

Vliv tvaru a typu insertu na pevnost spoje v kompozitních dílech

Bíza Jaroslav

Bakalářská práce
2019

 Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická
Ústav výrobního inženýrství
akademický rok: 2018/2019

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Jaroslav Bíza**
Osobní číslo: **T16653**
Studijní program: **B3909 Procesní inženýrství**
Studijní obor: **Technologická zařízení**
Forma studia: **prezenční**

Téma práce: **Vliv tvaru a typu insertu na pevnost spoje v kompozitních dílech**

Zásady pro vypracování:

- 1. Vypracování literární rešerše v dané oblasti**
- 2. Příprava zkušebních těles pro mechanické zkoušky**
- 3. Provedení experimentálních zkoušek**
- 4. Vyhodnocení výsledků z hlediska praktických aplikací**

Rozsah bakalářské práce: **cca 60 stran**
Rozsah příloh:
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

1. **KOŘÍNEK, Zdeněk. Kompozity [online].** Icit. 2019–01–26]. Dostupné z: <https://kompozity.webnode.cz/>
2. **ZENKERT, Dan. Handbook of Sandwich Construction. United Kingdom: Cradley Heath : EMAS Publishing, 1997.**
3. **EHRENSTEIN, Gottfried W. Polymerní kompozitní materiály. V ČR 1. vyd. Pra-ha: Scientia, 2009. ISBN 978-80-86960-29-6.**

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Milan Žaludek, Ph.D.**
Ústav výrobního inženýrství
Datum zadání bakalářské práce: **2. ledna 2019**
Termín odevzdání bakalářské práce: **24. května 2019**

Ve Zlíně dne 19. února 2019

L.S.

doc. Ing. Roman Čermák, Ph.D.
děkan

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

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 Zlíně 23. 5. 2019

.....

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 nevýdělečně 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 otestovat různé způsoby spojení kompozitních výrobků za pomoci spojovacích prvků zvané inserty. Teoretická část práce je zaměřena na obecný popis kompozitních materiálů, jejich vlastností a technologií, jimiž jsou kompozitní materiály vyráběny. Je zde také popsána problematika insertů.

V praktické části jsou uvedeny postupy při výrobě zkušebních těles pro tento experiment. Dále je uveden záznam výsledků z průběhu statických tahových zkoušek. Závěrem jsou tyto výsledky zkoušek vyhodnoceny a porovnány.

Klíčová slova: kompozitní materiál, prepreg, sendvičová konstrukce, tahová zkouška, insert

ABSTRACT

The aim of this bachelor's thesis is to test different ways of joining composite materials using connecting elements so called inserts. The theoretical part is focused on general description of composite materials, their properties and technological ways that composite materials are made of. The issue of inserts is also described here.

In the practical part there are mentioned procedures during production of test samples for this experiment. Next is a record of the results of the static tensile tests. In the final part these test results are evaluated and compared.

Keywords: composite material, prepreg, sandwich construction, tensile test, insert

Tímto bych chtěl poděkovat vedoucímu této bakalářské práce Ing. Milanu Žaludkovi, Ph.D., za veškerý věnovaný čas a odbornou konzultaci s poskytnutými informacemi při zpracování této práce. Dále bych rád poděkoval Ing. Lukáši Maňasovi za výpomoc při shánění potřebných materiálů pro praktickou část. Velký dík také patří mé rodině a přátelům při podporování během celého studia.

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

OBSAH

ÚVOD	10
I TEORETICKÁ ČÁST	11
1 KOMPOZITY	12
1.1 VLASTNOSTI KOMPOZITŮ	12
1.2 TYPY VYZTUŽUJÍCÍCH VLÁKEN	13
1.3 ROZDĚLENÍ KOMPOZITNÍCH MATERIÁLŮ.....	14
1.3.1 Tvary výztuže	15
1.3.2 Typy matrice	15
2 TECHNOLOGIE VÝROBY.....	20
2.1 RUČNÍ KLADENÍ	20
2.2 DOLISOVÁNÍ POMOCÍ VAKUA	21
2.3 VAKUOVÁ INFUZE	21
2.4 VYTVRZENÍ PREPREGŮ V AUTOKLÁVU	22
2.5 STRÍKÁNÍ	23
2.6 NAVÍJENÍ	23
3 SENDVIČOVÉ KONSTRUKCE.....	25
3.1 STAVBA A VLASTNOSTI.....	25
3.2 JÁDRA SENDVIČŮ	26
3.2.1 Voštiny.....	26
3.2.2 Pěny	27
3.2.3 Balza	27
3.3 POTAHY	28
4 INSERTY.....	30
4.1 TYPY INSERTŮ.....	31
4.1.1 Sendvičové inserty.....	31
4.1.2 Lepené inserty	34
4.2 VZNIK MOŽNÝCH VAD PŘI MONTÁŽI	35
4.3 SILOVÉ PŮSOBENÍ NA INSERTY	36
II PRAKTICKÁ ČÁST	37
5 CÍLE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE	38
6 PŘÍPRAVA ZKUŠEBNÍCH TĚLES.....	39
6.1 MĚŘICÍ ZAŘÍZENÍ.....	39
6.2 ZALAMINOVANÉ INSERTY	40
6.3 LEPENÉ INSERTY	40
6.3.1 Použitá lepidla	40
6.3.2 Použité inserty	41
6.4 INSERTY V SENDVIČOVÝCH VOŠTINÁCH	46
6.5 ZALISOVANÉ INSERTY	50
7 TESTOVÁNÍ SPOJŮ	52

7.1	ZALAMINOVANÉ INSERTY	52
7.2	LEPENÉ INSERTY	55
7.3	INSERTY V SENDVIČÍCH	57
7.4	ZALISOVANÉ INSERTY	60
8	VYHODNOCENÍ ZKOUŠEK.....	61
8.1	INSERTY ZALAMINOVANÉ	61
8.2	LEPENÉ INSERTY	62
8.3	SENDVIČOVÉ INSERTY	68
8.4	ZALISOVANÉ VLOŽKY DO LAMINÁTU.....	72
8.5	POROVNÁNÍ VŠECH METOD	73
	ZÁVĚR	74
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	76
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	78
	SEZNAM OBRÁZKŮ.....	79
	SEZNAM TABULEK	82
	SEZNAM PŘÍLOH	83

ÚVOD

Kompozitní materiály se v dnešní době dostávají stále více do podvědomí v různých oblastech průmyslu. Tento fakt je zapříčiněn výhodnými vlastnostmi, které kompozitní konstrukce nabízí. Kompozitní materiály jsou známé svou odolností před různými faktory a především pro svou vysokou pevnost při velmi nízké hmotnosti. Dalšími důvody jejich aplikací je jednoduchost, cena a výroba. V automobilovém, leteckém, vojenském průmyslu a i v dalších průmyslových odvětvích, ve kterých se kompozitní materiály používají, nahrazují konstrukce ocelové, hliníkové a konstrukce z jiných konvenčních kovů.

Stejně jako se rozšiřují oblasti použití takových materiálů, se rozšiřují i různé metody spojování těchto materiálů dohromady buď s dalšími kompozitními materiály, nebo např. s ocelovými materiály. Jako přímé spojení se nabízí možnost lepení těchto konstrukcí do celku, kdy ovšem dostáváme nerozebíratelné spojení. Z hlediska praktického využití, nebo již pro montáž těchto materiálů je nezbytné, aby byl celek rozebíratelný na jednotlivé dílce. Pro takové konstrukce slouží široké spektrum spojovacích prvků zvané inserty, na které je tato bakalářská práce zaměřena. Od oblasti aplikace kompozitních konstrukcí se také odvíjí možnost spojení těchto materiálů, tudíž zkoumání pevnosti spojovacích prvků v závislosti na jejich tvaru a typu v této bakalářské práci bude sloužit spíše pro představu o tom, jak pevné tyto jednotlivé spoje jsou.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 KOMPOZITY

Jedná se o konstrukční materiál složený ze dvou nebo více složek (fází). Tyto složky jsou chemicky a fyzikálně odlišné. Nespojitou složkou kompozitu je výztuž, která je tvrdá, tuhá a pevná. Spojitá složka se nazývá matrice, která je poddajnější, zastává funkci pojiva výztuže a zároveň udává finální tvar výrobku. [1, 2]

Obecně jsou za kompozitní materiály považovány dvou a více složkové materiály, které splňují následující podmínky:

- podíl výztuže musí být větší než 5%
- vlastnosti výztuže a matrice (mechanické, fyzikální i chemické) se liší, výztuž je významně pevnější v tahu a obvykle tužší než matrice)
- kompozit musí být připraven smícháním složek

Dle uvedených podmínek nelze za kompozit považovat plast, obsahující malé množství tuhých barviv, např. saze (černý pigment) nebo oxidů (TiO_2 – bílý pigment) nebo částic přidávaných pro zlepšení houževnatosti (tyto částice snižují modul pružnosti a nejedná se tak o výztuž), ani o slitinu kovů u které během tepelného zpracování došlo k vyloučení tvrdé fáze. Naproti tomu za kompozit lze považovat např. kov disperzně zpevněný částicemi oxidů, neboť je připravován mechanickým mísením složek.

V kompozitních materiálech lze nalézt vyztužující fáze o různých rozměrech. Největší význam v průmyslu tvoří mikrokompozitní materiály. Rozměry příčných výztuží se u těchto materiálů pohybují v rozmezí 10^0 až 10^2 μm . Mikrokompozitní materiály mají vzhledem ke kovům a jejich slitinám menší hustotu a tím příznivý poměr pevnosti v tahu a modulu pružnosti k hustotě. [3]

1.1 Vlastnosti kompozitů

- Homogenita a nehomogenita

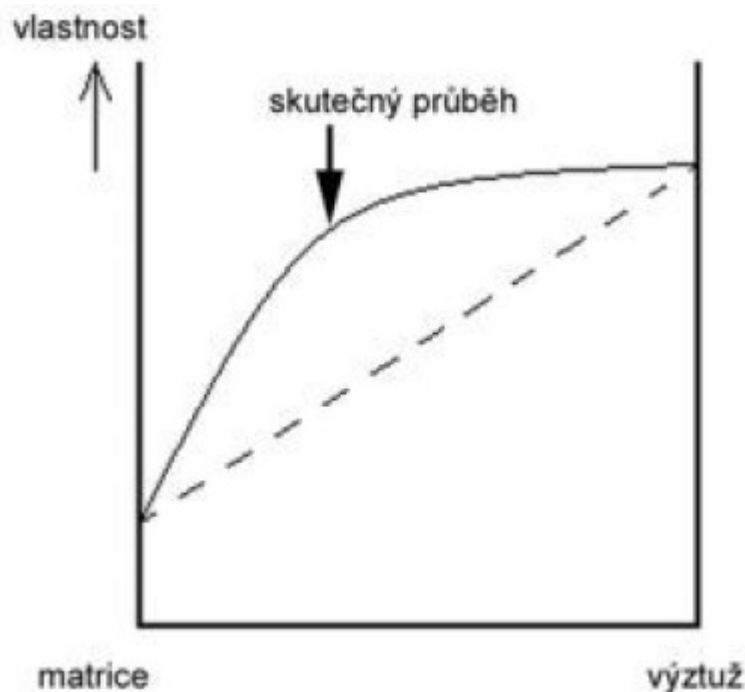
Z hlediska atomárního měřítka jsou všechny technické materiály nehomogenní. Nehomogeneity v kompozitu by měly být tak velké, aby je bylo při porovnání s rozměry konstrukčních dílů považovat za homogenní materiál.

- Izotropie a anizotropie

Izotropní materiál je takový, který má ve všech směrech stejné vlastnosti. Naproti tomu anizotropní materiál má v každém směru jinou vlastnost. Většina technických materiálů jsou zcela izotropní nebo prokazují jen velmi malou anizotropii, kdežto kompozitní materiály se vyznačují právě anizotropními vlastnostmi.

- Synergický efekt

Je to efekt v kompozitu, ke kterému dochází, když kombinace pozitivních vlastností jeho složek přesáhne poměrný součet složek. U kompozitních materiálů je snaha dosáhnout co největšího synergického efektu a to především u vlastností, na kterých nejvíc záleží. [2, 4]



Obr. 1 Průběh synergického efektu [2]

1.2 Typy vyztužujících vláken

Použití materiálů ve formě vláken jako konstrukčních prvků není obvyklé. Materiály jsou výrazněji používány až v kompaktní formě. Kompozitní materiály se skládají z vláken o vysoké pevnosti a tuhosti, dále z rozmanitě přizpůsobivého úložného materiálu. Průřez vláken je převážně kruhový a rozměrově se pohybuje v širokém řádu nanometrů až po setiny milimetrů. [1, 2]

Nejčastěji používaná vlákna lze rozdělit následovně:

- Přírodní vlákna

Základním prvkem tohoto typu je celulóza. Jejich struktura bývá často poměrně složitá, ale jejich vlastnosti jsou akceptovatelné, např. pavoučí vlákno má pevnost kolem 1140 MPa a tažnost až 31%. Do této skupiny patří vlákna lněná, bavlněná, konopná, kokosová apod.

- Skleněná vlákna

Slouží přednostně pro kompozity s plastovou maticí v textilním průmyslu. Pro výrobu se nejčastěji používají vlákna z bezalkalické skloviny, které jsou také vynikajícím elektrickým izolantem s vysokou propustností pro záření.

- Uhlíková vlákna

Oproti skleněným vláknům mají desetinásobně větší tuhost, poloviční hustotu a velkou odolnost proti únavě. Jejich prodloužení při přetržení je také menší. Vzhledem k tomu, že uhlíková vlákna nemají dokonalou adhezi k matici, je za potřeby je nechat povrchově upravit.

- Aramidová vlákna

Jedná se o vlákna na bázi lineárních organických polymerů, které jsou silně anizotropní. Jejich nízká hustota z nich dělá nejlehčí vyztužující vlákno. Z těchto důvodů jsou tedy ideální pro lehké konstrukce zatížené tahovým namáháním, ovšem nikoli tlakovým a ohybovým namáháním.

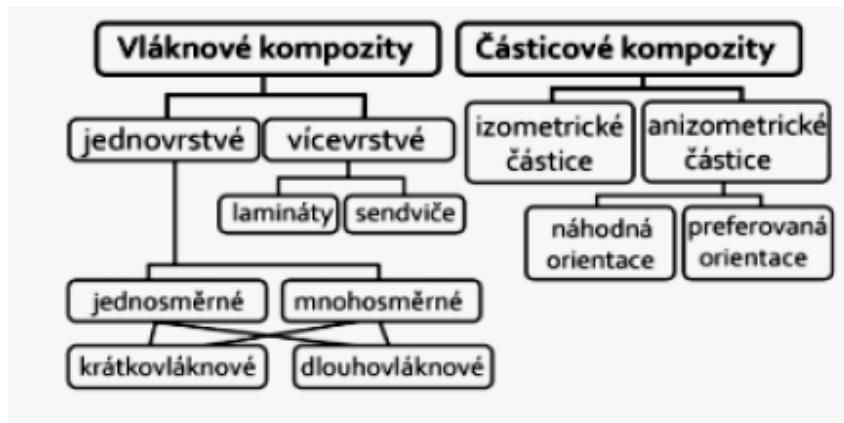
- Kovová vlákna

Řadí se mezi nejtěžší a nejlevnější vlákna. Používají se vlákna ocelová ke zpevnění hliníkových slitin a wolframová vlákna ke zpevnění žáruvzdorných materiálů. Dalším používanými vlákny jsou borové, které jsou lehké, tuhé a pevné, ale nevýhodou je náročná výroba. [2]

1.3 Rozdělení kompozitních materiálů

Kompozitní materiály lze klasifikovat podle řady parametrů, např. dle tvaru výztuže, typu výztuže, uspořádání výztuže, typu matrice nebo technologie výroby. [5]

1.3.1 Tvary výztuže



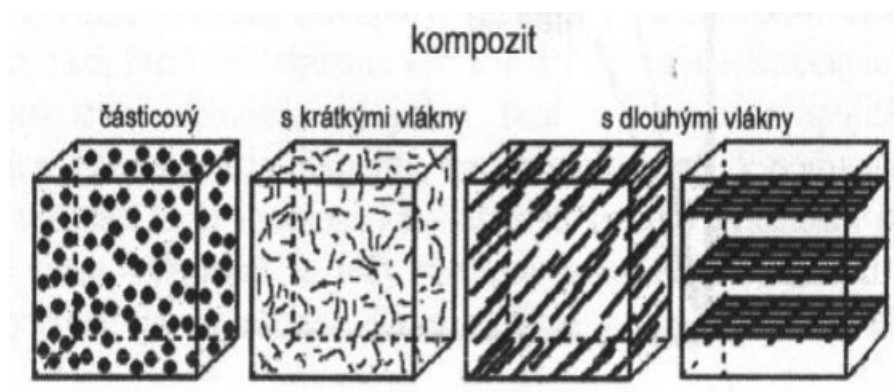
Obr. 2 Rozdělení kompozitních výztuží. [2]

- Vláknové kompozity

Velkou předností těchto kompozitů je dosahování velkých pevností a tuhostí díky vláknům malého průřezu uložených do matrice. Tyto vlákna jsou v jednom směru výrazně rozměrnější než v ostatních směrech. Pro tyto kompozity jsou používány vlákna uhlíková a skelná v různých délkách.

- Částicové kompozity

Vyztužující složkou těchto kompozitů jsou částice kulovitého, destičkového nebo tyčinkového tvaru. Rozměry jednotlivých částic by neměly rozměrově přesahovat ostatní. [2, 5]



Obr. 3 Druhy vyztužujících složek kompozitních výztuží [2]

1.3.2 Typy matrice

Matrice je materiál, jehož vlákna a komponenty jsou prosyceny tak, že má ve finální fázi po zpracování stálý tvar. Tato surovina je označována jako kompozit.

Hlavními úkoly matrice jsou:

- Přenést namáhání na vlákna
- Převedení namáhání z vlákna na vlákno
- Ochrana vlákna před vlivy okolí
- Zajištění geometrické polohy vláken a tvarové stálosti výrobku

Z hlediska kvality kompozitu je nejvíce dbáno na přilnavost mezi maticí a vláknem. Ke zlepšení fyzikálních i chemických vazeb mezi maticí a vlákny je na vlákna nanášena apretace. Vhodně zvolená viskozita zajistí úplné smočení vlákna bez bublin.

Dle typu materiálu se matrice dělí na:

- Kovové matrice - (Metal Matrix Composites – MMC)
- Keramické matrice - (Ceramic Matrix Composites – CMC)
- Polymerní matrice - (Plastic Matrix Composites – PMC) [1,2]

Pro polymerní kompozity se matrice dělí na termosety a termoplasty.

Reaktivní pryskyřice

Tato pryskyřice je nejčastěji používanou skupinou termosetů při výrobě kompozitů. Jedná se jak o kapalné, tak i tavitelné pryskyřice, které se samostatně, nebo za pomoci tvrdidel (iniciátorů, katalyzátorů, urychlovačů, fenolů apod.) vytvrzují polyadicií nebo polymerací a to bez odštěpení těkavých složek. Reaktivní pryskyřice jsou nazývány také jako pryskyřice licí, laminační, impregnační, prosycovací nebo zalévací.

Nejdůležitější typy reaktivních pryskyřic:

- Nenasycené polyesterové pryskyřice (UP – R)

Jedná se o levné, spolehlivé a rozsáhle použitelné licí pryskyřice. Mají spolehlivou odolnost proti povětrnosti a částečně neodolávají alkalickému namáhání. Jsou bezbarvé nebo slabě nažloutlé a je možno je vytvrzovat při pokojové nebo za zvýšené teploty, aniž by vznikl jakýkoliv vedlejší produkt. Během vytvrzování se uvolní reakční teplo a dojde k objemovému smrštění přibližně o 5 až 9 %. Díky své nízké viskozitě, dobrému smáčení vláken, velmi vysoké rychlosti vytvrzování a poměrně nízké ceně představují nejvíce používanou skupinu materiálů pro kompozitní aplikace. Tyto pryskyřice jsou zpracovány ve formě kompozitů a zastupují až přes 70 % celkové výroby.

Při vytvrzování je bezpodmínečně nutno dbát na to, aby byl přidáván iniciátor a urychlovač postupně. Urychlovač se nejprve smísí s pryskyřicí a poté se přidá iniciátor. V případě, že by se do přímého kontaktu dostal iniciátor s urychlovačem, mohlo by dojít k výbušnému rozkladu

- Vinylesterové pryskyřice (VE – R)

Od UP – R se liší tím, že k zesíťování dochází za pomoci koncových metakrylátových skupin, kde se nachází také esterové vazby. Jsou vysoce houževnaté, velmi dobře odolné vůči alkalickému prostředí a obecně více chemicky odolné, ale mají nižší tvarovou stálost za tepla. Mají velkou variabilitu při zpracování pomocí dávkování styrenu a urychlovače, a lze je aplikovat i v korozním prostředí. Díky těmto vlastnostem jsou také zároveň dražší.

Velká koroziodolnost se využívá např. ve velkorozměrových troubách pro odvod čistého plynu, pračkách, chladicích věžích, komínech, potrubí, skladovacích a přepravních nádrží a z velké části se používají pro čistírny odpadních vod.

- Epoxidové pryskyřice (EP – R)

Za pokojové teploty se jedná o kapalné až pevné látky, které mohou obsahovat přidané pomocné látky jako např. rozpouštědla. Vyznačují se velmi dobrými mechanickými vlastnostmi, vysokou rozměrovou stálostí a přilnavostí k podkladu. Ve formě vyztužených kompozitů je zpracováváno pouze 8 %. Obecně jsou téměř 4krát dražší než nenasycené polyesterové pryskyřice.

Epoxidové systémy se skládají ze vzájemně reagujících molekul pryskyřice a tvrdidla. Tyto dvě složky se musí mísit v přesném stechiometrickém poměru. V závislosti na zvoleném typu pryskyřice a tvrdidla lze dosáhnout různých vlastností pojiva.

Jsou využívány jako zalévací hmoty pro elektroniku, výrobu forem, výrobu nástrojů, matrice pro vysokopevnostní vlákna (uhlíkové kompozity při stavbě letadel) a pro práškové nanášení různých povlaků.

- Fenolické pryskyřice (PF – R)

Vyrábějí se kondenzací fenolů a 30 až 50% vodných roztoků aldehydů. Existuje několik variant, které vycházejí z různých typů fenolických surovin, z různých chemických a fyzikálních možností a různých molárních poměrů fenolu a formaldehydu. Pokud se nachází fenol/formaldehyd v molárním poměru 1:1,2 až 2,5 vznikají při alkalické kondenzaci rezoly.

V případě, že molární poměr je 1:0,5 až 0,9 vznikají novovlaky. Právě pryskyřice, které obsahují novovlaky je třeba vyrábět v tmavých krycích barevných odstínech, protože na světle hnědnou a při vytvrzování může dojít k jejich zbarvení.

Fenolické pryskyřice jsou křehké a před konstrukční aplikací musí být modifikovány. Jsou také vysoce tepelně a chemicky odolné a tvarově stálé. Jejich podíl na celkové výrobě vyztužených kompozitů je malý.

Termoplasty

Za pokojové teploty jsou termoplasty ve formě pevné látky. Lze je opakovaně zpracovávat a tvarovat při zahřátí nad teplotu tavení.

Pro vyztužení jsou používány:

- Termoplasty vyztužené krátkými vlákny

Obsah vyztuže termoplastů nelze libovolně zvyšovat, protože by mohlo dojít omezenému smočení vláken, což je nedílnou součástí dalšího zpracování. Obsah vyztuže se nachází v rozmezí 15 až 50 hm. %. Skleněná vlákna opotřebovávají nástroj i zařízení a působí velmi abrazivně.

K vyztužování se používají dražší materiály jako např. PA 6, PA 66, PBT, PC, POM nebo PPO, u kterých se předpokládá rozšířená možnost použití.

- Termoplasty vyztužené dlouhými vlákny

Při použití těchto materiálů se snižují surovinové náklady, materiál je houževnatější a má značnou odolnost proti opotřebení. Při zpracování navíc nedochází k chemické reakci.

Použití termoplastů místo termosetů nezakryje všechny jejich nedostatky, neboť vznikají nové problémy, jako např.: nízká odolnost proti aktivním látkám, které způsobují korozi za napětí, dále větší náchylnost ke kríčovému chování než u termosetické matrice a v neposlední řadě špatná kvalita povrchu, nízká tvrdost a špatná přilnavost nátěrů. [1]

Tab. 1 Porovnání různých charakteristik u Termoplastů a Termosetů [1]

	Termoplasty	Termosety
Matrice	Vyskoviskozní tavenina, špatně se spojuje lepením	Nevytvrzená, nízkoviskozní, dobře se spojuje lepením a opatřuje nátěrem
Cena matrice	Nízká i vysoká	Nízká
Cena předimpregnace	Vysoká	Nízká
Teplota při zpracování	,Teplota taveniny	Teplota okolí
Tvarování	Vhodné pro velké série	Nevhodné
Ruční kladení	Nevhodné	Vhodné pro velkoplošné díly
Stárnutí	Málo odolné až odolné	Velmi odolné proti stárnutí
Možnost opravy	Omezená	Dobrá
Plocha povrchu	Přiměřená, svařitelná	Dobrá, tvrdá, lze jí lepit i natírat

2 TECHNOLOGIE VÝROBY

2.1 Ruční kladení

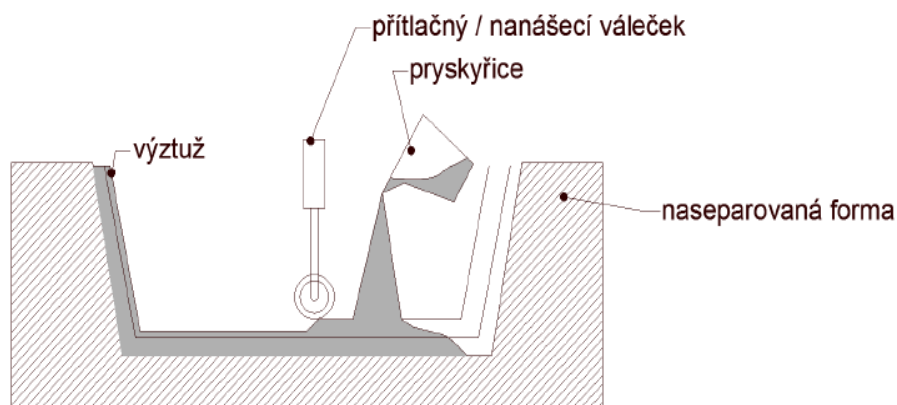
Jedná se o kontaktní lisování, kdy je nanášení pryskyřice i výztuže prováděno ručně na vhodný povrch. V závislosti na povrchu, na který jsou nanášeny, je dosaženo potřebné kvality kompozitního dílce. Pryskyřice je nanášena štětcem, válečkem nebo stříkací pistolí. Důležité je zamezit vzniku bublin, které snižují vlastnosti kompozitu.

