

Obkladové panely v průmyslu

Milan Paštěka

Bakalářská práce
2012



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

akademický rok: 2011/2012

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Milan PAŠTĚKA**
Osobní číslo: **T100050**
Studijní program: **B 3909 Procesní inženýrství**
Studijní obor: **Technologická zařízení**

Téma práce: **Obkladové panely v průmyslu**

Zásady pro vypracování:

- 1. Kompozitní materiály, základní složky, přístup při navrhování a odlišnosti od tradičních materiálů**
- 2. Konkrétní aplikace kompozitních materiálů v různých odvětvích průmyslu, trendy a zpracovatelské inženýrství jejich výroby**
- 3. Experimentální část: návrh materiálového složení u vybrané aplikace, zvolení zpracovatelské technologie a ekonomické zhodnocení**
- 4. Testování mechanicko-fyzikálních vlastností dle zvolených norem**
- 5. Závěr**

Rozsah bakalářské práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

Dle doporučení vedoucího bakalářské práce.

Vedoucí bakalářské práce:

doc. Ing. Soňa Rusnáková, Ph.D.

Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání bakalářské práce:

13. února 2012

Termín odevzdání bakalářské práce:

25. května 2012

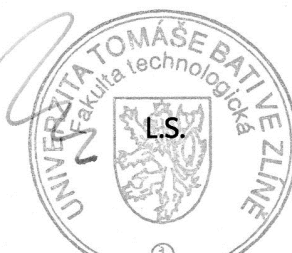
VYŘÍZENO 06. 03. 2012

Ve Zlíně dne 8. února 2012



doc. Ing. Roman Čermák, Ph.D.

děkan



prof. Ing. Berenika Hausnerová, Ph.D.

ředitel ústavu

PROHLÁŠENÍ

Prohláším, že

- Éberu na v domě, 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 obhajoby¹⁾;
- Éberu na v domě, 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;
- Ébyl/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, zejména § 35 odst. 3²⁾;
- Éberu na v domě, že podle § 60³⁾ odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití kolního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- Éberu na v domě, že podle § 60³⁾ odst. 2 a 3 mohu užit své dílo o 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 (ať do jejich skutečné výše);
- Éberu na v domě, 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;
- Éberu na v domě, 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 mě nemůže být důvodem k neobhájení práce.

Ve Zlíně 25.5.2012

.....

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

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

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

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 vzdělávacího 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 výtěžku 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 výtěžku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

ABSTRAKT

Cílem této bakalářské práce je navrhnout a otestovat kompozitní včelí sendvičovou konstrukci, skládající se z hliníkové včeliny, hliníkové vnější vrstvy a různých typů použité adhezivní vrstvy. Hlavním smyslem byl návrh kompozitního obkladového panelu, s použitím vhodného lepidla, pro dopravní průmysl. Tato aplikace je možná všude tam, kde je vyžadována minimální tloušťka konstrukce při zachování vysokých hodnot mechanických vlastností a nízké hmotnosti. Sendvičová konstrukce proto byla podrobena zkoušce ohybem, zkoušce odlupem a rázové zkoušce padajícím závaším.

Klíčová slova: kompozitní materiál, včelina, sendvičová konstrukce, prepreg, epoxidové foliové lepidlo

ABSTRACT

The purpose of this bachelor's thesis is to design and test a composite honeycomb sandwich construction consisting of aluminum honeycomb, aluminum outer layer and applied for various types of adhesive layer. The main purpose of a draft composite facing panel, using a suitable adhesive for the transport industry. This application is possible wherever there is required a minimum thickness of construction at maintaining high levels of mechanical properties and low weight. Sandwich construction was therefore subjected to bending test, peeling test and impact test a falling weight.

Keywords: composite materials, sandwich construction, honeycomb, epoxy adhesive film, prepregs

Chtl bych podkovat především paní doc. Ing. Sonu Rusnákovou, Ph.D., vedoucí mé bakalářské práce, za ochotu, připomínky, poskytnutý čas, cenné informace a odborné rady. Rád bych také podkoval svým rodičům za trpělivost, pomoc a podporu při mém studiu.

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

OBSAH

ÚVOD	10
I TEORETICKÁ ČÁST	11
1 KOMPOZITNÍ MATERIÁLY	12
1.1 DEFINICE KOMPOZITNÍCH MATERIÁL	12
1.2 ZAHRAZENÍ MATERIÁLU MEZI KOMPOZITY	13
1.3 DĚLENÍ KOMPOZITNÍCH MATERIÁL	13
1.3.1 Makrokompozity	13
1.3.2 Mikrokompozity	13
1.3.3 Nanokompozity	14
1.4 MIKROKOMPOZITY	15
2 MATRICE	16
2.1 TYPY MATRICE	16
2.1.1 Polymerní matrice	16
2.1.1.1 Reaktoplastické matrice	16
2.1.1.2 Termoplastické matrice	18
2.1.2 Kovové a keramické matrice	22
2.1.2.1 Kovové matrice	22
2.1.2.2 Keramické matrice	22
3 VÝZTUŽI	24
3.1 DRUHY VLÁKEN	24
3.1.1 Sklená vlákna	24
3.1.2 Uhlíková vlákna	25
3.1.3 Aramidová vlákna	26
3.1.3.1 Kevlar (para-aramid, PPTA)	27
3.1.3.2 Nomex (meta-aramid, MPIA)	27
3.1.4 Přírodní vlákna	28
3.2 TYPY VÝZTUŽÍ	29
3.2.1 Sekané prameny (angl. chopped fibers)	29
3.2.2 Mletá vlákna (angl. milled fibers)	30
3.2.3 Rovingy (angl. tow)	30
3.2.4 Tkaniny (angl. fabrics)	31
3.2.5 Rohofce (angl. mats)	31
3.2.6 Prepregy (angl. Prepregs)	32
4 VOŠTINY	33
4.1 MATERIÁLY K VÝROBĚ VOŠTIN	33
4.1.1 Aramidové voštiny	33
4.1.1.1 Použití	34
4.1.2 Hliníkové voštiny	34
4.1.2.1 Použití	34
4.1.3 Uhlíkové voštiny	35
4.1.3.1 Použití	35

5	SENDVI E	36
5.1	SENDVI OVÁ JÁDRA.....	36
5.2	POTAHY.....	36
5.3	SEMISENDVI OVÉ STRUKTURY.....	37
5.4	VÝROBA.....	37
5.5	POUÍTÍ.....	37
II	PRAKTICKÁ ÁST	38
6	CÍLE BAKALÁ SKÉ PRÁCE	39
7	MATERIÁLOVÉ SLOŽENÍ SENDVI OVÉHO PANELU	40
7.1	VN JÍ VRSTVY.....	40
7.2	JÁDRO.....	40
7.3	ADHEZIVNÍ MATERIÁLY.....	41
7.3.1	SA 70.....	41
7.3.2	HexPly® M34.....	41
7.3.3	3MÍ Scotch-Weld® AF 3002.....	42
7.3.4	Letoxit KFL 130.....	42
8	VZORKY	43
8.1	VÝROBA VZORK.....	43
8.2	EZÁNÍ VZORK.....	44
8.2.1	Technologie ezání vodním paprskem.....	45
9	TESTOVÁNÍ	46
9.1	T ÍBODOVÝ OHYB.....	46
9.2	ZKOUŤKA ODLUPEM.....	50
9.3	RÁZOVÁ ZKOUŤKA.....	51
10	DISKUZE VÝSLEDK	53
	ZÁV R	55
	SEZNAM POUÍTÉ LITERATURY	57
	SEZNAM POUÍTÝCH SYMBOL A ZKRATEK	58
	SEZNAM OBRÁZK	59
	SEZNAM TABULEK	60
	SEZNAM GRAF	61
	SEZNAM P ÍLOH	62

ÚVOD

Bakalářská práce se zabývá návrhem kompozitního sendvičového panelu pro aplikace v dopravním průmyslu. Teoretická část je zaměřena na obecné materiálové složení a základní vlastnosti kompozitních materiálů. Definuje nejvíce používané vlákna a formu jejich použití a shrnuje poznatky o vrstvách a sendvičových strukturách.

V praktické části je navrženo materiálové složení sendvičového panelu, technologický proces výroby a způsob testování mechanických vlastností. Bylo zvoleno použití hliníkového plechu a hliníkové vrstvy o dvou různých tlouškách v kombinaci s různými typy adhezivní vrstvy. Vyrobené vzorky byly testovány pomocí tříbodového ohybu, zkoušky odlupelem a rázovou zkouškou, dle norem.

Sendvičové konstrukce v dnešní době nacházejí uplatnění především v letecké a dopravní technice, kde jsou využívány jejich hlavní přednosti, kterými jsou vysoká ohybová pevnost a tuhost při zachování nízké hmotnosti. Sendvičové konstrukce ale není problém nalézt i v dalších průmyslových odvětvích. Mezi další výhody lze zařadit odolnost proti šíření trhlin a odolnost proti rázu. I při malém zvýšení tloušťky sendvičové konstrukce výrazně vzroste ohybová tuhost, ale hmotnost se zvýší jen minimálně. Sendvičové konstrukce mohou být tvarově složitými prvky s různými prolisy a výstupky, mohou být nehomogenní nebo samostatné. Jejich konečné vlastnosti lze přizpůsobit téměř libovolně vhodnou kombinací materiálu jádra a vnější vrstvy.

I. TEORETICKÁ ÁST

1 KOMPOZITNÍ MATERIÁLY

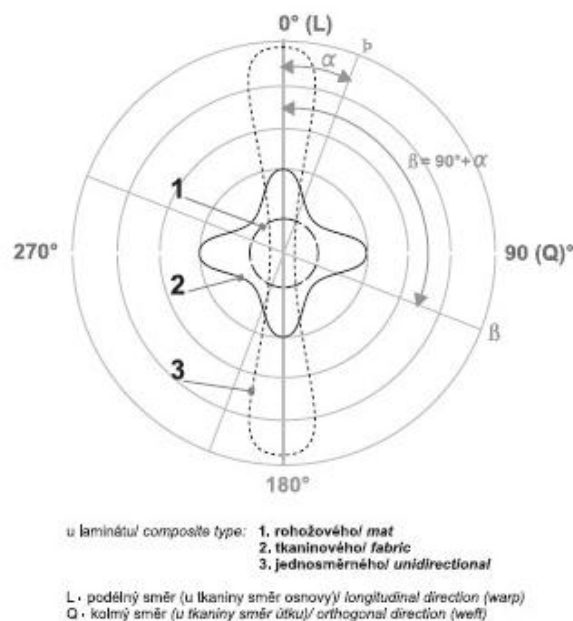
1.1 Definice kompozitních materiálů

Kompozitní materiály (kompozity) se skládají ze dvou nebo více fyzikálně a chemicky rozdílných složek (fází). Složky se dělí na výztuž a matici. Výztuž je pevnější a tvrdší nespojitá složka, matrice je spojitá a v tónu poddajnější složka, která má funkci pojiva výztuže. [1]

Tyto materiály mají řadu výhodných vlastností, především nízkou hustotu (obvykle 1600-2000 kg/m³), velký rozsah pevností (200-4000 MPa) a tuhostí (10-400 GPa), jsou odolné proti velkému množství chemikálií, mají nízkou tepelnou vodivost (zhruba 300x nižší než u uhlíku) a elektroizolační vlastnosti. [2]

Pojivo má za úkol chránit výztuž před mechanickým, nebo chemickým poškozením a udržovat ji v daném směru. Dále působí vnější napětí do výztuže, která zajišťuje pevnost a tuhost kompozitu. [2]

Charakteristickým rysem kompozitů je jejich anizotropie. Vlastnosti kompozitu jsou závislé na směru uložení (orientaci) vláken výztuže. Tento jev znázorňuje tzv. polární diagram pevnosti v tahu (Obr. 1) pro lamináty se základními typy výztuží, které reprezentují odlišnou orientaci vláken výztuže (jednosměrnou výztuž, tkaninu s plátňovou vazbou a rohož). [4]



Obr. 1. Polární diagram pevnosti v tahu [4]

1.2 Za azení materiálu mezi kompozity

K za azení vícefázového materiálu mezi kompozitní materiály musí být splněny tyto podmínky:

Ékompozit musí být připraven smícháním složek

Épodíl výztuže musí být v t-í nejl 5 %

Évlastnosti výztuže a matrice (mechanické, fyzikální a chemické) se musí li-ít, výztuž je mnohem pevn-í v tahu a v t-ínou tufl-í nejl matrice [3]

Za kompozit nelze považovat:

Éplast, který obsahuje malé množství tuhých barviv, nap . ástic sazí (černý pigment) nebo oxid (nap . TiO_2 -bílý pigment) nebo ástic elastomer (p ídáváných za ú elem zlep-ení houflevnatosti; zmen-ení modulu pružnosti)

É slitiny kov , ve kterých b hem ochlazování nebo p i tepelném zpracování do-lo k vylou-ení tvrdé fáze [3]

1.3 D lení kompozitních materiál

Podle velikosti vyztuřující fáze se kompozitní materiály d lí na makrokompozity, mikrokompozity a nanokompozity.

1.3.1 Makrokompozity

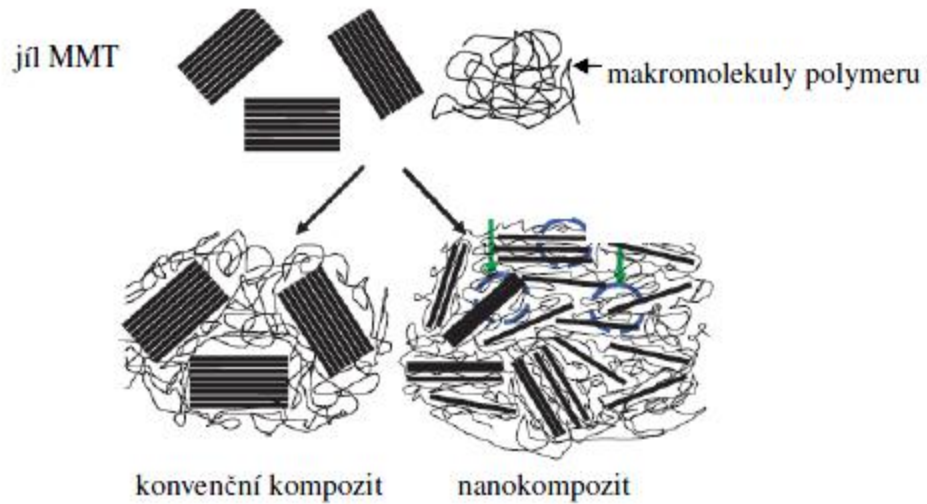
Makrokompozity mají velikost p í něho rozm-ru výztuže 100 afl 102 mm a jejich nejv t-í využití je ve stavebnictví (flezobeton, tj. beton zpevn-ný ocelovými lany nebo pruty, polymerbetony, které obsahují drcené kamenivo a prysky-ici). Za makrokompozity lze považovat i vícevrstvé materiály a konstrukce (nap . chodníky a vozovky). [1]

1.3.2 Mikrokompozity

Mikrokompozitní materiály mají nejv t-í p í né rozm-ry výztuže (vláken nebo ástic) v rozmezí 100 afl 102 m. Vzhledem ke kov m a jejich slitinám mají men-í hustotu a tedy lep-í pom-er pevnosti v tahu a modulu pružnosti k hustot . Jsou nejvíce využívané v pr-myslu. [1]

1.3.3 Nanokompozity

Nanokompozity mají rozměr výtufle (délka částice nebo průměr vlákna) v jednotkách nm.
[1]

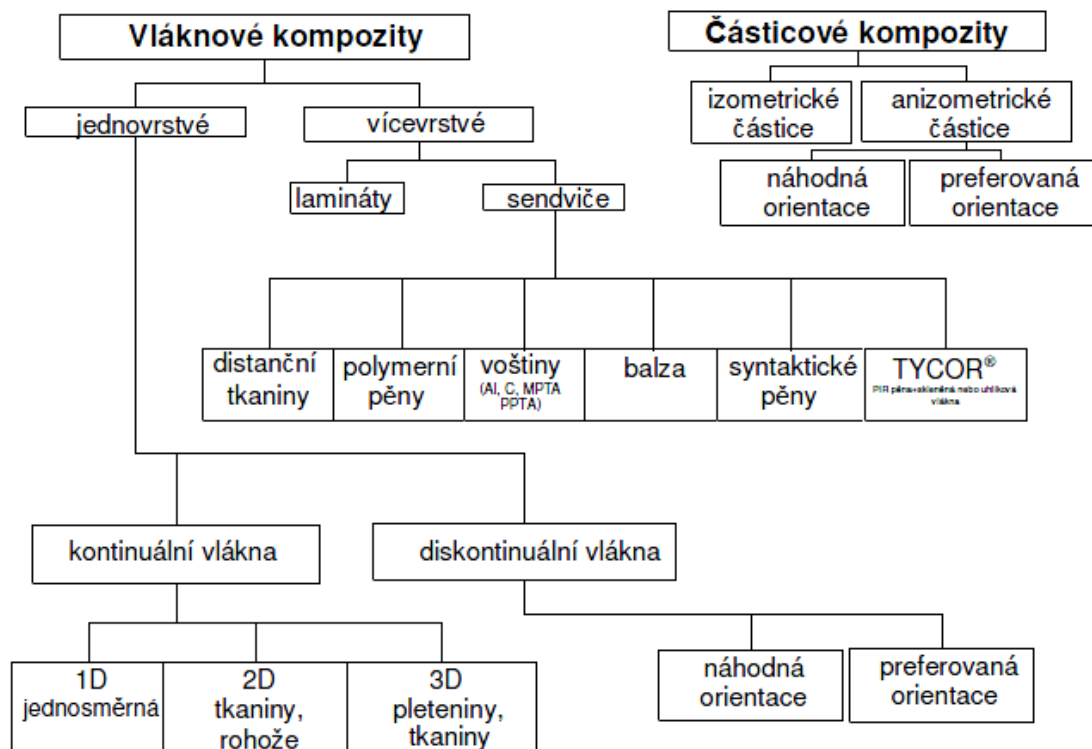


Obr. 2. Rozdíl mezi mikrokompozitem a nanokompozitem s výtufí na bázi desti kovitých ástic jílu ó montmorillonitu (MMT) [1]

1.4 Mikrokompozity

Évláknové ó materiál je vřdy pevn j-í ve form vláken, nefl v kompaktním stavu

É ásticové - v t-inou anorganické ástice, anizometrické (desti kovité ástice) mají ur itý -tíhlostní (aspektní) pom r l/t, kde l je délka a t tlou- ka ástice. [1]



Obr. 3. Rozdělení mikrokompozit podle geometrie a orientace vřztuřle [1]

2 MATRICE

Je to spojitá sloafka, která má funkci jako pojivo výztuže a přenáší do výztuže zatížení. K přenosu zatížení dochází pomocí adheze mezi matricí a výztuží. Také chrání vnitřní křehká vlákna výztuže před vlivy okolí. Matrice musí mít vyšší tažnost než je tažnost vláken, naopak pevnost vláken musí být větší než je pevnost matrice.

