FST vlastnosti polyesterových a epoxidových gelcoatů

Bc. Milan Koutný

Diplomová práce
2012

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická
Ústav výrobního inženýrství
akademický rok: 2011/2012

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení:	**Bc. Milan KOUTNÝ**
Osobní číslo:	**T10745**
Studijní program:	**N 3909 Procesní inženýrství**
Studijní obor:	**Řízení jakosti**
Téma práce:	**FST vlastnosti polyesterových a epoxidových gelcoatu**

Zásady pro vypracování:

1. **Kompozitní materiály, základní složky, použití.**
2. **Význam gelcoatove vrstvy. Polyesterové a epoxidové pryskyřice.**
3. **Problematika hoření polymerních kompozitu.**
4. **Přehled způsobu stanovení hořlavosti.**
5. **Přehled retardéru hoření.**
6. **Stanovení hořlavosti vybraných systému dle vybrané normy.**
7. **Vyhodnocení výsledků a závěr.**

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

[1] Jančář, J.: Úvod do materiálového inženýrství kompozitu, Brno, 1999.
[2] Kořínek, Z.: Kompozity. dostupné na: www.volny.cz/korinek
[3] Ehrenstein, G. W.: Polymérni kompozitní materiály. Scientia Praha, 2009
[4] Bareš, R. A.: Kopmpozitní materiály. SNTL Praha, 1988.
[5] Reinhart, T. J.: Engineered materials handbook. Composites. Vol. 1., ASM INTERNATIONAL, 1987.
Další literatura dle doporučení vedoucího práce

Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Soňa Rusnáková, Ph.D.**
Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání diplomové práce: **13. února 2012**

Termín odevzdání diplomové práce: **18. května 2012**

Ve Zlíně dne 2. února 2012

doc. Ing. Roman Čermák, Ph.D.
děkan

UNIVERZITA TOMÁŠE BATI VE ZLÍNĚ
Fakulta technologická
L.S.

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

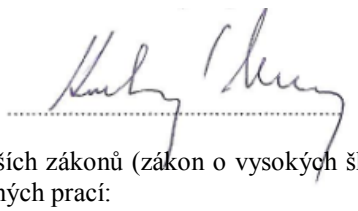
Příjmení a jméno: Bc. Koutný Milan Obor: Řízení jakosti

P R O H L Á Š E N Í

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby [1)];
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen na příslušném ústavu Fakulty technologické UTB ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3 [2)];
- beru na vědomí, že podle § 60 [3)] odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 [3)] odst. 2 a 3 mohu užít své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Ve Zlíně 17. 5. 2012



[1)] zákon č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, § 47 Zveřejňování závěrečných prací:
(1) Vysoká škola nevýdělečně zveřejňuje disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce, u kterých proběhla obhajoba, včetně posudků oponentů a výsledku obhajoby prostřednictvím databáze kvalifikačních prací, kterou spravuje. Způsob zveřejnění stanoví vnitřní předpis vysoké školy.

(2) Disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce odevzdané uchazečem k obhajobě musí být též nejméně pět pracovních dnů před konáním obhajoby zveřejněny k nahlížení veřejnosti v místě určeném vnitřním předpisem vysoké školy nebo není-li tak určeno, v místě pracoviště vysoké školy, kde se má konat obhajoba práce. Každý si může ze zveřejněné práce pořizovat na své náklady výpisy, opisy nebo rozmnoženiny.
(3) Platí, že odevzdáním práce autor souhlasí se zveřejněním své práce podle tohoto zákona, bez ohledu na výsledek obhajoby.
[2)] zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 35 odst. 3:
(3) Do práva autorského také nezasahuje škola nebo školské či vzdělávací zařízení, užije-li nikoli za účelem přímého nebo nepřímého hospodářského nebo obchodního prospěchu k výuce nebo k vlastní potřebě dílo vytvořené žákem nebo studentem ke splnění školních nebo studijních povinností vyplývajících z jeho právního vztahu ke škole nebo školskému či vzdělávacího zařízení (školní dílo).
[3)] zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 60 Školní dílo:
(1) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení mají za obvyklých podmínek právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla (§ 35 odst. 3). Odpírá-li autor takového díla udělit svolení bez vážného důvodu, mohou se tyto osoby domáhat nahrazení chybějícího projevu jeho vůle u soudu. Ustanovení § 35 odst. 3 zůstává nedotčeno.
(2) Není-li sjednáno jinak, může autor školního díla své dílo užít či poskytnout jinému licenci, není-li to v rozporu s oprávněnými zájmy školy nebo školského či vzdělávacího zařízení.
(3) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení jsou oprávněny požadovat, aby jim autor školního díla z výdělku jím dosaženého v souvislosti s užitím díla či poskytnutím licence podle odstavce 2 přiměřeně přispěl na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložily, a to podle okolností až do jejich skutečné výše; přitom se přihlédne k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

ABSTRAKT

Diplomové práce se zabývá studiem gelcoatové vrstvy kompozitních materiálu. Na kompozitní materiály se kladou zvýšené požadavky na bezpečnost těchto materiálu s důrazem na FST (fire, smoke, toxicity) vlastnosti.

Uvedené požadavky jsou kromě pryskyřice kladené i na gelcoatovou vrstvu. V experimentální části sledujeme vliv použitého gelcoatu (předem zvoleného s ohledem samozhášivé aplikace dle materiálových listů) v kombinaci dvou typů pryskyřic a stejnou skladbou vyztužujícího materiálu. Experimentálně testování se zaměřilo na kyslíkové číslo, tak na zkoušku požární odolnosti a na stanovení tahových a ohybových vlastností dle norem ČSN ISO 527 4, ČSN ISO 178.

Klíčová slova: kompozitní materiál, gelcoat, hoření, retardér

ABSTRACT

The theses studies the gelcoat layer of composite material. The composite materials are placed increased demands on the safety of these materials with an emphasis on FST (fire, smoke, toxicity) properties.

These requirements are imposed in addition to the resin gel layer. In the experimental part we follow the influence of gelcoat used (pre-selected with regard to self-extinguishing material according to the application sheet) in combination of two types of resins and the same reinforced material. Experimental testing has focused on the number of oxygen index and the fire resistance test and to determine the tensile and flexural properties according to standards ISO 527 4, ISO 178.

Keywords: composite material, gelcoat, burning, retarder

Touto formou bych chtěl poděkovat:

doc. Ing. Soně Rusnákové Ph.D. vedoucí práce, Prof. Ing. Ivanovi Letkovi CSc., doc. Ing. Zdeňkovi Dvořákovi CSc., Ing. Františkovi Volkovi CSc., a Ing. Milanu Žaludkovi Ph.D. za cenné rady a zkušenosti při tvoření diplomové práce.

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

.

OBSAH

ÚVOD **10**
I TEORETICKÁ ČÁST **11**
1 NENASYCENÉ POLYESTEROVÉ PRYSKYŘICE **12**
1.1 MATRICE – POJIVO 15
1.1.1 Epoxidové pryskyřice 16
1.1.2 Pryskyřice glycidového typu 18
1.1.3 Vinylesterové pryskyřice 18
1.1.4 Fenolické pryskyřice 19
2 KOMPOZITNÍ MATERIÁLY – VLASTNOSTI **21**
2.1 POŽADAVKY NA KOMPOZITNÍ MATERIÁLY V DOPRAVNÍM PRŮMYSLU 21
2.2 HOŘENÍ 22
2.3 RETARDÉRY HOŘENÍ 23
2.3.1 Zpomalovač hoření 23
2.3.2 Jak zpomalovače fungují 23
2.3.3 Chemické zpomalování 24
2.4 METODY ZKOUŠENÍ HOŘLAVOSTI 27
2.5 VISKOZITA 30
3 GELACE **33**
II PRAKTICKÁ ČÁST **35**
4 CÍL PRÁCE **36**
4.1 ZKOUŠKA POŽÁRNÍ ODOLNOSTI 36
4.1.1 Všeobecně 36
4.1.2 Údaje o zkoušeném materiálu 37
4.1.3 POŽADAVKY NA PROVEDENÍ A VYHODNOCENÍ ZKOUŠKY 38
4.2 MĚŘENÉ VELIČINY A POUŽITÉ PŘÍSTROJE 39
4.3 POUŽITÉ PŘISTROJE A POMŮCKY 39
4.4 POSUZOVANÉ VELIČINY 40
4.5 KATEGORIE ZAŘAZENÍ MATERIÁLU 40
4.6 POPIS ZKUŠEBNÍ METODY 41
4.7 ÚDAJE A VÝSLEDKY PROVEDENÝCH ZKOUŠEK 41
5 TESTOVÁNÍ VYROBENÝCH VZORKŮ **42**
5.1 POUŽITÉ MĚŘICÍ PŘÍSTROJE 42
5.2 MĚŘENÍ POŠKOZENÉ PLOCHY ZKUŠEBNÍHO VZORKU 52
5.3 ZKOUŠKA V OHYBU 53
5.4 ZKOUŠKA V TAHU 61
5.5 VYHODNOCENÍ VZORKŮ DLE LOI 68
5.6 DISKUZE VÝSLEDKŮ 70
ZÁVĚR **72**
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY **73**
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK **74**
SEZNAM OBRÁZKŮ **76**

SEZNAM TABULEK **78**
SEZNAM PŘÍLOH **79**

ÚVOD

Z historického hlediska se jeví polymerní materiály jako revoluční materiál. Ze začátku jejich výroby se nekladl velký důraz bezpečnost jejich použití. S odstupem času se různými zkouškami přišlo na to, že ne všechny polymerní materiály jsou k lidem a lidskému tělu bezpečné. Proto vědci hledali různé přísady a mnohdy i jiné materiály, aby těmto negativním vlivům zabránili. V současné době se polymerní materiály, a to hlavně kompozitní materiály na bázi různých pryskyřic a vyztužujících materiálů, používají v dopravním průmyslu. Jejich hlavní výhodou je jejich hmotnost, nižší náklady na výrobu a samotná výroba. Jenže u těchto kompozitních materiálů musí být zabezpečeno velké množství bezpečnostních kritérií. Mezi ně patří i hořlavost, která musí být téměř ve všech konstrukčních aplikací minimální.

V průmyslu kolejových vozidel se klade velký důraz na zvyšování bezpečnosti provozu. Jedním z ovlivňujících faktorů jsou i požárně bezpečnostní charakteristiky materiálů, ze kterých jsou vyrobeny dílce, z nichž je dané vozidlo zkonstruováno. Na výrobce těchto dílců jsou tak kladeny stupňující se nároky, jež se promítají jednak do výběru vhodných vstupních surovin a jednak do používaných výrobních technologií. Zvýšené požadavky na materiálové vlastnosti, jako např. nehořlavost, samozhášivost, dýmivost, toxicita apod. se pochopitelně objevují i v závazných technických normách.

Hoření tuhých látek je poměrně komplikovaný a dosud ne plně objasněný proces a u polymerů je ještě komplikován jejich makromolekulární strukturou. Snížení hořlavosti pryskyřic se dosahuje jednak snížením obsahu organické fáze ve výsledném materiálu, což je v kompozitech dosaženo přídavkem výztuže a anorganických plniv a jednak aplikací organických a anorganických retardérů hoření. Tyto retardéry většinou zvyšují zápalnou teplotu materiálu a prodlužují dobu, po kterou musí plamen na materiál působit ,aby došlo k jeho vznícení. Cílem mé DP bylo, odzkoušet šest různých druhů geltcoatů, jak po stránce hořlavosti, jejich mechanické vlastnosti a vyhodnotit nejvhodnější vzorek pro výrobu dílů pro kolejový průmysl.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 NENASYCENÉ POLYESTEROVÉ PRYSKYŘICE

Tyto reaktivní pryskyřice jsou bezbarvé, až slabě nažloutlé roztoky v reaktivních rozpouštědlech, které je možno vytvrzovat za normální nebo zvýšené teploty, aniž by vznikaly těkavé vedlejší produkty. Při vytvrzování se uvolňuje reakční teplo a dochází k objemovému smrštění o 5 až 9 %. Vysokoviskózní pryskyřice se rozpouštějí ve styrenu, který současně působí při vytvrzování jako kopolymerační monomer. Vytvrzují se radikálovým mechanismem. Vzhledem k nízké viskozitě, dobrému smáčení vláken, vysoké (resp. pružně regulovatelné) rychlosti vytvrzování a přiměřeně nízké ceně jsou UP-R v mnoha případech nejčastěji používaným materiálem pro kompozitní aplikace.[1]

UP-R (ČSN EN ISO 3672-1,2) jsou známy již od roku 1936 v kompozitech se uplatňují nejvíce. Přes 70 % výroby těchto pryskyřic je zpracováno ve formě kompozitů.

Existuje mnoho typů polyesterových pryskyřic s nejrůznějšími vlastnostmi, které se liší druhem základní molekuly. Nenasycené polyesterové pryskyřice se vyrábějí reakcí dikarbonových kyselin (např. orto-, izo- nebo tereftalové, fumarové, maleinové kyseliny) s glykoly (např. 1,2-propylenglykol, neopentylglykol). Kromě kyseliny maleinové, resp. jejího anhydridu, se používají nejčastěji (vzhledem k nízké ceně) anhydrity kyseliny ftalové. Použití kyseliny ortoftalové zlepšuje zpracovatelské vlastnosti a zvyšuje chemickou odolnost, kyselina terahydroftalová zvyšuje houževnatost a tepelnou odolnost, kyseliny izoftalová a tereftalová jsou základem pro velmi kvalitní kompozity odolné proti hydrolýze. levnou surovinou je i dicyklopentadien (DCPD), který spolu s nenasycenými kyselinami a glykoly tvoří produkt používaný pro povrchy s nízkým prorážením struktury výztuže, který se např. používá při stavbě lodí.[1]

Důležitou úlohu ve stavbě makromolekuly hraje délka polyesterového řetězce, obsah dvojných vazeb a další detaily stavby molekuly, např. flexibilní prvky. Nenasycená polyesterová pryskyřice je tím reaktivnější, čím vyšší je obsah polymerizovatelných dvojných vazeb ve výchozích surovinách. Se stoupající reaktivitou se zvyšuje hustota sítě kopolymeru, zvětšuje se množství uvolněného reakčního tepla a smrštění polymeru. Takové vysoce reaktivní pryskyřice mají vysokou teplotu skelného přechodu a dobrou tuhost. Vzhledem k vysokému počtu síťovacích míst potřebují vytvrzovat nebo dotvrzovat při vysoké teplotě, kdy je dosaženo dostatečně vysokého stupně volnosti molekuly. Kromě toho lze hustotu sítě řídit i stupněm vytvrzení. [1]

Lisovací hmoty z nenasycených polyesterových pryskyřic je nutno zcela vytvrdit, a zamezit tak možným změnám při jejich aplikaci (dodatečné smrštění, nasákavost, snížená chemická odolnost). Vytvrzování většiny těchto hmot je při pokojově teplotě silně zpomaleno působením vzdušného kyslíku, nezakryté plochy zůstávají lepivé.

Viskozita pryskyřice je z větší části závislá na obsahu styrenu, který se pohybuje v rozsahu 30 až 50 %. Aby byla pryskyřice snadněji zpracovatelná a lépe prosycovala vlákna, může zpracovatel snížit viskozitu směsi pryskyřice zvýšením obsahu styrenu v určitých hranicích (vyšší obsah styrenu však působí zkřehnutí).

Výběrem výchozích materiálů a pomocí různých přísad lze u nenasycených polyesterových pryskyřic měnit zpracovatelnost i vlastnosti vyrobených lisovacích hmot ve velkém rozsahu. Přísady se často používají jako objemové plnivo i jako zlevňující materiál. Zvyšují mj. viskozitu, a ovlivňují tak zatékavost a zpracovatelnost. Mezi důležitá plniva patří křída, kaolin a hydroxid hlinitý (ten v přídavku 1:1 snižuje především hořlavost). přísady snižují smrštění (zvýšená rozměrová stálost při zpracování) a součinitel tepelné délkové roztažnosti (zvýšená rozměrová stálost při používání). [1]

Tab. 1 Ovlivnění vlastností nenasycených polyesterových pryskyřic modifikací [1]

Vlastnosti pryskyřice		**Dosažitelná změnou skladby**	**Dosažitelná pomocí přísad**
Důležitá pro zpracování	Nízkoviskozní	Nízkomolekulární pryskyřice	Přídavek styrenu
	Tixotropní	Nevhodné	Vysokodisperzní kyselina křemičitá
	Se sníženou emisí	Nevhodné	Parafin
	Rychle tvrdnoucí, resp. krátká zpracovatelnost	Nevhodné	Urychlovač
	Dlouhá zpracovatelnost	Nevhodné	Inhibitory
	UV-vytvrzovaná	Fotoreaktivní funkční skupiny	Fotoiniciátory
Důležitá pro tepelně mechanické vlastnosti	Tvarově stálá za vysoké teploty	Vysoce reaktivní vysokomolekulární pryskyřice, např. na bázi kyseliny izoftalové a na bázi neopentylglykolu	Nevhodné
	Flexibilní	Nízkoreaktivní pryskyřice kyseliny adipové a trietylenglykolu	
	Chemicky odolná	Vysoce reaktivní pryskyřice, např. na bázi kyseliny izoftalové, neopentylglykolu a cyklických diolů	
Důležitá pro dlouhodobé chování	Světlostálá	Nevhodné	UV absorbér
	Nehořlavá	Nevhodné	Hydroxid hlinitý, chlorparafin

Tab. 2 Vlastnosti a použití různých nenas. polyesterových pryskyřic [1]

Vlastnosti / Základní složky	η (mPa.s)	*HDT/Tg* (°C)	σ_{Pt} (N.mm-2)	*E* (N.mm^{-2})	δ (%)	Použití
Kyselina ortoftalová, standardní glykoly	540 až 610	63/93	70	4300	2,0	Nízko- až středně reaktivní, použitelná pro méně namáhané konstrukční prvky; stavba lodí
	700 až 900	90/122	85	4400	2,4	Středně až vysoce reaktivní, sklon k vzniku trhlin; nádrže, potrubí, výlisky
	240 až 290	108/130	80	3470	4,2	Vysoce reaktivní, nízkoviskozní, dobré prosycování při ruční laminaci a injektování, lze hodně plnit
Dicyklopentadien	450 až 1000	70/-	66	3500	3,0	Dobré zesíťování, nízké proražení výztuže; především pro stavbu lodí
Kyselina tereftalová	540 až 610	125/-	60	3350	2,1	Vysoká tepelná odolnost; pro laminátové nádrže, potrubí (hlavně na uhlovodíky)
Kyselina maleinová, standardní glykoly	1150 až 1400	145/-	55	3400	1,7	Základní pryskyřice pro lisovací hmoty (SMC) s malým smrštěním (třída A)
Kyselina izoftalová, standardní glykoly	3000 až 3600	130/150	60	3700	1,8	Vysokoviskozní pryskyřice pro lisovací hmoty (SMC/BMC), dobrá odolnost proti hydrolýze

Nenasycené polyesterové pryskyřice vykazují při zpracování vysoké objemové smrštění 6 až 9 %, k němuž dochází společným působením chemické reakce a tepelného ochlazení. Pod vlivem mnoha dvojných vazeb, které se vyskytují v molekule polyesteru, přichází pryskyřice do stavu gelu již v době, kdy ještě není mnoho vazeb spojeno, zatímco několik málo síťovacích míst výrazně snižuje pohyblivost řetězců. Již při poměrně nízkém stupni vytvrzení není pryskyřice schopna téci, a proto není zpracovatelná. Tím a skutečností, že smrštění po zgelovatění může být vyrovnáno dodatečným přítokem materiálu, vznikají často problémy s tvarovou stálostí – je to závažný problém, zejména při práci s uzavřenými formami.

