

Výzkum a hodnocení hořlavosti plněných kompozitních systémů

Bc. Tomáš Nelešovský

Diplomová práce
2014

 Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

akademický rok: 2013/2014

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Tomáš NELEŠOVSKÝ**
Osobní číslo: **T11579**
Studijní program: **N3909 Procesní inženýrství**
Studijní obor: **Řízení jakosti**
Forma studia: **prezenční**

Téma práce: **Výzkum a hodnocení hořlavosti plněných kompozitních systémů**

Zásady pro vypracování:

I. Teoretická část

1. Polymerní kompozitní systémy, definice, rozdělení, vlastnosti.
2. Význam plnění s ohledem na dané fyzikálně-mechanické vlastnosti.
3. Hoření, rozdělení retardérů, metody hodnocení hořlavosti.

II. Experimentální část

1. Návrh materiálového složení s ohledem na konkrétní zadání, volba podmínek a druhu plnění.
2. Příprava zkušebních tělísek zvolenými zpracovatelskými technologiemi (RTM, VFI). Možnosti dané technologie s ohledem na stupeň plnění.
3. Experimentální studium hořlavosti dle doporučených zkušebních metod.
4. Zpracování naměřených dat, vyhodnocení s ohledem na konkrétní aplikaci.
5. Závěr a diskuse výsledků.

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

Dle doporučení vedoucího práce.

Vedoucí diplomové práce:

doc. Ing. Soňa Rusnáková, Ph.D.

Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání diplomové práce:

10. února 2014

Termín odevzdání diplomové práce:

12. května 2014

Ve Zlíně dne 10. února 2014


doc. Ing. Román Čermák, Ph.D.
děkan




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

Příjmení a jméno: Nalešovský Tomáš.....


Obor: Řízení jakosti

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

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

Ve Zlíně 12.5.2014


.....

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

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

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

ABSTRAKT

Diplomová práce se věnuje problematice hořlavosti kompozitních systémů. Jde především o vliv použitých materiálů na vlastnosti spojené s hořlavostí. V teoretické části jsou uvedeny druhy kompozitních materiálů, druhy retardérů hoření, výrobní technologie a používané zkušební metody.

V praktické části se zaměřujeme na výrobu vzorků s daným materiálovým složením, jejich mechanickým vlastnostem a hlavním ukazatelem jsou zkoušky hořlavosti a jejich vyhodnocení dle příslušných norem.

Klíčová slova: hořlavost, zkoušky, pevnost, normy, retardér, pryskyřice

ABSTRACT

This thesis deals with the issue of flammability of composite systems. It mainly affects the properties of the materials associated with flammability. In the theoretical section lists the types of composite materials, types of flame retardants, manufacturing technology and test methods used.

In the practical part, we focus on production samples of a given material composition, their mechanical properties are a major indicator of flammability tests and evaluating the appropriate standard.

Keywords: flammability tests, strength, standards, retarder, resin

Chtěl bych poděkovat paní doc. Ing. Soně Rusnákové, Ph.D. za pomoc při vzniku této diplomové práce. Panu Ing. Vladimíru Rusnákovi a firmě FORM s. r. o. za spolupráci, materiální a technickou pomoc při výrobě vzorků, za zajištění zkoušení vzorků u externích firem a finanční záštitu nad těmito zkouškami. V neposlední řadě bych chtěl poděkovat rodičům za dlouholetou podporu.

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

OBSAH

ÚVOD	9
I TEORETICKÁ ČÁST	11
1 KOMPOZITNÍ MATERIÁLY	12
1.1 VŠEOBECNÉ VLASTNOSTI	15
1.2 VÝROBA VLÁKNITÝCH KOMPOZITNÍCH MATERIÁLŮ	16
1.2.1 Technologie RTM (Resin Transfer Molding)	21
1.2.2 Technologie LRTM (Light Resin Transfer Molding)	24
1.2.3 Technologie VBM (Vacuum Bag Molding)	25
2 PLNIVA	26
2.1 ROZDĚLENÍ KOMPOZITNÍCH MATERIÁLŮ V ZÁVISLOSTI NA TYPU PLNIV	27
2.2 MÍCHÁNÍ POLYMERŮ	28
2.2.1 Míchací stroje.....	29
3 HOŘLAVOST	33
3.1 RETARDÉRY HOŘENÍ.....	34
3.2 TESTOVÁNÍ HOŘLAVOSTI.....	39
3.2.1 Význam testování hořlavosti.....	39
3.2.2 Testy prováděné na výrobcích	40
3.2.3 Laboratorní testy	43
II PRAKTICKÁ ČÁST	46
4 CÍL PRÁCE	47
5 VÝROBA A SLOŽENÍ VZORKŮ	48
5.1 MATERIÁLOVÉ SLOŽENÍ VZORKŮ	49
6 ZKOUŠKY HOŘLAVOSTI	51
6.1 LIMITNÍ KYSLÍKOVÉ ČÍSLO (LOI) ČSN EN ISO 4589-2	51
6.2 ŠÍŘENÍ PLAMENE DLE ISO 5658-2	52
6.3 TESTOVÁNÍ METODOU KÓNICKÉHO KALORIMETRU DLE ISO 5660-1	59
6.4 OPTICKÁ HUSTOTA KOUŘE DLE ČSN EN ISO 5659-2	63
6.5 TOXICITA DLE CEN/TS 45545-2:2011 PŘÍLOHA C.....	66
7 MECHANICKÉ ZKOUŠKY	73
7.1 ZKOUŠKA TROJBODOVÝM OHYBEM	73
7.1.1 Vyhodnocení výsledků.....	74
7.2 ZKOUŠKA RÁZOVÉ HOUŽEVNATOSTI	78
7.2.1 Vyhodnocení výsledků.....	79
ZÁVĚR	82
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	85
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	88
SEZNAM OBRÁZKŮ	91
SEZNAM TABULEK	94
SEZNAM GRAFŮ	96
SEZNAM PŘÍLOH	97

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 aplikacích 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 přidáním 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.

Předložená diplomová práce se bude zabírat výzkumem a hodnocením hořlavosti plněných kompozitních systémů v rámci výroby krytů dopravních prostředků s ohledem na různé druhy plniv a jejich různé výše koncentrace. Výroba vzorků proběhne technologií VARTM a testování pomocí metody „LOI“ podle ČSN ISO 4589-2 a pomocí testovací metody UL 94. Jako doplňující údaj bude provedena zkouška v ohybu dle ČSN 42 0361. V závěru práce budou porovnány a diskutovány výsledky ze zkoušek hořlavosti a ohybové

zkoušky ve vzájemné závislosti a nalezena optimální koncentrace retardérů hoření v závislosti na výrobní technologii a příslušných norem.

I. TEORETICKÁ ČÁST

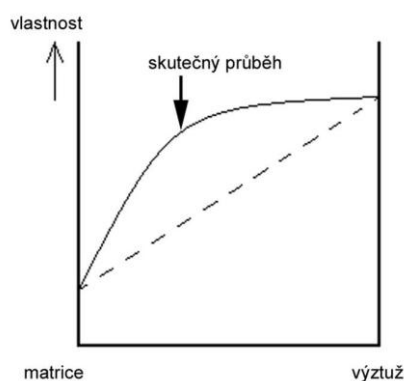
1 KOMPOZITNÍ MATERIÁLY

Pod pojmem kompozitní materiály rozumíme heterogenní materiály složené ze dvou nebo více fází, které se vzájemně výrazně liší svými mechanickými, fyzikálními a chemickými vlastnostmi. Pro kompozitní materiály je dále charakteristické, že se vyrábějí mechanickým mísením jednotlivých složek. Tím se liší např. od slitin, které jsou rovněž heterogenní.

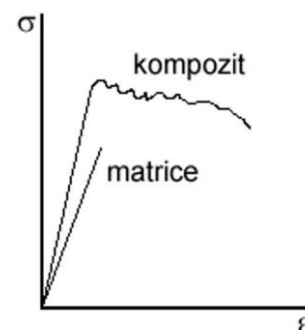
Pro kompozitní materiály je charakteristický tzv. synergismus, což znamená, že vlastnosti kompozitu jsou vyšší, než by odpovídalo pouhému poměrnému sečtení vlastností jednotlivých složek. Existence synergismu je velmi významná, neboť vede k získávání materiálů kvalitativně zcela nových vlastností.

Typickým příkladem synergického chování je kompozit složený z keramické matrice vyztužené keramickými vlákny. I když jsou jak matrice, tak vlákna samostatně velmi křehké, výsledný kompozit je charakteristický určitou mírou houževnatosti, tzn. odolností proti náhlému křehkému porušení. Existence synergismu je velmi významná, neboť vede k získávání materiálů kvalitativně zcela nových vlastností.

Pro ilustraci jsou na obr. 2 porovnány tahové diagramy křehké matrice a stejné matrice vyztužené křehkými vlákny. Uvedené chování kompozitu je způsobeno tím, že šířící se lomová trhlinka je brzděna na rozhraní matrice a vláken. Dochází zde jednak k odklánění směru šíření trhliny, jednak k intenzivnímu vzájemnému tření mezi matricí a vytahujícími se vlákny (viz obr. 3.). Kvalita rozhraní mezi matricí a výtuhou má tedy zásadní vliv na vlastnosti výsledného kompozitu. [1]

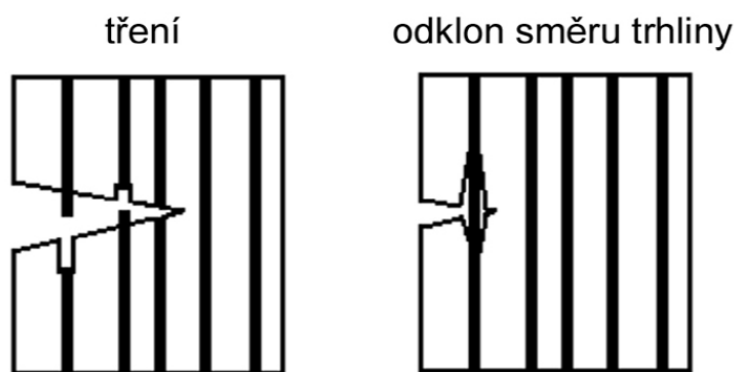


Obr. 1. Synergické chování složek polymeru [1].



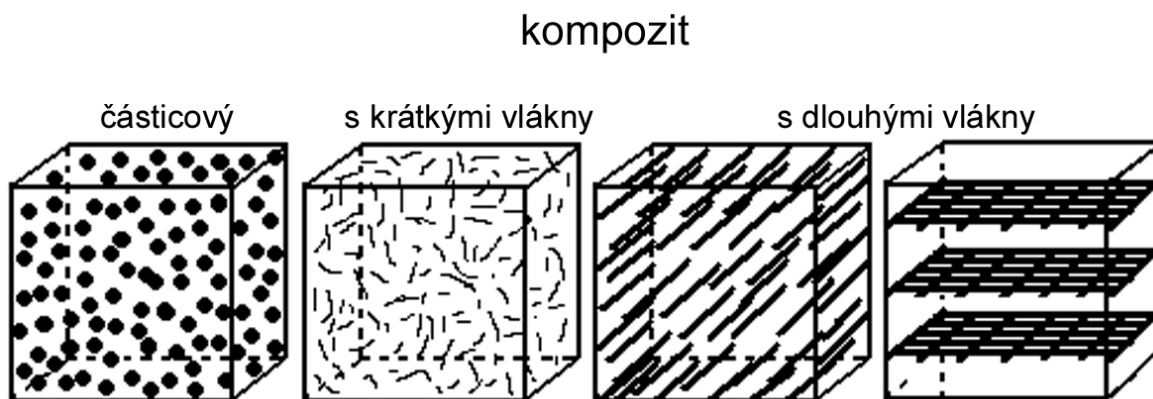
Obr. 2. Porovnání tahových diagramů křehké matrice a kompozitu složeného z této matrice a křehkých keramických vláken [1].

V prvním odstavci bylo uvedeno, že kompozitní materiály jsou složeny ze dvou nebo více fází. Obvykle je jedna fáze v kompozitu spojitá – takovou fází nazýváme matrice. Fází, která je nespojitá, nazýváme výztuž. V porovnání s matricí má výztuž obvykle výrazně vyšší mechanické vlastnosti (modul pružnosti, pevnost, tvrdost atd.) a hlavním cílem výztužení je tedy zlepšení uvedených vlastností.



Obr. 3. Jevy na rozhraní matrice a výztuhy [1].

Kompozitní materiály lze klasifikovat podle řady parametrů. Rozdělíme si kompozity podle povahy výztuže a podle povahy matrice. Podle geometrického tvaru výztuže dělíme kompozity následujícím způsobem, jak ukazuje obr. 4. [1]



Obr. 4. Rozdělení kompozitních materiálů [1].

Kompozity:

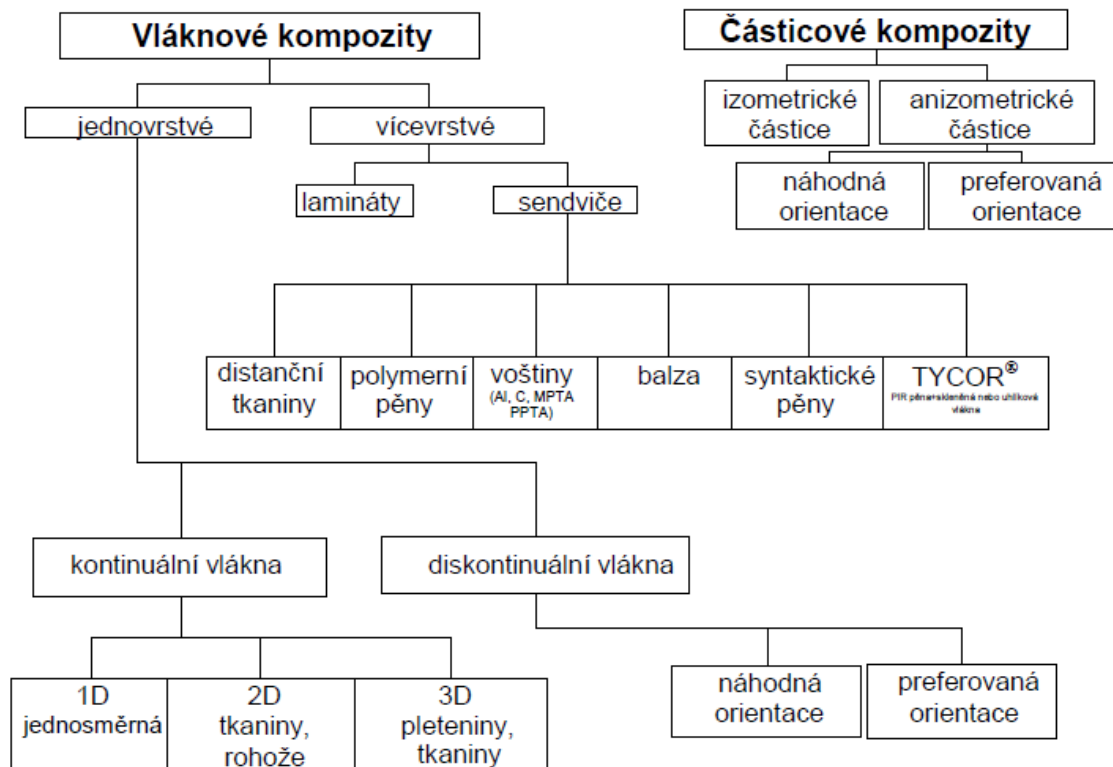
- Částicové
- Vláknové:
 - s krátkými vlákny
 - s dlouhými vlákny

Podle povahy matrice dělíme kompozity do pěti následujících skupin :

- S kovovou matricí (metal matrix composites - MMCs),
- S polymerní matricí (polymer matrix composites - PMCs),
- S keramickou matricí (ceramic matrix composites - CMCs),
- Se skleněnou matricí,
- S uhlíkovou matricí.

Mezi nejvýznamnější kovové matrice patří slitiny hliníku. Využívány jsou prakticky všechny známé typy slévárenských (Al - Si) i tvářených (Al - Cu - Mg, Al - Mg - Si, Al - Zn - Mg) hliníkových slitin. Vedle hliníku jsou využívány rovněž kompozity na bázi slitin hořčíku, titanu, niklu, mědi, stříbra a dalších.

U částicových kompozitů výrazně nepřesahuje jeden rozměr útvarů výztuže ostatní rozměry. Vyztužující částice pak mohou mít tvar kulovitý, destičkovitý, tyčinkovitý i nepravidelný. Naproti tomu u vláknových kompozitů jsou útvary výztuže – vlákna – v jednom směru výrazně rozměrnější než ve směrech ostatních. Vláknové kompozity dále dělíme podle délky vyztužujících vláken na kompozity s krátkými vlákny, u nichž je délka vláken výrazně menší v porovnání s velikostí daného výrobku, a na kompozity s dlouhými (kontinuálními) vlákny, u nichž je délka srovnatelná s velikostí výrobku. Uspořádání kontinuálních vláken v kompozitech má řadu variant, z nichž dvě jsou ukázány na obr. 4. U první varianty jsou vlákna uspořádána v jednom směru, zatímco u druhé jsou vzájemně spletena do rohoží. Takový kompozit má vrstevnatou strukturu.[1]



Obr. 5. Rozdělení kompozitních materiálů podle geometrie a orientace výztuže [4].

1.1 Všeobecné vlastnosti

Plasty vyztužené vlákny obsahují konečná nebo nekonečná 3,5 až 24 μm silná vyztužující vlákna ze skla, uhlíku nebo aramidu a matrici z termosetu nebo termoplastu. Jednotlivé složky jsou vybírány individuálně.

U vyztužených plastů se v mnoha případech požaduje cílené vyztužení ve směru namáhání, takže výsledkem je – na rozdíl od kovů nebo nevyztužených plastů – *anizotropní materiál*, tj. materiál vykazující v různých směrech rozdílné vlastnosti.

Vstřikované plasty vyztužené krátkými vlákny se často řadí mezi vyztužené plasty, protože technologie zpracování, která je obdobná jako u nevyztužených plastů, pouze omezeně ovlivňuje požadovanou anizotropii. Avšak 90 % všech vyztužených plastů se skládá ze směsi dlouhých skleněných vláken a polyesterových nebo vinylesterových pryskyřic. Z aplikačního hlediska je většina vyztužených plastů uspořádána vrstevnatě a je nazývána *lamináty*. Tento materiál má řadu výhod, ale i nevýhod, které ovlivňují jeho uplatnění na trhu.[1, 24]

Výhody laminátů [2, 24]:

- Velká pružnost při deformaci,
- Vysoká pevnost a tuhost, kterou lze přizpůsobit směru a druhu zatížení, zejména při zatížení v tahu ve směru vláken, při nízké hmotnosti kompozitu,
- Značná přizpůsobivost každému tvaru,
- Značná odolnost vůči dynamickému namáhání při vysokém mechanickém tlumení,
- Nízký součinitel teplotní délkové roztažnosti,
- Vysoká odolnost proti stárnutí a korozi,
- Mnoho možností kombinace matrice a vláken, umožňující složení materiálu tzv. „na míru“,
- Dobrá surovinová základna,
- Menší požadavek na investice při malém počtu výrobků (i velkoplošných),
- Možnost oprav při použití termosetické matrice.

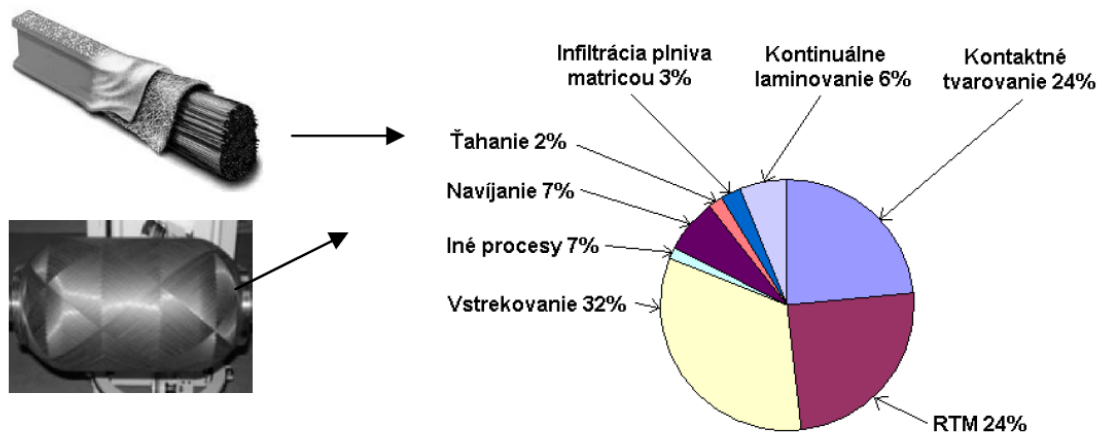
Nevýhody laminátů [2, 24]:

- Množství variant materiálového složení, neexistuje standardní kompozit,
- Neobvyklé chování materiálu (vlastnosti kompozitu nelze jednoduše odvodit součtem vlastností jeho složek),
- Specifické vlastnosti materiálu a způsoby zpracování,
- Obtížné nedestruktivní zkoušení materiálu,
- Nízká mez pevnosti v tahu ve směru kolmo ke směru uložení vláken (tvorba trhlin, oslabení spojení vlákna a matrice),
- Možné katastrofální následky při havárii,
- Vysoké náklady při dimenzování náročných konstrukcí,
- Nízká odolnost proti vlhkosti za tepla,
- Místní poškození, např. nárazem, se obtížně poznávají a hůře opravují než např. u hliníkových konstrukcí.

1.2 Výroba vláknitých kompozitních materiálů

Vláknité polymerní kompozity se vyrábějí více technologickými postupy (obr. 6). Výběr vhodné technologie pro danou aplikaci je podmíněn především požadovanými fyzikálně – mechanickými vlastnostmi. Rozhodující úlohu při rozšiřování aplikačních možností vláknitých kompozitů má kromě výběru vlákna a matrice obsah, orientace a délka vláken

(afektivní poměr). Zatímco v případě kompozitů s dlouhými vlákny jsou kompozity vyráběné prostřednictvím technologií, které umožňují orientaci, resp. Prostorové uspořádání vláken, v kompozitech s krátkými vlákny je orientace vláken nežádoucí.



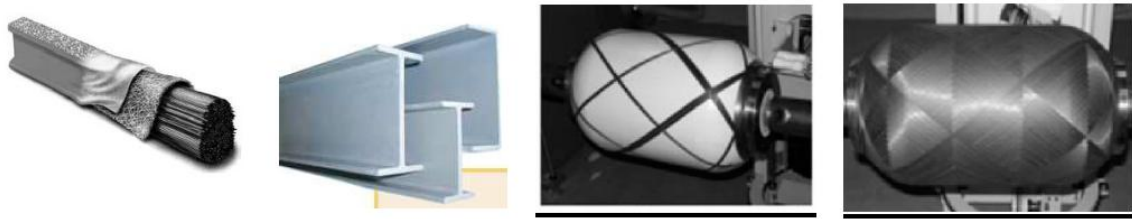
Obr. 6. Způsoby výroby vláknitých polymerních kompozitů [5].

Na výrobu kompozitů s dlouhými vlákny se téměř výhradně používají reaktoplastické matrice, a proto je ve většině případech výroba kompozitu součástí výroby finálního výrobku.

Nejrozšířenější technologické postupy výroby vláknitých kompozitů s reaktoplastickou matricí jsou :

- **Ruční** (kontaktní tvarování, kontinuální tvarování, sprejování). Reaktoplastická matrice se nanáší na orientovaná vlákna, resp. Tkaniny. Výhodou je vysoký obsah vláken a nízké náklady, mezi nevýhody patří malá produktivita, pracnost a omezené aplikační možnosti (velkoplošné výrobky).
- **Poloautomatické** (lisování, angl. RTM resin transfer molding). Výhodou je vyšší produktivita a vysoký obsah vláken.
- **Automatické** (vytahování, angl. Pultrusion, navíjení angl. Filament winding, reaktivní vstřikování angl. RRIM reaction reinforced injection molding.)

Na obr. 7 jsou uvedené příklady polotovárů a výrobků z vláknitých kompozitů s reaktoplastickou matricí. [5, 22]

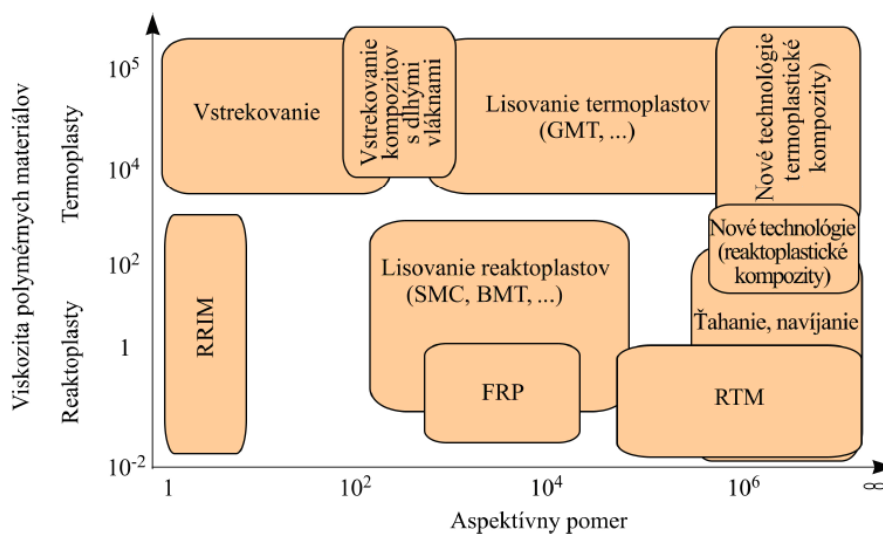


Obr. 7. Polotovary a výrobky vláknitých kompozitů připravených vytažením a navíjením [5].

Nejrozšířenější technologické postupy výroby vláknitých kompozitů s termoplastickou matricí a krátkými vlákny jsou :

- Vytlačování (angl. extrusion)
- Vstřikování (IM, angl. Injection molding)

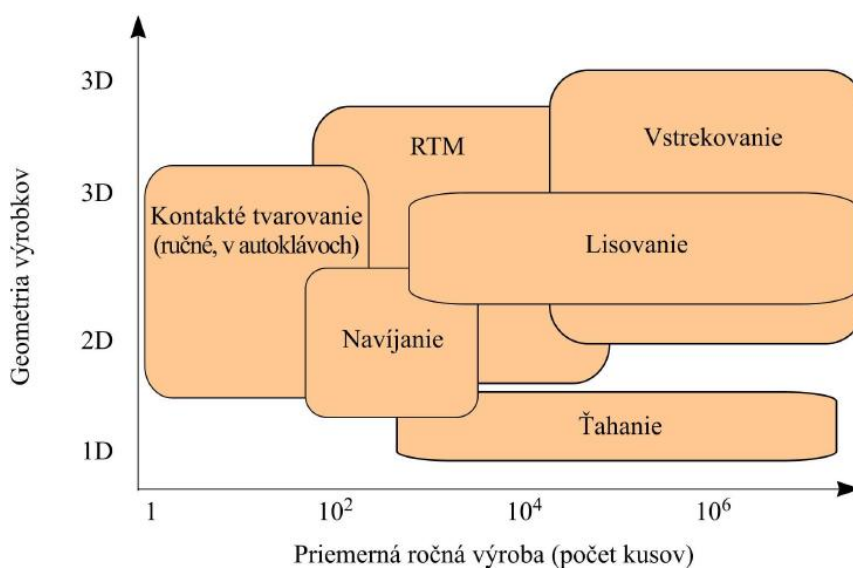
Na výběr technologického postupu výroby vláknitých kompozitů má rozhodující vliv nejen délka vláken, ale i viskozity polymerní matrice (obr. 7). Rozdíly mezi výrobními postupy na bázi reaktoplastických a termoplastických kompozitů se ze zdokonalováním výrobních technologií postupně vyrovnávají. V současnosti jsou známé postupy, které umožňují přípravu vláknitých kompozitů s reaktoplastickými maticemi tzv. reaktivním vstřikováním (RRIM, angl. Reaction reinforced injection molding). Na druhé straně technologie, které se v minulosti téměř výhradně používali pro kompozity s reaktoplastickou matricí (lisování) se postupně začínají používat i pro termoplastické vláknité kompozity.



