

# **Studium vlastností samozhášivých kompozitů vyrobených technologií Light-RTM.**

Bc. Patrik Cuha

---

Diplomová práce  
2014



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

akademický rok: 2013/2014

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Patrik Cuha**  
Osobní číslo: **T12902**  
Studijní program: **N3909 Procesní inženýrství**  
Studijní obor: **Výrobní inženýrství**  
Forma studia: **prezenční**

Téma práce: **Studium vlastností samozhášivých kompozitů vyrobených technologií Light-RTM.**

Zásady pro vypracování:

- 1.Literární rešerže kompozitních materiálů pro samozhášivé aplikace.
- 2.Průzkum retardérů hoření, jejich vlastností, způsoby míchání.
- 3.Přehled testovacích metod pro hořlavost.
- 4.Návrh kompozitního systému s vhodnými FST vlastnostmi, pro výrobek dle doporučení vedoucího práce.
- 5.Experimentální výroba kompozitního systému dle návrhu, pomocí technologie Light-RTM.
- 6.Experimentální testování FST vlastnosti dle doporučení vedoucího práce(LOI, požární odolnost atd.)
- 7.Vyhodnocení naměřených dat, vzájemné srovnání.
- 8.Závěr diplomové práce.

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

**Dle doporučení vedoucího diplomové práce.**

Vedoucí diplomové práce:

**doc. Ing. Soňa Rusnáková, Ph.D.**

Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání diplomové práce:

**10. února 2014**

Termín odevzdání diplomové práce:

**12. května 2014**

Ve Zlíně dne 10. února 2014

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



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

Příjmení a jméno: .....CUHA PATRIK.....

Obor: .....VI.....

## 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 .....2.5.2013.....

..........

<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 nevydávalečně 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 nahlédnutí 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 rozmnožení.

(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). Odpírá-li autor takového díla udělit svolení bez vážného důvodu, mohou se tyto osoby domáhat nahrazení chybějícího projevu jeho vůle u soudu. Ustanovení § 35 odst. 3 zůstává nedotčeno.

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

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

## **ABSTRAKT**

Tato diplomová práce se zabývá studii hořlavosti a mechanických vlastností kompozitních materiálů. Teoretická část se převážně zabývá polymerními matricemi, výztužemi, infuzními technologiemi, požárním odolnostem materiálů a jejich zkouškám a v poslední řadě mechanickým vlastnostem.

Praktická část je věnována výrobě vzorků, zkoušce hořlavosti a mechanickým vlastnostem. Závěr práce je zaměřen na porovnání jednotlivým druhům vyrobených vzorků a jejich hodnocení.

Klíčová slova: Matrice, výztuže, Light RTM, požární vlastnosti, mechanické zkoušky.

## **ABSTRACT**

This diploma thesis deals with the flammability and mechanical properties of composite materials. The theoretical part is mainly engaged in polymer matrix, reinforcement; vacuum assisted technology, fire resistance of materials and their testing and lastly mechanical properties.

The practical part is devoted to the production of samples, test the flammability and mechanical properties. The conclusion is focused on the comparison of the various types of samples and made their assessment.

Keywords: Matrix, reinforcement, Light RTM, fire characteristics, mechanical tests.

Tímto bych velice rád poděkoval paní doc. Ing. Soně Rusnákové, Ph.D. za její vstřícnost, profesionální jednání a řešení problematiky na mojí diplomové práci, dále také panu Ing. Vladimíru Rusnákovi za poskytnutí zázemí pro vypracování praktické části a odborném dohledu, dále panu Ing. Milanu Žaludkovi, Ph.D, který mi poskytl informace při vyhodnocování mechanických zkoušek a panu Ing. Martinu Řezníkovi za rozšíření informací s prací na mikroskopech.

Prohlašuji, že odevzdaná verze 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 KOMPOZITNÍ POLYMERNÍ MATERIÁLY .....	12
<b>2 ÚVOD DO STRUKTURY KOMPOZITŮ</b> .....	<b>14</b>
2.1 STRUKTURA KOMPOZITŮ.....	14
2.1.1 Klasifikace kompozitu .....	14
<b>3 POLYMERNÍ MATRICE</b> .....	<b>16</b>
3.1 NENASYCENÉ POLYESTEROVÉ PRYSKYŘICE .....	16
3.2 EPOXIDOVÉ PRYSKYŘICE.....	17
3.3 VINYLESTEROVÉ PRYSKYŘICE.....	18
<b>4 VÝZTUŽE (VLÁKNA, TKANINY, ROHOŽE)</b> .....	<b>19</b>
4.1 MATERIÁL VÝZTUŽÍ .....	20
4.1.1 Skleněná vlákna .....	20
4.1.2 Uhlíková vlákna .....	21
4.1.3 Aramidová vlákna .....	21
<b>5 GELCOATY</b> .....	<b>22</b>
<b>6 TECHNOLOGIE LIGHT-RTM</b> .....	<b>24</b>
<b>7 POŽÁRNÍ VLASTNOSTI POLYMERNÍCH KOMPOZITNÍCH MATERIÁLŮ</b> .....	<b>25</b>
7.1 TEORIE HOŘENÍ .....	26
7.1.1 Spalovací cyklus.....	27
7.1.2 Protipožární pevnostní vlastnosti kompozitního polymerního materiálu.....	27
7.2 MOŽNOSTI MODIFIKACE VLASTNOSTÍ KOMPOZITNÍCH MATERIÁLŮ .....	27
<b>8 RETARDÉRY HOŘENÍ</b> .....	<b>29</b>
8.1 BOBTNAJÍCÍ VÝPLNĚ.....	29
8.2 PROTIPOŽÁRNÍ POVRCHOVÉ ÚPRAVY.....	30
8.3 HOŘLAVOST .....	30
8.3.1 HOŘLAVOST PLASTŮ – metoda kyslíkového čísla „LOI“ .....	31
8.3.2 HOŘLAVOST PLASTŮ – testovací metoda UL 94 .....	32
8.3.3 Zkouška podle směrnice UIC 564 – 2.....	33
8.3.4 Určování obsahu skla kalcinační metodou.....	33
<b>9 MECHANICKÉ ZKOUŠKY</b> .....	<b>34</b>
9.1 STANOVENÍ OHYBOVÝCH VLASTNOSTÍ .....	34
9.2 CHARPYHO KLADIVO – ZKOUŠKA VRUBOVÉ HOUŽEVNATOSTI.....	34
<b>II PRAKTICKÁ ČÁST</b> .....	<b>36</b>
<b>10 CÍLE DIPLOMOVÉ PRÁCE</b> .....	<b>37</b>
<b>11 NAVRHNUTÍ SLOŽENÍ VZORKŮ A JEJICH VÝROBA</b> .....	<b>38</b>
11.1 VÝROBA VZORKŮ INFUZNÍ TECHNOLOGIÍ .....	40
<b>12 TESTOVÁNÍ VZORKŮ</b> .....	<b>44</b>



12.1	STANOVENÍ TLOUŠŤKY GELCOATU .....	44
12.2	STANOVENÍ OHYBOVÝCH VLASTNOSTÍ DLE ČSN EN ISO 178 .....	48
12.2.1	Pracovní podmínky .....	48
12.2.2	Naměřené hodnoty ohybu .....	49
12.2.3	Vyhodnocení výsledků.....	57
<b>13</b>	<b>ZKOUŠKA HOŘLAVOSTI DLE SMĚRNICE UIC 564-2 .....</b>	<b>58</b>
13.1	SHRNUTÍ VÝSLEDKŮ A POROVNÁNÍ JEDNOTLIVÝCH VZORKŮ ZKOUŠKY HOŘLAVOSTI.....	70
<b>14</b>	<b>ZKOUŠKA VRUBOVÉ HOUŽEVNATOSTI.....</b>	<b>71</b>
14.1	SHRNUTÍ VÝSLEDKŮ NAMĚŘENÝCH NA CHARPYHO KLADIVĚ.....	74
<b>15</b>	<b>ZÁVĚR.....</b>	<b>75</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....</b>	<b>77</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>80</b>
	<b>SEZNAM TABULEK.....</b>	<b>82</b>

## ÚVOD

Tak jako příroda využívá synergických účinků různorodých materiálů pro dosažení lepších vlastností, tak i my se snažíme pro dosažení co nejlepších vlastností prostřednictvím kompozitních materiálů, které využíváme v různých odvětvích.

Kompozitní materiál je materiál takový, kde dochází při spojení jedné nebo více substancí k vlastnostem, které bychom nenašli ani u jednoho z materiálů odděleně. Příkladem materiálu, který svojí strukturou připomíná epoxidové pryskyřice jednosměrně vyztužené uhlíkovými vlákny, je řez buňkou vlny merino.

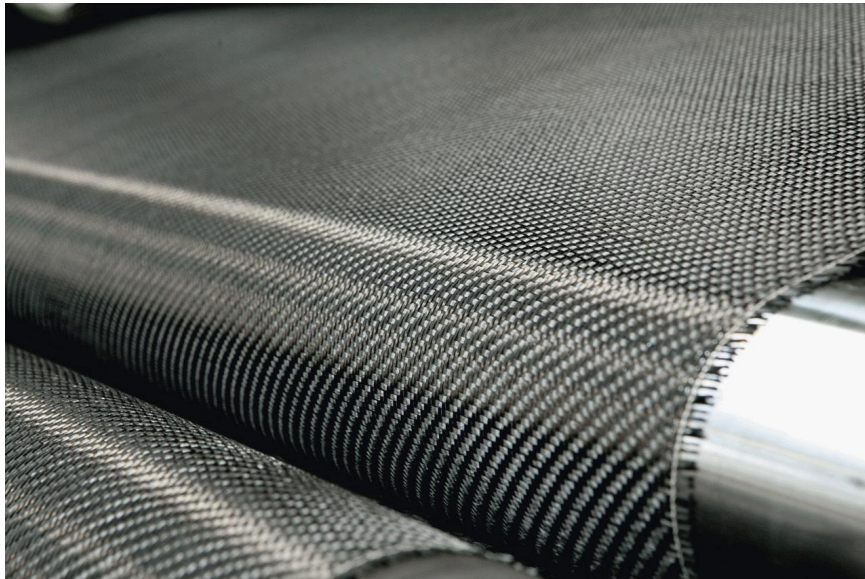
Na stále rozvíjející se hospodářský vývoj v oblasti kompozitních materiálů poukazuje i fakt, že od roku 1970, kdy objem vyztužených plastů v Evropě činil 320tisíc tun, vzrostl na 1104tisíc tun udávaný k roku 2006. Podle oblasti lze vyztužené plasty rozdělit do tří základních skupin – spotřební zboží, průmyslové aplikace, výrobky pro speciální aplikace. Kompozitní materiály, zkráceně kompozity, se hojně využívají v leteckém, námořním, dopravním průmyslu.

Velmi důležité jsou znalosti o povaze materiálů, jak u stavebnictví, tak i v dalších sférách výroby. Zkušenosti, shody s předpisy, výsledky dlouhodobých zkoušek, názory expertů, to vše jsou důležitá kritéria pro vhodný výběr materiálu. Avšak i malé změny v kvalitě mohou vést k poruše, proto přísná kritéria na kontrolu vyrobených dílů, vedou někdy k značné úspoře. Jakési předurčení vlastností kompozitu, který by měl splňovat, nám už prozradí i oblast, ve které daný kompozitní materiál budeme používat.

## **I. TEORETICKÁ ČÁST**

## 1 KOMPOZITNÍ MATERIÁLY

Kompozitem je nazýván materiál, ve kterém jsou specifickým způsobem kombinovány dvě nebo více komponent nebo fází o výrazně se lišících fyzikálních a chemických vlastnostech. Kompozity mohou být typu kov-kov, keramika-kov, keramika-polymer, keramika-keramika a polymer-polymer. Kompozity mají ve srovnání s jednotlivými komponentami, t.j.vlákný a pryskyřicí, podstatně odlišné unikátní vlastnosti. Nevzdušená pryskyřice má nízkou hustotu a je snadno zpracovatelná a má relativně dobrou stabilitu proti působení širokého spektra prostředí a chemikálií.[1]



Obrázek 1 Detail uhlíkového vlákna. [2]

### 1.1 Kompozitní polymerní materiály

Pod pojmem polymerní kompozitní materiály chápeme takové materiály, jejichž matrice je tvořena polymerní pryskyřicí. Tyto kompozity jsou rozšířeny v průmyslech, kde se vyžadují dobré mechanické vlastnosti a zároveň se klade požadavek na to, aby výrobky z nich zhotovené, neměli velkou hmotnost. Příkladem takových odvětví je mezi prvními letecký a lodní průmysl. Jejich uplatnění nalezneme taky v automobilovém průmyslu nebo i při výrobě např.: tobogánů. Na následujících obrázcích jsou příklady použití v praxi.[3]



Obrázek 2 Přítlačné křídlo Ferrari F40 – vyrobeno z karbonových vláken.[4]



Obrázek 3 Sportovní letadlo, které je z velké části vyrobeno z kompozitních materiálů.[5]

## 2 ÚVOD DO STRUKTURY KOMPOZITŮ

### 2.1 STRUKTURA KOMPOZITŮ

#### 2.1.1 Klasifikace kompozitu

V současnosti je na trhu dostupné relativně široké spektrum kompozitních materiálů lišících se pojivem (pryskyřicí), typem a charakterem výztuží (typ vláken, tkaniny, rohože, rouna) a mnohdy i způsobem výroby (laminace, tažením, navíjením, odstředivé lití, RTM, atd.). Kompozitní materiály se pak rozlišují podle některého ze strukturních kritérií. Z hlediska klasifikace podle typu matrice existují dva základní typy polymerních pryskyřic – pojiv, a to termosety a termoplasty.

**Termoplasty**, kterými jsou například polystyren (PS), polypropylen (PP), polyetylén (PE), polykarbonát (PC), polyetylén tereftalát (PET) a další, jsou tuhé látky, které měknou a tečou zvýšením teploty nad jistou hodnotou charakteristickou pro daný polymer. Po ochlazení pod tuto teplotu opět přejdou do pevného skupenství. Charakteristickým strukturním znakem termoplastů jsou velmi dlouhé molekuly (makromolekuly) vytvořené opakováním stejných strukturních jednotek (několik tisíc až několik milionů). Z toho důvodu bývá tento typ makromolekuly označován jako polymer. Jednotlivé makromolekuly nejsou vzájemně vázány chemickými vazbami. Jejich vzájemné interakce, které zaručují kohezní pevnost polymerního tělesa jsou většinou slabé, van der Waalsovské interakce, vodíkové můstky, atd.

**Termosety**, jakými jsou například epoxidy, nenasycené polyestery, melaminy či fenol formaldehydové pryskyřice, jsou obvykle dodávány ve formě viskózních tekutin s konzistencí řídkého medu tvořené relativně malými molekulami, které jsou vytvrzeny chemickou reakcí po dodání katalyzátoru a iniciátoru. Vytvrzené probíhá buď za pokojové teploty, nebo za zvýšených teplot. Způsob, kterým vytvrzování probíhá do značné míry, ovlivňuje vlastnosti výsledného termosetu. Jelikož při vytvrzování dochází ke vzniku chemických vazeb mezi jednotlivými malými molekulami, vzniká místo dlouhých lineárních molekul, které jsou charakteristické pro termoplasty, třidimenzionální polymerní síť s různou hustotou. V ideálním případě je celý makroskopický výrobek jedinou makromolekulou. Tento fakt způsobuje, že vytvrzený termoset zůstává v tuhé fázi i po zahřátí, což zvyšuje jeho odolnost proti creepu a vysokým teplotám, i když to na druhé straně zvyšuje i jeho křehkost a omezuje recyklovatelnost. Kompozity s termosetovými maticemi mají mezi kon-

strukčními aplikacemi vláknových kompozitů naprostou převahu. Naproti tomu v oblasti plněných plastů a částicových kompozitů zcela převládají termoplastické matrice.

Z důvodu jasného vymezení pojmů je rozumné rozdělit vláknové kompozitní materiály do tříd. K tomu je možno využít celé řady kritérií. Jedním z nejčastěji používaných dělicích kritérií je orientace délky vyztužujících vláken. Z tohoto hlediska je možno dělit vláknové kompozity na[2] :

- **Jednosměrné** (vlákna jsou orientována převážně v jednom směru):

Krátkovláknou (poměr délka/průměr  $L/D < 100$ )

Dlouhovláknové ( $L/D > 100$  či kontinuální vlákna, tj. vlákna s délkou rovnou rozměrům celého dílce)

- **Mnohosměrné**(vlákna jsou náhodně nebo pravidelně orientována dvěma či více směry)

Krátkovláknové ( $L/D < 100$ )

Dlouhovláknové ( $L/D > 100$ )

Tabulka 1 Srovnání fyzikálních vlastností různých konstrukčních materiálů. [3]

Vlastnosti	vláknom vy- ztužený kompozit	hliník	ocel	dřevo (borovice)
Hustota	1.0	1.3	4.0	0.3
Lineární roztaž- nost	1.0	3.0	2.0	0.5
Tepelná vodivost	1.0	300	80	0.2
Tuhost	1.0	1.2	1.7	0.6
Pevnost tah	1.0	0.4	1.0	0.1
Pevnost ohyb	1.0	0.7	1.1	0.3

### 3 POLYMERNÍ MATRICE

Pro kompozity s kontinuálními vlákny jsou nejpoužívanější matrice polymerní, buď reaktoplastické nebo termoplastické. Nejpoužívanější matrice jsou nenasycené polyestery (UP), vinylestery (VE) a epoxidy EP) a z termoplastů polypropyleny (PP) a polyamidy (PA). Reaktoplasty a aromatické termoplasty s vysokou teplotou tvarové stálosti se vzhledem k své ceně používají především ve vojenském průmyslu (například spodní kompozitní díly tryskových letadel s kolmým startem a přistáním musí mít matrici s velkou tepelnou odolností), případně špičkových zařízení (družice, kosmické lodě, střely s plochou dráhou letu apod.). Směsi pro hromadnou výrobu dílů lisováním a pryskyřice pro injektážní a infuzní technologie mají specifické nároky na kinetiku vytvrzovacích procesů reaktoplastů (co nejrychlejší reakce, nízká viskozita). Snaha zkrátit dobu vytvrzování a zároveň odstranit z výrobního zdravotně závadné těkavé látky vede k používání i dražších typů reaktoplastů na bázi urethanů (hybridní urethanové pryskyřice, tzv. akrylamaty). Snaha o recyklovatelnost materiálu kompozitních dílů vyráběných ve velkých sériích (automobilový průmysl) vede k nahrazování reaktoplastů termoplasty. Většinou se uplatňují levnější typy termoplastů (polypropyleny a polyamidy), vyztužené krátkými skleněnými vlákny. Lze je zpracovávat vstřikováním na běžných vstřikovacích strojích. [8]

Používají se pryskyřice:

- polyesterové,
- vinylesterové,
- epoxidové,
- fenolické.

#### 3.1 Nenasycené polyesterové pryskyřice

Patří k nejpoužívanějším pryskyřicím. Lineární nenasycený polyester je připraven reakcí dvoufunkčních složek (polypropylenglykolu a kyseliny ftalové, kumaronové, maleinové nebo anhydridu (ftalanhydridu, maleianhydridu)). Vzniklý předpolymer je poté rozpuštěn v reaktivním rozpouštědle (obvykle styrenu), ale existují i nestyrenové nenasycené polyesterové pryskyřice, kde reaktivním rozpouštědlem je některý typ methakrylátu. [7]



### 3.2 Epoxidové pryskyřice

Jsou to nejvšestrannější reaktoplasty pro konstrukční použití. V závislosti na chemické struktuře pryskyřice a použitém tvrdidlu a případných modifikujících složkách mají nejširší rozsah vlastností. Mají dobrou houževnatost (v porovnání s ostatními reaktoplasty), odolnost proti únavě a tečení, výbornou adhezi k vláknům, uspokojivou teplotní odolnost, výtečnou chemickou odolnost, dobré elektrické vlastnosti a malé smrštění při vytvrzování. V důsledku polárnosti (přítomnosti hydroxylových skupin) jsou navlhavé, takže za přítomnosti vod y je nutné počítat se značným zhoršením teplotní odolnosti i u pryskyřic s velkou teplotou skelného přechodu (tetrafunkční epoxidy) v důsledku plastifikačního účinku vody. Viskozita čistých epoxidových pryskyřic v nevytvrzeném stavu je větší než u UP a VE. Podle molekulové hmotnosti se jedná o kapaliny až tuhé nelepivé látky. Přidáním dalších složek (reaktivních ředidel), případně modifikací složkou pro zvýšení houževnatosti, lze užité i technologické vlastnosti výsledné směsi měnit v širokém rozmezí. Vytvrzovací reakce u EP je stupňovité povahy, probíhá pomalu, takže obvykle nevznikají problémy s exotermickou povahou vytvrzovacího procesu (s výjimkou tlustostěnných dílů). Při vytvrzování epoxidové pryskyřice neuvolňují vedlejší produkty (jako je tomu například u fenolických pryskyřic), takže k získání kompozitu bez dutin (bublin) není zapotřebí vysokého tlaku. V případech, kdy je žádoucí vytvrzovací proces naopak zkrátit, lze použít urychlovačů (obvykle BDMA - " benzyldimethylamin)□ . Epoxidy jsou proto použitelné pro všechny technologie, ale jsou dražší než UP a VE. [8]

#### Druhy epoxidových pryskyřic:

- Tekuté nemodifikované tekuté pryskyřice
- Tekuté modifikované pryskyřice
- Polotuhé epoxidové pryskyřice
- Pevné nemodifikované pryskyřice
- Pevné modifikované pryskyřice
- Epoxidové pryskyřice na bázi bisfenolu aj.[16]

### 3.3 Vinylesterové pryskyřice

Pod obecným pojmem vinylester je myšlen polymer s esterovou skupinou vytvořenou esterifikací a jedná se o takzvaný lineární termoplastický polymer. I když pod pojmem vinylesterová pryskyřice se skrývá velmi úzké spektrum chemických sloučenin. Vznikají reakcí dienových epoxidů a kyseliny akrylové. Někdy jsou taky nazývány epoxidové vinylestery nebo vinylestery, které jsou na epoxidové bázi. Jedná se o takzvané termosety.[4]

Makromolekula polyesterové pryskyřice má více reaktivních míst nežli pryskyřice vinylesterová, kde je dvojná vazba umístěna pouze na koncích řetězce. Toto vede k větší ohebnosti pryskyřice a větší odolnosti vůči tvorbě mikrotrhlin. Oproti pryskyřicím polyesterovým, mají vinylesterové větší mezilaminární smykovou pevnost a také houževnatost.[7]

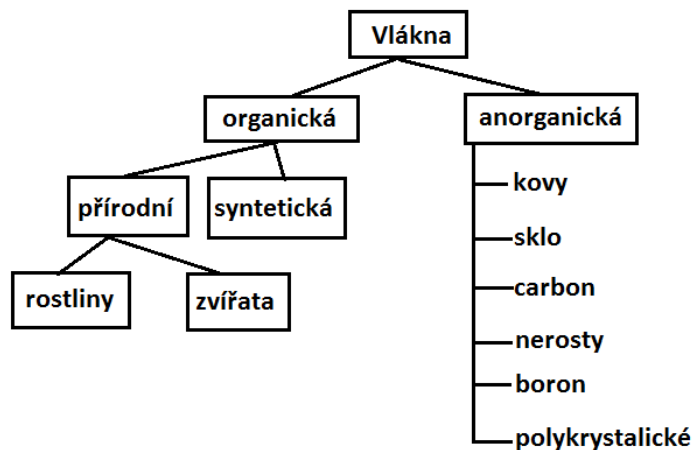
Jsou vhodné pro výrobu kompozitů vyztužených skleněnými i uhlíkovými vlákny, jež jsou určeny pro náročnější aplikace (do agresivního chemického prostředí, aplikace velmi mechanicky namáhané).[5]



Obrázek 4 Vinylesterová pryskyřice uplatněná ve stavebnictví- chemická kotva.