Výhodou této metody je její jednoduchost, malé náklady na nástroje a neomezená variabilita tvarů a velikostí. Nevýhodou je odpad, který již nelze dále zpracovat, dále mzdové náklady a je zapotřební zručného a zkušeného pracovníka. Zvláštností tohoto výrobního procesu je, že jenom jedna strana výrobku má kvalitní povrch.

Touto metodou byly vyrobeny lodě, skladovací nádrže, bazény a rovné plochy.

Jednotlivé fáze procesu jsou:

- Povrchová úprava formy separačním činidlem
- „gel coat“ – v případě potřeby
- Katalyzovaná pryskyřice
- Výztuž
- Další vrstva pryskyřice
- Předchozí dva kroky jsou stále opakovány, až je dosaženo potřebné tloušťky pryskyřice
- Vytvrzení v klidu
- Vyjmutí z formy [1, 6]

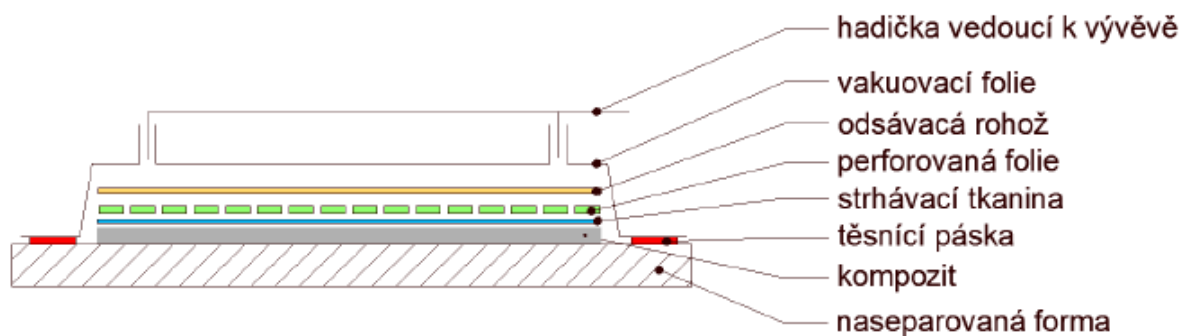


Obr. 4 Ruční kladení za mokra [7]

2.2 Dolisování pomocí vakua

Podobná technologie jako při ručním kladení, tedy jsou nanášeny vrstvy výztuže a pryskyřice. Na poslední konstrukční vrstvu se dále položí odtrhová tkanina ze syntetických vláken, která usnadní další operace. Odtrhovou tkaninu lze kdykoliv po vytvrzení strhnout (povrch není třeba dále upravovat). Na tuto vrstvu se položí perforovaná separační fólie a odsávací rohož, která vstřebá přebytečné pojivo a umožní odsátí vzduchových bublin. Nakonec se aplikuje vakuovací fólie a utěsní se po obvodu těsnícím tmelem. Vakuum je zajištěn přítlak o hodnotách mezi 0,3 až 0,9 bar.

Tato metoda není nákladově náročná a výrobek má oboustranně hladký povrch. Vhodná pro malosériovou výrobu. [7]



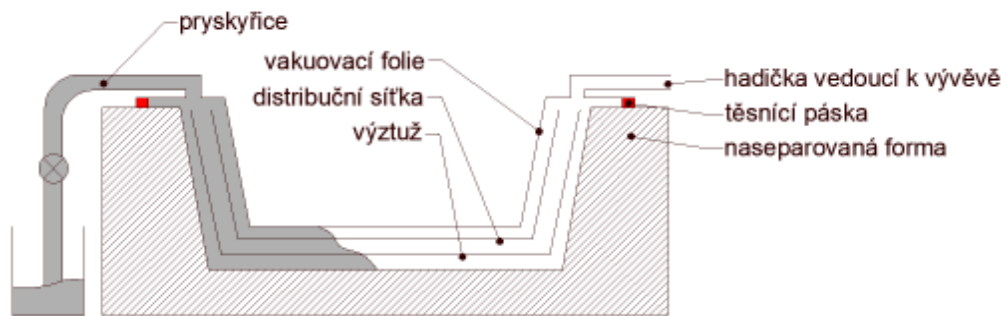
Obr. 5 Schéma dolisování za pomoci vakua [7]

2.3 Vakuová infuze

Tato metoda využívá podtlaku k prosycení vrstev výztuže. Vrstvy jsou nasucho položeny do dutiny formy. Na tyto vrstvy je pak položeno několik pomocných materiálů a pomocí distribučního média a systému hadiček je pryskyřice nasávána do výztuže.

Kompozitní díly vyrobené touto technologií mají vysokou pevnost, nízkou hmotnost, tvarovou stálost, odolnost proti nárazům a UV záření.

Pomocí této technologie se vyrábí velkorozměrové a tvarově jednoduché výrobky jako lodě, čluny, lopatky větrných elektráren. [2, 7]



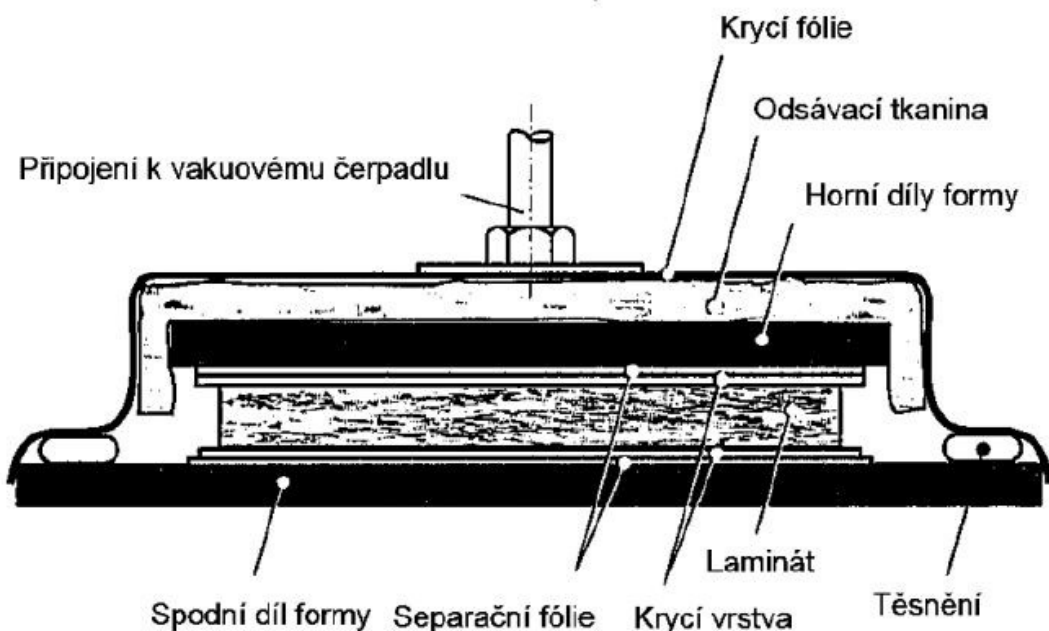
Obr. 6 Schéma vakuové infuze [7]

2.4 Vytvrzení prepregů v autoklávu

Vytvrzení probíhá pomocí tepla a tlaku v uzavřené nádobě (autoklávu) s přesně říditelnými parametry vytvrzování. Jedná se o zdokonalení výrobní metody vakuového pytle.

Výhodami tohoto procesu je zvýšení obsahu výztuží, možnost vytvrzení značně velkých výrobků a možnost vytvrdit více částí v jednom autoklávu. Nevýhodou je pak velmi vysoká cena, značný odpad a velikost výrobku závisí na velikosti autoklávu.

Touto metodou jsou vyráběny trysky raket, elektronické součásti, teplotní štíty a jsou součástí křídel letadel. [6]

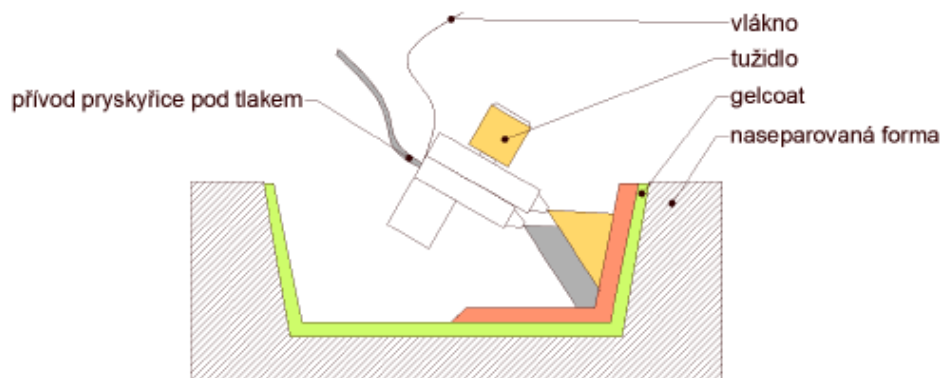


Obr. 7 Lisování v autoklávu [1]

2.5 Stříkání

Jedná se o strojní technologii, kdy se pistolí pneumaticky nanáší sekaný roving a iniciovaná pryskyřice na formu. Nanáší se gel-coatová vrstva a to v několika vrstvách podle potřebné tloušťky výrobku. Jednotlivé vrstvy jsou zhutňovány rýhovanými nebo štětinovými válečky o různé velikosti a tvaru, a zároveň jsou vytlačeny vzduchové bubliny.

Technologie je vhodná pro velkorozměrové nepřiliš velké dílce. Taktéž slouží pro nanesení laminátové vrstvy na výrobky jako např. vany, umyvadla a dna sprchových koutů.



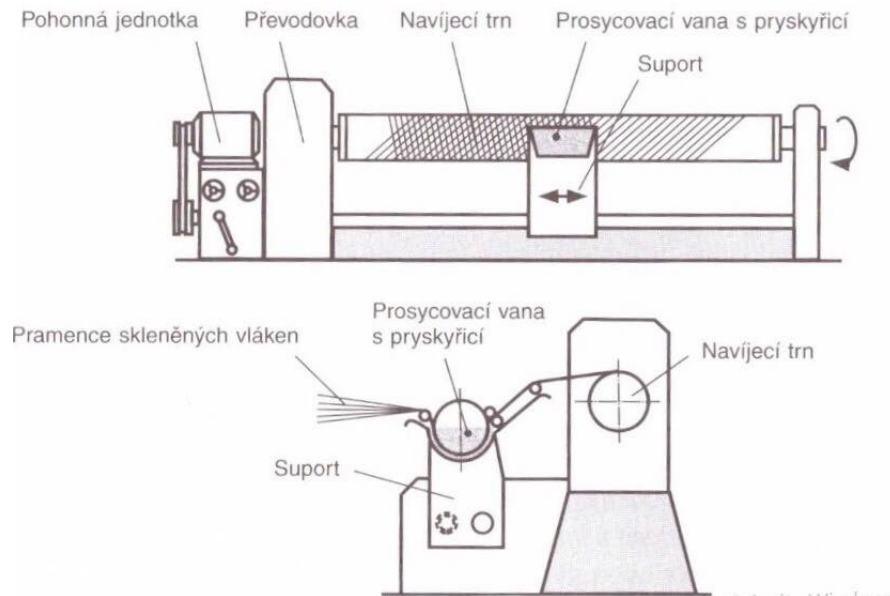
Obr. 8 Schéma stříkání [7]

2.6 Navíjení

Speciální metoda, kterou se vyrábí dutá tělesa symetrická k ose otáčení. Svazek vláken je navíjen na kruhovou, smršťitelnou formu (jádro). Vlákna jsou navinuta buď prosycené pryskyřicí, nebo se provlhčí až po navinutí. Kvalita a vlastnosti jsou dány uspořádáním a orientací pramenců vláken a výztuží.

Používá se nejjednodušší forma výztuže – roving. Je možné navíjet i tkaniny nebo rohože, které zpevní soudržnost vrstev. Nedostatkem této technologie je vysoká cena navíjecích strojů a nesnadné odstranění vnitřních forem.

Touto technologií je možno vyrábět roury, nádrže, tlakové zásobníky. [1, 6]



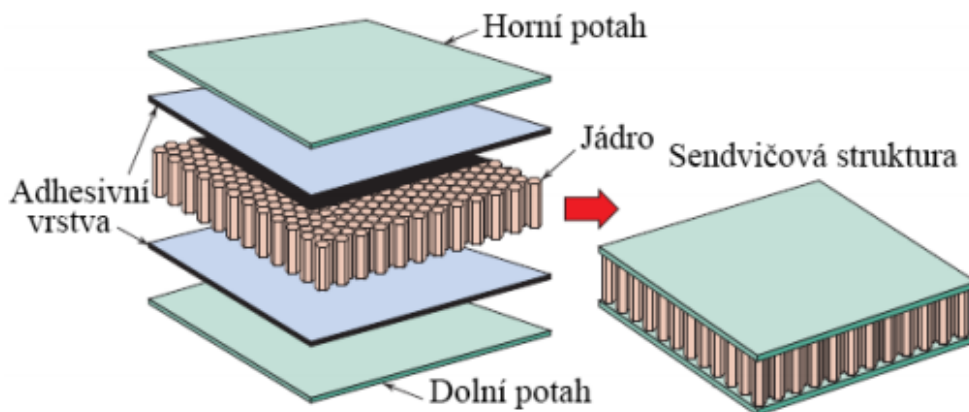
Obr. 9 Technologie navíjení [1]

3 SENDVIČOVÉ KONSTRUKCE

Sendviče se řadí mezi vrstvené kompozitní konstrukce složené z kombinace odlišných materiálů. Největší uplatnění těchto materiálů se nachází v oblasti technicky zaměřených průmyslů (letecký, automobilový, železniční, kosmonautika), dále pak také ve stavebnictví, kde slouží jako izolace.

3.1 Stavba a vlastnosti

Sendvič se skládá z dvou tuhých vnějších vrstev (potahů), které jsou namáhány na ohyb (tah a tlak) a jádra, které přenáší smykové síly mezi vnější vrstvy. Potahy představují nejčastěji kompozitní materiály (prepregy) nebo kovové materiály, jádro je pak tvořeno voštinou, balzovým dřevem, pěnou, korkem. Celá konstrukce je dále vytvrzena v autoklávu za tepla, vakuovým vakem, nebo vulkanizačním lisem.


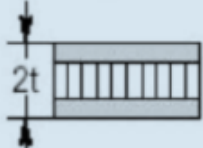



Obr. 10 Schéma sendvičové struktury [7]

Mezi největší přednosti sendvičů patří jejich nízká hmotnost, vysoká pevnost a tuhost v ohybu, vysoká nosnost, dlouhá životnost, odolnost proti šíření trhlin, tlumení rázů, tepelná a akustická izolace. [4, 8, 9]

Sendvič se skládá z několika vrstvených materiálů a každá vrstva může ovlivňovat jiné vlastnosti podle:

- Typu vláken
- Typu matrice
- Typu a velikosti potahu
- Typu a velikosti jádra
- Tvaru a orientace vláken [9]

Materiál	Homogenní materiál	Tloušťka jádra $2t$	Tloušťka jádra $4t$
Schéma			
Tuhost	1	7	37
Pevnost v ohybu	1	3,5	9,2
Hmotnost	1	1,03	1,06

Obr. 11 Porovnání vlastností laminátu a sendviče [4]

3.2 Jádra sendvičů

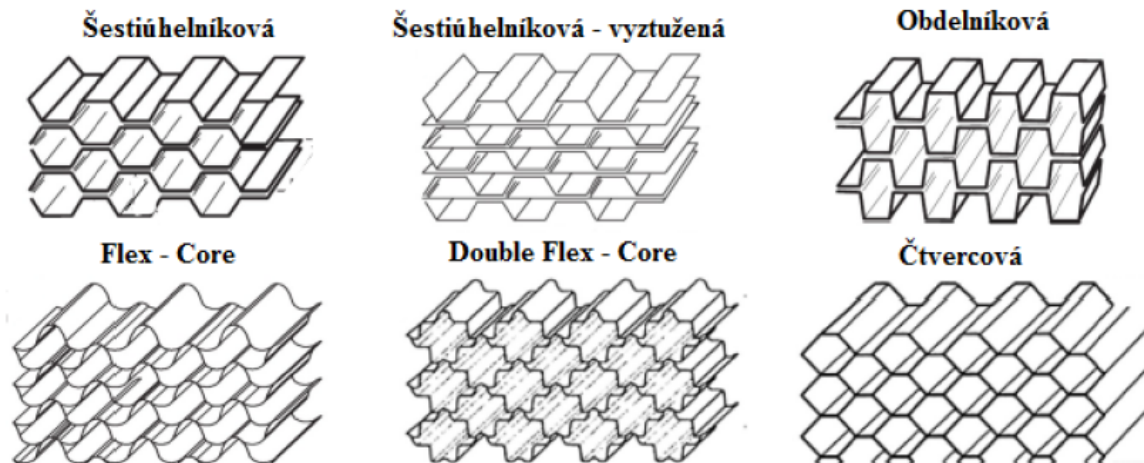
Jádra sendvičů by měla být co nejlehčí, ale zároveň by měla zajistit co největší tuhost. Dále by měla mít izolační a tlumící schopnost. Hliníkové voštiny poskytují odolnost proti vysokým teplotám a absorbcí vody.

Nejvíce využívaná jádra sendvičů jsou:

- Voštiny – kovové i nekovové
- Pěny – polymerní a kovové
- Přírodní materiály – korek a balzové dřevo
- Tvarová jádra

3.2.1 Voštiny

Je složena z několika buněk ve tvaru šestihranu, který připomíná tvar včelího plástu (Honeycomb). Tyto buňky jsou vyrobeny z velmi tenkých vrstev navzájem spojeného materiálu. Volba geometrické tvaru se odvíjí od způsobu namáhání sendviče a způsobu zpracování. Jako materiál pro voštinová jádra se používá lepenkový papír, hliník, titan, ocel, skelné a uhlíková vlákna, které se kombinují s určitým typem matrice. [4]



Obr. 12 Geometrické tvary voštiny [10]

3.2.2 Pěny

Spolu s voštinami nejvíce zastoupená skupina. Polotovar ve formě pěnového bloku, díky kterému má výrazně nižší hmotnost, než plné materiály. Hustota tohoto materiálu je snížena díky přítomnosti bublin. Pěna je vytvořena vmícháním molekul plynu do horkého polymeru. Plyn se do polymeru dostává buď mechanickým mícháním, nebo vmícháním nadouvadla. Nízká hmotnost, dobrá tvarovatelnost a nižší cena oproti voštinám jsou charakteristické vlastnosti pěnového jádra. Hustota pěn se pohybuje mezi 30 až 300 kg/m³. Mechanické vlastnosti se zlepšují s rostoucí hustotou.

Materiály pro polymerní pěny:

- Kovové - hliník
- Polyvinylchlorid – PVC
- Polypropylen – PP
- Polyuretan – PUR
- Polyetylentereftalát – PET
- Polystyren – PS [10]

3.2.3 Balza

Materiál je získáván zpracováním balzového dřeva. Balzové stromy jsou jedny z nejrychleji rostoucích stromů na světě. Strom je schopen za 5 až 7 let dorůst do výšky až 30 metrů s průměrem kolem 45 cm. Vyznačuje se podobnými vlastnostmi jako voština a pěna, ale nevýhodou tohoto materiálu je jeho náchylnost k navlhání. [4, 11]



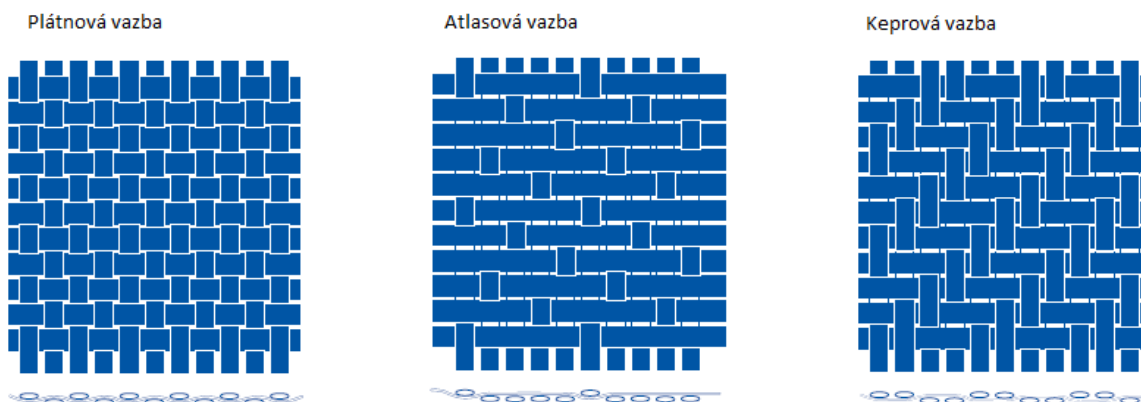
Obr. 13 Balzové dřevo [11]

3.3 Potahy

Pro vnější vrstvy jsou používány pevné a tenké materiály, které musí splňovat výrobní požadavky. Tyto materiály jsou odolné vůči zatížení, korozi, povětrnostním podmínkám a žáru. Jsou používány kovové materiály jako hliník, ocel, titan a nekovové materiály jako laminát, prepregy a popř. i dřevo.

- Suché tkaniny

Tvoří je vlákna uložená v polymerním nebo jiném materiálu matrice. Jsou to plošné výrobky z vláken nebo pramenů. Tato vlákna plní funkci výztuže ve dvou směrech. Mohou vznikat různé typy vazby, dle vzájemného křížení vláken a to plátňová, atlasová a keprová vazba. Plátňový typ vazby je jednoduchý a má dobrou rozměrovou stálost. Krový typ vazby se díky své ohebnosti hodí pro tvarově složité výrobky. Atlasový typ vazby má menší vychýlení vláken ve srovnání s atlasovou vazbou a dosahuje tak velmi hladkého povrchu. [1, 12]



Obr. 14 Typy vláknových vazeb [1]

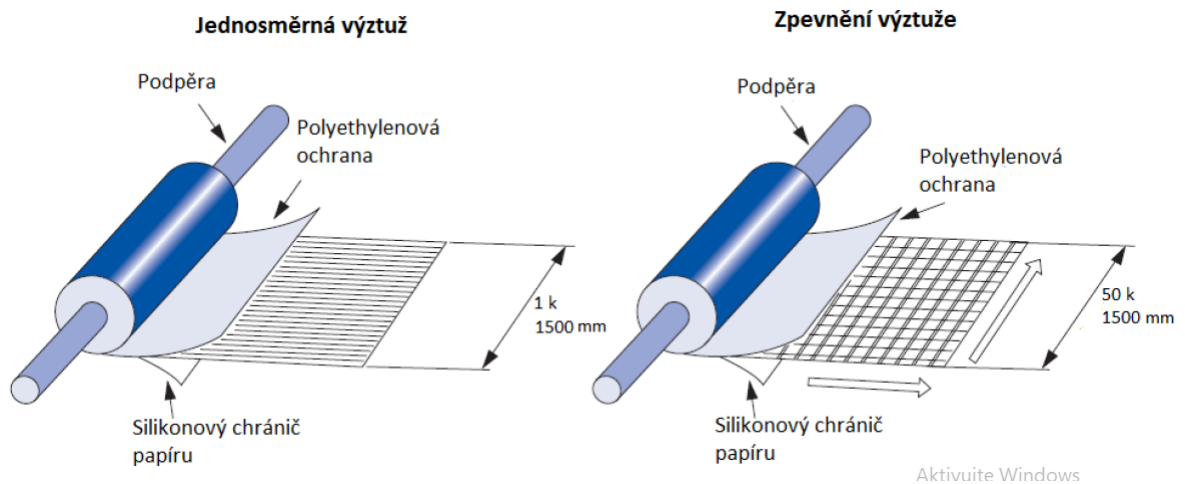
- Kovové materiály

Jako obkladový materiál jádra sendviče se používají tenké ocelové plechy válcované za studena s ochranou proti korozi. Tam, kde jsou zvláštní požadavky na odolnost proti korozi jako třeba výroba a skladování potravin jsou používány sendviče s hliníkovým obkladem. Tloušťka hliníkového plechu je v rozmezí od 0,7 až 1,2 mm. [13]

- Prepregy

Vláknový vyztužený materiál je částečně před-impregnován reaktivní pryskyřicí, nejčastěji epoxidovou nebo fenolickou. Aby nedocházelo k vytvrzení a stárnutí, které ovlivňuje lepi-
vost prepregu, nechávají se hluboce zamrazit při teplotách kolem $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Jakmile je vytažen z mrazícího boxu, nechává se vytemperovat při pokojové teplotě, aby později nenavlhla jak vlákna, tak i matrice. Prepreg je zpracováván technologií vakuového lisování nebo vytvrzením v autoklávu.

K hlavním výhodám prepregů patří nízká hmotnost, vysoká tuhost, trvanlivost, tvarová volnost při návrhu, snížení nákladů výroby a především přesně definovaný podíl matrice, resp. tkaniny. Další důležitá vlastnost je, že ke spojení s jádrem není potřeba adhezivní vrstva, protože je nahrazena pryskyřicí. [1, 2, 4]



Obr. 15 Varianty výroby prepregů [7]

4 INSERTY

Jedná se o kovové prvky, které umožňují spojení voštinových sendvičů s konstrukčním dílem. Tyto prvky přenášejí vnější zatížení do sendviče. Je velmi obtížné zajistit přenesení bodově soustředěné síly skrz sendvičové jádro, proto musí být takové místa upraveny tak, aby byly síly rozloženy do co největší plochy.

Skládá se z pevného a pohyblivého konstrukčního prvku. Pevnou částí se rozumí matice, pohyblivou odnímatelnou část pak představuje závitový prvek.