Obr. 8. Vliv viskozity polymerní matrice a délky vláken (aspektivní poměr) na výběr technologického postupu výroby vláknitých kompozitů [5].

Mezi výhody kompozitů připravených taháním (pultruzí) patří vysoký obsah vláken a vysoká produktivita. Zvýšení pevnosti výrobků ve směru kolmém na osu vláken se dosáhne použitím tkanin a fólií. Navíjení je vhodný technologický postup na výrobu objemných nádrží. [5]

Mezi nejrozšířenější technologické postupy výroby vláknitých kompozitů s termoplastickou maticí patří vytlačování a vstřikování. Výběr zpracovatelské technologie je determinovaný především požadavky na geometrii výrobku (1D, 2D, 3D, afektivní poměr) a produktivitu. Jak je zřejmé z obr. 8, z hlediska těchto kritérií je nejefektivnější vstřikování.



Obr. 9. Závislosť produktivity výrobní technológie od geometrie výrobků [5].

V tab. 1 je uvedený přehled označování nejčastěji používaných výrobních technologií pro vláknité kompozity.

Tab. 1. Mezinárodní označení výrobních technologií vláknitých polymerních kompozitů [5].

Označení	Anglický název	Charakteristika výrobní technologie
Prepreg	Preimpregnated Fibres	polotovary, sestávající z jednosměrně orientovaných kontinuálních vláken, anebo tkanin předimpregnovaných nevytvrditelnými reaktoplasty, mezi výhody patří vysoký obsah vláken (60 - 90%), nevýhodou je omezená skladovatelnost, nejčastěji se používají při lisování
BMC	Bulk moulding compound	směs reaktoplastických matic a krátkých vláken používaná při lisování za studena

SMC	Sheet moulding compound	plošné materiály používané při lisování při zvýšených teplotách obsahující vlákna, disperzní plniva, polyesterové pryskyřice, styren, iniciátor, stužující přísady
LPMC	Low pressure moulding compound	směs pro nízkotlaké lisování
IM	Injection moulding	vstřikování směsi termoplastické matrice a krátkých vláken (<10mm) na vstřikovacím zařízení
RTM	Resin transfer moulding	beztlaková impregnace vláken reaktoplastickou matricí v uzavřené dvojdílné formě
RRIM	Reinforced reaction injection moulding	současné vstřikování směsi reaktoplastů a krátkých vláken do uzavřené formy
SRIM	Structural reaction injection moulding	vstřikování reaktoplastické matrice do formy obsahující orientovaná vlákna, anebo tkaniny

Při výběru zpracovatelské technologie je potřebné důsledně zvážit všechny faktory, které ovlivňují výsledné vlastnosti kompozitů. Technologie, při kterých se používají jednosměrně orientovaná vlákna (navíjení, vytahování) umožňují připravit kompozity s vysokým obsahem vláken a teda i velmi dobrými mechanickými vlastnostmi. Jejich nedostatek je však vysoká anizotropie vlastností (max – orientační faktor). Porovnání výrobních technologií z pohledu výsledných aplikačních vlastností je uvedené v tab. 2. Nejlepší vlastnosti (nejvyšší obsah vláken), ale i nejvýraznější anizotropii vlastností (největší orientační faktor) mají kompozity připravené navíjením a vytahováním. Technologie, při kterých se používají plošné, anebo prostorově orientované tkaniny vykazují nižší stupeň anizotropie vlastností, mají však i nižší obsah vláken a teda i horší mechanické vlastnosti. [5]

Tab. 2. Vliv výrobní technologie a formy vláken na maximální obsah vláken v kompozitu [5].

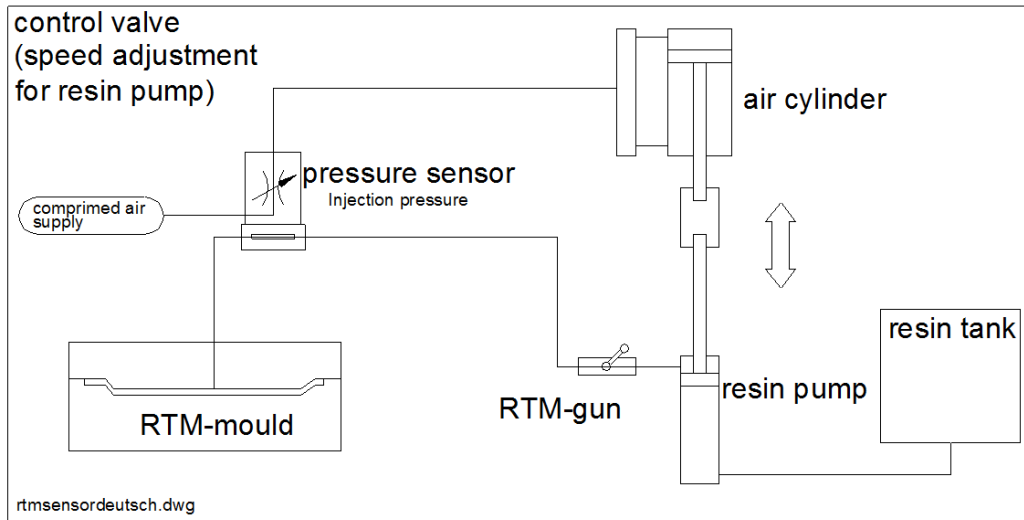
Uspořádání a forma vláken	Výrobní technologie	Faktor orientace vláken	Maximální obsah vláken
1D roving	Navíjení, tahání	1,00	0,80
2D roving	Infiltrace	1,00	0,65
Neorientovaný roving	RTM	0,31	0,60
2D rohož	RTM	0,30	0,55
2D tkané textilie	RTM	0,27	0,50
Pravoúhlé 3D tkaniny	RTM	0,30	0,40
Neorientovaný 2D roving	SMC, RTM	0,30	0,30
3D krátká sekaná vlákna	BMC, vstřikování	0,12	0,20

1.2.1 Technologie RTM (Resin Transfer Molding)

Jde o technologii s uzavřenou formou, při které se při použití UP a VE pryskyřic do okolního prostoru neuvolňuje reaktivní rozpouštědlo. Ohřátá pryskyřice a ohřáté tvrdidlo se pomocí nízkotlakých čerpadel dopravují do mísící hlavy bezprostředně před injektáží směsi do ocelové nebo hliníkové formy. Výhodou RTM je, že oba povrchy dílu jsou hladké a rozměry dílu jsou přesné. Podíl vyztužujících vláken (a tedy mechanické vlastnosti dílu) je obvykle menší než při kladení jednosměrných prepregů, při navíjení a při pultruzi. Jako výztuž se používají tkaniny nebo rohože. Výztuž je obvykle přetvarována (tzv. preform).

Popis procesu technologie RTM [25]:

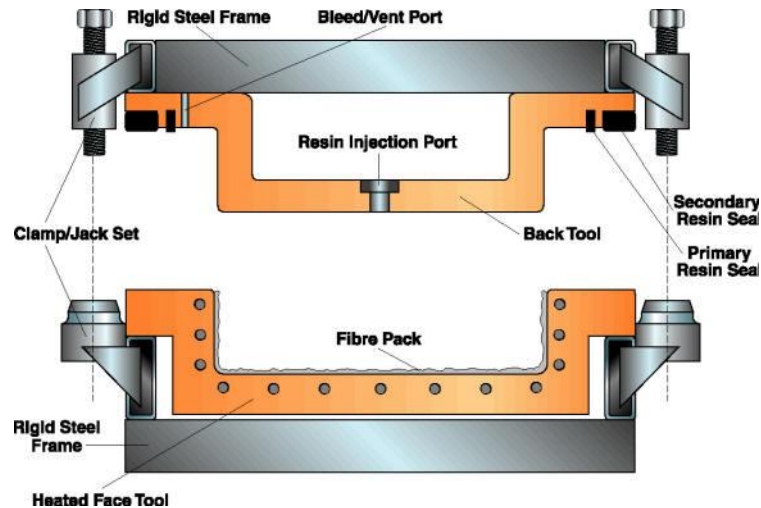
- Otevření formy, hotový RTM výrobek je odebrán z formy
- Prázdna forma musí být zkontrolována, udržována a volná, je-li to nezbytné
- Gelcoatový postřík (není nutný pro díly bez gelcoatové vrstvy)
- Výztužný materiál je vkládán do formy
- Forma je uzavřena a uzamčena tlakem
- Pryskyřice je tlačena do formy tlakem 2-8 barů. Tato hodnota je závislá na velikosti a tuhosti formy. U tuhých forem může být tlak vyšší
- Jakmile se pryskyřice objeví na provzdušňovacích místech, je forma plná. Proces vstřikování se zastaví a připojená vstřikovací jednotka se odstaví
- Forma se otevře po vytvrzení RTM výrobku a cyklus začíná znovu



Obr. 10. Schéma technologie RTM [25].

Pro mechanicky méně namáhané díly se mohou jako výztuž použít rohože. Vlákna v rohoži musí být odolná proti posunutí při toku pryskyřice. U rohoží se sekanými vlákny (délka cca 50 mm) jsou vlákna spojena vazebným prostředkem rozpustným v pryskyřici. Pro RTM jsou ale vhodnější rohože s kontinuálními vlákny. Větších hodnot objemového podílu vláken je dosahováno s tkaninami a především se sešitými jednosměrnými tkaninami (multiaxiální výztuž Cotech[®]). Dnes jsou na trhu počítačové programy pro RTM technologie, které metodou konečných prvků simulují tok pryskyřice výztuží.

Tzv. LP RTM („Low Pressure“ RTM, také „Light“ RTM) je variantou klasického RTM. Pro vstřikování musí mít pryskyřice menší viskozitu, než pro standardní RTM. Menší tlak a vakuování formy dovoluje použití levnějších a lehčích forem.[4]



Obr. 11. Řez formou s popisem jednotlivých částí [25].

Výhody a nevýhody technologie RTM [25]:

Výhody:

- Hladký povrch na obou stranách
- Definovaná tloušťka stěny
- Možná aplikace gelcoatové vrstvy na obě strany
- Možnost použití sendvičových materiálů
- Možnost použití skelných, karbonových, kevlarových a diolových tkanin
- Nejsou nutné žádné lisovací stroje
- Poměrně krátká doba cyklu
- Přesnost výroby a její opakovatelnost
- Nízké emise styrene
- Při použití pouze jednoho RTM zařízení je možné naplnit různé formy
- Ekonomické výhody RTM rostou úměrně se složitostí a velikostí dílů

Nevýhody:

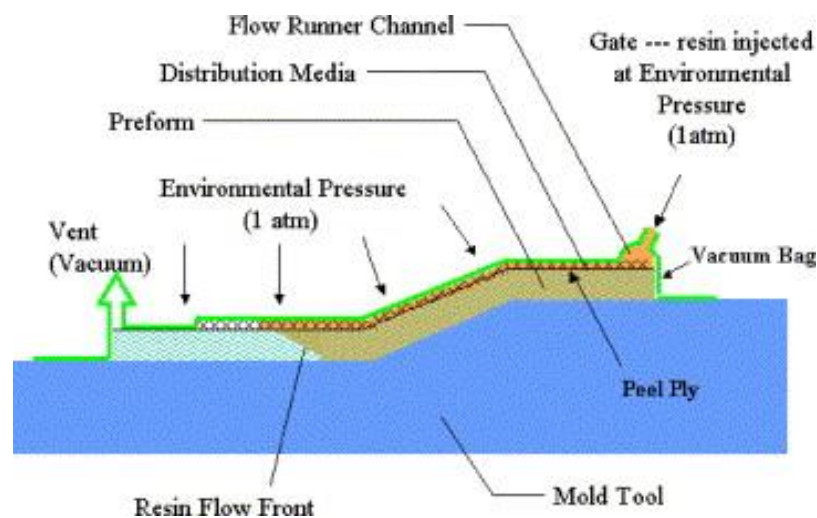
- Drahé a těžké formy
- Manipulace a skladování forem

Tab. 3. Ekonomická výhodnost procesu RTM [25].

Porovnání čistých nákladů různých technologií			
	RTM technologie	Stříkání vláken	Ruční laminování
Pracovní čas:	60 min	135 min	200 min
Výpočet nákladů:	€ 0,80 x 60	€ 0,80 x 135	€ 0,80 x 200
Cena za díl:	€ 48,00	€ 108,00	€ 160,00
Úspory s RTM procesem			
Za díl:	€ 0,00	€ 60,00	€ 112,00
Odpisy z RTM formy (doplňková cena € 23,600)			
	Stříkání vláken	Ruční laminování	
Výpočet:	23,600/60 €	23,600/112 €	
Doplňková cena RTM formy rozpočítána na	393 dílů	210 dílů	

1.2.2 Technologie LRTM (Light Resin Transfer Molding)

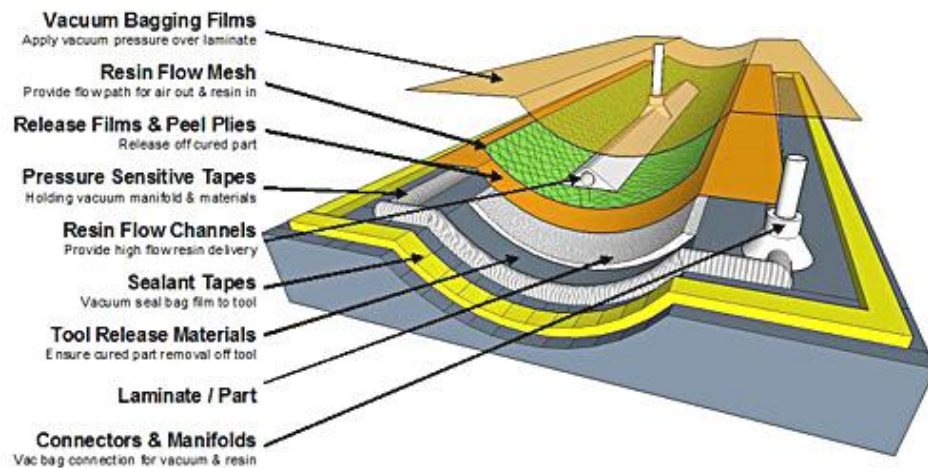
Technologie známá také pod názvem VARTM (Vacuum Assisted RTM). Pryskyřice s malou viskozitou (většinou s reaktivním ředidlem) teče do dvoudílné formy, ve které je předtvarovaná výztuž (“preform”). Tok pryskyřice je vyvolán jak vstříknutím, tak pod tlakem. Běžnější je použití jednodílné formy. Druhá strana formy je tvořena fólií, filmem nebo vakem. Název VARTM bývá často používán i pro infuzní technologie, kdy k toku pryskyřice dochází jenom díky podtlaku. Tyto technologie jsou nazývány jako SCRIMP, VIP, FASTRAC a VARIM.[4]



Obr. 11 Schéma technologie LRTM [21].

1.2.3 Technologie VBM (Vacuum Bag Molding)

U metody VBM je oproti VARTM (Vacuum assisted RTM) navíc odsávací vrstva (přebytečná pryskyřice je odsáta) a odvodušňovací vrstva je kolem celého dílu. Po odsátí vzduchu z prostoru pod vakem (obvykle fólie PA66 nebo opakovaně použitelný vak ze silikonového kaučuku) dojde ke stlačení vrstev laminátu pouze atmosférickým tlakem.[4]



Obr. 12. Schéma technologie VBM [7].

2 PLNIVA

Plniva zlepšují buď mechanické vlastnosti materiálu, nebo chemickou odolnost či tvarovou stálost při zvýšené teplotě, jiné prostě jen hmotu zlevňují. Rozeznáváme *vyztužující* (skleněná, uhlíková, kovová či méně účinná bavlněná krátká nebo dlouhá vlákna, popř. textilní ústřížky do obsahu maximálně 50 %, neboť pro správnou funkci vyztužujícího plniva je důležité, aby bylo dokonale obaleno pojivem) a *nevyztužující plniva* ve formě prášku, které se přidávají většinou z důvodu snížení ceny materiálu (moučka z břidlice, kaolinu, křídly a dalších levných materiálů).



Obr. 13. Oxid hořečnatý [8].

Jiná plniva (např. grafit) zlepšují kluzné vlastnosti, práškové kovy zlepšují tepelnou vodivost. Přídavkem sazi (zejména u polyolefinů) se zvyšuje odolnost proti UV záření, atd. Obsah nevyztužujících plniv bývá až 70 %. Zvláštním typem plniva jsou skleněné nebo kovové kuličky, které zvyšují rozměrovou stabilitu a odolnost proti rázům, resp. Vodivost. *Stabilizátory* (tepelné, světelné) jsou určeny k zpomalení degračních procesů a zvýšení životnosti součásti. *Maziva* (obsah do 1 %) usnadňují zpracování polymerů např. tím, že snižují viskozitu polymeru nebo zabraňují lepení výrobku na stěnu formy. Mohou to být např. vosky, stearáty *Zn* či *Ca*, popřípadě méně používané oleje a tuky. *Barviva* (Obsah do 10 %) dávají plastům požadovaný barevný odstín. Většinou se používají barevné pigmenty založené na anorganických sloučeninách kovu (oxidy železa popř. chrómu). Organická plniva (líhové roztoky) rozpustná v polymeru se použijí tehdy, má-li hmota po vybarvení zůstat průhledná. *Změkčovadla* zlepšují houževnatost, zpracovatelnost a ohebnost materiálu, ovšem na úkor mechanických vlastností. *Tvrdidla* způsobují vznik příčných vazeb mezi makromolekulami a tím vytvrzení. *Iniciátory a urychlovače polyreakcí* ovlivňují účinek tvrdidla. *Retardéry hoření* působí samozhášivě, zpomalují proces hoření plastů nebo vůbec nedovolí zapálení plastu. *Nadouvadla* jsou přidávána v malém množství (0,5 ÷ 2 %) k zá-

kladnímu materiálu a po zahřátí na zpracovatelskou teplotu se rozkládají v plynné látky, vytvářející lehčené plasty.[3]



Obr. 14. Mastek [9].

2.1 Rozdělení kompozitních materiálů v závislosti na typu plniv

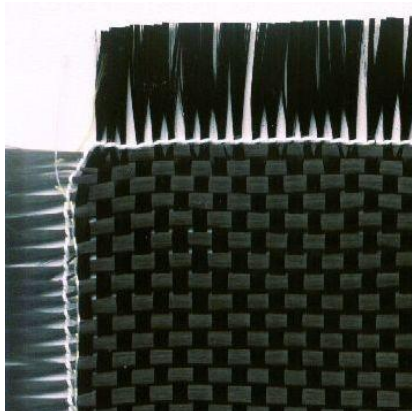
Jako plniva se používají desítky typů materiálů. Z hlediska chemického se rozdělují na dvě základní skupiny [4]:

Anorganická plniva

- Oxidy SiO_2 , MgO , Sb_2O_3 , Al_2O_3
- Hydroxidy $\text{Al}(\text{OH})_3$, $\text{Mg}(\text{OH})_2$
- Soli CaCO_3 , BaSO_4 , CaSO_4 , fosfáty
- Silikáty mastek, slída, kaolín, wollastonit, montmorillonit, zeolit
- Kovy bór, ocel, feromagnetické prášky,

Organická plniva

- Uhlík, uhlíková vlákna, uhlíková nanovlákna
- Přírodní polymery – celulósová vlákna, dřevěná moučka, dřevěné piliny, bavlna, sisal,
- Syntetické polymery – aromatická polyamidová vlákna, polyesterová vlákna, vysocepevná polyetylenová vlákna, vlákna na bázi polybenzotiazolu a polysulfidu.

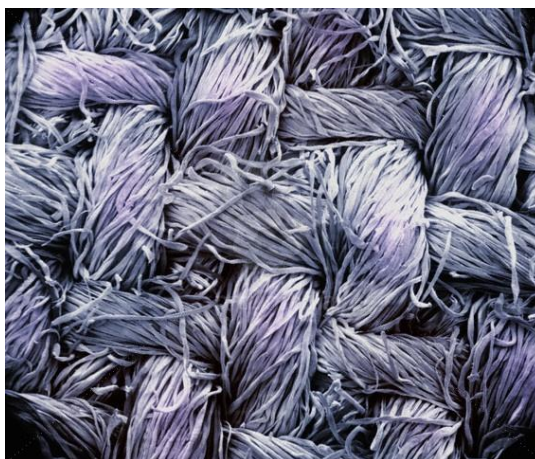


Obr. 15. Uhlíková vlákna [10].

Z hlediska **tvaru plniva** se kompozity rozdělují na **vláknité** a **disperzní**. Vláknitá plniva se v odborné literatuře v minulosti označovali jako výztuže (z angl. reinforcement), a proto se pro vláknité kompozity používal termín vyztužené plasty (reinforced polymers). Disperzní plniva se dále dělí na sférické a destičkovité (lamelární).

Na přípravu polymerních kompozitů se v současnosti používá více jako 70 různých typů disperzních plniv a 15 druhů vláken.

V závislosti na průměru vláken, resp. Rozměru disperzních plniv se polymerní kompozitní materiály dělí na **mikrokompozity (vláknité, disperzní)** a **nanokompozity**. [4]



Obr. 16. Bavlněná vlákna [11].

2.2 Míchání polymerů

Při výrobě polymerů polyreakcemi není míchání žádným problémem. Ve zbylých případech použití technologie míchání je založeno na smíchání základního polymeru s přísadami pro zlepšení vlastností plasty (stabilizátory, plniva, změkčovadla, barviva, atd.) nebo

pro zlepšení a usnadnění zpracování (např. maziva). Míchání se aplikuje u všech stavů polymerů – u tavenin, kapalin, prášků, granulí, atd.

Míchání je proces, kdy dochází ke smíchání minimálně dvou složek v míchacím prostoru zařízení tak, aby bylo dosaženo požadované rovnoměrnosti rozložení jednotlivých komponentů ve výsledném produktu s požadovaným stupněm homogenity. Konečný stupeň homogenity nemusí být však dosažen již ve fázi míchání, ale teprve v následných technologických operacích, jako vstřikování, válcování, vytlačování, apod.

Míchání lze rozdělit podle odporu, který kladou promíchávané částice vnější síle, jež na ně působí na dva extrémní případy, kdy prvním je míchání látek s *nepatrným odporem proti posunutí* (např. prášky) a druhým jsou procesy míchání s *velkým odporem proti posunutí*, které se dělí na :

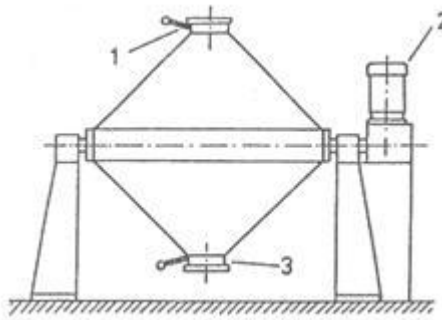
- Intenzivní míchání – stupeň homogenity závisí na stupni smykového namáhání (např. míchání kaučuků s přísadami), hmoty je ve změkklém stavu = hnětení nebo také plastikace, používají se stroje označované jako hnětiče,
- Extenzivní míchání – stupeň homogenity závisí na stupni tečení nebo na vytváření nového povrchu (např. míchání prášků s barvivy), používají se stroje označované jako míchačky.

Přechod mezi míchačkami a hnětiči není skokový. Stroje jsou v podstatě konstruovány od lehké konstrukce až po nejtěžší konstrukce. Pro hnětení je dále výhodné, aby hnětené materiály měly zhruba stejnou viskozitu, jinak částice s vyšší tuhostí prokluzují v měkčím materiálu. Při hnětení kaučuků s plnivem dochází k zahřívání směsí, proto se proces provádí ve více stupních.[3]

2.2.1 Míchací stroje

Používají se k míchání past, směsí PVC, lepidel, atd. Jsou lehčí konstrukce, která je založena na pohybujícím se nástroji – míchadlu a podle polohy osy otáčení se dělí na horizontální a vertikální. Speciální skupinu tvoří míchačky bez pohyblivých elementů.

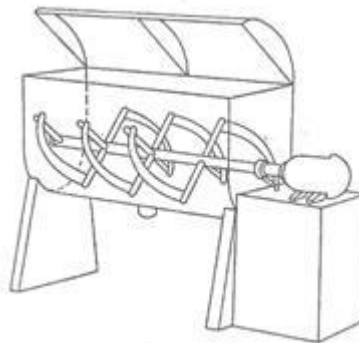
Mezi horizontální stroje patří bubnová míchačka, která se používá pro míchání sypkých hmot. Dochází zde k minimálnímu smykovému namáhání míchaného materiálu a někdy se používají uvnitř bubnu úpravy na zlepšení promíchání hmot.



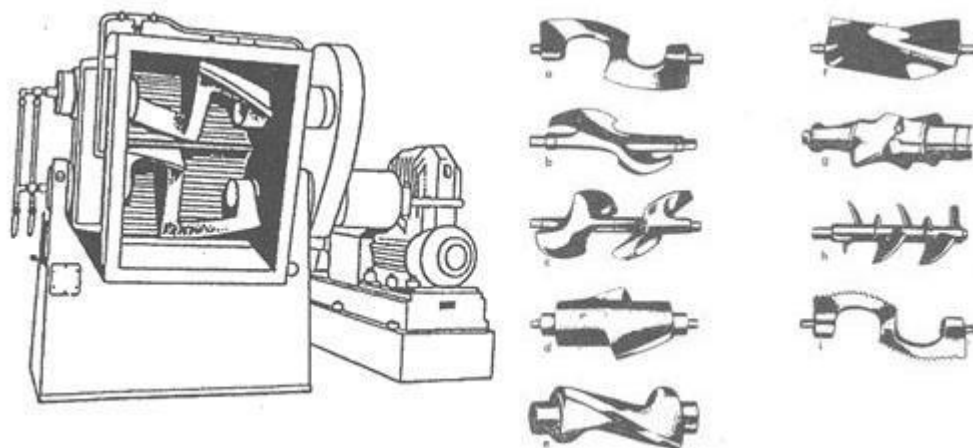
Obr. 17. Bubnová míchačka [3].

1 – plnicí otvor, 2 – motor, 3 – výpustní otvor

Další horizontální míchačkou je pásová míchačka. Rotor tvoří pásy spirálově navinuté do tvaru válce, který přehrnje materiál z jedné strany na druhou a tyto míchačky slouží k míchání práškových hmot. K míchání kapalin, resp. past jsou pásy nahrazeny lopatkami ve tvaru přerušované šroubovice. Dvouramenná míchačka se používá k přípravě lepidel, past, kaší, atd. Má masivní konstrukci s objemem nádrže do 10000 l. Dno nádrže tvoří dva půlválce, v nichž se otáčejí míchadla. Míchadla a jejich tvarů bývá velké množství. Přední míchadlo se otáčí 1,5 až 2 krát pomaleji než zadní. Nádrž je vytápěná nebo chlazená a vyklápí se pootočením.

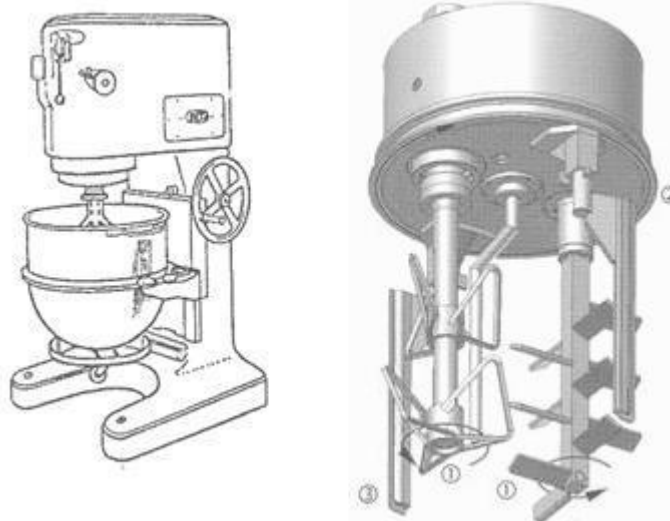


Obr. 18. Pásová míchačka [3].



Obr. 19. Dvouramenná míchačka a příklady konstrukce míchadel [3].

Mezi vertikální míchací stroje patří lopatková míchačka s lopatkovým tvarem míchadel a s velmi jednoduchou výměnou míchací nádrže. Používá se pro míchání kapalin, lepidel, past, atd. Planetová míchačka slouží k míchání viskózních hmot, je používána např. pro přípravu past, roztoků, tmelů, atd. Dvě míchací ramena s lopatkami se pohybují kolem stěn nádoby a přitom se otáčejí kolem své osy. Výhodou jsou opět jednoduché míchací nádoby, které je možné snadno měnit a také uzavřít.