Matrice může být polymerní, kovová, keramická, skleněná, sklokeramická, uhlíková [1]

2.1 Typy matric

2.1.1 Polymerní matrice

Polymerní matrice reaktoplastické nebo termoplastické se nejvíce používají pro kompozity s kontinuálními vlákny. [1]

2.1.1.1 Reaktoplastické matrice

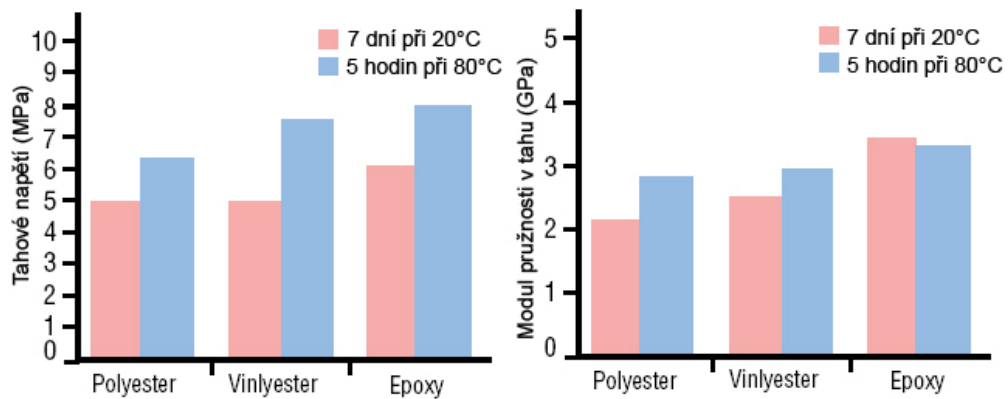
Reaktoplasty jsou vnitřně tekuté i při pokojové teplotě, proto snadno prosáknou mezi vlákna výztuže. Vytvrzování probíhá za podpory chemických prostředků. Součástí reaktoplastické matrice jsou vytvrzovací a urychlovací prostředky. Kompozity s reaktoplastovou pryskyčicí není možné po ztvrdnutí matrice tvarovat, jejich výhodou však je použití i při vysokých teplotách. Mají také vyšší pevnost než kompozity s termoplastickou matricí.

Mezi nejpopulárnější matrice patří nenasyčené polyesterové pryskyčice (UP), vinylesterové pryskyčice (VE) a epoxidové pryskyčice (EP). Reaktoplasty se kvůli své ceně využívají hlavně ve vojenském průmyslu (např. spodní kompozitní díly tryskových letadel s kolmým startem), nebo pro výrobu nepřekovných zařízení (druffice, raketoplány).

Snaha o zkrácení doby vytvrzování a odstranění zdravotně závadných a toxických látek z výrobního procesu vede k používání dražších typů reaktoplast, které jsou na bázi uretanu (tzv. akrylamanty). Při výrobě kompozitních dílů, které jsou vyráběny ve velkých sériích, je z důvodu recyklovatelnosti materiálu nahrazována matrice reaktoplastická

matricí termoplastickou. Uplatí se levnější typy termoplast (PP, PA), které jsou vyztuženy krátkými skleněnými vlákny.

Zvyšující se nároky na bezpečnost ve stavebnictví a hromadné dopravě osob vyžadují použití těchto matric s malým vývinem dýmu, který není toxický. Tyto podmínky splní hlavně fenolické pryskyřice. [1]



Obr. 4. Srovnání mechanických vlastností pryskyřic (napětí v tahu a tuhost) [8]

Tab. 1. Porovnání pryskyřic [8]

Pryskyřice	Výhody	Nevýhody
Polyesterová	<ul style="list-style-type: none"> - nízká cena - jednoduchá aplikace 	<ul style="list-style-type: none"> - průměrné mechanické vlastnosti - vysoká emise styrenu (v otevřené formě) - vysoké smrštění
Vinylesterová	<ul style="list-style-type: none"> - chemická odolnost a odolnost proti vlivům počasí - vyšší mechanické vlastnosti než polyesterová 	<ul style="list-style-type: none"> - omezený pracovní čas - většinou musí následovat dodatečná vulkanizace - vysoký obsah styrenu
Epoxidová	<ul style="list-style-type: none"> - vysoké mechanické a tepelné vlastnosti - vysoká odolnost vůči vodě - dlouhé pracovní časy - teplotní odolnost může být až 140°C za mokra / 220°C za sucha - malé smrštění 	<ul style="list-style-type: none"> - dražší než vinylesterová - kritické míchání směsi - agresivní manipulace

Tab. 2. Pohled reaktoplast jako matrice vláknových kompozit [3]

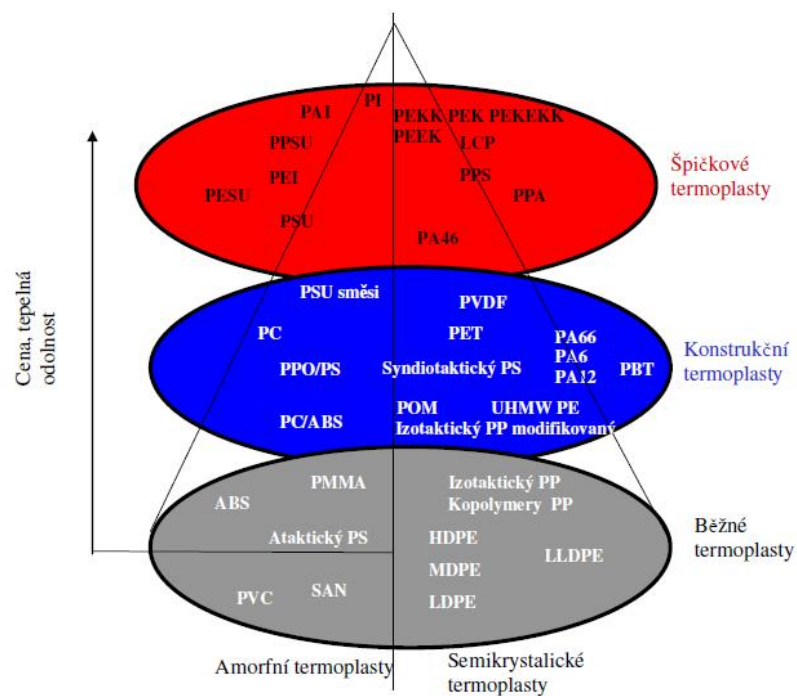
pryskyřice	reaktivní ředitel	vlastnosti	pracovní teplota [°C]	určení, aplikace	
orthoftalová nenasyčená polyesterová	UP	ano	nejlevnější, krátká doba vytvrzování	70	běžné výrobky, sanitární zboží
izoftalová nenasyčená polyesterová	UP	ano	levná, uspokojivá chemická odolnost, krátká doba vytvzování	85	pro chemický průmysl
vinylesterová (z bisfenolu A)	VE	ano	dobrá chemická odolnost, houževnatá, krátká doba vytvzování	100	pro chemický průmysl
vinylesterová (z novolakové epoxidové)	VE	ano	dobrá chemická odolnost, křehká, krátká doba vytvzování	120	pro chemický průmysl
dvoufunkční epoxidová	EP	ne	velmi dobrá chemická odolnost, pomalejší vytvzování	125	lepidla a laminační pryskyřice
třífunkční epoxidová	EP	ne	dobrá tepelná odolnost větší odolnost proti vlhkosti, vytvrzování při zvýšené teplotě	190	letecký průmysl
čtyřfunkční epoxidová	EP	ne	dobrá tepelná odolnost menší odolnost proti vlhkosti, vytvrzování při zvýšené teplotě	200	letecký průmysl
bismaleinimidová	BMI	ne	větší tepelná odolnost, křehká	230	letecký průmysl
polyimidová	PI	ne	největší tepelná	320	letecký průmysl odolnost, houževnatá
kyanoesterová	CE	ne	dobré dielektrické vlastnosti	130-160	desky pro tištěné spoje
fenolická (fenol- formaldehydová)	PF	ne	nehořlavost, nevyvíjí dým, křehká, vysoká chemická odolnost s minerálními plnivý		doprava osob chemický průmysl
melamino- formaldehydová	MF	ne	zdravotní nezávadnost		určena pro styk s potravinami
melamino- fenolická	MPF	ne	nehořlavost		elektrotechnika

2.1.1.2 Termoplastické matrice

Na rozdíl od reaktoplast jsou termoplasty tekuté afl p i teplotách nad 200°C. Kompozity s termoplastickou matricí je možné tvarovat nebo svařovat i dodatečně. Po ochlazení matrice jsou kompozity připraveny k použití, mohou p i zvýšené teplotě. Mají neomezenou dobu skladování. Při použití vhodných termoplast je matrice chemicky velmi odolná, neabsorbuje vlhkost a má velmi dobrou houževnatost. Rychlost tuhnutí matrice je závislá na rychlosti odvodu tepla.

Typické termoplasty, jako polyimidy (PI), polyamidoimid (PAI), polyaryletherketony (PEEK, PEK, PEKK, PEKEKK), polymery s tekutými krystaly (LCP), polyfenylsulfon (PPSU), polyetherimidy (PEI), polyethersulfon (PESU), polyftalamidy (PPA), polyfenylsulfid (PPS), polysulfon (PSU) a polyamid 46 (PA 46) jsou teplotně odolnější než běžné reaktoplasty a jsou nehořlavé. [1]

Termoplasty se používají v chirurgii (části kyčelního kloubu), v leteckém průmyslu (interiéry, nábojové části křídla letadel), automobilový průmysl (sací potrubí, olejové vany, výfukové potrubí, stropní desky, dveřní panely).



Obr. 5. Dělení termoplastů [1]

Způsob prosycování výztuže termoplastem

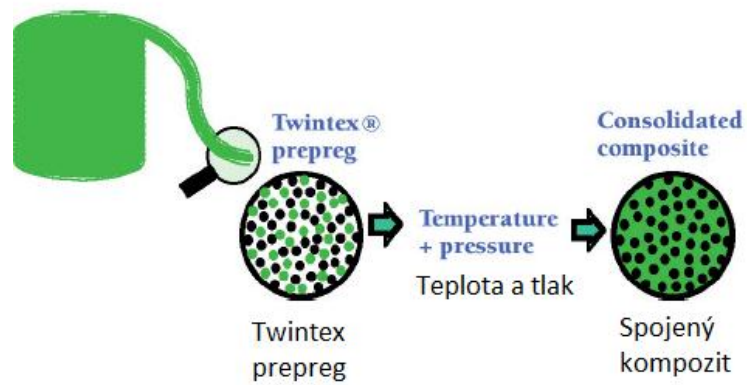
Vláknovou výztuž lze prosycovat termoplastem a lze ji použít i v výrobě dílů. Je možné použít i kombinace vyztužujících vláken a termoplastu:

Mezi vrstvy výztuže se vloží fólie termoplastu

Évlákna výztuže se smísí s vlákny termoplastu v textilní vazbě (tkaniny TWINTEX®)

Étermoplast je nanášen na výztuž fluidním způsobem v podobě prášku

Při nanášení prášku na vlákna vzniká elektrostatický náboj. Aby při manipulaci s prepregem zabránilo ztrátám prášku, pokryje se úzký prepreg tenkým filmem stejného polymeru, v případě širokého pásu se prášek částicemi natavuje infrazářivem. Tímto způsobem vznikají prepregy, které jsou velmi dobře tvarovatelné i za studena. [1]



Obr. 6. Výroba kompozitu z prepregu Twintex® [9]

Tab. 3. Pohled termoplast pro matrice vláknových kompozit , T_g je teplota skelného přechodu, T_m je teplota tání [3]

termoplast	vlastnosti	obchodní název	T_g [°C]	T_m [°C]
polyamid 6	PA 6 dobrá pevnost, navlhavý	Bergamid B, Gelon, Grilon A, Miramid, Orgalloy, Radilon S Spolamid, Technyl C Ultramid B, Zytel	~ 45	220
polyamid 12	PA12 dobrá pevnost, malá navlhavost	Cristamid M, Grilamid (použit pro prepregy firmou EMS), Rilsan, Vestamid	~ 20	175
polyamid 66	PA66 velmi dobrá pevnost, větší tepelná odolnost, navlhavý	Bergamid A, Celstran PA66, Gelon A, Grilon T, Grivory G, Miramid S, Noryl GTX, Orgalloy R, Radilon A, Technyl A, Ultramid A, Zytel	~ 45	260
polyamid 46	PA46 vysoká tepelná odolnost, navlhavý	Stanyl	75	295
polybutylentereftalát	PBT dobrá tepelná odolnost	Bergadur, Celanex, Raditur, Ultradur, Valox, Vandar, Vestodur	60	225
polyethylentereftalát	PET dobrá tepelná odolnost	Impet, Raditur	95	255
polysulfon	PSU dobrá tepelná odolnost	Udel, Ultrason S	190 *	
polyfenylsulfon	PPSU dobrá tepelná odolnost	Radel R	220 *	
polyethersulfon	PES dobrá tepelná odolnost	Radel A, Ultrason E	230 *	
polyfenylensulfid	PPS dobrá tepelná odolnost	Forton, Ryton, Supec	80	240
polyftalamid	PPA vysoká tepelná odolnost	Amodel, Trogamid, Arlen	127	312
polyetherimid	PEI dobrá tepelná odolnost	Ultem	217 *	
polyamidoimid	PAI vysoká tepelná odolnost	Torlon	280 *	
polyetheretherketon	PEEK výborná chemická odolnost, vysoká tepelná odolnost	Victrex, Kadel, Hostatek	140	340
polyetherketonketon	PEKK vysoká tepelná odolnost		140	380
termoplastický polyimid	PI vysoká tepelná odolnost	LARC-TPI, Aurum, Vespel, Skybond, Duramid, Matrimid	265 *	

Poznámka: * termoplast s amorfni molekulární strukturou

2.1.2 Kovové a keramické matrice

2.1.2.1 Kovové matrice

Kompozity s kovovou maticí se používají tam, kde není dostatečná pevnost a odolnost běžných slitin kovů proti teplotě.

Výhody kovové matrice oproti polymerní matici jsou, například, elektrická vodivost, teplotní vodivost, nehořlavost, smyková pevnost, tvárnost (zpomalující mechanismus rozvoje trhlin), odolnost proti ubrusu, možnost povlakování, spojování, tvarování, vyšší tepelná odolnost, odolnost proti vlhkému prostředí, erozi a povrchovému poškození.

Mezi nevýhody patří specifické vlastnosti (pevnost, tuhost), které jsou za normálních teplot nižší než u polymerních kompozitů a výrobní nároky (zejména energetické), které jsou podstatně vyšší.

Nejpoužívanější kovovou maticí je hliník a jeho slitiny (široká vlnovost, nízká cena), která je nejčastěji vyztužovaná borovými, uhlíkovými, křemíkokarbidovými, nebo safírovými vlákny.

Matrice se vyrábí z prášku (například plazmové nanášení), fólie (například lisování za tepla, válcování), nebo taveniny (například infiltrace, lití). Výrobní postup se volí tak, aby došlo k dokonalému spojení matrice s vlákny bez mechanického poškození vláken, bez jejich degradace, bez zkrácení matrice, s dostatečnou soudržností ve styku matrice-vlákna i matrice-matrice. Nejčastěji je postup dvoufázový: nejprve se vyrobí jednoduché tvary (například jednovrstvá páska) a následně se z nich vytvoří pořádkovaná složitější struktura. Kvalita a vlastnosti kompozitů s kovovou maticí velmi závisí na výrobních metodách (póry, poruchy vláken, promíšení, soudržnost styku matrice-matrice). [5]

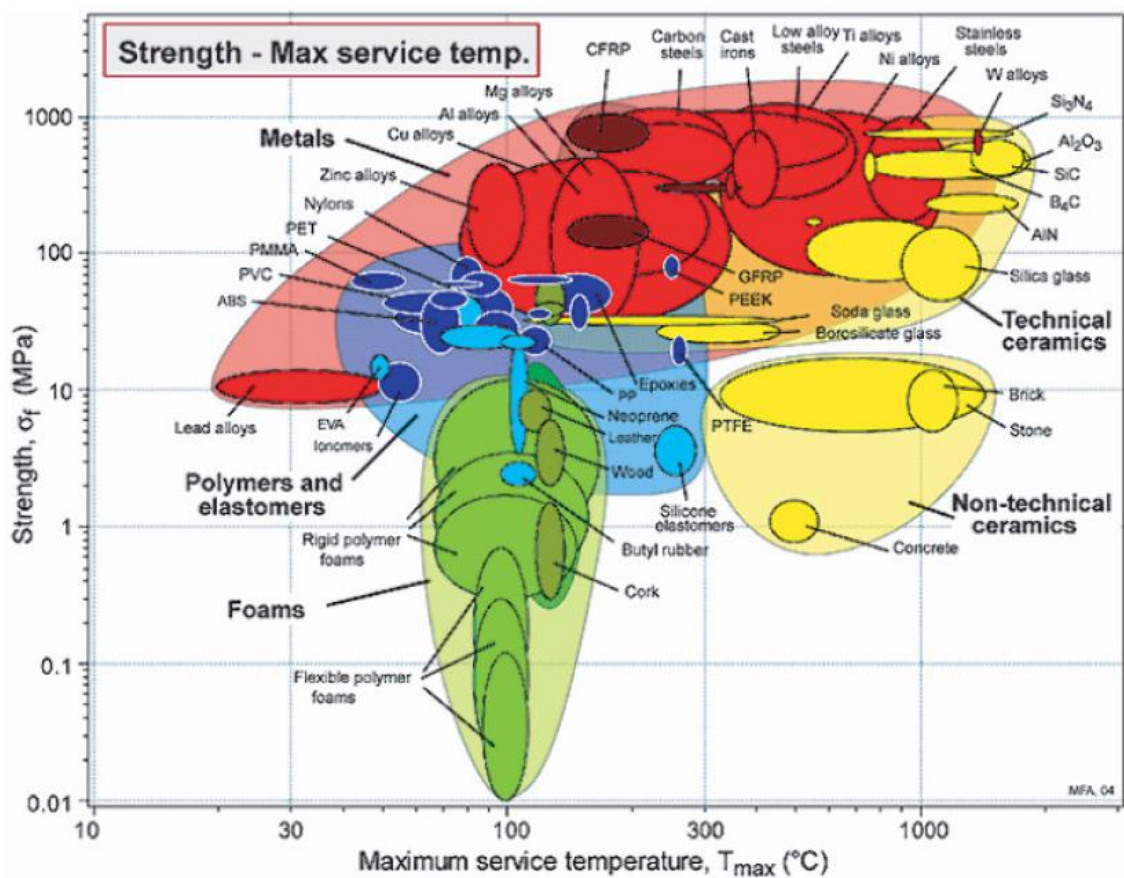
2.1.2.2 Keramické matrice

Keramika je vhodný materiál pro svou vysokou pevnost i v vysokých teplotách, pro malou hustotu a pro vynikající odolnost proti oxidaci. Její nevýhodou je křehkost.

Keramické matrice mají vysokou pevnost v tahu i při takových teplotách, kterým neodolávají žádné kovové matrice. Materiály s vysokou lomovou houževnatostí, než jakou má monolitická keramika, lze získat výrobou kompozitů s keramickými vlákny v keramické matici. Při kombinaci křehké keramické matrice s křehkými vlákny je nutné pokrytí vláken tenkou vrstvou, která zmenšuje adhezi mezi vlákny a maticí. Tato tenká

vrstva umohl uje odklon í ící se trhliny, která následn nepokra uje vlákem, ale po mezifázovém rozhraní.

Dobrá lomová houflevnatost je také vlastností kompozit s keramickou maticí zpevn né kovovými vlákny (Wolfram, Molybden), které jsou schopné se plasticky deformovat. Pokud mají vlákna v t-í teplotní vodivost nevl matrice, mohou také zlep-ít odolnost proti teplotnímu -oku. V t-inou se pro matrici, která je odolná vysokým teplotám, poufívají oxidy, nitridy, nebo karbidy r zných prvk nej ast ji Al, Si, Mg. Pro vlákna je vhodný molybden, tungsten, kolumbium, ocel a safírové whiskery. Relativn krátkou dobu se vyráb jí kompozity s keramickými maticemi (SiC, Si₃N₄, Al₂O₃). íárupevností p ekonají slitiny niklu, ale jejich výroba je náro ná. Nap íklad pro lopatky spalovacích turbín je vhodné poufít materiál s kontinuálními vlákny karbidu k emíku (SiC) v matici Si₃N₄. Budoucností pro tryskové motory m fle být ternární keramika MAX (nap . Ti₃SiC₂), kterou lze považovat za „keramický nanolaminátõ. [5,3]



Obr. 7. Pevnost v tahu σ_f i maximální servisní teplota r zných materiál [1]

3 VÝZTUFI

Výztufl je pevná a tvrdá nespojitá sloflka kompozit , která zaji– uje jejich pevnost a tuhost. Hlavní funkcí výztufle je p ená–ení tahového namáhání. Zvy–uje neho lavost matrice, n které vlákna m flou být i samozhá–ivé. Pr m r pouflívaných vláken je asi 5 - 15 μm . Výztufl tvo í 40 - 60 % objemu kompozitu.