## 4 VÝZTUŽE (VLÁKNA, TKANINY, ROHOŽE)

Nejčastěji používanou výztuží ve vláknových kompozitech vyráběných tažením, navíjením i jinými technikami jsou skleněná vlákna. První zmínka o skleněných vláknech pochází z knihy Antonia Neri, publikované ve Florencii v roce 1612. Už tehdy byly překvapivé jejich neobvyklé vlastnosti, především vysoké pevnosti ve srovnání se sklem tabulovým, i přes velmi podobné chemické složení. Příčinu vysoké pevnosti skleněných vláken ve srovnání s masivním sklem poprvé interpretoval Griffith, který tak položil základy velmi mladé a perspektivní disciplíny – lineární elastické lomové mechaniky (LEFM). Ze stručnosti lze Griffithovu interpretaci shrnout tak, že pevnost tuhého tělesa je na rozdíl do modulu pružnosti, který se termodynamickou fenomenologickou veličinou, veličinou stochastickou (náhodnou) a rozhoduje o ní distribuce a velikost defektů. Každý materiál má z tohoto hlediska jakousi kritickou velikost defektu. Je-li v tělese z daného materiálu přítomen defekt kritické velikosti, dojde při působení i velmi malých vnějších napětí ke katastrofickému lomu tělesa v důsledku lokálního překonání meze pevnosti koncentrací napětí na defektu.[6]



Obrázek 5 Schématické dělení nejčastěji využívaných vláken. [7]

## 4.1 Materiál výztuží

Výztužné materiály, máme možnost vyrábět z poměrně velké škály surovin. Nejpoužívanější materiály jsou na bázi oxidu křemíku ( $\text{SiO}_2$ ) a souhrnně jsou označovány jako skla. Podle obsahu oxidu křemičitého a dalších látek se dále rozlišují (viz. 1.6.1 Skleněná vlákna). Mezi další materiály, z kterých se výztužné systémy vyrábějí, jsou: Kevlar (aramid), bór, karbid křemíku, uhlík a aluminium.

Tabulka 2 Vybrané vlastnosti některých vyztužujících vláken.[8]

<i>Vlákno</i>	<i>Hustota (<math>\text{g/cm}^3</math>)</i>	<i>Modul pružnosti v tahu (GPa)</i>	<i>Pevnost v tahu (MPa)</i>	<i>Deformace do lomu (%)</i>
<u>Anorganická:</u>				
<i>Azbest</i>	2,56	160	3100	1,9
<i>Sklo</i>	2,54	70-80	2200-3500	2,5
<i>Borová vl.</i>	2,65	420	3500	0,8
<i>SiC</i>	2,60	250	2200	0,9
<i>Uhlík</i>	1,86	300-800	2700	0,7
<u>Organická:</u>				
<i>Kevlar 49</i>	1,45	130	2900	2,5
<i>Kevlar 29</i>	1,45	60	2700	5,0
<i>Kevlar 149</i>	1,45	190	2600	2,5
<i>Len</i>	1,30	180	2600	3,1

### 4.1.1 Skleněná vlákna

Nejběžnější skleněná vlákna se ve světě vyrábějí především ze skloviny označované jako sklo E. Základem E skla je soustava oxidů  $\text{SiO}_2 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{CaO} \cdot \text{MgO} \cdot \text{B}_2\text{O}_3$ . Dříve se vlákna vyráběla dvoustupňově, nejprve se ze sklářského kmenu vytvořily tavením při teplotě  $1550^\circ\text{C}$  kuličky o průměru 10 – 20 mm, které se dále tavily v platinových kelímcích, ze kterých se vytahovalo vlákno. Nověji jsou v provozu kontinuální technologie, tzn. na jed-

nom konci pece se sází sklářský kmen a na druhém se z platinových vaniček vytahuje vlákno.[9]

#### 4.1.2 Uhlíková vlákna

Základní vlastnosti:

- Mají asi desetinásobnou tuhost a poloviční hustotu proti skleněným vláknům
- Prodloužení při přetržení je menší než u skleněných vláken
- Pevnost při pokojové teplotě bývá nižší než u skla nebo aramidů, s teplotou ale neklesá až do 1000°C.
- Vynikající tepelné vlastnosti, pokud jsou chráněná před oxidací
- Do 1000°C jsou chemicky inertní
- Mohou obsahovat různé procento grafitu, podle toho jsou označovány jako uhlíková (převaha amorfního uhlíku) nebo grafitová (převaha krystalického grafitu).
- Uhlíková vlákna mají často špatnou adhezi k matrici, je nutné je povrchově upravovat je zlepšení přilnavosti

Metody přípravy:

1. Pyrolýzou polymerů – dnes nejčastější metoda.
  - Umělé polymery – polyakrylonitril (PAN)
  - Přírodní polymery – různé smoly
2. Teplým rozkladem uhlovodíků – CVD, PVD metody – možnost v přetlaku nanovláken.[10]

#### 4.1.3 Aramidová vlákna

Aramid je slovní spojení, které vzniklo ze slov aromatický polyamid. Nejznámějším zástupcem je Kevlar. Aramidová vlákna jsou dražší než vlákna skleněná. Hlavní výhodou těchto vláken je jejich malá hustota ( $\rho = 1440 \text{ kg/m}^3$ ), velká odolnost proti abrazi, schopnost plasticky se deformovat při působení zatěžující síly kolmo na jejich osu vlákna. Jsou ve velké míře používány v dopravním průmyslu – leteckém.[6]

## 5 GELCOATY

Jsou to materiály používané na viditelné povrchy kompozitních materiálů. Většina gecoatů je založena na nenasycené polyesterové (UP) nebo epoxidové (EP) pryskyřici. Obvykle jsou pigmentované, obsahují stabilizátory proti degradaci UV zářením, retardéry hydrolýzy a thixotropní přísady. Pro zvýšení mechanických vlastností jsou obvykle vyztuženy rohožemi (povrchové, tzv. závojové, s malou plošnou hmotností). Tyto rohože jsou vyráběny ze sekaných skleněných, uhlíkových nebo polymerních vláken.

Porušené gelcoaty (se škrábanci, trhlinami a narušenými povrchy) se opravují po obroušení brusným papírem (zrnitost 150 až 220) a nanesení topcoatu, který se potom zbrúsí až do úrovně originálního gelcoatu a vyleští se, aby se obnovil původní lesk. [8]



Obrázek 6 Opravená část lodě bez povrchové vrstvy – gelcoatu.[117]

Při výrobě našich vzorků byl použit gelcoatBÜFA®-Firestop GC S 260-SV Nature, jedná se o protipožární gelcoat, který je dodáváný v takové konzistenci, která umožňuje jeho stříkání. Tento gelcoat je bez halogenů a na základě nenasycených polyesterových prysky-

řic rozpuštěných ve styrenu. Díky přesné koordinaci aditiva retardující oheň, má tento gelcoat vynikající vlastnosti požární ochrany.

Tento gelcoat lze aplikovat na fasádní panely, protipožární dveře, laboratorní a lodní dveře, kolejová vozidla a některé části vybavení nákladních vozů, samozřejmě že tento gelcoat má celou škálu uplatnění.

**Vlastnosti BÜFA®-Firestop GC S 260-SV Nature:**

- Hustota při 20 ° C - 1,25 g / ml
- Obsah styrenu 17 až 20 %
- Bod vzplanutí DIN 53 213 + 32 ° C
- Gel Time při 20°C v 100g šálku s 2ml Butanox M-50 je 9-14minut.

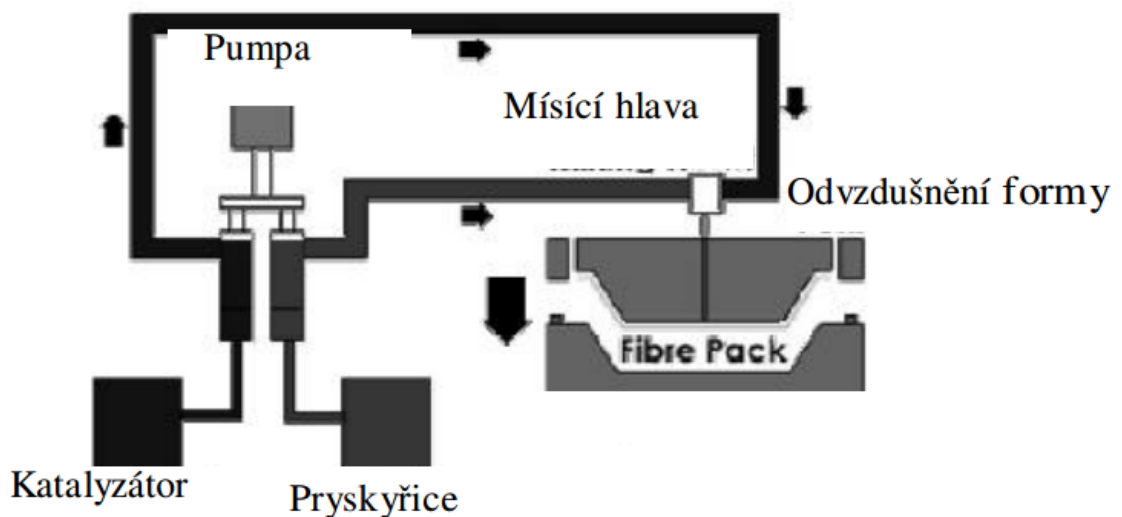


Obrázek 7 Nanášení gelcoatu pomocí stříkací pistole.

## 6 TECHNOLOGIE LIGHT-RTM

RTM - Resin transfer moulding. Jde o technologii, která využívá uzavřenou formu. Při nasycování tkaniny je možno použít polyesterové a vinylesterové pryskyřice, přičemž je zamezeno uvolňování reaktivního rozpouštědla do ovzduší. Ohřátá pryskyřice plus ohřáté tvrdidlo se pomocí nízkotlakých čerpadel nebo vývěvy dopravuje do mísící hlavy, kde se bezprostředně před injektáží smísí dohromady. Dále je směs vedena do připravené ocelové nebo hliníkové formy.[12]

Velkou výhodou této technologie je, že můžeme mít obě strany pohledové. Rozměry dílů jsou velmi přesné. Ve srovnání s technologiemi kladení prepregů, pultruzí a navíjením se dosahuje nižších mechanických vlastností. Jako výztužné materiály se používají tkaniny s převážným využitím multiaxiálních. Vysvětlení je jednoduché. Principiálně se pryskyřice šíří po délce vláken. Typická pravoúhle provázaná tkanina znesnadňuje plynulost šíření pryskyřice. Dále se využívá netkaných rohoží. Avšak v zásadě se jedná o kombinaci těchto dvou typů.[13]



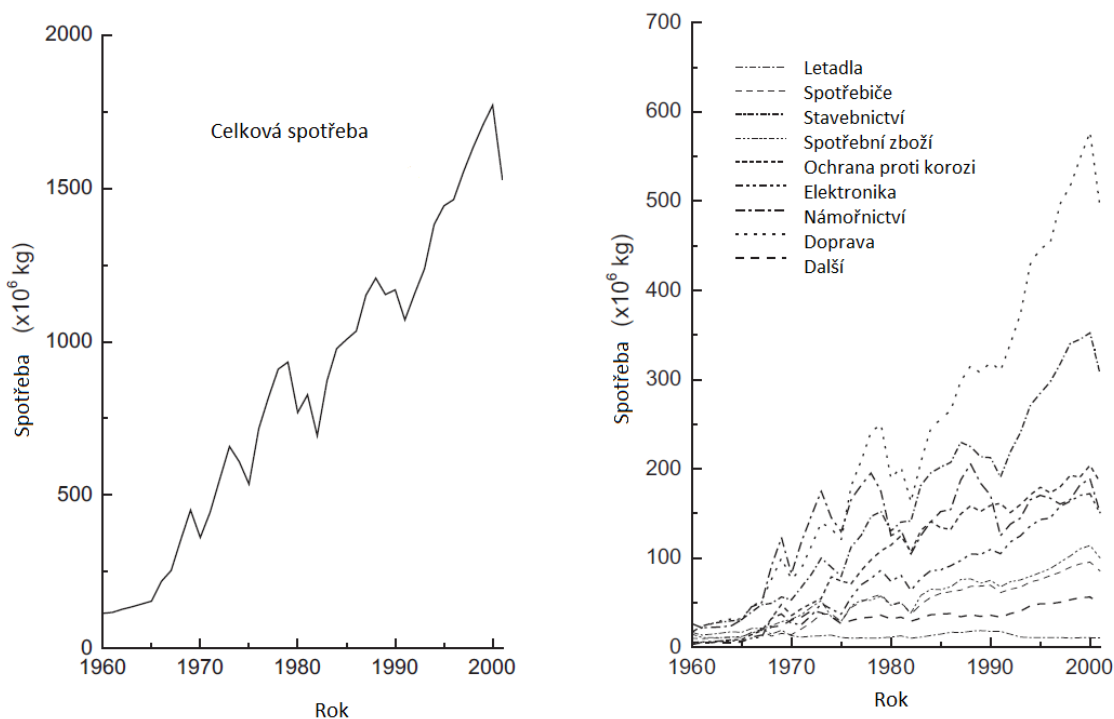
Obrázek 8 Otevřená dvoudílná forma, kam se vkládá předtvarovaná výztuž.[8]

Výhodou technologie je zvýšení produktivity práce při hromadné výrobě. Na druhou stranu je zapotřebí pro každý výrobek mít formu, tudíž se nám zvyšuje nákladnost.[14]



## 7 POŽÁRNÍ VLASTNOSTI POLYMERNÍCH KOMPOZITNÍCH MATERIÁLŮ

Letadla, lodě a věci obsahující kompozitní materiály jsou uvedeny pro ilustraci jako jejich potenciální nebezpečí a proto je třeba vyvinout kompozitní materiály odolné vůči ohni. Tyto odolné kompozitní materiály se navrhuji zejména z bezpečnostního hlediska, aby nedocházelo k ohrožování lidského života a nadále zamezilo k tomu, aby nedocházelo k velkým majetným a finančním ztrátám.



Obrázek 9 Spotřeba kompozitních materiálů a porovnání v použitých odvětvích.[154]

S požáry přichází vždy velká řada rizik. Všeobecně hoření všech materiálů je nebezpečné. Ať již při šíření kouře a toxických látek tak i degradací materiálu a hrozícím zhroucením nosných konstrukcí.

Proto se provádí testy požární bezpečnosti. Simulují se různé podmínky hoření materiálu, které mají přinést poznatky o předpokládaném chování materiálů při skutečném požáru.

## 7.1 Teorie hoření

Hoření je velmi složitý proces, který je ovlivňován velkým množstvím podmětů. Tyto podmínky jsou jednak z okolního prostředí a jednak přímo ovlivněny hořícím materiálem. Pod vnějším prostředím chápeme například dostupnost okysličovacího média, tedy vzduchu, který podporuje hoření, tak i samotný vnější zdroj ohně. Hořící materiál ovlivňuje hoření např. svou ochotou šířit plamen.

U materiálů se stanovují vlastnosti, které určí míru jejich hořlavosti. Tyto vlastnosti zahrnují:

- zapalovací čas,
- rychlost uvolňování tepla,
- produkci kouře a toxických plynů,
- rozklad materiálu,
- kyslíkové číslo, aj.

Zapalovací čas je doba, po kterou musí na materiál působit zdroj tepla, aby došlo k jeho vznícení. Kyslíkové číslo nám udává nejmenší možnou koncentraci kyslíku, při které je materiál ještě schopen hořet. Rychlost uvolňování tepla přímo závisí na tepelné vodivosti materiálu a na ochotě materiálu hořet a šířit plamen materiálem. Na tyto vlastnosti přímo navazuje vývin kouře a jeho hustota, kde se navíc zkoumá stupeň jeho toxicity.

Kouř má z hlediska bezpečnosti velký význam. A to zejména v uzavřených místnostech. Rozšíří-li se požár v uzavřené místnosti a bude-li hořet materiál čadící hustý dým je zřejmé, že budou-li se v tomto prostředí pohybovat lidé, je pravděpodobnost, že se ze zakouřeného prostoru dostanou v čas dosti snižena. Jedná se o to, že kouř má dusivé účinky a dráždí oči, což u většiny lidí může způsobit paniku a v kombinaci s hustým kouřem dezorientaci v prostoru.

### 7.1.1 Spalovací cyklus

Je dán kompozitní materiál, který je vystaven ohni. Při jeho působení se rozkládá polymer-ní matrice a organická vlákna, jsou-li přítomna. Uvolňuje se teplo, kouř a plyny. Plyny se skládají ze směsi nehořlavých par a hořlavých těkavých látek. Teplota, při které dochází k rozkladu, závisí na chemické povaze polymeru, organických vláken a požární atmosféře v okolí. I přesto se tato teplota pro většinu polymerů a organických vláken pohybuje v roz-mezí 300 – 500 °C.[6]

### 7.1.2 Protipožární pevnostní vlastnosti kompozitního polymerního materiálu

V Americe se problematice polymerních kompozitních materiálů věnuje mnoho studií. Tyto materiály jsou hojně využívány v leteckém a lodním průmyslu. Což jsou oblasti, kde se v případě požáru, jedná o uzavřené prostory s malou, obtížnou nebo žádnou možností úniku. Hraje zde roli každé zlepšení vlastností, které dovolí zareagovat a zabránit katastro-fě.

V jedné ze studií se američtí odborníci věnovali experimentu, kdy vystavili různé druhy termosetických a termoplastických laminátů tepelnému toku o intenzitě 25 kW/m<sup>2</sup> po dobu 20 minut v kuželovém kalorimetru. Následně měřili zbytkovou pevnost v ohybu při poko-jové teplotě. Jejich výzkum prokázal, že termoplastické lamináty mají schopnost zachovat si mnohem vyšší pevnost ve srovnání s termosety.

Všechny lamináty utrpěly značnou ztrátu pevnosti, v důsledku škod způsobených při hoření.[6]

## 7.2 Možnosti modifikace vlastností kompozitních materiálů

K dosažení lepších protipožárních vlastností se využívá různých metod. Je možné do polymerní matrice přidat různá oheň retardující plniva. Tyto plniva mohou být v kompozi-tu přítomna, aniž by reagovala s pryskyřicí. Používají se i taková, která se do pryskyřice přidávají během její výroby a stávají se součástí makromolekuly. Tato plniva nazýváme aktivní.

Většina plniv pracuje na principu uvolňování látek, které ředí hořlavé těkavé látky uvolněné z matrice při hoření. Některá druhy, při svém rozkladu, produkují i vodní páry,

kteře mají hasící účinek, čímž zpomalují proces hoření. Další možností je využití plniv, které při působení zvýšených teplot bobtnají a tím znesnadňují postup požáru kompozitem.

Je možné ovšem přistoupit i k modifikaci samotné polymerní pryskyřice při její výrobě. Zajistí-li se např.: zesílení vazeb v polymeru, dosáhneme zpomalení jejího rozkladu. Dále je možno přidat halogeny nebo fosfor při zpracování. Jinou možností jak modifikovat vlastnosti je využití protipožárních nátěrů laminátových dílů.

Mnoho plniv snižuje mechanické vlastnosti polymerů, což se při výběru a určení množství plniva nesmí opomenout. Hledá se optimum tak, aby byly splněny všechny nároky na mechanické vlastnosti a získána nejlepší protipožární odolnost.

Výběr samozhášivých přísad pro polymerní kompozity závisí na několika faktorech. [6]

A to:

- náklady,
- chemická kompatibilita mezi retardérem hoření a polymerem,
- teplota rozkladu sloučeniny.

Byla vyvinuta celá škála materiálů zpomalujících hoření pro polymery a polymerní kompozity. Látky zpomalující hoření jsou buď přísady, nebo reaktivní sloučeniny. Přísady se v průběhu zpracování přimíchávají do polymeru, ale chemicky s ním nereagují. Chemické složení těchto přísad je založeno na těchto prvcích:

- antimon,
- hliník,
- bór,
- bróm,
- chlor.

Reaktivní sloučeniny jsou polymerované s pryskyřicí během zpracování a stávají se součástí makromolekulární struktury sítě. Reaktivní retardéry hoření jsou založeny na [6] :

- halogenech (brom a chlor),
- fosforu,
- anorganických a melaninových sloučeninách.