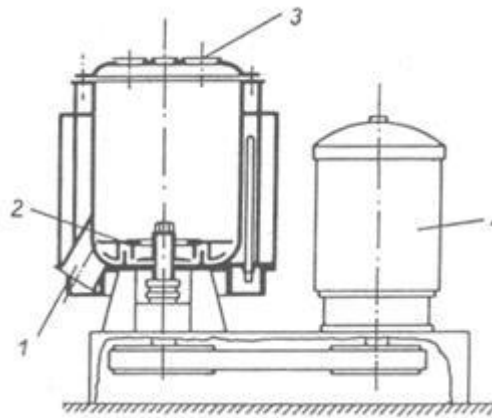


Obr. 20. Lopatková míchačka (vlevo), Planetová míchačka (vpravo) [3].

Fluidační míchačka je moderním typem vysokootáčkové míchačky schopné míchat práškové hmoty, homogenizovat, barvit, apod. Rotor se otáčí obvodovou rychlostí 30 až 60 $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ a uvádí práškový polymer do vířivého pohybu, při kterém nárazy na rotor, stěny a mezi sebou vzniká třením teplo. Podle použité teploty vzniká pak buď suchá směs nebo

hrudkovitá směs. Míchačka se plní horním víkem a výpusť je dole. Cykly jsou krátké, 5 až 10 min.

Speciální míchačky dosahují míchacího účinku rozdělováním tekoucí taveniny do několika proudů, jejich směřováním a opětovným rozdělováním. Zařazují se nejčastěji před trysky (torpédo) nebo před vytlačovací hlavu.[3]



Obr. 21. Fluidační míchačka [3].

1 – výpustní otvor, 2 – rotor, 3 – plnicí otvor, 4 - motor

3 HOŘLAVOST

Studie jak kompozity a plasty hoří, byly a stále jsou, hlavní oblastí výzkumu na vysokých školách, v průmyslu a v různých národních, vojenských a soukromých laboratořích po celém světě. Nikdo zatím nebyl schopen vyřešit všechny faktory, které se vyskytují v průběhu spalování kompozitních materiálů a plastů. Ještě méně, neexistuje ucelený model spalování u těchto materiálů. Nicméně, některé aspekty jsou docela jasné a další aspekty, zejména pokud jsou některé účinky spojeny (jak je tomu u reálných požárů), umožní pouze hrubé aproximace. Ale můžeme dostat překvapivé množství informací jen tím, že budeme sledovat pokroky z celého tohoto odvětví.

Co je nejvíce zřejmé, je to, že za podmínek, které obvykle existují při požáru, skelná vlákna nehoří, a proto nepřispívají ke spalování materiálu. Ostatní vláknové výztuže – uhlíková vlákna, aramidová vlákna a UHMWPE vlákna – budou hořet za normálních podmínek požáru, ale jejich příspěvky do ohně jsou obecně mnohem menší než u pryskyřice a mohou být ignorovány. Některé menší účinky mohou vzniknout z orientace vláken v materiálu (např. vnější vrstvy laminátu izolují vnitřní vrstvy od plamene), ale tyto účinky jsou malé a mohou být také ignorovány.

Většina anorganických plniv nehoří, ale vstupují do procesu hoření a mají výrazný vliv na spalovací proces. Jedním příkladem je trihydrát hliníku (ATH), který uvolní molekuly vody při zahřátí. Tyto molekuly vody mají tendenci snižovat hořlavost kompozitů, ovlivňují plamen a kouř. Další plniva, která mohou silně ovlivnit spalování a hoření jsou ty, které obsahují halogenové atomy (fluor, chlor, brom, jód atd.). Tyto plniva snižují hořlavost, i když často zvyšují hustotu kouře. Mnoho jiných přísad jako např. oxid antimonitý mohou mít vliv na chování spalovacího procesu. Někdy dokonce i barevné pigmenty mohou mít vliv. Nejlepší praxe v pochopení vlivu výplně v našich produktech je pravděpodobně provedení některých zkoušek hořlavosti. Nejdůležitější zkoušky uvedeme, jakmile uvedeme několik pojmů týkajících se hořlavosti pryskyřičné kompozitní složky.

Pryskyřice (neboli plastová složka) má největší vliv na určování spalovacích vlastností kompozitních systémů. Důvod je jednoduchý – většina organických pryskyřic je hořlavá. Pokud chceme snížit hořlavost, tak musíme provést změny v samotné pryskyřici nebo použít nehořlavé pryskyřice. Další články řešily změny, které jsou nejčastěji aplikovány, aby byly pryskyřice méně hořlavé, takže se o nic nebudeme zmiňovat. Mezi nejčastější způso-

by úpravy pryskyřice je přidání halogenů nebo zvýšení množství aromatických (benzenových) skupin v pryskyřici.[12]

3.1 Retardéry hoření

Existují různé skupiny retardérů hoření [12]:

- Obsahující brom
- Obsahující fosfor
- Obsahující dusík
- Anorganické retardéry
- Ohnivzdorné nátěry

Retardéry hoření na bázi brómu (BFRs)

Existuje přibližně 75 různých komerčních bromových retardérů hoření, každý s určitými vlastnostmi podle druhu materiálu, který chrání. Některé reagují s konečným polymerem, zatímco jiné jsou aditiva. Elektronický průmysl představuje největší spotřebu BFR, například v počítačích pro desky s plošnými spoji a další komponenty, jako jsou konektory, plastové skříňky a kabely. Dalšími klíčovými oblastmi použití jsou stavební výrobky (tepelné izolace), koberce, krytiny, čalounění a textil. Brom, chlor, fluor a jód jsou prvky z chemické skupiny známé jako halogeny. Slovo halogen je odvozeno od řeckého slova, které má význam “obsahující sůl”, protože tyto prvky se běžně vyskytují v přírodě v reakci s kovy ve formě solí.

- Účinnost bromových retardérů hoření spočívá v jejich schopnosti uvolnit aktivní atom bromu (nazývaný nížko – energetický volný radikál) v plynné fázi předtím, než dosáhne materiál teploty vznícení.
- Tyto atomy bromu účinně hasí chemické reakce v plameni, snižují teplotu a zpomalují (nebo dokonce zabraňují) proces hoření; tím brání vzniku cyklu, který už probíhá nebo proběhne.
- Bromové retardéry hoření vážou atomy vodíku, které jsou zapotřebí ke vzniku kyseliny bromovodíkové. Tento proces zlepšuje zuhelnatění polymeru na úkor těkavých hořlavých produktů. To přispívá k nehořlavosti polymeru.

Když povolíme přidání kovových sloučenin, jako jsou oxidy zinku nebo antimonu, zvýšíme tím efektivitu BFRs, tím, že umožníme vznik přechodných druhů, takzvaných kovových oxohalidů, které umožňují uložení ochranné vrstvy oxidů kovů. Například:

Oxid antimonitý Sb_2O_3

Oxid antimonitý nemá sám o sobě retardační účinky, ale je efektivní v synergismu s bromovými a chlorovými (halogenovými) retardéry hoření.

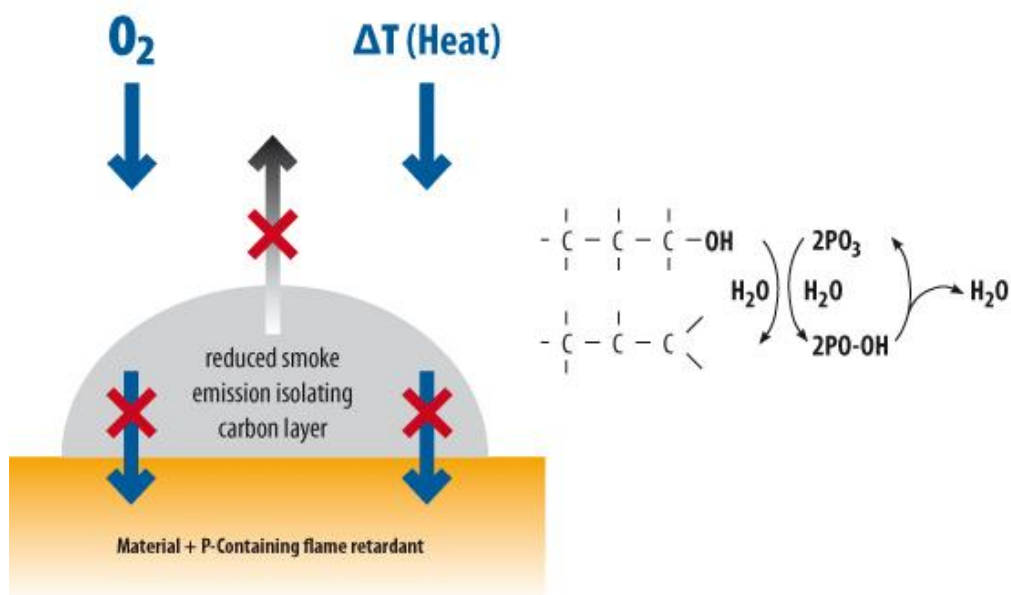
- Působí jako katalyzátor, usnadňuje rozložení těchto halogenových retardérů hoření na aktivní volné radikály.
- Také reaguje s halogeny za vzniku těkavých halogenových sloučenin antimonu, které jsou samy o sobě účinné při odstraňování vysokých energií $H\cdot$ a $OH\cdot$ radikálů, zásobující plynnou fázi ohně a posilují tak potlačující účinek retardéru hoření. Při přidání do PVC, oxid antimonitý působí na potlačení plamene tak, že aktivuje chlor přítomný v plastu.[12]

Retardéry hoření na bázi fosforu

Třída obsahující fosforové retardéry hoření pokrývá širokou škálu anorganických a organických sloučenin a zahrnuje jak reaktivní (chemicky vázané v materiálu) tak přídavné (fyzicky integrované do materiálu) sloučeniny. Mají široké aplikační pole a nabízejí velmi dobrou požární bezpečnost.

Nejdůležitější jsou: fosfátové estery, fosforitany, červený fosfor a amonné polyfosfáty.

Retardéry hoření obsahují fosfor, reagují efektivně v pevné fázi hořících materiálů (obr. 12).



Obr. 22. Princip fungování retardérů hoření na bázi fosforu [12].

- Při zahřátí polymeru reaguje fosfor za vzniku kyseliny fosforečné. Tato kyselina způsobuje zuhelnatění materiálu, tvoří skelné vrstvy a tak brání pyrolýze (vznik a uvolnění hořlavých plynů), která je nutná k podpoře plamenů.
- Ohnivzdorná vrstva hraje specifickou roli v procesu hoření. Ta funguje jako obousměrná bariéra a brání průchodu hořlavých plynů a roztaveného polymeru směrem k plameni a stíní polymer od zdroje tepla v plameni.

Fosforové retardéry hoření jsou tedy schopné nabídnout konkrétní výkonové vlastnosti v závislosti na požadované vlastnosti ohně, podmínkách zpracování a mechanických vlastnostech materiálu.

Některé produkty obsahující fosfor a chlor, brom nebo dusík, tedy kombinaci různých retardérů hoření obsahující tyto prvky jsou široce používány u standardních a technických plastů, polyuretanových pěn, termosetů, ochranných vrstvách a textilií.[12]

Retardéry hoření na bázi dusíku

Mechanismy působení retardérů hoření obsahující dusík nejsou zcela objasněny, ale předpokládají se některé mechanismy:

- Jsou to sloučeniny relativně stabilní při vysokých teplotách, tedy fyzicky brání rozložení materiálu na hořlavé plyny, které jsou zapotřebí k podpoře plamenů. Mechanismus v plynné fázi může napomoci uvolnění stabilních molekul obsahujících dusík, které produkty rozkladu těkavého polymeru zředí.
- V kapalně fázi je melanin přeměněn na překříženou molekulární strukturu, která podporuje tvorbu zuhelnatělého zbytku.

Lze rozlišit tři hlavní chemické skupiny: čistý melanin, deriváty melaninu (např. soli s anorganickými nebo organickými kyselinami jako kyselina boritá, kyselina kyanurová, kyselina fosforečná nebo pyro/poly – fosforečná kyselina) a melaninové homology.

Výrobky na bázi melaninu jsou nejvíce používaným typem dusíkatých retardérů hoření a dnes jsou používány například u polyuretanových pěn pro nábytek, stavebních pěn a silonek.[12]

Anorganické retardéry hoření

Široká škála různých anorganických sloučenin je používána jako retardéry hoření, nebo jako synergentní systémy v kombinaci s bromovými, fosforovými a dusíkatými retardéry

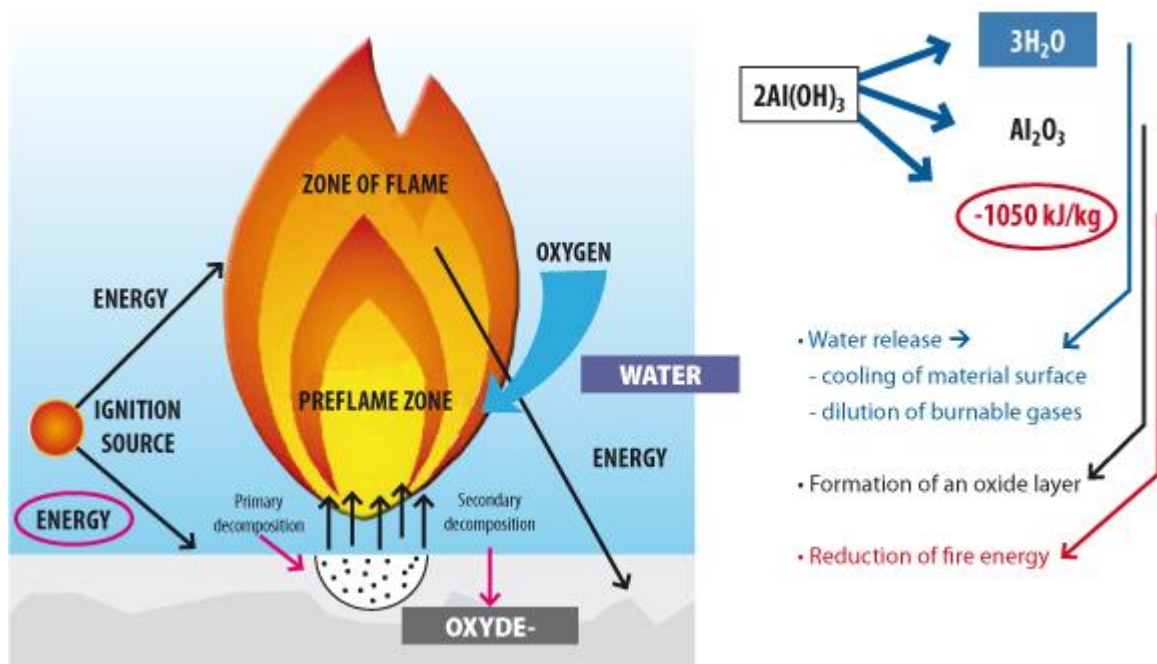
hoření. Mezi anorganické sloučeniny patří kovové oxidy, hydroxidy, boritany a sloučeniny anorganického fosforu (červený fosfor a polyfosforečnan amonný) a grafit.

Hlavně hliník a hydroxidy hořčíku jsou používány jako retardéry hoření, které zasahují do procesu hoření prostřednictvím tří hlavních fyzikálních procesů (obr. 21) :

- Uvolnění inertních plynů, jako je vodní pára, která ředí palivo kyslíkové směsi a tak brání exotermické radikální reakci, ke které dochází ve spalovací zóně.
- Absorpci energie prostřednictvím endotermického rozkladu (snížení energie pro šíření ohně), což přispěje k ochlazení a zpomalení procesu pyrolýzy.
- Vznik nehořlavé a odolné vrstvy na povrchu materiálu, (znak ochranné vrstvy) a snižování uvolňování hořlavých plynů z polymeru a snižování přenášené energie do polymeru při průběhu pyrolýzy.

Anorganické retardéry hoření se používají k dosažení požární bezpečnosti v plastech, pěnách, přírodních a umělých textiliích, dřevařských výrobcích.

Jejich mechanismy mají však relativně nízkou účinnost a produkty musí být použity v relativně velké koncentraci, nebo častěji v kombinaci s jinými typy retardérů hoření. Konkrétní aplikační formy těchto výrobků (například organické povlaky) můžou povolit takové vysoké koncentrace, které mají být přidány do polymerů bez změny jejich vlastností.[12]



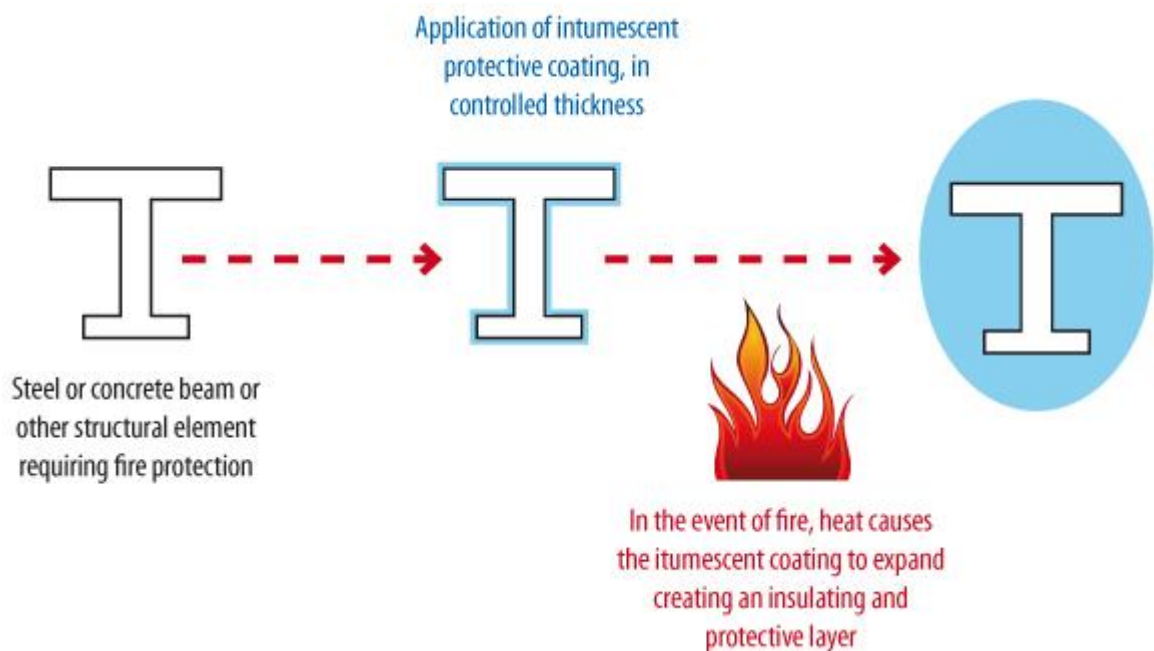
Obr. 23. Princip fungování retardéru hoření na bázi hydroxidu hliníku [12].

Ohnivzdorné nátěry

Ohnivzdorné nátěry jsou systémem požární ochrany, které se používají k ochraně materiálů jako je dřevo nebo plast před ohněm (zabraňují hoření), ale také k ochraně oceli a jiných materiálů před vysokou teplotou požárů (prevence nebo zpomalení poškození konstrukce při požáru). Viskozita nátěrů se pohybuje okolo 1500 mPa.s. Povlaky jsou vyrobeny kombinací výrobků, aplikované na povrchy ve formě nátěru, které jsou navrženy tak, aby utvořily izolační a protipožární ochranu, pokud je výrobek vystaven teplu (obr. 22).

Výrobky obsahují několik základních, vzájemně závislých součástí :

- Specifické sloučeniny, které (při zahřátí) uvolňují velké množství nehořlavých plynů (např. dusík, amoniak, CO_2)
- Pojivo, které (při zahřátí) taví hustou tekutinu, která chytá uvolněné plyny v bublinách a produkuje silnou vrstvu pěny.
- Zdroj kyseliny a sloučenin uhlíku. Při hoření, kyselina fosforečná, boritá nebo sírová, mají znaky sloučenin uhlíku, které způsobují vznik vrstvy bublin jako ohnivzdorné bariéry. Často také pojivo může sloužit jako uhlíková sloučenina.



Obr. 24. Princip fungování ohnivzdorných nátěrů vystavených ohni [12].

Stejně jako se používají k ochraně hořlavých materiálů a konstrukčních prvků, jsou ohnivzdorné systémy přidávány do některých plastů, což poskytuje základní protipožární

ochranné kapacity. V případě požáru teplo způsobí bobtnání nátěru a vytvoření izolace a ochranné vrstvy (obr. 23).[12]

Bromové retardéry hoření :

- Tetrabromobisphenol (TBBPA)
- Decabromodophenyl ether (DekaBDE)
- Hexabromocyclododecane (HBCD)

Fosforové retardéry hoření

- Alkyl – fosfáty
- Aryl – fosfáty
- Bisarylfosfát
- Červený fosfor
- Polyfosforečnan amonný
- A další

Dusíkaté retardéry hoření

- Melaninové fosfáty
- Melanin boritany
- Melanin kyanuráty
- Melanin a kondenzáty

Anorganické retardéry hoření

- Hydroxid hlinitý ($\text{Al}(\text{OH})_3$)
- Hydroxid hořečnatý ($\text{Mg}(\text{OH})_2$)
- Melanin boritany
- Oxid antimonitý (Sb_2O_3)

3.2 Testování hořlavosti

3.2.1 Význam testování hořlavosti

Nejviditelnější a převládající důvod pro testování je uspokojení požadavků některých agentur, které řídí parametry pro použití výrobku. Další důvody mohou zahrnovat zlepšení kompozitních materiálů, studie o povaze procesu hoření, vytvoření specifikace a posouzení celkové konstrukce pro požární bezpečnost.

Zkoušky hořlavosti lze rozdělit do tří skupin a obecně tyto skupiny odráží účel testu pro jeho provedení. Tyto skupiny jsou: „Oficiální testy”, nebo ty, které jsou prováděny ke splnění nějakých oficiálních požadavků, laboratorní testy, nebo ty, které se obvykle provádí v rámci výrobního zařízení pro neformální studie a ve velkém měřítku testy, které se používají k simulaci skutečných podmínek použití. Každá tato skupina bude zmíněna samostatně.[13, 23]

3.2.2 Testy prováděné na výrobcích

Z mnoha důvodů (včetně historických) různé tržní odvětví mají vyvinuté vlastní požadavky a zkoušky hořlavosti. Zkušební postupy byly pečlivě zvoleny tak, že všechny strany, které zkoušky provádí, je provádí stejným způsobem. Agentury, které kontrolují specifikace, obvykle mění postupy pouze z důvodu experimentování, což zaručuje kontinuitu v časovém průběhu zkoušek. Postupy jsou rovněž studovány, aby byly rozdíly mezi laboratořemi minimální. V mnoha případech je také vybavení používané při zkouškách standardizované a často vyžaduje nákup vybavení od certifikovaných prodejců.

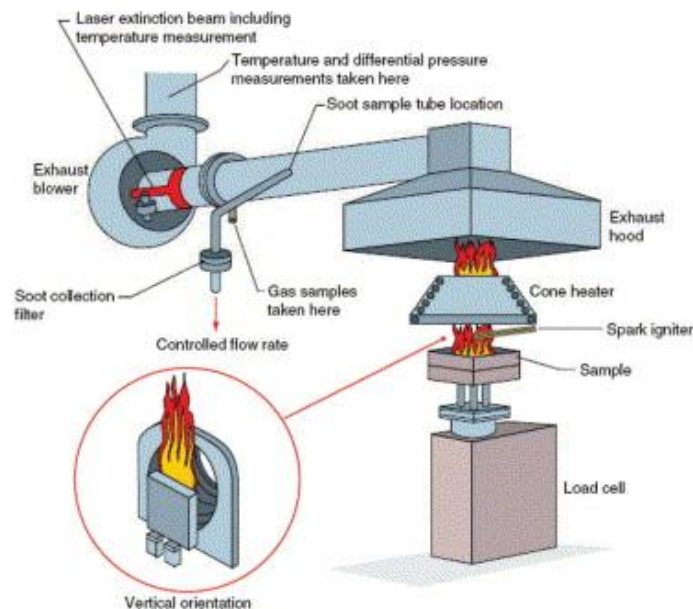
Ve světle těchto požadavků a požadavků na vybavení a místa, kde se tyto testy obvykle provádí, jsou omezeny na dvě skupiny – obchodní zkušební laboratoře a velká výzkumná zařízení (obvykle u výrobce pryskyřic).

Všimněme si, že každý zkušební postup je určen svým kódem, který nám určí, která agentura postup provádí. Např. ASTM (American Society for Testing of Materials), NHTSA (National Highway Transportation Safety Administration), FMVSS (Motor Vehicle Safety Standard), FRA (Federal Railroad Administration), ISO (International Organization for Standardization), NBSIR (National Bureau of Standards, nyní the National Institute of Standards and Technology, NIST) a MIL – STD (Military Standards). Podrobnosti o testech lze získat u těchto agentur.

Prostor v téhle práci neumožňuje detailní analýzu každého z testů, které se používají u kompozitních materiálů, ale stručné zmínění se o nejdůležitějších z nich.

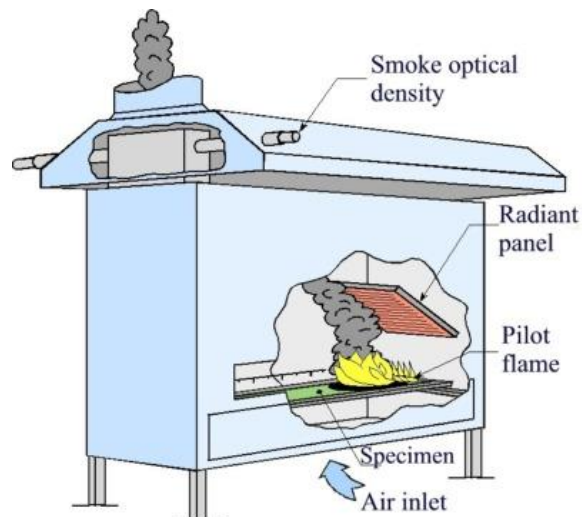
- **Kónický kalorimetr (Cone calorimeter)** (ISO 5660/ASTM E - 1354) – Tento test, který je starý jen 10 let, je nejlepší pro jednotný a komplexní test, který by mohl uspokojit většinu marketingu / odvětví. Mezi několik výhod tohoto testu patří: Velikost vzorku je malá (4 x 4 x ¼ palce), náklady na přípravu jsou nízké (v rozsahu \$ 200 až \$ 500 u komerčních laboratoří) a většina základních spalovacích vlastností

(snadnost zapálení, rychlost uvolňování tepla, hmotnost vzorku, teplota hoření a míra kouře), lze určit v širokém spektru ohřívacích a zapalovacích podmínek. V důsledku velkého množství dat, které jsou k dispozici z tohoto testu, může být vytvořen spalovací model, který umožňuje odhad možných účinků požáru na okolní oblasti a obyvatele.



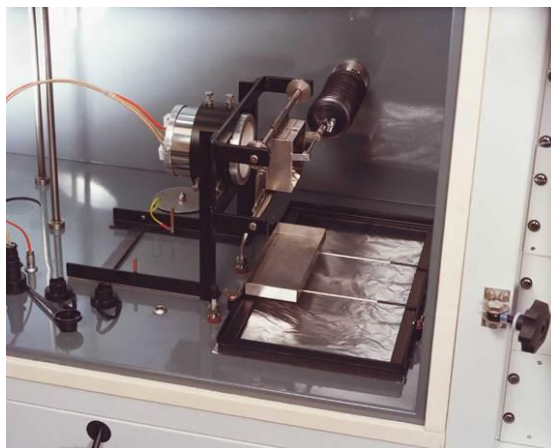
Obr. 25. Schéma přístroje pro metodu kónického kalorimetru [14].

