aj jeho zbytky.



Obr. č. 29 Výsledok pevnostnej skúšky spoja fenol- lep L2-kov

Tab. č.14 Max. hodnoty síl pevnostnej skúšky fenol- lep L2-kov

	Max. sila (N)	Priemer R (N)
<b>L2-fenol</b>	297	336,2
	266	
	429	
	348	
	341	



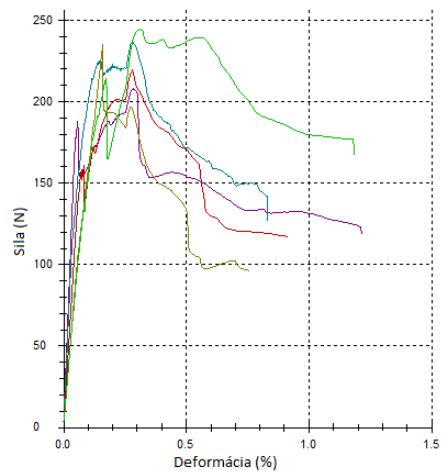
Obr. č. 30 Vzhľad po odrhnutí vzorky fenol- lep L2-kov

Posledné testované lepidlo bola na polyuretánovej báze vytvorené zo zložiek Desmodur VL a Desmophen-1150 od firmy BAYER.

Ako pri predchádzajúcich ledoch, aj tu bola skúška vykonávaná na 3 druhoch materiálu.

Ako prvé boli testované polyesterové vzorky. Grafické výsledky Obr. č 30 i zoznam nameraných hodôt spolu z ich priemierom a smerodatnou odchylkou

Tab.č.14 hovoria podobnej distribúcii dát. Výsledky pevnostných skúšok boli pri všetkých piatich vzorkách podobné. To je pravdepodobne spôsobené tým že mechanickému namáhaniu podľahla ako prvá vrstva lepidla ako je vidieť na obr. č31. Došlo teda k poruche kohéznych väzieb v lepidle.



Obr. č. 31 Výsledek pevnostnej skúšky spoja polyester- lep L3-kov

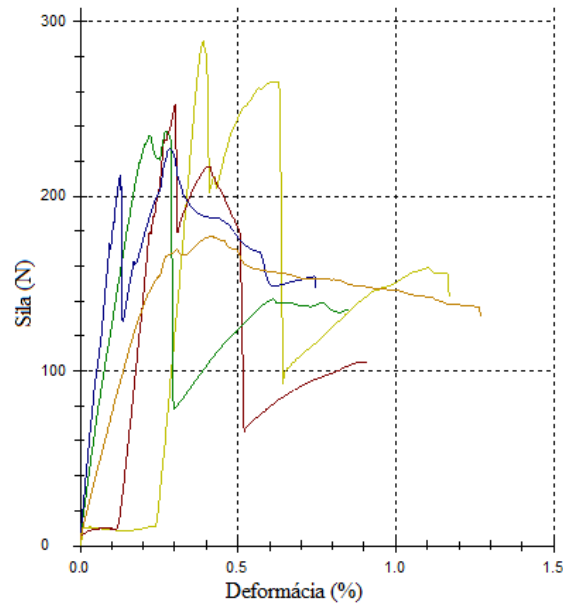
Tab. č. 15 Max. hodnoty síl pevnostnej skúšky polyester- lep L3-kov

	Max. sila (N)	Priemer R (N)
<b>L3-polyester</b>	208	228,4
	236	
	235	
	219	
	244	



Obr. č. 32 Vzhľad po odhrnutí vzorky polyester- lep L3-kov

Podobné výsledky mala skúška pevnosti lepenia i pri vzorkách z epoxidového materiálu ako je vidieť na grafe obr. č 32 a na údajoch z tab.č.15. I pri tejto skúške došlo k porušeniu kohéznych síl vo vrstve lepu( obr. č.33).



Obr. č. 33 Výsledok pevnostnej skúšky spoja epoxid- lep L3-kov

Tab. č. 16Max. hodnoty síl pevnostnej skúšky epoxid- lep L3-kov

	Max. sila (N)	Priemer R (N)
<b>L3-epoxid</b>	289	236,6
	253	
	237	
	227	
	177	



Obr. č. 34Vzhľad po odrhnutí vzorky epoxid- lep L3-kov

Kombinácia fenolických vzoriek a lepu L3 dopadla veľmi podobne ako pri predchádzajúcich testoch tohto lepu. Vzhľad po odrhnutí bol ako na obr. č. 31, čiže zbytok lepidla na oboch stranách. Aj v tomto prípade došlo k narušeniu kohéznych síl lepidla. Dve zo vzoriek nevydržali nastala separácia jadra od poťahov. Tabuľka nameraných hodnôt (Tab.č.17)

Tab. č. 17Max. hodnoty síl pevnostnej skúšky fenol- lep L3-kov

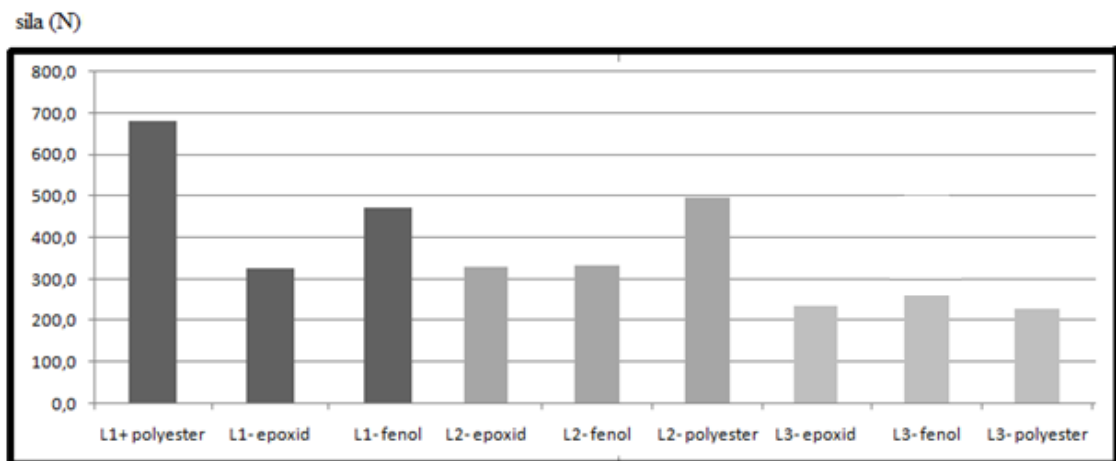
	Max. sila (N)	Priemer R (N)
<b>L3- fenol</b>	245	245
	263	
	238	
	251	
	229	

Na základe analýzy nameraných hodnôt a vzhľadu vzoriek po skúške pevnosti lepenia bolo na prípravku vzoriek do testovacieho prípravku pre test plošného napätia podľa normy ASTM C297 vybrané lepidlo L1- PLEXUS MA 422. I keď hodnoty max. síl boli veľmi podobné s L2 pri lepení epoxidu, keďže v oboch prípadoch došlo k narušeniu súdržnosti materiálu, nebol pri týchto skúškach zistená maximálna lepiaca sila lepu.

Pri výbere zavážili o niečo lepšie výsledky pri lepení polyesteru kvôli lepšiemu adhéznemu spojeniu s polyesterovým povrchom.

L3 neprichádzalo do úvahy, pre svoju slabú pevnosť a nízku flexibilitu (pružnosť).

Na obr.č.34 je grafické porovnanie nameraných hodnôt.



Obr. č. 35 Grafické porovnanie maximálnych odlupových síl.



## 7 OVERENIE FUNKČNOSTI PRÍPRAVKU

Prípravok bol navrhnutý podľa normy ASTM C297. Táto metóda testuje pevnosť väzby medzi lepenými časťami sendvičových štruktúr t.j. medzi poťahmi sendviču a jadrom, buď so spojitým lepeným povrchom alebo vo forme voštiny. V prípade zlyhania jadra, bez porušenia lepených spojov, testuje pevnosť jadra. Spočíva vo vystavení sendvičovej konštrukcie jednoosému ťahovému zaťaženiu, kolmému k povrchu sendviču.

Bola tu overená funkcia prípravku pri testovaní 24 ks vzoriek sendvičových panelov. Tieto boli pri výrobe vystavené rozličnému tlaku. Pri tom sa predpokladalo že vzorky vytavené pri lisovaní vyšším hodnotám tlaku, nadobudnú následne pri testovaní vyšších hodnôt plošných napätí. Vychádzal som pri tom z predpokladu, že vyššie hodnoty zapríčinia väčšie deformácie voštinového jadra a zvýši sa tak dotyková plocha stien voštiny s lepidlom.

### 7.1 Materiály a výroba testovacích vzoriek

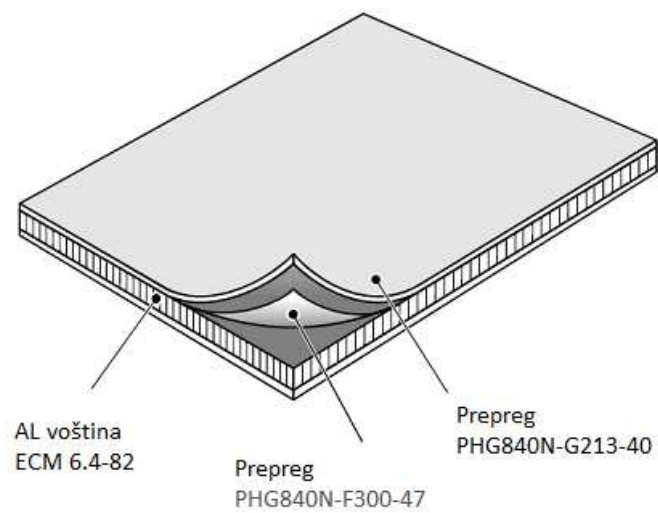
Pre 12 ks bola na výrobu použitá ako materiál jadra hliníková voština ECM 6.4-82 hrúbky 10mm. Ako poťahy boli použité dva druhy prepregov v kombinácii ako na obr. č 35. Vo vnútornej vrstve bol použitý prepreg PHG840N-F300-47 a v pohľadovej vrstve prepreg PHG840N-G213-40.

#### PHG840N-F300-47

- fenolický prepreg
- skelná tkanina zo sklenných vlákien typu S s keprovou vazbou ( $300 \text{ g.m}^{-2}$ )
- predimpregnované 47 % fenolickej živice PHG840N
- doba vytvrzovania 10 minut pri teplote  $160^{\circ}\text{C}$
- špeciálna adhezia k hliníkovým materiálom

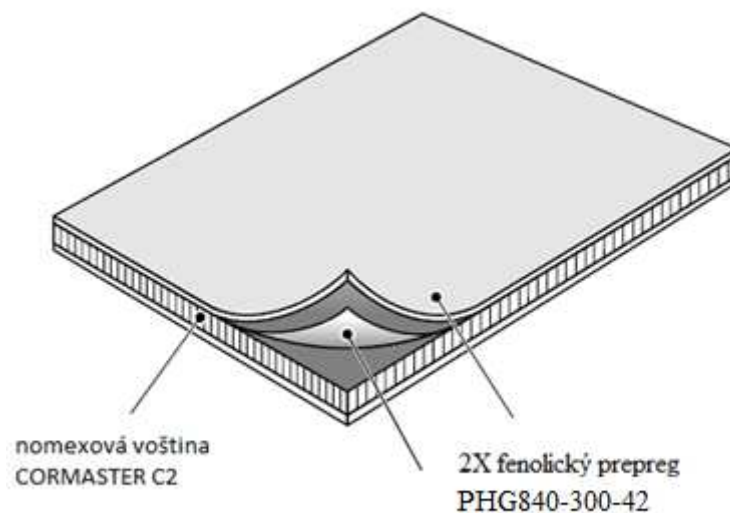
#### PHG840N-G213-40

- fenolický prepreg
- sklená tkanina z sklenených vlákien typu E ( $820 \text{ g.m}^{-2}$ )
- plátňová vazba
- predimpregnovaného 40 % fenolickej živice PHG840N
- vytvrzovacia teplota medzi  $125^{\circ}\text{C}$  –  $155^{\circ}\text{C}$



Obr. č. 36 Štruktúra vzorku s Al voštinou

Ďalších 12 vzoriek má štruktúru popísanú na obr. č 36. Na materiál jadra bola použitá kevlarová voština od firmy SCHULTZ, Coremaster C2-6,4 o hrúbke 10mm. Ako poťah sa použil fenolický prepreg PHG840-300-42 v dvoch vrstvách.