Přídavkem plniv, vyztužujících vláken a speciálních aditiv lze smrštění snížit u standardních lisovacích hmot na 0,15 až 0,3 %. Pro velmi kvalitní aplikace SMC se proto používají speciální pryskyřičné systémy se sníženým smrštěním, rozlišují se aditiva s nízkým délkovým smrštěním (low-shrink-LS) a nízkým objemovým smrštěním (low-

profile-LP). Smrštění při zpracování se tím sníží na 0,06 až 0,04 % (LP). Částice termoplastu, jemně rozptýlené v pryskyřici, se v průběhu vytvrzování nesmršťují, ale vytvářejí působením tepla dutiny, které smrštění vyrovnávají. [1]

1.1 Matrice – Pojivo

Kompozitní materiály

Definice: Kompozitní materiál, nebo zkráceně kompozit je obecně vzato materiál ze dvou, nebo více substancí s rozdílnými vlastnostmi, které dohromady dávají výslednému výrobku nové vlastnosti, které nemá sama o sobě žádná z jeho součástí. [6]

Základní složky kompozitních materiálů a jejich rozdělení [10, 11]:

Vlákno = výztuha

- přenáší především tahové namáhání
- určuje podélný směr
- ø cca 5 – 15 μm
- tvoří 40 – 60 % objemu kompozitu

Vlákna mohou být:

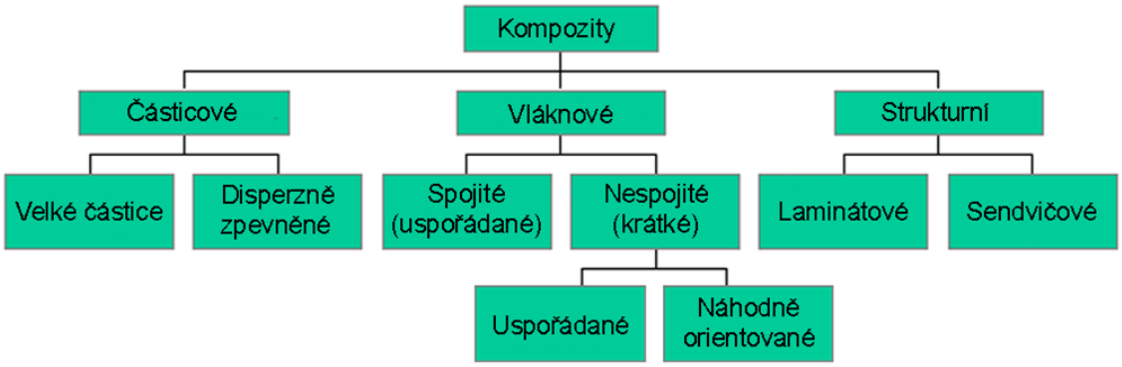
- skleněná
- uhlíková
- borová
- polymerní
- keramická (SiC, Al_2O_3, $Si3N_4$)
- přírodní (rostlinná, čedičová a asbestová)
- proteinová (vlákna pavouků)
- piezoelektrická

Matrice = pojivo

- přenáší především tlakové namáhání ve směru (směrech) kolmém na vlákna
- drží vlákna (popř. jednotlivé vrstvy) pohromadě
- rozkládá lokální namáhání do okolí

Matrice může být:

- polymerní
- kovová
- keramická
- skleněná, sklokeramická
- uhlíková



Obr. 1 Rozdělení kompozitních materiálů dle výztuže [3]

MMC – kovová matrice (Metal Matrix Composites)

CCM – keramická matrice (Ceramic Matrix Composites)

PCM – polymerní matrice (Polymer Matrix Composites) [9]

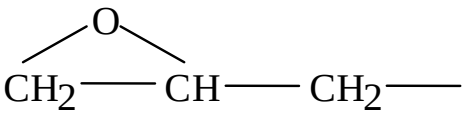
1.1.1 Epoxidové pryskyřice

Pod pojmem epoxidové pryskyřice rozumíme sloučeniny, které obsahují v molekule epoxidovou skupinu. Tato skupina je velmi reaktivní (energeticky bohatý epoxidový kruh se ochotně otevírá) a na její reaktivitě s velkým počtem látek, vedoucím k zesíťovaným makromolekulárním produktům, spočívají aplikace těchto pryskyřic jako lepidel, zalévacích a lisovacích hmot, pojiv pro lamináty a lakařských pryskyřic. Při vytvrzování se neodštěpují vedlejší produkty a v důsledku incidence mezi polymeračním smrštěním o otevřením epoxidového kruhu dochází jen k malému celkovému polymeračnímu smrštění (okolo 2%). Tato vlastnost je velmi výhodná pro výrobky s požadovanou na přesné rozměry (malá tolerance) a pro výrobu kompozitů, kde je v důsledku minimálního smrštění minimalizováno vnitřní pnutí i ve velkých dílcích. Epoxidová pryskyřice má

nejlepší přilnavost k povrchově neupravené skleněné výztuži v porovnání s již zmíněnými UP a VE pryskyřicemi. Vytvrzené epoxidové pryskyřice také vykazují nejlepší mechanické a především elektrické vlastnosti. Mají dobré elektroizolační vlastnosti v široké oblasti teplot, cenná je i jejich značná odolnost proti vodě, roztokům alkálií, kyselin a některým rozpouštědlům. [10]

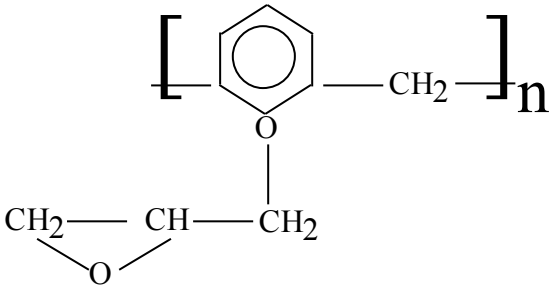
Typy epoxidových pryskyřic

Epoxidové pryskyřice lze v zásadě rozdělit na 2 skupiny. Typy obsahující glycidylové (2,3-epoxipropylové) skupiny:



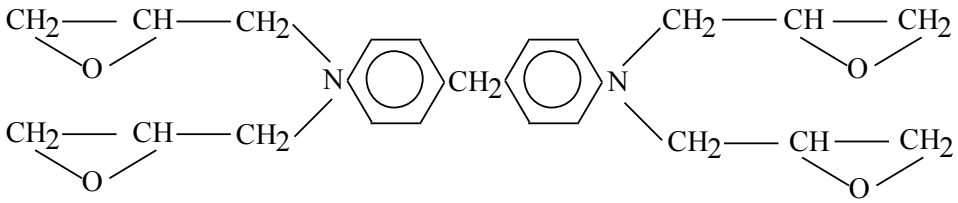
(1)

připravené reakcí epichlorhydrinu s vhodnými surovinami. Mezi tuto skupinu patří také novolaky.



(2)

A také velice speciální pryskyřice glycidylaminové, jejímž představitelem může být N,N,N′,N′-tetraglycidyl-4,4′-diaminodifenylmethan (TGDDM):



(3)

což je matrice pro špičkové kompozity používaných v letectví.

Typy obsahující epoxidové skupiny vzniklé oxidací nenasycených sloučenin (např. se jako oxidační činidlo používají organické peroxidy) tvoří další skupinu epoxidů. Tyto sloučeniny nalézají převážně speciální použití.

1.1.2 Pryskyřice glycidového typu

Nejběžnějším typem epoxidových pryskyřic (EP) jsou produkty alkalické kondenzace epichlorhydrinu s 2,2-bis(4-hydroxyfenyl) propanem, zvaným krátce dian nebo bisfenol A. Tento typ epoxidů představuje 85% světové výroby všech epoxidů a je zavedena i v ČR (Spolek pro chemickou výrobu Ústí n/Labem, Spolchemie Pardubice). Při této kondenzaci probíhají 2 hlavní reakce: nejprve adice epoxidové skupiny epichlorhydrinu na fenolický hydroxyl, katalyzovaná přítomnou alkálií, potom proběhne odštěpení chlorovodíku ze vzniklých chlorhydrinetherů za současného vzniku epoxidových skupin. [6]

1.1.3 Vinylesterové pryskyřice

Samotný pojem „vinylesterová“ pryskyřice je mírně zavádějící. „Vinylester“ je v běžném názvosloví obecný název pro polymery s esterovou skupinou vzniklou esterifikací monomerní organické kyseliny obsahující vinylovou -CH=CH2 skupinu (například kyseliny akrylové) s alkoholem. Polymerace potom probíhá na vinylové skupině tohoto esteru. Příkladem klasického polyvinylesteru je polyvinylacetát, který je lineární termoplast. Naproti tomu je pojem „vinylesterová“ pryskyřice, používaný především v anglosaské literatuře, pojmem určujícím velmi úzké spektrum chemických sloučenin vzniklých na bázi dianových epoxydů a kyseliny akrylové. Někdy se také objevuje název epoxydové vinylestery nebo vinylestery na epoxydové bázi. [6]

Vinylestery jsou termosetické pryskyřice, velmi vhodné pro výrobu kompozitů vyztužených skleněnými i uhlíkovými vlákny. Hodí se výborně pro náročné aplikace, zejména do agresivního chemického prostředí a pro kompozity vystavené velkému mechanickému namáhání. Ve většině aplikací nevyžadujících speciální elektrické vlastnosti a dlouhodobé použití při vysokých teplotách je možno pomocí VE nahradit dražší a mnohými technologiemi hůře zpracovatelné epoxidové pryskyřice, které vyžadují v důsledku neradikálového charakteru vytvrzovacích reakcí delší dobu vytvrzování a vyšší teploty, než je běžné u technologie tažení kompozitních profilů. Během řady let používání prokázaly sklem vyztužené vinylesterové roury, nádrže, podzemní zásobníky a další výrobky dobré dlouhodobé vlastnosti a vynikající trvanlivost v chemickém průmyslu, v těžbě a zpracování ropy nebo v průmyslu papírenském. Kompozity z vinylesterových pryskyřic se také osvědčily na lopatky větrných elektráren, v oboru letectví a dopravy a při konstrukcích sanitární techniky a domácích plaveckých bazénů. [10]

1.1.4 Fenolické pryskyřice

Fenolické pryskyřice jsou termosety s vysokou tvrdostí, modulem pružnosti a malou houževnatostí, které vznikají nejčastěji jako reakční produkt reakce fenolu s formaldehydem. Poprvé byly studovány Otto Bayerem kolem roku 1880 , použity jako základ některých lepidel. Později je studoval Dr. Leo Bakeland, který poprvé vyrobil fenolformaldehydovou pryskyřici komerčně (bakelit). Pro speciální aplikace se používá i substituovaných fenolů a vyšších aldehydů. Typickou strukturní jednotkou novolaku neboli tzv. dvoustupňové pryskyřice.

Název dvoustupňová pryskyřice je používán pro pryskyřice s molárním poměrem formaldehyd/fenol menším než 1 a za přítomnosti kyselého katalyzátoru. Dvoustupňová pryskyřice je termoplastická, protože nemá dost metylénových spojovacích vazeb pro síťování. Může být však vytvrzena použitím hexametyléntetraminu, který je produktem reakce amoniaku s formaldehydem a který se teplem rozpadá za vzniku metylénových -CH2- spojovacích vazeb, které pryskyřici vytvrdí. Při vytvrzování dochází k uvolňování amoniaku. Proto se tomuto typu pryskyřice říká dvoustupňový. Zhruba 90% celkové produkce fenolických pryskyřic je tohoto typu.

Pro resoly neboli jednostupňové pryskyřice je možno základní strukturní jednotku psát jako:

Jednostupňová pryskyřice je vyráběna reakcí formaldehydu s fenolem, přičemž molární poměr formaldehyd/fenol je větší než 1 a reakce je katalyzována alkalickým katalyzátorem. Při této reakci se jako produkt polykondenzace uvolňuje voda. Pro zvýšení hustoty sítě se někdy používá tzv. „dopečení“ za zvýšené teploty (cca 170-180 °C) po dobu 10-20 hodin, které je analogické dotvrzování epoxidů. [10]

Všeobecně je možno říci, že fenolické pryskyřice je možno skladovat bez ztráty vlastností a schopnosti síťovat po relativně dlouhou dobu ve srovnání s UP. Dvoustupňová pryskyřice může být skladována po dobu 1-3 roky, pokud skladovací teplota nepřesáhne 25°C a relativní vlhkost 50%. Jednostupňová pryskyřice polymeruje pomalu při této teplotě a je doporučováno, aby byla spotřebována do 3 měsíců. Pokud má být skladována déle, je třeba, aby byla skladována při teplotě pod 5°C. Běžné teploty zpracování fenolických pryskyřic leží podle typu metody v intervalu 150-210°C. [10]

Běžně se fenolické pryskyřice používají jako základ lepidel pro laminování dřeva a 64% celkové produkce fenolických pryskyřic je používáno při výrobě překližky a laminovaných

papírových panelů. Velké využití nachází tato pryskyřice při výrobě brzdových destiček a jiných frikčních součástí jako jsou například brusné kotouče, ve kterých je fenolická pryskyřice pojivem vlastních brusných částic. Použití fenolických matric při výrobě pultrudovaných kompozitních profilů vede k materiálům, které mají výrazně sníženou hořlavost a vysokou retenci vlastností při působení vysoké teploty. Typickou aplikací jsou profily, které se používají při výrobě pochůzkových roštů. Tyto rošty odolávají teplotě až 900 °C po dobu 40 minut, aniž by došlo k výraznějšímu snížení jejich pevnosti a tuhosti. V tomto ohledu kompozity na bázi sklem vyztužených fenolických pryskyřic výrazně převyšují vlastnosti oceli. Nejčastější jsou takové rošty používány při stavbě vrtných plošin a v jiných oborech chemického průmyslu, kde je požadována velmi dobrá požární bezpečnost. [10]

Největší předností této pryskyřice je její vynikající termomechanická, povětrnostní a elektrická odolnost. Kontinuální použití skleněnými vlákny vyztuženého fenol formaldehydu při teplotě 260 °C po dobu 1 roku vedlo k poklesu jeho pevnosti pouze o 25% ve srovnání s tepelně nenamáhaným kompozitem. Ani po mnoha letech nedochází při vnější expozici k výraznějšímu poklesu mechanických vlastností, i když dochází k poklesu povrchového lesku a kvality povrchu. [1]

2 KOMPOZITNÍ MATERIÁLY – VLASTNOSTI

2.1 Požadavky na kompozitní materiály v dopravním průmyslu

V dopravním průmyslu se používají kompozity především v automobilovém, leteckém a lodním průmyslu. Zde je vyžadována lehkost, pevnost a nevodivost kompozitních materiálů.

Dále se tyto materiály využívají ve vojenské technice hlavně při výrobě letadel Stells, které unikají dosahům radarů. Dále se kompozity využívají na výrobu krytů u tramvají a v nákladní automobilové dopravě na spací nástavby a na aerodynamické prvky. U lodí se používají na plachetnice a motorové jachty. [11]

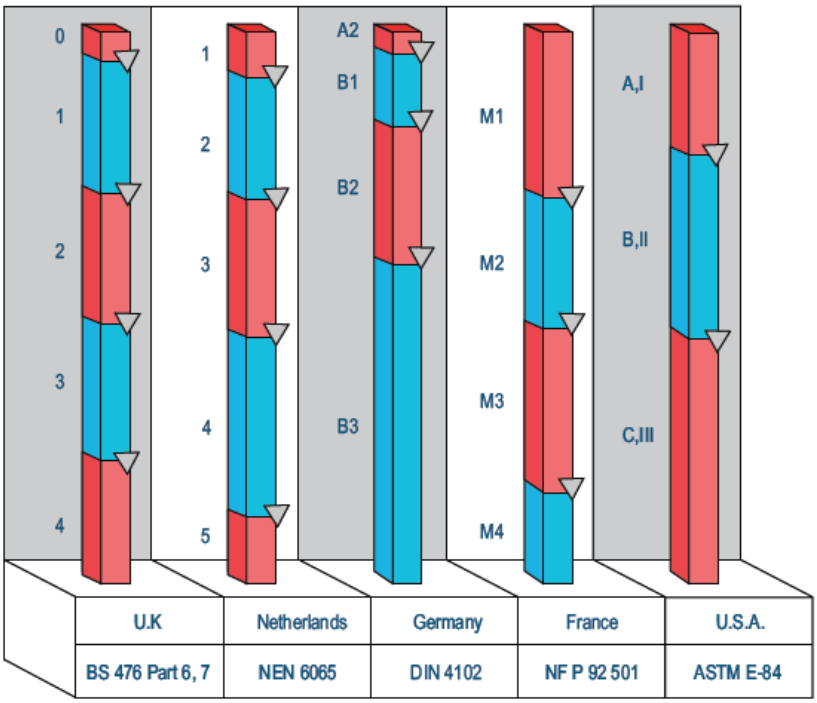
Obr. 2 Typ nové tramvaje

Tab. 3 Přehled zkoušek hořlavosti používaných v dopravním průmyslu dle normy UIC 564-2

Standard	Parameter	Description
BS 6853		**BS 6853** in the UK is a General Code of Practise which defines the requirements for the material, and is dependent on whether the vehicle is used underground or on the surface; whether the part is external or internal; whether the part is installed horizontal or vertical. Three or four key parameters are measured.
	Fire	Evaluation by **BS 476 Part 6/7**.
	Smoke	Smoke density evaluated by the **27m³ Smoke Chamber**.
	Toxicity	Smoke toxicity profile is measured by either **ISO 5659-2** or **NF X 70 100**.
DIN 5510 Part 2		DIN 5510 Part 2 from Germany measures a combination of combustibility **(S2 to S5)**, smoke development **(SR1 or SR2)** and dripping **(ST1 or ST2)**.
EN 45545 Part 2		The proposed replacement **EN 45545** will also focus on smoke and toxicity. Three classes are expected **HL1** to **HL3**, class is dependent on part type and its location in the vehicle. The adoption of **EN 45545** as a full standard is unlikely before 2012, until this time local standards will continue to be required. Three parameters are required for the evaluation of the final class.
	Fire	**ISO 5658-2** to measure flame spread.
	Heat	**ISO 5660-1** to measure ignition time and heat release rate.
	Smoke	**ISO 5659-2** to measure smoke density and toxicity profile.

2.2 Hoření

Většina organických polymerů a pryskyřic má spalná tepla kolem 8-10 MJ/kg, což je činí relativně hořlavými. Hoření tuhých látek je poměrně komplikovaný a dosud ne plně objasněný proces a u polymerů je ještě komplikován jejich makromolekulární strukturou. K tomu, aby došlo k hoření je obvykle nutno, aby se u povrchu polymeru vytvořila požadovaná koncentrace nízkomolekulárních uhlovodíkových fragmentů termické degradace v plynné fázi. To vyžaduje, aby došlo v prvotním procesu vznícení k povrchové degradaci makromolekul. Tato degradace je u polymerů zjednodušena jejich malou tepelnou vodivostí, která vede k prudkému růstu teploty v blízkosti ohniska vznícení, aniž by docházelo k rovnoměrnějšímu rozvodu tepla do objemu tělesa. To vede k lokálnímu zplynění i při působení relativně malého zdroje. Z praxe je však známo, že za vhodných podmínek (vysoká teplota a tlak) nebo při vysokém poměru povrchu k objemu (velmi tenké desky) hoří ocel i minerály a horniny (sopka). Z tohoto pohledu není hořlavost organických pryskyřic ničím neočekávaným. To, co z hlediska požární bezpečnosti organické materiály mírně diskvalifikuje ve srovnání s anorganickými materiály jako ocelí, jinými kovy či betonem, je relativně nízká zápalná teplota, produkce hustého dýmu a možnost dlouhodobého doutnání. [2]



Obr. 3 Přehled zkoušek hořlavosti používaných po celém světě dle normy, kterou musí splňovat [20]

2.3 Retardéry hoření

2.3.1 Zpomalovač hoření

Zpomalovač hoření, retardér hoření nebo samo zhášecí přísada je látka, která zpomaluje nebo zabraňuje hoření. Zpomalovače hoření se v protipožární ochraně používají velmi často. Nejčastěji používaným zpomalovačem hoření je voda. Vzhledem k důležitosti prevence proti požárům je zpomalování hoření velmi důležitou oblastí průmyslu. [11]

2.3.2 Jak zpomalovače fungují

Zpomalovače hoření obecně snižují hořlavost materiálů, buď fyzikální cestou, anebo chemickou reakcí, která zastavuje hoření.

Fyzikální zpomalování

Existuje řada způsobů, které mohou fyzikálně zpomalovat proces hoření:

Příkladem často používaného zpomalovače hoření je hydroxid hlinitý. Nejenže se rozpadá a uvolňuje vodní páru, ale také pohlcuje velké množství tepla, čímž ochlazuje materiál, a zbytkový oxid hlinitý vytváří ochrannou vrstvu. Tato látka tedy působí hned třemi způsoby najednou. [1]

2.3.3 Chemické zpomalování

- Reakce v plynné fázi: chemické reakce v plameni (tj. v plynné fázi) mohou být zpomalovači hoření přerušeny. Existují však situace, kde může být při použití zpomalovače vyvinutý plyn nebezpečnější.

- Bobtnání: Tento typ zpomalovačů způsobuje nabobtnání pod ochrannou vrstvou popela, čímž zajišťuje lepší tepelnou izolaci. Kromě přidávání do plastů existují tyto zpomalovače i jako nátěry pro ochranu dřevěných staveb nebo ocelových konstrukcí.