## 8 RETARDÉRY HOŘENÍ

Základním principem retardérů hoření je snížit množství organického plniva přidáním plniva, které je nehořlavé. Dalším účelem je snížení absorpce tepla do kompozitu a snížení rychlosti hoření polymerních matric. Proto, aby působil jako dobrý chladič, je zapotřebí mít větší měrnou tepelnou kapacitu nežli má polymer. Některá plniva vytváří povrchovou izolační vrstvu, která vzniká při rozkladu polymeru, tím snižují hořlavost. [9]

### Retardéry hoření:

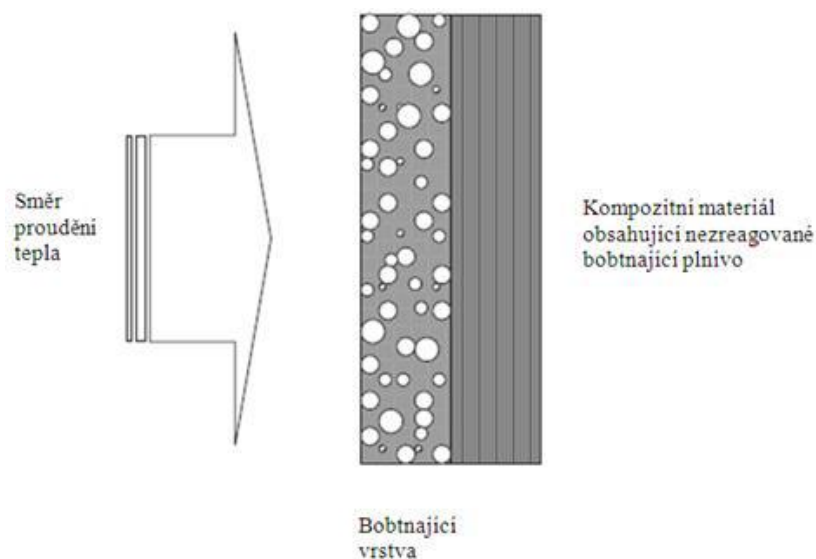
omezují přístup kyslíku k plastu a tím brání hoření nebo jej alespoň výrazně zpomalí.

### Účinné retardéry hoření:

- uhličitan amonný
- hydrogenuhličitan amonný
- kyselina boritá
- slída
- síran barnatý a hořečnatý

### 8.1 Bobtnající výplně

Mezi další retardéry hoření můžeme zařadit takzvané bobtnající výplně, tyto výplně mají za úkol vytvořit jakousi vzduchovou mezeru, která zamezí nebo znesnadní dalšímu postupu požáru kompozitním materiálem. [9]



Obrázek 10 Schéma bobtnajícího procesu. [9]

## 8.2 Protipožární povrchové úpravy

Abychom docílili lepších protipožárních opatření, můžeme daný kompozit ochránit vrstvou gelcoatu nebo také vrstvou protipožárních laků a povlaků.

## 8.3 Hořlavost

Hořlavost je schopnost materiálu po zapálení hořet. Při zkoušení hořlavosti plastů nejde jen o vlastní spalování (vzniká světlo a kouř a uvolňují se i velmi jedovaté zplodiny) a proto se většinou přistupuje k jednodušším, i když ne tak vědecky zdůvodněným, zkouškám. Žádná laboratorní metoda však nemůže vystihnout všechny vlivy, které v praxi hoření plastů urychlují. Je třeba vědět, ve kterém průmyslovém oboru se budou plastové výrobky používat. Jiné požadavky na hodnocení hořlavosti má elektrotechnika, jiné například stavebnictví.[9]

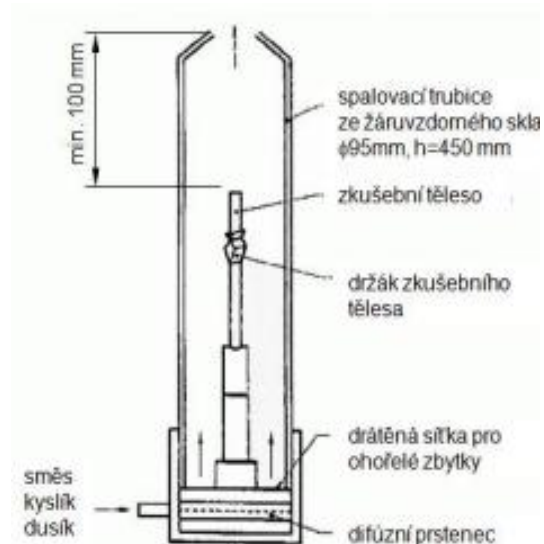


Obrázek 11 Rozdíl mezi neplněným PP a Nanoblendem při působení plamene po dobu 120sekund.[10]

### 8.3.1 HOŘLAVOST PLASTŮ – metoda kyslíkového čísla „LOI“

#### Kyslíkové číslo:

je minimální koncentrace kyslíku v proudu směsi s dusíkem (v objemových %), kdy bude podporováno hoření polymeru ve vertikální poloze po dobu 3 minut.



Obrázek 12 Schéma metody kyslíkového čísla.

#### Zkušební tělesa:

- (80-150) x (6,5-10) x (3-10,5)

#### Podmínky zkoušení:

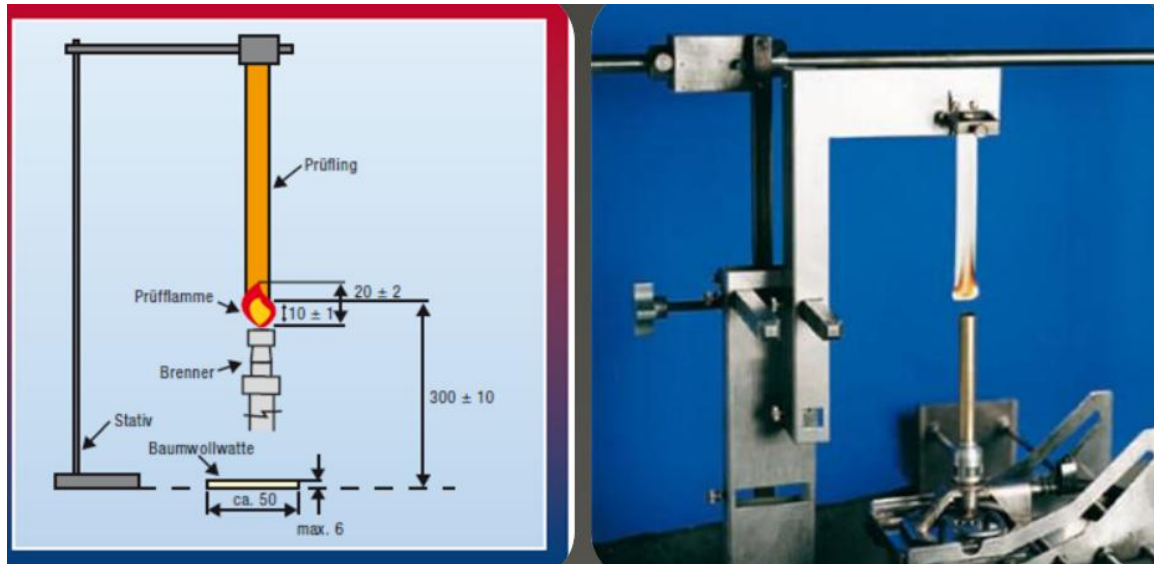
- 23°C
- počáteční koncentrace O<sub>2</sub> 18% až 25%
- konstantní rychlost plynné směsi 40mm/s
- zapálení po docílení  $v=40\text{ mm/s}$

### 8.3.2 HOŘLAVOST PLASTŮ – testovací metoda UL 94

Metodika americké organizace Underwriters Laboratories

UL 94 V vertikální uspořádání zkoušky

UL 94 HB horizontální uspořádání zkoušky



Obrázek 13 Testovací metoda UL 94.

Zkušební sada: 5 vzorků o rozměrech 13x130 mm

Vzorek je při zkoušce umístěn vertikálně s jedním koncem upnutým v držáku. Pod vzorkem je rozprostřena vrstva jemného hedvábného papíru nebo bavlněné tkaniny. Plamen hořáku kahanu se nastaví mimo vzorek tak, aby výška modrého plamene byla 20 mm. Hořák se umístí na 10 sekund do středu vzorku pod jeho spodní hranu, poté se oddálí do vzdálenosti alespoň 150 mm a měří se doba hoření od okamžiku oddálení hořáku do uhasnutí vzorku. Když vzorek přestane hořet, plamen se znovu přiloží na 10 sekund pod vzorek a test se opakuje. Časy hoření zkušebního vzorku po prvním i druhém přiblížení plamene se sečtou a provede se vyhodnocení.[11]



### 8.3.3 Zkouška podle směrnice UIC 564 – 2

Směrnice UIC 564 – 2 předepisuje postup zkoušky pro stanovení požární odolnosti kompozitních desek. Deska je ve stojanu umístěna pod úlem 45° a vystavena ohni za přes-ně stanovených podmínek.[6]

U vzorků se sleduje a následně vyhodnocuje:

- Čas, zdali a popřípadě jak dlouho po uhašení etanolového plamene laminát dále svévolně hoří.
- Zda ze vzorků odpadávají hořící částičky nebo kapky.
- Velikost ohořelé plochy a došlo-li k prohoření přes celou tloušťku vzorku.

### 8.3.4 Určování obsahu skla kalcinační metodou

Postupuje se dle normy ČSN EN ISO 1172. Tato metoda stanovuje odebrání vzorků o hmotnosti 2 – 10 g. Před samotným spalováním, je třeba vzorky předsušit. Sušení se provádí v horkovzdušné sušičce při teplotě 105 °C. Následně jsou vzorky umístěny do muflové pece, kde jsou vystaveny teplotě 500 – 600 °C po dobu 20 min. Z dále uvedeného výpočtu lze určit obsah výztuže. [6]

$$M_{glass} = \frac{m_3 - m_1}{m_2 \cdot m_1} \cdot 100 \quad (1)$$

Kde:

$m_1$  – hmotnost misky,

$m_2$  – hmotnost misky s předsušeným vzorkem,

$m_3$  – hmotnost misky se zbytkem spáleného vzorku.

## 9 MECHANICKÉ ZKOUŠKY

### 9.1 Stanovení ohybových vlastností

Při stanovení elastických a pevnostních charakteristik zkouškou ohybem se předpokládá lineární rozdělení normálových napětí po průřezu. Hodnoty pevnosti v ohybu závisí výrazně na poloze vláken vzhledem k neutrální rovině.

Zkouška ohybem probíhá při tří- nebo čtyřbodovém uložení. Výhoda zkoušky čtyřbodovým ohybem spočívá v konstantním ohybovém momentu,  $M_0$  po celé délce rozteče uložení vzorku, což je především významné při stanovení modulu pružnosti.

Při zkoušce třibodovým ohybem existuje ve zkušebním tělese napjatost s maximálním zatížením a definovaným místem lomu v bodě zatížení, tj. ve středu délky tělesa. Maximální smykové napětí leží mezi vrstvami uprostřed tloušťky tělesa.

Stanovené veličiny mají v první řadě význam srovnávací. Také zde je nutné sledovat druh porušení. Akceptovatelný druh porušení ohýbaného nosníku je porucha vzorku lomem vyvolaným tlakem nebo tahem. Rovněž při ohybu existuje řada norem pro různé druhy vyztužení, například ČSN EN ISO 14125. [3]

Měření je třeba provádět na dostatečně štíhlých vzorcích. S rostoucí štíhlostním poměrem (poměr rozteče podpory a tloušťky vzorku) až do úrovně rovné 10 výrazně stoupají naměřené hodnoty pevnosti a modulu pružnosti.[3]

### 9.2 Charpyho kladivo – zkouška vrubové houževnatosti

V praxi jsou strojní součásti jen zřídka zatěžovány výhradně stálými či zvolna a plynně se měnícími silami, které charakterizují statické namáhání. Častěji rostou zatěžující síly skokem nebo se opětovaně mění – jde o namáhání dynamické, v prvním případě o rázové, v druhé o cyklické. Při dynamickém namáhání dochází často k náhlým poruchám soudržnosti, i když zatěžující síly nedosahují statické pevnosti materiálu.

Účelem dynamických zkoušek při rázovém namáhání je stanovení vlastností materiálu za působení dynamických sil.

K určení houževnatosti materiálu při rázovém namáhání, jejímž měřítkem je práce (energie) spotřebovaná na porušení zkušebního tělesa, slouží dynamické zkoušky rázem.

Mohou se uskutečnit v tahu, tlaku, ohybu a kroucení. Rázová zkouška v ohybu má z rázových zkoušek největší význam, používá se zejména u ocelí.

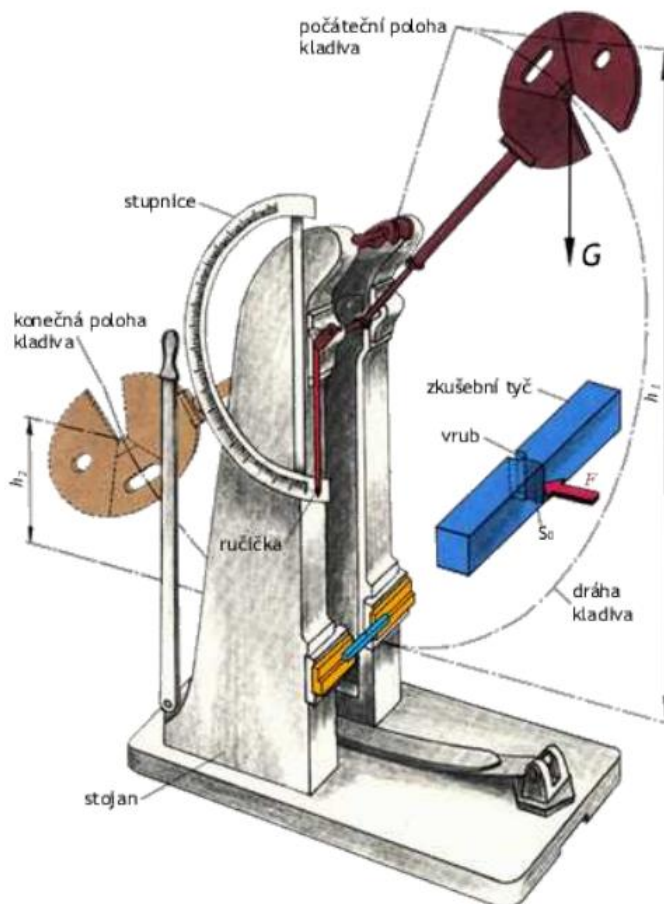
Práce potřebná k přeražení tyče by se měla vztahovat na deformovaný objem tyče. Jeho přesné vymezení je však nemožné. Proto se u zkoušky Charpyho vztahuje spotřebovaná práce na nejmenší průřez zkušební tyče v místě vrubu. Tato hodnota se nazývá vrubová houževnatost  $R$ :

$$R = \frac{L_r}{S_0} \quad (\text{J cm}^{-2}) \quad (2)$$

- $L_r$  - nárazová práce potřebná k přeražení tyče v /J/

$$L_r = G(H-h) = G \cdot r (\cos \beta - \cos \alpha)$$

- $S_0$  - průřez zkušební tyče v místě vrubu v /cm<sup>2</sup>/



Obrázek 14 Charpyho kladivo. [165]

## **PRAKTICKÁ ČÁST**

## 10 CÍLE DIPLOMOVÉ PRÁCE

Cílem této diplomové práce je testování jednotlivých vzorků vyrobených s odlišnými vlastnostmi a složením. Pozorovat se bude protipožární odolnost a mechanické vlastnosti vzorků vyrobených technologií Light RTM.

Praktická část diplomové práce se bude provádět ve firmě Form s.r.o. se sídlem v Horním Lidči za dohledu pana inženýra Vladimíra Rusnáka.

Tato práce byla shrnuta do jednotlivých bodů.

1. Návrh skladby kompozitních vzorků.  
Vzorky byly navrženy dle dohody s vedoucím diplomové práce.  
Jedná se o vzorky s odlišnými typy pryskyřic, výztužemi a jejich kombinace.
2. Výroba vzorků pomocí technologie Light RTM - technologie nízkotlakého injekčního vstřikování, která využívá k distribuci pryskyřice tlak. Vzorky budou vyrobeny s povrchovou vrstvou – gelcoatem ale i bez něj.
3. Stanovení tloušťky gelcoatu u všech typů vzorků.  
Měřené tloušťky na mikroskopu Carl Zeiss Jena, kde pomocí nitkového kříže a odečítání hodnot byla tato tloušťka přesně stanovena.
4. Stanovení ohybových vlastností pomocí 3-bodého ohybu dle ČSN EN ISO 178.
5. Zkouška protipožární odolnosti dle směrnice UIC 564-2.
6. Zkouška vrubové houževnatosti – Charpyho kladivo dle ČSN EN 10045-1.
7. Závěr.

## 11 NAVRHNUTÍ SLOŽENÍ VZORKŮ A JEJICH VÝROBA

Pro pozorování hořlavosti a mechanických vlastností vzorků byly vybrány čtyři druhy vzorků v různém složení, všechny tyto vzorky byly vyrobené technologií Light RTM. Díky jednotlivým složením vzorků jsme si mohli ověřit, které složení vzorku je pro nás příznivé a také které není vhodné.

Cílem bylo tedy navrhnout složení materiálů takové, aby odolávalo jak mechanickému namáhání hořlavost. Dále se pozorovalo samovznícení materiálu, jak se materiál choval po čas hoření a jak dlouho po vyhoření kahanu byl materiál schopen se sám „uhasit“.

Skladba materiálového složení byla navržena v spolupráci s firmou FORM s.r.o. v Horním Lidči.

Tabulka 3 Složení vzorku A

Vzorek:	Složení:	
A	<b>Technologie:</b>	RTM
	<b>Typ pryskyřice:</b>	FR4/12 SYNPO
	<b>Gelcoat:</b>	bez povrchové úpravy
	<b>Iniciační systém:</b>	Butanox M-50 2%
	<b>Výztuž:</b>	1x BIDIAGONAL-GLASS-FABRIC S32EX010-00980-01270-283000 1x Unifillo 300 gm <sup>2</sup> 1x BIDIAGONAL-GLASS-FABRIC S32EX010-00980-01270-283000

Tabulka 4 Složení vzorku B

<b>Vzorek:</b>	<b>Složení:</b>	
<b>B</b>	<b>Technologie:</b>	RTM
	<b>Typ pryskyřice:</b>	FR4/12 SYNPO
	<b>Gelcoat:</b>	BÜFA SV 260
	<b>Iniciační systém:</b>	Butanox M-50 2%
	<b>Výztuž:</b>	1x BIDIAGONAL-GLASS-FABRIC S32EX010-00980-01270-283000 1x Unifillo 300 gm <sup>2</sup> 1x BIDIAGONAL-GLASS-FABRIC S32EX010-00980-01270-283000

Tabulka 5 Složení vzorku C

<b>Vzorek:</b>	<b>Složení:</b>	
<b>C</b>	<b>Technologie:</b>	RTM
	<b>Typ pryskyřice:</b>	LEO
	<b>Gelcoat:</b>	BÜFA SV 260
	<b>Iniciační systém:</b>	Butanox M-50 3 %
	<b>Výztuž:</b>	4x Q-E-821 g/m <sup>2</sup> – 1270 S32EQ260-00821-01270-450000

Tabulka 6 Složení vzorku D

Vzorek:	Složení:	
D	Technologie:	RTM
	Typ pryskyřice:	LEO
	Gelcoat :	BÜFA SV 260
	Iniciační systém:	Butanox M-50 3 %
	Výztuž:	4x BIDIAGONAL-GLASS-FABRIC- S32EX010-00980-01270-283000

### 11.1 Výroba vzorků infuzní technologií

U prvního typu vzorků se nenanášela žádná povrchová úprava, tudíž níže popsany postup se bude vztahovat na vzorky vyrobené s gelcoatem –B,C,D.

Nejprve bylo potřeba přichystat formu, zkontrolovat aby neobsahovala žádné nečistoty z předešlé výroby dílů, vyčistit do patřičného lesku a olepit papírovou páskou hrany formy abychom pomocí pistole mohli nanést vrstvu gelcoatu.



Obrázek 15 Příprava formy.





Obrázek 16 Nanášení vrstvy gelcoatu na povrch formy-vzorek C.

Po nastříkání gelcoatu bylo potřeba ho nechat vytvrdit, abychom mohli pokračovat v přípravě výroby. Po vytvrzení odebereme papírovou pásku a pokládáme jednotlivé vrstvy výztuže – 4x Q-E-821 g/m<sup>2</sup>.

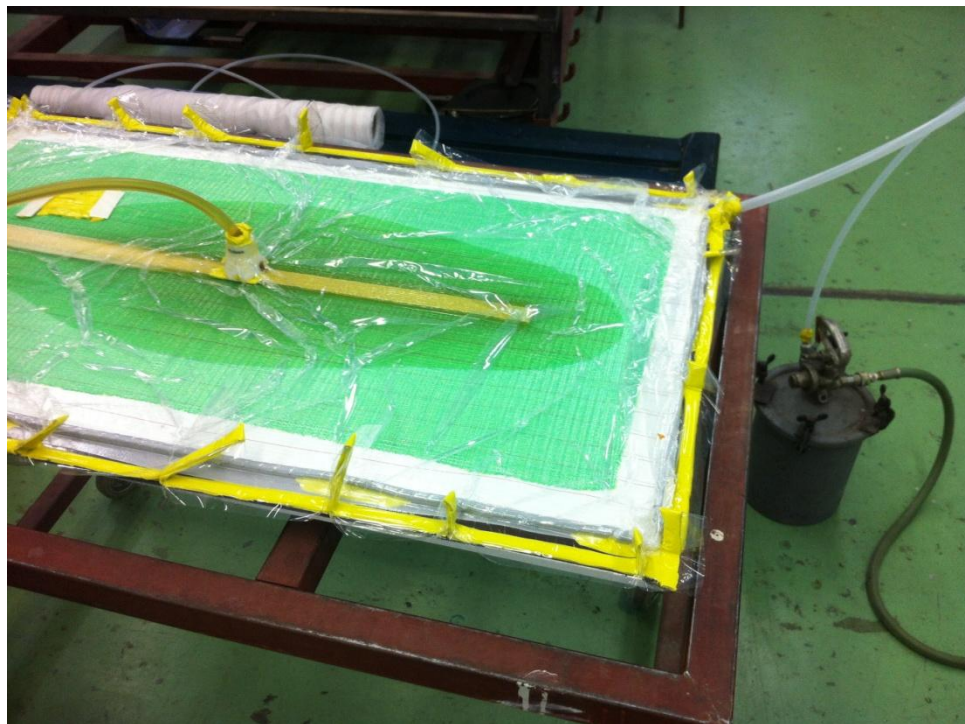


Obrázek 17 Pokládání vrstev výztuže.

Nyní položíme separační folii, odsávací rohož (rouno) a vakuovací film s tesněním.

