

Hořlavost kompozitních materiálů

Bc. Tomáš Minařík

Diplomová práce
2015



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

akademický rok: 2015/2016

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Tomáš Minařík**
Osobní číslo: **T14545**
Studijní program: **N3909 Procesní inženýrství**
Studijní obor: **Výrobní inženýrství**
Forma studia: **prezenční**

Téma práce: **Hořlavost kompozitních materiálů**

Zásady pro vypracování:

1. I. Teoretická část
2. Literární rešerše
3. Hořlavost kompozitních materiálů
4. Experimentální techniky měření FST vlastností
5. II. Experimentální část
6. Návrh a experimentální příprava vzorku pro danou aplikaci
7. Měření mechanických vlastností dle zvolených metodik
8. Měření FST vlastností dle zvolených metodik
9. Vyhodnocení získaných dat
10. Formulace závěrů

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:

8. ledna 2016

Termín odevzdání diplomové práce:

20. května 2016

Ve Zlíně dne 29. ledna 2016



doc. Ing. František Buňka, Ph.D.
děkan



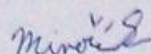
prof. Ing. Berenika Hausnerová, Ph.D.
ředitel ústavu

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby 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, považuji 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 12.5.2016


.....

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

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

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

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

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

(3) Do práva autorského také nezasahuje škola nebo školské či vzdělávací zařízení, užije-li nikoli za účelem přímého nebo nepřímého hospodářského nebo obchodního prospěchu k výuce nebo k vlastní potřebě dílo vytvořené žákem nebo studentem ke splnění školních nebo studijních povinností vyplývajících z jeho právního vztahu ke škole nebo školskému či vzdělávacímu 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 a užití školního díla (§ 35 odst. 3). Odpírá-li autor takového díla udělit svolení bez vážného důvodu, mohou se tyto osoby domáhat nahrazení chybějícího projevu jeho vůle u soudu. Ustanovení § 35 odst. 3 zůstává nedotčeno.

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

(3) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení jsou oprávněny požadovat, aby jim autor školního díla z výdělků jim 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 přihlídá k výši výdělků dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

ABSTRAKT

Diplomová práce se zabývá problematikou hořlavosti kompozitního materiálů. V teoretické části práce jsou popsány základní informace o rozdělení kompozitního materiálu, rozdělení retardéru hoření, popsání jednotlivých technologií pro výrobu kompozitu a železniční norma, podle které jsou vzorky zkoušeny. V praktické části jsou popsány zkoušky dle normy ČSN EN 45545 a porovnány výsledky naměřených hodnot dle jednotlivých zkoušek. V závěru práce jsou shrnuty dosažené výsledky pro jednotlivé zkoušky.

Klíčová slova: Laminát, sendvič, kompozitní materiál, hořlavost, retardér hoření

ABSTRACT

The thesis deals with the flammability of composite material. The theoretical part describes the basic information on the distribution of a composite material, a division of fire retardant, describing various technologies for the production of composite and railway norm, according to which the samples are tested. The practical part describes the test according to DIN EN 45545 and compared the results of readings by individual tests. In conclusion summarizes the results achieved for each test.

Keywords: Laminate, sandwich, composite material, combustibility, fire retardant

V první řadě bych chtěl poděkovat svým rodičům a rodině, kteří mi umožnili studium na vysoké škole a za dlouholetou podporu v průběhu studia.

Rád bych poděkoval své vedoucí diplomové práce paní doc. Ing. Soně Rusnákové, Ph.D. za čas, který mi věnovala, za rady, které mi při psaní práce poskytla a za odborné vedení.

Za pomoc s výrobou vzorků bych rád poděkoval firmě Form s.r.o. a panu Ing. Vladimíru Rusnákovi za poskytnutí informací pro danou práci a materiálového zabezpečení při výrobě a testování vzorků.

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

OBSAH

ÚVOD	9
I TEORETICKÁ ČÁST	10
1 KOMPOZITNÍ MATERIÁLY	11
1.1 POŽADAVKY NA KOMPOZITY.....	11
1.2 ROZDĚLENÍ KOMPOZITU	11
1.3 POUŽITÍ KOMPOZITNÍHO MATERIÁLŮ.....	13
2 RETARDERY HOŘENÍ.....	16
2.1 ATH(ALUMINIA TRIHYDRATE).....	17
2.1.1 Bromové zpomalovače hoření (BFR).....	19
2.1.2 Retardéry hoření na bázi fosforu	20
2.1.3 Halogenidové Retardéry hoření.....	20
2.1.4 Bezhalogenové retardéry hoření.....	20
2.2 ZÁVISLOST TYPU PLNIVA NA ROZDĚLENÍ KOMPOZITNÍHO MATERIÁLU	21
3 MÍCHANÍ POLYMERŮ	22
3.1 MÍCHACÍ STROJE	22
3.1.1 Bubnová míchačka	23
3.1.2 Pásová míchačka	23
3.1.3 Lopatková míchačka.....	24
3.1.4 Planetová míchačka	24
3.1.5 Fluidní míchačka	25
3.2 RECYKLACE – MLETÍ A DRCENÍ	26
4 PŘEHLED TECHNOLOGIE VÝROBY KOMPOZITNÍCH MATERIÁLŮ... 27	27
4.1 RUČNÍ VÝROBNÍ POSTUP	27
4.2 STRÍKÁNÍ.....	28
4.3 METODA VAKUOVÉHO LISOVÁNÍ.....	29
4.4 METODA POMOCÍ TLAKOVÉHO VAKU	29
4.5 RTM – VYSOKOTLAKÉ VSTŘIKOVÁNÍ.....	30
4.6 VAKUOVÁ INFUZE	31
4.7 TAŽENÍ (PULTRUZE)	31
4.8 NAVÍJENÍ	32
5 PŘEHLED EXPERIMENTÁLNÍCH TECHNIK ODOLNOSTI VŮČI HOŘENÍ.....	33
5.1 HOŘLAVOST MATERIÁLŮ	33
5.2 POŽÁRNÍ ODOLNOST	34
5.2.1 Zkouška šíření plamene podle ISO 5658-2.....	37
5.2.2 Hustota kouře podle normy ISO 5659-2.....	37
5.2.3 Kyslíkové číslo podle normy ISO 4589-2	38
5.2.4 Kónický kalorimetr podle normy ISO 5660-1	38
5.3 MATERIÁLOVÉ POŽADAVKY PRO ŽELEZNIČNÍ PRŮMYSL.....	39
5.3.1 Použití kompozitu v železničním průmyslu.....	40
II PRAKTICKÁ ČÁST	41
6 CÍL PRÁCE.....	42