Nejvíce pouflívanými vyztuflujícími vlákny pro kompozitní materiály jsou vlákna sklen ná (asi 80%).

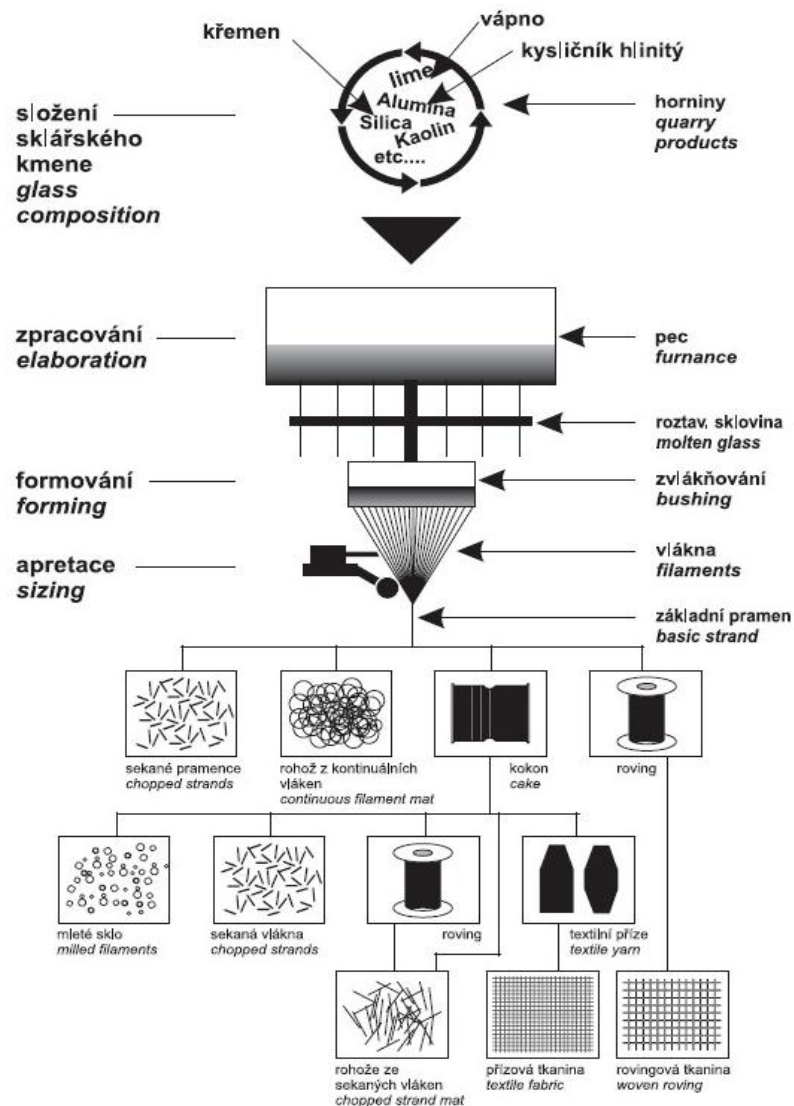
Vlákna mohou být sklen ná, uhlíková, borová, polymerní, keramická (SiC , Al_2O_3 , Si_3N_4), p írodní (rostlinná, edi ová a azbestová), proteinová (vlákna pavouk), piezoelektrická.[1]

3.1 Druhy vláken

3.1.1 Sklen ná vlákna

Vlákna se vyráb jí tavením tzv. sklá ského kmene. Sklá ský kmen je sm s k emenného písku (asi 70%), vápence, pota–e a collemanitu (obsahuje bór). Jeho chemické slofení závisí na typu skla, pro polymerní kompozity se nejvíce pouflívá typ E, tzv. bezalkalické sklo II. hydrolytické t ídy. Sklá ský kmen se taví a následn se z taveniny p ímo vytahují tzv. elementární vlákna. V závislosti na rychlosti odtahu je pr m r vláken 5 ó 25 μm . Na vlákna se pod pecí naná–í tzv. p ímá apretace, která se skládá z lubrika ní sloflky, která chrání vlákna p ed mechanickým po–kozením a usnad uje jejich dal–í textilní zpracování a ze sloflky apreta ní, obsahující vazebné prost edky, které zvy–ují adhezi mezi maticí a vlákny.

Vlákna se spojují do pramen . Ty jsou navíjeny na kokony, které jsou základní sloflkou pro následné zpracování. A to na p íze se zákrutem, které se pouflívají pro výrobu tenkých tkanin a speciálních hustých tkanin nap . pro elektroizolace. Nebo na pramence (roving), které se pouflívají p ímo (nap . technologie st íkání, taflení, navíjení), nebo pro výrobu pramencových tkanin i vícesm rných výztufí. ást pramenc se seká na délku 50 mm pro výrobu pramencových rohofí (plo–ný útvar s náhodn orientovanými vlákny). Dal–í ást pramenc se seká na vlákna délky 2-6 mm pro výrobu premix a vyztuflování termoplast .[4]



Obr. 8. Schéma výroby sklen ných vláken [4]

3.1.2 Uhlíková vlákna

Tyto vlákna mají nejv t-í rozsah mechanických vlastností p i jejich relativn malé hustot (1,8-2 g/cm³). P i styku uhlíku a mén u-lechtilých kov vzniká galvanický lánek, tím dochází k elektrochemické korozi a kov koroduje. Z tohoto d vodu musí byt kompozit s uhlíkovými vlákny a kov odd leny nevodivým materiálem (nap . kompozitem s vlákny sklen nými). Vyrobená uhlíková vlákna jsou podobn jako vlákna sklen ná dodate n upravena. Ú elem je: odstran ní látek z povrchu vláken, které brání dokonalému kontaktu s matricí, omezení adsorpce plyn na povrch vláken, zvý-ení reaktivity povrchu na matrice a vazebné prost edky, ochrana vláken p ed vzájemnou abrazí (jsou k eh í neř sklen ná).[1]

Zvláštnosti uhlíkových vláken:

Éanizotropie mechanických vlastností - vlákna mají ve směru kolmém k ose mnohem nižší modul pružnosti, odpovídá modulu pružnosti polykrystalického grafitu

Ékřivka - hodnoty prodloužení při přetržení jsou menší a hodnoty minimálního prodloužení jsou větší, než hodnoty u skleněných vláken

Émají záporný koeficient délkové teplotní roztažnosti, to způsobuje, že se vlákno při ohřevu zkracuje

Émalý elektrický odpor vláken v podélném směru (nejtužší vlákna mají jen $1,9 \cdot 10^{-6}$ Ω /m)
[1]

Hlavní rozdělení:

Ékarbonizovaná vlákna- mají stejné modul pružnosti a pevnost v tahu je dobrá. Jsou to standardní uhlíková vlákna (HS - High Strength, AS - Average Strength, HT nebo HTA - High Tenacity)

Évysokomodulová grafitizovaná vlákna (HM - High Modulus)

Évlákna vysoce pevná, se stejným modulem pružnosti (IM - Intermediate Modulus)

Évlákna s vysokým modulem pružnosti (VHM - Very High Modulus, UHM - Ultra High Modulus)

Édutá uhlíková vlákna

Édiskontinuální vlákna porušená tahem (SBCF, Stretch-Broken Carbon Fiber)

Émletá uhlíková vlákna

Érecyklovaná uhlíková vlákna [1]

3.1.3 Aramidová vlákna

Vlákna nejsou křivká. Vlákno se plasticky přetvoří, pokud na něj působí tlaková síla kolmo (výroba nepřetržitých vest, ochranných rukavic a oděvů). Mez kluzu v tlaku je nízká, podobná jako mez kluzu běžných polymerů. Při textilním zpracování neklesá pevnost vláken nechráněných na povrchu (odolnost proti abrazi). Krátká vlákna aromatických polyamidů (APA) se používají jako výztuž termoplastů při potřebě vysoké odolnosti proti opotřebení a zároveň zachování dobrých kluzných vlastností. Vlákna jsou chemicky odolná, ale působí na ně ultrafialové záření. [1]

3.1.3.1 Kevlar (para-aramid, PPTA)

Svou vyšší cenu kompenzuje malou hustotou ($\rho = 1440 \text{ kg/m}^3$), velkou odolností proti abrazi a schopností plasticky se deformovat při působení síly kolmo na osu vlákna. Je neho levý a odolný vysokým teplotám.

Vlákna Kevlaru® 49 a Kevlaru® 149 se používají v leteckém průmyslu. Kevlar® 49 má vysokou teplotu měknutí ($520 \text{ }^\circ\text{C}$), při teplotě okolo $600 \text{ }^\circ\text{C}$ dochází k uhlíkovatění vlákna. Krátká sekaná vlákna Kevlaru se používají namísto azbestu v brzdách. [1]

Tab. 4. Druhy PPTA od firmy DuPont [1]

Typ Kevlaru	Vlastnosti	Použití
Kevlar 29	Modul E menší než sklo	Nejvíce používané vlákno (ochranné oděvy, neprůstřelné vesty, lana, náhrada azbestu, kompozity)
Kevlar 49	Větší modul E než skleněné vlákno	Kompozity v leteckém průmyslu
Kevlar 68	Modul E o 10 až 15 % menší než Kevlar 49	Zpevnění optických kabelů
Kevlar 100	Barvený Kevlar	Barevná vlákna
Kevlar 119	O 20 % větší prodloužení než Kevlar 29	Zpevnění elastomerů (klínové řemeny)
Kevlar 129	O 15 až 20 % větší pevnost oproti Kevlaru 29 a o 30 až 35% větší modul než Kevlar 29	Protibalistické aplikace (neprůstřelné vesty)
Kevlar 149	Největší modul E (146GPa) ze všech druhů Kevlaru	Kompozity v leteckém průmyslu
Kevlar 159	Největší houževnatost ze všech Kevlarů	Pro vnitřky nákladních letadel
Kevlar KM2		Navržen pro protibalistické aplikace
Kevlar A-200		Navržen pro neprůstřelné vesty pro policii
Kevlar XLT		Vlákno pro neprůstřelné vesty
Kevlar XP		Nejnovější vlákno pro neprůstřelné vesty

3.1.3.2 Nomex (meta-aramid, MPIA)

Je levnější než Kevlar, ale nedosahuje jeho mechanických vlastností. Tak jako Kevlar je neho levý a odolný vysokým teplotám (nevytváří taveninu). Proto se používá hlavně na výrobu vozů a neho levých textilií. [1]

Tab. 5. Mechanické vlastnosti n kterých aramidových vláken v porovnání s Nylonem (PA 66) [1]

	Pevnost v tahu, MPa	modul E, GPa	prodloužení, %	hustota, g/cm ³
HM-50	3100	80	4,2	1,39
Kevlar 29	3600	80	4,0	1,44
Kevlar 49	3600	130	2,5	1,44
Kevlar 149	3400	146	2	1,47
Twaron 900	2800	65	4,3	1,44
Twaron 930	3000	125	2	1,45
Nomex	700	17,3	22,6	1,4
PA66	900	5	13,5	1,14

3.1.4 Přírodní vlákna

Vlákna jsou získávána z p stovaných rostlin. V t-inou se používají jako výztufl tvarovaných velkoplo-ných díl pro interiéry osobních automobil . [1]

Výhody pouflití rostlinných vláken v termoplastech:

- laciná výztufl a tím nífl-í cena výrobku
- úspora polymeru
- rychlej-í výrobní cyklus (vy-í tepelná vodivost)
- recyklovatelný odpad
- výztufl je biologicky odbouratelná
- p írodní vzhled povrchu výrobku
- vlákna nezp sobují opot ebení zpracovatelských stroj

Tab. 6. Vlastnosti PP kompozit s p írodními vlákny [1]

vlákno	w _f [%]	Pevnost v tahu [MPa]	Modul pružno-sti [GPa]	Pevnost v ohybu [MPa]	Izod-vrubov. těleso [J/m]	Izod-nevrubov. těleso [J/m]
juta	50	73	8.5	100	40	210
sisal	50	60	6.0	85	55	190
dřevo	50	39	5.5	68	23	90
čistý PP	0	32	1.7	41	24	620

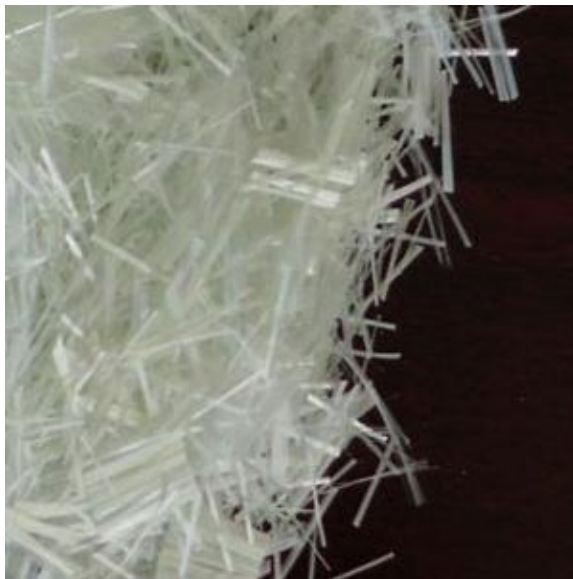
Tab. 7. Vlastnosti PE HD kompozit s přírodními vlákny [1]

vlákno	w_f [%]	Pevnost v tahu [MPa]	Modul [GPa]	Pevnost v ohybu [MPa]	Izod-vrubov. těleso [J/m]	Izod-nevrubov. těleso [J/m]
juta	50	26	3.0	33	110	250
sisal	50	21	2.1	24	151	226
dřevo	50	14	2.0	19	48	107
čistý PE	0	4.2	0.12	4.2	46	

3.2 Typy výztuží

3.2.1 Sekané prameny (angl. chopped fibers)

Prameny jsou nasekány na potřebné délky a používají se v lisovacích a vstřikovacích směsích. [1]



Obr. 9. Sekané prameny [10]

3.2.2 Mletá vlákna (angl. *õmilled fibers*)

Vlákna na mletí musí být k ehká. [1]



Obr. 10. Mletá vlákna [11]

3.2.3 Rovingy (angl. *õtowö*)

Jsou to sdrufené prameny, mají 18-60 konc (300-4800 tex *). Rovingy jsou vyráb ny jako tzv. p ímé nebo sekané (nulový nebo malý počet zákrut) pro výrobu profil taflením (pultruzí), pro navíjení a výrobu prepreg , nebo jako smy kované, které profil m zaji- ují p í nou pevnost. Jsou dodávány na cívkách s vnit ním nebo vn j-ím odtahem. [1,4]

*) íslo tex je jednotka charakterizující jemnost vlákna, je to váha 1 km vlákna v gramech.



Obr. 11. Roving [10]

3.2.4 Tkaniny (angl. *öfabricsö*)

Tkaniny jsou tkané vazbou plátnovou, keprovou nebo atlasovou v gramáffích od 280 do 1500 g/m²

- Jemné tkaniny v gramáffích i od 17 g/m² jsou obvykle z p íze
- Hybridní tkaniny jsou vyráb né pro speciální pouffití, kombinují se vlákna sklen á, aramidová a uhlíková
- Jednosm rné skelné, jednosm rné uhlíkové vyráb né pro pevnostn velmi namáhané díly
- Vícesm rné (multiaxiální) nejsou vyráb né tkaním, ale vlákna se ukládají v r zných sm rech a sou asn se ídce pro-ívají [4]



Obr. 12. Typy tkaní [4]

3.2.5 Rohofle (angl. *ömatö*)

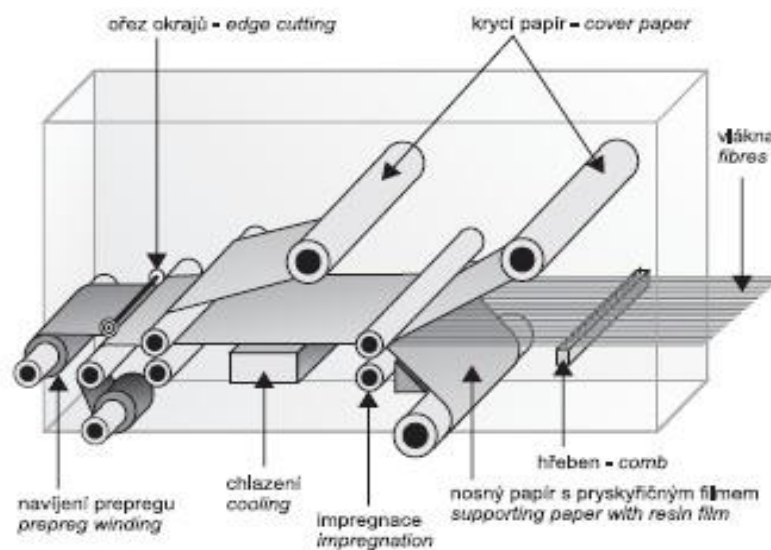
Jsou to netkané textilie, rouna o gramáffí 225 ó 900 g/m². Tvo í je nepravideln orientované vlákna nebo sekané pramence v délce 25 - 50 mm. V rohofli jsou vlákna spojena emulzí nebo prá-kovým pojivem. Rohofle spojené emulzí jsou m k í, lépe tvarovatelné, prá-kov pojené jsou tufl-í a pouffívají se na mén sloffité velkoplo-né díly. Pokud se k výrob rohoflí pouffijí kontinuální vlákna, tak není pot eba jejich vzájemnou polohu fixovat pojivem, protofle jsou vzájemn propletena. [1,4]



Obr. 13. Rohofl [10]

3.2.6 Prepregy (angl. *Prepregs*)

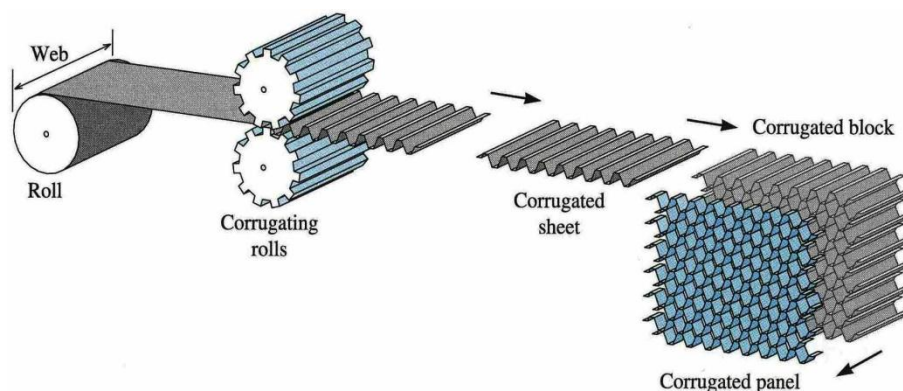
Skládají se z rovingu, rohofle nebo tkaniny a reaktoplastické (polovytvrzené) nebo termoplastické matrice. Nevýhodou prepreg s reaktoplastickou matricí je stárnutí za pokojové teploty a následnému vytvrzování prysky ice. Proto se tyto prepregy skladují v mrazících boxech ve vodotěsných obalech. U termoplastických prepreg je nutné matrici pro spojení vrstev natavit. Prepregy se používají na –pi kové polymerní kompozity. [1]



Obr. 14. Schéma za řízení pro kontinuální výrobu termoplastického prepregu [4]

4 VOŠTINY

Vošina (angl. *honeycomb*), je typ materiálu, poufňvaný jako jádro sendvičových kompozitních materiálů. Má různou výšku, velikost a tvar buněk. Vynalezl ji Norman de Buoyne ve Velké Británii a nechal si ji patentovat jako hliníkovou voštinu pro sendvičové kompozity v roce 1938 (průmyslově vyráběna od roku 1945). Název je odvozen z podobnosti se včelím tvarem v elího plásti. Aby nedošlo k zatečení pryskyřice do buněk voštiny a tím ke znehodnocení její funkce, tak se při výrobě sendvičových kompozitů vošina překryje lepicí fólií. Po zvýšení teploty se lepicí fólie roztaví a spojí voštinu s jejím plátem. Zásadní je způsob přilepení voštiny k pláti. Odlepení pláti od voštiny při zatížení způsobí destrukci části nebo celého sendvičového dílu.