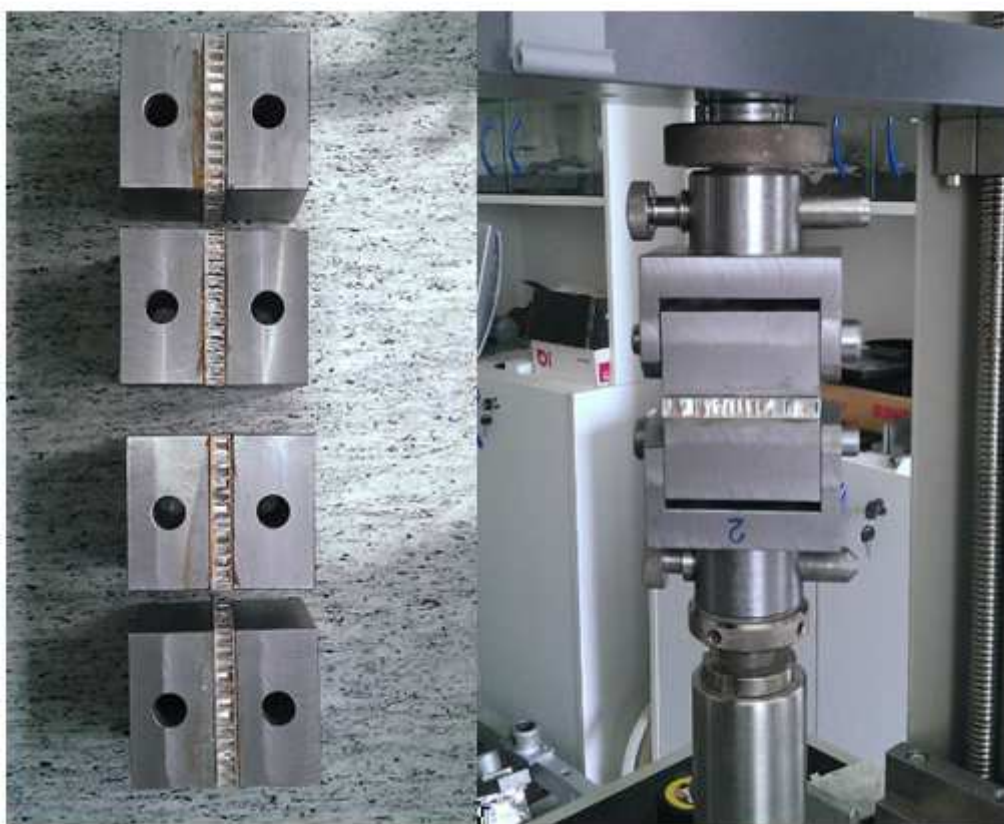


Obr.č. 37 Štruktúra vzorku s nomexovou voštinou

Samotná výroba vzoriek prebiehala na hydraulickom lise s teplotou vytvrdzovania 160 °C po dobu 10 minút.

Pre vzorky s AL voštinou sa sme použili pre 4 vzorky lisovací doraz z ocele o hrúbke 10mm, pre 4 vzorky doraz o hrúbke 9mm a pre 4 vzorky doraz o hrúbke 7mm.

Pre nomexový sendvič boli použité dorazy o hrúbke 10mm, 9mm a 8mm, taktiež pre každé 4 kusy. Test prebiehal na univerzálnom testovacom stroji Zwick (Obr. Č 31). Vzorky boli prilepené k testovaciemu prípravku lepidlom PLEXUS MA 422, ktorého výberu sa venovala kapitola 6.1.1. Lepidlo vytvrdzovalo minimálne 12 hodín.



Obr. č. 38Vzorky sendvičov prilepené k ocelovým kvádom a následne upnuté do testovacieho stroja ZWICK

## 7.2 Výsledky testovania plošného napätia

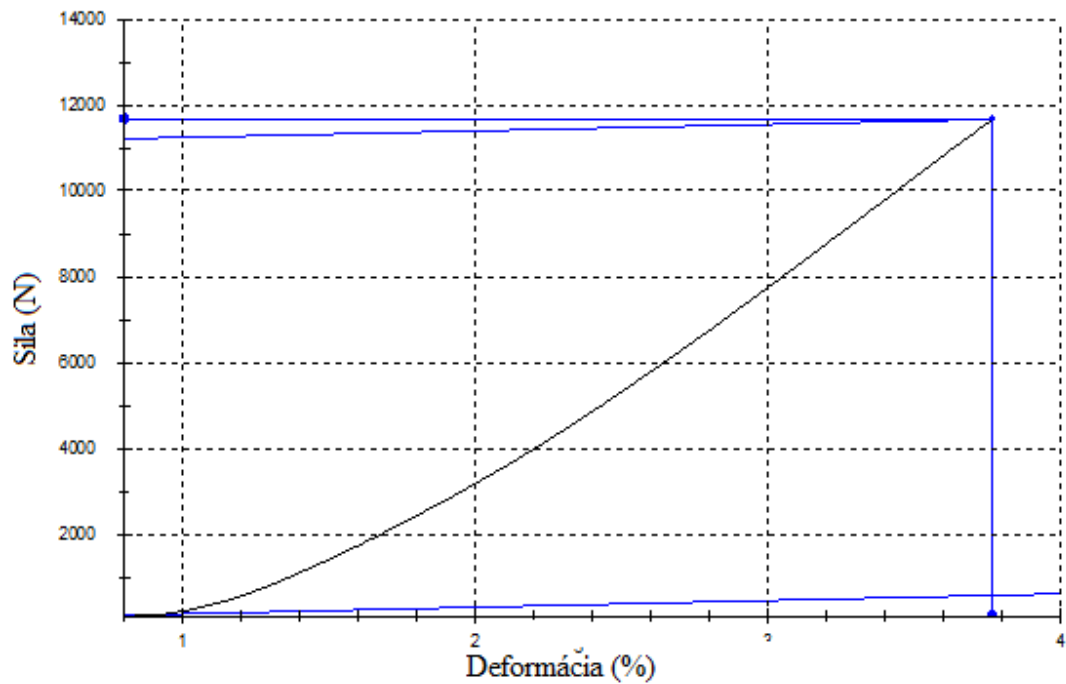
Ako bolo spomenuté v predchádzajúcej kapitole pre testovanie bolo použitých spolu 6 druhov vzoriek po 4 kusy. Spolu teda 24 vzoriek.

- Al voština 10mm s dorazom 10mm
- Al voština 10mm s dorazom 9mm
- Al voština 10mm s dorazom 7mm
- Nomexová voština 10mm s dorazom 10mm
- Nomexová voština s dorazom 9mm
- Nomexová voština s dorazom 8mm

Ako prvé boli testované vzorky s **hliníkovou voštinou o hrúbke 10mm, stlačené na 10mm**. Typický vzhľad vzorky v tejto konfigurácii možno vidieť na obr. č. 38. Jadro zostalo neporušené, so zbytkami adhezíva. Je vidieť že tlak pri výrobe nie veľmi zdeformovala bunky voštiny. Ukážka diagram z trhacej skúšky je na Obr. Č. 39.



Obr. č. 39 Vzhľad vzoriek s Al voštinou stlačených na 10 mm

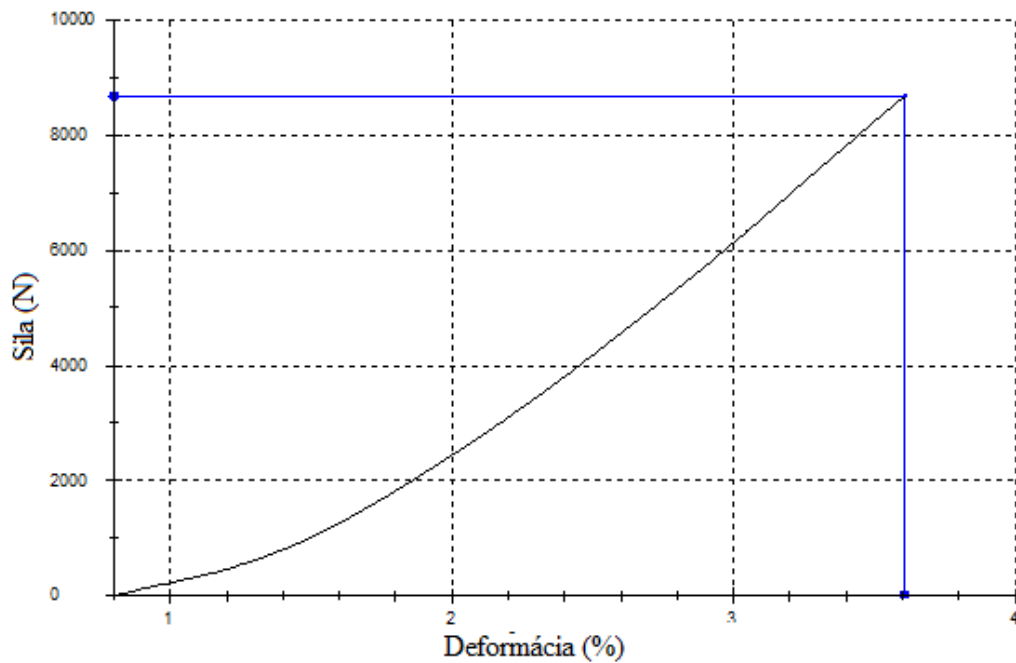


Obr. č. 40 Diagram z trhacej skúšky Al voštinou stlačených na 10mm

Ďalšie testované vzorky boli v konfigurácii **hliníkovou voštinou o hrúbke 10mm, stlačené na 9mm**. Typický vzhľad vzorky v tejto konfigurácii možno vidieť na obr. č. 40. Jadro zostalo opäť neporušené, so zbytkami adhezíva. Tlak pri lisovaní vzorky zdeformoval bunky voštiny o niečo viac ako pri stlačení s dorazom 10mm. Ukážka diagram z trhacej skúšky je na obr. č. 41.