6.1	SLOŽENÍ NAVRHOVANÉHO MATERIÁLU PRO VÝROBU VZORKŮ.....	43
6.1.1	Použitá pryskyřice	44
6.1.2	Gelcoat	45
6.1.3	Multiaxiální tkanina.....	45
6.1.4	Pěna.....	45
6.2	POMOCNÉ TECHNOLOGICKÉ MATERIÁLY	46
6.2.1	Rohož.....	46
6.2.2	Odtrhová tkanina	47
6.2.3	Vakuová fólie	47
7	VÝROBA KOMPOZITNÍCH VZORKŮ.....	48
7.1	VÝROBNÍ POSTUP	48
8	MECHANICKÉ ZKOUŠKY	52
8.1	ZKOUŠKA OHYBOVÝCH VLASTNOSTÍ.....	52
8.1.1	Výsledné hodnoty ohybové zkoušky vzorku 2E	54
8.1.2	Výsledné hodnoty ohybové zkoušky vzorku 4B.....	55
8.1.3	Výsledné hodnoty ohybové zkoušky vzorku 2F	56
8.1.4	Výsledné hodnoty ohybové zkoušky vzorku 4C.....	57
8.2	ZKOUŠKA OHYBOVÝCH VLASTNOSTÍ PO EXPOZICI VE VODĚ.....	58
8.2.1	Výsledné hodnoty ohybové zkoušky vzorku 2E po expozici vodou.....	59
8.2.2	Výsledné hodnoty ohybové zkoušky vzorku 4B po expozici vodou	60
8.2.3	Výsledné hodnoty ohybové zkoušky vzorku 2F po expozici vodou.....	61
8.2.4	Výsledné hodnoty ohybové zkoušky vzorku 4C po expozici vodou	62
8.3	ZKOUŠKA TAHOVÝCH VLASTNOSTÍ	65
8.3.1	Výsledné hodnoty tahové zkoušky vzorku 2E	66
8.3.2	Výsledné hodnoty tahové zkoušky vzorku 4B při 0°orientaci vláken	67
8.3.3	Výsledné hodnoty tahové zkoušky vzorku 4B při 90°orientaci vláken.....	68
8.4	ZKOUŠKA DLE KÓNICKÉHO KALORIMETRU	70
8.4.1	Výsledky zkoušky	73
8.5	ZKOUŠKA ŠÍŘENÍ PLAMENE LAMINÁTŮ DLE ISO 5658-2 PRO KLASIFIKACI DLE EN 45545-2.....	77
	ZÁVĚR	80
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	81
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	83
	SEZNAM OBRÁZKŮ.....	84
	SEZNAM TABULEK	87
	SEZNAM PŘÍLOH	88

ÚVOD

Použití kompozitního materiálů je v současné době rozšířeno v celosvětovém měřítku. Materiály vyrobené z kompozitu nacházejí uplatnění v různých průmyslových odvětvích. Podstatou kompozitních materiálů je kombinace různých druhů materiálů, ze kterých vznikne nový materiál se zcela specifickými vlastnostmi. Nejznámějším přírodním kompozitem je dřevo složené z celulóзовých vláken uložených v ligninu. Pro umělé kompozitní materiály je charakteristické, že se vyrábějí postupným mechanickým mísením nebo spojováním jednotlivých složek.

Problematika zápalnosti a hořlavosti kompozitních materiálů je svým rozsahem značně široká. Hoření je velmi složitý fyzikálně – chemický proces a jeho studium si vyžaduje komplexní přístup. Podstatou teorie hoření je podrobné popsání mikro a makro procesy změn, které při hoření nastávají.

Diplomová práce se zabývá výrobou vzorkových desek pomocí ruční technologie nanášení pryskyřice a pomocných materiálů s následným odsátím vzduchu pomocí vakuové folie a vývěvy.

Teoretická část práce popisuje základní rozdělení kompozitního materiálu a jeho využití v průmyslu. Část teoretické práce se zabývá retardéry hoření a jejich rozdělení. V další části jsou popsány jednotlivé technologie výroby kompozitních materiálů. Druhy míchání polymeru a popis jednotlivých druhů strojů. V poslední části teoretické práce je popsána hořlavost materiálů a popis normy EN 45545 pro železniční průmysl.

Praktická část práce popisuje rozdělení a volbu materiálu pro výrobu vzorků. Postup výroby vzorků a následné zkoušení mechanických vlastností pro jednotlivé zkoušky dle norem. V této části jsou popsány výsledky experimentálního zkoušení, jeho zpracování a vyhodnocení.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 KOMPOZITNÍ MATERIÁLY

Kompozitní materiály jsou složené kombinace dvou nebo více materiálů (výplně a matrice spojovací, vyztužovací elementy), odlišující se tvarem nebo složením. Složky si v nich zachovávají svoje vlastnosti (vzájemně se úplně nerozpouštějí ani neslučují), i když na své okolí působí ve spojeném stavu. Každá složka může být fyzikálně rozlišitelná a vzájemně mezi jednotlivými složkami jsou odděleny [1].

Kompozity jsou složené materiály, u nichž se po smíšení materiálu se zcela odlišnými vlastnostmi, vytvoří jediná struktura. Jestliže se tyto vlastnosti doplňují, vzniká kompozitní materiál s přídatnými, nebo lepšími vlastnostmi, než mají jednotlivé složky samy. Kompozity mají nízkou hmotnost, vysokou pevnost při dynamickém i statickém namáháním a vykazují odolnost vůči korozi. Při použití skleněných či organických výztuží i vynikající tepelné a elektrické izolační vlastnosti [1].

