

Analýza pevnosti lepeného spoje u sendvičových panelů

Ondřej Bernátek

Bakalářská práce
2018



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická
Ústav výrobního inženýrství
akademický rok: 2017/2018

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Ondřej Bernátek**
Osobní číslo: **T16651**
Studijní program: **B3909 Procesní inženýrství**
Studijní obor: **Technologická zařízení**
Forma studia: **prezenční**

Téma práce: **Analýza pevnosti lepeného spoje u sendvičových panelů**

Zásady pro vypracování:

- 1. vypracování literární rešerše k dané problematice**
- 2. výroba zkušebních těles**
- 3. provedení experimentálních testů**
- 4. vyhodnocení výsledků a stanovení doporučení pro praxi**

Rozsah bakalářské práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

dle doporučení vedoucího bakalářské práce

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Milan Žaludek, Ph.D.**
Ústav výrobního inženýrství

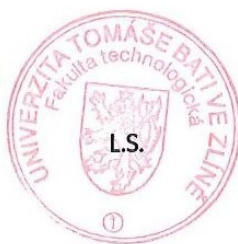
Datum zadání bakalářské práce: **2. ledna 2018**

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

Ve Zlíně dne 13. února 2018



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



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

Příjmení a jméno:BERNÁTEK ONDŘEJ.....

TECHNOLOGICKÁ
Obor:ZARÍŽENÍ.....

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

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

Ve Zlíně15.5.2018.....

.....Bernátek.....

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

ABSTRAKT

Cílem této bakalářské práce je podat potřebný teoretický základ týkající se lepeného spoje u sendvičových panelů a jeho následné rozvíjení v části praktické. Teoretická část dále obsahuje témata jako obecný popis kompozitů, sendvičové konstrukce a mechanické zkoušky, která s danou problematikou souvisí.

Praktické část je zaměřena na testování lepeného spoje navržených sendvičových panelů, které je prováděno zkouškou třibodovým ohybem. Závěrem jsou výsledky měření porovnány a vyhodnoceny.

Klíčová slova: kompozitní materiál, sendvičová konstrukce, voština, mechanické zkoušky, ohybová zkouška, lepený spoj

ABSTRACT

The aim of this bachelor thesis is to provide the necessary theoretical basis about bonded splice in sandwich panels and successive develop it in practical part. The theoretical part further contains topics such as general description of composites, sandwich constructions and mechanical tests related to the given issue.

The practical part is focused on the testing of bonded splice of designed sandwich panels, which is performed by three-point bending test. Finally, the results are compared and evaluated.

Keywords: composite material, sandwich construction, honeycomb, mechanical tests, bending test, bonded splice

Chtěl bych tímto poděkovat vedoucímu této bakalářské práce Ing. Milanu Žaludkovi, Ph.D. za odborný přístup, vedení a ochotu při vypracovávání bakalářské práce. Rád bych také poděkoval svým rodičům za trpělivost, pomoc a podporu při mém studiu.

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

OBSAH

| | |
|---|-----------|
| ÚVOD | 10 |
| I TEORETICKÁ ČÁST | 11 |
| 1 PŘEDSTAVENÍ KOMPOZITNÍCH MATERIÁLŮ | 12 |
| 1.1 DEFINICE KOMPOZITNÍCH MATERIÁLŮ..... | 12 |
| 1.2 VLASTNOSTI KOMPOZITNÍCH MATERIÁLŮ | 12 |
| 1.2.1 Homogenita a nehomogenita..... | 12 |
| 1.2.2 Izotropie a anizotropie..... | 13 |
| 1.2.3 Synergický efekt..... | 15 |
| 1.3 DĚLENÍ KOMPOZITNÍCH MATERIÁLŮ..... | 15 |
| 1.3.1 Podle disperzní fáze | 16 |
| 1.3.2 Podle typu matrice..... | 17 |
| 1.3.3 Podle tvaru disperze | 17 |
| 1.4 MATRICE | 18 |
| 1.4.1 Termosetické pryskyřice | 19 |
| 1.4.2 Termoplasty..... | 19 |
| 1.5 VÝZTUŽ..... | 20 |
| 2 TECHNOLOGIE LEPENÝCH SPOJŮ | 22 |
| 2.1 TYPY LEPENÝCH MATERIÁLŮ | 22 |
| 2.2 TYPY LEPIDEL | 22 |
| 2.3 PEVNOST LEPENÉHO SPOJE | 23 |
| 2.4 OKOLNÍ VLIVY NA POUŽITÝ MATERIÁL, LEPIDLO A SPÁRU..... | 24 |
| 3 SENDVIČOVÉ KONSTRUKCE | 25 |
| 3.1 STRUKTURA A VLASTNOSTI SENDVIČE..... | 25 |
| 3.2 VÝROBA BUŇKOVÝCH VOŠTIN | 25 |
| 3.3 VÝROBNÍ MOŽNOSTI..... | 27 |
| 3.4 KONKRÉTNÍ APLIKACE | 27 |
| 4 MECHANICKÉ CHOVÁNÍ SENDVIČOVÝCH STRUKTUR PŘI NAMÁHÁNÍ OHYBEM | 29 |
| 4.1 NAVRHOVÁNÍ OHÝBANÝCH SENDVIČOVÝCH PRVKŮ | 30 |
| 5 VYBRANÉ MECHANICKÉ ZKOUŠKY | 33 |
| 5.1 ZKOUŠKA TAHEM NAPLOCHO | 33 |
| 5.2 PEEL TESTY | 34 |
| 5.2.1 Peel test pomocí navíjení na buben..... | 34 |
| 5.2.2 Zkouška SCB a DCB odlupem | 35 |
| II PRAKTICKÁ ČÁST | 37 |
| 6 CÍLE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE | 38 |
| 7 TESTOVÁNÍ SENDVIČOVÝCH PANELŮ | 39 |

| | | |
|----------|---|-----------|
| 7.1 | ZKUŠEBNÍ TĚLESA – LEPIDLO SIKAFORCE - 7701 L20 | 40 |
| 7.2 | ZKUŠEBNÍ TĚLESA – LEPIDLO SIKAFORCE - 7710 L35 | 52 |
| 7.3 | ZKUŠEBNÍ TĚLESA – LEPIDLO KFL 130 – 5M | 55 |
| 7.4 | ZKUŠEBNÍ TĚLESA – LEPIDLO HUNTSMAN | 59 |
| 7.5 | ZKUŠEBNÍ TĚLESA – LEPIDLO H. B. FULLER | 61 |
| 8 | VYHODNOCENÍ NAMĚŘENÝCH VÝSLEDKŮ | 63 |
| 8.1 | ÚNOSNOST VYBRANÝCH ZKUŠEBNÍCH PANELŮ – PŘEPOČET NA 1 M ² | 63 |
| 8.2 | POROVNÁNÍ NAMĚŘENÝCH HODNOT U VYBRANÝCH LEPIDEL | 64 |
| 8.2.1 | Zkušební tělesa – lepidlo sikaForce - 7701 L20 | 65 |
| 8.2.2 | Zkušební tělesa - lepidlo sikaForce - 7710 L35 | 67 |
| 8.2.3 | Zkušební tělesa – lepidlo KFL 130 - 5M | 68 |
| | ZÁVĚR | 69 |
| | SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY | 70 |
| | SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK | 72 |
| | SEZNAM OBRÁZKŮ | 73 |
| | SEZNAM TABULEK | 76 |
| | SEZNAM PŘÍLOH | 77 |

ÚVOD

Kompozitní materiál je systém několika vzájemně propojených složek. Jejich struktura se odvozuje od některých materiálů, které se nacházejí v přírodě. Za nejtýpější z těchto materiálů můžeme považovat dřevo.

Sotva některá skupina materiálů nabízí tak široké možnosti využití jako vlákna vyztužené plasty. Přednost kompozitních materiálů je především v jejich nízké hmotnosti oproti tradičním ocelovým systémům. Mezi další neméně významné přednosti patří vysoká pevnost a tuhost, vysoká mez únavy, nízký součinitel teplotní délkové roztažnosti nebo také vysoká odolnost proti stárnutí a korozi.

Tyto materiály splňují požadavky jak pro jednoduché technické aplikace, tak pro extrémní konstrukce v letectví a kosmonautice.

Výroba zahrnuje široké spektrum možností, od jednoduchých způsobů ruční nebo kusové výroby až po velmi obtížné výrobní postupy. Kromě tradičních dvousložkových kompozitů složených z nespojitě složky - vyztuže a poddajnější matrice, plnicí funkci pojiva se vyrábí i tříložkové kompozity, které navíc obsahují plniva.

Rozvoj výrobních technologií dnešní doby umožňuje vyrábět konstrukce s co nejmenší hmotností, ale stále dostatečně tuhé a pevné. Mezi takové systémy patří sendvičové konstrukce, což je speciální druh laminátu. Skládají se z vnějších vrstev a jádra. Sendvičové konstrukce se mají až trojnásobně vyšší tuhost oproti laminátům, jejich hmotnost je však přibližně poloviční.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 PŘEDSTAVENÍ KOMPOZITNÍCH MATERIÁLŮ

1.1 Definice kompozitních materiálů

Kompozitní materiály (kompozity) se vyznačují především tím, že se skládají ze dvou nebo i více složek o odlišných fyzikálních vlastnostech. Tato skupina materiálů nabízí velmi široké možnosti využití díky svým vynikajícím vlastnostem. Kompozitní materiály se skládají z nespojitě složky – výztuže, mezi jejíž základní vlastnosti patří tvrdost, tuhost a pevnost a poddajnější matrice, plnící funkci pojiva výztuže.

Aby mohl být vícefázový materiál zařazen mezi kompozity, musí splňovat všechny z uvedených podmínek:

- podíl výztuže musí být vyšší než 5%
- mechanické, fyzikální i chemické vlastnosti obou fází (matrice a výztuže) se od sebe liší, výztuž bývá výrazně pevnější v tahu a má větší tuhost než matrice
- při přípravě kompozitu dochází k smíchání složek

Na základě výše uvedených podmínek proto nelze mezi kompozity řadit například plast, který obsahuje malá množství tuhých barviv jako jsou např. částice sazí (černý pigment), oxidů (např. TiO_2 – bílý pigment) nebo taky částic, které zlepšují houževnatost, neboť modul pružnosti materiálu se naopak zhorší a nesplňují tudíž druhou podmínku výrazně pevnější výztuže. Mezi kompozity můžeme ale naopak zařadit například kov disperzně zpevněný částicemi oxidů, neboť při přípravě dochází k mechanickému smíšení složek (např. hliník zpevněný částicemi Al_2O_3). [1,2]

1.2 Vlastnosti kompozitních materiálů

Nyní si rozebereme podrobněji základní charakteristiky kompozitních materiálů.

1.2.1 Homogenita a nehomogenita

V atomárním měřítku je nehomogenita vlastností každého technického materiálu. Je tedy potřeba, aby nehomogenity v kompozitu byly v mnohem větším měřítku než atomárním. Přitom ale musí být natolik malé, aby bylo možné v makroměřítku (které je srovnatelné s rozměry konstrukčních dílů) konstrukční díly vyrobené z kompozitu považovat za homogenní materiál. [3,4]

1.2.2 Izotropie a anizotropie

Běžné technické materiály jsou většinou zcela izotropní jen některé tvoří výjimku a jeví jen velmi malou anizotropii (např. drát tažený za studena). Pro kompozitní materiály je ale typické, že spousta z nich jeví velmi silnou anizotropii vlastností. Anizotropii kompozitů je třeba vždy uvažovat, protože se jeho tuhost nebo pevnost ve směru vláken a kolmo na ně může lišit až o několik řádů. [3,4]

- ***Izotropní materiál***

Vlastnosti se ve všech směrech materiálem neliší, ale jsou stejné. Kdybychom uvažovali libovolné směrové vektory od počátku souřadnic, na které bychom nanесли určitou vlastnost, tak jejich koncové body by vytvořily kouli. [3,4]

- ***Anizotropní materiál***

Je opakem izotropního materiálu a vyznačuje se tím, že má v každém směru jinou vlastnost. Kdybychom uvažovali libovolné směrové vektory od počátku souřadnic s velikostí, která by vyjadřovala určitou vlastnost, tak koncové body by vytvořily obecnou plochu. [3,4]

- ***Pseudoizotropní materiál***

Vlastnosti jsou stejné ve směru tří kolmých základních os a jsou symetrické podle tří rovin tvořených těmito osami. Kdybychom uvažovali libovolné směrové vektory od počátku souřadnic, na které bychom nanесли určitou vlastnost, tak jejich koncové body by vytvořily např. krychli. [3,4]

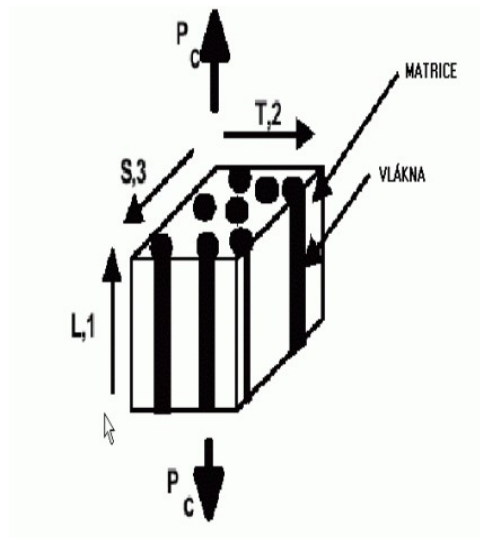
- ***Ortotropní materiál***

Vlastnosti jsou symetrické podle tří vzájemně kolmých rovin, ve třech kolmých směrech které jsou tvořeny průsečnicemi těchto rovin (hlavní směry) jsou vlastnosti navzájem různé, nezahrnují ale typické efekty anizotropie. Kdybychom uvažovali libovolné směrové vektory od počátku souřadnic s velikostí, která by vyjadřovala určitou vlastnost, tak koncové body by vytvořily např. kvádr. [3,4]

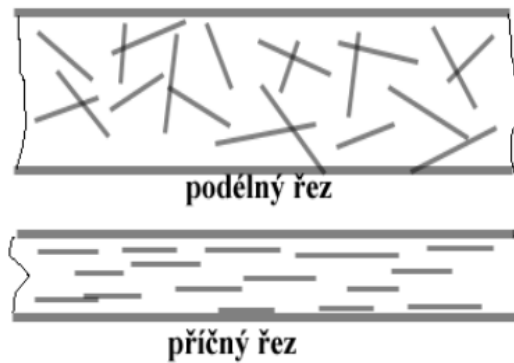
- ***Příčně izotropní materiál***

Vlastnosti jsou izotropní v určité rovině. Symetrie vlastností se uplatňuje podle této roviny a dvou rovin na ni i na sebe vzájemně kolmých, jejichž průsečnice je hlavní osa. Pokud

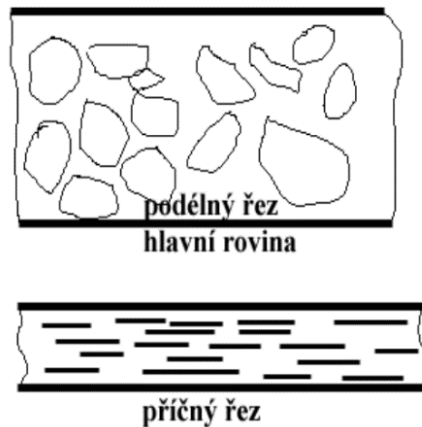
bychom uvažovali libovolné směrové vektory od počátku souřadnic s velikostí určité vlastnosti, vytvořily by koncové body rotační elipsoid. [3,4]



Obr. 1: Jednoosé uspořádání vláken. Kompozit je příčně izotropní.[4]



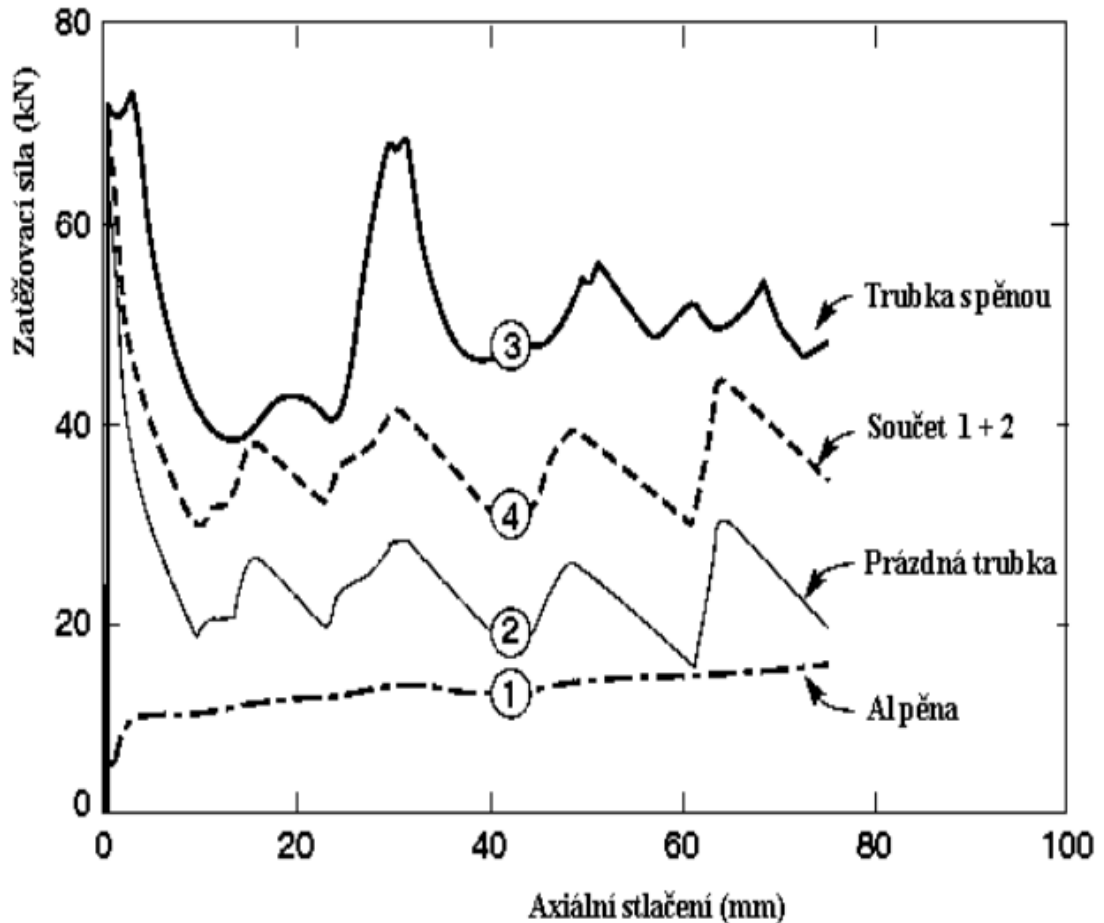
Obr. 2: Dvojosé uspořádání vláken. Kompozit je příčně izotropní. [4]



Obr. 3: Rovinné uspořádání destičkových částic. Kompozit je příčně izotropní. [4]

1.2.3 Synergický efekt

Je to efekt, kdy se v kompozitu kombinují pozitivní vlastnosti tak, že celek přesahuje poměrný součet složek. Cílem většinou bývá připravit materiál, aby v něm byl synergický efekt co nejsilnější, a to především v těch vlastnostech, kterých chceme docílit. [3,4]



Obr. 4: Příklad synergického efektu v kompozitní struktuře z hliníkové pěny, vložené do tenkostěnné hliníkové trubky. [4]

1.3 Dělení kompozitních materiálů

Vzhledem k velikému zastoupení kompozitních materiálů o různých vlastnostech je nezbytné k jejich rozdělení použít určitá kritéria rozdělení. V následujícím budou uvedeny tři nejběžnější způsoby dělení kompozitů. Vlastnosti těchto tří způsobů se v praxi vzájemně kombinují.

Dále je třeba uvažovat, že kompozit v zásadě musí obsahovat jednu, v celém obsahu spojitou složku, která určuje tvar a rozměry kompozitu. Tuto složku označujeme pojmem matrice.

Všechny zbylé složky rozptýlené (dispergované) v kompozitu označujeme jako disperze. [3,4]

1.3.1 Podle disperzní fáze

Přestože nejběžnější případ disperze je pevná fáze, podmínky kompozitu to nevyžadují. Rozdělujeme je tedy na tyto tři typy:

- Kompozit prvního typu – má disperzi z pevné fáze. Jsou to technicky nejvyužívanější kompozity.
- Kompozit druhého typu – má kapalnou disperzi. Nejčastějším případem je čerstvé dřevo, které patří mezi přírodní kompozity.
- Kompozit třetího typu – má plynnou disperzi. Patří sem pěnové materiály. Dnes jsou moderní například různé kovové pěny. Dále pak různé vláknové struktury s vlákny buď slinutými nebo spojenými malým množstvím pojiva (matrice v tomto případě není spojitá). [3,4]



Obr. 5: Příklady kovových pěn – kompozitních materiálů třetího druhu. [4]

1.3.2 Podle typu matrice

- Kompozitní materiály s plastovou maticí (Plastic Matrix Composites – PMC)
- Kompozitní materiály s kovovou maticí (Metal Matrix Composites – MMC)
- Kompozitní materiál s keramickou maticí (Ceramic Matrix Composites – CMC)

Některé z materiálů nelze do žádné z výše uvedených skupin zcela zařadit, proto se zpravidla přiřazují ke kompozitům s keramickou maticí z důvodu podobných vlastností. [3,4]

1.3.3 Podle tvaru disperze

Anizotropie vlastností je z velké části zapříčiněna různým tvarem jednotlivých částí disperze. Dále se tvar disperze významně podílí i na způsobu interakce mezi maticí a disperzí. Podle tvaru disperze lze kompozity rozdělit na:

- *Částicové kompozity*

Disperze má tvar částic:

- Izometrických – kompozit je zpravidla izotropní
- Neizometrických – destičky nebo jehličky, orientace může být i náhodná.

- *Vláknové kompozity*

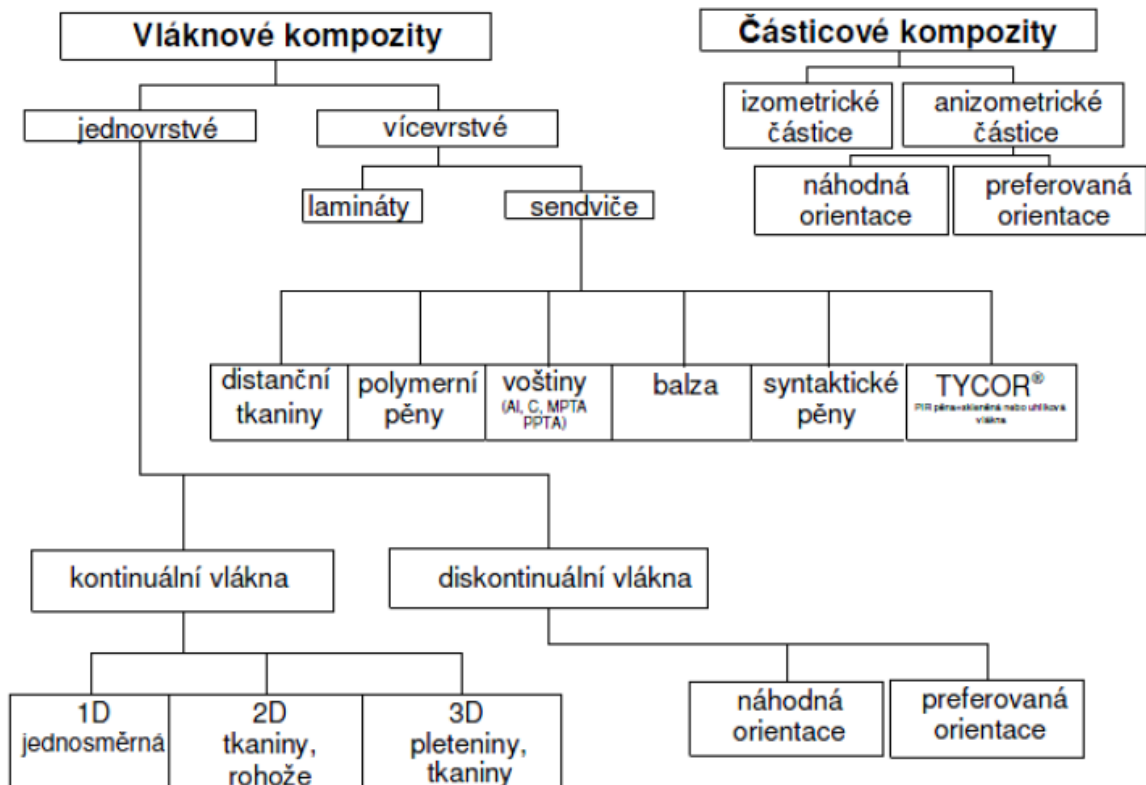
Disperze má vlákna buď:

- Spojitá vlákna – vlákna jsou uvnitř kompozitu přerušena
 - jednoosé uspořádání
 - dvojosé uspořádání – často tkanina nebo pletenina
- Dlouhá vlákna – jsou delší než kritická délka, při lomu se přetrhnou
 - jednoosé uspořádání
 - dvojosé uspořádání – náhodné rozložení v prostoru
 - trojosé uspořádání – náhodné rozložení v prostoru
- Krátká vlákna – jsou kratší než kritická délka, při lomu se vytáhnou
 - jednoosé uspořádání
 - dvojosé uspořádání – náhodné rozložení v rovině
 - trojosé uspořádání – náhodné rozložení v prostoru

- *Deskové kompozity*

Vzájemně se střídají složky matrice a disperze, jednotlivé složky nelze od sebe dobře rozeznat. [3,4]

Rozdělení podle tvaru disperze podobným způsobem znázorňuje následující obrázek:



Obr. 6: Rozdělení kompozitních materiálů podle orientace a geometrie výztuže [1]

1.4 Matrice

Tento pojem označuje materiál, kterým je prosycen systém vláken a po zpracování vzniká tvarově stálý výrobek. Matrice je také někdy označována pojmem pojivo.

Matrice zajišťuje:

- Přenos namáhání na vlákna
- Převodění namáhání z vlákna na vlákno
- Zachování geometrického tvaru a zajištění polohy vláken
- Ochrana vláken před okolím

Pro kvalitu kompozitu je důležité zajištění adheze na fázovém rozhraní matrice – vlákno. Lepší fyzikální a případně i chemické vazby dosáhneme pro různé druhy matrice aplikací vhodné apretace. Vhodná viskozita a povrchové napětí matrice zajišťuje, že se vlákno smočí úplně a bez bublin. Matrice polymerních kompozitů se dělí na termosetické (reaktivní) pryskyřice a termoplasty. [2,5]

1.4.1 Termosetické pryskyřice

Nejčastěji používané pryskyřice z této skupiny jsou nenasycené polyesterové pryskyřice, vinylesterové pryskyřice (vinylestery) a epoxidové pryskyřice.

Nenasycené polyesterové pryskyřice:

Podle chemické struktury se dělí na ortoftalové, izoftalové a tereftalové typy. Tereftalové mají nejlepší mechanické vlastnosti a také chemickou a teplotní odolnost, naopak ortoftalové mají nejnižší.

Vinylesterové pryskyřice:

Jsou odolnější než polyesterové pryskyřice s teplotní odolností až do 160°C. Pryskyřice bývá rozpuštěna v monomerním rozpouštědle (nejčastěji styren), se kterým je kopolymerizovatelná.

Epoxidové pryskyřice:

Vyznačují se vysokou teplotní odolností – až do 180°C. Toho lze dosáhnout použitím vhodných tvrdidel. Epoxidové pryskyřice mají dostatek epoxidových skupin, které jsou potřeba pro vytvrzení. Snížení viskozity, lepší tepelné vodivosti nebo třeba snížení hořlavosti lze docílit mísením epoxidových pryskyřic s reaktivními ředidly. Podle hodnoty T_g (teplota skelného přechodu) lze vyjádřit odolnost matrice. Teplotní odolnost se vyjadřuje také pomocí HDT (heat distortion temperature). Je to mezní teplota, nad kterou ohybové zatížení kompozitu vykazuje nepřijatelnou deformaci (průhyb). Kombinací polyesterových a polyuretanových pryskyřic dostaneme tzv. hybridní pryskyřice. [2,5]

1.4.2 Termoplasty

Liší se od termosetů zpracovatelskými i uživatelskými vlastnostmi. Jako matrice se používá široká škála materiálů a proto je jejich porovnání dost obtížné. Termoplasty se oproti reaktivním pryskyřicím mohou zpracovávat pouze po zahřátí na teplotu roztavení (Dostatečně tekuté bývají většinou až nad teplotou 200 °C).

Podle délky vyztužujících vláken se termoplasty dělí následujícím způsobem:

- Vyztužené krátkými vlákny ($\approx 0,2$ mm) – přidávají se pro zesílení matrice při vstříkování
- Vyztužené dlouhými vlákny (až do 25 mm) (LFT) – zpravidla se přidávají z plastifikačního extruderu přímo do lisovací formy.
- Vyztužené nekonečně dlouhými vlákny – např. termoplasty vyztužené skleněnou rohoží nebo tkaninami.