Obr. 15. Výroba voštin [6]

4.1 Materiály k výrobě voštin

4.1.1 Aramidové voštiny

Aramid je syntetický materiál na základě aromatických polyamidů. Monovlákná mají průměr 10-13 μm . Název vznikl spojením slov aromatický a polyamid. Aramidy existují ve formě rovingu s různou jemností nebo tkanin o gramáži 36-500g/m². Jsou mnohem lehčí než sklená vlákna. Jejich pevnost v poměru k váze (specifická pevnost) je několikanásobně vyšší. Také mají dvojnásobný modul a velmi dobře absorbují energii. Jejich hlavní předností je pevnost a fláruvzdornost.

Na voštiny se používají vlákna aromatického polyamidu (aramidová rohoň) značky Nomex® a Kevlar® (firma Du Pont) ve fenolformaldehydové pryskyřici. Tím je zaručena jeho lehkost a malý vývin kouřové a výbušné složky při explozi v plamenu. Štěrka z voštiny má vzhled papíru, šířka má hodnotu od 3,2 do 5 mm, hustotu 32-96 kg/m³ a tlakovou pevnost 1-7 MPa.

Nomexová voština, která je starším typem, se vyrábí z krátkých, méně tuhých a pevných vláken meta-aramidu (MPIA), ale je levnější. Kevlarová voština obsahuje kontinuální para-aramidová vlákna PPTA (Kevlar®), a prodává se pod obchodním názvem Korex® nebo HexWeb®.

Na rozdíl od nomexových voštin, které mají vynikající tepelnou odolnost a jsou izolanty, mají kevlarové voštiny navíc větší odolnost proti tlakovému i smykovému namáhání. [1]

4.1.1.1 Použití

Jako součásti dopravních prostředků a stavebních materiálů, sportovních lodí a aut, rámců jízdních kol.

4.1.2 Hliníkové voštiny

Potřebný tvar voštiny se získává z hliníkového plechu ve formách pomocí tlaku nebo vakua. Jejich charakteristická vlastnost je vysoká tuhost a zároveň nízká hmotnost. Pro zachování tvaru a pevnosti se musí oboustranně oplákovat. Plátkovitý plech (u tvarovaných panelů) nebo kompozitní materiály, například skleněné nebo uhlíkové prepregy, laminátové desky. Hliníkové voštiny se vyrábějí s různými velikostmi šířky a tloušťkou stejně jako v různých tloušťkách. [4]

4.1.2.1 Použití

Používají se, například výrobě panelů a částí lodí, letadel, automobilů a kolejových vozidel, výtahů, dveří, podlah, nebo také jako bezpevnostní deformací zóny.

4.1.3 Uhlíkové vo-tiny

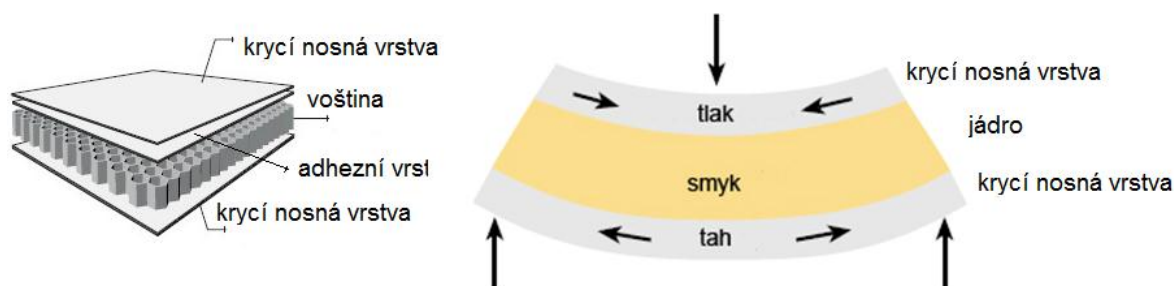
Uhlíková vlákna mají velký rozsah mechanických vlastností při malé hustotě. Uhlík vytváří galvanický článk ve styku s méně ušlechtilými kovy. Tím dochází k elektrochemické korozi, kdy koroduje kov. Kompozit s uhlíkovými vlákny musí být od kovu separován nevodivým materiálem (např. kompozit se sklenými vlákny). Mají vysokou pevnost a zároveň nízkou váhu. Jejich nevýhodou je vysoká cena. Uhlíkové vo-tiny nejsou tak rozšířené jako ostatní typy vo-tin. Uhlíkové vlákna se spíše používají jako plát sendvič, nebo v podobě nanotrubiček. [1]

4.1.3.1 Použití

V kosmických aplikacích, závodních automobilech nebo lodích, v letectví (oddělení posádky od prostoru, kde je riziko vzniku ohně)

5 SENDVI E

Sendvi ové struktury tzv. sendvi e jsou složeny z plá- (potah) tvo ících vn j-í vrstvu a jádra uvnit . Plá-t jsou tenké ale pevné, jádro tzv. distan ní vrstva, je -ír-í a mén pevné. Hlavní funkcí jádra je p enos smykového zatížení z jednoho plá-t na druhý. Sendvi e mají na rozdíl od b flných laminát mnohem vy-í pevnost, tuhost a izola ní vlastnosti a p ítom ni-í hmotnost a jsou také rázuvzdorné.



Obr. 16. Vo-ťinový sendvi a jeho zatížení [4]

5.1 Sendvi ová jádra

Nejvíce se jako jádra používají:

- Vo-ťiny z tenkého hliníkového plechu, Nomexu, Kevlaru, polypropylenu, nebo papíru, který je prosycen polyesterovou nebo fenolovou prysky ící
- Tuhé p ny na bázi polyuretanu, polystyrenu, PVC, PIR nebo polyeterimidu a polymetakrylilidu
- Balza [4]

5.2 Potahy

Jsou to lamináty s r znou maticí a výztuží (nap . sklen é nebo uhlíkové vlákna, kovové folie). Aby byla spln na funkce sendvi e, musí být jádro s potahy dokonale spojené. Ke spojení se používají speciální lepidla nebo matrice potah . Vzniklá konstrukce je velmi tuhá a je schopna odolat dynamickému namáhání a ráz m. [4]

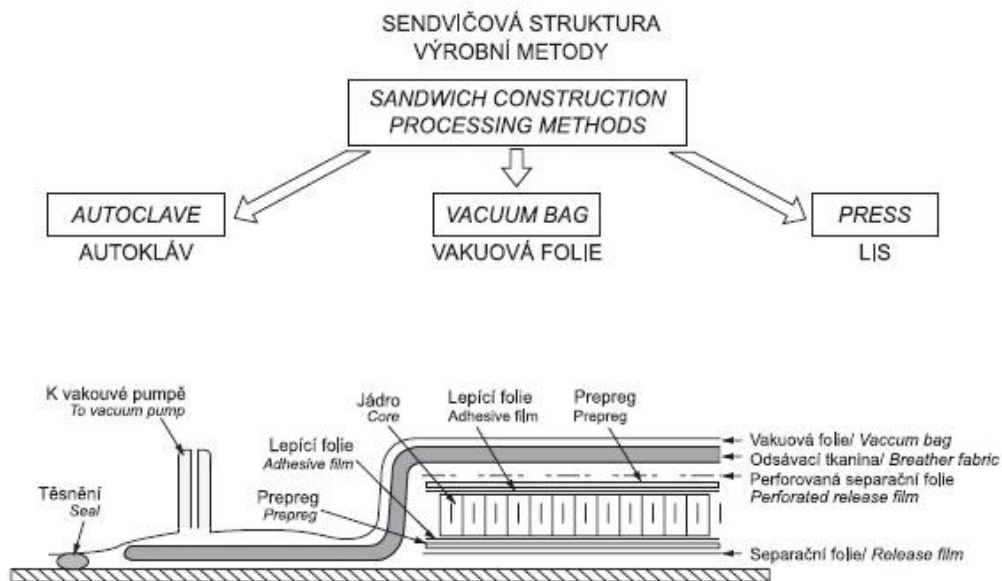
5.3 Semisendvi ové struktury

Tyto struktury mají jádro s netkanou nebo tkaninovou výztuží, která je odleh ená expandovanými termoplastickými dutými mikrokuli kami. Jádro musí být dokonale prosyceno stejnou prysky icí jako potahy, které jsou tvo eny rohoflovým nebo tkaninovým laminátem. [4]

5.4 Výroba

Na plá– kompozitu se nanese prysky ice, poté se položí a p itla í jádro sendvi e. Po ur ité dob (sekundy) se prysky ice rozpustí a následn je položen druhý plá– . K dosažení dokonalého spojení jednotlivých vrstev se vyuffívá lisování pod vakuovou folií, hydraulického lisu, nebo autoklávu.

Sériov vyráb né kompozity mají tlou– ku 1 - 100 mm a hmotnost i pod 40 g/m².



Obr. 17. Sendvi ová struktura ó výrobní metody [4]

5.5 Použití

Nejvíce se používají v dopravních prost edcích (automobily, autobusy, letadla, lod , kolejová doprava), dále pak na listy rotor v trných elektráren, ve stavebnictví. Mohou také sloužit jako zvuková nebo tepelná izolace.

II. PRAKTICKÁ ÁST

6 CÍLE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

1. Literární re-er-e v oblasti kompozitních materiál , jejich rozd lení, zpracovatelské inflenýrství polymerních kompozitních materiál .
2. Sendvi ové kompozitní materiály, výroba, druhy a vlastnosti.
3. Návrh a výroba sendvi ového kompozitního materiálu s hliníkovou vn j-í vrstvou, s Al-vo-tinou s r znou tlou- kou, vyrobené vakuovým lisováním s r znými druhy adhezní vrstvy.
4. Experimentální stanovování mechanických vlastností v ohybu dle normy SN ISO 178 p i r zných teplotách zat flování.
5. Testování pevnosti v odlupu, s d razem na maximální sílu p i poru-ení soudrřnosti jádra a vn j-í vrstvy.
6. Experimentální stanovování rázových vlastností na padostroji dle normy: DIN EN ISO 6603-2
7. Diskuse výsledk a záv r.

7 MATERIÁLOVÉ SLOŽENÍ SENDVIČOVÉHO PANELU

Sendvičový panel se skládá ze dvou vnějších vrstev (potah) a jádra. Potah je pevný, tuhý a zároveň tenký. Jádro je mnohem lehčí a má větší tloušťku. Vnější vrstvy a jádro jsou k sobě dokonale spojeny adhezivním materiálem - lepidlem. Lepidlo přenáší smykové napětí od vnějšího zatížení z potahu na jádro.

U testovaných konstrukcí byly zvoleny jako vnější vrstvy hliníkový plech, jako jádro hliníková vlnitina o dvou tloušťkách. Ke spojení byly použity tyto i druhy adhezivních materiálů.

7.1 Vnější vrstvy

Vnější vrstvy tvoří hliníkový plech EN AW 5754 o tloušťce 1 mm.

Vlastnosti Al plechu EN AW 5754:

Materiál středně pevný, odolný proti korozi a chemicky odolný, dobrá svařitelnost a obrobitelnost. Vhodný pro eloxování. Pevnost v tahu je 240-280 MPa. Používá se na středně namáhané konstrukce, například výroba vozidel a plavidel, vnější i vnitřní architektury. Výrobky jsou potrubí, nádoby na tekutiny, ochranné kryty, součásti strojů, automobilů, lodí a kontejnerů.

7.2 Jádro

Jádra u všech vyráběných sendvičů tvoří hliníková vlnitina s hexagonálním tvarem buněk a velikostí buňky 6 mm. Hustota tohoto materiálu je 93 kg/m³, pevnost v tlaku je 2,66 MPa. Použitá tloušťka vlnitiny byla 10 a 25 mm.



Obr. 18. Hliníková vlnitina

7.3 Adhezivní materiály

7.3.1 SA 70

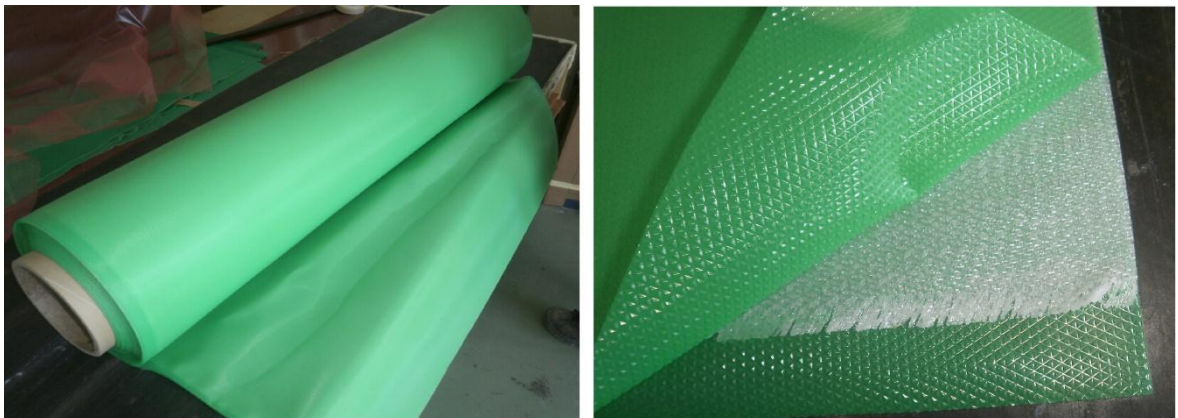
SA 70 od firmy Gurit je epoxidové filmové lepidlo vyztužené skelnými vlákny. Hmotnost filmu je 175 g/m^2 , hmotnost skelných vláken 25 g/m^2 , teplota skelného p echodu $95 \text{ }^\circ\text{C}$ a smyková pevnost 36 MPa .



Obr. 19. Filmové lepidlo Gurit

7.3.2 HexPly® M34

Epoxidový prepreg HexPly® M34 je speciáln vyvinutý pro nízké teploty vytvrzování i velkých sou ástí. Má výborné ohnivzdorné vlastnosti a je samozhá-ivý. Je ideální pro sendvi ové konstrukce. Má vynikající p ilnavost na p nová jádra a vo-tiny. Je vyztužený skelnými vlákny. Doba vytvrzování byla 40 minut p i $120 \text{ }^\circ\text{C}$. Smyková pevnost je 120 MPa , hustota 1260 kg/m^3 .



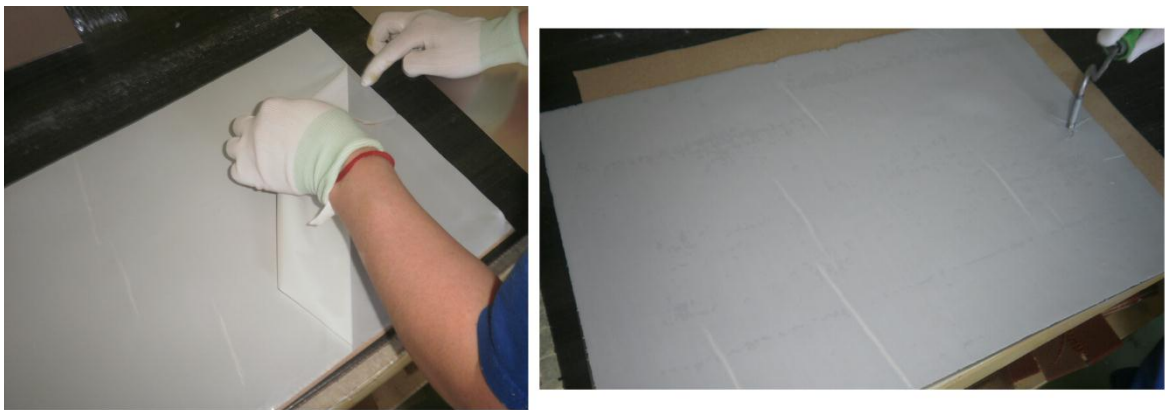
Obr. 20. Epoxidový prepreg

7.3.3 3M[®] Scotch-Weld[®] AF 3002

Je modifikované epoxidové foliové lepidlo bez výztuže. Při vytvrzování zvětší svůj objem. Je určeno pro vodotěsné sendviče. Hmotnost filmu je 200 g/m². Velikost odpařování těkavých látek při vytvrzování je menší než 1%. Smyková pevnost je 12 MPa.

7.3.4 Letoxit KFL 130

Je jednosložkové epoxidové foliové lepidlo. Folie má tloušťku 0,25 mm, z jedné strany je chráněná PE folií, z druhé je potažena silikonovým papírem. Lepidlo je určeno hlavně pro lepení hliníkových slitin. Nedochozí k odpařování těkavých složek při zpracování ani při vytvrzování. Doba vytvrzování byla 20 minut při 120 °C. Pevnost ve smyku je 29 - 33 MPa, pevnost v odlupu 4 - 7 N/mm.

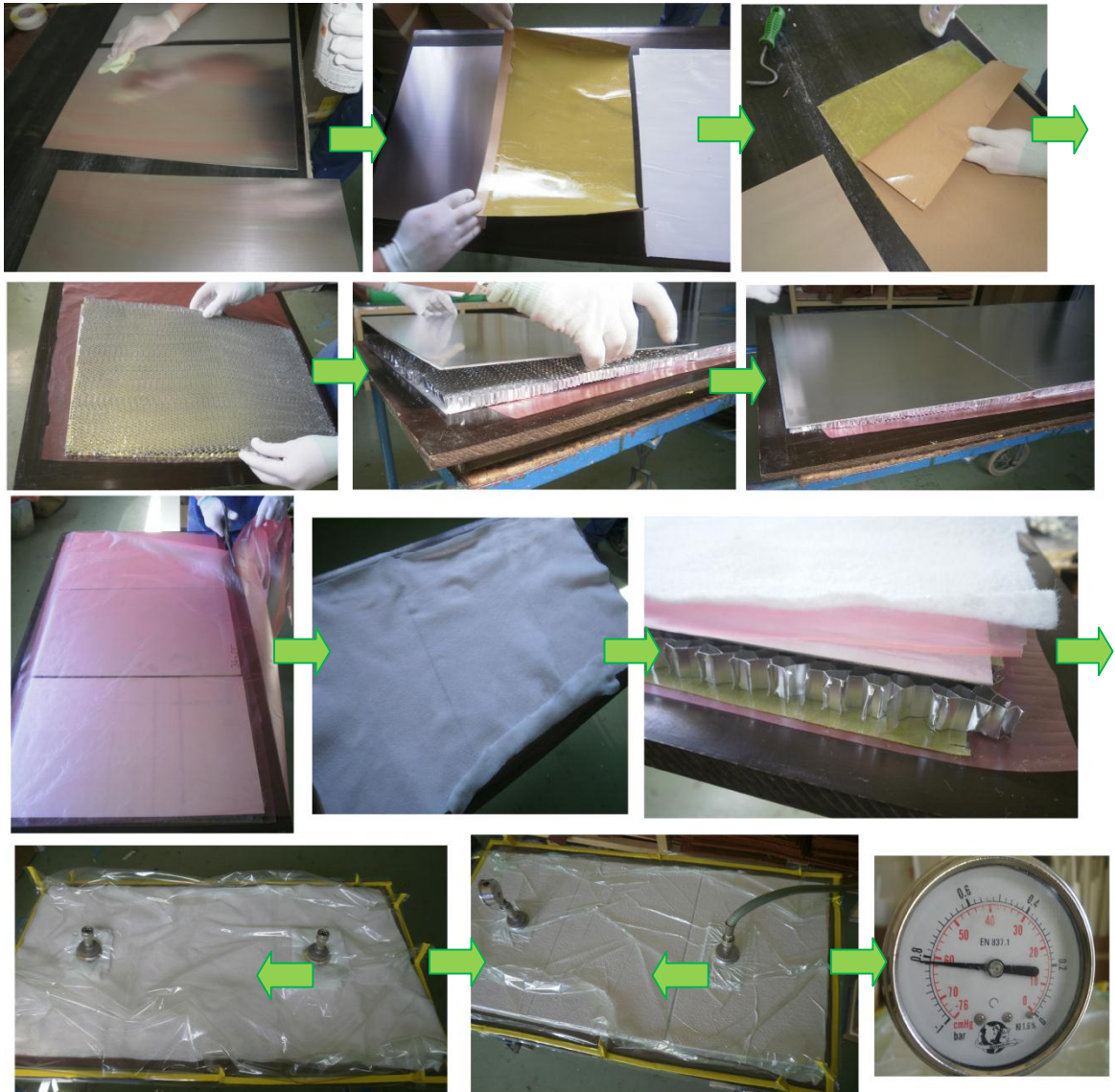


Obr. 21. Filmové lepidlo Letoxit

8 VZORKY

8.1 Výroba vzork

Vzorky byly vyrobeny ve firmě FORM s.r.o. ve výrobních prostorách v obci Stělná. Na pilařské byly nanášeny hliníkové desky o rozměru 340 x 550 x 1 mm. Nejprve se plocha, na kterou se nanášelo lepidlo, odmastila a zbavila dalších případných nečistot isopropanolem. Potom se na takto připravenou plochu položilo především nastříhané filmové lepidlo, ze kterého byla odstraněna ochranná fólie. Deska s lepidlem se položila na mobilní formovací stůl, který byl potažen ochrannou fólií, následně se položila hliníková vložka o rozměrech 340x550x10 mm. Na toto jádro se umístila druhá vložka hliníková deska s naneseným foliovým lepidlem. Postup u dalších vzorků byl totožný, pouze se změnil typ foliového lepidla na jiný, nebo prepreg, který byl nanášen na potrubný rozměr z velké role dovezené z mrazáku. Aby se zabránilo poškození pohledové strany sendviče, byly desky pokryty ochrannou fólií a odvětrávací tkaninou. Takto připravené vzorky byly zakryty vakuovací fólií, která byla dokonale přilepena k formovacímu stolu pomocí oboustranné lepicí pásky. Poté se připevnila odsávací ventily. Na jeden byl připojen tlakoměr (manometr). Druhý ventil byl pomocí hadice připojen k podtlakovému ústrojí. Tím se vytvořil podtlak o požadované hodnotě 0,08 MPa. Za stálého podtlaku byly vzorky umístěny do vytvrzovací pece, kde došlo k vytvrzení spoje při daných hodnotách.