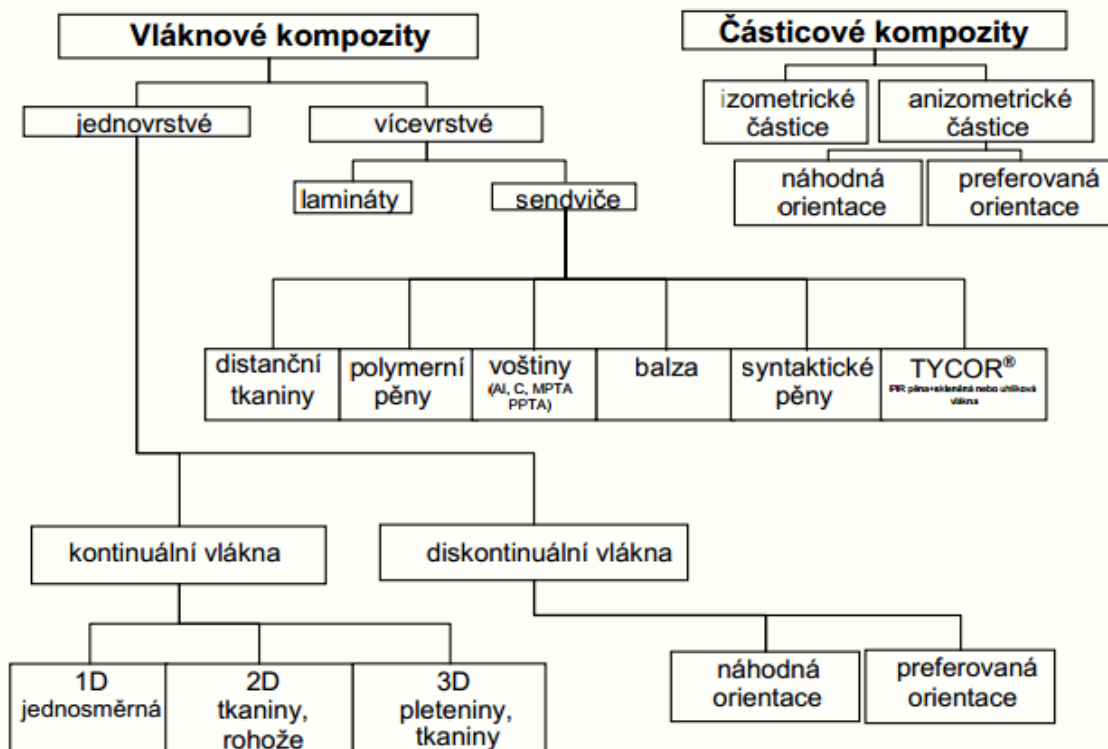
1.1 Požadavky na kompozity

Plasty a kompozity splňují následující soubor vlastností: [2]

- pevnost a modul pružnosti přibližující se kovovým materiálům
- odolnost proti únavě lepší než u kovů
- vysokou rázovou a vrubovou houževnatost a odolnost proti šíření trhlin
- vysokou teplotní odolnost (vysokou teplotu skelného přechodu nebo tání)
- schopnost tlumení vibrací
- nehořlavost
- bariérové vlastnosti
- kvalitu povrchu třídy A, výrobu komponent, které nevyžadují lakování
- nízkou, případně nulovou teplotní roztažnost
- elektrickou vodivost
- korozní odolnost proti vysoce agresivnímu prostředí
- recyklovatelnost.

1.2 Rozdělení kompozitu

Rozdělení kompozitních materiálů podle geometrie a orientace výztuže je patrné z následujícího schématu [3].



Obr. 1. Rozdělení podle orientace a geometrie výztuže [3].

Matrice může být

- přírodní (bio-polymery)
- polymerní
- kovová
- uhlíková
- skleněná
- keramická

Vlákna mohou být

- skleněná
- uhlíková
- keramická (SiC, Al₂O₃, Si₃N₄)
- přírodní (rostlinná, čedičová a asbestová)
- proteinová (vlákna pavouků)
- borová
- polymerní
- piezoelektrická [3]

1.3 Použití kompozitního materiálu

- **Letectví**

Čím dál významný podíl kompozitního materiálu v letectví a nejvíce v malém sportovním letectví a kategorii UL je dán jednak požadavky na vlastnosti konstrukce a jednak příznivou výrobní cenou kompozitních dílů pro tuto kategorii v porovnání se standartní nýtovanou konstrukcí z lehkých slitin. Materiál a konstrukce letadla má mít maximální výkon a minimální váhu při zachování dostatečné pevnosti a tuhosti [4].

V dopravním letectví se kompozitní materiály uplatňují na vrtule, křídla, radarovou techniku, trupy letadel, interiér.



Obr. 2. Využití kompozitního materiálu v případě Airbus A380[4].

- **Energetika**

Díky schopnosti elektrické a tepelné izolace jsou využívány v energetickém průmyslu. Tvoří se z nich komponenty pro výrobu větrných elektráren (listy, turbíny) různé podpěry a rozpěry kabelů vysokého napětí, stínění elektromagnetického pole.



Obr. 3. Vrtulové listy VZLÚ V45[5].

- **Farmaceutické aplikace**

Významnou oblastí, která s kompozitními materiály pracuje již delší dobu je lékařství. Umělé kosti, šlachy, protézy a mnoho dalších kompozitních vynálezů umožňuje úroveň lékařství směřovat stále dál.



Obr. 4. Nadkolenní sportovní protéza [6].

- **Automobilový průmysl**

V tomto dopravním odvětví se z kompozitních materiálů vyrábí např. přístrojové desky, nápravy, části karosérií, nárazníky, kryty světlometů, hnací hřídele, sedadla. V automobilovém průmyslu se kompozity využívají kvůli snižování hmotnosti jednotlivých součástí a tím pádem i celého automobilu a kvůli mechanickým vlastnostem.



Obr. 5. Karosérie z uhlíkových vláken [7]

- **Železniční doprava**

Hlavní hlediskem kompozitního materiálu je samotná hmotnost, ale i snadnější manipulace a vysoká tuhost, pevnost a nehořlavost. Další velkou výhodou je malá potřeba údržby. Použití je velmi široké jak na lokomotivy, tak i na vagony. Konkrétně na celou hrubou stavbu, přední i zadní čelo, přední, zadní panel osvětlení, obložení stropů i stěn, interiérové komponenty, palubové desky.