Výzkum, který probíhá v oblasti snížení hořlavosti polymerů a polymerních kompozitů od počátku 80. let však výrazně inherentní nedostatky organických materiálů odstranil a vedl dokonce k tomu, že kompozity se speciálními fenolickými pryskyřicemi vykazují lepší požární bezpečnost než klasické konstrukční kovy. Pochůzkové rošty vyrobené z těchto kompozitních profilů byly schváleny pro použití na vrtných plošinách jak v Mexickém zálivu, tak v Severním moři, kde nahrazují ocelové. [2]

Snížení hořlavosti organických pryskyřic se dosahuje jednak snížením obsahu organické fáze ve výsledném materiálu, což je v kompozitech dosaženo přídavkem výztuže a anorganických plniv a jednak aplikací organických a anorganických retardérů hoření. Tyto retardéry většinou zvyšují zápalnou teplotu materiálu a prodlužují doby, po kterou musí plamen na materiál působit, aby došlo k jeho vznícení. V mnoha případech je účinnost těchto retardérů taková, že po oddálení plamene způsobí samovolné uhašení hoření. K těmto retardérům se navíc přidávají další látky, které podstatně snižují hustotu emitovaného kouře i jeho toxicitu. Zavedení retardérů hoření a jejich úspěšné testy vedly k podstatnému rozšíření aplikovatelnosti organických materiálů ve stavebnictví, automobilech a prostředcích hromadné dopravy. Typickou ukázkou je tunel pod kanálem LaManche, v němž kabelové lávky (3500 tun) vyrobené z tažených kompozitních profilů na bázi UP-R/sklo překonaly v požární bezpečnosti všechny požadavky dané normami a při nedávném požáru způsobeném výbuchem vagónu s hořlavinami se rovněž plně

osvědčily a na rozdíl od pozinkovaných ocelových součástí nemusely být po požáru ani vyměněny. [2]

Běžné UP-R pryskyřice jsou hořlavé, a to v určitých oborech (podzemní stavby, chemický průmysl, občanské stavby, prostředky hromadné dopravy, atd.) brání jejich rozšíření. Naprosté nehořlavosti u nich nelze nikdy dosáhnout. Lze však dosáhnout samozhášivosti, což znamená, že pryskyřice po oddálení působícího plamene nehoří. Tento stupeň požární bezpečnosti je pro většinu aplikací i ve stavebnictví dostatečný, protože materiál s takovou požární bezpečností umožňuje evakuaci stavby a včasný zásah požárníků (obvykle se počítá zásah do 10 minut od vzniku požáru). Cesty, kterými lze zmírnit hořlavost, jsou fyzikální příměs anorganických nebo organických retardérů hoření, chemická modifikace UP-R začleněním halogenované kyseliny nebo polyalkoholu přímo do řetězce UP-R nebo přídavek vhodného monomeru s podobnými vlastnostmi. [2]

Jako anorganický retardér lze použít prášková plniva jako $Al(OH)_3$, $Mg(OH)_2$, $CaCO_3$ nebo Sb_2O_3, který je zvlášť účinný v kombinaci s chlorovanými komponentami v řetězci UP-R. Hydroxid hlinitý $Al(OH)_3$ je nejoptimálnější jak z cenového hledisky tak z hlediska účinnosti. Sloučeniny antimonu (Sb_2O_3) jsou v některých zemích z ekologického hlediska zakázány. Vápenec, $CaCO_3$ má retardační účinky až při velmi vysokých koncentracích, které vedou k pryskyřicím s velmi nízkou pevností a navíc negativně ovlivňují viskozitu UP-R. Hydroxid hořečnatý ($Mg(OH)_2$) má stejné účinky jako hydroxid hlinitý pouze s tím rozdílem, že má vyšší teplotu rozkladu než $Al(OH)_3$, což umožňuje použít je, pokud zpracovatelské teploty převyšují 200°C. Hydroxid hlinitý, jehož teplota rozkladu je 180-200°C, by se při zpracování za vyšších teplot rozkládal a způsoboval by zpevnění pryskyřice a tím znehodnocení výrobku jak z hlediska jeho fyzikálních vlastností, tak z hlediska požární bezpečnosti. [2]

Mezi organické retardéry se počítají chlorované a bromované organické fenoly. Tyto organické retardéry mají několik podstatných nevýhod ve srovnání s anorganickými práškovými retardéry. Jejich přídavkem do jisté míry změkčuje pryskyřice a tak znehodnocuje její mechanické vlastnosti. Navíc se mohou z materiálu ,,vypocovat‘‘ s časem, takže jejich účinnost po letech klesá. Nejpodstatnějším nedostatkem je jejich krátkodobá účinnost v požáru, která je dána skutečností, že samy tyto retardéry jsou organickými sloučeninami. Jakmile se rozloží, dojde k urychlení hoření, jelikož zde chybí ,,ředící‘‘ efekt vlastní anorganickým retardérům.V některých případech dochází termickým rozkladem těchto organických retardérů za vysokých teplot k jejich přeměně na silně

toxické plynné zplodiny (fosgen). Patentován je také přídavek antimonovaných organických sloučenin (trifenylstibin). [2]

Halogenace komponent, ze kterých se UP-R vyrábí (dikyselina či diol), byla již zmíněna. Snad jen lze říci, že bromace je účinnější než chlorace. Bromované UP-R jsou však dražší a také méně odolné proti UV záření. Poslední metodou, jak snížit hořlavost, je zavedením dalšího monomeru obsahujícího v molekule fosfor, halogen či antimon. Tak např. dichlorstyren nesníží výrazně výsledné mechanické vlastnosti při podstatném zvýšení odolnosti proti vznícení hotového UP-R. Jako samozhášivé monomery byly také navrženy difenylstibinakrylát apod. [2]

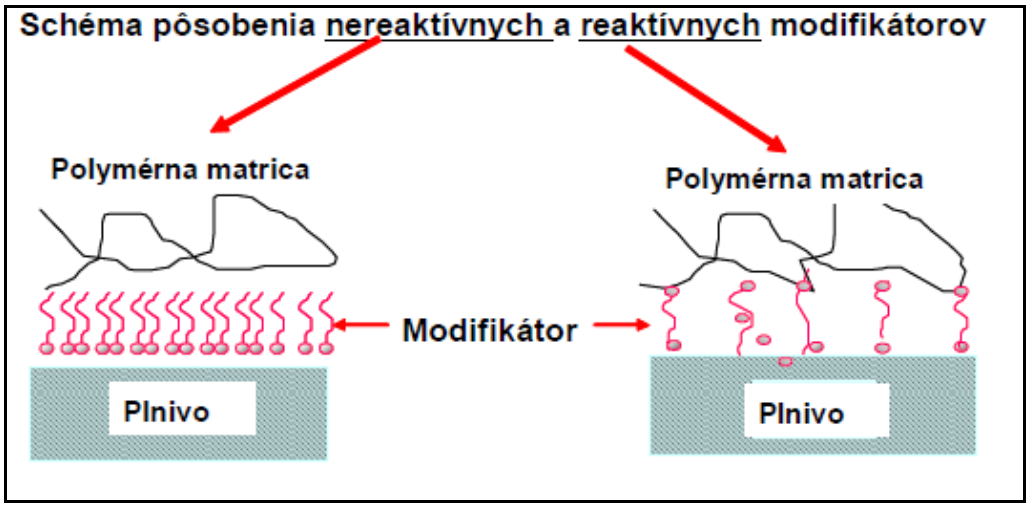
Pro výrobu kompozitů se sníženou hořlavostí se jako matrice požívá středně nebo vysoce plněné polyesterové a epoxidové pryskyřice. Pro zpracování technologií RTM, pultruzí a dalších podobných technologií, je velmi důležité dosažení nízké viskozity systému. V současné době se používají především systémy plněné hydroxidem hlinitým, který zajišťuje dosažení požadované nehořlavosti, ale pro dosažení potřebných parametrů je výsledná viskozita příliš vysoká pro použití zmíněných technologií. Dále se používají systémy na bázi halogenových fosfátů a chlorovaných organických sloučenin – ovšem s nežádoucími toxickými vlastnostmi a s vysokou ekologickou. [4]

Všeobecně můžeme retardéry hoření rozdělit na aditivní a reaktivní typy.

Nejrozšířenější – aditivní typ retardéru hoření se do polymerní matrice zavádí fyzikálním způsobem. Je to nejekonomičtější a rychlá cesta na zabezpečení retardace hoření pro komerční produkty. Zájem o jejich použití klesá z důvodu slabé kompatibility, propustnosti a poklesu mechanických vlastností polymerního materiálu. Aplikace reaktivních retardérů hoření spočívá v modifikaci polymerů prostřednictvím kopolymerizae s jednotkami retardérů hoření. Jednotky retardéru hoření se zakomponují přímo do hlavního řetězce polymeru, anebo formou bočních skupin navázaných na řetězec polymeru prostřednictvím kovalentních vazeb, přičemž se zachovávají původní fyzikální a mechanické vlastnosti materiálů. [4]

Hlavní složkou retardéru hoření může být červený fosfor, fosfátové estery, fosfáty na bázi různých organických substituentů anebo antimon jako synergické agens v podobě oxidu antimonitého-ATO. Retardace hoření polymerních materiálů se značně zlepšuje též přidáním malého množství sloučenin křemíku. Mezi uznávané retardéry hoření patří boritany jako boritan zinečnatý nebo tetrahydrát pentaboritanu amonného a kyselina boritá.

Odolnost polymeru vůči hoření lze zvýšit i přidáním anorganických hydroxidů, hlavně hydroxidu hlinitého anebo hořečnatého. [4]



Obr. 4 Reaktivní a nereaktivní modifikátory [8]

Dále můžeme rozdělit retardéry hoření podle skupenství na pevné a kapalné. Kapalné retardéry hoření jsou podstatně výhodnější z hlediska reologie systému. Kapalné retardéry hoření jsou resp. byly ve velké míře používány zejména sloučeniny na bázi halogenů (bromu, chloru). Velkou nevýhodou je jejich vysoká toxicita způsobená uvolňováním halogen vodíku po dobu hoření. Z tohoto důvodu výzkum směřuje k vývoji bez halogenových retardérů hoření. K požadavkům na zvýšení bezpečnosti uživatelů se připojuje i požadavek na šetrnost vůči životnímu prostředí. [4]

Vývoj v současné době je zaměřen především na kapalné sloučeniny na bázi fosforu. Velkou nevýhodou je nyní dostupnost vhodných sloučenin na bázi fosforu, které by se vhodným způsobem zabudovaly do polymerní sítě. Další nevýhodou je cena těchto látek. V poslední době se objevuje několik nadějných derivátů fosforu, především dovážených z východu, které jsou vhodné pro modifikace především polyesterových pryskyřic. [4]

2.4 Metody zkoušení hořlavosti

Metoda kyslíkového čísla „LOI“ (ČSN ISO 4589-2).

Obr. 5 Přístroj ke stanovení limitního kyslíkového čísla [3]

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

(např. pro PTFE je LOI > 90%).

Zkušební tělesa

(80÷150) x (6,5÷10) x (3÷10,5) mm.

Podmínky zkoušení:

a) 22 °C

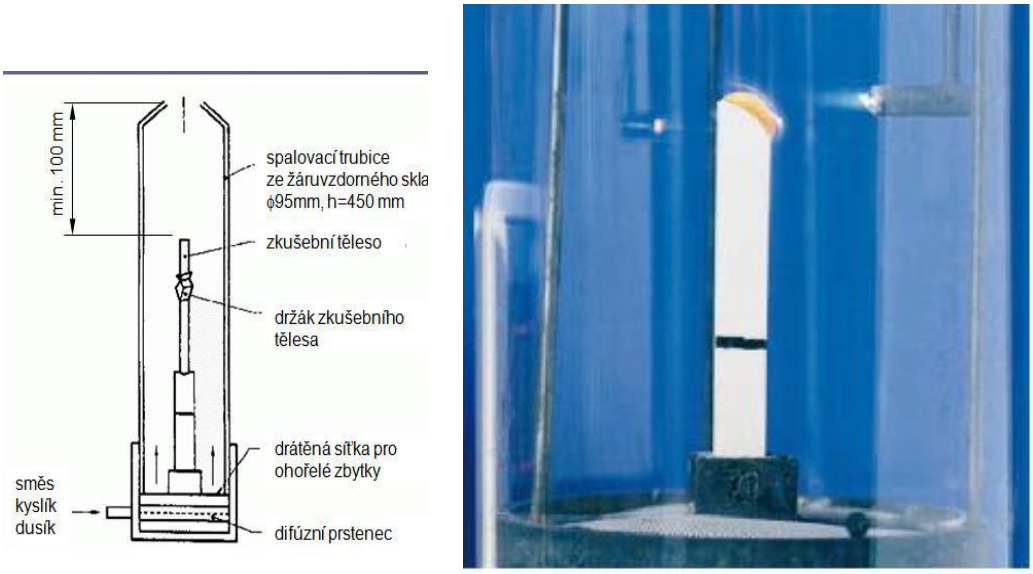
b) počáteční koncentrace O2 18 % až 25 %

c) konstantní rychlost plynné směsi 40mm/s

d) zapálení po docílení v = 40mm/s

Stanovení

- doby hoření a porovnání s limitním kritériem 180s (následná úprava koncentrace O2 ve směsi)
- kyslíkového čísla „LOI‘‘ LOI=([O2] / [O2] + [N2]).100%
- kde [O2], [N2] – molární koncentrace v objemových procentech [10]



Obr. 6 Ukázka zkoušky metodou kyslíkového čísla „LOI‘‘ [3]

Testovací metoda UL 94 (Metodika americké organizace Underwriters Laboratories)

UL 94 V vertikální uspořádání zkoušky

UL 94 HB horizontální uspořádání zkoušky

Obr. 7 Ukázka uspořádání testovací metody UL 94 [5]

Jiné metodiky měření hořlavosti

Zkouška hořlavosti je metoda, kterou jsme využili pro naše testování. Principem je stojan, který drží testovanou desku pod úhlem 45° a držák misky, do které se nalévá přesné množství etanolu, který musí mít také přesnou vzdálenost od testovaného materiálu (v našem případě to bylo 5 cm). [10]

Obr. 8 Testovací metoda za použití kahanu

2.5 VISKOZITA

Viskozita (také vazkost) je fyzikální veličina, udávající poměr mezi tečným napětím a změnou rychlosti v závislosti na vzdálenosti mezi sousedními vrstvami při proudění skutečné kapaliny. [3]

Viskozita je veličina charakterizující vnitřní tření a závisí především na přitažlivých silách mezi částicemi. Kapaliny s větší přitažlivou silou mají větší viskozitu, větší viskozita znamená větší brždění pohybu kapaliny nebo těles v kapalině. [3]

Pro ideální kapalinu má viskozita nulovou hodnotu. Kapaliny s nenulovou viskozitou se označují jako viskozní (vazké).

- Symbol dynamické viskozity η
- Základní jednotka SI: newton sekunda na metr čtvereční, značka jednotky: N.s.m-2, ekvivalentně též Pascal .sekunda, jednotka Pa.s

Vnitřní tření závislé na gradientu rychlosti vztahem:

$$\tau = \eta \frac{dv}{dy} \tag{4}$$

kde $\frac{dv}{dy}$ označuje gradient (růst) rychlosti ve směru kolmém na rychlost, τ je tečné napětí a η se nazývá součinitel viskozity (vnitřního tření) nebo dynamická viskozita (vazkost). [3]

Převrácená hodnota dynamické viskozity se nazývá tekutost:

$$\varphi = \frac{1}{\eta} \tag{5}$$

Podíl dynamické viskozity a hustoty kapaliny se označuje jako součinitel kinematické viskozity nebo kinematická viskozita (vazkost):

$$\upsilon = \frac{\eta}{\rho} \tag{6}$$

Uvedený vztah pro dynamickou viskozitu pochází od Newtona a platí pro velkou většinu kapalin (i plynů). Takové tekutiny se nazývají newtonské tekutiny. Dynamická viskozita u nich nezávisí na gradientu rychlosti. Existují však také anomální tekutiny, u nichž je viskozita na gradientu rychlosti závislá. Takové kapaliny se nazývají nenewtonské. [3]

Viskozita klesá s rostoucí teplotou a roste s rostoucím tlakem. Vliv tlaku je však obvykle zanedbatelný.

3 GELACE

Vytvrzením se mění kapalná pryskyřice na pevnou hmotu. Jedním ze základních znaků procesu je želatinace-stav vytvrzování, při kterém vznikne první molekula s nekonečně vysokou molekulární schopností, je to bod gelace. V praxi to znamená, že pryskyřice již není rozpustná v rozpouštědlech a není poté vzhledem ke své konzistenci ani dále zpracovatelná jako tekutá hmota. Při jakém stupni konverze dochází k bodu gelace, je závislé na typu pryskyřice.

Doba gelace je čas potřebný k tomu, aby se zkumavka zdvihla spolu s pohybující se tyčinkou. Pro běžnou vstupní kontrolu se používají tzv. automatické geltimetry, pomocí nichž lze měření provádět opakovaně. [1]

Existuje mnoho dalších zkušebních metod pro určení doby gelace. V technických listech se často uvádí jak doba gelace, tak doba zpracovatelností. Určení doby zpracovatelnosti je většinou bližší praxi, protože se provádí na větším objemu pryskyřice, např. 300 ml (ČSN EN ISO 9514 a ČSN EN 14022). Při této zkoušce se namíchaná směs ponechá stát bez temperování a v určitých časových úsecích se odebírají vzorky a měří některá vlastnost, např. viskozita. [1]

Rozdělení gelcoatů:

- polyesterové
- epoxidové
- na výrobu forem

Dále dělíme gecoaty na:

- formové
- nízkoemisivní
- brusné
- samozhášivé
- standartní

Tyto gecoaty zaručují výrobkům dobré mechanické vlastnosti a dobu odolnosti proti povětrnostním vlivům. Většinou se vyrábějí ze stejné polyesterové pryskyřice.Nanášejí se ručně nebo stříkáním.

Jejich použití je různorodé:

- plachetnice, motorové jachty
- vysokorychlostní vlaky, kamiony
- stavební panely, veřejná koupaliště
- sanitární keramika, litý mramor
- turbíny věterných elektráren a další [11]

Distributoři: Skolil Kompozit s.r.o. Jaroměř, JMJ Composites Ltd., Polyglass SpA a další.

II. PRAKTICKÁ ČÁST

4 CÍL PRÁCE

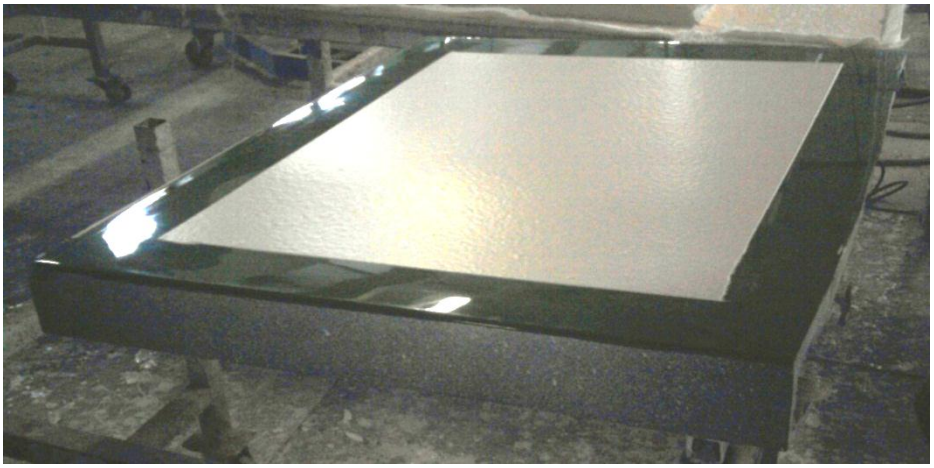
Cílem diplomové práce je:

1. Matrice kompozitních materiálu, jejich rozdělení a vlastnosti. Studium problematiky gelcoatové vrstvy.
2. FST vlastnosti kompozitních materiálu, retardéry hoření, a jejich rozdělení.
3. Experimentální část: návrh a výroba rozdílných kompozitních vzorku s gelcoatovou vrstvou technologii ručního laminovaní.
4. Zkouška požární odolnosti dle UIC 564-2. Stanovení kyslíkového čísla dle ČSN ISO 4589-2 .
5. Stanovení tahových a ohybových vlastností zkoumaných kompozitních vzorku.
6. Diskuse výsledků a závěr.

