

# Studium kompozitů s akrylátovou matricí

Přemysl Pilčík

---

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: **Přemysl PILČÍK**  
Osobní číslo: **T09455**  
Studijní program: **B 3909 Procesní inženýrství**  
Studijní obor: **Technologická zařízení**

Téma práce: **Studium kompozitů s akrylátovou matricí**

Zásady pro vypracování:

1. Kompozitní materiály s polymerními matricemi
2. Matrice kompozitních materiálů, vlastnosti, základní charakteristiky
3. Experimentální část. Příprava vzorků pro testování. Navrhněte a popište výrobu vzorků z kompozic s akrylátovou matricí
4. Testování připravených vzorků s akrylátovou matricí (plněných a neplněných) dle vybraných norem
5. Závěr

Rozsah bakalářské práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

[1] Jančář, J.: **Úvod do materiálového inženýrství kompozitu**, Brno, 1999.

[2] Ptáček, L.: **Nauka o materiálu II**. CERM, s.r.o., Brno, 2002.

[3] Kořínek, Z.: **Kompozity**. dostupné na: [www.volny.cz/korinek](http://www.volny.cz/korinek)

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

[5] Bareš, R. A.: **Kompozitní materiály**. SNTL Praha, 1988.

[6] Reinhart, T. J.: **Engineered materials handbook. Composites. Vol. 1.**, ASM INTERNATIONAL, 1987.

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**

Ve Zlíně dne 8. února 2012

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

Ve Zlíně .....

.....

---

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

## **ABSTRAKT**

Tato bakalářská práce se zabývá studii mechanických vlastností kompozitních materiálů s akrylátovou maticí plněnou retardérem hoření – ATH, využívanou především v oblasti vlakové dopravy. Teoretická část se zaměřuje na obecný popis významu kompozitních materiálů, jejich základnímu popisu členění, výrobními technologiemi a používanými materiály. V neposlední řadě také jejich širokému spektru využitelnosti v technické praxi.

Praktická část je zaměřena na výrobu vzorků kompozitních materiálů s akrylátovou maticí MODAR®835 S CS a následnému testování mechanických vlastností zkouškami na tah a tříbodový ohyb.

Závěr práce je věnován zhodnocení výsledků zkoušených materiálů a porovnání rozdílů mezi nimi.

**Klíčová slova:** Kompozitní materiály, mechanické vlastnosti, retardér hoření.

## **ABSTRACT**

This dissertation is concerned with the study of mechanical properties of composite materials with acrylic matrix filled with fire retardant – ATH, which is used especially in rail transport. The theoretical part focuses on the general description of the importance of composite materials, their basic description of structure, manufacturing technology and materials used. Last but not least, their wide range of use within the industry.

The practical part is focused on the production of samples of composite materials with acrylic matrix MODAR®835S CS and subsequent testing of mechanical performance by tension tests and three-point bending.

The conclusion of my dissertation concerns a summary of results of tested materials and a comparison of their differences

**Keywords:** Composite materials, mechanical properties, flame retardant.

Rád bych tímto poděkoval doc. Ing. Soně Rusnákové, Ph.D. za vstřícnost, profesionální vedení a čas věnovaný mé osobě při vypracování této bakalářské práce. Dále bych chtěl svůj dík vyjádřit panu Ing. Vladimíru Rusnákovi a firmě Form s.r.o. za poskytnutí informací a materiálového zabezpečení při výrobě a testování vzorků. V poslední řadě můj dík patří panu Ing. Milanu Žaludkovi, Ph.D. za projevení ochoty při testování materiálů pro tuto práci.

*Děláme-li chyby, říkáme tomu „sbírání zkušeností“.*

*O. Wilde*

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

## OBSAH

<b>ÚVOD</b> .....	<b>10</b>
<b>I TEORETICKÁ ČÁST</b> .....	<b>11</b>
<b>1 KOMPOZITNÍ MATERIÁLY</b> .....	<b>12</b>
1.1    OBECNÁ DEFINICE KOMPOZITNÍHO MATERIÁLU.....	12
1.2    VLASTNOSTI A VÝHODY KOMPOZITŮ.....	13
1.3    STRUKTURA KOMPOZITNÍCH MATERIÁLŮ .....	14
1.3.1    Klasifikace kompozitů .....	14
<b>2 MATRICE (PRYSKYŘICE)</b> .....	<b>17</b>
2.1    REAKTIVNÍ PRYSKYŘICE.....	17
2.1.1    Nenasycené polyesterové pryskyřice (UP-R) .....	17
2.1.2    Vinylesterové pryskyřice (VE-R), nebo fenakrylátové pryskyřice (PFA-R) z fenylových, nebo fenylenových derivátů .....	18
2.1.3    Epoxidové pryskyřice (EP-R) .....	18
2.1.4    Fenolické pryskyřice .....	18
2.1.5    Metakrylátové pryskyřice (MA-R) .....	19
2.1.6    Izokyanátové pryskyřice .....	19
2.2    PŘÍSADY A ČINIDLA .....	19
2.3    RETARDÉRY HOŘENÍ.....	19
2.4    DEFINICE POJMŮ.....	19
<b>3 VÝZTUŽ KOMPOZITNÍCH MATERIÁLŮ</b> .....	<b>21</b>
3.1    VYZTUŽUJÍCÍ VLÁKNA.....	21
3.1.1    Typy produktů výztužných materiálů .....	21
3.2    DRUHY VAZEB VÝZTUŽE .....	23
3.3    MATERIÁLY VLÁKEN.....	24
3.3.1    Skleněná vlákna .....	24
3.3.2    Uhlíková vlákna .....	25
3.3.3    Aramidová vlákna .....	26
3.3.4    Čedičová vlákna .....	27
3.3.5    Přírodní vlákna rostlin.....	28
<b>4 ZPRACOVATELSKÉ TECHNOLOGIE</b> .....	<b>29</b>
4.1    RUČNÍ KLADENÍ ZA MOKRA: .....	29
4.2    RUČNÍ KLADENÍ PREPREGŮ, VYTVRZOVÁNÍ V AUTOKLÁVU.....	30
4.3    STROJNÍ KLADENÍ PREPREGŮ, VYTVRZOVÁNÍ V AUTOKLÁVU .....	31
4.4    TECHNOLOGIE NÍZKOTLAKÉHO INJEKČNÍHO VSTRÍKOVÁNÍ (RESIN TRANSFER MOULDING).....	32
4.5    VAKUOVÉ PROSYCOVÁNÍ (VACUUM INFUSION) .....	33
<b>5 MECHANIKA KOMPOZITNÍCH MATERIÁLŮ</b> .....	<b>35</b>



5.1	MIKROMECHANIKA .....	35
5.2	MAKROMECHANIKA .....	36
5.3	MECHANISMY PORUŠOVÁNÍ .....	36
5.4	ORTOTROPNÍ VRSTVA .....	37
5.5	ZKOUŠKY MECHANICKÝCH VLASTNOSTÍ .....	38
5.5.1	Tahová zkouška .....	39
5.5.2	Ohybová zkouška .....	42
<b>II</b>	<b>PRAKTICKÁ ČÁST .....</b>	<b>44</b>
<b>6</b>	<b>OBSAH A CÍL PRÁCE .....</b>	<b>45</b>
6.1	PŘÍPRAVA VÝROBY .....	46
6.2	POUŽITÉ MATERIÁLY .....	46
6.2.1	Pryskyřice MODAR ® 835 S CS .....	46
6.2.2	Retardér hoření Martinal ® ON-904 .....	47
6.2.3	Perkadox CH-50 .....	48
6.2.4	BYK ® - W996 .....	48
6.2.5	Unifilo ® 813 .....	49
6.2.6	Saertex .....	49
6.2.7	Ahlstrom - víceosá výztuž .....	50
6.2.8	Fenolický prepreg PHG .....	50
<b>7</b>	<b>VLASTNÍ VÝROBA VZORKŮ .....</b>	<b>51</b>
7.1	VÝROBA VZORŮ SÉRIE A .....	51
7.2	VÝROBA VZORŮ SÉRIE B .....	53
<b>8</b>	<b>ZKOUŠENÍ MECHANICKÝCH VLASTNOSTÍ .....</b>	<b>56</b>
8.1	ZKUŠEBNÍ ZAŘÍZENÍ .....	56
8.2	ZKOUŠKA OHYBEM .....	57
8.3	ZKOUŠKA TAHEM .....	61
8.4	ZKOUŠKA OHYBEM - SYNPO .....	63
8.4.1	Vzorky před expozicí .....	63
8.4.2	Vzorky po expozici .....	65
<b>9</b>	<b>ZPRACOVÁNÍ VÝSLEDKŮ .....</b>	<b>68</b>
9.1	OHYBOVÁ ZKOUŠKA - STATISTICKÉ VYHODNOCENÍ .....	68
9.2	ZKOUŠKA TAHEM - STATISTICKÉ VYHODNOCENÍ .....	69
9.3	STATISTICKÉ VYHODNOCENÍ OHYBU OD FIRMY SYNPO .....	75
9.3.1	Před expozicí .....	75
9.3.2	Po expozici .....	77
	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>79</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY .....</b>	<b>81</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK .....</b>	<b>82</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>83</b>
	<b>SEZNAM TABULEK .....</b>	<b>85</b>
	<b>SEZNAM PŘÍLOH .....</b>	<b>87</b>

## ÚVOD

Vzhledem k vývoji techniky dnešní doby a rozmachu nových technologií v nejrůznějších odvětvích stále více stoupají nároky a požadavky na používané materiály. Objevování nových materiálů člověkem ovlivňovalo jeho život již od pradávných dob. Lidstvo procházelo dobou kamennou, bronzovou, železnou a postupné zlepšování a inovace dovedly technologie k možnosti vyrábět i materiály zcela nové, syntetické, které v přírodě nenajdeme. Takovéto materiály mohou být složeny z různých komponent a mít charakter cílevědomé konstrukce. Musí splňovat jak konstrukční, technologické, ale také fyzikální, chemické a různé jiné požadavky. Mezi takové v dnešní době hojně používané materiály patří bezpochyby kompozitní materiály s polymerními matricemi. Počátky této technologie se tradují již někdy kolem roku 1907, kdy připravil belgický chemik Leo Hendrik Baekeland fenol-formaldehydový polykondenzát (pryskyřici), tedy první průmyslově vyráběnou „umělou hmotu“ pod názvem Bakelit. Kolem roku 1960 začaly být kompozitní materiály předmětem rostoucího zájmu odborníků všech profesí.

Studie těchto materiálů a postupné zdokonalování přinesla revoluci na poli využití kompozitů jako konstrukčních materiálů pro nejrůznější oblasti použití, například v leteckém průmyslu bychom se bez těchto materiálů dnes již neobešli. Různými kombinacemi použitých komponent lze vytvořit materiál jiným způsobem nevyrobitelný.

Kompozitní materiály s polymerními matricemi se vyznačují zejména schopností měnit jejich elastické vlastnosti a pevnost změnou prostorového uspořádání výztuže, druhu výztuže (rohože, tkaniny, rovingy atd.), poměrem obsahu výztuže, matrice (pojiva) a technologií výroby. Při použití stejných materiálů (pryskyřice, sklo) lze efektivně vyrobit širokou škálu materiálů s odlišnými vlastnostmi. Tyto možnosti například v oblasti použití tradičních materiálů, jako ocelí, téměř odpadají.

Tato bakalářská práce je věnována problematice kompozitních materiálů s polymerními matricemi, popisu charakteristik v praxi nejvíce využívaných polymerních pryskyřic. Je zde také nastíněna problematika jednotlivých technologií výroby.

Experimentální část práce je věnována studiu mechanických vlastností materiálů s vysokoplněnou akrylátovou matricí, používanou zejména v oblasti vlakové dopravy, kde se kladou přísné nároky zejména na nehořlavost.

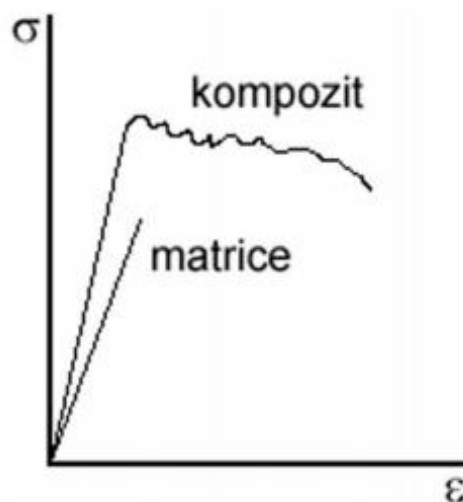
## I. TEORETICKÁ ČÁST

## 1 KOMPOZITNÍ MATERIÁLY

### 1.1 Obecná definice kompozitního materiálu

Pod pojmem kompozitní materiály rozumíme heterogenní materiály složené ze dvou nebo více fází, které se vzájemně výrazně liší svými mechanickými, fyzikálními a chemickými vlastnostmi. Pro kompozitní materiály je dále charakteristické, že se vyrábějí mechanickým mísením jednotlivých složek. Tím se liší např. od slitin, které jsou rovněž heterogenní. Pro kompozitní materiály je charakteristický tzv. synergismus, což znamená, že vlastnosti kompozitu jsou vyšší, než by odpovídalo pouhému poměrnému sečtení vlastností jednotlivých složek. Existence synergismu je velmi významná, neboť vede k získávání materiálů kvalitativně zcela nových vlastností. [1]

Jsou složené materiály, respektive cílevědomě kombinované různé druhy materiálů tak, abychom získali nové požadované vlastnosti kompozitu, kterými nedisponují samotné původní složky. Každá složka plní jinou funkci a disponuje odlišnými vlastnostmi. Názorným příkladem kompozitního materiálu může být například: kov-kov, kov-plast, železo-beton, plast-keramika atd. [2]



Obrázek 1 Tahový diagram matrice nevytlužené a vytlužené skelnými vlákny-kompozit [1]

## 1.2 Vlastnosti a výhody kompozitů

V průběhu posledních desetiletí dochází stále častěji k upřednostňování kompozitních materiálů. Tento nárůst lze vysvětlit novými a stále se rozšiřujícími poznatky mechanických vlastností kompozitů, jejich odolností a životností. To umožnilo jejich specifitější používání a snížilo bezpečnostní součinitele na přijatelnou úroveň. Použitím kompozitu místo tradičního materiálu, jako je například ocel, dochází k značnému snížení hmotnosti. To je dáno nízkou hmotností vlastního kompozitu, specifickými vlastnostmi jednotlivých složek a možností vytvořit kompozit přímo pro daný účel. Protože jde o kombinaci materiálů, můžou se kompozity navrhovat s ohledem na specifické vlastnosti, které přinášejí řadu výhod v porovnání s tradičními materiály, např. odolnost proti chemikáliím, elektrické a teplotní izolační vlastnosti atd. [1]

Hlavními výhodami při použití kompozitů je:

- vysoká tuhost a pevnost
- vlastnosti ve směru orientace vláken
- tepelná, chemická odolnost, ohnivzdornost, malá tepelná roztažnost [2]

Tabulka 1 Srovnání vlastností různých druhů materiálů [1]

<b>Pevnost [MPa]</b>	<b>Modul pružnosti [GPa]</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vyztužené plasty 250-900</li> <li>• Ocel 480-600</li> <li>• Nerez 630-650</li> <li>• Aluminium 290</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vyztužené plasty 17-45</li> <li>• Ocel 206</li> <li>• Nerez 210</li> <li>• Aluminium 69-75</li> </ul>
<b>Tepelná vodivost [W/K.m]</b>	<b>Hustota [g/cm<sup>3</sup>]</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vyztužené plasty 0,0-0,7</li> <li>• Ocel 52-63</li> <li>• Nerez 33</li> <li>• Aluminium 84-170</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vyztužené plasty 1,6-2,0</li> <li>• Ocel 7,85</li> <li>• Nerez 7,70</li> <li>• Aluminium 2,7</li> </ul>

### 1.3 Struktura kompozitních materiálů



Obrázek 2 Výrobky z kompozitů [8]

#### 1.3.1 Klasifikace kompozitů

V současnosti je na trhu široké spektrum kompozitních materiálů lišících se pojivem (pryskyřicí), typem výztuže (rohože, tkaniny, rouna) a mnohdy i způsobem výroby (RTM, laminace, navíjení atd.)

Z hlediska rozdělení dle druhu matric existují dva zásadní typy polymerních pryskyřic-pojiv:

- **Termoplasty**-tuhé látky, které měknou a tekou při zvýšení teploty nad určitou hodnotu charakteristickou pro daný polymer. Po ochlazení pod tuto teplotu opět přejdou do stavu pevného. Charakteristickým znakem termoplastů jsou velmi dlouhé makromolekuly vytvořené opakujícími se strukturálními jednotkami (až několik milionů). Z tohoto důvodu bývá tento typ makromolekul označován jako polymer. Jednotlivé vazby nejsou vzájemně vázány chemickými vazbami. Patří zde například polystyren (PS), polypropylen (PP), polyetylén (PE), polykarbonát (PC) atd.
- **Reaktoplasty**-těž termosety jsou obvykle dodávány ve formě viskózních tekutin s konzistencí řídkého medu. Patří sem například epoxidy, nenasycené polyestery, melaminy či fenol formaldehydové pryskyřice. Jsou tvořeny relativně malými mo-

lekulami, které jsou vytvrzeny chemickou reakcí po dodání katalyzátoru a iniciátoru. Vytvrzování probíhá buď za pokojové teploty, nebo za zvýšených teplot. Při vytvrzování dochází ke vzniku chemických vazeb mezi jednotlivými malými molekulami. Nevznikají dlouhé makromolekulární vazby jako u termoplastů, ale třídídimenzionální polymerní síť s různou hustotou. V ideálním případě je celý makroskopický výrobek jedinou makromolekulou. Termoset zůstává v tuhé fázi i po zahřátí. Kompozity s termoskovými matricemi mají mezi konstrukčními aplikacemi vláknových kompozitů naprostou převahu. Naproti tomu v oblasti plněných plastů a částicových kompozitů zcela převládají termoplastické matrice. [3]

Z důvodu vymezení pojmů je rozumné rozdělit vláknové kompozitní materiály do tříd.

Z hlediska orientace a délky vláken lze rozdělit vláknové kompozity na:

- **Jednosměrné**-vlákna orientována převážně v jednom směru
  - **Krátkovláknové**-poměr délka/průměr  $L/D < 100$
  - **Dlohovláknové**- $L/D > 100$  či vlákna s délkou rovnou rozměru dílce
- **Mnohosměrné**-vlákna jsou náhodně, nebo pravidelně orientována dvěma či více směry
  - **Krátkovláknové**- $L/D < 100$
  - **Dlohovláknové**- $L/D > 100$  [1]

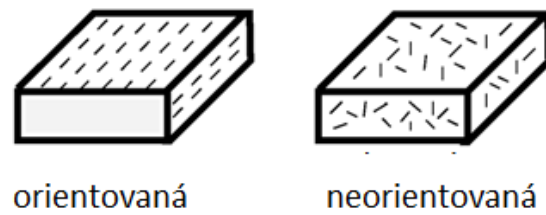
**-prepregy**-(nevytvrzenou pryskyřicí neimpregnované vláknové rohože či tkaniny)

**-lamináty**-(střídání vrstev jednosměrných kompozitů s různými vzájemnými orientacemi výztuže)

**-lamináty s tkanou výztuží**-(střídání vrstev vyztužujících rohoží, ve kterých jsou vlákna před prosycením pryskyřicí utkána běžnými nebo speciálními textilními technologiemi)

**-lamináty s netkanou výztuží**-(střídání vrstev vyztužujících rohoží, ve kterých jsou vlákna zpracována do roun, aniž by byla tkána)

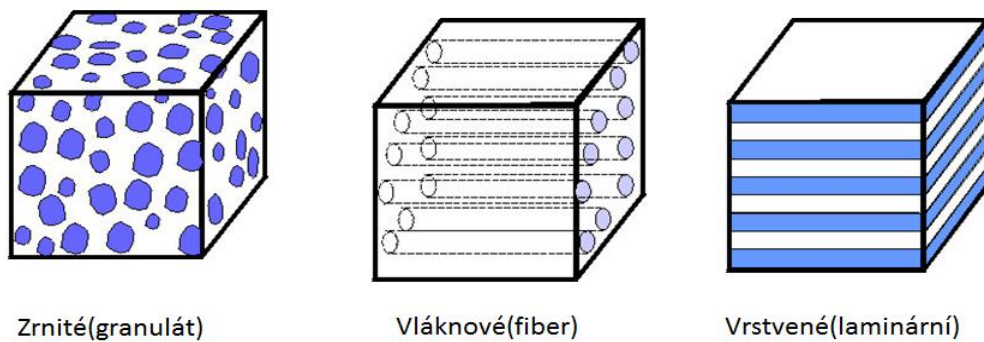
**-tažené profily**-(komplikovanější tvary průřezu lineárních prvků s konstantním průřezem - profilů - s kombinací vyztužujících vláken a netkaných či tkaných rohoží, (desky, trubky, komplikované profily). [3]



Obrázek 3 Orientace vláken. [2]

Dalším kritériem může být způsob dle tvaru disperzní fáze:

- **Zrnité (granuláty)**-obsahují výztuž ve formě granulí
- **Vláknové (fiber)**-obsahují výztuž ve formě vláken
- **Vrstvené (laminární)**-jednotlivé vrstvy v pořadí pryskyřice/vláknno [2]



Obrázek 4 Druhy disperzních fází kompozitních materiálů [2]



## 2 MATRICE (PRYSKYŘICE)

Pod pojmem matrice rozumíme materiál, kterým je prosycen systém vláken a partikulárních komponent tak, že po zpracování vznikne tvarově stálý výrobek-kompozit.

Primárním úkolem matrice je:

- Zafixování geometrického tvaru
- Ochrana vláken
- Přenos sil
- Zajištění stálosti výrobku [4]

V současnosti se používají matrice spíše termosety. Mohou se ale objevit i termoplastické pryskyřice, poskytující určité výhody oproti termosetům. Jako matrice se používají nejčastěji nenasyčené polyestery (UP), vinylestery (VE), epoxidy (EP) a fenolické pryskyřice (PR) pro kompozity s výrazně sníženou hořlavostí. Z celkového objemu pryskyřic celosvětově zpracovávaných vláknových kompozitů připadne asi 75% na nasycené polyestery, 20% na vinylestery a asi 5% na epoxidy, polyimidy, fenolické pryskyřice atd. [3]

### 2.1 Reaktivní pryskyřice

#### 2.1.1 Nenasyčené polyesterové pryskyřice (UP-R)

Jednou jejich složkou je nenasyčená karbonová kyselina (zpravidla vícesytná) a alespoň jednou další komponentou je alkohol (zpravidla vícemocný). Pryskyřice se rozpouští v monomerním rozpouštědle (může být styren), přičemž je současně kopolymerizována.

- Levné, spolehlivé a mnohostranně použitelné lící pryskyřice
- Velká variabilita při zpracování, možnost volby obsahu jednotlivých složek-styrenu a katalyzátoru/urychlovače
- Nevýhodou je velké smrštění při zpracování (6-9%)
- Odolává dobře povětrnostním podmínkám
- Velké nároky na životní prostředí vlivem působení styrenu [4]

### 2.1.2 Vinylesterové pryskyřice (VE-R), nebo fenakrylátové pryskyřice (PFA-R) z fenylových, nebo fenylenových derivátů

Koncová skupina řetězce tvoří esterifikovaná kyselina akrylová. Pryskyřice je rozpuštěna v monomerním rozpouštědle (styren), se kterým je kopolymerizovatelná.

- Oproti UP-R jsou dražší, ale houževnatější
- Velká variabilita při zpracování pomocí sterenu a urychlovače
- Odolává korozi
- Vlivem styrenu zatěžuje životní prostředí [4]

### 2.1.3 Epoxidové pryskyřice (EP-R)

Epoxidy mají vynikající mechanické a elektrické vlastnosti a jsou běžně užívány s kvalitními výztužemi např. s uhlíkovými vlákny nebo i se skleněnými, pokud je podíl výztuže velmi vysoký. Mají dobré elektroizolační vlastnosti v široké oblasti teplot, cenná je i jejich značná odolnost proti vodě, roztokům alkálií i kyselin a některým rozpouštědlům. [2]

- Velmi dobré mechanické vlastnosti zejména pak při dynamickém namáhání
- Vhodné matrice pro vysokopevnostní vlákna
- Dobrá adheze k mnoha druhům podkladu
- Vyšší tepelná odolnost než UP-R a VE-R ( $T_g > 200^\circ\text{C}$ )
- Nevýhodou je vyšší cena (3-4x dražší než UP-R)
- Vyžaduje dodržení přesných poměrů příměsí při výrobě
- Zdravotně závadný-dráždí kůži a může vyvolávat alergii [4]

### 2.1.4 Fenolické pryskyřice

Vyrábějí se kondenzací fenolů a vodných roztoků aldehydů. Fenolické pryskyřice se používá, je-li požadována vysoká odolnost proti ohni, vysoká tepelná odolnost, malý vývin kouře a omezování plamene při hoření.