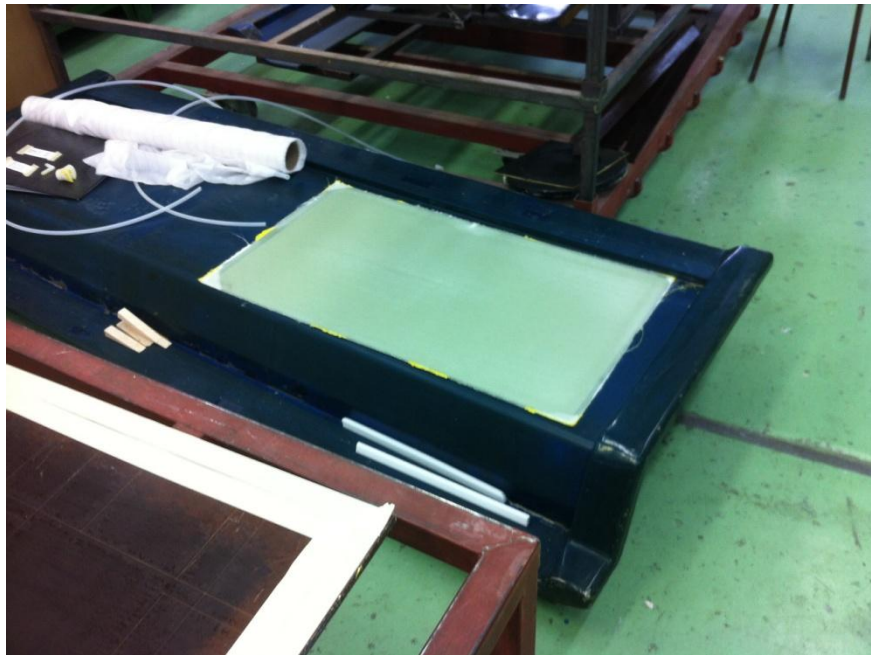


Obrázek 18 Příprava na vakuování.



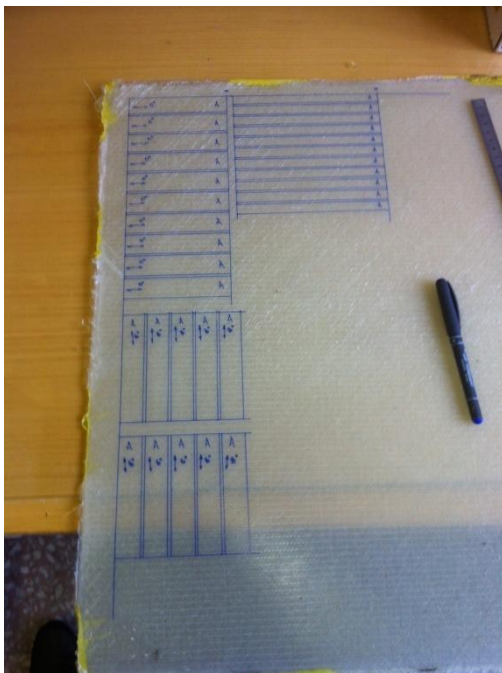
Obrázek 19 Prosycování výztuže pryskyřicí ve vákuu.

Po dosycovacím procesu necháme vytvrdnout, odformujeme a celý vzorek strčíme ještě do vytvrzovací pece na 24hodin.



Obrázek 20 Hotový vzorek C.

Takto si nachystáme všechny typy zmiňovaných vzorků (A,B,C,D), které bylo zapotřebí ještě orýsovat a nachystat si je pro měření.



Při měření jsme chtěli porovnat, zda u daných typů výztuží má vliv jejich vertikální a horizontální nařezání. Proto byly vzorky označeny jako A 90° - tedy vzorek A nařezaný vertikálně, A 0° - vzorek nařezaný horizontálně.

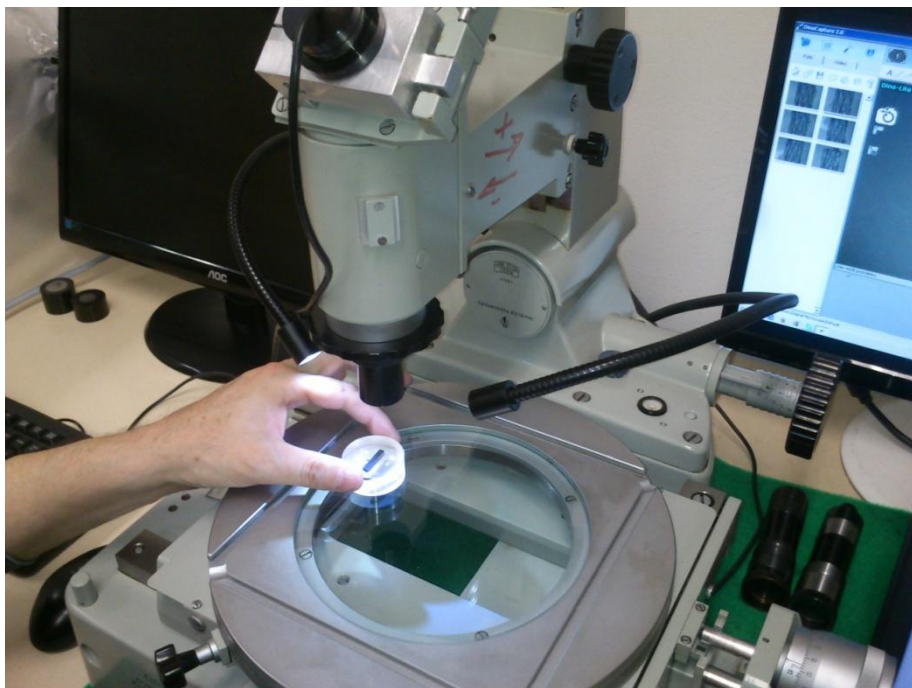
Obrázek 21 Příprava vzorků.

## 12 TESTOVÁNÍ VZORKŮ

### 12.1 Stanovení tloušťky gelcoatu

Stanovení tloušťky gelcoatu se provádělo na mikroskopu Carl Zeiss Jena – 11261.

Nejprve bylo zapotřebí měřený vzorek řádně osvětlit a dostatečně zaostřit. Pomocí PC a patřičného softwaru jsme na vyobrazenou plochu měřeného vzorku vynesly takzvaný nitkový kříž, který umožnil měření od hrany k hraně gelcoatové vrstvy, prostřednictvím nonisu a hodnot na něm odečítaných.



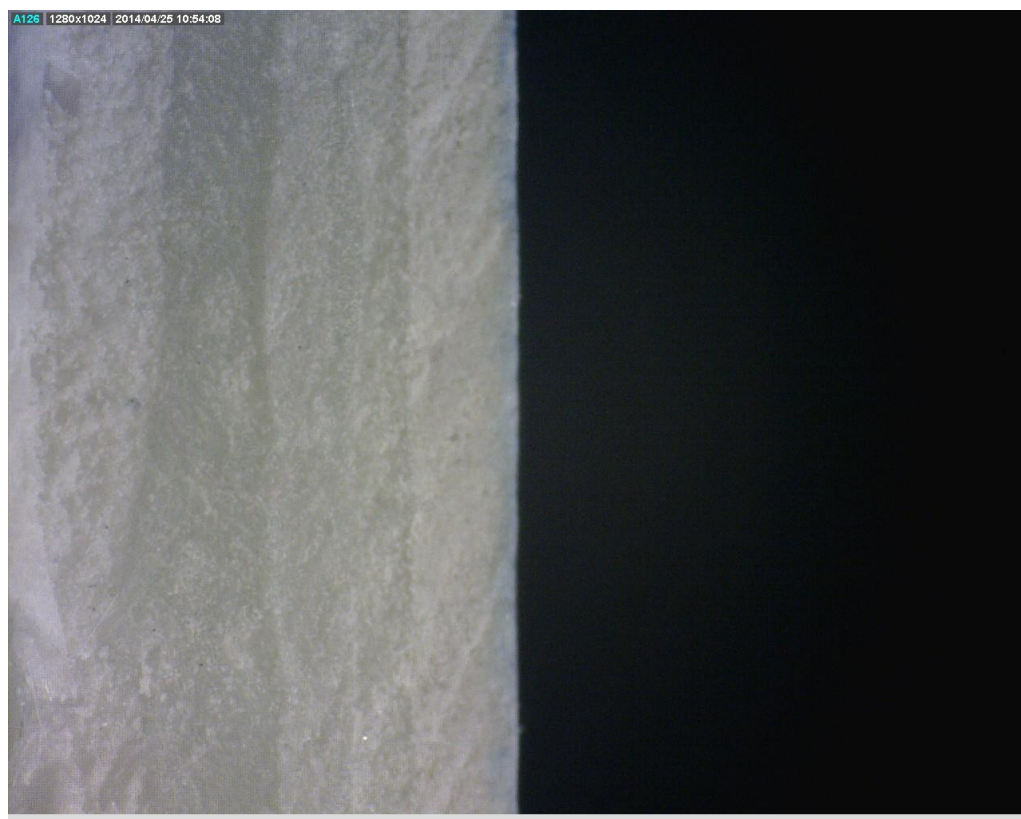
Obrázek 22 Mikroskop Carl Zeiss Jena.



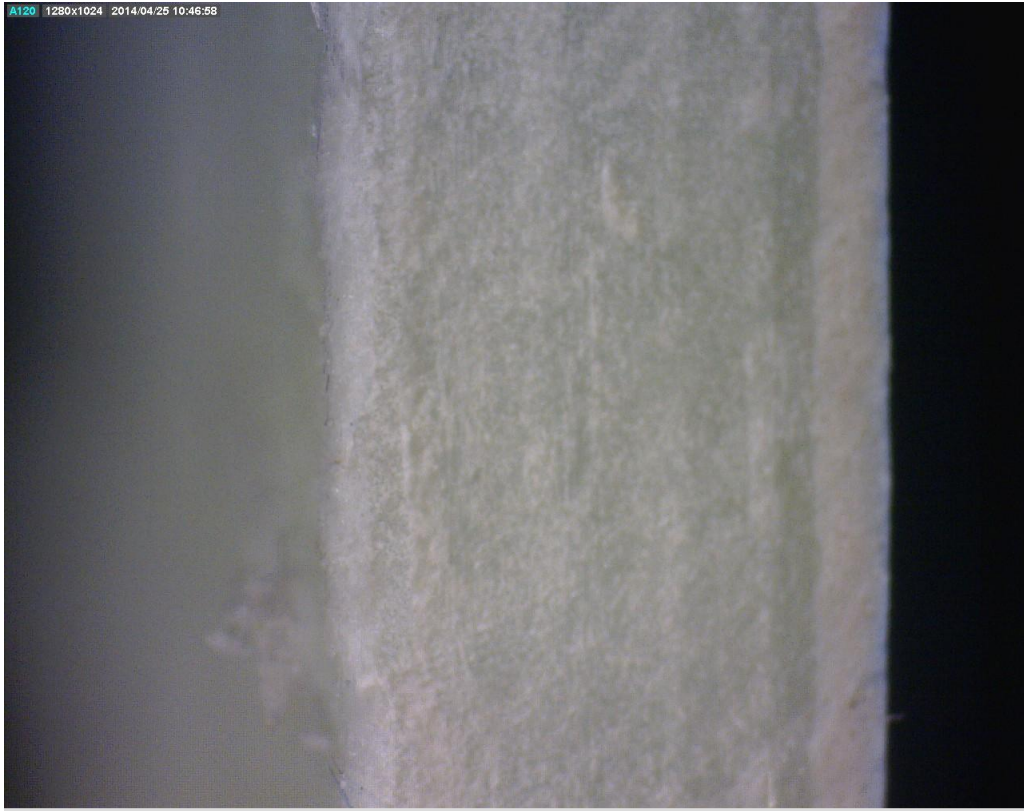
Obrázek 23Vzorky na měření vrstvy gelcoatu.



Obrázek 24 Vzorek A (bez gelcoatu) – zvětšení 10x.



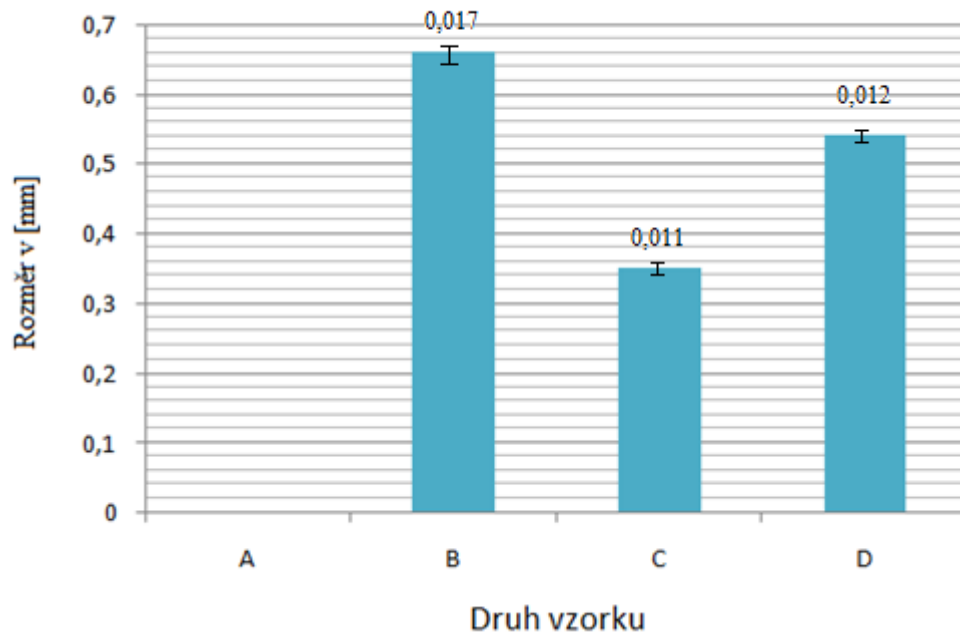
Obrázek 25 Vzorek B s gelcoatem – zvětšení 10x.



Obrázek 26 Vzorek C s gelcoatem – zvětšení 10x.



Obrázek 27 Vzorek D s gelcoatem – zvětšení 10x.



Obrázek 28 Porovnání tloušťky gelcoatu u jednotlivých vzorků.

Tabulka 7 Vyhodnocení výsledku tloušťky gelcoatu.

Vzorek	Průměrná tloušťka gelcoatu v [mm]	Směrodatná odchylka s
A	0	-
B	0,66	0,01788
C	0,35	0,01132
D	0,54	0,01276

## 12.2 Stanovení ohybových vlastností dle ČSN EN ISO 178



Obrázek 29 Měřicí zařízení Zwick 1456.

### 12.2.1 Pracovní podmínky

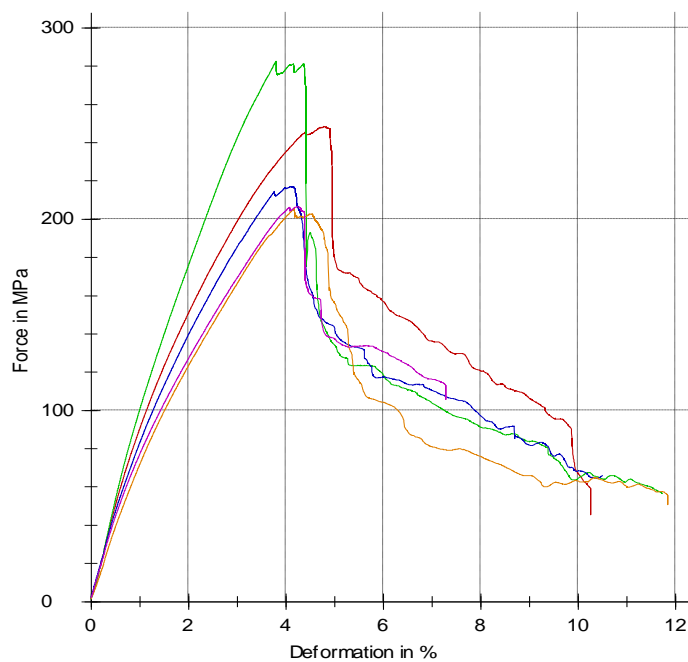
- Měřicí zařízení: Zwick 1456
- Vyhodnocovací program: TestXpert
- Rozměry vzorků: 20x100 mm
- Vzdálenost podpor: 54 mm
- Teplota okolí: 19 °C



## 12.2.2 Naměřené hodnoty ohybu

Tabulka 8 Naměřené hodnoty vzorků A – orientace 90°.

Vzorek A Orientace 90°	Modul pružnosti E - [MPa]	Napětí při mezi pevnosti $\sigma_{FM}$ - [MPa]	Deformace na mezi pevnosti $\varepsilon_{fm}$ - [%]
Vzorek č.1	9720	249	4,8
Vzorek č.2	9950	283	3,8
Vzorek č.3	8810	217	4,1
Vzorek č.4	7320	205	4,2
Vzorek č.5	8590	207	4,2
<b>Průměr</b>	<b>8880</b>	<b>232</b>	<b>4,2</b>
s	1040	33,2	0,4
v	11,77	14,29	8,44

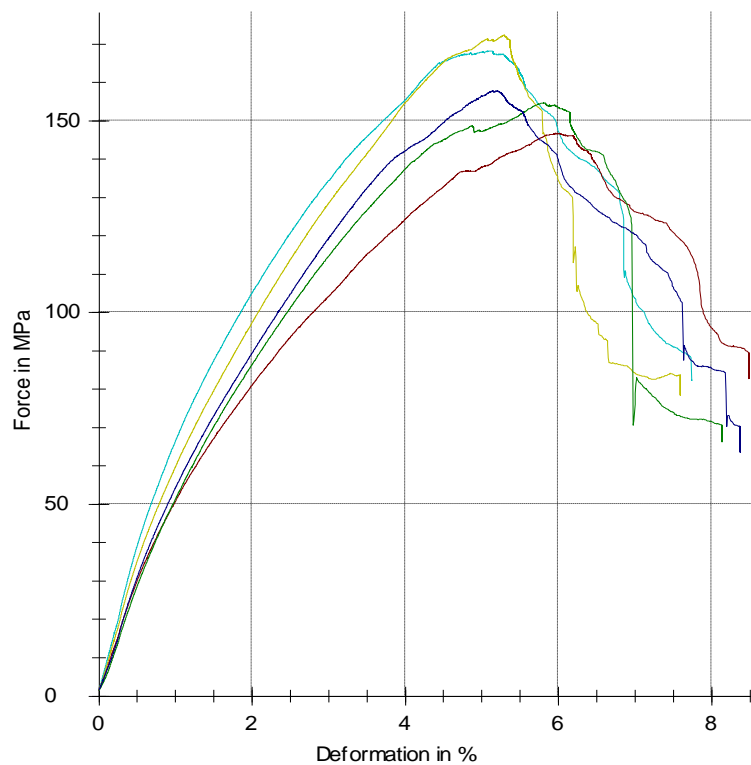


Obrázek 30 Grafické znázornění závislosti síly (MPa) na deformaci v (%)

vzorek A 90°.

Tabulka 9 Naměřené hodnoty vzorků A – orientace 0°.

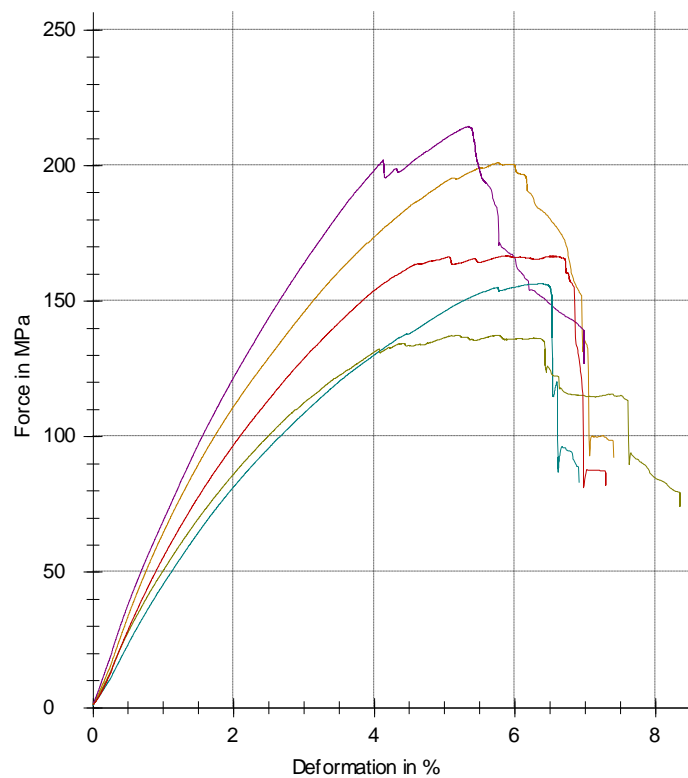
Vzorek A Orientace 0°	Modul pružnosti E -[MPa]	Napětí při mezi pevnosti $\sigma_{FM}$ - [MPa]	Deformace na mezi pevnosti $\varepsilon_{fm}$ - [%]
Vzorek č.1	7370	168	5,1
Vzorek č.2	6860	172	5,3
Vzorek č.3	5900	147	6
Vzorek č.4	5450	155	5,8
Vzorek č.5	5500	158	5,2
<b>Průměr</b>	<b>6220</b>	<b>160</b>	<b>5,5</b>
s	858	10,3	0,4
v	13,81	6,46	6,98



Obrázek 31 Grafické znázornění závislosti síly (MPa) na deformaci  $v$  (%)  
vzorek A 0°.

Tabulka 10 Naměřené hodnoty vzorků B – orientace 90°.