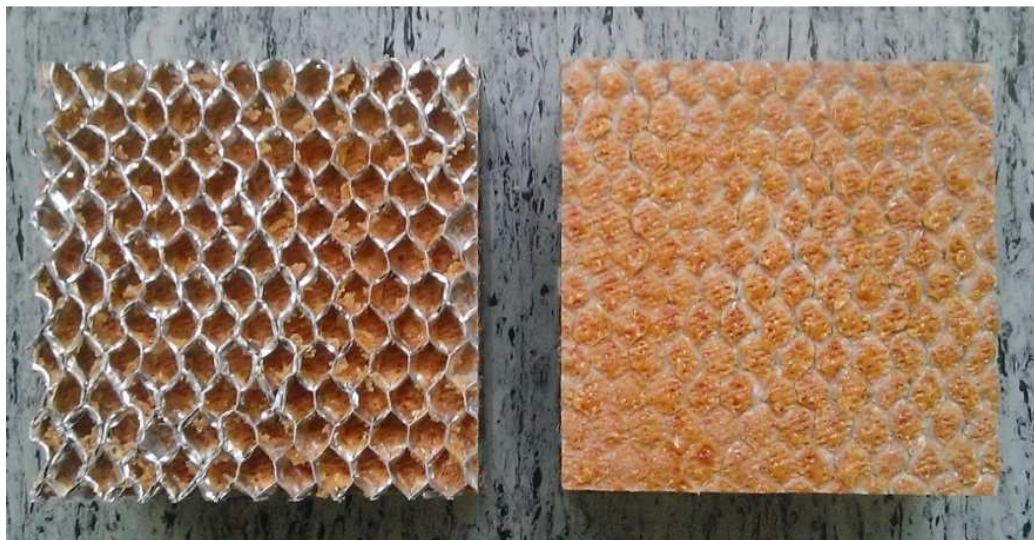


Obr. č. 41 Vzhľad vzoriek s Al voštinou stlačených na 9mm

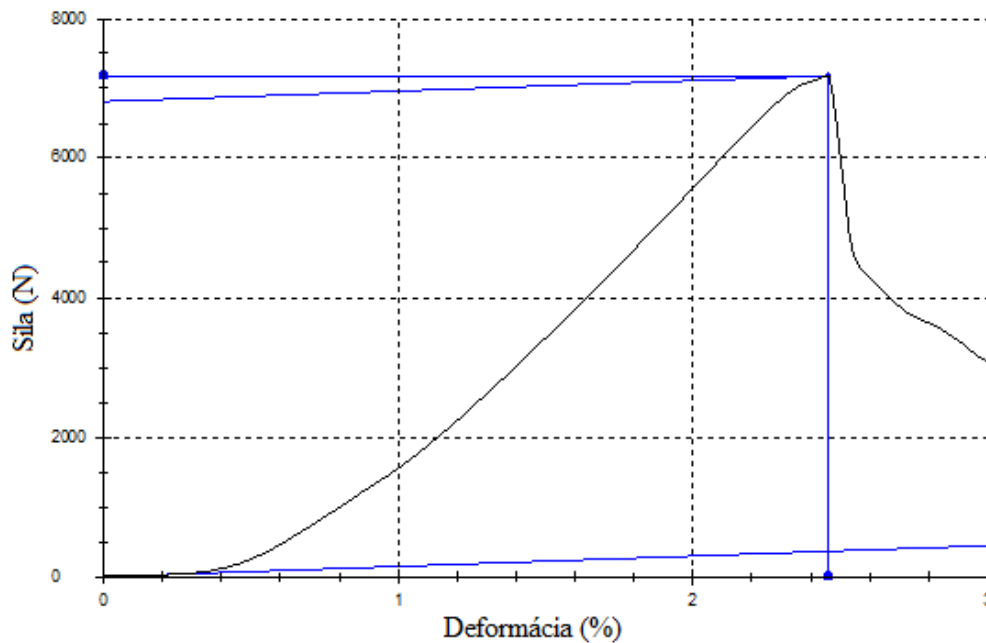


Obr. č. 42 Diagram z trhacej skúšky Al voštinou stlačených na 9mm

Posledný testovaný druh s Al voštinou bol vyrobený s dorazom 7mm. Na obr. č. 42 sú viditeľné značné deformácie jadra, spôsobené lisovacím tlakom. Graf z trhacej skúšky je na obr. č. 43.

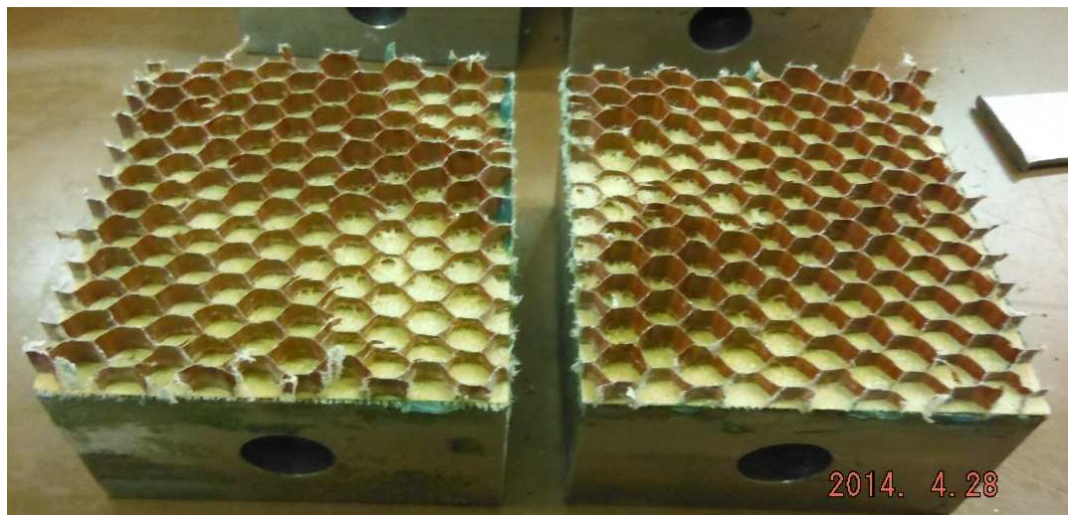


Obr. č.43 Vzhľad vzoriek s Al voštinou stlačených na 7mm

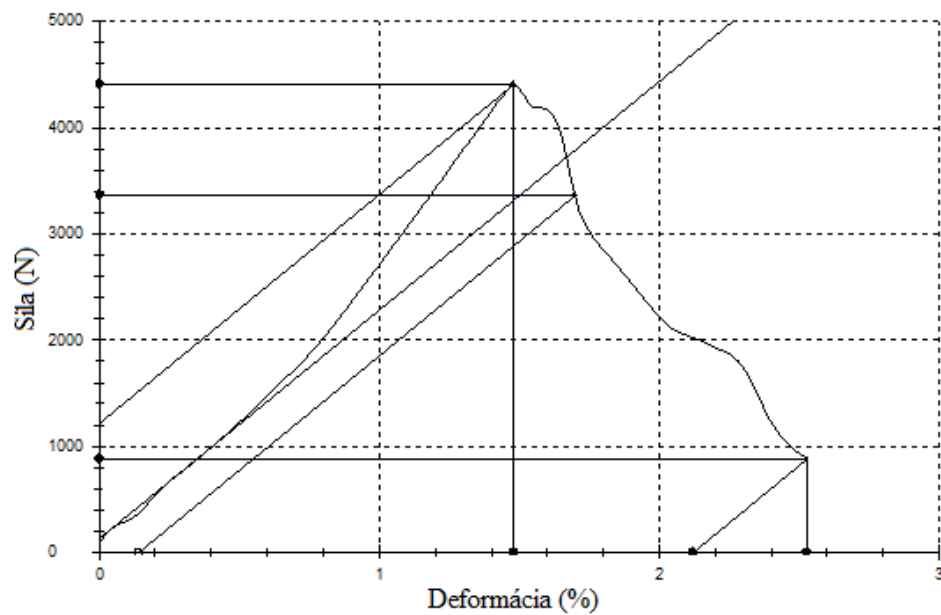


Obr. č. 44 Diagram z trhacej skúšky Al voštinou stlačených na 7mm

Ďalšie v poradí sa testovali vzorky s nomexovým jadrom. Pravá bola vyrobená s dorazom 10mm. Typický vzhľad vzorky po trhacej skúške je na obr.č. 44. Je vidieť že adhézne sily medzi jadrom a živicom z prepregu boli silnejšie ako súdržnosť voštinového jadra. Ukážka diagramu zo skúšky je na obr. č. 45. Je vidieť že graf má niekoľko vrcholov, ako sa jadro trhalo po častiach.



Obr. č. 45 Vzhľad vzoriek s nomexovou voštinou stlačených na 10mm



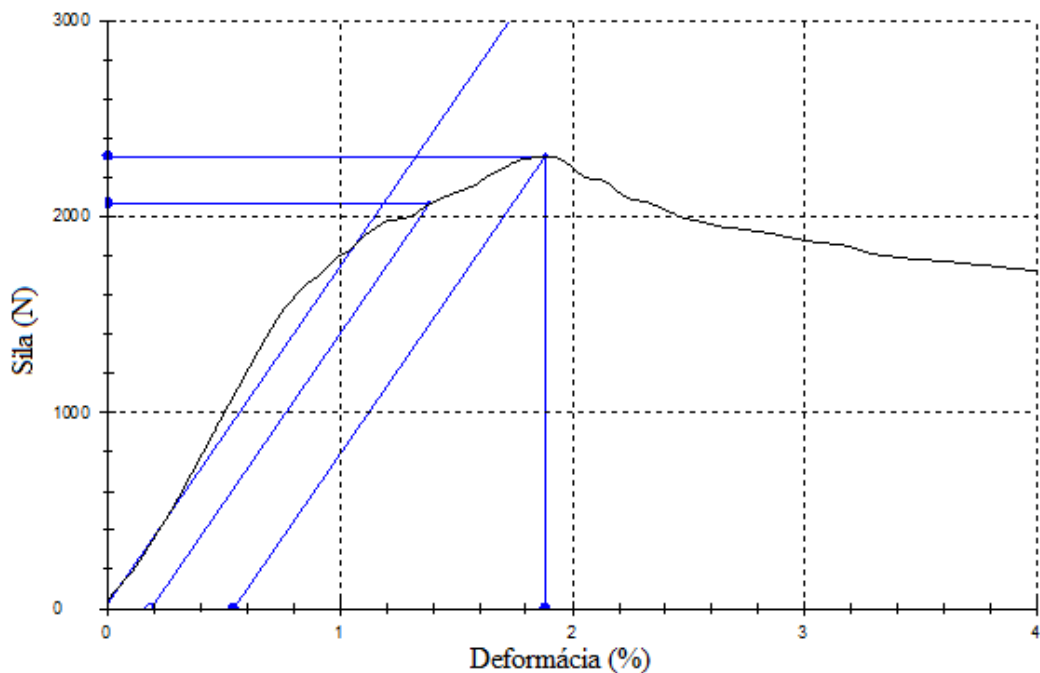
Obr. č. 46 Diagram z trhacej skúšky vzorky s nomexovou voštinou stlačenou na 10mm

Ďalšie testované vzorky boli lisované s dorazom 9mm. Ako je vidieť na obr. č. 46, i v tomto prípade došlo k porušeniu jadra. Vzhľad vzorky je však odlišný ako pri použití dorazu 10mm. Pri ich porovnaní zistíme že voština je potrháná iným spôsobom. v predchádzajúcom prípade bol lom jadra čistejší ako keby sa jednalo o iný materiál. V lome jadra tejto vzorky sú zbytky vlákien a má vzhľad trhaného papiera. Diagram z testu (obr. č. 47) ukazuje taktiež menšiu maximálnu odtrhovú silu ako pri testovaní vzorky lisovanej na hrúbku 10mm. To bolo pravdepodobne spôsobené čiastočným poškodením jadra pri lisovaní zvýšeným tlakom.