- Vyroce odolné jak chemicky, tak tepelně, tvarově stálé
- Spadají do kategorie méně používaných reaktoplastických pryskyřic
- Zpracování je ztíženo použitím kyselin a uvolňováním zplodin [4]

### 2.1.5 Metakrylátové pryskyřice (MA-R)

Vyrábějí se z polymerizovatelné směsi polymerních esterů kyseliny metakrylátové.

- Dobře odolávají vodě
- Po smísení s příslušnými činidly lze získat pryskyřici s velmi dobrou nehořlavostí

### 2.1.6 Izokyanátové pryskyřice

Obsahují dostatečné množství izokyanátových skupin potřebných pro vytvrzení. Reaktivní pryskyřice se vytvrzují smícháním s tvrdidly. Mezi hlavní používaná tvrdidla patří iniciátory a urychlovače. Patří zde ale také aldehydy (fenol). [4]

## 2.2 Přísady a činidla

*Urychlovače*- jsou látky, které se přidávají v malém množství a urychlují síťovací reakci.

*Iniciátory (tvrdidla)* - jsou sloučeniny, které iniciují katalyticky polymerizaci pryskyřic MA-R, UP-R, VE-R nebo FA-R, případně ovlivňují vytvrzování v průběhu polyadice epoxidových (EP-R) nebo izokyanátových pryskyřic. [4]

*Přísady* - jako přísady se běžně označují činidla, která se přidávají do matrice. V závislosti na jejich účinku se mohou přísady dělit na tři základní skupiny: přísady redukující cenu, přísady ovlivňující výrobní proces a přísady ovlivňující funkce. Použitím jakékoli přísady se však vždy ovlivní odolnost profilů proti korozi, mechanické a požární vlastnosti.

## 2.3 Retardéry hoření

Retardéry hoření jsou látky, které zlepšují tepelnou odolnost materiálů proti hoření. Mohou najít uplatnění u rozmanitých typů materiálů.

## 2.4 Definice pojmů

Při zpracovávání pryskyřic a k popisu jejich samotných vlastností nám slouží pojmy, podle nichž tyto parametry definujeme.

*Viskozita*- pojmem viskozita rozumíme charakteristickou vlastnost reálné kapaliny. Je mírou toho, jak se kapalina brání tečení. Viskozita je důsledkem smykového napětí, vznikajícího mezi jednotlivými vrstvami kapaliny při jejím toku. Tuto vlastnost vyjadřujeme koeficientem viskozity  $\eta$  (dynamická viskozita). V případě reaktoplastických pryskyřic se měří viskozita na tzv. rotačním viskozimetru.

***Doba gelace (gel time)***- vytvrzením se mění kapalná pryskyřice na pevnou hmotu. Jedním ze základních znaků tohoto procesu je želatinace. Stav vytvrzování, při kterém vzniká první molekula s nekonečně vysokou molekulární hmotností je nazýván bodem gelace.

***Doba zpracovatelnosti***- doba, čili časový úsek, ve kterém by mělo proběhnout zpracování připravené směsi jednotlivých složek po jejich smísení. Toto platí pro reaktivní pryskyřice, používající se jako matrice pro kompozity. [4]

### 3 VÝZTUŽ KOMPOZITNÍCH MATERIÁLŮ

Úkolem výztuže v kompozitním materiálu je především zajistit mechanické vlastnosti materiálu, jako je pevnost a tuhost. Avšak i elektrické vlastnosti závisejí na výztuži, a proto typ výztuže má klíčový vliv na vlastnosti profilu.

#### 3.1 Vyztužující vlákna

Běžně užívaným typem výztuže je skleněné vlákno, uhlíkové vlákno a kevlarové vlákno. Skleněné vlákno dává kompozitu všeobecně dobré vlastnosti, zatímco uhlíková vlákna dodávají vysokou tuhost. Kevlarová vlákna umožní, aby profil odolával rázům. Profily vyztužené skleněným vláknem zajišťují elektrickou izolaci i elektromagnetickou transparentnost, zatímco karbonová vlákna zajišťují elektrickou vodivost profilů. Nejčastěji používanou výztuží ve vláknových kompozitech vyráběných tažením, navíjením i jinými technikami jsou skleněná vlákna. [1]

Druhy kontinuálních vláken:

- skleněná
- čedičová
- uhlíková
- polymerní
- proteinová
- borová
- keramická [1]

#### 3.1.1 Typy produktů výztužných materiálů

Sdružením elementárních vláken (monovláken) vznikají prameny. Ty jsou dále zpracovány na následující polotovary

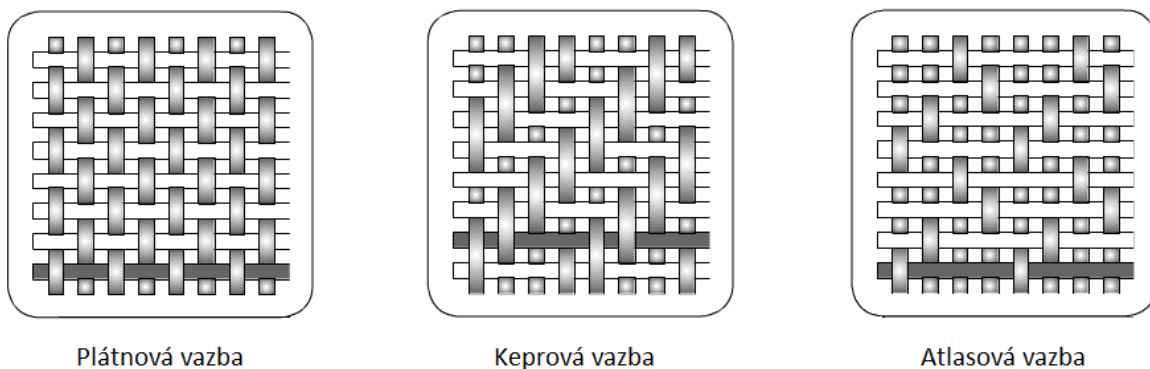
- **Roving-** složen z 20-60 konců, sdružených z rovnoběžně nestočených vláken nebo tažených přímo z taveniny (6-12 000 elementárních vláken). Zpracování se provádí tkaním, navíjením, sekáním, nebo tažením nekonečného pramence.
- **Nitě-** vyrábí se jednostupňové, ale i vícestupňové složené z jedné, nebo více přízí společně spředených. Dále se zpracovávají podobně jako příze.

- **Příze-** vyrábí se spřádáním z vláken a zpracovává se dále na tkaniny, pásy a pletené výrobky.
- **Spředený roving-** vyrábí se z vláken stočených kolem podélné osy.
- **Krátká vlákna-** mletá a na jednotlivé elementární části rozptýlená vlákna o různé délce (0,1 až 5mm), používaná pro vyztužení termoplastů.
- **Tkaniny-** plošné výrobky z vláken, nebo pramenců uložených pravoúhle v útku a osnově, které působí výztužně ve dvou směrech. Zvýšením počtu vláken v osnově vznikají rozdílné typy křížení vláken, které se nazývají vazby.
- **Rohože sekaných pramenců-** netkané plošné výrobky o hmotnosti 300 až 900 g•m<sup>-2</sup>. Vyrábí se z 25 nebo 50 mm dlouhých sekaných vláken nepravidelně plošně uložených. Vlákna jsou uložena do vrstev, postříkána pojivem a po vysušení v pásové sušárně spojena tak, že je možno vzniklou rohož, která se podobá plsti, navíjet do rolí. Role jsou připraveny pro okamžité další použití.
- **Rohože z kontinuálních vláken-** skládají se z nekonečných skleněných vláken, která jsou uložena nepravidelně bez jakékoliv orientace ve smyčkách v několika vrstvách a jsou vzájemně spojena pojivem. Tvarují se lépe, než rohože ze sekaných pramenců.
- **Povrchové (závojové) rohože-** netkané plošné výrobky o hmotnosti 20 až 50 g•m<sup>-2</sup> ze skleněných vláken nebo termoplastových vláken, které se pokládají do povrchové vrstvy laminátu s vysokým obsahem pryskyřice, aby se zamezilo vzniku trhlin. Zabraňují prorážení struktury hrubší výztuže na povrch a zesilují tenké vrstvy. Termoplastové povrchové rohože z polyethylentereftalátu (PET), nebo polyakrylonitrilu (PAN) zvyšují odolnost proti obrusu, jsou však při teplotě nad 40°C citlivé na hydrolýzu a mají nízkou odolnost proti rozpouštědlům. Rohože z C- a ECR skloviny dobře odolávají kyselým a alkalickým roztokům. Stejnou, nebo lepší odolnost vykazují dobře provedené tenké vrstvy – gelcoaty- o tloušťce 0,3- 0,6 mm.[4]

### 3.2 Druhy vazeb výztuže

Rovingové tkaniny mají různou textilní vazbu. Vedle požadavků na tuhost a pevnost kompozitu o vhodné vazbě rozhoduje i tvarová členitost forem. Vzájemné uspořádání osnovy a útku vytváří tři základní typy vazeb:

- **plátnová vazba**-je nejpevnější a také nejméně poddajná při tvarování, když prameny (nebo rovingy) v osnově i útku jsou stejně silné a stejnoměrně vzdálené. Pramenec útku prochází vždy pod a nad každým pramenem osnovy (tzv. vyvážená plátnová vazba). Volnější a tím i poddajnější plátnovou vazbu vytvářejí dva a více pramenů útku procházejícího pod dvěma, nebo více nitěmi osnovy (košíková vazba)
- **keprová vazba**-je vytvořena, když útek překříží minimálně 2 prameny osnovy, než opět projde pod jedním nebo více prameny osnovy. V další řadě se útek posouvá doprava nebo doleva vždy k nejbližšímu prameni osnovy. Na tkanině je tak vytvářen diagonální vzor. Pokud je použita vazba např. 3/1, znamená to, že jeden pramen osnovy je překryt třemi prameny útku a jedním pramenem na spodní straně (vzniká lomený vzor). Tkanina s keprovou vazbou je ohebnější, ovšem pouze při měkké povrchové úpravě vláken
- **atlasová vazba**-je nejméně pevnou textilní vazbou. Jeden pramen osnovy je překryt čtyřmi a více prameny útku svrchu a jedním pramenem ze spodní strany. Počet pramenů osnovy překrytých útkem udává tzv. vaznost atlasu (5 až 12). Povrch tkaniny je hladký a lesklý, s dlouhými ploškami, v nichž vlákna leží rovnoběžně s povrchem. Vazba umožňuje dosáhnout vysoký objemový podíl vláken ve vrstvě kompozitu a zaručuje minimální zvlnění vláken. S atlasovou tkaninou je tedy možno získat kompozit s větší pevností a tuhostí než při použití běžných tkanin.[5]

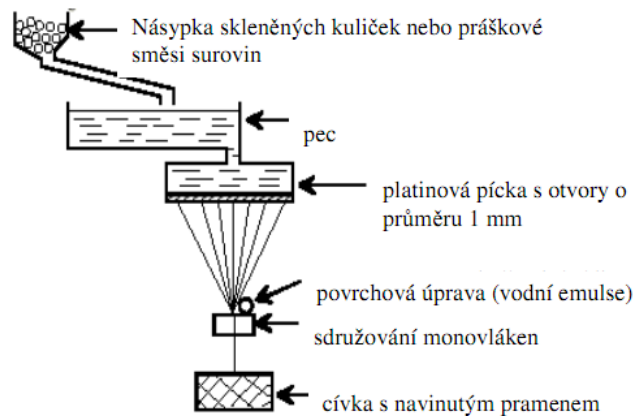


Obrázek 5 Druhy vazeb výztuže [7]

### 3.3 Materiály vláken

#### 3.3.1 Skleněná vlákna

Skleněná vlákna mají silikátový základ ( $\text{SiO}_2$ ). Vyrábějí se tažením taveniny směsi oxidů Si (s příměsí oxidů Al, Ca, Mg, Pb a B) s velmi malým podílem oxidů alkalických kovů Na a K. Potřebného průměru vláken se dosáhne dloužením proudu skla tekoucího tryskami (průměr trysky 1 mm) ve dnu zvláknovací hlavy. Konečný průměr vlákna je dán rozdílem mezi rychlostí vytékání skloviny a rychlostí odtahování „monovláken“. Monovlákna se po povrchové úpravě (sizing) sdružují do pramene a navíjejí se na cívku. Sdružením pramenů vzniká roving (kabílek). Schéma výroby skleněných vláken je na následujícím obrázku. Vyrábí se rychlým tažením z taveniny.



Obrázek 6 Schéma výroby skleněných vláken [5]

V kompozitech jsou používána vlákna ze skloviny E, S, C (kyselinám odolná vlákna), ACR (vlákna odolná alkáliím), L vlákna (se zvýšeným obsahem olova a křemenná vlákna).



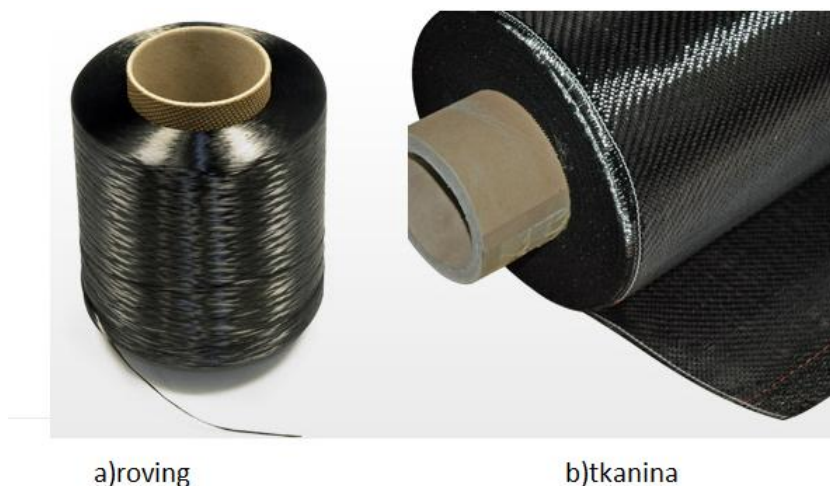
Obrázek 7 Roving skelného vlákna [10]



- Textilní skleněná vlákna (GF-Glass fiber) jsou tenká vlákna o průměru 3,5-24 $\mu$ m s pravidelným kruhovým průřezem. Vlákna mají amorfni strukturu a jsou izotropní, na rozdíl od uhlíkových a aramidových vláken.
- Modul pružnosti v tahu (E-modul) je přibližně 1/3 hodnoty oceli a cca stejný jako u hliníku. Pevnost v tahu je podstatně vyšší než u oceli.
- Bod měknutí skloviny E je nad teplotou 625°C
- Skelná vlákna jsou nehořlavá, výborně se tak hodí pro použití ve výrobě kompozitů
- Snáší i dlouhodobé tepelné namáhání kolem 250°C a při tom neztrácí hodnoty mechanických vlastností
- Značně nízký součinitel teplotní délkové roztažnosti. Menší jako většina konstrukčních materiálů. [4]

### 3.3.2 Uhlíková vlákna

Mají nejširší spektrum mechanických vlastností při poměrně malé hustotě (1,8-2 g/cm<sup>3</sup>). Uhlík ve styku s méně ušlechtilými kovy vytváří galvanický článek – dochází k elektrochemické korozi, při níž koroduje kov. Kompozit s uhlíkovými vlákny musí být proto od kovu oddělen nevodivým materiálem (například kompozitem se skleněnými vlákny). [5]



Obrázek 8 Uhlíkový roving a tkanina [9]

- Uhlíková vlákna obsahují více než 90% uhlíku, mají průměr 5 až 10  $\mu$ m. Velkou výhodou je široká škála rozsahu E-modulu a pevnosti. Silná anizotropie se významně projevuje i na délkové teplotní roztažnosti ve směru orientace vláken.

- Uhlíková vlákna (CF-Carbon Fiber) jsou vlákna vyznačující se extrémně vysokou pevností a tuhostí. Nevýhodou je poměrně nízká tažnost. Výchozí organické suroviny ve vláknitém stavu jsou nejprve karbonizovány. Přitom se odštěpí téměř všechny prvky až na uhlík. S rostoucí teplotou a současně se zvyšující grafitizací se zlepšují také mechanické vlastnosti. Tvorba grafitové struktury je ukončena s dosažením teploty 1800°C
- Proti syntetickým vláknům mají výhodu progresivního deformačního charakteru chování-čím vyšší zatížení, tím stoupá modul pružnosti E
- Vysoká pevnost při teplotách dosahujících až 500°C
- Velmi dobrá elektrická i tepelná vodivost
- Snášelnost s tělesnými tkáněmi-vhodný materiál pro implantáty
- Ve srovnání se skelnými vlákny jsou uhlíková silně anizotropní
- Při zpracování se upravují apretací směsí na bázi epoxidové pryskyřice, jelikož za normálních podmínek jsou velmi křehká a lámou se. Úprava slouží zároveň jako ochrana při zpracování a dobře pojí vlákno s matricí
- Při delším skladování vlákna ztrácejí ohebnost, z důvodu vytvrzení apretační povrchové vrstvy
- Umožňují dobrý průchod záření a neodráží radarový paprsek
- Dynamické vlastnosti laminátu s uhlíkovým vláknem jsou lepší, než u jakýchkoliv ostatních materiálů.[4]

### 3.3.3 Aramidová vlákna

Vlákna na bázi lineárních organických polymerů (AF-Aramid Fiber), jejichž kovalentní vazby jsou orientovány podle osy vlákna. Předností těchto vláken je vysoká pevnost a tuhost. Molekuly jsou vzájemně spojeny pomocí vazeb vodíkových můstků. Vysoká tuhost a současně vysoká hustota struktury řetězců je umožněna díky pravidelnému uspořádání fenylových jader amidových skupin s vazbami vodíkových můstků. Orientace krystalických nadstruktur a z nich složených fibril kolísá podle modelových představ více či méně kolem osy vláken. To zdůvodňuje rozdíl hodnot skutečného a teoretického E-modulu. Aramidová vlákna jsou na trhu dostupná ve formě pramenců, tkanin, přízí a povrchových rohoží. Na trhu je dostupná modifikace aramidového vlákna známá pod názvem Kevlar.

Jsou zpracovatelná se všemi běžnými reaktivními pryskyřicemi i termoplasty.



Obrázek 9 *Aramidový roving* [11]

- Vlastnosti měřené ve směru vlákna se značně liší od vlastností měřených v příčném směru-silná anizotropie.
- Vysoká pevnost v tahu, je to nejlehčí vyztužující vlákno.
- Při konstrukčním řešení je třeba brát zřetel na nestejnou pevnost v tlaku, která je na rozdíl od pevnosti v tahu ve směru vláken výrazně nižší.
- Vlákna se před použitím musí vysušit, aramidová vlákna jsou hydrofilní a absorbují až 7% vlhkosti. Vlhkost negativně ovlivňuje pevnost spoje mezi matricí a vláknem.
- Jsou náchylná na záření (například UV) a dohází ke snižování pevnosti spoje.
- Jedná se o organická vlákna, tudíž nepříliš dobře odolávají vysokým teplotám. Ve formě kompozitu jsou schopna odolávat až teplotám kolem 300°C a jsou proto vhodná na použití do protipožárních obleků.
- Po vytvrzení se konstrukční prvky z aramidových vláken těžce obrábí.[4]

### 3.3.4 Čedičová vlákna

Jde o vlákna s vlastnostmi podobnými skleněným vláknům typu S. Výhodou je jejich cena, která činí asi 60 % S vláken a dobrá chemická odolnost. Výroba je analogická výrobě skleněných vláken, teplota tavení je 1400°C.

Složení čediče i technologie používaná při zpracování nahrazovala dříve skleněná vlákna ve vojenském průmyslu.

### 3.3.5 Přírodní vlákna rostlin

Organická přírodní vlákna jsou získávána z pěstovaných rostlin. Přírodní vlákna jsou nyní používána jako výztuž tvarovaných velkoplošných dílů pro interiéry osobních automobilů (u nás dřevěné piliny, obsahující vlákna celulózy).

- jedná se o lacinou výztuž
- dochází k úspoře polymeru
- je možný rychlejší výrobní cyklus (větší tepelná vodivost)
- odpad je recyklovatelný
- povrch výrobku má přírodní vzhled
- vlákna nezpůsobují opotřebení zpracovatelských strojů
- použitím výztuže z přírodních vláken klesne cena výrobku [4]

Tabulka 2 Parametry vláken vybraných materiálů [2]

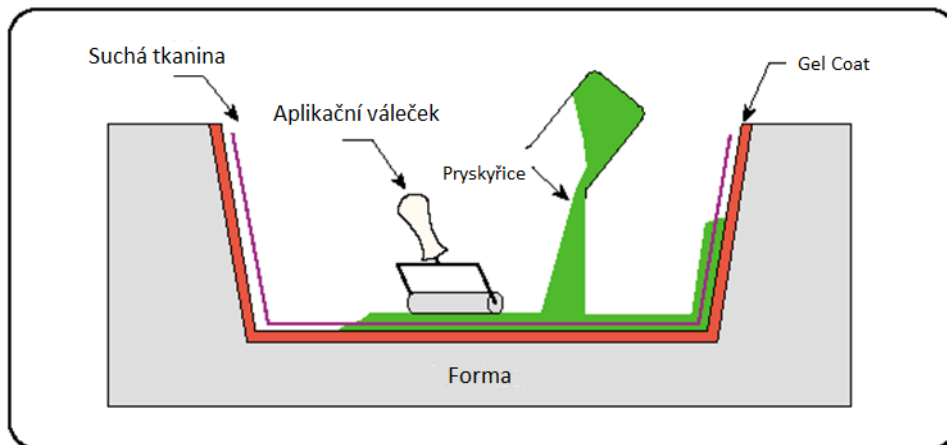
Typ vlákna	Sklo	Aramid	HS-uhlík	HM-uhlík	Hliník	ocel
Modul pružnosti v podélném směru $E_L$ [MPa]	74 000	130 000	230 000	390 000	75 000	210 000
Modul pružnosti v příčném směru $E_T$ [MPa]	74 000	5 400	15 000	6 000	75 000	210 000
Modul pružnosti ve smyku $G_{L,T}$ [MPa]	30 000	12 000	50 000	20 000	30 000	81 000
Pevnost v tahu $\sigma_L$ [MPa]	2 100	3 000	5 000	3 800	500	1 800
Hustota $\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	2 500	1 500	1 600	1 700	2 700	7 850
Cena [USD/kg]	100% \$30	800% \$250	600% \$185	1800% \$600	6% \$2	<3% <\$1

## 4 ZPRACOVATELSKÉ TECHNOLOGIE

Základní dělení technologií lze provést podle formy. Je to:

- Otevřená forma (jednodílná)
- Uzavřená forma

### 4.1 Ruční kladení za mokra:



Obrázek 10 *Ruční kladení za mokra* [2]

Výztuže ve formě tkanin, nebo rohoží se ve výrobní formě, která je otevřená, postupně přesycují pryskyřicí v tekutém stavu pomocí ručního nářadí (štetce, válečky). Pryskyřice vytvrzují při standardních atmosférických podmínkách. Dotvrzuje se při teplotách kolem 80°C. Používají se polyesterové, epoxidové, vinylesterové, fenolické pryskyřice. Výztuže sklo, uhlík, čedič, kevlar a přírodní vlákna –juta, konopí.

- Je možné vyrobit i velmi rozměrné a tvarově složité výrobky
- Jednoduchá a rozšířená technologie, vhodná pro malé série, poměrně nízké náklady na výrobní formu
- Kvalita výroby se odvíjí od zručnosti pracovníků
- Nevýhodou je ovlivnění pracovníků výparů styrenu.
- Odpařování reaktivního rozpouštědla do ovzduší je možno potlačit použitím pryskyřic s vosky, vytvářejícími na povrchu stojící pryskyřice nepropustnou vrstvu (pryskyřice se sníženou emisí rozpouštědla). Při prosycování výztuže je však účinek vosku zanedbatelný.