Nejpoužívanějšími konstrukčními termoplasty pro kompozity jsou polypropylen a polyamid. Pro konstrukční účely se rovněž používají termoplastické prepregy (preimpregnated fibers). Jsou to předimpregnovaná vlákna, která se zpracovávají lisováním nebo v autoklávu. [2,5]

1.5 Výztuž

Vyztužující vlákna se jako konstrukční prvky používají jen zřídka samotná. Teprve v kompaktní formě se pro nás stávají zajímavou skupinou materiálů a právě tak je tomu u kompozitních materiálů. V kompozitních materiálech se používají různé druhy vláken. Lze je rozřadit na následující skupiny:

- Přírodní vlákna

- z přírodních vláken se používají pouze vlákna rostlinná, jejichž základem je celulóza. Jsou to například len, konopí nebo bavlna. Jejich výhodou je například nízká hustota a snadná likvidace spalováním.

- Skleněná vlákna

- jsou to vlákna s kruhovým průřezem, tažená z roztavené skloviny a často používaná pro textilní účely. Nejčastější druh skloviny pro výrobu je bezalkalická sklovina. Ta je výborným elektrickým izolantem a má vysokou propustnost pro záření. Odtud pochází označení E-sklovina (elektrická). Dále se vyskytují označení R-sklovina nebo C-sklovina. Označení mohou být na různých místech světa různá.

- Uhlíková a grafitová vlákna

- uhlíková vlákna mají extrémně vysokou pevnost, ale nízkou tažnost. Výchozíma surovinami pro výrobu uhlíkových vláken jsou tři materiály: celulóza, polyakrylonitril, smola. Vysokopevnostní a vysokomodulární vlákna je třeba uložit co nejtěsněji v kontinuální síť silných vazeb. Uhlíková vlákna jsou vysoce odolná proti dlouhodobému dynamickému namáhání. Další předností je snášenlivost s tělesnými tkáněmi. Proto je lze použít jako implantáty.

- Aramidová vlákna

- vyrábí se různé druhy těchto vláken, s různými hodnotami modulu pružnosti v tahu a tažností. Elementární aramidové vlákno má průměr kolem 12 μm . Hustota je v porovnání s ostatními vyztužujícími vlákny nízká, z čehož plyne vysoká měrná pevnost v tahu. Vlákna jsou silně anizotropní, tzn. Vlastnosti měřené ve směru vláken a vlastnosti v příčném směru se od sebe liší.

- Keramická vlákna

- Kovová vlákna

- Whiskery

Podle velikosti průřezu je v zásadě můžeme rozdělit na skupiny:

- Do průměru 100 – nanometrů – tzv. nanovlákna
- 0,1 až 1 mikrometrů – mikrovlákna – např. whiskery
- 1 až 10 mikrometrů – střední vlákna – uhlíková, skleněná – textilní
- Nad 10 mikrometrů – hrubá vlákna – B, SiC a podobně. [2,3]

2 TECHNOLOGIE LEPENÝCH SPOJŮ

Při výběru lepicího systému je třeba zvážit mnoho faktorů. Patří mezi ně znalost spojovaných materiálů, lepidel, plánovaného mechanického zatěžování lepené spáry, výrobního postupu atd.

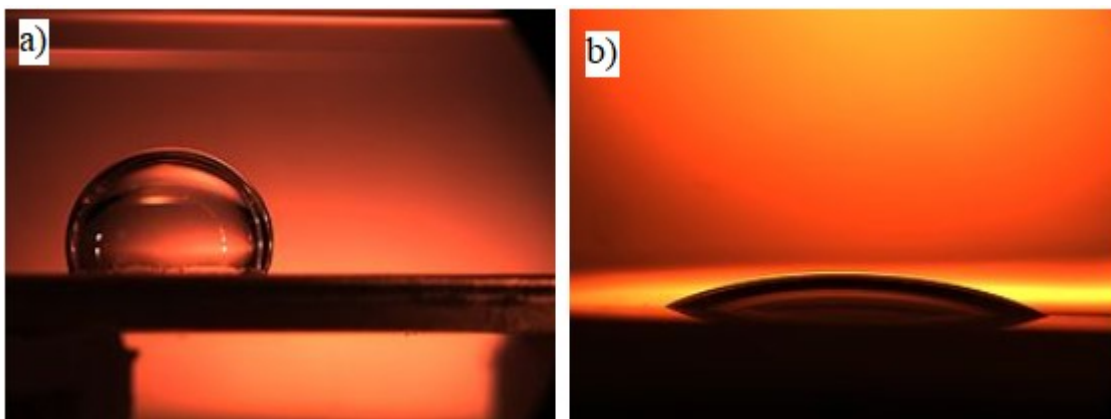
2.1 Typy lepených materiálů

Je nezbytné znát co nejlépe lepené podklady. Mezi důležité informace patří: o jaký materiál s jedná, povrchové napětí a smáčivost, modul pružnosti a smykový modul, koeficient tepelné roztažnosti apod.

Dobrá adheze je podmíněna dostatečným smáčením substrátu lepidla. Smáčivost je vlastnost kapaliny roztect se do určité míry po povrchu. Adheze je uspokojivá, pokud se lepidlo dostane k materiálu na atomovou vzdálenost $< 1\text{nm}$. [6]

Předpoklady dobré smáčivosti jsou především:

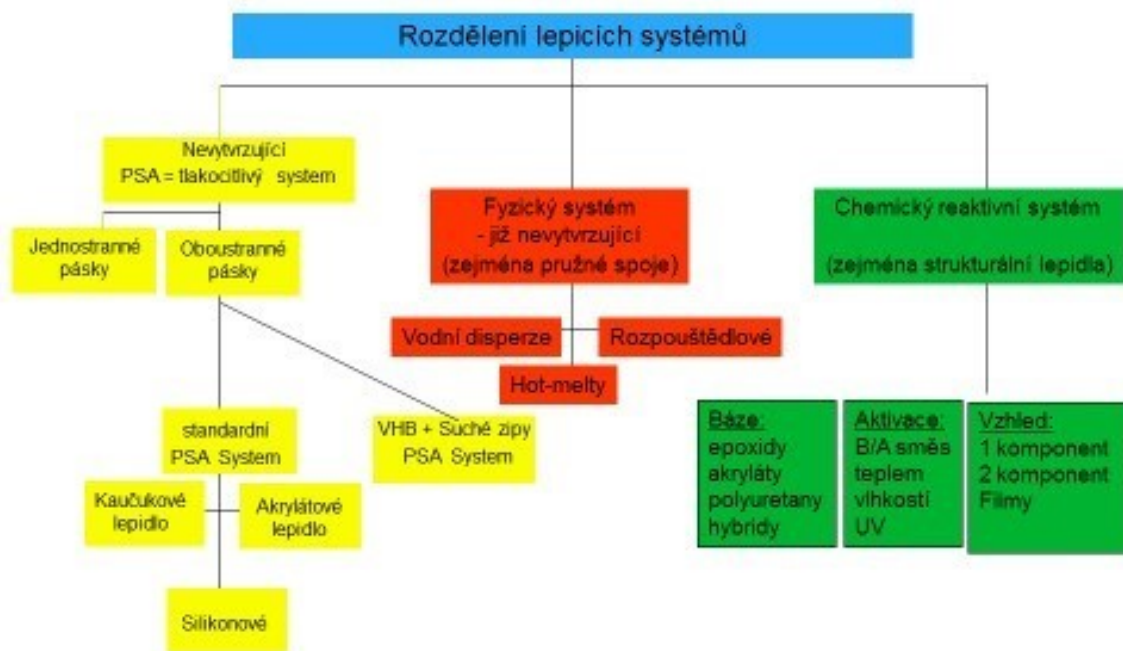
- Dostatečná suchost a čistota povrchů
- Nízká viskozita použitého lepidla
- Vyšší povrchové napětí podkladu než lepidla



Obr. 7: Povrchy s různou povrchovou energií: a) špatná smáčivost; b) dobrá smáčivost [7]

2.2 Typy lepidel

Jedním z mnoha možných rozdělení lepidel je rozdělení z chemického hlediska na organická a anorganická. Další popis bude zaměřen na organická lepidla, která jsou hojně používána v technické praxi. [6]



Obr. 8: Rozdělení lepicích systémů [6]

2.3 Pevnost lepeného spoje

- Strukturální – patří sem tekutá reaktivní lepidla, která vytvářejí spoj na základě chemické reakce. Jsou to:
 - Epoxidová lepidla
 - Akrylátová lepidla
 - Uretanová lepidla
 - Kyanoakrylátová lepidla
- Nestructurální – jsou to tekutá nereaktivní lepidla vytvářející spoj na základě tečení a vytváření adhezních sil. Patří sem kontaktní, disperzní a tavná lepidla.
- Tlakocitlivá lepidla – jsou to samolepící viskoelastická lepidla. Patří sem lepicí pásky nebo PSA lepidla. [6, 8]

2.4 Okolní vlivy na použitý materiál, lepidlo a spáru

Lepený spoj je během své životnosti vystavován různým interakcím: s teplotou, působením vlhkosti a různých médií, UV záření apod.

Čím je prostředí agresivnější, tím spára rychleji stárne.

Vlastnosti lepidla či lepených materiálů může značně ovlivnit působení některých chemických látek. Např: plasty měknou většinou působením organických rozpouštědel, pryže působením olejů, materiály obsahující aditiva mohou migrovat zejména za zvýšených teplot do lepidla.

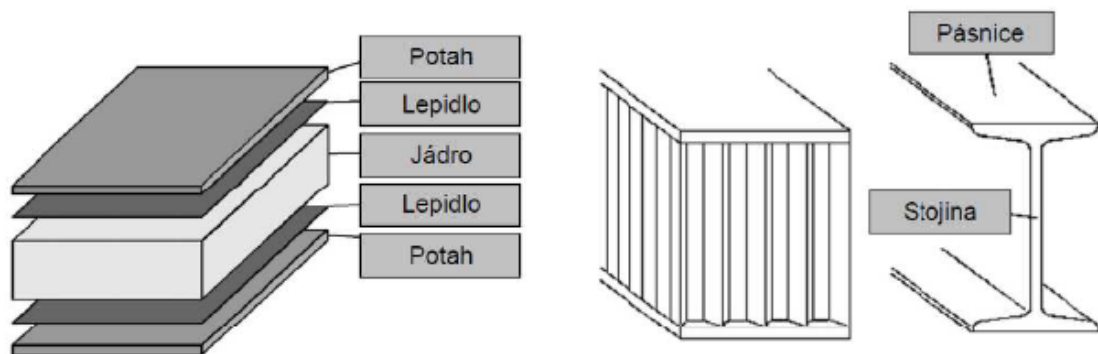
Pro zkoušení těchto vlivů existuje obsáhlý systém laboratorních zkoušek, kterými lze proces nasimulovat. Laboratorní test však není absolutně spolehlivý, není schopen reálné zatížení stoprocentně napodobit. Zjištěná odezva však může o mnohém vypovídat. [6]

3 SENDVIČOVÉ KONSTRUKCE

Sendviče jsou vrstevnaté progresivní konstrukce. Jejich velkou předností je úspora hmotnosti, což znamená, že i při své nízké hmotnosti mají vysokou tuhost a pevnost v ohybu. Uplatnění nacházejí v různých průmyslových odvětvích, především v letecké a dopravní technice. [9,10]

3.1 Struktura a vlastnosti sendviče

Struktura sendviče je tvořena potahy (skiny), které jsou namáhané na ohyb (tah, tlak) a jádrem (core) namáhaným převážně na smyk. Jádro má oproti potahům relativně nízkou hmotnost. Potahy jsou nejčastěji tvořeny kovovými materiály nebo kompozity (tkanina rohož,...), jádro voštinou (honeycomb), pěnou, balzovým dřevem, korkem atd. U sendvičových konstrukcí je patrná analogie s nosníkem I profilu. Potahy plní podobnou funkci jako pásnice u I profilu a stojina jako jádro.



Obr. 9: Analogie sendvičových konstrukcí s nosníkem I profilu. [10]

Ohybová tuhost a pevnost nejsou jedinými přednostmi sendvičů. Dalšími výhodami jsou únavová odolnost, odolnost proti šíření trhlin, odolnost proti rázům, odolnost proti teple a ohni, tlumení a tepelná a akustická izolace. Na tyto vlastnosti má vliv především materiál jádra. [9,10]

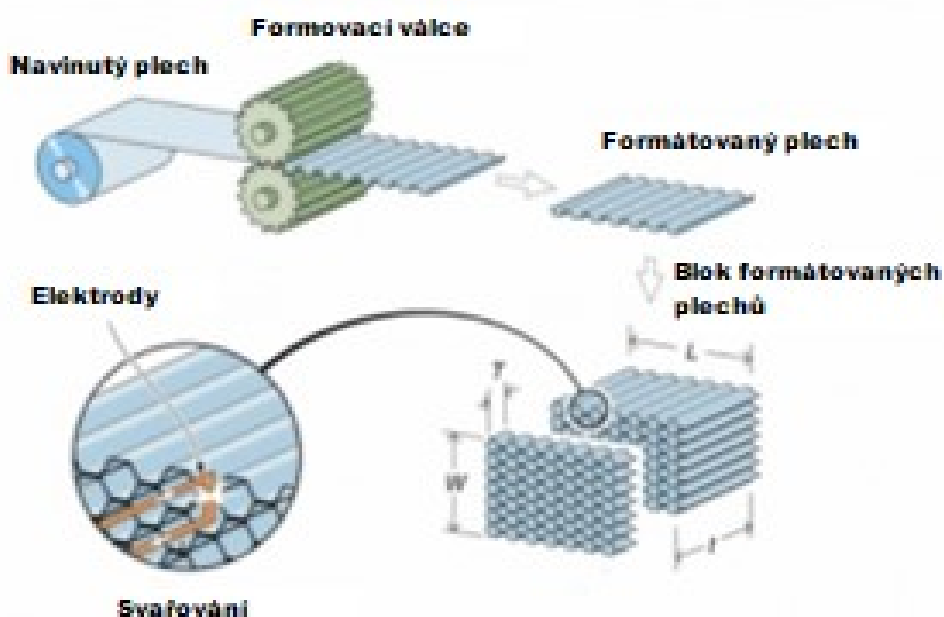
3.2 Výroba buňkových voštin

Voštiny se vyrábí převážně z kovů, papíru nebo keramických materiálů. Mezi nejběžnější výrobní postupy patří tahání, formování profilů a odlévání.

V případě výroby voštinového panelu technologií tažení je několik vrstev jádra k sobě přilepeno s určitými rozestupy. Řezáním plátů v podélném směru se tvoří základ pro voštinové plásty s určitou hloubkou. Jednotlivé vrstvy se natáhnou působením síly kolmé na rovinu, ve které leží spoje. Tvar vzniklých buněk je hexagonální. Výchozím materiálem bývají nejčastěji skelné, aramidové, uhlíkové nebo textilní folie, které se nakonec ještě obalují vrstvou pryskyřice. Pro kovové sendvičové panely se velmi často používá hliníkový plech.

Potahy jsou s jádrem sendviče obvykle spojeny syntetickými lepidly na bázi fenolformaldehydových a epoxidových pryskyřic, které lze aplikovat pomocí přiložení folie lepidla, které se při zvýšené teplotě taví a spojí materiál jádra s potahy.

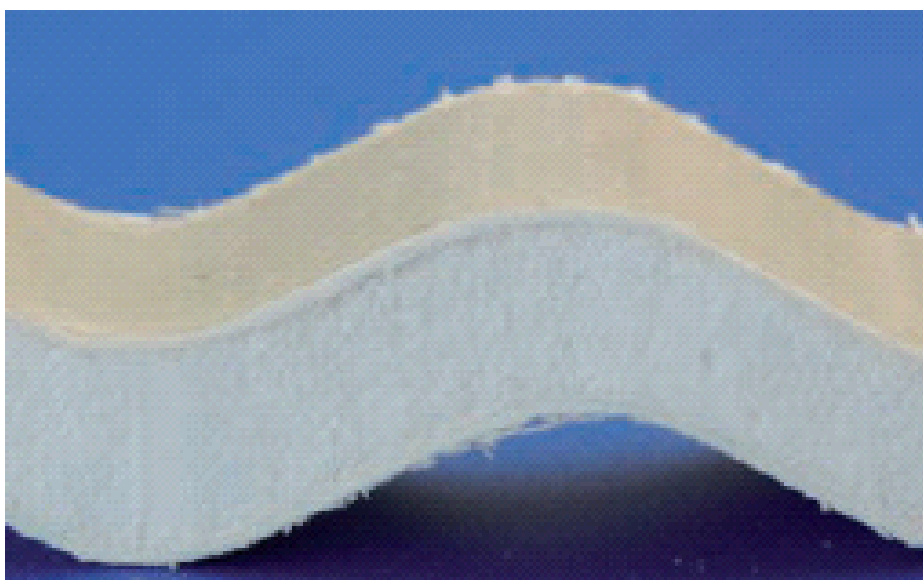
Při formování se kovový plech formuje válci a skládá na sebe. Spojování plechů se nejčastěji provádí svařováním a vzniklý blok se nařeže na požadovanou hloubku. Buňka jsou nejčastěji šestiúhelníkové, ale pomocí této metody se vytváří též čtvercové a trojúhelníkové buňky. [11]



Obr. 10: Výroba voštiny formováním [11]

3.3 Výrobní možnosti

Sendviče tvarově nejsou omezeny pouze na rovné desky. Mohou tvořit i složité plochy s různými výstupky a prolisy. Potahy u složitě tvarovaných sendvičů se vyrábí převážně z kompozitních materiálů, protože použití kovových potahů je velmi nákladné. Dle požadovaného tvaru sendvičového panelu volíme vhodné jádro. Pro zakřivené sendviče je obtížné použít voštinu s hexagonální buňkou. V případě zakřivených sendvičů je vhodnější použít speciální tvar buňky, jako je třeba obdélníkový nebo lasturovitý. Lze použít i tepelně tvarovatelnou pěnu. Jednou z metod výroby zakřivených sendvičů je termoforming. Je to metoda, která je založená na ohřevu a následného tvarování potahů, nebo se také používá současného ohřevu jádra a potahu. [9,11]



Obr. 11: Ohřev a tvarování potahů – termoforming [11]

3.4 Konkrétní aplikace

- U letounu Aero Ae-270 je kryt hlavního podvozku vyroben ze sendviče. Konkrétněji je tvořen kompozitními potahy s uhlíkovými vlákny a pěnovým jádrem. Při výrobě bylo nutno použít pěnu z důvodu složitého tvaru dílu s prolisy. Pěnové jádro se nejprve obrobí na NC stroji a vlepí se duralové vložky v místech závěsů. Poté se pěnové jádro obalí několika vrstvami uhlíkového prepregu. Vytvrzení dílu probíhá v autoklávu. [9]



Obr. 12: Letoun Aero Ae-270 [11]

- Při výrobě podlahy pro nízkopodlažní tramvaj Astra byla zvolena klasická koncepce duralových potahů přilepených k hliníkové voštině foliovým lepidlem. Aplikací sendvičových panelů byl splněn požadavek vysoké tuhosti při nízké hmotnosti. [9]



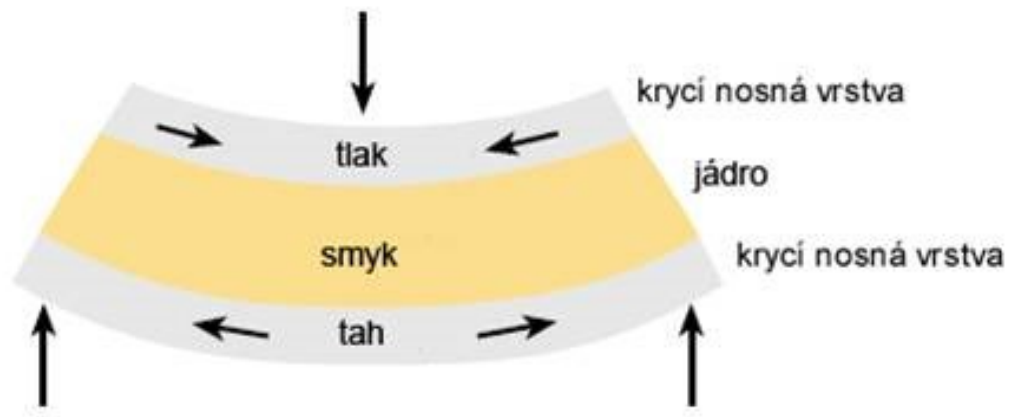
Obr. 13: Tramvaj Astra [11]

4 MECHANICKÉ CHOVÁNÍ SENDVIČOVÝCH STRUKTUR PŘI NAMÁHÁNÍ OHYBEM

Mezi výpočtovými metodami pro „klasické“ materiály (např. kovy, nevyztužené plasty) a kompozitní materiály je podstatný rozdíl, spočívající v tom, že klasické konstrukční materiály jsou hotové konstrukční materiály případně polotovary, avšak u kompozitních materiálů jde o kombinaci z mechanického hlediska velmi rozdílných složek. [2]

Pokud budeme hovořit o kompozitních materiálech a budeme uvažovat jejich namáhání na ohyb, tak se nám nabízí několik teorií pro výpočet deformace:

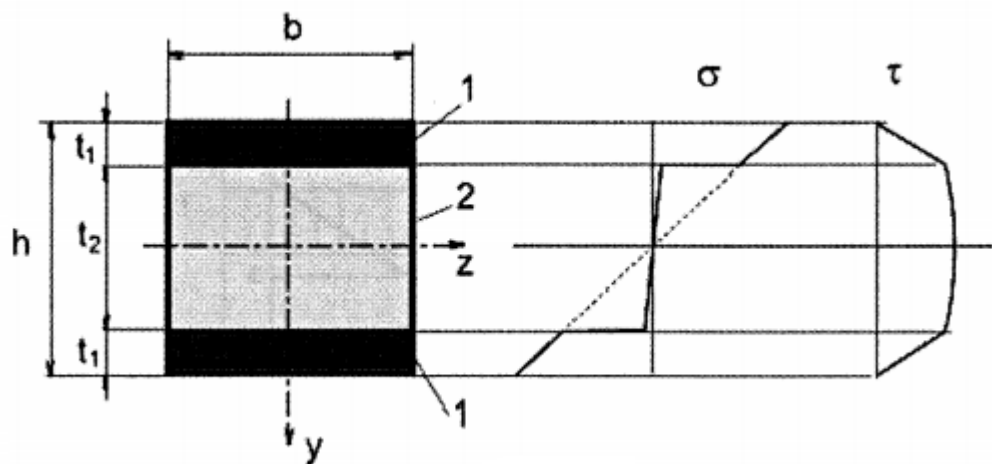
- Klasická laminátová teorie neuvažuje smykové deformace. Používá se pro výpočet vrstvených laminátů. Platí zde Kirchhoffova hypotéza (přetvoření v příčném směru ≈ 0). Závislost mezi napětím a deformací je lineární.
- Laminátová teorie s uvažováním příčné smykové deformace, kde jádro přenáší smyk i ohyb a považujeme ho za jednu z vrstev, uvažováno jako izotropní. Po deformaci kolmice na střední rovinu nezůstane kolmicí, tedy neplatí Kirchhoffova hypotéza.
- Sendvičová teorie, kde jádro přenáší pouze smyk a je uvažováno jako izotropní. Tloušťka jádra je mnohem větší než tloušťka potahů – příčná smyková napětí a normálová napětí ve směru z potahů považujeme za nulová. Závislost mezi napětím a deformací je lineární. [10]



Obr. 14: Namáhání sendviče při uvažování sendvičové teorie [11]

4.1 Navrhování ohýbaných sendvičových prvků

Pro dosažení vysoké tuhosti při minimální hmotnosti je ideální třívrstvý sendvičový průřez. (Obr.13). Mezi vnějšíma tuhými a pevnými vrstvami 1 je pěnové jádro 2 o malé tuhosti.



Obr. 15: Třívrstvý sendvičový průřez a průběh normálového a tečného napětí [12]

Průběh a velikost ohybových napětí v *i*-té části průřezu pak bude:

$$\sigma_i(y) = E_i \frac{1}{r} y = \frac{E_i}{E_1} \cdot \frac{M}{J_R} y \quad (1)$$

Křivost je:

$$\frac{1}{r} = \frac{M}{E_1 J_R} \quad (2)$$

Kvadratický moment průřezu je:

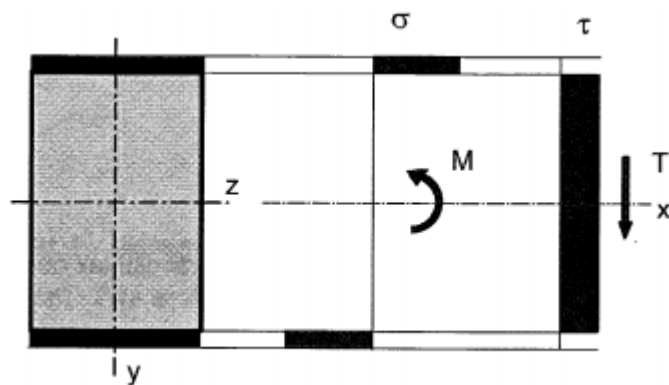
$$J_R = J_1 + \frac{E_2}{E_1} \cdot J_2 + \frac{E_3}{E_1} \cdot J_3 + \dots + \frac{E_n}{E_1} \cdot J_n \quad (3)$$

Ohybová tuhost sendvičového průřezu je dána vztahem:

$$K_0 = E_1 \sum_{i=1}^n \frac{E_i}{E_1} \cdot J_i = E_1 \frac{bh^3}{12} \left[1 - \frac{E_1 - E_2}{E_1} \left(1 - 2 \frac{t_1}{h} \right)^3 \right] \quad (4)$$

Pro $E_1 \gg E_2$ a $t_1 \ll t_2$ – (Obr.14) se ohybová tuhost vypočítá:

$$K_0 = E_1 \frac{bh^2 t_1}{2} \quad (5)$$

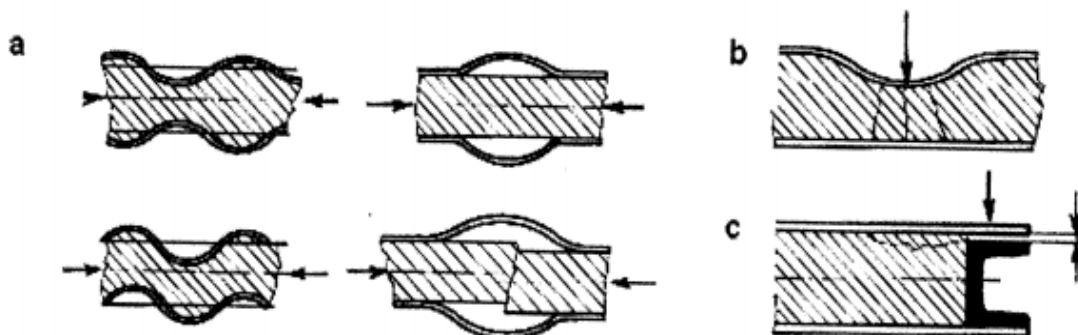


Obr. 16: Sendvič s vlastnostmi $E_1 \gg E_2$ a $t_1 \ll t_2$ [12]

Celkový průhyb nosníku pro nosník na Obr. 14 je dán vztahem:

$$y = y_M + y_T = \frac{Fl^3}{48 K_0} + \frac{Fl}{G_2 b t_2} \quad (6)$$

Výsledná únosnost sendviče není dána pouze materiálovou charakteristikou – pevností, ale je výslednicí složitého mechanického chování sendvičové struktury (závisí na geometrických, materiálových a také technologických parametrech). Únosnost je omezena poruchami různého typu. Potahy jsou v podstatě tenkostěnné prvky, uložené na pružném podkladě jádra, a tedy náchylné k jistým formám ztráty stability. Může dojít k odtržení od jádra a následným porušením (Obr. 15 a). Působením příčných, osamělých zatížení může dojít důsledkem stlačení k místnímu poškození, případně i porušení jádra a tím dochází k snížení únosnosti v těchto místech. (Obr. 15 b). Tato osamělá zatížení je proto nutno vnášet pomocí tuhých vložek, včleněných do jádra. Při aplikaci těchto tuhých vložek je třeba dodržení vhodných tolerancí těchto vložených a zakončovacích prvků (Obr. 15 c). [12]



Obr. 17: Porušení sendvičových struktur [12]

- Porovnání tuhosti a pevnosti v ohybu homogenních a sendvičových materiálů znázorňuje následující tabulka:

Tab. 1: Porovnání homogenního a sendvičového materiálu [11]

| | Celistvý materiál | Síla jádra t | Síla jádra $3t$ |
|-----------------|-------------------|-------------------|--------------------|
| tuhost | 1.0 | 7.0 | 37.0 |
| pevnost v ohybu | 1.0 | 3.5 | 9.2 |
| hmotnost | 1.0 | 1.03 | 1.06 |

5 VYBRANÉ MECHANICKÉ ZKOUŠKY

5.1 Zkouška tahem naplocho

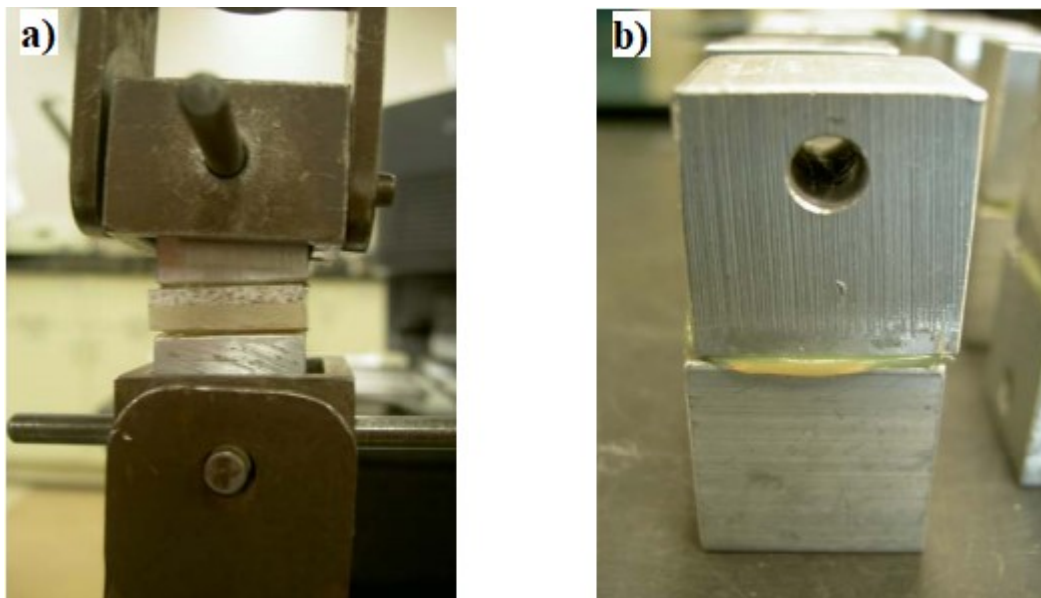
Tímto testem se stanovuje základní pevnost v tahu a pevnost vazby potahů k jádru. Tento test není standardizovaný a interpretace výsledků je do jisté míry otevřená. Většina výrobců má vlastní interní testovací postupy, zvláště pro testování vazby. Obecně je zkouška prováděna na vzorcích o přesně stanovených rozměrech. Zaznamenávají se především rovinné rozměry a tloušťka každého vzorku. Testovací stroj musí být schopen udržování řízené rychlosti při zatěžování a měření zatížení s požadovanou přesností. Zatěžovací síla je orientována kolmo k rovině vzorku.