Obr. 6. Vlaková jednotka TBZ řady 671[8]

- **Stavebnictví**

Typickým příkladem použití kompozitu ve stavebnictví je beton. Beton působí jako pojící matrice, která dobře odolává tlaku, zatímco ocelové pruty vyztužují prvek a pevnost v tahu. Dalším příkladem je třeba vláknobeton (beton doplněný vlákny), umakart (pryskyřice s papírovým vláknem).



Obr. 7. Řez betonového sloupu plněný vlákny [9]

2 RETARDERY HOŘENÍ

Jsou látky, které pomáhají zlepšit odolnost materiálů vůči teple při hoření a prodlužují dobu, po kterou musí plamen na materiál působit, aby došlo k jeho vznícení. Mohou najít uplatnění u různých typů materiálu. Obvykle účinkují tak, že po oddálení plamene způsobí samovolně uhašení plamene.

Retardéry hoření mohou potlačit nebo dokonce zastavit proces hoření, záleží na jejich složení. Mohou fungovat chemicky nebo fyzikálně v pevné, kapalné i plynné fázi. Zasahují do jednotlivých částí hoření, zahřívání, rozkladu, vznícení nebo šíření ohně [12].

Snížení hořlavosti organických pryskyřic se dosahuje jednak snížením obsahu organické fáze ve výsledném materiálu, tím je v kompozitech dosaženo přidávkem výztuže a anorganických plniv, 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. V mnoha případech je účinnost retardérů taková, že po oddálení plamene způsobí samovolné uhašení hoření. K retardérům se navíc přidávají další látky, které podstatně snižují hustotu emitovaného kouře i jeho toxicitu. Pro výrobu kompozitů se sníženou hořlavostí se jako matrice používá středně nebo vysoce plněné polyesterové a epoxidové pryskyřice [11].

Retardéry jsou používány pro zlepšení odolnosti materiálu proti ohni. Důležitou vlastností retardéru hoření, je nezbytnost zachování původních vlastností materiálů. Snížení hořlavosti můžeme docílit, tím že přidáme další monomer obsahující v molekule fosfor, halogen či antimon. Do skupiny retardérů hoření patří retardéry na organické a anorganické bázi. Dále můžeme retardéry rozdělit podle skupenství na pevné a kapalné. Retardéry by měli splňovat uvedené vlastnosti:

- Tepelná stabilita při zpracování
- Minimální vliv na vlastnosti a cenu
- Recyklovatelné
- Kompatibilita s polymerem a dalšími aditivy
- Vysoká efektivita
- Nekorozivní
- Odolnost proti stárnutí a hydrolýze [10]

2.1 ATH(aluminia trihydrate)

ATH je nejčastěji používaným plnivem. Získává se z bauxitové horniny, která je směsí oxidů hliníku, železa a dalších prvků. Díky svým vynikajícím fyzikálním vlastnostem má výbornou chemickou odolnost a trvanlivost. Je dostatečně tvrdý, aby zajistil nárazovou odolnost materiálu, ale zároveň měkký, aby mohl být opracováván běžnými nástroji. Čistý je translucenční (průsvitný). ATH je nejen nehořlavý, ale navíc působí jako přirozený retardant hoření. Je hydrát, obsahuje ve své molekule vázanou vodu, která se při hoření uvolňuje ve formě páry [10].

Hydroxid hlinitý, také známý jako trihydrát hliníku (ATH), nebo jednoduše hydrát, je přesněji chemicky určen jako hydroxid hlinitý, $\text{Al}(\text{OH})_3$. Je to neabrazivní prášek s Mohsovou tvrdostí 2,5 až 3,5 a specifické hustotě 2,42 g/cm³. Hydroxid hlinitý je nejvíce používaný retardér hoření na světě. Po zahřátí na 200°C se hydroxid hlinitý rozloží na 66% oxidu hlinitého a 34% vody. Nejenže se rozpadá a uvolňuje vodní páru, ale také pohlcuje velké množství tepla, čímž ochlazuje materiál, a zbytkový oxid hlinitý vytváří ochrannou vrstvu. Tato látka působí hned třemi způsoby najednou. Tento nezvratný proces je ta část, která dělá z ATH účinný retardér hoření. Hydroxid hlinitý se používá jako adsorbent, emulgátor, iontoměnič, žíravina, filtrační médium. Je také používán k výrobě papíru, keramiky, tiskařské barvy, detergentů pro hydroizolaci textilií, zubní pasty a antiperspirantů [11].

Tab. 1. Chemické a fyzikální vlastnosti ATH (hydroxid hlinitý) [11]

Chemické a fyzikální vlastnosti	
Vzhled a vůně	bílý prášek, bez zápachu
Bod varu	100°C
Bod tání	300°C
Rozpustnost ve vodě	Ano
Hustota	2,42g/cm ³
pH	Nerozpustný
Hustota par	slabé základní
Samovznícení	Ne
NFPA hodnocení	Zdraví: 1:Hořlavost: 0, Reaktivita: 0
Stabilita	Za normálních podmínek stabilní
Vzplanutí	Není považován za požárně nebezpečný

Tab. 2. Struktura prodejního retardéru ATH(hydroxid hlinitý)[11]

Prodejní specifikace	
Vzhled	bílý prášek
Al(OH) ₃	min. 99,5%
Al ₂ O ₃	min. 64%
SiO ₂	max. 0,015%
Fe ₂ O ₃	max. 0,02%
Vlhkost	8% - 10%
Ztráta vypálením	34% až 35%
Bělost	min. 85%
Zrnitost	>26μm (max. 8,0%)
	>45μm (max. 40,0%)
	>75μm (max. 45,0%)
	>150μm (max. 3,0%)

Jde o produkt při výrobě hliníku. Mezi hlavní produkty patří kamenec (sulfát hlinitý), sodík hliníku, polychlorid draselný (PAC), fluorid hlinitý, zeolity. Používá se jako surovina na výrobu skla, glazury, surovina při výrobě katalyzátorů. Zpomaluje hoření a potlačuje dým v plastových výrobcích jako: kabely, koberce a pryžové výrobky. Surovina pro výrobu sádrokartonových desek a zahradních hnojiv. Základní složka papíru, vodou ředitelných barev a rozpouštědel, UV vytvrditelných nátěrových hmot, inkoustů a lepidel [12].