Obr. 22. Postup výroby vzork

8.2 ezání vzork

Z d vodu mofného po–kození hliníkové vo–tiny p i ezání klasickou kotou ovou pilou, bylo hledáno jiné mofné e–ení k na ezání vzork . Jako první bylo navrženo na ezání sendvi e pomocí laserového ezání. Po konzultaci s odborníky bylo od tohoto návrhu upu–t no. Byla zde totiž mofnost spálení lepidla p i ezání a tím znehodnocení spoje. Dal–ím uvařovaným e–ením bylo na ezání vzork pomocí vodního paprsku. Nakonec bylo toto e–ení zvoleno z d vodu nejmen–í pravd podobnosti mofného po–kození, ze v–ech uvařovaných variant. ezání vzork , na rozm ry dle norem test , prob hlo ve firm MRB Sazovice, spol. s.r.o. na vodním paprsku s abrazivem.

8.2.1 Technologie ezání vodním paprskem

Základním principem ezání vodním paprskem je voda, která proudí pod extrémně vysokým tlakem z erpadla do ezací hlavy přes vysokotlaké potrubí. V trysce ezací hlavy se změní na vodní paprsek s rychlostí až tisíckrát vyšší než rychlost zvuku. Tlak vody se pohybuje okolo 400-500 MPa. Všechny komponenty musí být z odolných a ovládaných materiálů, které zajistí bezporuchový provoz. Rozlišují se dva typy technologie. Prvním typem je ezání čistou vodou, které se nejvíce používá u měkčích materiálů (např. PP, PE, díly interiéru automobilu, plastové a tepelně izolační materiály). Druhým typem je ezání abrazivním vodním paprskem. U tohoto typu je vodní paprsek urychlován abrazivními částicemi (většinou granát), které rozrušují materiál. U abrazivního vodního paprsku je brusná síla mnohokrát vyšší, než u čistého vodního paprsku. Toho se využívá při ezání tvrdých materiálů (např. kovy, kompozity, keramika, kámen). Mezi výhody patří přesná geometrie ezaných dílů, tenká ezaná spára a tím malé ztráty materiálu při ezání, pro všechny materiály stačí jeden nástroj, fládňový nebo malý otěp. Taky nevznikají mechanická pnutí ani tepelné ovlivnění okolí ezce. [13]



Obr. 23. ezání abrazivním vodním paprskem

9 TESTOVÁNÍ

Hlavní náplní této práce bylo testování mechanicko-fyzikálních vlastností hliníkových sendvičových panelů s odlišným adhezivním materiálem dle zvolených norem.

Tab. 8. Složení zkoušebních vzorků

	tloušťka Al vložky [mm]	adhezivní vrstva	vnější vrstva
vzorek 1	10	SA 70	Al plech
vzorek 2	10	HexPly® M34	Al plech
vzorek 3	10	KFL 130	Al plech
vzorek 4	10	AF 3002	Al plech
vzorek 5	25	SA 70	Al plech
vzorek 6	25	KFL 130	Al plech

9.1 Teplotový ohyb

První zkouškou byl teplotový ohyb při teplotách. Zkouška probíhala na přístroji Zwick 1456 dle normy SN EN ISO 14125. U vzorků byla měřena velikost meze pevnosti v ohybu a modulu pružnosti v ohybu. Vzorek sendviče o rozměrech 150x20 mm byl umístěn na podpěrách, které od sebe byly vzdáleny 110 mm. Uprostřed na vzorek působil trn, který vyvolal průhyb vzorku. Testováno bylo pět druhů vzorků, v sérii 5 kusů pro každou teplotu.



Obr. 24. Zařízení Zwick 1456

Tab. 9. Mez pevnosti v ohybu p i teplot -30°C

-30 °C	vzorek 1	vzorek 2	vzorek 3	vzorek 4	vzorek 6
	M	M	M	M	M
	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa
Ar. pr m r	6,62	36,49	16,61	39,10	3,80
Sm.odch	0,80	3,94	12,92	4,33	1,71
Maximum	7,89	41,39	32,68	44,48	5,92
Minimum	5,35	31,59	0,54	33,72	1,67

Tab. 10. Mez pevnosti v ohybu p i teplot 20°C

20 °C	vzorek 1	vzorek 2	vzorek 3	vzorek 4	vzorek 5	vzorek 6
	M	M	M	M	M	M
	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa
Ar. pr m r	6,08	32,55	8,06	38,36	1,71	4,54
Sm.odch	0,62	7,57	4,29	4,97	-	1,14
Maximum	6,86	41,96	13,40	44,54	-	5,95
Minimum	5,31	23,14	2,72	32,19	-	3,13

Tab. 11. Mez pevnosti v ohybu p i teplot 60°C

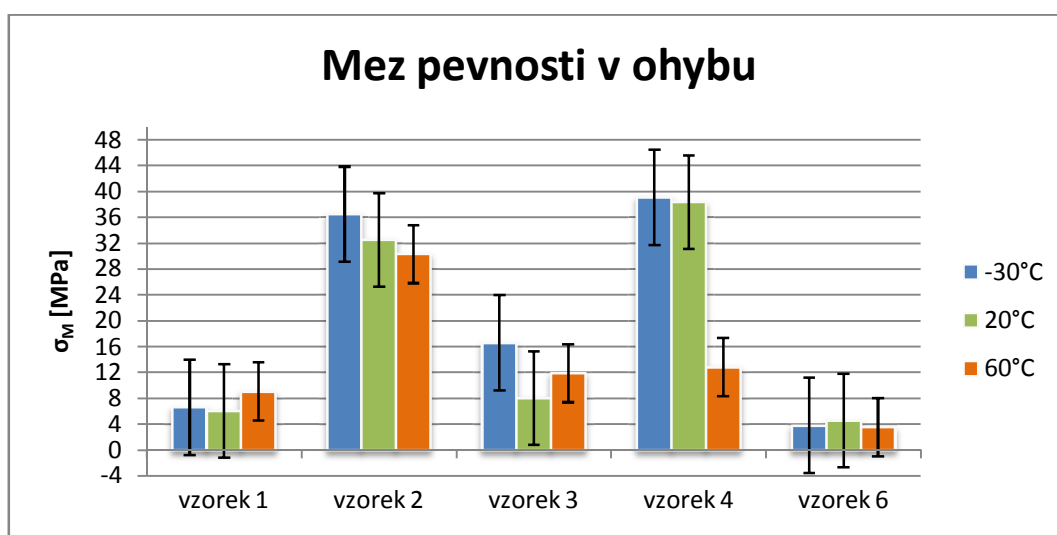
60 °C	vzorek 1	vzorek 2	vzorek 3	vzorek 4	vzorek 6
	M	M	M	M	M
	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa
Ar. pr m r	9,06	30,33	11,90	12,83	3,56
Sm.odch	3,03	7,51	3,48	5,10	2,19
Maximum	12,82	39,67	16,23	19,17	6,28
Minimum	5,29	20,99	7,58	6,49	0,84



Obr. 25. T íbodový ohyb



Obr. 26. T íbodový ohyb - vzorek 2



Graf 1. Mez pevnosti v ohybu

Tab. 12. Modul pružnosti v ohybu p i teplot -30°C

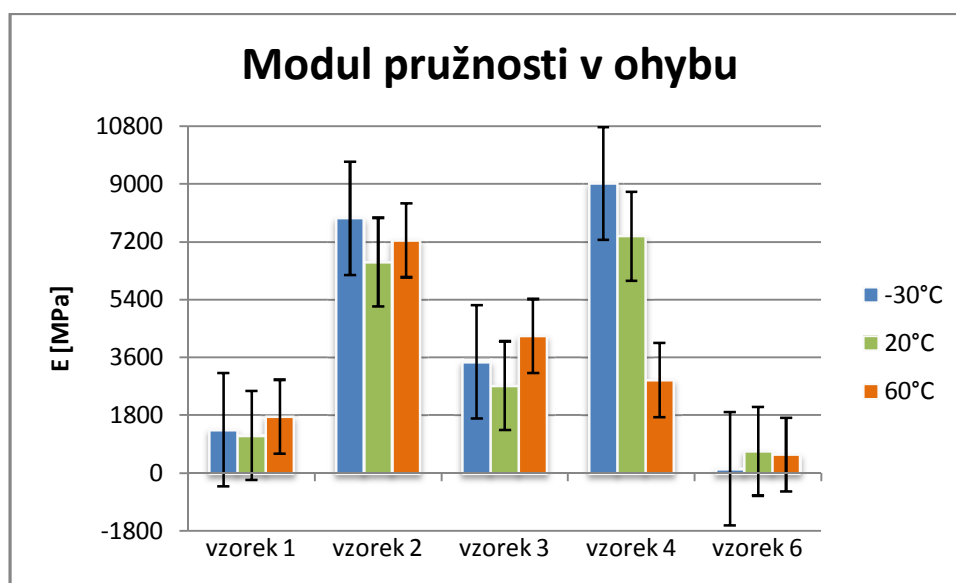
-30 °C	vzorek 1	vzorek 2	vzorek 3	vzorek 4	vzorek 6
	E	E	E	E	E
	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa
Ar. pr m r	1352,88	7935,20	3466,53	9019,37	143,39
Sm.odch	762,24	1174,33	2430,18	998,89	39,33
Maximum	2564,84	9395,19	6487,85	10261,25	192,29
Minimum	140,93	6475,21	445,20	7777,50	94,50

Tab. 13. Modul pružnosti v ohybu p i teplot 20°C

20 °C	vzorek 1	vzorek 2	vzorek 3	vzorek 4	vzorek 5	vzorek 6
	E	E	E	E	E	E
	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa
Ar. pr m r	1180,67	6571,35	2724,75	7377,97	95,35	686,67
Sm.odch	913,12	1499,56	1697,23	450,98	-	289,54
Maximum	2315,91	8435,68	4834,84	7938,66	-	1046,64
Minimum	45,43	4707,02	614,66	6817,29	-	326,70

Tab. 14. Modul pružnosti v ohybu p i teplot 60°C

60 °C	vzorek 1	vzorek 2	vzorek 3	vzorek 4	vzorek 6
	E	E	E	E	E
	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa
Ar. pr m r	1763,79	7248,28	4271,72	2903,14	585,16
Sm.odch	1103,54	1690,61	575,82	1390,34	518,82
Maximum	3135,76	9350,14	4987,61	4631,68	1230,18
Minimum	391,81	5146,41	3555,82	1174,60	-59,87



Graf 2. Modul pružnosti v ohybu

9.2 Zkouška odlupem

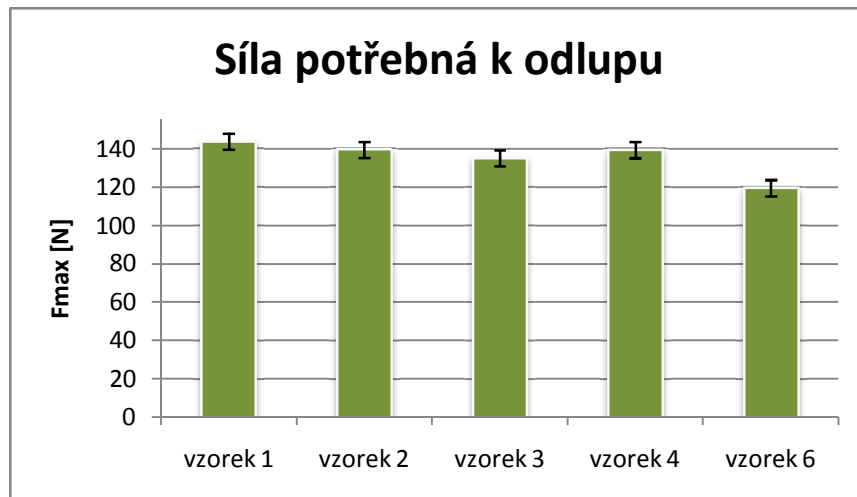
Je to zkouška na zjištění pevnosti lepeného spoje. Na jednu vnější vrstvu vzorku o rozměrech 150x50 mm působil trn. Byla měřena maximální síla, při které došlo k oddělení vnější vrstvy od jádra. Zkouška byla prováděna pomocí přístroje Zwick 1456, tentokrát dle normy ISO 4578, která byla modifikována pro testování sendvičových konstrukcí. Testováno bylo osm vzorků od každého typu sendviče.



Obr. 27. Zkouška odlupem - před zátěží, po zátěží

Tab. 15. Síla potřebná k oddělení vnější vrstvy od jádra

20 °C	vzorek 1	vzorek 2	vzorek 3	vzorek 4	vzorek 6
	F_{max}	F_{max}	F_{max}	F_{max}	F_{max}
	N	N	N	N	N
Ar. průměr	143,87	139,62	135,13	139,37	119,62
Sm.odch	50,84	24,20	55,47	39,84	23,22
Maximum	186,29	159,81	181,42	172,61	138,99
Minimum	101,45	119,43	88,85	106,14	100,24



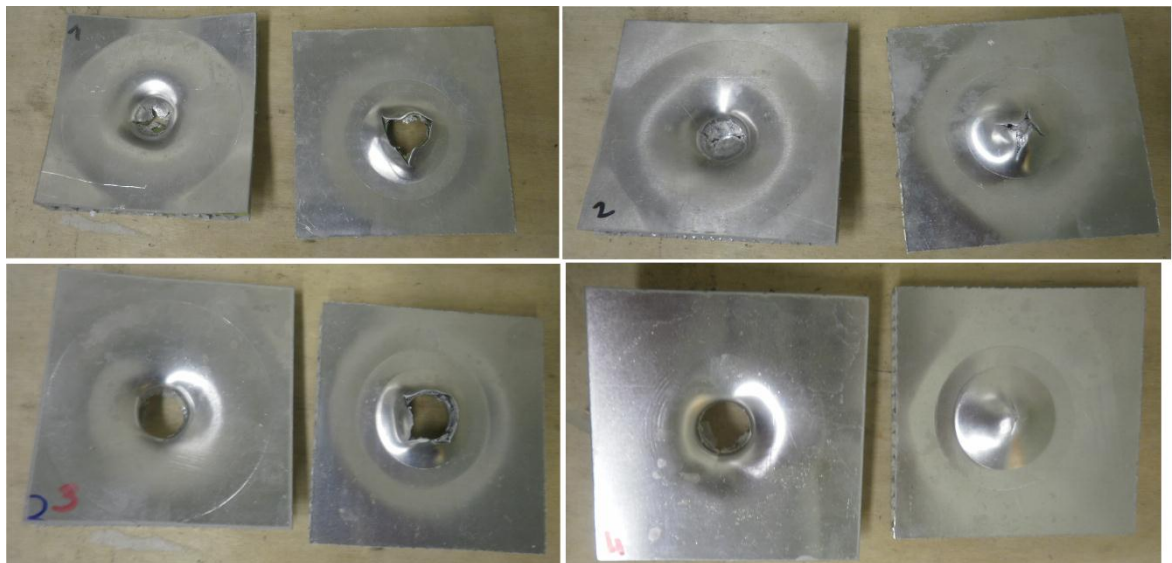
Graf 3. Síla potřebná k oddělení vnější vrstvy od jádra

9.3 Rázová zkouška

Posledním typem zkoušky, které byly sendvičové panely vystaveny, byla rázová zkouška padajícím závažím. Na vzorek o rozměrech 100x100 mm dopadalo těleso a měřila se síla, která je potřebná k proražení vzorku sendviče. Vzorky byly testovány na padostroji Zwick Roell HIT230F dle normy DIN EN ISO 6603-2. Celková hmotnost vnikajícího tělesa byla 23,17 kg. Testovány měly být i vzorky z každého druhu sendviče, ale vzorky s 25 mm výtloučnou měly pro tento padostroj velkou tloučku a stroj u nich rázovou zkoušku neprovedl.



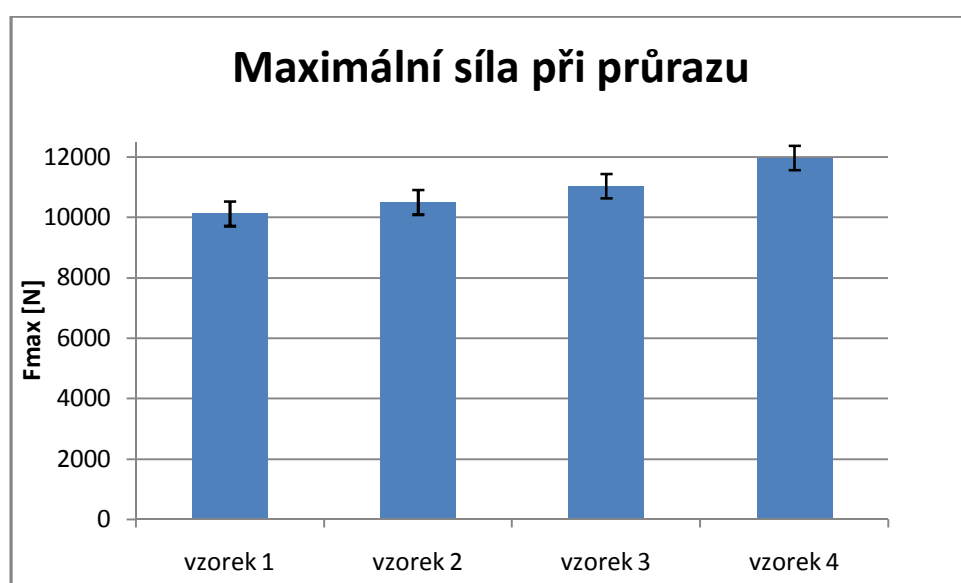
Obr. 28. Zwick Roell HIT230F



Obr. 29. Rázová zkouška u vzorku 1, 2, 3, 4

Tab. 16. Maximální síla při průrazu

20 °C	vzorek 1	vzorek 2	vzorek 3	vzorek 4
	F_{max}	F_{max}	F_{max}	F_{max}
	N	N	N	N
Ar. průměr	10119,68	10501,29	11040,75	11980,4
Sm.odch	2106,68	373,36	176,92	456,28
Medián	10685,93	10641,22	11069,58	11929,41



Graf 4. Maximální síla při průrazu

10 DISKUZE VÝSLEDK

Při všech zkouškách mělo být testováno šest vzorků, které se lišily kombinací tloučkových jader a adhezní vrstvy. U vzorků 1-4 mělo jádro tloučku 10 mm a tyto sendviče se lišily použitým lepidlem (1 - SA 70, 2 - HexPly® M34, 3 - KFL 130, 4 - AF 3002). U vzorků 5 a 6 byla tloučka jader 25 mm a lepidla byla použita stejná jako u vzorků 1 a 3. Dvodívkou aplikace dvou tlouček jader, byla otázka, zda se při použití jiných tloučkových jader nějak výrazně změní mechanické vlastnosti sendvičové konstrukce.