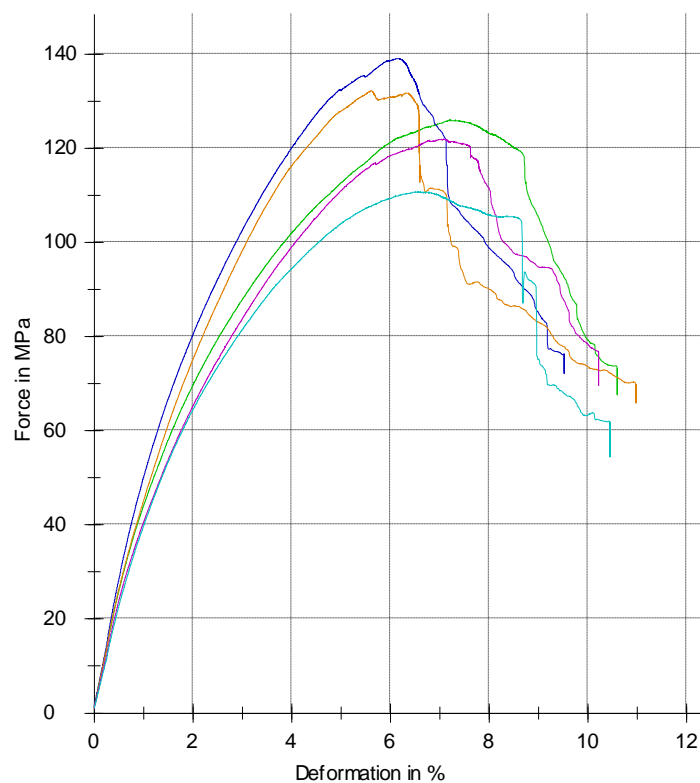
Vzorek B Orientace 90°	Modul pružnosti E- [MPa]	Napětí při mezi pevnosti $\sigma_{FM}$ - [MPa]	Deformace na mezi pevnosti $\varepsilon_{fm}$ -[%]
Vzorek č.1	6000	201	5,8
Vzorek č.2	7350	214	5,3
Vzorek č.3	4040	157	6,4
Vzorek č.4	5250	137	5,2
Vzorek č.5	5150	167	5,9
<b>Průměr</b>	<b>5560</b>	<b>175</b>	<b>5,7</b>
s	1220	31,9	0,5
v	21,95	18,19	8,07



Obrázek 32 Grafické znázornění závislosti síly (MPa) na deformaci  $v$  (%)  
vzorek B 90°.

Tabulka 11 Naměřené hodnoty vzorků B – orientace 0°.

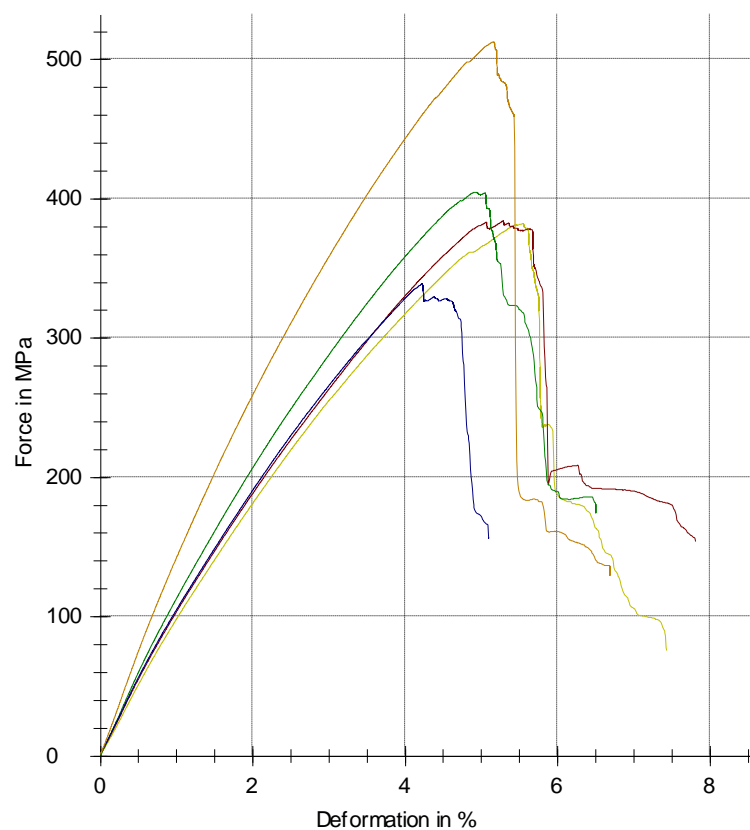
Vzorek B Orientace 0°	Modul pružnosti E -[MPa]	Napětí při mezi pevnosti $\sigma_M$ - [MPa]	Deformace na mezi pevnosti $\varepsilon_{fm}$ - [%]
Vzorek č.1	4810	126	7,2
Vzorek č.2	5270	139	6,1
Vzorek č.3	5070	132	5,6
Vzorek č.4	4460	122	7,1
Vzorek č.5	4210	111	6,5
<b>Průměr</b>	<b>4770</b>	<b>126</b>	<b>6,5</b>
s	433	10,7	0,7
v	9,09	8,51	10,16



Obrázek 33 Grafické znázornění závislosti síly (MPa) na deformaci v (%)  
vzorek B 0°.

Tabulka 12 Naměřené hodnoty vzorků C – orientace 90°.

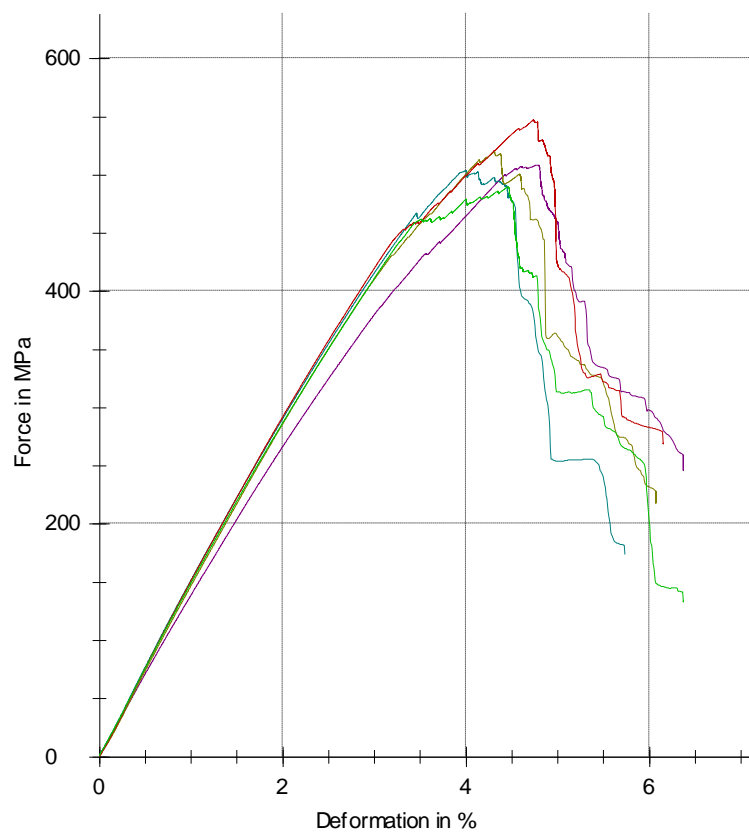
Vzorek C Orientace 90°	Modul pružnosti E -[MPa]	Napětí při mezi pevnosti $\sigma_M$ - [MPa]	Deformace na mezi pevnosti $\varepsilon_{fm}$ - [%]
Vzorek č.1	9910	382	5,5
Vzorek č.2	10700	384	5,3
Vzorek č.3	11900	405	4,9
Vzorek č.4	10900	339	4,2
Vzorek č.5	14900	513	5,2
<b>Průměr</b>	<b>11700</b>	<b>405</b>	<b>5</b>
s	1930	65	0,5
v	16,52	16,06	9,98



Obrázek 34 Grafické znázornění závislosti síly (MPa) na deformaci v (%)  
vzorek C 90°.

Tabulka 13 Naměřené hodnoty vzorků C – orientace 0°.

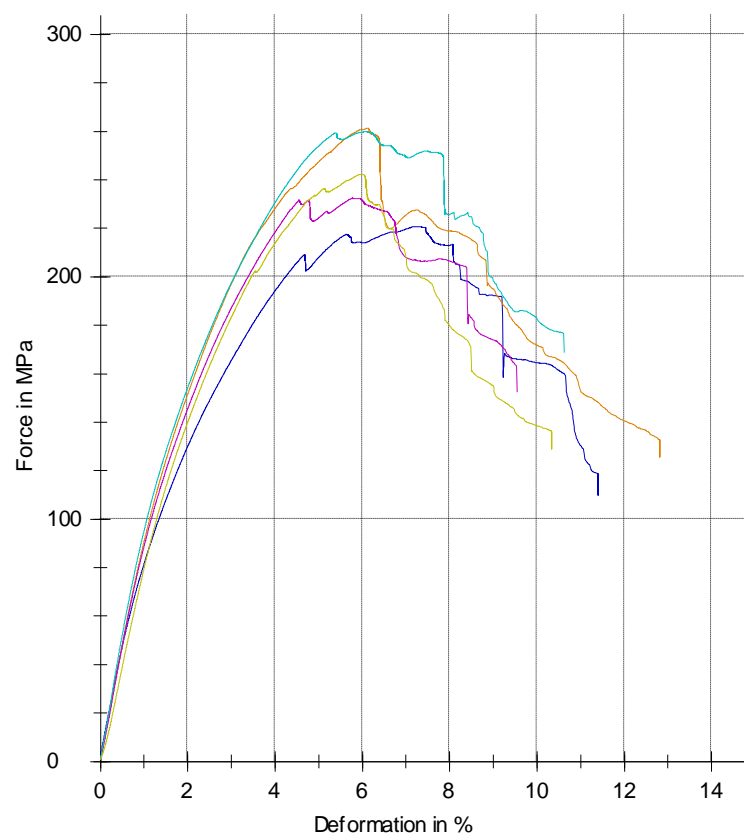
Vzorek C Orientace 0°	Modul pružnosti E - [MPa]	Napětí při mezi pevnosti $\sigma_M$ - [MPa]	Deformace na mezi pevnosti $\varepsilon_{fm}$ - [%]
Vzorek č.1	13800	509	4,8
Vzorek č.2	14900	504	4
Vzorek č.3	14200	521	4,3
Vzorek č.4	14800	548	4,7
Vzorek č.5	14700	490	4,5
<b>Průměr</b>	<b>14500</b>	<b>514</b>	<b>4,5</b>
s	441	21,6	0,3
v	3,04	4,21	7,28



Obrázek 35 Grafické znázornění závislosti síly (MPa) na deformaci v (%)  
vzorek C 0°.

Tabulka 14 Naměřené hodnoty vzorků D – orientace 90°.

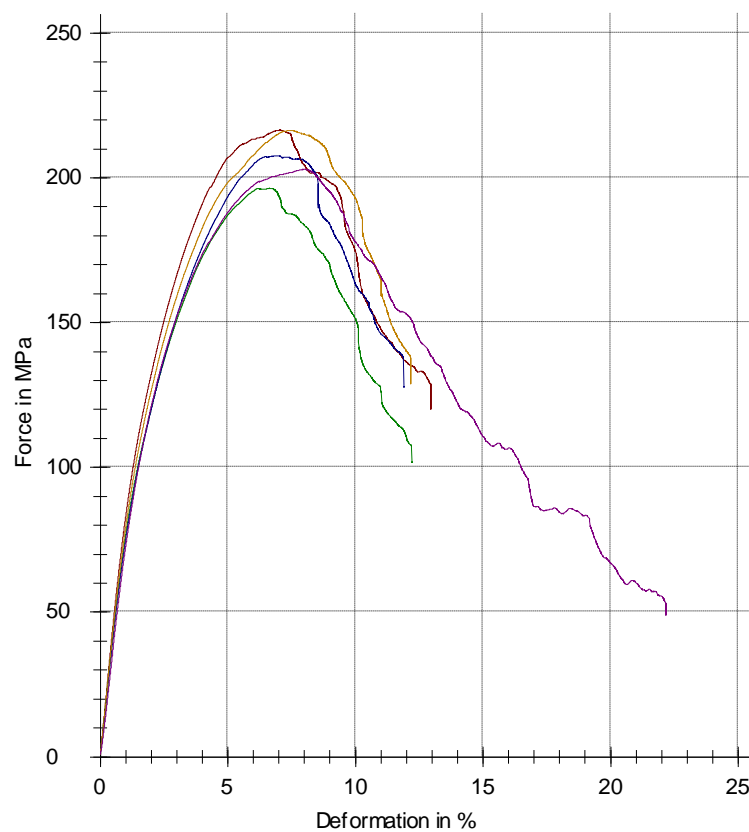
Vzorek D Orientace 90°	Modul pružnosti E -[MPa]	Napětí při mezi pevnosti $\sigma_{FM}$ - [MPa]	Deformace na mezi pevnosti $\varepsilon_{fm}$ - [%]
Vzorek č.1	9070	221	7,2
Vzorek č.2	9380	261	6,1
Vzorek č.3	9290	233	5,8
Vzorek č.4	10300	260	6,1
Vzorek č.5	7010	242	6
<b>Průměr</b>	<b>9000</b>	<b>243</b>	<b>6,2</b>
s	1200	17,5	0,6
v	13,37	7,2	9,01



Obrázek 36 Grafické znázornění závislosti síly (MPa) na deformaci v (%)  
vzorek D 90°.

Tabulka 15 Naměřené hodnoty vzorků D – orientace 0°.

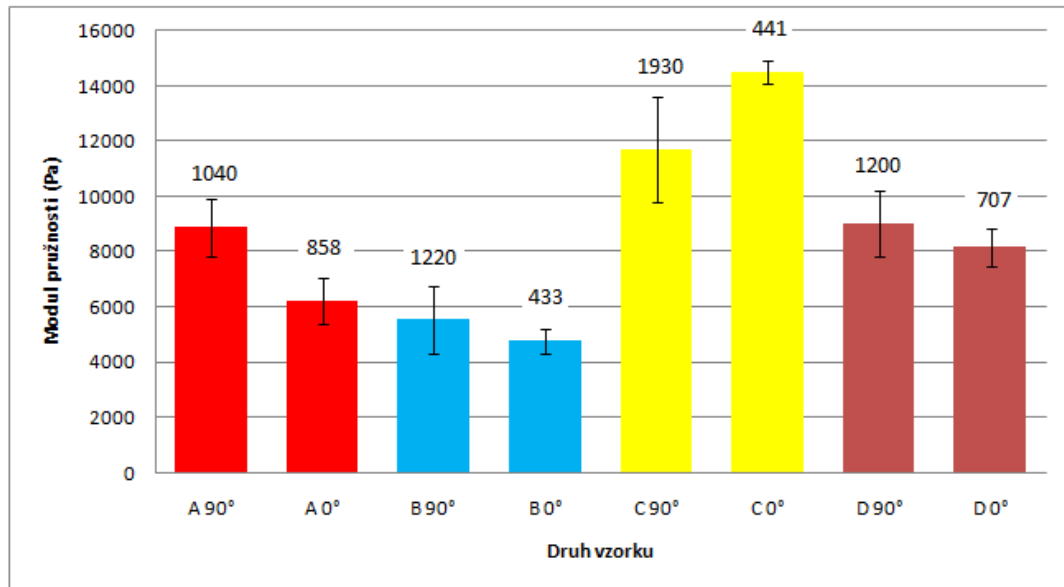
Vzorek D Orientace 0°	Modul pružnosti E- [MPa]	Napětí při mezi pevnosti $\sigma_M$ - [MPa]	Deformace na mezi pevnosti $\varepsilon_{fm}$ - [%]
Vzorek č.1	9070	221	7,2
Vzorek č.2	9380	261	6,1
Vzorek č.3	9290	233	5,8
Vzorek č.4	10300	260	6,1
Vzorek č.5	7010	242	6
<b>Průměr</b>	<b>8150</b>	<b>208</b>	<b>7,2</b>
s	707	8,68	0,5
v	8,68	4,17	7,33



Obrázek 37 Grafické znázornění závislosti síly (MPa) na deformaci  $v$  (%) vzorek D 0°.



## 12.2.3 Vyhodnocení výsledků



Obrázek 38 Srovnání výsledků jednotlivých typů vzorků.

Pokud srovnáme výsledky, které jsou porovnané v grafu uvedeném výše, zjistíme, že největší modul pružnosti v ohybu má vzorek C a to v obou orientacích, největší modul pružnosti jsme dosáhli díky výztuži Q-E-821  $\text{g/m}^2$ , kde měl vzorek 4 vrstvy proto 4x Q-E-821  $\text{g/m}^2$ . Dále můžeme pozorovat, že vzorek A, který není opatřen žádnou povrchovou úpravou má větší modul pružnosti, nežli vzorek B, který naopak povrchovou úpravu měl v podobě gelcoatu značky Büfa SV 260. Větší modul pružnosti lze také pozorovat u vzorků orientovaných 90°, kromě vzorku C, který byl opatřen jinou výztuží, výztuží 4x quadriál.

Jestliže budeme posuzovat ohybové vlastnosti, závisí tedy především na druhu výztuže materiálu a orientaci uspořádání vláken a jejich hustotě.

### 13 ZKOUŠKA HOŘLAVOSTI DLE SMĚRNICE UIC 564-2

Abychom mohli provádět test proti požární odolnosti dle směrnice UIC 564-2 bylo potřeba nachystat zkušební vzorky o rozměrech 160 x 400 mm.

Pomůcky pro měření: Kahan, líh, pipeta, stopky, stojan pro upnutí vzorku, Planix.

Postup měření:

Nejprve bylo zapotřebí upnout měřený vzorek dle normy do stojanu, poté se umístí kahan do patřičné vzdálenosti uváděné normou a naplní se pomocí pipety 5ml lihu. Pak už jen stačí líh zapálit a sledovat hoření a zaznamenávat, kdy začne samovolně vzorek hořet, délka vyhoření kahanu a po jaké době je vzorek schopný uhasnout.



Obrázek 39 Zkušební zařízení.

Zkouška hořlavosti u vzorku A.



Obrázek 40 Zkouška hořlavosti vzorek – A.

Vzorek A byl jediný bez povrchové úpravy, taky jako u jediného vzorek začal samovolně hořet po 90sekundách, kdy byl vzorek vystaven plamenu. Po vyhoření lihu se sám uhasil do 2sekund. Vzorek vytvářel velmi hustý dým s velkým množstvím černého popílku.

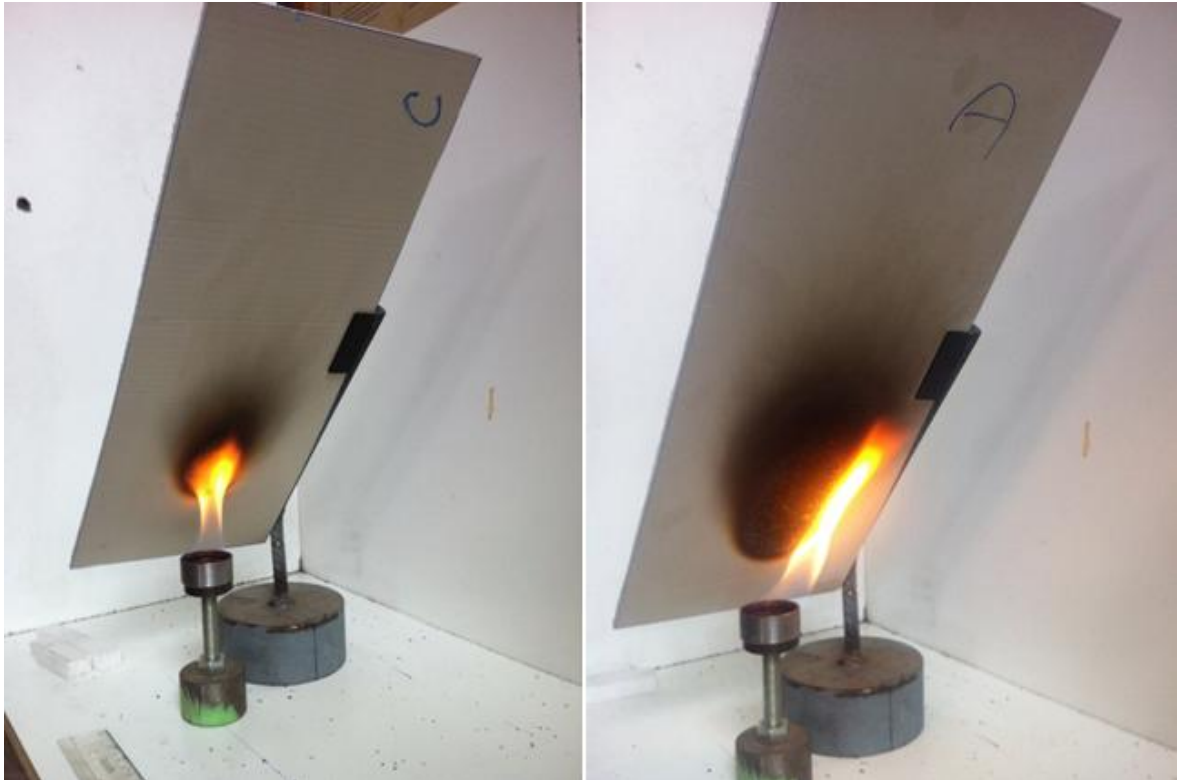


Obrázek 41 Vzorek A- detail na samovznícení.



Obrázek 42 Zkouška hořlavosti vzorek - B.

Vzorek B byl opatřený vrstvou gelcoatu, nedošlo k samovznícení ani nevytvářel černý hustý dým jako vzorek předešlý. Vzorek po 50 sekundách kdy byl vystavený žáru, začal praskat, vytvářely se malé „pupínky“ – odlupování gelcoatu.



Obrázek 43 Zkouška hořlavosti – vzorek C (vlevo), vzorek D (vpravo).

Vzorky C,D nezačaly samovolně hořet, také se objevuje praskání gelcoatu a vytvoření vrásčitého povrchu po dokončení zkoušky.



Obrázek 44 Vzorky po ukončení zkoušky.

Tabulka 16 Naměřené hodnoty.

Typ vzorku:	Čas vzplanutí vzorku (min):	Po vyhoření kahanu zhaslo do:	Doba hoření kahanu (min):	Plocha ohořelého vzorku (cm <sup>2</sup> ) :
A <sub>1</sub>	1:30	<2s	5:40	71,2
A <sub>2</sub>	1:20	<2s	4:40	68,9
A <sub>3</sub>	1:25	<2s	4:38	69,7
B <sub>1</sub>	Nehořel	-	5:02	65,3
B <sub>2</sub>	Nehořel	-	4:53	66,2
B <sub>3</sub>	Nehořel	-	4:36	67,0
C <sub>1</sub>	Nehořel	-	4:34	67,7
C <sub>2</sub>	Nehořel	-	4:36	67,6
C <sub>3</sub>	Nehořel	-	4:39	68,8
D <sub>1</sub>	Nehořel	-	4:35	66,1
D <sub>2</sub>	Nehořel	-	4:38	66,2
D <sub>3</sub>	Nehořel	-	4:41	67,4

Měření ohořelé plochy se provádělo pomocí zařízení PLANIX 5, jedná se o digitální planimetr, který se používá při měření nepravidelných tvarů oblasti plánů nebo výkresů. Nejdříve bylo však zapotřebí přenést ohořelou plochu na papír, abychom mohli tuto oblast změřit. Digitální planimetr, na kterém jsem měřil, nedokáže změřit plochu, která obsahuje nerovnosti. Výsledky mohou být trochu zkreslené a to vlivem nepřesného přenesení ohořelé plochy na papír, dále nepříliš přesnému určení této plochy a podmínkami měření.