Obr. 8. Retardér hoření ATH[12]

2.1.1 Bromové zpomalovače hoření (BFR)

Bromové zpomalovače hoření jsou látky, které jsou složené z aromatických jader. Patří mezi zpomalovače hoření s vysokou účinností, jejich obsah v polymerní matrici se pohybuje v rozmezí 10-15%. Mezi 50-80% obsahuje brom v těchto látkách. BFR se vykytuje v mnoha druzích [10,12].

K retardaci hoření dochází mechanismem blokování hoření HBr v přítomnosti uhlovodíků. Abychom dosáhli vyšší účinnosti retardace, mohou se BFR modifikovat. Vhodnou látkou pro modifikaci může být Sb_2O_3 . Důkazem je skutečnost, že k vylučování těkavé HBr dochází při teplotě $350^\circ C$, na rozdíl od Sb_2O_3 , jehož rozklad začíná až při teplotě $650^\circ C$. Vyloučená HBr tvoří v přítomnosti vlhkosti korozní kyselinu bromičnou. Další látkou, která se při hoření může objevit je jedovatý dioxin [12].

Zdravotní rizika těchto retardérů souvisí především s dvěma látkami: polybromovanédifenylethery (PBDE) a tetrabrombisfenol A (TBBPA). Tyto látky se uvolňují do životního prostředí nejen z výrobků, ve kterých jsou obsaženy, ale také při likvidaci těchto výrobků. Jejich akutní toxicita je sice nízká, ovšem nebezpečné jsou díky své stálosti a odolnosti přirozenému rozkladu. Působí výrazně negativně na živé organismy a to zejména na vodní. U člověka se může účinek těchto látek projevit například drážděním očí nebo pokožky. Tyto látky se také mohou ukládat v lidském těle a následně se projevit jaterní poškození nebo porucha štítné žlázy [11,12].

Používá se např: v dopravních prostředcích, v elektroprůmyslu, jako přísada textilií a plastů, nebo jako balící a izolační materiál [1,11].

Vzhledem k postupnému zpříšňování zdravotních a ekologických požadavků dochází k omezení či úplnému zákazu používání některých látek, které byli obsaženy v retardérech hoření. Poslední aktualizací bylo zařazení nových devíti látek do Stockholmské úmluvy. Tato úmluva pojednává o ochraně životního prostředí a lidského zdraví před účinky látek škodlivých, které jsou schopny dlouhodobě setrávat v životním prostředí, nebo se mohou koncentrovat v živých organismech. Způsobují řadu onemocnění, např: rakovinu, nemoci jater a ledvin nebo porušení imunitního systému, poškození dědičných vlastností. Z retardérů hoření jsou to některé sloučeniny bromu. Konkrétně se jedná o oktobromdifenyl ether, pentabromdifenyl ether, hexabrombifenyl [5].

2.1.2 Retardéry hoření na bázi fosforu

Použití retardéru hoření na bázi fosforu je mnohostranné, patří sem například několik oxidovaných stavů fosforu, fosforové komponenty, elementární červený fosfor. Retardéry na bázi fosforu efektivní v polymerech obsahující kyslík. Mechanismus v kondenzované fázi vzniká jako důsledek tepelného generování kyseliny fosforové z retardérů hoření, např. kyselina fosforová nebo polyfosforová. Tyto kyseliny se chovají jako dehydratační prostředek měnící degradaci v polymeru. Retardéry hoření na bázi fosforu mohou mít aditivní nebo reaktivní složky. Aditivní forma zahrnuje nízko molekulární složky, např. červený fosfor, polymerní aditiva jako je polyfosforový ester. Výskyt retardérů hoření obsahujících fosfor je všestranný, ale méně univerzální než retardéry hoření na bázi bromu, protože je omezuje použití jen pro určité skupiny polymerů. Efekt retardace se může zlepšit, jestli obsahují fosforové složky i halogenové složky. Mnoho retardérů hoření na bázi fosforu je tekutých nebo mají nízký bod tání a mohou fungovat jako plastifikátory polymerní matrice [13].

2.1.3 Halogenidové Retardéry hoření

Mají výborné schopnosti a mohou být začleněny, buď mezi aditiva jako je etylen bis-(tetrabromftalimid), dekabromdifenyl, nebo jako reaktivní, např. vinyliden chlorid. Složky obsahující brom jsou účinnější než ty, které obsahují analogické složky s chlorem, ale brom je dražší a má menší tepelnou a fotochemickou stabilitu. Jejich mechanismus účinku souvisí s rozštěpením vazby mezi uhlíkem a halogenem. Volba typu sloučenin záleží na typu polymeru, na mísícím poměru, na podmínkách reakce halogenových retardérů hoření (tání, stabilita, distribuce) anebo na vlastnostech materiálu při dlouhodobém vystavení teplotě. Radikálové rekombinace zlepšují vlastnosti používaných halogenových retardérů hoření ve směsi s kovovými komponenty [13].

2.1.4 Bezhalogenové retardéry hoření

Bezhalogenové retardéry hoření (HFRR – halogen free flameretardants) se obvykle dávkují ve větším množství, protože nejsou tak účinné jako halogenové retardéry hoření. Konečné vlastnosti výrobku ovlivňuje vyšší koncentrace a tím také výslednou cenu výrobku. Oproti halogenovým retardérům hoření se však vyznačují nízkou hustotou kouře, nižší hmotnost proti klasickým materiálům, nízkou toxicitou a korozí zplodin hoření. Do této skupiny retardérů hoření patří:

- **Intumescentní látky**, které při hoření pění a jejichž zuhelnatělý zbytek tvoří tenkou vrstvu, která zabraňuje přístupu kyslíku.

- **Minerální plniva**, svou přítomností v polymeru zvyšují jeho tepelnou vodivost a tím posouvají hranici zápalnosti k vyšším teplotám. Používá se především netoxické retardéry hoření, např. hydroxid hořečnatý $Mg(OH)_2$, hydroxid hlinitý $Al(OH)_3$. [13]

Neobsahují halogenové prvky. Při hoření nevznikají toxické korozivní plyny, které způsobují následné škody na zdraví lidí, konstrukci budov a zařízení.