### *Aplikace*

- Výroba obkladů karoserií dopravních prostředků (autobusy, tramvaje)
- Výroba lodí, krytů přístrojů. [5], [2]

## **4.2 Ruční kladení prepregů, vytvrzování v autoklávu**

Jde o technologii vhodnou pro kusovou výrobu mechanicky namáhaných kompozitových dílů. Do otevřené formy opatřené vrstvou separátoru je vložena odtrhová tkanina chránící povrch kompozitu před znečištěním. Do formy jsou vkládány (dle zvolené skladby laminátu) orientovaně nařezané prepregy. Položí se potřebný počet vrstev a je přiložena opět odtrhová vrstva, poté vrstva umožňující odsát přebytek pryskyřice. Dále se aplikují ostatní elementy potřebné pro výrobu a připravená forma je vložena do přístroje zvaný AUTOKLÁV. Zde se odsaje vzduch a za přítomnosti vakua začne ohřívání. Při teplotě 120-200°C nastane vytvrzování pryskyřice. Chladnutí je pomalé, aby pnutí v materiálu mohla relaxovat vnitřní pnutí v materiálu. [5]

**Prepreg** - předem předimpregnovaná výztuž, odpadá starost s přesycováním materiálu pryskyřicí, dochází k dokonalému přesycení a spojení vyztužujících vláken vlivem ohřevu na požadovanou teplotu. Prepregy je nutné skladovat při teplotě -20°C. [4]

- Výrobky jsou kvalitní
- Dokonalé přesycení
- Suchá metoda-odpadá starost s použitím tekuté pryskyřice
- Nevýhodou je velká investice do autoklávu [5]

### *Aplikace*

- V leteckém a automobilovém průmyslu
- Sportovní nářadí (snowboardy, lyže, tenisové rakety)
- Vojenský průmysl [2]

### 4.3 Strojní kladení prepregů, vytvrzování v autoklávu

Jedná se o technologii s použitím kladecích strojů. Počítačem řízení kladecí stroje jsou vybaveny kladecí hlavou, která se pohybuje nad otevřenou formou a má dostatečný počet stupňů volnosti. Kladecí hlava sejme separační fólii, předehřeje prepreg a kladkou jej přitiskne k předchozím vrstvám. Pro reaktoplastické matrice, zpracovávané při mírně zvýšených teplotách, vyhovuje kladka tvořená polyethylenovými disky, na které se pryskyřice v B stavu nelepí. Na konci jedné položené stopy kladecí hlava prepreg odřízne. Tloušťka dílů může být značná (u vojenského letounu F22 je tloušťka křídla v místě upevnění k trupu 15 mm, je tvořena 120 vrstvami). Proces strojního kladení je značně rychlý (oproti ručnímu) a velmi přesný, jelikož je vyloučeno selhání člověka. Zvolená orientace jednotlivých vrstev je zaručena. [5]

- Rychlost pracovní stanice
- Možnost automatizace
- Velká přesnost a také vyluka chyby člověka
- Nevýhodou je velký vznik odpadu a vyšší cena prepregů

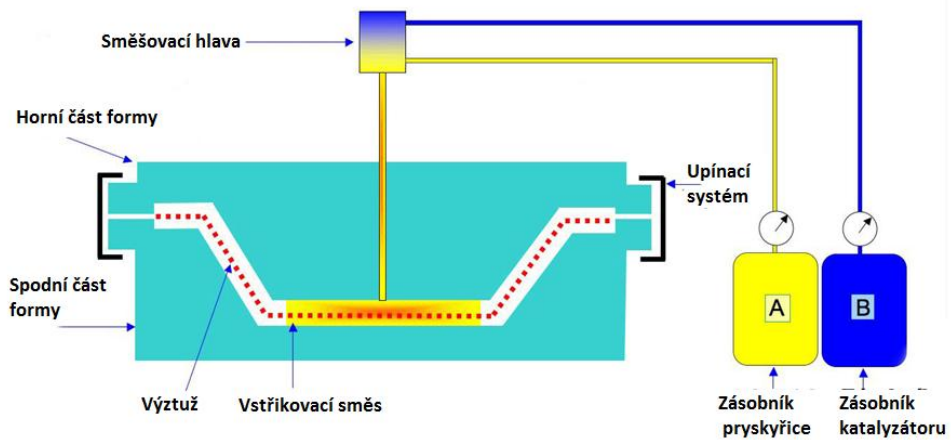
#### *Aplikace*

- Letectví
- Motorsport



Obrázek 11 Autokláv [2]

#### 4.4 Technologie nízkotlakého injekčního vstřikování (Resin Transfer Moulding)



Obrázek 12 Schéma RTM technologie. [2]

Jde o technologii s uzavřenou formou, při které se při použití UP a VE pryskyřic do okolního prostoru neuvolňuje reaktivní rozpouštědlo. Ohřátá pryskyřice a ohřáté tvrdidlo se pomocí čerpadel dopravují do míšící hlavy bezprostředně před injektáží směsi do ocelové nebo hliníkové formy. Výhodou RTM je, že oba povrchy dílu jsou hladké a rozměry dílu jsou přesné. [5]

Díky relativně krátkým výrobním cyklům a reprodukovatelné kvalitě je RTM vhodná technologie pro vyšší série, řádově stovky až tisíce kusů.

- Větší investice do vstřikovacích zařízení, velké náklady na výrobu forem.
- Náklady na protikus formy je možné snížit použitím tzv. distančních voskových fólií, odpovídající hloubce výrobku, odpadá tak výroba druhého modelu.
- K manipulaci s těžkými formami musí být k dispozici mechanické stroje.

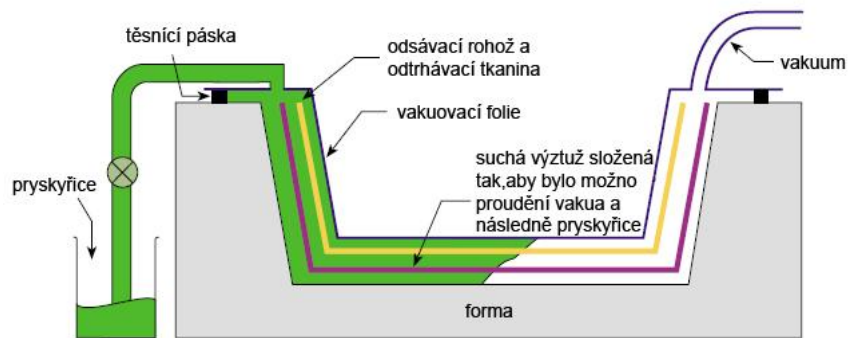
Používají se polyesterové, epoxidové, fenolické pryskyřice. Výztuž je ve většině případů sklo, v leteckém průmyslu uhlík. [6]

#### *Aplikace*

- *Letectví*
- *Motoristické sporty*
- *Autobusová doprava*
- *Vlaková doprava*



#### 4.5 Vakuové prosycování (Vacuum Infusion)



Obrázek 13 *Vakuové prosycování* [6]

Jedná se o výrobní metodu, kdy do předem připravené formy jsou položeny suché výztuže (rohože, tkaniny atd.). Na výztuž se pokládají další, pro tuto technologii nezbytné, materiály, počínaje odsávací tkaninou, odtrhovou tkaninou. Je třeba zavést „přepadové“ kanály pro zachycení přebytku pryskyřice, distribuční kanály pro přívod pryskyřice a aplikaci vakua a další komponenty.

Vakuová infuze využívá podtlak pro distribuci pryskyřice v proložených vrstvách výztuže. Pryskyřice je nasávána prostřednictvím systému hadiček a pomocí distribučního média do připravené výztuže.

- Používají se materiály všeho druhu. Od tkanin na bázi skelných, uhlíkových, nebo aramidových vláken. Popřípadě jejich kombinace o různé gramáži a stylu tkaní s různou orientací.
- Je možno vkládat materiály pro tvorbu sendvičových struktur.
- Jako pojiva se používají polyesterové i epoxidové nízkoviskózní pryskyřice.
- Pro velkorozměrové dílce vzhledem k dlouhým dobám prosycování je třeba volit vytvrzovací systémy s dlouhou dobou zpracovatelnosti.
- Metody vakuového prosycování jsou obzvláště vhodné pro velkorozměrné díly jako trupy a paluby lodí, velké dílce pro kapotáž lokomotiv a vagónů, lopatky větrných elektráren apod., kde by jiné metody byly velmi pracné (ruční kladení) nebo neúnosně nákladné (RTM nebo klasické lisování).
- Pracovní cykly jsou ovšem delší, někdy až několik hodin.

- Infuzní prosycování je vhodné pro malé až střední série.

### *Aplikace*

- Lodní průmysl (výroba trupů lodí, člunů, jachet) [2], [6]



Obrázek 15 *Výroba trupu lodě metodou vakuového prosycování* [2]



Obrázek 14 *Část trupu dopravního letadla* [2]

## 5 MECHANIKA KOMPOZITNÍCH MATERIÁLŮ

Obrovskou výhodou vláknových kompozitů je možnost měnit jejich elastické vlastnosti a pevnost „pouhou“ změnou prostorového uspořádání výztuže, jejího druhu (roving, rohož, tkanina atd.), poměru mezi obsahem výztuže a pojiva a také druhem technologie výroby. Použitím stejných základních komponent (vlákna, pryskyřice) můžeme tedy efektivně vyrobit velkou škálu odlišných materiálů. Tato možnost u materiálů jakou jsou např. oceli, dřevo či hliník není možná, nebo je značně omezená.

Na poli kompozitních materiálů se setkáváme s pojmy, které charakterizují strukturu a její symetrii.

**Struktura homogenní** - označuje jednofázovou, jednokomponentní látku, jejíž fyzikální vlastnosti jsou ve všech místech tělesa stejné.

**Struktura heterogenní** - pokud se materiál skládá z více komponent, nebo fází téže komponenty.

Běžně jsou jednotlivé komponenty kompozitních materiálů tvořeny chemicky odlišnými jednofázovými (homogenními) látkami. Komponenty mohou být i dvou a vícefázové.

Další charakteristikou kompozitů je symetrie jejich fyzikálních vlastností, která je zároveň odlišuje od většiny tradičních konstrukčních materiálů.

**Izotropní materiál** – vlastnosti jsou ve všech směrech stejné

**Ortotropní materiál** – má tři na sebe kolmé roviny symetrie materiálových vlastností

**Anizotropní materiál** – vlastnosti materiálu nevykazují žádné roviny symetrie

**Kvaziizotropní materiál** – je druhem kompozitního materiálu, který lze v makroskopickém měřítku (v rámci celého dílce) považovat za izotropní v rovině vláknité výztuže, mikroskopicky je však takovýto materiál anizotropní.

Mechaniku kompozitních materiálů rozčleňujeme do dvou základních kategorií:

### 5.1 Mikromechanika

Se zabývá výpočtem vlastností laminy (kompozitní vrstvy) z odpovídajících vlastností jednotlivých komponent a z informací o geometrii, orientaci, uspořádání, mezifázové adhezi a

objemovému zlomku výztuže. Mikromechanické výpočty jsou nejdůležitější při odlaďování materiálových vlastností a dovolují vypočítat limitující faktory při zlepšování vlastností kompozitů. Srovnání experimentálně zjištěných vlastností s teoretickými limitami umožňuje smysluplně zjistit, zda daný kompozit dosáhl svého maxima užitných vlastností (blíží se horní limitě) nebo zda jeho potenciál nebyl zcela využit (je od horní limity dostatečně vzdálen)

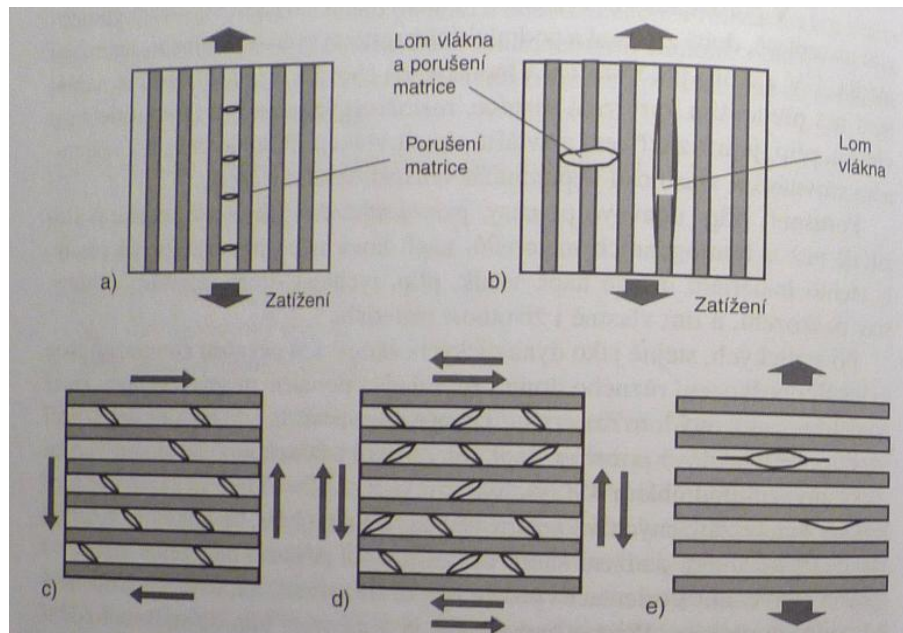
## 5.2 Makromechanika

Určuje na základě znalostí vlastností jednotlivých vrstev (lamin) spočítat vlastnosti mnohovrstevnatého kompozitu – laminátu – z údajů o počtu, orientaci, tloušťce a uspořádání vrstev (lamin). Přitom je zanedbávána mikrostruktura kompozitu (heterogenita) a jednotlivé vrstvy jsou považovány za homogenní a ortotropní. Makroskopické výpočty se tedy vztahují buď k tzv. „transformované lamině“ nebo ke konkrétnímu tvaru dílce či kompozitního profilu a převládajícímu způsobu jeho namáhání (laminát). Makromechanické výpočty navíc umožňují eliminovat předem materiálové varianty nevhodné pro řešení konkrétního problému a navrhnout optimální počet vrstev a jejich orientaci vůči působícímu – zpravidla víceosému – namáhání. [3]

## 5.3 Mechanismy porušování

U laminátů namáhaných vícenásobným zatížením je větší riziko vzniku *mezivláknového poškození* než u jednosměrné výztuže při namáhání ve směru vláken. Vliv poškození závisí na druhu zatížení. Nepravidelnosti vláken, nedostatky v adhezním spojení, vzduchové bubliny, to vše se projevuje na koncentraci protažení a napětí. Vznik různých typů trhlin lze očekávat podle druhu zatížení. Nejlépe je porušování znázorněno na jednosměrně vyztuženém kompozitním materiálu.

U jednosměrně vyztužených materiálů může dojít – dle tažnosti jednotlivých složek – k různým mechanismům poškození v závislosti na druhu namáhání (viz obr. níže).



Obrázek 16 Trhliny v matrici v jednosměrně vyztužené struktuře kompozitu [4]

- Zatížení tahem podél vláken, vrubový násobný lom matrice při  $\epsilon_{mP} < \epsilon_{fP}$
- Zatížení tahem podél vláken, lom vláken při  $\epsilon_{mP} > \epsilon_{fP}$
- Mezivrátkové trhliny pod úhlem  $45^\circ$  při smykovém zatížení, zastavené u vláken, nebo působící jako příčina mikroodtržení podél vláken
- Mezivrátkové trhliny pod úhlem  $\pm 45^\circ$  při střídavém smykovém napětí vedou k rychlejšímu rozvolnění
- Mezivrátkové trhliny a odtržení vlákna od matrice v rozhraní při zatížení tahem ve směru kolmo k vláknům

#### 5.4 Ortotropní vrstva

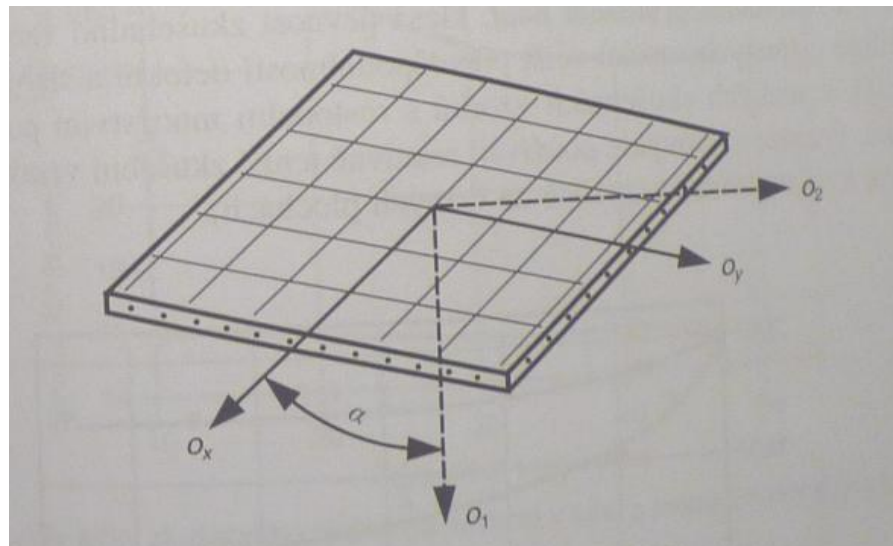
U vyztužených kompozitních materiálů se setkáváme s projevem značné nehomogenity a anizotropie. Tyto kritéria musí být zohledněna nejen při vyšetřování jejich vlastností, ale také při výrobě zkušebních těles. Pro svoji vysokou pevnost jsou vyztužené plasty vhodné zejména tenkostěnné konstrukce stavu tzv. rovinné napjatosti. Tato napjatost existuje například v desce, která je zatížena silami působícími v její rovině. V pravoúhlém souřadném systému s osami ( $o_x$ ,  $o_y$ ) je přetvoření popsáno *normálovými deformacemi* ( $\epsilon_x$ ,  $\epsilon_y$ ) a *zkosem* ( $\gamma_{xy}$ ), které jsou vyvolány napětími ( $\sigma_x$ ,  $\sigma_y$ ,  $\tau_{xy}$ ). Hookeův zákon vyjadřuje lineární závislost mezi složkami přetvoření a napětí. U kompozitů se jedná nejčastěji o *ortotropii* (*ortogonální anizotropii*).

$$\varepsilon_x = \frac{\sigma_x}{E_x} - \frac{\mu_{xy}}{E_y} \sigma_y \quad (1)$$

$$\varepsilon_y = \frac{\sigma_y}{E_y} - \frac{\mu_{yx}}{E_x} \sigma_x \quad (2)$$

$$\mu_{xy} = \frac{1}{G_{xy}} \tau_{xy} \quad (3)$$

Rovinná *ortotropní vrstva* je charakterizována čtyřmi charakteristikami. Třemi moduly pružnosti  $E_x$ ,  $E_y$ ,  $G_{xy}$  a Poissonovým číslem  $\mu_{xy}$  (x znamená směr kontrakce vyvolané zatížením ve směru y). Pro obecný systém souřadnic  $o_1, o_2$  je nutný větší počet elastických veličin, ty však lze stanovit pomocí zmíněných čtyř základních elastických charakteristik a úhlu  $\alpha$  (viz obr. níže).



Obrázek 17 Znárodnění hlavních os ( $o_x, o_y$ ) ortotropního materiálu [4]

Při neuspořádaném uložení vláken v polymerní matrici (při kterém nedochází k orientaci vláken v některém směru), což je případ laminátů vyztužených rohoží, jsou elastické charakteristiky při rovinné napjatosti směrově nezávislé. Tyto v rovině izotropní materiály jsou potom dostatečně charakterizovány dvěma elastickými veličinami, např.  $E$  a  $\mu$ . [4]

## 5.5 Zkoušky mechanických vlastností

Základní rozlišení zkoušek mechanických vlastností materiálů je dlouhodobé a krátkodobé zkoušení. Další kritérium rozdělení je potom jednorázové a cyklické zkoušení. Z hlediska velmi různorodého složení jak chemického, tak morfologického nelze jednoznačně určit

pro všechny materiály jednotné podmínky, při kterých se mají dané zkoušení uskutečňovat a příslušné normy upravují tyto podmínky jen obecně. Výběr podmínek pro konkrétní druh materiálu a zkoušku je zahrnut buď směrnici normy, nebo je problematika ponechaná na kvalifikovaném specialistovi a jeho odborných znalostech a zkušenostech. Nejdůležitějším faktorem je uvážení, jakým způsobem bude daný výrobek při jeho používání namáhán.

Nejrozšířenější skupinu zkušebních postupů na testování mechanických vlastností jsou bezpodmínečně zkoušky, zkoumající vliv působení vnějších sil na deformaci daného tělesa. Mezi takovou zkoušku patří také zkouška tahem. [7]

### 5.5.1 Tahová zkouška

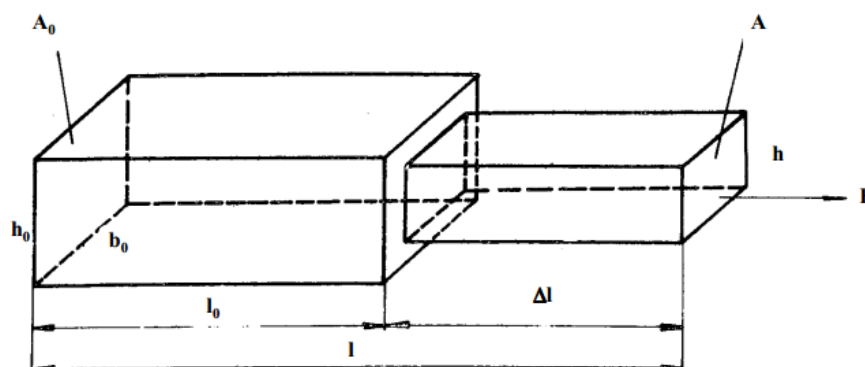
Princip tahové zkoušky je velmi jednoduchý. Na zkušební těleso se působí silou až do jeho přetržení, přičemž se snímá síla a deformace v různých stádiích zkoušení. Základní parametry vyhodnocení jsou pevnost, prodloužení při přetržení a moduly.

Při zkoušce tahem je těleso upnuto do čelistí trhačího stroje, postupně se konstantní rychlostí natahuje, přičemž s rostoucí deformací roste síla, která je potřebná pro udržení konstantní rychlosti posunu čelistí. S rostoucí silou roste i napětí - síla vztažená na jednotku průřezu vzorku. (4)

$$\sigma = \frac{F}{A_0} \quad (4)$$

Závislost napětí na velikosti deformace se nazývá tahová křivka a její tvar je závislý od typu namáhaného (zkoušeného) materiálu.

Při sestrojování tahových křivek a výpočtech napětí v okamžiku diskrétní deformace nastává problém, protože vlivem deformačních změn dochází ke změně průřezu zkoušeného tělesa –obrázek 18.



Obrázek 18 Změna geometrie průřezu při tahové zkoušce [7]

Legenda:

$l_0$ ...původní délka zkušební tělesa

$b_0$ ...původní šířka zkušební tělesa

$h_0$ ...původní výška zkušební tělesa

$l, b, h$ ...veličiny po deformaci

Působením síly dochází k deformaci tělesa, přičemž se těleso prodlouží na délku  $l$ , výška se sníží na hodnotu  $h$  a šířka na hodnotu  $b$ . V důsledku změny výšky a šířky vzorku se původní průřez vzorku  $A_0=b_0.h_0$  změní na průřez  $A=b.h$ . přičemž se zvyšuje napětí oproti původnímu průřezu  $A_0$ . Relativní změna délky zkoušeného tělesa se nazývá relativní prodloužení  $\varepsilon_l$  (5):

$$\varepsilon_l = \frac{l-l_0}{l_0} = \frac{\Delta l}{l_0} \quad (5)$$

relativní změna průřezu se vyjadřuje obdobným způsobem relativním zkrácením šířky  $\varepsilon_b$  a změnou výšky vzorku podle rovnic (6 a 7).

$$\varepsilon_b = \frac{\Delta b}{b_0} \quad (6)$$

$$\varepsilon_h = \frac{\Delta h}{h_0} \quad (7)$$

Vztah mezi relativním prodloužením a relativním zkrácením se nazývá *Poissonův poměr*  $\mu$  rovnice (8)

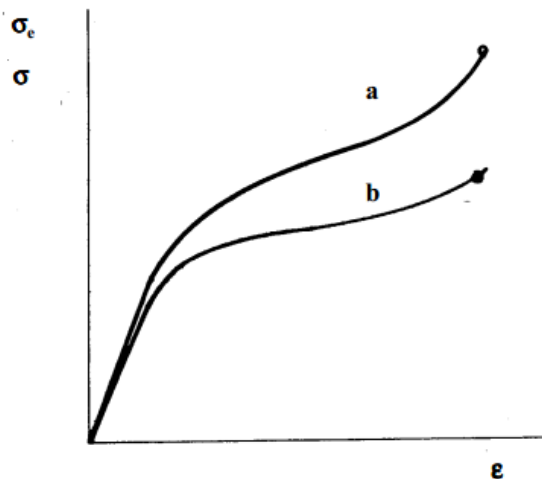
$$\mu = \frac{\varepsilon_b}{\varepsilon_l} = \frac{\varepsilon_h}{\varepsilon_l} \quad (8)$$

Z hlediska chování deformace vzorku při tahové zkoušce se nejčastěji vyhodnocuje relativní prodloužení v procentech původní délky pracovní části tělesa.