Výpočet průměrné pevnosti v tahu naplocho může mít u sendvičové konstrukce tvar:

$$\sigma_p = \frac{P}{l \cdot w} \text{ [MPa]} \quad (7)$$

kde: P [Nm] je mez pevnosti, l [mm] je délka vzorku, w [mm] je šířka vzorku.

Průměrná pevnost v tahu naplocho vyjadřuje nejvyšší síly, které může daný sendvičový prvek vydržet těsně před selháním. V daném prvku mohou nastat poruchy jak v lepeném spoji, tak v testovaném sendvičovém vzorku. U lepidla může dojít například k selhání přilnavosti, dále se může poškodit vnější vrstva nebo jádro. [13,14]



Obr. 18: Zkouška tahem naplocho: a) Vzorek upevněný v čelistech; b) Lepený spoj [13]

5.2 Peel testy

Účelem navrhované standardizované zkoušky je měřit statické oddělení potahů od jádra sendvičového prvku, kde potahová vrstva je dostatečně houževnatá. Testy se provádějí pro adhezivní lepidla a důraz je kladen nejen na lepidlo samotné, ale i na přilnavost lepených materiálů. Obecný zkušební postup je analogický tomu, který se používá pro charakterizaci odolnosti proti delaminaci u kompozitních laminátů v mezinárodní zkušební metodě ASTM.

Odolnost proti odlupování se definuje jako poměr průměrné síly na jednotku šířky zkušební vzorku která se měří podél spáry mezi lepenými vrstvami, které je nutno při testování oddělit. Odlupová napětí jsou soustředěna v místech, kde je vrstva, popřípadě více lepených vrstev flexibilní. Zvýšením množství použitého lepidla na vzorek sice vzroste adheze, poklesne však celková tuhost. Tato problematika vedla ke vzniku nejrůznějších testů adhezních vlastností. Testy adhezních vlastností neslouží jen k porovnávání lepidel, zjišťuje se při nich i houževnatost, tuhost a další vlastnosti. Následující podkapitoly popisují nejznámější adhezní testy. [14, 15]

5.2.1 Peel test pomocí navíjení na buben

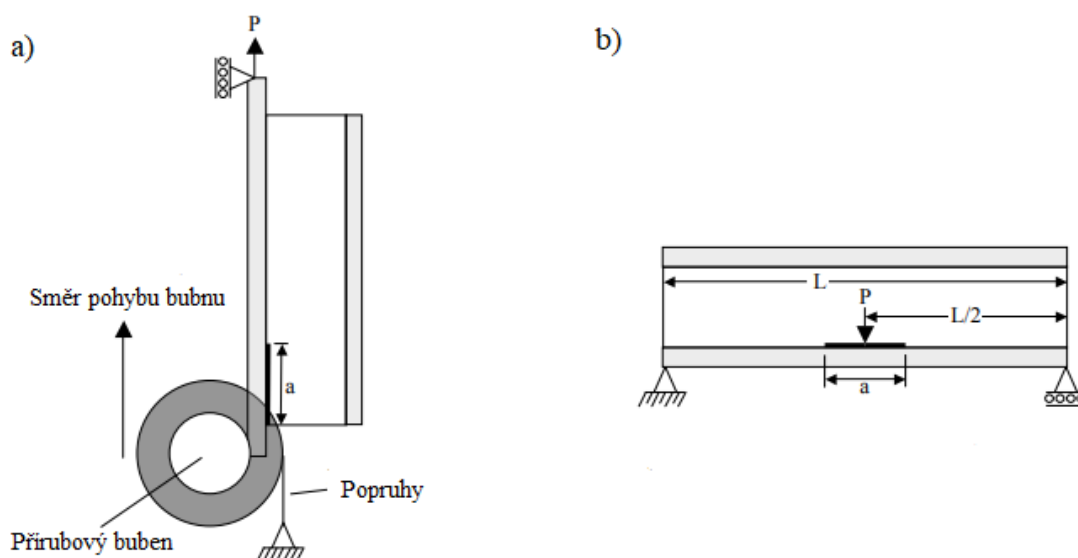
Tímto testem se vyhodnocuje houževnatost lepeného spoje mezi jádrem a vnější vrstvou, zatíženou odlupovacím momentem. Zařízení, na kterém se zkouška provádí se skládá z přírubového bubnu a popruhů. Buben je pevně připevněn k vrstvě, která má být odloupena. [14, 15]

Při testu navíjením na buben se buben otáčí pomocí tahové síly, která působí na popruhy. Síla potřebná k oddělení lepených složek zkoušeného vzorku o daných rozměrech určuje pevnost v odlupování. Průměrný odlupovací moment lze vyjádřit pomocí vzorce:

$$T = \frac{(r_0 - r_i)(F_p - F_o)}{w_v} [Nm] \quad (8)$$

kde: r_0 [mm] je rádius obruby pásků, r_i [mm] je poloměr bubnu, $F_p - F_o$ [N] je průměrné zatížení potřebné k odloupení a ohnutí vnější vrstvy, F_o [N] je zatížení, které se vyžaduje pro překonání kroutícího momentu, w_v [mm] je šířka vzorku. [14]

Zkušební přístroj je značně komplexní a test se tedy hodí především pro sendvičové aplikace, které obsahují tenké povrchové vrstvy. Tloušťka jádra musí být taková, aby nedocházelo při zkoušce k prohýbání vzorku. Platnost měření odolnosti proti odlupování je do jisté míry zpochybněna mechanismy, které při zkoušce vytváří disipovanou energii. Existuje alternativa – test ohybu středového pásu (center notch flexure). Jde o zjednodušení zkoušky navíjením na buben. Předpoklad symetrického odlupu kolem centrálně umístěného kolíku však příliš neodpovídá realitě, jak bylo porovnááno při testu. [14, 15]



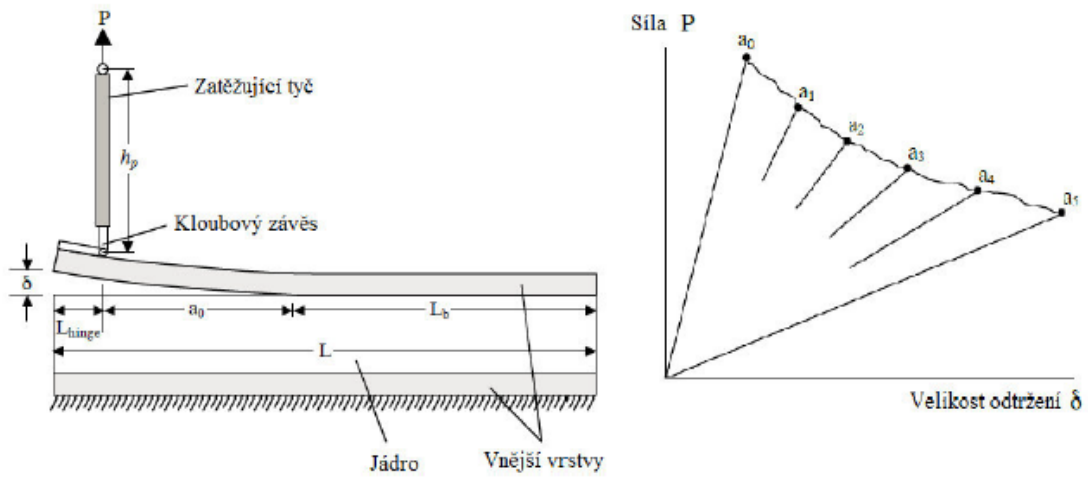
Obr. 19: Testy odolnosti proti odlupu: a) Navíjení na buben b) Ohyb středového pásu [15]

5.2.2 Zkouška SCB a DCB odlupem

Celkovým účelem této zkoušky je měření statické ohybové houževnatosti při odlupu vnější vrstvy od jádra sendviče. Při provádění SCB (*Single Cantilever Beam Test*) zkoušky zkoušecí stroj působí tahem na horní vrstvu vzorku, spodní vrstva zůstává pevně přilepená k základně, což zabraňuje pronutí vzorku. Měří se zatěžující síla P a velikost odtržení δ . Lineární elastická zlomová mechanika se používá k výpočtu houževnatosti G_c , z následujícího vztahu:

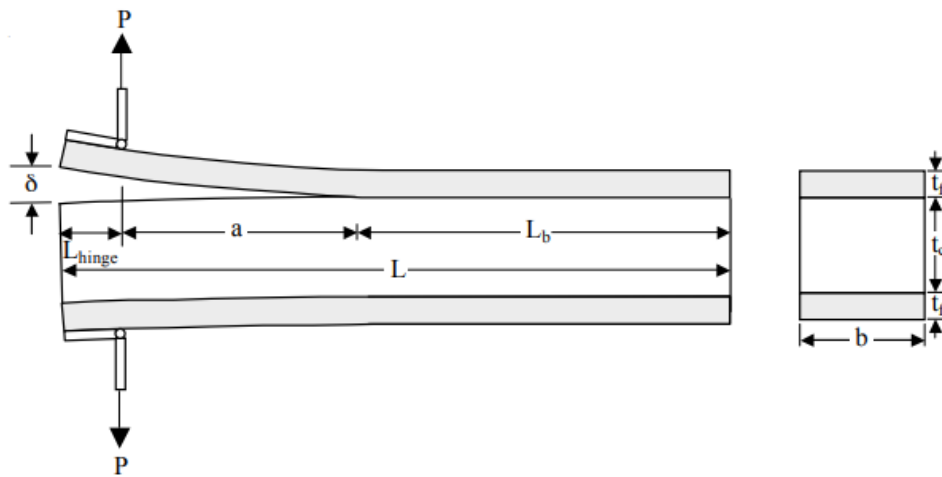
$$G_c = \frac{P_c^2}{2b} \frac{dC}{da} \quad (9)$$

kde P_c je zatěžující síla, b je šířka vzorku, derivace dC / da , je vyhodnocena z naměřené délky pomocí testu, kde $C = \delta / P$.



Obr. 20: Princip testu a průběh zatěžování – metoda SCB [15]

Metoda DCB (*Double Cantilever Beam Test*) má na rozdíl od SCB úchyty na obou krajních vrstvách. Zatěžující síly tedy působí na vnější vrstvy ze dvou stran. [14, 15]



Obr. 21: Zatížení vzorku ze dvou stran – metoda DCB [15]

Konformita zkoušecího stroje se obvykle měří testováním rigidní repliky vzorku. Hodnoty houževnatosti jsou vypočteny pro každý přírůstek délky, na kterém byl měřen, čímž se stanovil vztah mezi houževnatostí a délkou odtržení. [15]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

6 CÍLE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Cílem praktické části bakalářské práce je pomocí výsledků získaných na základě experimentu zhodnotit lepidla použitá na spojení potahů s voštinou u sendvičových panelů. Dále pak zhodnocení použití různých potahových vrstev nebo různých jader sendviče.

Hlavní body pro dosažení stanovených cílů práce:

- Testování připravených vzorků zkouškou tříbodovým ohybem
- Popsat výsledky měření zaznamenané pomocí tabulek a grafů
- Zpracování naměřených výsledků formou srovnávání jednotlivých vzorků
- Diskuse výsledků a závěr

7 TESTOVÁNÍ SENDVIČOVÝCH PANELŮ

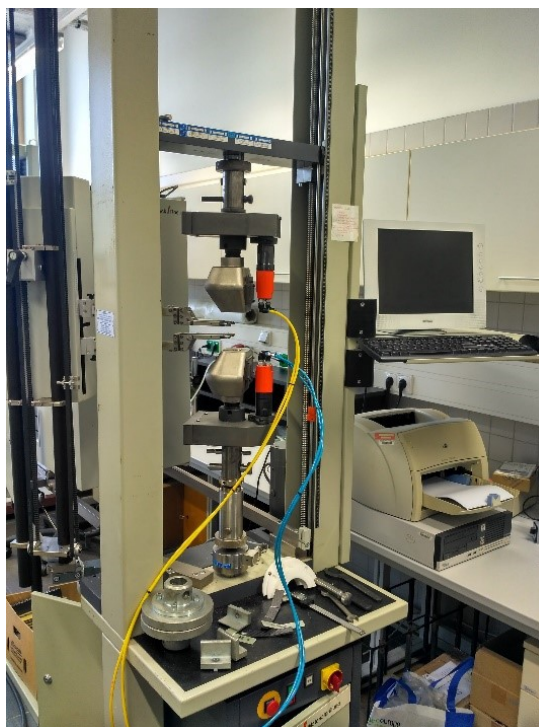
Testování sendvičových panelů je zaměřeno na zjištění, zda je adheze dostatečná a nedochází k separaci vnějších vrstev od jádra. To může být zapříčiněno výběrem nevhodného lepidla nebo technologie lepení. Pro měření byly použity vzorky celohliníkové nebo s ocelovými potahy a hliníkovým jádrem. Některé ocelové potahy byly pozinkovány nebo byla použita nerezová ocel.

Testování bylo provedeno na přístroji ZWICK:

Je to zařízení k měření statických mechanických zkoušek. V našem případě to byla statická zkouška v ohybu. Výsledky z tohoto přístroje lze využít v odvětví výzkumu, vývoje, nebo kontroly kvality.

Parametry zkoušecího stroje:

- Strojová výška: 2184 mm
- Pracovní šířka: 420 mm
- Rozpětí běžných čelistí: 15 mm
- Maximální zkušební síla: 100 kN
- Hmotnost: 150 kg



Obr. 22: Zkoušecí přístroj ZWICK

Pro lepení zkušebních těles byla použita různá lepidla. Následující tabulka (Tab. 2) zahrnuje seznam lepidel a stručných popisů k lepidlům.

Tab. 2: Použitá lepidla

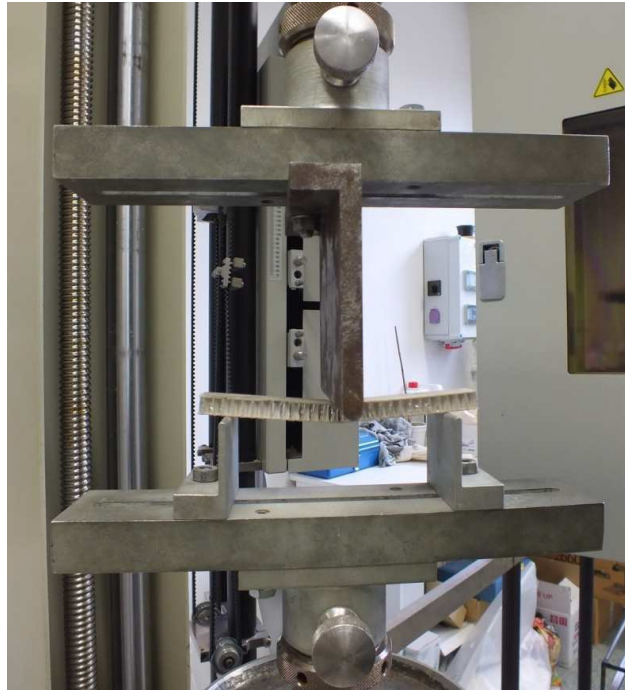
| Lepidlo | Základní popis lepidla |
|----------------------|--|
| sikaForce - 7701 L20 | Dvousložkové polyuretanové lepidlo obsahující složky A: sikaForce 7701 L20 a B: sikaForce 7010. |
| sikaForce - 7710 L35 | Dvousložkové polyuretanové lepidlo obsahující složky A: sikaForce 7710 L35 a B: sikaForce 7010. |
| KFL 130 - 5M | Jednosložkové epoxidové lepidlo s obsahem tvrdícího systému. Lepený spoj má dobré mech. vlastnosti v rozmezí teplot -75 °C až +100 °C. |
| Huntsman | Dvousložkové polyuretanové lepidlo od firmy Huntsman obsahující XB 5090-1 polyol a izokyanát HY 5611-1. |
| H. B. Fuller | Dvousložkové polyuretanové lepidlo obsahující složky Swift Bond 4701 a tvrdidlo Swift Hardener 9530. |

7.1 Zkušební tělesa – lepidlo sikaForce - 7701 L20

Testy byly prováděny na zkušebním stroji Zwick za pokojové teploty $T = 20\text{ °C}$, u některých zkušebních těles byla provedena zkouška při vyšších teplotách $T = 70\text{ °C}$. Zkušební tělesa byla nařezána dle normy (ČSN EN ISO 2818: příprava zkušebních těles obráběním). Zkouška ohybem provedena v souladu dle norem ČSN EN ISO 178 a 14125 (ASTM D5467). Rychlost zkoušky 10 mm/min, modul pružnosti v ohybu měřen při $v = 1\text{ mm/min}$. Délka těles 200 mm. Vzdálenost podpěr 160 mm.

- Zkoušení panelů s hliníkovými potahy při teplotě 20 °C

Pro panel s potahy z hliníkového plechu tloušťky 1 mm s výškou voštiny 10 mm a charakteristickým rozměrem voštiny 9 mm (průměr opsané kružnice šestiúhelníkového průřezu) je zvoleno označení jako v Tab.3: Panel 1 Al plech 10/9 oko voštiny. Takový způsob značení je používán i u všech ostatních zkušebních vzorků.



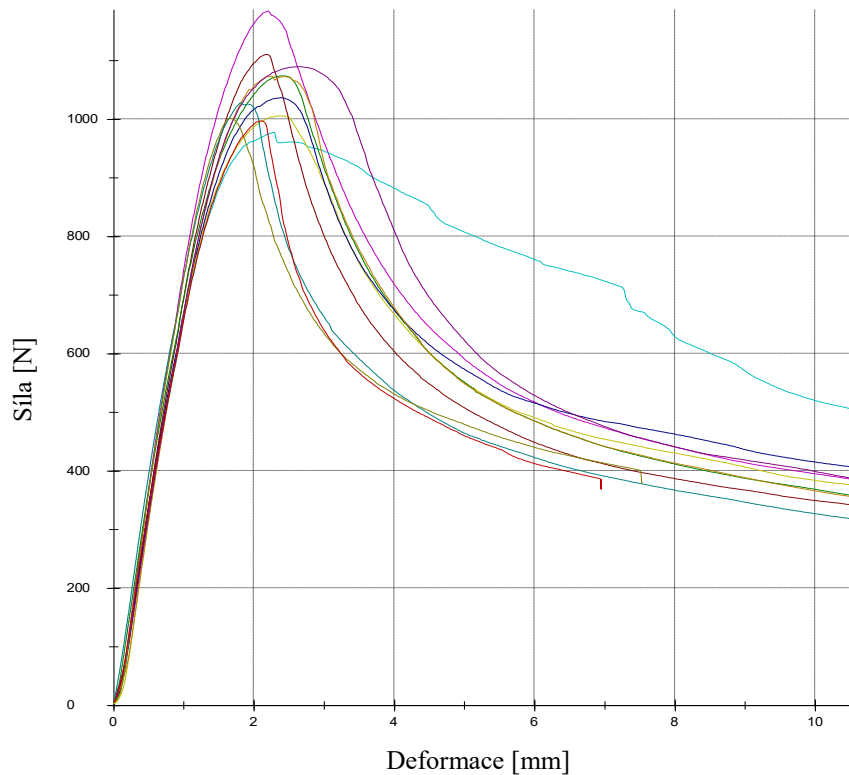
Obr. 23: Zkušební těleso při ohybové zkoušce

Tab. 3: Panel 1 Al plech 10/9 oko voštiny (20 °C) – naměřené hodnoty

| Počet měření n | E [MPa] | Pevnost v ohybu σ_{fM} [MPa] | ϵ při F_{max} [%] | W při F_{max} [Nmm] | a_0 [mm] | b_0 [mm] |
|---------------------|-----------|-------------------------------------|------------------------------|-------------------------|------------|------------|
| 1 | 9280 | 39,4 | 0,6 | 1592,59 | 12,4 | 45,5 |
| 2 | 8310 | 32,5 | 0,7 | 1450,89 | 12,6 | 45,5 |
| 3 | 8780 | 33,4 | 0,7 | 1575,98 | 12,6 | 45,5 |
| 4 | 9150 | 38,3 | 0,6 | 1472,65 | 12,4 | 45,3 |
| 5 | 8680 | 37,0 | 0,7 | 1692,56 | 12,4 | 45,0 |
| 6 | 8890 | 35,7 | 0,7 | 1617,08 | 12,4 | 45,3 |
| 7 | 9140 | 37,0 | 0,7 | 1494,96 | 12,4 | 45,3 |
| 8 | 8750 | 37,6 | 0,8 | 1898,14 | 12,4 | 45,3 |
| 9 | 8950 | 35,4 | 0,5 | 1119,33 | 12,4 | 45,3 |
| 10 | 9730 | 34,5 | 0,5 | 948,23 | 12,4 | 45,3 |
| 11 | 8480 | 34,4 | 0,6 | 1288,91 | 12,4 | 45,3 |

Tab. 4: Panel 1 Al plech 10/9 oko voštiny (20 °C) – statistické zpracování

| | E [MPa] | Pevnost v ohybu σ_{fM} [MPa] | ϵ při F_{max} [%] | W při F_{max} [Nmm] | a_0 [mm] | b_0 [mm] | F_{max} [N] |
|---|-----------|-------------------------------------|------------------------------|-------------------------|------------|------------|---------------|
| x | 8920,0 | 35,9 | 0,6 | 1468,3 | 12,4 | 45,3 | 1053,0 |
| s | 393,0 | 2,1 | 0,1 | 266,4 | 0,1 | 0,1 | 61,2 |
| v | 4,4 | 5,9 | 12,6 | 18,1 | 0,7 | 0,3 | 5,8 |



Obr. 24: Závislost mezi silou a deformací - Panel 1 Al plech 10/9 oko voštiny (20 °C)

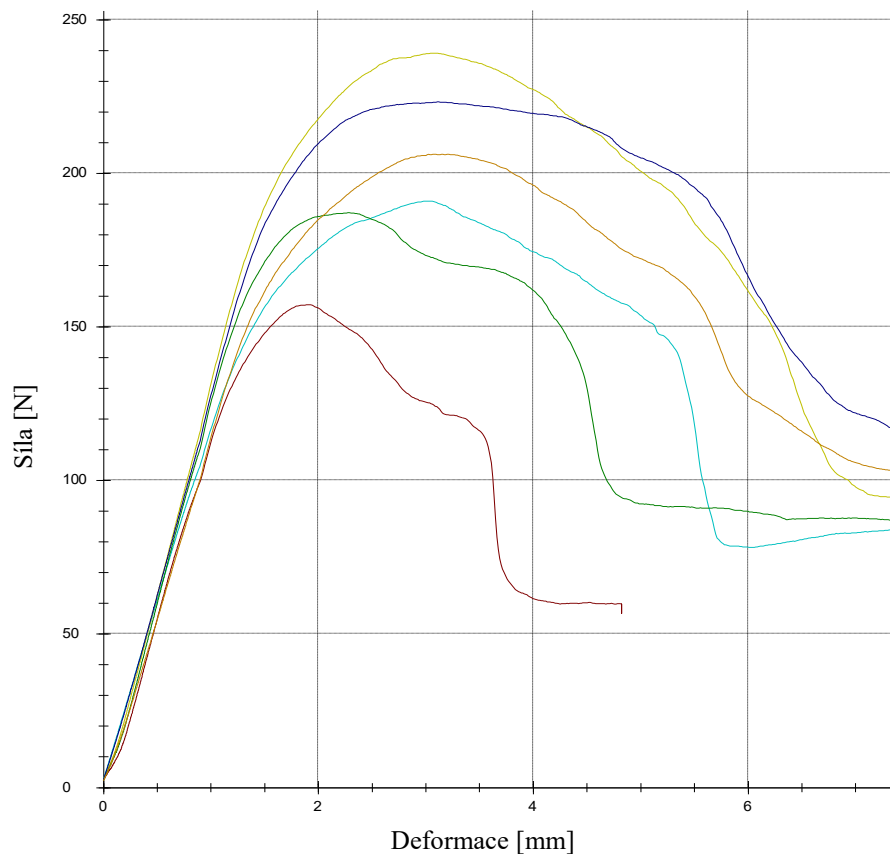
- Zkoušení panelů s hliníkovými potahy při teplotě 70 °C

Tab. 5: Panel 1 Al plech 10/9 oko voštiny (70 °C) – naměřené hodnoty

| Počet měření n | E [MPa] | Pevnost v ohybu σ_{fM} [MPa] | ϵ při F_{max} [%] | W při F_{max} [Nmm] | a_0 [mm] | b_0 [mm] |
|------------------|-----------|-------------------------------------|------------------------------|-------------------------|------------|------------|
| 1 | 1390 | 6,6 | 0,9 | 402,29 | 12,4 | 45,0 |
| 2 | 1600 | 8,3 | 0,9 | 502,34 | 12,4 | 45,0 |
| 3 | 1490 | 5,5 | 0,6 | 187,21 | 12,4 | 45,0 |
| 4 | 1580 | 6,5 | 0,7 | 278,02 | 12,4 | 45,0 |
| 5 | 1510 | 7,8 | 0,9 | 487,39 | 12,4 | 45,0 |
| 6 | 1380 | 7,2 | 0,9 | 424,34 | 12,4 | 45,0 |

Tab. 6: Panel 1 Al plech 10/9 oko voštiny (70 °C) – statistické zpracování

| | E [MPa] | Pevnost v ohybu σ_{fM} [MPa] | ϵ při F_{max} [%] | W při F_{max} [Nmm] | a_0 [mm] | b_0 [mm] | F_{max} [N] |
|---|-----------|-------------------------------------|------------------------------|-------------------------|------------|------------|---------------|
| x | 1490,0 | 7,0 | 0,8 | 380,3 | 12,4 | 45,0 | 200,7 |
| s | 95,4 | 1,0 | 0,1 | 123,7 | 0,0 | 0,0 | 29,0 |
| v | 6,4 | 14,4 | 18,8 | 32,5 | 0,0 | 0,0 | 14,4 |



Obr. 25: Závislost mezi silou a deformací - Panel 1 Al plech 10/9 oko voštiny (70 °C)

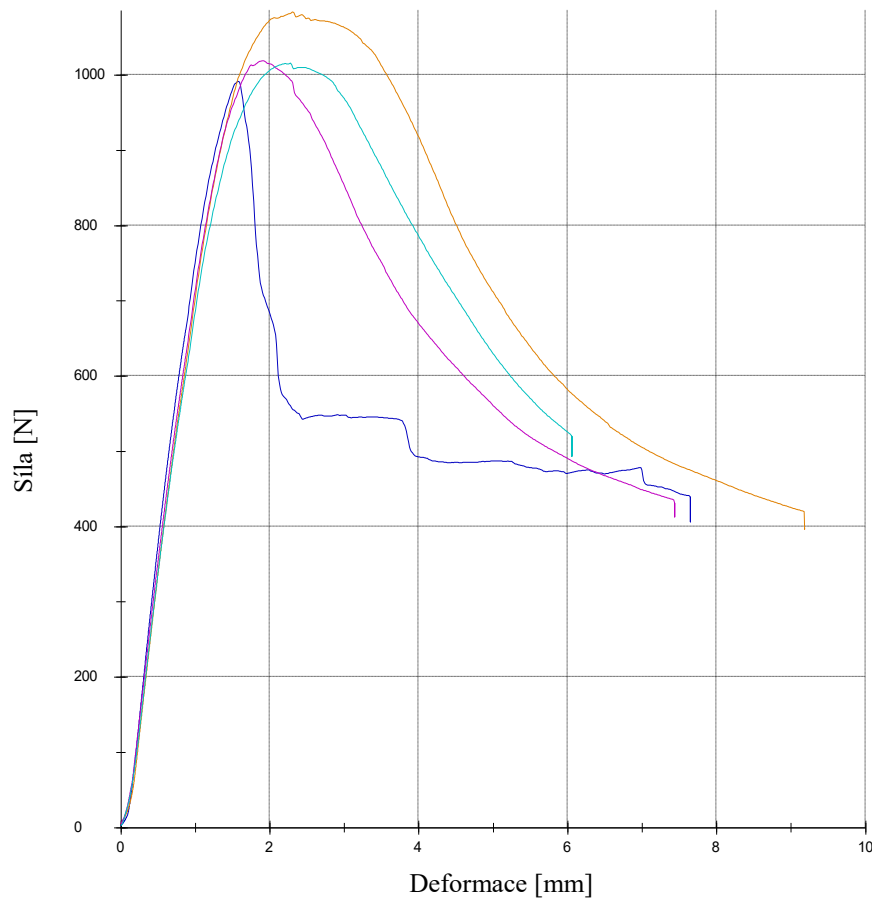
- Zkoušení panelů s hliníkovými potahy po zahřátí na teplotu 70 °C a zchlazení na 20 °C