- Melamínkyanurát (MC), zejména pro PA6, PA66
- Červený fosfor (RP), zejména pro PA66
- Ammoniumpolyphosphate (APP), zejména pro PP
- Aromatické phosphates (OP), zejména pro ABS, PS
- Bezhalogenové nedýmivé směsi pro kabely

2.2 Závislost typu plniva na rozdělení kompozitního materiálu

Používají se desítky typů materiálů jako plnivo. Z chemického hlediska se rozdělují na dvě základní skupiny [3].

Organická plniva

- Uhlík, uhlíková vlákna, uhlíková nanovlákna
- Přírodní polymery - dřevěná moučka, dřevěné piliny, bavlna, sisal
- Syntetické polymery – polyeterová vlákna, vysocepevná polyetylenová vlákna, vlákna na bázi polysulfidu, aromatická polyamidová vlákna

Anorganické plniva

- Kovy bor, ocel, feromagnetické prášky
- Soli $CaCO_3$, $BaSO_4$, $CaSO_4$, fosfáty
- Oxidy SiO_2 , MgO , Sb_2O_3 , Al_2O_3
- Hydroxidy $Al(OH)_3$, $Mg(OH)_2$
- Silikáty mastek, slída, kaolin, wollastonit, zeolit

3 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 vlastnosti plastu (plniva, barviva, změkčovadla, stabilizátory, atd.) nebo pro zlepšení a usnadnění zpracování (např. maziva). Míchání se aplikuje u všech stavů polymerů, tavenin, granulí, prášků, kapalin, 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 :

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

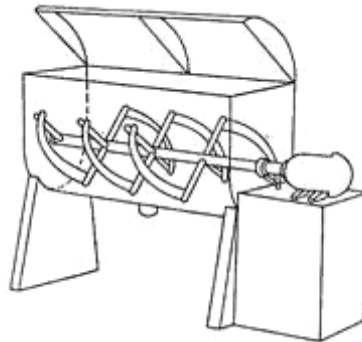
Přechod mezi míchačkami a hnětiči není skokový. Stroje jsou podstatě konstruovány od lehké konstrukce až po nejtěžší konstrukce. Pro hnětení je dále výhodné, aby hnětené materiály měly zhruba stejnou viskozitu, jinak částice s vyšší tuhostí prokluzují v měkčím materiálu. Při hnětení kaučuků s plnivem dochází k zahřívání směsi, proto se proces provádí ve více stupních [14].

3.1 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 vertikální a horizontální. Speciální skupinu tvoří míchačky bez pohyblivých elementů.

3.1.1 Bubnová míchačka

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.

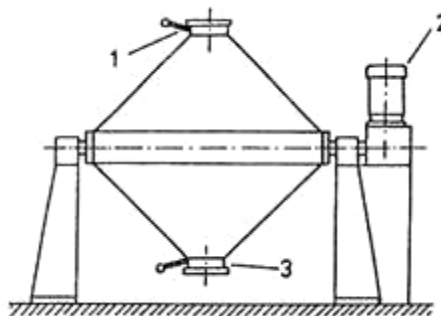


Obr. 9. Bubnová míchačka[14]

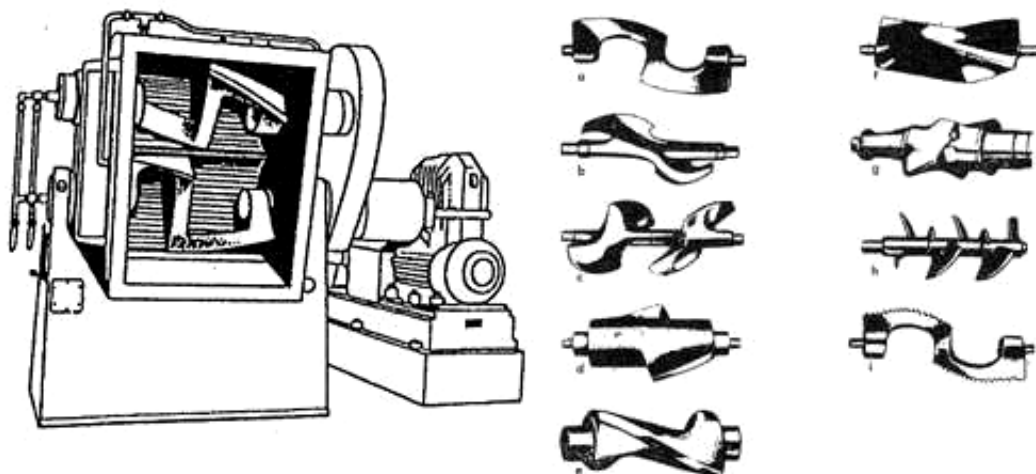
1- plnicí otvor, 2 - motor, 3 - výpustní otvor

3.1.2 Pásová míchačka

Další horizontální míchačkou je pásová míchačka. Rotor tvoří pásy spirálově navinuté do tvaru válce, který přehruje 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. Míchadel 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.



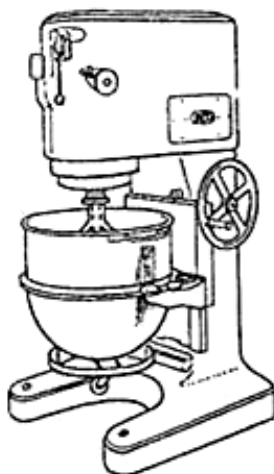
Obr. 10. Pásová míchačka [14]



Obr. 11. Dvouramenná míchačka a příklady konstrukce míchadel[14]

3.1.3 Lopatková míchačka

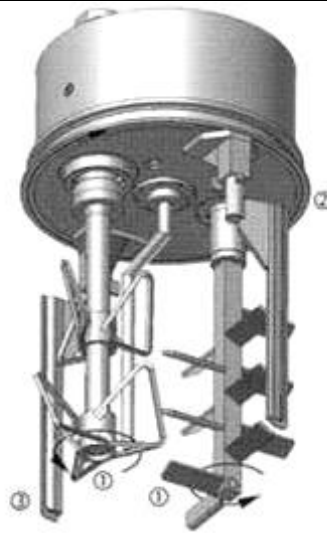
Mezi vertikální míchací stroje patří lopatková míchačka s lopatkovým tvarem míchadel a s velmi jednoduchou výměnou míchací nádrže. Používá se pro míchání kapalin, lepidel, past, atd.