Při malých deformacích vzorku (malých hodnotách relativního prodloužení) je možné změny v průřezu vzorku zanedbat, avšak při vyšším stupni deformace dochází k odchylkám efektivního napětí ( $\sigma_e$ ) od smluvního napětí  $\sigma$ . Smluvní napětí je definováno jako poměr působící síly na původní průřez vzorku před zkouškou ( $A_0$ ) a efektivní napětí jako poměr působící síly na skutečný průřez vzorku odpovídajícímu danému stupni deformace.



Rozdíl v tvaru tahové křivky vypočítané pro smluvní a skutečný průřez vzorku –obrázek 19.



Obrázek 19 Průběh tahových křivek: a-efektivní napětí; b-smluvní napětí [7]

Snímání okamžitého průřezu vzorku v průběhu měření je obtížné, přesto se tahové křivky sestavují a vyhodnocují pro smluvní napětí, tj. do úvahy se bere jenom původní průřez tělesa. Nejmodernější přístroje jsou schopny snímat kontinuální změny rozměrů průřezu tělesa. V souvislosti se stanovením Poissonova poměru je snímání změny průřezu vzorku zakotveno i v normách.

Nejčastěji stanovované napětí, které se z tahových křivek stanovuje je napětí při přetržení nazývanější se *pevnost v tahu* a relativní prodloužení při přetržení nazývané v běžné praxi jako *tažnost*. Počáteční část tahové křivky je možno pokládat za lineární, nebo jí lineárně aproximovat. Z této části lze vyhodnotit konstantu úměrnosti mezi napětím a deformací, která se nazývá Youngův modul pružnosti  $E$ , jenž je definován podle Hookeova zákona rovnice (9).

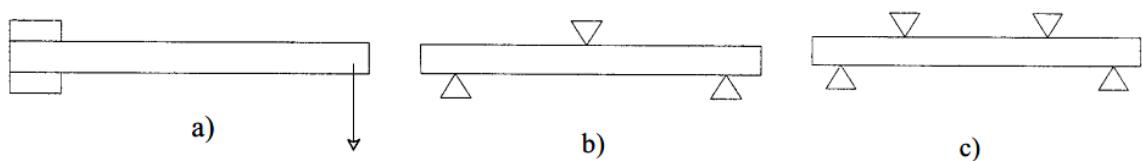
$$\sigma = E \cdot \varepsilon \quad (9)$$

Z Hookeova zákona se dá odvodit jednotka modulu pružnosti, která je totožná s jednotkou napětí – MPa. Hodnota modulu pružnosti vyjadřuje tuhost materiálu. Čím je hodnota Youngova modulu vyšší, tím je materiál tužší, to znamená, že na malé změny v prodloužení je potřeba vyvinout vysoké napětí. Tyto stanovující kritéria jsou v případě kompozitních materiálů důležité v konstrukčních návrzích. [7]

### 5.5.2 Ohybová zkouška

Určování modulu a pevnosti v ohybu u kompozitních materiálů a plastů je téměř stejně časté jako vyhodnocení zkoušky tahem. Při zkoušce ohybem je napětí v tělese rozloženo kontinuálně. Na vnějším ohybu je maximální hodnota napětí v tahu, které postupně v průřezu tělesa klesá, přechází přes neutrální osu, za kterou postupně přechází na napětí v tlaku. To dosahuje svého maxima na povrchu vnitřní strany ohybu zkušební tělesa.

Při testování těles na ohyb mohou být zkušební vzorky upevněny -obrázek 20.



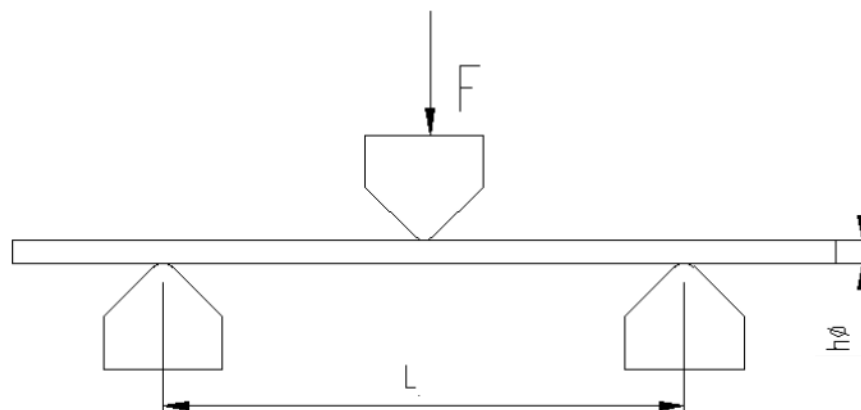
a) jednoduchá konzole; b) trojbodový ohyb; c) čtyřbodový ohyb

Obrázek 20 Možnosti experimentálního uspořádání při zkoušce ohybem [7]

Zkouška ohybem pro kompozitní materiály a plasty je předmětem normy **ČSN ISO 178 (64 0607)**. Tato norma je stanovena pro tříbodový ohyb. Z důvodu změny charakteru napětí v průřezu vzorku z tahu na tlak, napětí a deformace je definována jen pro vnější povrch ve středovém bodě rozpětí tělesa daného dvěma vnějšími opěrnými body.

Rozměry tělesa upravuje norma v závislosti od typu testovaného materiálu. Před zkouškou se změří uprostřed všech těles tloušťka a vypočítá se její průměr  $\bar{h}$ . Vzdálenost krajních opěrných bodů se potom na přístroji nastaví tak, aby platil vztah rovnice (10)

$$L = 16 \cdot \bar{h} \quad (10)$$



Obrázek 21 Schéma tříbodového ohybu [7]

Pro speciální případy v normě definované je možné toto pravidlo porušit. Například pro měkké plasty může být tento poměr vyšší, aby se zabránilo vtlačení opěrných bodů do tělesa. Pro lamináty vyztužené vlákny může být taktéž vyšší, aby se zabránilo delaminaci kompozitu v průběhu zkoušky, nebo může být tento poměr snížen při zkoušení velmi tenkých vzorků.

Po uložení tělesa do čelistí se spustí ohyb stroje předepsanou rychlostí. Preferovaná je rychlost, která poskytuje rychlost deformace 1% za minutu. Zaznamená se křivka napětí deformace, přičemž pro napětí v ohybu platí vztah (11).

$$\sigma_f = \frac{3.F.L}{2.b.h^2}; \quad \varepsilon_F = \frac{6.h.s}{L^2} \quad (11)$$

Kde F je síla v N, L je rozpětí vnějších opěrných bodů, b je šířka zkušebního tělesa, h je výška zkušebního tělesa a s je průhyb – odchylka povrchu zkušebního tělesa ve středu rozpětí oproti výchozí poloze. [7]

## II. PRAKTICKÁ ČÁST

## 6 OBSAH A CÍL PRÁCE

V předmětu základy inženýrství kompozitů jsem se dověděl více o problematice kompozitních materiálů a zaujaly mne natolik, že jsem se rozhodl tomuto tématu věnovat svou bakalářskou práci. Po nabídce a následné konzultaci jsem se rozhodl spolupracovat na výzkumu pro svou práci pod záštitou firmy Form s.r.o. a vedoucím manažerem pro inovace a rozvoj technologií panem ing. Vladimírem Rusnákem.

Cílem práce je stanovení mechanických vlastností kompozitů s vybranými druhy matric. Jedná se o zakázku pro firmu Form s.r.o. od francouzského výrobce vlakových souprav. Předmětem studia je použití vysokoplňené akrylátové pryskyřice MODAR 835S CS v kombinaci s retardérem hoření ATH a různými druhy a kombinacemi skelné výztuže. Tyto materiály musí splňovat normu NF-F01-281, kterou požaduje francouzská vlaková doprava. Tato bakalářská práce je zaměřena na zkoumání pouze mechanických vlastností. Další výzkum nehořlavosti a vlivy retardérů hoření na kompozitní materiály bych chtěl uvést v budoucnu, ve své diplomové práci.

Cíle bakalářské práce můžeme shrnout do následujících bodů:

1. Přehled problematiky kompozitních materiálů, mechanické chování kompozitních materiálů.
2. Návrh skladby a materiálového složení vzorků pro aplikace v dopravním průmyslu.
3. Výroba technologií ručního nanášení s následným dolisováním ve formě.
4. Testování vzorků na mechanické vlastnosti, ohyb dle normy **ČSN ISO 178 Plasty- Stanovení ohybových vlastností**, tah dle **ČSN ISO 527 Plasty- stanovení tahových vlastností**.
5. Vyhodnocení a porovnání výsledků.
6. Závěr.

## 6.1 Příprava výroby

Pro výrobu vzorků byla zvolena technologie ručního nanášení s dolisováním ve dvoudílné vývojové formě.



Obrázek 22 *Horní díl formy (vlevo), spodní díl formy (vpravo)*

Forma má dřevěné jádro, funkční plochy jsou opatřeny odolnou vrstvou gelcoatu, který se používá na výrobu forem. Forma je určena pro vyrábění desek o rozměrech 600 mm x 600 mm a tloušťce 2 mm – 4 mm. Pro přesné osazení je opatřena kužely, které přesně lícují do protikusu formy. Forma se dokonale vystředí a po přiklopení horního dílu se utěsní a dolisuje pomocí uzávěrů na stranách.

## 6.2 Použité materiály

Ve výrobě vzorků byly použity tyto materiály:

### 6.2.1 Pryskyřice MODAR® 835 S CS

Je modifikovaná akrylátová reaktoplastická pryskyřice. Díky své nízké viskozitě je vhodná pro zakomponování retardéru hoření - hydroxidu hlinitého ATH. Proto se také jako matrice do kompozitních materiálů používá v dopravním průmyslu, konkrétně pak v oblasti vlakové dopravy. Pryskyřice MODAR 835S CS může být zpracovávána technologiemi jak ručního laminování, tak i metodami RTM a všemi ostatními injekčními technologiemi a technologií pultruze. [Příloha PI]

Tabulka 3 *Vlastnosti kapalné pryskyřice při 25°C.* [Příloha PI]

Vlastnost	Jednotka	Hodnota
Viskozita	mPa.s	55
Hustota	g/ml	1,08
Bod tuhnutí	°C	-50
Bod varu	°C	100
Bod vzplanutí (Abelův kelímek)	°C	14,4
Obsah pevných látek	%	55

Tabulka 4 *Vlastnosti nevyztužené vytvrzené pryskyřice.* [Příloha PI]

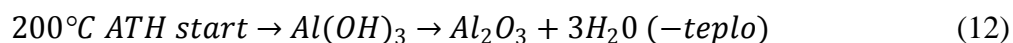
Vlastnost	Jednotka	Hodnota
Pevnost v ohybu	MPa	135
Ohybový modul	GPa	2,9
Pevnost v tahu	MPa	56
Modul pružnosti v tahu	GPa	2,2
Prodloužení při přetržení	%	6,5
Tepelná odolnost	°C	83

### 6.2.2 Retardér hoření Martinal® ON-904

Jedná se o retardér hoření ATH, hydrát, nebo také hydroxid hlinitý chemickou značkou  $\text{Al}(\text{OH})_3$ . Jedná se o neabrazivní prášek o Mohsově tvrdosti 2,5 až 3,5 a hustotě  $2,42\text{g}/\text{cm}^3$ . Jde o světově nejpoužívanější retardér hoření. Po zahřátí na teplotu  $200^\circ\text{C}$  se tento hydrát rozloží 66% obsahu na oxid hlinitý a zbylých 34% na vodu. Při tomto ději se rozpadá, uvolňuje vodní páru a pohlcuje velké množství tepla, čímž ochlazuje materiál. Zbytkový oxid hlinitý potom vytváří ochrannou vrstvu. Najednou tedy působí hned třemi vlivy. Jedná se o nevratný proces. Tento účinný retardér hoření. Hydroxid hlinitý se používá jako absorbent, emulgátor, žíravina, iontoměnič a filtrační médium. Je také užíván k výrobě

papíru, tiskařské barvy, keramiky, detergentů pro hydroizolaci textilií, antiperspirantů a zubních past. [Příloha PII].

Děj, při kterém ATH zabraňuje hoření, popisuje následující rovnice (12).



Tabulka 5 *Obecné vlastnosti hydroxidu hlinitého* [Příloha PII]

Vybrané vlastnosti Al(OH) <sub>3</sub>	
Fyzikální stav	Bílý prášek bez zápachu
Bod tání	300°C
Hustota	2,42g/cm <sup>3</sup>
NFPA hodnocení	Zdraví: 1; Hořlavost: 0; Reaktivita: 0
Bod vzplanutí	Není považován za požárně nebezpečný
Stabilita	Za normálních podmínek stabilní



Obrázek 23 *Hydroxid hlinitý ATH*

### 6.2.3 Perkadox CH-50

Plní funkci tužidla-iniciátoru polymerizace. Aplikuje se v oblasti akrylátových pryskyřic. [Příloha PIII]

### 6.2.4 BYK® - W996

Je smáčivá dispergační přísada. Používá se ke snižování viskozity při injekčním zpracování nenasycených polyesterových a epoxidových pryskyřic. Zefektivňuje zpracovatelnost sni-



žením viskozity a možností použít vyššího stupně plnění retardéry hoření ATH. [Příloha PIV]

### 6.2.5 Unifilo® 813

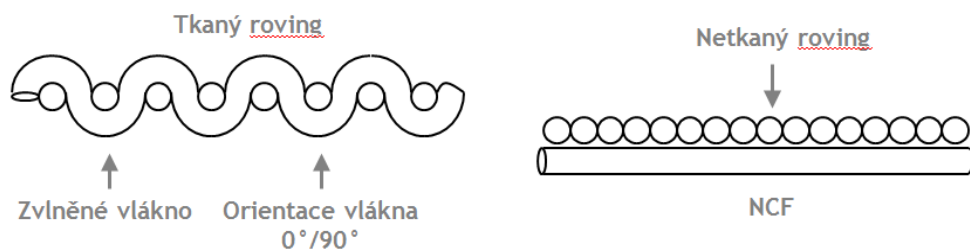
Je nekonečná skelná rohož skládající se z různě orientovaných vláken ve více vrstvách s různou gramáží. [Příloha PV]



Obrázek 24 Skelná rohož Unifilo

### 6.2.6 Saertex

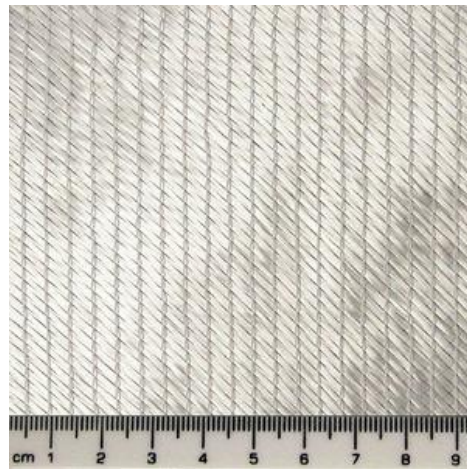
Jedná se o speciální bidiagonální skelnou výztuž. Vlákná nejsou zaplétaná mezi sebou, ale skládána v jednotlivých vrstvách na sebe v orientaci  $-45^\circ$ ,  $90^\circ$ ,  $+45^\circ$ . Díky tomuto systému uložení je možné kombinovat výztuž podle potřebného směru namáhání. Jelikož nejsou vlákna proplétaná, odpadají záhyby a materiál se tak stává odolnějším a více kompaktním. [Příloha PVI]



Obrázek 25 Tkaný roving (vlevo), netkaný roving – saertex, (vpravo) [2]

### 6.2.7 Ahlstrom - víceosá výztuž

Je speciální víceosá výztuha pro výrobu vysoce kvalitních laminátů. Nabízí optimální rozložení napětí do vláken v různých směrech. Tyto výztuhy jsou vhodné pro širokou škálu výrobních procesů. Ruční laminování, navíjení vláken, pultruze, a technologie s uzavřenou formou (RTM). Aplikují se především ve výrobě lopatek větrných elektráren a při stavbě lodí. Jsou navrženy tak, aby současně byly schopny přenášet napětí až ve čtyřech hlavních směrech (0°, 90°, 45°, -45°). Mohou být zkombinovány i s jinými druhy výztuže, například sekaná vlákna, nebo tkaniny. Jsou kompaktní s různými druhy pryskyřic. [Příloha PVII]



Obrázek 26 Sklovýztuž Ahlstrom [2]

### 6.2.8 Fenolický prepreg PHG

Jedná se o fenolický prepreg PH-840-300-42, který byl vyvinut speciálně pro železniční průmysl. Skelná výztuž o hustotě 300g/m<sup>2</sup> a H8 satén, předimpregnovaný 42% fenolickou pryskyřicí PH840. Dosahuje vysoké životnosti, nízkého stupně FPS (vývin tepla a kouřivost), má výborné mechanické vlastnosti a dobrou kvalitu povrchu. Nevyžaduje použití autoklávu. Doba vytvrzování pouze 10 minut při teplotě 160°C. Aplikuje se zejména v oblasti vlakové dopravy (stropy, dveře, okenní rámy atd.), ale také v automobilovém a lodním průmyslu. [Příloha PVIII]

## 7 VLASTNÍ VÝROBA VZORKŮ

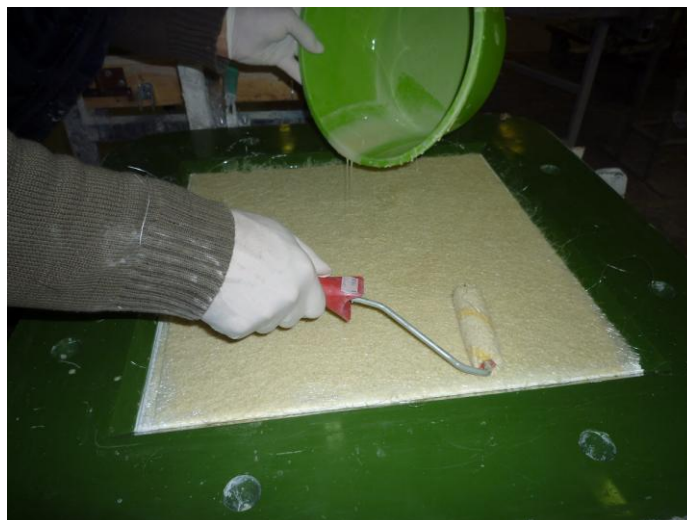
### 7.1 Výroba vzorů série A

Pro výrobu vzorků byla zvolena totožná technologie pro obě série a to ruční nanesení s dolisováním ve dvoudílné formě. Nejprve jsme formu řádně očistili acetonem a vysušili proudem vzduchu. Poté jsme nanесли na formu voskový separátor, ten nechali 5 minut působit a vyleštili. Tento proces je nutno, z důvodu lepšího vyjímání výrobku z formy, opakovat celkem 3x. Z připravené namíchané směsi pryskyřice, retardéru ATH, iniciátoru a příslušných komponent jsme odvážili potřebné množství matrice.



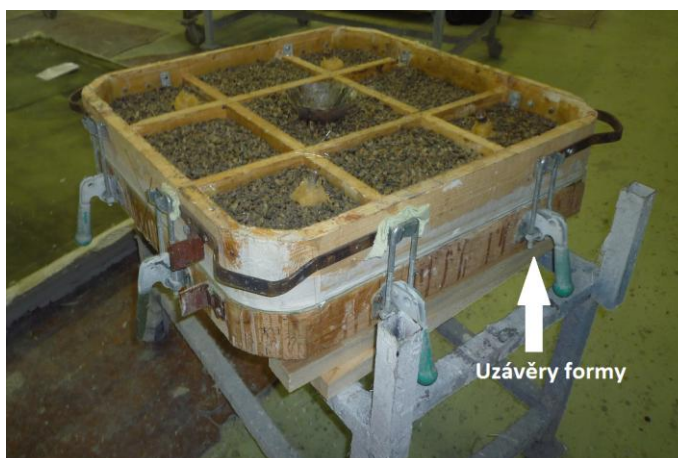
Obrázek 27 Připravená směs k ručnímu nanášení

Přesycování probíhalo ručně za pomoci válečku, který namáčíme v misce s pryskyřicí a důkladně nanášíme tak, vybyla výztuž na všech místech důkladně a rovnoměrně přesycena. Vytlačáním vzduchu současně zaručíme stejnoměrnou strukturu.



Obrázek 28 Ruční přesycování ve formě

Po dokončení ručního nanášení jsme nasadili druhý díl formy. Forma je opatřena uzavíracím mechanismem pro zaručení dostatečného tlaku při dolisování.



Obrázek 29 Uzavřená forma

Jednotlivé složení daných vzorků série č. 1 reprezentuje tabulka 6.

Tabulka 6 Složení jednotlivých vzorků série A

Číslo vzorku	Matrice	Hmotnost navážky	Druh výztuže	Povrchová úprava
1	Modar 835 S CS	1000g	1xUnifilo 300g/m <sup>2</sup> 1xUnifilo 450g/m <sup>2</sup>	Gelcoat Reichhold Norpol Dion NGA HX3 RAL 9010
2	Modar 835 S CS	1000g	1xUnifilo 300g/m <sup>2</sup> 1xSkelná tkanina 280g/m <sup>2</sup> -plátno 1xUnifilo 450g/m <sup>2</sup>	bez povrchové úpravy
3	Modar 835 S CS	1000g	1xUnifilo 300g/m <sup>2</sup> 1xSkelná tkanina 280g/m <sup>2</sup> -plátno 1xSkelná tkanina 280g/m <sup>2</sup> -plátno 1xUnifilo 450g/m <sup>2</sup>	bez povrchové úpravy
4	Modar 835 S CS	1000g	1xUnifilo 300g/m <sup>2</sup> 1xSkelná tkanina 280g/m <sup>2</sup> -plátno 1xSkelná tkanina 280g/m <sup>2</sup> -plátno 1xSkelná tkanina 280g/m <sup>2</sup> -plátno 1xUnifilo 450g/m <sup>2</sup>	bez povrchové úpravy
5	Modar 835 S CS	1100g	1xUnifillo 300g/m <sup>2</sup> 1xSkelná tkanina 280g/m <sup>2</sup> -plátno 1xSkelná tkanina 280g/m <sup>2</sup> -plátno 1xSkelná tkanina 280g/m <sup>2</sup> -plátno 1xSkelná tkanina 280g/m <sup>2</sup> -plátno 1xUnifilo 450g/m <sup>2</sup>	bez povrchové úpravy



Všechny vzorky byly vyráběny naprosto stejným způsobem. Liší se zde pouze druh výztuže. U prvního vzorku bylo použito povrchové úpravy gelcoatu Reichhold Norpol Dion, tato úprava plní pouze estetický účel a na další zkoušení mechanických vlastností nemá žádný vliv.

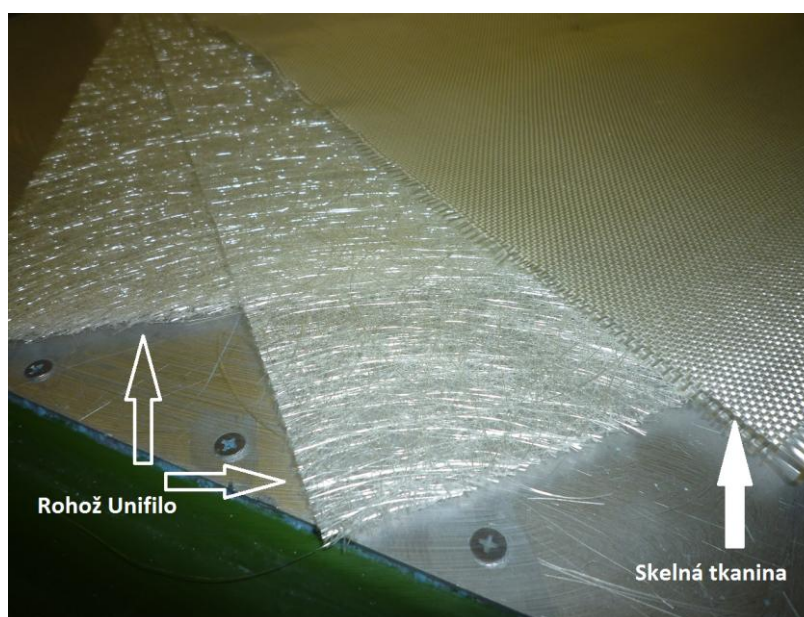
Prísady a jejich koncentraci ve směsi matrice reprezentuje tabulka 7.

Tabulka 7 Složení směsi matrice

Systém směsi plněné pryskyřice	
Komponenta	Podíl
Modar 835S CS	100 hm%
Retardér hoření ATH	100 hm%
Byk 996	2 hm% k plnivu
Perkadox CH-50	2,5 hm% k pryskyřici

## 7.2 Výroba vzorů série B

Postup výroby druhé série vzorků byl totožný s předchozím. Rozdíl byl pouze v druhu použité výztuže.