Tab. 7: Panel 1 Al plech 10/9 oko voštiny (po 70 °C) – naměřené hodnoty

| Počet měření n | E [MPa] | Pevnost v ohybu σ_{fM} [MPa] | ϵ při F_{max} [%] | W při F_{max} [Nmm] | a_0 [mm] | b_0 [mm] |
|---------------------|-----------|-------------------------------------|------------------------------|-------------------------|------------|------------|
| 1 | 10100 | 34,0 | 0,5 | 888,30 | 12,4 | 45 |
| 2 | 9630 | 37,6 | 0,7 | 1606,95 | 12,4 | 45 |
| 3 | 9500 | 35,4 | 0,6 | 1194,50 | 12,4 | 45 |
| 4 | 9280 | 35,2 | 0,7 | 1509,91 | 12,4 | 45 |

Tab. 8: Panel 1 Al plech 10/9 oko voštiny (po 70 °C) – statistické zpracování

| | E [MPa] | Pevnost v ohybu σ_{fM} [MPa] | ϵ při F_{max} [%] | W při F_{max} [Nmm] | a_0 [mm] | b_0 [mm] | F_{max} [N] |
|---|-----------|-------------------------------------|------------------------------|-------------------------|------------|------------|---------------|
| x | 9630,0 | 35,6 | 0,6 | 1299,9 | 12,4 | 45,0 | 1028,0 |
| s | 354,0 | 1,5 | 0,1 | 326,0 | 0,0 | 0,0 | 39,5 |
| v | 3,7 | 4,2 | 17,0 | 25,1 | 0,0 | 0,0 | 3,8 |



Obr. 26: Závislost mezi silou a deformací - Panel 1 Al plech 10/9 oko voštiny (po 70 °C)

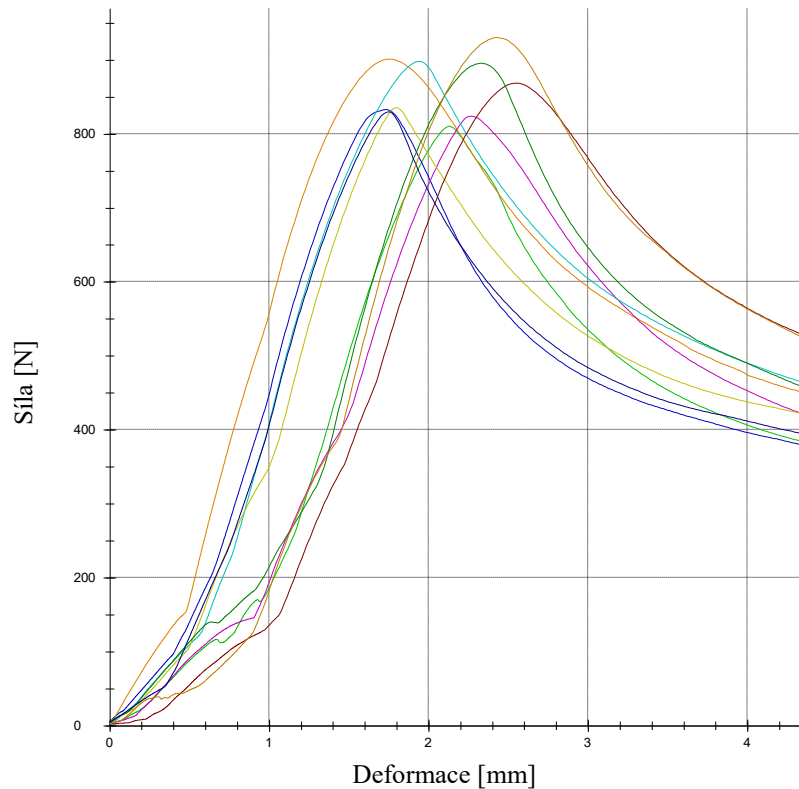
- Zkoušení panelů s ocelovými potahy při teplotě 20 °C

Tab. 9: Panel 0,5 ocelový plech 10/9 oko voštiny (20 °C) – naměřené hodnoty

| Počet měření n | E [MPa] | Pevnost v ohybu σ_{fM} [MPa] | ϵ při F_{max} [%] | W při F_{max} [Nmm] | a_0 [mm] | b_0 [mm] |
|---------------------|-----------|-------------------------------------|------------------------------|-------------------------|------------|------------|
| 1 | 11100 | 34,0 | 0,6 | 679,80 | 11,4 | 44 |
| 2 | 12400 | 35,0 | 0,5 | 671,95 | 11,4 | 44 |
| 3 | 12300 | 37,8 | 0,5 | 821,43 | 11,4 | 44 |
| 4 | 11100 | 34,6 | 0,6 | 741,30 | 11,4 | 44 |
| 5 | 12200 | 37,7 | 0,5 | 812,58 | 11,4 | 44 |
| 6 | 11400 | 35,1 | 0,5 | 643,56 | 11,4 | 44 |
| 7 | 10000 | 36,5 | 0,7 | 886,82 | 11,4 | 44 |
| 8 | 11300 | 37,6 | 0,6 | 885,14 | 11,4 | 44 |
| 9 | 12500 | 34,8 | 0,5 | 638,66 | 11,4 | 44 |
| 10 | 12200 | 39,1 | 0,6 | 908,56 | 11,4 | 44 |

Tab. 10: Panel 0,5 ocelový plech 10/9 oko voštiny (20 °C) – statistické zpracování

| | E [MPa] | Pevnost v ohybu σ_{fM} [MPa] | ϵ při F_{max} [%] | W při F_{max} [Nmm] | a_0 [mm] | b_0 [mm] | F_{max} [N] |
|---|-----------|-------------------------------------|------------------------------|-------------------------|------------|------------|---------------|
| x | 11600,0 | 36,2 | 0,6 | 769,0 | 11,4 | 44,0 | 863,0 |
| s | 801,0 | 1,7 | 0,1 | 106,7 | 0,0 | 0,0 | 41,3 |
| v | 6,9 | 4,8 | 15,1 | 13,9 | 0,0 | 0,0 | 4,8 |



Obr. 27: Závislost mezi silou a deformací – Panel 0,5 ocelový plech 10/9 oko voštiny (20 °C)

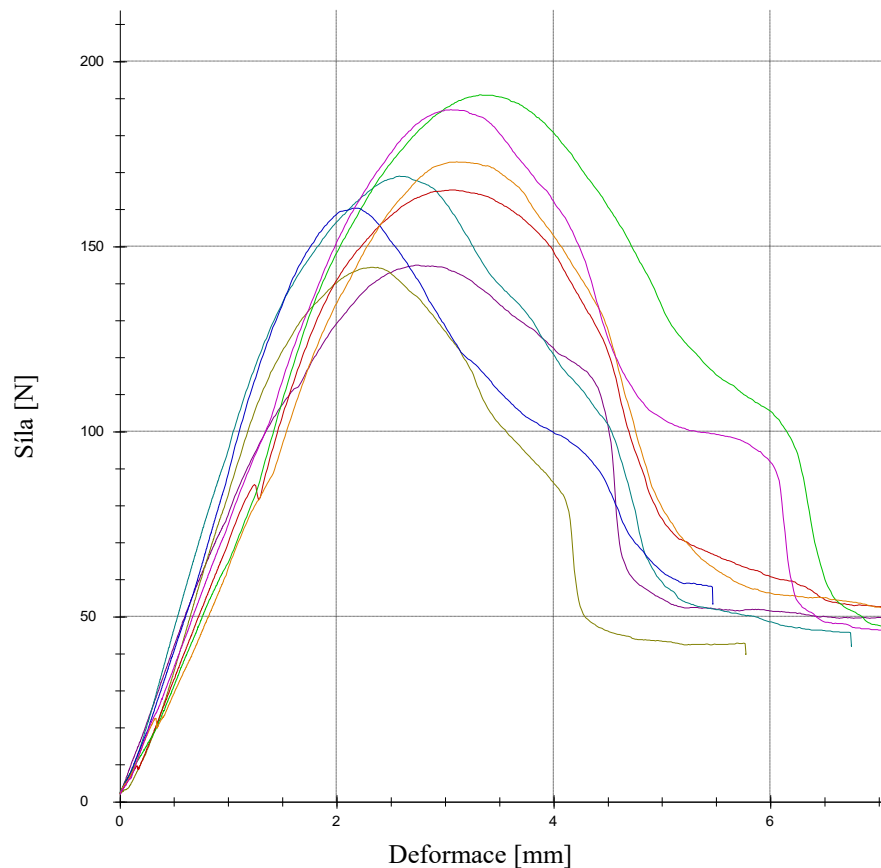
- Zkoušení panelů s ocelovými potahy při teplotě 70 °C

Tab. 11: Panel 0,5 ocelový plech 10/9 oko voštiny (70 °C) – naměřené hodnoty

| Počet měření n | E [MPa] | Pevnost v ohybu σ_{fM} [MPa] | ϵ při F_{max} [%] | W při F_{max} [Nmm] | a_0 [mm] | b_0 [mm] |
|------------------|-----------|-------------------------------------|------------------------------|-------------------------|------------|------------|
| 1 | 1220 | 6,1 | 0,7 | 250,63 | 11,4 | 44 |
| 2 | 1600 | 7,1 | 0,7 | 273,42 | 11,4 | 44 |
| 3 | 1480 | 6,1 | 0,6 | 202,64 | 11,4 | 44 |
| 4 | 1170 | 6,9 | 0,8 | 308,64 | 11,4 | 44 |
| 5 | 1080 | 8,0 | 0,9 | 370,81 | 11,4 | 44 |
| 6 | 1430 | 6,7 | 0,6 | 200,65 | 11,4 | 44 |
| 7 | 928 | 7,3 | 0,8 | 305,83 | 11,4 | 44 |
| 8 | 1200 | 7,9 | 0,8 | 333,90 | 11,4 | 44 |

Tab. 12: Panel 0,5 ocelový plech 10/9 oko voštiny (70 °C) – statistické zpracování

| | E [MPa] | Pevnost v ohybu σ_{fM} [MPa] | ϵ při F_{max} [%] | W při F_{max} [Nmm] | a_0 [mm] | b_0 [mm] | F_{max} [N] |
|---|-----------|--|---------------------------------|-------------------------------|---------------|---------------|---------------|
| x | 1260,0 | 7,0 | 0,7 | 280,8 | 11,4 | 44,0 | 166,9 |
| s | 223,0 | 0,7 | 0,1 | 60,7 | 0,0 | 0,0 | 17,1 |
| v | 17,7 | 10,3 | 14,7 | 21,6 | 0,0 | 0,0 | 10,3 |



Obr. 28: Závislost mezi silou a deformací – Panel 0,5 ocelový plech 10/9 oko voštiny (70 °C)

U lepidla sikaForce - 7701 L20 klesá pevnost při teplotě 70 °C z 36 MPa (20 °C) na 7 MPa pro hliníkový (1 mm) i ocelový (0,5 mm) potah. Pokud se panel zahřeje na 70 °C a poté nechá zchladnout, výsledná pevnost se nezmění oproti tělesu teplotně nezátíženému (35,9 ku 35,6 MPa). Adheze zkušebních těles 1 Al Plech 10/9 a 0,5 ocel 10/9 však nebyla dokonalá ani při 20 °C (pevnost 36 MPa).

Dále byla testována tělesa s nerezovými potahy a s pozinkovanými potahy. Testy byly prováděny teploty $T = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Zkušební tělesa byla nařezána dle normy (ČSN EN ISO 2818: příprava zkušebních těles obráběním). Zkouška ohybem provedena v souladu dle norem ČSN EN ISO 178 a 14125 (ASTM D5467). Rychlost zkoušky 10 mm/min, modul pružnosti v ohybu měřen při $v = 1\text{ mm/min}$. Délka těles 200 mm. Vzdálenost podpěr 160 mm.

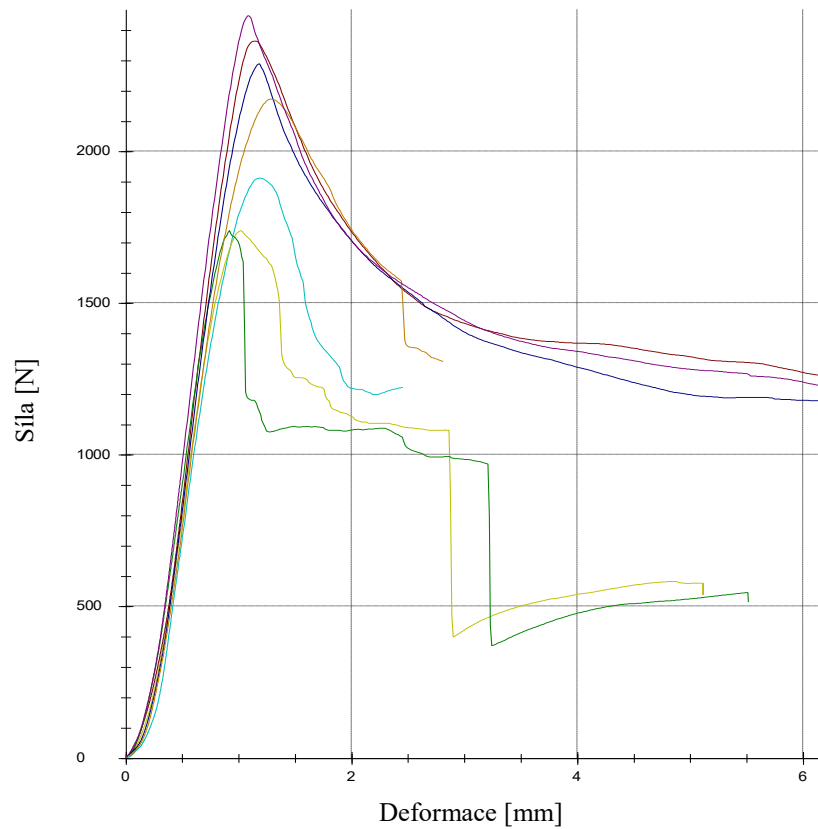
- Zkoušení panelů s nerezovými potahy (teplota $20\text{ }^{\circ}\text{C}$)

Tab. 13: Panel 1 nerez. plech 20,5/6 oko voštiny – naměřené hodnoty

| Počet měření n | E [MPa] | Pevnost v ohybu σ_{fM} [MPa] | ϵ při F_{max} [%] | W při F_{max} [Nmm] | a_0 [mm] | b_0 [mm] |
|------------------|-----------|-------------------------------------|------------------------------|-------------------------|------------|------------|
| 1 | 5590 | 20,9 | 0,6 | 1133,19 | 22,5 | 43,5 |
| 2 | 5260 | 19,0 | 0,5 | 859,50 | 22,5 | 43,5 |
| 3 | 5790 | 25,8 | 0,6 | 1290,80 | 22,5 | 43,5 |
| 4 | 5620 | 19,0 | 0,5 | 756,71 | 22,5 | 43,5 |
| 5 | 5830 | 25,0 | 0,6 | 1298,22 | 22,5 | 43,5 |
| 6 | 5230 | 23,7 | 0,7 | 1437,81 | 22,5 | 43,5 |
| 7 | 6340 | 26,7 | 0,6 | 1235,54 | 22,5 | 43,5 |

Tab. 14: Panel 1 nerez. plech 20,5/6 oko voštiny – statistické zpracování

| | E [MPa] | Pevnost v ohybu σ_{fM} [MPa] | ϵ při F_{max} [%] | W při F_{max} [Nmm] | a_0 [mm] | b_0 [mm] | F_{max} [N] |
|---|-----------|-------------------------------------|------------------------------|-------------------------|------------|------------|---------------|
| x | 5660,0 | 22,8 | 0,6 | 1144,5 | 22,5 | 43,5 | 2096,0 |
| s | 380,0 | 3,2 | 0,1 | 248,7 | 0,0 | 0,0 | 296,5 |
| v | 6,7 | 14,2 | 11,0 | 21,7 | 0,0 | 0,0 | 14,2 |



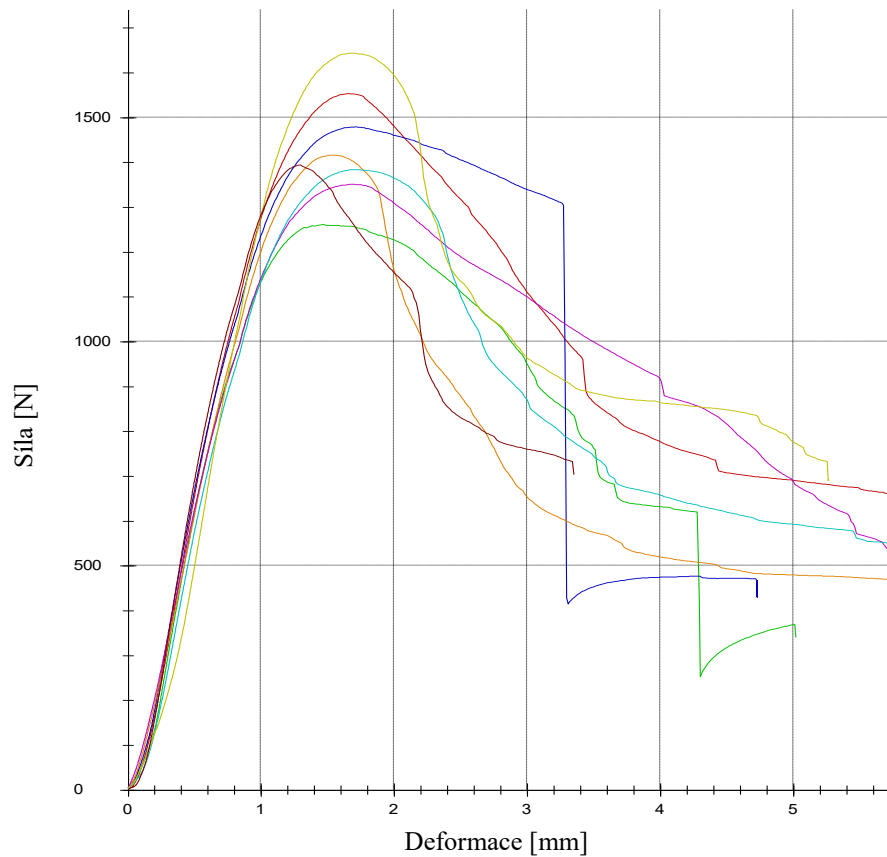
Obr. 29: Závislost mezi silou a deformací - Panel 1 nerez. plech 20,5/6 oko voštiny

Tab. 15: Panel 1 nerez. plech 11,5/9 oko voštiny – naměřené hodnoty

| Počet měření n | E [MPa] | Pevnost v ohybu σ_{fM} [MPa] | ϵ při F_{max} [%] | W při F_{max} [Nmm] | a_0 [mm] | b_0 [mm] |
|------------------|-----------|-------------------------------------|------------------------------|-------------------------|------------|------------|
| 1 | 14300 | 45,6 | 0,5 | 1588,85 | 13,5 | 44,9 |
| 2 | 13400 | 37,0 | 0,5 | 1142,12 | 13,5 | 44,9 |
| 3 | 13700 | 43,4 | 0,5 | 1640,24 | 13,5 | 44,9 |
| 4 | 12800 | 41,6 | 0,5 | 1322,36 | 13,5 | 44,9 |
| 5 | 12100 | 39,6 | 0,5 | 1473,32 | 13,5 | 44,9 |
| 6 | 13000 | 40,6 | 0,5 | 1489,52 | 13,5 | 44,9 |
| 7 | 13900 | 48,2 | 0,5 | 1614,39 | 13,5 | 44,9 |
| 8 | 14800 | 40,9 | 0,4 | 1050,55 | 13,5 | 44,9 |

Tab. 16: Panel 1 nerez. plech 11,5/9 oko voštiny – statistické zpracování

| | E [MPa] | Pevnost v ohybu σ_{fM} [MPa] | ϵ při F_{max} [%] | W při F_{max} [Nmm] | a_0 [mm] | b_0 [mm] | F_{max} [N] |
|---|-----------|-------------------------------------|------------------------------|-------------------------|------------|------------|---------------|
| x | 13500,0 | 42,1 | 0,5 | 1415,2 | 13,5 | 44,9 | 1436,0 |
| s | 869,0 | 3,5 | 0,0 | 222,2 | 0,0 | 0,0 | 120,3 |
| v | 6,4 | 8,4 | 9,5 | 15,7 | 0,0 | 0,0 | 8,4 |



Obr. 30: Závislost mezi silou a deformací - Panel 1 nerez. plech 11,5/9 oko voštiny

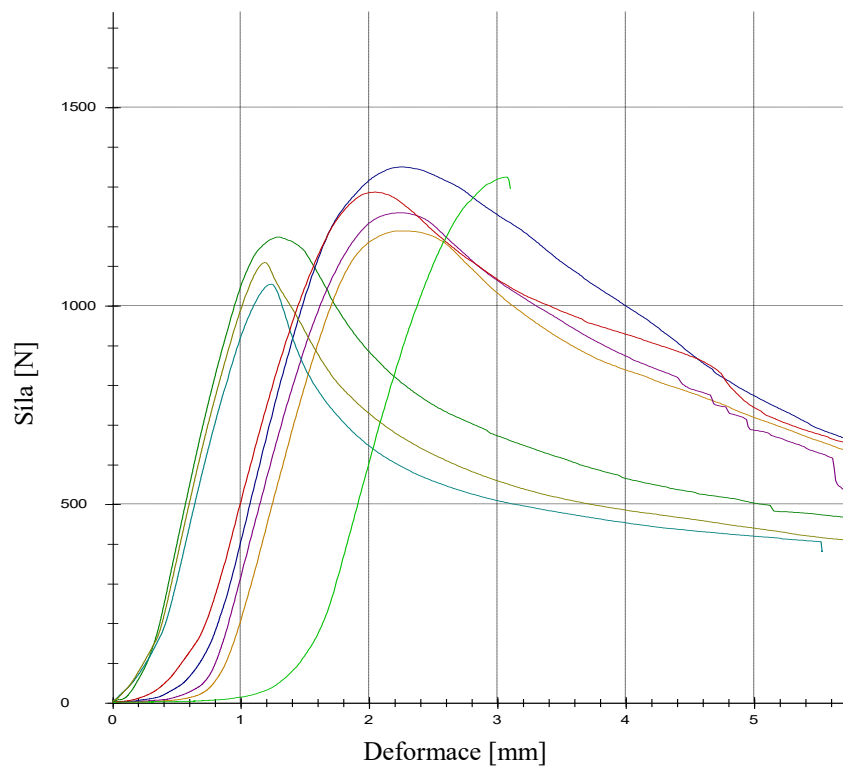
- Zkoušení panelů s pozinkovanými potahy (při teplotě 20 °C)

Tab. 17: Panel 0,5 pozink. plech 10/9 oko voštiny – naměřené hodnoty

| Počet měření n | E [MPa] | Pevnost v ohybu σ_{fM} [MPa] | ϵ při F_{max} [%] | W při F_{max} [Nmm] | a_0 [mm] | b_0 [mm] |
|------------------|-----------|-------------------------------------|------------------------------|-------------------------|------------|------------|
| 1 | 15800 | 40,2 | 0,4 | 771,94 | 12,5 | 44,8 |
| 2 | 15000 | 46,3 | 0,7 | 1395,28 | 12,5 | 44,8 |
| 3 | 14200 | 40,8 | 0,7 | 1072,79 | 12,5 | 44,8 |
| 4 | 14100 | 42,3 | 0,7 | 1200,69 | 12,5 | 44,8 |
| 5 | 13100 | 36,2 | 0,4 | 612,41 | 12,5 | 44,8 |
| 6 | 14400 | 38,0 | 0,3 | 608,25 | 12,5 | 44,8 |
| 7 | 13200 | 44,1 | 0,6 | 1195,59 | 12,5 | 44,8 |
| 8 | 13900 | 45,4 | 0,9 | 1341,87 | 12,5 | 44,8 |

Tab. 18: Panel 0,5 pozink. plech 10/9 oko voštiny – statistické zpracování

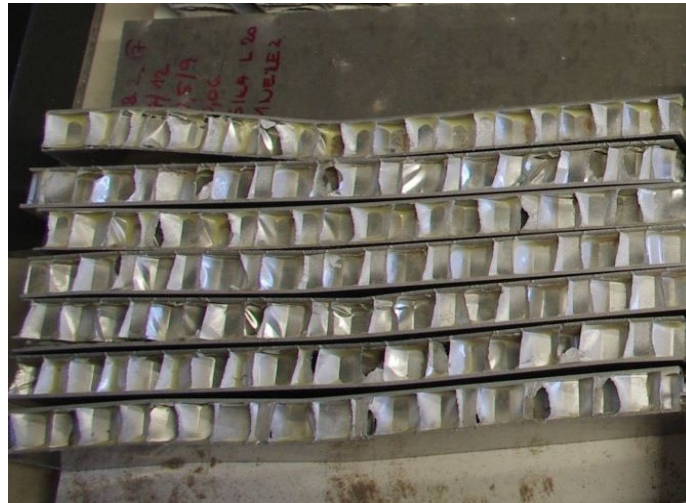
| | E [MPa] | Pevnost v ohybu σ_{fM} [MPa] | ε při F_{max} [%] | W při F_{max} [Nmm] | a_0 [mm] | b_0 [mm] | F_{max} [N] |
|---|-----------|-------------------------------------|---------------------------------|-------------------------|------------|------------|---------------|
| x | 14200,0 | 41,7 | 0,6 | 1024,9 | 12,5 | 44,8 | 1216,0 |
| s | 882,0 | 3,6 | 0,2 | 318,0 | 0,0 | 0,0 | 103,6 |
| v | 6,2 | 8,5 | 34,0 | 31,0 | 0,0 | 0,0 | 8,5 |



Obr. 31: Závislost mezi silou a deformací - Panel 0,5 pozink. plech 10/9 oko voštiny



Obr. 32: Tělesa po zkoušce - Panel 1 nerez. plech 20,5/6 oko voštiny



Obr. 33: Tělesa po zkoušce - Panel 1 nerez. plech 11,5/9 oko voštiny



Obr. 34: Tělesa po zkoušce - Panel 0,5 pozink. plech 10/9 oko voštiny

Adheze lepidla k potahům byla průměrná, docházelo k předčasné separaci, jen někdy došlo k lokálnímu prolomení potahu (Obr. 32 až 34). Pro zkušební tělesa Panel 1 nerez. plech 20,5/6 oko voštiny byla průměrná hodnota pevnosti v ohybu 22,8 MPa, pro zkušební tělesa Panel 1 nerez. plech 11,5/9 oko voštiny 42,1 MPa a pro zkušební tělesa Panel 0,5 pozink. plech 10/9 oko voštiny 41,7 MPa.

7.2 Zkušební tělesa – lepidlo sikaForce - 7710 L35

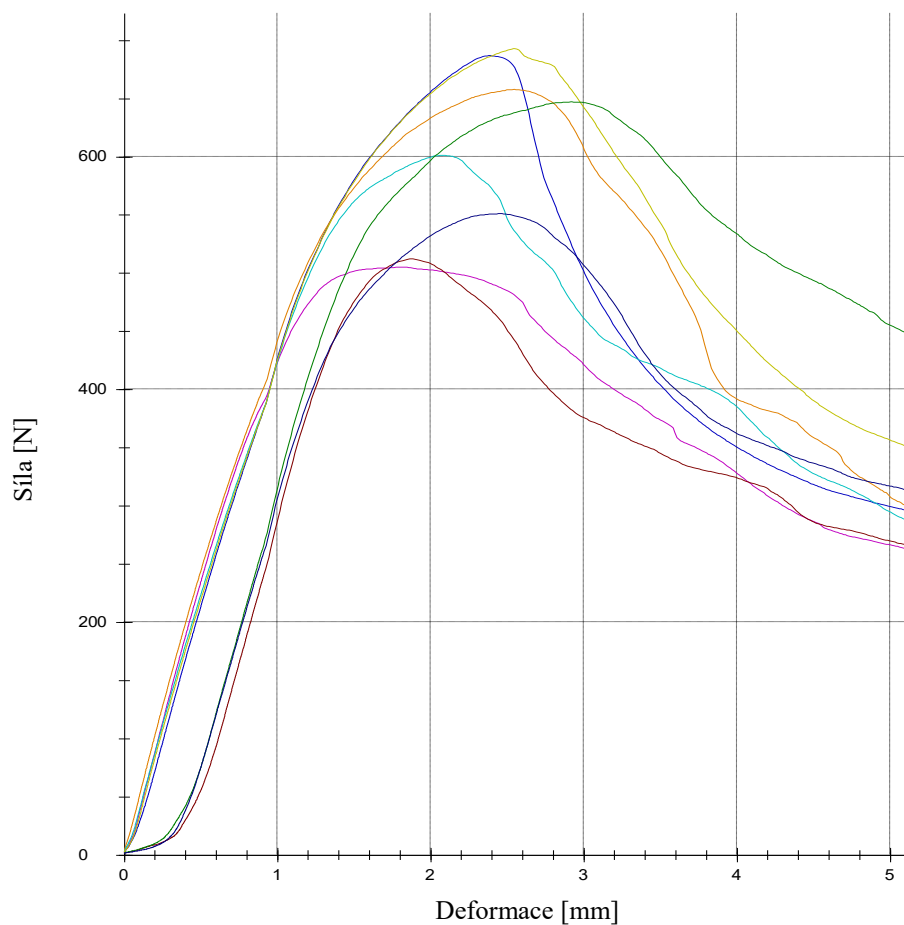
Pro lepidlo sikaForce - 7710 L35 byla provedena statická zkouška v ohybu u dvou typů celohliníkových zkušebních těles za pokojové teploty $T = 20\text{ °C}$. Zkušební tělesa byla nařezána dle normy (ČSN EN ISO 2818: příprava zkušebních těles obráběním). Zkouška ohybem provedena v souladu dle norem ČSN EN ISO 178 a 14125 (ASTM D5467). Rychlost zkoušky 10 mm/min, modul pružnosti v ohybu měřen při $v = 1\text{ mm/min}$. Délka těles 200 mm. Vzdálenost podpěr 160 mm.