- **Index šíření plamene (Radiant panel test)** (ASTM E - 162) – hlavním výsledkem této zkoušky je index šíření plamene. Tento index je produkt faktoru šíření plamene a vývojového faktoru tepla, který je určen z materiálu, který je vystaven sálavému zdroji tepla. Velikost vzorku není velká (6 x 18 palců) a náklady na zkoušku jsou malé (\$ 200 - \$ 300). Kromě toho je tento test používán již řadu let, a proto jsou k dispozici srovnávací údaje. Nicméně, výsledky jsou často matoucí, zvláště když porovnáváme různé materiály, čímž se omezí široká použitelnost tohoto testu.



Obr. 26. Princip metody Indexu šíření plamene [15].

- **Optická hustota kouře (Smoke chamber test)** (ASTM E - 662) – Spalovací výzkum ukázal, že mnoho úmrtí v důsledku požáru se nestává v místnostech s požárem, ale v místnostech, kde plameny nedosáhnou. Proto je povaha kouře z ohně velmi důležitá. Tato zkouška je určena k měření hustoty kouře, který vzniká v závislosti na čase, plameni a doutnajících podmínkách. Vzhledem k tomu, že byl tento test vyvinut v National Bureau of Standards (NBS), se na zkoušku odkazovalo jako na test NBS hustoty kouře. Zkušební přístroj je uzavřený box (kouřová komora), přibližně 3 x 3 x 2 stopy, která obsahuje optický zdroj světla a detektor pro měření snížení optické hustoty vlivem spalování a vzniku kouře u vzorku umístěného uvnitř komory. Vzorek je malý (obvykle 3 x 3 x ¼ palce) a cena je nízká (\$ 300 až \$ 500). Výsledky jsou obvykle vyjádřeny jako hustota kouře D_s , po 1,5 nebo 3 minutách testu.



ASTM E 662

Obr. 27. Přístroj pro testovací metodou optické hustoty kouře [16].

- **Šíření plamene a kouře (Steiner tunnel test)** (ASTM E - 84) – Tento test měří šíření plamene a kouře vlivem spalování vzorku ve velké komoře (25 x 2 stopy). Hlavním použitím tohoto testu jsou stavební materiály. Vzorek musí být připevněn k horní části komory a plamen musí působit na druhý konec vzorku. Míra a rozsah hoření jsou zaznamenávány. Náklady na provedení této zkoušky jsou vysoké (asi \$ 500 na rozběh zkoušky), což je zhruba cena samotného materiálu, který je ve velkém počtu vzorků.



Obr. 28. Přístroj pro testování šíření plamene a kouře [17].

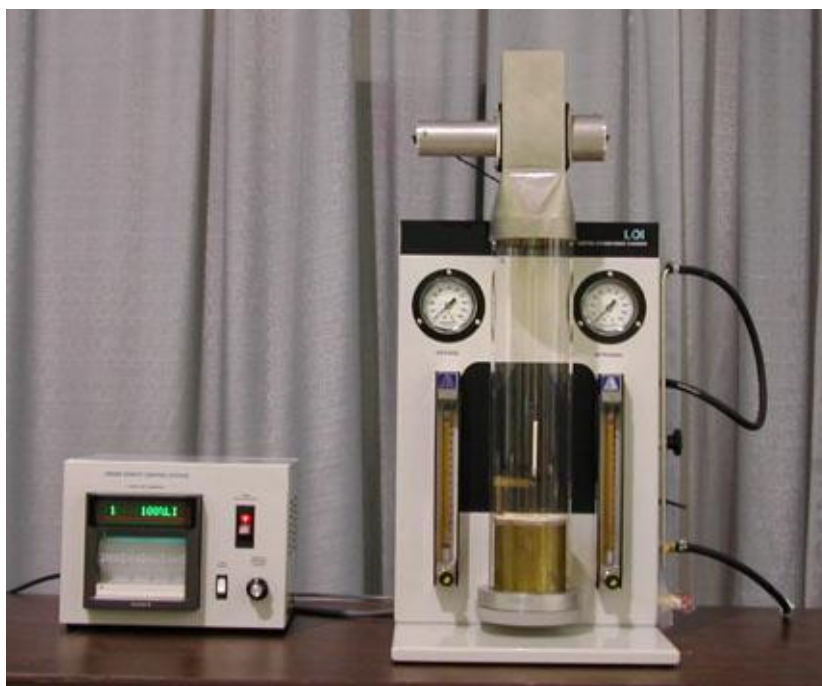
3.2.3 Laboratorní testy

Někdy jsou oficiální testy buď příliš drahé, nebo příliš časově náročné. Takový případ může nastat, když se společnost snaží upravit vzorec nebo design výrobku. Společnost by mohla využít služeb externí testovací agentury (obchodní laboratoř nebo dodavatele pryskyřice) a provést oficiální test, který probíhá na základě zákaznickova vzorku a designu a

pak použít laboratorní testy pro sledování účinnosti vykonaných změn. Tímto způsobem je možné téměř okamžitě výsledky posoudit, a protože povaha materiálu je obvykle stejná, tak nám budou dávat laboratorní testy stejné výsledky jako testy oficiální. Laboratorní testy nejsou, nicméně, tak užitečné jako oficiální testy prováděné na široké škále materiálů.

Některé z nejčastějších laboratorních testů:

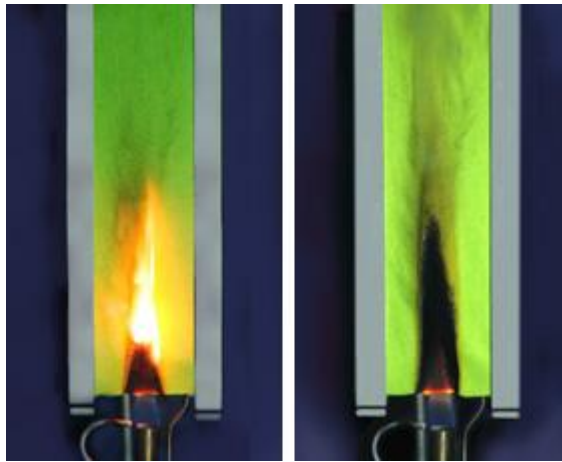
- **Limitní kyslíkové číslo (Limiting oxygen index, LOI)** (ASTM D - 2863) – Tento test je pravděpodobně nejpřesnější z laboratorních testů. V testu LOI je vzorek umístěn svisle uvnitř uzavřené komory (obvykle z plastu nebo skla). Komora je vybavena vstupem kyslíku a dusíku tak, aby mohla být atmosféra v komoře kontrolována. Vzorek se zapálí vespod a atmosféry je upravena tak, aby byla hodnota kyslíku co nejmenší. Tento minimální obsah kyslíku, vyjádřený jako procento kyslíku a dusíku v atmosféře, se nazývá kyslíkový index. Vyšší čísla jsou spojena se sníženou hořlavostí.



Obr. 29. Přístroj pro testování metodou LOI [18].

- **Vertikální test hoření (Vertical burn test)** (ASTM D – 568 a D - 3801) – Vzorek se umístí ve svislém směru tak, aby mohl být zapálen u dolního okraje. Po zapálení (10 sekund), zdroj plamene je obvykle hořák, se hořák oddálí od vzorku a měří se délka prohoření. Jestliže vzorek hoří po celou dobu, tak je třeba jej uhasit. Materiály, které hoří zatímco jsou v kontaktu s plamenem a po jeho odstranění se uhasí,

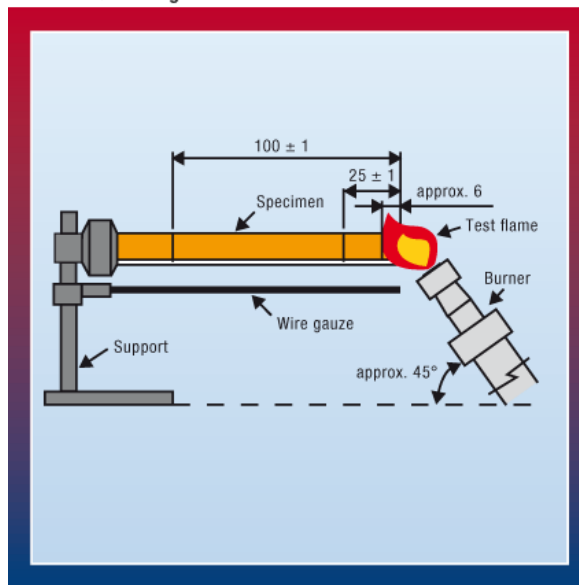
jsou nazývány samozhášivé. Tento test je velmi užitečný při měření charakteristik podobných materiálů.



Obr. 30. Ukázka metody vertikálního hoření [19].

- **Horizontální test hoření (Horizontal burn test)** (ASTM D - 635) – Tento test je podobný předešlému případu, jen s výjimkou, že je vzorek zapalován vertikálně. Tento test je méně přísný a používá se při vertikálním testování, které nerozlišuje mezi materiály. Testovány mohou být pouze samonosné materiály.[13, 23]

UL 94 HB according to IEC/DIN EN 60695 -11-10



Obr. 31. Princip metody horizontálního hoření [20].

II. PRAKTICKÁ ČÁST

4 CÍL PRÁCE

Cílem práce je zjištění optimálního materiálového složení polymerního kompozitního systému, vzhledem k výsledkům zkoušek podle normy ČSN EN 45545-2 a jejich příslušném zařazení do konkrétních skupin. Porovnáním výsledků podle normy a nalezením vzorků s optimálním složením je klíčovým prvkem pro firmu FORM s.r.o., která se zabývá výrobou kompozitních a sendvičových dílů pro veřejné dopravní prostředky a ve spolupráci s kterou vznikla tahle diplomová práce.

Jako mechanické zkoušky u vybraných vzorků bude provedena zkouška v ohybu a zkouška rázové houževnatosti. Výsledky těchto zkoušek budou doplňující k výsledkům zkoušek hořlavosti a budou demonstrovat vliv procenta plniva na mechanické vlastnosti.

Vyhodnocení zkoušek hořlavosti bude provedeno dle příslušných norem a mělo by demonstrovat odlišné vlastnosti v závislosti na materiálovém složení vzorků. Budou provedeny následující zkoušky:

- Limitní kyslíkové číslo dle ČSN ISO 4589-2
- Šíření plamene dle ISO 5658-2
- Testování na kónickém kalorimetru dle ISO 5660-1
- Optická hustota kouře dle ČSN EN ISO 5659-2
- Toxicita dle CEN/TS 45545-2:2011 příloha C

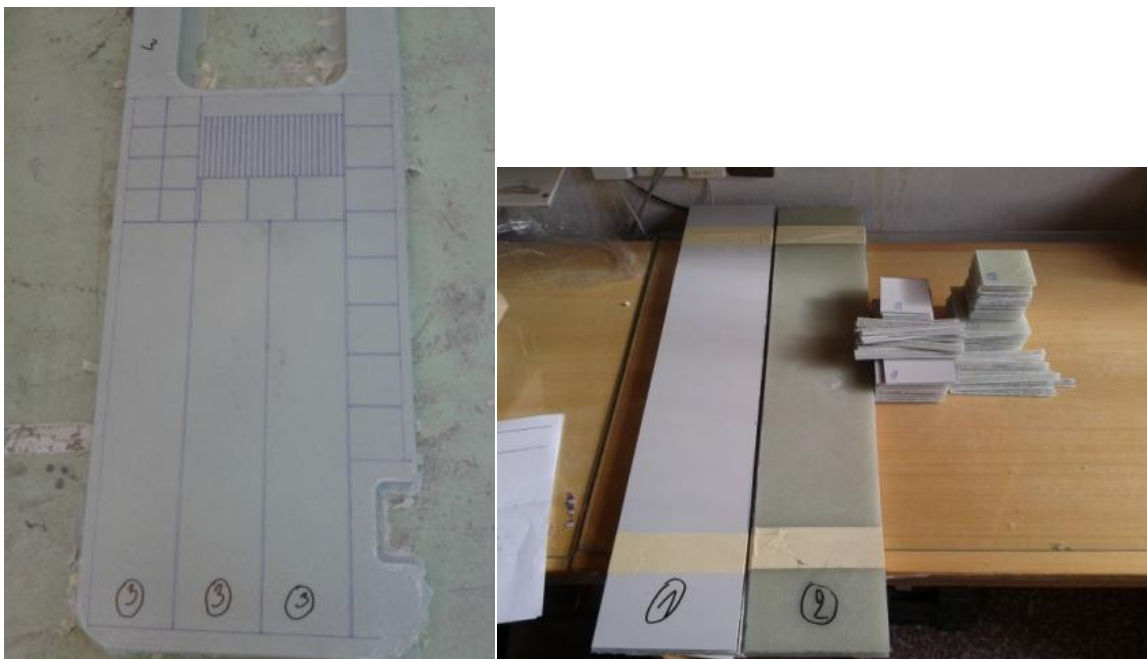
Na zkušební tělesa budou použity běžně vyráběné velkoplošné díly, ze kterých byla zkušební tělesa nařezána. Materiálové složení jednotlivých vyrobených dílů bylo předem dohodnuto.

5 VÝROBA A SLOŽENÍ VZORKŮ

Pro výrobu vzorků byly použity dvě pryskyřice a dva retardéry hoření s různým procentuálním složením. Jako výztuž byly použity tkaniny a skladba, které běžně používá firma FORM pro své výrobky. Vzorky byly vyrobeny pomocí technologie RTM, jako běžně vyráběné díly, ze kterých se následně nařezaly zkušební tělesa. Popis technologie RTM je popsán v kapitole 1.2.1.



Obr. 32. Uzavřená forma s odvzdušňovacím systémem.



Obr. 33 a 34. Oryšované a nařezané vzorky.

5.1 Materiálové složení vzorků

Tab. 4. Materiálové složení vzorků

Vzorek	Materiálové složení
VZ1	Skladba:
	2x BIDIAGONAL-GLASS-FABRIC S32EX010-00980-01270-283000 (+45°/-45°)
	1x skelná rohož 300 g/m ²
	1x polyesterový gelcoat BÜFA®-Firestop GC S 260-SV Nature
	Matrice: Vývojová
	Iniciační systém:
	2% Butanox M-50, 0,1% Co urychlovač 4%, 0,2% Fe urychlovač
	Povrchová úprava:
	bez laku - polyesterový gelcoat
VZ2	Skladba:
	2x BIDIAGONAL-GLASS-FABRIC S32EX010-00980-01270-283000 (+45°/-45°)
	1x skelná rohož 300 g/m ²
	Matrice: Vývojová
	Iniciační systém:
	2% Butanox M-50, 0,1% Co urychlovač 4%, 0,2% Fe urychlovač
	Povrchová úprava:
	bez laku

VZ3	Skladba:
	2x BIDIAGONAL-GLASS-FABRIC S32EX010-00980-01270-283000 (+45°/-45°)
	1x skelná rohož 300 g/m ²
	10% retardér hoření Exolit AP 423
	Matrice: Vývojová
	Iniciační systém:
	2% Butanox M-50, 0,1% Co urychlovač 4%, 0,2% Fe urychlovač
	Povrchová úprava:
	bez laku
VZ4	Skladba:
	2x BIDIAGONAL-GLASS-FABRIC S32EX010-00980-01270-283000 (+45°/-45°)
	1x skelná rohož 300 g/m ²
	15% retardér hoření Exolit AP 423
	Matrice: Vývojová
	Iniciační systém:
	2% Butanox M-50, 0,1% Co urychlovač 4%, 0,2% Fe urychlovač
	Povrchová úprava:
	bez laku
VZ5	Skladba:
	1x BIDIAGONAL-GLASS-FABRIC S32EX010-00980-01270-283000 (+45°/-45°)
	2x skelná rohož 300 g/m ²
	100% retardér hoření Martinal ON-904
	1x polyesterový gelcoat BŮFA®-Firestop GC S 260-SV Nature
	Matrice: Norester 880
	Iniciační systém:
	2% Butanox M-50
	Povrchová úprava:
	bez laku - polyesterový gelcoat

Při výrobě vzorků byla použita stejná technologie výroby vzorků. Z materiálového složení mají všechny vzorky shodné použití skelné tkaniny a skelné rohože. U vzorků VZ1 až VZ4 je použita vývojová čtyřprovazní pryskyřice a u vorku VZ5 pryskyřice NORESTER. Vzorky VZ1 a VZ5 mají povrchovou úpravu pomocí gelcoatu, ostatní vzorky jsou bez gelcoatu. U vzorků VZ3, VZ4 a VZ5 je použit retardér hoření na bázi hydroxidu hliníku a to v množství 10%, 15% a 100%. Avšak u vzorku VZ5 je použit retardér od jiného výrobce. Všechny vzorky používají stejný iniciační systém.

6 ZKOUŠKY HOŘLAVOSTI

6.1 Limitní kyslíkové číslo (LOI) ČSN EN ISO 4589-2

Je široce používaný, ale často nesprávně vykládaný test, který poskytuje jediný obrázek, který se vztahuje k zápalnosti materiálů.

Limitní kyslíkové číslo je koncentrace procent kyslíku, při kterých malý vzorek bude hořet stále stejným způsobem. Test je pravděpodobně nejznámější jako standardní požární zkouška. Pro testování se používají malé vzorky materiálu, které jsou upnuty svisle ve skleněné trubici, ve které se nachází relativní koncentrace kyslíku a dusíku, které může být měněna. Cílem je otestovat hořlavost vzorku zapáleného malým plamenem a najít minimum koncentrace kyslíku nutné k hoření vzorku. Výsledek je obvykle vyjádřen jako:

$$n = \frac{100 \times O_2}{O_2 + N_2} \% \quad (1)$$

Výsledky testu se nachází v číselné stupnici, která usnadňuje srovnávání materiálů. Test je opakovatelný a slouží k zajištění kvality a pro stanovení potenciálu hořlavosti materiálu. Nicméně malý zkušební plamen a zároveň vysoký index svědčí o materiálu, který se méně snadno vznítí a je méně hořlavý. Materiály s indexem větším než 21 podstupují spalovací proces v koncentraci kyslíku pod 5%, v plně rozvinutém skutečném požáru. Tento test je jedním z mála, kde mohou být aplikovány stabilní vypalovací podmínky a zároveň mohou být opakovány.

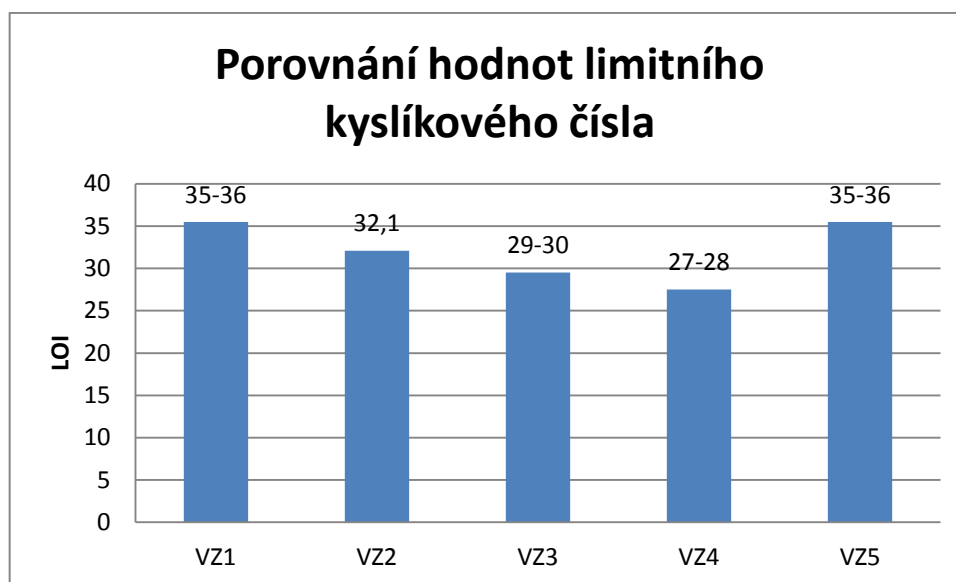
Tab. 5. Reprezentativní hodnoty LOI pro různé materiály

Typické materiály	LOI
Polyuretanová pěna	16,5
PMMA(Perspex)	17,3
Polyetylen	17,4
Polypropylen	17,4
Polystyren	17,8
Překližka	23
Nylon 66	24-29
Polykarbonát	25-44
Nomex	28,5
Polyester (GRP)	21-43
PVC (neměkčené)	45-49
PTFE	95

Rozměry zkušebních těles: 150 x 10 x 4 mm

Tab. 6. Výsledné hodnoty LOI vzorků po zkoušce dle ČSN ISO 4589-2

	LOI
VZ1	35-36
VZ2	32,1
VZ3	29-30
VZ4	27-28
VZ5	35-36



Obr. 35. Porovnání hodnot LOI u všech vzorků.

6.2 Šíření plamene dle ISO 5658-2

Test podle normy ISO 5658-2 je testován na boční šíření plamene, vertikálně orientovaného povrchu vzorku materiálu pod napětím a tepelným zářením.

Pro klasifikaci kritické intenzity záření se určí, ve které vzdálenosti materiál uhasne. CFE – kritický tepelný tok při uhašení (dopadající intenzita záření na povrch vzorku v místě maximálního šíření plamene, zaokrouhluje se v krocích po 10 mm). Maximální šíření plamene určuje CFE hodnota, která je za podmínek stanovených odpovídajícího tepelného záření, které odpovídá profilu záření.

Test je ukončen když:

- Během 10 minut neproběhne zažehnutí,
- Plameny zaniknou a žádné další rozněcování plamene během 10 nevznikne, nebo
- 30 minut po začátku experimentu vzorek hoří, ale není pozorováno žádné další šíření plamene,
- Když čelo plamene dosáhne konce vzorku.

Počet a rozměry zkušebních vzorků:

Obvykle jsou používány 3 vzorky se stejnou povrchovou úpravou a orientací. Rozměry vzorků (800 x 155 x max. 70) mm. Výrobky vyráběné jako běžné aplikace jsou silnější než 70 mm a proto se nehodí pro zkoušení. Jsou potřebné dvě sady tří vzorků. V případě, že je materiál anizotropní, jsou nutné dvě sady tří vzorků v podélném a příčném směru. Materiály, které se používají v praxi s povrchovou úpravou, musí být testovány i s touto povrchovou úpravou. Materiály, které jsou uspořádány v aplikaci se vzduchovou mezerou, se zkoušejí se vzduchovou mezerou 25 mm. Vzorky se suší na konstantní hmotnost.

Tab. 7. Naměřené hodnoty u vzorku VZ1

VZ1	Orientace zkušebních těles: A - podélná														
Zjišťované hodnoty	Vzdálenost od okraje zkušebního vzorku [mm]														
	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600	650	700	750
Hustota tepelného toku v kontrolních bodech [kW/m ²]	50,5	49,5	46,8	43,1	37,9	31,0	23,8	18,2	13,0	9,4	6,4	4,2	3,0	2,2	1,5
Doba průchodu kontrolních bodů frontou plamene [s]	80	80	80	80	96	142	276								
	78	78	78	78	104	161	292								
	89	89	89	95	123	175	305								
Součin hustoty tepelného toku v kontrolním bodě a doby jeho průchodu frontou [MJ/m ²]	<i>n</i>	<i>n</i>	3,7	3,4	3,6	4,4	6,6	<i>n</i>							
	<i>n</i>	<i>n</i>	3,7	3,4	3,9	5,0	6,9	<i>n</i>							
	<i>n</i>	<i>n</i>	4,2	4,1	4,7	5,4	7,3	<i>n</i>							
VZ1	Orientace zkušebních těles: B - příčná														
Zjišťované	Vzdálenost od okraje zkušebního vzorku [mm]														

hodnoty	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600	650	700	750
Hustota tepelného toku v kontrolních bodech [kW/m ²]	50,5	49,5	46,8	43,1	37,9	31,0	23,8	18,2	13,0	9,4	6,4	4,2	3,0	2,2	1,5
Doba průchodu kontrolních bodů frontou plamene [s]	75	75	79	79	85	138	275								
	84	84	84	91	104	173	308								
	77	77	77	77	125	181	292								
Součinnost hustoty tepelného toku v kontrolním bodě a doby jeho průchodu frontou [MJ/m ²]	<i>n</i>	<i>n</i>	3,7	3,4	3,2	4,3	6,5	<i>n</i>							
	<i>n</i>	<i>n</i>	3,9	3,9	3,9	5,4	7,3	<i>n</i>							
	<i>n</i>	<i>n</i>	3,6	3,3	4,7	5,6	6,9	<i>n</i>							

Poznámka *n* = nevyhodnocuje se

Tab. 8. Naměřené a vypočtené hodnoty u vzorku VZ1

VZ1

Orientace vzorků	A - podélná			Průměr	B - příčná			Průměr
	1A	2A	3A		1B	2B	3B	
Č. zkoušky								
Doba do zapálení [s]	80	78	89		75	84	77	
Doba trvání zkoušky [min:s]	15:00	16:00	16:00		16:00	16:00	16:00	
Délka vypálené zóny [mm]	350	370	370		360	360	380	
CFE [kW/m ²]	23,9	21,5	21,5	22,3	22,7	22,7	20,4	21,9
Q _{sb} [MJ/m ²]	4,4	4,6	5,1	4,7	4,2	4,9	4,8	4,7

Výsledné ukazatele: CFE = 21,9 kW/m² Q_{sb} = 4,7 MJ/m²

Tab. 9. Naměřené hodnoty u vzorku VZ2

VZ2	Orientace zkušebních těles: A - podélná														
	Vzdálenost od okraje zkušebního vzorku [mm]														
Zjišťované hodnoty	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600	650	700	750
Hustota tepelného toku v kontrolních bodech [kW/m ²]	50,5	49,5	46,8	43,1	37,9	31,0	23,8	18,2	13,0	9,4	6,4	4,2	3,0	2,2	1,5
Doba průchodu kontrolních	46	52	61	76	106	138	179	217							

bodů frontou plamene [s]	41	48	64	82	99	144	196	247								
	53	53	68	95	112	145	188	231								
Součín hustoty tepelného toku v kontrolním bodě a doby jeho průchodu frontou [MJ/m ²]	<i>n</i>	<i>n</i>	2,9	3,3	4,0	4,3	4,3	3,9								
	<i>n</i>	<i>n</i>	3,0	3,5	3,8	4,5	4,7	4,5								
	<i>n</i>	<i>n</i>	3,2	4,1	4,2	4,5	4,5	4,2								
VZ2	Orientace zkušebních těles: B - příčná															
Zjišťované hodnoty	Vzdálenost od okraje zkušebního vzorku [mm]															
	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600	650	700	750	
Hustota tepelného toku v kontrolních bodech [kW/m ²]	50,5	49,5	46,8	43,1	37,9	31,0	23,8	18,2	13,0	9,4	6,4	4,2	3,0	2,2	1,5	
Doba průchodu kontrolních bodů frontou plamene [s]	50	53	59	79	106	155	167	244								
	42	52	65	77	112	147	181	226								
	53	54	64	75	103	138	177	255								
Součín hustoty tepelného toku v kontrolním bodě a doby jeho průchodu frontou [MJ/m ²]	<i>n</i>	<i>n</i>	2,8	3,4	4,0	4,8	4,0	4,4								
	<i>n</i>	<i>n</i>	3,0	3,3	4,2	4,6	4,3	4,1								
	<i>n</i>	<i>n</i>	3,0	3,2	3,9	4,3	4,2	4,6								

Poznámka *n* = nevyhodnocuje se

Tab. 10. Naměřené a vypočtené hodnoty u vzorku VZ2

VZ2

Orientace vzorků	A - podélná			Průměr	B - příčná			Průměr
	1A	2A	3A		1B	2B	3B	
Č. zkoušky								
Doba do zapálení [s]	36	38	50		42	40	49	
Doba trvání zkoušky [min:s]	14:00	15:00	15:00		15:00	15:00	15:00	
Délka vypálené zóny [mm]	410	400	430		420	420	410	
CFE [kW/m ²]	17,0	18,2	15,0	16,7	16,1	16,1	17,0	16,4
Q _{sb} [MJ/m ²]	3,8	4,0	4,1	4,0	3,9	3,9	3,9	3,9