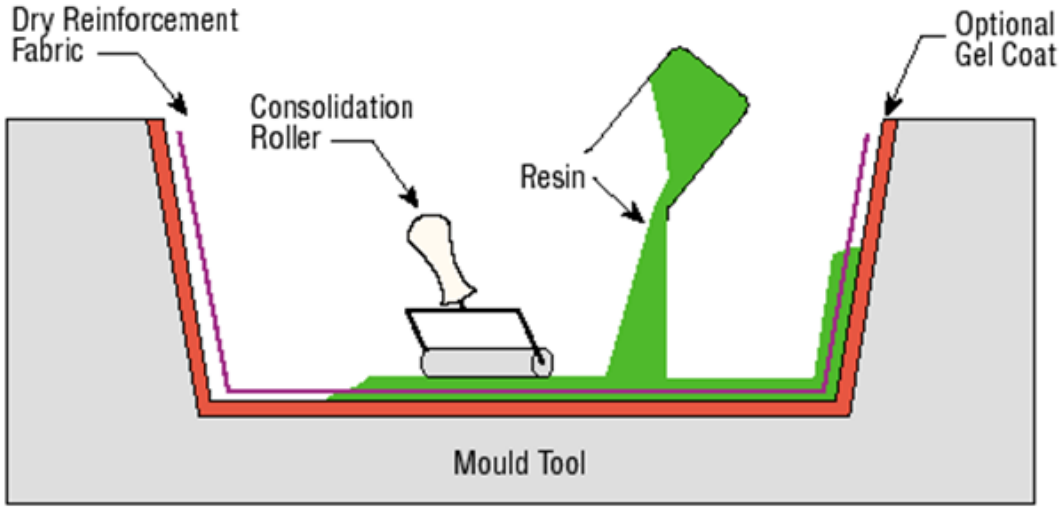
4.1 Zkouška požární odolnosti

4.1.1 Všeobecně

Zkoušku požární odolnosti jsem prováděl ve zkušební laboratoři firmy FORM. Tato zkouška měla otestovat a vyhodnotit nejvhodnější gelcoat, který bude odpovídat dle normy a požadavků zadavatele. Zkouška plamenem, kterou jsem provedl byla jednou z možností otestování vzorků. Dále jsem pak ještě testoval vlastnosti vzorků na ohyb a tah. Testováno bylo i kyslíkové číslo dle norem. Při vyhodnocení zkoušky bylo testováno i zařazení do vzorků do skupin dle tabulky 3.



Obr. 9 Pohled na gelcoatovou vrstvu nanesenu stříkáním



Obr. 10 Schéma ruční laminace [8]

4.1.2 Údaje o zkoušeném materiálu

Testováno bylo šest různých druhů vzorků, přehled testovaných vzorku je uveden v tabulce 4. Předmětem zkoušky je vyztužený laminát jmenovité tloušťky a rozměrů 160x400mm, tloušťka gelcoatové vrstvy nanesené technologií stříkáním byla 0,4 mm.

Použito bylo pryskyřic Synolite 175-W-1, Firestop 500-W-1 a gelcoaty: S250V, S260V, S270V, Norpol NGA HX3 RAL 7005.

Tab. 4 Tabulka zkušebních vzorků

1	**Gelcoat**	S250V
	Výztuž	1x skelná rohož 300 g/m^2
		3x skelná rohož 450 g/m^2
	Matrice	Synolite 175-W-1
	Iniciační systém	Butanox M-50 1%
2	**Gelcoat**	S260V
	Výztuž	1x skelná rohož 300 g/m^2
		3x skelná rohož 450 g/m^2
	Matrice	Synolite 8175-W-1
	Iniciační systém	Butanox M-50 1%
3	**Gelcoat**	S270V
	Výztuž	5x skelná rohož 300 g/m^2
	Matrice	Firestop 500-W-1
	Iniciační systém	Butanox M-50 2%
4	**Gelcoat**	S260V
	Výztuž	5x skelná rohož 300 g/m^2
	Matrice	Firestop 5000-W-1
	Iniciační systém	Butanox M-50 2%
5	**Gelcoat**	Norpol NGA HX3 RAL 7005
	Výztuž	1x skelná rohož 300 g/m^2
		3x skelná rohož 450 g/m^2
	Matrice	Synolite 8175-W-1
	Iniciační systém	Butanox M-50 1%
6	**Gelcoat**	S260V
	Výztuž	1x skelná rohož 300 g/m^2
		3x skelná rohož 450 g/m^2
	Matrica	Synolite 8175-W-1
	Iniciační systém	Butanox M-50 1 %

4.1.3 POŽADAVKY NA PROVEDENÍ A VYHODNOCENÍ ZKOUŠKY

Cílem zkoušky bylo je prověřit a vyhodnotit vzorky zkušebního materiálu podle požadavků vyhlášky UIC 564-2. Zkušební metoda ke stanovení reakce ohně na pevných netermoplastických, materiálech, oblast použití v oboru kolejových vozidel“. Na základě dosaže-

ných výsledků z provedených zkoušek bude následně zkoušený vzorek, zařazen do odpovídající kategorie hodnocení třídy A, B nebo C.

Účinkům etanolového plamene byla vystavena vždy lakovaná strana laminátového vzorku.

4.2 MĚŘENÉ VELIČINY A POUŽITÉ PŘÍSTROJE

Měřené veličiny

- délkové rozměry všech zkušebních vzorků v (mm)
- teplota vzorku před provedením zkoušky v (°C)
- teplota okolí v (°C)
- absolutní tlak vzduchu v (hPa)
- relativní vlhkost vzduchu v (%)
- čas hoření etanolového plamene v (s)
- doba dohořívání vzorku po uhašení etanolového plamene (s)
- plocha požárem poškozeného zkušebního vzorku po zkoušce (cm^2)

4.3 POUŽITÉ PŘISTROJE A POMŮCKY

- ocelové měřítko 500 mm, KINEX TŘÍDA PŘESNOSTI 2
- digitální stopky tř. přesnosti 2
- meteorologická stanice Hyundai, přesnost třídy 2
- digitální fotoaparát CANON s možností videozáznamu
- injekční stříkačka s jehlou k plnění etanolu

4.4 Posuzované veličiny

Význam použitých zkratek

P (s) Doba dohořívání vzorku po uhašení etanolového plamene (případně čas žhavení částic)

S (cm ^{2}) Plocha požárem poškozeného zkušebního tělesa po zkoušce

HČ (ano/ne) Údaj ,zda nastalo skapávání hořících částic nebo kapek

HH (ano/ne) Údaj zda nastalo prohoření k horní straně zkušebního vzorku

4.5 Kategorie zařazení materiálu

Podle výsledků zkoušek se materiál zařadí do kategorie A, B nebo C. Tak jak je znázorněno tabulkou.

Tab. 5 Zařazení do kategorií platné pro netermoplastické materiály

P[s] / S[cm^2]	$P \leq 2$	$2 < P \leq 10$	$P > 10$
$S \leq 100$	I	II_c	III_e
$100 < S \leq 150$	II_a	II_b	III_d
$S > 150$	III_a	III_b	III_c

Kategorie A:

Výsledky všech zkoušených těles leží v poli i, zároveň u žádného zkoušeného vzorku nedošlo k prohoření k hornímu okraji a nespadávaly hořící částice nebo kapky (platí tedy HČ- NE a HH- NE). Žádné místo nežhnulo déle než 10s po uhasnutí plamene.

Kategorie B:

Aritmetický průměr časů dohořívání plamene a aritmetický průměr velikosti poškozených ploch leží buď v poli I (BÍLÉM) nebo v šedých polích (IIa, IIb, IIc) posuzovací směrnice, zároveň platí, že nedošlo k prohoření k hornímu okraji zkušebních vzorků a nespadávaly žádné hořící částice nebo kapky (platí tedy HČ – ne a HH-ne). Žádné místo nežhnulo déle než 10 s po uhasnutí plamene.

Kategorie C:

Výsledky zkoušek neodpovídají požadovaným podmínkám pro kategorii A ani kategorii B (leží tedy v polích IIIa, IIIb, IIIc, IIId, IIIe).

4.6 Popis zkušební metody

Zkušební vzorky polyesterového skelného laminátu se vzorkem daného gelcoatu, každý o rozměru 160x400 mm, jsou temperovány na teplotu 22 °C při relativní vlhkosti vzduchu v rozsahu 50 - 65 % po dobu 48 hod. Zkušební stojan fixuje vzorek pod uhlem 45° k horizontální rovině. Nádobka s čistým etanolem se umístí pod spodní stranu zkoušeného vzorku opatřeného gelcoatovou vrstvou. Doba působení plamene na zkušební vzorek je dána přesným množstvím čistého etanolu v kelímku, které činí 4 ml. Jde o čas od okamžiku zapálení až po vyhoření všeho etanolu z odměrky. Plocha požárem poškozeného zkušebního tělesa byla zjištěna měřením planimetrem.

4.7 Údaje a výsledky provedených zkoušek

Byly použity 4 ks vzorků k jednomu druhu materiálové kombinace. Bylo testováno 6 druhů kombinací, celkem 24 vzorků. Výsledky všech měření jsou shrnuty v tabulkách 1- 6.

5 TESTOVÁNÍ VYROBENÝCH VZORKŮ

5.1 Použité měřicí přístroje

Obr. 11 Držák zkušebních desek

Obr. 12 Držák kahanu

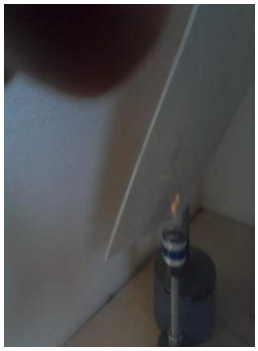
Obr. 13 Barometr- meteorologická stanice

Obr. 14 Ostatní použité pomůcky

1 sec.

11 sec.

22 sec.



33 sec.

44 sec.

55 sec.

66 sec.

77 sec.

88 sec.

99 sec.

110 sec.

121 sec.

132 sec.

143 sec.

154 sec.

165 sec.

176 sec.

187 sec.

198 sec.

209 sec.

220 sec.

231 sec.

242 sec.

253 sec.

264 sec.

275 sec.

286 sec.

300 sec.

Obr. 15 Sekvence zkoušky vzorku

Tab. 6 Naměřené hodnoty vzorku č. 1

Materiál gelcoat S250V		Polyesterový skelný laminát				
Rozměry vzorků		160 x 400 x 4 mm				
Zdroj plamene		Čistý etanol (4ml ± 0,1 ml)				
Vzorek č.1		1 - 1	1 - 2	1 - 3	1 - 4	průměr
Datum provedení zkoušky		10.3.2012	10.3.2012	10.3.2012	10.3.2012	
Začátek provedení zkoušky (SELČ)		10:00	10:07	10:15	10:25	
Teplota vzduchu (^{0}C)		21	21	21	21	
Relativní vlhkost vzduchu (%)		20,6	20,7	20,5	20,4	
Absolutní tlak vzduchu (*10^{2}Pa)		51	52	52	51	
Teplota vzorků (^{0}C)		22	22	22	22	
Max. délka požárem poškozené plochy (mm)		135	125	145	115	
Max šířka požárem poškozené plochy (mm)		55	50	60	60	
Doba působení etanolového plamene (s)		345	341	382	328	
Naměřené hodnoty	P (s)	0	0	0	0	
	S (cm^2)	57,0	52,5	89,1	52,2	**62,7**
	HČ (ano / ne)	Ne	Ne	Ne	Ne	**Ne**
	HH (ano / ne)	Ne	Ne	Ne	Ne	**Ne**
Zařazení vzorků do skupiny		A	A	A	A	**A**

Obr. 16 Porovnání prohoření gelcoatu a pryskyřice vzorku č. 1

Tab. 7 Naměřené hodnoty vzorku č. 2

Materiál gelcoat S260 V		Polyesterový skelný laminát				
Rozměry vzorků		160 x 400 x 4 mm				
Zdroj plamene		Čistý etanol (4ml ± 0,1 ml)				
Vzorek č.2		1 - 1	1 - 2	1 - 3	1 - 4	průměr
Datum provedení zkoušky		10.3.2012	10.3.2012	10.3.2012	10.3.2012	
Začátek provedení zkoušky (SELČ)		8:00	8:10	8:20	8:27	
Teplota vzduchu (^{0}C)		21	21	21,3	20,6	
Relativní vlhkost vzduchu (%)		22,2	21	20,3	21	
Absolutní tlak vzduchu (*10^{2}Pa)		994	994	994	994	
Teplota vzorků (^{0}C)		22	22	22	22	
Max. délka požárem poškozené plochy (mm)		110	135	123	115	
Max šířka požárem poškozené plochy (mm)		50	52	50	51	
Doba působení etanolového plamene (s)		372	318	334	353	
Naměřené hodnoty	P (s)	0	0	0	0	
	S (cm^2)	41,1	56,6	53,4	49,6	**50,1**
	HČ (ano / ne)	Ne	Ne	Ne	Ne	**Ne**
	HH (ano / ne)	Ne	Ne	Ne	Ne	**Ne**
Zařazení vzorků do skupiny		A	A	A	A	**A**

Obr. 17 Porovnání prohoření gelcoatu a pryskyřice vzorku č. 2

Tab. 8 Naměřené hodnoty vzorku č. 3

Materiál S270V		Polyesterový skelný laminát				
Rozměry vzorků		160 x 400 x 4 mm				
Zdroj plamene		Čistý etanol (4ml ± 0,1 ml)				
Vzorek č.3		1 - 1	1 - 2	1 - 3	1 - 4	průměr
Datum provedení zkoušky		11.3.2012	11.3.2012	11.3.2012	11.3.2012	
Začátek provedení zkoušky (SELČ)		14:00	14:10	14:20	14:30	
Teplota vzduchu (^{0}C)		21,2	21,6	21	20,1	
Relativní vlhkost vzduchu (%)		52	51	51	51	
Absolutní tlak vzduchu (*10^{2}Pa)		994	994	994	994	
Teplota vzorků (^{0}C)		22	22	22	22	
Max. délka požárem poškozené plochy (mm)		122	118	140	107	
Max šířka požárem poškozené plochy (mm)		54	54	57	54	
Doba působení etanolového plamene (s)		346	341	312	314	
Naměřené hodnoty	P (s)	0	0	0	0	
	S (cm^2)	51,2	49,2	61,4	53,6	**53,8**
	HČ (ano / ne)	Ne	Ne	Ne	Ne	**Ne**
	HH (ano / ne)	Ne	Ne	Ne	Ne	**Ne**
Zařazení vzorků do skupiny		A	A	A	A	**A**

Obr. 18 Porovnání prohoření gelcoatu a pryskyřice vzorku č. 3

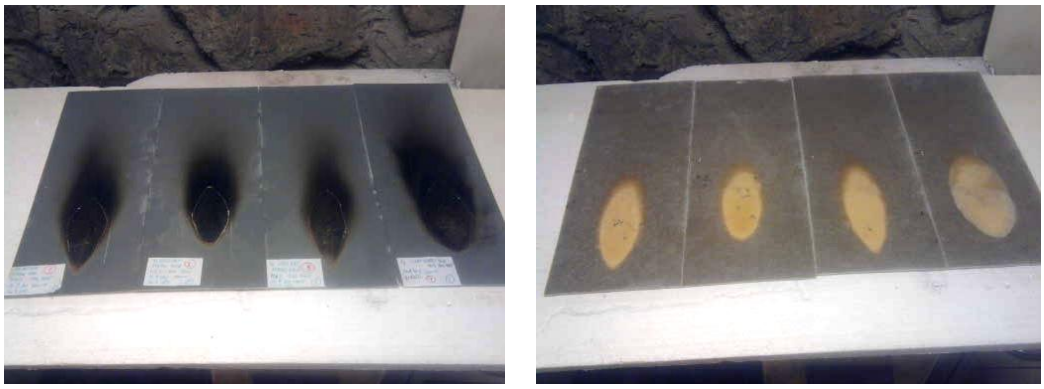
Tab. 9 Naměřené hodnoty vzorku č. 4

Materiál S260V		Polyesterový skelný laminát				
Rozměry vzorků		160 x 400 x 4 mm				
Zdroj plamene		Čistý etanol (4ml ± 0,1 ml)				
Vzorek č.4		1 - 1	1 - 2	1 - 3	1 - 4	průměr
Datum provedení zkoušky		15.3.2012	15.3.2012	15.3.2012	15.3.2012	
Začátek provedení zkoušky (SELČ)		8:00	8:10	8:20	8:30	
Teplota vzduchu (^{0}C)		21,2	21,6	21,3	21,3	
Relativní vlhkost vzduchu (%)		51	51	51	51	
Absolutní tlak vzduchu (*10^{2}Pa)		998	998	998	998	
Teplota vzorků (^{0}C)		22	22	22	22	
Max. délka požárem poškozené plochy (mm)		114	127	113	124	
Max šířka požárem poškozené plochy (mm)		49	49	39	43	
Doba působení etanolového plamene (s)		362	333	339	343	
Naměřené hodnoty	P (s)	0	0	0	0	
	S (cm^2)	42,9	48,4	41,5	47,8	**45,1**
	HČ (ano / ne)	Ne	Ne	Ne	Ne	**Ne**
	HH (ano / ne)	Ne	Ne	Ne	Ne	**Ne**
Zařazení vzorků do skupiny		A	A	A	A	**A**

Obr. 19 Porovnání prohoření gelcoatu a pryskyřice vzorku č. 4

Tab. 10 Naměřené hodnoty vzorku č. 5

Materiál Norpol NGA HX3 RAL 7005		Polyesterový skelný laminát				
Rozměry vzorků		160 x 400 x 4 mm				
Zdroj plamene		Čistý etanol (4ml ± 0,1 ml)				
Vzorek č.5		1 - 1	1 - 2	1 - 3	1 - 4	průměr
Datum provedení zkoušky		12.3.2012	12.3.2012	12.3.2012	12.3.2012	
Začátek provedení zkoušky (SELČ)		8:00	8:10	8:20	8:30	
Teplota vzduchu (^{0}C)		21	21,3	21,2	21,6	
Relativní vlhkost vzduchu (%)		51	51	51	51	
Absolutní tlak vzduchu (*10^{2}Pa)		995	995	995	995	
Teplota vzorků (^{0}C)		22	22	22	22	
Max. délka požárem poškozené plochy (mm)		119	98	123	120	
Max šířka požárem poškozené plochy (mm)		53	50	43	63	
Doba působení etanolového plamene (s)		330	355	318	390	
Naměřené hodnoty	P (s)	0	0	0	0	
	S (cm^2)	43,8	35,2	43,8	55,0	**44,4**
	HČ (ano / ne)	Ne	Ne	Ne	Ne	**Ne**
	HH (ano / ne)	Ne	Ne	Ne	Ne	**Ne**
Zařazení vzorků do skupiny		A	A	A	A	**A**



Obr. 20 Porovnání prohoření gelcoatu a pryskyřice vzorku č. 5

Tab. 11 Naměřené hodnoty vzorku č. 6

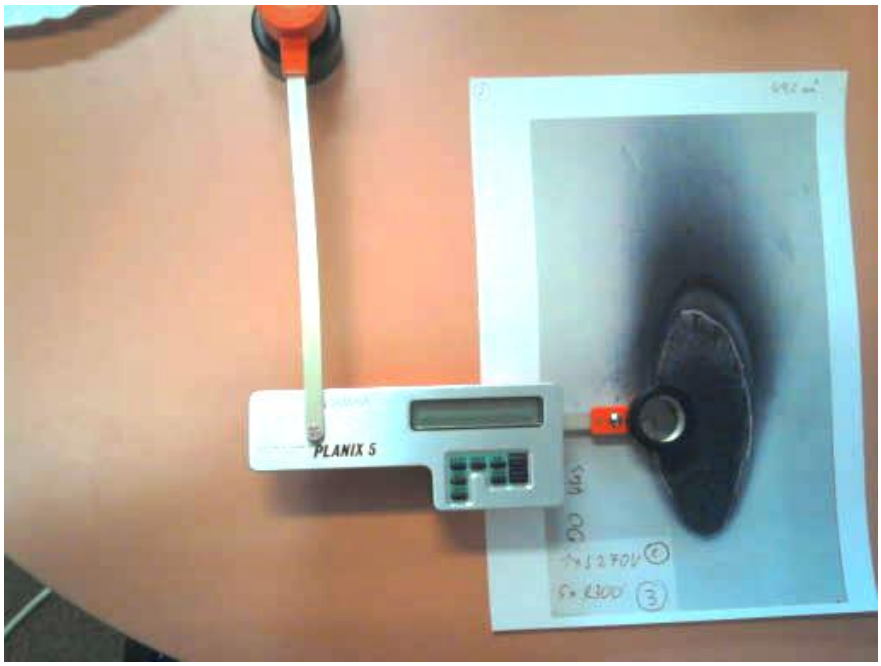
Materiál S260V		Polyesterový skelný laminát				
Rozměry vzorků		160 x 400 x 4 mm				
Zdroj plamene		Čistý etanol (4ml ± 0,1 ml)				
Vzorek č.6		1 - 1	1 - 2	1 - 3	1 - 4	průměr
Datum provedení zkoušky		18.3.2012	18.3.2012	18.3.2012	18.3.2012	
Začátek provedení zkoušky (SELČ)		15:00	15:10	15:20	15:30	
Teplota vzduchu (^{0}C)		21,3	21,6	21	21,3	
Relativní vlhkost vzduchu (%)		51	51	51	51	
Absolutní tlak vzduchu (*10^{2}Pa)		994	994	994	994	
Teplota vzorků (^{0}C)		22	22	22	22	
Max. délka požárem poškozené plochy (mm)		104	95	97	87	
Max šířka požárem poškozené plochy (mm)		570	560	460	530	
Doba působení etanolového plamene (s)		326	309	309	366	
Naměřené hodnoty	P (s)	0	0	0	0	
	S (cm^2)	44,1	41,7	33,2	33,2	**38,0**
	HČ (ano / ne)	Ne	Ne	Ne	Ne	**Ne**
	HH (ano / ne)	Ne	Ne	Ne	Ne	**Ne**
Zařazení vzorků do skupiny		A	A	A	A	**A**

Obr. 21 Porovnání prohoření gelcoatu a pryskyřice vzorku č. 6

5.2 Měření poškozené plochy zkušebního vzorku

K měření žárem spálené plochy jsem použil přístroj značky Planix 5,6.