Tab. 19: Panel 1 Al plech 10/9 oko voštiny – naměřené hodnoty

| Počet měření n | E [MPa] | Pevnost v ohybu σ_{fM} [MPa] | ϵ při F_{max} [%] | W při F_{max} [Nmm] | a_0 [mm] | b_0 [mm] |
|------------------|-----------|-------------------------------------|------------------------------|-------------------------|------------|------------|
| 1 | 5740 | 25,1 | 0,7 | 1033,64 | 12,0 | 45,6 |
| 2 | 5570 | 24,1 | 0,7 | 1150,64 | 12,0 | 45,6 |
| 3 | 5720 | 18,5 | 0,5 | 623,70 | 12,0 | 45,6 |
| 4 | 5470 | 22,0 | 0,6 | 805,22 | 12,0 | 45,6 |
| 5 | 5530 | 25,3 | 0,7 | 1153,72 | 12,0 | 45,6 |
| 6 | 6280 | 18,7 | 0,5 | 476,63 | 12,0 | 45,6 |
| 7 | 6270 | 23,7 | 0,8 | 1185,10 | 12,0 | 45,6 |
| 8 | 5930 | 20,1 | 0,7 | 799,14 | 12,0 | 45,6 |

Tab. 20: Panel 1 Al plech 10/9 oko voštiny – statistické zpracování

| | E [MPa] | Pevnost v ohybu σ_{fM} [MPa] | ϵ při F_{max} [%] | W při F_{max} [Nmm] | a_0 [mm] | b_0 [mm] | F_{max} [N] |
|---|-----------|-------------------------------------|------------------------------|-------------------------|------------|------------|---------------|
| x | 5810,0 | 22,2 | 0,7 | 903,5 | 12,0 | 45,6 | 607,0 |
| s | 318,0 | 2,8 | 0,1 | 267,5 | 0,0 | 0,0 | 76,0 |
| v | 5,5 | 12,5 | 16,2 | 29,6 | 0,0 | 0,0 | 12,5 |



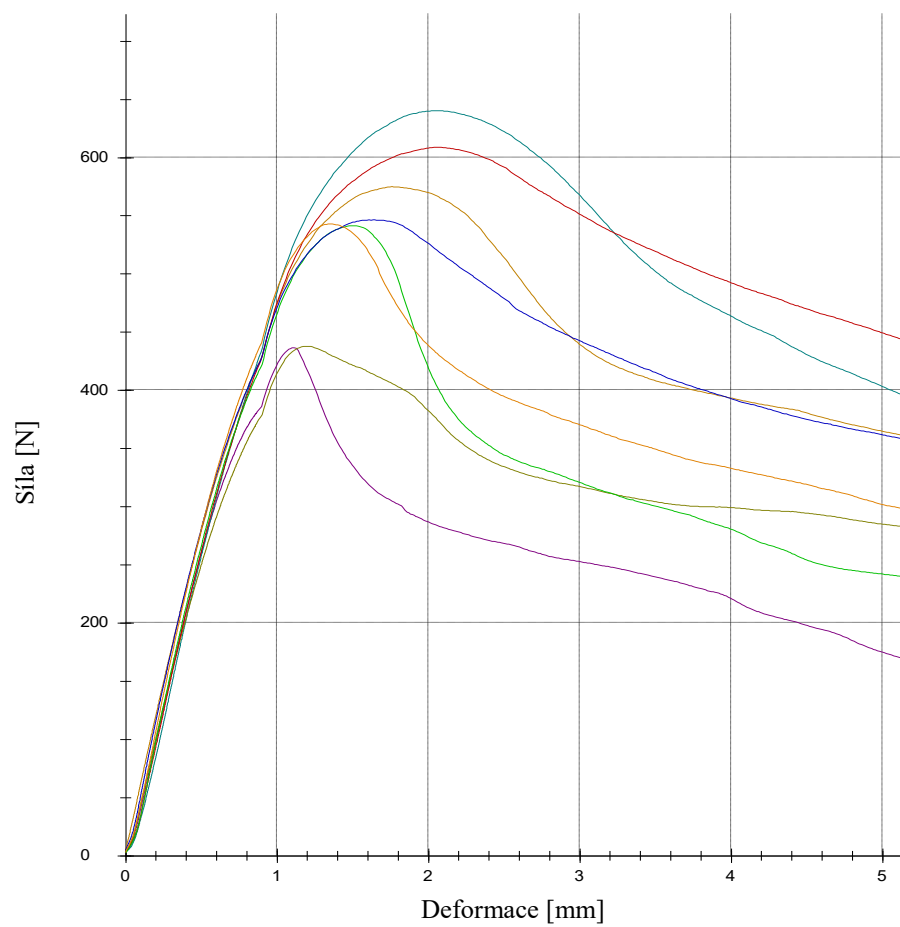
Obr. 35: Závislost mezi silou a deformací - Panel 1 Al plech 10/9 oko voštiny

Tab. 21: Panel 1 Al plech 10/15 oko voštiny – naměřené hodnoty

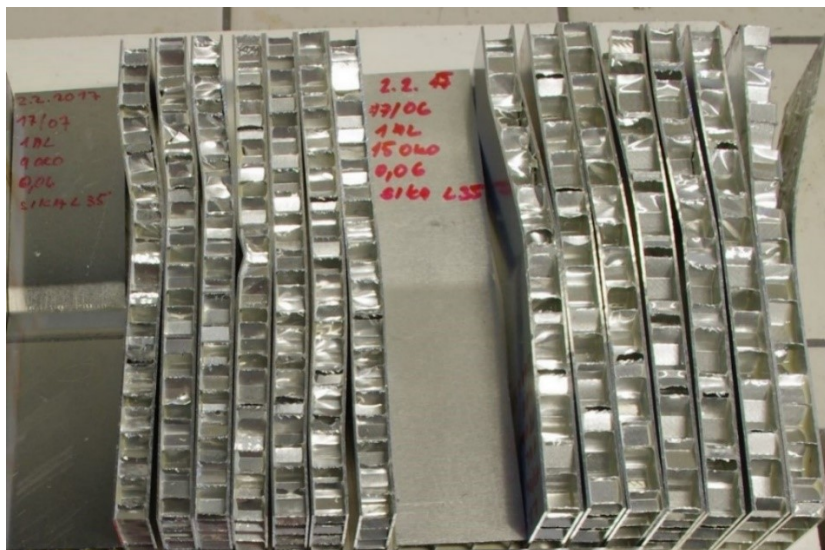
| Počet měření n | E [MPa] | Pevnost v ohybu σ_{fM} [MPa] | ϵ při F_{max} [%] | W při F_{max} [Nmm] | a_0 [mm] | b_0 [mm] |
|------------------|-----------|-------------------------------------|------------------------------|-------------------------|------------|------------|
| 1 | 6090 | 19,4 | 0,5 | 676,21 | 12,5 | 45,6 |
| 2 | 6290 | 14,7 | 0,3 | 286,96 | 12,5 | 45,6 |
| 3 | 5950 | 21,6 | 0,6 | 881,27 | 12,5 | 45,6 |
| 4 | 5740 | 14,8 | 0,4 | 318,67 | 12,5 | 45,6 |
| 5 | 6460 | 20,5 | 0,6 | 854,60 | 12,5 | 45,6 |
| 6 | 6490 | 18,2 | 0,4 | 506,92 | 12,5 | 45,6 |
| 7 | 6380 | 18,4 | 0,5 | 580,19 | 12,5 | 45,6 |
| 8 | 6690 | 18,3 | 0,4 | 447,75 | 12,5 | 45,6 |

Tab. 22: Panel 1 Al plech 10/15 oko voštiny – statistické zpracování

| | E [MPa] | Pevnost v ohybu σ_{fM} [MPa] | ε při F_{max} [%] | W při F_{max} [Nmm] | a_0 [mm] | b_0 [mm] | F_{max} [N] |
|---|-----------|--|------------------------------------|-------------------------------|------------|------------|---------------|
| x | 6260,0 | 18,2 | 0,5 | 569,1 | 12,5 | 45,6 | 541,3 |
| s | 315,0 | 2,5 | 0,1 | 224,1 | 0,0 | 0,0 | 72,9 |
| v | 5,0 | 13,5 | 22,9 | 39,4 | 0,0 | 0,0 | 13,5 |



Obr. 36: Závislost mezi silou a deformací - Panel 1 Al plech 10/15 oko voštiny



Obr. 37: Tělesa po zkoušce - Panel 1 Al plech 10/9 oko voštiny a Panel 1 Al plech 10/15 oko voštiny

U lepidla sikaForce - 7710 L35 byla adheze lepidla k potahům průměrná. Docházelo k předčasné separaci, jen někdy došlo k lokálnímu prolomení potahu (Obr. 37). Pro zkušební tělesa Panel 1 Al plech 10/9 oko voštiny byla průměrná hodnota pevnosti v ohybu 22,2 MPa a pro zkušební tělesa Panel 1 Al plech 10/15 oko voštiny 18,2 MPa.

7.3 Zkušební tělesa – lepidlo KFL 130 – 5M

Analýze byl podroben 1 typ celohliníkových sendvičových struktur. Zkušební tělesa nařezána (ČSN EN ISO 2818: příprava zkušebních těles obráběním). Zkušební tělesa byla testována při teplotách 23 °C a 70 °C. Relativní vlhkost byla 50 %. Zkouška ohybem provedena v souladu dle norem ČSN EN ISO 178 a 14125 (ASTM D5467). Rychlost zkoušky 10 mm/min, modul pružnosti v ohybu měřen při $v = 1$ mm/min. Zkušební zařízení Zwick, siloměrná hlava 20 kN. Délka těles 200 mm. Vzdálenost podpěr 160 mm.

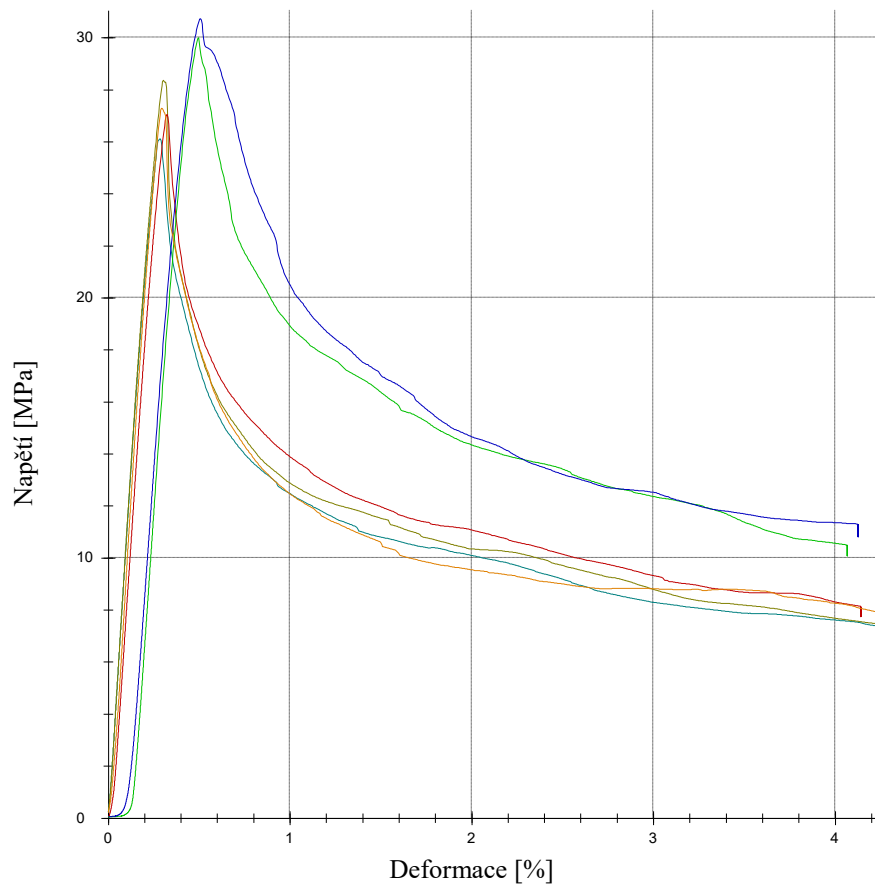
- Zkoušení panelů s hliníkovými potahy při teplotě 23 °C

Tab. 23: Panel 1 Al plech 11,5/9 oko voštiny (23 °C) – naměřené hodnoty

| Počet měření n | E [MPa] | σ_k při 0.2 % plastické de- formace [MPa] | Pevnost v ohybu σ_{fM} [MPa] | ϵ při F_{max} [%] | W při F_{max} [Nmm] | a_0 [mm] | b_0 [mm] |
|---------------------|--------------|--|---|------------------------------------|-------------------------------|---------------|---------------|
| 1 | 9760 | 20,1 | 26,1 | 0,3 | 473,65 | 13,7 | 45,7 |
| 2 | 10030 | 20,9 | 28,4 | 0,3 | 536,87 | 13,7 | 45,7 |
| 3 | 10020 | 20,6 | 27,1 | 0,3 | 508,75 | 13,7 | 45,7 |
| 4 | 10150 | 23,4 | 30,0 | 0,5 | 705,85 | 13,7 | 45,7 |
| 5 | 9664 | 27,6 | 30,7 | 0,5 | 802,55 | 13,7 | 45,7 |
| 6 | 10500 | 20,7 | 27,3 | 0,3 | 471,90 | 13,7 | 45,7 |

Tab. 24: Panel 1 Al plech 11,5/9 oko voštiny (23 °C) – statistické zpracování

| | E [MPa] | Síla F při 0.2 % plastické deformace [N] | Pevnost v ohybu σ_{fM} [MPa] | ϵ při F_{max} [%] | W při F_{max} [Nmm] | F_{max} [N] |
|---|-----------|--|-------------------------------------|------------------------------|-------------------------|---------------|
| x | 10020,0 | 851,1 | 28,3 | 0,4 | 583,3 | 1050,0 |
| s | 303,3 | 137,7 | 1,8 | 0,1 | 138,0 | 67,0 |
| v | 3,0 | 16,2 | 6,4 | 25,0 | 23,7 | 6,4 |



Obr. 38: Závislost mezi napětím a poměrnou deformací - Panel 1 Al plech 11,5/9 oko voštiny (23 °C)

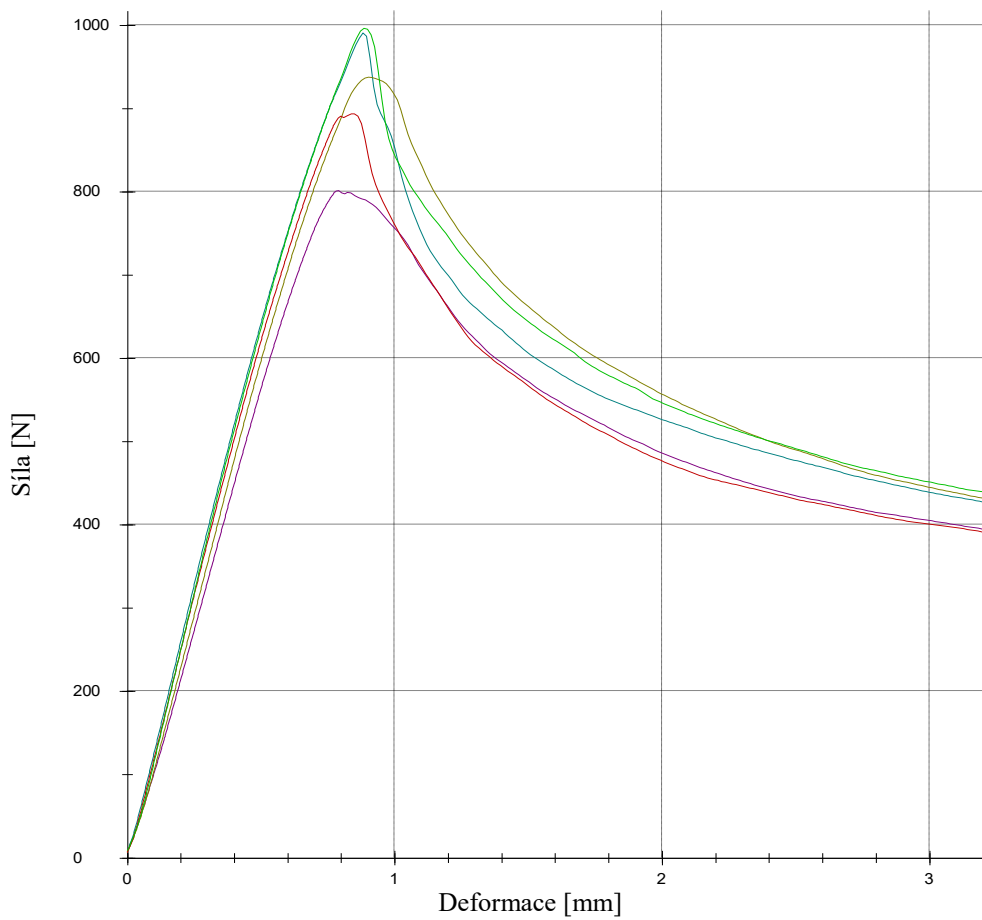
- Zkoušení panelů s hliníkovými potahy při teplotě 70 °C

Tab. 25: Panel 1 Al plech 11,5/9 oko voštiny (70 °C) – naměřené hodnoty

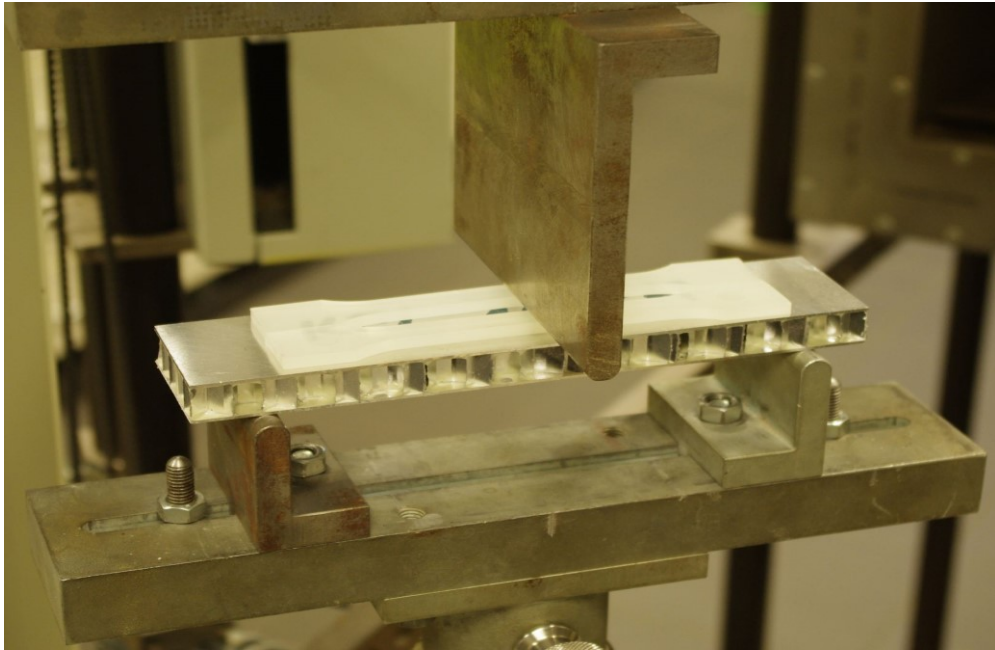
| Počet měření n | E [MPa] | Pevnost v ohybu σ_{fM} [MPa] | ϵ při F_{max} [%] | W při F_{max} [Nmm] | a_0 [mm] | b_0 [mm] |
|------------------|-----------|-------------------------------------|------------------------------|-------------------------|------------|------------|
| 1 | 8860 | 21,6 | 0,3 | 342,14 | 13,7 | 45,7 |
| 2 | 9660 | 26,7 | 0,3 | 479,90 | 13,7 | 45,7 |
| 3 | 9450 | 25,2 | 0,3 | 466,79 | 13,7 | 45,7 |
| 4 | 9360 | 24,1 | 0,3 | 431,56 | 13,7 | 45,7 |
| 5 | 9800 | 26,8 | 0,3 | 479,83 | 13,7 | 45,7 |

Tab. 26: Panel 1 Al plech 11,5/9 oko voštiny (70 °C) – statistické zpracování

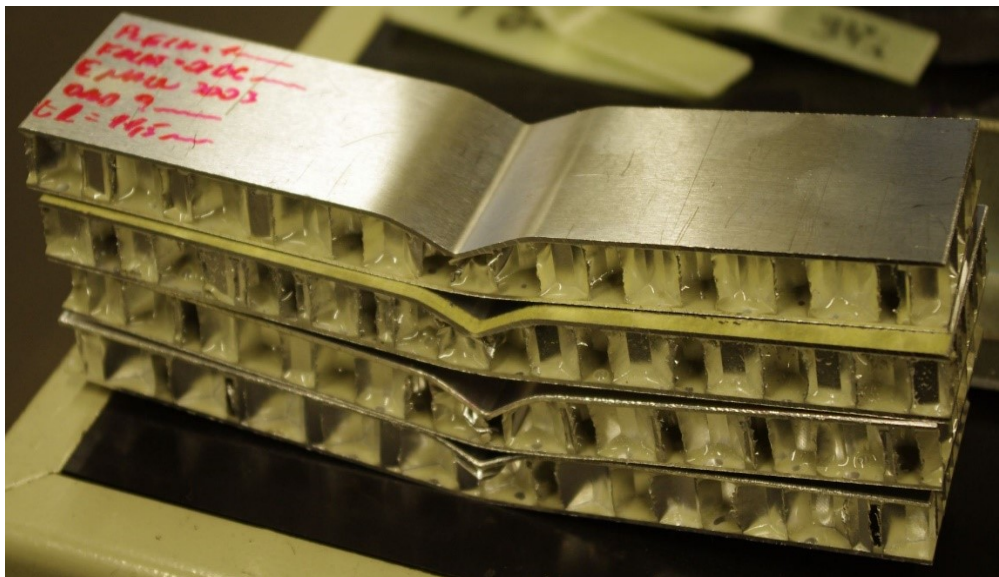
| | E [MPa] | Pevnost v ohybu σ_{fM} [MPa] | ϵ při F_{max} [%] | W při F_{max} [Nmm] | a_0 [mm] | b_0 [mm] | F_{max} [N] |
|---|--------------|---|---------------------------------|-------------------------------|---------------|---------------|------------------|
| x | 9430,0 | 24,9 | 0,3 | 440,1 | 14,0 | 45,5 | 924,4 |
| s | 362,0 | 2,2 | 0,0 | 58,2 | 0,0 | 0,0 | 80,4 |
| v | 3,8 | 8,7 | 0,0 | 13,2 | 0,0 | 0,0 | 8,7 |



Obr. 39: Závislost mezi silou a deformací - Panel 1 Al plech 11,5/9 oko voštiny (70 °C)



Obr. 40: Zkušební těleso při zkoušce - Panel 1 Al plech 11,5/9 oko voštiny (20 °C)



Obr. 41: Zkušební tělesa po zkoušce - Panel 1 Al plech 11,5/9 oko voštiny (20 °C)

Adheze lepidla k potahům u celohliníkových zkušebních vzorků lepených lepidlem KFL 130 je po zkoušce ohybem výborná. Dochází pouze ke zborcení voštiny bez separace od vnějších potahů. Pro eliminaci zborcení byla u 2 těles použita podložka z PP, došlo pouze k mírnému navýšení pevnosti.

Naproti lepidlu sikaForce - 7701 L20 foliové lepidlo KFL130 vykazuje při teplotě 70 °C jen malý pokles pevnosti z 28,3Mpa (20 °C) na 24,9 MPa.

7.4 Zkušební tělesa – lepidlo Huntsman

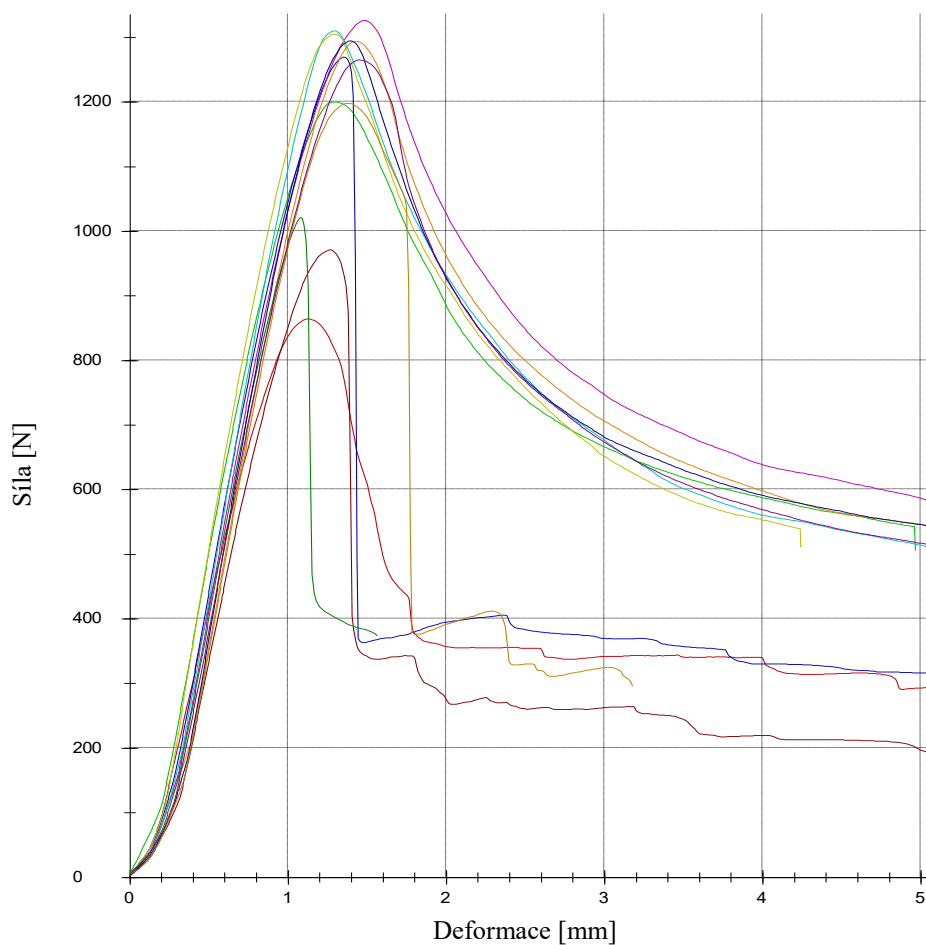
Analýze byl podroben 1 typ celohliníkových sendvičových struktur. Zkušební tělesa nařezána (ČSN EN ISO 2818: příprava zkušebních těles obráběním). Teplota během zkoušení byla 20 °C. Zkouška ohybem provedena v souladu dle norem ČSN EN ISO 178 a 14125 (ASTM D5467). Rychlost zkoušky 10 mm/min, modul pružnosti v ohybu měřen při $v = 1$ mm/min. Délka těles 200 mm. Vzdálenost podpěr 160 mm.