Pozn. V některých vzorků není uvedena informace o čase, po kterém vzorek dokázal samovolně zhasnout a to z toho důvodu, protože ani nezačal hořet.

*PLANIX 5*

Obrázek 45 Digitální planimetr – Planix 5.

Modely	PLANIX 5	PLANIX 6	PLANIX 7
Sila	Vnitřní NiCd nebo AC adaptér		
Provozní hodiny	Po 15 hodinách dobíjení: 30 hodin		
Způsob zobrazení	LCD s potlačěním muly		
Řešení	Jedna číslice odpovídá 0,1 cm <sup>2</sup> nebo 0,01 IN. <sup>2</sup>		
Přesnost	Lepší než + / - 0,2% (+ / - 2/1000 pulsů)		
Zobrazit kapacita	8 číslic výstup / vstup, HOLD, Poznámka BATT E, připravení, cm <sup>2</sup> , in <sup>2</sup>		
	-	-	SCALE, m <sup>2</sup> , km <sup>2</sup> , ft <sup>2</sup> , akr
Měřicí rozsah	35,6 cm průměr. 14 "průměr.	300cm x 30cm 118 "x 11.8"	
Hmotnost	Cca. 900g	Cca. 650g	
Rozměry (délka Polar rameno)	64 x 213 x 39 mm (222 mm)	150 x 240 x 39 mm	
Kufřík na přenášení	183 x 260 x 64 mm		

Obrázek 46 Technické specifikace PLANIX 5.

Tabulka 17 Vyhodnocení protipožární odolnosti.

Uhašení desky (s) \ Ohořelá plocha v (cm <sup>2</sup> )	$P \leq 2$	$2 < P \leq 10$	$P > 10$
$S \leq 100$	A	B <sub>I</sub>	C <sub>III</sub>
$100 < S \leq 150$	B <sub>II</sub>	B <sub>III</sub>	C <sub>IV</sub>
$S > 150$	C <sub>I</sub>	C <sub>II</sub>	C <sub>V</sub>

Tabulka 18 Vyhodnocení protipožární odolnosti vzorek A<sub>1</sub>.

Vzorek A <sub>1</sub>		
Vyhasnutí kahanu:	(s)	340
Uhašení vzorku po plameni:	(s)	1
Plocha ohořelá plamenem:	(cm <sup>2</sup> )	71,2
Odpadávání hořících částic a kapek:	ANO/NE	NE
Došlo k prohoření vzorku:	ANO/NE	NE
Zařazení vzorku do skupiny:	A	



Tabulka 19 Vyhodnocení protipožární odolnosti vzorek A<sub>2</sub>.

Vzorek A <sub>2</sub>		
Vyhasnutí kahanu:	(s)	280
Uhašení vzorku po plameni:	(s)	1
Plocha ohořelá plamenem:	(cm <sup>2</sup> )	68,9
Odpadávání hořících částic a kapek:	ANO/NE	NE
Došlo k prohoření vzorku:	ANO/NE	NE
Zařazení vzorku do skupiny:	A	

Tabulka 20 Vyhodnocení protipožární odolnosti vzorek A<sub>3</sub>.

Vzorek A <sub>3</sub>		
Vyhasnutí kahanu:	(s)	278
Uhašení vzorku po plameni:	(s)	1
Plocha ohořelá plamenem:	(cm <sup>2</sup> )	69,7
Odpadávání hořících částic a kapek:	ANO/NE	NE
Došlo k prohoření vzorku:	ANO/NE	NE
Zařazení vzorku do skupiny:	A	

Vzorek A<sub>1,2,3</sub>, který neobsahoval žádnou povrchovou vrstvu v hodnocení vyšel velmi příznivě, doba uhašení po vyhasnutí kahanu byla velmi krátká, neodkapávaly žádné částice ani nedošlo k prohoření, proto jsem jej tedy zařadil do skupiny A. Na druhou stranu při této zkoušce docházelo k úniku velkého množství dýmu a sazí, které vznikaly spalováním tohoto vzorku.

Tabulka 21 Vyhodnocení protipožární odolnosti vzorek B<sub>1</sub>.

Vzorek B <sub>1</sub>		
Vyhasnutí kahanu:	(s)	302
Uhašení vzorku po plameni:	(s)	-
Plocha ohořelá plamenem:	(cm <sup>2</sup> )	65,3
Odpadávání hořících částic a kapek:	ANO/NE	NE
Došlo k prohoření vzorku:	ANO/NE	NE
Zařazení vzorku do skupiny:	A	

Tabulka 22 Vyhodnocení protipožární odolnosti vzorek B<sub>2</sub>.

Vzorek B <sub>2</sub>		
Vyhasnutí kahanu:	(s)	293
Uhašení vzorku po plameni:	(s)	-
Plocha ohořelá plamenem:	(cm <sup>2</sup> )	66,2
Odpadávání hořících částic a kapek:	ANO/NE	NE
Došlo k prohoření vzorku:	ANO/NE	NE
Zařazení vzorku do skupiny:	A	

Tabulka 23 Vyhodnocení protipožární odolnosti vzorek B<sub>3</sub>.

Vzorek B <sub>3</sub>		
Vyhasnutí kahanu:	(s)	276
Uhašení vzorku po plameni:	(s)	-
Plocha ohořelá plamenem:	(cm <sup>2</sup> )	67
Odpadávání hořících částic a kapek:	ANO/NE	NE
Došlo k prohoření vzorku:	ANO/NE	NE
Zařazení vzorku do skupiny:	A	

Vzorek B<sub>1,2,3</sub>, který obsahoval gelcoat značky BÜFA SV 260 vyšel velmi příznivě, doba uhašení po vyhasnutí kahanu byla velmi krátká, neodkapávaly žádné částice ani nedošlo k prohoření, proto jsem jej tedy zařadil do skupiny A. Při zkoušce nedocházelo k žádnému poletování sazí, gelcoat 50 sekund od zapálení začal prskat a vytvářet pupínky.

Tabulka 24 Vyhodnocení protipožární odolnosti vzorek C<sub>1</sub>.

Vzorek C <sub>1</sub>		
Vyhasnutí kahanu:	(s)	274
Uhašení vzorku po plameni:	(s)	-
Plocha ohořelá plamenem:	(cm <sup>2</sup> )	67,7
Odpadávání hořících částic a kapek:	ANO/NE	NE
Došlo k prohoření vzorku:	ANO/NE	NE
Zařazení vzorku do skupiny:	A	

Tabulka 25 Vyhodnocení protipožární odolnosti vzorek C<sub>2</sub>.

Vzorek C <sub>2</sub>		
Vyhasnutí kahanu:	(s)	276
Uhašení vzorku po plameni:	(s)	-
Plocha ohořelá plamenem:	(cm <sup>2</sup> )	67,6
Odpadávání hořících částic a kapek:	ANO/NE	NE
Došlo k prohoření vzorku:	ANO/NE	NE
Zařazení vzorku do skupiny:	A	

Tabulka 26 Vyhodnocení protipožární odolnosti vzorek C<sub>3</sub>.

Vzorek C <sub>3</sub>		
Vyhasnutí kahanu:	(s)	279
Uhašení vzorku po plameni:	(s)	-
Plocha ohořelá plamenem:	(cm <sup>2</sup> )	68,8
Odpadávání hořících částic a kapek:	ANO/NE	NE
Došlo k prohoření vzorku:	ANO/NE	NE
Zařazení vzorku do skupiny:	A	

Vzorek C<sub>1,2,3</sub>, který obsahoval gelcoat značky BÜFA SV 260 vyšel velmi příznivě, doba uhašení po vyhasnutí kahanu byla velmi krátká, neodkapávaly žádné částice ani nedošlo k prohoření, proto jsem jej tedy zařadil do skupiny A. Při zkoušce nedocházelo k žádnému poletování sazí, také se objevuje praskání gelcoatu.

Tabulka 27 Vyhodnocení protipožární odolnosti vzorek D<sub>1</sub>.

Vzorek D <sub>1</sub>		
Vyhasnutí kahanu:	(s)	275
Uhašení vzorku po plameni:	(s)	-
Plocha ohořelá plamenem:	(cm <sup>2</sup> )	66,1
Odpadávání hořících částic a kapek:	ANO/NE	NE
Došlo k prohoření vzorku:	ANO/NE	NE
Zařazení vzorku do skupiny:	A	

Tabulka 28 Vyhodnocení protipožární odolnosti vzorek D<sub>2</sub>.

Vzorek D <sub>2</sub>		
Vyhasnutí kahanu:	(s)	278
Uhašení vzorku po plameni:	(s)	-
Plocha ohořelá plamenem:	(cm <sup>2</sup> )	66,2
Odpadávání hořících částic a kapek:	ANO/NE	NE
Došlo k prohoření vzorku:	ANO/NE	NE
Zařazení vzorku do skupiny:	A	

Tabulka 29 Vyhodnocení protipožární odolnosti vzorek D<sub>3</sub>.

Vzorek D <sub>3</sub>		
Vyhasnutí kahanu:	(s)	281
Uhašení vzorku po plameni:	(s)	-
Plocha ohořelá plamenem:	(cm <sup>2</sup> )	67,4
Odpadávání hořících částic a kapek:	ANO/NE	NE
Došlo k prohoření vzorku:	ANO/NE	NE
Zařazení vzorku do skupiny:	A	

Závěrečné vzorky D<sub>1,2,3</sub> dosáhly také dobrého hodnocení, zařazují je tedy do skupina A.

### 13.1 Shrnutí výsledků a porovnání jednotlivých vzorků zkoušky hořlavosti

U této zkoušky protipožární odolnosti jsme si mohli ověřit jaké vlastnosti mají jednotlivé vzorky vyrobené technologií Light RTM, všechny tyto vzorky spadaly do skupina A, tedy do skupiny, která má velmi dobrou protipožární odolnost, tudíž mohou být klidně uplatněny například v dopravním průmyslu na různé obložení vnitřních ploch dopravních prostředků ale i jinde kde musí splňovat ty nejpřísnější požadavky právě na požární odolnost. Tloušťka laminátu a celá jeho konstrukce, včetně všech vrchních nátěrů, laků, aplikací použití, sendvičové díly, atd. mají také rozhodující vliv na chování při hoření. Ověřili jsme si, že BÜFA SV 260 patří mezi opravdu dobré protipožární povrchové vrstvy a svoje místo při aplikaci najde tam, kde tyto protipožární ochrany jsou nezbytně nutné.

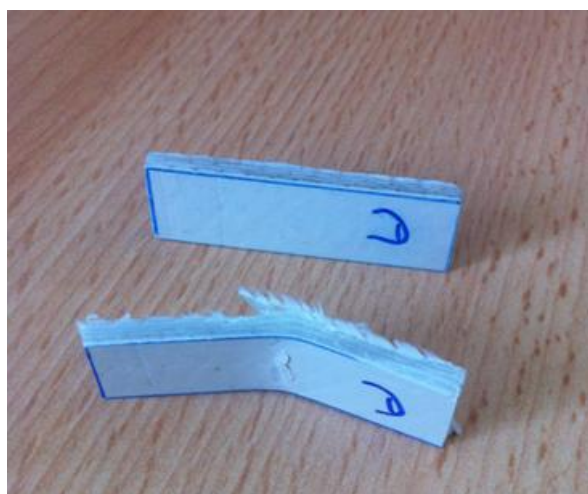
## 14 ZKOUŠKA VRUBOVÉ HOUŽEVNATOSTI

Jak už bylo popsáno výše, zkouška se provádí na Charpyho kladivě. Účelem dynamických zkoušek při rázovém namáhání je stanovení vlastností materiálu za působení dynamických sil.

K určení houževnatosti materiálu při rázovém namáhání, jejímž měřítkem je práce (energie) spotřebovaná na porušení zkušebního tělesa, slouží dynamické zkoušky rázem.



Obrázek 47 Charpyho kladivo.



Obrázek 48 Vzorky testované na Charpyho kladivě.

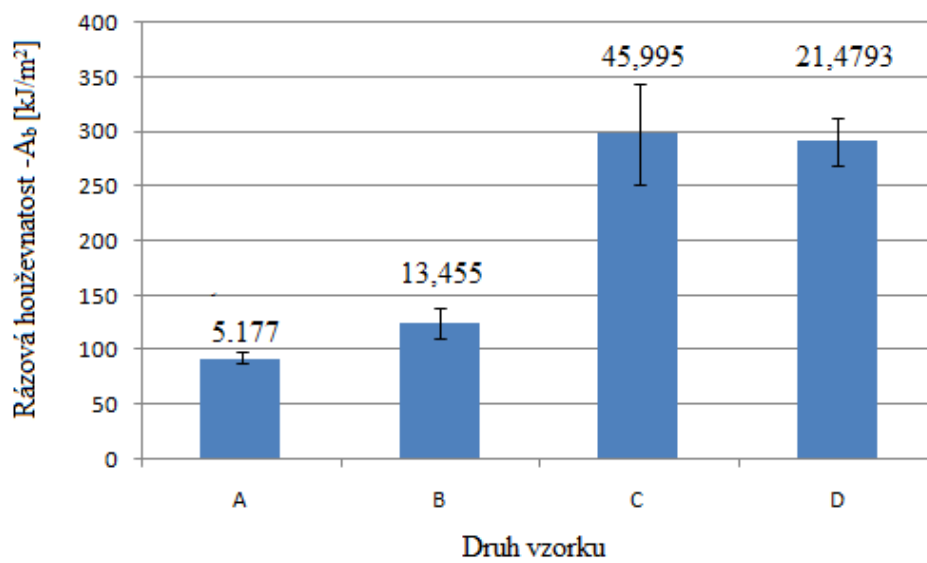
Tabulka 30 Naměřené hodnoty na Charpyho kladivě.

Vzorek	Síla potřebná na přeražení $F_m$ [N]	Rázová houževnatost $A_b$ [kJ/m <sup>2</sup> ]
A <sub>1</sub>	610,29	83,30
A <sub>2</sub>	825,45	97,49
A <sub>3</sub>	748,32	97,39
A <sub>4</sub>	709,09	93,19
A <sub>5</sub>	742,91	91,98
B <sub>1</sub>	1016,25	107,61
B <sub>2</sub>	1039,26	139,66
B <sub>3</sub>	751,03	115,16
B <sub>4</sub>	912,06	141,26
B <sub>5</sub>	871,46	119,79
C <sub>1</sub>	2763,23	317,37
C <sub>2</sub>	2764,59	206,61
C <sub>3</sub>	2767,29	324,55
C <sub>4</sub>	2767,29	324,95
C <sub>5</sub>	2761,88	318,50
D <sub>1</sub>	2650,92	317,61
D <sub>2</sub>	1954,02	266,02
D <sub>3</sub>	2078,51	307,70
D <sub>4</sub>	1672,55	265,97
D <sub>5</sub>	2102,87	299,36



Tabulka 31 Tabulka průměrných naměřených hodnot rázové houževnatosti a jejich odchylky.

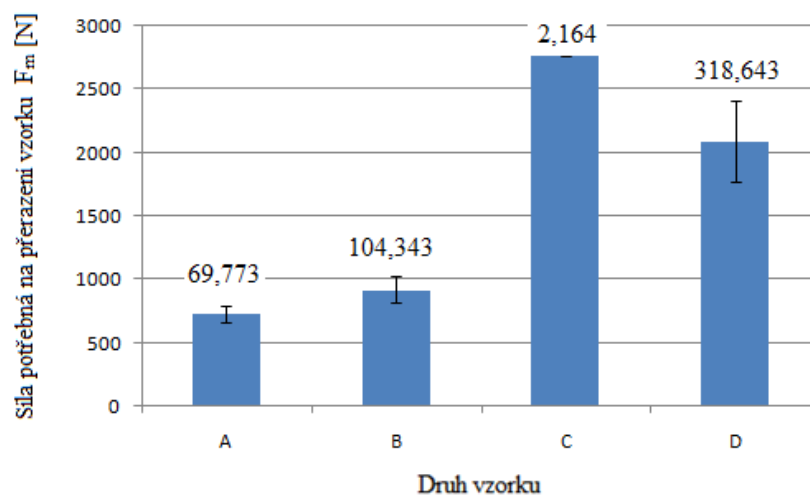
Vzorek	Rázová houževnatost - $A_b$ [kJ/m <sup>2</sup> ]	Směrodatná odchylka - s
A	92,67	5,177
B	124,69	13,455
C	298,39	45,995
D	291,33	21,4793



Obrázek 49 Porovnání výsledků rázových houževnatostí.

Tabulka 32 Tabulka průměrných naměřených sil a jejich odchylky.

Vzorek	Síla potřebná na přeražení $F_m$ [N]	Směrodatná odchylka - s
A	727,212	69,773
B	918,012	104,343
C	2764,86	2,164
D	2091,77	318,643



Obrázek 50 Porovnání výsledků sil potřebných na přeražení vzorku.

### 14.1 Shrnutí výsledků naměřených na Charpyho kladivě

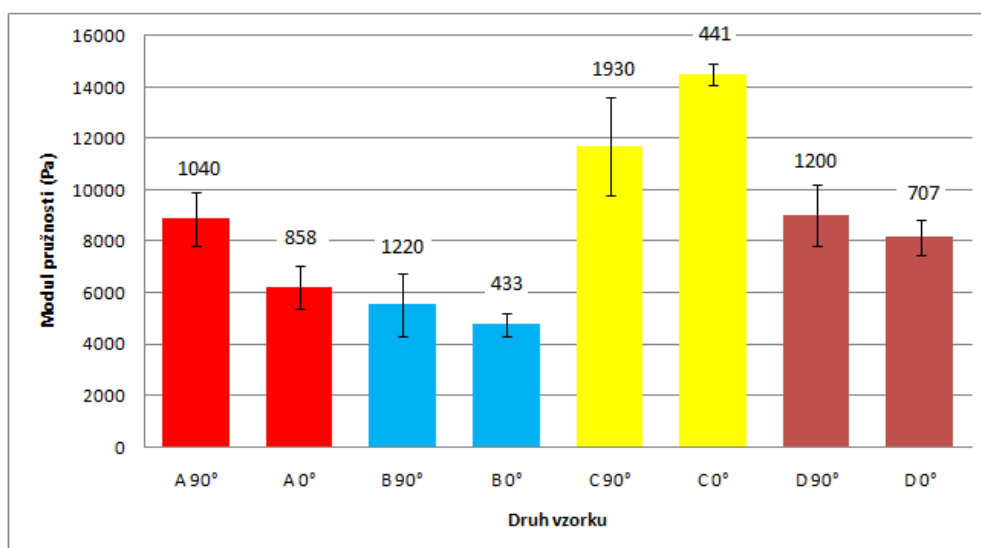
Pokud se podíváme, na vyhodnocené výsledky zjistíme, že největší potřebná síla na přeražení vzorku je jednoznačně u vzorku C, tento vzorek je opatřen výztuží 4xquadraxiál, zbytek vzorku má výztuž 4xbidiagonál nebo 2xbidiagonál + 1xUnifillo, dále můžeme pozorovat malou směrodatnou odchylku u tohoto typu vzorku- C. U měření rázové houževnatosti pozorujeme, že největší energie je u vzorků C a D. Vzorek C má však velkou směrodatnou odchylku oproti vzorku D, obě výztuže mají 4 vrstvy tkaniny i stejný druh pryskyřice, kterou byly prosyceny. Velkou roli zde hraje tedy uspořádání tkaniny ve vzorcích, u quadraxiální tkaniny je uspořádání  $0^\circ, +45^\circ, 90^\circ, -45^\circ$  zatím co u bidiagonální tkaniny je uspořádání  $+45^\circ/ -45^\circ$ .

## 15 ZÁVĚR

Skladba zkoumaných vzorků v této diplomové práci byla skladba materiálů používaných především v dopravním průmyslu a to zejména kolejovém. V tomto odvětví je zapotřebí dbát především na dvě základní věci, bezpečnost a pevnost použitých materiálů. Z hlediska bezpečnosti pozorujeme protipožární vlastnosti jednotlivých materiálů a schopnost odolávat požárům.

Úkolem této diplomové práce bylo porovnat čtyři druhy vzorků navržených po konzultaci s vedoucím diplomové práce. Vzorky se lišily především svojí skladbou, i když vzorky byly na první pohled skoro totožné, výsledky z měření ukázaly, že tomu tak není.

Jako první měření bylo měření jednotlivých vzorků na tří-bodý ohyb. Nejvyšší modul pružnosti vyšel u vzorku C, orientovaný v obou směrech, tedy  $C0^\circ$  i  $C90^\circ$  - quadraxilní výztuž, zároveň jako u jediného vychází větší modul u orientace  $C0^\circ$ , tento fakt ještě podtrhuje velmi malá směrodatná odchylka, která je zároveň nejmenší odchylkou u všech měřených vzorků. Můžeme tedy pozorovat, že směr orientace u bidiagonální i quadraxilní tkaniny není až tak rozhodující, protože směrodatné odchylky u jednotlivých vzorků jsou velmi velké.



Pokud tedy budeme apelovat na to, abychom docílili velkého modulu pružnosti, měli bychom dbát na vhodné vybrání tkaniny a počtu jednotlivých výztužujících vrstev. Pořád platí, že na mechanické vlastnosti kompozitu má největší vliv výztuž.

Dalším úkolem bylo jednotlivé vzorky otestovat na protipožární vlastnosti. Všechny vzorky, až na vzorek A, měly povrchovou úpravu. Povrchovou vrstvu tvořil gelcoat BÜFA SV 260. Vzorek A, který byl bez gelcoatu při zkoušce, kdy byl vystaven žáru, jako jediný ze všech samovolně vzplanul. Dále pak díky jeho spalování vypouštěl do ovzduší velmi velké množství černých sazí, společně s nepříjemným zápachem a dýmem. Jak se dále prokázalo, vrstva gelcoatu u dalších vzorků tomuto jevu zamezila. Pro vyhodnocení bylo zapotřebí sledovat, zda neodkapávají kapičky kompozitu, jestli je vzorek schopen sám hořet a jak dlouho po vyhoření kahanu s lihem ještě hoří, ohořená plocha vzorků. Všechny vzorky spadaly do skupina A, tedy do skupiny s velmi dobrou protipožární odolností.