Obr. 22 Měřící prístroj



Obr. 23 Samotné měření žárem poškozené plochy

Vyhodnocení zkoušky požární odolnosti

Všechny vzorky spadají do kategorie A dle tabulky 3. Nejvhodnějším vzorkem odolným proti plamenu při zkoušce požární odolnosti byl vzorek č. 6 s gelcoatem S260V.

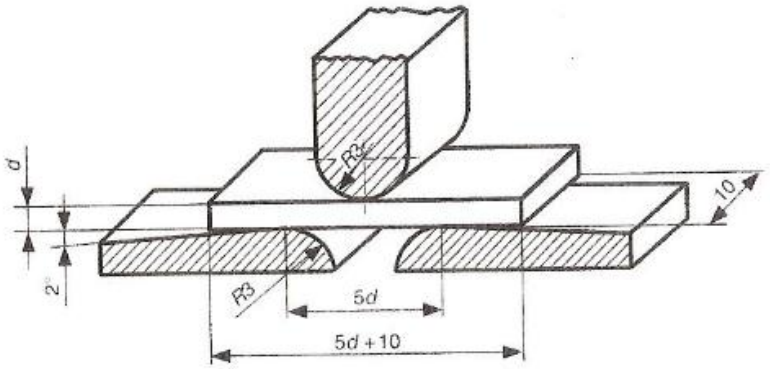
5.3 Zkouška v ohybu

Podstata zkoušky

Zkušební těleso obdélníkového průřezu na dvou podpěrách, je konstantní rychlostí zatěžováno trnem působícím uprostřed rozpětí podpěr tak dlouho, dokud se zkušební těleso nezlomí na svém vnějším povrchu, nebo dokud deformace nedosáhne maximální hodnoty 5%, podle toho, který případ nastane dříve. V průběhu tohoto postupu je měřená síla působící na zkušební těleso a výsledný průhyb zkušebního tělesa uprostřed mezi podpěrami

Při stanovení elastických a pevnostních charakteristik zkouškou ohybem se předpokládá rozdělení normálních napětí po průřezu. Hodnoty pevnosti v ohybu závisí výrazně na poloze vláken vzhledem k neutrální rovině. Zkouška ohybem probíhá při tří-nebo čtyřbodovém uložení. V mém případě jsem použil tříbodového uložení. V tomto tříbodovém uložení existuje ve zkušebním tělese napjatost s maximálním zatížením a definovaným místem lomu v bodě zatížení tj. ve středu délky tělesa. Zkoušku jsem prováděl dle ČSN EN ISO 14125, která stanovuje ohybové vlastnosti pro vlákny vyztužené plastové kompozity.

Zkoušku ohybu jsem prováděl v laboratoři UTB na budově U5 na stroji ZWICK 1456, který je univerzální testovacím strojem jak na ohyb, tak na tah.



Obr. 24 Zkouška tříbodovým ohybem

Obr. 25 Testovací stroj ZWICK 1456

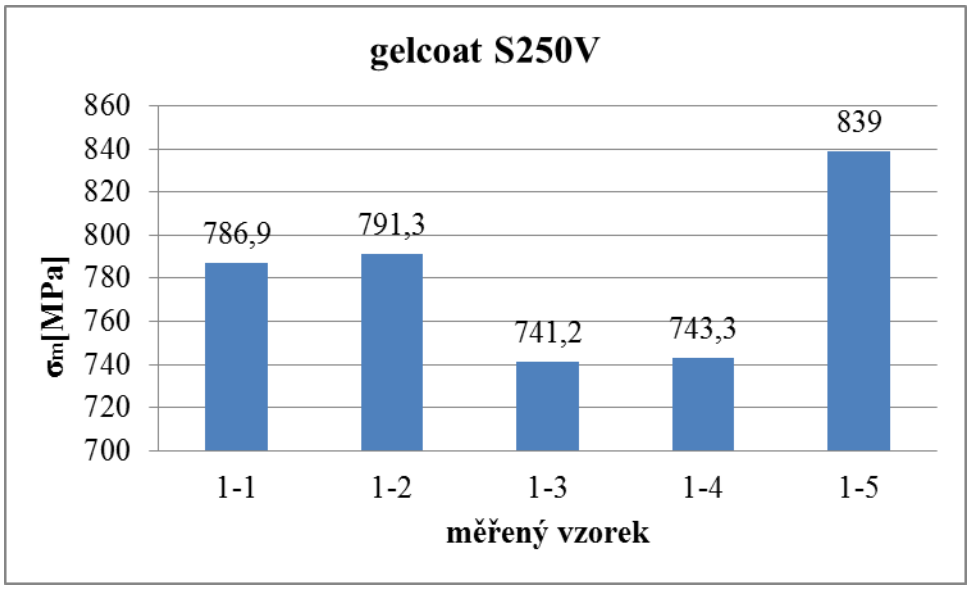
Parametry stroje Zwick 1456:

- Snímač sily 20kN a 2,5kN
- Extenzometr makro
- Software Zwick II v3.31
- Čelisti - samosvorné do 30kN
- Teplotní komora -70 +270 °C
- Rychlost posuvu příčníků 0 – 700mm/min

Dosažené výsledky v ohybu

Tab. 12 Vzorek č. 1 gelcoat S250V

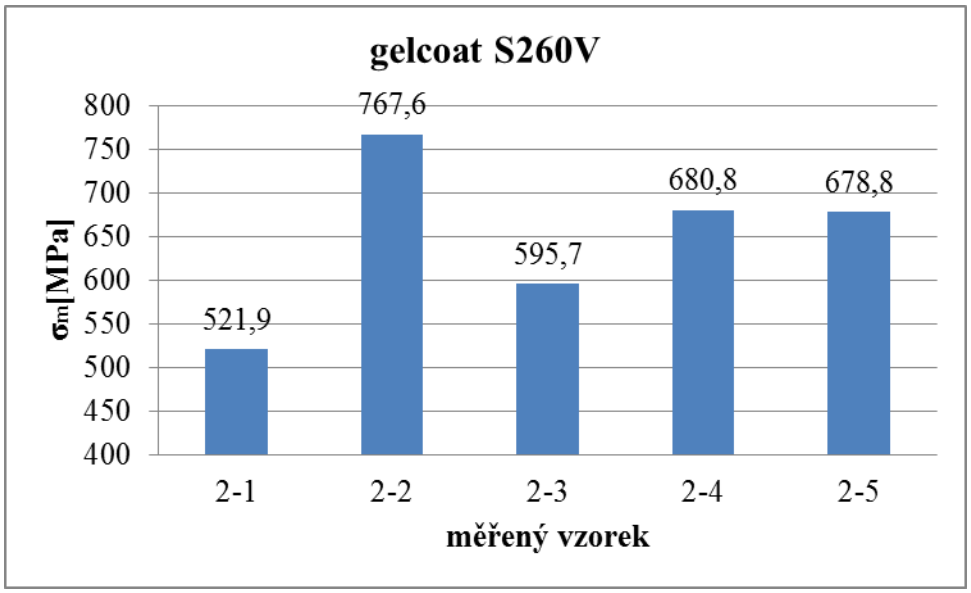
	a_0	b_0	σ_m	ε_m	Δl	E
Nr	mm	mm	MPa	%	mm	MPa
1-1	3,7	25,4	786,9	3,39	6,25	8757
1-2	3,8	24,9	791,3	3,42	6,14	8056
1-3	3,6	25,6	741,2	3,12	5,91	8629
1-4	3,5	25,1	743,3	3,26	6,36	9598
1-5	3,7	25,5	839	3,18	5,86	9986
průměr	3,66	25,3	780,3	3,27	6,10	9005
s	0,11	0,29	40,3	0,13	0,22	777
v	3,12	1,15	5,17	3,97	3,53	8,63



Obr. 26 Srovnání σ_m v ohybu – vzorek č. 1

Tab. 13 vzorek č. 2 gelcoat S260V

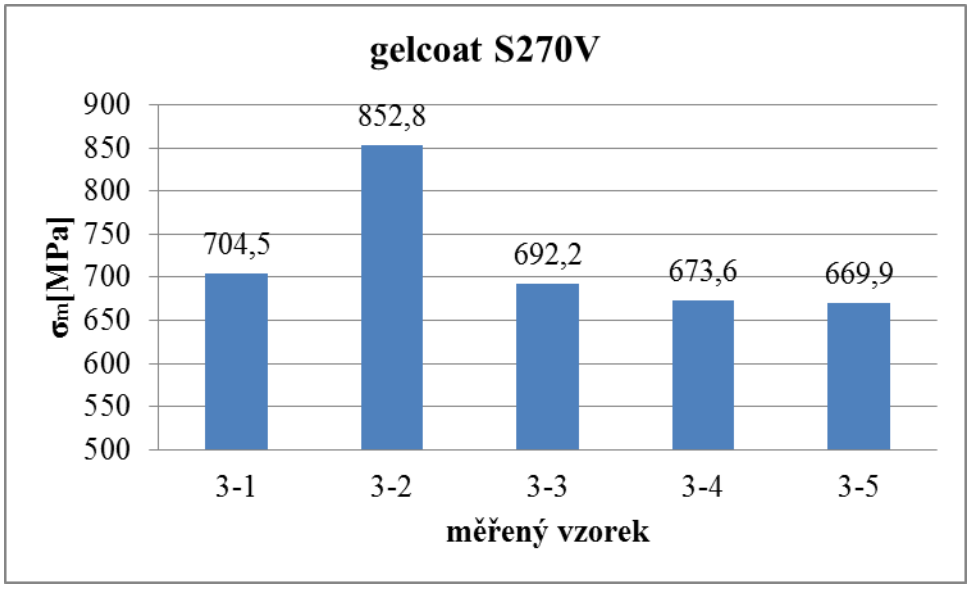
	a_0	b_0	σ_m	ε_m	Δl	E
Nr	mm	mm	MPa	%	mm	MPa
2-1	2,8	26,3	521,9	3,57	8,7	8572
2-2	3,5	27,1	767,6	3,29	6,41	7676
2-3	3,4	27,8	595,7	3,75	7,54	6636
2-4	3,1	28,7	680,8	3,05	6,71	10944
2-5	3,7	26,6	678,8	4,4	8,13	5786
průměr	3,3	27,3	649	3,61	7,49	7923
s	0,35	0,97	93,5	0,52	0,95	1989
v	10,71	3,54	14,41	14,26	12,74	25,11



Obr. 27 Srovnání σ_m v ohybu – vzorek č. 2

Tab. 14 Vzorek č. 3 gelcoat S270V

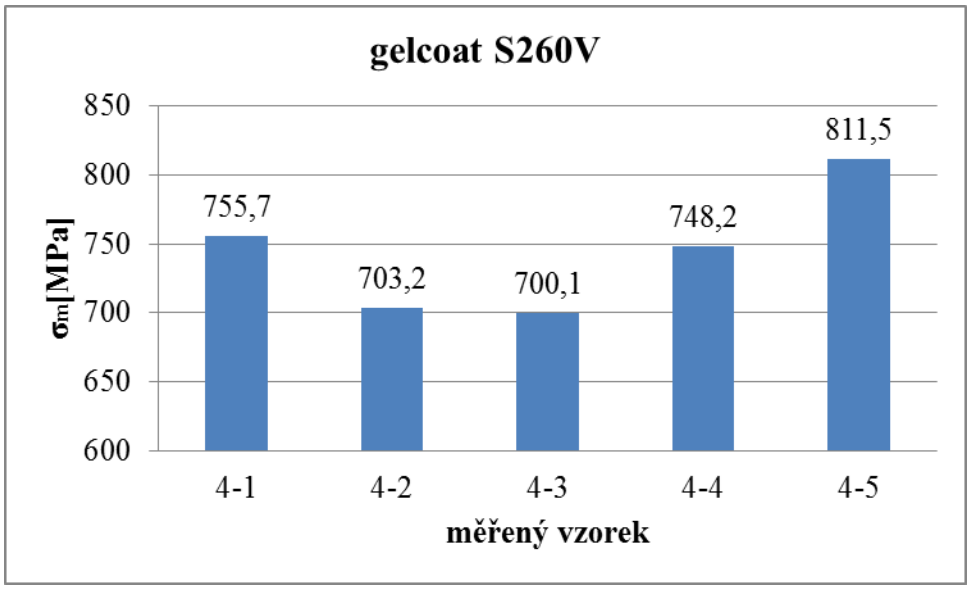
	a_0	b_0	σ_m	ε_m	Δl	E
Nr	mm	mm	MPa	%	mm	MPa
3-1	3,9	26,4	704,5	3,7	6,48	6771
3-2	4,5	27,6	852,8	3,46	5,26	6535
3-3	4,3	26,7	692,2	3,1	4,92	6934
3-4	4	27,2	673,6	3,61	6,16	7306
3-5	4,2	27	669,9	3,46	5,62	6735
průměr	4,18	26,98	718,6	3,46	5,69	6856
s	0,24	0,46	76,3	0,23	0,63	289
v	5,71	1,71	10,62	6,60	11,21	4,21



Obr. 28 Srovnání σ_m v ohybu – vzorek č. 3

Tab. 15 Vzorek č. 4 gelcoat S260V

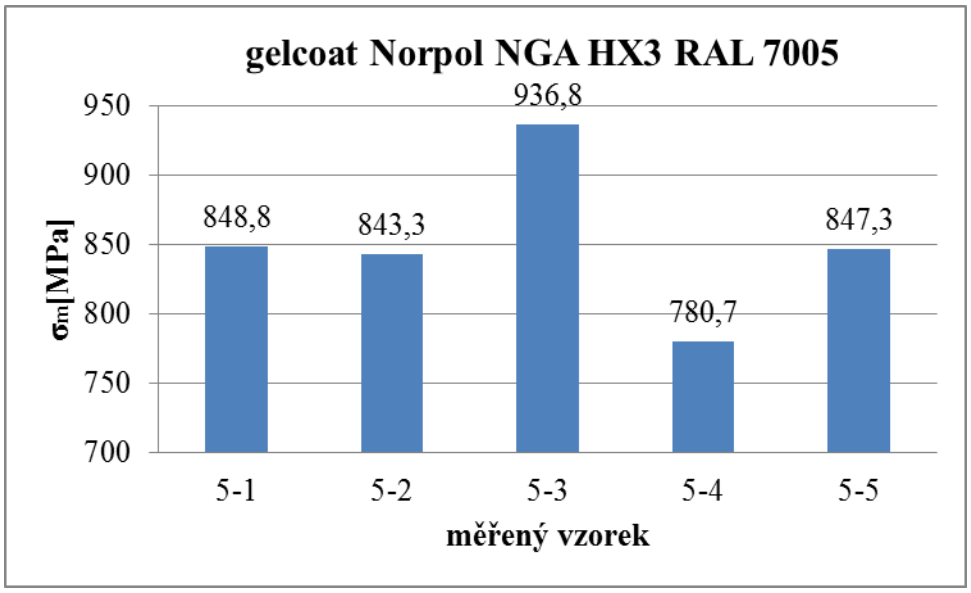
	a_0	b_0	σ_m	ε_m	Δl	E
Nr	mm	mm	MPa	%	mm	MPa
4-1	3,8	26,8	755,7	3,5	6,29	6522
4-2	3,8	27,3	703,2	3,53	6,34	7445
4-3	3,8	26,2	700,1	3,39	6,09	8824
4-4	3,7	27,2	748,2	3,53	6,52	9106
4-5	3,8	30	811,5	3,43	6,16	7215
průměr	3,78	27,5	743,7	3,47	6,28	7822
s	0,04	1,46	45,6	0,06	0,16	1102
v	1,18	5,32	6,13	1,81	2,66	14,08



Obr. 29 Srovnání σ_m v ohybu – vzorek č. 4

Tab. 16 Vzorek č. 5 gelcoat Norpol NGA HX3 RAL 7005

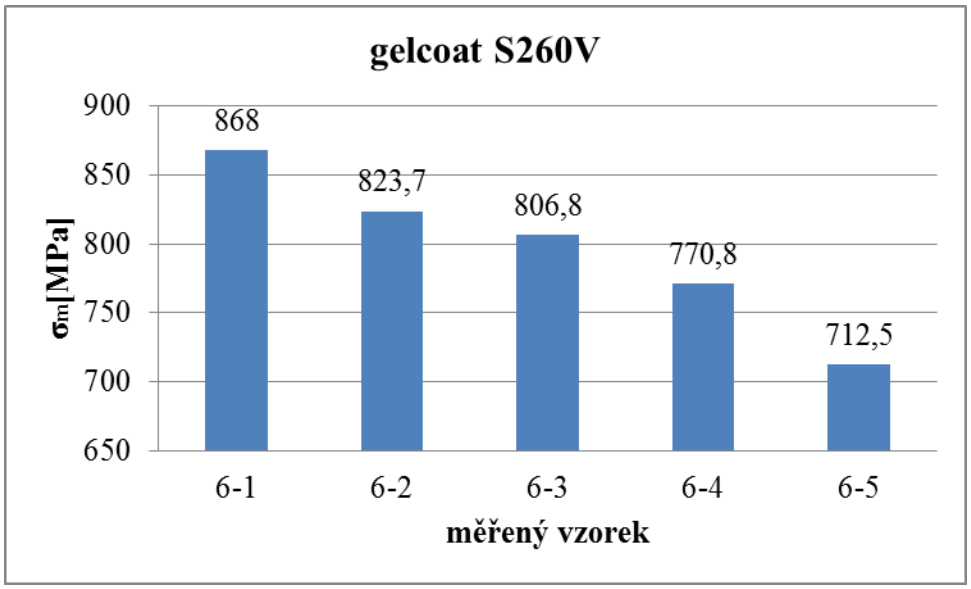
	a_0	b_0	σ_m	ε_m	Δl	E
Nr	mm	mm	MPa	%	mm	MPa
5-1	3,7	25,8	848,8	3,7	6,83	8431
5-2	3,4	25,4	843,3	3,28	6,58	1092
5-3	3,6	27,4	936,8	3,64	6,9	9575
5-4	3,3	27,4	780,7	3,08	6,37	11323
5-5	4	26,5	847,3	3,62	6,18	6775
průměr	3,6	26,5	851,4	3,46	6,57	7439
s	0,27	0,91	55,6	0,27	0,30	3917
v	7,61	3,44	6,53	7,80	4,62	52,62



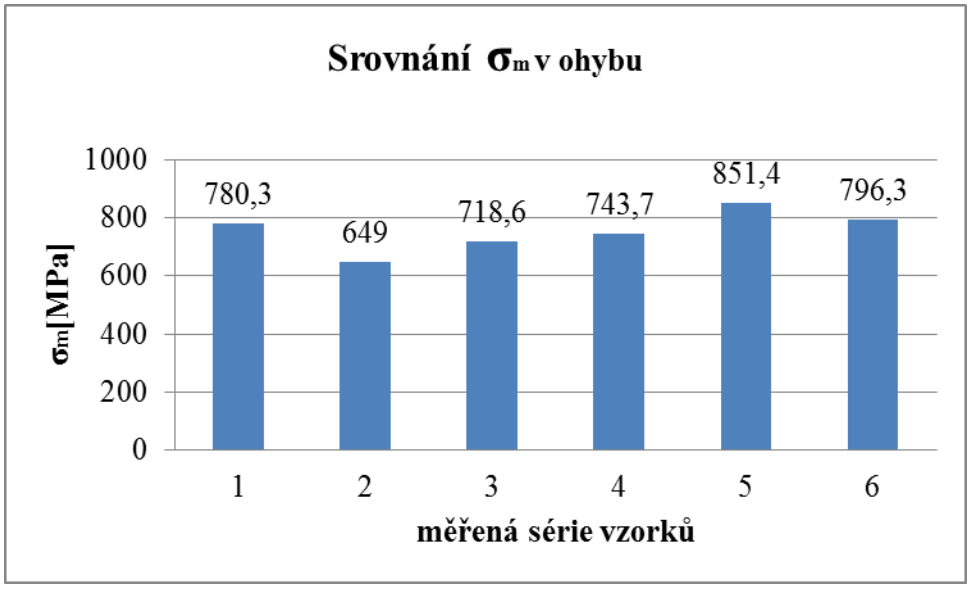
Obr. 30 Srovnání σ_m v ohybu – vzorek č.5

Tab. 17 Vzorek č. 6 gelcoat S260V

	a_0	b_0	σ_m	ε_m	Δl	E
Nr	mm	mm	MPa	%	mm	MPa
6-1	3,9	26	868	3,32	5,81	9633
6-2	3,7	26,5	823,7	3,31	6,1	8115
6-3	3,5	26,7	806,8	2,95	5,75	11663
6-4	3,8	26,3	770,8	3,23	5,8	8763
6-5	3,8	26,4	712,5	3,22	5,79	8060
průměr	3,74	26,38	796,3	3,21	5,85	9247
s	0,15	0,26	58,5	0,15	0,14	1493
v	4,06	0,98	7,34	4,68	2,42	16,14



Obr. 31 Srovnání σ_m v ohybu – vzorek č. 6



Obr. 32 Srovnání průměrných hodnot σ_m v ohybu

Vyhodnocení zkoušky v ohybu

Z uvedeného grafu vylývá, že nejoptimálnější výsledky v ohybových vlastnostech dosáhl vzorek č. 5 s gelcoatem Norpol NGA HX3 RAL 7005. Nejméně vyhovujících parametrů dosáhl vzorek č. 2 s gelcoatem S260V.