Zkouška třídívkovým ohybem byla prováděna při různých teplotách, ke zjištění změny mechanických vlastností mezi jádrem a vnější vrstvou v závislosti na teplotě. Zkouška u většiny vzorků probíhala do chvíle, kdy došlo k separaci vnější vrstvy působením zatívkující síly. U vzorku 1 s použitým lepidlem SA 70 došlo u jednoho z testovaných vzorků k odlepení vnější vrstvy ještě před zatívkem měření a tento vzorek byl vyloučen ze souboru vzorků pro měření. Toto lepidlo mělo při všech teplotách srovnatelnou pevnost v ohybu. V podstatě hned po začátku zatívkění se vnější vrstva odseparovala od lepidla, které drželo na jádru. U vzorku 2 byl použit epoxidový prepreg HexPly® M34, u kterého různé teplota nezpůsobila žádné velké rozdíly v chování sendviče. V průběhu zatívkování se vzorek nejprve minimálně prohnul pod zatívkěním, následně se začalo deformovat jádro s horní vnější vrstvou a zároveň se postupně oddělovala vnější vrstva směrem od kraje do středu vzorku. U vzorku 3 s lepicím filmem KFL 130 docházelo k rychlému oddělování vnější vrstvy od jádra. Vzorek 4 s lepicím filmem AF 3002 vykazoval podobné chování jako vzorek 2. Vzorek 5 s filmem SA 70 se úplně rozpadl. U tohoto typu byl použitelný jeden vzorek, u zbytku došlo k separaci vnějších vrstev od jádra. U vzorku 6 s lepicím filmem KFL 130 byla použita tloučka 25 mm. Vzorky vykazovaly téměř okamžitou separaci vnější vrstvy.

Tabulky 9-14 (str.47- 49) zobrazují naměřené hodnoty pro všechny typy vzorků. Z Grafu 1 vyplývá, že nejvyšší pevnost v ohybu má vzorek 4, který vykazuje lepší hodnoty pevnosti, než vzorek 2 o 15 %. U obou těchto vzorků je viditelný negativní vliv vysoké teploty na pevnost.

Při srovnání modul pružnosti (Graf 2.) dosahuje nejlepších výsledků za pokojové teploty vzorek 4 s lepicím filmem 3M AF 3002. Jako nejméně závislý na vlnové teplotě, se jeví vzorek 2 s epoxidovým prepregem HexPly® M34, který za vlnové teploty vykazoval vysoký modul pružnosti. Vzorek 6 s lepicím filmem KFL 130 a 25 mm jádrem dosahoval jen 10,5 % hodnoty modulu pružnosti vzorku 2.

Při měření síly, potřebné k odlupu vlnové vrstvy, vykazovaly vlnové materiály s 10 mm tloušťkou jádra téměř stejný průběh odlupu vlnové vrstvy od lepidla. To potvrzuje i srovnání potřebné síly u jednotlivých vzorků (Graf 3.). Výsledky testů shrnuje Tab.15.

Při zjišťování velikosti maximální síly, potřebné k proražení hliníkových sendvičových panelů, pomocí rázové zkoušky padajícím závažím, vykazovaly vlnové testované sendviče vysokou odolnost. Maximální síla potřebná při proražení se pohybovala v rozmezí 10-12 kN. Při testování došlo k proražení vlnové zkušební vzorky. Tato vysoká odolnost proti proražení je způsobena použitím hliníkové vlnové vrstvy a hliníkové vlnové vlny. Nejlepší výsledky v této zkoušce dosáhl vzorek 4 (Graf 4.), z důvodu použitého lepicího filmu 3M AF 3002, který při vytvrzování zvětšil svůj objem a vyplnil buňky vlny.

Tab.8. Složení zkušebních vzorků

	tloušťka Al vlny [mm]	adhezivní vrstva	vlnová vrstva
vzorek 1	10	SA 70	Al plech
vzorek 2	10	HexPly® M34	Al plech
vzorek 3	10	KFL 130	Al plech
vzorek 4	10	AF 3002	Al plech
vzorek 5	25	SA 70	Al plech
vzorek 6	25	KFL 130	Al plech

ZÁV R

Teoretická část bakalářské práce byla zaměřena na pohled kompozitních materiálů, jejich rozdělení, zpracovatelské inflenýrství a definici pojmu kompozitní materiál. V další části bylo charakterizováno složení kompozitních materiálů. Byly popsány základní a nejvíce používané typy matric a typy výztuží, u kterých byly rozebrány používaná vlákna. Dále byly popsány sendvičové kompozitní materiály, jejich vlastnosti a způsob výroby.

V praktické části bakalářské práce byl zpracován návrh složení a následná výroba sendvičového kompozitního materiálu. Jako vnější vrstva byl zvolen hliníkový plech, který je chemicky odolný. Jako jádro byla použita hliníková vnitřní s r znou tloučkou. V sendvičové konstrukci byly použity různé druhy adhezní vrstvy, které byly následně podrobeny testování mechanických vlastností tloučkovým ohybem, zkouškou pevnosti v odlupu a rázovou zkouškou padajícím závaším dle norem. Účelem této práce bylo navrhnout a otestovat sendvičové konstrukce pro různé aplikace v dopravním průmyslu. Z výše uvedených sendvičových konstrukcí se vyrábí například výsuvné nástupní plochy pro tělesa postavená v autobusech, obkladové panely interiérů a dveře kolejových vozidel, nebo podlahy na kterých dopravních prostředcích. Z výsledků testování vyplývá, že nejlepší adhezní vrstvou je modifikované epoxidové foliové lepidlo bez výztuže AF 3002 od firmy 3M, které při vytvrzování zvětší svůj objem a vyplní bučky vnitřní. Porovnatelných výsledků dosáhl epoxidový prepreg HexPly® M34 od firmy Hexcel, který vykazuje nízkou odolnost proti prázce. Jako nevhodnou kombinací se ukázalo použití 20 mm vnitřní s lepícím filmem KFL 130 od firmy 5M, která má velmi nízké hodnoty mechanických vlastností. Taky použití lepícího filmu SA 70 od firmy Gurit se ukázalo jako nevhodné. Sendvičová konstrukce s 25 mm tloučkou vnitřní, u které byl tento film aplikován, nemohla být testována, protože se vnější vrstva sendviče samovolně separovala od adhezní vrstvy. Důvodem mohlo být špatné odmaštění povrchu vnější vrstvy před nanesením lepidla, nedostatečné vytlačení vzduchových bublin, které vznikly mezi adhezní a vnější vrstvou při výrobě. Dalším důvodem mohl být nevhodný způsob zpracování vzorků, kdy se voda mohla dostat mezi slepené vrstvy, nebo vodní paprsek mohl vibracemi rozrušit soudržnost materiálu.

Z výsledků zkoušek vyplývá, že nejlepší mechanické vlastnosti má vzorek 2 a vzorek 4. U obou vzorků byla použita totéž vnější vrstva i materiál jádra. Cenu tedy nejvíce ovlivuje cena adhezivní vrstvy (Tab.17.). U vzorku 2 byl použitý epoxidový prepreg HexPly® M34 s cenou 314 Kč /m², u vzorku 4 bylo použito modifikované epoxidové foliové lepidlo AF 3002 s cenou 5655 Kč /m². Jako ekonomičtější volba se proto jeví použití stejných materiálů jako u vzorku 2, kde je cena adhezivní vrstvy 18krát nižší než u vzorku 4. Navíc má epoxidový prepreg HexPly® M34 výborné ohnivzdorné vlastnosti.

Tab. 17. Ceny použitého materiálu

materiál	cena v Kč za m ²
hliníkový plech	600
hliníková vlnitina tl.10 mm	774
hliníková vlnitina tl.25 mm	1378
SA 70	337
HexPly® M34	314
KFL 130	190
AF 3002	5655

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] KO ÍNEK, Zden k. <http://www.volny.cz/zkorinek/> [online]. [cit. 2011-12-07]. Dostupné z: <http://www.volny.cz/zkorinek/>
- [2] JAN Á , Josef. *Úvod do materiálového inženýrství polymerních kompozit* . 1. vyd. Brno: VUT, 2003, 194 s. ISBN 80-214-2443-5.
- [3] PTÁ EK, L. A KOLEKTIV. *Nauka o materiálu*. 2. opr. a roz-. vyd. Brno: CERM, 2002, 392 s. ISBN 80-7204-248-3.
- [4] HAVEL COMPOSITES. *Technologie* [online]. [cit. 2012-12-07]. Dostupné z: <http://www.havel-composites.com/clanky/4-Technologie.html>
- [5] BARE™, Richard. *Kompozitní materiály*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1988, 325 s. ISBN 04-734-88.
- [6] HEXCEL COMPOSITES, Duxford. *HexWeb™ HONEYCOMB SANDWICH DESIGN TECHNOLOGY* [online]. 2000 [cit. 2012-12-07]. Dostupné z: http://www.hexcel.com/Resources/DataSheets/Brochure-Data-Sheets/Honeycomb_Sandwich_Design_Technology.pdf
- [7] DIAB AB / IN. *DIAB Sandwich Handbook* [online]. [cit. 2012-03-02]. Dostupné z: http://www.diabgroup.com/europe/literature/e_pdf_files/man_pdf/sandwich_hb.pdf
- [8] ELLRI s.r.o. [online]. 2002 [cit. 2012-05-16]. Dostupné z: http://www.ellri.cz/e_fram1.htm
- [9] JEC SAS [online]. 2012 [cit. 2012-05-17]. Dostupné z: <http://www.jecomposites.com/news/composites-news/lft-concentrated-pellets-performance-lower-cost>
- [10] Composite International Co. [online]. 2012 [cit. 2012-05-17]. Dostupné z: <http://www.surefrp.com/html-en/products.html>
- [11] AQUAMID s.r.o. [online]. 2012 [cit. 2012-05-17]. Dostupné z: <http://www.rcmarket.cz/zbozi/chemicke-pripravky/plniva/skelna-vlakna-mleta-02mm-200g.html>
- [12] Flow International Corporation [online]. 2009 [cit. 2012-05-21]. Dostupné z: <http://www.flowcorp.cz/technologie-rezani-vodnim-paprskem-26/>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

MMT	Montmorillonit
l	délka částice
t	tloušťka částice
UP	polyesterová pryskyřice
VE	vinylesterová pryskyřice
EP	epoxidová pryskyřice
PP	Polypropylen
PA	Polyamid
T_g	teplota skelného přechodu
T_m	teplota tání
PE HD	vysokohustotní polyethylen
σ_M	mez pevnosti v ohybu [MPa]
E	modul pružnosti v ohybu [MPa]
Al	Hliník
Si	Kemík
Mg	Hořčík
PPTA	p-fenylen-tereftalamid
MPIA	metafenylen-izoftalamid
w_f	hmotnostní podíl složky [%]
APA	aromatický polyamid

SEZNAM OBRÁZK

Obr. 1. Polární diagram pevnosti v tahu [4]	12
Obr. 2. Rozdíl mezi mikrokompozitem a nanokompozitem s výztuží na bázi desti kovitých částic jílu o montmorillonitu (MMT) [1]	14
Obr. 3. Rozdělení mikrokompozit podle geometrie a orientace výztuže [1].....	15
Obr. 4. Srovnání mechanických vlastností pryskytic (napětí v tahu a tuhost) [8].....	17
Obr. 5. Dělení termoplast [1]	19
Obr. 6. Výroba kompozitu z prepregu Twintex® [9].....	20
Obr. 7. Pevnost v tahu při maximální servisní teplotě různých materiál [1].....	23
Obr. 8. Schéma výroby skleněných vláken [4]	25
Obr. 9. Sekané prameny [10]	29
Obr. 10. Mletá vlákna [11]	30
Obr. 11. Roving [10]	30
Obr. 12. Typy tkaní [4].....	31
Obr. 13. Rohofl [10].....	32
Obr. 14. Schéma zařízení pro kontinuální výrobu termoplastického prepregu [4].....	32
Obr. 15. Výroba voštin [6].....	33
Obr. 16. Voštinový sendvič a jeho zatížení [4].....	36
Obr. 17. Sendvičová struktura a výrobní metody [4].....	37
Obr. 18. Hliníková voština.....	40
Obr. 19. Filmové lepidlo Gurit	41
Obr. 20. Epoxidový prepreg	41
Obr. 21. Filmové lepidlo Letoxit	42
Obr. 22. Postup výroby vzorku	44
Obr. 23. Řezání abrazivním vodním paprskem	45
Obr. 24. Zařízení Zwick 1456.....	46
Obr. 25. Tříbodový ohyb	47
Obr. 26. Tříbodový ohyb - vzorek 2.....	48
Obr. 27. Zkouška odlupem - při zatížení, po zatížení	50
Obr. 28. Zwick Roell HIT230F.....	51
Obr. 29. Rázová zkouška u vzorku 1, 2, 3, 4.....	52

SEZNAM TABULEK

Tab. 1. Porovnání pryskyic [8]	17
Tab. 2. P ehled reaktoplast jako matrice vláknových kompozit [3].....	18
Tab. 3. P ehled termoplast pro matrice vláknových kompozit , T_g je teplota skelného p echodu, T_m je teplota tání [3]	21
Tab. 4. Druhy PPTA od firmy DuPont [1]	27
Tab. 5. Mechanické vlastnosti n kterých aramidových vláken v porovnání s Nylonem (PA 66) [1]	28
Tab. 6. Vlastnosti PP kompozit s p írodními vlákny [1]	28
Tab. 7. Vlastnosti PE HD kompozit s p írodními vlákny [1]	29
Tab. 8. Složení zku-ebních vzork	46
Tab. 9. Mez pevnosti v ohybu p i teplot -30°C	47
Tab. 10. Mez pevnosti v ohybu p i teplot 20°C	47
Tab. 11. Mez pevnosti v ohybu p i teplot 60°C	47
Tab. 12. Modul pružnosti v ohybu p i teplot -30°C	48
Tab. 13. Modul pružnosti v ohybu p i teplot 20°C	49
Tab. 14. Modul pružnosti v ohybu p i teplot 60°C	49
Tab. 15. Síla pot ebná k odd lení vn j-í vrstvy od jádra	50
Tab. 16. Maximální síla p i pr razu.....	52
Tab. 17. Ceny poufitého materiálu	56

SEZNAM GRAF

Graf 1. Mez pevnosti v ohybu.....	48
Graf 2. Modul pružnosti v ohybu.....	49
Graf 3. Síla potřebná k oddělení vnější vrstvy od jádra	51
Graf 4. Maximální síla působící při prasknutí.....	52

SEZNAM P ÍLOH

P ÍLOHA P I: Pr b h ohybové deformace u vzorku 2 a 4

P ÍLOHA P II: Pr b h odlupu u vzorku 2 a 4

P ÍLOHA P III: Pr b h ohybu a odlupu u vzorku 6

P ÍLOHA P IV: Pr b h síly na padostroji u vzorku 2 a 4

P ÍLOHA P V: Gurit SA 70, technický list

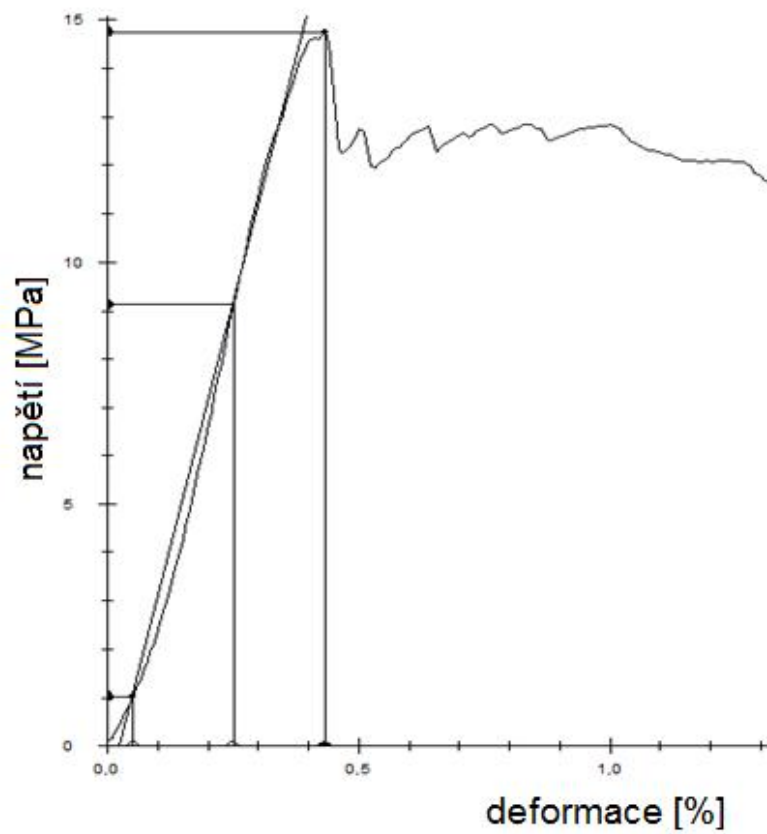
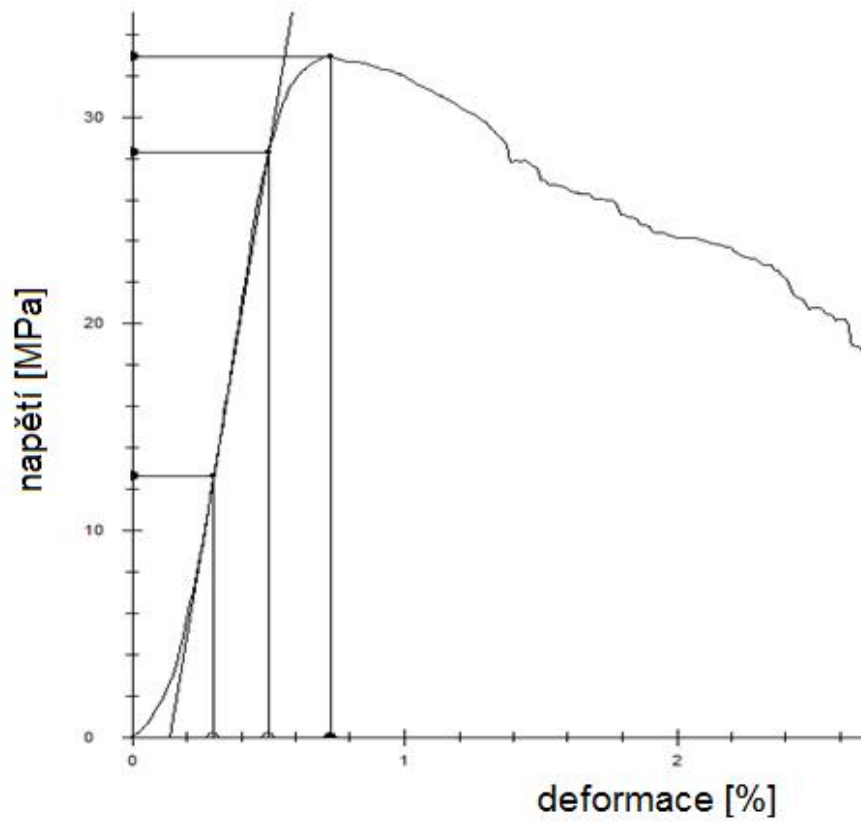
P ÍLOHA P VI: Hexply M34, technický list