Tab. 27: Panel 1 Al plech 12,5/9 oko voštiny – naměřené hodnoty

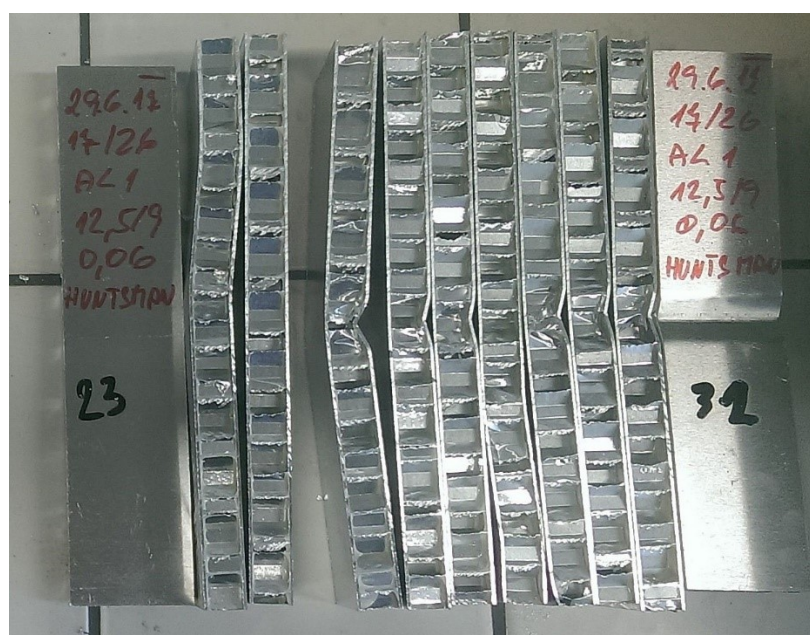
| Počet měření n | E [MPa] | Pevnost v ohybu σ_{fM} [MPa] | ϵ při F_{max} [%] | W při F_{max} [Nmm] | a_0 [mm] | b_0 [mm] |
|------------------|-----------|-------------------------------------|------------------------------|-------------------------|------------|------------|
| 1 | 7300 | 20,7 | 0,4 | 513,84 | 14,9 | 45,2 |
| 2 | 8830 | 28,7 | 0,5 | 837,57 | 14,9 | 45,2 |
| 3 | 8590 | 30,4 | 0,5 | 876,82 | 14,9 | 45,2 |
| 4 | 7440 | 31,0 | 0,5 | 915,81 | 14,9 | 45,2 |
| 5 | 8300 | 31,7 | 0,5 | 1026,58 | 14,9 | 45,2 |
| 6 | 8700 | 31,3 | 0,4 | 820,70 | 14,9 | 45,2 |
| 7 | 9590 | 31,2 | 0,5 | 889,41 | 14,9 | 45,2 |
| 8 | 7050 | 23,2 | 0,4 | 605,96 | 14,9 | 45,2 |
| 9 | 8170 | 24,4 | 0,4 | 505,27 | 14,9 | 45,2 |
| 10 | 8100 | 31,0 | 0,5 | 899,33 | 14,9 | 45,2 |
| 11 | 7630 | 28,7 | 0,5 | 819,93 | 14,9 | 45,2 |
| 12 | 7890 | 30,3 | 0,5 | 941,43 | 14,9 | 45,2 |

Tab. 28: Panel 1 Al plech 12,5/9 oko voštiny – statistické zpracování

| | E [MPa] | Pevnost v ohybu σ_{fM} [MPa] | ϵ při F_{max} [%] | W při F_{max} [Nmm] | a_0 [mm] | b_0 [mm] | F_{max} [N] |
|---|-----------|-------------------------------------|------------------------------|-------------------------|------------|------------|---------------|
| x | 8130,0 | 28,5 | 0,5 | 804,4 | 14,9 | 45,2 | 1194,4 |
| s | 727,0 | 3,7 | 0,0 | 169,7 | 0,0 | 0,0 | 155,3 |
| v | 8,9 | 13,0 | 9,4 | 21,1 | 0,0 | 0,0 | 13,0 |



Obr. 42: Závislost mezi silou a deformací - Panel 1 Al plech 12,5/9 oko voštiny



Obr. 43: Tělesa po zkoušce - Panel 1 Al plech 12,5/9 oko voštiny

U lepidla Huntsman bylo dosaženo uspokojivých výsledků ve většině případů (pevnost okolo 31 MPa) pouze 3 tělesa vykázala nižší adhezi lepidla k potahu (pevnost 23 MPa). Po podrobnějším prozkoumání dodaných vzorků bylo zjištěno, že tělesa lepená lepidlem Huntsman byla nařezána ve směru podélném ke směru voštiny, zatímco tělesa lepená jinými lepidly byla nařezána ve směru příčném ke směru voštiny. Vlastnosti ve směru podélném a příčném se liší a výsledky se pak nedají plnohodnotně porovnávat s jinými zkušebními tělesy.

7.5 Zkušební tělesa – lepidlo H. B. Fuller

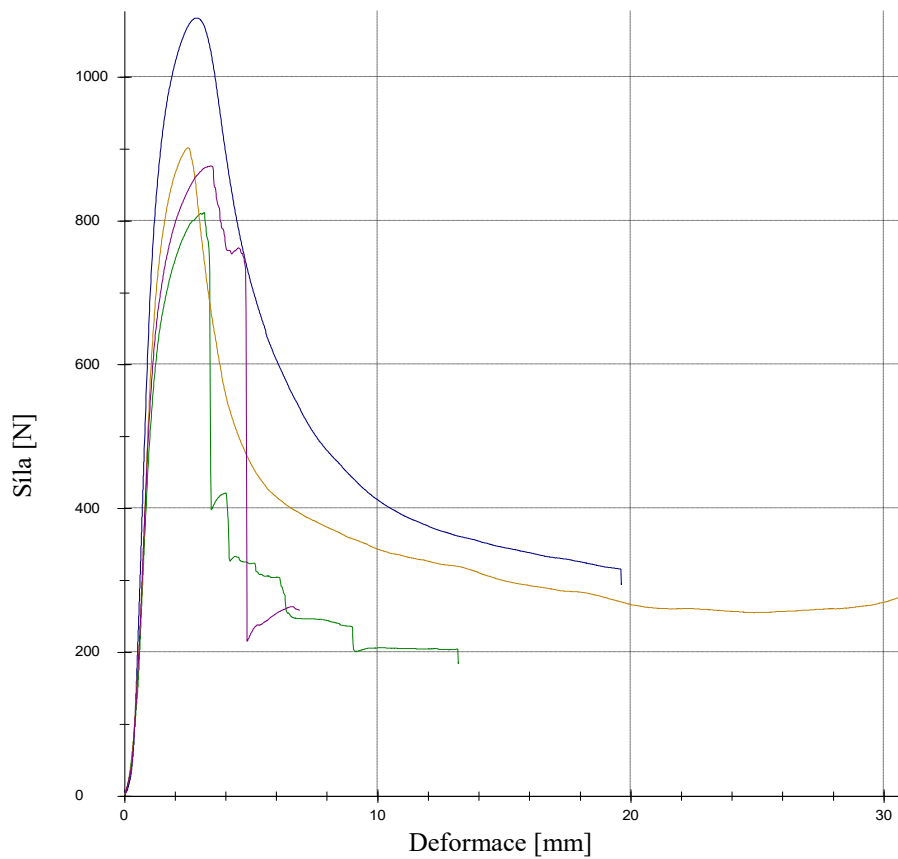
Analýze byl podroben 1 typ celohliníkových sendvičových struktur. Zkušební tělesa nařezána (ČSN EN ISO 2818: příprava zkušebních těles obráběním). Testy byly prováděny za pokojové teploty $T = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Zkouška ohybem provedena v souladu dle norem ČSN EN ISO 178 a 14125 (ASTM D5467). Rychlost zkoušky 10 mm/min, modul pružnosti v ohybu měřen při $v = 1\text{ mm/min}$. Výška sendviče 14 mm. Délka těles 200 mm. Vzdálenost podpěr 160 mm.

Tab. 29: Panel 1 Al plech 11,5/9 oko voštiny – naměřené hodnoty

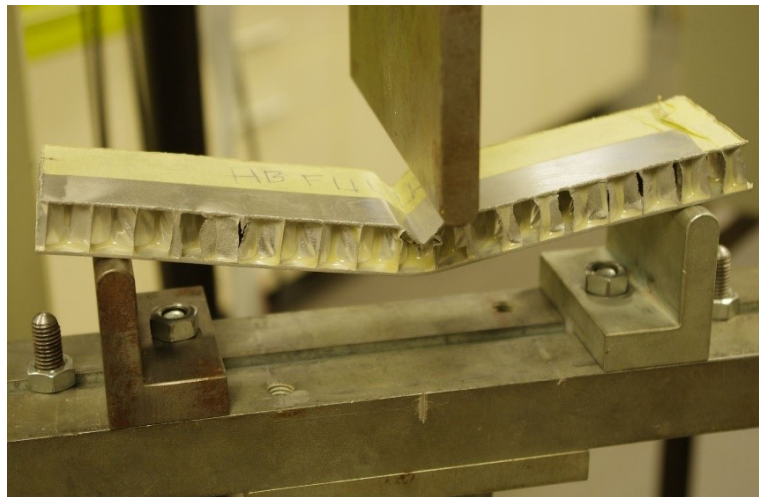
| Počet měření n | E [MPa] | σ_k při 0.2 % plastické deformace [MPa] | Pevnost v ohybu σ_{fM} [MPa] | ϵ při F_{max} [%] | W při F_{max} [Nmm] | a_0 [mm] | b_0 [mm] |
|---------------------|-----------|---|--|---------------------------------|-------------------------------|------------|------------|
| 1 | 4290 | 21,4 | 22,3 | 1,0 | 1749,66 | 14,0 | 44,5 |
| 2 | 6580 | 28,6 | 29,8 | 0,9 | 2010,38 | 14,0 | 44,5 |
| 2 | 4670 | 24,7 | 24,8 | 0,8 | 1406,10 | 14,0 | 44,5 |
| 4 | 4800 | 22,6 | 24,1 | 1,1 | 2116,94 | 14,0 | 44,5 |

Tab. 30: Panel 1 Al plech 11,5/9 oko voštiny – statistické zpracování

| | E [MPa] | σ_k při 0.2 % plastické deformace [MPa] | Pevnost v ohybu σ_{fM} [MPa] | ϵ při F_{max} [%] | W při F_{max} [Nmm] | a_0 [mm] | b_0 [mm] | F_{max} [N] |
|---|-----------|---|--|------------------------------------|-------------------------------|---------------|---------------|---------------|
| x | 5080,0 | 24,3 | 25,3 | 1,0 | 1820,8 | 14,0 | 44,5 | 918,2 |
| s | 1020,0 | 3,2 | 3,2 | 0,1 | 316,0 | 0,0 | 0,0 | 115,9 |
| v | 20,1 | 13,1 | 12,6 | 13,6 | 17,4 | 0,0 | 0,0 | 12,63 |



Obr. 44: Závislost mezi silou a deformací - Panel 1 Al plech 11,5/9 oko voštiny



Obr. 45: Zkušební těleso po zkoušce - Panel 1 Al plech 11,5/9 oko voštiny

Pevnost spoje je poměrně dobrá, ale ne vysoká. Adheze nebyla u některých těles dobrá, docházelo k separaci voštiny od potahu. Pro zkušební tělesa Panel 1 Al plech 11,5/9 oko voštiny byla průměrná hodnota pevnosti v ohybu 24,3 MPa. Podobný výsledek byl naměřen pro zkušební tělesa KFL 130 při 23 °C (28,3 MPa).

8 VYHODNOCENÍ NAMĚŘENÝCH VÝSLEDKŮ

8.1 Únosnost vybraných zkušebních panelů – přepočet na 1 m²

Ze zkoušek ohybem pro vybrané testované sendviče různých typů a lepených různými lepidly byla z grafů stanovena síla F_{DOV} [N] při které ještě nedochází k trvalým plastickým deformacím. Únosnost panelu je ovlivněna jak použitým materiálem, tak výškou voštiny. S její výškou roste i únosnost panelu, naopak pevnost klesá.

Tab. 31: Nosnost na 1 m² u vybraných zkušebních vzorků

| vzorek | výška vzorku a_0 [mm] | šířka vzorku b_0 [mm] | dovolená síla F_{DOV} [N] | únosnost [kg/m ²] |
|--|-------------------------|-------------------------|-----------------------------|-------------------------------|
| Panel 1 Al plech 10/9 oko voštiny, lepidlo sikaForce - 7701 L20 | 12,4 | 45,3 | 800 | 283 |
| Panel 1 nerez. plech 20,5/6 oko voštiny, lepidlo sikaForce - 7701 L20 | 22,5 | 43,5 | 1700 | 625 |
| Panel 1 nerez. plech 11,5/9 oko voštiny, lepidlo sikaForce - 7701 L20 | 13,5 | 44,9 | 1100 | 392 |
| Panel 0,5 pozink. plech 10/9 oko voštiny, lepidlo sikaForce - 7701 L20 | 12,5 | 44,8 | 1000 | 357 |
| Panel 1 Al plech 10/9 oko voštiny, lepidlo sikaForce - 7710 L35 | 12 | 45,6 | 500 | 175 |
| Panel 1 Al plech 11,5/9 oko voštiny, lepidlo KFL 130 - 5M | 13,7 | 45,7 | 900 | 315 |
| Panel 1 Al plech 12,5/9 oko voštiny, lepidlo Huntsman | 14,9 | 45,2 | 900 | 319 |
| Panel 1 Al plech 11,5/9 oko voštiny, lepidlo H. B. Fuller | 14 | 44,5 | 700 | 252 |

Z této hodnoty je pak možno vypočítat únosnost panelu o ploše 1 m². Z tříbodové zkoušky ohybem platí: $M_{max} = F/2 \cdot L_p/2$. Kde za F dosadíme hodnotu F_{DOV} a za L_p vzdálenost podpěr při zkoušce. L_p je pro naše zkušební tělesa vždy 160 mm.

Pro zkušební tělesa Panel 1 Al plech 10/9 oko voštiny, lepidlo sikaForce - 7701 L20 bude:

$$M_{mez} = F_{DOV}/2 \cdot L_p/2 = 800/2 \cdot 160/2 = 400 \cdot 80 = 32\,000 \text{ Nmm}$$

Pro panel 1 m² bude vzdálenost podpěr $L_p = 1000 \text{ mm}$

Šířka zkušebního tělesa b_0 je v našem případě 45,3 mm

Pak platí, že mezní momenty se pro těleso délky 160 mm a 1000 mm musí rovnat:

$$M_{mez160} = M_{mez1000}$$

$$32\,000 = F/2 \cdot 1000/2 = F/2 \cdot 500$$

$$\text{Pak } F = 2 \cdot 32\,000/500 = 128 \text{ N}$$

Pro panel šířky 1000 mm je nutno tuto sílu vynásobit $1000 \text{ mm}/45,3 \text{ mm} = 22,1$ krát.

Celohliníkový panel plochy 1 m² lepený lepidlem sikaForce - 7701 L20 by tedy vydržel zatížení silou 2 830 N tj. 283 kg bez trvalých - plastických deformací. Obdobně je možno vypočítat únosnost i pro ostatní typy sendvičů.

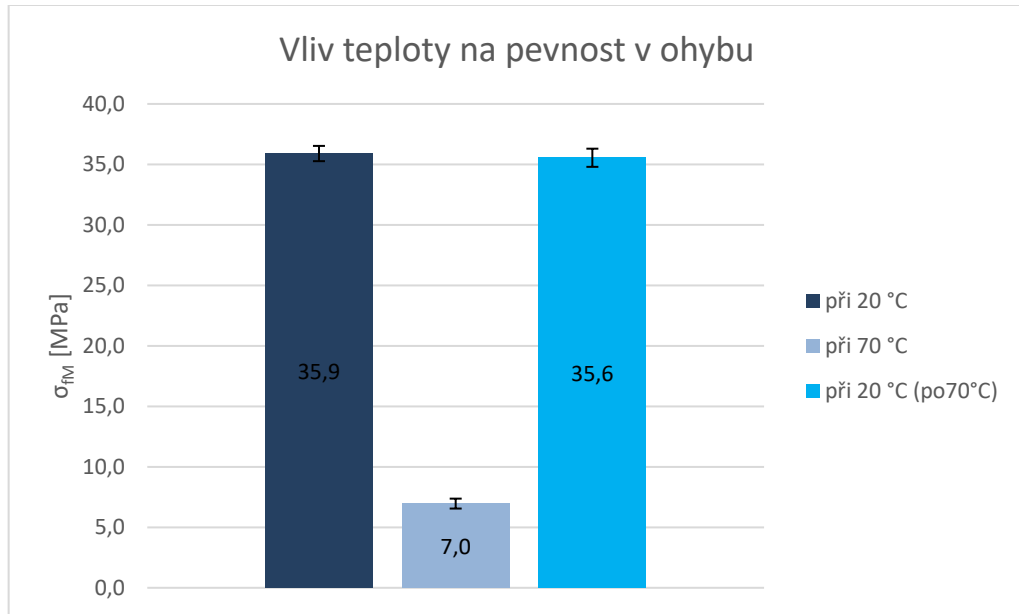
8.2 Porovnání naměřených hodnot u vybraných lepidel

Některé série zkušebních těles jsou v následujících podkapitolách srovnávány pomocí sloupcových grafů. Jsou to takové série zkušebních těles, u kterých se změnila jedna nějaká dominantní vlastnost či vliv. Ostatní vlastnosti nebo vlivy jsou buď shodné, nebo je považují za zanedbatelné. Konkrétně se jedná o vliv teploty a velikosti buňky voštiny. Porovnávacími veličinami jsou pevnost v ohybu - σ_{FM} [MPa], která se určí jako maximální smluvní napětí dosažené na naměřené křivce při F_{max} [MPa], což je druhá porovnávací veličina a je to maximální síla, kterou je vzorek schopen přenést. Tyhle veličiny jsou navzájem úzce spjaty přes plochu průřezu vzorku před deformací.

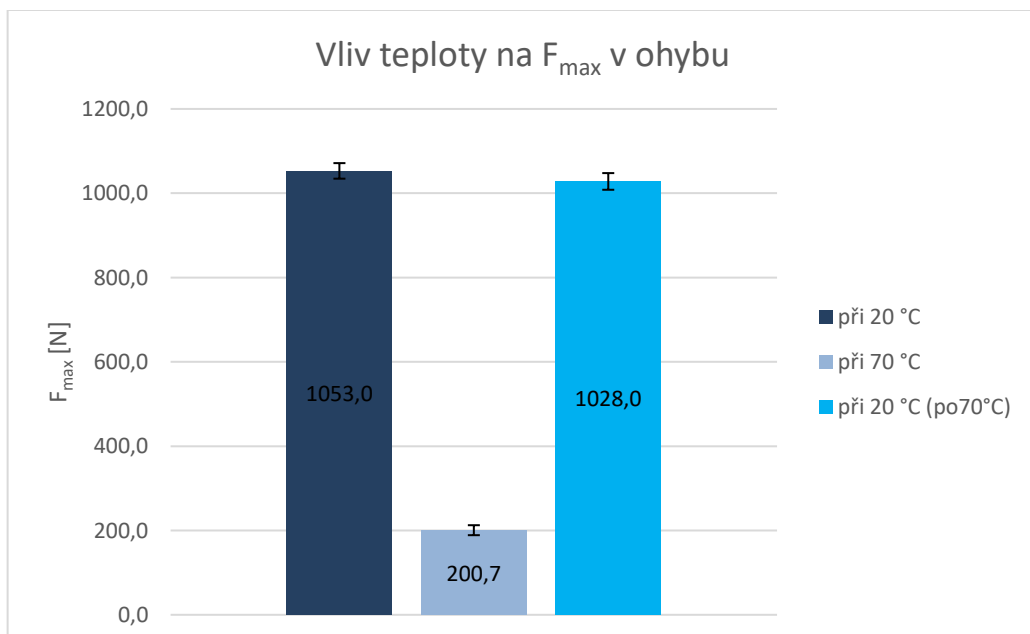
Ve sloupcových grafech jsou sestrojeny chybové přímkky. Chyba měření byla spočtena jako podíl směrodatné odchylky a odmocniny počtu měření.

8.2.1 Zkušební tělesa – lepidlo sikaForce - 7701 L20

- Panely 1 Al plech 10/9 oko voštiny

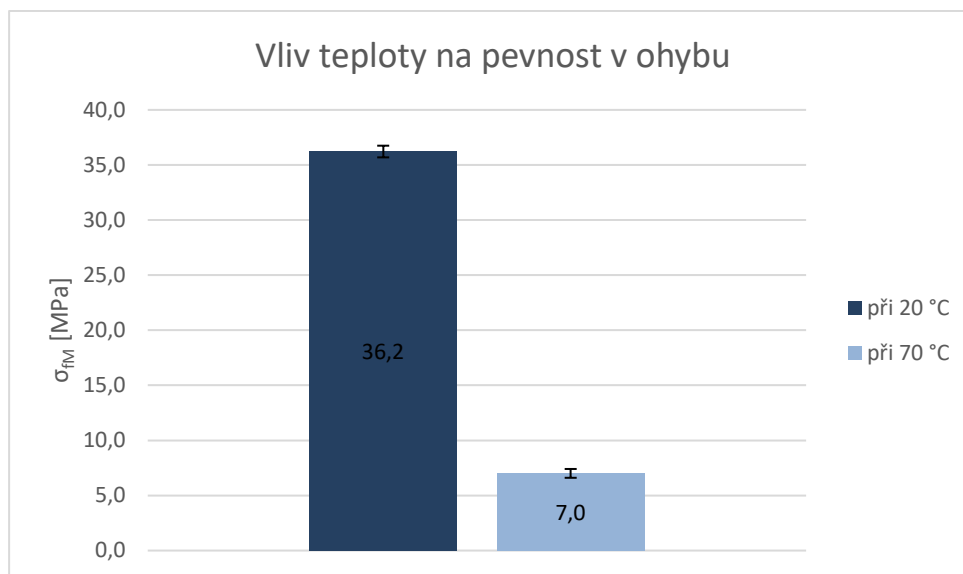


Obr. 46: Vliv teploty na pevnost v ohybu - Panely 1 Al plech 10/9 oko voštiny

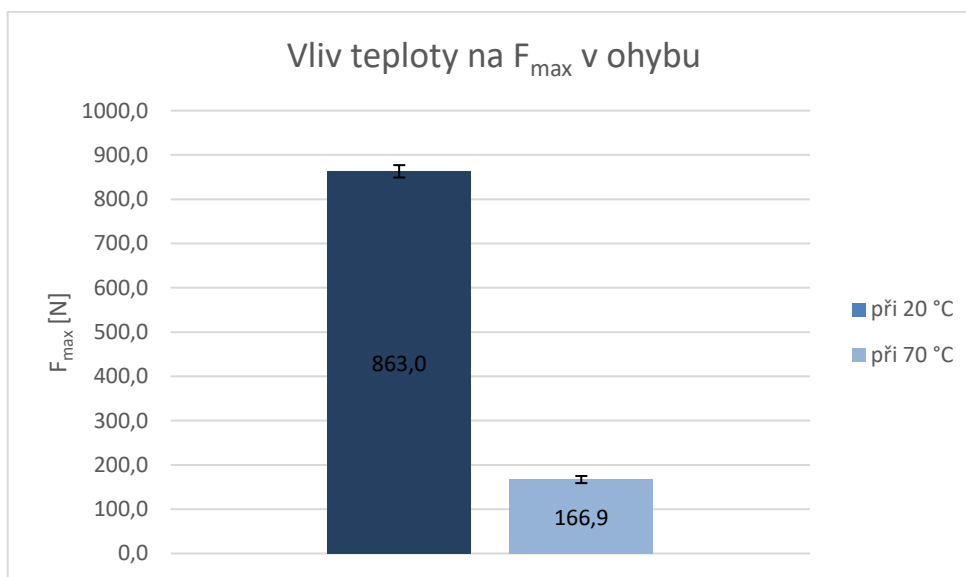


Obr. 47: Vliv teploty na F_{max} v ohybu - Panely 1 Al plech 10/9 oko voštiny

- Panely 0,5 ocelový plech 10/9 oko voštiny



Obr. 48: Vliv teploty na pevnost v ohybu - Panely 0,5 ocelový plech 10/9 oko voštiny

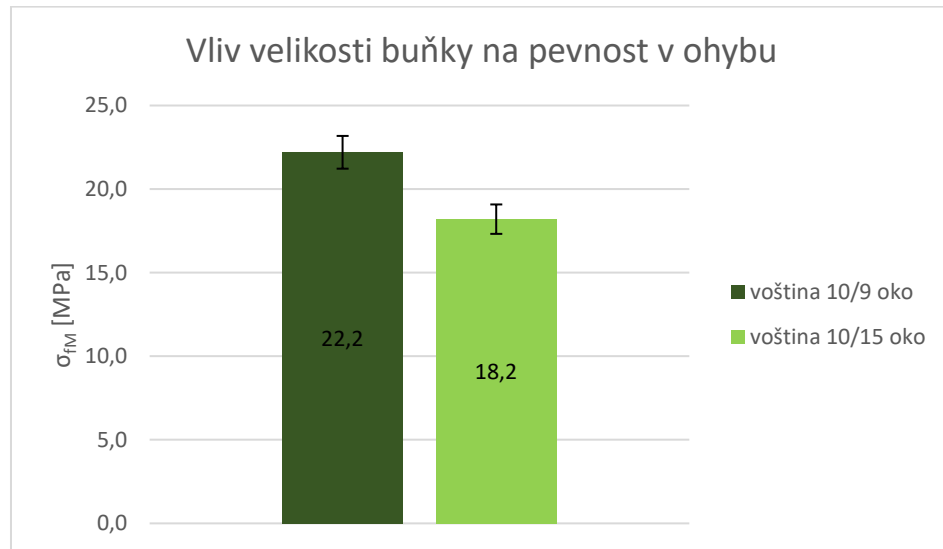


Obr. 49: Vliv teploty na F_{max} v ohybu - Panely 0,5 ocelový plech 10/9 oko voštiny

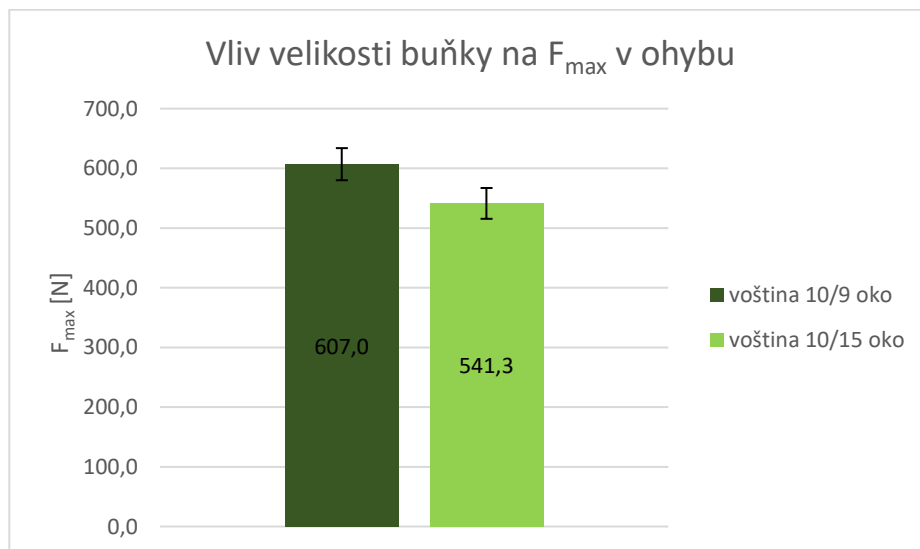
Sloupcové grafy pro lepidlo sikaForce – 7701 L20 (Obr.46 až 49) znázorňují vliv teploty na pevnost v ohybu a na F_{max} v ohybu. Pevnost klesá při teplotě 70 °C z cca 36 MPa (20 °C) na 7 MPa, pro hliníkové (1 mm) i ocelové (0,5 mm) potahy. Pokud se zahřátý panel nechá zchladnout, dojde jen k nepatrnému snížení pevnosti. Maximální síla je při teplotě 20 °C u ocelových potahů 1053 N a u hliníkových 863 N. Při teplotě 70 °C poklesne F_{max} zhruba na pětinu. Při zchladnutí F_{max} opět vzroste.

8.2.2 Zkušební tělesa - lepidlo sikaForce - 7710 L35

- Panely 1 Al plech 10/9 oko voštiny a 1 Al plech 10/15 oko voštiny



Obr. 50: Vliv velikosti buňky voštiny na pevnost v ohybu - Panely 1 Al plech 10/9 oko voštiny a 1 Al plech 10/15 oko voštiny

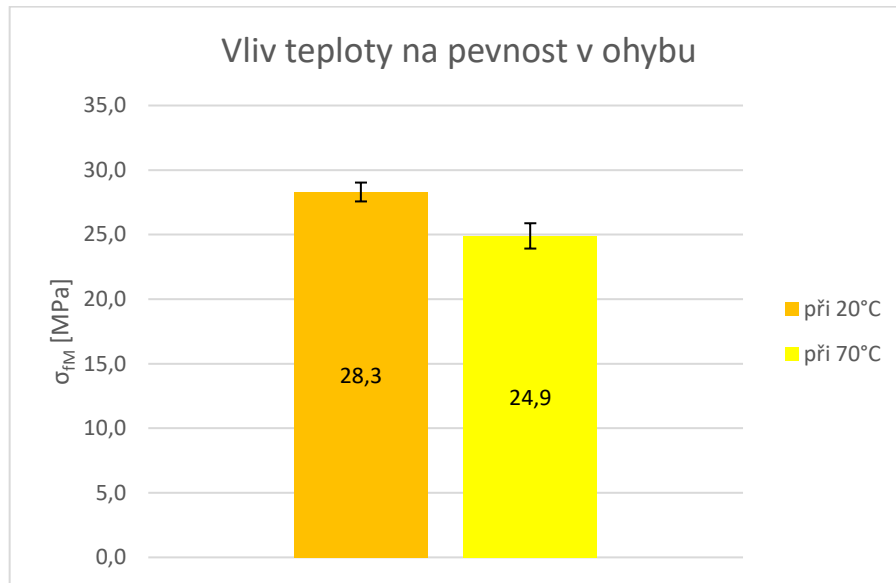


Obr. 51: Vliv velikosti buňky na F_{max} v ohybu - Panely 1 Al plech 10/9 oko voštiny a 1 Al plech 10/15 oko voštiny

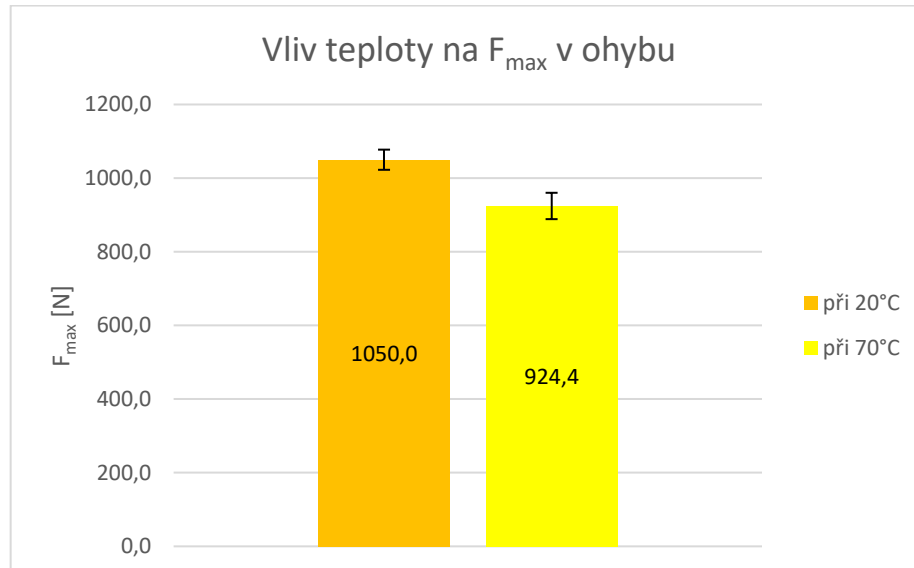
Z výše uvedených sloupcových grafů pro lepidlo sikaForce - 7710 L35 můžeme vyčíst, že u panelu s velikostí oka 9 mm je pevnost v ohybu 22,2 MPa, zatímco u panelu s velikostí oka 15 mm je 18,2 MPa. Výška obou panelů byla téměř shodná. U síly F_{max} je průběh podobný - pro menší oko 607,0 N a pro větší 541,3 N. S rostoucí velikostí oka tedy klesá pevnost v ohybu i síla F_{max} . Pokles však není příliš zřetelný. Přesnější a přesvědčivější výsledky by mohlo přinést měření u více různých zkušebních těles.