5.4 Zkouška v tahu

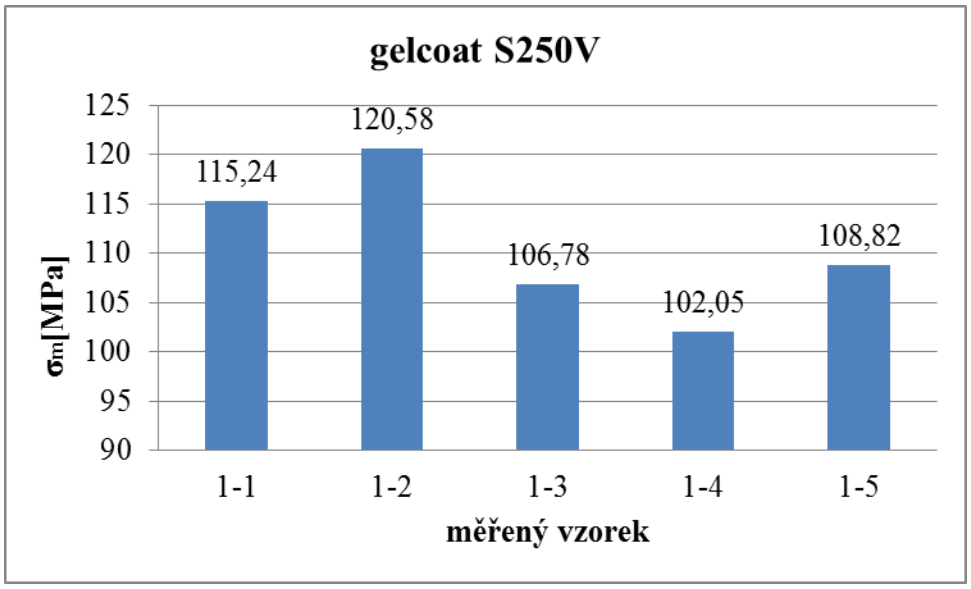
Podstata zkoušky

Zkušební těleso je protahováno ve směru své hlavní podélné osy konstantní rychlostí do jeho porušení, nebo okamžiku, kdy napětí v tahu (zatížení) nebo protažení (poměrné prodloužení) dosáhnou předem zvolené hodnoty. Během zkoušky se měří zatížení působící na zkušební těleso a prodloužení.

Naměřené hodnoty u zkoušky tahem

Tab. 18 vzorek č. 1 gelcoat S250V

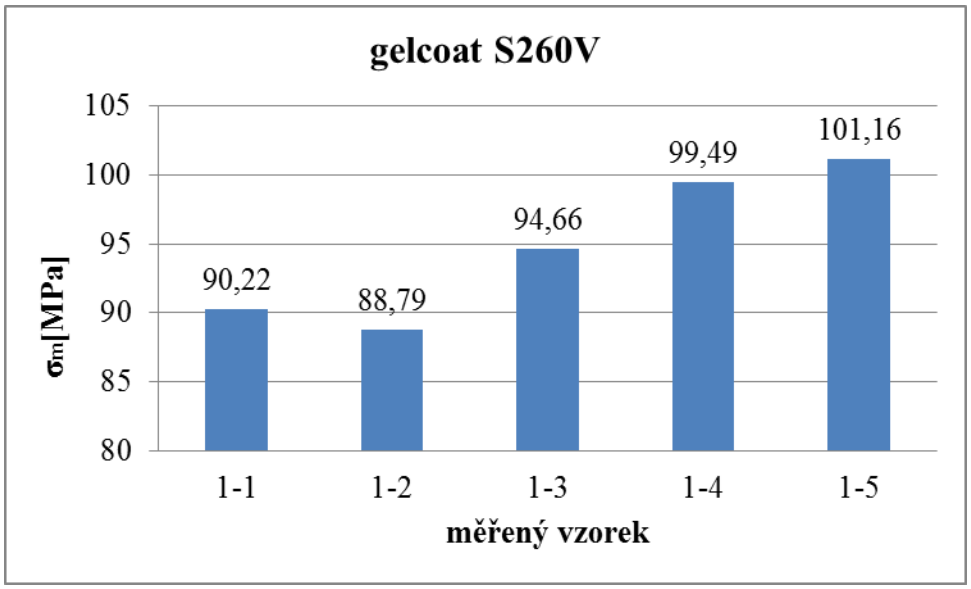
	a_0	b_0	σ_m	E	F
Nr	mm	mm	MPa	MPa	N
1-1	3,6	25	115,24	10525	10371
1-2	3,8	25	120,58	10783	11455
1-3	3,6	25,6	106,78	4929,9	9841,2
1-4	3,6	25,6	102,05	10445	9405,4
1-5	3,7	25,6	108,82	9850,2	10307
průměr	3,66	25,36	110,69	9307	10276
s	0,08	0,32	7,28	2470	766
v	2,44	1,3	6,58	26,54	7,45



Obr. 33 Srovnání σ_m v tahu – vzorek č. 1

Tab. 19 Vzorek č. 2 gelcoat S260V

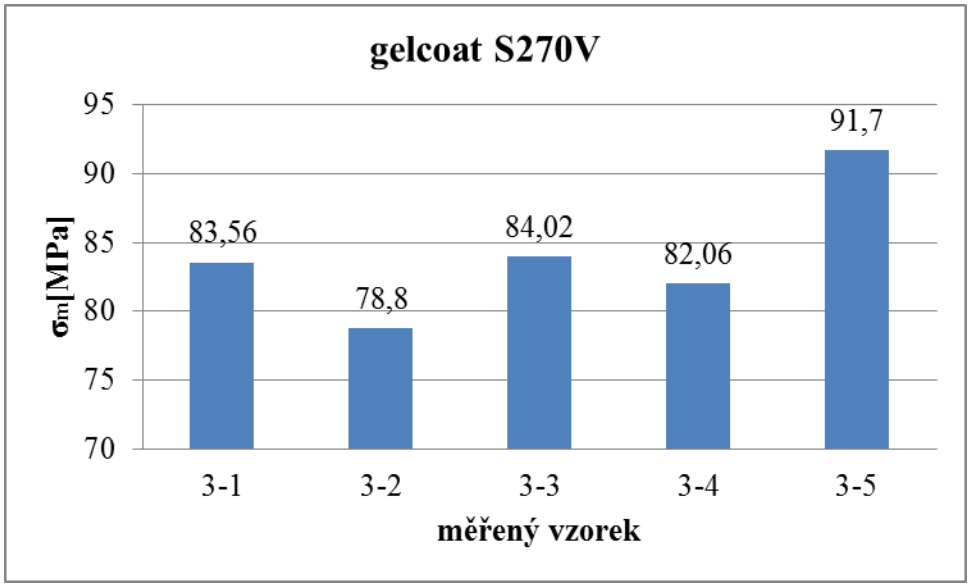
	a_0	b_0	σ_m	E	F
Nr	mm	mm	MPa	MPa	N
2-1	4	27,6	90,22	8801	9960,6
2-2	4	27,6	88,79	8915,3	9802,7
2-3	3,6	28,2	94,66	9770,9	9610,1
2-4	3,6	27,3	99,49	9468,1	9778,1
2-5	3,6	27,3	101,16	9702,8	9942,4
průměr	3,76	27,6	94,86	9332	9818,8
s	0,21	0,36	5,47	448	142,2
v	5,83	1,33	5,76	4,81	1,45



Obr. 34 Srovnání σ_m v tahu – vzorek č. 2

Tab. 20 Vzorek č. 3 gelcoat S270V

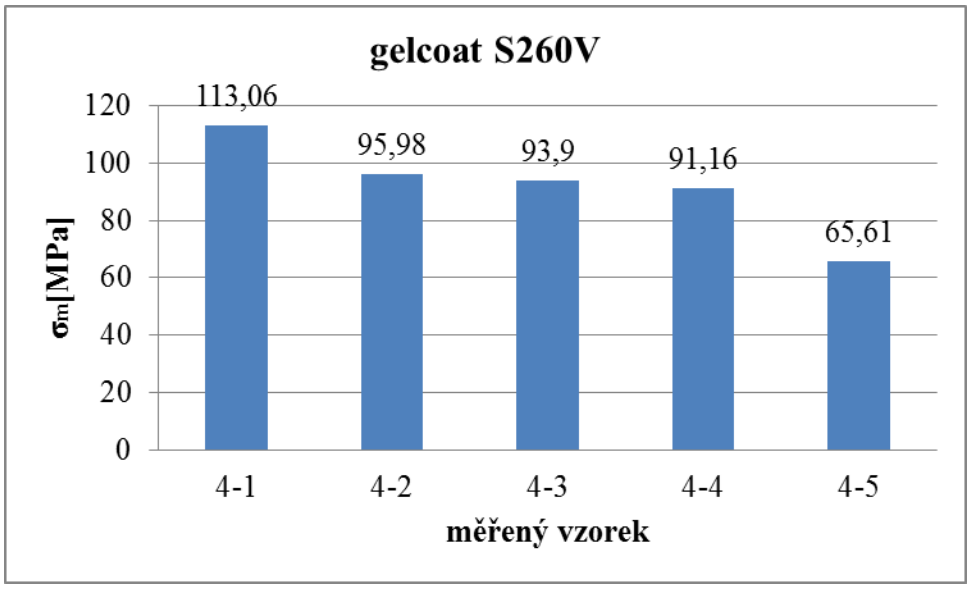
	a_0	b_0	σ_m	E	F
Nr	mm	mm	MPa	MPa	N
3-1	3,6	27,3	83,56	10751	8211,9
3-2	4,2	27,1	78,8	8410,7	8969,3
3-3	4,2	26,8	84,02	8991,7	9457,7
3-4	4,2	26,8	82,06	9929,3	9236,3
3-5	4,2	26,8	91,7	10447	10321
průměr	4,08	26,96	84,03	9706	9239,3
s	0,26	0,23	4,75	985	766
v	6,58	0,85	5,65	10,15	8,29



Obr. 35 Srovnání σ_m v tahu – vzorek č. 3

Tab. 21 Vzorek č. 4 gelcoat S260V

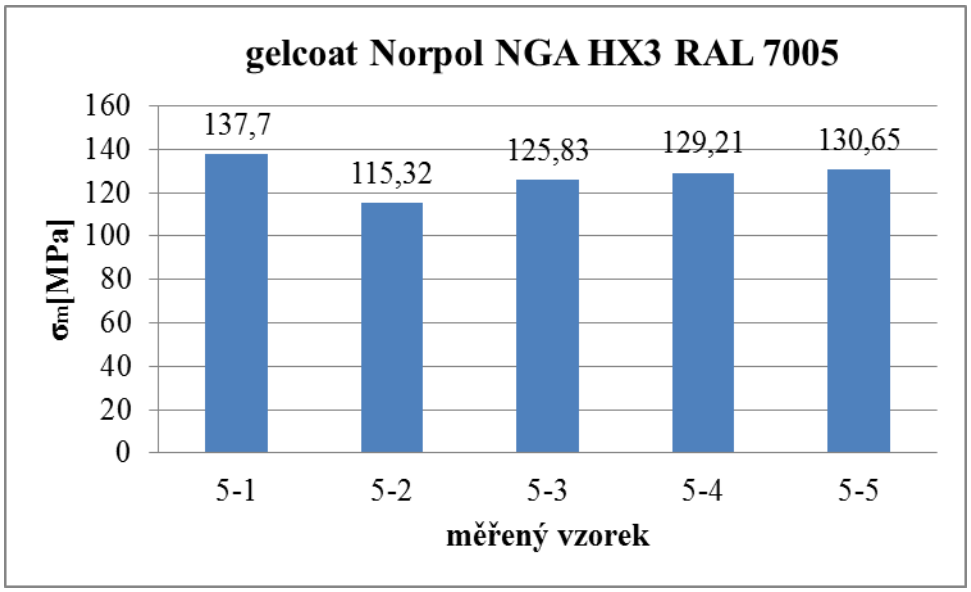
	a_0	b_0	σ_m	E	F
Nr	mm	mm	MPa	MPa	N
4-1	3,1	27,4	113,06	12854	9603,2
4-2	3,9	27,1	95,98	11485	10144
4-3	3,8	27,1	93,9	10955	9670,3
4-4	4	30,4	91,16	11880	11085
4-5	4	30,4	65,61	9131,8	7978,6
průměr	3,76	28,48	91,94	11216	9696,2
s	0,38	1,75	17,03	1378	1128
v	10,06	6,17	18,52	12,24	11,63



Obr. 36 Srovnání σ_m v tahu – vzorek č. 4

Tab. 22 Vzorek č. 5 gelcoat Norpol NGA HX3 RAL 7005

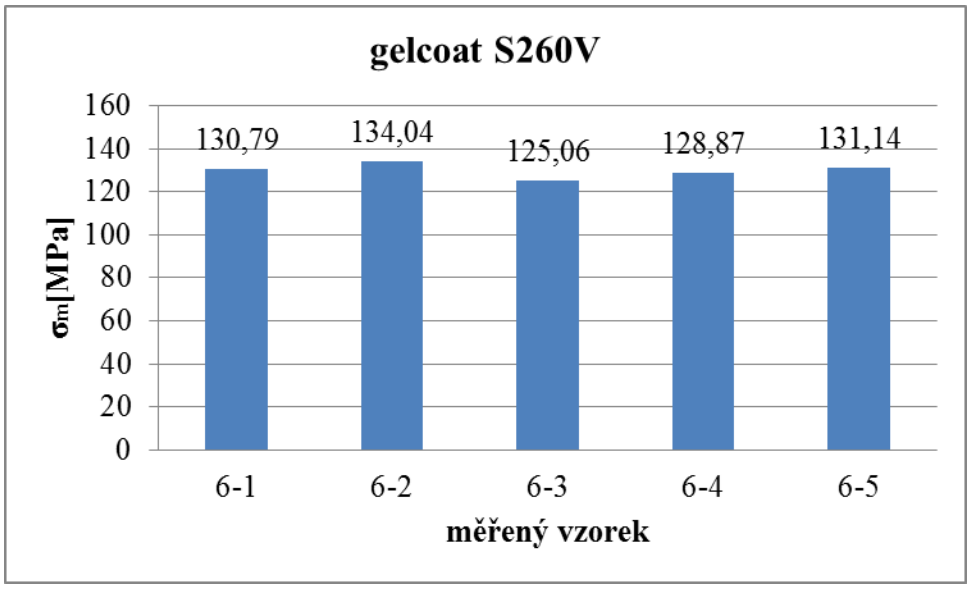
	a_0	b_0	σ_m	E	F
Nr	mm	mm	MPa	MPa	N
5-1	3,6	27	137,7	11596	13384
5-2	3,7	28,5	115,32	10855	12161
5-3	3,4	27,3	125,83	10851	11680
5-4	3,7	28,7	129,21	10871	13721
5-5	3,8	26,1	130,65	12715	12958
průměr	3,64	27,52	127,74	11378	12781
s	0,15	1,08	8,18	813	848
v	4,17	3,93	6,40	7,14	6,63



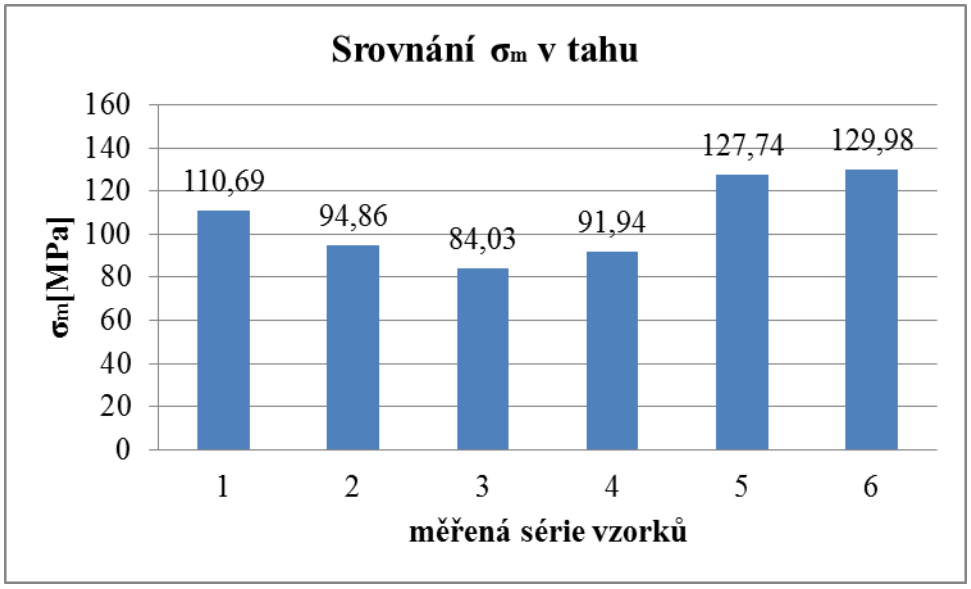
Obr. 37 Srovnání σ_m v tahu – vzorek č. 5

Tab. 23 Vzorek č. 6 gelcoat S260V

	a_0	b_0	σ_m	E	F
Nr	mm	mm	MPa	MPa	N
6-1	3,8	27,4	130,79	11772	13618
6-2	3,7	27,4	134,04	11961	13589
6-3	3,6	28,4	125,06	12866	12786
6-4	3,7	26,8	128,87	12049	12779
6-5	3,8	27,1	131,14	11234	13505
průměr	3,72	27,42	129,98	11976	13256
s	0,08	0,60	3,31	589	434
v	2,25	2,19	2,55	4,92	3,27



Obr. 38 Srovnání σ_m v tahu – vzorek č. 6



Obr. 39 Srovnání průměrných hodnot σ_m v tahu.

Vyhodnocení tahové zkoušky

Nejvhodnějších vlastností v tahu (maximální síla F) dosáhl vzorek č. 6 s gelcoatem S260V. Nejmenší sílu dosáhl vzorek č. 3. s galcoatem S270V.

5.5 Vyhodnocení vzorků dle LOI

Výsledky zkoušky LOI

Stanovení kyslíkového čísla je vhodným nástrojem pro porovnání hořlavosti materiálů navzájem, nebo k orientačnímu určení stupně samozhášivosti materiálu dle vybraných evropských norem používaných v dopravních prostředků (porovnávací tab. č. 24).

Tab. 24 Normy v jednotlivých zemích při splnění rozsahu LOI

ASTM 2863 Oxygen index LOI(Low) LOI(High)	UK BS 476 Part 6,7	Germany 4102	5510	France NF P 92-501	USA ASTM E84 UL94 UL94			Euroclass Single Burning Item (SBI)
41 ↔ 50	Class 0	Class A2	S4	M1	25	5V	0	B
34,5 ↔ 41	Class 1	Class B1	S4	M2	50	0	1	B/C
28,5 ↔ 34,5	Class 2	Class B2	S3	M3	100	0	2	C/D
22 ↔ 28,5	Class 3	Class B3	S2	M4	>100	1	3	D/E
19 ↔ 22	Class 4	–	–	M5	>100	2	4	–

Z hlediska vzájemného porovnání našich testovaných vzorků nejvyšší kyslíkové číslo (nejlepší samozhášivost) dosáhl vzorek č. 4, nejmenší vzorek č. 5. V případě určení kyslíkového čísla samotných gelcoatů má nejvyšší kyslíkové číslo gelcoat S 260 V, nejmenší má vynilesterový gelcoat S270V – předpokládaná lepší samozhášivost se nepotvrdila. U samostatných pryskyřic se potvrdili informace z materiálového listu o vyšší samozhášivosti pryskyřice Firestop 5000-W-1, která dosáhla kyslíkové číslo 39,4 v porovnání s pryskyřicí Synolite 8175-W-1 - kyslíkové číslo 25,6.