Insert se vkládá do předem připraveného otvoru. Prostor kolem insertu se následně zalije epoxidovou pryskyřicí, která se nechá vytvrdit. [14, 15, 16]

Celý systém se skládá ze tří hlavních částí:

- Insert
- Sendvičová struktura
- Spojovací materiál insertu

Inserty jsou charakterizovány dle:

- Typu
- Velikosti - Existuje široká škála velikostí, tvarů a rozměrů insertů vyrobené několika společnostmi v různých zemích. Výrobky mohou být volně dostupné (normované) u výrobců, nebo nestandardní (na zakázku), které jsou navrženy speciálně pro konkrétní typ kompozitního dílu.
Základními parametry insertů, od kterých se odvíjí pevnost a nosnost jsou průměr a výška.
- Materiálu - Většina insertů je vyrobena z různých druhů kovů nebo jejich kombinací. Nejvíce jsou využívány hliníkové slitiny, titanové slitiny a uhlíkové oceli. Je možné použít i plasty vyztužené uhlíkovými vlákny. Materiál je nutno volit v závislosti na typu a velikosti zatížení působící na insert.
- Ochrany povrchu – U všech insertů je třeba zajistit povrch proti korozi. Hliníkové inserty jsou galvanicky zpracovány v lázni kyseliny siřičité, což dodá mimo korozi-vzdornosti také vhodný povrch pro nanesení lepidla. Inserty z titanu není třeba dále zpracovávat, protože po obrobení je jejich povrch automaticky chráněn vrstvou oxidu. [14]

4.1 Typy insertů

4.1.1 Sendvičové inserty

Inserty je možno připojovat k sendvičové struktuře dvěma způsoby. První z nich probíhá za vysokých teplot, jsou to tzv. „Hot bonded“, které jsou do jádra přidány během výroby sendviče, a připojení k jádru proběhne během vytvrzovacího procesu. Druhý způsob probíhá za normální pokojové teploty, zde jsou to tzv. „Cold bonded“, které se vlepují do již hotového dílu. Inserty připevněné za normálních teplot jsou do dílu umísťovány až v průběhu montáže, což umožní reagovat na případné změny v konstrukci. Výška těchto insertů není závislá na výšce jádra sendviče, tudíž může být snížena hmotnost sendvičových panelů s vysokým jádrem, u kterých nejsou velké požadavky na přenášené síly. Tepelně připevněný insert je upnut jak k horní, tak i ke spodní krycí vrstvě a jeho výška je shodná s výškou jádra sendviče. Pro obě varianty platí, že plnič, ve kterém jsou umístěny má za úkol přenést zatížení na co největší plochu jádra. [14, 15]



Obr. 16 Řez sendviče s insertem „Hot bonded“ [15]



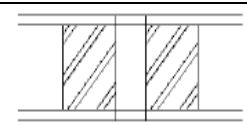
Obr. 17 Řez sendviče s insertem „Cold bonded“ [15]

V závislosti na způsobu implementování prvků do sendvičové struktury pak existují tři typy:

Typ A - Upevněný při výrobě sendviče

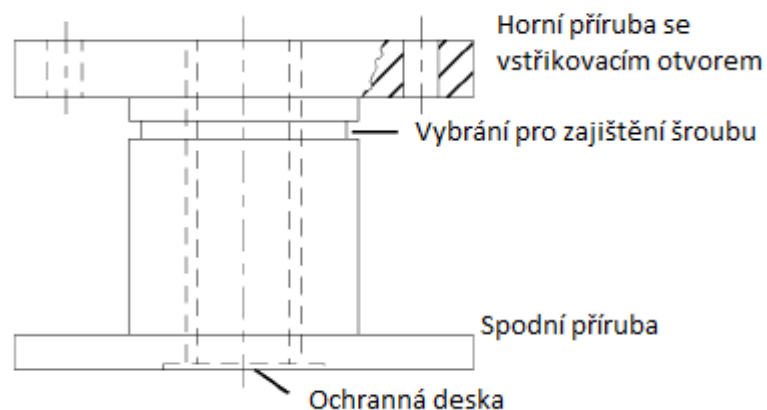
Použití pouze pro poměrně tenké sendvičové struktury. Insert má malou výšku jádra, ale zato velký průměr. Hlavním důvodem jsou konstrukční požadavky. Je obtížné umístit insert přesně do místa, kde má být spojen s protikusem a velký průměr poskytne rezervu v případě nesouososti k vyvrtání díry a následnému vytvoření závitu. Vyrábí se ze slitin hliníku a je zcela zapuštěn do sendvičů.

Tab. 2 Přehled insertových spojů typu A [14]

Typ	Tvar	Průměr [mm]	Materiál	Zapuštění	Norma	Komentář
1		17 - 30	Hliník	Plně zapuštěný s plničem jádra	-	Pouze pro nízké profily jádra

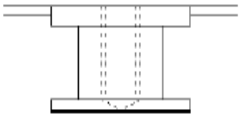
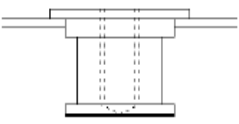
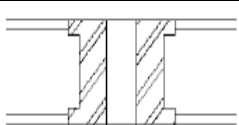
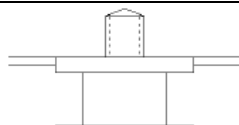
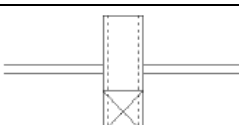
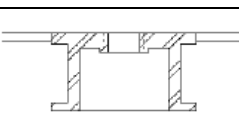
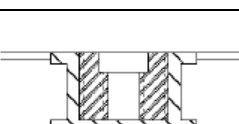


Typ B - Zalitý výplň jádra

Inserty zalité pomocí vytvrzovací epoxidové pryskyřice jsou nejrozšířenější a nejdůležitější. Obvykle se jedná o dutý válcový prvek s přírubou. V horní přírubě se nachází dva otvory, jedna pro vstřikování epoxidové pryskyřice a druhá pro odvzdušnění. Válcová část může mít vlnitý povrch ke zvýšení odolnosti při zkrutovém namáhání. Vyrábí se ze slitin hliníku, titanu a oceli. Zapuštění insertu do sendviče je buď úplné, nebo částečné, kdy část insertu je vně sendviče. Rozměry od 3 do 70 mm.



Obr. 18 Geometrie insertu [14]

Tab. 3 Přehled insertových spojů typu B [14]

Typ	Tvar	Průměr [mm]	Materiál	Zapuštění	Norma	Komentář
2		11 - 22	Hliník (Ocel) (Titan)	Částečně nebo plně zapuštěný	NAS 1832 NSA 5135 PA 3825	Nejvíce užívaný typ
3		11 - 22	Hliník	Částečně nebo plně zapuštěný	-	Zřídka využívaný typ
4		11 - 14	Ocel Titan	Plně za- puštěný	NAS 1832 NSA 5071 PAN 3827	Použití se závitem i bez
5		6 - 14	Ocel Titan	Částečně nebo plně zapuštěný	ERNO No. R 000/095.000	Zřídka využívaný typ
6		3 - 6	Hliník	Částečně nebo plně zapuštěný	-	Jen pro nízká zatížení
7		19 - 70	Hliník	Částečně nebo plně zapuštěný	-	Pro vysoká zatížení
8		19 - 25	Insert: hliník Matrice: titan	Částečně nebo plně zapuštěný	NAS 1835 NSA 5072 PAN 3829	Možnost výměny a použití plovoucí matice
9		7 - 20	Trubice z karbonových vláken	Trubice vlepená do jádra	-	-
10		-	-	-	-	-

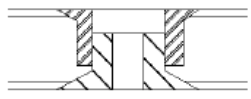
Typ C – Mechanicky upnutý nebo přišroubovaný

Tyto inserty mají několik nevýhod:

- Nejsou přímo spojeny se sendvičovým jádrem
- Potřeba přizpůsobit výšku insertu výšce jádra
- Moment může být přenesen jen pomocí lepidla

Je zde také riziko projevení nedokonalosti při montáži vyosením, což zapříčiní nedostatečnou soudržnost celku a může dojít ke snadnému vytržení insertu ze sendviče. [14]

Tab. 4. Přehled insertových spojů typu C [14]

Typ	Tvar	Průměr [mm]	Materiál	Zapuštění	Norma	Komentář
11		14 - 22	Hliník (Ocel) (Titan)	-	TAN 16485	Nízká únosnost na vytržení
12		14 - 22	Hliník (Ocel) (Titan)	-	-	-

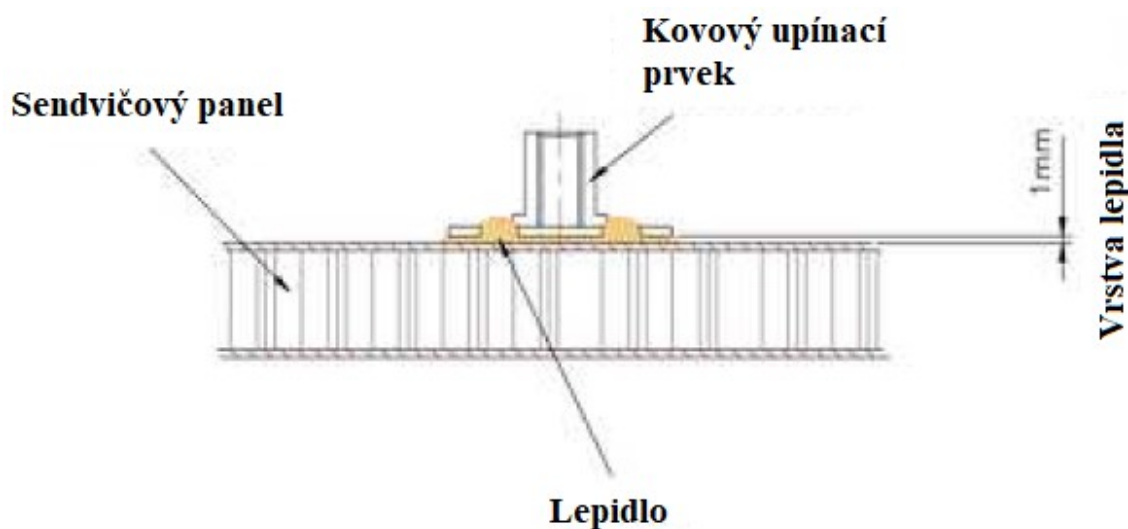
4.1.2 Lepené inserty

Pomocí lepení lze dosáhnout velmi pevného spojení. Tato technologie je výhodná pro sendvičové kompozity s voštinovým jádrem.

Lze je rozdělit na 2 základní typy:

- Upevnění přímo na povrch výrobku

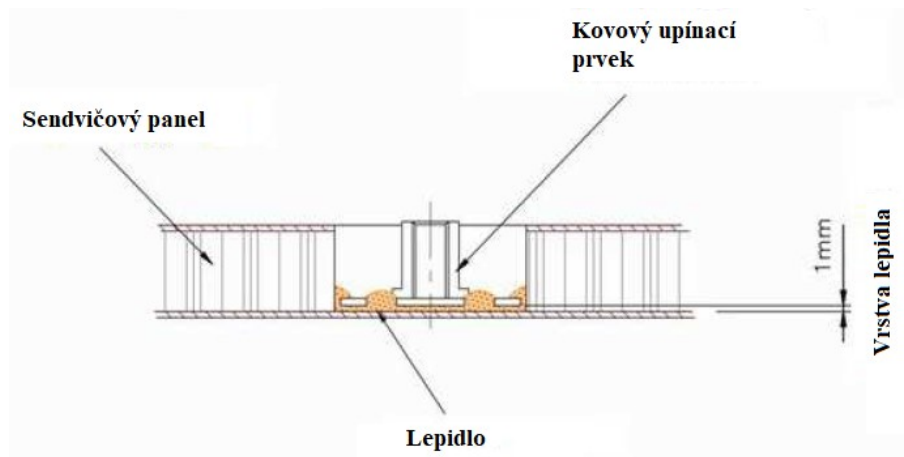
Tato metoda je nejrychlejší a nejprimitivnější. Inserty jsou pevně přilepeny na povrch panelu sendviče. Integrita sendvičového panelu není narušena. Tento typ lze použít pouze v případech, kde není žádaná rovinnost a vzhled povrchu. [17]



Obr. 19 Lepení insertu na sendvičový kompozit [17]

- Upevnění na vnitřní stranu povrchu výrobku

O něco méně výhodná metoda z důvodu narušení pevnosti sendvičového panelu vyvrtaným otvorem. [17]

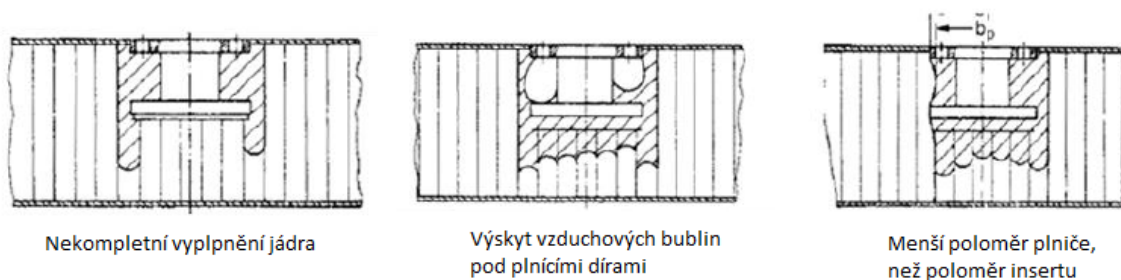


Obr. 20 Lepení insertu do vyvrtaného otvoru v sendviči [17]

4.2 Vznik možných vad při montáži

Kvalita a možnosti kontroly vyplnění jádra jsou hlavním faktorem, které mohou ovlivnit vlastnosti a únosnost spoje. Kontrola kvality vyplnění jádra se provádí pomocí rentgenu. Hlavní výrobní vady viz obr. 19, které mohou vzniknout:

- Nekompletní vyplnění jádra – vzniká z důvodu krátké doby plnění, malé vzdálenosti konce insertu od stěny sendviče, neperforováním jádra, nebo velkou viskozitou pryskyřice
- Výskyt vzduchových bublin pod plnicími dírami insertu – vzniká z důvodu nízké viskozity materiálu
- Poloměr plniče je menší, než poloměr insertu – vzniká z důvodu poškozeného nebo na tupo děrovaného plnicího přípravku [14, 15, 18]



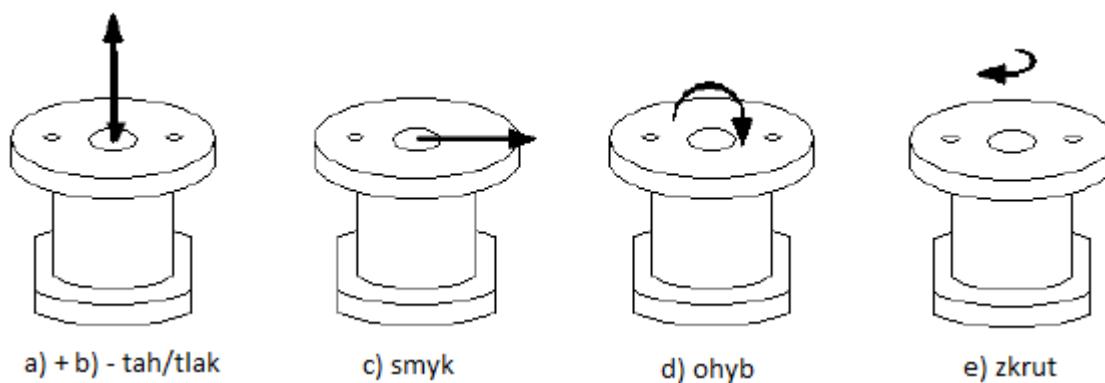
Obr. 21 Možné vady při plnění [14]

4.3 Silové působení na inserty

Pro rozložení zatížení se využívalo dříve výplně a náhrady voštinového jádra (např. dřevěné bloky), které ovšem přidávaly na hmotnosti celého dílu. [16]

Na inserty v sendvičových konstrukcích působí pět základních typů namáhání, viz obr. 20, jsou to:

- Normálové namáhání tahové (ze sendviče ven)
- Normálové namáhání tlakové (dovnitř sendviče)
- Tečné namáhání smykové
- Ohybové namáhání
- Namáhání na zkrut



Obr. 22 Typy namáhání působící na insert [14]

Namáhání mohou působit jak samostatně, tak i v různých kombinacích. Insertové spoje by neměly být namáhány na ohyb a krut. K dimenzování insertového spoje jsou tedy důležité první tři zmíněná namáhání. Momentové zatížení lze převést na normálové vytvořením skupiny insertů vedle sebe. [14, 18]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

5 CÍLE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Cílem této práce je vypracovat literární rešerši v oblasti kompozitních materiálů z hlediska jejich vlastností, technologických postupů při výrobě a dále možného způsobu spojení kompozitních materiálů, konkrétně u této práce zaměřené na kovové spojovací prvky zvané inserty. V experimentální části je cílem zkoumat pevnost spojů kompozitních dílů při použití různých typů insertů, jak z hlediska tvaru a typu spojovacího prvku, tak z hlediska technologie spojování kompozitních dílů. Na stroji Zwick 1456 byly provedeny trhací zkoušky, jak zalaminovaných insertů, tak i insertů aplikovaných ve voštinových sendvičích, lepených insertů a insertů zalisovaných v předvrtaných dírách kompozitní desky. Vyhodnocení výsledků vychází ze síly potřebné k vytržení insertů z testovaného kompozitního dílce.

6 PŘÍPRAVA ZKUŠEBNÍCH TĚLES

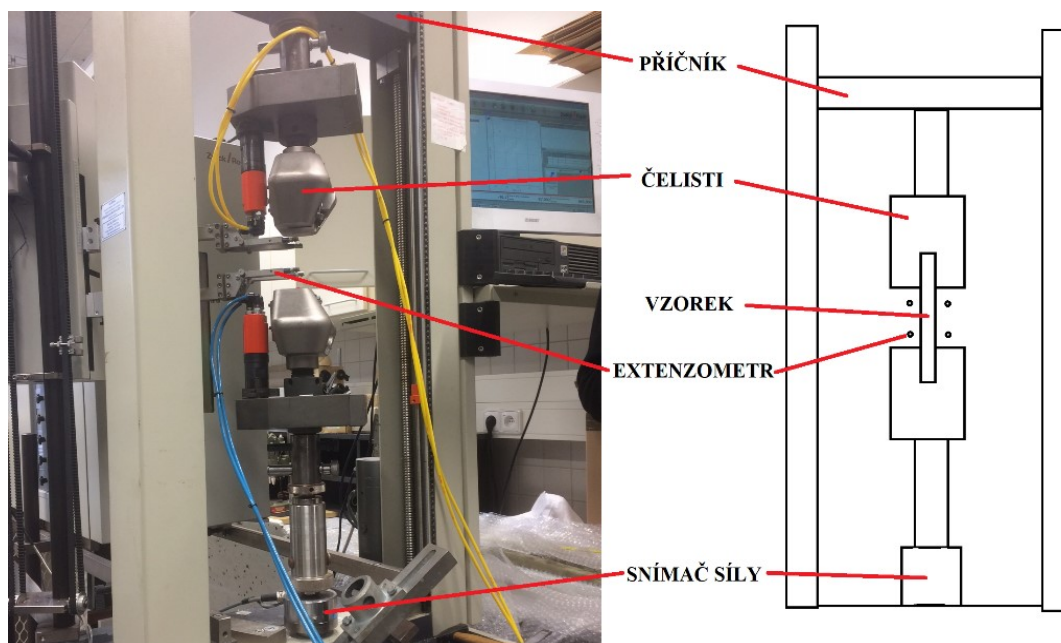
Měření je rozděleno do více částí. Prvním z případů je zkoumání zalaminovaných insertů v záchodové desce. Druhým případem jsou inserty lepené na předvyrobené podkladové laminované desky. Třetím případem jsou inserty ve voštinových sendvičích dvojího typu a poslední čtvrté měření se týká zalisovaných závitových vložek do laminátu.

6.1 Měřicí zařízení

Přístroj, na kterém proběhla měření v laboratoři UTB FT má název ZWICK 1456. Měření všech zkušebních těles proběhlo za ustálené teploty 22 °C.

Tab. 5 Technické parametry univerzálního přístroje ZWICK

Maximální posuv příčnicku	800 mm/min
Snímače síly	2,5N až 20kN
Teplotní komora	-80 °C až +250 °C
testXpert II software	Tah/Tlak/Ohyb



Obr. 23. Schéma zařízení ZWICK

6.2 Zalaminované inserty

Toto zkušební těleso pochází od společnosti FORM s.r.o. Jedná se o záchodovou desku, která byla instalována do rychlovlaků. Pro tuto práci posloužila k testování pevnosti různých typů zalaminovaných insertů. Obsahuje inserty 3 typů (A, B, C).



Obr. 24 Zkušební záchodová deska obsahující zalaminované inserty

6.3 Lepené inserty

Příprava těchto zkušebních těles spočívala v nalepení insertů pomocí dvousložkového metylmetakrylátového lepidla na podkladovou desku. Jako podklad pro nanesení lepidla byly použity laminované desky vyrobené v laboratorních cvičení předmětu Zpracovatelské inženýrství kompozitů. Tyto desky byly zhotoveny ruční laminací tkanin s epoxidovou pryskyřicí. Pro lepené inserty byly použity různé typy insertů i lepidel.

6.3.1 Použitá lepidla

- Lepidlo SA10 – 20A

SA10 - 20A je dvousložkové metylmetakrylátové lepidlo černé barvy vhodné pro lepení kovů, kompozitů a plastů s minimální přípravou povrchů. Čas tuhnutí je 5-20 minut. Pevnost v tahu je 19,3 MPa. Pracovní teplota v rozmezí -40 až +82 °C. Technický list viz příloha.

- Lepidlo Araldite 2021

Araldite 2021 je dvousložkové metylmetakrylátové lepidlo, velmi rychle vytvrzující. Vysoká pevnost ve stříhu, vysoká odolnost proti odlupu, lze použít jako adhezní pevnost. Velmi dobrá odolnost proti vodě a chemikáliím, velmi vysoká rychlost vytvrzování a dobré vlastnosti při zaplňování. Lepidlo má také teplotní odolnost do 110 °C. Určeno pro lepení plastů, kompozitů a kovů. Technický list viz příloha.

- Lepidlo Araldite 2022

Araldite 2022 je dvousložkové metylmetakrylátové lepidlo, velmi rychle vytvrzující. Částečně tixotropní, lze nanášet až do 4 mm. Vysoká pevnost ve stříhu, vysoká odolnost proti odlupu, lze použít jako adhezní pevnost. Velmi dobrá odolnost proti vodě a chemikáliím, velmi vysoká rychlost vytvrzování a dobré vlastnosti při zaplňování. Lepidlo má také teplotní odolnost do 110 °C. Určeno pro lepení plastů, kompozitů a kovů. Technický list viz příloha.

6.3.2 Použité inserty

Inserty pochází od společnosti Veck Composite Fasteners a jsou vyrobeny buď z nerezové oceli, nebo pozinkované oceli. Vrstva zinku dodává prvkům odolnost proti oxidaci.

- Typ A - M1/B15-M5x25 – nerezový

Spojovací kovový prvek typu šroub se čtvercovou hlavou 15 x 15 mm a závitem M5



Obr. 25 Inserty typu A

- Typ G - SM4/B15-4.75×20 – pozinkovaný

Spojovací kovový prvek typu čep bez závitu se čtvercovou hlavou 15 x 15 mm a průměrem čepu 4,75 mm.



Obr. 26 Insert typu G

- Typ C - M1/B38-M6x30 – pozinkovaný

Spojovací kovový prvek typu šroub s kulatou vykrojenou hlavou o průměru 38 mm a závitem M6.



Obr. 27 Insert typu C

- Typ E - M1/T38-M4x20 – nerezový

Spojovací kovový prvek typu šroub s obdélníkovou hlavou rozměrů 38 x 15 mm a závitem M4.



Obr. 28 Insert typu E

- Typ F SF1/ST38-M4HEX – pozinkovaný

Spojovací kovový prvek typu matice na základně s obdélníkovou hlavou rozměrů 38 x 15 mm a závitem M4.



Obr. 29 Insert typu F

- Typ D - M1/B50-M8x20 – nerezový

Spojovací kovový prvek typu šroub s vykrojenou kulatou hlavou o průměru 50 mm a závitem M8.



Obr. 30 Insert typu D

- Typ B - SF2/S20 - M6HEX – pozinkovaný

Spojovací kovový prvek typu pouzdro s kulatou hlavou o průměru 23 mm a závitem M6.



Obr. 31 Insert typu B

- Typ H - SF1- M5HEX – pozinkovaný

Spojovací kovový prvek typu matice na základně o průměru 23 mm a závitem M5.

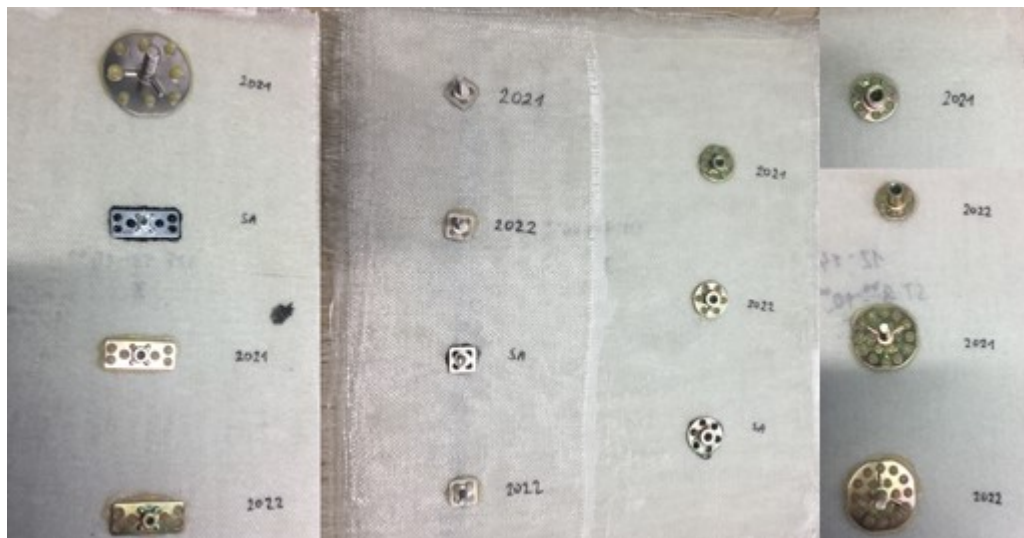


Obr. 32 Insert typu H

Pro nanesení lepidel Araldite 2021 a Araldite 2022 na laminované desky byla použita speciální pistole pro dvousložkové lepidla. Lepidlo SA10 – 20A bylo z důvodu jiného tvaru tuby dvousložkového lepidla vůči pistolí mícháno ručně.