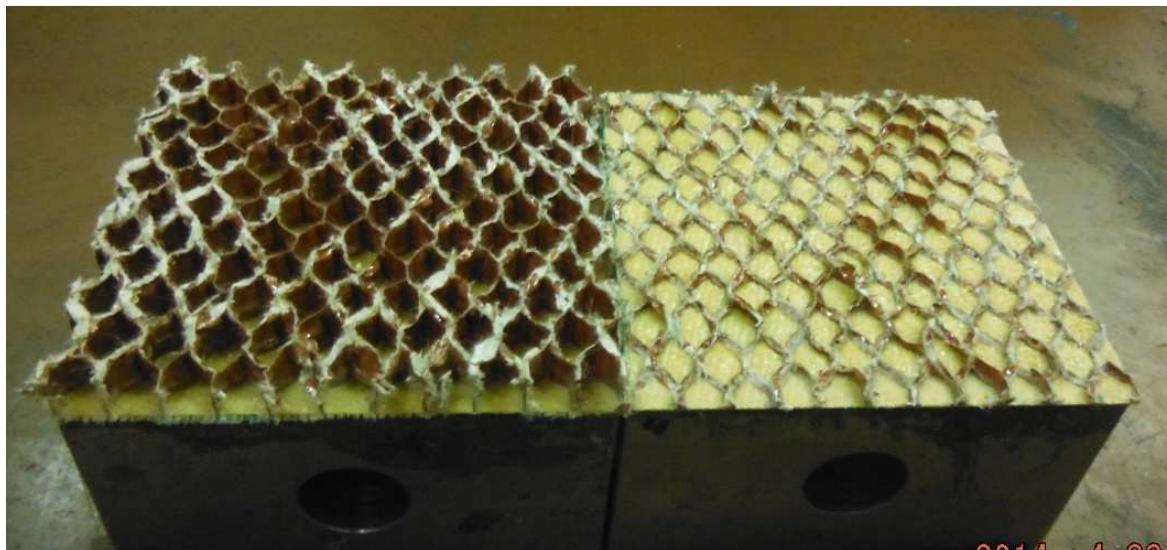


Obr. č. 47Vzhľad vzoriek s nomexovou voštinou stlačených na 9 mm

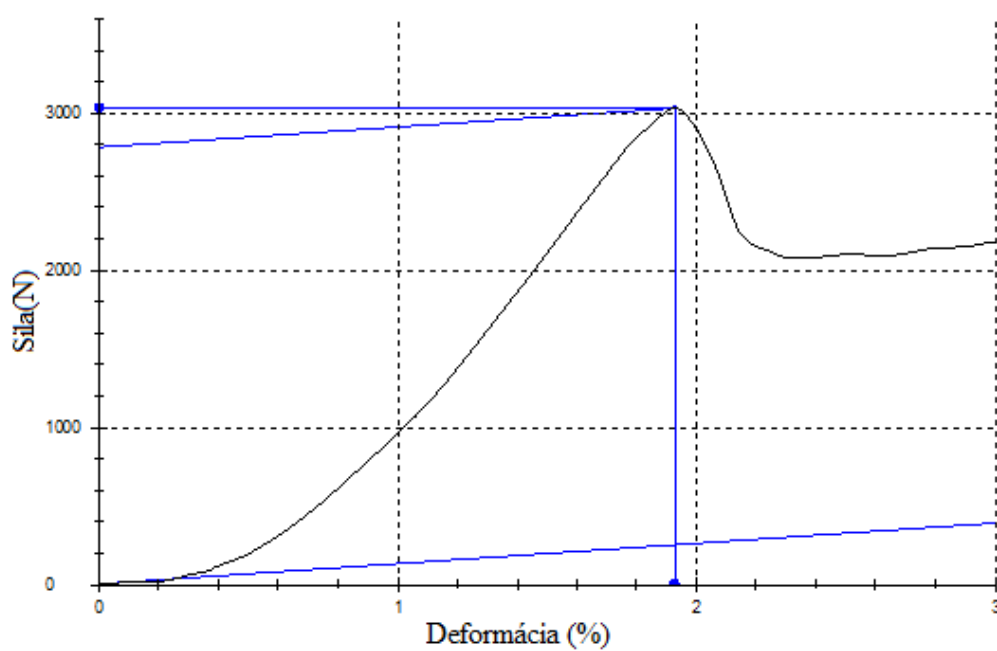


Obr.č. 48Diagram z trhacej skúšky vzorky s nomexovou voštinou stlačenou na 9 mm

Podobné výsledky ako pri vzorkách s nomexovým jadrom lisovaných na hrúbku 9 mm boli dosiahnuté i pri vzorkách lisovaných na hrúbku 8mm. Na obr. č 48 je vidieť jadro potušené podobne ako v predchádzajúcom prípade, a však stopy vlákien a lom vzhľadom podobný potrhanému papieru je ešte viac evidentný. Ukážka grafu zo skúšky je na obr. č. 49. I v tomto prípade pravdepodobne došlo k nalomeniu stien buniek voštiny pri výrobe.



Obr. č. 49Vzhľad vzoriek s nomexovou voštinou stlačených na 8mm



Obr. č. 50Diagram z trhacej skúšky vzorky s nomexovou voštinou stlačenou na 8mm

### 7.3 Porovnanie a analýza výsledkov testov plošného ťahu

V tab.č.18 sú v prvom stĺpci zosumarizované namerané sily v jednotkách N. Z nich boli podľa požiadaviek normy ASTM C297 vypočítané hodnoty plošných napätí.

Bol použitý vzorec:

$$F_z^{ftu} = \frac{P_{max}}{A}$$

Kde:

$F_z^{ftu}$  = maximálne plošné napätie (MPa)

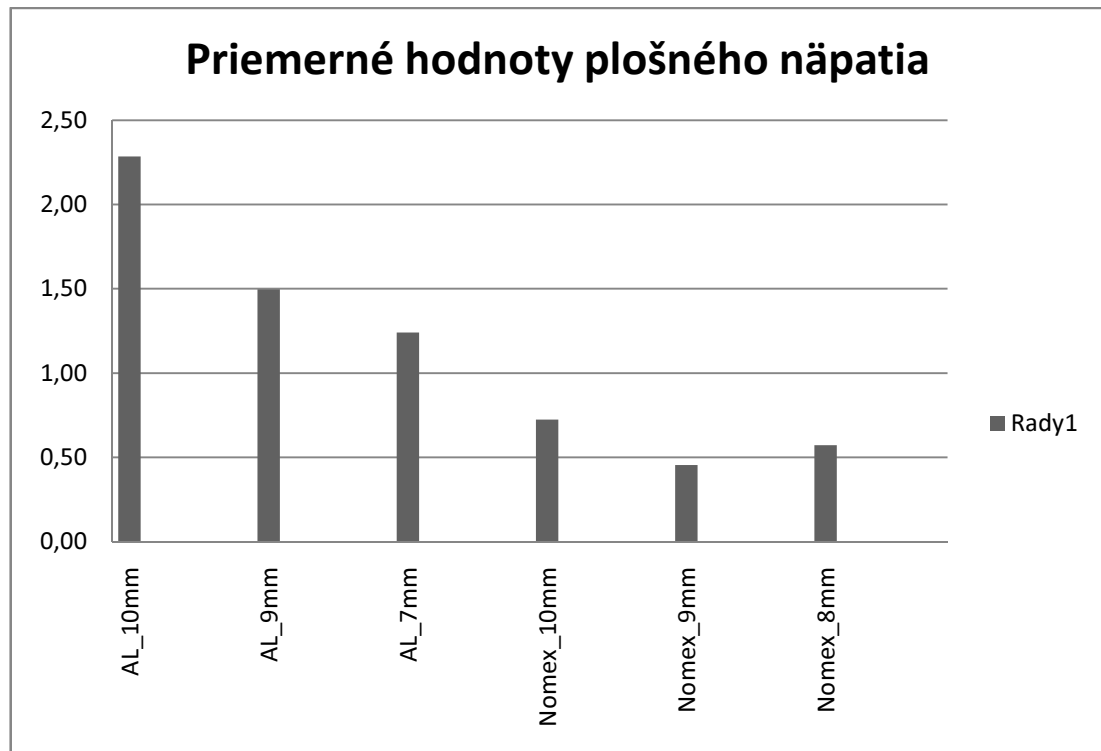
$P_{max}$  = maximálna odtrhová sila (N)

$A$  = veľkosť povrchu testovanej vzorky mm<sup>2</sup>

V tretom stĺpci sú tieto vypočítané hodnoty spriemerované pre každý druh vzorky. Štvrtý stĺpec obsahuje smerodajnú odchýlku. Tieto hodnoty sú graficky znázornené a porovnané na obr. č50. Jedná sa o graf, kde stĺpce tvoria spriemerované hodnoty plošných napätí, a svetlá časť stĺpca znázorňuje hodnotu smerodajnej odchýlky.

Tab. č. 18 Namerané a vypočítané hodnoty plošného napätia

	<b>F(N)</b>	<b>Maximálne plošné napätie (MPa)</b>	<b>Priemer R (MPa)</b>	<b>Smerodajná odchylka S</b>
<b>AL_10mm</b>	13900,00	2,47	2,28	0,44
	11700,00	2,08		
	10100,00	1,80		
	15700,00	2,79		
<b>AL_9mm</b>	8000,00	1,42	1,50	0,11
	8650,00	1,54		
	9210,00	1,64		
	7810,00	1,39		
<b>AL_7mm</b>	6350,00	1,13	1,24	0,09
	7180,00	1,28		
	6880,00	1,22		
	7490,00	1,33		
<b>Nomex_10mm</b>	4410,00	0,78	0,72	0,05
	4080,00	0,73		
	3980,00	0,71		
	3800,00	0,68		
<b>Nomex_9mm</b>	2370,00	0,42	0,45	0,05
	2310,00	0,41		
	2920,00	0,52		
	2630,00	0,47		
<b>Nomex_8mm</b>	3020,00	0,54	0,57	0,06
	3030,00	0,54		
	3150,00	0,56		
	3680,00	0,65		



Obr. č. 51 Grafické porovnanie nameraných hodnôt pri testovaní plošného napätia

**Pri porovnaní hodnôt z grafu a jednotlivých fotografií možno zhodnotiť nasledujúce:**

Pri vzorkách s jadrom s hliníkovou voštinou sa znižuje hodnota nameraných plošných napätí so znižujúcou sa hrúbkou, čiže zväčšujúcim sa tlakom pri ich výrobe. Pri vzorke s hrúbkou 10mm bola priemerná hodnota 2,28 MPa. Pri vzorkách lisovaných s dorazom 9mm bola priemerná hodnota 1,5Mpa pri znížení hrúbky na 7mm už nebol pokles meraných hodnôt tak výrazný. Priemerná hodnota bola 1,24MPa.

Toto je podľa môjho názoru spôsobené tým, že v prvom prípade pri nižšom tlaku sa steny hliníkovej voštiny veľmi nedeformovali, ale tlak bol dostatočný, aby sa zarezali do steny prepregu a roztavená fenolická živica ich pokryla do určitej výšky.

Pri zvyšujúcom sa tlaku pri ďalších dvoch vzorkách nastali deformácie voštiny, čo malo podľa môjho názoru za následok vytlačenie časti roztavenej živice z miesta spoja deformujúcim sa hliníkovým materiálom. Adhezivo sa potom nedostávalo v takej miere na steny voštiny a tým bola vlastne znížená lepená plocha jadra sendviču.

Pri testovaní vzoriek v ktorých slúžila ako jadro nomexová voština sa taktiež najlepšie osvedčilo stlačenie vzorky s 10mm voštinou pri lisovaní na hrúbku 10mm. Pri tejto konfigurácii ako je vidieť na obr. č 38 došlo pri testovaní k porušeniu jadra. Neboli teda porušené adhézne sily medzi materiálom jadra a adhezivo a ani adhezivom a poťahom.

Procesné parametre pri výrobe týchto vzoriek boli teda optimálne. T.j.: teplota 160 °C pri dobe lisovania 10 minút s použitím lisovacieho dorazu hrubého 10mm. Priemerná nameraná hodnota plošného napätia pri týchto vzorkách bola 0,73 MPa. Namerali sme vlastne modul pevnosti v ťahu použitej voštiny v priečnom smere.

Pri lisovaní pri vyšších hodnotách tlaku, teda s použitím dorazu 9mm opäť nenastalo porušenie adhézných síl medzi jadrom a adhezívom. Opäť došlo k porušeniu jadra a však vzhľad vzoriek bol značne odlišný. Kým pri vzorkách s lisovacím dorazom 10 mm bol lom stien buniek čistý, u vzoriek lisovaných pri dorazoch 9mm boli vidieť na potrhanom jadre zbytky vlákien. To bolo pravdepodobne spôsobené deformáciou a nalomením stien buniek jadra pri vyššom lisovacom tlaku. Tejto hypotéze nasvedčujú i namerané a vypočítané hodnoty plošných napätí. Ich priemerná hodnota klesla bola 0,45 MPa, čo je o 0,28 MPa nižšia hodnota ako pri doraze 10mm.

Vzorky lisované s dorazom 8mm taktiež javili na lome jadra taktiež známky predchádzajúceho porušenia pri lisovaní. Priemerná hodnota plošných napätí bola však 0,57 MPa. To je o 0,12 MPa viac ako pri vzorkách s dorazom 9mm.

Bol teda vyvrátený počiatočný predpoklad, že so zvyšujúcim sa tlakom pri výrobe sendvičov a cielenou deformáciou buniek voštiny sa bude zvyšovať lepená plocha na stenách buniek voštiny budú tak namerané vyššie hodnoty plošného napätia.