Obr. 12. Lopatková míchačka [14]

3.1.4 Planetová míchačka

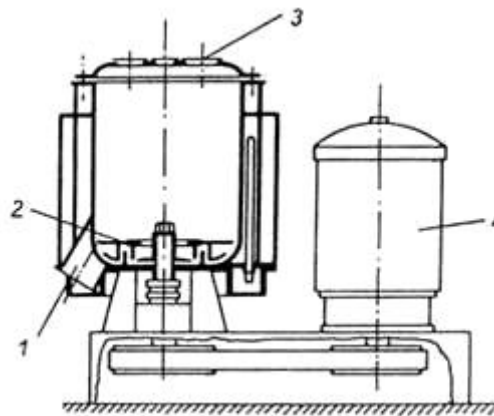
Planetová míchačka slouží k míchání viskózních hmot, je používána např. pro přípravu past, roztoků, tmelů, atd. Dvě míchací ramena s lopatkami se pohybují kolem stěn nádoby a přitom se otáčejí kolem své osy. Výhodou jsou opět jednoduché míchací nádoby, které je možné snadno měnit a také uzavřít.



Obr. 13. Planetová míchačka[14]

3.1.5 Fluidní míchačka

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 výpust je dole. Cykly jsou krátké, 5 až 10 min [5].



Obr. 14. Fluidační míchačka[14]

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

3.2 Recyklace – mletí a drcení

Nezbytným předpokladem pro technicky i ekonomicky účelné využití odpadu je dobrá znalost technologie výroby, zpracování i sortimentu výrobků. Je to hlavně vysoká cena plastů, která vede výrobce k zpracování odpadu z plastu a recyklaci nefunkčních výrobků. V současné době existuje mnoho zařízení, které zpracují odpad na recyklát (mlýny) [14].

Odpady vznikající při výrobě lze rozdělit:

- Technologické odpady - vznikají při výrobě, vadné výrobky, odstříky, atd.
- Užitečný odpad - výrobky po skončení své funkční doby, znečištěné výrobky
- znehodnocením stárnutím

Při použití jednotlivých odpadů k dalšímu zpracování je nutné vědět jejich původ a jak byl materiál dříve zpracován. Záleží také na tom, zda byl materiál pouze drcený nebo regenerovaný. Použití drceného materiálu má výhodu u tepelně citlivých materiálů, ale nevýhodou je různá velikost drcených částí a zvýšený obsah prachových vlastností. Nevýhodou regenerace je energetická náročnost a u většiny plastů dokonalé vysušení rozemletého odpadu. Při zvažování možností využití druhotných surovin je třeba vědět, že materiál prochází při zpracování rozdílnými fyzikálními a chemickými procesy, které vedou ke změně struktury a složení.

Výrobci doporučují přidávat maximálně 20 % regenerátu do původní hmoty, čímž je zaručeno, že materiál se vrátí k regeneraci více jak desetkrát, což je pro většinu plastů vyhovující. Znovuzpracování odpadu a výsledná kvalita výrobků závisí na typu polymeru, jeho složení a podmínkách zpracování původního materiálu. Degradace polymerů závisí na obsahu a typu stabilizátorů, vlhkosti, teplotě vstřikování a době prodlevy materiálu v tavicí komoře [14].

Nejvíce používaný mlýn při zpracování odpadu drcením je:

- Nožový mlýn
- Talířový nárazový mlýn

4 PŘEHLED TECHNOLOGIE VÝROBY KOMPOZITNÍCH MATERIÁLŮ

Vhodný výběr technologie výroby je velmi důležitý, určuje výslednou vlastnost výrobku z kompozitního materiálu. Při výrobě kompozitních materiálů používáme různé druhy pryskyřice, vláken a jader. Spojením všech částí dohromady vzniknou výsledné vlastnosti, jako jsou tuhost, tepelná odolnost, pevnost, houževnatost, konečná cena výrobku [15].

Použití technologie výroby je velmi rozsáhlá a je dána především:

- Požadavky na výsledné vlastnosti
- Povrchová kvalita
- Rozměrová charakteristika výrobku
- Sériovost

4.1 Ruční výrobní postup

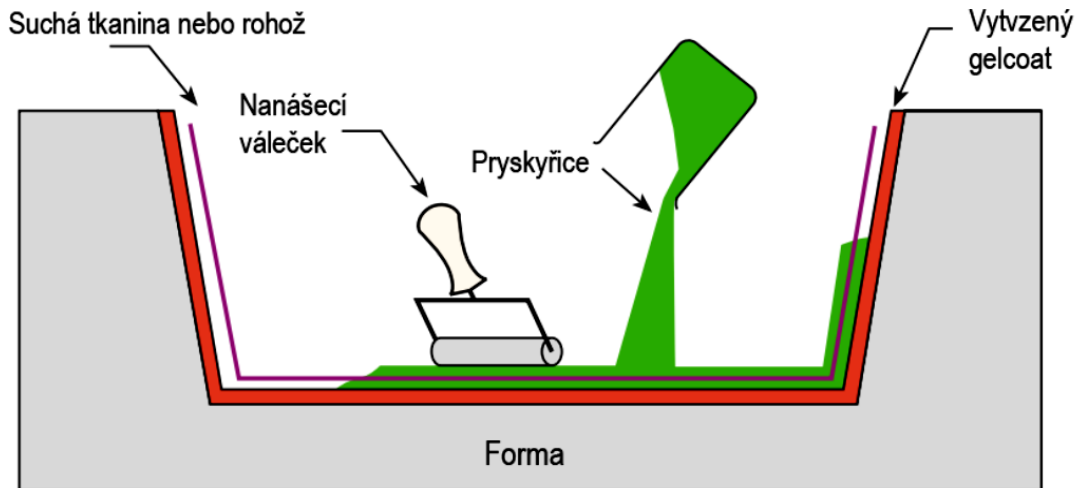
Ruční kladení je nejjednodušší pracovní postup, který je vhodný pro malé série, prototypy a velkoplošné díly. Pracovní nástroje a potřebné pomůcky jsou jednoduché a levné. Na povrch formy se nejdříve nanese vrstva separátoru, na ní se nanese vrstva pryskyřice o tloušťce 0,3 až 0,6 mm (zvaná *gelcoat*) [15].