Obr. 33 Vytlačovací pistole



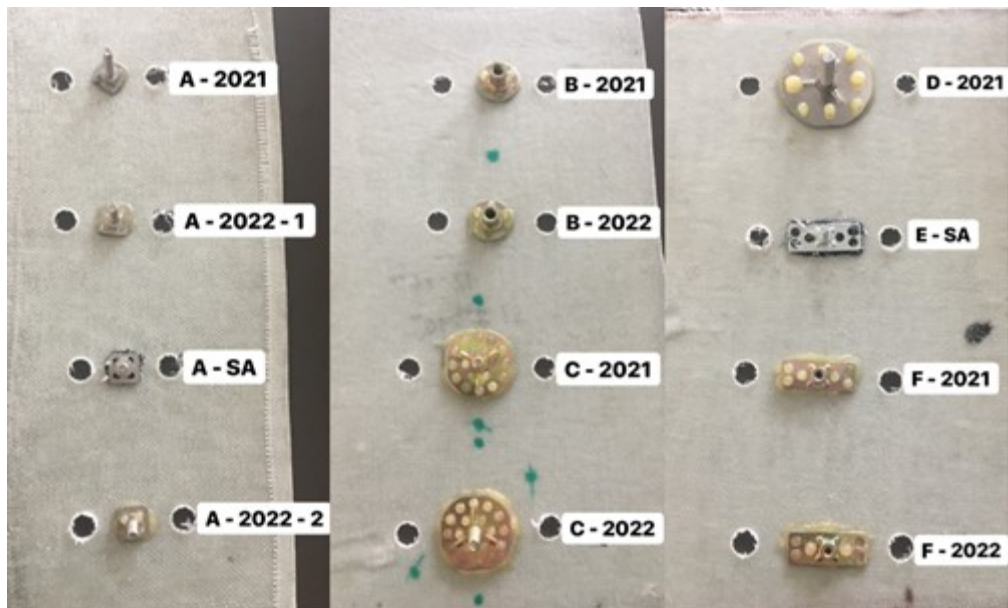
Obr. 34 Nalepené inserty na podkladové desky

Pro upnutí všech zkušebních těles k měřicímu zařízení bylo zapotřebí zhotovit díry k jednotlivým insertům tak, aby při tahové zkoušce nedocházelo k prohnutí výchozího materiálu, ke kterému jsou inserty připevněny. Vyvrtání děr proběhlo na stolní vrtačce.

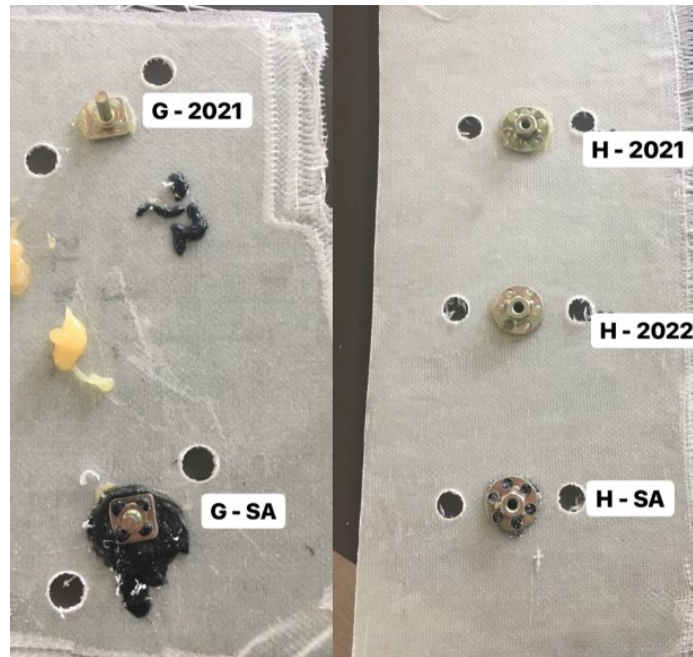


Obr. 35 Stolní vrtačka

Vyvrtním děr jsou zkušební tělesa definitivně připravena ke statické zkoušce tahem.



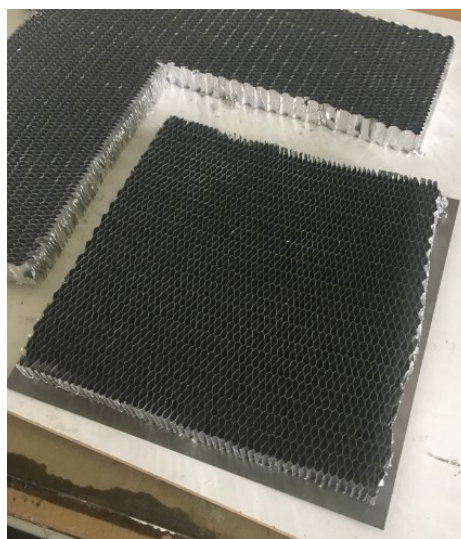
Obr. 36 Sada zkušebních těles č. 1 lepených insertů s vyvrtnými děrami



Obr. 37 Sada zkušebních těles č. 2 lepených insertů s vyvrtanými děrami

6.4 Inserty v sendvičových voštinách

Pro tuto technologii byly zhotoveny sendviče dvojího podobného typu. V obou případech je jako jádro použita hliníková voština se šestiúhelníkovým tvarem buněk a výškou 24 mm. Hliníková voština byla nařezána na čtverce o rozměrech cca 270 x 270 mm. Dále byly vyřezány díry, do kterých budou vloženy nařezané kartitové tělesa s inserty pro první metodu a zapuštěna epoxidová pryskyřice pro druhou metodu.



Obr. 38 Nařezaná hliníková voština

- Kartit - pertinax

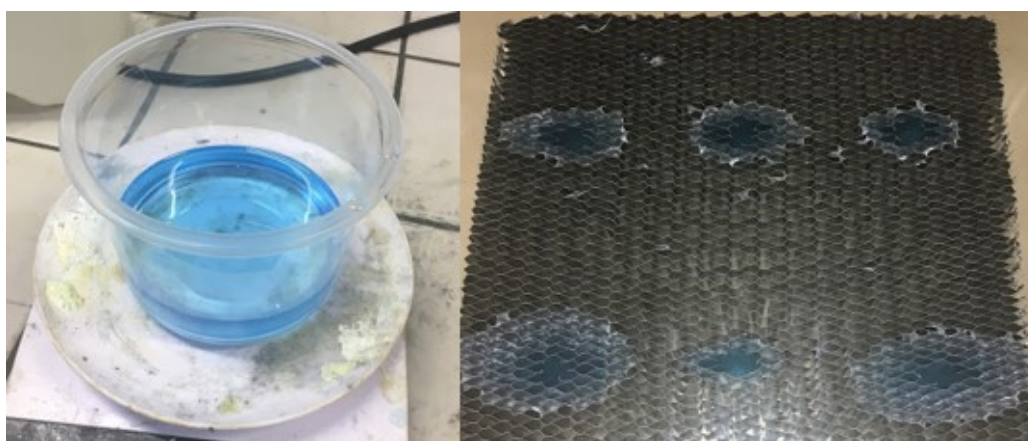
Jedná se o laminovanou desku z vrstvených celulózových papírů prosycených fenolformaldehydovou pryskyřicí. Vrstvy papírů jsou slisovány za velkého tlaku a teploty. Do takové desky byly vyvrtány díry a zašroubovány závitové inserty 2 x M6 a 2 x M8. Poté byla deska nařezána na menší čtvercové díly, které byly aplikovány do vyřezaných děr hliníkové voštiny.



Obr. 39 Uložené kartitové tělesa v hliníkové voštině

- Epoxidová pryskyřice

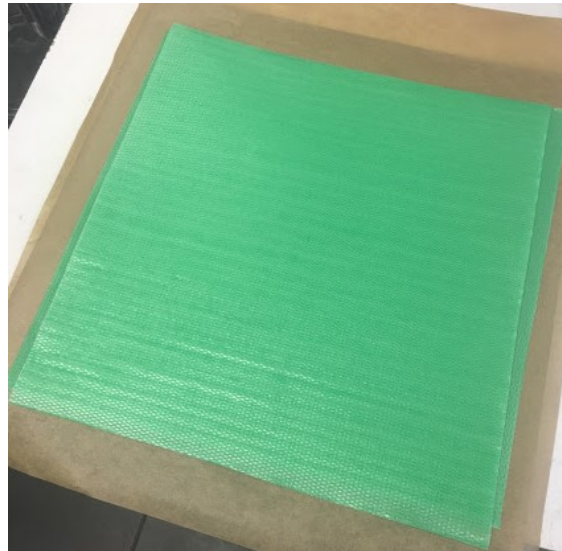
Směs epoxidové pryskyřice L 285 (MGS) a tužidla 285 (MGS) byla namíchána v poměru 100:40 a následně byla tato směs nalévána do vyřezaných děr dostatečně vzdálených od sebe. Technický list viz příloha.



Obr. 40 Vylévání epoxidové pryskyřice do vyřezaných děr

Jako vnější vrstvy sendvičové struktury byly použity prepregy od italského výrobce DELTA s označením UD Deltapreg VV430U-DT806W39.

Jedná se o prepreg, který má jednosměrnou výztuž skelných vláken. Plošná hmotnost tohoto prepregu je 430 g/m^2 . Tloušťka jedné vrstvy prepregu je $0,35 \text{ mm}$. Pro zhotovení sendviče byly na sebe položeny dvě vrstvy prepregu na obou stranách tak, aby orientace kontinuálních vláken v těchto dvou vrstvách byla na sebe vzájemně kolmá. Technický list viz příloha.



Obr. 41 Prepregová vrstva

Ke slisování byl použit laboratorní vyhřívaný lis. Dvě plechové desky posloužily jako forma, mezi které se vložily vnější vrstvy s jádrem. Pro odseparování plechových desek a prepregů byl použit pečící papír.

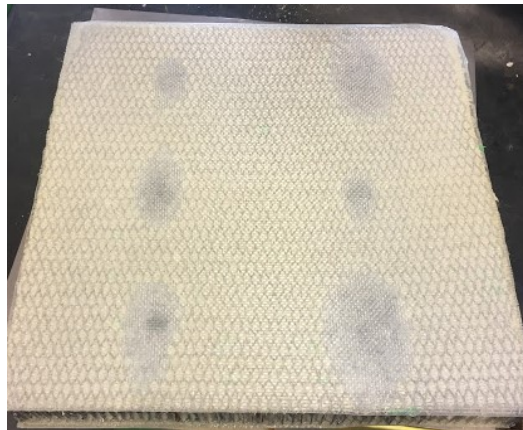


Obr. 42 Laboratorní vyhřívaný lis

Lisování probíhalo podle údajů materiálového listu pro daný prepreg za teploty 140 °C, po dobu 10 minut. Pro vytemperování na danou teplotu začal odpočet 10 minut až po 5 minutovém náběhu na tuto teplotu.

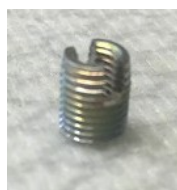


Obr. 43 Detailní pohled na lisování sendviče

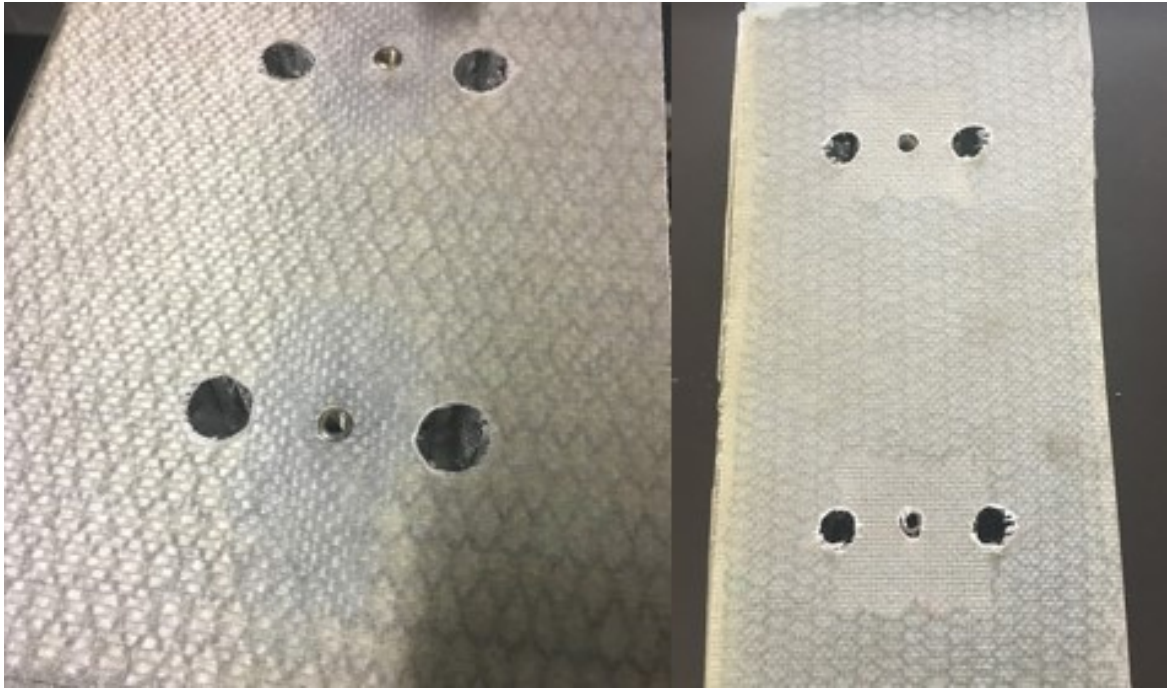


Obr. 44 Sendvič po slisování hliníkového jádra s prepregem

Do takto vylisovaného sendviče bylo zapotřebí opět vyvrtat díry pro uchycení k měřicímu přístroji. Poté byly provrtány díry k závitovým vložkám uložených v kartitu tak, aby bylo možné pro měření našroubovat šrouby do insertů. Na sendviči s epoxidovou pryskyřicí bylo nutné vyvrtat díry pro inserty stejného typu, které byly použity u kartitové desky, ale s rozměrem M4. Do vyvrtaných děr se inserty za pomoci vrtačky samořezně našroubují. Aby toho bylo možné docílit, musí mít díra menší průměr než vnější závit vložky.



Obr. 45 Závitový spojovací prvek M4 k zašroubování do sendviče s epoxidovou pryskyřicí



Obr. 46 Oba typy sendviče přichystané k měření

6.5 Zalisované inserty

Pro poslední metodu byly zkoumány zalisované vložky do laminátu od společnosti BRIOL.

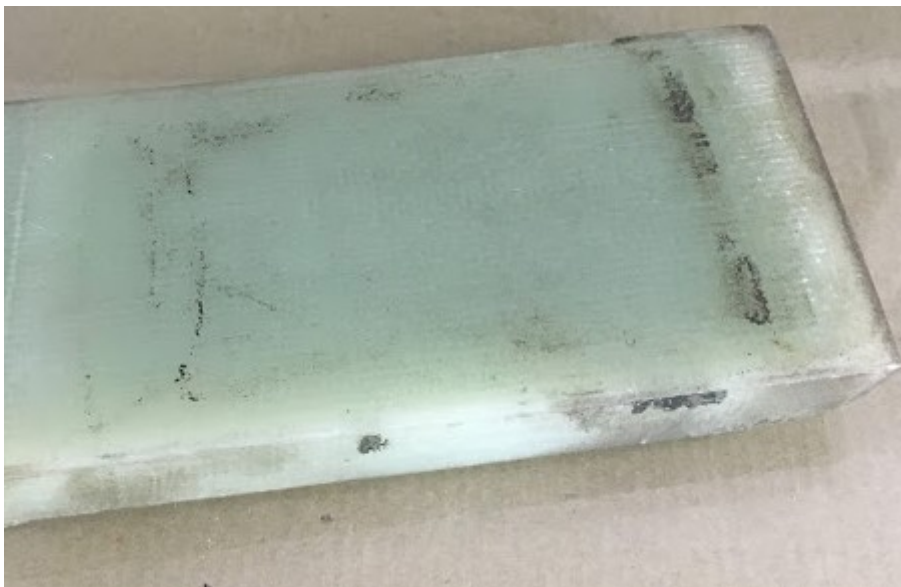
- Závitová vložka BANCLOCK RK842 pro lamináty BN 1048

Jedná se o rozpěrnou závitovou vložku do laminátu o rozměrech M4 x 8 mm. Vložka je vyrobena z mosazi bez povrchové úpravy. Technický list viz příloha.



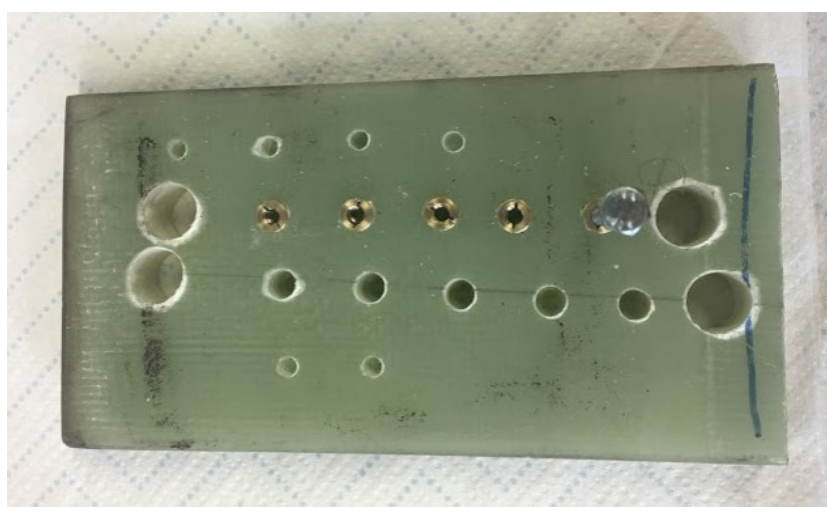
Obr. 47 Závitová vložka BANCLOCK RK842

Jako laminát pro tento typ insertů byla použita kompozitní deska laminovaná opět z materiálu UD Deltapreg VV430U o tloušťce 15 mm.



Obr. 48 Laminát pro testování zalisovaných insertů

Do laminátu byly zhotoveny díry o průměru 5,5 mm a hloubky minimálně 8 mm. Výrobce vložek udává pro tento rozměr vložky ideální velikosti vrtných děr v rozsahu 5,5 – 5,6 mm. Pro experiment byly navíc vyvrtány jiné velikosti děr o průměru 5,2 mm a dále také 6 mm, nicméně nebylo možné s nimi dále pracovat, jelikož při pokusu o nalisování vložky do díry o průměru 5,2 mm, došlo k prasknutí vložky a při vložení do díry o průměru 6 mm již vložka nedržela v díře. Pro úplnost byly opět vyvrtány díry k přichycení na trhacím stroji.



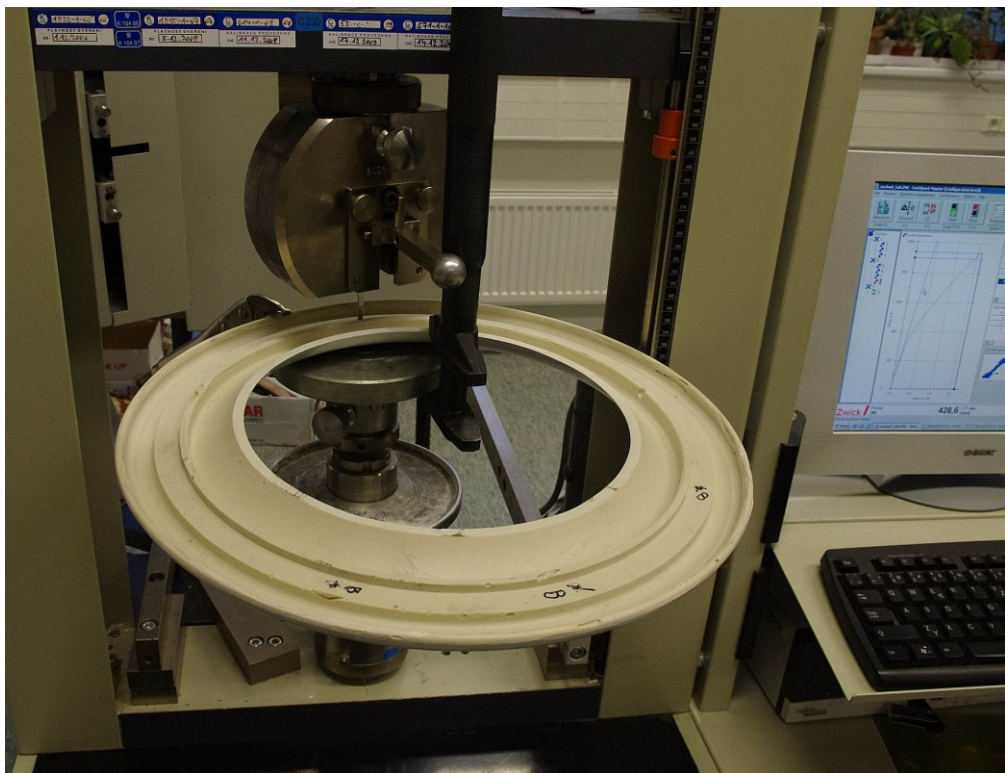
Obr. 49 Laminátová deska se zalisovanými vložkami připravena k testování

7 TESTOVÁNÍ SPOJŮ

Po přípravě všech zkušebních těles bylo možné přistoupit k samotnému testování spojovacích prvků. Testování proběhlo v laboratoři Fakulty technologické na stroji ZWICK 1456, které umožňuje provádět zkoušky tahové, tlakové a ohybové. Pro tuto bakalářskou práci, zaměřenou na pevnost spojovacích insertů v kompozitech, byly provedeny mechanické zkoušky tahem. Primárním cílem bylo získat sílu F_{max} potřebnou pro vytržení prvku z kompozitního dílce.

7.1 Zalaminované inserty

Kompozitní výrobek se zalaminovanými inserty byl upevněn k přístroji pomocí svorek.



Obr. 50 Ukázka upnutí zkušební desky

Do všech prvků bylo k vytažení zapotřebí našroubovat šroub pro uchycení do čelistí a následného vytažení.



Obr. 51 Průběh zkoušky pro insert B

- Insert C



Obr. 52 Insert typu C po vytržení z desky

Tab. 6 Naměřené hodnoty pro insert typu C

Insert C	Fmax [N]	ΔL [mm]
1	2845,9	9,9
2	2422,7	7,8
3	1967,9	7,6

- Insert B



Obr. 53 Insert typu B po vytržení z desky

Tab. 7 Naměřené hodnoty pro insert typu B

Typ B	F _{max} [N]	ΔL [mm]
1	1922,1	3,3
2	1283,4	2,1
3	935,8	1,6

- Insert A



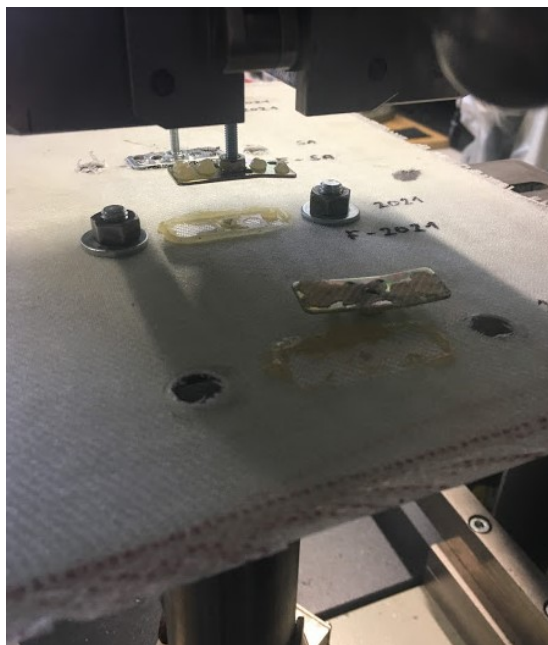
Obr. 54 Insert typu A po vytržení z desky

Tab. 8 Naměřená hodnota pro insert typu A

Typ A	F _{max} [N]	ΔL [mm]
1	2134,2	5

7.2 Lepené inserty

U zkoušení pevnosti těchto spojů bylo k upnutí využito předvrtaných děr, které měly zabránit případnému prohýbání laminovaných desek.