Posledním zkoumáním byla vrubová houževnatost a síla potřebná k přeražení vzorku. Zde se projevovaly velké rozdíly, hlavní vliv na měřené hodnoty měla vrstva gelcoatu a výztuž. Výrazně jiné hodnoty byly opět u vzorků C, D a to díky výztužím. U těchto dvou vzorků byly použity 4 vrstvy výztuže – 4x quadraxial vzorek C, 4x bidiagonal u vzorku D.

Dalo by se říct, že kompozitní materiály jsou materiály, které se dají „ušít“ přímo na míru pro daný druh použití. Musíme však počítat s faktem, že čím větší nároky na požadovaný kompozit bude, tím roste i cena. Je tedy potřeba důkladně zvážit, které vlastnosti jsou pro nás u daného výrobku prioritní.

**SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY**

[17] JANČÁŘ, Josef. *Úvod do materiálového inženýrství polymerních kompozitů*. Vydání. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta chemická, 2003. ISBN 80-214-2443-5.

[2] themoldingblog.com/ [online]

Dostupné na WWW:

<http://www.themoldingblog.com/2012/06/29/toyota-bmw-eye-joint-gains-on-carbon-composites-fuel-cells/>

[3] EHRENSTEIN, G. W. *Polymerní kompozitní materiály*. V ČR 1. vyd. Praha: Scientia, 2009, 351 s. ISBN 978-80-86960-29-6.

[4] carbonfiberfilm.com [online]

Dostupné na WWW:

<http://www.carbonfiberfilm.com/blog>

[5] pronajem-atrakci.cz/[online]

Dostupné na WWW:

<http://pronajem-atrakci.cz/doporucujeme/let-sportovnim-letadlem/>

[6] TICHÁ, P. *Vliv typu výztuže na FST vlastnosti vláknitého kompozitu*. Zlín 2013, 96s. Diplomová práce (Ing.), Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Fakulta technologická, Ústav výrobního inženýrství.

[7] KOŘÍNEK, Z. *Kompozity* [online] [cit. 2013-01-03]

Dostupné na WWW:

<http://www.volny.cz/zkorinek/>

[8] mujweb.cz/[online]

Dostupné na WWW:

<http://mujweb.cz/zkorinek/technologie.pdf>

[9] MÜNSTER, L. *Modifikace hořlavosti polymerních materiálů a hodnocení efektivnosti těchto modifikací*, 2011, 57 s. Bakalářská práce (Bc.). Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Fakulta technologická, Ústav inženýrství polymerů.

[10] ksp.tul.cz/[online]

Dostupné na WWW:

[http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/stud\\_materialy/vip/horlavost.pdf](http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/stud_materialy/vip/horlavost.pdf)

[11] ksp.tul.cz/[online]

Dostupné na WWW:

[http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/stud\\_materialy/vip/horlavost.pdf](http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/stud_materialy/vip/horlavost.pdf)

[12] FORM s. r. o., Horní Lideč, *Versuchsmethode für das Festlegen der Feuer-reaktion von fasten nichtthermoplastischen Werkstoffen*, [ *Experimentální metoda pro stanovení reakce na oheň pro materiály, které nejsou z termoplastů.*] 2013, s. 8.

[13] <http://www.eamos.pf.jcu.cz>[online]

[184]<http://www.composites.eu> [online]

[195][ateam.zcu.cz](http://www.ateam.zcu.cz)[online]

Dostupné na WWW:

[http://www.ateam.zcu.cz/download/Zk\\_sireni\\_trhlin%2009\\_10.pdf](http://www.ateam.zcu.cz/download/Zk_sireni_trhlin%2009_10.pdf)

[206][spolchemie.cz](http://www.spolchemie.cz)[online]

Dostupné na WWW:

<http://www.spolchemie.cz/produkty-spolchemie/epoxidove-pryskyrice>

[217][morrison-marine.com](http://morrison-marine.com)[online]

Dostupné na WWW:

[http://www.morrisonmarine.com/service\\_and\\_repair\\_project\\_pages/Fiberglass\\_gelcoat/100585Tige/foam2.jpeg.jpg](http://www.morrisonmarine.com/service_and_repair_project_pages/Fiberglass_gelcoat/100585Tige/foam2.jpeg.jpg)

**SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ**

$A_b$	-	Rázová houževnatost
cm	-	centimetr
E	-	Modul pružnosti
$F_m$	-	Síla potřebná na přeražení vzorku
mm	-	milimetr
$M_o$	-	Ohybový moment
MPa	-	Megapascal
s	-	sekunda
RTM	-	Resin transfer moulding - nízkotlaké vstřikování
$\sigma_{fM}$	-	Napětí při mezi pevnosti
$\varepsilon_{fm}$	-	Deformace na mezi pevnosti
$\rho$	-	Hustota

**SEZNAM OBRÁZKŮ**

Obrázek 1 Detail uhlíkového vlákna. [2].....	12
Obrázek 2 Přítlačné křídlo Ferrari F40 – vyrobeno z karbonových vláken.[4].....	13
Obrázek 3 Sportovní letadlo, které je z velké části vyrobeno z.....	13
Obrázek 4Vinylesterová pryskyřice uplatněná ve stavebnictví- chemická kotva. ....	18
Obrázek 5Schématické dělení nejčastěji využívaných vláken. [1] .....	19
Obrázek 6 Opravená část lodě bez povrchové vrstvy – gelcoatu.[17].....	22
Obrázek 7 Nanášení gelcoatu pomocí stříkací pistole. ....	23
Obrázek 8Otevřená dvoudílná forma, kam se vkládá předtvarovaná výztuž.[8].....	24
Obrázek 9 Spotřeba kompozitních materiálů a porovnání v použitých odvětvích.[14] .....	25
Obrázek 10 Schéma bobtnajícího procesu. [9] .....	29
Obrázek 11 Rozdíl mezi neplněným PP a Nanoblendem při působení plamene po dobu 120sekund.[10] .....	30
Obrázek 12Schéma metody kyslíkového čísla. ....	31
Obrázek 13 Testovací metoda UL 94. ....	32
Obrázek 14 Charpyho kladivo. [15] .....	35
Obrázek 15 Příprava formy.....	40
Obrázek 16 Nanášení vrstvy gelcoatu na povrch formy-vzorek C. ....	41
Obrázek 17 Pokládání vrstev výztuže.....	41
Obrázek 18 Příprava na vakuování. ....	42
Obrázek 19 Prosycování výztuže pryskyřicí ve vakuu. ....	42
Obrázek 20 Hotový vzorek C. ....	43
Obrázek 21 Příprava vzorků. ....	43
Obrázek 22 Mikroskop Carl Zeiss Jena. ....	44
Obrázek 23Vzorky na měření vrstvy gelcoatu. ....	44
Obrázek 24 Vzorek A (bez gelcoatu) – zvětšení 10x. ....	45
Obrázek 25 Vzorek B s gelcoatem – zvětšení 10x. ....	45
Obrázek 26 Vzorek C s gelcoatem – zvětšení 10x. ....	46
Obrázek 27 Vzorek D s gelcoatem – zvětšení 10x. ....	46
Obrázek 28 Porovnání tloušťky gelcoatu u jednotlivých vzorků. ....	47
Obrázek 29 Měřicí zařízení Zwick 1456. ....	48
Obrázek 30 Grafické znázornění závislosti síly (MPa) na deformaci v (%) .....	49
Obrázek 31 Grafické znázornění závislosti síly (MPa) na deformaci v (%) .....	50



Obrázek 32 Grafické znázornění závislosti síly (MPa) na deformaci v (%) .....	51
Obrázek 33 Grafické znázornění závislosti síly (MPa) na deformaci v (%) .....	52
Obrázek 34 Grafické znázornění závislosti síly (MPa) na deformaci v (%) .....	53
Obrázek 35 Grafické znázornění závislosti síly (MPa) na deformaci v (%) .....	54
Obrázek 36 Grafické znázornění závislosti síly (MPa) na deformaci v (%) .....	55
Obrázek 37 Grafické znázornění závislosti síly (MPa) na deformaci v (%) .....	56
Obrázek 38 Srovnání výsledků jednotlivých typů vzorků.....	57
Obrázek 39 Zkušební zařízení. ....	58
Obrázek 40 Zkouška hořlavosti vzorek – A. ....	59
Obrázek 41 Vzorek A- detail na samovznícení. ....	60
Obrázek 42 Zkouška hořlavosti vzorek - B. ....	60
Obrázek 43 Zkouška hořlavosti – vzorek C (vlevo), vzorek D (vpravo). ....	61
Obrázek 44 Vzorky po ukončení zkoušky. ....	61
Obrázek 45 Digitální planimetr – Planix 5. ....	63
Obrázek 46 Technické specifikace PLANIX 5.....	63
Obrázek 47 Charpyho kladivo. ....	71
Obrázek 48 Vzorky testované na Charpyho kladivě. ....	71
Obrázek 49 Porovnání výsledků rázových houževnatostí. ....	73
Obrázek 50 Porovnání výsledků sil potřebných na přeražení vzorku. ....	74

**SEZNAM TABULEK**

Tabulka 1 <i>Srovnání fyzikálních vlastností různých konstrukčních materiálů.</i> [1].....	15
Tabulka 2 Vybrané vlastnosti některých vyztužujících vláken. [1].....	20
Tabulka 3 Složení vzorku A .....	38
Tabulka 4 Složení vzorku B.....	39
Tabulka 5 Složení vzorku C.....	39
Tabulka 6 Složení vzorku D .....	40
Tabulka 7 Vyhodnocení výsledku tloušťky gelcoatu. ....	47
Tabulka 8 Naměřené hodnoty vzorků A – orientace 90°.....	49
Tabulka 9 Naměřené hodnoty vzorků A – orientace 0°.....	50
Tabulka 10 Naměřené hodnoty vzorků B – orientace 90°.....	51
Tabulka 11 Naměřené hodnoty vzorků B – orientace 0°.....	52
Tabulka 12 Naměřené hodnoty vzorků C – orientace 90°.....	53
Tabulka 13 Naměřené hodnoty vzorků C – orientace 0°.....	54
Tabulka 14 Naměřené hodnoty vzorků D – orientace 90°.....	55
Tabulka 15 Naměřené hodnoty vzorků D – orientace 0°.....	56
Tabulka 16 Naměřené hodnoty.....	62
Tabulka 17 Vyhodnocení protipožární odolnosti. ....	64
Tabulka 18 Vyhodnocení protipožární odolnosti vzorek A <sub>1</sub> . ....	64
Tabulka 19 Vyhodnocení protipožární odolnosti vzorek A <sub>2</sub> .....	65
Tabulka 20 Vyhodnocení protipožární odolnosti vzorek A <sub>3</sub> .....	65
Tabulka 21 Vyhodnocení protipožární odolnosti vzorek B <sub>1</sub> .....	66
Tabulka 22 Vyhodnocení protipožární odolnosti vzorek B <sub>2</sub> .....	66
Tabulka 23 Vyhodnocení protipožární odolnosti vzorek B <sub>3</sub> .....	67
Tabulka 24 Vyhodnocení protipožární odolnosti vzorek C <sub>1</sub> . ....	67
Tabulka 25 Vyhodnocení protipožární odolnosti vzorek C <sub>2</sub> . ....	68
Tabulka 26 Vyhodnocení protipožární odolnosti vzorek C <sub>3</sub> . ....	68
Tabulka 27 Vyhodnocení protipožární odolnosti vzorek D <sub>1</sub> .....	69
Tabulka 28 Vyhodnocení protipožární odolnosti vzorek D <sub>2</sub> .....	69
Tabulka 29 Vyhodnocení protipožární odolnosti vzorek D <sub>3</sub> .....	70
Tabulka 30 Naměřené hodnoty na Charpyho kladivě. ....	72
Tabulka 31 Tabulka průměrných naměřených hodnot rázové houževnatosti a jejich odchylky. ....	73

---

Tabulka 32 Tabulka průměrných naměřených sil a jejich odchylky. .... 74

**SEZNAM PŘÍLOH**

- Příloha 1 .....Technický list – Nemodifikované pevné epoxidové pryskyřice.
- Příloha 2 .....Technický list – Nemodifikované kapalné epoxidové pryskyřice.
- Příloha 3 .....Technický list – modifikované kapalné epoxidové pryskyřice.
- Příloha 4.....Technický list – modifikované pevné epoxidové pryskyřice.
- Příloha 5.....Technický list – polotuhé epoxidové pryskyřice.
- Příloha 6.....Technický list –Modifikované Kapalné epoxidové pryskyřice.
- Příloha 7 .....Technický list – Výztuž Bidiagonal-glass-fabric.
- Příloha 8..... BŮFA –Injection –resin-leo-R – 6500.

# TECHNICKÝ LIST – NEMODIFIKOVANÉ PEVNÉ EPOXIDOVÉ PRYSKYŘICE – PŘÍLOHA 1



DATASHEET

## NEMODIFIKOVANÉ PEVNÉ EPOXIDOVÉ PRYSKYŘICE

### CHS-EPOXY 030

Vysokomolekulární pevná epoxidová pryskyřice

#### POPIS VÝROBKU

Vysokomolekulární pevná epoxidová pryskyřice "typ 9".

#### POUŽITÍ

Doporučuje se použít pro výrobu systémů modifikovaných fenolickými a aminovými pryskyřicemi, pro vypalovací nátěrové hmoty s vynikajícími lakařskými vlastnostmi - základní antikorozní nátěrové hmoty, vrchní nátěry a nátěry na potravinové plechovky.

#### PARAMETRY

Parametr	Hodnota	Jednotka	Metodika
Barva 40% roztoku v BDG (APHA, Pt-Co)	Max. 100	j.Hazena	EN ISO 6271- 2
Epoxidový hmotnostní ekvivalent	2220 - 4000	g/mol	EN ISO 3001
Epoxidový index	0,25 - 0,45	mol/kg	EN ISO 3001
Viskozita 40% roztoku v butyldiglykolu / 25 °C	2600 - 6000	mPa.s	DIN 53015

#### SKLADOVÁNÍ

Produkt se skladuje v originálních a uzavřených obalech na suchém místě při teplotě 5 - 25 °C vždy odděleně od tvrdidel a zdrojů vznícení. Záruční doba činí 12 měsíců od data výroby.

#### BALENÍ

Dodáváno v předem domluvených typech obalů.

#### BEZPEČNOSTNÍ ÚDAJE

Informace o bezpečnosti produktu a pokyny pro zacházení naleznete v příslušném bezpečnostním listu.

Spolek pro chemickou a hutní výrobu, akciová společnost

Revoluční 1930/86, 400 32, Ústí nad Labem, Česká Republika  
Tel: +420 477 162 037, Fax: +420 477 163 244

Email: [resins@spolchemie.cz](mailto:resins@spolchemie.cz)

[www.spolchemie.cz](http://www.spolchemie.cz)



Revidován dne: 15.11.2012

Záruka kvality: 900310

# TECHNICKÝ LIST – NEMODIFIKOVANÉ KAPALNÉ EPOXIDOVÉ PRYSKYŘICE - PŘÍLOHA 2



DATASHEET

## NEMODIFIKOVANÉ KAPALNÉ EPOXIDOVÉ PRYSKYŘICE

### CHS-EPOXY 510

Univerzální nízkomolekulární kapalná epoxidová pryskyřice na bázi bisfenolu A

#### POPIS VÝROBKU

Nízkomolekulární kapalná nemodifikovaná epoxidová pryskyřice s vysokou odolností proti krystalizaci. Může být vytvrzována při normální nebo zvýšené teplotě.

#### POUŽITÍ

Doporučuje se použít pro modifikace, impregnace, v procesech zapouzdření a zalévání elektronických a elektrických prvků a ve stavebnictví.

#### PARAMETRY

Parametr	Hodnota	Jednotka	Metodika
Barva (APHA, Pt-Co)	Max. 200	j.Hazena	EN ISO 6271-2
Epoxidový hmotnostní ekvivalent	183 - 193	g/mol	EN ISO 3001
Epoxidový index	5,18 - 5,46	mol/kg	EN ISO 3001
Snadno zmydelnitelný chlor (Cl)	Max. 0,03	%	ASTM D 1726
Netěkavé látky (2 h / 140 °C)	Min. 99,5	%	EN ISO 3251
Viskozita / 25 °C	12,5 - 15,5	Pa.s	DIN 53015

#### SKLADOVÁNÍ

Produkt se skladuje v originálních a uzavřených obalech na suchém místě při teplotě 5 - 25 °C vždy odděleně od tvrdidel a zdrojů vznícení. Záruční doba činí 12 měsíců od data výroby.

#### BALENÍ

Dodáváno v předem domluvených typech obalů.

#### BEZPEČNOSTNÍ ÚDAJE

Informace o bezpečnosti produktu a pokyny pro zacházení naleznete v příslušném bezpečnostním listu.

Spolek pro chemickou a hutní výrobu, akciová společnost  
Revoluční 1930/86, 400 32, Ústí nad Labem, Česká Republika  
Tel: +420 477 162 037, Fax: +420 477 163 244  
Email: [resins@spolchemie.cz](mailto:resins@spolchemie.cz)  
[www.spolchemie.cz](http://www.spolchemie.cz)



Revidován dne: 15.11.2012  
Záruka kvality: 900280

# TECHNICKÝ LIST – MODIFIKOVANÉ KAPALNÉ EPOXIDOVÉ PRYSKYŘICE – PŘÍLOHA 3



DATASHEET

## MODIFIKOVANÉ KAPALNÉ EPOXIDOVÉ PRYSKYŘICE

### CHS-EPOXY 324

Bezropouštědlová epoxidová pryskyřice modifikovaná nereaktivním zvláčňovadlem

#### POPIS VÝROBKU

Sřádněmolekulární viskózní epoxidová pryskyřice modifikovaná nereaktivním zvláčňovadlem, neobsahujícím ftaláty. Vytvrzuje se smísením s vhodnými tvrdidly při normální nebo zvýšené teplotě.

#### POUŽITÍ

Doporučuje se použít jako pojivo pro výrobu lepicích kompozic a tmelů.

#### PARAMETRY

Parametr	Hodnota	Jednotka	Metodika
Barva (APHA, Pt-Co)	Max. 300	j.Hazena	EN ISO 6271- 2
Epoxidový hmotnostní ekvivalent	294 - 333	g/mol	EN ISO 3001
Epoxidový index	3,00 - 3,40	mol/kg	EN ISO 3001
Viskozita / 25 °C	20 - 60	Pa.s	DIN 53015

#### SKLADOVÁNÍ

Produkt se skladuje v originálních a uzavřených obalech na suchém místě při teplotě 5 - 25 °C vždy odděleně od tvrdidel a zdrojů vznícení. Záruční doba činí 12 měsíců od data výroby.

#### BALENÍ

Dodáváno v předem domluvených typech obalů.

#### BEZPEČNOSTNÍ ÚDAJE

Informace o bezpečnosti produktu a pokyny pro zacházení naleznete v příslušném bezpečnostním listu.

Spolek pro chemickou a hutní výrobu, akciová společnost

Revoluční 1930/86, 400 32, Ústí nad Labem, Česká Republika  
Tel: +420 477 162 037, Fax: +420 477 163 244

Email: [resins@spolchemie.cz](mailto:resins@spolchemie.cz)

[www.spolchemie.cz](http://www.spolchemie.cz)



Revidován dne: 15.11.2012

Záruka kvality: 600621

# TECHNICKÝ LIST – MODIFIKOVANÉ PEVNÉ EPOXIDOVÉ PRYSKYŘICE – PŘÍLOHA 4



DATASHEET

## MODIFIKOVANÉ PEVNÉ EPOXIDOVÉ PRYSKYŘICE

### CHS-EPOXY 112 4F0,5

Středněmolekulární pevná modifikovaná epoxidová pryskyřice

#### POPIS VÝROBKU

Směs obsahující 99,5% středněmolekulární pevné epoxidové pryskyřice CHS-EPOXY 112 a 0,5% rozlivového činidla.

#### POUŽITÍ

Doporučuje se použít pro výrobu práškových nátěrových hmot.

#### PARAMETRY

Parametr	Hodnota	Jednotka	Metodika
Epoxidový hmotnostní ekvivalent	900 - 950	g/mol	EN ISO 3001
Epoxidový index	1,05 - 1,11	mol/kg	EN ISO 3001
Viskozita 40% roztoku v butylodiglykolu / 25 °C	500 - 1000	mPa.s	DIN 53015

#### SKLADOVÁNÍ

Produkt se skladuje v originálních a uzavřených obalech na suchém místě při teplotě 5 - 25 °C vždy odděleně od tvrdidel a zdrojů vznícení. Záruční doba činí 12 měsíců od data výroby.

#### BALENÍ

Dodáváno v předem domluvených typech obalů.

#### BEZPEČNOSTNÍ ÚDAJE

Informace o bezpečnosti produktu a pokyny pro zacházení naleznete v příslušném bezpečnostním listu.

Spolek pro chemickou a hutní výrobu, akciová společnost  
Revoluční 1930/86, 400 32, Ústí nad Labem, Česká Republika  
Tel: +420 477 162 037, Fax: +420 477 163 244

Email: [resins@spolchemie.cz](mailto:resins@spolchemie.cz)  
[www.spolchemie.cz](http://www.spolchemie.cz)



Revidován dne: 15.11.2012  
Záruka kvality: 900222



# TECHNICKÝ LIST – POLOTUHÉ EPOXIDOVÉ PRYSKYŘICE – PŘÍLOHA 5



DATASHEET

## POLOTUHÉ EPOXIDOVÉ PRYSKYŘICE

### CHS-EPOXY 301

Polotuhá epoxidová pryskyřice

#### POPIS VÝROBKU

Polotuhá epoxidová pryskyřice na bázi bisfenolu A.

#### POUŽITÍ

Doporučuje se použít v procesech horkého lítí v různých průmyslových odvětvích, především v elektrotechnice, pro výrobu prepregů a rozpouštědlových nátěrových hmot.

#### PARAMETRY

Parametr	Hodnota	Jednotka	Metodika
Epoxidový hmotnostní ekvivalent	300 - 370	g/mol	EN ISO 3001
Epoxidový index	2,70 - 3,30	mol/kg	EN ISO 3001
Těkavé látky (2 h / 140 °C)	Max. 0,50	%	EN ISO 3251

#### SKLADOVÁNÍ

Produkt se skladuje v originálních a uzavřených obalech na suchém místě při teplotě 5 - 25 °C vždy odděleně od tvrdidel a zdrojů vznícení. Záruční doba činí 12 měsíců od data výroby.

#### BALENÍ

Dodáváno v předem domluvených typech obalů.