Tab. 25 Kyslíkové čísla jednotlivých materiálů

Vzorek	Gelcoat	Matrice	Výztuž	LOI
1	S 250 V	Synolite 8175-W-1	1x skl. rohož 300 g/m2 3x skl. rohož 450 g/m2	34,2
2	S 260 V	Synolite 8175-W-1	1x skl. rohož 300 g/m2 3x skl. rohož 450 g/m2	33
3	S 270 V	Firestop 5000-W-1	5x skl. rohož 300 g/m2	40,4
4	S 260 V	Firestop 5000-W-1	5x skl. rohož 300 g/m2	43,7
5	NORPOL NGA HX3 RAL 7005	Synolite 8175-W-1	1x skl. rohož 300 g/m2 3x skl. rohož 450 g/m2	32,6
6	S 260 V	Synolite 8175-W-1	1x skl. rohož 300 g/m2 3x skl. rohož 450 g/m2	35,5
7	S 250 V	-	-	29
8	S 260 V	-	-	31
9	S 270 V	-	-	26,9
10	NGA HX3 RAL 9010	-	-	30,3
11	-	Synolite 8175-W-1	-	25,6
12	-	Firestop 5000-W-1	-	39,4

5.6 Diskuze výsledků

Diplomová práce se zabývá FST vlastnostmi šesti druhů materiálových kombinací - 4 různých gelcoatů a dvou různých pryskyřic. Vyrobené vzorky s těmito gelcoaty byly testovány čtyřmi zkouškami. A to zkouškou požární odolnosti, stanovením tahových a ohybových vlastnost a měřením limitního kyslíkového čísla. Testované vzorky byly vyráběny ruční laminací.

U zkoušky požární odolnosti byla posuzována míra prohoření, odlupování částic, odkapávání a ohořelá plocha s gelcoatem. Cílem této zkoušky bylo vyhodnotit gelcoat, který je nejvíce odolný proti plamenu. Tato zkouška je důležitá z hlediska bezpečnosti. Nejlépe testování podle této normy vyhověl vzorek č. 6 s gelcoatem S260V. Tento vzorek byl zařazen do kategorie s označením A. To znamená, že žádné místo nežhnulo déle než 10 s po uhasnutí plamene.

Pevností zkoušky tahových a ohybových vlastností byly provedeny v laboratoři UTB na univerzálním stroji ZWICK 1456. Při této zkoušce bylo vyhodnocovány charakteristiky dané příslušnou normou. Výsledky naměřených hodnot ovlivňuje jak typ výztuže a její obsah, tak naměřené hodnoty závisí na průřezu vzorku a z části i na použité matrici. Nejvyšší hodnoty byly naměřeny u vzorku č.5.

Nejvyšší síla byla naměřena u vzorku č. 6, F=13 256 N. Nejnižší hodnota byla naměřena u vzorku č. 3, F=9 239 N. Tento rozdíl je dán rozdílnou skladbou výztuže a průřezem vzorku.

Vrstva gelcoatu mechanické vlastnosti zkoušených vzorků neovlivňuje. Gelcoat je záležitost povrchové úpravy např. pro lakování.

Ve zkoušce na kyslíkové číslo, která byla prováděna podle normy ČSN ISO 4589-2 v společnosti SYNPO a.s. Pardubice. dosáhl nejlepších výsledků vzorek č. 4 . Kyslíkové číslo této materiálové kombinace je 43,7.

Ze souboru provedených zkoušek byla vybrána jako nejoptimálnější kombinace matrice Synolite 8175-W-1 a gelcoat S 260 V. Dosáhla nejlepších mechanických vlastností vzhledem k optimálním FST vlastnostem.

Nejlepších vlastností z hlediska samozhášivosti vykazuje vzorek č. 4, který dosahuje nejlepších FST vlastností jak z hlediska zkoušky dle UIC 564.2, tak z hlediska určení kyslíkového čísla. Úbytek mechanických vlastností u tohoto materiálu je pravděpodobně způsoben

vyšším obsahem plniv snižujících hořlavost (např. hydrát hlinitý Al_2O_3). V případe nutnosti potřeby dosáhnut tyto vlastnosti je nezbytně důležité respektovat toto snížení mechanických vlastností a volit jiné typy výztuží případně volit větší tloušťku materiálů. (Určení vlivu typu a obsahu sklovýztuže nebyli cílem této diplomové práce.). Určená materiálová kombinace by dle tabulky č. 24 mohla splňovat podmínky francouzské normy NF P 92-501 v nejpřísnějším stupni M1, nebo podmínky německé normy DIN 5510 stupeň. S4.

Velmi dobrých FST vlastností dosáhl i výše zmíněný vzorek č. 6 (hlavně u zkoušky plamenem – prohořelá plocha je pouze 38 cm^2). Vynikající FST vlastnosti se nepotvrdili, ale u zkoušky určení LOI, kde dosáhl nižších hodnot (35,5). Malá plocha prohoření je pravděpodobně způsobena použitím gelcoatu S 260 který dosahuje i nejlepší kyslíkové číslo ve srovnání s ostatníma gelcoaty (LOI=31). Tento vzorek by mohl být zařazen do kategorie M2 francouzské normy NF P 92-501, nebo do kategorie S4 německé normy DIN 5510. Tato skutečnost odpovídá i materiálovému listu pryskyřice Synolite 8175-W-1, kde ovšem není uvedený typ gelcoatu. V případě kombinace této pryskyřice s gelcoatem S250V by zřejmě uvedený stupeň francouzské normy nedosáhl. Z těchto důvodu je zřejmé, že gelcoat typu S260V je jeví jako nejvhodnější kandidát pro použití v kompozitních produktech zodpovídajících uvedeným standardům.

ZÁVĚR

Cílem diplomové práce bylo poukázat na důležitost měření veličin hořlavosti, kyslíkového čísla, maximálního namáhání v tahu a ohybu kompozitních materiálu. Práce je zaměřená na mechanické vlastnosti a FST vlastnosti kombinace šesti různých druhů v zorku, čtyřech druhu gelcoatů v kombinaci se dvěma samozhášivýma polyesterovými pryskyřicemi. Výsledky testování poskytli cenné informace o jejích mechanickém chování a zároveň jejich odolnosti vůči ohni (požární odolnost a limitní kyslíkové číslo).

Diplomová práce prokazuje důležitost poznání vlivu jednotlivých složek kompozitu na samozhášivost celého kompozitního systému. Zjišťování těchto informací má vliv i na výslednou cenu materiálu. Častokrát drahé komponenty materiálu nemusí znamenat automaticky lepší mechanické nebo fyzikální vlastnosti. Uvedená práce potvrdila poměrně výrazný vliv gelcoatu na samozhášivost kompozitu (samozřejmě závisí to i od testovací metodiky, působení plamene atd..), a proto se musí věnovat náležitá pozornost i tomuto komponentu v kompozitech.

Mechanické vlastnosti kompozitního materiálu jsou z velké míry nezávislé na doporučovaném gelcoatu a závisí v převážné míre na použité matrici (a množství plniva obsahující) a použitím typu a obsahu skelné výztuže. Právě vliv těchto složek na samozhášivost by mohl být téma dalších měření či diplomových prací. Taktéž další důležitou téma budoucích prací by mělo být testování samozhášivosti dle jiných různých metodik testování a jejích vzájemné porovnání.

Diplomová práce byla dále prospěšná k orientačnímu posouzení materiálů, resp. jejich kombinací vzhledem k evropským normám jako je DIN 5510 nebo NF P 92-501. Testování dle těchto norem je časově i finančně náročné, proto již orientační zjištění samozhášivosti dle jednodušších postupů zaručuje rychlejší a levnější materiálovou certifikaci v podnicích zabývajících se výrobou samozhášivých kompozitů.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

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

[2] JANČÁŘ, J. . *Úvod do materiálového inženýrství polymerních kompozitů*. Vyd. 1. Brno : Vysoké učení technické v Brně, Fakulta chemická, 2003. 193 s. Dostupné z WWW: <http://wood.mendelu.cz/cz/sections/Props/?q=filebrowser/MVD/Jancar+-+Uvod+do+materialoveho+inzenyrstvi+kompozitu>. ISBN 8021424435.

[3] http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/stud_materialy/vip/horlavost.pdf

[4] Interní dokumentace firmy Form, s.r.o.

[5] LIPTÁKOVÁ, T.; ALEXY, P.; GONDÁR, E.; KHUNOVÁ, V. *Polymérne technické materiály* : Vysokoškolská učebnica pre technické smery [online]. [s.l.] : [s.n.], 2009 [cit. 2011-04-18]. Dostupné z WWW: <http://kmi2.uniza.sk/?page_id=162>.

[6] Kompozitní materiál. In Wikipedia : the free encyclopedia [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikipedia Foundation, , last modified on 10. 2. 2011 v 08:44 [cit. 2011-05-27]. Dostupné z WWW: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Kompozitní_materiál>.

[7] BAREŠ, R.A.: *Kompozitní materiály*. SNTL Praha, 325 s, 1988.

[8] KOŘÍNEK. Kompozity. [online]. [cit. 2011-12-08]. Dostupné z: http://www.volny.cz/zkorinek/

[9] FORM, Horní Lideč, Kompozitní materiály, s. 53, 2010.

[10] NELEŠOVSKÝ, Tomáš. *Studium různých druhů plniv na hořlavost a viskozitu polyesterových pryskyřic*. 2011. Bakalářská práce. UTB.

[11] RUSNÁKOVÁ, Soňa. Přednáška - kompozitní materiály. In: [online]. [cit. 2011-11-10].

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

a_0	rozměr vzorku
$Al(OH)_3$	hydroxid hlinitý
b_0	rozměr vzorku
$CaCO_3$	vápenec
cm	centimetr
ČSN	česká státní norma
DCPD	dicyklopentadien
E	modul pružnosti
EP	epoxidová pryskyřice
F	síla
F_{max}	maximální dosažená síla
FST	fire smoke toxicity
HČ	údaj, zda nastalo skapávání hořících částic nebo kapek
HH	údaj zda nastalo prohoření k horní straně zkušebního vzorku
$CH=CH_2$	vinylová skupina
CH_2	spojovací metylenová skupina
Kg	kilogram
l	délka
LOI	metoda kyslíkového čísla
LP	objemové smrštění
LS	délkové smrštění
MA-R	metylakrylátová pryskyřice
$Mg(OH)_2$	hydroxid hořečnatý
MJ	megajoule
N	newton.
N	dusík
Nr	pořadové číslo vzorku
O_2	kyslík
P(s)	doba dohořívání vzorku po uhašení etanolového plamene
PFA-R	fenykrylátová pryskyřice
r	poloměr
R_m	mez pevnosti
RTM	vysokotlaké vstřikování
s	sekunda
y	průhyb
$S(cm^2)$	plocha požárem poškozeného zkušebního tělesa po zkoušce
Sb_2O_3	oxid antimonitý
SMC	standardních lisovací hmota
UL 94	testovací metoda
UPR	hořlavá pryskyřice
UP-R	nenasycená polyesterová pryskyřice

UV	ultrafialové záření
V	objem
VEP	vytvrzovací epoxidová pryskyřice

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Rozdělení kompozitních materiálů dle výztuže [3] 16
Obr. 2 Typ nové tramvaje 21
Obr. 3 Přehled zkoušek hořlavosti používaných po celém světě dle normy, kterou musí splňovat [20] 23
Obr. 4 Reaktivní a nereaktivní modifikátory [8] 27
Obr. 5 Přístroj ke stanovení limitního kyslíkového čísla [3] 28
Obr. 6 Ukázka zkoušky metodou kyslíkového čísla „LOI‘‘ [3] 29
Obr. 7 Ukázka uspořádání testovací metody UL 94 [5] 30
Obr. 8 Testovací metoda za použití kahanu 30
Obr. 9 Pohled na gelcoatovou vrstvu nanesenu stříkáním 37
Obr. 10 Schéma ruční laminace [8] 37
Obr. 11 Držák zkušebních desek 42
Obr. 12 Držák kahanu 42
Obr. 13 Barometr- meteorologická stanice 43
Obr. 14 Ostatní použité pomůcky 43
Obr. 15 Sekvence zkoušky vzorku 45
Obr. 16 Porovnání prohoření gelcoatu a pryskyřice vzorku č. 1 46
Obr. 17 Porovnání prohoření gelcoatu a pryskyřice vzorku č. 2 47
Obr. 18 Porovnání prohoření gelcoatu a pryskyřice vzorku č. 3 48
Obr. 19 Porovnání prohoření gelcoatu a pryskyřice vzorku č. 4 49
Obr. 20 Porovnání prohoření gelcoatu a pryskyřice vzorku č. 5 50
Obr. 21 Porovnání prohoření gelcoatu a pryskyřice vzorku č. 6 51
Obr. 22 Měřící prístroj 52
Obr. 23 Samotné měření žárem poškozené plochy 52
Obr. 24 Zkouška tříbodovým ohybem 53
Obr. 25 Testovací stroj ZWICK 1456 54
Obr. 26 Srovnání σ_m v ohybu – vzorek č. 1 55
Obr. 27 Srovnání σ_m v ohybu – vzorek č. 2 56
Obr. 28 Srovnání σ_m v ohybu – vzorek č. 3 57
Obr. 29 Srovnání σ_m v ohybu – vzorek č. 4 58
Obr. 30 Srovnání σ_m v ohybu – vzorek č.5 59

Obr. 31 Srovnání σ_m v ohybu – vzorek č. 6 60

Obr. 32 Srovnání průměrných hodnot σ_m v ohybu 61

Obr. 33 Srovnání σ_m v tahu – vzorek č. 1 62

Obr. 34 Srovnání σ_m v tahu – vzorek č. 2 63

Obr. 35 Srovnání σ_m v tahu – vzorek č. 3 64

Obr. 36 Srovnání σ_m v tahu – vzorek č. 4 65

Obr. 37 Srovnání σ_m v tahu – vzorek č. 5 66

Obr. 38 Srovnání σ_m v tahu – vzorek č. 6 67

Obr. 39 Srovnání průměrných hodnot σ_m v tahu. 68

SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Ovlivnění vlastností nenasycených polyesterových pryskyřic modifikací [1] 13
Tab. 2 Vlastnosti a použití různých nenas. polyesterových pryskyřic [1] 14
Tab. 3 Přehled zkoušek hořlavosti používaných v dopravním průmyslu dle normy UIC 564-2 22
Tab. 4 Tabulka zkušebních vzorků 38
Tab. 5 Zařazení do kategorií platné pro netermoplastické materiály 40
Tab. 6 Naměřené hodnoty vzorku č. 1 46
Tab. 7 Naměřené hodnoty vzorku č. 2 47
Tab. 8 Naměřené hodnoty vzorku č. 3 48
Tab. 9 Naměřené hodnoty vzorku č. 4 49
Tab. 10 Naměřené hodnoty vzorku č. 5 50
Tab. 11 Naměřené hodnoty vzorku č. 6 51
Tab. 12 Vzorek č. 1 gelcoat S250V 55
Tab. 13 vzorek č. 2 gelcoat S260V 56
Tab. 14 Vzorek č. 3 gelcoat S270V 57
Tab. 15 Vzorek č. 4 gelcoat S260V 58
Tab. 16 Vzorek č. 5 gelcoat Norpol NGA HX3 59
Tab. 17 Vzorek č. 6 gelcoat S260V 60
Tab. 18 vzorek č. 1 gelcoat S250V 62
Tab. 19 Vzorek č. 2 gelcoat S260V 63
Tab. 20 Vzorek č. 3 gelcoat S270V 64
Tab. 21 Vzorek č. 4 gelcoat S260V 65
Tab. 22 Vzorek č. 5 gelcoat Norpol NGA HX3 66
Tab. 23 Vzorek č. 6 gelcoat S260V 67
Tab. 24 Normy v jednotlivých zemích při splnění rozsahu LOI 68

SEZNAM PŘÍLOH

PI BÜFA®-FIRESTOP 5001-W-2

PII SYNOLITE 8175-W-1

PIII BÜFA®-FIRESTOP GC S 260-SV

PIV NORPOL NGA HX3

PV OLDOPAL S 250 V

PVI BÜFA®-Firestop GC S 270-NV GREY BF-70035

PŘÍLOHA P I: BÜFA®-FIRESTOP 5001-W-2

Technical Data Sheet

BÜFA Gelcoat Plus

BÜFA®-FIRESTOP 5001-W-2

UP Fire Protection Resin Prod. No. 716-5002

Product description

BÜFA®-Firestop 5001-W-2 is a pre-accelerated, thixotropic, moderately reactive, low viscosity laminating resin. It is made of unsaturated polyester resin dissolved in styrene and methyl methacrylate.

The resin is halogen-free and contains aluminium hydroxide as a flame retardant.

Applications

BÜFA®-Firestop 5001-W-2 is used for the production of moulded parts with fire protection properties and is mainly used in transport and boat construction areas as well as the building trade. BÜFA®-Firestop 5001-W-2 is distinguished by excellent resistance to fire and very low emission of smoke and toxic gasses

Specifications / technical data

Property	Test method	Value	Unit
Solid content	EN ISO 1172	77,5 - 81,5	%
Stability	TM 2300C	> 60	min
Viscosity at 23 °C Physica Z 2, 20 s-1	TM 2313	900 - 1200	mPas
Viscosity at 23 °C Physica Z 2, 50 s-1	TM 2313	620 - 780	mPas
Viscosity at 23 °C Physica Z 2, 250 s-1	TM 2313	420 - 480	mPas
Density at 23 °C	TM 2160	1620	kg/m³

Curing

Reactivity:
BÜFA method in accordance with DIN 16 945 6.2.2.1
(100 g resin + 0.5 g DEAA Promotor (742-0090)
+ 2.5 g Butanox M-50)

25 - 35 °C	30 - 45 min
25 °C - Tmax	45 - 65 min
Tmax	55 - 70 °C

PŘÍLOHA P I: BÜFA®-FIRESTOP 5001-W-2

BÜFA
Gelcoat Plus

BÜFA®-FIRESTOP 5001-W-2

UP Fire Protection Resin Prod. No. 716-5002

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.

Mechanical Properties

To achieve the best mechanical and fire protection properties, conditioning for at least 4 hours at + 80 - 90 °C is recommended.

Properties of the cured base resin

Property*	Test method	Value
Heat distortion temperature (HDT)	ASTM D648B	> 90 °C

Directions for use

Due to the thixotropic stabilisation of the resin, there is practically no settling out of the filler. 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.

Before working in closed moulds, 1 - 2 % 742-0018 OLDOPAL Viscosity Reducer should be added to the resin to further optimise working consistence. Larger quantities should be avoided to maintain its fire protection properties. The addition of styrene or MMA to reduce viscosity should also be avoided.

When laminating with BÜFA®-Firestop 5001-W-2, the glass mat must be thoroughly and quickly impregnated to prevent fibres from standing and wrapping around the laminating roller. This can be achieved by:

1) Applying strong pressure on the roller when applying to force impregnation

2) Removing air from the glass/resin mixture by working over quickly and vigorously with a de-airing roller

PŘÍLOHA P I: BÜFA®-FIRESTOP 5001-W-2

BÜFA
Gelcoat Plus

BÜFA®-FIRESTOP 5001-W-2

UP Fire Protection Resin Prod. No. 716-5002

The best textile glass mat for this purpose is an open, emulsion bound mat which can be more quickly impregnated by the resin. To facilitate de-airing, the resin should be given sufficient time to impregnate the mat evenly and homogenously. Also make sure that the "bottom side" of the mat – this is the inside of the glass mat roll – is placed on the mould or gelcoat. Our Technical Service Department should be consulted before using rigid foams or other core materials.

Better full cure of the entire system is achieved by adding BÜFA®-DEAA-Promotor (742-0090). After the promotor has been added, the resin mixture is stable for max. 24 hours.

Note:

To achieve optimal mechanical and fire protection properties, the moulded parts should be post-cured for at least 8 hours at + 80 °C.

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.

Fire protection properties

IMO Res. MSC 61(67) FTP Code Annex 1, part 2:
Smoke density, Dm < 200
IMO Res. MSC 61(67) FTP Code Annex 1, part 2:
Toxicity test
IMO Res. MSC 61(67) FTP Code Annex 1, part 5:
Calorific power
IMO Res. A 653(16) FTP Code MSC 61(67) Annex 1, part 5:
Surface flammability

Further orientation tests produced the following results:
NFP 92-501: M1
NFF 16-101: F0
TS EN 45545: HL 2

PŘÍLOHA P I: BÜFA®-FIRESTOP 5001-W-2

BÜFA
Gelcoat Plus

BÜFA®-FIRESTOP 5001-W-2

UP Fire Protection Resin Prod. No. 716-5002

Storage/Handling	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.

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.

BUFA Gelcoat Plus GmbH & Co. KG
Hohe Looge 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 company of BÜFA and DSM Composite Resins

PŘÍLOHA P II: SYNOLITE 8175-W-1

SYNOLITE 8175-W-1

(datum poslední revize 08/2002)

Výrobce: DSM Structural Resins

Složení:

SYNOLITE 8175-W-1 je nenasycená polyesterová pryskyřice ***retardovaná vůči hoření.***

Pryskyřice je prostá halogenovaných sloučenin, předurychlená, tixotropní, s obsahem aditivujících plniv.