Obrázek 30 Jednotlivé druhy skelné výztuže

Jednotlivé složení daných vzorků série č. 2 reprezentuje tabulka 8.

Tabulka 8 Složení jednotlivých vzorků série B

Číslo vzor-ku	Matrice	Hmot-nost navážky	Druh výztuže	Povrchová úprava
1	Modar 835 S CS	950g	1xUnifilo 300g/m <sup>2</sup> 5xSkelná tkanina 280g/m <sup>2</sup> -plátno	bez povrchové úpravy
2	Modar 835 S CS	1000g	1x Unifilo 300g/m <sup>2</sup> 1x Saertex 980g/m <sup>2</sup> 1x Unifilo 300 g/m <sup>2</sup>	bez povrchové úpravy
3	Modar 835 S CS	960g	2x Ahlstrom tkanina 1087 g/m <sup>2</sup> 42031/M225 0/90M225 432+420+225+8= 1087 g/m <sup>2</sup>	bez povrchové úpravy
4	Modar 835 S CS	980g	1xUnifilo 300g/m <sup>2</sup> 2x Saertex 980g/m <sup>2</sup>	bez povrchové úpravy
5	Modar 835 S CS	1000g	1xUnifilo300 g/m <sup>2</sup> 7xSkelná tkanina 280g/m <sup>2</sup> plátno	bez povrchové úpravy
6	PHG	1000g	9x PHG-fenolický prepreg	bez povrchové úpravy

Tabulka 9 Složení směsi matrice

Systém směsi plněné pryskyřice	
Komponenta	Podíl
Modar 835S CS	100 hm%
Retardér hoření ATH	100 hm%
Byk 996	2 hm% k plnivu
Perkadox CH-50	2,5 hm% k pryskyřici

Ruční přesycování ve formě zabralo průměrně 8 minut, geltime pryskyřice MODAR 835S CS jsme nastavili v rozmezí 10-20 minut. Jednotlivé výrobky jsme z formy vyjímali po 60

minutách. Vzorky materiálů o rozměrech 600 mm x 600 mm jsme zatížili na vodorovné podložce, abychom zabránili zkroucení při dotvrzování. Dotvrzování probíhalo na vzduchu při teplotě 20°C.

Po úplném vytvrzení byly vzorky nařezány na rozměry potřebné ke zkoušení. V případě vzorků série A se jednalo o rozměr 150 mm x 20 mm pro zkoušku třibodovým ohybem. V případě vzorků série B se jednalo o rozměry 250 mm x 25 mm. Tloušťka se pohybovala v rozmezí 2 mm až 4 mm.

Pouze poslední vzorek 6. byl složen z devíti vrstev fenolického prepregu PHG, který byl po zaformování vložen do pece při 160°C po dobu 10 minut.

## 8 ZKOUŠENÍ MECHANICKÝCH VLASTNOSTÍ

Zkoušení mechanických vlastností probíhalo v laboratoři na Univerzitě Tomáše Bati ve Zlíně na stroji Zwick 1456. Pro objektivní posouzení vlastností vyrobených materiálů byla část vzorků série B zaslána na testování do firmy SYNPO Pardubice, která je specialistou ve výzkumu syntetických pryskyřic a laků.

### 8.1 Zkušební zařízení



Obrázek 31 Meřící přístroj Zwick 1456

Přístroj má tyto parametry:

ZWICK AUGUST-NAGEL-STR. 11, D-89079 ULM, TYP 145665,  
WERK-NR 122480/93, AB-NR 321147, FNOM 20kN.

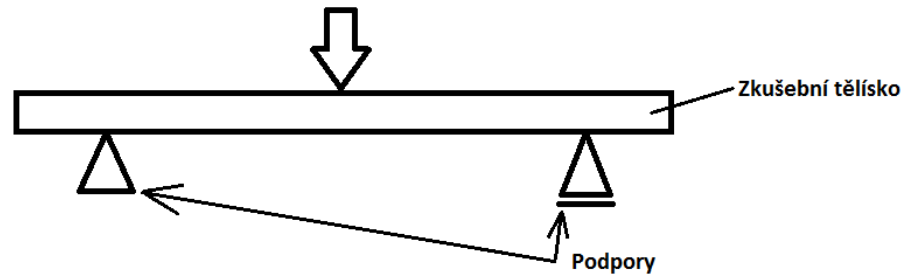
Univerzální program (dodávaný s řístrojem) pro zkoušky tahem, tlakem a ohybem je vhodný pro:

- zkoušky tahem a tlakem plastu, pěnových materiálů, textilu, vlákniny zpevněných kompozitů, laminátu, tkaninových popruhů, papíru, lepenky, dřeva a dentálních materiálů
- zkoušky tahem a tlakem kovů (bez speciálního hodnocení plastických vlastností)
- zkoušky tří a čtyřbodovým ohybem (pro všechny typy materiálů)
- určení max. dvou elastických modulů
- nastavení a regulace teploty pro teplotní komory



## 8.2 Zkouška ohybem

Série vzorků A byla zkoušena na stroji Zwick 1456, jednalo se o tělíska o rozměrech 150mm x 20mm. Zkouška byla prováděna dle normy ČSN EN ISO 178 (64 06 07) tříbodovým ohybem.



Obrázek 32 Schéma tříbodového ohybu

Zkušební těleso se vloží do zařízení, je uloženo na dvou podpěrách, přičemž vzdálenost podpěr  $L_p = (16 \pm 1) \cdot a_0$  [mm]. Přičemž  $a_0$  je charakteristická tloušťka tělíska,  $b_0$  je šířka tělíska.

Naměřené veličiny budou vyhodnocovány podle vztahů (13, 14, 15)

$$\sigma_o = \frac{M_o}{W_o} [\text{MPa}] \quad (13)$$

$$M_o = \frac{F * L_p}{4} [\text{N.mm}] \quad (14)$$

$$W_o = \frac{b_0 * a_0^2}{6} [\text{mm}^3] \quad (15)$$

Přičemž  $\sigma_o$  je napětí v ohybu,  $M_o$  je ohybový moment,  $W_o$  modul průřezu v ohybu.  $F$  je maximální síla působící na těleso při porušení [N].

Měření podléhalo celkem 5 vzorků ze série A, u každého jsme provedli 9 měření. Teplota v laboratoři byla 21°C, tlak 1014 hPa..

Cílem bylo zjistit pevnost v ohybu  $\sigma_o$  jednotlivých materiálů.

Tabulka 10 Naměřené hodnoty vzorků 1. série A

<b>n</b>	<b>F [N]</b>	<b>a<sub>0</sub> [mm]</b>	<b>b<sub>0</sub> [mm]</b>	<b>W<sub>0</sub> [mm<sup>3</sup>]</b>	<b>Mo [N.mm]</b>	<b>σ<sub>0</sub> [MPa]</b>
1	253,3	2,1	20,21	14,85	2311,36	<b>155,60</b>
2	265,1	2,1	20,36	14,96	2419,04	<b>161,65</b>
3	202,1	1,9	20,34	12,24	1844,16	<b>150,69</b>
4	206,6	1,9	20,12	12,11	1885,23	<b>155,73</b>
5	265	2,1	20,06	14,74	2418,13	<b>164,01</b>
6	312,1	2,2	20,14	16,25	2847,91	<b>175,30</b>
7	257	2,1	20	14,70	2345,13	<b>159,53</b>
8	197,3	1,9	20,07	12,08	1800,36	<b>149,09</b>
9	214	1,9	20,23	12,17	1952,75	<b>160,43</b>

Tabulka 11 Naměřené hodnoty vzorků 2. série A

<b>n</b>	<b>F [N]</b>	<b>a<sub>0</sub> [mm]</b>	<b>b<sub>0</sub> [mm]</b>	<b>W<sub>0</sub> [mm<sup>3</sup>]</b>	<b>Mo [N.mm]</b>	<b>σ<sub>0</sub> [MPa]</b>
1	366,8	2	20,11	13,41	3347,05	<b>249,66</b>
2	274	1,7	20,09	9,68	2500,25	<b>258,38</b>
3	395,2	2,15	20,15	15,52	3606,20	<b>232,30</b>
4	350,5	2	20,1	13,40	3198,31	<b>238,68</b>
5	385,3	2,1	20,28	14,91	3515,86	<b>235,87</b>
6	310,2	1,8	20,16	10,89	2830,58	<b>260,01</b>
7	384,5	2	19,94	13,29	3508,56	<b>263,93</b>
8	468,5	2,2	19,88	16,04	4275,06	<b>266,58</b>
9	401,5	2	19,84	13,23	3663,69	<b>276,99</b>

Tabulka 12 Naměřené hodnoty vzorků 3. série A

<b>n</b>	<b>F [N]</b>	<b>a<sub>0</sub> [mm]</b>	<b>b<sub>0</sub> [mm]</b>	<b>W<sub>0</sub> [mm<sup>3</sup>]</b>	<b>M<sub>0</sub> [N.mm]</b>	<b>σ<sub>0</sub> [MPa]</b>
1	393,3	1,8	20,25	10,94	3588,86	<b>328,20</b>
2	471,8	2	20,14	13,43	4305,18	<b>320,64</b>
3	538,5	2,25	19,93	16,82	4913,81	<b>292,21</b>
4	422,3	2	19,96	13,31	3853,49	<b>289,59</b>
5	530	2,1	20,11	14,78	4836,25	<b>327,20</b>
6	559	2,3	20,18	17,79	5100,88	<b>286,69</b>
7	485,5	2	20,02	13,35	4430,19	<b>331,93</b>
8	592,3	2,15	19,83	15,28	5404,74	<b>353,77</b>
9	660,5	2,35	20,28	18,67	6027,06	<b>322,89</b>

Tabulka 13 Naměřené hodnoty vzorků 4. série A

<b>n</b>	<b>F [N]</b>	<b>a<sub>0</sub> [mm]</b>	<b>b<sub>0</sub> [mm]</b>	<b>W<sub>0</sub> [mm<sup>3</sup>]</b>	<b>M<sub>0</sub> [N.mm]</b>	<b>σ<sub>0</sub> [MPa]</b>
1	590,8	2,3	20,41	17,99	5391,05	<b>299,59</b>
2	604,8	2,4	20,26	19,45	5518,80	<b>283,75</b>
3	576,8	2,2	20,15	16,25	5263,30	<b>323,81</b>
4	620,8	2,4	20,33	19,52	5664,80	<b>290,25</b>
5	647	2,5	20,38	21,23	5903,88	<b>278,10</b>
6	509,5	2,1	20,18	14,83	4649,19	<b>313,45</b>
7	552,8	2,2	20,31	16,38	5044,30	<b>307,89</b>
8	588,5	2,2	20,37	16,43	5370,06	<b>326,81</b>
9	547,5	2,15	20,29	15,63	4995,94	<b>319,60</b>

Tabulka 14 Naměřené hodnoty vzorků 5. série A

n	F [N]	a <sub>0</sub> [mm]	b <sub>0</sub> [mm]	W <sub>0</sub> [mm <sup>3</sup> ]	M <sub>0</sub> [N.mm]	σ <sub>0</sub> [MPa]
1	730,3	2,6	20,18	22,74	6663,99	<b>293,10</b>
2	719	2,7	20,27	24,63	6560,88	<b>266,40</b>
3	750,5	2,8	20,12	26,29	6848,31	<b>260,49</b>
4	800	2,9	20,31	28,47	7300,00	<b>256,43</b>
5	752,5	2,85	20,34	27,54	6866,56	<b>249,37</b>
6	723,8	2,7	20,19	24,53	6604,68	<b>269,24</b>
7	734,3	2,7	20,03	24,34	6700,49	<b>275,33</b>
8	690,8	2,5	20,33	21,18	6303,55	<b>297,66</b>
9	695,8	2,6	20,26	22,83	6349,18	<b>278,15</b>



Obrázek 33 Vzorek série A

### 8.3 Zkouška tahem

Zkouška tahem vzorků série B. Vzorky o rozměrech 250 mm x 25 mm. Teplota v laboratoři 22°C, tlak 1029 hPa. Testování probíhalo dle normy ČSN ISO 527 (64 0604) pro zkoušení plastových výrobků na tah.

Pro každý vzorek je vyhodnocení do tabulky. Vyhodnocení provedl program TestXpert. Rozměry  $a_0$  – tloušťka a  $b_0$  – šířka měřeného tělíska. Maximální naměřené napětí  $\sigma_m$ , poměrné prodloužení při působení maximální síly  $\varepsilon_{F_{MAX}}$ , napětí při přetržení  $\sigma_B$ , prodloužení při přetržení  $\varepsilon_{Break}$  a modul pružnosti v tahu E.

Tabulka 15 Naměřené hodnoty vzorků 1. série B

Číslo měření	$a_0$ [mm]	$b_0$ [mm]	$\sigma_m$ [MPa]	$\varepsilon_{F_{MAX}}$ [%]	$\sigma_B$ [MPa]	$\varepsilon_{Break}$ [%]	E [MPa]
1	2,6	25,7	174,61	3,7	174,61	4,09	11658,80
2	2,2	27,5	184,35	3,79	159,86	3,92	11267,92
3	2,2	27,5	198,23	4,03	173,05	4,63	12092,69
4	2,2	27,5	204,55	3,95	161,94	4,72	13705,25
5	2,57	27	168,11	4,74	166,12	4,74	12310,04

Tabulka 16 Naměřené hodnoty vzorků 2. série B

Číslo měření	$a_0$ [mm]	$b_0$ [mm]	$\sigma_m$ [MPa]	$\varepsilon_{F_{MAX}}$ [%]	$\sigma_B$ [MPa]	$\varepsilon_{Break}$ [%]	E [MPa]
1	2,63	27	73,59	2,15	73,32	2,15	7195,64
2	2,77	26,5	68,94	1,96	68,5	1,95	7308,12
3	2,4	26	74,33	1,79	69,97	1,78	8473,65
4	2,1	25,2	88,36	1,96	85,65	2,12	9112,57
5	2,6	25,5	92,04	1,73	91,92	1,73	10025,16

Tabulka 17 Naměřené hodnoty vzorků 3. série B

Číslo měření	$a_0$ [mm]	$b_0$ [mm]	$\sigma_m$ [MPa]	$\varepsilon_{F_{MAX}}$ [%]	$\sigma_B$ [MPa]	$\varepsilon_{Break}$ [%]	E [MPa]
1	2,75	26,7	210,57	1,85	210,26	1,85	15662,83
2	2,5	25,6	234,55	2,11	234,54	2,11	13184,47
3	2,5	25,6	249,7	2	249,7	2	15736,93
4	2,4	25,4	269,99	2,13	269,94	2,14	16647,72
5	2,2	24,4	280,05	1,94	280,05	1,94	17344,22

Tabulka 18 Naměřené hodnoty vzorků 4. série B

Číslo měření	$a_0$ [mm]	$b_0$ [mm]	$\sigma_m$ [MPa]	$\varepsilon_{F_{MAX}}$ [%]	$\sigma_B$ [MPa]	$\varepsilon_{Break}$ [%]	E [MPa]
1	2,6	26,6	71,94	1,78	65,8	1,76	8842,52
2	2,9	26,8	70,8	2,18	69,41	2,19	8154,51
3	2,85	27	72,78	2,38	68,25	2,48	6861,25
4	2,9	25,6	65,18	1,9	64,58	1,93	8291,09
5	2,5	25,6	73,55	1,69	70,93	1,69	8866,17

Tabulka 19 Naměřené hodnoty vzorků 5. série B

Číslo měření	$a_0$ [mm]	$b_0$ [mm]	$\sigma_m$ [MPa]	$\varepsilon_{F_{MAX}}$ [%]	$\sigma_B$ [MPa]	$\varepsilon_{Break}$ [%]	E [MPa]
1	3,75	26,9	173,84	0,51	163,21	0,51	12366,17
2	3,75	26,9	170,73	2,46	152,34	2,3	12374,67
3	3	25,6	183,74	5,15	157,14	6,12	13113,22
4	3,4	26,8	188,57	0,54	188,57	0,54	13424,81
5	3,1	26,4	185,07	1,54	171,72	1,84	14501,47

Tabulka 20 Naměřené hodnoty vzorků 6. série B

Číslo měření	$a_0$ [mm]	$b_0$ [mm]	$\sigma_m$ [MPa]	$\varepsilon_{F_{MAX}}$ [%]	$\sigma_B$ [MPa]	$\varepsilon_{Break}$ [%]	E [MPa]
1	3,75	25,2	174,17	1,2	173,28	1,19	169330,7
2	3,7	26,4	171,74	1,15	167,48	1,14	17293,19
3	3,8	25,5	191,19	1,35	190,9	1,34	16565,21
4	3,8	26,6	185,51	1,35	163,14	1,09	15812,77
5	3,8	26	174,76	1,26	154,14	1,41	15585,22

## 8.4 Zkouška ohybem - SYNPO

Do firmy SYNPO jsme zaslali čtyři druhy vzorek série B. Jednalo se o vzorky číslo 3, 4, 5 a 6 dle tabulky. Firma SYNPO prováděla testování mechanických vlastností na tříbodový ohyb dle normy ČSN EN ISO 14125. Dále byl požadavek na testování vzorků po expozici. Dle normy NF F01-281 byly vzorky po dobu 60 minut vařeny ve vodě a následně testovány na mechanické vlastnosti. U každého materiálu bylo provedeno 7 měření. Vyhodnocoval se modul pružnosti v tahu E, mez pevnosti  $\sigma_m$  a prodloužení při přetržení  $\varepsilon_{Break}$ .

### 8.4.1 Vzorky před expozicí

Tabulka 21 Naměřené hodnoty vzorků 3. Série B

Číslo měření	$a_0$ [mm]	$b_0$ [mm]	$\sigma_m$ [MPa]	$\varepsilon_{Break}$ [%]	E [MPa]
1	2,98	14,99	286	3,3	11725
2	2,33	14,76	381	2,5	15444
3	2,22	14,56	356	2,8	15131
4	2,88	14,63	291	3,6	11759
5	2,87	15,06	281	3,1	11852
6	2,56	15,06	370	3,3	14499
7	2,97	14,93	288	3,2	11364

Tabulka 22 Naměřené hodnoty vzorků 4. Série B

Číslo měření	$a_0$ [mm]	$b_0$ [mm]	$\sigma_m$ [MPa]	$\epsilon_{\text{Break}}$ [%]	E [MPa]
1	2,97	15,04	131	3,2	9177
2	2,9	15,06	151	3,1	9000
3	2,67	14,82	124	3	8871
4	2,5	14,91	147	3	9255
5	2,8	14,85	118	3,2	8701
6	2,59	14,66	122	3,3	8499
7	2,73	14,91	141	3,2	8732

Tabulka 23 Naměřené hodnoty vzorků 5. Série B

Číslo měření	$a_0$ [mm]	$b_0$ [mm]	$\sigma_m$ [MPa]	$\epsilon_{\text{Break}}$ [%]	E [MPa]
1	3,59	14,75	254	4,7	10528
2	2,56	14,7	266	3,2	12936
3	3,64	14,9	253	4,8	10374
4	2,44	14,85	274	2,9	12281
5	2,7	14,85	252	3,4	11129
6	2,84	14,62	288	4,3	10430
7	3,59	14,75	254	4,7	10528



Tabulka 24 Naměřené hodnoty vzorků 6. Série B

Číslo měření	$a_0$ [mm]	$b_0$ [mm]	$\sigma_m$ [MPa]	$\epsilon_{\text{Break}}$ [%]	E [MPa]
1	3,62	14,7	323	2,4	16384
2	3,81	14,83	122	0,9	14005
3	3,79	14,68	100	0,7	14728
4	3,44	14,84	378	2,4	18061
5	3,55	14,75	370	2,6	16434
6	3,62	14,7	244	1,7	16250
7	3,57	14,83	306	2,3	16946

#### 8.4.2 Vzorky po expozici

Tabulka 25 Naměřené hodnoty vzorků 3. Série B – po expozici

Číslo měření	$a_0$ [mm]	$b_0$ [mm]	$\sigma_m$ [MPa]	$\epsilon_{\text{Break}}$ [%]	E [MPa]
1	2,52	14,61	308	2,7	13605
2	2,5	14,83	333	2,9	13361
3	2,11	15	290	2	16481
4	2,41	14,96	320	2,7	13587
5	2,51	14,92	328	3,1	13170
6	2,46	14,98	309	2,7	13836
7	2,57	14,85	307	2,8	13252

Tabulka 26 Naměřené hodnoty vzorků 4. Série B – po expozici

Číslo měření	$a_0$ [mm]	$b_0$ [mm]	$\sigma_m$ [MPa]	$\epsilon_{\text{Break}}$ [%]	E [MPa]
1	2,85	14,91	100,8	2,9	5469
2	3,02	14,84	96,4	3,5	5485
3	2,76	14,94	115	4	6154
4	2,61	14,69	104	3,9	6048
5	2,86	14,99	93,7	3,4	5299
6	2,49	14,93	119,2	3,6	6652
7	2,94	15,05	115,6	4	6242

Tabulka 27 Naměřené hodnoty vzorků 5. Série B – po expozici

Číslo měření	$a_0$ [mm]	$b_0$ [mm]	$\sigma_m$ [MPa]	$\epsilon_{\text{Break}}$ [%]	E [MPa]
1	3,04	15,01	195	2,5	10174
2	3,02	15,03	183	2,4	9462
3	3,01	14,87	195	3	10152
4	3,11	14,68	186	2,7	9461
5	3,06	14,97	205	3,2	9639
6	3,06	14,93	192	2,7	9391
7	3,1	14,77	198	2,7	9326

Tabulka 28 Naměřené hodnoty vzorků 6. Série B – po expozici

Číslo měření	$a_0$ [mm]	$b_0$ [mm]	$\sigma_m$ [MPa]	$\epsilon_{\text{Break}}$ [%]	E [MPa]
1	3,88	15,04	160	1,5	12001
2	4,08	14,36	143	2,3	11248
3	3,63	14,83	234	1,9	14514
4	4,1	14,71	67	0,6	10711
5	4,08	14,85	108	2,7	10555
6	4,3	14,55	55	0,7	8763
7	4,12	14,64	156	2,1	10820

## 9 ZPRACOVÁNÍ VÝSLEDKŮ

### 9.1 Ohybová zkouška - statistické vyhodnocení

Na základě naměřených hodnot byla stanovena průměrná hodnota  $\bar{X}$ , směrodatná odchylka  $s$  a variační koeficient  $v$ .

Tabulka 29 Statistika výsledků vzorků 1. série A

Série A- vzorky č. 1 n=9	F[N]	a <sub>0</sub> [mm]	b <sub>0</sub> [mm]	W <sub>0</sub> [mm <sup>3</sup> ]	Mo[N.mm]	σ <sub>0</sub> [MPa]
$\bar{X}$	241,39	2,02	20,17	13,79	2202,67	159,11
s	38,65	0,12	0,12	1,62	352,72	7,82
v	16,013	5,943	0,619	11,763	16,013	4,916

Tabulka 30 Statistika výsledků vzorků 2. série A

Série A- vzorky č. 2 n=9	F[N]	a <sub>0</sub> [mm]	b <sub>0</sub> [mm]	W <sub>0</sub> [mm <sup>3</sup> ]	Mo[N.mm]	σ <sub>0</sub> [MPa]
$\bar{X}$	370,72	1,99	20,06	13,37	3382,84	253,60
s	55,85	0,16	0,14	2,06	509,61	15,38
v	15,06	7,97	0,72	15,39	15,07	6,07

Tabulka 31 Statistika výsledků vzorků 3. série A

Série A- vzorky č. 3 n=9	F[N]	a <sub>0</sub> [mm]	b <sub>0</sub> [mm]	W <sub>0</sub> [mm <sup>3</sup> ]	Mo[N.mm]	σ <sub>0</sub> [MPa]
$\bar{X}$	517,02	2,11	20,08	14,93	4717,83	317,01
s	83,64	0,18	0,15	2,48	763,20	22,74
v	16,18	8,35	0,76	16,61	16,18	7,17

Tabulka 32 Statistika výsledků vzorků 4. série A

Série A- vzorky č. 4 n=9	F[N]	a <sub>0</sub> [mm]	b <sub>0</sub> [mm]	W <sub>0</sub> [mm <sup>3</sup> ]	M <sub>0</sub> [N.mm]	σ <sub>0</sub> [MPa]
$\bar{X}$	582,06	2,27	20,30	17,52	5311,26	304,81
s	41,38	0,13	0,09	2,14	377,56	17,83
v	7,11	5,936	0,44	12,21	7,11	5,85

Tabulka 33 Statistika výsledků vzorků 5. série A

Série A- vzorky č. 5 n=9	F[N]	a <sub>0</sub> [mm]	b <sub>0</sub> [mm]	W <sub>0</sub> [mm <sup>3</sup> ]	M <sub>0</sub> [N.mm]	σ <sub>0</sub> [MPa]
$\bar{X}$	733,00	2,71	20,23	24,73	6688,63	271,80
s	32,84	0,13	0,10	2,36	299,70	16,12
v	4,48	4,75	0,52	9,56	4,48	5,93

## 9.2 Zkouška tahem - statistické vyhodnocení

U tahové zkoušky vyhodnotil program TestXpert pro hodnoty naměřené na trhacím stroji odhad aritmetického průměru  $\bar{X}$ , směrodatnou dochylku  $s$  a variační koeficient  $v$ .