Výsledné ukazatele: CFE = 16,4 kW/m² Q_{sb} = 3,9 MJ/m²

Tab. 11. Naměřené hodnoty u vzorku VZ3

VZ3	Orientace zkušebních těles: A - podélná														
	Vzdálenost od okraje zkušebního vzorku [mm]														
Zjišťované hodnoty	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600	650	700	750
Hustota tepelného toku v kontrolních bodech [kW/m ²]	50,5	49,5	46,8	43,1	37,9	31,0	23,8	18,2	13,0	9,4	6,4	4,2	3,0	2,2	1,5
Doba průchodu kontrolních bodů frontou plamene [s]	64	64	75	89	135	188	316	507							
	61	62	70	90	123	190	324	518							
	68	68	68	93	129	175	299	494							
Součin hustoty tepelného toku v kontrolním bodě a doby jeho průchodu frontou [MJ/m ²]	<i>n</i>	<i>n</i>	3,5	3,8	5,1	5,8	7,5	9,2	<i>n</i>						
	<i>n</i>	<i>n</i>	3,3	3,9	4,7	5,9	7,7	9,4	<i>n</i>						
	<i>n</i>	<i>n</i>	3,2	4,0	4,9	5,4	7,1	9,0	<i>n</i>						

Poznámka *n* = nevyhodnocuje se

Tab. 12. Naměřené a vypočtené hodnoty u vzorku VZ3

VZ3				
Orientace vzorků	A - podélná			Průměr
Č. zkoušky	1A	2A	3A	
Doba do zapálení [s]	56	50	58	
Doba trvání zkoušky [min:s]	19:00	20:00	19:00	
Délka vypálené zóny [mm]	430	420	410	
CFE [kW/m ²]	15,0	16,1	17,0	16,0
Q _{sb} [MJ/m ²]	5,8	5,8	5,6	5,7

Výsledné ukazatele: CFE = 16,0 kW/m² Q_{sb} = 5,7 MJ/m²

Tab. 13. Naměřené hodnoty u vzorku VZ4

VZ4	Orientace zkušebních těles: A - podélná														
	Vzdálenost od okraje zkušebního vzorku [mm]														
	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600	650	700	750
Hustota tepelného toku v kontrolních bodech [kW/m²]	50,5	49,5	46,8	43,1	37,9	31,0	23,8	18,2	13,0	9,4	6,4	4,2	3,0	2,2	1,5
Doba průchodu kontrolních bodů frontou plamene [s]	62	72	78	93	109	137	291	477							
	69	69	80	93	115	145	307	485							
	70	71	79	100	124	156	316	505							
Součin hustoty tepelného toku v kontrolním bodě a doby jeho průchodu frontou [MJ/m²]	<i>n</i>	<i>n</i>	3,7	4,0	4,1	4,2	6,9	8,7	<i>n</i>						
	<i>n</i>	<i>n</i>	3,7	4,0	4,4	4,5	7,3	8,8	<i>n</i>						
	<i>n</i>	<i>n</i>	3,7	4,3	4,7	4,8	7,5	9,2	<i>n</i>						

Poznámka *n* = nevyhodnocuje se

Tab. 14. Naměřené a vypočtené hodnoty u vzorku VZ4

VZ4				
Orientace vzorků	A - podélná			Průměr
Č. zkoušky	1A	2A	3A	
Doba do zapálení [s]	58	62	65	
Doba trvání zkoušky [min:s]	19:00	19:00	20:00	
Délka vypálené zóny [mm]	420	400	400	
CFE [kW/m²]	16,1	18,2	18,2	17,5
Q_{sb} [MJ/m²]	5,3	5,5	5,7	5,5

Výsledné ukazatele: CFE = 17,5 kW/m² Q_{sb} = 5,5 MJ/m²

Tab. 15. Naměřené hodnoty u vzorku VZ5

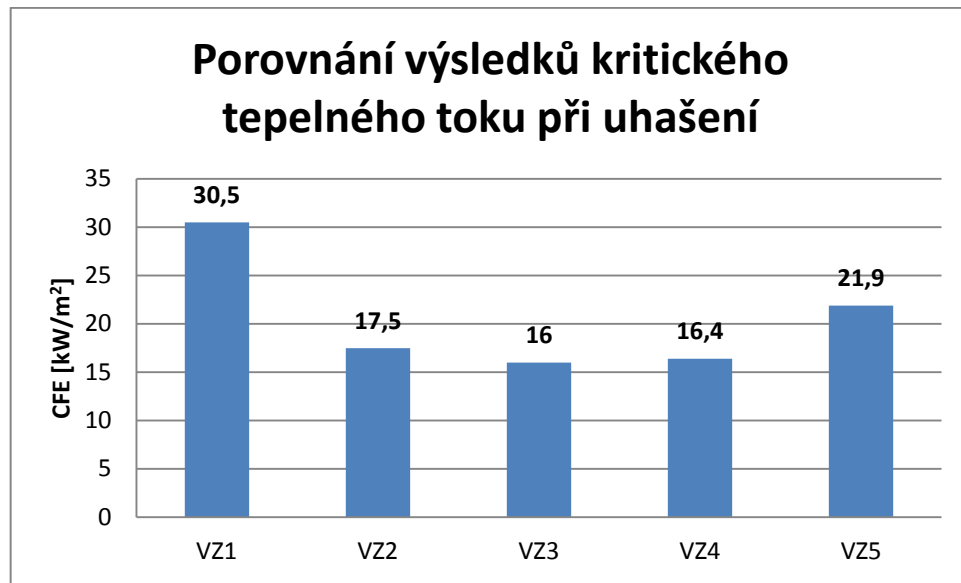
VZ5	Orientace zkušebních těles: A - podélná														
Zjišťované hodnoty	Vzdálenost od okraje zkušebního vzorku [mm]														
	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600	650	700	750
Hustota tepelného toku v kontrolních bodech [kW/m ²]	50,5	49,5	46,8	43,1	37,9	31,0	23,8	18,2	13,0	9,4	6,4	4,2	3,0	2,2	1,5
Doba průchodu kontrolních bodů frontou plamene [s]	139	145	158	213	269	305									
	122	137	150	199	255	351									
	129	159	177	229	284	329									
Součin hustoty tepelného toku v kontrolním bodě a doby jeho průchodu frontou [MJ/m ²]	<i>n</i>	<i>n</i>	7,4	9,2	10,2	9,5									
	<i>n</i>	<i>n</i>	7,0	8,6	9,7	10,9									
	<i>n</i>	<i>n</i>	8,3	9,9	10,8	10,2									

Poznámka *n* = nevyhodnocuje se

Tab. 16. Naměřené a vypočtené hodnoty u vzorku VZ5

VZ5				
Orientace vzorků	A - podélná			Průměr
Č. zkoušky	1A	2A	3A	
Doba do zapálení [s]	77	75	80	
Doba trvání zkoušky [min:s]	16:00	16:00	16:00	
Délka vypálené zóny [mm]	310	300	300	
CFE [kW/m ²]	29,5	31,0	31,0	30,5
Q _{sb} [MJ/m ²]	9,1	9,0	9,8	9,3

Výsledné ukazatele: CFE = 30,5 kW/m² Q_{sb} = 9,3 MJ/m²



Obr. 36. Porovnání hodnot CFE u všech vzorků.

6.3 Testování metodou kónického kalorimetru dle ISO 5660-1

Montáž a orientace vzorku:

Vzorky byly ze spodní části a ze všech čtyřech stran obalené v hliníkové fólii a tloušťce 0,1 mm. Vzorky byly položeny na vrstvě izolační minerální vaty tak, že úchytný rám dotlačil vzorek a stabilizoval jeho výšku a zajistil vodorovnost. Orientace zkušebních vzorků v průběhu zkoušky byla horizontální. Tepelnému toku byla vystavená strana s lesklou povrchovou úpravou nebo bílá, lesklá a glazurovaná vrstva zkušebních vzorků.

Podmínky zkoušení:

Byly zkoušeny tři vzorky při dodržení stejných podmínek zkoušky a to:

- Kalibrační konstanta $C = 0,042444$
- Průtok v odsávacím systému $0,024 \pm 0,002 \text{ l.s}^{-1}$
- Zatížení tepelným tokem o hustotě 50 kW.m^{-2}
- Interval zaznamenávání údajů 2s

Tab. 17. Tloušťka a hmotnost vzorku VZ1

VZ1

Vzorek	Tloušťka vzorku (mm)	Hmotnost vzorku (g)
1.	4,3 ± 0,5	61,283
2.	4,3 ± 0,5	61,280
3.	4,3 ± 0,5	59,266

Tab. 18. Tloušťka a hmotnost vzorku VZ2

VZ2

Vzorek	Tloušťka vzorku (mm)	Hmotnost vzorku (g)
1.	4 ± 0,5	58,318
2.	4 ± 0,5	54,655
3.	4 ± 0,5	59,072

Tab. 19. Naměřené časy v průběhu zkoušky u vzorku VZ1

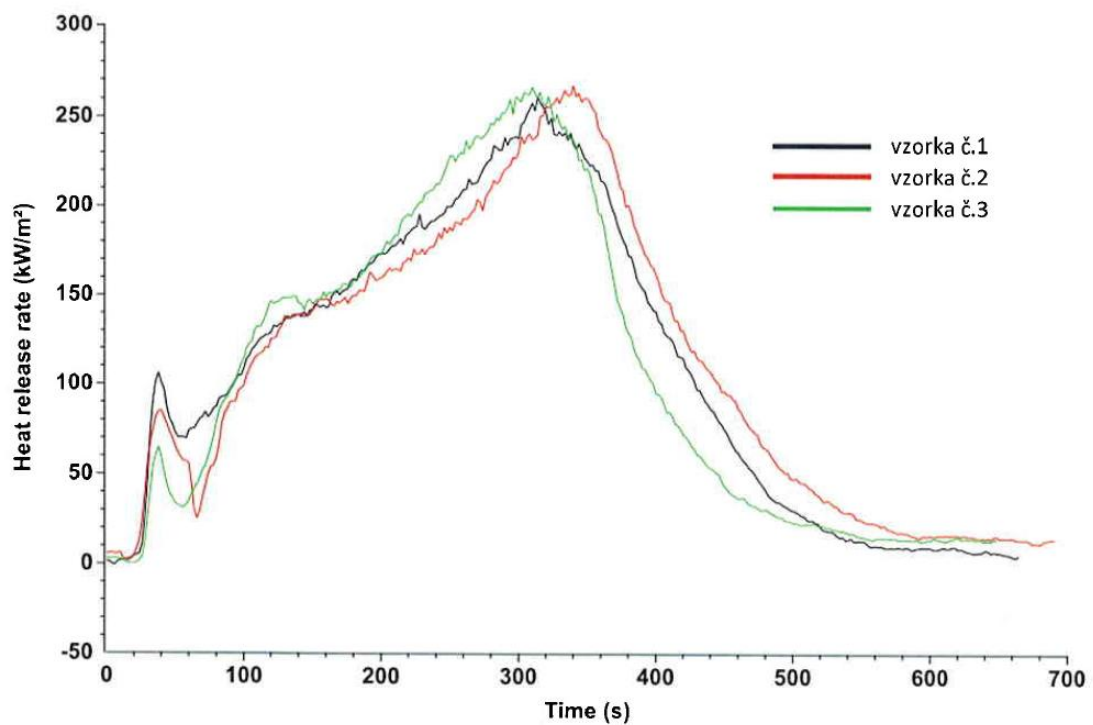
VZ1

Vzorek	Čas do ustáleného plamenového hoření (s)	Čas do ukončení plamenového hoření (s)	Trvání zkoušky
1.	30	559	664
2.	35	585	690
3.	36	541	648
Průměrné hodnoty	33,7	561,7	667,3

Tab. 20. Hodnoty definující průběh zkoušky u vzorku VZ1

VZ1

Vzorek	$q_{A,60}$ (kW.m ⁻²)	$q_{A,180}$ (kW.m ⁻²)	$q_{A,300}$ (kW.m ⁻²)	MARHE (kW.m ⁻²)	Celkové uvolněné teplo (MJ.m ⁻²)
1.	83,21	122,74	160,83	156,10	71,90
2.	64,13	115,04	153,32	152,40	74,19
3.	59,39	121,22	167,24	155,70	68,31
Průměrné hodnoty	68,91	119,66	160,46	154,73	71,47



Obr. 37. Průběh rychlosti uvolňování hustoty tepelného toku v závislosti na čase vzorku VZ1.

Průběh zkoušky u vzorku VZ1:

U vzorku číslo 1 nedošlo k přerušení plamenového hoření v čase od 70 do 80 sekundy, tak jako nastalo u vzorků číslo 2 a 3. Ustálenému plamenovému hoření předcházela fáze 10 sekundového přechodného plamenového hoření u všech třech vzorků. Ustálené plamenové hoření pokračovalo až do 72 sekundy v případě druhého vzorku a 79 sekundy v případě třetího vzorku, kde došlo k ukončení plamenového hoření. Protože nebyl naplněn požadavek trvání zkoušky minimálně 5 minut z bodu 11.3.5 (ISO 5660-1:2002), byl podle bodu 11.3.4 (ISO 5660-1:2002) znovu přiblížen iniciační zdroj do 5 sekund od ukončení plamenového hoření. Znovu přiblížení iniciačního zdroje iniciovalo plamenové hoření. Intenzita následného plamenového hoření byla dostatečná a iniciační zdroj mohl být odstraněn. Vzorky v průběhu hoření na povrchu karbonizovaly, netavily se a ani nebobtnaly.

Tab. 21. Naměřené časy v průběhu zkoušky u vzorku VZ2

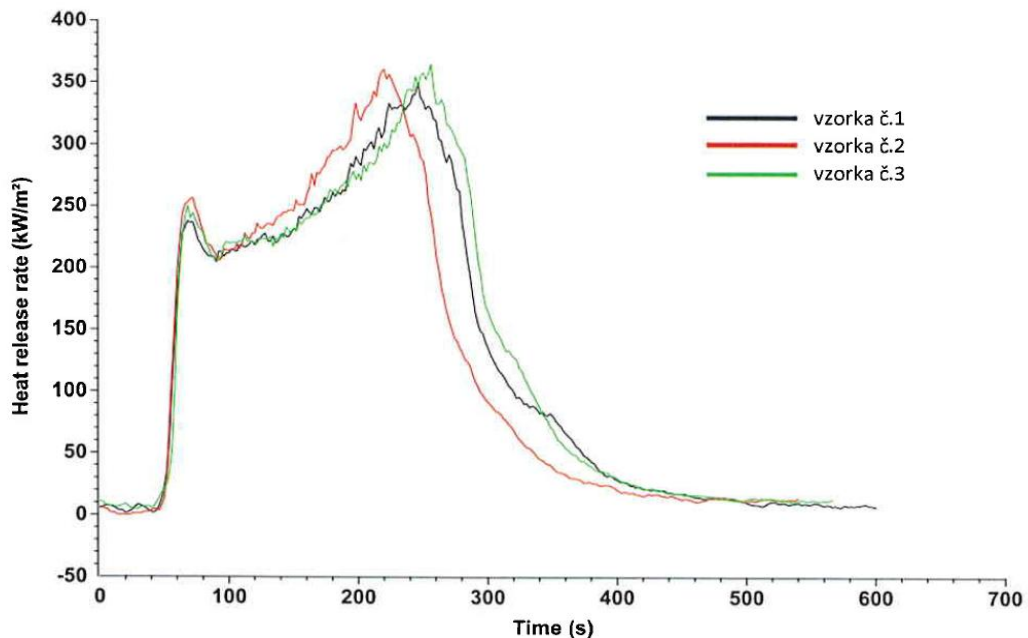
VZ2

Vzorek	Čas do ustáleného plamenového hoření (s)	Čas do ukončení plamenového hoření (s)	Trvání zkoušky
1.	50	493	600
2.	51	433	540
3.	52	457	566
Průměrné hodnoty	51	461	568,7

Tab. 22. Hodnoty definující průběh zkoušky u vzorku VZ2

VZ2

Vzorek	$q_{A,60}$ (kW.m ⁻²)	$q_{A,180}$ (kW.m ⁻²)	$q_{A,300}$ (kW.m ⁻²)	MARHE (kW.m ⁻²)	Celkové uvolněné teplo (MJ.m ⁻²)
1.	195,62	237,39	22,81	209,82	72,0
2.	210,90	259,67	211,52	211,50	66,8
3.	201,74	237,38	230,70	213,38	73,9
Průměrné hodnoty	202,75	244,81	221,67	211,57	70,9



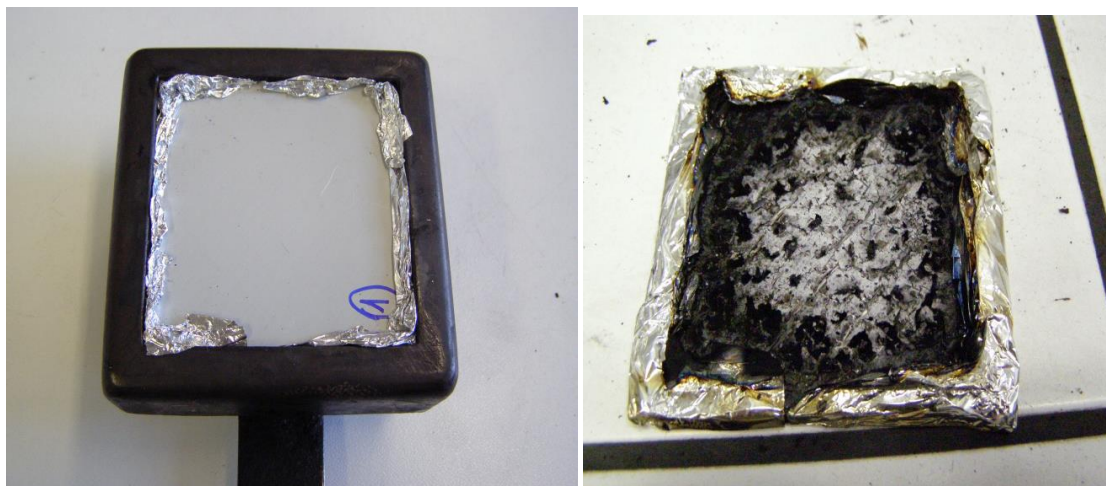
Obr. 38. Průběh rychlosti uvolňování hustoty tepelného toku v závislosti na čase vzorku VZ2.

Průběh zkoušky u vzorku VZ2:

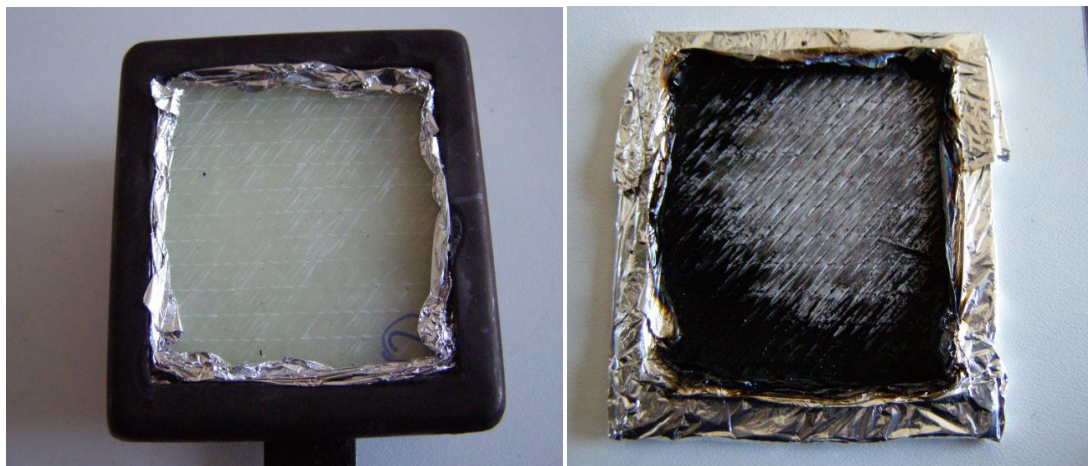
Zkušební vzorky se chovaly v průběhu zkoušky stejně. Ustálenému plamenovému hoření předcházela fáze 5 sekundového přechodného plamenového hoření. Po iniciaci plamenového hoření vzorky hořeli klidně až do ukončení plamenového hoření. Vzorky se během hoření na povrchu netavily a ani nebobtnaly, po ukončení zkoušky bylo vidět jen výztuž ze skelných vláken.

6.4 Optická hustota kouře dle ČSN EN ISO 5659-2**Technický popis:**

Vzorek č. 1 je zkušební těleso o rozměrech (75 x 75 x 4) mm. Vzorek č. 2 je zkušební těleso o rozměrech (75 x 75 x 3,6) mm. Jedná se o tělesa vyrobená ze skleného laminátu.



Obr. 39 a 40. Vzorek VZ1 před a po zkoušce.



Obr. 41 a 42. Vzorek VZ2 před a po zkoušce.

Zkušební předpisy:

ČSN EN 45545-2:2013 Drážní aplikace – požární ochrana drážních vozidel – Část 2: Požadavky na požární vlastnosti materiálů a součástí.

ČSN EN ISO 5659-2:2013 Plasty – Vývoj dýmu – Část 2: Stanovení optické hustoty v jednoduché komoře.

Zkušební metody T10.01 a T10.02 nejsou v AZL č. 1011.2 akreditovány.

Výsledky zkoušek:

Tab. 23. Naměřené hodnoty u vzorku VZ1

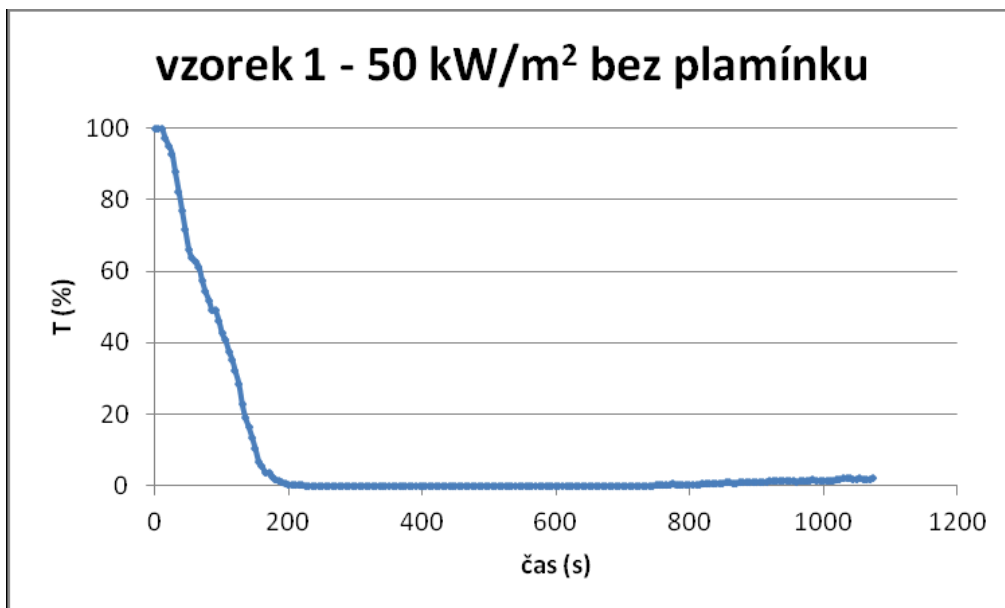
VZ1

Měřené veličiny	1. zkouška	2. zkouška	3. zkouška	průměr
Hmotnost vzorku poč. m_i [g]	31,29	30,24	30,71	30,75
Hmotnost vzorku kon. m_e [g]	14,42	13,98	14,39	14,26
Doba vzplanutí t_i [s]	136	138	148	140
Doba ukončení měření t_e [s]	1074	1153	1074	1100

Tab. 24. Vypočtené hodnoty u vzorku VZ1

VZ1

Vypočtené parametry	1. zkouška	2. zkouška	3. zkouška	Průměr
Ds_4	537	524	503	521
VOF_4 (min)	591,5	576	538,5	569
Ds_{10}	722	724	723	723
Ds_{max}	729	732	734	732
D_c	220	228	228	225
t_{max} [s]	340	484	589	471



Obr. 43. Závislost optické propustnosti T na čase vzorku VZ1 (1. měření).

Tab. 25. Naměřené hodnoty u vzorku VZ2

VZ2

Měřené veličiny	1. zkouška	2. zkouška	3. zkouška	průměr
Hmotnost vzorku poč. m_i [g]	30,14	28,95	30,92	30,00
Hmotnost vzorku kon. m_e [g]	14,05	13,32	13,90	13,76
Doba vzplanutí t_i [s]	185	127	80	131
Doba ukončení měření t_e [s]	1013	1068	1159	1080

Tab. 26. Vypočtené hodnoty u vzorku VZ2

VZ2

Vypočtené parametry	1. zkouška	2. zkouška	3. zkouška	Průměr
Ds_4	709	726	726	720
VOF_4 (min)	897,5	1046	1338	1094
Ds_{10}	729	728	728	728
Ds_{max}	736	733	736	735
D_c	239	265	196	233
t_{max} [s]	449	319	380	383

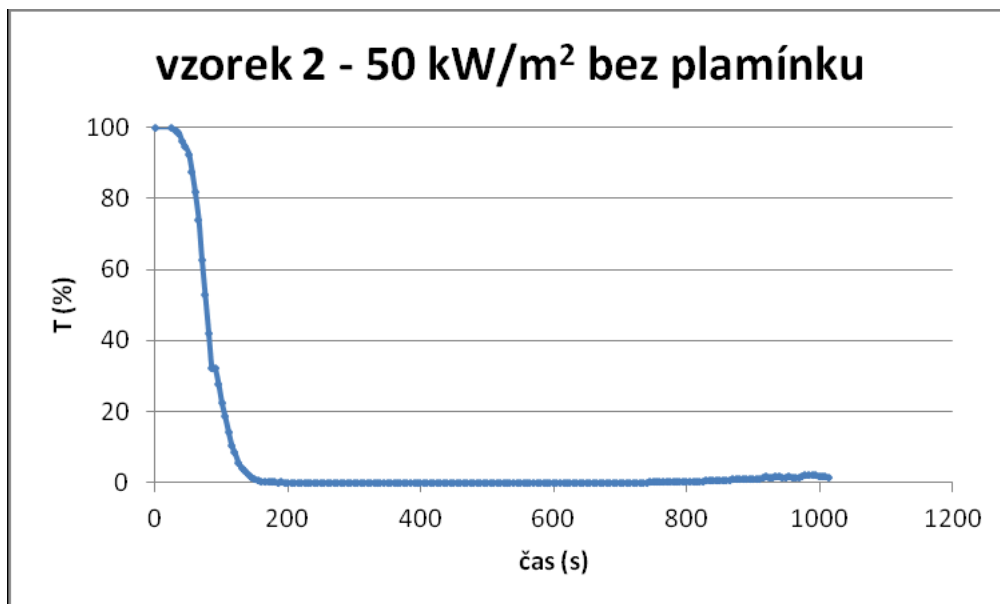
Vysvětlivky:

D_s (4, 10, max) - měrná optická hustota kouře ve 4., 10. minutě a maximální

D_c - měrná optická hustota kouře po měření

VOF (4) - kumulovaná hodnota měrných optických hustot kouře v prvních čtyřech minutách testu

t_{max} [s] - čas, kdy byla dosažena maximální měrná optická hustota kouře



Obr. 44. Závislost optické propustnosti T na čase vzorku VZ2 (1. měření).

6.5 Toxicita dle CEN/TS 45545-2:2011 příloha C

Technický popis:

Vzorky č. 1a, 1b a 1c jsou zkušební tělesa o rozměrech (75 x 75 x 4) mm vyrobené ze sklolaminátové desky s jednostranným nátěrem šedobílé barvy.

Vzorky č. 2a, 2b a 2c jsou zkušební tělesa o rozměrech (75 x 75 x 3,6) mm vyrobené z nebarvené sklolaminátové desky.



Obr. 45 a 46. Vzorek VZ1 (č. 1a) před a po zkoušce.



Obr. 47 a 48. Vzorek VZ2 (č. 2a) před a po zkoušce.

Zkušební předpis:

Metodika TÚPO č. 01 – 09, postup B. „Stanovení toxické vydatnosti plynných zplodin tepelného rozkladu/hoření – metoda s fyzikálním požárním modelem kouřové komory s plynovou kyvetou FTIR“.

Související předpisy: CEN TS 45545-2 a DIN 5510-2

Výsledky zkoušek:

Pozorování:

U obou vzorků byl během zkoušek pozorován vývin kouře šedočerné barvy. Ke vznícení vzorků dochází v 2. – 3. Minutě od začátku zkoušky. Vzorky hoří klidným, nepřerušovaným plamenem oranžové barvy. Po vznícení vzorků byla pozorována tvorba velkého množství sazí.