Obr. 55 Ukázka zkoušky pro lepené inserty

Tab. 9 Naměřené hodnoty pro lepené inserty typu A

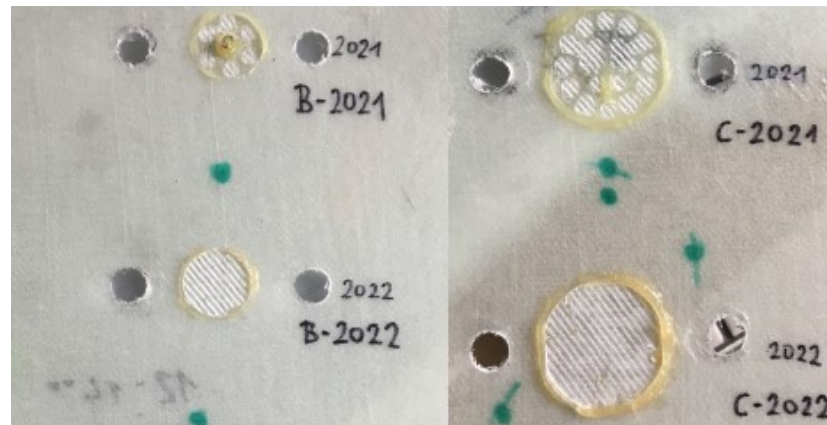
Typ A	F _{max} [N]	ΔL [mm]
A - 2022 - 1	370,2	2,9
A - 2021	332,7	2,9
A - 2022 - 2	439,1	3
A - SA	23,1	0,3



Obr. 56 Podkladová deska 1 po odtržení insertů

Tab. 10 Naměřené hodnoty pro lepené inserty typu B a C

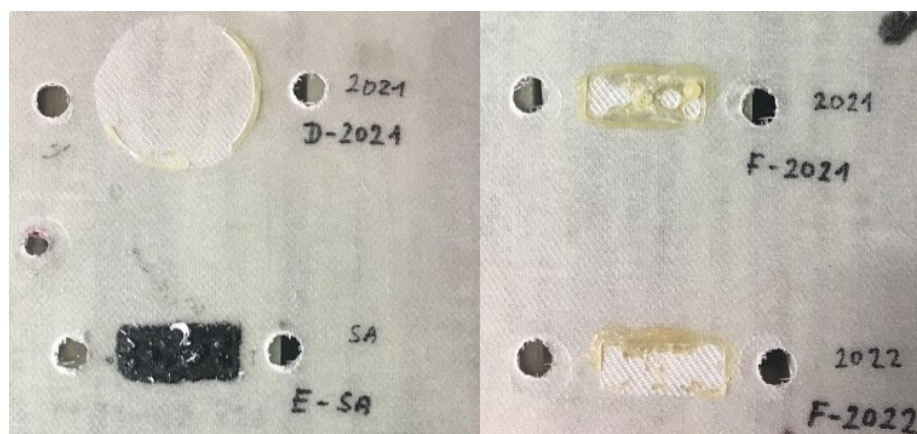
Typ B	F _{max} [N]	ΔL [mm]
B - 2021	174,4	2,1
B - 2022	352,2	3,2
Typ C	-	-
C - 2021	474,6	6
C - 2022	549,2	8,2



Obr. 57 Podkladová deska 2 po odtržení insertů

Tab. 11 Naměřené hodnoty pro lepené inserty typu D, E a F

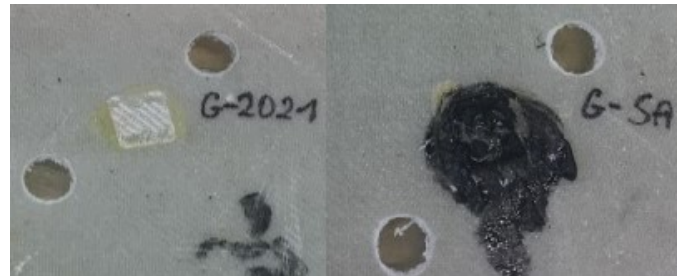
Typ D	F _{max} [N]	ΔL [mm]
D - 2021	473,5	6,5
Typ E	-	-
E - SA	29,9	3,1
Typ F	-	-
F - 2021	326,9	2,7
F - 2022	389,6	3,2



Obr. 58 Podkladová deska 3 po odtržení insertů

Tab. 12 Naměřené hodnoty pro lepené inserty typu G

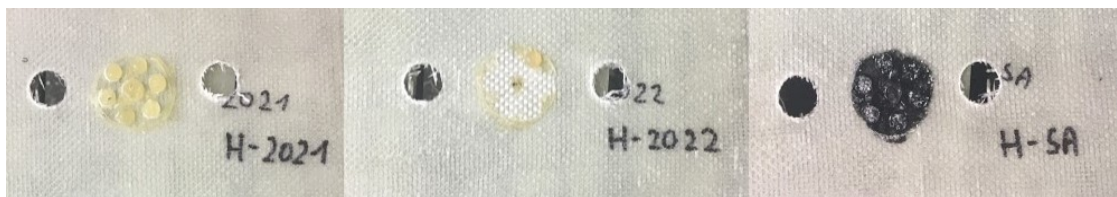
Typ G	F _{max} [N]	ΔL [mm]
G - 2021	125,1	3,1



Obr. 59 Podkladová deska 4 po odtržení insertů

Tab. 13 Naměřené hodnoty pro lepené inserty typu H

Typ H	F _{max} [N]	ΔL [mm]
H - 2021	326,3	2,5
H - 2022	450,1	4,2



Obr. 60 Podkladová deska 5 po odtržení insertů

7.3 Inserty v sendvičích

- Spojovací prvky v sendviči s epoxidovou pryskyřicí L285



Obr. 61 Ukázka průběhu zkoušky pro sendvič

Tab. 14 Naměřené hodnoty pro sendvičové inserty v epoxidové pryskyřici 285

L285	Fmax [N]	ΔL [mm]
1	3464,9	4,4
2	3711	3,4
3	3855	2,9
4	3027,3	2,2

*Obr. 62 Sendvič po vytržení insertů*

- Spojovací prvky v sendviči s kartitem

*Obr. 63 Ukázka průběhu zkoušky pro vzorky s kartitem*

V důsledku neoptimální soudržnosti kartitových desek v hliníkové voštině, došlo při měření jednoho z prvků M6 k chybě a stroj nezaznamenal hodnotu do programu. Podařilo se ovšem odečíst hodnotu okolo 4000 N při manuálním zacházení se strojem při vytahování vzorku.

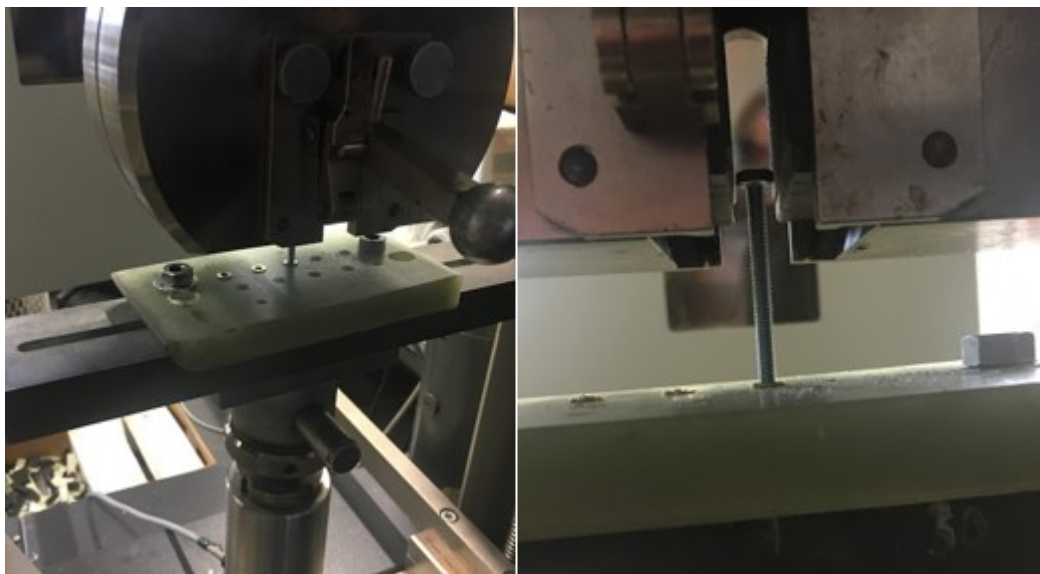
Tab. 15 Naměřené hodnoty pro sendvičové inserty s kartitem

M8 - kartit	Fmax [N]	ΔL [mm]
1	4162,4	7,4
2	6112,2	8,8
M6 - kartit	-	-
1	6576,4	7,7



Obr. 64 Kartitové tělesa po tahové zkoušce

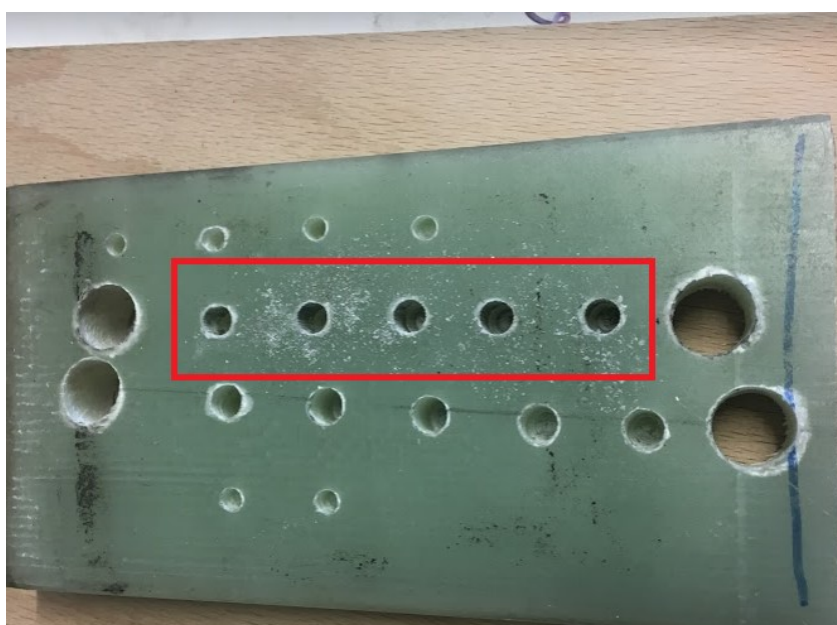
7.4 Zalisované inserty



Obr. 65 Ukázka průběhu zkoušky pro zalisované závitové vložky

Tab. 16 Naměřené hodnoty pro zalisované závitové vložky

bríol	Fmax [N]	ΔL [mm]
1	824,1	2,4
2	1187	2,6
3	924,2	1,4
4	977,1	1,6
5	883,7	1,9



Obr. 66 Laminátová deska po vytažení zalisovaných závitových vložek

8 VYHODNOCENÍ ZKOUŠEK

8.1 Inerty zalaminované

Naměřené hodnoty zalaminovaných insertů jsou zprůměrovány pro každý typ insertu zvlášť a jsou zaznamenány v tabulkách 17, 18, 19. Z těchto tabulek a následného grafu viz obr. 67 lze vyčíst, že nejméně pevný je insert typu B. Jestli je pevnější insert typu C nebo A nelze s jistotou určit, jelikož hodnoty naměřené pro inserty typu C mají poměrně velkou směrodatnou odchylku a hodnota naměřené síly u jednoho z nich má menší hodnotu, než u insertu typu A, u kterého je ovšem naměřena pouze jedna hodnota. Pro směrodatnější měření by bylo nutné změřit více insertů typu A a zjistit průměrnou hodnotu. Jako nejpevnější se nabízí varianta typu C, protože ze všech insertů má v laminátu největší plochu těla a jeho tvar je značně složitější na rozdíl od insertu typu A.

Tab. 17 Zprůměrované naměřené hodnoty pro zalaminované inserty typu C

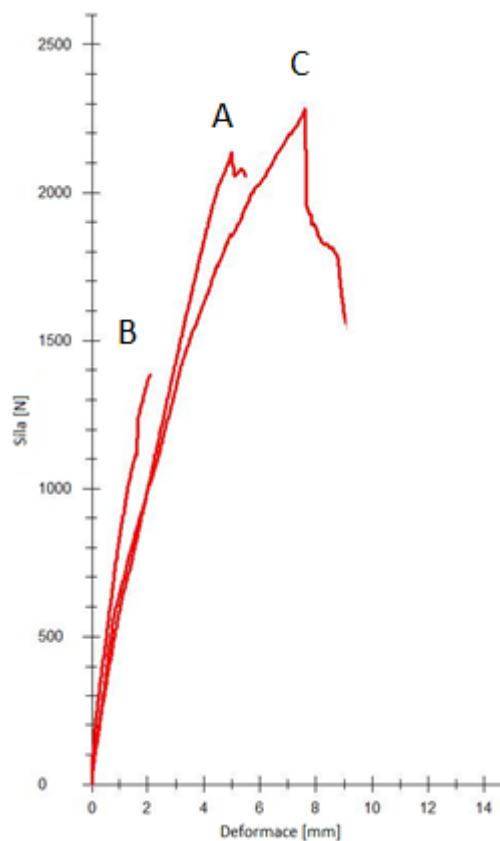
n = 3	F _{max} [N]	ΔL [mm]
x	2412,2	8,4
s	439,1	1,3

Tab. 18 Zprůměrované naměřené hodnoty pro zalaminované inserty typu B

n = 3	F _{max} [N]	ΔL [mm]
x	1380,5	2,3
s	500,3	0,9

Tab. 19 Zprůměrované naměřené hodnoty pro zalaminované inserty typu A

n = 1	F _{max} [N]	ΔL [mm]
x	2134,2	5
s	-	-



Obr. 67 Graf závislosti síly na deformaci pro zprůměrované hodnoty zalaminovaných insertů

8.2 Lepené inserty

Cílem pro tuto kategorii je zjistit, který typ lepeného insertu vykazuje největší pevnost v závislosti na velikosti plochy základny. Lepidlo SA10 – 20A bylo použito celkem pro 4 inserty. Při měření byly zaznamenány pouze 2 hodnoty a to z důvodu odlepení insertů již při manipulaci s podkladovými deskami, na kterých byly tyto inserty přilepeny. Lepidlo bylo mícháno ručně v důsledku jiného tvaru tuby lepidla vzhledem k vytlačovací pistoli a mohlo tak dojít ke smísení dvou složek v nesprávném poměru. Toto lepidlo již bylo navíc po uplynutí doby trvanlivosti o 6 měsíců. V důsledku zmíněných velmi neoptimálních podmínek lepení spojů lepidlem SA10 – 20A, jsou tyto výsledky zcela vyřazeny k porovnání s ostatními lepidly v této kategorii.

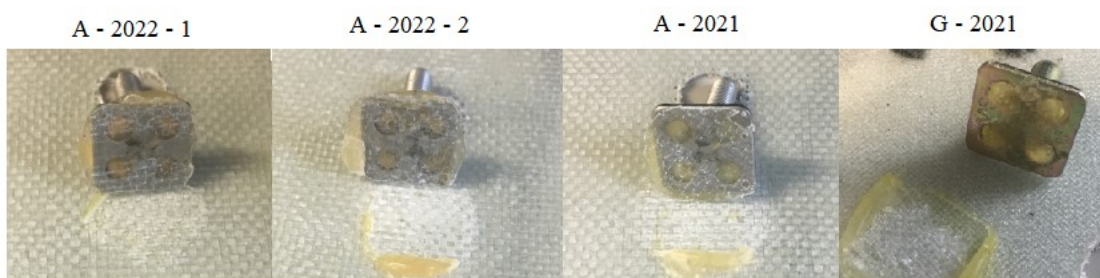
Ke srovnání jsou zařazeny skupiny jednotlivých typů insertů, které mají stejnou tvarovou geometrii základny. Není tedy dbáno na to, zda se jedná o insert s maticí nebo šroubem, popř. insert s čepem bez závitů.

První takovou skupinu představují inserty A a G se čtvercovou základnou 16 x 16 mm.

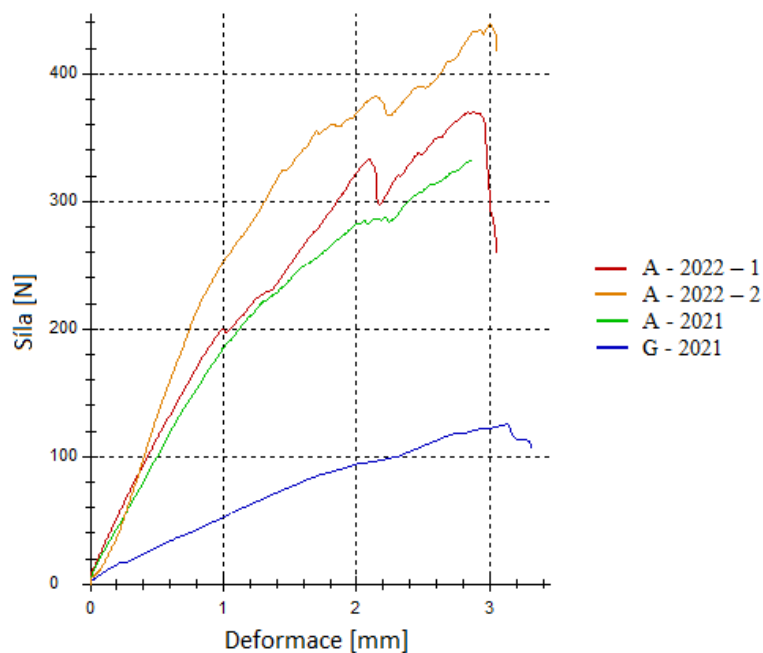
(A - 2022 - 1, A - 2021, A - 2022 - 2, G - 2021)

Tab. 20 Zprůměrované hodnoty pro lepené inserty typu A a G

n = 4	F _{max} [N]	ΔL [mm]
x	316,8	3
s	135,2	0,1



Obr. 68 Inserty typu A a G po provedení zkoušky



Obr. 69 Graf závislosti síly na deformaci pro lepené inserty typu A a G

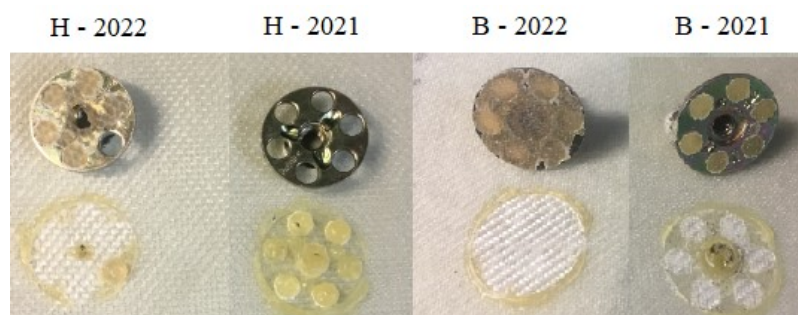
Inserty typu A lepené lepidlem Araldite 2022 prokazují větší pevnost, než při použití lepidla Araldite 2021. Síla k vytržení insertu typu G byla až 3x nižší než u všech insertů typu A. Tento insert byl lepen na podkladovou desku vyrobenou z tkaniny s odlišnou gramáží, která byla v tomto případě menší než u všech insertů typu A, což mohlo způsobit snížení pevnosti tohoto spoje.

Další skupinu se stejným tvarem základny (kulatá hlava s průměrem 23 mm) jsou inserty typu B a H.

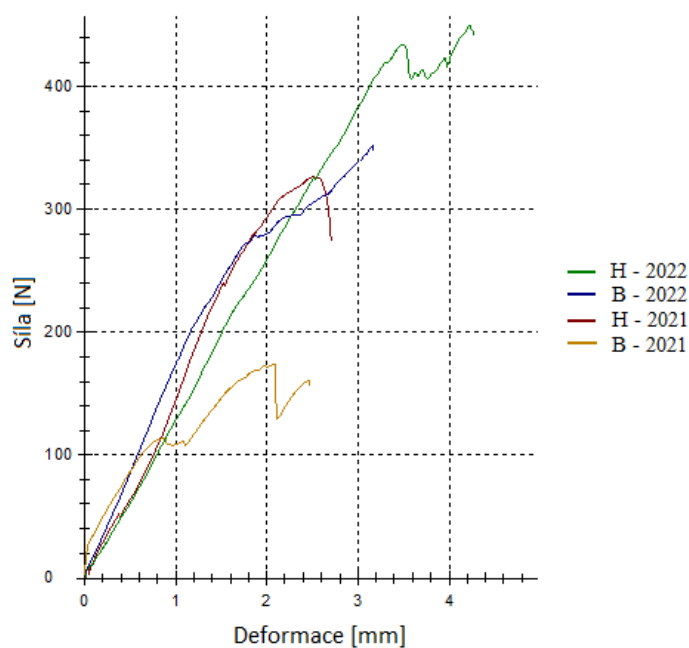
(B – 2021, B – 2022, H – 2021, H – 2022)

Tab. 21 Zprůměrované hodnoty pro lepené inserty typu B a H

n = 4	F _{max} [N]	ΔL [mm]
x	325,8	3
s	114,1	0,9



Obr. 70 Inserty typu B a H po provedení zkoušky



Obr. 71 Graf závislosti síly na deformaci pro lepené inserty typu B a H

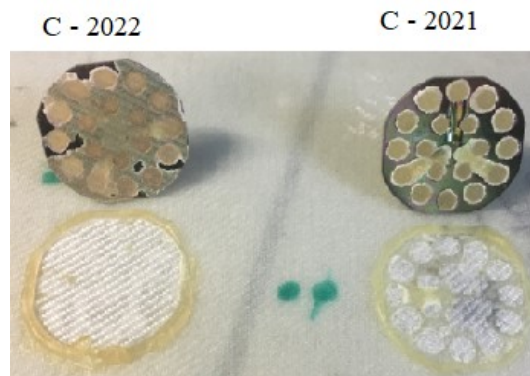
Inserty typu B byly opět nalepeny na laminované desce vyrobené za použití tkaniny s jemnější gramáží, než inserty typu H. Lze tedy konstatovat, že podkladové desky, které mají hrubší gramáž použité tkaniny, jsou schopny prokázat větší adhezi k lepenému insertu. U porovnání lepidel vychází pevnost spoje znovu lépe ve prospěch lepidla Araldite 2022.

Ve třetí skupině insertů, jež mají stejný tvar základny (vykrojená hlava o průměru 38 mm), jsou dva inserty typu C.

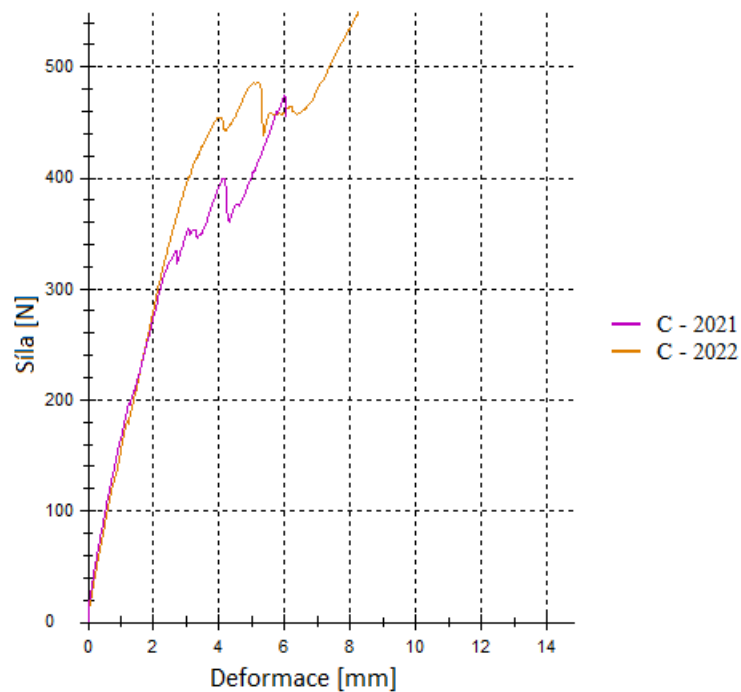
(C – 2021, C – 2022)

Tab. 22 Zprůměrované hodnoty pro lepené inserty typu C

n = 2	F _{max} [N]	ΔL [mm]
x	511,9	7,1
s	52,7	1,6



Obr. 72 Inserty typu C po provedení zkoušky



Obr. 73 Graf závislosti síly na deformaci pro lepené inserty typu C

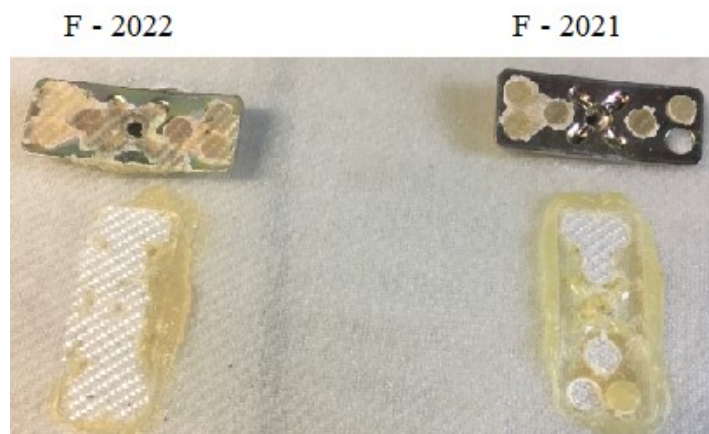
Tyto dva inserty jsou nalepeny na stejné podkladové desce. Spoj s lepidlem Araldite 2022 vychází znovu jako pevnější.

Předposlední skupinou insertů se shodnou základnou (obdélníková hlava 38 x 15 mm), jsou dva inserty typu F.

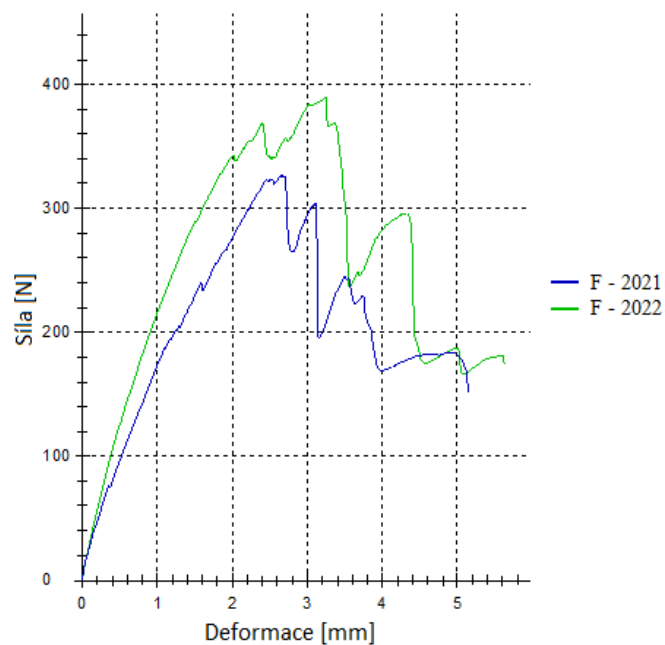
(F – 2021, F – 2022)

Tab. 23 Zprůměrované hodnoty pro lepené inserty typu F

n = 2	F _{max} [N]	ΔL [mm]
x	358,3	3
s	44,3	0,4



Obr. 74 Inserty typu F po provedení zkoušky



Obr. 75 Graf závislosti síly na deformaci pro lepené inserty typu C

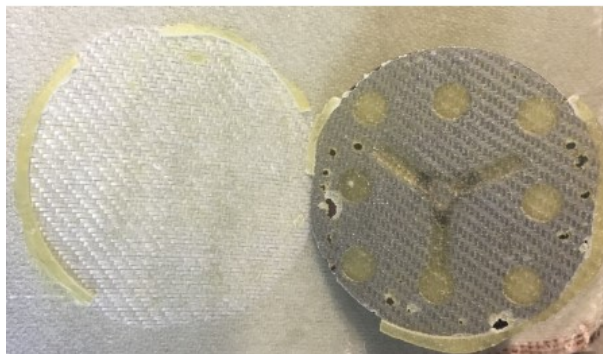
Stejně jako u předchozího případu jsou tyto inserty přilepeny na jedné podkladové desce a také pevnost vychází lépe pro lepidlo Araldite 2022.

Poslední měřeným insertem byl typ D s největší plochou základny ze všech insertů (vykrojená kulatá hlava o průměru 50 mm).