Tabulka 34 Statistika výsledků vzorků 1. série B

Série B- vzorky č.1 n=5	a <sub>0</sub> [mm]	b <sub>0</sub> [mm]	σ <sub>m</sub> [MPa]	ε <sub>F<sub>MAX</sub></sub> [%]	σ <sub>B</sub> [MPa]	ε <sub>Break</sub> [%]	E [MPa]
$\bar{X}$	2,35	27,04	185,97	4,04	167,12	4,42	12206,94
s	0,21	0,78	15,38	0,41	6,55	0,39	928,82
v	8,97	2,88	8,27	10,17	3,92	8,72	7,60

Tabulka 35 Statistika výsledků vzorků 2. série B

Série B- vzorky č.2 n=5	a <sub>0</sub> [mm]	b <sub>0</sub> [mm]	σ <sub>m</sub> [MPa]	εF <sub>MAX</sub> [%]	σ <sub>B</sub> [MPa]	ε <sub>Break</sub> [%]	E [MPa]
$\bar{X}$	2,5	26,04	79,45	1,92	77,87	1,95	8423,03
s	0,26	0,73	10,11	0,17	10,35	0,19	1203,57
v	10,39	2,80	12,73	8,61	13,30	9,82	14,29

Tabulka 36 Statistika výsledků vzorků 3. série B

Série B- vzorky č.3 n=5	a <sub>0</sub> [mm]	b <sub>0</sub> [mm]	σ <sub>m</sub> [MPa]	εF <sub>MAX</sub> [%]	σ <sub>B</sub> [MPa]	ε <sub>Break</sub> [%]	E [MPa]
$\bar{X}$	2,47	25,54	248,972	2,006	248,898	2,008	15715,23
s	0,20	0,82	27,80	0,12	27,90	0,12	1575,68
v	8,05	3,20	11,16	5,84	11,21	5,97	10,03

Tabulka 37 Statistika výsledků vzorků 4. série B

Série B- vzorky č.4 n=5	a <sub>0</sub> [mm]	b <sub>0</sub> [mm]	σ <sub>m</sub> [MPa]	εF <sub>MAX</sub> [%]	σ <sub>B</sub> [MPa]	ε <sub>Break</sub> [%]	E [MPa]
$\bar{X}$	2,75	26,32	70,85	1,99	67,79	2,01	8203,11
s	0,19	0,67	3,33	0,29	2,60	0,33	815,35
v	6,80	2,55	4,70	14,47	3,83	16,21	9,94

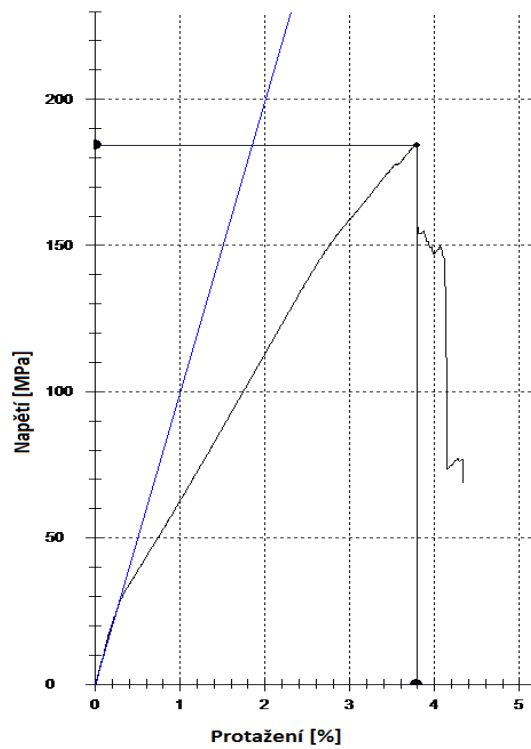
Tabulka 38 Statistika výsledků vzorků 5. série B

Série B- vzorky č.5 n=5	a <sub>0</sub> [mm]	b <sub>0</sub> [mm]	σ <sub>m</sub> [MPa]	ε <sub>F<sub>MAX</sub></sub> [%]	σ <sub>B</sub> [MPa]	ε <sub>Break</sub> [%]	E [MPa]
$\bar{X}$	3,4	26,52	180,39	2,04	166,57	2,26	13156,07
s	0,35	0,55	7,69	1,92	14,26	2,30	882,99
v	10,35	2,09	4,26	93,94	8,56	101,53	6,71

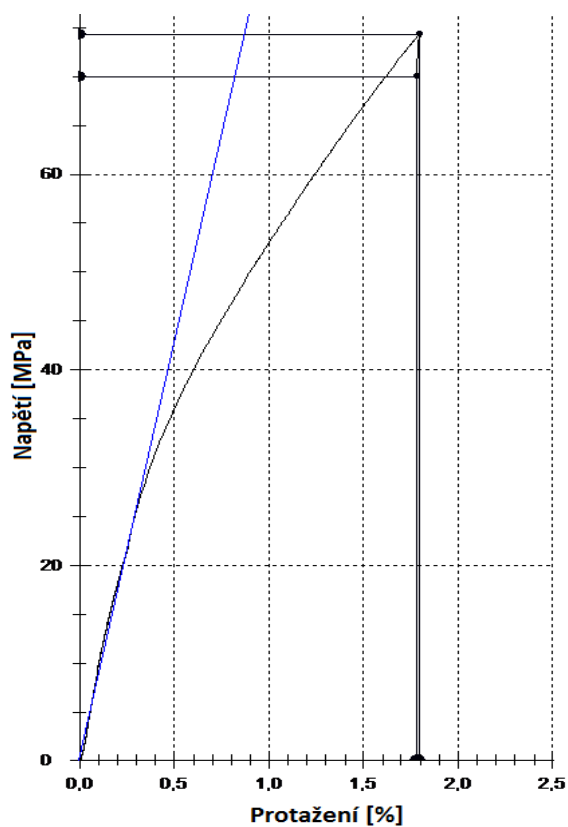
Tabulka 39 Statistika výsledků vzorků 6. série B

Série B- vzorky č.6 n=5	a <sub>0</sub> [mm]	b <sub>0</sub> [mm]	σ <sub>m</sub> [MPa]	ε <sub>F<sub>MAX</sub></sub> [%]	σ <sub>B</sub> [MPa]	ε <sub>Break</sub> [%]	E [MPa]
$\bar{X}$	3,77	25,94	179,47	1,262	169,79	1,23	16437,89
s	0,04	0,59	8,42	0,09	13,71	0,14	726,42
v	1,19	2,27	4,69	7,07	8,08	11,00	4,42

## Grafy tahové zkoušky série B z programu TestXpert

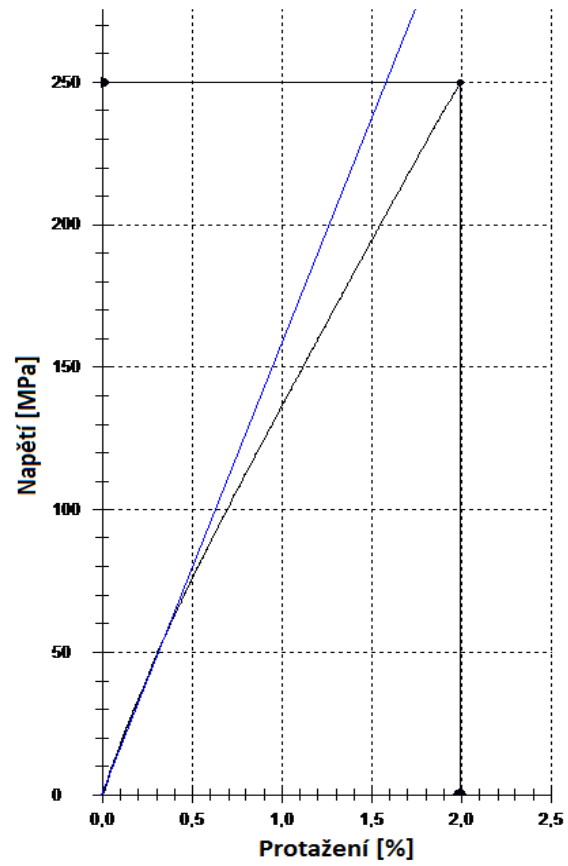


Obrázek 34 Průběh tahové zkoušky vzorku č.1 série B

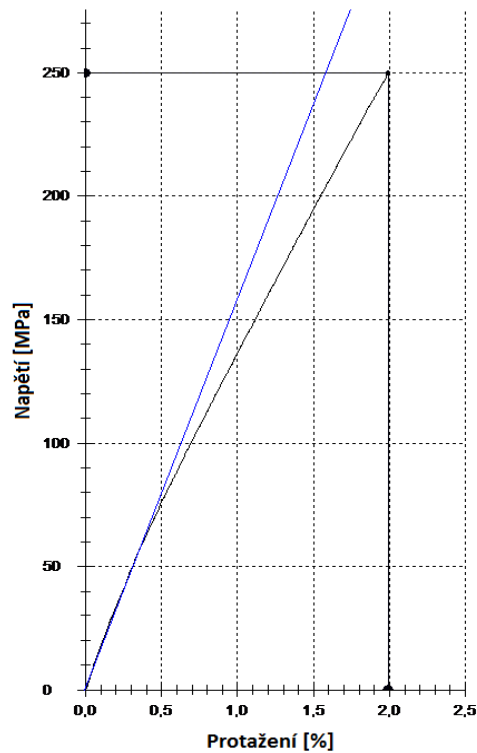


Obrázek 35 Průběh tahové zkoušky vzorku č.2 série B

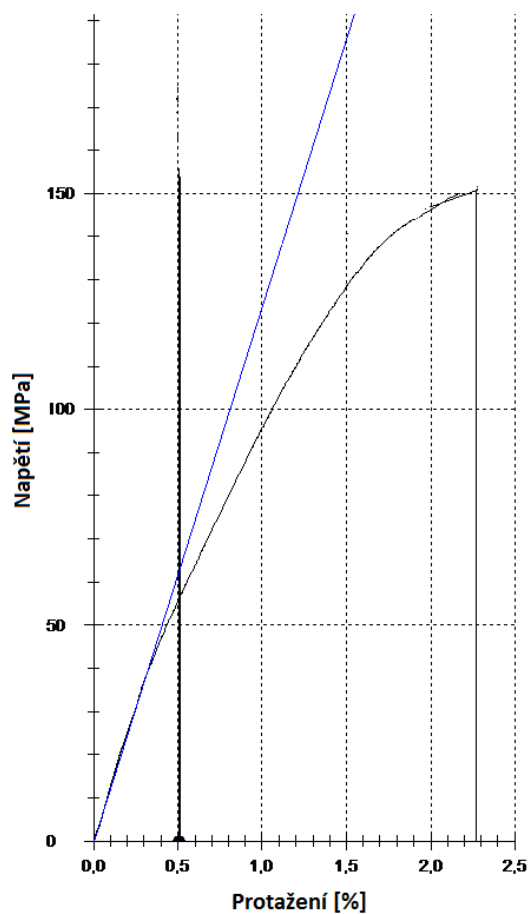




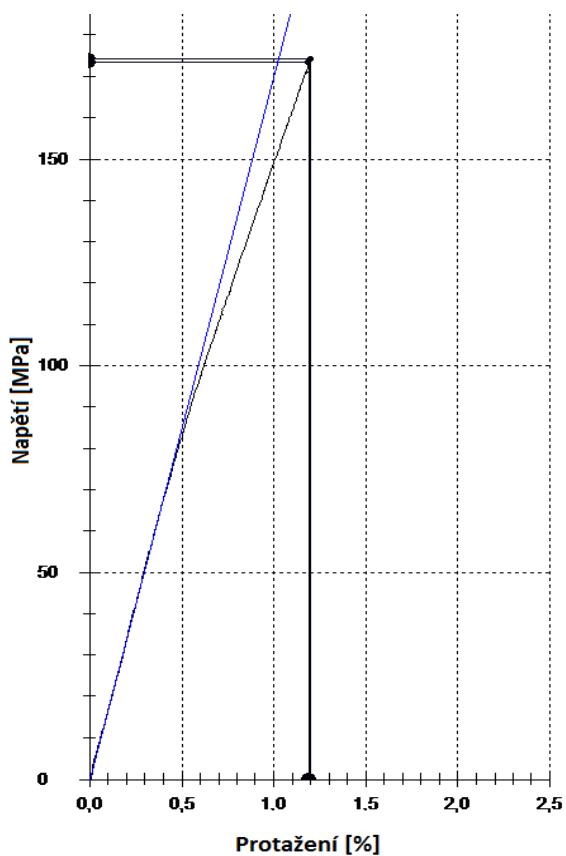
Obrázek 36 Průběh tahové zkoušky vzorku č.3 série B



Obrázek 37 Průběh tahové zkoušky vzorku č.4 série B



Obrázek 38 Průběh tahové zkoušky vzorku č.5 série B



Obrázek 39 Průběh tahové zkoušky vzorku č.6 série B

### 9.3 Statistické vyhodnocení ohybu od firmy SYNPO

Výsledky testů na ohybové vlastnosti vzorků č.3,4,5 a 6 - série B. Měření bylo pro každý materiál prováděno 7x.

#### 9.3.1 Před expozicí

Tabulka 40 Statistika výsledků vzorků 3.série B – SYNPO

Série B- vzorky č.3 Synpo n=7	$a_0$ [mm]	$b_0$ [mm]	$\sigma_m$ [MPa]	$\epsilon_{\text{Break}}$ [%]	E [MPa]
$\bar{X}$	2,69	14,86	322	3,1	13111
s	0,32	0,21	45	0,3	1818
v	11,72	1,4	13,94	11,25	13,87

Tabulka 41 Statistika výsledků vzorků 4.série B – SYNPO

Série B- vzorky č.4 Synpo n=7	$a_0$ [mm]	$b_0$ [mm]	$\sigma_m$ [MPa]	$\epsilon_{\text{Break}}$ [%]	E [MPa]
$\bar{X}$	2,74	14,89	133	3,1	8891
s	0,17	0,14	13	0,1	271
v	6,13	0,91	9,75	3,12	3,05

Tabulka 42 Statistika výsledků vzorků 5.série B – SYNPO

Série B- vzorky č.5 Synpo n=7	$a_0$ [mm]	$b_0$ [mm]	$\sigma_m$ [MPa]	$\epsilon_{\text{Break}}$ [%]	E [MPa]
$\bar{X}$	2,96	14,78	264	3,9	11280
s	0,52	0,1	14	0,8	1084
v	17,66	0,71	5,45	20,81	9,61

Tabulka 43 Statistika výsledků vzorků 6.série B – SYNPO

Série B- vzorky č.6 Synpo n=7	$a_0$ [mm]	$b_0$ [mm]	$\sigma_m$ [MPa]	$\epsilon_{\text{Break}}$ [%]	E [MPa]
$\bar{X}$	3,63	14,76	263	1,9	16115
s	0,13	0,07	113	0,8	1357
v	3,58	0,47	43,04	41,74	8,42

## 9.3.2 Po expozici

Tabulka 44 Statistika výsledků vzorků 3. série B – SYNPO po expozici

Série B- vzorky č.3 Synpo-po expozici n=7	$a_0$ [mm]	$b_0$ [mm]	$\sigma_m$ [MPa]	$\epsilon_{\text{Break}}$ [%]	E [MPa]
$\bar{X}$	2,44	14,88	314	2,7	13899
s	0,15	0,13	15	0,3	1161
v	6,28	0,89	4,65	12,27	8,36

Tabulka 45 Statistika výsledků vzorků 4. série B – SYNPO po expozici

Série B- vzorky č.4 Synpo-po expozici n=7	$a_0$ [mm]	$b_0$ [mm]	$\sigma_m$ [MPa]	$\epsilon_{\text{Break}}$ [%]	E [MPa]
$\bar{X}$	2,79	14,91	106,4	3,6	5907
s	0,19	0,12	10,2	0,4	498
v	6,63	0,78	9,54	11,31	8,43

Tabulka 46 Statistika výsledků vzorků 5. série B – SYNPO po expozici

Série B- vzorky č.5  Synpo-po expozici  n=7	$a_0$ [mm]	$b_0$ [mm]	$\sigma_m$ [MPa]	$\epsilon_{\text{Break}}$ [%]	E [MPa]
$\bar{X}$	3,06	14,90	194	2,8	9658
s	0,04	0,13	7	0,3	358
v	1,25	0,87	3,84	9,71	3,71

Tabulka 47 Statistika výsledků vzorků 6. série B – SYNPO po expozici

Série B- vzorky č.6  Synpo-po expozici  n=7	$a_0$ [mm]	$b_0$ [mm]	$\sigma_m$ [MPa]	$\epsilon_{\text{Break}}$ [%]	E [MPa]
$\bar{X}$	4,03	14,71	132	1,7	11230
s	0,22	0,22	61	0,8	1749
v	5,34	1,50	46,56	46,56	15,57

## ZÁVĚR

Předmětem bakalářské práce je zkoumání vlivů různých druhů výztuže v kombinaci s vysokoplněnou akrylátovou pryskyřicí Modar ®835S CS. Poměr plniva ATH – hydroxidu hlinitého je 1:1 v poměru s pryskyřicí. Výztuž byla ve všech případech použita skelná. Je známo, že plniva významně ovlivňují mechanické chování materiálů. V našem případě jsme museli brát zřetel, že na jedné straně potřebujeme navrhnout materiál nehořlavý, splňující požadavky pro použití ve vlakovém průmyslu dle normy NF F01-281. Na straně druhé bylo potřebné vyvinout materiál dostatečně pevný. Kritériem bylo navrhnout materiál, který bude disponovat pevností minimálně 150MPa.

Jako výztuž při výrobě vzorků série A bylo použito v prvním případě pouze dvou rohoží Unifilo, u dalších vzorků jsme kombinovali rohože Unifilo a mezi ně vkládali běžnou skelnou tkaninu o hmotnosti 280g/m<sup>2</sup>. Předmětem zkoumání bylo, jak významně ovlivní počet tkanin pevnost v ohybu daného materiálu. Samotná výztuž Unifilo o hmotnosti 300g/m<sup>2</sup> + 450g/m<sup>2</sup> (vzorek 1. série A) vykazovala hodnotu pevnosti v ohybu 159,11 MPa, což je v porovnání s hodnotou pevnosti v ohybu 132 MPa, kterou udává výrobce v materiálovém listu u nevyztužené pryskyřice, jen malé zlepšení. U vzorku 2. série A, který byl vyztužen navíc jednou skelnou tkaninou, jsme naměřili hodnotu ohybového napětí 253,60 MPa, což byl oproti prvnímu testu již markantní rozdíl. Největší hodnotou pevnosti v ohybu však disponoval vzorek 3. série A, jehož pevnost vykazovala hodnotu 317,01 MPa a byla nejvyšší z celé série vzorků A. U vzorků 4. bylo dosaženo 304,81 MPa napětí v ohybu a u posledního vzorku 5. série A hodnota klesla na 271,80 MPa napětí v ohybu. Nejlépe se tedy vykazuje hodnotou pevnosti v ohybu 317,01 MPa vzorek 3. Tato hodnota předčila naše očekávání a rozhodně bychom při výrobě doporučili použít tento materiál.

Při výrobě vzorků série B jsme použili rozmanitější druhy výztuže. V prvním případě bylo použito rohože Unifilo 300g/m<sup>2</sup> a 5x skelné tkaniny o hmotnosti 280g/m<sup>2</sup>. Tento vzorek při testování na tah vykázal pevnost 185,97 MPa. Dle materiálového listu udává výrobce tahové napětí nevyztužené pryskyřice 56 MPa. Pevnost v tahu prvního vzorku je vyhovující. Výztuž druhého vzorku se skládá ze dvou rohoží Unifilo 300g/m<sup>2</sup> a jedné bidiagonální skelné tkaniny Saertex 980g/m<sup>2</sup>. Napětí v tahu se u tohoto vzorku rovnalo hodnotě 79,45 MPa. Tento materiál bychom v praxi při tahovém namáhání nepoužili. Třetí vzorek, jehož skladba výztuže byla ze dvou tkanin Ahlstrom 1087g/m<sup>2</sup> vykazoval napětí v tahu o hodnotě 248,97 MPa. Čtvrtý vzorek o složení výztuže jedna rohož Unifilo 300g/m<sup>2</sup> a 2x tkanina Saertex 980g/m<sup>2</sup> disponoval pevností v tahu pouze 70,85 MPa. Tímto se nám potvrdilo, že

rohož Unifilo v kombinaci s tkaninou Saertex vykazuje malou odolnost vůči namáhání tahem. Pátý vzorek série B byl složen z jedné rohože Unifilo  $300\text{g/m}^2$  a 7x skelné tkaniny  $280\text{g/m}^2$ . Hodnota pevnosti v tahu  $180,39\text{ MPa}$  byla dokonce menší než u vzorku 1. i v případě, že obsahoval o dvě skelné tkaniny více. Šestý, poslední, vzorek série B byl složen z devíti kusů fenolického prepregu PHG. Hodnota pevnosti v tahu byla  $179,47\text{ MPa}$ . Vzhledem k vysoké ceně, složitosti zpracování a nepříliš výrazným mechanickým vlastnostem bychom tento vzorek do výroby nedoporučili zařadit.

Pro objektivní posouzení vlastností vzorků série B jsme zaslali vzorky 3, 4, 5 a 6 na testování pevnosti v ohybu (tříbodový ohyb) do firmy SYNPO Pardubice. V případě vzorku 3. série B byla naměřena pevnost v ohybu  $322\text{ MPa}$  před expozicí a  $314\text{ MPa}$  po expozici. Vzorek 4. série B vykazoval pevnost v ohybu  $133\text{ MPa}$  před expozicí a  $106,4\text{ MPa}$  po expozici. V případě vzorku 5. byla hodnota pevnosti v ohybu  $264\text{ MPa}$  před expozicí a  $194\text{ MPa}$  po expozici. Vzorek 6. složen z prepregu PHG vykázal hodnotu pevnosti v ohybu  $263\text{ MPa}$  před a  $132\text{ MPa}$  po expozici. Tento vzorek byl značně ovlivněn vařením ve vodě. Celkově se ukázal jako nejlépe použitelný vzorek 3. který vykazoval dobré vlastnosti jak v tahu, tak v ohybu.

Cílem práce bylo vyvinout a zkoumat kompozitní materiály s vysokoplněnou akrylátovou maticí pouze na mechanické vlastnosti zkouškami v ohybu a v tahu. Výzkumem vlivů plniv na nehořlavost kompozitních materiálů s akrylátovou maticí bych se chtěl věnovat v navazujícím magisterském studiu a tuto problematiku nastínit v diplomové práci.



## SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] Stefanmichna.com [online]. 2012 [cit. 2012-04-12]. *Kompozitní materiály*.  
Dostupné na WWW:  
<[http://www.stefanmichna.com/download/technickematerialy\\_II/kompozitni\\_materialy.pdf](http://www.stefanmichna.com/download/technickematerialy_II/kompozitni_materialy.pdf)>
- [2] Rusnáková Soňa: Přednášky z předmětu zpracovatelské inženýrství kompozitů T5ZIK; FT UTB. 2011
- [3] JANČÁŘ, Josef. *Úvod do materiálového inženýrství polymerních kompozitů*. Vydání 1. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta chemická, 2003. ISBN 80-214-2443-5.
- [4] EHRENSTEIN, Gottfried W. *Polymerní kompozitní materiály*. Vydání 1. Nakladatelství SCIENTIA, 2009. ISBN 978-80-86960-29-6.
- [5] Kořínek, Z.: Kompozity [online]. 2012 [cit. 2012-04-12]. Dostupné na WWW:  
<[www.volny.cz/zkorinek/](http://www.volny.cz/zkorinek/)>
- [6] BAREŠ, Richard A. *Kompozitní materiály*. Vydání 1. Nakladatelství SNTL-nakladatelství technické literatury. 1988.
- [7] Kmi2.uniza.sk [online]. 2009 [cit. 2012-04-15] *Polymérne technické materiály*.  
Dostupné na WWW:  
<[http://kmi2.uniza.sk/wp-content/uploads/2010/10/polymerne\\_konstrukcne\\_materialy.pdf](http://kmi2.uniza.sk/wp-content/uploads/2010/10/polymerne_konstrukcne_materialy.pdf)>
- [8] Gurit.com [online]. 2012 [cit. 2012-04-15] *Guide to composites*.  
Dostupné na WWW: <<http://gurit.com/guide-to-composites.aspx>>
- [9] easycomposites.co.uk [online]. 2012 [cit. 2012-04-15] *Carbon Fibre Tow*.  
Dostupné na WWW:  
<<http://www.easycomposites.co.uk/carbon-fibre-reinforcement/carbon-fibre-tow-6k.aspx>>
- [10] Fiberglass-Supplier.com [online]. 2010 [cit. 2012-04-15] *Fiberglass Roving*.  
Dostupné na WWW:  
<<http://www.fiberglass-supplier.com/fiberglass-roving.html>>
- [11] Carbonfiber.com.au [online]. 2011 [cit. 2012-04-15] *Aramid tow*.  
Dostupné na WWW: <<http://www.carbonfiber.com.au/prod73.htm>>

## SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

$a_0$	mm	střední tloušťka
$b_0$	mm	střední šířka
$D$	mm	průměr
$E$	MPa	modul pružnosti v tahu
$F$	N	síla
$L$	mm	délka
$T_g$	°C	teplota skelného přechodu
$\rho$	kg/m <sup>3</sup>	hustota
$\mu$	-	poissonovo číslo
$\varepsilon$	-	poměrné prodloužení
$\sigma$	MPa	napětí
$L_p$	mm	vzdálenost podpor při zkoušce ohybem
$\sigma_o$	MPa	napětí v ohybu
$M_o$	N.mm	ohybový moment
$W_o$	mm <sup>3</sup>	modul průřezu v ohybu
$\sigma_m$	MPa	maximální naměřené napětí
$\varepsilon_{F_{MAX}}$	%	poměrné prodloužení při působení maximální síly
$\sigma_B$	MPa	napětí při přetržení
$\varepsilon_{Break}$	%	prodloužení při přetržení
$\bar{X}$	-	odhad aritmetického průměru
$s$	-	směrodatná odchylka
$v$	%	variační koeficient

## SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 Tahový diagram matrice nevyztužené a vyztužené skelnými vlákny-kompozit [1] .....	12
Obrázek 2 Výrobky z kompozitů [8] .....	14
Obrázek 3 Orientace vláken. [2] .....	16
Obrázek 4 Druhy disperzních fází kompozitních materiálů [2] .....	16
Obrázek 5 Druhy vazeb výztuže [7] .....	23
Obrázek 6 Schéma výroby skleněných vláken [5] .....	24
Obrázek 7 Roving skelného vlákna [10] .....	24
Obrázek 8 Uhlíkový roving a tkanina [9] .....	25
Obrázek 9 Aramidový roving [11] .....	27
Obrázek 10 Ruční kladení za mokra [2] .....	29
Obrázek 11 Autokláv [2] .....	31
Obrázek 12 Schéma RTM technologie. [2] .....	32
Obrázek 13 Vakuové prosycování [6] .....	33
Obrázek 15 Část trupu dopravního letadla [2] .....	34
Obrázek 14 Výroba trupu lodě metodou vakuového prosycování [2] .....	34
Obrázek 16 Trhliny v matrici v jednosměrně vyztužené struktuře kompozitu [4] .....	37
Obrázek 17 Znázornění hlavních os ( $o_x, o_y$ ) ortotropního materiálu [4] .....	38
Obrázek 18 Změna geometrie průřezu při tahové zkoušce [7] .....	39
Obrázek 19 Průběh tahových křivek: a-efektivní napětí; b-smluvní napětí [7] .....	41
Obrázek 20 Možnosti experimentálního uspořádání při zkoušce ohybem [7] .....	42
Obrázek 21 Schéma třibodového ohybu [7] .....	42
Obrázek 22 Horní díl formy (vlevo), spodní díl formy (vpravo) .....	46
Obrázek 23 Hydroxid hlinitý ATH .....	48
Obrázek 24 Skelná rohož Unifilo .....	49
Obrázek 25 Tkaný roving (vlevo), netkaný roving – saertex, (vpravo) [2] .....	49
Obrázek 26 Sklovýztuž Ahlstrom [2] .....	50
Obrázek 27 Připravená směs k ručnímu nanášení .....	51
Obrázek 28 Ruční přesycování ve formě .....	51
Obrázek 29 Uzavřená forma .....	52
Obrázek 30 Jednotlivé druhy skelné výztuže .....	53
Obrázek 31 Meřící přístroj Zwick 1456 .....	56

---

Obrázek 32 Schéma třibodového ohybu .....	57
Obrázek 33 Vzorek série A.....	60
Obrázek 34 Průběh tahové zkoušky vzorku č.1 série B .....	72
Obrázek 35 Průběh tahové zkoušky vzorku č.2 série B .....	72
Obrázek 36 Průběh tahové zkoušky vzorku č.3 série B .....	73
Obrázek 37 Průběh tahové zkoušky vzorku č.4 série B .....	73
Obrázek 38 Průběh tahové zkoušky vzorku č.5 série B .....	74
Obrázek 39 Průběh tahové zkoušky vzorku č.6 série B .....	74

**SEZNAM TABULEK**

Tabulka 1 <i>Srovnání vlastností různých druhů materiálů [1]</i> .....	13
Tabulka 2 <i>Parametry vláken vybraných materiálů [2]</i> .....	28
Tabulka 3 <i>Vlastnosti kapalně pryskyřice při 25°C. [Příloha PI]</i> .....	47
Tabulka 4 <i>Vlastnosti nevyztužené vytvrzené pryskyřice. [Příloha PI]</i> .....	47
Tabulka 5 <i>Obecné vlastnosti hydroxidu hlinitého [Příloha PII]</i> .....	48
Tabulka 6 <i>Složení jednotlivých vzorků série A</i> .....	52
Tabulka 7 <i>Složení směsi matrice</i> .....	53
Tabulka 8 <i>Složení jednotlivých vzorků série B</i> .....	54
Tabulka 9 <i>Složení směsi matrice</i> .....	54
Tabulka 10 <i>Naměřené hodnoty vzorků 1. série A</i> .....	58
Tabulka 11 <i>Naměřené hodnoty vzorků 2. série A</i> .....	58
Tabulka 12 <i>Naměřené hodnoty vzorků 3. série A</i> .....	59
Tabulka 13 <i>Naměřené hodnoty vzorků 4. série A</i> .....	59
Tabulka 14 <i>Naměřené hodnoty vzorků 5. série A</i> .....	60
Tabulka 15 <i>Naměřené hodnoty vzorků 1. série B</i> .....	61
Tabulka 16 <i>Naměřené hodnoty vzorků 2. série B</i> .....	61
Tabulka 17 <i>Naměřené hodnoty vzorků 3. série B</i> .....	62
Tabulka 18 <i>Naměřené hodnoty vzorků 4. série B</i> .....	62
Tabulka 19 <i>Naměřené hodnoty vzorků 5. série B</i> .....	62
Tabulka 20 <i>Naměřené hodnoty vzorků 6. série B</i> .....	63
Tabulka 21 <i>Naměřené hodnoty vzorků 3. Série B</i> .....	63
Tabulka 22 <i>Naměřené hodnoty vzorků 4. Série B</i> .....	64
Tabulka 23 <i>Naměřené hodnoty vzorků 5. Série B</i> .....	64
Tabulka 24 <i>Naměřené hodnoty vzorků 6. Série B</i> .....	65
Tabulka 25 <i>Naměřené hodnoty vzorků 3. Série B – po expozici</i> .....	65
Tabulka 26 <i>Naměřené hodnoty vzorků 4. Série B – po expozici</i> .....	66
Tabulka 27 <i>Naměřené hodnoty vzorků 5. Série B – po expozici</i> .....	66
Tabulka 28 <i>Naměřené hodnoty vzorků 6. Série B – po expozici</i> .....	67
Tabulka 29 <i>Statistika výsledků vzorků 1. série A</i> .....	68
Tabulka 30 <i>Statistika výsledků vzorků 2. série A</i> .....	68
Tabulka 31 <i>Statistika výsledků vzorků 3. série A</i> .....	68
Tabulka 32 <i>Statistika výsledků vzorků 4. série A</i> .....	69

---

Tabulka 33 <i>Statistika výsledků vzorků 5. série A</i> .....	69
Tabulka 34 <i>Statistika výsledků vzorků 1. série B</i> .....	69
Tabulka 35 <i>Statistika výsledků vzorků 2. série B</i> .....	70
Tabulka 36 <i>Statistika výsledků vzorků 3. série B</i> .....	70
Tabulka 37 <i>Statistika výsledků vzorků 4. série B</i> .....	70
Tabulka 38 <i>Statistika výsledků vzorků 5. série B</i> .....	71
Tabulka 39 <i>Statistika výsledků vzorků 6. série B</i> .....	71
Tabulka 40 <i>Statistika výsledků vzorků 3.série B – SYNPO</i> .....	75
Tabulka 41 <i>Statistika výsledků vzorků 4.série B – SYNPO</i> .....	75
Tabulka 42 <i>Statistika výsledků vzorků 5.série B – SYNPO</i> .....	76
Tabulka 43 <i>Statistika výsledků vzorků 6.série B – SYNPO</i> .....	76
Tabulka 44 <i>Statistika výsledků vzorků 3. série B – SYNPO po expozici</i> .....	77
Tabulka 45 <i>Statistika výsledků vzorků 4. série B – SYNPO po expozici</i> .....	77
Tabulka 46 <i>Statistika výsledků vzorků 5. série B – SYNPO po expozici</i> .....	78
Tabulka 47 <i>Statistika výsledků vzorků 6. série B – SYNPO po expozici</i> .....	78

## SEZNAM PŘÍLOH

Příloha PI: Technický list pryskyřice Modar ® 835 S CS

Příloha PII: Technický list plniva Martinal ON-904

Příloha PIII: Technický list tužidla Perkadox CH-50

Příloha PIV: Technický list - upravovač viskozity BYK ® - W996

Příloha PV: Technický list - skelná výztuž Unifilo

Příloha PVI: Technický list - skelná výztuž Saertex

Příloha PVII: Technický list - skelná výztuž Ahlstrom

Příloha PVIII: Technický list – prepreg PHG

# Příloha P I: Technický list pryskyřice Modar® 835 S CS



COMPOSITE POLYMER DIVISION  
<http://www.ashchem.com>

TECHNICAL DATA

## MODAR® 835 S CS

### MODIFIED ACRYLIC THERMOSET RESIN

• **DESCRIPTION:** MODAR® 835 S CS is a low viscosity modified acrylic resin offering the best choice for incorporation of Alumina Trihydrate to produce low smoke and low toxic emission fire retardant composites capable of meeting even the most stringent European Fire Standards.

• **APPLICATIONS and SUGGESTED USES**

Modar 835 S CS can be processed by RTM and all injection processes as well as by Pultrusion to produce Glass or Carbon Fibres Reinforced Composites parts used in Building or Transportation applications like Railway Seats, Fire Retardant Profiles, Mass Transit Panels etc.

• **TYPICAL LIQUID PROPERTIES AT 25°C**

Viscosity at 25°C (mPa.s)	55
Gel time (seconds)	230
Gel Peak Time (seconds)	115
Spec. Gravity	1.08
Solids Contents (%)	55
Flash Point (°C)	14.4
Boiling Point (°C)	100
Freezing Point (°C)	- 50

Gel Peak time Method: @ 20° C, 1.5 % pure BPO + 0.5 % DMPT  
Viscosity - Brookfield LV 60 rpm, n\*1 spindle, @ 25°C

• **TYPICAL PHYSICAL PROPERTIES of UNREINFORCED CAST RESIN**

Impact Strength (kJ/m <sup>2</sup> )	30
Flexural Strength (MPa)	132
Flexural Modulus (GPa)	2.9
Tensile Strength (MPa)	56
Tensile Modulus (GPa)	2.2
Elongation @ Break (%)	6.5
Barcol Hardness	40
Vol. Shrinkage (%)	11
HDT (°C)	83
Tg (°C)	131

• **TYPICAL PHYSICAL PROPERTIES of LAMINATE Unifilo CFM Reinforcement (17 % Volume Fraction) 150 phr – ATH filler (phr = parts per hundred (by weight) on resin)**

Flexural Strength (MPa)	178.0
Flexural Modulus (GPa)	7.4
Tensile Strength (MPa)	93.0
Tensile Modulus (GPa)	10.4
Elongation at Break (%)	1.4
Impact Strength (kJ/m <sup>2</sup> ) (un-notched Charpy)	84.0
HDT (°C)	> 220



- **STABILITIES of premixed MODAR 835 S CS**

RESIN	1.5 % BPO	0.5 % DMPT	0.5 % DMA
MODAR 835 S CS	> 1 week	overnight	> 1 week

Pure BPO = 100% active

- **PRODUCTION of MODAR + ALUMINA TRIHYDRATE FIRE RETARDANT COMPOSITES**

By choosing the appropriate grade of ATH, together with commercially available dispersing (wetting) agents, even the very high loading of ATH required to meet the most stringent European Fire Standards can be achieved.

EXAMPLE: 3 mm Modar 835 S CS Laminate Reinforced with 17 % vol. Random Glass Mat and filled with 150 phr ATH + viscosity reducer.

French NPF 92-501 = M1

French NFF 16-101, Smoke & Toxicity Classification , = F0

- **STANDARD PACKAGE** : non-returnable 220 kg net drums
- **DOT LABEL REQUIRED** : Flammable liquid – UN 1866
- **HANDLING** : MODAR 835 S CS resin contains ingredients which could be harmful if mishandled. Contact with skin and eyes should be avoided and necessary protective equipment and clothing should be worn. Ashland maintains Material Safety Data Sheets on all its products. Material Safety Data Sheets contain health and safety information for your development of appropriate product handling procedures to protect your employees and customers. Our Material Safety Data Sheets should be read and understood by all of your supervisory personnel and employees before using Ashland Chemical Company's products in your facilities.
- **RECOMMENDED STORAGE** :  
**Drums** – Store at temperatures below 26°C. Storage life decreases with increasing storage temperature. Avoid exposure to heat sources such as direct sunlight or steam pipes. Keep containers sealed to prevent moisture pickup and monomer loss. Rotate stock. **Bulk** – Store in stainless steel tanks or tanks lined with epoxy or phenolic coatings. Observe precautions against heat and moisture (see above). A blanket of dry, non-contaminated air may be desirable.
- **SHELF LIFE** : This product has a limited shelf life. When stored in accordance with the above conditions, this product has an average shelf life of 6 months.

© Registered Trademark, Ashland Inc.

**Typical Values:** Based on material tested in our laboratories but variable from sample to sample. Typical values should not be construed as a guaranteed analysis of any specific lot or as specification items.

Information contained in this bulletin reflects our best knowledge in this matter. They are just given for information and without guarantee. We recommend verifying the information by laboratory tests before using the products. Our liability for all eventual complaints is limited to the replacement of the product. The data regarding the use of our products cannot be interpreted as a direct or indirect incitement for patent infringement.

---

□ **HEAD OFFICE, EUROPE**

**Ashland Composite Polymers Division**

Gran via de Carles III, 84, Trading Building, 08028 Barcelona– Spain

Tel +34 93 492 3411 - Fax +34 93 496 5701

**CONTACTS**

- **FINLAND** Ashland Finland OY  
Tel +358 9 228 420 - Fax +358 9 22 842 310
  - **FRANCE** Ashland Polyester SAS  
Tel +33 4 66 90 30 70 - Fax +33 4 66 90 30 96
  - **ITALY** Ashland Italia SpA  
Tel +39 02 965 1581 - Fax +39 02 965 15820
  - **SPAIN** Ashland Chemical Hispania ,S.L.  
Tel +34 964 467 373 - Fax +34 964 473 697
  - **UK** Ashland Composite Polymers  
Tel +44 1562 821 300 - Fax +44 1562 740 785
-

## Příloha P II: Technický list plniva Martinal ON-904



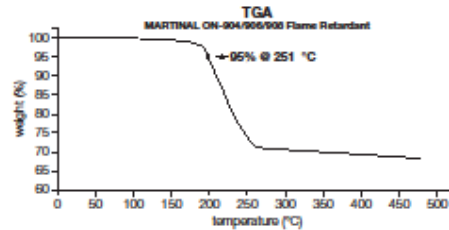
# MARTINAL® ON-904, ON-906 & ON-908 Flame Retardant

### Description

MARTINAL ON flame retardant grades are aluminum hydroxides with low-viscosity behavior. They are used as fillers in synthetic resins.

### Typical Properties

	ON-904	ON-906	ON-908
Al(OH) <sub>3</sub> , %, approx. ....	99.6	99.6	99.6
Moisture (105 °C), % .....	≤ 0.35	≤ 0.30	≤ 0.30
Loss on ignition (1200 °C), %, approx. ....	34.5	34.5	34.5
Na <sub>2</sub> O (soluble), % .....	≤ 0.10	≤ 0.10	≤ 0.10
Sieve residue, > 45 μm (wet), % .....	≤ 0.1	≤ 2.0	≤ 20.0
Median particle size, μm, approx. ....	4	6	8
Top cut, μm .....	≤ 45	≤ 60	≤ 100
Bulk density, untamped, kg/m <sup>3</sup> , approx. ....	530	550	600
Bulk density, tamped, kg/m <sup>3</sup> , approx. ....	870	930	980
Electrical conductivity (10% in H <sub>2</sub> O), μS/cm .....	≤ 140	≤ 130	≤ 120
Specific surface area (BET), m <sup>2</sup> /g, approx. ....	2.8	2.6	2.5
Oil absorption, ml/100g, approx. ....	21	18	17
Whiteness (Eirepho 457 nm), %, approx. ....	95	94	93
Density, g/cm <sup>3</sup> .....	2.4	2.4	2.4



**Shipping Information****Container Information**

50 lb bag, 25 kg bag (55.1 lb), 1000 kg supersack

**Shipping Classification**

DOT Classification, Not Regulated for Transportation

**Safety and Handling Information**

For specific safety, toxicity and handling information, please refer to the material safety data sheet on this product.

**Chemical Registration Numbers**CAS:  
TSCA:

21645-51-2

This material complies with the Toxic Substances Control Act  
(15 USC 2601-2629)

The information presented herein is believed to be accurate and reliable, but is presented without guarantee or responsibility on the part of Albemarle Corporation. It is the responsibility of the user to comply with all applicable laws and regulations and to provide for a safe workplace. The user should consider any health or safety hazards or information contained herein only as a guide, and should take those precautions which are necessary or prudent to instruct employees and to develop work practice procedures in order to promote a safe work environment. Further, nothing contained herein shall be taken as an inducement or recommendation to manufacture or use any of the herein materials or processes in violation of existing or future patents.



**AMERICAS** 451 Florida Street • Baton Rouge, Louisiana 70801-1785 • Tel: 225-355-7402 or 800-535-3000 • Fax: 225-355-7548 **EUROPE** Parc Scientifique Erasmin • Rue du Boquet 9 • B-1348 Louvain-la-Neuve Sud, Belgium • Tel: 32-10-48-1711 • Fax: 32-10-48-1717 **ASIA PACIFIC** 111 Somerset Road #13-03 • Singapore 238164 • Tel: 65-6732-6295 • Fax: 65-6737-4155

**ASIA PACIFIC** 16th Floor, Fukuoka Seimei Building • 2-2-2, Uchibasaki-cho • Chiyoda-ku, Tokyo 100-0011, Japan • Tel: 81-3-5251-0736 • Fax: 81-3-3500-5623 **ASIA PACIFIC** China World Tower, Room 1317 • No. 1 Jian Guo Men Wai Avenue • Beijing 100004 China • Tel: 86-10-6505-4193 or 86-10-6505-4154 • Fax: 86-10-6505-4150

AC-0241

(s/03)

© 2003 Albemarle Corporation

▲ ALBEMARLE and MARTINAL are trademarks of Albemarle Corporation

[www.albemarle.com](http://www.albemarle.com)

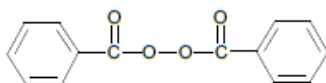
## Product Data Sheet



**AkzoNobel**  
Tomorrow's Answers Today

### Perkadox<sup>®</sup> CH-50

**Product description** Dibenzoyl peroxide, powder, 50% with dicyclohexyl phthalate



Molecular weight	: 242.2
Active oxygen content peroxide	: 6.61%
actual product	: 3.24-3.37%
CAS No.	: 94-36-0
EINECS/ELINCS No.	: 202-327-6
TSCA status	: listed on inventory

<b>Specifications</b>	Appearance, 10-20°C	: White free flowing powder
	Assay	: 49.0-51.0%
	Water	: 2.5% max.

<b>Characteristics</b>	Bulk density	: 0.640 g/cm <sup>3</sup> (40 lb/ft <sup>3</sup> )
------------------------	--------------	--

**Storage** Due to the relatively unstable nature of organic peroxides a loss of quality can be detected over a period of time. To minimize the loss of quality, AkzoNobel recommends a maximum storage temperature (T<sub>s</sub> max.) for each organic peroxide product.

For *Perkadox* CH-50 T<sub>s</sub> max. = 25°C (77°F)

When stored under these recommended storage conditions, *Perkadox* CH-50 will remain within the AkzoNobel specifications for a period of at least 6 months after delivery.

**Thermal stability** Organic peroxides are thermally unstable substances, which may undergo self-accelerating decomposition. The lowest temperature at which self-accelerating decomposition of a substance in the original packaging may occur is the Self-Accelerating Decomposition Temperature (SADT). The SADT is determined on the basis of the Heat Accumulation Storage Test.

For *Perkadox* CH-50 SADT : 55°C (131°F)

The Heat Accumulation Storage Test is a recognized test method for the determination of the SADT of organic peroxides (see Recommendations on the Transport of Dangerous Goods, Manual of Tests and Criteria - United Nations, New York and Geneva).

**Major decomposition products** Carbon dioxide, benzene, benzoic acid, diphenyl, phenylbenzoate

## Packaging and transport

In North America *Perkadox* CH-50 is packed in non-returnable fiber cartons of 50 lb net weight.

In other regions the standard packaging is a non-returnable cardboard box of 25 kg net.

Both packaging and transport meet the international regulations. For the availability of other packed quantities consult your AkzoNobel representative.

*Perkadox* CH-50 is classified as Organic peroxide type D, solid; Division 5.2; UN 3106.

## Safety and handling

Keep containers tightly closed. Store and handle *Perkadox* CH-50 in a dry well-ventilated place away from sources of heat or ignition and direct sunlight. Never weigh out in the storage room.

Avoid contact with reducing agents (e.g. amines), acids, alkalis and heavy metal compounds (e.g. accelerators, driers and metal soaps).

Please refer to the Material Safety Data Sheet (MSDS) for further information on the safe storage, use and handling of *Perkadox* CH-50. This information should be thoroughly reviewed prior to acceptance of this product. The MSDS is available at [www.akzonobel.com/polymer](http://www.akzonobel.com/polymer).

## Applications

*Perkadox* CH-50 is a free flowing, fine, granular powder containing 50% dibenzoyl peroxide for the curing of unsaturated polyester resins and acrylic resins at ambient and elevated temperatures. At temperatures up to 80°C, *Perkadox* CH-50 should be used in combination with an aromatic tertiary amine accelerator, above 80°C the use of an accelerator is not required.

*Perkadox* CH-50 is easy to handle, easy to disperse and dissolves very quickly in unsaturated polyester resins and acrylic resins. When in acrylic resins a very high degree of transparency of the cured part is required the special grade *Perkadox* CH-50L is advised. The curing system *Perkadox* CH-50/amine accelerator shows a very fast cure that is hardly influenced by humidity and fillers. Even at low temperatures a relatively good cure will be obtained. A disadvantage may be the yellow color and poor light resistance of the moulded product.

For ambient temperature curing the following amine accelerators are available to adjust the gel time and speed of cure of the cure system based on *Perkadox* CH-50:

Accelerator NL-65-100 (N,N-Dimethyl-p-toluidine) for short gel times  
Accelerator NL-63-100 (N,N-Dimethylaniline) for medium gel times  
Accelerator NL-64-100 (N,N-Diethylaniline) for long gel times

## Dosing

Depending on working conditions, the following peroxide and accelerator dosage levels are recommended:

<i>Perkadox</i> CH-50	2 - 5 phr*
Amine accelerator	0.05 - 0.5 phr

\* phr = parts per hundred resin

*Cure Characteristics*

In a high reactive standard orthophthalic polyester resin the following application characteristics were determined.