Tab. 27. Hmotnost zkušebních vzorků č. 1a, 1b, 1c a podmínky měření vzorků v kyvetě vzorku VZ1

Vzorek č.	Hmotnost zkušebních vzorků			Podmínky měření v kyvetě FTIR		
	m_{vz} [g]	m_{zb} [g]	Δm [g]	Čas	Teplota [°C]	Tlak [Torr]
1a	31,29	14,42	16,87	4. min	167	751
				8. min	165	744
1b	30,24	13,98	16,26	4. min	166	747
				8. min	164	749
1c	30,71	14,39	16,32	4. min	165	750
				8. min	165	745

Vysvětlivky:

m_{vz} je hmotnost vzorku před spálením

m_{zb} je hmotnost zbytku vzorku po spálení

Δm je hmotnostní úbytek vzorku

Tab. 28. Koncentrace sledovaných toxikantů ze vzorků č. 1a, 1b a 1c stanovené za podmínek měření vzorku VZ1

Vzorek č.	Čas	CO [ppm]	CO ₂ [ppm]	HCl [ppm]	HBr [ppm]	HF [ppm]	HCN [ppm]	SO ₂ [ppm]	NO _x [ppm]
1a	4. min	1727	9153	< 68*	< 28*	< 22*	< 28*	< 22*	< 26*
	8. min	5174	27525	< 68*	< 28*	< 22*	< 28*	< 22*	< 26*
1b	4. min	1723	10449	< 68*	< 28*	< 22*	< 28*	< 22*	< 26*
	8. min	4865	31095	< 68*	< 28*	< 22*	< 28*	< 22*	< 26*
1c	4. min	1424	8524	< 68*	< 28*	< 22*	< 28*	< 22*	< 26*
	8. min	4978	29064	< 68*	< 28*	< 22*	< 28*	< 22*	< 26*

Tab. 29. Výsledky měření vzorku č. 1a, 1b a 1c z tab. 28 přepočtené na standardní atmosférický tlak 101,325 kPa a teplotu 25°C vzorku VZ1

VZ1

Vz. č.	Čas	CO [mg/m ³]	CO ₂ [mg/m ³]	HCl [mg/m ³]	HBr [mg/m ³]	HF [mg/m ³]	HCN [mg/m ³]	SO ₂ [mg/m ³]	NO _x [mg/m ³]
1a	4. min	2004	16691	< 101*	< 93*	< 18*	< 31*	< 58*	< 32*
	8. min	6005	50194	< 101*	< 93*	< 18*	< 31*	< 58*	< 32*
1b	4. min	2000	19055	< 101*	< 93*	< 18*	< 31*	< 58*	< 32*
	8. min	5646	56704	< 101*	< 93*	< 18*	< 31*	< 58*	< 32*
1c	4. min	1653	15544	< 101*	< 93*	< 18*	< 31*	< 58*	< 32*
	8. min	5778	53001	< 101*	< 93*	< 18*	< 31*	< 58*	< 32*
Průměr	4. min	1886	17097	< 101*	< 93*	< 18*	< 31*	< 58*	< 32*
	8. min	5810	53300	< 101*	< 93*	< 18*	< 31*	< 58*	< 32*
Směrodat. odchylka	4. min	208	2074						
	8. min	212	3846						
CIT _{4min} ± U		0,51 ± 0,15							
CIT _{8min} ± U		0,78 ± 0,23							
FED _{30min} ± U		0,69 ± 0,21							
LC _{50celk} ± U		47,02 ± 14,11							

Vysvětlivky:

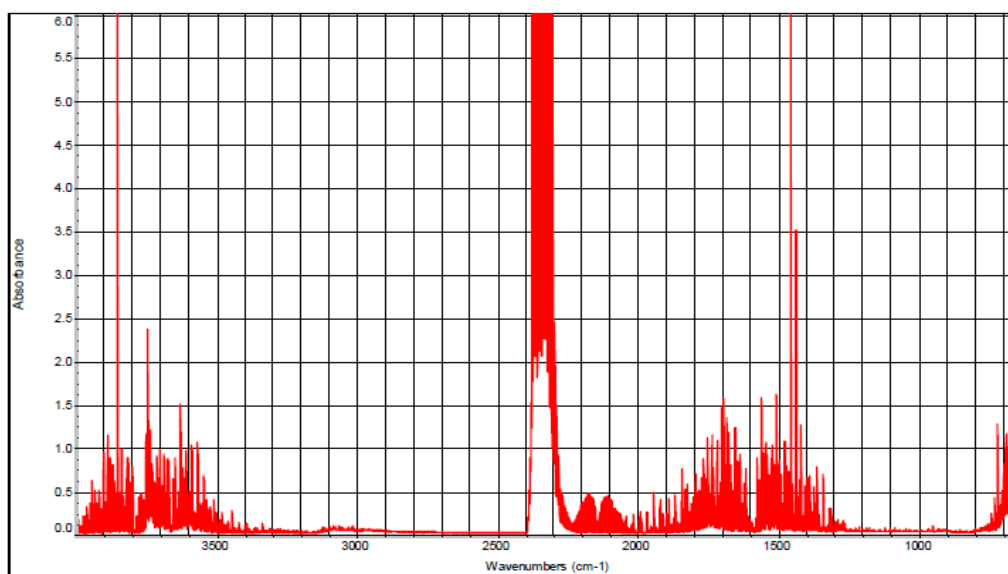
CIT je konvenční index toxicity (bezrozm.)

FED je celková frakční účinná dávka (bezrozm.)

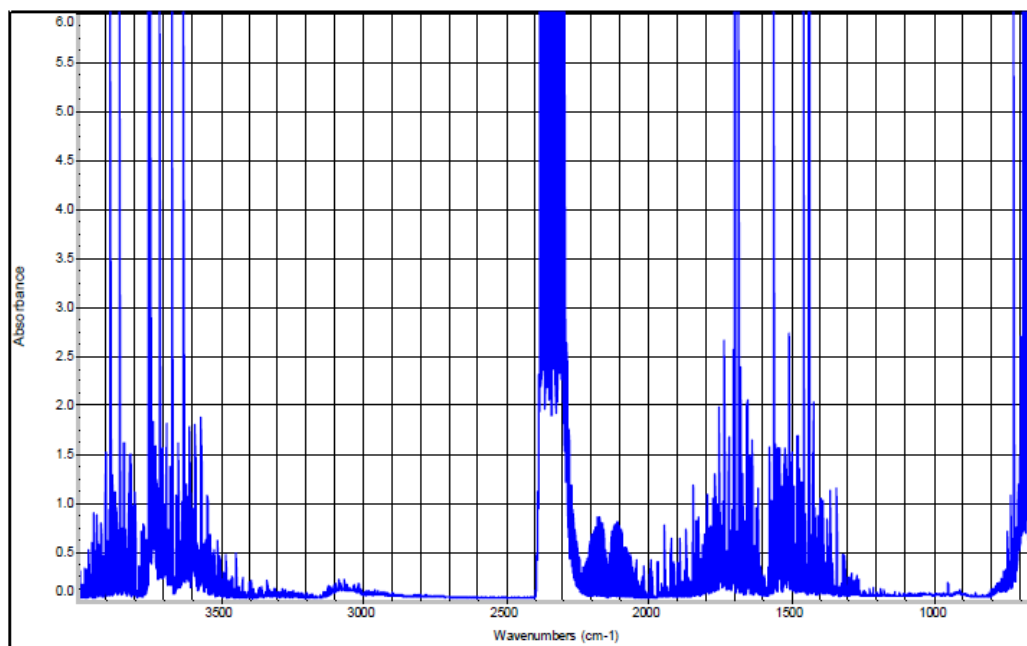
LC je letální koncentrace [g/m³]

U je rozšířená nejistota (k=2) odpovídající 95% intervalu spolehlivosti

hodnoty znázorněné s hvězdičkami jsou detekčními limity analýzy pro jednotlivé složky



Obr. 49. FTIR spektrum vzorku VZ1 (č. 1c) ve 4. minutě.



Obr. 50. FTIR spektrum vzorku VZ1 (č. 1c) v 8. minutě.

Tab. 30. Hmotnost zkušebních vzorků č. 2a, 2b, 2c a podmínky měření vzorků v kyvetě vzorku VZ2

VZ2

Vzorek č.	Hmotnost zkušebních vzorků			Podmínky měření v kyvetě FTIR		
	m_{vz} [g]	m_{zb} [g]	Δm [g]	Čas	Teplota [°C]	Tlak [Torr]
2a	30,14	14,05	16,09	4. min	166	742
				8. min	167	750
2b	28,95	13,32	15,63	4. min	164	747
				8. min	164	748
2c	30,92	13,90	17,02	4. min	165	752
				8. min	166	752

Vysvětlivky:

m_{vz} je hmotnost vzorku před spálením

m_{zb} je hmotnost zbytku vzorku po spálení

Δm je hmotnostní úbytek vzorku

Tab. 31. Koncentrace sledovaných toxikantů ze vzorků č. 2a, 2b a 2c stanovené za podmínek měření vzorku VZ2

VZ2

Vzorek č.	Čas	CO [ppm]	CO ₂ [ppm]	HCl [ppm]	HBr [ppm]	HF [ppm]	HCN [ppm]	SO ₂ [ppm]	NO _x [ppm]
2a	4. min	1289	7839	< 68*	< 28*	< 22*	< 28*	< 22*	< 26*
	8. min	5653	24424	< 68*	< 28*	< 22*	< 28*	< 22*	< 26*
2b	4. min	4640	24355	< 68*	< 28*	< 22*	< 28*	< 22*	< 26*
	8. min	5210	28295	< 68*	< 28*	< 22*	< 28*	< 22*	< 26*
2c	4. min	4739	25815	< 68*	< 28*	< 22*	< 28*	< 22*	< 26*
	8. min	8527	40776	< 68*	< 28*	< 22*	< 28*	< 22*	< 26*

Tab. 32. Výsledky měření vzorku č. 2a, 2b a 2c z tab. 31 přepočtené na standardní atmosférický tlak 101,325 kPa a teplotu 25°C vzorku VZ1

VZ2

Vz. č.	Čas	CO [mg/m ³]	CO ₂ [mg/m ³]	HCl [mg/m ³]	HBr [mg/m ³]	HF [mg/m ³]	HCN [mg/m ³]	SO ₂ [mg/m ³]	NO _x [mg/m ³]
2a	4. min	1496	14295	< 101*	< 93*	< 18*	< 31*	< 58*	< 32*
	8. min	5400	44539	< 101*	< 93*	< 18*	< 31*	< 58*	< 32*
2b	4. min	5385	44413	< 101*	< 93*	< 18*	< 31*	< 58*	< 32*
	8. min	6047	51598	< 101*	< 93*	< 18*	< 31*	< 58*	< 32*
2c	4. min	5500	47076	< 101*	< 93*	< 18*	< 31*	< 58*	< 32*
	8. min	9897	74358	< 101*	< 93*	< 18*	< 31*	< 58*	< 32*
Průměr	4. min	4127	35261	< 101*	< 93*	< 18*	< 31*	< 58*	< 32*
	8. min	7115	56832	< 101*	< 93*	< 18*	< 31*	< 58*	< 32*
Směrodat. odchylka	4. min	2366	19367						
	8. min	2656	17617						
CIT _{4min} ± U		0,66 ± 0,20							
CIT _{8min} ± U		0,86 ± 0,26							
FED _{30min} ± U		0,77 ± 0,23							
LC _{50celk} ± U		41,29 ± 12,39							

Vysvětlivky:

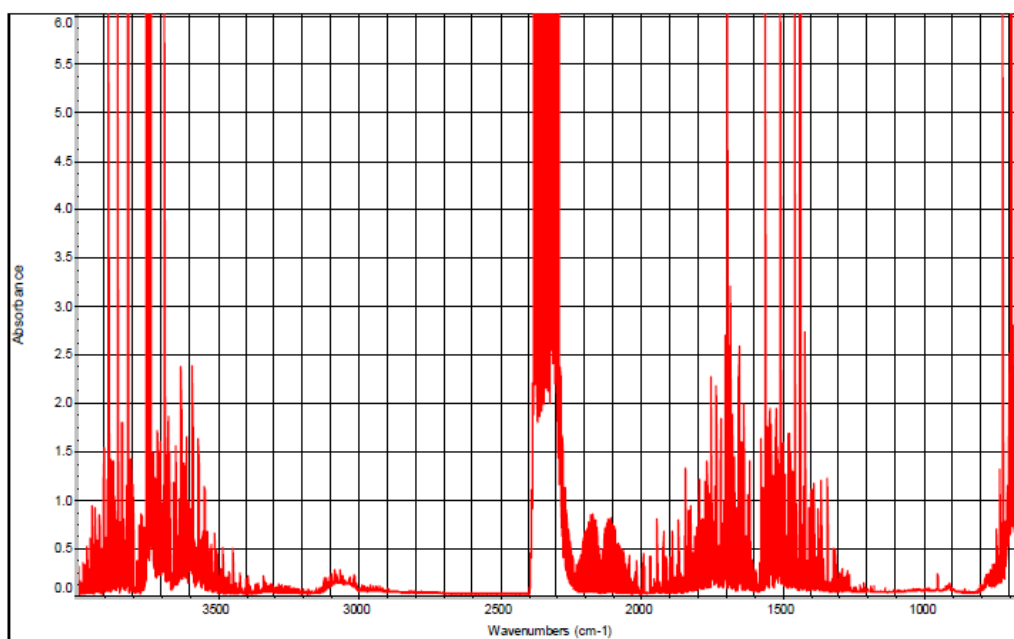
CIT je konvenční index toxicity (bezrozm.)

FED je celková frakční účinná dávka (bezrozm.)

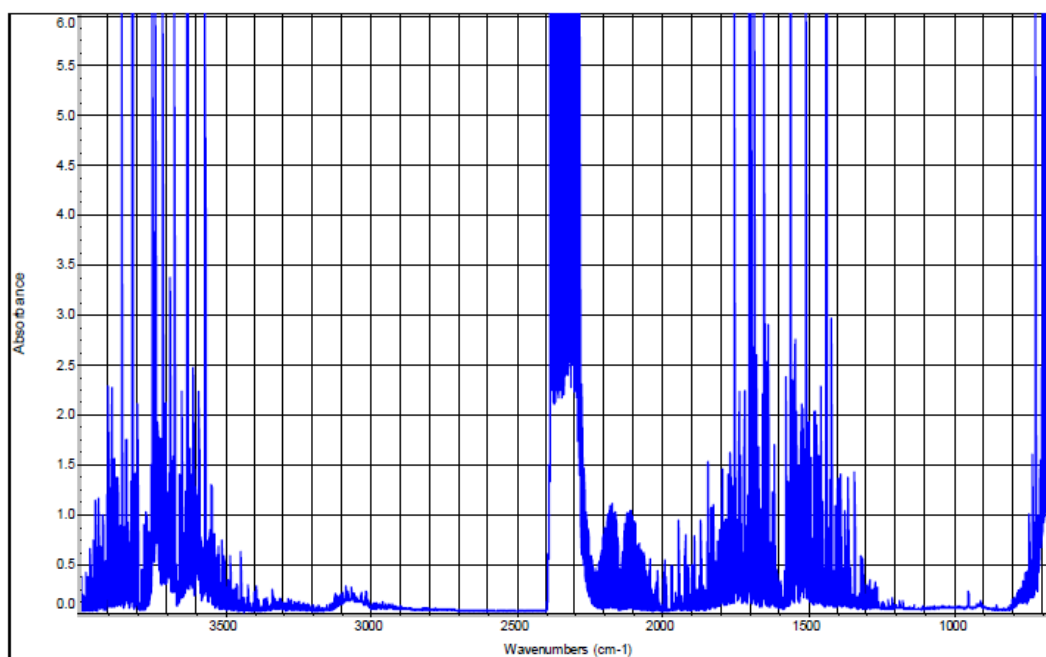
LC je letální koncentrace [g/m³]

U je rozšířená nejistota (k=2) odpovídající 95% intervalu spolehlivosti

hodnoty znázorněné s hvězdičkami jsou detekčními limity analýzy pro jednotlivé složky



Obr. 51. FTIR spektrum vzorku VZ2 (č. 2c) ve 4. minutě.



Obr. 52. FTIR spektrum vzorku VZ2 (č. 2c) v 8. minutě.

7 MECHANICKÉ ZKOUŠKY

U vybraných vzorků byly provedeny doplňkové mechanické zkoušky, které mají za úkol okrajově přiblížit problematiku závislosti množství plniva na mechanických vlastnostech.

7.1 Zkouška trojbodovým ohybem

Zkouška v ohybu byla provedena dle normy ČSN EN ISO 178. Zkouška byla provedena na zkušebním stroji Zwick 145 665. Jedná se o trojbodový ohyb, při němž se tělo umísťuje na stavitelné podpěry, které jsou od sebe vzdáleny 16-ti násobek tloušťky zkoušeného tělesa. Těleso je zatěžováno trnem uprostřed podpěr a naměřené hodnoty se zapisují do programu, který je i následně vyhodnotí. Textově i graficky.

Podmínky měření:

Teplota okolí: 20°C

Vzdálenost podpěr: 64 mm

Rozměr vzorků: 20x90 mm



Obr. 53. Zkušební stroj Zwick 145 665.

Tab. 33. Technické parametry stroje Zwick 146 665

Strojová výška	1284 mm
Celková výška	2012 mm
Celková šířka	630 mm
Šířka pracovního prostoru	420 mm
Hmotnost	150 mm
Maximální zkušební síla	20 kN
Maximální rychlost posuvu příčnicku	750 mm.min ⁻¹
Extenzometry měření protažení	macro
	přídavný
Vyhodnocovací software	master - tah
	standard - ohyb a tlak
	standardní hysterezní (cyklické zkoušky)



Obr. 54. Zkouška trojbodovým ohybem.

7.1.1 Vyhodnocení výsledků

U vzorků vyhodnocujeme modul pružnosti (E [MPa]), napětí při mezi pevnosti (σ_m [MPa]), poměrné prodloužení při mezi pevnosti (ϵ [%]) a vykonanou práci k maximální síle (W [Nmm]), dále jsou uvedeny hodnoty tloušťka vzorku (a [mm]), šířka vzorku (b [mm]) a plocha průřezu vzorku (S [mm²]). Jako statistické funkce byly zvoleny: Průměr, směrodatná odchylka – s a variační koeficient – v .

Tab. 34. Výsledky zkoušky v ohybu vzorku VZ5.

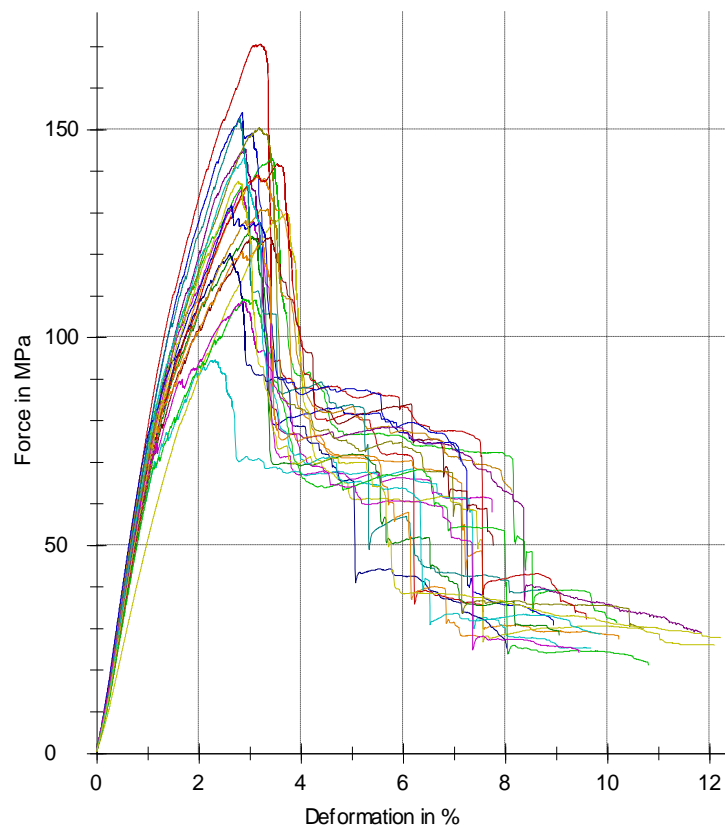
	E	σ_m	ϵ	W	a	b	S
Počet měření	MPa	MPa	%	Nmm	mm	mm	mm ²
1	6910	171,0	3,2	1440,95	3,57	20,34	69,00
2	6510	143,0	3,4	1376,01	3,45	20,00	69,00
3	6160	154,0	2,9	1168,65	3,45	20,66	71,28
4	5360	139,0	3,1	1200,64	3,49	20,61	71,93
5	6370	135,0	2,8	1078,47	3,67	20,26	74,35
6	5670	94,5	2,3	694,96	3,46	20,43	79,27
7	4340	130,0	3,7	1439,55	3,93	20,17	79,27
8	6530	124,0	3,1	1149,03	3,75	20,27	76,01
9	5220	125,0	3,0	1081,04	3,71	20,12	74,65
10	5400	120,0	2,6	863,30	3,48	20,69	72,00
11	6690	131,0	3,3	1347,26	3,64	20,51	74,66
12	5760	145,0	2,9	1119,08	3,50	20,08	70,28
13	6080	153,0	2,8	1098,23	3,47	20,29	70,41
14	5970	150,0	3,2	1299,02	3,55	20,19	71,67
15	5330	142,0	3,5	1523,13	3,53	21,63	76,35
16	5140	109,0	2,9	1033,21	3,90	21,42	83,54
17	7300	132,0	2,6	927,13	3,60	19,61	70,60
18	5950	123,0	3,2	1221,78	3,76	19,75	74,26
19	6340	109,0	2,9	1025,51	3,91	20,14	78,75
20	5710	143,0	2,9	1084,03	3,45	20,18	69,62
21	5650	138,0	2,8	1146,87	3,75	21,93	82,24
Průměr	5923,0	133,8	3,0	1158,0	3,6	20,4	74,2
s	685,0	17,5	0,3	201,6	0,2	0,6	4,3
v	11,57	13,06	10,81	17,41	4,47	2,84	5,83

Tab. 35. Výsledky zkoušky v ohybu vzorku VZ2.

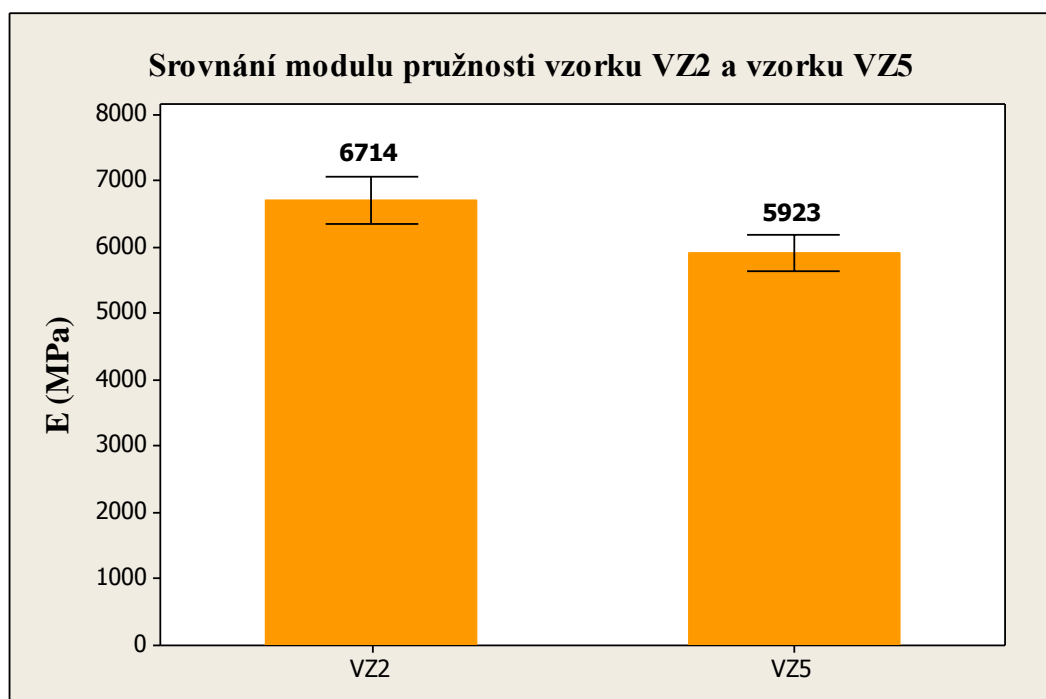
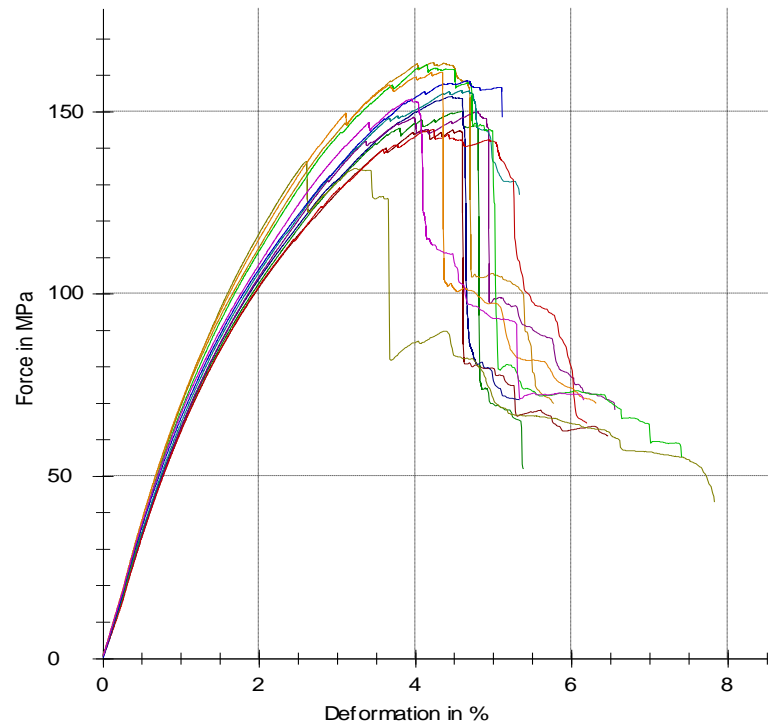
	E	σ_m	ϵ	W	a	b	S
Počet měření	MPa	MPa	%	Nmm	mm	mm	mm ²
1	6380	145	4,2	2048,69	3,96	21,20	83,95
2	6550	150	4,6	2347,31	3,90	20,81	81,16
3	6680	154	4,5	2171,99	3,91	19,83	77,54
4	7200	163	4,2	2060,70	3,53	20,83	73,53
5	6470	150	4,8	2478,38	3,84	20,87	80,14
6	6560	156	4,6	2275,87	3,78	20,31	76,77
7	6670	136	2,6	1042,87	3,79	21,31	80,76
8	6070	145	4,2	1920,25	3,83	20,05	76,79
9	6570	163	4,1	2091,92	3,71	21,00	77,91

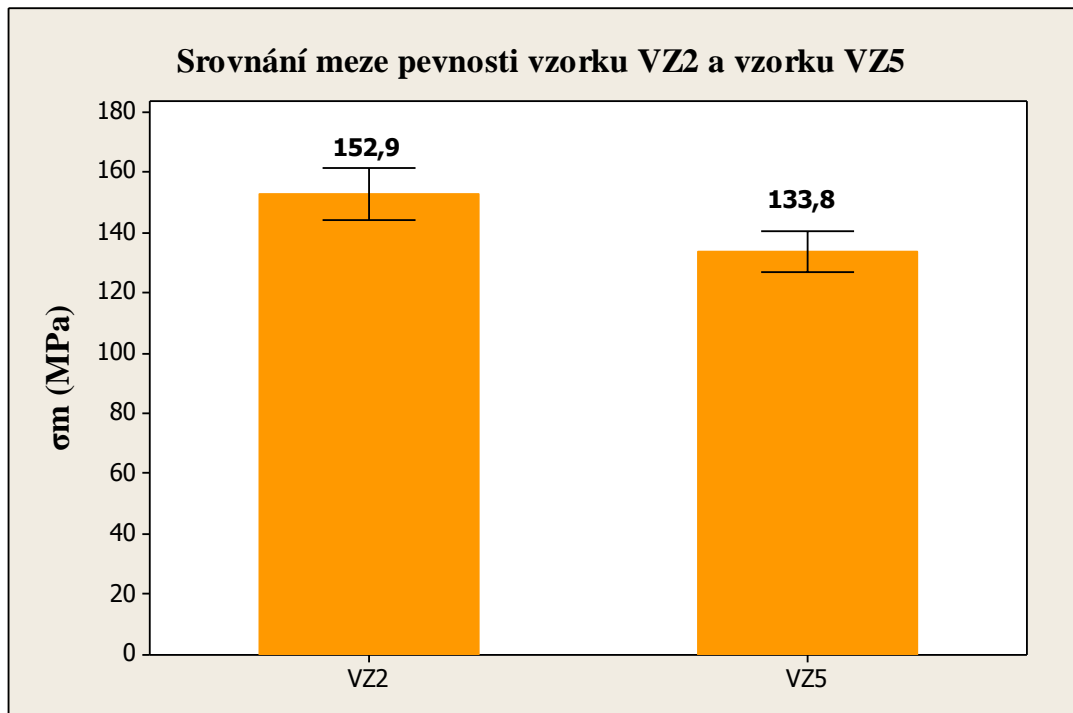
10	6980	159	4,7	2408,49	3,98	19,74	78,57
11	7320	161	4,3	2234,47	3,68	20,74	76,32
12	7120	153	3,9	1761,22	3,58	20,37	72,92
Průměr	6714,0	152,9	4,2	2070,0	3,8	20,6	78,0
s	369,0	8,2	0,6	383,0	0,1	0,5	3,2
v	5,50	5,38	13,69	18,49	3,78	2,53	4,05

Graf 1. Průběh napětí při zkoušce trojbodovým ohybem vzorku VZ5.