## ZÁVER

Praktická časť tejto diplomovej práce bola venovaná testovaniu maximálneho plošného napätia pri vzorkách sendvičových štruktúr. Postupovalo sa podľa americkej normy ASTM C279. Ako prvé bolo potrebné podľa tejto normy navrhnuť 3D model a vytvoriť výkresovú dokumentáciu testovacieho prípravku, tak aby bolo možné jeho upnutie do univerzálneho testovacieho prístroja ZWICK. Prípravok bol navrhnutý, tak aby bolo na ňom možné testovať vzorky s rôznymi jadrami.

Ďalej bolo nutné vytipovať lepidlá vhodné na pripevnenie vzoriek do testovacieho prípravku a následnému výberu jedného z nich na základe testovania ich adhézných vlastností i na jednej strane ku oceľovej platni a na strane druhej ku kompozitným materiálom a tiež na základe jeho vlastnej kohéznej pevnosti. Toto bolo prevedené prílepením 45 ks vzoriek vyrobených z troch druhov kompozitných materiálov, ich nalepením na kovovú platňu troma vybranými druhmi lepidiel. Následne bola testovaná a porovnávaná odlupová pevnosť a taktiež bol analyzovaný vzhľad vzoriek po teste.

Pre účel overenia funkčnosti prípravku bolo vyrobených 24 ks vzoriek sendvičov. Na 12ks sa použilo ako jadro voština z hliníkovej zliatiny a na 12 voština z aramidového papiera. Pri výrobe vzoriek boli použité oceľové dorazy rôznych hrúbok. Po porovnaní výsledkov testovania, vzhľadu vzoriek a ich analýze bolo zistené že stlačenie vzoriek pri výrobe má vplyv na súdržnosť sendvičových štruktúr. Najlepšie výsledky boli dosiahnuté zlisovaním sendvičov na pôvodnúhrúbku jadra. V oboch prípadoch boli najlepšie hodnoty namerané pri zalisovaní vzoriek s použitím 10mm dorazov, pri hrúbke jadra 10mm.

So znižovaním hrúbky vzoriek klesali aj hodnoty maximálnych odtrhových síl, a tým aj vypočítané hodnoty maximálneho plošného napätia. To bolo pri hliníkovej voštine pravdepodobne spôsobené tým že s narastajúcim tlakom narastala deformácia stien buniek voštiny a to malo za následok znižovanie povrchu dotykovej plochy voštiny použitej v jadre sendvičových vzoriek so fenolickou živicom z prepregu. Tá teda slúžila nielen ako matrica v poťahoch sendviču, ale zároveň ako adhezivo spájajúce poťahy a jadro. Pri vzorkách s nomexovou voštinou bol dôvod nižších nameraných hodnôt plošných napätí pri vzorkách lisovaných na menšiu hrúbku pravdepodobne deformácia a nalomenie stien voštinových buniek pri ich výrobe.

Bol teda vyvrátený počiatkový predpoklad že pri použití tenších dorazov pri výrobe sendvičov, narastá dotyková plocha stien buniek voštinového jadra s adhezívom a zvýši sa tak kvalita lepeného spoja.

Navrhnutý a vyrobený testovací prípravok bude na UVI slúžiť pre ďalší výskum v rámci BP,DP i dizertačných prác alebo v rámci zmluvného výskumu.



**SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY**

- [1] Dimenzování a navrhování výrobků z polymerů, doc, Ing. Oldřich Šuba, CSc. 2010  
ISBN: 978-80-7318-948-8
- [2] Handbook of Composites, Second Edition, Edited by S.T. Peters, Chapman & Hall, 1998, ISBN 0-412-54020-7.
- [3] Zenkert, D., Nordic Industrial Fund: The Handbook of Sandwich Construction. Worcester-shire; EMAS Publishing, 1997.
- [4] Campbell, F.C.: Structural Composite Materials. Ohio; ASM International, 2010.
- [5] [www.hexcel.com](http://www.hexcel.com)
- [6] D.F. Adams, L.A. Carlsson, and R.B. Pipes. *Experimental Characterization of Advanced Composite Materials*, 3rd ed., CRC Press, 2003
- [7] W.M. Scardino, Adhesive Specifications, *ASM Engineered Materials Handbook*, Vol 1, *Composites*,
- [8] MIL-HNBK-17-1F, *Polymer Matrix Composites*, Vol I, *Guidelines for Characterization of Structural Materials*, U.S. Department of Defense, 2001
- [9] R.B. Krieger, Analyzing Joint Stresses Using an Extensometer, *Adhes. Age*, , 1985
- [10] Ing. Lubomír Kovačič, CSc. *Lepenie Kovov a Plastov*, vydavatelstvo ALFA 1980
- [11] Sharpe L.H. *The interphase in adhesion*, London 1983
- [12] Bikerman, J.J.: *The Science of Adhesive Joints*. 2.vyd. New York-London Academic Press 1968

[13] The Handbook of Sandwich Construction, Edited by D. Zenkert, EMAS/Engineering Materials Advisory Services Ltd., 1997, ISBN 0-947-81796-4.

[14] SAMPE Journal, Volume 44, No. 4, July/August 2008

[16] OSTEN M.: Práce s lepidly a tmely, Praha 1982.

[17] Materiálový list Plexus MA422

[18] Materiálový list Plexus MA832

**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

ASTM American Society for Testing and Materials

PVC Polyvinylchlorid

PUR Polyuretán

PS Polystyrén

PEEK Polyether ether ketone

PPS Polyfenylsulfid

PP Polypropilén

SAN Styrene-acrylonitrile Copolymer

PTFE polytetrafluóretylén

PE polyrthylén

N Newton

$F_z^{ftu}$  maximálne plošné napätie

$P_{max}$  maximálna odtrhová sila

A veľkosť povrchu testovanej vzorky

MPa megapaskal

**SEZNAM OBRÁZKŮ**

Obr. č. 1 Zmena únosnosti a tuhosti pri náraste hrúbky sendviča [16].....	13
Obr. č. 2 Princíp funkcie sendviču pri zaťažení na voľnom konci .....	14
Obr. č. 3 Rôzne typy voštinových jadier [14].....	21
Obr. č. 4 Jednotlivé vrstvy pri lepení hliníku s povrchovou úpravou oxidáciou [13] .....	22
Obr. č. 5 Spôsoby testovania lepidlivosti na šmyk .....	26
Obr. č. 6 Možnosti poškodení pri jednoduchom šmykovom teste lepidlivosti.....	26
Obr. č. 7 Testovanie plošného napätia pri sendvičových štruktúrach [6].....	28
Obr. č. 8 Testovanie navíjaním na valec [3].....	29
Obr. č. 9 Princíp testovania navíjaním na valec [3].....	30
Obr. č. 10 Zmäčavosť lepeného povrchu [12] .....	35
Obr. č. 11 Princíp lepenia, adhézia, kohézia [16] .....	40
Obr. č. 12 Mechanická väzba.....	40
Obr. č. 13 Kváder pre veľkosť vzorky 50 mm x 50 mm .....	47
Obr. č. 14 Kváder pre veľkosť vzorky 75 mm x 75 mm .....	48
Obr. č. 15 Vyrobený prípravok + 3D model.....	49
Obr. č. 16 Lepenie vzoriek skleneného laminátu k ocelovým platňam .....	52
Obr. č. 17 Testovanie pevnosti zlepenia na stroji ZWICK materialprüfung 1456 .....	52
Obr.č. 18 Výsledok pevnostnej skúšky Obr. č. 19 Typický vzhľad po .....	53
Obr. č. 20 Výsledok pevnostnej skúšky spoja Epoxid - lep L1-kov.....	54
Obr. č. 21 Vzhľad po odhrnutí vzorky epoxid- lep L1-kov .....	55
Obr. č. 22 Výsledok pevnostnej skúšky spoja fenol- lep L1-kov .....	55
Obr. č. 23 Vzhľad po odhrnutí vzorky epoxid- lep L1-kov .....	56
Obr. č. 24 Výsledok pevnostnej skúšky spoja polyester- lep L2-kov.....	56
Obr. č. 25 Vzhľad po odhrnutí vzorky polyester- lep L2-kov .....	57
Obr. č. 26 Výsledok pevnostnej skúšky spoja epoxid- lep L2-kov .....	58
Obr. č. 27 Vzhľad po odhrnutí vzorky epoxid- lep L2-kov .....	58
Obr. č. 28 Výsledok pevnostnej skúšky spoja fenol- lep L2-kov .....	59
Obr. č. 29 Vzhľad po odhrnutí vzorky fenol- lep L2-kov.....	60
Obr. č. 30 Výsledok pevnostnej skúšky spoja polyester- lep L3-kov.....	61
Obr. č. 31 Vzhľad po odhrnutí vzorky polyester- lep L3-kov .....	61
Obr. č. 32 Výsledok pevnostnej skúšky spoja epoxid- lep L3-kov .....	62
Obr. č. 33 Vzhľad po odhrnutí vzorky epoxid- lep L3-kov .....	63

Obr. č. 34 Grafické porovnanie maximálnych odlupových síl .....	64
Obr. č. 35 Štruktúra vzorku s Al voštinou .....	66
Obr. č. 36 Štruktúra vzorku s nomexovou voštinou .....	66
Obr. č. 37 Vzorky sendvičov prilepené k ocelovým kvádom a následne upnuté do testovacieho stroja ZWICK .....	67
Obr. č. 38 Vzhľad vzoriek s Al voštinou stlačených na 10 mm .....	68
Obr. č. 39 Diagram z trhacej skúšky Al voštinou stlačených na 10 mm .....	69
Obr. č. 40 Vzhľad vzoriek s Al voštinou stlačených na 9 mm .....	69
Obr. č. 41 Diagram z trhacej skúšky Al voštinou stlačených na 9 mm .....	70
Obr. č. 42 Vzhľad vzoriek s Al voštinou stlačených na 7 mm .....	70
Obr. č. 43 Diagram z trhacej skúšky Al voštinou stlačených na 7 mm .....	71
Obr. č. 44 Vzhľad vzoriek s nomexovou voštinou stlačených na 10 mm .....	71
Obr. č. 45 Diagram z trhacej skúšky vzorky s nomexovou voštinou stlačenou na 10 mm .....	72
Obr. č. 46 Vzhľad vzoriek s nomexovou voštinou stlačených na 9 mm .....	73
Obr.č. 47 Diagram z trhacej skúšky vzorky s nomexovou voštinou stlačenou na 9 mm .....	73
Obr. č. 48 Vzhľad vzoriek s nomexovou voštinou stlačených na 8 mm .....	74
Obr. č. 49 Diagram z trhacej skúšky vzorky s nomexovou voštinou stlačenou na 8 mm .....	74
Obr. č. 50 Grafické porovnanie nameraných hodnôt pri testovaní plošného napätia .....	77

**SEZNAM TABULEK**

Tab. č. 1 Výstužné materiály, ich hustota a mechanické vlastnosti.....	17
Tab. č. 2 Porovnanie základných vlastností matric .....	18
Tab. č. 3 Vlastnosti materiálov používaných na výrobu jadier [14].....	20
Tab. č. 4 Minimálna veľkosť vzorky v mm <sup>2</sup> v závislosti na veľkosti bunky .....	47
Tab. č. 5 Fyzikálne vlastnosti nevytvrdeného lepidla Plexus MA422 pri izbovej teplote. [17] .....	50
Tab. č. 6 Mechanické vlastnosti vytvrdeného lepidla Plexus MA422.....	50
Tab. č. 7 Fyzikálne vlastnosti nevytvrdeného lepidla Plexus MA832 pri izbovej teplote. [18] .....	51
Tab. č. 8 Mechanické vlastnosti vytvrdeného lepidla Plexus MA832 [18].....	51
Tab. č. 9 Max. hodnoty síl pevnostnej skúšky spoja Polyester - lep L1-kov .....	53
Tab. č. 10 Max. hodnoty síl pevnostnej skúšky spoja epoxid- lep L1-kov .....	54
Tab. č. 11 Max. hodnoty síl pevnostnej skúšky spoja fenol- lep L1-kov .....	56
Tab. č. 12 Max. hodnoty síl pevnostnej skúšky polyester- lep L2-kov .....	56
Tab. č. 13 Max. hodnoty síl pevnostnej skúšky epoxid- lep L2-kov .....	58
Tab. č. 14 Max. hodnoty síl pevnostnej skúšky fenol- lep L2-kov.....	59
Tab. č. 15 Max. hodnoty síl pevnostnej skúšky polyester- lep L3-kov .....	61
Tab. č. 16 Max. hodnoty síl pevnostnej skúšky epoxid- lep L3-kov .....	62
Tab. č. 17 Max. hodnoty síl pevnostnej skúšky fenol- lep L3-kov.....	63
Tab. č. 18 Namerané a vypočítané hodnoty plošného napätia.....	76