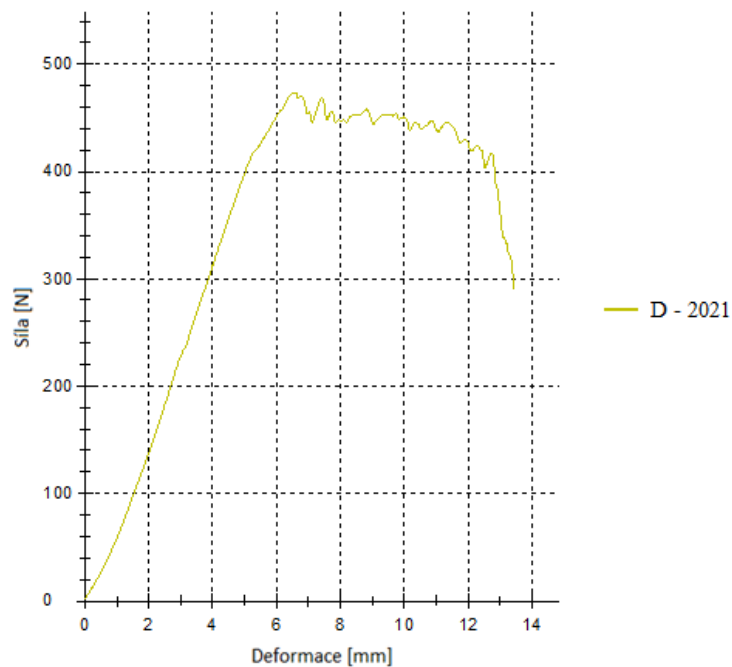
Tab. 24 Naměřená hodnota lepeného insertu typu D

n = 1	F _{max} [N]	ΔL [mm]
x	473,5	6,5
s	-	-

D - 2021



Obr. 76 Insert typu D po provedení zkoušky



Obr. 77 Graf závislosti síly na deformaci pro lepený insert typu C

Insert typu D byl jen jeden a to lepený lepidlem Araldite 2021, tudíž nelze přímo porovnat.

Pro objektivnost je dále porovnána průměrná síla jednotlivých typů insertů potřebná k odtržení insertu od podkladové desky v závislosti na tvaru základny, respektive lepené ploše insertu. Celkově bylo experimentováno s 5 různými tvary základen insertů.

Tab. 25 Závislost síly potřebné k vytržení insertu na ploše prvku

Typ insertu	S [mm ²]	F [N]
AG	256	316,8
BH	415	325,8
F	570	358,3
C	1134	511,9
D	1963	473,5

Z tabulky 25 lze vyčíst jistou závislost síly potřebné k vytržení insertu od podkladové desky na ploše daného insertu. Odchýlená je pouze hodnota pro insert typu D, který byl ovšem změřen jen jednou a to lepidlem Araldite 2021. Předpokládaná hodnota i s lepidlem Araldite 2022 by tedy měla být vyšší, než u předchozího insertu typu C. Čím větší je lepená plocha spojovacího prvku, tím je větší síla potřebná k vytržení tohoto prvku z podkladové desky.

V konečném porovnání vyšlo ve všech případech vždy jako pevnější spojení to s lepidlem Araldite 2022. Výsledky mohou být zkresleny použitím odlišných tkanin při výrobách podkladových desek. Dále by bylo vhodné otestovat pro každé lepidlo větší počet insertů stejného typu. I přes nedostatky, které toto měření zahrnovalo, se podařilo dosáhnout cíle pro tuto kategorii.

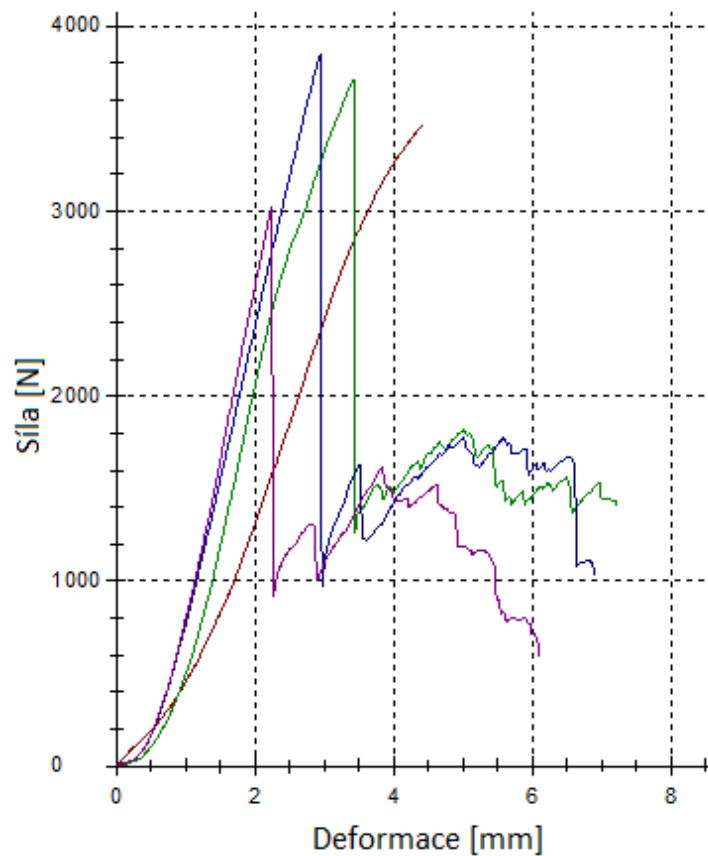
8.3 Sendvičové inserty

V této kategorii jsou mezi sebou porovnány samořezné inserty M4 zašroubované do předvrtaných otvorů a samořezné inserty M6 a M8 v kartitových deskách vložené do hliníkové voštiny zalisované vnějšími vrstvami prepregů.

Vyhodnocení samořezných insertů v epoxidové pryskyřici L285.

Tab. 26 Zprůměrované naměřené hodnoty pro sendviče s epoxidovou pryskyřicí

n = 4	Fmax [N]	ΔL [mm]
x	3514,6	3,3
s	362,6	0,9



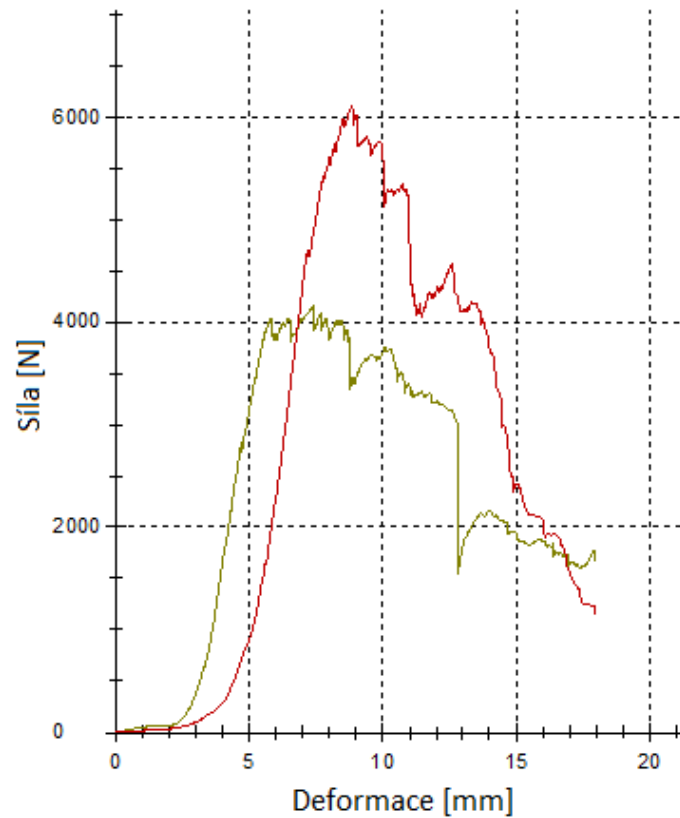
Obr. 78 Graf závislosti síly na deformaci pro sendvičové inserty v epoxidové pryskyřici

Z celkových 4 samořezných insertů se naměřené hodnoty pohybovaly velmi podobně, což je patrné z obr. 78. Průměrná hodnota těchto insertů vyšla 3514,6 N. Tyto inserty jsou tedy pevnější, než inserty zalaminované v záchodové desce a až 10 ti násobně pevnější, než inserty lepené.

Vyhodnocení insertů kartitových.

Tab. 27 Zprůměrované naměřené hodnoty pro inserty M8 v kartitu

n = 2	Fmax [N]	ΔL [mm]
x	5137,3	8,1
s	1378,7	1

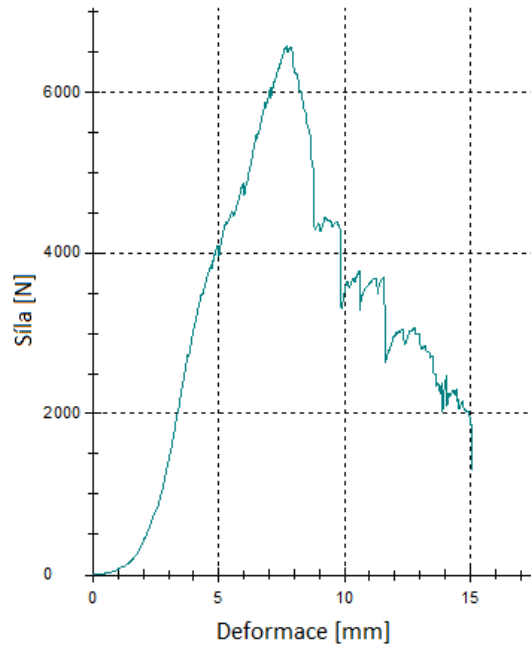


Obr. 79 Graf závislosti síly na deformaci pro inserty M8 v kartitu

Průměrná hodnota insertů M8 je 5137,3 N. Jedná se tedy o doposud nejpevnější spoj.

Tab. 28 Naměřená hodnota pro insert M6 v kartitu

n = 1	F _{max} [N]	ΔL [mm]
x	6576,4	7,7
s	-	-



Obr. 80 Graf závislosti síly na deformaci pro insert M6 v kartitu

Jak již bylo zmíněno v kapitole 7.3, měření druhého insertu M6 neproběhlo ideálním způsobem. Pokud přičteme hodnotu získanou manuálně u měření druhého insertu M6 (4000 N), dostaneme průměrnou hodnotu 5288,2 N. Získaná hodnota je blízké podobná vzorku M8. Velikost insertu zde tedy nehraje podstatnou roli, ovšem tuto skutečnost nelze vyvrátit.



Obr. 81 Detail pro vytržený insert M6 v kartitu z prepregu

Jak je vidět na obr. 81, při zkoušce nedošlo k vytržení insertu z kartitu. Získané hodnoty z těchto měření tedy neodpovídají síle potřebné k vytržení insertu z kartitu, ale pouze k vytržení kartitové desky s insertem přes prepregové vrstvy.

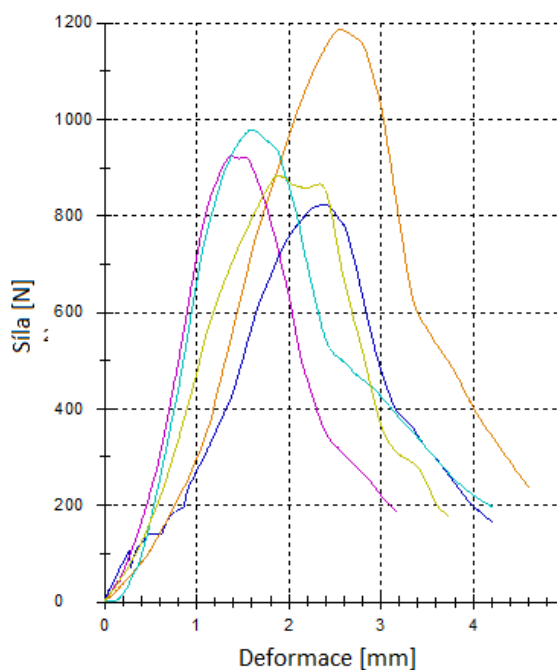
Z celkového hlediska se tento způsob spojení insertu a sendviče jeví jako nejefektivnější.

8.4 Zalisované vložky do laminátu

U závitových vložek vyrobené firmou BRIOL zalisované do laminátu proběhlo 5 měření.

Tab. 29 Zprůměrované naměřené hodnoty pro zalisované závitové vložky

n = 5	Fmax [N]	ΔL [mm]
x	959,2	2
s	139,1	0,5



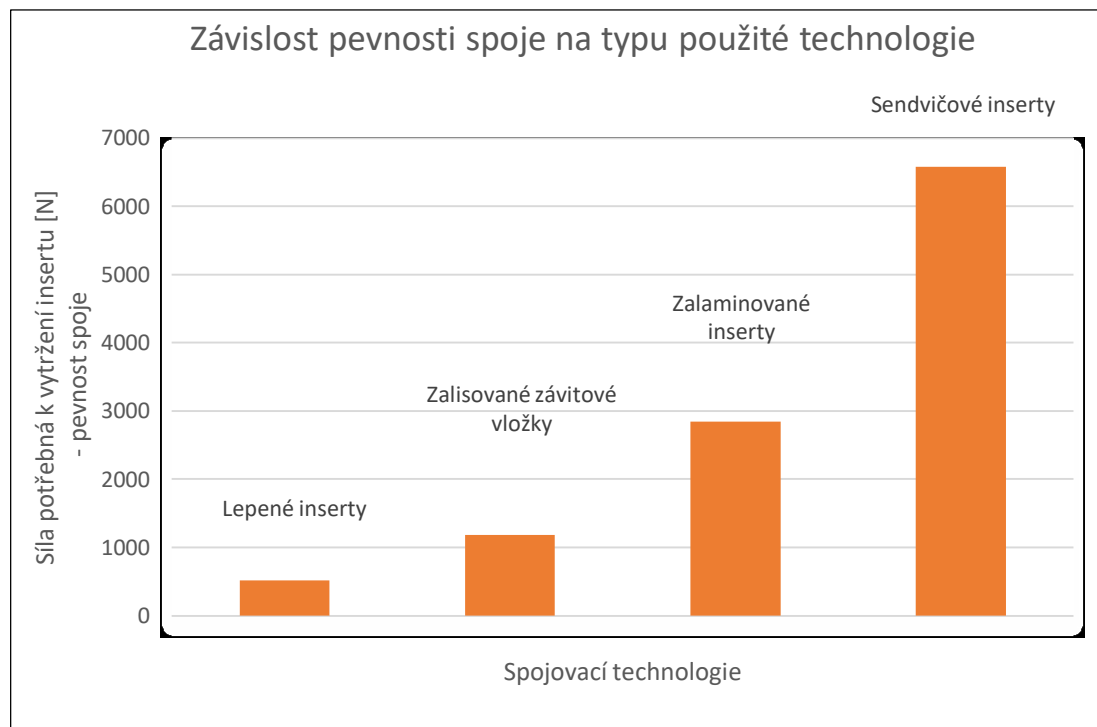
Obr. 82 Graf závislosti síly na deformaci pro zalisované závitové vložky

Průměrná hodnota síly potřebné k vytažení závitových vložek z laminátu všech vzorků vyšla 959,2 N. Velikost této síly se odvíjí od kvality a průměru vyvrtané díry. Hloubka zašroubování šroubu, určeného k vytažení vložky z této díry, také ovlivňuje pevnost tohoto typu spojení. Čím precizněji je díra vyvrtána a šroub zašroubován hlouběji, tím více je vložka roztažena v díře a tím více síly je potřeba k její vytažení.

8.5 Porovnání všech metod

Ke srovnání všech metod poslouží nejvyšší dosažené hodnoty u jednotlivých typů spojení. Nejvyšší zaznamenaná síla potřebná k vytržení insertu pro danou technologii:

- 2845,9 N - zalaminované inserty
- 511,9 N - lepené inserty
- 6576,4 N - sendvičové inserty
- 1187 N - zalisované závitové vložky



Obr. 83 Graf porovnání pevností jednotlivých technologií

V grafu porovnání pevnosti spojů viz obr. 83 jsou seřazeny technologie spojování kompozitních materiálů od nejméně pevných po nejpevnější. Zdaleka nejslabším spojem byly lepené inserty. Dvojnásobně lepším pevnějším spojení bylo pomocí zalisovaných závitových vložek. Bezmála 3x pevnějším spojem oproti zalisovaným vložkám bylo dosaženo u insertů zalaminovaných do kompozitní desky. Nejpevnějšího spojení se dosáhlo u insertů v sendvičích, konkrétně u insertů zašroubované do kartitové desky.

ZÁVĚR

Cílem této bakalářské práce bylo na základě statické zkoušky tahem zhodnotit pevnost různých technologií při spojování dílů z kompozitních materiálů a to z hlediska tvaru a typu použitého spojovacího prvku zvaného insert.

K porovnání těchto metod posloužily zkušební tělesa zhotovené v laboratoři Fakulty technologické, které obsahovaly inserty lepené na podkladové desky dvousložkovými metylmetakrylátovými lepidly, dále inserty v sendvičích zašroubované do epoxidové pryskyřice a inserty v kartitových deskách uložené do téhož sendviče. V neposlední řadě zalisované závitové vložky do laminátové desky. Pro rozšíření experimentu byly navíc zkoumány zalaminované inserty v záchodové desce instalované do rychlovlaků. Zmíněná kompozitní deska byla vyrobená společností FORM s.r.o.

V první sérii byly měřeny inserty 3 typů zalaminovaných v záchodové desce. Pro každý typ insertu mimo typ A, který byl změřen pouze jednou, byla určena průměrná hodnota síly potřebné k vytažení spojovacího prvku z desky. Jako nejpevnějším spojovacím prvkem se prokázal být insert typu C s průměrnou hodnotou síly vytržení insertu z výrobku o velikosti 2412,2 N.

V druhé sérii byly měřeny inserty 5 různých tvarů za použití 3 odlišných lepidel. Z výsledných hodnot bylo vyřazeno lepidlo SA10 – 20A z důvodu prošlé lhůty trvanlivosti. Toto lepidlo bylo také mícháno ručně kvůli nemožnosti použití vhodné vytlačovací pistole. Nedostatkem u této metody lepených insertů bylo použití laminovaných desek vyrobených za použití tkanin s odlišnou gramáží, jelikož se při měření ukázalo, že hrubost povrchu podkladové desky ovlivňuje adhezivost lepeného spoje v neprospěch hladšího jemnějšího povrchu. Nejpevnějším spojení se ve všech případech bez ohledu na typ použitého insertu a podkladové desky dosáhlo při použití lepidla Araldite 2022. Lepidlo Araldite 2021 bylo slabší v řádech desítek Newtonů. S ohledem na tvar insertu, respektive na velikost plochy insertu připravenou k podkladové desce byla zjištěna závislost velikosti této plochy na síle potřebné k odtržení insertu od podkladové desky. K odtržení insertu od podkladové desky bylo potřeba více síly pro plošnější prvky.

Ve třetí sérii proběhlo měření insertů v sendvičích při aplikaci dvou podobných způsobů uložení insertu do sendviče. V prvním případě zašroubovaných insertů do epoxidové pryskyřice byly inserty vytrženy průměrnou silou o velikosti 3514,6 N. V druhém případě vložených kartitových desek se zašroubovanými inserty do sendviče byly inserty vytrženy silou o velikosti cca 5200 N.

Ve čtvrté sérii byly měřeny zalisované závitové vložky od společnosti BRIOL do laminátové desky. Celkem bylo měřeno 5 těchto vložek, přičemž všechny vycházely velmi podobně. Průměrná hodnota síly potřebné k vytažení vložek z laminátu byla 959,2 N.

Při porovnání nejvyšších naměřených hodnot u jednotlivých metod vyšel jako nejpevnější spoj insert v kartitové desce vloženého do sendviče, který vypověděl hodnotu 6576,4 N. Méně jak poloviční pevnost prokázal zalaminovaný insert v záchodové desce o hodnotě 2845,9 N. Nejpevněji zalisovaný insert v laminátu vypověděl hodnotu 1187 N. Z daleka nejméně pevného spoje bylo dosaženo u lepených insertů, kde hodnota nejpevnějšího lepého spoje dosáhla pouze 549,2 N.

Ze získaných hodnot lze konstatovat, že jako nejpevnější se jeví inserty v kartitových deskách uložené do sendvičů. V každé oblasti aplikace kompozitních dílů je však zapotřebí odlišných způsobů spojení těchto materiálů, tedy nelze přímo doporučit jakou technologii spojení pro danou oblast použít. Dostáváme však obecnou představu o pevnosti různých používaných metod spojování výrobků z kompozitních materiálů.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] EHRENSTEIN, Gottfried W. *Polymerní kompozitní materiály*. V ČR 1. vyd. Praha: Scientia, 2009. ISBN 978-80-86960-29-6.
- [2] DAĐOUREK, Karel. *Kompozitní materiály - druhy a jejich užití*. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2007. ISBN 978-80-7372-279-1.
- [3] KOŘÍNEK, Zdeněk. *Kompozity* [online]. [cit. 2019-01-26]. Dostupné z: <https://kompozity.webnode.cz/>
- [4] ŽALUDEK, Milan. *Přednášky - Zpracovatelské inženýrství kompozitů*. UTB - Zlín, 2018.
- [5] DAĐOUREK, Karel. *Kompozitní materiály - definice a rozdělení* [online]. Technická univerzita v Liberci, 2008 [cit. 2019-02-05]. Dostupné z: http://www.kmt.tul.cz/edu/podklady_kmt_magis-tri/KM/Kompozity%20Dad/02defrozd.pdf
- [6] JANČÁŘ, Josef. *Úvod do materiálového inženýrství polymerních kompozitů*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2003. ISBN 80-214-2443-5.
- [7] Technologie výroby kompozitů. *HAVEL COMPOSITES – Havel Composites CZ s.r.o.* [online]. [cit. 2019-02-01]. Dostupné z: <http://www.havel-composites.com>
- [8] *Sendvičové konstrukce* [online]. 2001 [cit. 2019-01-30]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/sendvicove-konstrukce.html>
- [9] BIANCHI, Gabriel, Guglielmo AGLIETTI a Guy RICHARDSON. *Static and Fatigue Behaviour of Hexagonal Honeycomb Cores under In-plane Shear Loads: Applied Composite Materials* [online]. 2012 [cit. 2019-01-30]. Dostupné z: <https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs10443-010-9184-5>
- [10] *ASM handbook*. 10th editon. Materials Park, Ohio: ASM International, 2016. ISBN 978-0-87170-703-1.
- [11] *Wood Cores* [online]. [cit. 2019-01-30]. Dostupné z: <https://netcomposites.com/guide-tools/guide/core-materials/wood-cores/>
- [12] ZENKERT, Dan. *Handbook of Sandwich Construction*. United Kingdom: Cradley Heath : EMAS Publishing, 1997.
- [13] *Lightweight sandwich construction*. Malden, MA: Blackwell Science, 2001. ISBN 978-063-2040-278.