Graf 2. Průběh napětí při zkoušce trojbodovým ohybem vzorku VZ2.



Obr. 55. Srovnání modulu pružnosti vzorku VZ2 a vzorku VZ5.*Obr. 56. Srovnání meze pevnosti vzorku VZ2 a vzorku VZ5.*

Podle výsledků a vyhodnocení je zřejmé, že lepší vlastnosti má vzorek VZ2. Což je způsobeno druhem použité pryskyřice a tím, že u vzorku VZ2 nebyl použit retardér hoření a ani gelcoatová vrstva. Vzorek VZ5 má částečně jiné materiálové složení (pryskyřice) a byl u něj použit retardér hoření se 100% plněním.

7.2 Zkouška rázové houževnatosti

Zkouška byla provedena dle normy ČSN EN ISO 179. Zkušební tělíska byla bez vrubu a měla rozměry 50 x 10 x 4 mm. Princip zkoušky spočívá v umístění tělíska na podpory vzdálené od sebe 30 mm. Následněm přípravě kyvadla do výchozí polohy a přeražení vzorku. Při zkoušce byl použit přístroj Resil Impactor Junior od společnosti Ceast.



Obr. 57. Přístroj Resil Impactor Junior.

Tab. 36. Technické parametry přístroje Resil Impactor Junior.

CEAST® Resil Impactor Junior: Specifikace					
Číslo modelu	Typ brzdy	Potenciální energie	Rozměry	Hmotnost	Výkon
6963.000	Manuál	1–25 J	900 x 500 x 800 mm	180 kg	230 V 50–60 Hz 1P 110 V volitelné

7.2.1 Vyhodnocení výsledků

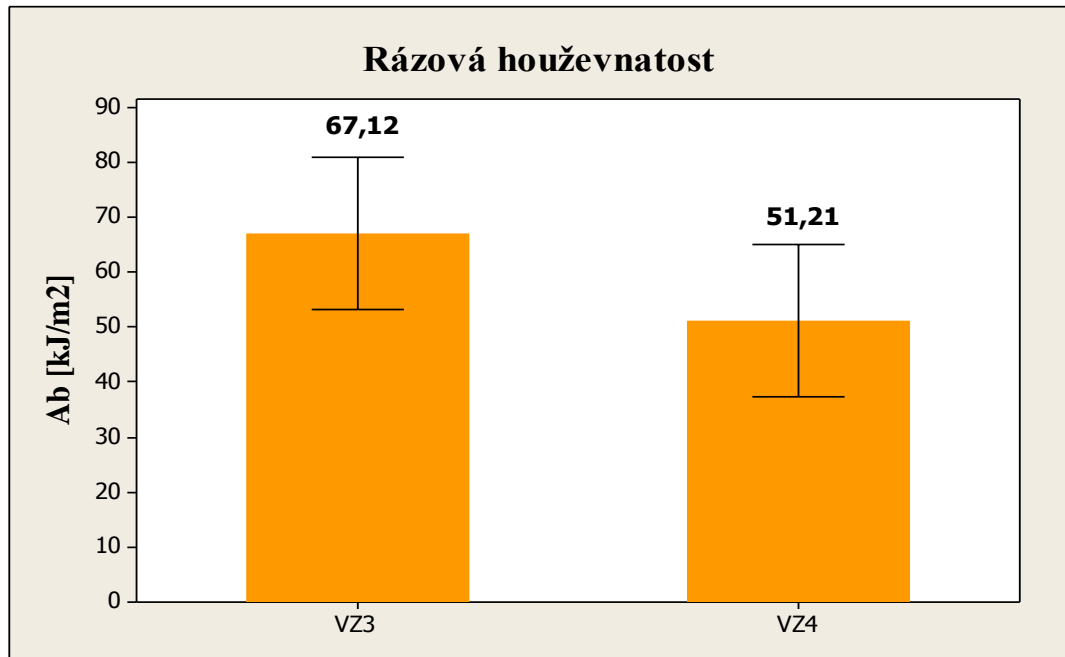
U vzorků byla sledována rázová houževnatost A_b [kJ/m^2], která byla statisticky vyhodnocena. Vyhodnocované jednotky: průměr, směrodatná odchylka – s, variační koeficient – v.

Tab. 37. Zkouška rázem vzorku VZ3.

VZ3	
Počet měření	A_b [kJ/m ²]
1	87,15
2	90,73
3	44,32
4	47,79
5	57,39
6	88,11
7	33,96
8	46,62
9	103,03
10	72,11
Průměr	67,12
s	24,09
v	35,89

Tab. 38. Zkouška rázem vzorku VZ4.

VZ4	
Počet měření	A_b [kJ/m ²]
1	77,03
2	40,40
3	47,31
4	87,74
5	45,61
6	38,70
7	43,86
8	51,92
9	38,96
10	40,61
Průměr	51,21
s	17,12
v	33,43



Obr. 58. Rázová houževnatost vzorků VZ3 a VZ4.

Podle výsledků vidíme, že větší rázovou houževnatost má vzorek VZ3, což je zřejmě způsobeno menším množstvím retardéru hoření, který ovlivňuje křehkost kompozitního systému. Vzorky mají stejnou materiálovou skladbu, jen s rozdílem v obsahu retardéru hoření.

ZÁVĚR

Dle výsledků uvedených v tab. 39 je možné vidět, jak se jednotlivé výsledky zkoušek liší nepatrně nebo výrazně, což je způsobeno rozdílným materiálovým složením a nehomogenitou materiálů u vzorků. U vzorků VZ1 a VZ2 byly provedeny zkoušky dle normy ČSN EN 45545-2 a oba vzorky splňují kategorii HL1 uvedenou v této normě. V případě zbývajících vzorků, nelze je zařadit do určité kategorie, protože nebyly provedeny všechny zkoušky. U vzorků VZ1 – VZ4 byla použita vývojová pryskyřice, která u vzorku VZ3 a VZ4 byla doplněna retardérem hoření, za účelem zlepšení FST vlastností. U vorků VZ1 a VZ5 byl k povrchové úpravě použit gelcoat, který taktéž ovlivňuje mechanické a FST vlastnosti.

Provozní kategorie – určení **Hazard Level (HL)**

1 – Otevřené tratě vč. tunelů, vyvýšených úseků, ne delší než délka vlaku nebo tramvaje

2 – Trans-evropská síť – vzdálenost od bezpečnostního místa max. 5 km, dosažení bezpečného místa max. 4 min. (např. provoz na úsecích s tunely max. 5 km délky).







3 – vzdálenost k dosažení bezp. místa max. 20 km, dosažení do max. 15 min., trať leží částečně v tunelu nebo na zvýšené struktuře a sekce není delší než 20 km (např. provoz na úsecích s tunely na významné délce transevropské sítě).

4 – vozidla navržená pro provoz v podzemních úsecích – bez možnosti boční evakuace

ČSN P CEN/TS 45545

Design kat. Provozní kat.	Standardní vlak	Automaticky vedený vlak bez posádky	Dvoupatrové vozidlo	Spací vozy
Kat. 1	HL1	HL1	HL1	HL2
Kat. 2	HL2	HL2	HL2	HL2
Kat. 3	HL2	HL2	HL2	HL3
Kat. 4	HL3	HL3	HL3	HL3

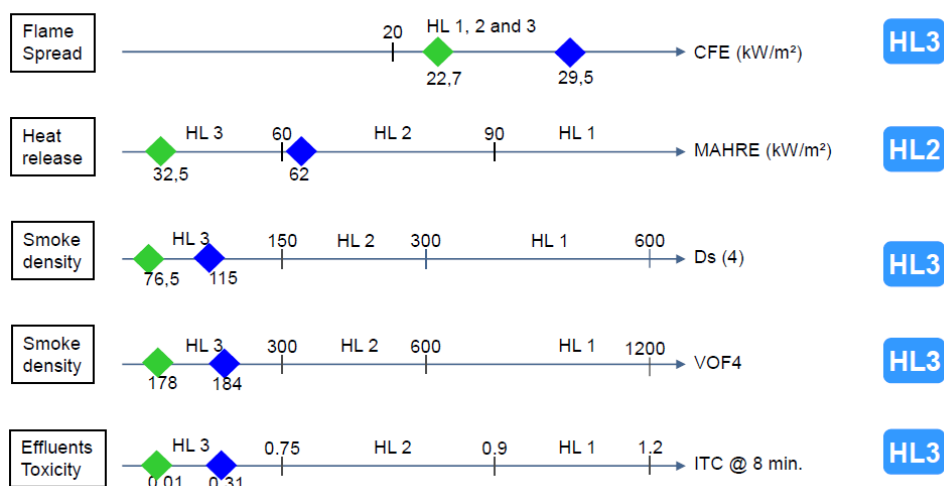
Obr. 59. Určení kategorií HL dle provozních kategorií [26].

Country	Standard
 EUROPEAN UNION	CEN TS 45545 / LOI, ISO 4589 / EN 13501
 UNITED KINGDOM	BS 476, Part 6, 7 ; BS 6853
 FRANCE	NF P 92-507 ; NF F 16-101
 SPAIN	UNE 23727
 GERMANY	DIN 5510
 USA	ASTM E 84, 662, SMP 800, UL 94

Obr. 60. Normy platné od roku 2013 [26].







Tab. 39. Souhrn výsledků testování hořlavosti.

Vzorek	Limitní kyslíkové číslo ČSN ISO 4589-2	Šíření plamene ISO 5658-2	Kónický kalorimetr ISO 5660-1	Optická hustota kouře ČSN EN ISO 5659-2		Toxicita CEN/TS 45545-2:2011 příloha C	
				D _{s4} [-]	VOF ₄ [min]	CIT _G [-]	
	LOI [-]	CFE [kW/m ²]	MAHRE [kW/m ²]			CIT _{4min}	CIT _{8min}
VZ1	35-36	21,9	154,73	521	569	0,51	0,78
VZ2	32,1	16,4	211,57	720	1094	0,66	0,86
VZ3	29-30	16					
VZ4	27,28	17,5					
VZ5	35-36	30,5					



Obr. 61. Třídění do skupin dle HL podle ISO 45545 [26].

Podle výsledků zkoušky limitního kyslíkového čísla lze usuzovat, že vzorky by splnily náročné podmínky dle norem uvedených v tab. 40. Výsledky se od sebe značně neliší, což je důsledkem vhodně zvoleného materiálového složení, které bylo předem dohodnuto.

	Country	Standard	FIREBLOCK performances
	EUROPEAN UNION	CEN TS 45545 LOI, ISO 4589 EN 13501	HL 3 > 60 B s2 d0
	UNITED KINGDOM	BS 476, Part 6 BS 476, Part 7 BS 6853	Class 0 Class 1 Category 2
	FRANCE	NF P 92-507 NF F 16-101	M1 F1
	SPAIN	UNE 23727	M1 F1
	GERMANY	DIN 5510	S4 SR2 ST2
	USA	ASTM E 84 ASTM E 662 ASTM E 162 SMP 800 UL 94	Class 1 conforms FSI = 10 conforms V-0

Obr. 62. Podmínky, které musí splňovat jednotlivé výsledky [26].

Tab. 40. Normy v jednotlivých zemích při splnění rozsahu LOI [26].

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	—

Podle výsledků mechanických zkoušek u vzorků VZ2 a VZ5, VZ3 a VZ4 jsme došli k závěru, že použitá vývojová pryskyřice a procentuální plnění retardéru hoření ovlivňuje mechanické vlastnosti vývojové pryskyřice, což bude použito k jejímu dalšímu vývoji, aby mohla být konkurence schopná s ostatními komerčně dostupnými pryskyřicemi.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] Technické materiály II.: Kompozitní materiály. In: *Stefanmichna.com* [online]. [cit.2013-03-01]. Dostupné z: <http://www.stefanmichna.com/download/technicke-materialy_II/kompozitni_materialy.pdf>
- [2] EHRENSTEIN, G. W.: Polymerní kompozitní materiály. Vyd. 1. Praha : Scientia, 2009. 351 s. ISBN 978-80-86960-29-6.
- [3] LENFELD, P.: *Technologie II.: Zpracování plastů* [online]. Liberec: Technická univerzita Liberec, Fakulta strojní, Katedra strojírenské technologie, oddělení tváření kovů a plastů, 2008, 4. 2. 2013 [cit. 2013-03-02]. Dostupné z: <http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/01.htm>
- [4] KOŘÍNEK, Z.: Kompozity. [cit. 2013-03-02]. Dostupné z: <<http://www.volny.cz/zkorinek/>>
- [5] LIPTÁKOVÁ, T.; ALEXY, P.; GONDÁR, E.; KHUNOVÁ, V. *Polymérne technické materiály: Vysokoškolská učebnica pre technické smery* [online]. Žilina: Katedra materiálového inženýrství Strojnické fakulty Žilinské univerzity v Žilině, 2009 [cit. 2013-03-13]. Dostupné z: <http://kmi2.uniza.sk/wpcontent/uploads/2010/10/polymerne_konstrukcne_materialy.pdf>
- [6] CTiHuatai Composites Co., Ltd. [online]. [cit. 2013-03-13]. Dostupné z: <<http://www.ctihuatai.com/Products-RtmEN.htm>>
- [7] TYGAVAC Advance Materials Ltd: Vacuum bagging for composite and bonding industries. [online]. [cit. 2013-03-13]. Dostupné z: <<http://www.tygavac.co.uk/process/resin-infusion.html>>
- [8] Vebor s.r.o. [online]. [cit. 2013-03-14]. Dostupné z: <<http://www.zetrashop.cz/krmnesuroviny/oxidhorecnaty-zdrojmg50kg%5B400%20101%5D?ItemIdx=6>>
- [9] Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava: Fakulta stavební, Katedra stavebních hmot a hornického stavitelství, Institut geologického inženýrství, Hornicko - geologická fakulta. [online]. [cit. 2013-03-14]. Dostupné z: <<http://geologie.vsb.cz/loziska/suroviny/nerudy/mastek.html>>

- [10] Datok.cz. [online]. [cit. 2013-03-14]. Dostupné z:
<<http://www.datok.cz/carbon/index.htm>>
- [11] Profimedia.cz. [online]. [cit. 2013-03-14]. Dostupné z:
<<http://www.profimedia.cz/fotografie/bavlnena-vlakna/0039659679/>>
- [12] European Flame Retardants Association [online]. [cit. 2013-03-19]. Dostupné z:
<<http://www.cefic-efra.com/>>
- [13] STRONG, A. B.: *Flammability testing* [online]. Provo, Utah, USA: Brigham Young University [cit. 2013-03-19]. Dostupné z:
<<http://strong.groups.et.byu.net/pages/articles/articles/flammabilityart.pdf>>
- [14] Thefullwiki.org. [online]. [cit. 2013-03-19]. Dostupné z:
<http://www.thefullwiki.org/Cone_calorimeter>
- [15] Sp.se. [online]. [cit. 2013-03-19]. Dostupné z:
<http://www.sp.se/en/index/services/firetest_building/firetest_bu%C3%ADding/ENISO9239-1/Sidor/default.aspx>
- [16] Fire-testing.com. [online]. [cit. 2013-03-19]. Dostupné z:
<<http://www.fire-testing.com/sdc>>
- [17] Highcrestwoodproducts.com. [online]. [cit. 2013-03-19]. Dostupné z:
<<http://highcrestwoodproducts.com/Pics.aspx>>
- [18] Worldoftest.com. [online]. [cit. 2013-03-19]. Dostupné z:
<<http://www.worldoftest.com/loi.htm>>
- [19] Pyrosafebyantex.com. [online]. [cit. 2013-03-19]. Dostupné z:
<http://www.pyrosafebyantex.com/antex_pyrosafe_difference.htm>
- [20] Plasticsportal.net. [online]. [cit. 2013-03-19]. Dostupné z:
<http://www.plasticsportal.net/wa/plasticsEU~en_GB/portal/show/common/content/campaigns/fire_protection/englisch/material.html>
- [21] Sciencedirect.com. [online]. [cit. 2013-04-22]. Dostupné z:
<<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1359835X04002362>>
- [22] JANČÁŘ, J.: Úvod do materiálového inženýrství polymerních kompozitů. Vyd. 1. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta chemická, 2003. 193 s. Dostupné z:
<<http://wood.mendelu.cz/cz/sections/Props/?q=filebrowser/MVD/Jancar++Uvod+do+materialoveho+inzenyrstvi+kompozitu>>. ISBN 8021424435>

- [23] BROWN, R.: *Handbook of Polymer Testing: Short-Term Mechanical Tests*. Shawbury, Shrewsbury, Shropshire, SY4 4NR, United Kingdom: Rapra Technology Limited, 2002. ISBN 1-85957-324-X.
- [24] CHUNG, Deborah D.L. *Composite Materials: Science and Applications*. New York: Springer-Verlag London Limited, 2010. Druhá. ISBN 978-1-84882-830-8.
- [25] Wolfangel GmbH: Know how and Technology for perfect GRP and RTM Processing [online]. 2012 [cit. 2014-04-22]. Dostupné z : <http://www.wolfangel.com/index.php?id=104>
- [26] Interní dokumentace firmy Form, s.r.o.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Al	Hliník
Si	Křemík
Cu	Měď
Mg	Hořčík
Zn	Zinek
MMCs	Metal Matrix Composites
PMCs	Polymer Matrix Composites
CMCs	Ceramic Matrix Composites
RTM	Resin transfer molding
RRIM	Reaction reinforced injection molding
IM	Injection holding
UP	Nenasycená polyesterová pryskyřice
VE	Vinylesterová pryskyřice
VBM	Vacuum bag molding
PA 66	Polyamid 66
Ca	Vápník
SiO ₂	Oxid křemičitý
MgO	Oxid hořečnatý
Sb ₂ O ₃	Oxid antimonitý
Al ₂ O ₃	Oxid hlinitý
Al(OH) ₃	Hydroxid hlinitý
Mg(OH) ₂	Hydroxid hořečnatý
CaCO ₃	Uhličitan vápenatý
BaSO ₄	Síran barnatý

CaSO ₄	Síran vápenatý
PVC	Polyvinylchlorid
ATH	Trihydrát hliníku
BFRs	Brominated flame retardants
TBBPA	Tetrabromobisphenol
DekaBDE	Decabromodophenyl ether
HBCD	Hexabromocyclododecane
ASTM	American society for testing of materials
NHTSA	National highway transportation safety administration
FMVSS	Motor vehicle safety standards
FRA	Federal railroad administration
ISO	International organization for standardization
NBSIR	National bureau of standards
NIST	National institute of standards and technology
MIL - STD	Military standards
NBS	National bureau of standards
LOI	Limiting oxygen index
E	Modul pružnosti
σ_m	Mez pevnosti
ε	Poměrné prodloužení
W	Maximální síla
a	Tloušťka vzorku
b	Šířka vzorku
S	Plocha průřezu
s	Směrodatné odchylna
v	Variační koeficient

A_b

Rázová houževnatost

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1. Synergické chování složek polymeru

Obr. 2. Porovnání tahových diagramů křehké matrice a kompozitu složeného z této matrice a křehkých keramických vláken

Obr. 3. Jevy na rozhraní matrice a výztuhy

Obr. 4. Rozdělení kompozitních materiálů

Obr. 5. Rozdělení kompozitních materiálů podle geometrie a orientace výztuže

Obr. 6. Způsoby výroby vláknitých polymerních kompozitů

Obr. 7. Polotovary a výrobky vláknitých kompozitů připravených vytahováním a navíjením

Obr. 8. Vliv viskozity polymerní matrice a délky vláken (afektivní poměr) na výběr technologického potupu výroby vláknitých kompozitů

Obr. 9. Závislost produktivity výrobní technologie od geometrie výrobků

Obr. 10. Schéma technologie RTM

Obr. 11. Řez formou s popisem jednotlivých částí

Obr. 12. Schéma technologie VBM

Obr. 13. Oxid hořečnatý

Obr. 14. Mastek

Obr. 15. Uhlíková vlákna

Obr. 16. Bavlněná vlákna

Obr. 17. Bubnová míchačka

Obr. 18. Pásová míchačka

Obr. 19. Dvouramenná míchačka a příklady konstrukce míchadel

Obr. 20. Lopatková míchačka (vlevo), Planetová míchačka (vpravo)

Obr. 21. Fluidační míchačka

Obr. 22. Princip fungování retardérů hoření na bázi fosforu

Obr. 23. Princip fungování retardéru hoření na bázi hydroxidu hliníku

- Obr. 24. Princip fungování ohnivzdorných nátěrů vystavených ohni
- Obr. 25. Schéma přístroje pro metodu cone calorimeter
- Obr. 26. Princip metody radiant panel test
- Obr. 27. Přístroj pro testovací metodu smoke chamber test
- Obr. 28. Přístroj pro testování metodou steiner tunnel test
- Obr. 29. Přístroj pro testování metodou LOI
- Obr. 30. Ukázka metody vertical burn test
- Obr. 31. Princip metody horizontal burn test
- Obr. 32. Výroba dílu pomocí technologie RTM
- Obr. 33. Orýsované a nařezané vzorky
- Obr. 34. Orýsované a nařezané vzorky
- Obr. 35. Porovnání hodnot LOI u všech vzorků
- Obr. 36. Porovnání hodnot CFE u všech vzorků
- Obr. 37. Průběh rychlosti uvolňování tepla vzorku VZ1
- Obr. 38. Průběh rychlosti uvolňování tepla vzorku VZ2
- Obr. 39. Vzorek VZ1 před a po zkoušce
- Obr. 40. Vzorek VZ1 před a po zkoušce
- Obr. 41. Vzorek VZ2 před a po zkoušce
- Obr. 42. Vzorek VZ2 před a po zkoušce
- Obr. 43. Závislost optické propustnosti T na čase vzorku VZ1 (1. měření)
- Obr. 44. Závislost optické propustnosti T na čase vzorku VZ2 (1. měření)
- Obr. 45. Vzorek VZ1 (č. 1a) před a po zkoušce
- Obr. 46. Vzorek VZ1 (č. 1a) před a po zkoušce
- Obr. 47. Vzorek VZ2 (č. 2a) před a po zkoušce
- Obr. 48. Vzorek VZ2 (č. 2a) před a po zkoušce
- Obr. 49. FTIR spektrum vzorku VZ1 (č. 1c) ve 4. minutě

Obr. 50. FTIR spektrum vzorku VZ1 (č. 1c) v 8. minutě

Obr. 51. FTIR spektrum vzorku VZ2 (č. 2c) ve 4. minutě.

Obr. 52. FTIR spektrum vzorku VZ2 (č. 2c) v 8. minutě.

Obr. 53. Zkušební stroj Zwick 145 665

Obr. 54. Zkouška trojbodovým ohybem

Obr. 55. Srovnání modulu pružnosti vzorku VZ2 a vzorku VZ5

Obr. 56. Srovnání meze pevnosti vzorku VZ2 a vzorku VZ5

Obr. 57. Přístroj Resil Impactor Junior.

Obr. 58. Rázová houževnatost vzorků VZ3 a VZ4

Obr. 59. Normy platné od roku 2013

Obr. 60. Třídění do skupin dle HL podle ISO 45545

Obr. 61. Podmínky, které musí splňovat jednotlivé výsledky

SEZNAM TABULEK

Tab. 1. Mezinárodní označení výrobních technologií vláknitých polymerních kompozitů

Tab. 2. Vliv výrobní technologie a formy vláken na maximální obsah vláken v kompozitu

Tab. 3. Ekonomická výhodnost procesu RTM

Tab. 4. Materiálové složení vzorků

Tab. 5. Reprezentativní hodnoty LOI pro různé materiály

Tab. 6. Výsledné hodnoty LOI vzorků po zkoušce dle ČSN ISO 4589-2

Tab. 7. Naměřené hodnoty u vzorku VZ1

Tab. 8. Naměřené a vypočtené hodnoty u vzorku VZ1

Tab. 9. Naměřené hodnoty u vzorku VZ2

Tab. 10. Naměřené a vypočtené hodnoty u vzorku VZ2

Tab. 11. Naměřené hodnoty u vzorku VZ3

Tab. 12. Naměřené a vypočtené hodnoty u vzorku VZ3

Tab. 13. Naměřené hodnoty u vzorku VZ4

Tab. 14. Naměřené a vypočtené hodnoty u vzorku VZ4

Tab. 15. Naměřené hodnoty u vzorku VZ5

Tab. 16. Naměřené a vypočtené hodnoty u vzorku VZ5

Tab. 17. Tloušťka a hmotnost vzorku VZ1

Tab. 18. Tloušťka a hmotnost vzorku VZ2

Tab. 19. Naměřené časy v průběhu zkoušky u vzorku VZ1

Tab. 20. Hodnoty definující průběh zkoušky u vzorku VZ1

Tab. 21. Naměřené časy v průběhu zkoušky u vzorku VZ2

Tab. 22. Hodnoty definující průběh zkoušky u vzorku VZ2

Tab. 23. Naměřené hodnoty u vzorku VZ1

Tab. 24. Vypočtené hodnoty u vzorku VZ1

Tab. 25. Naměřené hodnoty u vzorku VZ2

Tab. 26. Vypočtené hodnoty u vzorku VZ2

Tab. 27. Hmotnost zkušebních vzorků č. 1a, 1b, 1c a podmínky měření vzorků v kyvetě vzorku VZ1

Tab. 28. Koncentrace sledovaných toxikantů ze vzorků č. 1a, 1b a 1c stanovené za podmínek měření vzorku VZ1

Tab. 29. Výsledky měření vzorku č. 1a, 1b a 1c z tab. 28 přepočtené na standardní atmosférický tlak 101,325 kPa a teplotu 25°C vzorku VZ1

Tab. 30. Hmotnost zkušebních vzorků č. 2a, 2b, 2c a podmínky měření vzorků v kyvetě vzorku VZ2

Tab. 31. Koncentrace sledovaných toxikantů ze vzorků č. 2a, 2b a 2c stanovené za podmínek měření vzorku VZ2

Tab. 32. Výsledky měření vzorku č. 2a, 2b a 2c z tab. 31 přepočtené na standardní atmosférický tlak 101,325 kPa a teplotu 25°C vzorku VZ1

Tab. 33. Technické parametry stroje Zwick 146 665

Tab. 34. Výsledky zkoušky v ohybu vzorku VZ2 a VZ5

Tab. 35. Výsledky zkoušky v ohybu vzorku VZ2 a VZ5

Tab. 36. Technické parametry přístroje Resil Impactor Junior.

Tab. 37. Zkouška rázem vzorku VZ3.