Účinnou látkou retardující hoření je aluminiumhydroxid trihydrát. Obsahuje aditiva snižující emisi styrenu při zpracování pryskyřice.

Použití:

Je vhodná pro zhotovování dílců pro strojírenství, silniční a lodní dopravu, na které jsou kladeny zvláštní nároky z hlediska požárně-technických vlastností..

Metody zpracování: ruční laminace, navíjení.

Vlastnosti **SYNOLITE 8175-W-1** *v nevytvrzeném stavu:*

vlastnost	hodnota	jednotka	předpis
barva	světle béžová	-	TM 2265
viskozita	1100-2100	mPa.s	ISO 2555
Brookfield RVF Spl 3 rpm 20, 23℃			
netěkavý podíl, IR	74-77	%	TM 2033
skladovatelnost	4	měsíc	TM 2800

Želatinační doba při 20℃ :

+ 2,0 ml CUROX M-300	*15-20 min*
+ 1,0 ml CUROX M-300	*25-30 min*
+ 2,0 ml CUROX M-100	*35-50 min*

Zpracování:
Díky vysoké tixotropii je pryskyřice maximálně stabilizována proti usazování plniv.
Proto lze dobu míchání minimalizovat; před použitím doporučujeme promíchat pryskyřici po dobu cca 15 minut.
Nejvhodnějším typem sklovýztuže je emulzně pojená skleněná pramencová rohož, která je tímto typem pryskyřice velmi snadno a rychle impregnována.

Poznámka:
Pro dosažení optimálních mechanických a požárně-technických vlastností je třeba hotové dílce dotvrdit min po dobu 8 hodin při teplotě 80℃.

PŘÍLOHA P II: SYNOLITE 8175-W-1

Požárně-technické vlastnosti
(3mm laminát vyztužený 30% skleněnou rohoží)

CERTIFIKÁT dle DIN 5510 díl 2:

Třída hořlavosti:	S 4
Třída vývinu kouře:	SR 2
Třída odkapávání:	ST 2

CERTIFIKÁT dle AFNOR NF P92-507:

NF P 92-507:	M 2

Skladování a zpracování:
Pryskyřice musí být skladována v uzavřených nádobách v chladu a bez přístupu slunečního záření. Při správném skladování do teploty 20℃ v neotevřených originálních obalech je záruční doba nejméně 4 měsíce. Delší skladování může mít vliv na změnu průběhu vytvrzovací charakteristiky.

Bezpečnost a ochrana zdraví při práci, hygiena:
Nenasycená polyesterová pryskyřice je hořlavinou II. třídy nebezpečnosti. Pracoviště musí být označeno výstražnou tabulkou *„Nebezpečí požáru"* a vybaveno hasícími přístroji (sníh, pěna). Dále musí být zabezpečeno účinné větrání.
Na pracovišti musí být prostředky první pomoci.

Při práci s pryskyřicí a jakoukoli manipulací je nutno používat osobní ochranné pomůcky, tj. ochranný pracovní oděv, nepropustné rukavice, čepice, ochranné brýle nebo štít. Při nedostatečném větrání je třeba použít ochrannou masku s filtrem zachycujícím organické páry a plyny (styren). Na pracovišti je zakázáno jíst, pít, kouřit a používat otevřený oheň.

Důležité zásady hygieny:

1) Pracovní oděv a osobní ochranné pomůcky musí být udržovány v čistotě. Nefunkční a poškozené pomůcky je třeba vyměnit.

2) Po práci je nutno omýt obličej, ruce a nechráněné části těla. Totéž je nutno provést před jídlem, pitím, zapálením cigarety jakož i před použitím toalety.

3) Pokud došlo k potřísnění pokožky, je třeba pryskyřici odstranit, postižená místa omýt mýdlem a vodou, potřít regeneračním krémem.

První pomoc
1) Zasažení oka
- vyplachovat oko proudem čisté vlažné vody 15 minut
- vyhledat lékařskou pomoc
- v žádném případě nepoužívat k ošetření oka masti !

2) Potřísnění pokožky
- odstraňte znečistěný oděv
- pokožku důkladně omyjte mýdlem a tekoucí vodou
- ošetřete regeneračním krémem
- při větším rozsahu potřísnění vyhledejte lékaře

3) Nadýchání
- vyveďte postiženého na čerstvý vzduch
- postižený se nesmí fyzicky namáhat
- při příznacích otravy vyhledejte lékaře
4) Požití
- vypláchněte ústa velkým množstvím vody
- vypijte větší množství vlažné vody a vyvolejte zvracení
- vyhledejte lékařskou pomoc

Výsledky uvedené v tomto technickém popisu jsou výsledkem současných znalostí a zkušeností naší firmy. Vzhledem k celé řadě dalších možných vlivů neosvobozují používatele od provádění vlastních zkoušek a výzkumů.

PŘÍLOHA P III: BÜFA®-FIRESTOP GC S 260-SV

Technical Data Sheet

BÜFA Gelcoat Plus

BÜFA®-FIRESTOP GC S 260-SV

Fire Protection Gelcoat, spraying quality Prod. No. 714-2602

Product description

BÜFA®-Firestop GC S 260-SV Oyster White BF-10013-E is a pre-accelerated gelcoat in a spraying consistence. The gelcoat is halogen-free and based on an unsaturated polyester resin dissolved in styrene. Thanks to a precisely coordinated combination of special flame retarding additives, this gelcoat has outstanding fire protection properties.

BÜFA®-Firestop GC S 260-SV Oyster White BF-10013-E is a gelcoat that reliably protects UP resins behind laminates from flames. In spite of these properties, if higher requirements are placed on fire protection, a fire retarding UP resin should be used in addition.

Applications

BÜFA®-Firestop GC S 260-SV Oyster White BF-10013-E can be used for facade panels, fire protection doors, laboratory and ship doors, rail vehicles, wagon construction. Application to other objects must be clarified prior to use in each individual case.

Specifications / technical data

Property	Test method	Value	Unit
Density at 20 °C	DIN 53 217/2	1,2	g/ml
Viscosity at 20 °C Brookfield RV/DV-II Spl 4. rpm 4.	ISO 2555	5000 - 13000	mPas
Monomere content		18 - 21	%
Flash point	DIN 53 213	32	°C

Curing

Reactivity:
BÜFA method in accordance with DIN 16 945 6.2.2.1
(100 g gelcoat + 2 ml Butanox M-50)

20 - 30 °C	7 - 12 min
20 °C - Tmax	30 - 40 min
Tmax	80 - 100 °C

Gel time at 20 °C in a 100 g cup with 2 ml Butanox M-50: 7 - 12 min

PŘÍLOHA P III: BÜFA®-FIRESTOP GC S 260-SV

BÜFA
Gelcoat Plus

BÜFA®-FIRESTOP GC S 260-SV

Fire Protection Gelcoat, spraying quality Prod. No. 714-2602

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.

Colouring

BÜFA®-Firestop GC S 260-SV Oyster White BF-10013-E is also available in natural (714-2600) and in many RAL colours as well as a number of other shades of colour. If there is sufficient order volume, colour matching is possible. However, because this gelcoat contains flame retarding agents, stronger deviations in colour than normal must be taken into account.

Directions for use

Our release agent system BF 500 /BF 700 has been tested and successfully used with this gelcoat. Before using other release agents, they should be tested for suitability under practical conditions. If circumstances permit, we recommend post-curing the moulded part for 6 hours at approx. + 75 °C to achieve optimal gelcoat properties.

Stir the gelcoat gently before using. For more information on working and curing, see the notes in our Technical Information leaflet, "Working with OLDOPAL Gelcoats".

The thickness of the wet film should not be less than 600 µm at any place. After approx. 1-2 hours, laminating can be carried out with a sound bond.

We recommend a suitable protective varnish for objects that will be subjected to outdoor weather which should be coordinated with our Technical Service Department.

Storage/Handling

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 between 5 and 20 °C. Avoid frost. Higher temperatures reduce self-life. Gel and curing times may change with increasing duration of storage.

Former product name

722-0115 BÜFA®-Firestop S 260 SV, pearl white.

PŘÍLOHA P IV: NORPOL NGA HX3

REICHHOLD

PRODUCT BULLETIN

December 2010

NORPOL NGA HX3

DESCRIPTION

NORPOL NGA HX3 is a fire retardant gelcoat based on isophthalic/neopenthylglycol polyester resin.

NORPOL NGA HX3 is approved for boat production in compliance with
- Det Norske Veritas' Rules for classification of High Speed, Light Craft and Naval Surface Craft
- Det Norske Veritas' Standards for Certification No. 2.20, Lifeboats and Rescue Boats, 2007

Recommended peroxide dosage:	1.3-2.0 %
Recommended film thickness:	0.55-0.85 mm (wet film)
Oxygen index:	26-27 %

TYPICAL PROPERTIES

PHYSICAL DATA IN LIQUID STATE AT 23°C

Properties	Unit	Hand quality	Test method
Viscosity - Brookfield RVF sp.4/4 rpm - Cone & Plate	 mPa·s(cP) mPa·s(cP)	 14000-30000 500-700	 A050 A010
Density	g/cm³	1.3-1.5	B020
Flash point	°C	26	ASTM D 3278-95
Gel time: 1.5% NORPOL PEROXIDE 1	minutes	10-25	G020
Storage stability from date of production	months	6	G180

MECHANICAL/PHYSICAL DATA FOR THE GELCOAT'S BASE POLYESTER RESIN IN CURED STATE

Properties	Unit	Value	Test method
Tensile strength	MPa	min. 65	ISO 527-1993
Tensile modulus	MPa	min. 3000	ISO 527-1993
Tensile elongation	%	min. 3.0	ISO 527-1993
Heat distortion temp.	°C	min. 90	ISO 75-1993
Hardness Barcol	-	min. 40	ASTM D 2583-99
Water absorption	mg/test piece	max. 65	Det norske Veritas 1981

The information herein is to help customers determine whether our products are suitable for their applications. Our products are intended for sale to industrial and commercial customers. We request that customers inspect and test our products before using them to satisfy themselves as to contents and suitability. We warrant that our products will meet our written specifications. **Nothing herein shall constitute any other warranty express or implied, including any warranty of merchantability or fitness for a particular purpose,** nor is protection from any law or patent to be inferred. All patent rights are reserved. The exclusive remedy for all proven claims is replacement of our materials, and in no event shall we be liable for special, incidental, or consequential damages.

919-990-7500 • 800-448-3482 • P.O. Box 13582, Research Triangle Park, NC 27709 USA • 2400 Ellis Road, Durham, NC 27703 USA • www.reichhold.com
Reichhold, P.O.Box 2061, N-3202 Sandefjord, Norway, Tel. +47 33 44 86 00, Fax + 47 33 44 86 01

PŘÍLOHA P IV: NORPOL NGA HX3

REICHHOLD PRODUCT BULLETIN

STORAGE

To ensure maximum stability and maintain optimum resin properties, resins should be stored in closed containers at temperatures below 24°C/75°F and away from heat ignition sources and sunlight. Resin should be warmed to at least 18°C/65°F prior to use in order to assure proper curing and handling. All storage areas and containers should conform to local fire and building codes. Copper or copper containing alloys should be avoided as containers. Store separate from oxidizing materials, peroxides and metal salts. Keep containers closed when not in use. Inventory levels should be kept to a reasonable minimum with first-in, first-out stock rotation.

Additional information on handling and storing unsaturated polyesters is available in Reichhold's application bulletin "Bulk Storage and Handling of Unsaturated Polyester Resins." For information on other Reichhold resins or initiators, contact your sales representative or authorized Reichhold distributor.

SAFETY

READ AND UNDERSTAND THE MATERIAL SAFETY DATA SHEET BEFORE WORKING WITH THIS PRODUCT

Obtain a copy of the material safety data sheet on this product prior to use. Material safety data sheets are available from your Reichhold sales representative. Such information should be requested from suppliers of all products and understood prior to working with their materials.

DIRECTLY MIXING ANY ORGANIC PEROXIDE WITH A METAL SOAP, AMINE, OR OTHER POLYMERIZATION ACCELERATOR OR PROMOTER WILL RESULT IN VIOLENT DECOMPOSITION

PŘÍLOHA P V: OLDOPAL S 250 V

OLDOPAL S 250 V

BÜFA REAKTIONSHARZE

Výrobce: Büfa GmbH , Spolková republika Německo

Charakteristika : Samozhášivý gelcoat na bázi speciální směsi elastifikovaných polyesterů isoftalového typu, pro ruční nanášení.
Gelcoat je předurychlený; obsažený systém aditiv zajišťuje samozhášivost a nízký vývin kouře v případě požáru.
Doporučená tloušťka gelcoatové vrstvy 400-600 mí.

Gelcoat je prostý halogenovaných sloučenin, neobsahuje ani žádné sloučeniny na bázi fosforu a dusíku.

Oblast použití: OLDOPAL S 250 V je určen ke zhotovení povrchů dílců především v dopravě (dílce aut, vozidel hromadné přepravy, lodí), obkladové stavební panely apod.
Gelcoat je obvykle používán ve spojení s pryskyřicí OLDOPAL S 453 TV. ***Takto zhotovené dílce vyhovují požárně-technickým bezpečnostním nárokům, kladeným například na vozidla hromadné přepravy osob a interiéry budov.***

Posouzení dle DIN 5510 díl 2:	
Třída hořlavosti:	S 4
Třída vývinu kouře:	SR 2
Třída odkapávání:	ST 2

Výsledky posouzení dle dalších norem:

BS 476 díl 6 a 7:	Třída 2
NF F 16-101:	F 0
NF P 92-501:	M 2

(Atest Spolkového institutu pro kolejová vozidla)

Vlastnosti v dodávaném stavu:

Vlastnost	Zkušební předpis	Hodnota
Hustota při 20 °C	DIN 53 217/2	1,25-1,35g/cm
Viskozita Brookfield D II Sp 5 rpm 5 při 20 °C - pro štětec		30000-40000 mPa.s
Obsah styrenu		22-25 %
Bod vzplanutí	DIN 53 213	27 °C
Skladovatelnost (uzavřené originální obaly, 20 °C)		3 měsíce

Vytvrzovací charakteristika: dle DIN 16 945 6.2.2.1
100 g OLDOPAL S 250 V + 2 ml CUROX M 300

Želatinační doba	10 - 15 minut
Vytvrzovací doba	25 - 30 minut
T_{max}	90 - 120 °C

PŘÍLOHA P V: OLDOPAL S 250 V

Vlastnosti ve vytvrzeném stavu:

Vlastnost	Zkušební předpis	Hodnota	
Pevnost v tahu	DIN 53 455	52	MPa
E modul v tahu	DIN 53 455	2400	MPa
Protažení do přetržení	DIN 53 455	8,2	%
Tvarová stálost za tepla	ISO 75/A	57	°C
Iniciační systém:	PEROXAN ME 50 L	2%	
	CUROX M 300	2%	
Odstíny:	OLDOPAL S 250 V je dodáván v odstínech dle RAL		
Poznámka:	K dosažení optimálních vlastností gel-coatové vrstvy lze hotové dílce dotvrdit po dobu 6 hodin při teplotě 60 °C.		

Bezpečnost a ochrana zdraví při práci, hygiena:

Nenasycený polyester je hořlavinou II. třídy nebezpečnosti. Pracoviště musí být označeno výstražnou tabulkou *„Nebezpečí požáru"* a vybaveno hasícími přístroji (sníh, pěna). Dále musí být zabezpečeno účinné větrání.
Na pracovišti musí být prostředky první pomoci.

Při práci s pryskyřicí a jakoukoli manipulací je nutno používat osobní ochranné pomůcky, tj. ochranný pracovní oděv, nepropustné rukavice, čepice, ochranné brýle nebo štít. Při nedostatečném větrání je třeba použít ochrannou masku s filtrem zachycujícím organické páry a plyny (styren). Na pracovišti je zakázáno jíst, pít, kouřit a používat otevřený oheň.

Důležité zásady hygieny:

1) Pracovní oděv a osobní ochranné pomůcky musí být udržovány v čistotě. Nefunkční a poškozené pomůcky je třeba vyměnit.

2) Po práci je nutno omýt obličej, ruce a nechráněné části těla. Totéž je nutno provést před jídlem, pitím, zapálením cigarety jakož i před použitím toalety.

3) Pokud došlo k potřísnění pokožky, je třeba pryskyřici odstranit, postižená místa omýt mýdlem a vodou, potřít regeneračním krémem.

První pomoc:

1) Zasažení oka
- vyplachovat oko proudem čisté vlažné vody 15 minut
- vyhledat lékařskou pomoc
- v žádném případě nepoužívat k ošetření oka masti !

2) Potřísnění pokožky
- odstraňte znečistěný oděv
- pokožku důkladně omyjte mýdlem a tekoucí vodou
- ošetřete regeneračním krémem
- při větším rozsahu potřísnění vyhledejte lékaře

3) Nadýchání
- vyveďte postiženého na čerstvý vzduch
- postižený se nesmí fyzicky namáhat
- při příznacích otravy vyhledejte lékaře

4) Požití
- vypláchněte ústa velkým množstvím vody
- vypijte větší množství vlažné vody a vyvolejte zvracení
- vyhledejte lékařskou pomoc

Výše uvedené údaje se opírají o naše současné znalosti a zkušenosti, neosvobozují však zpracovatele vzhledem k množství možných vlivů při zpracování od provádění vlastních zkoušek a pokusů.
Právně závazné ujištění o určitých vlastnostech anebo vhodnosti pro konkrétní účel použití nelze z těchto údajů vyvodit.
Povinnosti, resp. práva vyplývající z používání tohoto materiálu zajišťuje uživatel v rámci vlastní odpovědnosti.

PŘÍLOHA P VI: BÜFA®-FIRESTOP GC S 270-NV GREY BF-70035

Technical Data Sheet

BÜFA Gelcoat Plus

BÜFA®-Firestop GC S 270-NV GREY BF-70035

Fire Protection Gelcoat, spraying quality Prod. No. 714-2702

Product description

BÜFA®-Firestop GC S 270 NP Grey BF-70035 is a unaccelerated, pigmented gelcoat in a spraying consistence. The gelcoat is halogen-free and based on a VE resin dissolved in styrene. Thanks to a precisely coordinated combination of special flame retardant additives, outstanding fire protection properties are achieved with this gelcoat.

BÜFA®-Firestop GC S 270 NP Grey BF-70035 is a gelcoat that reliably protects the UP resin behind laminates from flames.

We recommend combining this BÜFA®-Firestop GC S 270 NP Grey BF-70035 with our BÜFA®-Firestop resins in general to best utilise the synergies of products that are coordinated to each other.

Applications

BÜFA®-Firestop GC S 270 NP Grey BF-70035 can be used for facade panels, fire protection doors, laboratory and ship doors, rail vehicles, wagon construction. In individual cases, use for other objects requires clarification.

Specifications / technical data

Property	Test method	Value	Unit
Density at 20/23 °C	DIN 53 217/2	1,4	g/ml
Viscosity at 20 °C Brookfield RV/DV-II Spl . 5 / rpm . 5	ISO 2555	27000 - 33000	mPas
Flash point	DIN 53 213	34	°C

Curing

Reactivity:
BÜFA method in accordance with DIN 16 945 6.2.2.1
(100 g gelcoat + 1.0 g Accelerator 0399 (742-0399) + 2.0 ml Butanox M 50)

20 - 30 °C	9 - 15 min
20 °C - Tmax	30 - 45 min
Tmax	80 - 100 °C

Gel time at 20 °C in a 100 g cup with 1.0 g Accelerator 0399 (742-0399) and 2.0 ml Butanox LPT-IN: 9 - 15 min

PŘÍLOHA P VI: BÜFA®-FIRESTOP GC S 270-NV GREY BF-70035

BÜFA
Gelcoat Plus

BÜFA®-Firestop GC S 270-NV GREY BF-70035

Fire Protection Gelcoat, spraying quality Prod. No. 714-2702

The quantity of accelerator added should not be less than 0.6 % by weight per 100 g material.

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.

Colouring

Further tinted versions are available.

Directions for use

The release agent system Chemlease 41 - 90 has been tested and successfully used with this gelcoat. Before using other release agents, they should be tested for suitability under practical conditions. Stir the gelcoat gently before using. The thickness of the wet film should ideally be 1000 µm and should not be less than 800 µm wet. After approx. 60 minutes laminating can be carried out with a sound bond. To ensure a sound bond, laminating work must be carried out after 4 hours at the latest.

If circumstances permit, we recommend post-curing the moulded part for 6 hours at approx. + 80 °C to achieve optimal gelcoat properties. We recommend the application of a coat of protective varnish in general for objects exposed to weather.

Storage/Handling

This product must be stored cool in closed containers, protected from sunlight. Shelf-life is at least 3 months in unopened, original containers stored at a temperature between 5 °C and 20 °C. Avoid frost. Higher temperatures reduce shelf-life. Gel and curing times may change with increasing duration of storage.

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.