**SEZNAM PŘÍLOH**

Príloha P I: CD 3D model prípravku na testovanie plošného napätia podľa normy ASTM C297

Príloha P II: CD Výkresová dokumentácia prípravku na testovanie plošného napätia podľa normy ASTM C297

Príloha P III: Technický list PLEXUS MA 422

Príloha P IV: Technický list PLEXUS MA 832

Príloha P V: Technický list Desmodur VL

Príloha P VI: Technický list Desmophen 1150

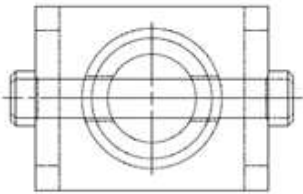
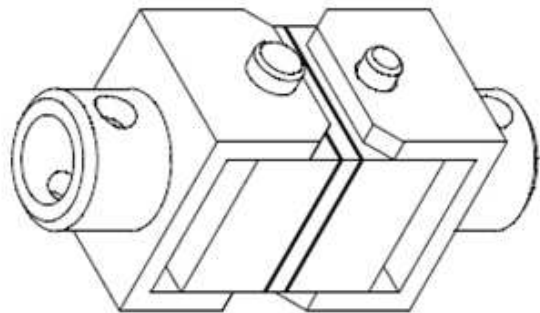
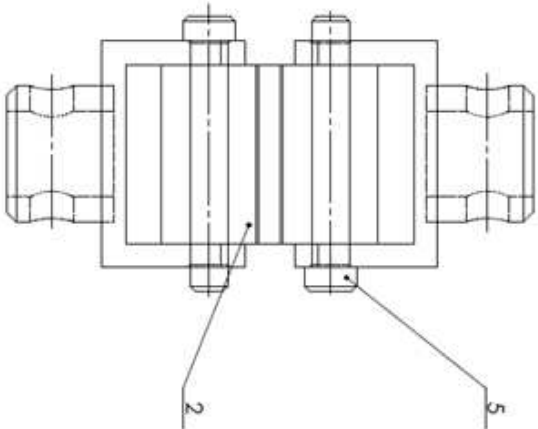
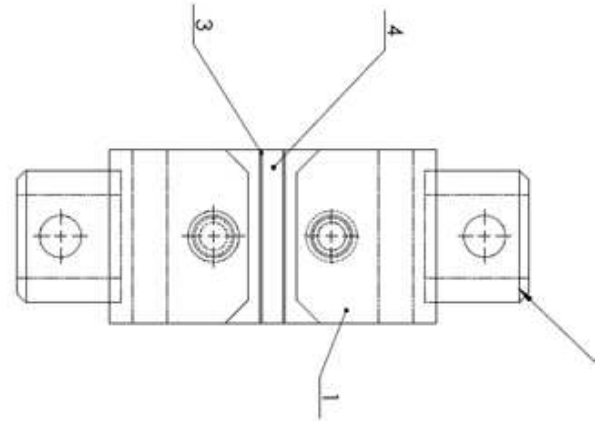
Príloha P VII: Technický list voština ECM 6.4-82

Príloha P VIII: Technický list prepreg PHG840N-F300-47

Príloha P IX: Technický list prepreg PHG840N-G213-40

Príloha P X: Technický list voština Cormaster C2

# PRÍLOHA P II: VÝKRESOVÁ DOKUMENTÁCIA PRÍPRAVKU NA TESTOVANIE PLOŠNÉHO NAPÄTIA PODĽA NORMY ASTM C297



Č. POLOŽKY	Č. dílu	POPIS	Množství
1		Upinaci díl	2
2		Lepicí blok	2
3		Vnější vrstva	2
4		Jadro	1
5		Cep_16	2
6		Upinaci díl Zwick	2

POLOŽKA NEJL. VÝROBKOV. JAKOSTI  
JEDNOTLIV. JSOU V KVALITATIVNÍCH  
ROZDÍLECH  
TYPY PARTI-  
LINEARIS  
(MEROVA)

OPERACI VÁL:

COOTRANIT  
OSTREHĚNĚNÍ

NEPRAKOVAT MĚŘITVO V ŘEŠENÍ

JAKOSTI

NÁZEV:  
Flatwise tensile přípravek

Č. VÝKRESU:  
A.3

HMOTNOST:

MĚŘITNOST:

VERZE: 1.21 (LBR)

VERZE: 1.21 (LBR)

VERZE: 1.21 (LBR)

VERZE: 1.21 (LBR)

VERZE: 1.21 (LBR)

VERZE: 1.21 (LBR)

VERZE: 1.21 (LBR)

VERZE: 1.21 (LBR)

VERZE: 1.21 (LBR)

VERZE: 1.21 (LBR)

VERZE: 1.21 (LBR)

VERZE: 1.21 (LBR)

VERZE: 1.21 (LBR)

VERZE: 1.21 (LBR)

VERZE: 1.21 (LBR)

VERZE: 1.21 (LBR)

VERZE: 1.21 (LBR)

VERZE: 1.21 (LBR)

VERZE: 1.21 (LBR)

VERZE: 1.21 (LBR)

VERZE: 1.21 (LBR)

VERZE: 1.21 (LBR)

VERZE: 1.21 (LBR)

VERZE: 1.21 (LBR)

VERZE: 1.21 (LBR)

VERZE: 1.21 (LBR)

VERZE: 1.21 (LBR)

VERZE: 1.21 (LBR)

VERZE: 1.21 (LBR)

VERZE: 1.21 (LBR)

VERZE: 1.21 (LBR)

VERZE: 1.21 (LBR)

VERZE: 1.21 (LBR)

VERZE: 1.21 (LBR)

VERZE: 1.21 (LBR)

VERZE: 1.21 (LBR)

VERZE: 1.21 (LBR)

VERZE: 1.21 (LBR)

VERZE: 1.21 (LBR)

VERZE: 1.21 (LBR)

VERZE: 1.21 (LBR)

VERZE: 1.21 (LBR)

VERZE: 1.21 (LBR)

VERZE: 1.21 (LBR)

VERZE: 1.21 (LBR)

VERZE: 1.21 (LBR)

VERZE: 1.21 (LBR)

VERZE: 1.21 (LBR)

VERZE: 1.21 (LBR)

VERZE: 1.21 (LBR)

VERZE: 1.21 (LBR)

VERZE: 1.21 (LBR)

VERZE: 1.21 (LBR)

VERZE: 1.21 (LBR)

VERZE: 1.21 (LBR)

VERZE: 1.21 (LBR)

VERZE: 1.21 (LBR)

VERZE: 1.21 (LBR)

VERZE: 1.21 (LBR)

VERZE: 1.21 (LBR)

VERZE: 1.21 (LBR)

VERZE: 1.21 (LBR)

VERZE: 1.21 (LBR)

VERZE: 1.21 (LBR)

VERZE: 1.21 (LBR)

VERZE: 1.21 (LBR)

VERZE: 1.21 (LBR)

VERZE: 1.21 (LBR)

VERZE: 1.21 (LBR)

VERZE: 1.21 (LBR)

VERZE: 1.21 (LBR)

VERZE: 1.21 (LBR)

VERZE: 1.21 (LBR)

VERZE: 1.21 (LBR)

VERZE: 1.21 (LBR)

VERZE: 1.21 (LBR)

VERZE: 1.21 (LBR)

VERZE: 1.21 (LBR)

VERZE: 1.21 (LBR)

VERZE: 1.21 (LBR)

VERZE: 1.21 (LBR)

VERZE: 1.21 (LBR)

VERZE: 1.21 (LBR)

VERZE: 1.21 (LBR)

VERZE: 1.21 (LBR)

VERZE: 1.21 (LBR)

VERZE: 1.21 (LBR)

VERZE: 1.21 (LBR)

VERZE: 1.21 (LBR)

VERZE: 1.21 (LBR)

VERZE: 1.21 (LBR)

VERZE: 1.21 (LBR)

VERZE: 1.21 (LBR)

VERZE: 1.21 (LBR)

VERZE: 1.21 (LBR)

VERZE: 1.21 (LBR)

VERZE: 1.21 (LBR)

VERZE: 1.21 (LBR)

VERZE: 1.21 (LBR)

VERZE: 1.21 (LBR)

VERZE: 1.21 (LBR)

VERZE: 1.21 (LBR)

VERZE: 1.21 (LBR)

VERZE: 1.21 (LBR)

VERZE: 1.21 (LBR)

VERZE: 1.21 (LBR)

VERZE: 1.21 (LBR)

VERZE: 1.21 (LBR)

VERZE: 1.21 (LBR)

VERZE: 1.21 (LBR)

VERZE: 1.21 (LBR)

VERZE: 1.21 (LBR)

VERZE: 1.21 (LBR)

VERZE: 1.21 (LBR)

VERZE: 1.21 (LBR)

VERZE: 1.21 (LBR)

VERZE: 1.21 (LBR)

VERZE: 1.21 (LBR)

VERZE: 1.21 (LBR)

VERZE: 1.21 (LBR)

VERZE: 1.21 (LBR)

VERZE: 1.21 (LBR)

VERZE: 1.21 (LBR)

VERZE: 1.21 (LBR)

VERZE: 1.21 (LBR)

VERZE: 1.21 (LBR)

VERZE: 1.21 (LBR)

VERZE: 1.21 (LBR)

VERZE: 1.21 (LBR)

VERZE: 1.21 (LBR)

VERZE: 1.21 (LBR)

VERZE: 1.21 (LBR)

VERZE: 1.21 (LBR)

VERZE: 1.21 (LBR)

VERZE: 1.21 (LBR)

VERZE: 1.21 (LBR)

VERZE: 1.21 (LBR)

VERZE: 1.21 (LBR)

VERZE: 1.21 (LBR)

VERZE: 1.21 (LBR)

VERZE: 1.21 (LBR)

VERZE: 1.21 (LBR)

VERZE: 1.21 (LBR)

VERZE: 1.21 (LBR)

VERZE: 1.21 (LBR)

VERZE: 1.21 (LBR)

VERZE: 1.21 (LBR)

VERZE: 1.21 (LBR)

VERZE: 1.21 (LBR)

VERZE: 1.21 (LBR)

VERZE: 1.21 (LBR)

VERZE: 1.21 (LBR)

VERZE: 1.21 (LBR)

VERZE: 1.21 (LBR)

VERZE: 1.21 (LBR)

VERZE: 1.21 (LBR)

VERZE: 1.21 (LBR)

VERZE: 1.21 (LBR)

VERZE: 1.21 (LBR)

VERZE: 1.21 (LBR)

VERZE: 1.21 (LBR)

VERZE: 1.21 (LBR)

VERZE: 1.21 (LBR)

VERZE: 1.21 (LBR)

VERZE: 1.21 (LBR)

VERZE: 1.21 (LBR)

VERZE: 1.21 (LBR)

VERZE: 1.21 (LBR)

VERZE: 1.21 (LBR)

VERZE: 1.21 (LBR)

VERZE: 1.21 (LBR)

VERZE: 1.21 (LBR)

VERZE: 1.21 (LBR)

VERZE: 1.21 (LBR)

VERZE: 1.21 (LBR)

VERZE: 1.21 (LBR)

VERZE: 1.21 (LBR)

VERZE: 1.21 (LBR)

VERZE: 1.21 (LBR)