**Gel times at 20°C**

UP resin	100	100	100	100	100	100	100
<i>Perkadox</i> CH-50	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
Accelerator NL-63-100	0.1	0.4					
Accelerator NL-64-100			0.1	0.5			
Accelerator NL-65-100					0.05	0.1	0.4
Gel time (minutes)	22	6	160	20	20	5	1

**Cure of 1 mm pure resin layer at 20°C**

The speed of cure is expressed as the time to reach a Persoz hardness of respectively 30, 60 and 120 s.

			Persoz: 30	60	120 s
3 phr <i>Perkadox</i> CH-50 + 0.1	phr Acc. NL-63-100		0.5	0.8	2 h
3 phr <i>Perkadox</i> CH-50 + 0.4	phr Acc. NL-63-100				<0.5 h
3 phr <i>Perkadox</i> CH-50 + 0.5	phr Acc. NL-64-100			0.5	1 h
3 phr <i>Perkadox</i> CH-50 + 0.05	phr Acc. NL-65-100	1	2.5	14	h
3 phr <i>Perkadox</i> CH-50 + 0.1	phr Acc. NL-65-100				0.5 h

**Cure of 4 mm laminates at 20°C**

4 mm laminates have been made with 450 g/m<sup>2</sup> glass chopped strand mat. The glass content in the laminates is 30% (w/w).

The following parameters were determined:

- Time-temperature curve
- Speed of cure expressed as the time to achieve a Barcol hardness (934-1) of 0-5 and 25-30 respectively.
- Residual styrene content after 24h at 20°C and a subsequent postcure of 8 h at 80°C.

		Gel time min.	Time to Peak min.	Peak exotherm °C	
3 phr <i>Perkadox</i> CH-50 + 0.1	phr Acc. NL-63-100	24	31	99	
3 phr <i>Perkadox</i> CH-50 + 0.5	phr Acc. NL-64-100	21	26	140	
3 phr <i>Perkadox</i> CH-50 + 0.05	phr Acc. NL-65-100	28	35	64	
		Barcol		Res. styrene	
		0-5	25-30	24 h 20°C	+8 h 80°C
		h	h	%	%
3 phr <i>Perkadox</i> CH-50 + 0.1	phr Acc. NL-63-100		<1	3.2	1.0
3 phr <i>Perkadox</i> CH-50 + 0.5	phr Acc. NL-64-100		<<1	2.9	2.1
3 phr <i>Perkadox</i> CH-50 + 0.05	phr Acc. NL-65-100	1	8.5	6.6	0.8



### Pot life at 20°C

Pot lives were determined of a mixture of *Perkadox* CH-50 and a non-preaccelerated UP resin at 20°C.

3 phr <i>Perkadox</i> CH-50	21 days
6 phr <i>Perkadox</i> CH-50	11 days

*Perkadox* is a registered trademark of Akzo Nobel Chemicals B.V. or affiliates in one or more territories.

All information concerning this product and/or suggestions for handling and use contained herein are offered in good faith and are believed to be reliable. AkzoNobel Functional Chemicals, however, makes no warranty as to accuracy and/or sufficiency of such information and/or suggestions, as to the product's merchantability or fitness for any particular purpose, or that any suggested use will not infringe any patent. Nothing contained herein shall be construed as granting or extending any license under any patent. Buyer must determine for himself, by preliminary tests or otherwise, the suitability of this product for his purposes. The information contained herein supersedes all previously issued bulletins on the subject matter covered. The user may forward, distribute, and/or photocopy this document only if unaltered and complete, including all of its headers and footers, and should refrain from any unauthorized use. You may not copy this document to a website.

AkzoNobel Functional Chemicals  
Amersfoort, The Netherlands  
T +31 33 467 6767  
F +31 33 467 6151

E [polymerchemicals.nl@akzonobel.com](mailto:polymerchemicals.nl@akzonobel.com)

AkzoNobel Functional Chemicals  
Chicago, U.S.A.  
T +1 312 544 7000  
1 800 828 7929 (Toll free US only)  
F +1 312 544 7188  
E [polymerchemicals.na@akzonobel.com](mailto:polymerchemicals.na@akzonobel.com)

[www.akzonobel.com/polymer](http://www.akzonobel.com/polymer)

Akzo Nobel (Asia) Co., Ltd.  
Shanghai, PR China  
T +86 21 2216 3600  
F +86 21 3360 7739

E [polymerchemicals.ap@akzonobel.com](mailto:polymerchemicals.ap@akzonobel.com)

## Příloha PIV: Technický list - upravovač viskozity BYK® - W996



A member of  ALIANA

### REACH Confirmation

We, BYK, confirm that

**BYK-W 996**

is in compliance with the EC Regulation 1907/2006 (REACH)

REACH compliance means that all substances contained in this product:

- Have been pre-registered and/or have been registered by our company and/or our suppliers, and/or
- Are excluded from the Regulation, and/or
- Exempted from registration
  
- For polymeric substances: all monomers have been pre-registered and/or have been registered by our company and/or our suppliers.

Wesel, 17 April 2009



**Part I Questions from Downstream User (Customer) to Supplier  
REACH: Pre-registration / Registration**

Concerning the Products (trade name): BYK-W 996

- Substance  Polymer  
 Preparation  Article

1. At this stage, do you expect that the substances, which are contained in the product above and require registration, will be pre-registered by your company or by your upstream supplier?  
  
 yes  
 no  
 too early to decide. Reply probably by ..... (expected date of reply)  
 this product does not contain any substances manufactured by BYK that are subject to pre-registration under REACH<sup>2</sup>  
 yes, all other substances, > 1 ton per annum not manufactured by BYK either have been pre-registered by BYK or BYK's suppliers and/or by their suppliers (producers/ importers) or are excluded or exempted from REACH.
2. At this stage, do you expect that the substances, which are contained in the product above and require registration, will be registered?  
  
 yes  
 no  
 too early to decide. Reply probably by ..... (expected date of reply)  
 this product does not contain any substances manufactured by BYK that are subject to registration under REACH
3. If questions 1 or 2 are answered with "yes": Regarding the substances that are contained in the product and require registration – please mark the crucial REACH registration deadlines for those substances which are decisive for the product properties.  
  
 immediate registration

---

<sup>1</sup> The information contained in this questionnaire expresses only the intention of the questionee and does not constitute a binding obligation. Whilst the information is provided in utmost good faith, no representations or warranties are made with regards to its completeness or accuracy and no liability will be accepted for damages of any nature whatsoever resulting from the use of or reliance on the information

- 2010
- 2013
- 2018
- too early to decide
- exempt from REACH
- no this product does not contain any substances manufactured by BYK

#### 4. Contact details

Please provide full contact details for the person in your company responsible for REACH issues

*Name, position, telephone number, mailing address and email*

Rob Zwanenburg

Regulatory affairs specialist

+49-281 670 692

[brief.byk@altana.com](mailto:brief.byk@altana.com)

#### **Statement concerning future availability**

- BYK-Chemie has expressed a firm commitment to sustain the entire sales products portfolio under the obligations of REACH
- At present BYK-Chemie cannot formally guarantee that indeed all individual products will be sustained under all circumstances

### **Explanations regarding Part I**

#### **Regarding question 1**

If the supplier is not the Manufacturer/Importer but the distributor of substances requiring registration that are contained in the listed products above, it must be clarified whether the supplier can assume that his upstream Manufacturer/Importer will carry out a pre-registration.

If the product is a polymer, the purpose of the question is to find out whether the monomers bound in the polymer or other substances bound in the polymer will be registered by the Manufacturer/Importer. This does not refer to residual monomers in the polymer.

#### **Regarding question 1 and 2**

Somewhat more time might be needed to answer this question for preparations, because initially the supplier needs to obtain relevant information from his suppliers up till and including the manufacturer/importer. Answering this question with "yes" is no promise of a registration, as – besides REACH – further factors might exert an influence (e.g. unforeseeable future market situations).

#### **Regarding question 3**

Example – Determining the crucial registration deadline for substances decisive for product properties:

A product consists of substances 1, 2 and 3. Substances 1 and 2 are decisive for the product properties; they have registration deadlines of 6, 6 and 11 years due to their production or import volumes. Substance 3 – which is not decisive for the specific use of the product and could be replaced, e.g. a solvent – has a registration deadline of 3.5 years because of higher production or import volumes. In this example, substance 3 is not crucial for the product as it can be replaced without affecting the required product properties. Here, substances 2 and 3 are decisive so that the box "6 years" should be ticked. Box "6 years" should be ticked.

The option "immediate registration" means that there is no pre-registration and the substance will be registered without delay, within 12 months after the entry into force of REACH.



## Unifilo® for Closed Molds

U614, U801, U809, U812, U813, U814, U816, U817, U822, U850, U852, U854

### PRODUCT DESCRIPTION

Unifilo® is an Advantex® glass continuous filament mat consisting of randomly oriented strands in multiple layers held together with a suitable binder and with a silane coupling agent. The Advantex® glass fiber combines the electrical and mechanical properties of traditional E-glass with the acid corrosion resistance of E-CR glass.

- U801 can be used for:
  - parts produced by foaming polyurethane, at low density
  - complex parts molded at low pressure
- U809 is especially suited for Polyurethane foam reinforcement and widely used in LNG carrier thermal insulation
- U614, U812, U813, U814, U816, U817, U822, can be used for:
  - parts molded by RTM, L-RTM, infusion or wet compression with UP, VE, EP and PU resins
  - gypsum parts with improved fire resistance and mechanical properties
- U850, U852, U854 are suited especially for molding with highly filled resins. Super performances met by infusion thanks to the core in 50 tex.



© istock 2009

### PRODUCT REFERENCE

Example : U850 450 – 138

- U : Continuous strand mat (Unifilo®)
- 850 : Product classification code
- 450 : Nominal weight per unit area (g/m<sup>2</sup>)
- 138 : Roll width (cm)

### FEATURES AND PRODUCT BENEFITS

- |  |  |
|--|--|
| • U814(*): closed molds mat                          | • Easy unrolling, cutting and handling               |
| • U801: low binder content                           | • Good adaptability to complex shapes                |
| • U809: very low binder content                      | • Even dispersion in PU matrix during foam expansion |
| • U812 to U822: rising binder content and rigidity   | • Easy unrolling, cutting and handling               |
| • U850, U852, U854: core made with higher strand tex | • Outstanding resin flow                             |

(\*) Advantex® glass / Available only for NA Market

### TECHNICAL CHARACTERISTICS (NOMINAL VALUES)

REF.	SIZING	BINDER TYPE	SOLUBILITY IN STYRENE	LINEAR WEIGHT OF BASIC STRANDS (TEX)	LOSS ON IGNITION (%)	MOISTURE CONTENT (%)
				Iso 1689	Iso 1687	Iso 3344
U614	Silane	Polyester	Low	36	4.5	< 0.15
U801				25	1.6	< 0.15
U812				25	2.2	< 0.15
U822				25	2.0	< 0.15
U813				25	3.5	< 0.15
U814				25	4	< 0.15
U816				25	6	< 0.15
U850				25/50/25	6	< 0.15
U852				25/50/25	2.5	< 0.15
U854				25/50/25	4	< 0.15
U809				25	0.9	< 0.15
U817				25	7	< 0.15

# Unifilo® for Closed Molds

U614, U801, U809, U812, U813, U814, U816, U817, U822, U850, U852, U854

## VISUAL CHARACTERISTICS OR POSSIBLE DEFECTS

Type A: coarse strands  
 Type B: cluster of glass fiber  
 Type C: water spots  
 Type D: binder spots, dirt and foreign matters (diameter below 30 mm)  
 Type E: hole  
 Maximum number of defects allowed: each 100 lm Unifilo® roll section may contain at most 5 of the above listed defects.

## PRODUCT AVAILABILITY

Available widths from 50 to 300 cm

ROLL WIDTH (cm)	STANDARD WEIGHTS (g/m²)	APPROXIMATE DIMENSIONS OF FULL* ROLL, 100 CM WIDE (*full roll: a roll having a guaranteed length of at least 90% of the value indicated above.)	Nominal length (m)															
			U614	U801	U809	U812	U813	U814	U816	U817	U822	U850	U852	U854				
100	100	66																
	150																	
	225		225	250	250	250	270	250	250									
	300		150	200	205	210	220	205	210									
	450		125	90	125	90	125	125	140									
	600		80	85	80	80	100	80	85									
900	85	70	75	75	85	75	75											
			Nominal weight (kg)															
100	100	55				80												
	150						64											
	225		82	87	87	88	81	87	88									
	300		87	88	88	88	88	88	82	88								
	450		88	88	81	88	78	81	88	88	88							
	600		48	88	84	87	88	84	87	88								
900	88	88	78	88	77	78	88											

## PACKAGING

- Each roll of Unifilo® is wound up onto a cardboard tube of 0.7 kg/m with 103 mm internal diameter, then individually wrapped with a transparent protective film.
- Pallet type:
  - Rolls ≤ 205 cm width: standard pallet (vertical rolls 14 x 114cm)
  - Rolls > 205 cm width: wooden crate (horizontal rolls).
- Pallet protection:
  - Standard pallet = shrink-wrapped (cardboard base and cover)
  - Wooden crate = each roll packaged in a polyethylene bag.

## LABELING

- Each roll carries an information label with product reference.
- Each pallet carries also an information label with: product reference, gross and net weights, the number of rolls on the pallet and their net weight.

## STORAGE

Unifilo® mat must be stored in its original packaging in a place with no humidity and heat. The best conditions are temperatures between 15 and 35°C and a relative humidity level between 35 and 85%. If the product is stored at lower temperature (below 15°C), we recommend to condition it inside the workshop for at least 24 hours prior using, to prevent condensation.

On site stacking of pallets is possible on (1/1) only. Please use a plywood plank between the two pallets to avoid damage the lower pallet.

Contact  
 Unifilo.ocvamericas@owenscorning.com

Unifilo.ocvemea@owenscorning.com

Unifilo.ocvap@owenscorning.com



**OCV Reinforcements**

OWENS CORNING  
 COMPOSITE MATERIALS, LLC  
 ONE OWENS CORNING PARKWAY  
 TOLEDO, OHIO 43659  
 1.800.GET.PINK™  
 www.owenscorning.com  
 www.ocvreinforcements.com

EUROPEAN OWENS CORNING  
 FIBERGLAS, SPRL  
 166, CHAUSSÉE DE LA HULPE  
 B-1170 BRUSSELS  
 BELGIUM  
 +32.2.674.82.11

OWENS CORNING - OCV ASIA PACIFIC  
 SHANGHAI REGIONAL HEADQUARTERS  
 2F OLIVE LVO. MANSION  
 620 HUA SHAN ROAD  
 SHANGHAI 200040  
 CHINA  
 +86.21.62489922

This information and data contained herein is offered solely as a guide in the selection of a reinforcement. The information contained in this publication is based on actual laboratory data and field test experience. We believe this information to be reliable, but do not guarantee its applicability to the user's process or assume any responsibility or liability arising out of its use or performance. The user agrees to be responsible for thoroughly testing any application to determine its suitability before committing to production. It is important for the user to determine the properties of its own commercial compounds when using this or any other reinforcement. Because of numerous factors affecting results, we make no warranty of any kind, express or implied, including those of merchantability and fitness for a particular purpose. Statements in this publication shall not be construed as representations or warranties or as inducements to infringe any patent or violate any law safety code or insurance regulation.

Pub. No. 10010967-B. Owens Corning reserves the right to modify this document without prior notice. ©2009 Owens Corning  
 Unifilo\_U800\_www\_06-2008\_Row4

Příloha PVI: Technický list - skelná výztuž Saertex



**SAERTEX® GmbH & Co. KG**  
Brochterbecker Damm 52  
**D-48369 Saerbeck**  
phone: ++49/2574/902-0  
fax: ++49/2574/902-209  
e-mail: info@saertex.com

**DATASHEET**

STYLE NO.  
**S32EX010-00980-01270-283000**

DESCRIPTION OF STYLE  
**BIDIAGONAL-GLASS-FABRIC**

CONSTRUCTION	AREAL-WEIGHT [g/m <sup>2</sup> ]	TOLERANCE [+/- %]	MATERIAL	LINEAR DENSITY tex
-45°	476	5	E-Glass	900
90°	29	5	E-Glass	300
+45°	476	5	E-Glass	900
STITCHING:	6	5	PES 76 dtex	

BINDER: Warp

GAUGES: 5

WIDTH: 1270 mm or in tapes

TOTAL AREAL WEIGHT: 988 g/m<sup>2</sup> TOTAL TOLERANCE: 5,0 %

**Threads of stabilization in 0° (E-Glass 34tex)**



## Příloha PVII: Technický list - skelná výztuž Ahlstrom

# AHLSTROM



Glassfiber Reinforcements

## Multiaxials



**Ahlstrom Multiaxial reinforcements are specifically designed for production of high quality laminates. They offer optimised fibre structures to provide strength in specific directions.**

### Applications

Ahlstrom Multiaxials are speciality reinforcements suited for a wide range of production processes: hand lay-up, filament winding, pultrusion and closed moulds.

Typical applications can be found in wind turbine blade production and boat building.

### Product description

Ahlstrom Multiaxials are engineered fabrics made up of fibre layers laid parallel in up to four main directions (0°, 90°, +45° and -45°) and stitched together. Special directions between 45° and 90° are available and stitching configurations can be changed to meet the needs of a specific application. Also a chopped strand layer or different types of tissues can be added.

Ahlstrom Multiaxials are compatible with various types of resins. Multiaxials are also available as narrow tapes.

### Certifications

All Ahlstrom Glasfibre operations are certified according to the ISO9001 standard. Certain products are also approved by classification standards e.g. Det Norske Veritas, Germanischer Lloyd.

## Product specification (some examples of our product range)

	Product code	Weight g/m <sup>2</sup> Layers	Total	Thickness, mm (ISO 4602)
Biaxial 0°/90°	42007	300 + 300	= 600	0,61
	42031	425 + 425	= 850	0,80
Uniaxial 0°/90°	42024	1150 + 50	= 1200	1,09
Biaxial +45°/-45°	42006	225 + 225	= 450	0,48
	42008	300 + 300	= 600	0,60
	42013	500 + 500	= 1000	0,93
Triaxial +45°/-45°/0°	43014	300 + 300 + 300	= 900	0,94
	43032	450 + 450 + 900	= 1800	1,56
Triaxial +45°/90°/0°	43025	300 + 300 + 300	= 900	0,94
	43030	225 + 450 + 225	= 900	0,94
Quadriaxial +45°/90°/-45°/0°	44005	195 + 390 + 195 + 390	= 1170	1,06
	44901	600 + 600 + 600 + 600	= 2400	2,00
	44010	300 + 300 + 300 + 300	= 1200	1,09

## Standard products

Weights	Standard width 127 cm Special widths up to 254 cm are available on request
Roll lengths	50 - 100 m

## Standard packaging

Ahstrom Multiaxial products are wound on a cardboard tube (internal diameter 76mm), wrapped in PE film and set on wooden, one way pallet. Each pallet is shrink wrapped. A detailed description of packaging is available on request. Other tube diameters for specific use are available.

## Storage

Multiaxial Products should be stored in packaging in a dry, cool environment sunlight and heat sources must be avoided. The optimal conditions for storage are temperatures between +10°C and +3 - 90°F) and a relative humidity of less than 1. If the product is stored at temperature +15°C (60°F), conditioning in the work is recommended for at least 24 hours. contents of a package are only partly the package should be closed again, recommended that the product be used within 12 months of delivery.

Note! Do not stack the pallets more than one high for storage.

## Contact offices

**Ahstrom Espoo**  
Ahstrom Glassfibre Oy  
P.O.Box 140  
06201 Korke  
FINLAND

**Ahstrom Mikael**  
Ahstrom Glassfibre Oy  
Insinöörinkatu 2  
50100 Mikael  
FINLAND

**Ahstrom Bishopville**  
227 Browntown Road,  
Bishopville, S.C. 29010  
USA

**Ahstrom Tver**  
Promishlennaya str. 111  
Redkino,  
Tver region 171261  
Russian Federation

**Ahstrom S**  
Ahstrom A  
Holdings, I  
Room 200  
28th Fl. 2nd  
No. 1027 C  
Road, Sha  
PRC 20005

T: +358 10 888 11  
F: +358 10 888 2510

T: +358 10 888 12  
F: +358 10 888 2900

T: +1 803 423 4120  
F: +1 803 423 4114

T: +7 4022 35 33 56,  
ext. 156

T: +86 21 1  
F: +86 21 1

For further details please email [glassfibre@ahstrom.com](mailto:glassfibre@ahstrom.com) or visit [www.ahstrom.com](http://www.ahstrom.com)

DISCLAIMER: This website is issued without obligation. All stated specifications reflect the present status but are subject to change without notice.

© Ahstrom Corporation 2011



## **PH840-300-42**

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

## Description

PH840-300-42 is a halogenfree modified phenolic system, designed for laminate with bright colour and good surface quality.

This prepreg material has been developed for industrial and rail applications, with high specific mechanical properties and excellent FST (low heat-release and smoke-density) behaviour.

The resin matrix PH840 can be cured at a temperature range between 120 C and 160 C. Monolithic and sandwich structures can be easily manufactured with this prepreg.

The curing can be performed by press, vacuum and autoclave moulding with a pressure of at least 0.07 N/mm<sup>2</sup>.

Such composite structures can be exposed easily to temperatures in the range of -55°C up to +80°C.

Cured laminates fulfil the flame-retardant Rail specifications:

- BS 476-6 and 7 Class 1, BS 6853 R. 025, NF-F 16-101/102 (M1, F1)
- UNE 23-721 (M1), DIN 55 10 S4, SR2, ST2, DIN EN 45545 under testing

The prepreg material is suitable for:

- Rail industries
- Machine industries
- Marine and automotive applications

## Prepreg Properties

	Test method	Value
Resin		Phenolic
Prepreg Weight	EN 2329	525 +30 g/m <sup>2</sup>
Volatile	EN 2330 (160°C/10min)	< 6.0 %
Resin Flow	EN 2332 (3 plies, 135°C, 8min, 4 bar)	> 10 %
Tackiness		T0, T1, T2
Fibre Material		E-glass
Fabric Weight	EN 2331	296 g/m <sup>2</sup> ±5 %
Weave Style		8H satin
Service Temperature (Cured State)		-55°C to +80°C
Resin Content	EN 2331	42.0 ±3%

## Delivery Form and Storage

Prepreg sizes	Roll length / Roll width	50 / 1.0 m
Storage Life (from delivery date)	Days at RT / Month at -18°C	

## Curing Conditions

		Cycle
Temperature		120/130/140/160°C
Cure Time		90/60/30/10 min
Spec. Pressure		0.07- 0.4 MPa
Heat-up		2 to 5 K/min
Cool-down		2 to 5 K/min
Remove material at		< 80°C
Recommended curing process		Vacuum bag / Oven, Press, Autoclave

## Mechanical Properties (Typical Values)

	Temp. [°C]	Standard	Results	
Flexural Strength (warp)	RT	ISO 178	450	MPa
	80		300	
Flexural Modulus (warp)	RT	ISO 178	22	GPa
	80		19	
Tensile Strength (warp)	RT	ISO 527-4		MPa
	80			
Tensile Modulus (warp)	RT	ISO 527-4		GPa
Compressive Strength (warp)	RT	EN 2850	—	MPa
	80		—	
Compressive Modulus (warp)	RT	EN 2850	—	GPa
Interlaminar Tensile Shear Strength (warp)	RT	AITM 1.0019/1B	18	MPa
	80		16	
Climbing Drum Peel <sup>1</sup>	RT	EN 2243-3	110	N/75 mm
	80		—	
Bending Load (4-P.) <sup>1</sup>	RT	AITM 1.0018 Fig.2	850	N
	80		—	
Tg (TMA)		TMA	> 80	°C

<sup>1</sup>Sandwich structure

## Burning Behavior

		Test method	Max. mean values	
Flammability vertical, 60s flaming	burn length after flame time after flame time of drips	AITM 2.0002A	60	mm
			5	
Max. specific optical smoke density within 4 min	flaming mode	AITM 2.0007A	5	Ds
			—	
Heat release		AITM 2.0006	25	$\frac{kW}{m^2}$
Heat release rate		AITM 2.0006	25	$\frac{kW \cdot min}{m^2}$

## Notice

The data have been obtained from representative sample specimens. Because the properties depend strongly on the fabrication and testing conditions, Gurit cannot guarantee that the data listed above will be achieved with other processes and equipment.

**Gurit (Zullwil) AG**  
Fabrikweg 54  
CH-4234 Zullwil  
Switzerland  
T +41 (0) 61 795 06 01  
F +41 (0) 61 795 06 04

**Gurit (Kassel) GmbH**  
Otto-Hahn-Str. 5  
D-34123 Kassel  
Germany  
T +49 (0) 561 99 85 63 0  
F +49 (0) 561 99 85 63 22

E [info@gurit.com](mailto:info@gurit.com)  
W [www.gurit.com](http://www.gurit.com)