P ÍLOHA P VII: KFl 130, technický list

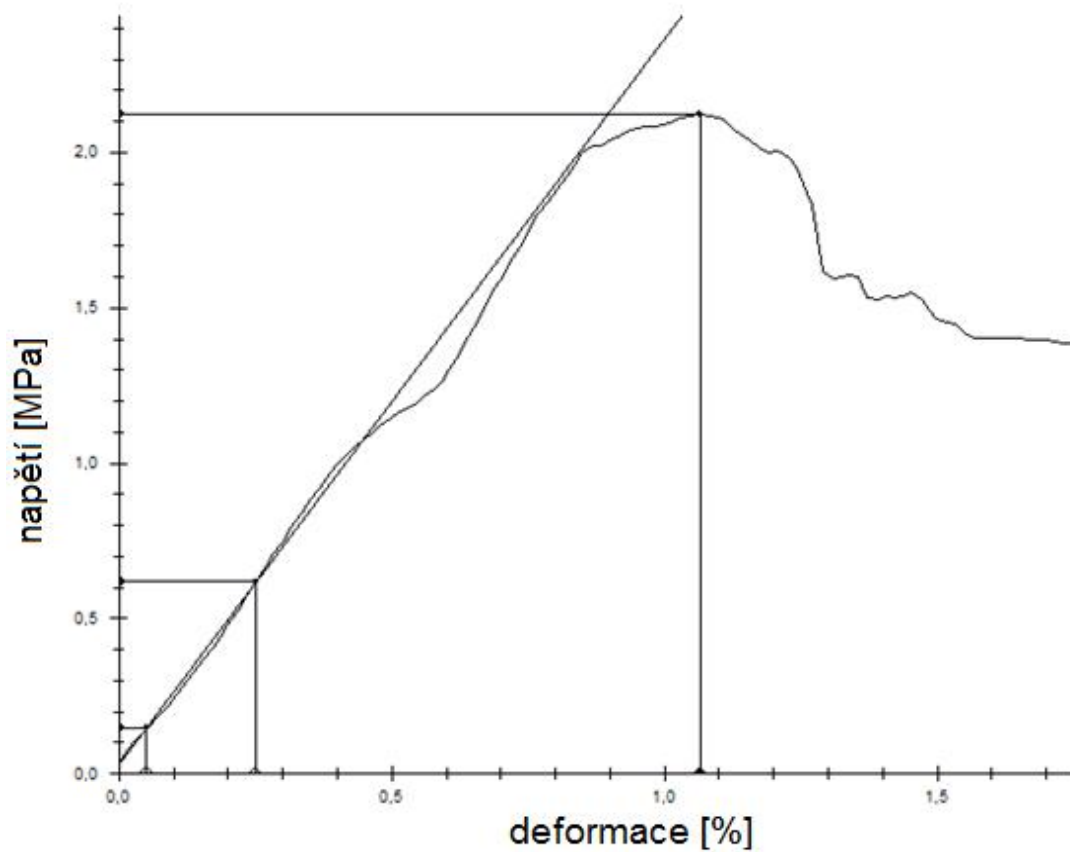
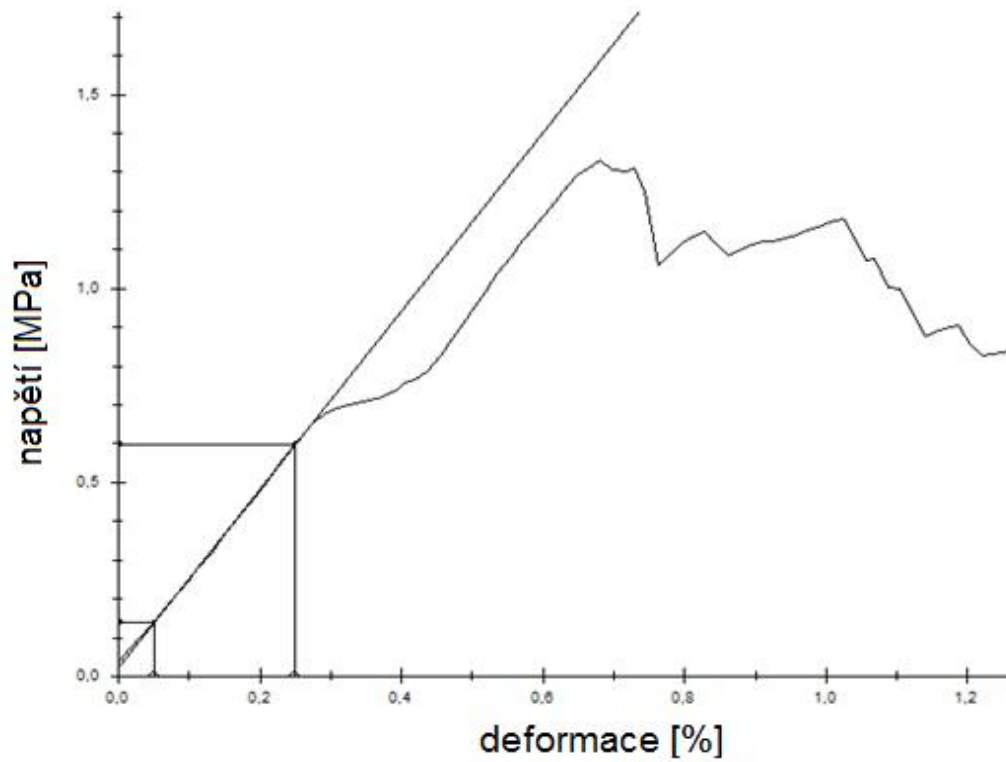
P ÍLOHA P VIII: AF 3002, technický list

P ÍLOHA P IX: Hliníková vo-řina, technický list

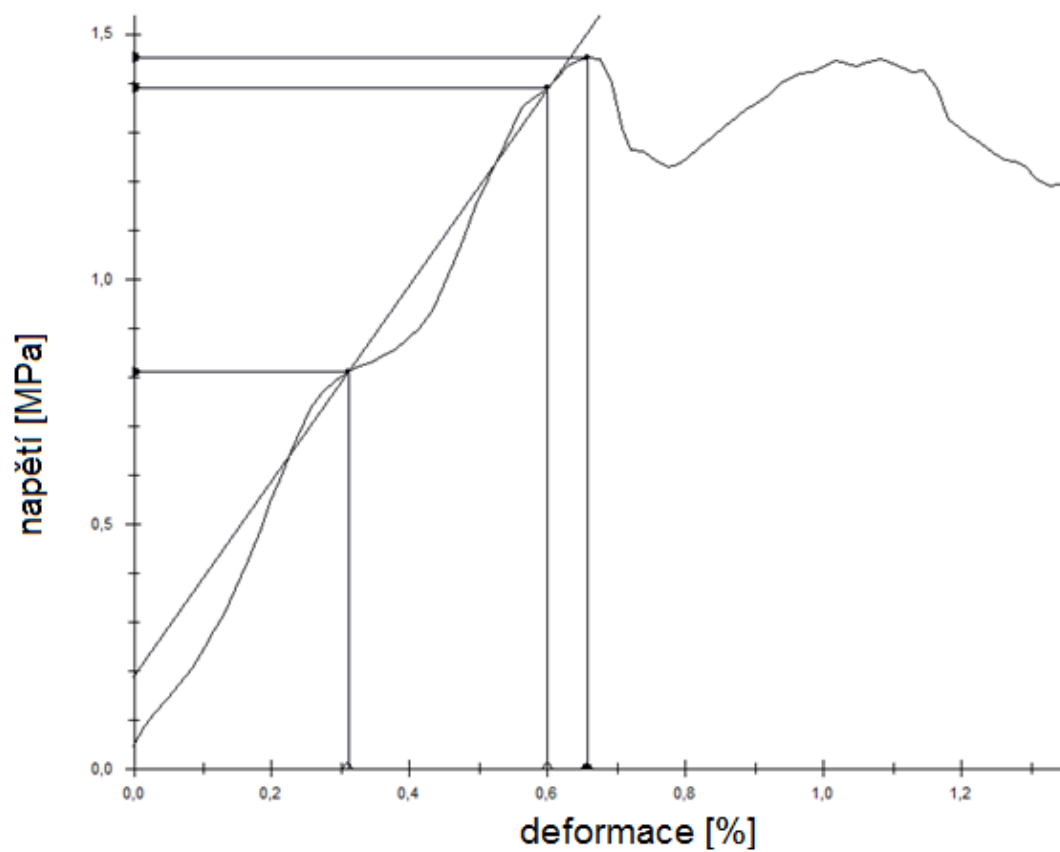
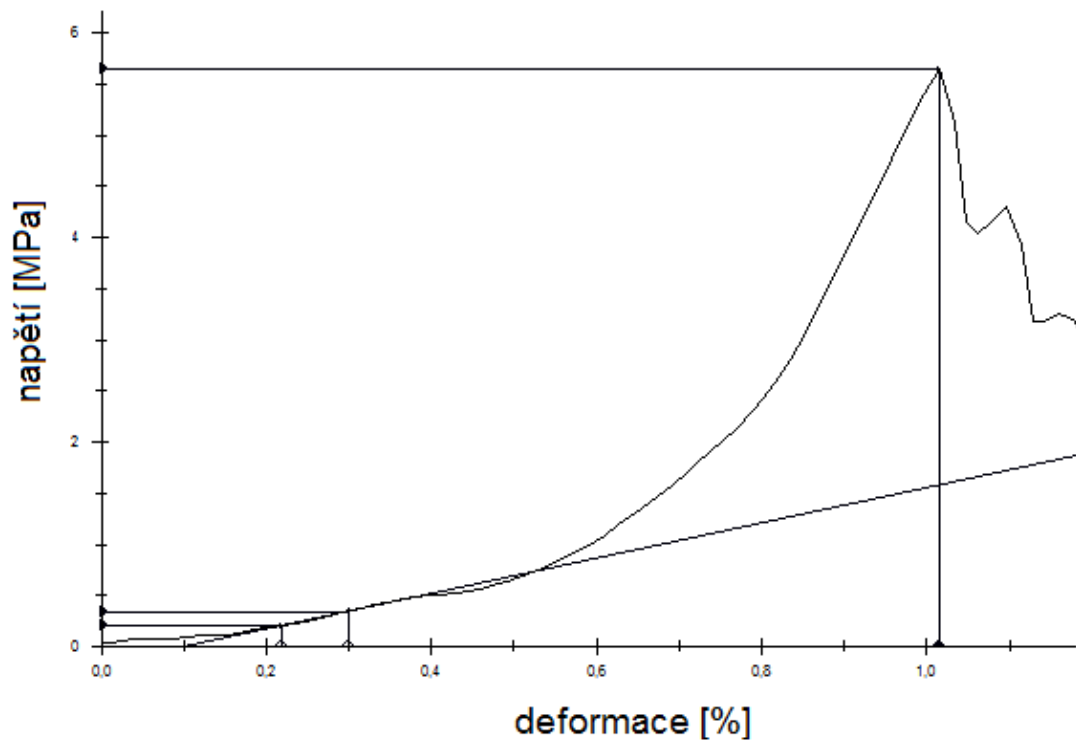
PRŮBĚH OHYBOVÉ DEFORMACE U VZORKU 2 A 4



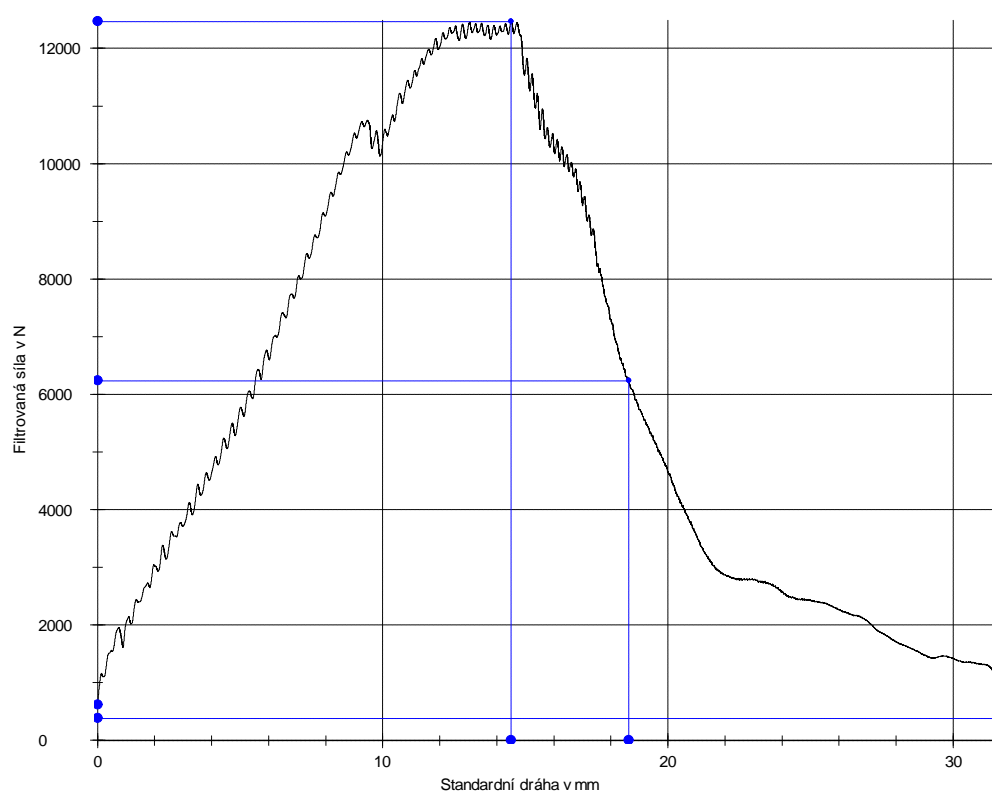
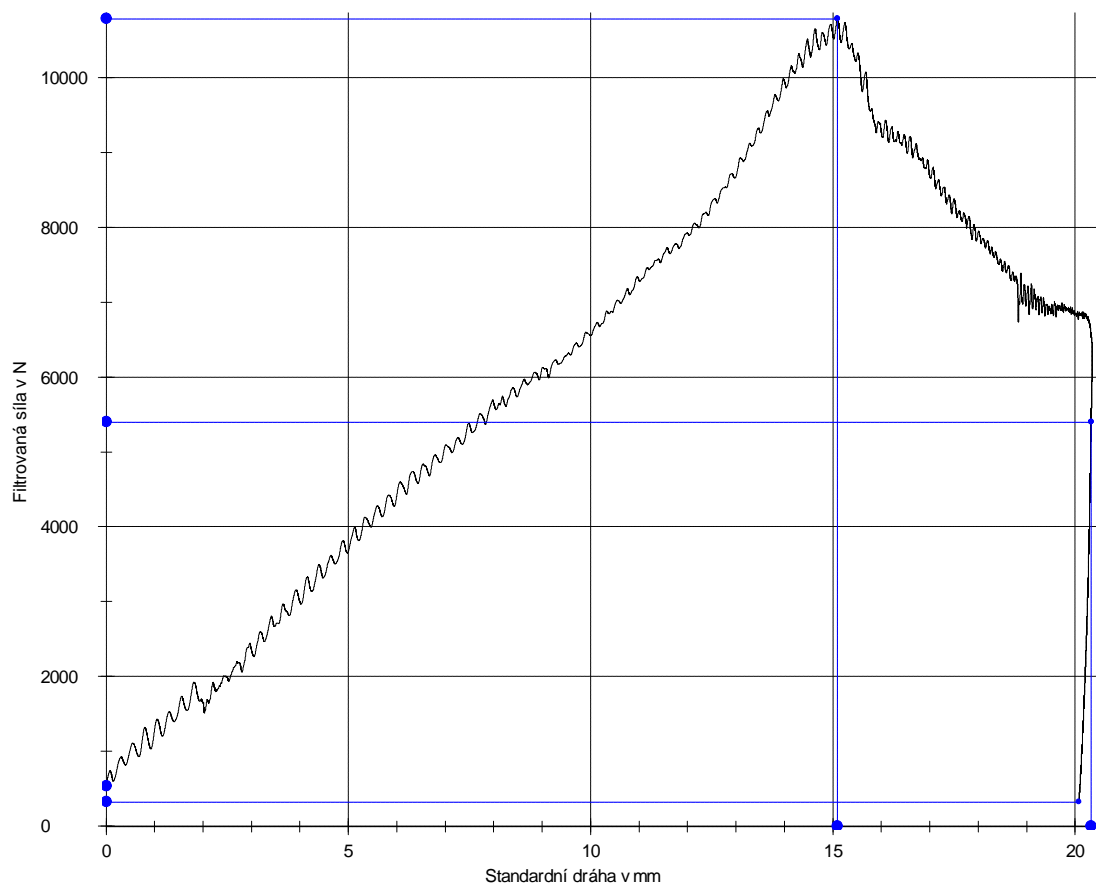
P ÍLOHA P II: PR B HODLUPU U VZORKU 2 A 4



PRŮBĚH OHYBU A ODLUPU U VZORKU 6



P ÍLOHA P IV: PR B H SÍLY NA PADOSTROJI U VZORKU 2 A 4



P ÍLOHA P V: GURIT SA 70, TECHNICKÝ LIST



SA 70

Epoxy Adhesive Film

- Low temperature cure
- Designed for bonding prepreg skins to honeycomb and certain foam cores
- Compatible with SE 70 prepregs
- Toughened for impact resistance and peel strength
- Controlled flow for maximum bond integrity

Introduction

SA 70 adhesive film is a toughened epoxy film on a glass carrier with excellent tack and drape characteristics. It offers many advantages over traditional wet lay-up techniques for bonding of composite skins to cores, including: consistent bond-line thickness and weight, high strain to failure, high toughness, handling convenience, controlled flow and a 4 week outlife at ambient temperature (21°C).

Instructions For Use

Core bonding

Various core materials can be used with the adhesive film system, including certain foams (provided that special procedures are followed) and honeycombs.

The system is fully compatible with all SE and ST prepreg and SPRINT® systems and also Ampreg 22, Ampreg 26 and Ampreg Pregel liquid epoxy systems.

Nomex or Aluminium honeycomb cores

1. Core to First Skin

For bonding honeycomb into place onto a cured laminate, a minimum of a 250g/m² film should be used, with extra resin film used where there are any steps, wrinkles or unevenness in the laminate. Apply the film over the laminate with the paper side uppermost then remove the release paper. Bed in the honeycomb core to the film and splice the core segments with a wrap of at least two layers of film applied to each honeycomb edge. After positioning all the core pieces, vacuum the core in place using at least 80% vacuum and cure the adhesive film for a minimum of 8 hours at 70-75°C. The full cure required will be achieved when the outer skin is cured and bonded into place, using one of the cure cycles below.

2. Second Skin to Core

One procedure is to co-cure the outer skin together with the core bond. For this, a single layer of 250g adhesive film should be rolled over the honeycomb surface, and bedded well into the cells. In this way it should be possible to reposition misplaced prepreg plies, without disturbing the adhesive layer. With a controlled flow system such as SE 70, care should be taken to ensure that excess resin is not removed from the adhesive interface, by using a fine microporous release film. **It is also critical when using this process that adequate precautions are taken to perforate the SE70/SA70 skin to allow air removal from the Nomex**

prior to gelation. Failure to do so will result in skin blow off (contact Gurit Technical Services or see SE 70/ SA 70 Processing Notes).

Foam Cores

SAN based polymer foams (**Corecell**) can be processed with SA 70 without the need for any special treatment on the foam. A layer of 250gms glue film should be used for both the first and second skin as a minimum. Usually the lower density needs higher film weight to fill the more open cell structure (PVC foams). Care must be taken if processing temperatures exceed 80°C, as **Corecell** foam can be dimensionally unstable above these temperatures. SA 70 is not compatible with untreated PVC foams. Contact Gurit Technical Services.