- [14] *Space Engineering: Insert design handbook*. 2200 AG Noordwijk: ESA Requirements and Standards Division, 2011. ISBN ECSS-E-HB-32-22A.
- [15] BIANCI, Gabriel. *Structural Performance of Spacecraft Honeycomb Panels*. Southampton, 2011. Disertační práce. University of Southampton, Faculty of engineering, Science and Mathematics, School of Engineering Sciences.
- [16] *Design Manual: Fasteners for Sandwich Structure* [online]. Shur-Lok Corporation, 1996 [cit. 2019-01-29]. Dostupné z: http://www.shur-lok.com/product_dls/Design_Manual.pdf
- [17] *Kovové upínací prvky pro sendvičové panely* [online]. [cit. 2019-01-22]. Dostupné z: <https://www.bighead.co.uk/>
- [18] KIM, Byoung Jung. *Characteristics of joining inserts for composite sandwich panels: Composite Structures*. 2008.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

x	Aritmetický průměr
s	Výběrová směrodatná odchylka
%	Procenta
μm	Mikrometr
mm	Milimetr
mm/min	Milimetr za minutu
kg/m ³	Kilogram na metr krychlový
MPa	Megapascal
ΔL	Deformace
°C	Stupeň Celsia
N	Newton
kN	Kilonewton
F _{max}	Maximální síla
TiO ₂	Oxid titaničitý
PA 6	Polyamid 6
PA 66	Polyamid 66
PBT	Polybutyltereftalát
PC	Polykarbonát
POM	Polyoximethylen
PVC	Polyvinylchlorid
PP	Polypropylen
PUR	Polyuretan
PET	Polyethyltereftalát
PS	Polystyren

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1 Průběh synergického efektu [2]</i>	13
<i>Obr. 2 Rozdělení kompozitních výztuží. [2]</i>	15
<i>Obr. 3 Druhy vyztužujících složek kompozitních výztuží [2]</i>	15
<i>Obr. 4 Ruční kladení za mokra [7]</i>	20
<i>Obr. 5 Schéma dolisování za pomoci vakua [7]</i>	21
<i>Obr. 6 Schéma vakuové infuze [7]</i>	22
<i>Obr. 7 Lisování v autoklávu [1]</i>	22
<i>Obr. 8 Schéma stříkání [7]</i>	23
<i>Obr. 9 Technologie navíjení [1]</i>	24
<i>Obr. 10 Schéma sendvičové struktury [7]</i>	25
<i>Obr. 11 Porovnání vlastností laminátu a sendviče [4]</i>	26
<i>Obr. 12 Geometrické tvary voštiny [10]</i>	27
<i>Obr. 13 Balzové dřevo [11]</i>	28
<i>Obr. 14 Typy vláknových vazeb [1]</i>	28
<i>Obr. 15 Varianty výroby prepregů [7]</i>	29
<i>Obr. 16 Řez sendviče s insertem „Hot bonded“ [15]</i>	31
<i>Obr. 17 Řez sendviče s insertem „Cold bonded“ [15]</i>	31
<i>Obr. 18 Geometrie insertu [14]</i>	32
<i>Obr. 19 Lepení insertu na sendvičový kompozit [17]</i>	34
<i>Obr. 20 Lepení insertu do vyvrtaného otvoru v sendviči [17]</i>	35
<i>Obr. 21 Možné vady při plnění [14]</i>	35
<i>Obr. 22 Typy namáhání působící na insert [14]</i>	36
<i>Obr. 23. Schéma zařízení ZWICK</i>	39
<i>Obr. 24 Zkušební záchodová deska obsahující zalaminované inserty</i>	40
<i>Obr. 25 Inserty typu A</i>	41
<i>Obr. 26 Insert typu G</i>	42
<i>Obr. 27 Insert typu C</i>	42
<i>Obr. 28 Insert typu E</i>	42
<i>Obr. 29 Insert typu F</i>	43
<i>Obr. 30 Insert typu D</i>	43
<i>Obr. 31 Insert typu B</i>	43
<i>Obr. 32 Insert typu H</i>	43

<i>Obr. 33 Vytlačovací pistole</i>	44
<i>Obr. 34 Nalepené inserty na podkladové desky</i>	44
<i>Obr. 35 Stolní vrtačka</i>	45
<i>Obr. 36 Sada zkušebních těles č. 1 lepených insertů s vyvrtanými děrami</i>	45
<i>Obr. 37 Sada zkušebních těles č. 2 lepených insertů s vyvrtanými děrami</i>	46
<i>Obr. 38 Nařezaná hliníková voština</i>	46
<i>Obr. 39 Uložené kartitové tělesa v hliníkové voštině</i>	47
<i>Obr. 40 Vylévání epoxidové pryskyřice do vyřezaných děr</i>	47
<i>Obr. 41 Prepregová vrstva</i>	48
<i>Obr. 42 Laboratorní vyhřívaný lis</i>	48
<i>Obr. 43 Detailní pohled na lisování sendviče</i>	49
<i>Obr. 44 Sendvič po slisování hliníkového jádra s prepregem</i>	49
<i>Obr. 45 Závitový spojovací prvek M4 k zašroubování do sendviče s epoxidovou pryskyřicí</i>	49
<i>Obr. 46 Oba typy sendviče přichystané k měření</i>	50
<i>Obr. 47 Závitová vložka BANCLOCK RK842</i>	50
<i>Obr. 48 Laminát pro testování zalisovaných insertů</i>	51
<i>Obr. 49 Laminátová deska se zalisovanými vložkami připravena k testování</i>	51
<i>Obr. 50 Ukázka upnutí zkušební desky</i>	52
<i>Obr. 51 Průběh zkoušky pro insert B</i>	53
<i>Obr. 52 Insert typu C po vytržení z desky</i>	53
<i>Obr. 53 Insert typu B po vytržení z desky</i>	54
<i>Obr. 54 Insert typu A po vytržení z desky</i>	54
<i>Obr. 55 Ukázka zkoušky pro lepené inserty</i>	55
<i>Obr. 56 Podkladová deska 1 po odtržení insertů</i>	55
<i>Obr. 57 Podkladová deska 2 po odtržení insertů</i>	56
<i>Obr. 58 Podkladová deska 3 po odtržení insertů</i>	56
<i>Obr. 59 Podkladová deska 4 po odtržení insertů</i>	57
<i>Obr. 60 Podkladová deska 5 po odtržení insertů</i>	57
<i>Obr. 61 Ukázka průběhu zkoušky pro sendvič</i>	57
<i>Obr. 62 Sendvič po vytržení insertů</i>	58
<i>Obr. 63 Ukázka průběhu zkoušky pro vzorky s kartitem</i>	58
<i>Obr. 64 Kartitové tělesa po tahové zkoušce</i>	59

<i>Obr. 65 Ukázka průběhu zkoušky pro zalisované závitové vložky</i>	60
<i>Obr. 66 Laminátová deska po vytažení zalisovaných závitových vložek</i>	60
<i>Obr. 67 Graf závislosti síly na deformaci pro zprůměrované hodnoty zalaminovaných insertů</i>	62
<i>Obr. 68 Inserty typu A a G po provedení zkoušky.....</i>	63
<i>Obr. 69 Graf závislosti síly na deformaci pro lepené inserty typu A a G</i>	63
<i>Obr. 70 Inserty typu B a H po provedení zkoušky.....</i>	64
<i>Obr. 71 Graf závislosti síly na deformaci pro lepené inserty typu B a H</i>	64
<i>Obr. 72 Inserty typu C po provedení zkoušky</i>	65
<i>Obr. 73 Graf závislosti síly na deformaci pro lepené inserty typu C</i>	65
<i>Obr. 74 Inserty typu F po provedení zkoušky</i>	66
<i>Obr. 75 Graf závislosti síly na deformaci pro lepené inserty typu C</i>	66
<i>Obr. 76 Insert typu D po provedení zkoušky</i>	67
<i>Obr. 77 Graf závislosti síly na deformaci pro lepený insert typu C</i>	67
<i>Obr. 78 Graf závislosti síly na deformaci pro sendvičové inserty v epoxidové pryskyřici</i>	69
<i>Obr. 79 Graf závislosti síly na deformaci pro inserty M8 v kartitu</i>	70
<i>Obr. 80 Graf závislosti síly na deformaci pro insert M6 v kartitu.....</i>	71
<i>Obr. 81 Detail pro vytržený insert M6 v kartitu z prepregu</i>	71
<i>Obr. 82 Graf závislosti síly na deformaci pro zalisované závitové vložky</i>	72
<i>Obr. 83 Graf porovnání pevností jednotlivých technologií</i>	73

SEZNAM TABULEK

<i>Tab. 1 Porovnání různých charakteristik u Termoplastů a Termosetů [1]</i>	<i>19</i>
<i>Tab. 2 Přehled insertových spojů typu A [14]</i>	<i>32</i>
<i>Tab. 3 Přehled insertových spojů typu B [14]</i>	<i>33</i>
<i>Tab. 4. Přehled insertových spojů typu C [14]</i>	<i>34</i>
<i>Tab. 5 Technické parametry univerzálního přístroje ZWICK</i>	<i>39</i>
<i>Tab. 6 Naměřené hodnoty pro insert typu C.....</i>	<i>53</i>
<i>Tab. 7 Naměřené hodnoty pro insert typu B.....</i>	<i>54</i>
<i>Tab. 8 Naměřená hodnota pro insert typu A</i>	<i>54</i>
<i>Tab. 9 Naměřené hodnoty pro lepené inserty typu A</i>	<i>55</i>
<i>Tab. 10 Naměřené hodnoty pro lepené inserty typu B a C.....</i>	<i>56</i>
<i>Tab. 11 Naměřené hodnoty pro lepené inserty typu D, E a F</i>	<i>56</i>
<i>Tab. 12 Naměřené hodnoty pro lepené inserty typu G.....</i>	<i>57</i>
<i>Tab. 13 Naměřené hodnoty pro lepené inserty typu H.....</i>	<i>57</i>
<i>Tab. 14 Naměřené hodnoty pro sendvičové inserty v epoxidové pryskyřici 285</i>	<i>58</i>
<i>Tab. 15 Naměřené hodnoty pro sendvičové inserty s kartitem</i>	<i>59</i>
<i>Tab. 16 Naměřené hodnoty pro zalisované závitové vložky</i>	<i>60</i>
<i>Tab. 17 Zprůměrované naměřené hodnoty pro zalaminované inserty typu C.....</i>	<i>61</i>
<i>Tab. 18 Zprůměrované naměřené hodnoty pro zalaminované inserty typu B.....</i>	<i>61</i>
<i>Tab. 19 Zprůměrované naměřené hodnoty pro zalaminované inserty typu A</i>	<i>61</i>
<i>Tab. 20 Zprůměrované hodnoty pro lepené inserty typu A a G.....</i>	<i>63</i>
<i>Tab. 21 Zprůměrované hodnoty pro lepené inserty typu B a H.....</i>	<i>64</i>
<i>Tab. 22 Zprůměrované hodnoty pro lepené inserty typu C</i>	<i>65</i>
<i>Tab. 23 Zprůměrované hodnoty pro lepené inserty typu F</i>	<i>66</i>
<i>Tab. 24 Naměřená hodnota lepeného insertu typu D.....</i>	<i>67</i>
<i>Tab. 25 Závislost síly potřebné k vytržení insertu na ploše prvku</i>	<i>68</i>
<i>Tab. 26 Zprůměrované naměřené hodnoty pro sendviče s epoxidovou pryskyřicí</i>	<i>69</i>
<i>Tab. 27 Zprůměrované naměřené hodnoty pro inserty M8 v kartitu</i>	<i>70</i>
<i>Tab. 28 Naměřená hodnota pro insert M6 v kartitu</i>	<i>71</i>
<i>Tab. 29 Zprůměrované naměřené hodnoty pro zalisované závitové vložky</i>	<i>72</i>

SEZNAM PŘÍLOH

- P I: Technický list SA10 – 05 – 10 – 20A
- P II: Technický list Araldite 2021
- P III: Technický list Araldite 2022
- P IV: Technický list pryskyřice L285 (MGS) + tužidlo L285
- P V: Materiálový list Deltapreg VV430U – DT806W – 39
- P VI: Závitová vložka BN 1048

SA10-05-20A

SAFETY, HANDLING AND APPLICATION
VERY IMPORTANT: Read Material Safety Data Sheet before handling or using this product. Engineered Bonding Solutions, LLC (hereinafter referred to as "EBS") adhesives are supplied in dual component cartridges, 5 gallon pails and 50 gallon drums to facilitate mixing through approved meter mix dispensing equipment. We do not suggest mixing by hand. Please contact your EBS representative for questions about dispensing equipment. The chemical reaction that occurs when components A and B are mixed generates heat. The amount of heat generated is controlled by the mass and thickness of the mixed product. Large masses over .5" inch thick can develop heat in excess of 250°F/121°C and generate harmful, flammable vapors. Larger curing masses should be carefully moved to a well-ventilated area where the chance of personal contact is minimized.

The working time is the approximate time that the adhesive remains fluid and will still wet the surface of the adherend after mixing component A (adhesive) and component B (activator). The fixture time is the approximate time after mixing the two components that allow the part to be moved or unclamped. This is generally shortly after exotherm is reached for particular bonding condition. Parts can generally be put in service when 75 percent of full strength is developed, which occurs once the bonded assembly has cooled back to ambient temperatures. Higher ambient temperatures will shorten the working time and colder temperatures will lengthen the working time. The reported data presented in the TDS are based on tests conducted under laboratory conditions of 75°F/24°C. For applications in hot or cold ambient conditions please contact your EBS representative.

Prior to bonding, ensure substrates are clean and free of surface contaminants. All dispensing equipment should be in good operating condition and QC ratio checks performed periodically to ensure consistent and accurate dispensing. Use only adhesive dispensing equipment approved by your EBS sales representative. All wetted metal parts should be stainless steel, always purge enough adhesive on a non-porous surface (fip or plastic) as test, to ensure proper mixed color is maintained. Check the cure profile to ensure the working time and fixture time match the reported values for appropriate A and B combination. If all QC checks are in order, continue with the assembly operation and be careful to ensure that parts are bonded to a minimum gap thickness of .01"(.25mm) and maximum gap of .25" (6mm) using less than 15 minute products. *Working times below 50 minutes could lead to boiling in large gaps approaching 1", while working times below 30 minutes will boil in gaps approaching ½". This could lead to reduced physical properties.* After the adhesive is fully applied, consistent pressure should be applied to allow squeeze out, then also, parts should not be repositioned once substrates are bonded. Any movement of parts will entrain air in the bonded joints, which will reduce performance. The bonded assembly should then be clamped in position and not be disturbed until the fixture time has elapsed.

EBS recommends the use of alcohol or industrial solvents for cleaning excess adhesive. This should be done when the adhesive is still wet or soft and care must be taken to prevent the cleaning solvent or alcohol from coming in contact with the adhesive as this could lead to an under-cure of the exposed edges. The use of tape and a sharp edge to remove excess adhesive is best practice. Also, partially cured adhesive can be carefully removed with a sharp knife. Removal of cured adhesive should be scraped or cut with a sharp blade which is preferred to sanding or grinding. High speed sanding or grinding of large areas will produce heat and produce noxious fumes and should be avoided or only be done with protective breathing apparatus.

IMPORTANT NOTES

Surface Preparation: The need for surface preparation must be determined by the user based on comparative testing of unprepared and prepared substrates to determine if strengths are adequate for application. Clean adhesive failure is not desired for long-term durable performance. In all cases initial shear strength tests must be followed up with simulated or actual durability tests to assure that surface conditions do not lead to degradation of the bond over time under service conditions. Subsequent changes in substrates or bonding conditions will require re-testing.

1. Most thermoplastics listed above can be bonded with no surface preparation other than a dry wipe or air blow-off. If contamination is visible or suspected, wipe with alcohol prior to bonding. Low surface energy plastics like polyolefins, thermoplastic polyesters and fluorocarbon plastics are generally not bondable.

2. Metals- As received aluminum, stainless steel, cold rolled steel, carbon steel are bondable without preparation. Bond Gap must be maintained. EBS strongly suggest only using faster curing versions with working times less ≤ 40 minutes, if bonding metal to metal in thin bond gaps ≥ .015".

3. Thermoset composites are generally bonded without preparation, however mold releases and process can produce varied bonding performance and testing should be performed.

It is the user's responsibility to determine the suitability of each adhesive for its intended use on substrates and application. EBS strongly recommend laboratory and end-use testing representative of the environmental conditions and how the bonded assembly will be used. Read and understand TDS and MSDS before using. Bonds are generally resistant to the effects of heat, water and moisture, aqueous chemicals and some intermittent exposure of gasoline motor oil and diesel fuel. Not recommended for immersion or long term exposure to all hydrocarbons, concentrated acids or bases, or aggressive organic solvents such as toluene, ketones, and esters. It is the user's responsibility to determine the suitability of each adhesive for its intended use and application. Please contact EBS for technical assistance.

Cohesive strength at -40 and 180°F retains a minimum of 1,000psi as measured on aluminum. Bonds are resistant to intermittent exposures from -67 to 250°F provided bonding assembly is in a fixture and not under shear load. User must determine suitability for continuous exposures beyond operating temperature range.

The shelf life of Components A and B in unopened containers is approximately six months from the date the product is manufactured from EBS facilities. Shelf life is based on steady state storage between 55°F and 80°F (13°C and 27°C). Exposure, intermittent or prolonged, above 80°F/27°C will result in a reduction of the stated shelf life. Shelf life of both components can be extended by air-conditioned or refrigerated storage between 55°F and 65°F (13°C and 18°C).

Product recommendations contained herein are based on information we believe to be reliable. All values presented above are typical properties obtained under controlled conditions at the EBS, LLC laboratory or an outside certified laboratory. The values are intended to be used only as a guide for selection and further end-use evaluations. The ultimate suitability for any intended application must be verified by the END USER under their anticipated test conditions. This product is intended for use by skilled individuals at their own risk. Since specific use, materials and product handling are not controlled by EBS, our warranty is only limited to the replacement of defective EBS products.

ADHESIVE DESCRIPTION

Acra-Lock adhesive products are formulated to bond metals, composites and plastics with minimal to no surface preparation*. Acra-Lock adhesives can bond as received aluminum and stainless steel without primers or preparation^{a,b}. SA10-05-10-20A adhesives are three different open time base adhesives (5, 10 and 20 minute) and all are formulated around component 1B activator. Other activators with varying catalyst content can be used to achieve longer working times, see table below to assist in selection of products. The mix ratio is 10:1. Packaging options include 490 ml cartridges and 5 & 50-gallon containers for application with meter-mix dispensing equipment.

PERFORMANCE HIGHLIGHTS

- Working time from 5-45 minutes
- Primer less metal bonding^{a,b}
- Non-sag characteristics
- Good Chemical Resistance^b
- Permanent toughness and elasticity
- Stable formulations

BENEFITS

- Variety of working times available for assembly applications
- No surface treatment or primers required for metals^a
- Good on vertical surfaces and highly stackable
- Durable bond performance in harsh environments^{b,c}
- Excellent fatigue characteristics and shock load resistance
- Shelf-life 6 months^d

SUGGESTED SUBSTRATES WE BOND- See important notes on page 2

Polyesters	Acrylics	PVC/PPVC/CPVC	Vinyl Esters
Polyester Gelcoats	ABS	Styrenics	SMC ^a
Epoxytes	Stainless Steel	Carbon Steel	Aluminum

NOT RECOMMENDED FOR BONDING: Polyolefins, Nylon, Polyacetals, Teflon and Porous Materials

Property	TYPICAL ADHESIVE WET PROPERTIES	
	Comp A	Comp 1B
Color	Natural	Mixed
Viscosity (kps)	200-400	100-200
Mix ratio weight	-	-
Mix ratio volume	10 part	1 part
Density g/cc	.985	1.104
Density lb/g	8.2	9.2

Property	CURED PHYSICAL PROPERTIES		Typical Values
	ACT-1B	ACT-2B	
Tensile strength (MPa)	BLK/OWT/GRY	BLK/OWT/GRY	2,500-2,800 (19.3)
Modulus (kpsi)	BLK/OWT/GRY	BLK/OWT/GRY	60-90 (620)
Elongation (max. %)	BLK/OWT/GRY	BLK/OWT/GRY	80-120
Lap Shear Alum psi (Mpa)	BLK/OWT/GRY	BLK/OWT/GRY	2,500-3,000 (20.7)
Lap Shear Stainless psi (Mpa)	BLK/OWT/GRY	BLK/OWT/GRY	2,500-3,000 (20.7)
Lap Shear CRS psi (Mpa)	BLK/OWT/GRY	BLK/OWT/GRY	2,400-2,900 (20)
Lap Shear FRP-Infused psi	BLK/OWT/GRY	BLK/OWT/GRY	2,500-3,000 (20)

CARTRIDGE PRODUCTS

Adhesive	ADHESIVE WORKING TIMES (minutes)	
	Activator	Activator
SA10-05A	ACT-1B BLK/OWT/GRY	ACT-2B BLK/OWT/GRY
SA10-10A	ACT-1B BLK/OWT/GRY	ACT-2B BLK/OWT/GRY
SA10-20A	ACT-1B BLK/OWT/GRY	ACT-2B BLK/OWT/GRY

ADHESIVE WORKING TIMES (minutes)

Adhesive	ADHESIVE WORKING TIMES (minutes)	
	ACT-1B	ACT-2B
SA10-05A	4-6	-
SA10-10A	8-12	-
SA10-20A	15-20	22-27

Fixture Times for all products are ≤ twice open time

Cured Adhesive is generally resistant to salt solutions, hydrocarbons and acid bases with a PH from 3 to 10 and is not recommended for exposures to polar solvents and stronger acids or bases (see note b). Operating Temperature range for this product is from -40 to 180 °F, with intermittent exposure of -67 to 250°F (see note c).

PŘÍLOHA P II: TECHNICKÝ LIST ARALDITE 2021

HUNTSMAN

Enriching lives through innovation

Advanced Materials

Araldite® 2021-1

Structural Adhesives

TECHNICAL DATASHEET

Araldite® 2021-1

Two component toughened methacrylate adhesive system

Key properties

- Rapid curing
- Toughened
- Multi-purpose
- Excellent bond to a wide range of plastics, composites and metals
- Suitable for service at temperatures up to 100 °C

Description

Araldite® 2021-1 is a two component, room temperature curing, methacrylate general purpose adhesive for rapid assembly operations on a wide range of substrates.

Product data

Properties	2021-1 A	2021-1 B	Mixed adhesive
Colour (visual)	off white	yellow / greenish	pale yellow
Specific gravity	1.02	0.95	ca. 1
Viscosity at 25 °C (A191)* (Pa.s)	15 - 50	10 - 50	thixotropic
Pot Life (100 gr. at 25°C)	-	-	ca. 3 minutes
Time to peak exotherm (20gr) (A159)*	-	-	7 - 15 minutes

* Specified data are on a regular basis analysed. Data which is described in this document as 'typical' is not analysed on a regular basis and is given for information purposes only. Data values are not guaranteed or warranted unless if specifically mentioned.

Processing

Pretreatment

The strength and durability of a bonded joint are dependent on proper pretreatment of the surfaces to be bonded, however the methacrylate adhesives can be used effectively with little surface preparation. Ideally 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.

Mix ratio	Parts by weight	Parts by volume
2021-1 A	100	100
2021-1 B	100	100

This system is available in cartridges incorporating mixers and can be applied as ready to use adhesive with the aid of the tool recommended by Huntsman Advanced Materials.

Application of adhesive

The resin/hardener mix may be applied manually or robotically to the pretreated and dry joint surfaces. Huntsman's technical support group can assist the user in the selection of a suitable application method as well as suggest a variety of reputable companies that manufacture and service adhesive dispensing equipments.

A layer of adhesive 0.25 to 0.5 mm thick will normally impart the greatest lap shear strength to the joint. For some metals like mild steel or stainless steel, a higher joint thickness may be necessary to reach satisfactory results. Huntsman stresses that proper adhesive joint design is also critical for a durable bond. The joint components should be assembled and secured in a fixed position as soon as the adhesive has been applied.

For more detailed explanations regarding surface preparation and pretreatment, adhesive joint design, and the dual cartridge dispensing system, visit www.aralditeadhesives.com.

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 MEK are used for cleaning, operatives should take the appropriate precautions and, in addition, avoid skin and eye contact.

Typical times to minimum shear strength

Temperature	°C	10	15	23	40
Cure time to reach	hours	-	-	-	-
LSS > 1MPa	minutes	20	13	9	2
Cure time to reach	hours	-	-	-	-
LSS > 10MPa	minutes	30	19	13	6

LSS = Lap shear strength.

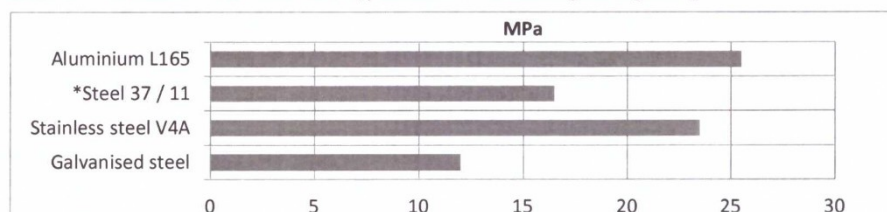
Typical cured properties

Unless otherwise stated, the figures given below were all determined by testing standard specimens made by lap-jointing 114 x 25 x 1.6 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) (typical average values)

Cured for 16 hours at 40°C and tested at 23°C, pretreatment – sandblasting and degreasing

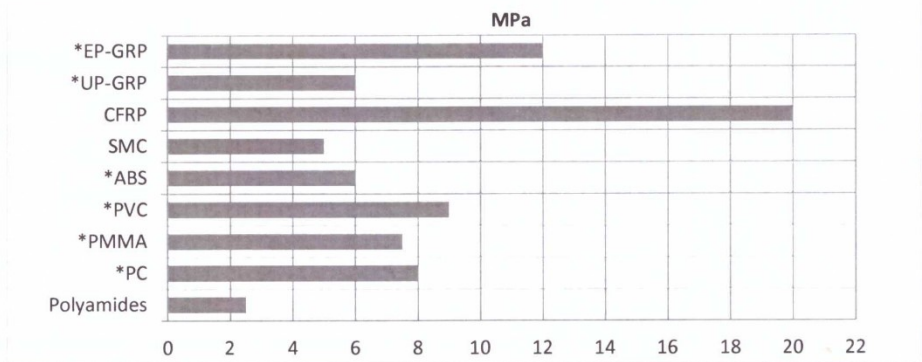


*Steel 37 / 11: tested with adhesive joint thickness of 1 mm, the performance may be lower for thinner adhesive joints.

Araldite® 2021-1 is not suitable to bond copper, brass or copper alloys. Araldite® 2022-1 or Araldite® 2047-1 may be used for these substrates.

Average lap shear strengths of typical plastic-to-plastic joints (ISO 4587) (typical average values)

Cured for 16 hours at 40°C and tested at 23°C. Pretreatment - Lightly abrade and isopropanol degrease.