#### BEZPEČNOSTNÍ ÚDAJE

Informace o bezpečnosti produktu a pokyny pro zacházení naleznete v příslušném bezpečnostním listu.

Spolek pro chemickou a hutní výrobu, akciová společnost

Revoluční 1930/86, 400 32, Ústí nad Labem, Česká Republika  
Tel: +420 477 162 037, Fax: +420 477 163 244

Email: [resins@spolchemie.cz](mailto:resins@spolchemie.cz)

[www.spolchemie.cz](http://www.spolchemie.cz)

Revidován dne: 15.11.2012

Záruka kvality: 600414



# TECHNICKÝ LIST –MODIFIKOVANÉ KAPALNÉ EPOXIDOVÉ PRYSKYŘICE-PŘÍLOHA 6



DATASHEET

MODIFIKOVANÉ KAPALNÉ EPOXY PRYSKYŘICE NA BÁZI BPA/F

## CHS-EPOXY 501

Modifikovaná kapalná epoxidová pryskyřice

### POPIS VÝROBKU

Nízkomolekulární kapalná epoxidová pryskyřice na bázi bisfenolu A a bisfenolu F modifikována monofunkčním reaktivním ředidlem.

### POUŽITÍ

Doporučuje se použít pro výrobu lepicích kompozic, kompozitních materiálů, high-solid antikoročních barev a jiné aplikace ve stavebnictví.

### PARAMETRY

Parametr	Hodnota	Jednotka	Metodika
Barva (APHA, Pt-Co)	Max. 100	j.Hazena	EN ISO 6271- 2
Epoxidový hmotnostní ekvivalent	188 - 200	g/mol	EN ISO 3001
Epoxidový index	5,00 - 5,30	mol/kg	EN ISO 3001
Snadno zrnědelnitelný chlor (Cl)	Max. 0,1	%	ASTM D 1726
Viskozita / 25 °C	600 - 800	mPa.s	DIN 53015

### SKLADOVÁNÍ

Produkt se skladuje v originálních a uzavřených obalech na suchém místě při teplotě 5 - 25 °C vždy odděleně od tvrdidel a zdrojů vznícení. Záruční doba činí 12 měsíců od data výroby.

### BALENÍ

Dodáváno v předem domluvených typech obalů.

### BEZPEČNOSTNÍ ÚDAJE

Informace o bezpečnosti produktu a pokyny pro zacházení naleznete v příslušném bezpečnostním listu.

Spolek pro chemickou a hutní výrobu, akciová společnost  
Revoluční 1930/86, 400 32, Ústí nad Labem, Česká Republika  
Tel: +420 477 162 037, Fax: +420 477 163 244  
Email: [resins@spolchemie.cz](mailto:resins@spolchemie.cz)  
[www.spolchemie.cz](http://www.spolchemie.cz)



Revidován dne: 15.11.2012  
Záruka kvality: 500522

# TECHNICKÝ LIST – VÝZTUŽ BIDIAGONAL-GLASS-FABRIC- PŘÍLOHA 7



**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)**

# TECHNICKÝ LIST – BÜFA –INJECTION –RESIN-LEO-R – 6500

## PŘÍLOHA 8

### Technical Data Sheet



## BÜFA®- INJECTION-RESIN-LEO-R - 6500

FR-VE Fire Protection Injection Resin

Prod. No. 716-6500

**Product description** BÜFA®-Injection-Resin-LEO-R - 6500 is a moderately reactive, vinyl ester resin on a bisphenol A epoxide base dissolved in styrene. This product is a component in the **LEO Rail System**. BÜFA®-Injection-Resin-LEO-R - 6500 is halogen-free, pre-accelerated and is especially suitable for use in injection processes because of its low viscosity formulation.

**Applications** BÜFA®-Injection-Resin-LEO-R - 6500 is used for the production of moulded parts that are of especially high mechanical quality on which high requirements are also placed on chemical resistance. When combined with BÜFA®-Injection-Resin-LEO-R - 6500 or - 6501 and Saertex Reinforcement LEO-R, the system achieves outstanding fire protection properties. Laminates based on BÜFA®-Injection-Resin-LEO-R - 6500 not only have excellent long-term heat resistance but are also highly resistant to dynamic loads.

Specifications / technical data	Property	Test method	Value	Unit
	Density at 20 °C	DIN 53 217/2	1,04	g/ml
	Viscosity at 20 °C Brookfield RV/DV-II Spl 3. rpm 20.	ISO 2555	240-340	mPas
	Monomer content		41-44	%
	Flash point	DIN 53 213	32	°C

<b>Curing</b>	<b>Reactivity:</b> <b>BÜFA method in accordance with DIN 16 945 6.2.2.1</b> (100 g resin + 2 g Butanox M-50)	
	25 - 35 °C	60 - 70 min
	25 °C - Tmax	86 - 95 min
	Tmax	142 - 152 °C
	<b>Gel time at 20 °C in a 100 g cup with 2 g Butanox M-50:</b>	60 - 70 min

#### Attention!

The information given above refers exclusively to the use of the catalyst named and the quantity specified. The use of different products or differing quantities may yield different results.



Gelcoat Plus

# BÜFA®- INJECTION-RESIN-LEO-R - 6500

FR-VE Fire Protection Injection Resin

Prod. No. 716-6500

<b>Directions for use</b>	Before use the resin should be conditioned to a precisely defined temperature, depending on process. Temperatures > 20 °C are ideal for injection. Long stirring procedures should be avoided; the resin should be gently stirred for a maximum of 0.5 h before using. "Gentle stirring" is understood as stirring at low speed, just setting material at the edge of the container in motion. Only a minimal "whirlpool" effect should take place at the centre of the container.
<b>Note:</b>	<p>The thickness of the laminate and its entire construction, including any top coats, varnishes, applications, sandwich components, etc. also have a decisive influence on fire behaviour. Always remember that individual component tests are mandatory for most applications.</p> <p><b>Attention!</b> BÜFA®-Injection-Resin-LEO-R - 6500 is an experimental product the composition and specifications of which may change at any time without prior notice. If you have any questions in this conjunction, please get in touch with our Technical Service Department.</p>
<b>Fire protection properties</b>	<p>Results of orientation tests:</p> <p>Construction of test laminate: 1000 µm BÜFA®-Protection-Layer-LEO-R - 6500 2 layers SAERTEX Reinforcement LEO-R Bidiagonal Glass Fabric S32EX010-01211-01270-250000 [50 % by volume] BÜFA®-Injection-Resin-LEO-R - 6500</p> <p>NFF 16-101: M1 / F1 TS EN 45545: HL 3 UNE 23721: M1 / F1 DIN 5510: S4 / ST2 / SR2 + Tox. according to ISO 5659 NFPA 130: passed BS 476: Class 1</p>
<b>Storage/Handling</b>	This product must be stored cool in closed containers, protected from sunlight. Shelf-life is at least 3 months in unopened, original containers stored up to a temperature of 20 °C. Gel and curing times may change with increasing duration of storage.
<b>Former product name</b>	FRCS-X5 Injection Resin



Gelcoat Plus

# **BÜFA®- INJECTION-RESIN-LEO-R - 6500**

**FR-VE Fire Protection Injection Resin**

Prod. No. 716-6500

Note: The Information given above is based on our current state of knowledge and experience. In view of the many factors that may influence working conditions and the application of our products, the user is not relieved from carrying out his own tests and experiments. No legally binding warranty of certain properties or suitability for a particular purpose can be derived from this information. It is the responsibility of the receiver or user of our products to observe proprietary rights as well as existing laws and regulations. The latest version of the corresponding EU Safety Data Sheet must also be observed.

BÜFA Gelcoat Plus GmbH & Co. KG  
Hohe Loohe 2-8  
26180 Rastede  
GERMANY  
Phone +49 4402 975-0  
Fax +49 4402 975-300  
gelcoatplus@buefa.de  
www.buefa.de  
www.buefagelcoatplus.com

A member of the BÜFA-Group

# TEST REPORT – BÜFA GELCOAT PLUS GMBH – PŘÍLOHA 9

Exova Brandhaus  
Industriepark Höchst, C369  
Frankfurt am Main  
D-65926  
Germany

T : +49 (0) 69 305 3476  
F : +49 (0) 69 305 17071  
E : brandhaus@exova.com  
W: www.exova.com



Testing. Advising. Assuring.

## Test report no. 2011-1169 issued 25.02.2011

<b>Applicant:</b>	BÜFA Gelcoat Plus GmbH & Co. KG Hohe Looge 2-8 26180 Rastede	SAERTEX GmbH & Co. KG Brochtenbecker Damm 52 D-48369 Saerbeck
-------------------	---	---

<b>Date of order:</b>	04.02.2011
<b>Date of sampling:</b>	No official taking out of the samples from a representative of the Exova Brandhaus
<b>Date of delivery:</b>	04.02.2011
<b>Date of tests:</b>	14. + 15.02.2011

### Order

1. Testing the flame spread of building products in vertical configuration according to ISO 5658-2
2. Testing the heat release-, smoke production- and mass loss rate of a material according to DIN ISO 5660 (Cone-Calorimeter).
3. Testing the smoke density and toxicity of a material in the test chamber according to EN ISO 5659-2 (NBS-Box)
4. Classification according to new railway standard CEN/TS 45545-2 - 2009

### Description / designation of the test object

GFK-laminat

### Description of the relevant test procedure

ISO 5658-2 - 2006

ISO 5660-1 - 2002

EN ISO 5659-2 - 2007

CEN/TS 45545-2 - 2009

## 1. Description of the test material

### 1.1 Details of the customer:

GFK-laminat

Aufbau:                   - BÜFA PROTECTION LAYER-LEO-R 6500 [714-6500]  
                              - SAERTEX REINFORCEMENT-LEO-R - Bidiagonal Glass Fabric –  
                              [S32EX010-01211-01270-250000] - 2 layer  
                              - BÜFA INJECTION RESIN-LEO-R 6500 [716-6500]

### 1.2 By the specimen preparation in Exova Brandhaus determined values:

GFK-laminat one side coated

Colour:                    beige  
Thickness:                3 mm (average)  
Weight:                   4,8 kg/m<sup>2</sup> (average)  
Test arrangement:       Coated surface to the radiator

Testing after climatic storage at 23°C and 50 % humidity for at least 48 hours.



## 2. Test results

### 2.1.1 Test paper according to ISO 5658-2 – 2006:

Specimen no.		1	2	3	4	5
<b>Test results:</b>						
Ignition after	[s]	5	5	5		
Reaching the 50 mm station after	[s]	10	10	10		
the 100 mm station after	[s]	55	55	50		
the 150 mm station after	[s]	65	65	65		
the 200 mm station after	[s]	-	-	75		
the 250 mm station after	[s]	-	-	-		
the 300 mm station after	[s]	-	-	-		
the 350 mm station after	[s]	-	-	-		
the 400 mm station after	[s]	-	-	-		
the 450 mm station after	[s]	-	-	-		
the 500 mm station after	[s]	-	-	-		
the 550 mm station after	[s]	-	-	-		
the 600 mm station after	[s]	-	-	-		
the 650 mm station after	[s]	-	-	-		
the 700 mm station after	[s]	-	-	-		
the 750 mm station after	[s]	-	-	-		
Flames extinguish after	[s]	.*	.*	.*		
Final spread of flame up to	[mm]	150	180	200		
Total duration of the test	[s]	1200	1200	1200		
Specimen drips off / pieces fall off	No burning after	[s]	-	-	-	
	Burning after	[s]	-	-	-	
Smoke generation after	[s]	5	5	5		
Charring / discolouring / melting after	[s]	5	5	5		
Charring / discolouring / melting up to	[mm]	500	450	450		
<b>Further remarks:</b>		* = specimen extinguished after end of test.				
:						

**2.1.2 Determined burning characteristic:**

specimen no..	Q <sub>sb</sub> MJ/m <sup>2</sup>	CFE kW/m <sup>2</sup>
1	3,06	47,1
2	3,06	45,0
3	3,15	43,1
4		
5		
<b>average</b>	<b>3,07</b>	<b>45,1</b>

n.d. = not determinable because 150 mm mark not reached.

**Q<sub>sb</sub>** = Heat for sustained burning

**CFE** = Critical flux at extinguishment

Appearance of the specimen after the tests:



## 2.2.1 Test results

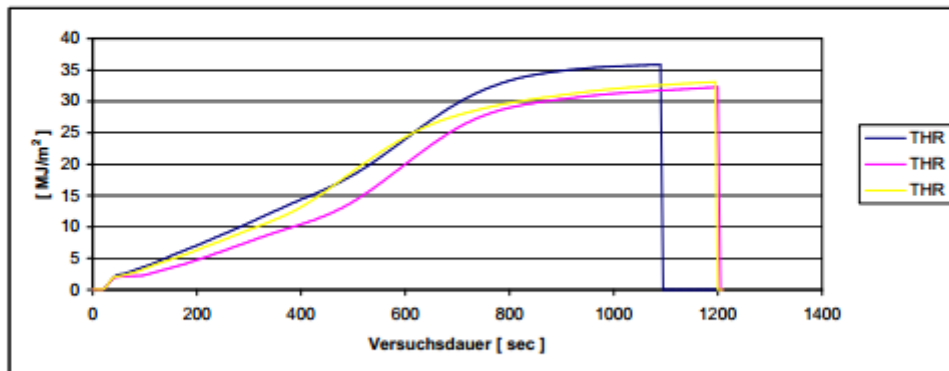
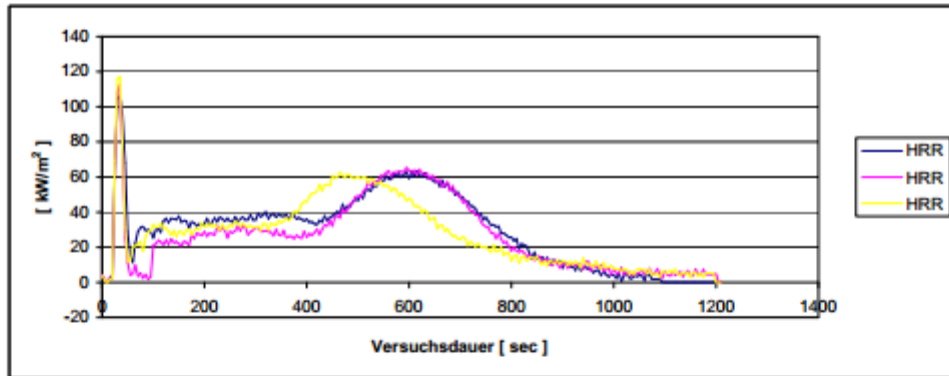
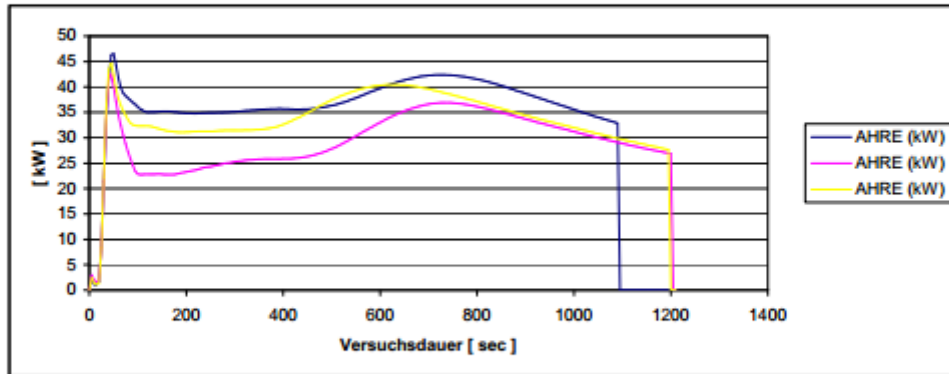
**Test results Cone-Calorimeter according to ISO 5660**

Clima storage (23°C/50%r.F.): >24h  
 Nominal heat flux [KW/m<sup>2</sup>]: 50  
 Heat flux calibration constant C: 0,04  
 Testroom temperature / -humidity: 21°C / 40% rel. LF

Single test results of 3 tests:

		Specimen 1	Specimen 2	Specimen 3	Average
Time to ignition	[s]	26	30	25	27
Mass of specimen	[g]	50,90	46,80	46,50	48,07
Mass loss rate	[g/m <sup>2</sup> s]	2,43	2,14	1,94	2,17
Mass loss	[g]	18,72	16,33	16,00	17,02
Marhe after start	[KW/m <sup>2</sup> ]	46,52	42,51	44,71	44,58
Heat release rate (180 s)	[KW/m <sup>2</sup> ]	37,67	22,85	33,58	31,37
Heat release rate (300 s)	[KW/m <sup>2</sup> ]	36,93	25,24	32,98	31,72
Heat release rate (top)	[KW/m <sup>2</sup> ]	106,58	112,47	117,09	112,05
Effective heat of combustion	[MJ/Kg]	16,83	17,19	18,18	17,40
Total heat release THR	THR	35,85	32,28	33,11	33,75
Specific extinction area	[m <sup>2</sup> /Kg]	547,50	541,55	566,01	551,69
Carbon monoxid	[g/g]	0,06	0,07	0,09	0,07
Carbon dioxid	[g/g]	1,52	1,47	1,51	1,50
Total smoke production	TSP	1172,87	1016,69	1037,93	1075,83
End of test	[s]	1210	1320	1315	1281,67

2.2.2 Diagrams:



**2.3.1 Test results NBS-Box according to ISO 5659**

Clima storage (23°C/50%r.F.): >24h  
 Testmodus: 50 KW/m<sup>2</sup>  
**Test duration:** 1200 s  
**Testroom temperature/humidity:** 21°C / 40% rel. LF

Single test results of 3 tests:

		Specimen 1	Specimen 2	Specimen 3	Average
Initial mass	[g]	27,5	29,2	28,8	28,5
Final mass	[g]	20,6	22,1	21,2	21,3
Mass loss	[g]	6,9	7,1	7,6	7,2
Mass loss	[%]	25,1	24,3	26,4	25,27
Max. spec. opt. density up to 4 minutes	DS	120,19	132,16	143,53	131,96
Max. spec. opt. density	DS	429,39	435,58	529,53	464,83
Time to max. opt. density	[s]	951	850	748	849,67
Valeur obscurcissement fumée	VOF4 [min]	195,98	211,94	219,84	209,25
Conventional Index of Toxicity	(CIT) 4 min	0,0615	0,0647	0,0648	0,0637
Conventional Index of Toxicity	(CIT) 8 min	0,1881	0,2028	0,1889	0,1933
Time to ignition	[s]	-	-	-	
Time to extinguishing	[s]	-	-	-	

Remarks: none.

**2.3.2 Measurement of the smoke density:**

specimen	weight [ g ]	ignition [ s ]	extinguish [ s ]
1	27,5	-	-
2	29,2	-	-
3	28,8	-	-

	DS specimen	DS specimen	DS specimen
minutes	1	2	3
1	10	9	8
2	45	48	51
3	81	89	89
4	120	132	144
5	170	184	206
6	216	235	266
7	255	279	331
8	291	315	385
9	325	347	434
10	355	372	473
11	379	397	508
12	394	427	524
13	416	430	511
14	423	432	515
15	427	432	513
16	429	429	508
17	423	426	504
18	417	420	504
19	406	413	504
20	385	406	504
<b>DS max 4 minutes</b>	120	132	144
<b>VOF4</b>	196	212	220

## 2.3.3 Measurement of the toxicity:

<b>Analytic procedure:</b>	Measurement of the toxicity with FTIR at 50 kW/m <sup>2</sup> , flaming			
	Temperature sample extraction point: <40 °C			
<b>Clima (23°C/50%r.F.):</b>	>48	h	Testroom temperature / humidity	23 °C 50 %

Specimen no.	gas	conc. after 4 min ppm	conc. after 8 min ppm
1	Carbon	1679	2609
2	Dioxid	1940	2939
3	CO <sub>2</sub>	1593	2729
	<b>average</b>	1737	2759
1	Carbon	110	364
2	Monoxide	127	420
3	CO	115	382
	<b>average</b>	117	389
1	Hydrogen	0	0
2	Fluoride	0	0
3	HF	0	0
	<b>average</b>	0	0
1	Hydrogen	0	0
2	Chloride	0	0
3	HCl	0	0
	<b>average</b>	0	0
1	Hydrogen	32	82
2	Cyanide	33	90
3	HCN	34	93
	<b>average</b>	33	88
1	Nitrous Gases	0	0
2	NO-NO <sub>2</sub>	0	0
3		0	0
	<b>average</b>	0	0
1	Suflor Dioxide	0	0
2	Hydrogen Sulfide	0	0
3	SO <sub>2</sub> -H <sub>2</sub> S	0	0
	<b>average</b>	0	0
1		0	0
2		0	0
3	HBR	0	0
	<b>average</b>	0	0

### Assessment

The in chapter 1 described material fulfills after the tests the requirements of the class HL 3 according to CEN TS 45545-2\_2009 for R1 - material.

Table 7 – Set of material requirements, R1

Test method reference	Parameter Unit	Requirement Definition	HL 1	HL 2	HL 3
T02 ISO 5658-2	CFE KW/m <sup>2</sup>	Minimum	20	20	20
T03.01 ISO 5660-1: 50 KW/m <sup>2</sup>	Marhe KW/m <sup>2</sup>	Maximum	-	90	60
T10.01 EN ISO 5659-2: 50 kW/m <sup>2</sup>	D <sub>s</sub> (4) dimensionless	Maximum	600	300	150
T10.02 EN ISO 5659-2: 50 kW/m <sup>2</sup>	VOF4 min	Maximum	1200	600	300
T11.01 EN ISO 5659-2: 50 kW/m <sup>2</sup>	CIT <sub>G</sub> dimensionless	Maximum	1,2	0,9	0,75

### Special comment

The fire test result is valid for the in section 1 described material.

In the composition with other materials (for example coatings, deposits) the burning behaviour could be influenced unfavourable so that the classification above is not valid any longer.

The burning behaviour in composition with other materials has to be tested separately.

Frankfurt, the 25.02.2011



P. Scheinkönig  
Tester in charge



Dipl.-Ing. H. Bräuer  
Head of the test laboratory

The results of the tests relate only to the behaviour of the test specimen which is designated on the top.  
 Test reports are only allowed to be published or reproduced, not changed in form and tenor without permission of the Exova Brandhaus.  
 The abridged account of a test report is only allowed with the agreement of the Exova Brandhaus.  
 This test report is a translation of the German version 2011-1169 (issued 25.02.2011). In case of doubt only the German version is valid  
 This test report contains 10 pages