Properties

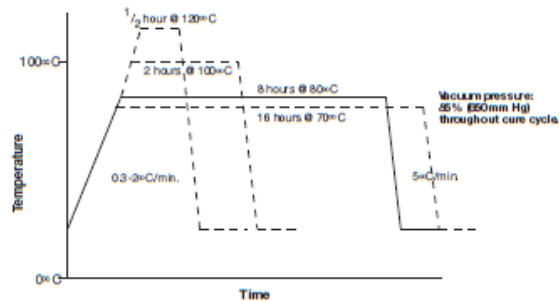
Uncured Resin Properties			
Adhesive Film Weight (standard products)	150g/m ²	250g/m ²	400g/m ²
Glass Carrier Weight	25g/m ²	25g/m ²	25g/m ²
Total Film Weight	175g/m ²	275g/m ²	425g/m ²
Resin Colour	Turquoise blue		
Stability @ 21°C	4 weeks		
Stability @ -18°C	1 year		
Hazard definition	Xi, N		

Curing Schedule

Cure Cycles	
at 85% vacuum pressure (650 mm Hg) throughout	
Minimum cure time at 70°C	16 hours
Minimum cure time at 80°C	8 hours
Minimum cure time at 100°C	2 hours
Minimum cure time at 120°C	30 minutes

If the SA 70 is being co-cured with a SE 70 prepreg skin or ST 70 SPRINT®, then the cure cycle used for the SA 70 will also be that of the prepreg in the laminate. Where the required cure cycle of the SE 70 prepreg or ST 70 SPRINT® and the SA 70 is different, then whichever cure is the longest should be applied.

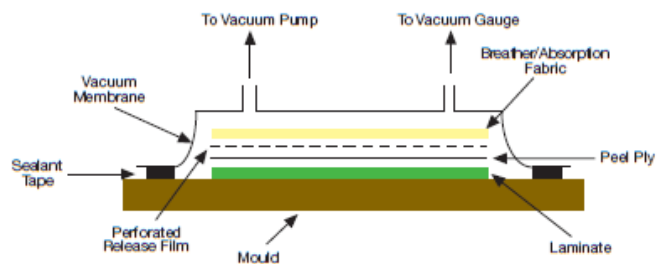
The cure temperature of 70°C must be achieved to generate full performance. 65°C is not sufficient to generate full mechanical properties. Temperatures must be dictated from the trailing (lowest reading) thermocouple, with 70°C taken as the minimum cure temperature. Particular care must be taken to ensure 70°C is hit under thick sections of foam due to insulating effects.



Vacuum Techniques

Consolidation of the core bond can be obtained either by vacuum or pressure bags. Heating can be economically and effectively achieved with either space heaters under an insulated tent or heated blankets with insulation on top. Details of the various types of system are available from Technical Services.

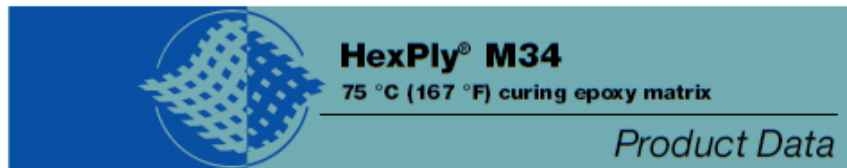
A schematic diagram of a typical vacuum bag arrangement is shown below.



Mechanical Properties

Cure	1 hour @ 120°C	16 hours @ 70°C
Shear Strength on Steel (MPa)	36	35.5
Cleavage Strength on Steel (kN)	9.5	9.25
T _{g1} (DMA)	108.3	95.2

P ÍLOHA P VI: HEXPLY M34, TECHNICKÝ LIST



Description

HexPly® M34 is an epoxy system, specifically developed for low temperature curing of large structural components, particularly in industrial markets.

HexPly® M34 is a self-extinguishing system, providing excellent fire-resistant properties, and meeting the German and French rail qualifications DIN 5510, S3-SR2-ST2 and NF F 16-101 (M2, F1). HexPly® M34 prepreg is ideal for manufacturing sandwich structures, providing excellent adhesion to PVC foam cores. HexPly® M34 exhibits a good shelf life at Room Temperature for a low temperature curing system.

Benefits and Features

- Halogen free
- 10 days shelf life at RT
- Self adhesive on foam (PVC) and on honeycomb
- Low pressure moulding capability 0.8-3 bar (12-43 Psi)
- Good flexibility and handleability of prepreps
- Suitable for thick laminates - low exotherm

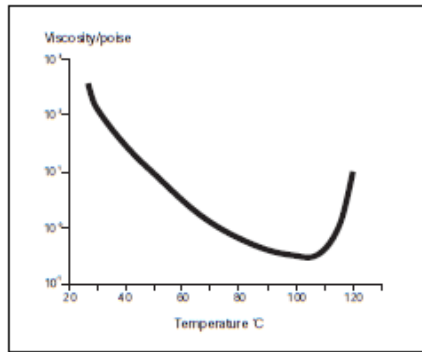




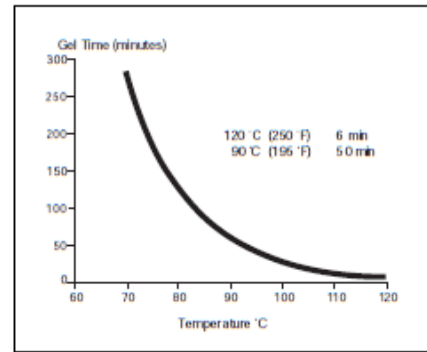
HexPly® M34 Product Data

Resin Matrix Properties

Rheology



Gel Time



Cured Matrix Properties cured at 75 °C (167 °F) - 8H

Test	Values	Method
Glass transition temperature	80 °C (176 °F)	DMA
Cured resin density	1.26 g/cm ³	
Flexural	Str = 120 MPa (17.4 Ksi) Mod = 3.8 GPa (551 Ksi)	

Prepreg Curing Conditions

The standard cure cycle is 8 hours at 75 °C (167 °F), at a pressure between 0.8 and 3 bar. The following alternative cure cycles can be used :

Temperature	Time
65 °C (149 °F)	16 hours
90 °C (194 °F)	90 minutes
120 °C (250 °F)	40 minutes



75 °C (167 °F) curing epoxy matrix

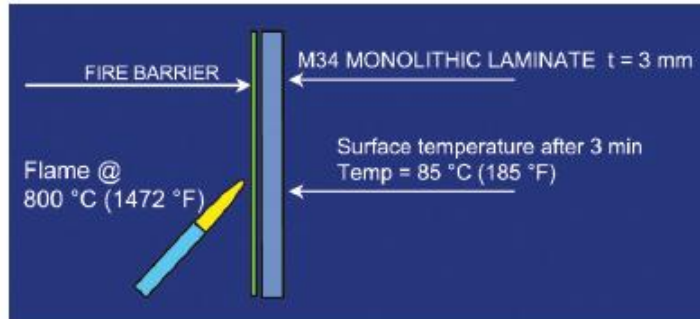
Typical Mechanical Properties on HexPly® M34 preregs

Main references (Others available)

TEST	E-glass Balanced fabric 600 g/m ²	E-glass Balanced fabric 300 g/m ²	HS 12k carbon Balanced fabric 600 g/m ²
0° Tensile strength MPa (Ksi)	400 (58)	600 (87)	900 (130)
0° Tensile modulus GPa (Msi)	20 (2.9)	21 (3)	65 (9.4)
0° Flexure strength MPa (Ksi)	670 (97)	700 (101)	950 (137)
0° Flexure modulus GPa (Msi)	20 (2.9)	20 (2.9)	65 (9.4)
0° Compression strength MPa (Ksi)	/	540 (78)	600 (87)
0° Short beam strength MPa (Ksi)	53 (7.7)	50 (7.2)	70 (10)
Fibre volume content %	50	55	60

HS = high strength

For sandwich structures, Hexcel Composites has developed a fire barrier material which is impregnated with the HexPly® M34 resin system. This intumescent material expands on contact with flame creating a charred layer containing trapped air which protects the substrate from the effects of fire.



P ÍLOHA P VII: KFL 130, TECHNICKÝ LIST

5M

TECHNICKÝ LIST

Vytvrzování:

Lepidlo Letoxit KFL 130 se vytvrzuje při:

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

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

Vlastnosti vytvrzeného slepeného spoje:

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

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

Pevnost v odlupování:

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

Skladování:

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

Bezpečnost při práci : viz bezpečnostní list

P ÍLOHA P VIII: AF 3002, TECHNICKÝ LIST

3M

Scotch-Weld™

Core Splice Adhesive Film

AF 3002

Technical Data

June, 2002

Introduction 3M™ Scotch-Weld™ Core Splice Adhesive Film AF 3002 is a 250-350°F (121-177°C) curing, low density, expandable product designed for the purpose of filling mismatched areas, and for splicing and reinforcing honeycomb core. Scotch-Weld AF 3002 is compatible with many 3M™ Scotch-Weld™ Structural Adhesive bonding films, including AF 110, AF 111, AF 126, AF 126-2, AF 130, AF 131, AF 143, AF 147, and AF-163-2. Data developed on this product indicates that it has high performance over the -67°F to 250°F (-55°C to 121°C) temperature range when cured at 250°F (121°C) and high performance over a -67°F to 350°F (-55°C to 177°C) temperature range when cured at 350°F (177°C).

Description **Note: The following technical information and data should be considered representative or typical only and should not be used for specification purposes.**

Color:	White to light tan
Base:	Modified epoxy
Form:	Unsupported film (with a heavy green plaid printed backing liner and a thin, rose-colored polyethylene separator liner)
Normal Caliper Range:	50 ± 5 mils (without liners)
Normal Uncured Density Range:	50 ± 5 lbs./cubic foot
Normal Weight Range:	0.165 - 0.255 lbs./sq. ft. (calculated from above caliper and density ranges)
Volatile Loss on Cure:	Less than 1% after 1 hour at 250°F (121°C) with a 10°F/minute warmup rate.
Suggested Cure Cycle for a 50 mil Thickness:	250°F (121°C) for 60 minutes with a 10°F/minute warmup rate
Cured Film Thickness:	a.) 250°F (121°C Cure, 70 mils (approx.) b.) 350°F (177°C Cure, 80 mils (approx.)

Scotch-Weld™
Core Splice Adhesive Film
AF 3002

Product Performance **Note: The following technical information and data should be considered representative or typical only and should not be used for specification purposes.**

1. Cured Density:

The free film cured density for 3M™ Scotch-Weld™ Core Splice Adhesive Film AF 3002 has been determined using the specific gravity method outlined in 3M Test Method C-2310-2.

Cure Cycle A: 250°F (121°C) – 0 psig – 60 min. – 10°F/min. warmup.

Cured Density: 40 lbs./cubic foot (approx.).

Cure Cycle B: 350°F (177°C) – 0 psig – 60 min. – 10°F/min. warmup.

Cured Density: 35 lbs./cubic foot (approx.).

2. Per Cent Expansion During Cure:

The free film per cent volume expansion during cure for Scotch-Weld AF 3002 has been determined from the change in specific gravity in going from the uncured to the cured state as outlined in 3M Test Method C-276.

Cure Cycle A: 250°F (121°C) – 0 psig – 60 min. – 10°F/min. warmup.

Per Cent Volume Expansion: 35% (approx.).

Cure Cycle B: 350°F (177°C) – 0 psig – 60 min. – 10°F/min. warmup.

Per Cent Volume Expansion: 55% (approx.).

3. Splice Delamination Strength:

Splice delamination strength has been determined on Scotch-Weld AF 3002 in accordance with the procedure outlined in MIL-C-7438F para. 4.7.9.

Core: 5052 alloy – 1/4" cell – 0.004" foil – 5/8" thick – nonperforated.

Specimen: 5" x 10" (core ribbon perpendicular to ten inch dimension).

Splice Position: Centered and perpendicular to the 10" dimension running the full width of the specimen.

No. of layers: Two (for smaller cell sizes single layers of film are suggested).

Load Rate: 0.257/minute.

A. Cure Cycle: 250°F (121°C) – 0 psig – 60 min. – 10°F/min. warmup.

B. Cure Cycle: 350°F (177°C) – 0 psig – 60 min. – 10°F/min. warmup.

Test Temperature	MIL-C-7438F Requirement	Cure A strength	Cure B strength
75°F (24°C)	40 lbs.	50-100 lbs. Core failure	50-100 lbs. Core failure

Note: Width of range is a result of strength variation of core node bonds which normally fail at lower loads than the strength of the splice.

Scotch-Weld™
Core Splice Adhesive Film
AF 3002

Product Performance
(continued)

Note: The following technical information and data should be considered representative or typical only and should not be used for specification purposes.

4. Overlap Shear Strength:

The overlap shear strength of 3M™ Scotch-Weld™ Core Splice Adhesive Film AF 3002 has been determined using the procedures outlined in MMM-A-132A and under the following conditions.

Metal: 2024T3 Alclad aluminum 4" x 7" x .063".

Cure Cycle: 250°F (121°C) – 50 psi – 60 min. – 10°F/min. warmup.

Load Rate: 0.1"/minute.

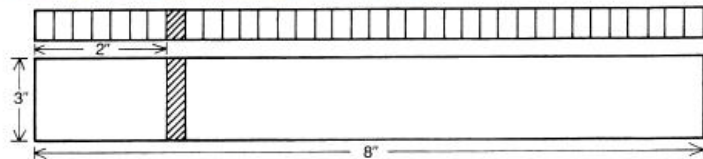
Specimen Size: 0.5 inch² lap joint.

Results: The following typical, individual results were obtained at the temperature specified after 10 minutes at that temperature.

Test Temperature:	-67°F (-55°C)	75°F (24°C)	180°F (82°C)	250°F (121°C)
	1820 psi	1760 psi	1980 psi	1060 psi
	1780 psi	1660 psi	1900 psi	1050 psi
	1820 psi	1640 psi	1850 psi	1190 psi
	1780 psi	1630 psi	1720 psi	1230 psi

5. Core Shear Strength:

Core shear strength of Scotch-Weld AF 3002 was determined using a 3" x 8" beam flexure specimen with a splice made with Scotch-Weld AF 3002 located 2" from one end of the flexure specimen as shown below:



Face Sheets: 2024T81 bare aluminum, 0.063" thick.

Core shear strength determined according to MIL-A-24563B using the following conditions:

Load Pad: 1.5" single point load.

Reaction Pads: 3/4".

Load Rate: 0.02"/minute.

Span: 6 inches.

Core Shear = $\frac{P}{b(t + t_c)}$ Where: P = Load at failure t = specimens thickness
 (psi) b (t + t_c) Where: b = beam width t_c = core thickness

Scotch-Weld™
Core Splice Adhesive Film
AF 3002

Product Performance
(continued)

Note: The following technical information and data should be considered representative or typical only and should not be used for specification purposes.

Results:

Test Set A

Honeycomb Adhesive: Scotch-Weld AF-111 Vt. B – Film Adhesive.

Honeycomb Core: 1/8" cell, 1/2" thick, 5052 alloy, 0.002" foil, non-perforated.

Cure Cycle: 250°F (121°C) – 50 psi – 60 min. at temp. – 10°F/minute warmup rate.

Test Temperature	Core Shear Strength (Ave.)
-67°F (-55°C)	850 psi
75°F (24°C)	850 psi
180°F (82°C)	750 psi
250°F (121°C)	200 psi

Test Set B

Honeycomb Adhesive: Scotch-Weld AF-131 Film Adhesive.

Honeycomb Core: 5052 alloy, 1/8" cell, 1/2" thick, 0.002" foil, non-perforated.

Cure Cycle: 350°F (177°C) – 50 psi – 60 min. – 10°F/min. warmup.

Test Temperature	Core Shear Strength (psi)
-67°F (-55°C)	925
75°F (24°C)	910
270°F (132°C)	920
350°F (177°C)	700

Test Set C

Honeycomb Adhesive: Scotch-Weld AF-130 .09 wt. Film Adhesive.

Honeycomb Core: 2024 alloy, 1/8" cell, 1/2" thick, 0.002" foil, non-perforated.

Cure Cycle: 350°F (177°C) – 50 psi – 60 min. – 10°F/minute warmup.

Test Temperature	Core Shear Strength (Ave.)
350°F (177°C)	716 psi
400°F (204°C)	565 psi

Test Set D

Honeycomb Adhesive: Scotch-Weld AF-130 .09 wt. Film Adhesive.

Honeycomb Core: 5052 alloy, 1/8" cell, 1/2" thick, 0.002" foil, non-perforated.

Core Splice: 2 1/2" from one end, 2 layers of adhesive in a .080" gap.

Cure Cycle: 350°F (177°C) – 45 psi – 60 min. – 2.5°F and 10°F/min. warmup.

Test Temperature	Core Shear Strength (Ave.)	
	2.5°F/min. warmup	10°F/min. warmup
75°F (24°C)	975 psi	980 psi
350°F (177°C)	715 psi	740 psi

Scotch-Weld™
Core Splice Adhesive Film
AF 3002

Product Application
(continued)

B. Aluminum Honeycomb Core

1. Soak in clean aliphatic naphtha* (to conform to TT-N-95A) for five minutes at room temperature. Dry 10 minutes at 150°F ± 10°F (66°C ± 5°C).
2. Optional— Immerse in etching solutions for two (2) minutes at 50°F ± 5°F (10°C ± 2°C). Rinse, air dry and force dry in similar manner to skin panels.

*Note: When using solvents, extinguish all ignition sources and follow the manufacturer's precautions and directions for use.

II. Film:

Care should be taken to avoid contaminating adhesive and cleaned or primed aluminum by any substance which will hinder wetting action of the adhesive.

Film Application:

1. Cut portion of film to be used from roll with protective liners in place.
2. Remove liner from one side of film.
3. Place film on metal or edge of honeycomb core using the remaining liner as a protective cover.
4. On metal surfaces, roll film into position with a rubber roller to insure that no air is trapped between the film and metal.
5. Remove second protective liner.
6. Assemble parts and cure. Tack if necessary at 120-180°F (49-82°C).

III. Cure Cycle:

A. General

The tack, flow, expansion, and cure initiation temperature for 3M™ Scotch-Weld Core Splice Adhesive Film AF 3002 is a time-temperature relationship and depends upon the rate of heat input.

Normally, Scotch-Weld AF 3002 will have the following properties:

Tack Temperature:	120-180°F (49-82°C)
Flow Temperature:	180-250°F (82-121°C)
Cure Initiation Temperature:	250°F (121°C)

For a 50 mil layer of Scotch-Weld AF 3002, a minimum cure temperature of 250°F (121°C), is suggested to affect a useful cure in a reasonable length of time (approximately 60 minutes).

B. Cure Cycle (Autoclave or Platen Press) for a 50 mil layer of Scotch-Weld AF 3002.

The following cure cycle is suggested to obtain bond lines which give the strengths reported in the Test Results section.

Cure Cycle: 50 psi, 10°F/min., 60 min. @ 250°F (121°C) or below. Cool to 200°F (93°C) or below before removing pressure.

P ÍLOHA P IX: HLINÍKOVÁ VOTMTINA, TECHNICKÝ LIST

Velikost buněk	Hustota (kg/m ³)	Pevnost v tlaku		Modul v tlaku (MPa)	Smykové namáhání			
		bez potahu (MPa)	s potahem (MPa)		L-směr		W-směr	
					napětí (MPa)	modul (MPa)	napětí (MPa)	modul (MPa)
6	92,92	2,66	2,86	730	1,53	336,2	0,85	167,6
8	64,26	1,80	2,00	214	1,12	250,9	0,61	129,8
10	40,04	1,01	1,21	171	0,74	172,2	0,40	95,0
14	35,10	0,61	0,69	151	0,47	151,4	0,24	62,1

Tloušťka testované voštiny: 16 mm

Pevnost v tlaku podle ASTM C 365

Namáhání ve smyku - napětí podle normy DIN 53 294

- modul pružnosti podle normy ASTM C 393 – 94

Doplňkové informace:

Rozsah teplot použití: -75°C až 100°C

Teplota skladování: min. + 5°C, max. + 35°C

Doba skladování: 6 měsíců při skladování v suchém a bezprašném prostředí