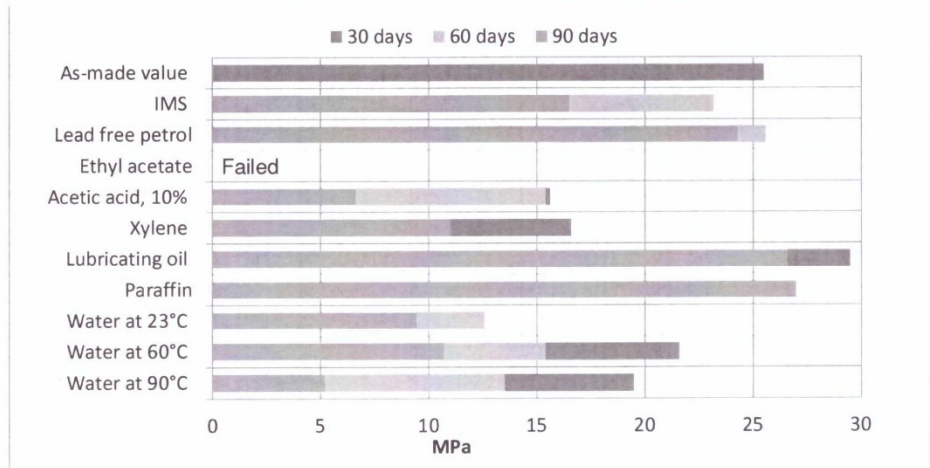
*: EP-GRP / UP-GRP / ABS / PVC / PMMA / PC: substrate failure observed

Tensile Properties (ISO 527) (typical average values) Cure 16 hours at 40°C test at 23°C

Tensile Strength	42 MPa
Tensile Modulus	1800 MPa
Elongation at break	> 10%

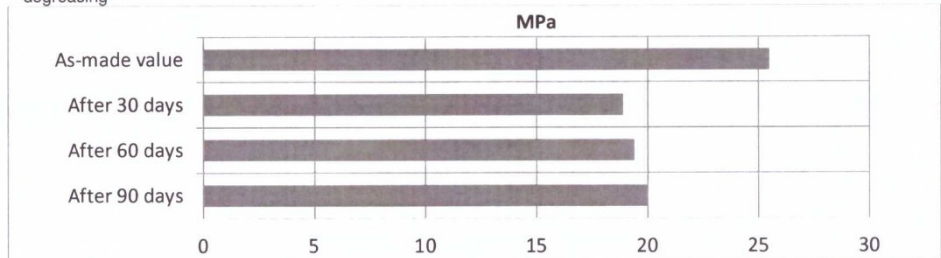
Lap shear strength versus immersion in various media (ISO 4587) (typical average values)

On aluminium, cured for 16 hours at 40°C and tested at 23°C. Pretreatment - sandblasting and degreasing
Unless otherwise stated, LSS was determined after immersion for 30, 60 and 90 days at 23°C



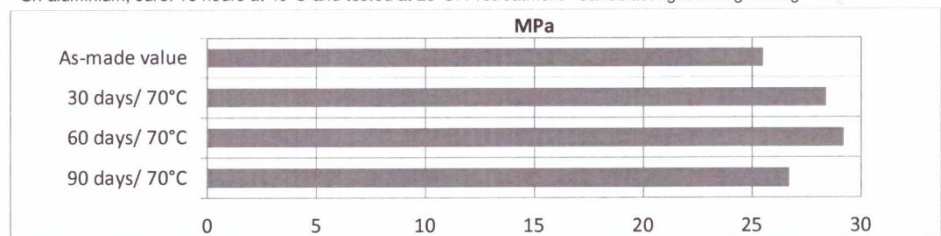
Lap shear strength versus tropical weathering (ISO 4587) (typical average values)

(40°C/ 92% RH), on aluminium, Cure: 16 hours at 40 °C and tested at 23°C. Pretreatment - sandblasting and degreasing



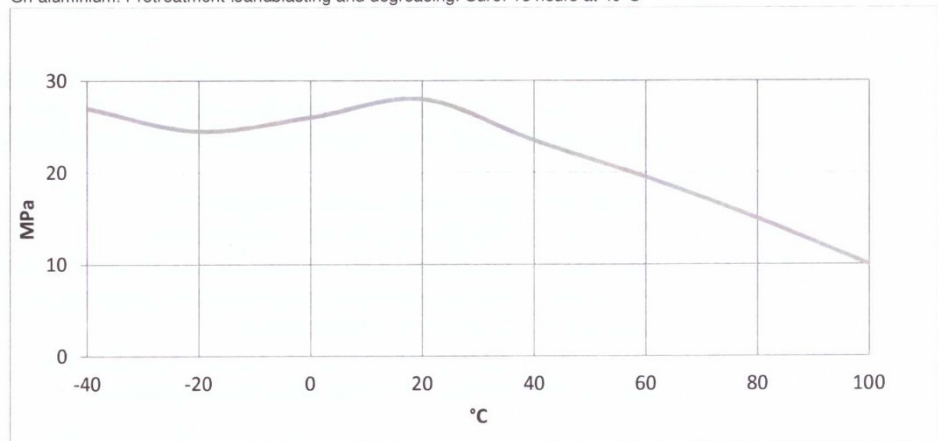
Lap shear strength versus heat ageing (ISO 4587) (typical average values)

On aluminium, cure: 16 hours at 40 °C and tested at 23°C. Pretreatment - sandblasting and degreasing



Lap shear strength versus temperature (ISO 4587) (typical average values)

On aluminium. Pretreatment : sandblasting and degreasing. Cure: 16 hours at 40 °C



Lap shear strength versus Thermal cycling (ISO 4587) (typical average values)

On aluminium. Pretreatment : sandblasting and degreasing. Cure: 16 hours at 40 °C

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

(2h -30°C / 1 h up to 70°C / 2h 70°C / 1h down to -30°C)

27 MPa

PŘÍLOHA P III: TECHNICKÝ LIST ARALDITE 2022

HUNTSMAN

Enriching lives through innovation

Advanced Materials

Araldite® 2022-1

Structural Adhesives

TECHNICAL DATASHEET

Araldite® 2022-1

Two component toughened methacrylate adhesive system

Key properties

- Excellent ratio working time / cure time
- Toughened
- Multi-purpose
- Tolerant to "less than ideal" pretreatment
- Gap filling to 4mm

Description

Araldite® 2022-1 is a two component, room temperature curing, methacrylate adhesive for fast assembly operations on a wide range of substrates including those which can be "difficult to bond".

Product data

Properties	2022-1 A	2022-1 B	Mixed adhesive
Colour (visual)	Off white	Yellow	Pale yellow
Specific gravity	1.02	0.96	ca. 1
Viscosity at 25 °C (A191) (Pa.s)*	15 - 50	10 - 50	thixotropic
Pot Life (100 gr at 25°C)	-	-	ca. 10 minutes
Time to peak exotherm (20gr) (A159)*	-	-	15 - 30 minutes

* Specified data are on a regular basis analyzed. Data which is described in this document as "typical" is not analyzed on a regular basis and is given for information purposes only. Data values are not guaranteed or warranted unless if specifically mentioned.

Processing

Pretreatment

The strength and durability of a bonded joint are dependent on proper pretreatment of the surfaces to be bonded, however the methacrylate adhesives can be used effectively with little surface preparation. Ideally 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.

Mix ratio	Parts by weight	Parts by volume
2022-1 A	100	100
2022-1 B	100	100

The system is available in cartridges incorporating mixers and can be applied as ready to use adhesive with the aid of the tool recommended by Huntsman Advanced Materials.

Application of adhesive

The resin/hardener mix may be applied manually or robotically to the pretreated and dry joint surfaces. Huntsman's technical support group can assist the user in the selection of a suitable application method as well as suggest a variety of reputable companies that manufacture and service adhesive dispensing equipments.

A layer of adhesive 0.25 to 0.5 mm thick will normally impart the greatest lap shear strength to the joint. For some metals like mild steel or stainless steel, a higher joint thickness may be necessary to reach satisfactory results. Huntsman stresses that proper adhesive joint design is also critical for a durable bond. The joint components should be assembled and secured in a fixed position as soon as the adhesive has been applied.

For more detailed explanations regarding surface preparation and pretreatment, adhesive joint design, and the dual cartridge dispensing system, visit www.aralditeadhesives.com.

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.

Typical times to minimum shear strength

Temperature	°C	10	15	23	40
Cure time to reach	hours	-	-	-	-
LSS > 1MPa	minutes	30	17	12	6
Cure time to reach	hours	-	-	-	-
LSS > 10MPa	Minutes	40	25	17	10

LSS = Lap shear strength.

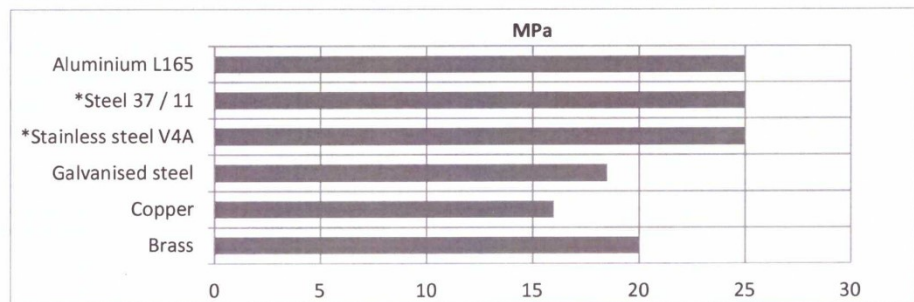
Typical cured properties

Unless otherwise stated, the figures given below were all determined by testing standard specimens made by lap-jointing 114 x 25 x 1.6 mm strips of aluminum 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) (typical average values)

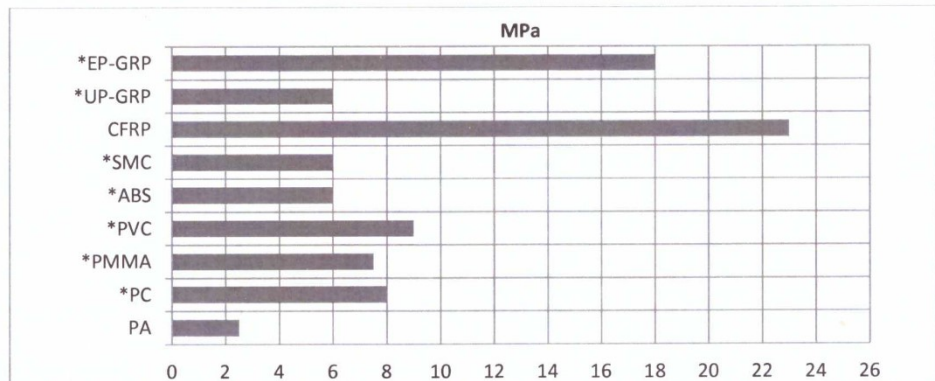
Cured for 16 hours at 40°C and tested at 23°C, pretreatment – sandblasting and degreasing



*Steel 37 / 11 and Stainless steel V4A: tested with adhesive joint thickness of 0.25 mm, the performance may be lower for thinner adhesive joints.

Average lap shear strengths of typical plastic-to-plastic joints (ISO 4587) (typical average values)

Cured for 16 hours at 40°C and tested at 23°C. Pretreatment - Lightly abrade and isopropanol degrease.



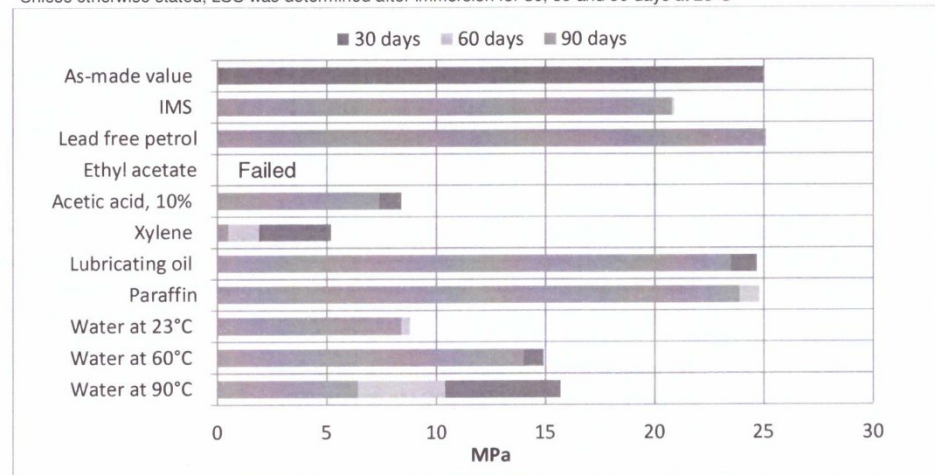
*: EP-GRP / UP-GRP / SMC / ABS / PVC / PMMA / PC: substrate failure observed

Tensile Properties (ISO 527) (typical average values) cure 16 hours at 40°C tested at 23°C

Tensile Strength: 45 MPa
 Tensile Modulus: 1700MPa
 Elongation at break: >5 %

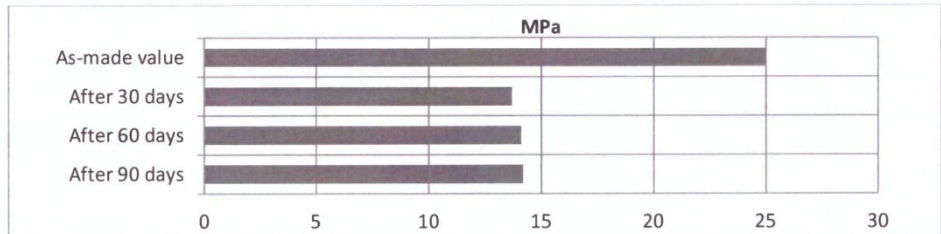
Lap shear strength versus immersion in various media (ISO 4587) (typical average values)

On aluminium, cured for 16 hours at 40°C and tested at 23°C. Pretreatment - Sandblasting and degreasing. Unless otherwise stated, LSS was determined after immersion for 30, 60 and 90 days at 23°C



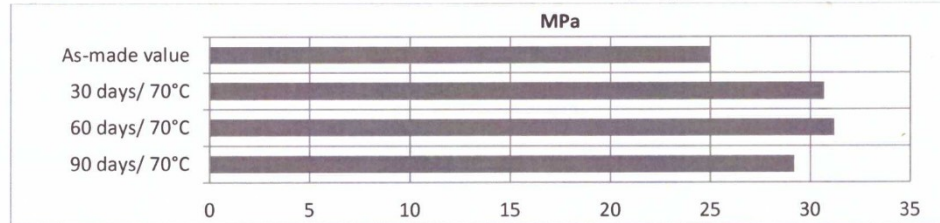
Lap shear strength versus tropical weathering (ISO 4587) (typical average values)

(40°C/ 92% RH), on aluminium, cured 16 hours at 40°C and tested at 23°C. Pretreatment - Sandblasting and degreasing



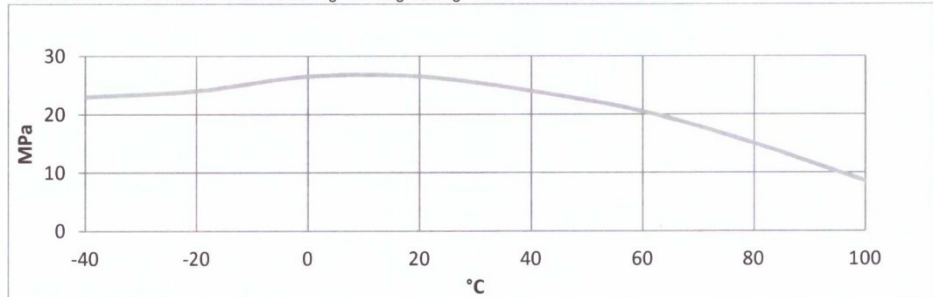
Lap shear strength versus heat ageing (ISO 4587) (typical average values)

On aluminium, cure: 16 hours at 40°C and tested at 23°C. Pretreatment - Sandblasting and degreasing



Lap shear strength versus temperature (ISO 4587) (typical average values)

On aluminium. Pretreatment :sandblasting and degreasing. Cure: 16 hours at 40°C



Lap shear strength versus Thermal cycling (ISO 4587) (typical average values)

On aluminium. Pretreatment: sandblasting and degreasing. Cure: 16 hours 40°C

100 cycles of 6 hours duration from -30°C to 70°C:
(2h -30°C / 1 h up to 70°C / 2h 70°C / 1h down to -30°C)

27 MPa

PŘÍLOHA P IV: TECHNICKÝ LIST PRYSKYŘICE L285 (MGS) + TUŽIDLO L285

1

LAMINAČNÍ PRYSKYŘICE L 285 TUŽIDLA 285, 286, 287

Návod k použití, technické listy

Charakteristika

Schválení:	Německý federální úřad pro letectví
Použití:	výroba kluzáků, motorových kluzáků a motorových letadel, lodě a stavba lodí, sportovní nářadí, letecké modely, formy a nástroje
Teplotní odolnost výrobků bez výrazných změn jejich parametrů:	- 60 °C - □ + 50-60 °C za temperování - 60 °C - □ + 80-+ 100 °C po temperování
Zpracování:	Při teplotách mezi 10 °C a 50 °C Všechny běžné metody zpracování
Zvláštní vlastnosti:	Extremně dobrá fyziologická kompatibilita Dobré mechanické a tepelné vlastnosti Doba zpracovatelnosti (tzv. pot life) od přibližně 45 minut do asi 5 hodin (závisí na použitém tužidle)
Zvláštní úpravy:	L 285 T: tixotropní L 285 K2: tixotropní tepelná úprava L 285 W: bílá

Použití

Systém laminační pryskyřice, schválený německým federálním úřadem pro letectví, má rozdílné doby zpracovatelnosti (v závislosti na použitém tužidle) pro výrobu s použitím skelných, uhlíkových a kevlarových vláken a vyznačuje se vysokými statickými a dynamickými vlastnostmi.

Po tepelném vytvrzení při 50 - 55 °C systém splňuje standard pro větroně a motorové větroně (pracovní teplota - 60 °C až + 54 °C. Pro splnění požadavků motorových letadel (pracovní teploty - 60 °C až + 72 °C) je nezbytné tepelné vytvrzení při 80 °C.

Rozmezí doby zpracovatelnosti (tzv. pot life) je mezi přibližně 45 min. a 5 h v závislosti na druhu tužidla. Tužidla mají stejný poměr míchání a mohou být míchány mezi sebou v jakémkoli poměru. Toto dovoluje výběr optimálního systému pro všechny metody zpracování. Po počátečním vytvrzení při pokojové teplotě jsou vyrobené komponenty opracovatelné a lze je vytáhnout z formy. Získáte vysoce se lesknoucí a nelepivé povrchy, a to dokonce i při nepříznivých podmínkách při vytvrzování, tj. nižší teploty nebo vysoká vlhkost.

Viskozita směsi zaručuje rychlé a dokonalé prosycení vláken, nicméně, pryskyřice se nerozlije na tkanině na vertikálním povrchu. Za účelem získání zvláštních vlastností je rovněž možné přidat ke směsi pryskyřice/tužidlo nejrůznější plniva, např. aerosil, mikrobalony, bavlněné vločky, kovový prášek apod.

Pokud se nevyžaduje vysoká tepelná odolnost či letecké schválení, dá se tužidlo 285 použít bez následného temperování. Nicméně, uvedené vlastnosti získá pouze po tepelném vytvrzení při teplotách nad 50 °C.

Použití

Laminační systém má hydrofilní charakter (vyšší absorpce vlhkosti, nižší odpor rozptylu páry). Proto neočekáváme žádné problémy kompatibility při jeho kombinaci s polyesterovými gelcoaty, rozmanitými barvami (např. na bázi PUR) atd. Bohužel však nemáme k dispozici testy těchto kombinací.

Od svého schválení v roce 1985 byl laminační systém L 285 používán téměř všemi výrobci letadel a kluzáků a - zvláště kvůli své extrémně dobré fyziologické kompatibilitě - je nejvíce užívaným systémem dnešního leteckého průmyslu. Často se stává, že pracovníci, kteří zaznamenali problémy s některými epoxidy (alergie či podráždění pokožky), jsou schopni zpracovávat laminační pryskyřici L 285.

Je nutno dodržovat příslušná bezpečnostní pokyny pro manipulaci s epoxidovými pryskyřicemi a tužidlo a naše instrukce pro bezpečné zpracování.

Specifikace

		Laminační pryskyřice L 285
Hustota °C	g/cm ³ / 25	1,18 - 1,23
Viskozita °C	mPas / 25	600 - 900
Ekvivalent epoxidu	-	165 - 170
Hodnota epoxidu	-	0,59 - 0,65
Barva Gardner		max 3

		Tužidlo 285	Tužidlo 286	Tužidlo 287
Hustota °C	g/cm ³ / 25	0,94 - 0,97	0,94 - 0,97	0,93 - 0,96
Viskozita °C	mPas / 25	50 - 100	60 - 100	80 - 100
Aminové číslo G	mg KOH /	480 - 550	450 - 500	450 - 500
Barva Gardner		max 3 (*)	max 3 (*)	max 3 (*)

(*) Vztahuje se pouze k průsvitnému tužidlu - tužidla mají průsvitně modrou barvu

Podrobnosti pro zpracování

	Pryskyřice L 285	Tužidlo 285	Tužidlo 286	Tužidlo 287
Průměrná EP - hodnota	0,62	-	-	-
Průměrný ekvivalent aminu	-	64	64	64

Technické informace o zesílené pryskyřici

Statické testy

Vytvrzení: 24 h při 23 °C + 15 h při 80 °C		G R C Skelné vlákno G F K	C R C Uhlík. vlákno C F K	S R C Kevlar.vlákno S F K
Pevnost v ohybu 10 ³ psi x N/mm ²		74 - 81 510 - 560	104 - 112 720 - 770	51 - 55 350 - 380
Pevnost v tahu 10 ³ psi x N/mm ²		67-73 460 - 500	74 - 80 510 - 550	58 - 70 400 - 480
Pevnost v tlaku 10 ³ psi x N/mm ²		59 - 64 410 - 440	67 - 74 460 - 510	20 - 23 140 - 160
Pevnost ve stříhu 10 ³ psi x N/mm ²		6,1 - 6,7 42 - 46	6,8 - 8,0 47 - 55	4,2 - 4,9 29 - 34
Modulus pružnosti 10 ³ psi x N/mm ²		2,9 - 3,5 20 - 24	5,8 - 6,5 40 - 45	2,3 - 2,8 16 - 19
<p>GRC vzorky: 16 vrstev skelné tkaniny, 8 H satén, 296 g/m², 4 mm silné CRC vzorky: 8 vrstev uhlíkové tkaniny, plátno, 200 g/m², 2 mm silné SRC vzorky: 15 vrstev kevlarové tkaniny, 4H satén, 170 g/m², 4 mm silné</p> <p>Obsah vláken ve vzorcích během výroby/testování: 40 - 45 vol% Data propočítaná na obsah vláken 43 vol%</p> <p>Typická data dle WL 5.3203 Části 1 a 2 Manuálu o německých leteckých materiálech.</p>				

Míchací poměry

	Pryskyřice L 285: Tužidlo 285, 286, 287
Složky váhově	100 : 40 (+/-2)
Složky objemově	100 : 50 (+/-2)

Gel time

- nános do vrstvy 1 mm při různých teplotách

	Tužidlo 285	Tužidlo 286	Tužidlo 287
20 - 25 °C	přibl. 2 - 3 hod.	přibl. 3 - 4 hod.	přibl. 5 - 6 hod.
40 - 45 °C	přibl. 45 - 60 min.	přibl. 60 - 90 min.	přibl. 80 - 120 min

Mechanická data nezesílené pryskyřice

Hustota	g/cm ³	1,18 - 1,20
Pevnost v ohybu	psi x 10 ³ N/ mm ²	16 - 18 110 - 120
Modul pružnosti	psi x 10 ⁵	4,6 - 4,8 3,0 - 3,3
kN/mm ²		
Pevnost v tahu	psi x 10 ³	10 - 11,5
kN/mm ²		70 - 80
Pevnost v tlaku	psi x 10 ³	18 - 20
kN/mm ²		120 - 140
Průtažnost	%	5 - 6,5
Síla nárazu		45 - 55
Nmm/mm ²		
Pevnost ve stříhu	D	80 - 85
Absorpce vody %	24 h 23 °C 7 d/ 23 °C	0,20 - 0,30 0,60 - 0,80
Odolnost proti únavě pod tlakem na obrácený ohyb dle DLR Brunsw. 90 %	10 %	2 X 10 ⁴ 2 X 10 ⁶
Vytvrzení:	24 h při 23 °C + 15 h při 60 °C	
Typická data dle WL 5.3203 Části 1 a 2 Manuálu o německých leteckých materiálech		

PŘÍLOHA P V: MATERIÁLOVÝ LIST DELTAPREG VV430U – DT806W – 39

SCHEDA TECNICA DI PRODOTTO/PRODUCT TECHNICAL DATA SHEET

Codice Articolo/ Material code: A-PRO1328

Rev. 1.02 - 09/10/2014

VV430U-DT806W-39 VV430U (H 124 cm)

Caratteristiche del sistema resinoso/ Features of the resin matrix: (*)



Natura del formulato/ Chemical nature	Epossidico termoindurente/ Thermosetting epoxy
Temperatura di cura/ Cure temperature	65 ÷ 140°C
Gel time	50 ÷ 60 min @ 80°C 15 ÷ 19 min @ 100°C
Tg [Ciclo di cura]/ Tg [Cure cycle]	Ref. to DT806 technical data sheet (1)
Viscosità/ Viscosity	Bassa/ Low (2)
Trasparenza/ Transparency	Molto buona/ Very good
Stabilità all'ingiallimento/ UV stability	N.A. (vedi Trasparenza)/ N.A. (see Transparency)
Indicato per applicazioni dove siano richiesti/ Recommended for those applications requiring:	-Indurimento a bassa temperatura/ Low temperature cure -Stampaggio rapido in pressa/ Fast press molding -Elevati requisiti estetici/ Good surface quality

(1) Misurata con DSC alla velocità di scansione di 20°C/min / Measured by DSC @ 20°C/min

(2) Viscosità complessa misurata a 60°C minore di 300 Poise (frequenza 10 rad/sec)/ Complex viscosity < 300 Poise @ 60°C (frequency 10 rad/sec)

Caratteristiche del tessuto impregnato/ Features of the impregnated fabric:

Tipo di filato (Ordito; Trama)/ Yarn type (Warp; Weft)	EC9 5x136 tex; EC9 68 tex
Stile di tessitura/ Weaving style	Tela/ Plain
Larghezza standard/ Standard width	1240 ± 5 mm (esclusa cimosa/ without selvedge)
Lunghezza standard/ Standard length	55 ± 0 m
Ordito (fili/ cm)/ Warp (ends/ cm)	5,50 ± 0,20
Trama (fili/ cm)/ Weft (picks/ cm)	6,30 ± 0,30
Peso areale fibra secca/ FAW	425 ± 20 g/m ²
Contenuto di resina/ Resin content	39 ± 3 % in peso/ by weight
Contenuto di volatili/ Volatile content	<1,0 % in peso/ by weight (3)
Spessore lamina/ Laminate thickness	0,660 mm (4)
Conservazione/ Shelf life	3 settimane @ 21°C/ 3 weeks @ 21°C 12 mesi @ -18°C/ 12 months @ -18°C

(3) Perdita in peso dopo 15 min in forno ventilato a 160°C/ Weight loss after 15 min in oven @ 160°C

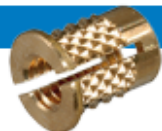
(4) Valore indicativo, può variare in funzione dell'eventuale fuoriuscita di resina dal laminato e dalla porosità residua/ This value depends on eventual resin bleed out and/or residual porosity in the cured laminate

(*) Per maggiori dettagli riferirsi alla corrispondente matrix TDS/ For additional information please refer to the appropriate matrix TDS

Documento soggetto a eventuali aggiornamenti senza obbligo di comunicazione immediata/
This document may be subject to change without prior notice

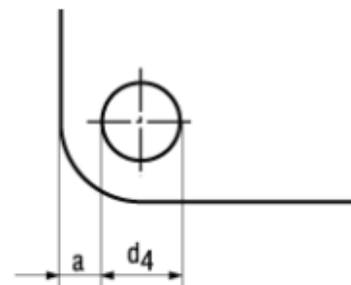
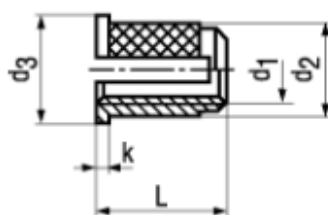
PŘÍLOHA P VI: ZÁVITOVÁ VLOŽKA BN 1048

BOSSARD



BancLok®

RK 842



BN 1048

Rozpěrné závitové vložky

k zalisování do laminátů

Mosaz

bez povrchové úpravy

Article#	d ₁	d ₃	d ₂	L	k	d ₄	a min.
1386549	M2	4,8	3,55	4	0,6	3,2-3,3	2,4
1386557	M2,5	5,6	4,3	4,8	0,6	4-4,1	2,8
1386565	M3	5,6	4,3	4,8	0,6	4-4,1	3,2
1386581	M4	7,2	6	8	0,8	5,5-5,6	4
1386603	M5	8	6,8	9,5	1	6,3-6,4	4,8
1387170	M6	9,5	8,4	12,7	1,3	7,9-8	6
1429337	M8	11	9,9	12,7	1,3	9,5-9,6	6