8.2.3 Zkušební tělesa – lepidlo KFL 130 - 5M

- Panely 1 Al plech 11,5/9 oko voštiny



Obr. 52: Vliv teploty na pevnost v ohybu - Panely 1 Al plech 11,5/9 oko voštiny



Obr. 53: Vliv teploty na F_{max} v ohybu - Panely 1 Al plech 11,5/9 oko voštiny

Sloupcové grafy pro lepidlo KFL 130 - 5M znázorňují, že pevnost a F_{max} při zvýšení teploty, z 23 °C na 70 °C nijak výrazně neklesají, jako tomu bylo u lepidla sikaForce - 7701 L20. Při teplotě 23 °C je pevnost v ohybu 28,3 MPa a F_{max} 1050,0 N, při teplotě 70 °C je pevnost v ohybu 24,9 MPa a F_{max} 924,4 N.

ZÁVĚR

Bakalářská práce je zaměřena na popis a vyhodnocení výsledků získaných na základě testování zkušebních vzorků zkouškou tříbodovým ohybem, které má vést k volbě vhodného lepidla pro spojení potahů s voštinou u sendvičových panelů. Pro měření byly použity vzorky celohliníkové nebo s ocelovými potahy a hliníkovým jádrem. Některé ocelové potahy byly pozinkovány nebo byla použita nerezová ocel. Zkušební vzorky byly lepeny polyuretanovými lepidly a u jednoho typu vzorků epoxidovým lepidlem.

Pro dosažení potřebných vlastností u kompozitu hraje významnou roli volba vhodného lepidla, které drží jednotlivé vrstvy pohromadě. Snažíme se dosáhnout co nejvyšší adheze lepidla k potahům. Podstatnou částí lepícího procesu je i technologie lepení. Je třeba, aby bylo lepidlo správně nanášeno a vytvrzeno.

První série testovaných vzorků byla lepena lepidlem sikaForce - 7701 L20. Adheze lepidla k potahům byla průměrná nebo nedostačující. Nejlepších výsledků pevnosti (přes 40 MPa) bylo dosaženo u nerezových a pozinkovaných potahů, kdy byla adheze zřejmě nejlepší. Vlivem rostoucí teploty však pevnost prudce klesá.

U druhé série lepené lepidlem sikaForce - 7710 L35 dosahovala adheze lepidla k potahům i pevnost průměrných výsledků.

Třetí série byla lepena lepidlem KFL 130 - 5M. U těchto vzorků byla adheze po zkoušce ohybem výborná. Docházelo pouze ke zborcení voštiny bez separace potahů. Při zvýšení teploty z 23 °C na 70 °C byl pokles pevnosti nepatrný, z 28,3 MPa na 24,9 MPa.

U čtvrté a páté série byly výsledky měření podobné. Čtvrtá série byla lepena lepidlem od firmy Huntsman a pátá série lepidlem H. B. Fuller. V obou případech byla pevnost poměrně dobrá a nedostatečná adheze se projevila jen u některých těles. U zkušebních vzorků lepených lepidlem Huntsman byla průměrná pevnost v ohybu 28,5 MPa a u lepidla H. B. Fuller 25,3 MPa.

Nelze říct, které vzorky jsou pro praktické využití jednoznačně nejlepší či nejhorší. Záleží především pro jaké aplikace by byly využity. Lze však konstatovat, že nejlepší adheze lepidla k potahům bylo dosaženo u epoxidového lepidla KFL 130 – 5M, které zároveň vykazuje malý pokles pevnosti po zvýšení teploty měření. Nejlepších výsledků pevnosti v ohybu pak dosahovaly vzorky s nerezovými nebo pozinkovanými potahy lepené lepidlem sikaForce - 7701 L20.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] *Kompozity* [online]. KORÍNEK, Zdeněk. [cit. 2017-11-04]. Dostupné z: <http://mujweb.cz/zkoriek/>
- [2] EHRENSTEIN, Gottfried W. *Polymerní kompozitní materiály*. Praha: Scientia, 2009, 351 s. ISBN 978-80-86960-29-6.
- [3] DAĐOUREK, Karel. *Kompozitní materiály - druhy a jejich užití*. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2007, 114 s. ISBN 978-80-7372-279-1.
- [4] DAĐOUREK, Karel. *Kompozitní materiály - definice a rozdělení* [online]. 2008 [cit. 2017-11-19]. 35 s. Dostupné z: http://www.kmt.tul.cz/edu/podklady_kmt_mg_istri/KM/Kompozity%20Dad/02defrozdz.pdf
- [5] *Všeobecný a základní popis materiálů používaných při výrobě kompozitů*. [online]. 2014 [cit. 2017-11-19]. Dostupné z: <http://www.havel-composites.com/clanky/4-Technologie/74-Vseobecnny-a-zakladni-popis-materialu-pouzivanych-pri-vyrobe-kompozitu.html>
- [6] KLUSALOVÁ, Jitka. *Srovnání lepicích systémů pro sendvičové panely dopravních prostředků*. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2017, 59 s. 19 s příloh. Dostupné také z: <http://hdl.handle.net/10563/40696>. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. Fakulta technologická, Ústav inženýrství polymerů. Vedoucí práce Mrkvičková, Simona.
- [7] *Wetting Agents* [online]. 2017 [cit. 2018-04-19]. Dostupné z: https://chem.libretexts.org/Core/Physical_and_Theoretical_Chemistry/Physical_Properties_of_Matter/States_of_Matter/Properties_of_Liquids/Wetting_Agents
- [8] *Product Selection Guide* [online]. 2008 [cit. 2018-04-19]. Dostupné z: <http://cdn2.hubspot.net/hub/99603/docs/gwstructuraladhesives.pdf?t=1469474%20468863>
- [9] *Sendvičové konstrukce* [online]. 2001 [cit. 2017-10-31]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/sendvicove-konstrukce.html>
- [10] PADOVEC, Zdeněk. *Sendvičové konstrukce* [online]. [cit. 2017-11-19]. 23.s Dostupné z: <http://docplayer.cz/18482514-Sendvicove-konstrukce-zdenek-padovec.html>
- [11] RUSNÁKOVÁ, Soňa. *Zpracovatelské inženýrství kompozitů*. Přednášky 2017

- [12] ŠUBA, Oldřich. *Dimenzování a navrhování výrobků z polymerů*. Vyd. 2. Ve Zlíně: Univerzita Tomáše Bati, 2007, 112 s. ISBN 978-80-7318-431-5.
- [13] *Using ASTM Method C297, Flatwise Tensile Strength, as an Indicator of Resin Acrylic-Bonding-Potential for Tub and Shower Laminates*. [online]. 2006 [cit. 2018-03-27]. Dostupné z:
<http://marccom.com/clients/reichhold/2007composites/pdfs/Presentations/TUB-Shower.pdf>
- [14] PAVELKA, Lukáš. *Vliv materiálového složení a tvaru na mechanické chování sendvičové konstrukce*. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2015, 110 s. 7 s příloh. Dostupné také z: <http://hdl.handle.net/10563/33633>. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. Fakulta technologická, Ústav výrobního inženýrství. Vedoucí práce Fojtl, Ladislav.
- [15] *Sizing Single Cantilever Beam Specimens for Characterizing Facesheet/Core Peel Debonding in Sandwich Structure* [online]. 2010 [cit. 2018-04-16]. Dostupné z:
<https://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/20100003052.pdf>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

| | |
|------------------|---|
| E | Modul pružnosti v ohybu [MPa] |
| F_{\max} | Maximální síla [N] |
| F | Síla [N] |
| F_{DOV} | Dovolená síla [N] |
| ε | Poměrná deformace [%] |
| L_p | Vzdálenost podpěr [mm] |
| M | Moment síly [Nmm] |
| x | Aritmetický průměr |
| s | Výběrová směrodatná odchylka |
| T | Teplota [°C] |
| v | Variační koeficient |
| σ_m | Maximální ohybové napětí [MPa] |
| a_0 | Výška [mm] |
| b_0 | Šířka [mm] |
| σ_k | Smluvní mez kluzu při 0,2 % plastické deformace [MPa] |
| v | Rychlost zkoušky [mm/min] |
| W | Deformační práce [Nmm] |

SEZNAM OBRÁZKŮ

| | |
|--|----|
| Obr. 1: Jednoosé uspořádání vláken. Kompozit je příčně izotropní.[4] | 14 |
| Obr. 2: Dvojosé uspořádání vláken. Kompozit je příčně izotropní. [4]..... | 14 |
| Obr. 3: Rovinné uspořádání destičkových částic. Kompozit je příčně izotropní. [4]..... | 14 |
| Obr. 4: Příklad synergického efektu v kompozitní struktuře z hliníkové pěny, vložené do tenkostěnné hliníkové trubky. [4]..... | 15 |
| Obr. 5: Příklady kovových pěn – kompozitních materiálů třetího druhu. [4] | 16 |
| Obr. 6: Rozdělení kompozitních materiálů podle orientace a geometrie výztuže [1] | 18 |
| Obr. 7: Povrchy s různou povrchovou energií: a) špatná smáčivost; b) dobrá smáčivost [7] | 22 |
| Obr. 8: Rozdělení lepících systémů [6] | 23 |
| Obr. 9: Analogie sendvičových konstrukcí s nosníkem I profilu. [10]..... | 25 |
| Obr. 10: Výroba voštiny formováním [11]..... | 26 |
| Obr. 11: Ohřev a tvarování potahů – termoforming [11] | 27 |
| Obr. 12: Letoun Aero Ae-270 [11] | 28 |
| Obr. 13: Tramvaj Astra [11] | 28 |
| Obr. 14: Namáhání sendviče při uvažování sendvičové teorie [11]..... | 30 |
| Obr. 15: Třívrstvý sendvičový průřez a průběh normálového a tečného napětí [12]..... | 30 |
| Obr. 16: Sendvič s vlastnostmi $E_1 \gg E_2$ a $t_1 \ll t_2$ [12]..... | 31 |
| Obr. 17: Porušení sendvičových struktur [12]..... | 32 |
| Obr. 18: Zkouška tahem naplocho: a) Vzorek upevněný v čelistech; b) Lepený spoj [13] | 33 |
| Obr. 19: Testy odolnosti proti odlupu: a) Navíjení na buben b) Ohyb středového pásu [15] | 35 |
| Obr. 20: Princip testu a průběh zatěžování – metoda SCB [15]..... | 36 |
| Obr. 21: Zatížení vzorku ze dvou stran – metoda DCB [15]..... | 36 |
| Obr. 22: Zkoušecí přístroj ZWICK..... | 39 |
| Obr. 23: Zkušební těleso při ohybové zkoušce..... | 41 |
| Obr. 24: Závislost mezi silou a deformací - Panel 1 Al plech 10/9 oko voštiny (20 °C)..... | 42 |
| Obr. 25: Závislost mezi silou a deformací - Panel 1 Al plech 10/9 oko voštiny (70 °C)..... | 43 |

| | |
|---|----|
| Obr. 26: Závislost mezi silou a deformací - Panel 1 Al plech 10/9 oko voštiny (po 70 °C)..... | 44 |
| Obr. 27: Závislost mezi silou a deformací – Panel 0,5 ocelový plech 10/9 oko voštiny (20 °C)..... | 45 |
| Obr. 28: Závislost mezi silou a deformací – Panel 0,5 ocelový plech 10/9 oko voštiny (70 °C)..... | 46 |
| Obr. 29: Závislost mezi silou a deformací - Panel 1 nerez. plech 20,5/6 oko voštiny | 48 |
| Obr. 30: Závislost mezi silou a deformací - Panel 1 nerez. plech 11,5/9 oko voštiny | 49 |
| Obr. 31: Závislost mezi silou a deformací - Panel 0,5 pozink. plech 10/9 oko voštiny | 50 |
| Obr. 32: Tělesa po zkoušce - Panel 1 nerez. plech 20,5/6 oko voštiny | 50 |
| Obr. 33: Tělesa po zkoušce - Panel 1 nerez. plech 11,5/9 oko voštiny | 51 |
| Obr. 34: Tělesa po zkoušce - Panel 0,5 pozink. plech 10/9 oko voštiny | 51 |
| Obr. 35: Závislost mezi silou a deformací - Panel 1 Al plech 10/9 oko voštiny | 53 |
| Obr. 36: Závislost mezi silou a deformací - Panel 1 Al plech 10/15 oko voštiny | 54 |
| Obr. 37: Tělesa po zkoušce - Panel 1 Al plech 10/9 oko voštiny a Panel 1 Al plech 10/15 oko voštiny | 55 |
| Obr. 38: Závislost mezi napětím a poměrnou deformací - Panel 1 Al plech 11,5/9 oko voštiny (23 °C) | 56 |
| Obr. 39: Závislost mezi silou a deformací - Panel 1 Al plech 11,5/9 oko voštiny (70 °C)..... | 57 |
| Obr. 40: Zkušební těleso při zkoušce - Panel 1 Al plech 11,5/9 oko voštiny (20 °C)..... | 58 |
| Obr. 41: Zkušební tělesa po zkoušce - Panel 1 Al plech 11,5/9 oko voštiny (20 °C)..... | 58 |
| Obr. 42: Závislost mezi silou a deformací - Panel 1 Al plech 12,5/9 oko voštiny | 60 |
| Obr. 43: Tělesa po zkoušce - Panel 1 Al plech 12,5/9 oko voštiny | 60 |
| Obr. 44: Závislost mezi silou a deformací - Panel 1 Al plech 11,5/9 oko voštiny | 62 |
| Obr. 45: Zkušební těleso po zkoušce - Panel 1 Al plech 11,5/9 oko voštiny | 62 |
| Obr. 46: Vliv teploty na pevnost v ohybu - Panely 1 Al plech 10/9 oko voštiny | 65 |
| Obr. 47: Vliv teploty na F_{\max} v ohybu - Panely 1 Al plech 10/9 oko voštiny..... | 65 |
| Obr. 48: Vliv teploty na pevnost v ohybu - Panely 0,5 ocelový plech 10/9 oko voštiny | 66 |
| Obr. 49: Vliv teploty na F_{\max} v ohybu - Panely 0,5 ocelový plech 10/9 oko voštiny..... | 66 |
| Obr. 50: Vliv velikosti buňky voštiny na pevnost v ohybu - Panely 1 Al plech 10/9 oko voštiny a 1 Al plech 10/15 oko voštiny..... | 67 |

| | |
|--|----|
| Obr. 51: Vliv velikosti buňky na F_{\max} v ohybu - Panely 1 Al plech 10/9 oko voštiny a 1 Al plech 10/15 oko voštiny | 67 |
| Obr. 52: Vliv teploty na pevnost v ohybu - Panely 1 Al plech 11,5/9 oko voštiny | 68 |
| Obr. 53: Vliv teploty na F_{\max} v ohybu - Panely 1 Al plech 11,5/9 oko voštiny | 68 |

SEZNAM TABULEK

| | |
|---|----|
| Tab. 1: Porovnání homogenního a sendvičového materiálu [11] | 32 |
| Tab. 2: Použitá lepidla | 40 |
| Tab. 3: Panel 1 Al plech 10/9 oko voštiny (20 °C) – naměřené hodnoty | 41 |
| Tab. 4: Panel 1 Al plech 10/9 oko voštiny (20 °C) – statistické zpracování | 41 |
| Tab. 5: Panel 1 Al plech 10/9 oko voštiny (70 °C) – naměřené hodnoty | 42 |
| Tab. 6: Panel 1 Al plech 10/9 oko voštiny (70 °C) – statistické zpracování | 42 |
| Tab. 7: Panel 1 Al plech 10/9 oko voštiny (po 70 °C) – naměřené hodnoty | 43 |
| Tab. 8: Panel 1 Al plech 10/9 oko voštiny (po 70 °C) – statistické zpracování | 43 |
| Tab. 9: Panel 0,5 ocelový plech 10/9 oko voštiny (20 °C) – naměřené hodnoty | 44 |
| Tab. 10: Panel 0,5 ocelový plech 10/9 oko voštiny (20 °C) – statistické zpracování..... | 45 |
| Tab. 11: Panel 0,5 ocelový plech 10/9 oko voštiny (70 °C) – naměřené hodnoty | 45 |
| Tab. 12: Panel 0,5 ocelový plech 10/9 oko voštiny (70 °C) – statistické zpracování..... | 46 |
| Tab. 13: Panel 1 nerez. plech 20,5/6 oko voštiny – naměřené hodnoty | 47 |
| Tab. 14: Panel 1 nerez. plech 20,5/6 oko voštiny – statistické zpracování | 47 |
| Tab. 15: Panel 1 nerez. plech 11,5/9 oko voštiny – naměřené hodnoty | 48 |
| Tab. 16: Panel 1 nerez. plech 11,5/9 oko voštiny – statistické zpracování | 48 |
| Tab. 17: Panel 0,5 pozink. plech 10/9 oko voštiny – naměřené hodnoty | 49 |
| Tab. 18: Panel 0,5 pozink. plech 10/9 oko voštiny – statistické zpracování | 50 |
| Tab. 19: Panel 1 Al plech 10/9 oko voštiny – naměřené hodnoty | 52 |
| Tab. 20: Panel 1 Al plech 10/9 oko voštiny – statistické zpracování | 52 |
| Tab. 21: Panel 1 Al plech 10/15 oko voštiny – naměřené hodnoty | 53 |
| Tab. 22: Panel 1 Al plech 10/15 oko voštiny – statistické zpracování | 54 |
| Tab. 23: Panel 1 Al plech 11,5/9 oko voštiny (23 °C) – naměřené hodnoty | 55 |
| Tab. 24: Panel 1 Al plech 11,5/9 oko voštiny (23 °C) – statistické zpracování | 56 |
| Tab. 25: Panel 1 Al plech 11,5/9 oko voštiny (70 °C) – naměřené hodnoty | 56 |
| Tab. 26: Panel 1 Al plech 11,5/9 oko voštiny (70 °C) – statistické zpracování | 57 |
| Tab. 27: Panel 1 Al plech 12,5/9 oko voštiny – naměřené hodnoty | 59 |
| Tab. 28: Panel 1 Al plech 12,5/9 oko voštiny – statistické zpracování | 59 |
| Tab. 29: Panel 1 Al plech 11,5/9 oko voštiny – naměřené hodnoty | 61 |
| Tab. 30: Panel 1 Al plech 11,5/9 oko voštiny – statistické zpracování | 61 |
| Tab. 31: Nosnost na 1 m ² u vybraných zkušebních vzorků..... | 63 |

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha P I: Technický list lepidla sikaForce - 7701 L20

Příloha P II: Technický list lepidla sikaForce - 7710 L35

Příloha P III: Technický list lepidla KFL 130 – 5M

Příloha P IV: Technický list lepidla Huntsman

Příloha P V: Technický list lepidla H. B. Fuller

PŘÍLOHA P I: TECHNICKÝ LIST LEPIDLA SIKAFORCE - 7701 L20

Provisional Product Data Sheet*
Version 1 (03 / 2012)

SikaForce®-7701 L20

Two component Polyurethane adhesive for Honeycomb sandwich panel bonding

Technical Product Data

| Properties | Component A SikaForce®-7701 L20 | Component B SikaForce®-7010 |
|--|--|--|
| Chemical base | Polyols | Isocyanate derivatives |
| Colour (CQP ¹ 001-1) | Beige | Brown |
| Colour mixed | Beige | |
| Cure mechanism | Polyaddition | |
| Density (CQP 006-5) | 1.3 kg/l approx. | 1.2 kg/l approx. |
| Density mixed (calculated) | 1.3 kg/l approx. | |
| Solid content | 100% | 100% |
| Mixing ratio | by volume by weight | 100 : 32 100 : 29 |
| Viscosity ² (CQP 538-2) | Brookfield - RVT 5/10 Brookfield - RVT 2/50 | 7'500 mPa·s approx. 250 mPa·s approx. |
| Viscosity (mixed) | 3'800 mPa·s approx. | |
| Application temperature | 15 - 30°C (60 - 85°F) | |
| Pot life ² (CQP 536-3) | 20 min. approx. | |
| Open time ² (CQP 590-1) | 10 min. at 23°C approx. | |
| Press time | 100 min. at 23°C approx. 3 min. at 70°C approx. | |
| Shore D hardness ² (CQP 537-2) | 80 D approx. | |
| Tensile strength ³ (CQP 545-2 / ISO 527) | 15 N/mm ² approx. | |
| Elongation at break ³ (CQP 545-2 / ISO 527) | 25 % approx. | |
| Shelf life (storage between 10 and 30°C) | 1000 l container smaller packaging | 6 months 12 months 9 months |

¹⁾ CQP = Corporate Quality Procedure

²⁾ 23°C (73°F)/50% r.h.

³⁾ Curing according to CQP 542-2

Description

SikaForce®-7701 L20 is the base part of a two component polyurethane adhesive used with SikaForce®-7010.

SikaForce®-7701 L20 is manufactured in accordance with ISO 9001 / 14001 quality assurance system and the responsible care program.

Product Benefits

- Good wetting of honeycomb
- High strength

Areas of Application

SikaForce®-7701 L20 is used for bonding e.g. aluminum and steel in honeycomb sandwich panels.

This product is suitable for professional experienced users only. Test with actual substrates and conditions have to be performed to ensure adhesion and material compatibility.

Industry



* This product is currently in the field test phase and has not been finally released. Technical data stated herein is based on preliminary testing and experience and is subject to change. Product is only suitable for experienced users and only after suitable pre-testing. Subject to mandatory legal provisions, Sika's liability is limited to the replacement of the defective products.

SikaForce®-7701 L20 1 / 2

Cure Mechanism

The curing of SikaForce®-7701 L20 takes place by chemical reaction of the two components. Higher temperatures speed up and lower temperatures slow down the curing process.

Chemical Resistance

In case of chemical or thermal exposure, conduct project related testing.

Please consult our Technical Service Department of Sika Industry for advice.

Method of Application

Surface preparation

Prepare the substrates for bonding to ensure optimal adhesion and strength. Ensure to have a clean and dry surface. Certain substrates might require a physical or chemical pre-treatment. The type of pre-treatment must be determined by tests.

Advice on specific applications is available from the Technical Service Department of Sika Industry.

Application

Apply coat weights between 200 and 400 g/m² depending on the substrates to be bonded. The specific coat weight for a given substrate combination is to be determined by tests.

The procedure for manual application is as follows: Stir the base part thoroughly before use, add the hardener in the given ratio and stir constantly until a homogeneous mixture is obtained. Apply with trowel before reaching half of the pot life and join parts together within the open time.

Further details can be obtained from the Technical Service Department of Sika Industry.

For automated applications please contact the System Engineering Department of Sika Industry.

Pressing

An adequate bonding pressure to obtain a good contact between the substrates and adhesives is necessary. The specific pressure is, however, dependent on the core material and must be determined by tests. The pressure must always be below the maximum compressive strength of the core. After starting the press process do not release the pressure until the press time has elapsed.

Removal

Uncured SikaForce®-7701 L20 may be removed from tools and equipment with SikaForce®-7260 Cleaner. Once cured, the material can only be removed mechanically. Hands and exposed skin should be washed immediately using Sika® Handclean Towel or a suitable industrial hand cleaner and water. Do not use solvents!

Storage conditions

SikaForce®-7701 L20 has to be kept between 10°C and 30°C in a dry place. Do not expose it to direct sunlight or frost. After opening of the packaging, the content must be protected against humidity. Minimum temperature during transportation is -20°C for max. 7 days.

Further Information

Copies of the following publications are available on request:

- Material Safety Data Sheets

Value Bases

All technical data stated in this Product Data Sheet are based on laboratory tests. Actual measured data may vary due to circumstances beyond our control.

Health and Safety Information

For information and advice regarding transportation, handling, storage and disposal of chemical products, users shall refer to the actual Material Safety Data Sheets containing physical, ecological, toxicological and other safety-related data.

Legal Notes

The information, and, in particular, the recommendations relating to the application and end-use of Sika products, are given in good faith based on Sika's current knowledge and experience of the products when properly stored, handled and applied under normal conditions in accordance with Sika's recommendations. In practice, the differences in materials, substrates and actual site conditions are such that no warranty in respect of merchantability or of fitness for a particular purpose, nor any liability arising out of any legal relationship whatsoever, can be inferred either from this information, or from any written recommendations, or from any other advice offered. The user of the product must test the product's suitability for the intended application and purpose. Sika reserves the right to change the properties of its products. The proprietary rights of third parties must be observed. All orders are accepted subject to our current terms of sale and delivery. Users must always refer to the most recent issue of the local Product Data Sheet for the product concerned, copies of which will be supplied on request.



Further information available at:

www.sika.ch
www.sika.com

Sika Schweiz AG
Business Unit Industry
Tüffenwies 16
CH-8048 Zurich
Switzerland
Tel. +41 58 436 40 40
Fax +41 58 436 55 30



PŘÍLOHA P II: TECHNICKÝ LIST LEPIDLA SIKAFORCE - 7710 L35

Industry

Produktový list
verze 2 (02 / 2012)

SikaForce®-7710 L35 lepidlo pro sendvičové konstrukce

technická data

| | komponent A SikaForce 7710 L35 | komponent B SikaForce 7010 |
|---|---|--|
| chemická báze | polyol, s plnivý | deriváty izokyanátu |
| obsah sušiny | 100% | 100% |
| barva (CQP ¹ 001-1) | běžová | hnědá |
| barva směsi | běžová | |
| typ reakce | polyadice | |
| hustota (CQP 006-5) | ca 1,6 g / cm ³ | ca 1,2 g / cm ³ |
| hustota směsi (kalkulovaná) | ca 1,5 g / cm ³ | |
| viskozita ²⁾ (CQP 538-2) | ca 30 000 mPa.s (Brookfield RVT 6/20) | ca 250 mPa.s (Brookfield RVT 2/50) |
| viskozita směsi ²⁾ (CQP 538-2) (Brookfield RVT 6/20) | ca 10 000 mPa.s | |
| poměr míchání objemové díly hmotnostní díly | 100 | 25 |
| | 100 | 19 |
| reakční čas ²⁾ (CQP 536-3) | ca 35 min | |
| aplikační teplota | +15°C až +30°C | |
| otevřený čas ²⁾ (CQP 590-1) | ca 80 min | |
| lisovací čas ²⁾ (CQP 590-1) | ca 125 min | |
| tvrdost Shore-D ³⁾ (CQP 537-2) | ca 80 D | |
| pevnost v tahu ⁴⁾ (ISO 527 / CQP 545-2) | ca 11 N / mm ² | |
| prodloužení při přetržení ⁴⁾ (ISO 527 / CQP 545-2) | ca 9% | |
| pevnost ve smyku ⁴⁾ (CQP 546-2 / ISO 4587) | ca 9 N / mm ² | |
| skladovatelnost | kontejner | 6 měsíců |
| | menší balení (skladovat v rozmezí teplot 10°C až 30°C) | 12 měsíců |

¹⁾ CQP= Sika Corporate Quality Procedures ²⁾ testovací podmínky: 23°C, 50% relativní vlhkost vzduchu

³⁾ podmínky vytvrzení: 21 dní při 23°C a 50% relativní vlhkosti vzduchu

⁴⁾ podmínky vytvrzení: 90 dní při 23°C a 50% relativní vlhkosti vzduchu

Popis

SikaForce®-7710 L35 je 2-komponentní polyuretanové lepidlo. Je tvořeno základní pryskyřicí na bázi polyolu s plnivý a tvrdidlem SikaForce®-7010 na bázi izokyanátů. Oba komponenty se zpracovávají nejlépe za použití vhodného dávkovacího a míchacího systému.