Tab. 38. Zkouška rázem vzorku VZ4

Tab. 39. Souhrn výsledků testování hořlavosti

Tab. 40. Normy v jednotlivých zemích při splnění rozsahu LOI

SEZNAM GRAFŮ

Graf 1. Průběh napětí při zkoušce trojbodovým ohybem vzorku VZ2 a VZ5

Graf 2. Průběh napětí při zkoušce trojbodovým ohybem vzorku VZ2 a VZ5

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha P I: Materiálový list gelcoatu

Příloha P II: Materiálový list pryskyřice systému Norester

Příloha P III: Materiálový list retardéru hoření Martinal

Příloha P IV: Materiálový list rohože Unifilo

Příloha P V: Materiálový list bidiagonální tkaniny

Příloha P VI: Materiálový list retardéru Exolit AP 423

Příloha P VII: Dostupné informace k vývojové pryskyřici

PŘÍLOHA P I: MATERIÁLOVÝ LIST GELCOATU

Technical Data Sheet



BÜFA®-Firestop S 250-SV

Fire Protection Gelcoat, spray quality

Prod. No. 708-9999

Product description

BÜFA®-Firestop S 250-SV is a flame retardant gelcoat formulated in a spraying consistency. A special elasticised mixture of unsaturated isophthalic acid-polyester resins dissolved in styrene and MMA serves as the base. The gelcoat is pre-accelerated and contains less styrene than most gelcoats in this category. Its fire protection properties are achieved by the addition of ATH. Special additives guarantee low smoke density in case of fire. In the layer thickness usually used for gelcoats (400-600 µm), it has little influence on the fire behaviour of the laminating resin used.

BÜFA®-Firestop S 250-SV is halogen-free and does not contain any additives on a phosphorous or nitrogen base that could have a negative effect on weather resistance. A slight, earlier loss of gloss on the surface resulting from the filler constituents has been observed.

BÜFA®-Firestop S 250-SV is highly elasticised and, as a rule, can be pigmented with OLDOPAL-UP Pigment Pastes without any problems. It is distinguished by good wetting properties, even on difficult release agents.

Applications

BÜFA®-Firestop S 250-SV is suitable for moulded articles used in indoor and outdoor areas that are subjected to normal loads, e. g. furniture, machine parts, frames for light domes, etc. Articles that will be exposed to water and extreme weather loads should be coated with OLDOPAL Gelcoat formulations on an ISO or ISO/NPG base. In this case, attention should be paid to the layer thickness of the gelcoat as well as an increased flame resistance of the laminating resin.

Specifications / technical data

Property	Test method	Value	Unit
Density at 20 °C	DIN 53 217/2	1.25 - 1.35	g/ml
Viscosity at 20 °C Brookfield RV/DV-II spl 5 rpm 5	ISO 2555	15,000 - 20,000	mPas
Styrene content		21 - 24	%
Flash point	DIN 53 213	+ 27	°C



Gelcoat Plus

BÜFA®-Firestop S 250-SV

Fire Protection Gelcoat, spray quality

Prod. No. 708-9999

Curing

Reactivity:

BÜFA methode in accordance with DIN 16 945 6.2.2.1

(100 g Gelcoat + 2 ml Butanox M-50)

20 - 30 °C	10 - 15 min
20 °C - Tmax	25 - 40 min
Tmax	80 - 110 °C

**Geltime at 20 °C in a 100 g cup
with 2 ml Butanox M-50:**

10 - 15 min

Attention!

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

Colouring

BÜFA®-Firestop S 250-SV is available in a number of shades of colour. It is also offered as an unpigmented base gelcoat with higher viscosity under Prod.-No. 708-0001. If there is sufficient order volume, colour matching is also possible. Always remember that pigmentation may have a negative effect on the viscosity and reactivity of tinted gelcoats!

Directions for use

Our release agent system BF 500 / BF 700 has been tested and successfully used for this gelcoat so far. Before using other release agents, they should be tested for suitability under practice conditions. If circumstances permit, we recommend post-curing the moulded part for 6 hours at approx. 80 °C so that optimal gelcoat properties are achieved. For more information on working and curing, see the notes in our Technical Information leaflet "Working with OLDOPAL-Gelcoats".

Note:

The thickness of the laminate as well as its total construction, including any topcoats, varnishes, applied materials, sandwich elements, etc., have a decisive influence on fire behaviour. Remember that individual component tests are prescribed for most applications.



Gelcoat Plus

BÜFA®-Firestop S 250-SV

Fire Protection Gelcoat, spray quality

Prod. No. 708-9999

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.

BÜFA Gelcoat Plus GmbH & Co. KG
Hohe Loohe 2-8
28180 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: MATERIÁLOVÝ LIST SYSTÉMU PRYSKYŘICE

NORESTER

 NORD COMPOSITES	TECHNICAL DATA SHEET	NORESTER® 880 Fire retardant resin NTR 188 G – 25/01/2012
--	-----------------------------	---

1 – DEFINITION

Norester® 880 resin is an orthophthalic based resin with a low viscosity specially designed to be blended with alumina trihydrate (ATH) to realise fire resistant laminates.

Norester® 880 resin has the advantage to be able to cure with MEKP peroxide.

From Norester® 880 it is therefore possible according to the ATH rate used and according to the application method of the customer to answer to the different fire and smoke certifications.

2 - CHARACTERISTICS

- Low viscosity so alumina trihydrate (ATH) can be easily added to produce fire retardant composites. **ATH is needed to provide fire retardant properties.**
- **Norester® 880** is antimony-free and halogen-free formulated therefore the composites will have low toxicity values.
- **Norester® 880** resin is a pre-accelerated resin and no thixotropic.
- The resin **Norester® 880 & RTM Light** will cure with Trigonox 44B peroxide.
- The resin **Norester® 880 Infusion** and will cure with MEKP peroxide.

3 – PROPERTIES OF LIQUID CLEAR RESIN Norester® 880 WITHOUT FILLER

	Norester® 880	Norester® 880 RTM Light	Norester® 880 Infusion
Brookfield viscosity (ISO 2555 - 25°C – sp2) 50 rpm	90 – 105 mPa.s	60 – 75 mPa.s	40 – 45 mPa.s
Solid content (ICON 003)	54 – 56%	49 – 51%	44 -46%
Gel time (ICON 002 - 20°C)	1.5% T44B on 100 g 25 ± 5 minutes		1.5% MEKP on 100 g 55 ± 5 minutes
Specific gravity	1,11 g/cm ³		
HDT	50°C		

IMPORTANT

Information contained in this publication is given in good faith without warranty or guarantee. No liability can be accepted for claims, losses or demands arising out of the contents of this publication. We cannot be responsible for composites made with R 880 if the application conditions specified are not respected. The user must also ensure that his application is appropriate for this product to be used. We assert that the product will meet the specification set out in this data sheet, however, we cannot be responsible for any damage caused by misuse of this product.

ZA – route d'Amiens – 80890 Condé-Folle – Tél : 03.22.31.57.57 – Fax : 03.22.31.86.97

4 – PROPERTIES OF LIQUID FILLED RESIN Norester® 880

As ATH filler, the use of Apyral 30X, Martinal ON921 or ON904 is recommended.

Table: Norester 880 vs ATH type vs ATH ratio – Evolution of the viscosity and the density

Visco @50rpm,20°C,[cP]		Standard/ Press/RTM				RTM Light				Infusion			
ATH parts / 100 parts of resin		50	75	100	150	50	75	100	150	50	75	100	150
Martinal ON904	Viscosity	200	308	482	1698	165	257	416	1366	132	175	336	1060
	Density	1.257	1.392	1,515	1,636	1.340	1.431	1.510	1.629	1.332	1.420	1.500	1.618
Martinal ON921	Viscosity	180	280	460	890	150	198	276	580	114	137	183	341
	Density	1.229	1.318	1,517	1,639	1.337	1.430	1.508	1.633	1.328	1.424	1.488	1.622
Apyral 30x	Viscosity	202	300	520	1000	170	232	331	668	117	158	226	504
	Density	1.246	1.306	1,530	1,642	1.342	1.431	1.501	1.618	1.326	1.415	1.496	1.609

Table : Norester ® 880 – Gel time vs ATH ratio

PMEC Butanox M50	Standard				Press				Infusion			
	50	75	100	150	50	75	100	150	50	75	100	150
ATH parts / 100 parts of resin	50	75	100	150	50	75	100	150	50	75	100	150
Gel time [minute] 20°C – 1,5% Catalyst	45	40	35	28	35	30	25	17	50	45	40	33

Trigonox 44 B	RTM				RTM Light			
	50	75	100	150	50	75	100	150
ATH parts / 100 parts of resin	50	75	100	150	50	75	100	150
Gel time [minute] 20°C – 1,5% Catalyst	25	20	15	9	30	25	20	14

IMPORTANT

Information contained in this publication is given in good faith without warranty or guarantee. No liability can be accepted for claims, losses or demands arising out of the contents of this publication. We cannot be responsible for composites made with R 880 if the application conditions specified are not respected. The user must also ensure that his application is appropriate for this product to be used. We assert that the product will meet the specification set out in this data sheet, however, we cannot be responsible for any damage caused by misuse of this product.

ZA – route d'Amiens – 80890 Condé-Folie – Tél : 03.22.31.57.57 – Fax : 03.22.31.86.97



TECHNICAL DATA SHEET

NORESTER® 880
Fire retardant resin
NTR 188 G – 25/01/2012

5 – MECHANICAL PROPERTIES OF THE CURED RESIN Norester® 880

Method	Infusion			RTM
Composition of the laminate tested	1 Uniconforme : OCV 450/500/450 1 Multimat : OCV / 750g 1 roving serge 580g	3 Unifilo 450g	3 Unifilo 450g	GC185 400µm 1 Veil 30g Powder 2 Unifilo 450g
Filler ratio	100 parts R 880 150 parts Martinal ON921	100 parts R 880 100 parts Apyral 30x	100 parts R 880 150 parts Apyral 30x	100 parts R 880 150 parts Apyral 30x
Tensile strength* [MPa]	220.7	62.7	73.5	49.38
Tensile Modulus* [GPa]	2.82	2.155	2.836	4.062
Elongation at break* [%]	7.32	3.36	3.29	3.14
Flexural strength* [MPa]	344.6	153.0	124.3	155.2
Flexural Modulus* [GPa]	10.7	8.778	6.729	7.727
Barcol Hardness*	60	50	50	50

* Test made on a laminate post cured during 3 Hours at 80°C, thickness = 3.3 mm.

HDT and flexural strength test comparison of R880 laminate

Std laminate : 100 parts R880 – 100 parts ATH – 4 layers 450g/m²
RTM Light : 100 parts R880 – 100 parts ATH – 4 layers 450g/m²
Infusion : 100 parts R880 – 100 parts ATH – 4 layers 450g/m²


HDT and flexural strength . Laminates no post cure.

Mechanicals properties	R880 Std	R880 RTM Light	R880 Infusion	Test Norms
Flexural strength MPa	147.0	158.0	169.6	ISO 178
Flexural Modulus GPa	5.868	5.862	6.201	ISO 178
Deform at break mm	6.34	6.31	6.62	ISO 178
HDT °C	136	> 160	> 160	ISO 75 – 1A
Barcol Hardness	45 – 50	50	50	ASTM D2583

IMPORTANT

Information contained in this publication is given in good faith without warranty or guarantee. No liability can be accepted for claims, losses or demands arising out of the contents of this publication. We cannot be responsible for composites made with R 880 if the application conditions specified are not respected. The user must also ensure that his application is appropriate for this product to be used. We assert that the product will meet the specification set out in this data sheet, however, we cannot be responsible for any damage caused by misuse of this product.

ZA – route d'Amiens – 80890 Condé-Folie – Tél : 03.22.31.57.57 – Fax : 03.22.31.86.97

 NORD COMPOSITES	TECHNICAL DATA SHEET	NORESTER® 880 Fire retardant resin NTR 188 G – 25/01/2012
--	-----------------------------	---

HDT and flexural strength. Laminates post cure 3 Hrs at 80°C.

Mechanicals properties	R880 Std	R880 RTM Light	R880 Infusion	Test Norms
Flexural strength MPa	169.1	163.1	179.6	ISO 178
Flexural Modulus GPa	7.143	7.187	7.196	ISO 178
Deform at break mm	6.27	6.63	6.24	ISO 178
HDT °C std test	>160	>160	>160	ISO 75 – 1A
HDT °C	70.9	68.4	66.6	ISO 75 – 3A
Barcol Hardness	50 – 55	50 – 55	50 – 55	ASTM D2583

6 – FIRE CERTIFICATION

- The resin **Norester® 880** (100 parts of resin **R 880** and 150 parts of ATH) is classified 1AF1 following the Italian Norms UNI 8457 / UNI 9174 and French Norms NF F 16-101 with the gel coat **GC 184** (certificate 1146/09 dated on 23rd September 2009).
- The resin **Norester® 880** (100 parts of resin **R 880** and 100 parts of ATH) is classified M2F1 with the gel coat **GC 880** following the Norms 97507 / NF P 92507 and NF F 16-101 (certificates K030815 dated on 23rd September 2009 and 0906602NS / 0906301TOX dated on 12th September 2009).
- **Norester® 880** (100 parts of resin **R 880** and 200 parts d'ATH) is classified **Bs1d0** with the gel coat **GC885** following the building norm NF EN 13501-1: 2007 + A1:2009.
Tests realised following the norms **EN ISO 11925-2: 2010** and **EN 13823: 2010**.
Certificates 2011-Efectis –R1125, R1126 et R1127 n° 2011124 dated december 2011.


As an indication, find below the fire results obtained by NORD COMPOSITES following different structures of laminate:

	Norester® 880 RTM M1 (indicative test realised at NORD COMPOSITES)	Norester® 880 RTM / infusion M2 (indicative test realised at NORD COMPOSITES)
Fire Classification required following NFF16-101		
Level of ATH	100 parts of resin and 150 parts of ATH Apyral 30X	100 parts of resin and 75 parts of ATH Martinal ON904
Composition of the laminate	1 multimat S450G500S450 or 1 multimat S200G500S200	1 surface veil 50 g/m ² 3 unicomforme 500 OCV 450/500/450 1 woven roving 500

IMPORTANT

Information contained in this publication is given in good faith without warranty or guarantee. No liability can be accepted for claims, losses or demands arising out of the contents of this publication. We cannot be responsible for composites made with R 880 if the application conditions specified are not respected. The user must also ensure that his application is appropriate for this product to be used. We assert that the product will meet the specification set out in this data sheet, however, we cannot be responsible for any damage caused by misuse of this product.

ZA – route d'Amiens – 80890 Condé-Folie – Tél : 03.22.31.57.57 – Fax : 03.22.31.86.97

 NORD COMPOSITES	TECHNICAL DATA SHEET	NORESTER® 880 Fire retardant resin NTR 188 G – 25/01/2012
--	-----------------------------	---

7 – VERSIONS

Norester® 880 designed for RTM application.

Norester® 880 RTM Light with lower viscosity.

Norester® 880 Infusion designed for infusion application.

The resin is also formulated for hand lay up application under the reference: **Norester® 880 CONTACT**.

8 – RECOMMENDATIONS BEFORE USE

- We recommend using freshly prepared resin **Norester® 880** mixed with ATH to avoid settling of filler.
- The ATH must be added slowly to obtain a homogeneous mixed resin and keep stirring during the complete addition of ATH.
- For infusion and RTM process, we recommend the use of a fibreglass such as Mutimat and Unifilo.
- We recommend for hand lay up version to use Mat 300 g/m² and woven Roving. It will require less resin and it is easier to make the laminate.
- To obtain the polymerisation of the resin **Norester® 880** filled with ATH, we recommend adding 1% to 2% of MEKP peroxide on the total weight of the mix. Before use, ensure that product, mould and room temperature is above 20°C.
- We retain the attention on the fact that this resin is classified according to the certificates mentioned here above and according to the application made in our laboratory. The customer is responsible to ensure that the moulding made by him is well classified.

9 – POST CURING

To obtain optimum properties for mechanical resistance, the laminate with the resin **Norester® 880** + ATH must be post cured. To accelerate the curing, the laminate must stay at room temperature during 24 hours (from 16°C to 20°C) followed by a post cure of 16 hours at 40°C.

10 – PACKAGING

Norester® 880 is available in keg of 25 kg or in drum of 225 kg.

The fillers **Apyral 30x** and **Martinal ON921** are available in bags of 25 kg.

11 – STORAGE CONDITIONS AND HANDLING

Norester® 880 is stable for three months after date of production when stored in the original closed packaging away from direct sunlight at a temperature between 15°C and 25°C.

It is the responsibility of the customer to assure that the product is used in good conditions overall before the expiration date mentioned on the keg.

This resin is subject to the Highly Flammable Liquids Regulations.

IMPORTANT

Information contained in this publication is given in good faith without warranty or guarantee. No liability can be accepted for claims, losses or demands arising out of the contents of this publication. We cannot be responsible for composites made with R 880 if the application conditions specified are not respected. The user must also ensure that his application is appropriate for this product to be used. We assert that the product will meet the specification set out in this data sheet, however, we cannot be responsible for any damage caused by misuse of this product.

ZA – route d'Amiens – 80890 Condé-Folie – Tél : 03.22.31.57.57 – Fax : 03.22.31.86.97

PŘÍLOHA P III: MATERIÁLOVÝ LIST RETARDÁRU HOŘENÍ

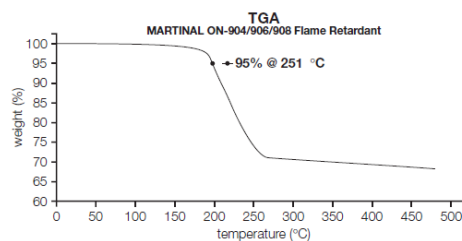
MARTINAL



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

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

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



Shipping Information**Container Information**

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

Shipping Classification

DOT Classification, Not Regulated for Transportation

Safety and Handling Information

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

Chemical Registration Numbers

CAS:

21645-51-2

TSCA:

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

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



AMERICAS 451 Florida Street • Baton Rouge, Louisiana 70801-1765 • Tel: 225-388-7402 or 800-535-3030 • Fax: 225-388-7848 **EUROPE** Parc Scientifique Einstein • Rue du Bosquet 9 •

B-1348 Louvain-la-Neuve Sud, Belgium • Tel: 32-10-48-1711 • Fax: 32-10-48-1717 **ASIA PACIFIC** 111 Somerset Road #13-03 • Singapore 238164 • Tel: 65-6732-6286 • Fax: 65-6737-4155

ASIA PACIFIC 16th Floor, Fukoku Seimei Building • 2-2-2, Uchisaiwai-cho • Chiyoda-ku, Tokyo 100-0011, Japan • Tel: 81-3-5251-0796 • Fax: 81-3-3500-5623 **ASIA PACIFIC** China World Tower, Room 1317 • No. 1 Jian Guo Men Wai Avenue • Beijing 100004 China • Tel: 86-10-6505-4153 or 86-10-6505-4154 • Fax: 86-10-6505-4150

AC-0241

(9/03)

© 2003 Albemarle Corporation

▲ ALBEMARLE and MARTINAL are trademarks of Albemarle Corporation

www.albemarle.com

PŘÍLOHA P IV: MATERIÁLOVÝ LIST ROHOŽE UNIFILO



OCV™ Reinforcements

PRODUCT INFORMATION

Unifilo® for Closed Molds

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

PRODUCT DESCRIPTION

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

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



© Istock 2009

PRODUCT REFERENCE

Example : U850 450 – 138
 U : Continuous strand mat (Unifilo®)
 850 : Product classification code
 450 : Nominal weight per unit area (g/m²)
 138 : Roll width (cm)

FEATURES AND PRODUCT BENEFITS

- | | |
|--|--|
| • U614(*): closed molds mat | • Easy unrolling, cutting and handling |
| • U801: low binder content | • Good adaptability to complex shapes |
| • U809: very low binder content | • Even dispersion in PU matrix during foam expansion |
| • U812 to U822: rising binder content and rigidity | • Easy unrolling, cutting and handling |
| • U850, U852, U854: core made with higher strand tex | • Outstanding resin flow |

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

TECHNICAL CHARACTERISTICS (NOMINAL VALUES)

REF.	SIZING	BINDER TYPE	SOLUBILITY IN STYRENE	LINEAR WEIGHT OF BASIC STRANDS (TEX)	LOSS ON IGNITION (%)	MOISTURE CONTENT (%)
				Iso 1889	Iso 1887	Iso 3344
U614	Silane	Polyester	Low	36	4.5	< 0.15
U801				25	1.6	< 0.15
U812				25	2.2	< 0.15
U822				25	2.0	< 0.15
U813				25	3.5	< 0.15
U814				25	4	< 0.15
U816				25	6	< 0.15
U850				25/50/25	6	< 0.15
U852				25/50/25	2.5	< 0.15
U854				25/50/25	4	< 0.15
U809				25	0.9	< 0.15
U817				25	7	< 0.15

Unifilo® for Closed Molds

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

VISUAL CHARACTERISTICS OR POSSIBLE DEFECTS

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

PRODUCT AVAILABILITY

Available widths from 50 to 300 cm

ROLL WIDTH (cm)	STANDARD WEIGHTS (g/m ²)	APPROXIMATE DIMENSIONS OF FULL* ROLL, 100 CM WIDE <full roll>: a roll having a guaranteed length of at least 90% of the value indicated above.										
		Diameter (cm)	Nominal length (m)									
			U801	U812 U822	U813 U814	U816 U817	U850	U854	U852	U809	U614	
100	100	55			600							
	150				360							
	225		235	250	250	260	270	250	260			
	300		190	200	205	210	220	205	210			
	450		125	130	135	140	155	135	140			
	600		80	85	90	90	100	90	95			
	900		65	70	75	75	85	75	75			
			Nominal weight (kg)									
100	100	55			60							
	150				54							
	225		52	57	57	59	61	57	59			
	300		57	60	62	63	66	62	63			
	450		56	59	61	63	70	61	63	56		
	600		48	51	54	57	63	54	57	51		
	900		59	63	78	68	77	78	68			

PACKAGING

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

LABELING

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

STORAGE

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

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

Contact

Unifilo.ocamericas@owenscorning.com

Unifilo.ocvemea@owenscorning.com

Unifilo.ocvap@owenscorning.com



OCV™ Reinforcements

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

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

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

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

Pub. No. 10010967-B. Owens Corning reserves the right to modify this document without prior notice. ©2009 Owens Corning.
 Unifilo_U800_vw_06-2008_Rev4

PŘÍLOHA P V: MATERIÁLOVÝ LIST BIDIAGONÁLNÍ TKANINY



SAERTEX® GmbH & Co. KG

Brochterbecker Damm 52

D-48369 Saerbeck

phone: ++49/2574/902-0

fax: ++49/2574/902-209

e-mail: info@saertex.com

DATASHEET

STYLE NO.

S32EX010-00980-01270-283000

DESCRIPTION OF STYLE BIDIAGONAL-GLASS-FABRIC

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

BINDER: Warp

GAUGES: 5

WIDTH: 1270 mm or in tapes

TOTAL AREAL WEIGHT: 988 g/m² TOTAL TOLERANCE: 5,0 %

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

PŘÍLOHA P VI: MATERIÁLOVÝ LIST RETARDÉRU EXOLIT AP 423

15.4.2014

www.additives.clariant.com/bu/additives/PDS_Additives.nsf/wwwDS-OSTS-7SHDFT?open



PRODUCT DATA SHEET - FLAME RETARDANTS

Business Unit Additives

Exolit AP 423

Edition 2013-01-14

Ammonium Polyphosphate

Chem. Group: Ammonium Polyphosphate Supply Form: white powder CAS-No.:
 Product-No.: 106960

PRODUCT DESCRIPTION

Exolit AP 423 is a fine-particle ammonium polyphosphate produced by a special method. The crystal modification is phase II. The product is largely insoluble in water and completely insoluble in organic solvents. It is a white powder, non-hygroscopic and non-flammable. Exolit AP 423 differs from most other commercial products in the following ways: - greatly reduced solubility in water - lower viscosity in aqueous suspensions - low acid number

DELIVERY SPECIFICATION AND TECHNICAL DATA

CHARACTERISTICS	UNIT	TARGET VALUE	DS ¹⁾ TD ²⁾	TEST METHOD
Chemical Formula		[NH ₄ PO ₃] _n n > 1000	○ ☒	
Phosphorus	%(w/w)	31.0 - 32.0	☒ ○	Photometry after oxidizing dissolution; (11/17)
Water / Moisture	%(w/w)	max. 0.5	☒ ○	Thermogravimetry at 130 °C; (11/03)
Nitrogen	%(w/w)	14.0 - 15.0	☒ ○	Elemental analysis; (11/07)
Density	g/cm ³	1.9	○ ☒	at 25 °C
Bulk Density	g/cm ³	approx. 0.7	○ ☒	
Viscosity	mPa*s	max. 100	○ ☒	at 25 °C in 10 % aqueous suspension
pH Value		5.0 - 7.5	☒ ○	Potentiometry in 10 % aqueous suspension; (11/12)
Solubility in Water	%(w/w)	max. 1.0	☒ ○	Gravimetry after filtration of a 10 % aqueous suspension at 25°C; (11/41)
Decomposition Temperature	°C	> 275	○ ☒	initial evolution of ammonia
Average Particle Size (D50)	µm	approx. 8	○ ☒	
Particle Size Distribution	%(w/w)		☒ ○	Air jet sieving; (11/02)
	< 24 µm	min. 97 (TD)		
	> 50 µm	max. 0.1 (DS)		
	-	-		
	-	-		
	-	-		

¹⁾ Delivery specification: The product is monitored on a regular basis to ensure that it adheres to the specified values. Test methods: Clariant method numbers 11/xx in brackets.

²⁾ Technical data: The technical data are used solely to describe the product and are not subject to regular monitoring.

APPLICATIONS

Intumescent coatings

On account of its low water solubility, Exolit AP 423 is particularly suitable as an "acid donor" for intumescent coatings. Other essential components of intumescent systems include a binder, a carbon donor (e.g. pentaerythritol) and a blowing agent (e.g. melamine).

On exposure to flame, intumescent coatings form a carbonaceous foam which effectively shields the underlying material from temperature increases.

Steel structures coated with intumescent paints can meet the requirements of fire resistance classes specified in DIN, BS or ASTM.

The application of Exolit AP 423 based intumescent coatings on wood or plastics enables these materials to qualify for Building Material Class B (DIN EN 13501-1).

Exolit AP 423 imparts a good flame-retardant effect to adhesives and sealants when it is incorporated into the base formulation at the rate of 10 - 20 %.

SAFETY AND HANDLING

For regulatory details such as the classification and labelling as dangerous substances or goods please refer to our corresponding material safety data sheet.

Minimum shelf life is 6 months from the date of shipping when stored according to the said conditions.

DISPATCH AND STORAGE

PACKAGING

GGVERID

GGVS/ADR

ADNR

IMDG-Code

UN Number

IATA-DGR

see Material Safety Data Sheet

Exolit AP 423 is packed in 25 kg 4-ply paper bags with polyethylene inliner. The standard supply unit is a shrink-wrapped pallet with 40 bags weighing 1000 kg net.

For all specifications, deliveries and services the following applies:

[Contact Flame Retardants](#)

Clariant Web Site: <http://www.clariant.com>

[Contact Us](#)

Clariant Additives Web Site: <http://additives.clariant.com>

**PŘÍLOHA P VII: DOSTUPNÉ INFORMACE K VÝVOJOVÉ
PRYSKYŘICI**

	FR 4/12 PLP 4
<u>Vlastnosti PES</u>	
Číslo kyselosti (mg KOH.g ⁻¹)	
Hydroxylové číslo (mg KOH.g ⁻¹)	
M _w (g.mol ⁻¹)	2700
M _n (g.mol ⁻¹)	1500
<u>Roztok ve styrenu</u>	
Číslo kyselosti (mg KOH.g ⁻¹)	3,8
Hydroxylové číslo (mg KOH.g ⁻¹)	58,8
M _w (g.mol ⁻¹)	9200
M _n (g.mol ⁻¹)	2000
Epoxidový index (mol.kg ⁻¹)	0
Sušina (%)	52,5
Viskozita Brookfield LV 3/12, 20°C, (mPa.s)	430
Kyslíkové číslo	
<u>Mechanické vlastnosti</u>	
Modul pružnosti v tahu	2850 ± 32
Pevnost v tahu	63 ± 1
Prodloužení v tahu	2850 ± 0,0
Modul pružnosti v ohybu	2760 ± 76
Pevnost v ohybu	102 ± 1
Prodloužení v ohybu	5,7 ± 0,1
HDT	56,2
Tg (DMA)	98