VERZE: 1.21 (LBR)

VERZE: 1.21 (LBR)

VERZE: 1.21 (LBR)

VERZE: 1.21 (LBR)

VERZE: 1.21 (LBR)

VERZE: 1.21 (LBR)

VERZE: 1.21 (LBR)

VERZE: 1.21 (LBR)

VERZE: 1.21 (LBR)

VERZE: 1.21 (LBR)

VERZE: 1.21 (LBR)

VERZE: 1.21 (LBR)

VERZE: 1.21 (LBR)

VERZE: 1.21 (LBR)

VERZE: 1.21 (LBR)

VERZE: 1.21 (LBR)

VERZE: 1.21 (LBR)

VERZE: 1.21 (LBR)

VERZE: 1.21 (LBR)

VERZE: 1.21 (LBR)

VERZE: 1.21 (LBR)

VERZE: 1.21 (LBR)

VERZE: 1.21 (LBR)

VERZE: 1.21 (LBR)

VERZE: 1.21 (LBR)

VERZE: 1.21 (LBR)

VERZE: 1.21 (LBR)

VERZE: 1.21 (LBR)

VERZE: 1.21 (LBR)

VERZE: 1.21 (LBR)

VERZE: 1.21 (LBR)

VERZE: 1.21 (LBR)

VERZE: 1.21 (LBR)

VERZE: 1.21 (LBR)

VERZE: 1.21 (LBR)

VERZE: 1.21 (LBR)

VERZE: 1.21 (LBR)

VERZE: 1.21 (LBR)

VERZE: 1.21 (LBR)

VERZE: 1.21 (LBR)

VERZE: 1.21 (LBR)

VERZE: 1.21 (LBR)

VERZE: 1.21 (LBR)

VERZE: 1.21 (LBR)

VERZE: 1.21 (LBR)

VERZE: 1.21 (LBR)

VERZE: 1.21 (LBR)

VERZE: 1.21 (LBR)

VERZE: 1.21 (LBR)

VERZE: 1.21 (LBR)

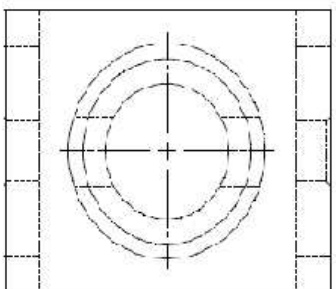
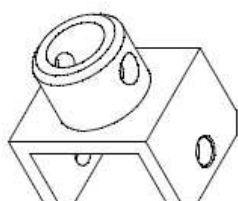
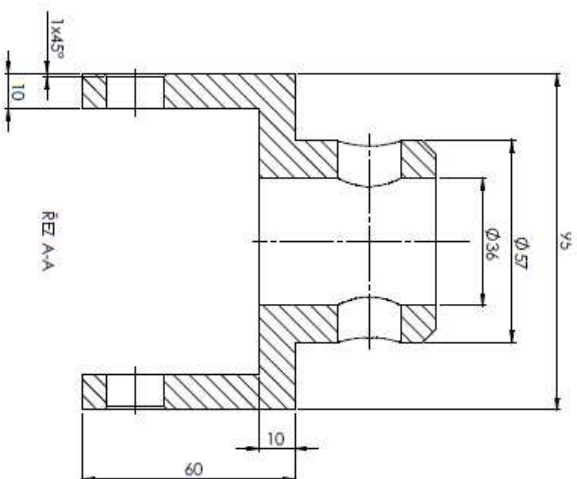
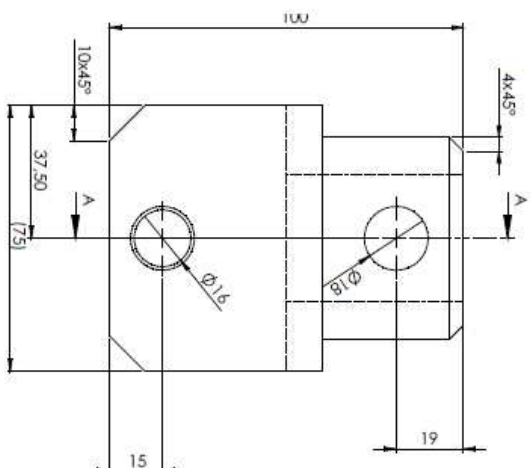
VERZE: 1.21 (LBR)

VERZE: 1.21 (LBR)

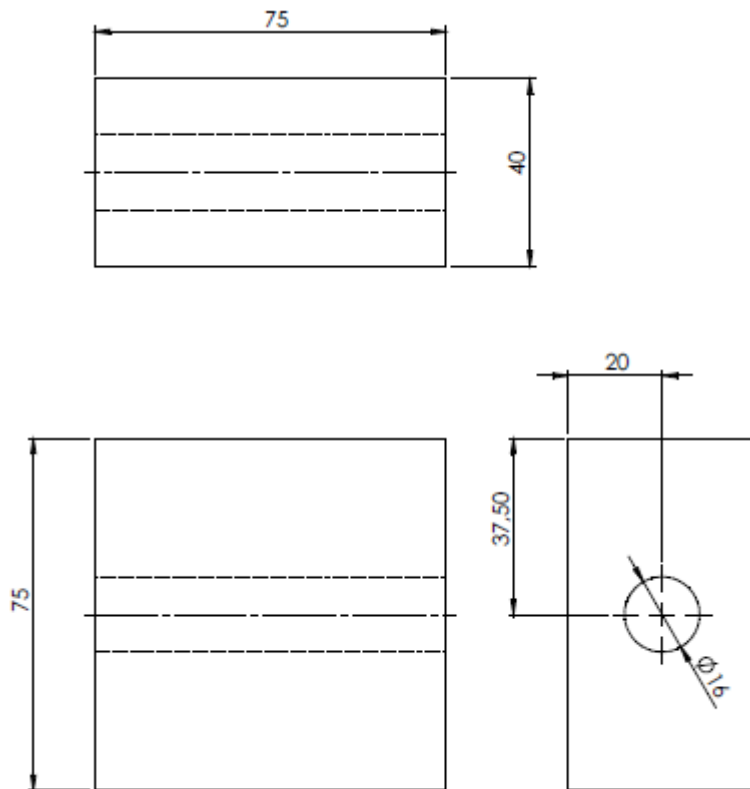
VERZE: 1.21 (LBR)

VERZE: 1.21 (LBR)

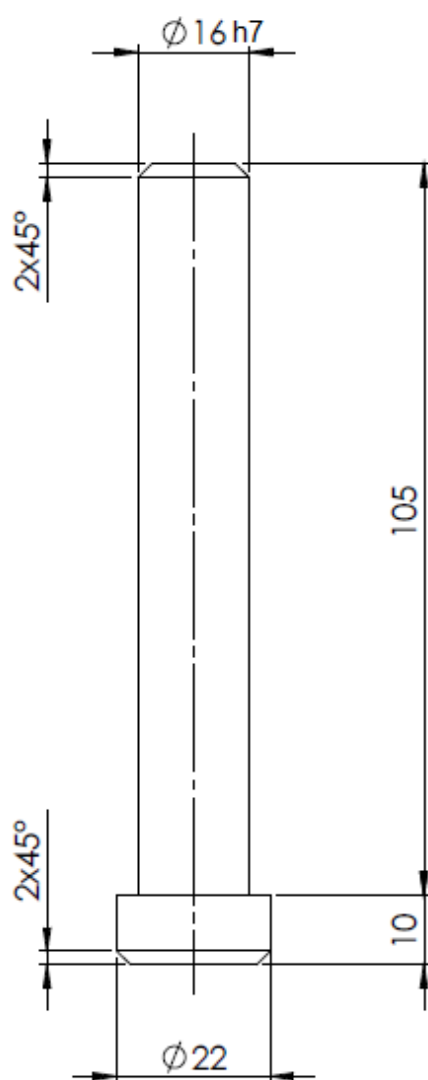




NÁZEV: _____ MATERIÁL: _____ Č. VÝKRESU: _____ A4		OPRAVOVÁNÍ: STN ISO 2768 - M		COSTANAT ODRÉHEVANÝ	
POUŽITÍ: MĚŘENÍ VÝKRESU MATERIÁL: _____ Č. VÝKRESU: _____					
NEPRAVOVAT MĚŘENÍ VÝKRESU					
ZNĚNÍ: _____					
NÁZEV: _____ PŘÍPOJKA: _____ SCHVÁL: _____ VÝROBA: _____ Z. JAKOSTI: _____	NÁZEV: _____ PŘÍPOJKA: _____ SCHVÁL: _____ VÝROBA: _____ Z. JAKOSTI: _____	PÓRKY: _____ DATUM: _____	PÓRKY: _____ DATUM: _____	HMŮŽNOST: _____	MĚŘIVOČÍSLO: _____
UST 1 (2   LIST)					UST 1 (2   LIST)



POKUD NENÍ UVEDENO JINAK: JEDNOTKY JSOU V MILIMETRECH DRSNOST: TOLERANCE: LINEÁRNÍ: ÚHLOVÁ:		OPRACOVÁNÍ:  STN ISO 2768 - M			OOSTRANT OSTRÉ HRANY	NEPRAVOVAT MĚŘÍTKO VÝKRESU	ZMĚNA
NÁZEV	PODPS	DATUM			NÁZEV: <b>LEPIACI BLOK 75x75</b>		
NAVŘEL					Č. VÝKRESU	A4	
PŘEZKOŠEL							
SCHVÁLIL							
VÝROBA							
Z. JAKOSTI				MATERIÁL:			
				HMOTNOST:	MĚŘÍTKO: 1:1	LIST 1 Z 1 LISTŮ	



POKUD NEBŮJE UVEDENO JINAK JEDNOTKY JSOU V MILIMETRECH DRSNOST: TOLERANCE: LINEÁRNÍ: ÚHLOVÁ:				OPRACOVÁNÍ:  STN ISO 2768 - M		ODSTRANIT OSTŘÍ HRANY		NEUPRAVOVAT MĚŘÍTKO VÝKRESU		ZMĚNA	
NAVRHL				MATERIÁL:				NÁZEV:  <b>Čep d=16mm</b>			
PŘEZKOŮŠEL				MĚŘÍTKO: 1:1							
SCHVÁLIL				HMOTNOST:				Č. VÝKRESU		A4	
VÝROBA				MĚŘÍTKO: 1:1				MĚŘÍTKO: 1:1		LIST 1 Z 1 LISTŮ	
Z. JAKOSTI											

# PRÍLOHA P III: TECHNICKÝ LIST PLEXUS MA 422

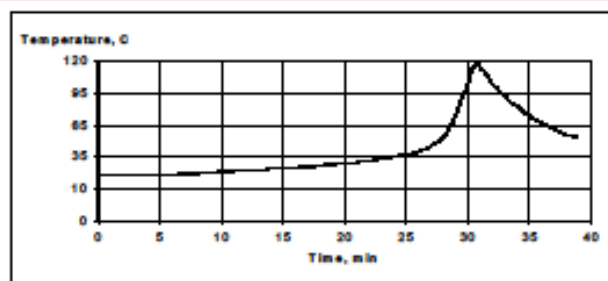


## TECHNICAL DATA SHEET

### PLEXUS MA422

**Description** Plexus™ MA422 is a two-part methacrylate adhesive designed for structural bonding of thermoplastic, metal, and composite assemblies<sup>1</sup>. Combined at a 10:1 ratio, it has a working time of 17 to 24 minutes and achieves 75% of ultimate strength in 35 to 40 minutes. Plexus MA422 is finding wide usage for composites bonding applications in the transportation and marine industries, because it requires virtually no surface preparation. In addition, this product provides a unique combination of excellent fatigue endurance, outstanding impact resistance, and superior toughness. Plexus MA422 is available in blue and is supplied in ready to use cartridges, 20 litre pails or 200 litre drums to be dispensed as a non-segging gel.