SikaForce®-7710 L35 je vyráběn v souladu s normami kvality ISO 9001 a 14001 a v souladu s programem « Responsible Care ».

Přednosti produktu

- vytvrzuje v běžných podmínkách
- bez rozpouštědel
- dlouhý otevřený čas/krátký lisovací čas
- schváleno dle IMO Res. A.653(16)

Oblast použití

SikaForce®-7710 L35 je speciálně určen pro lepení sendvičových konstrukcí, např. panelů, z hliníku, kompozitních plastů (lamináty), oceli, dřeva, cementovláknitých desek aj. na PUR-, PS-pěny a minerální vlny, případně pro lepení jiných strukturálních konstrukcí.

Tento produkt je vhodný pouze pro profesionální uživatele.

Před aplikací je nutno uskutečnit testy adheze s aktuálními podklady a podmínkami.



Mechanismus vytvrzení

Vytvrzování SikaForce®-7710 L35 se uskutečňuje na principu polyadiční chemické reakce dvou komponent. Vyšší teplota urychluje vytvrzovací proces, nižší teplota vytvrzující proces zpomaluje.

Chemická odolnost

Pro stanovení specifické odolnosti proti chemickým látkám a teplotě je nutný projektově orientovaný test. Konzultujte otázku s naším technickým servisem.

Postup pro zpracování

Příprava podkladu

Podklad musí být čistý, suchý a zbavený všech nečistot, zejména mastného charakteru. Postup přípravy může zahrnovat broušení, odmaštění, aktivaci případně primerování a pod.. Vzhledem k četnosti materiálů, různorodosti povrchových úprav a také provozního zatížení je vhodné k zajištění dostatečné přilnavosti na spojované materiály provedení příslušných zkoušek a konzultace s naším technickým oddělením Industry.

Aplikace

Orientační nanášené množství dle substrátu je ca 150 ÷ 350 g / m². Specifickou spotřebu je nutno určit prototypovými testy na reálných výrobcích.

Zpracování a nanášení materiálu doporučujeme realizovat přes speciální aplikační pumpu pro 2-komponentní materiály s dávkováním a mícháním pomocí statického nebo dynamického mixeru. Na základě specifikace aplikace je možno poskytnout poradenství našeho technického oddělení a oddělení System Engineering.

Ruční zpracování

Před rozlitem a použitím A komponentu je tento předem nutno promíchat. K zpracovávané dávce přimíchat z daného poměru vypočtené množství B komponentu a rovnoměrně dostatečně promíchat k vytvoření homogenní směsi. Následně lepidlo ihned v rámci aplikační doby nanášet na plochu a roztahovat nejlépe zubovou stěrkou. V rámci otevřeného času nutno lepené díly navzájem spojit.

Lisování

Při spojování dílů je nutno zabránit vzniku vzduchových kapes. Spojované díly musí být stlačeny minimální lisovací silou 200 g/cm² do okamžiku nárůstu manipulační nebo provozní pevnosti. Specifický lisovací tlak musí být zvolen v závislosti na spojovaných materiálech a musí být nižší než je deformační hodnota některého ze spojovaných dílů (nejčastěji pěnového jádra sendviče). Během lisovacího procesu nesmí dojít k vzájemnému pohybu dílů.

Odstranění zbytků lepidla

SikaForce®-7710 L35 v nevytvrzeném stavu ze systému zařízení, z ušpiněné plochy a nářadí možno očistit pomocí čističe SikaForce®-7260 Cleaner. Vytvrzený materiál možno odstranit pouze mechanicky. Ruce je možno očistit pomocí utěrky Handclean nebo mycí pasty a oplachem vodou.

Nepoužívejte rozpouštědla!

Skladování

SikaForce®-7710 L 35 je nutno skladovat při teplotě v rozsahu 10°C - 30 °C v suchém prostředí. Nevystavujte jej přímému slunečnímu záření nebo mrazu. Po otevření obalu, musí být obsah chráněn před vlhkostí. Minimální teplota během přepravy je -20 °C po dobu maximálně 7 dní.

Další informace

Kopie následujících publikací jsou na vyžádání k dispozici
- bezpečnostní list produktu

Balení

| | | |
|---------------------------|-----------|---------|
| komponent A pryskyřice | hobok | 5 kg |
| | hobok | 25 kg |
| | sud | 300 kg |
| | vak | 1500 kg |
| komponent B tvrdidlo | plechovka | 1 kg |
| | plechovka | 5 kg |
| | hobok | 20 kg |
| | sud | 250 kg |
| | vak | 1000 kg |

Důležité

Další údaje o chemickém charakteru materiálu, toxikologii, ekologii, skladování, dopravě, likvidaci jsou obsaženy v bezpečnostním listu materiálu.

Upozornění

naše technicko uživatelské písemné či ústní informace a poradenství je sestaveno na základě našeho nejlepšího vědění, současného stavu znalostí z oblasti vývoje chemických produktů a získaných dlouholetých praktických zkušeností ze spolupráce s výrobcí a opravami v dané oblasti. Naše doporučení jsou však nezávazná, netvoří žádný právní závazek a nezabývají kupujícího možnosti realizovat vlastní zkoušky našich produktů ve vztahu ke konstrukčním, technologickým a zpracovatelským podmínkám realizace a to zejména s ohledem na práva třetího. V ostatních záležitostech platí všeobecná ustanovení obchodního zákoníku. V případě technických informací se obraťte na naše oddělení Industry.



Sika Schweiz AG
Tüffenwies 16
CH- 8048 Zürich
Switzerland

Sika Denmark A/S
Praestemosevej 2-4
DK-3480 Fredensborg
Denmark

Sika CZ s.r.o.
Bystrá 1132 / 36
CZ - 624 00 Brno
Česká republika
tel: +420 546 422 464
fax: +420 546 422 400
e-mail: sika@cz.sika.com



SikaForce®-7710 L35 2/2

TECHNICKÝ LIST

Verze: 14. prosince 2011

Letoxit® KFL 130

Použití

Konstrukční fóliové lepidlo pro vysokopevnostní spoje. Je určeno zejména k lepení kovových materiálů, hliníkových slitin, atp. Zvláště je vhodné pro výrobu sendvičových dílů, včetně voštinových konstrukcí. Lepený spoj má dobré mech. vlastnosti při namáhání v rozmezí teplot -75°C až $+100^{\circ}\text{C}$, proto se používá pro lepení konstrukcí pozemních dopravních prostředků.

Druh

jednosložkové epoxidové lepidlo s obsahem tvrdícího systému

Vzhled

Lepidlo má formu tmavě šedé folie síly 0,25 – 0,30 mm, pružné a tvárné při pokojové či zvýšené teplotě.

Úprava povrchu lepených materiálů

Lepené povrchy materiálů musí být zbaveny všech mechanických nečistot a mastnot a musí být suché. Příprava povrchu lepených dílů zásadně ovlivňuje pevnost lepeného spoje. Pro některé materiály jsou doporučeny speciální úpravy povrchu. Spára mezi lepenými dílci musí být rovnoměrná, aby mezi povrchem lepených dílců a lepidla byl zajištěn styk a nevznikaly zde vzduchové bubliny.

Poznámka: Pokud se nelepí na upravený povrch ihned, je vhodné tento povrch chránit nátěrem primerem Letoxit PFL 120.

Nanášení lepidla

Z foliového lepidla se vystřihne nůžkami, případně vyřízne nožem nebo vysekne vhodným nástrojem, potřebný tvar odpovídající tvaru lepených ploch. Z vystřiženého dílu se stáhne krycí papír a díl lepidla se přiloží na jednu lepenou plochu, přitiskne se a uhladí tak, aby pod lepidlem nevznikly vzduchové bubliny. Pak se stáhne druhá krycí polyetylenová folie a přiloží se druhý lepený díl. Takto lze sestavit pro lepení i složitější konstrukce z mnoha dílců. Doporučuje se pracovat při teplotě minimálně 20°C , při lepení tvarových ploch a složitějších sestav je vhodné pracovat na tzv. teplém stole (aby teplota povrchu lepených dílů byla 30°C až 40°C), kdy foliové lepidlo se stává velmi tvárné a více přilnavé.

Vytvrzování

Lepidlo Letoxit KFL 130 se vytvrzuje při:

| | |
|-------------|-----------------------|
| 120-125°C | po dobu 20 minut nebo |
| 100 – 105°C | po dobu 60 minut nebo |
| 90 – 95°C | po dobu 90 minut nebo |
| 80 – 85°C | po dobu 3 hod |

Doba vytvrzování se počítá od okamžiku, kdy teplota ve spoji dosáhne uvedené teploty. Spoj se v průběhu vytvrzování fixuje tlakem 0,05-0,1 MPa. Při přípravě lepené sestavy, ani při vytvrzování se neuvolňují žádné těkavé látky.

5M

Na Záhonech 1177
686 04 KUNOVICE
Česká republika

tel: +420 572 433 711
fax: +420 572 433 700
email: 5M@5M.cz

www.5M.cz
LETOXIT® je registrovaná ochranná známka

TECHNICKÝ LIST

Vlastnosti vytvrzeného slepeného spoje

teplota při zatěžování

pevnost

Pevnost ve smyku (při zatěžování tahem dle ČSN 66 8510):

| | |
|--------|-----------|
| -75°C | 30-36 MPa |
| +20°C | 36-41 MPa |
| +60°C | 35-38 MPa |
| +80°C | 26-37 MPa |
| +100°C | 25-35 Mpa |

Pevnost v odlupu

| | | |
|-------|--|-----------------------------------|
| +20°C | 4-7 N/mm | |
| | podle ČSN 66 8516), DIN 53282, ISO TC 61/SC11 ASTM D 1876-72 | |
| +20°C | 280 N | podle DIN 53 289, ISO TC 61 2144E |
| +20°C | 9,6 N/mm | podle DIN 53 295 |

Balení

Lepidlo je dodáváno ve formě folie šíře 250 mm, chráněné z jedné strany polyetylenovou folií a z druhé strany silikonovým papírem. Je namotáno na dutince v roli o celkové váze max. do 25 kg (obvykle se však dodávají role o váze asi 5 kg - dle přání zákazníků).

Skladování

Lepidlo lze bez změny vlastností skladovat 1 měsíc při teplotě do +20°C, 3 měsíce při teplotě +5°C a až 1 rok při teplotě -18°C. Při dopravě a skladování nesmí být překročena teplota +25°C.

Bezpečnost při práci

viz bezpečnostní list

Výrobce a dodavatel

5M s.r.o.
Na Záhonech 1177
686 04 Kunovice
Czech Republic

Letoxit® je zapsaná ochranná známka společnosti 5M s.r.o.

5M

Na Záhonech 1177
686 04 KUNOVICE
Česká republika

tel: +420 572 433 711
fax: +420 572 433 700
email: 5M@5M.cz

www.5M.cz
LETOXIT® je registrovaná ochranná známka

PŘÍLOHA P IV: TECHNICKÝ LIST LEPIDLA HUNTSMAN

HUNTSMAN

Structural Adhesives

XB 5090-1/XD 4782 **Two component polyurethane adhesive**

Key properties

- Standard curing speed
- Good environmental and chemical resistance
- Suitable for bonding panel laminates

Description

XB 5090-1/XD 4782 is a standard two component, room temperature curing liquid polyurethane adhesive, particularly suitable as a laminating adhesive for bonding GRP, wood, aluminium and foam sandwich constructions.

Typical product data

| | XB 5090-1 | XD 4782 | Mixed Adhesive |
|---------------------------|-------------------|--------------|----------------|
| Colour (visual) | White/beige paste | Brown liquid | Beige liquid |
| Specific gravity | 1.6 | 1.2 | 1.4 |
| Viscosity (Pas) | 7.5 - 12.0 | ca. 0.3 | ca. 3 - 5 |
| Pot Life (100 gm at 25°C) | - | - | 100 mins |

Processing

Pretreatment

The strength and durability of a bonded joint are dependant on proper treatment of the surfaces to be bonded. At the very least, joint surfaces should be cleaned with a good degreasing agent such as acetone, iso-propanol (for plastics) or other proprietary degreasing agents in order to remove all traces of oil, grease and dirt. Low-grade alcohol, gasoline (petrol) or paint thinners should never be used. The strongest and most durable joints are obtained by either mechanically abrading or chemically etching ("pickling") the degreased surfaces. Abrading should be followed by a second degreasing treatment

| Mix ratio | Parts by weight | Parts by volume |
|-----------|-----------------|-----------------|
| XB 5090-1 | 100 | 100 |
| XD 4782 | 20 | 25 |

Resin and hardener should be blended until they form a homogeneous mix.

Application of adhesive

The resin/hardener mix is applied with a spreader or roller to the pretreated and dry joint surfaces. A layer of adhesive 0.05 to 0.10 mm will normally impart the greatest lap shear strength to the joint. The joint components should be assembled and clamped as soon as the adhesive has been applied. An even contact pressure throughout the joint area will ensure optimum cure.

Exposure to moisture

Polyurethanes can absorb and react with moisture causing gelation, skinning or foaming. For best results minimise atmospheric exposure of both unmixed and mixed product. Joints should be closed as soon as possible after adhesive application.

Mechanical processing

Specialist firms have developed metering, mixing and spreading equipment that enables the bulk processing of adhesive. We will be pleased to advise customers on the choice of equipment for their particular needs.

Equipment maintenance

All tools should be cleaned with hot water and soap before adhesives residues have had time to cure. The removal of cured residues is a difficult and time-consuming operation.

If solvents such as acetone are used for cleaning, operatives should take the appropriate precautions and, in addition, avoid skin and eye contact.

Times to minimum shear strength

| Temperature | 15 | 23 | 40 | 60 | 80 | 100 |
|--|---------|--------------|--------------|--------------|--------|--------|
| Cure time to reach LSS > 1N/mm ² | 8 - 16h | 6h 20min | 2h 5mins | 45mins | 12mins | 6mins |
| Cure time to reach LSS > 10N/mm ² | | 18h 30min | 6h 20mins | 2h 15mins | 25mins | 16mins |

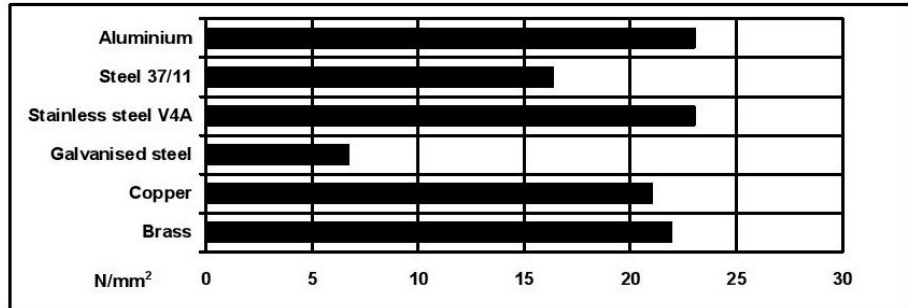
LSS = Lap shear strength.

Typical cured properties

Unless otherwise stated, the figures given below were all determined by testing standard specimens made by lap-jointing 170 x 25 x 1.5 mm strips of aluminium alloy. The joint area was 12.5 x 25 mm in each case. The figures were determined with typical production batches using standard testing methods. They are provided solely as technical information and do not constitute a product specification.

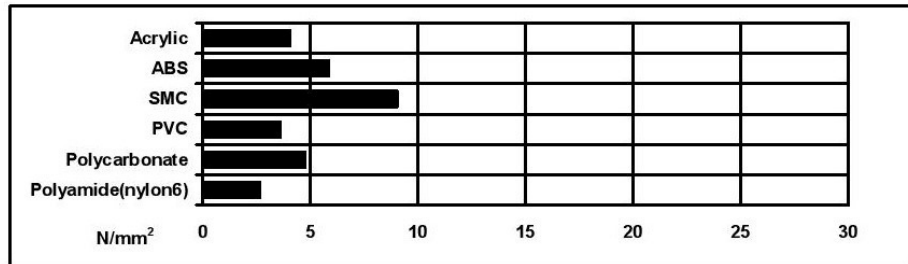
Average lap shear strengths of typical metal-to-metal joints (ISO 4587)

Cured for 16 hours at 40°C and tested at 23°C. Pretreatment - Sand blasting



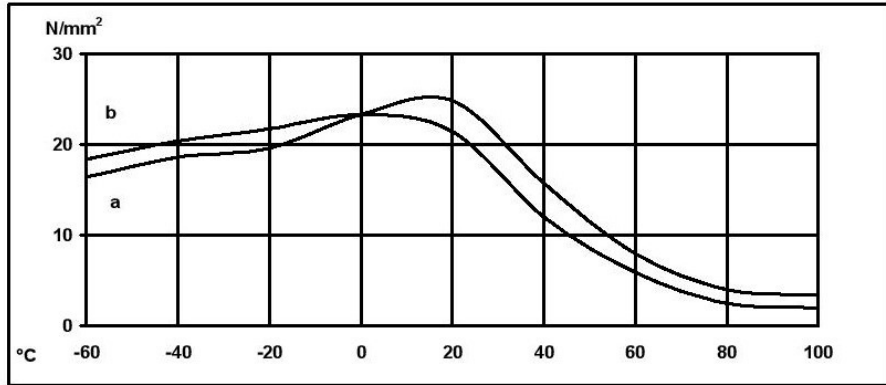
Average lap shear strengths of typical plastic-to-plastic joints

Cured for 16 hours at 40°C and tested at 23°C. Pretreatment - degreased and abraded



Lap shear strength versus temperature (DIN 53283) (typical average values)

Cure: (a) = 7 days at 23°C; (b) = 24 hours at 23°C + 30 minutes at 80°C



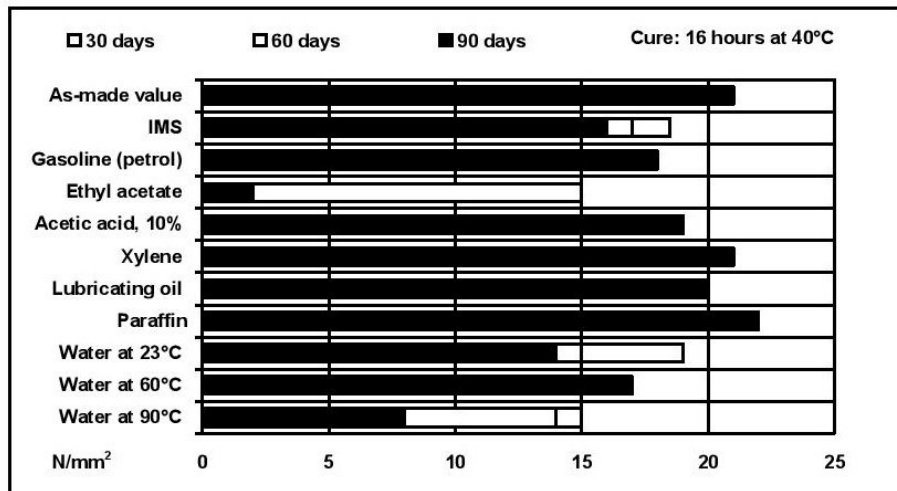
Roller peel test (ISO 4578)

3.4 N/mm

Cured 16 hours at 40°C

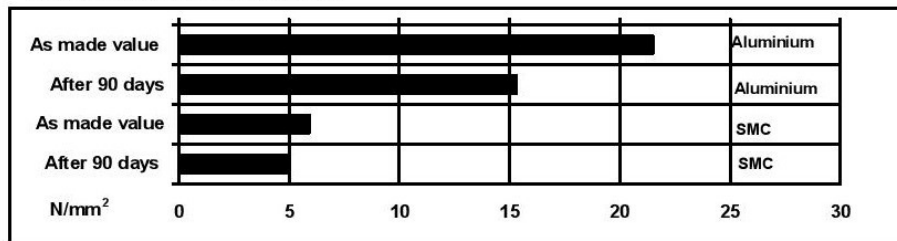
Lap shear strength at 23°C after immersion in various media (typical average values)

Unless otherwise stated, L.S.S. was determined after immersion for 90 days at 23°C



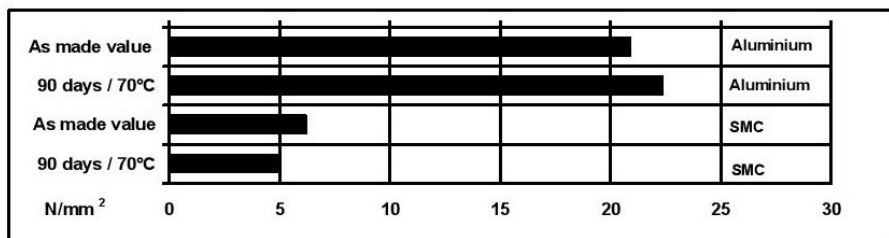
Lap shear strength versus tropical weathering (40/92, DIN 50015; typical average values)

Cure: 16 hours at 40°C; Test: at 23°C.



Lap shear strength versus heat ageing

Cure: 16 hours at 40°C



Thermal cycling

100 cycles of 6 hours duration from -30°C to +70°C:

Resultant lap shear strength tested at 23°C = 20.6 N/mm² on aluminium

6.8 N/mm² on SMC

Tg by DSC

28°C

Storage

XB 5090-1 and XD 4782 may be stored for up to 1 year and 1½ years respectively at room temperature provided the components are stored in sealed containers. The expiry date is indicated on the label.

Handling precautions

Caution

Our products are generally quite harmless to handle provided that certain precautions normally taken when handling chemicals are observed. The uncured materials must not, for instance, be allowed to come into contact with foodstuffs or food utensils, and measures should be taken to prevent the uncured materials from coming in contact with the skin, since people with particularly sensitive skin may be affected. The wearing of impervious rubber or plastic gloves will normally be necessary; likewise the use of eye protection. The skin should be thoroughly cleansed at the end of each working period by washing with soap and warm water. The use of solvents is to be avoided. Disposable paper - not cloth towels - should be used to dry the skin. Adequate ventilation of the working area is recommended. These precautions are described in greater detail in the Material Safety Data sheets for the individual products and should be referred to for fuller information.

Huntsman Advanced Materials

All recommendations for the use of our products, whether given by us in writing, verbally, or to be implied from the results of tests carried out by us, are based on the current state of our knowledge. Notwithstanding any such recommendations the Buyer shall remain responsible for satisfying himself that the products as supplied by us are suitable for his intended process or purpose. Since we cannot control the application, use or processing of the products, we cannot accept responsibility therefor. The Buyer shall ensure that the intended use of the products will not infringe any third party's intellectual property rights. We warrant that our products are free from defects in accordance with and subject to our general conditions of supply.

Duxford, Cambridge
 England CB2 4QA
 Tel: +44 (0) 1223 832121
 Fax: +44 (0) 1223 493322
 www.araldite.com

© Huntsman Advanced Materials (Switzerland) GmbH
 ® Araldite is a registered trademark of Huntsman LLC or an affiliate thereof in one or more, but not all, countries.

PŘÍLOHA P V: TECHNICKÝ LIST LEPIDLA H. B. FULLER

Produkt H B. Fuller



TECHNICKÝ LIST

Swift®bond 4701

Art.Nr. 46006

Dříve Helmipur 701 T

Použití :

Swift®bond 4701 je dvousložkové reakční lepidlo neobsahující rozpouštědla. Je určeno k lepení následujících materiálů: tvrdých pěnových materiálů z polyuretanu, PVC, polystyrolových a fenolových pryskyřic, dále polyesteru, duroplastických lisovaných desek z umělých hmot, hliníku a jeho slitin, oceli, desek z vrstvených materiálů, dřeva, dřevěných materiálů, ale i keramiky, betonu, zdiva, aj.

Lepidlo Swift®bond 4701 se používá při výrobě kombinovaných vrstvených desek (sendvičové panely) z tvrdých pěnových materiálů a polyesterových desek, hliníkového a ocelového plechu, desek z vrstveného materiálu, ale i dřeva, cementovláknitých desek apod.

Technická data :

| | Swift®bond 4701 | Swift®hardener 9530 |
|---------------------------|--|---------------------------|
| Báze: | polyuretan | izokyanát |
| Barva: | béžová | hnědá |
| Viskozita: | ca 30 000 mPas *) | ca 180 mPas *) |
| Hustota: | ca 1,50 g/cm ³ | ca 1,22 g/cm ² |
| Viskozita směsi: | ca 7 000 mPas *) | |
| Hustota směsi: | ca 1,45 g/cm ³ | |
| Čistič: | Helmin® 694 | |
| Tužidlo | Swift®hardener 9530 | |
| Míchací poměr: | 100 váh. dílů | 20 váh. dílů |
| Doba zpracovatelnosti: | ca 40 minut | |
| Lepicí doba: | ca 30 minut | |
| Doba tuhnutí: | ca 24 hodin | |
| Počáteční pevnost: **) | při normální teplotě (ca 20-22° C) 5-8 hodin při 60° C ca 40-45 minut při 100° C ca 15-20 minut | |
| Nanášení: | ozubená stěrka | |
| Spotřeba: | 200-400 g/m ² , podle podkladu | |
| Lisovací tlak: | fixovat, nebo dostatečný tlak stohu | |
| Skladovatelnost: | ca 12 měsíců | ca 12 měsíců |
| Podmínky pro skladování: | dobře uzavřeno při normální teplotě | |
| Možnost poškození mrazem: | ne | ne |
| Citlivý na vlhkost: | ne | ano |
| Bezpečnostní list: | k dostání na požádání | |

| | |
|----------------------------|--|
| | <p>*) Uvedená hodnota viskozity platí pro teplotu 20° C a okamžik výroby. Během skladování může dojít k nepatrným změnám. **) Okamžik prvního pokud možno lehkého namáhání, jestliže spára není pod pnutím. Závísí na teplotě místnosti a materiálu.</p> |
| Vlastnosti: | <p>Swift®bond 4701 tvrdne po přidání tužidla při normální teplotě do pevné, částečně pružné hmoty. Lepidlo má v tuhém stavu dobrou odolnost proti povětrnostním vlivům a je odolné proti mnoha chemikáliím, jako benzínu, olejům, tukům, zředěným kyselinám a louchům. Vedle urychlení vytvrzovacího procesu působením tepla se může použít také přídavek urychlovačů. Příslušné podklady dáme na požádání k dispozici.</p> |
| Přípravné podmínky: | <p>Konstrukce určené k lepení musí ve svém provedení vyhovovat požadavkům na lepení. Lepené plochy musí být důkladně vyčištěny, musí být suché a prosté tuku. V mnoha případech se doporučuje mechanické zdrsnění. Uvolněné povrchové vrstvy se musí odstranit, protože pevnost lepeného místa nemůže být nikdy větší, než přilnavost těchto vrstev na podkladu. Tvrdé PVC a ABS polymerizáty je třeba opatřit polyuretanovým přednáteřem, vhodný je Swift®prime 2200. Pryžové materiály je třeba zdrsnit, popřípadě ošetřit roztokem Helmitin®T/LF.</p> |
| Pracovní postup: | <p>Lepidlo Swift®bond 4701 pečlivě promíchat s tužidlem. Jestliže se připravuje větší množství lepidla, použít vhodných míchacích zařízení (míchačka nebo ruční vrtačka s míchadlem). Směs natírat pomocí stěrky (při plošném lepení použít zubovou stěrku) na jeden z lepených dílů. Množství nátěru se řídí velkou měrou podle materiálů určených k lepení. Slepění provést během lepicí doby. Během tuhnutí lepené díly fixovat. Zvláštní tlak však není nutný. Doba tvrdnutí při zvýšené teplotě platí pro lepicí film. U hmotných a silně izolujících materiálů je třeba připočítat dobu prohřátí lepené spáry. Při lepení materiálů s velmi odlišným koeficientem roztažnosti nedoporučujeme vytvrzení při teplotě větší než 60° C. Swift®bond 4701 tvrdne také za nižších teplot. Vyšší viskozita při nižších teplotách však zhoršuje zpracování. Doba tvrdnutí se značně prodlužuje. Kromě toho se snižuje adheze k hladkým povrchům, zvláště u kovů. Znečištění lepidlem, náradí a pracovní nástroje je třeba před ztvrdnutím očistit přípravkem Helmitin® 694.</p> |
| Poznámky: | <p>Swift®hardener 9530 obsahuje diphenylmethan-4,4'-diizokyanát. Dbejte, prosím, následujících pokynů. Zdraví škodlivé při vdechnutí. Dráždí oči, dýchací orgány a pokožku. Sensibilizace vdechnutím je možná. Bezpečnostní rady: Při zasažení očí důkladně propláchnout vodou a poradit se s lékařem. Při zasažení pokožky ihned umýt vodou a mýdlem. Při nedostatečném větrání použít ochranný dýchací přístroj. Při úrazu nebo nevolnosti ihned zavolat lékaře. Swift®hardener 9530 je citlivý na vlhkost a musí se skladovat dobře uzavřené a v suchu. Kromě toho se doporučuje používat při natírání lepidla vhodné rukavice, protože reakční složky vniknou hluboko do pórů pokožky a lze je jen těžko odstranit.</p> |

Balení: Swift®bond 4701 - 10 kg nevratná plechovka netto.
Swift®hardener 9530 - 2,0 kg nevratná plechovka netto.

K zvláštní pozornosti: Naše údaje vycházejí ze zkušeností v laboratořích a praxi. S ohledem na různost materiálů, zpracovatelských metod a místních zvyků, na které nemáme žádný vliv, nemůže být převzata žádná záruka, ani z hlediska patentového práva. Doporučujeme proto dostatečné vlastní pokusy. Ostatně poukazujeme na naše všeobecné obchodní podmínky. Vydáním těchto technických informací ztrácejí všechny dříve vydané informace o výrobku a aplikaci svou platnost!

Leden 2012