<b>Characteristics</b>	<b>Room Temperature Cure</b>		
	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Working Time<sup>2</sup> 17 – 24 minutes</li> <li>▪ Fixture Time<sup>3</sup> 35 – 40 minutes</li> <li>▪ Operating Temperature -55°C – 120°C</li> <li>▪ Gap Filling<sup>7</sup> 1mm to 10mm</li> <li>▪ Mixed Density 0.96 g/cc</li> <li>▪ Flash Point 10°C</li> </ul>		
<b>Chemical Resistance<sup>4</sup></b>	<b>Excellent resistance to:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Hydrocarbons</li> <li>▪ Acids and Bases (3-10 pH)</li> <li>▪ Salt Solutions</li> </ul>	<b>Susceptible to:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Polar Solvents</li> <li>▪ Strong Acids and Bases</li> </ul>	
	<b>Physical Properties (uncured) – Room Temperature</b>	<b>Adhesive</b> Viscosity, cP 100,000 – 125,000 Colour Off-White Density, g/cc 0.96 Mix Ratio by Volume 10 Mix Ratio by Weight 9 Mixer Recommendation: Cartridge (380ml): MC10:24 Bulk: Refer to ITW Plexus <sup>8</sup>	<b>Activator</b> 40,000 – 60,000 Blue 1.06 1 1 MC10:24 Refer to ITW Plexus <sup>8</sup>
<b>Mechanical Properties (Cured) Room Temperature</b>	<b>Tensile (ASTM D638)</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Strength, MPa 13.7 – 17.2</li> <li>▪ Modulus, MPa 482.7 – 620.6</li> <li>▪ Strain to Failure (%) 75 – 100</li> </ul>		
<b>Recommended for:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ ABS</li> <li>▪ Acrylics</li> <li>▪ FRP</li> <li>▪ Gelcoats<sup>6</sup></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ PVC</li> <li>▪ Polyesters (including DCPD modified)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Styrenics</li> <li>▪ Urethanes (general)</li> <li>▪ Vinyl Esters</li> </ul>
<b>Lap Shear (ASTM D1002)</b>	<b>Cohesive Strength MPa</b>	10.3 – 12.4	



Typical Exotherm Curve for MA422 at 23°C (10 grams)<sup>5</sup>

## PRÍLOHA P IV: TECHNICKÝ LIST PLEXUS MA 832

# MA832 Technical Data Sheet

**PLEXUS**<sup>®</sup>  
Structural Adhesives

### Benefits

Self-priming to metals<sup>1</sup>  
High toughness  
High strength  
Gray color for metal bonding  
Cartridge available with or without spacer beads

### Characteristics

Room Temperature Cure  
Working Time<sup>2</sup>  
    Approximately 14 minutes  
Fixture Time<sup>3</sup>  
    Approximately 55 minutes  
51°F Flash Point  
Operating Temperature<sup>4</sup>  
    -40°F to 180°F  
Gap Filling to 0.012in. to 0.5in.  
Mixed Density (no GB/ with GB)  
    8.17/8.28 lbs./gal  
    (0.98/0.99g/cc)

### Chemical Resistance<sup>5</sup>

Excellent resistance to

- Hydrocarbons
- Acids and Bases (3-10 pH)
- Salt Solutions

Susceptible to:

- Polar Solvents
- Strong Acids and Bases

### Recommended for:

**Metals<sup>6</sup>:** Aluminum, Stainless, CRS, Galvanneal, Galvalume

**Most Engineered Plastics:**  
PVC, Acrylics, ABS, Styrenics, Urethanes (General)

**FRP:** VE, Polyesters (including DCPD modified), Epoxies and Gelcoats

**Plexus<sup>®</sup> MA832** is an advanced two-part methacrylate adhesive designed for structural bonding of metals without primers. In addition, MA832 does a superb job of bonding thermoplastic and composite assemblies with little to no surface preparation. Combined at a 10:1 ratio, MA832 has a working time of approximately 14 minutes and achieves approximately 500 psi lap shear strength in 55 minutes. This product provides a unique combination of high strength, excellent fatigue endurance, outstanding impact resistance, and superior toughness. Plexus MA832 is available in gray color with or without 12 mil (0.012-inch) solid glass bead spacers and is supplied in ready-to-use cartridges, 5-gallon pails or 50-gallon drums. The product can be dispensed as a non-sag gel to 3/8 inch using standard meter-mix equipment.

### Physical Properties (Uncured) –Room Temperature

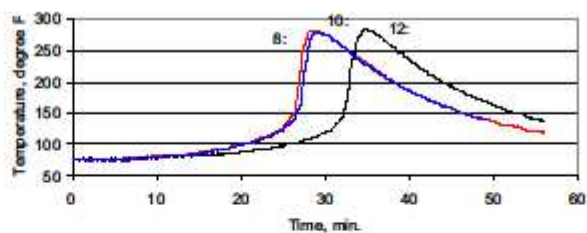
	Adhesive	Activator
Viscosity, cP	90,000 – 120,000	50,000 – 80,000
Color	off-white	Gray or Gray GB
Density, lbs./gal (g/cc)	8.06 (0.97)	9.10 (1.09) or 9.25 (1.11)
Mix Ratio by Volume	10.0	1.0
Mix Ratio by Weight	8.86	1 or 1.02

### Mechanical Properties (ASTM D638) (Cured Adhesive<sup>7</sup>)

Tensile Strength, psi	3,500 - 4,000
Tensile Modulus, psi	70,000 - 100,000
Strain to Failure (%)	80
30 - 60	

### Lap Shear (ASTM D1002) (dry wiped Al 6061, 0.012 inch gap),

Shear Strength, psi                      2,300 – 2,800



Typical Exotherm Curve for MA832 at 75°F (10 grams)<sup>8</sup> at various mix ratios

ITW Plexus ■ 30 Endicott Street ■ Danvers, MA 01923 ■ Tel: 800-851-6692 ■ Fax: 978-777-7904 ■ itwplexus.com

Curbell Plastics is a proud supplier of Plexus<sup>®</sup> materials  
1.888.CURBELL • www.curbellplastics.com

# PRÍLOHA P V: TECHNICKÝ LIST DESMODUR VL



## Desmodur<sup>®</sup> VL

### Characterization

Aromatic polyisocyanate based on diphenylmethane diisocyanate.

In combination with suitable Desmophen<sup>®</sup> grades in the formulation of solvent-free two-component polyurethane coatings, fillers, sealing compounds and synthetic resin mortars.

### Form supplied

Brown solvent-free liquid of low viscosity

### Specification

Property	Value	Unit of measurement	Method
NCO	31.5 ± 0.5	%	MDI-01-01
Viscosity 25 °C	90 ± 20	mPa·s	MDI-01-02

### Other data\*

Property	Value	Unit of measurement	Method
Equivalent weight	approx. 133		
Flash point	approx. 229	°C	DIN EN ISO 2719
Density 25 °C	approx. 1.23	g/ml	DIN EN ISO 2811-3

\*These values provide general information and are not part of the product specification.

## PRÍLOHA P VI: TECHNICKÝ LIST DESMOPHEN 1150



### Desmophen<sup>®</sup> 1150

Type	branched, castor oil-based polyol
Form supplied	solvent-free, liquid
Uses	in the formulation of tough-elastic coatings

Specification Property	Value	Unit of measurement	Method
Iodine color value	≤ 5		DIN EN 1557
Acid value	≤ 2	mg KOH/g	DIN EN ISO 2114
Viscosity at 23 °C	3500 ± 500	mPa·s	DIN EN ISO 3219/A.3
Hydroxyl content	4.7 ± 0.2	%	DIN 53 240/2
Water content	≤ 0.1	%	DIN 51 777-1

Other data* Property	Value	Unit of measurement	Method
Equivalent weight	approx. 360		
Density at 20 °C	approx. 1.01	g/ml	DIN EN ISO 2811
Flash point	approx. 127	°C	DIN EN ISO 2719

\*These values provide general information and are not part of the product specification.

# PRÍLOHA P VII: TECHNICKÝ LIST VOŠTINA ECM 6.4-82



EURO-COMPOSITES®	Aluminum Honeycomb Core
Technical Data Sheet for all types	

**Material:** Alu-Alloy 3003 (AlMnCu)  
**Corrosion protection:** zirconium oxide coated

Mechanical Properties	Unit	Test method	Typical values							
			ECM 3.2-130	ECM 4.8-77	ECM 6.4-60	ECM 6.4-82	ECM 9.6-41	ECM 9.6-55	ECM 12.7-42	ECM 19.2-29
Foil Thickness	µm	ECP 231-04	60	60	60	80	60	80	80	80
Cell Size, Nominal	mm	DIN 29970	3.2	4.8	6.4	6.4	9.6	9.6	12.7	19.2
Density, Nominal	kg/m <sup>3</sup>	DIN 29970	130	77	60	82	41	55	42	29
Compression Strength Unstab.	N/mm <sup>2</sup>	DIN 53291	7.00	3.94	2.96	4.25	1.73	2.24	1.00	0.69
Compression Strength Stab.	N/mm <sup>2</sup>	DIN 53291	-	-	3.55	4.50	-	2.75	-	-
Crush strength	N/mm <sup>2</sup>	NHTSATP-24-214D-02**	3.380	1.679	-	1.665	0.574	0.891	-	0.263
Plate Shear Strength/ L-Dir.	N/mm <sup>2</sup>	DIN 53294	4.00	2.29	1.72	2.40	1.13	1.48	1.00	0.66
Plate Shear Modul/ L-Dir.	N/mm <sup>2</sup>	DIN 53294	550	456	370	430	227	253	193	201
Plate Shear Strength/ W-Dir.	N/mm <sup>2</sup>	DIN 53294	2.50	1.52	0.95	1.40	0.60	0.88	0.46	0.32
Plate Shear Modul/ W-Dir.	N/mm <sup>2</sup>	DIN 53294	350	265	166	220	98	170	87	54
Service Temperature	°C	-	-55°C up to 177°C							

**Micro-Perforated:** All Honeycomb ECM core types can be delivered, if required, as micro-perforated

**Honeycomb:** Aluminum core types ECM-P

\*- Thickness of test sheet: 15.87 mm

\*\* - Thickness of test sheet: 25.40 mm





## **PH840-300-42**

- Fiber reinforced thermosetting prepreg materials for railway parts (e.g. fairings, window, ceiling and floor panels).
- Woven fabric of E-glass filament yarn, 300 g/m<sup>2</sup>, 8H satin, prepregged with 42% phenolic resin PH840.
- Long shelf and shop life
- Excellent FST behaviour
- Excellent mechanical behaviour
- Good surface finish
- Autoclave-free processes possible
- Short curing time 10 min at 160°C



## **PHG840N-F300-47**

- Fiber reinforced thermosetting prepreg material for railway parts (e.g. fairings, window, ceiling and floor panels).
- Woven fabric of E-glass filament yarn, 300 g/m<sup>2</sup>, 8H satin, prepregged with 47% phenolic resin PH840N.
- Long shelf and shop life
- Excellent FST behaviour
- Excellent mechanical behaviour
- Good surface finish
- Autoclave-free processes possible
- Short curing time 10 min at 160°C
- Special adhesive side for Alu bonding

# PRÍLOHA P X: TECHNICKÝ LIST VOŠTINA CORMASTER C2

## CORMASTER C2

*High performance lightweight material from SCHÜTZ for industrial applications.*



**CORMASTER**  
ADVANCED COMPOSITES



### ADVANTAGES

- Excellent cost-benefit ratio.
- Superior mechanical properties with high strength to weight ratios.
- High dimensional stability under heat and moisture.
- High temperature capabilities, service temperature up to 180°C.
- Product uniformity and exceptional resin to paper cohesion.

### DELIVERY TIME

- A lot of CORMASTER C2 honeycombs types are available on stock.
- **When the honeycomb is on stock:** delivery time never exceeds 5 working days.
  - **When the honeycomb has to be manufactured:** delivery time never exceeds 10 working days.

### MATERIAL

- non metallic structures made from NOMEX® T772 paper sheets
- bonded together and coated with a phenolic resin

### APPLICATION

- Main structural sandwich applications in industrial applications (i.e. automotive, naval, rail, transport and sports industries)