Tato vrstva zabraňuje prorážení struktury výztuže na povrch výrobku, slouží současně jako ochrana povrchu. Po částečném vytvrzení povrchové vrstvy se postupně kladou další vrstvy. Do vrstvy pryskyřice na povrchu formy se postupně kladou skleněné výztuže, které se pomocí válečku nebo štětce postupně prosycují pryskyřicí. Tento postup se nazývá *kladení za mokra* [15].

Důležitou součástí postupu je dobré zabudování výztuže (tkanina nebo rohož). Je nutné zamezit vzniku vzduchových bublin, které zapříčiňují vady ve výrobku snížením mechanických vlastností. Úplné odzdušnění při ručním laminování není možné [15].

Kvalita výroby závisí na zkušených a kvalifikovaných pracovnících. Při výrobě vznikají nebezpečné výpary styrenu.

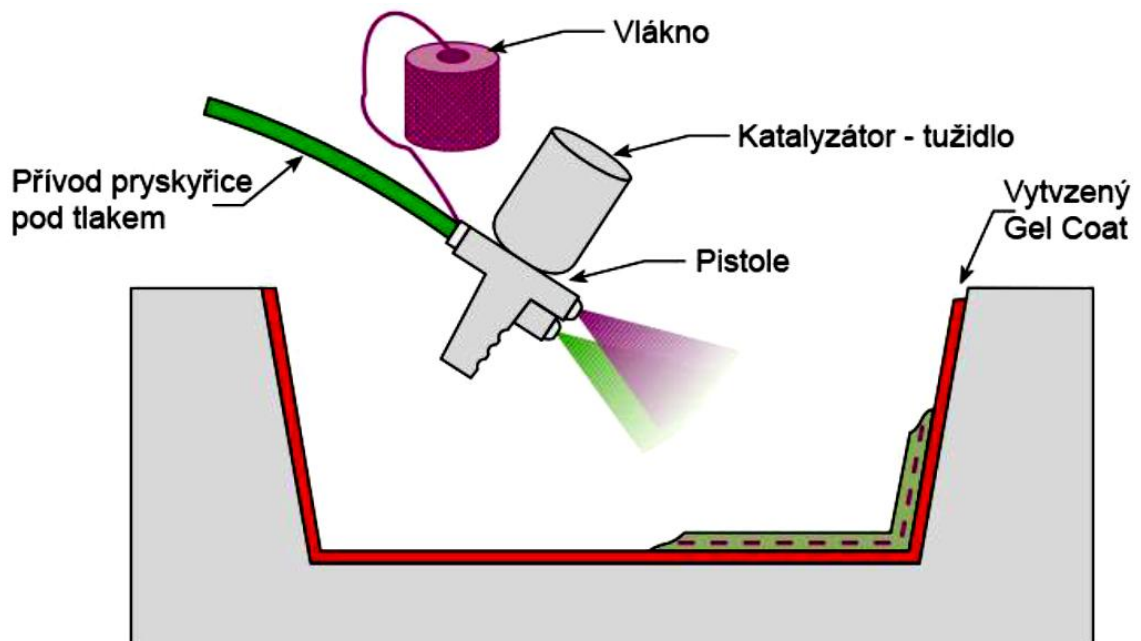
Technologie je vhodná pro výrobu obkladů dopravních prostředků – autobusy, vlaky, tramvaje



Obr. 15. Ruční laminování [7]

4.2 Stříkání

Metoda stříkání je částečně mechanizovaná metoda ručního kladení. Tato technologie je vhodná pro malé série, velkoplošné díly a nanášení povlaků. Pryskyřice, výztuž a ostatní složky se nanáší na povrch formy, pomocí stříkací pistole. Vlákna jsou sekaná na délku 20 až 50 mm v ruční pistolí a současně s pryskyřicí jsou nanášena na formu. Vytvrzování nanesených vrstev probíhá za normálních podmínek [15].

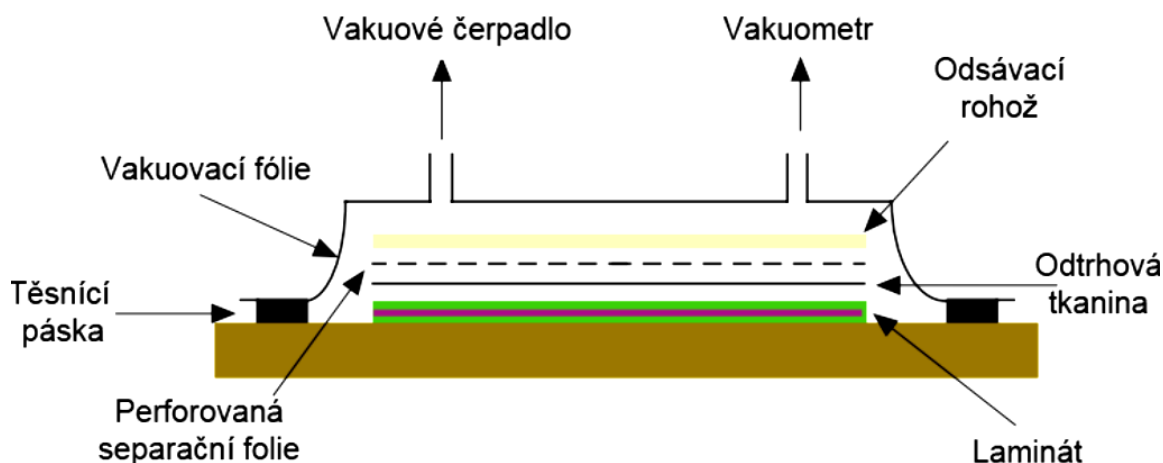


Obr. 16. Schéma stříkacího zařízení [7]

Stříkání patří mezi otevřenou technologii a je nutné jej provádět v odvětraném prostoru – stříkací box, protože se používají pryskyřice, které obsahují styren.

4.3 Metoda vakuového lisování

Jedná se pouze o zlepšení metody ručního kladení v poslední fázi vytvrzování. Materiály se kladou podle přesného plánu do dutiny formy ve více vrstvách. Na naskládané předim-pregované výztuže ve formě se postupně kladou další technologicky potřebné materiály – odtrhová tkanina, separační fólie, odsávací rohož a vakuová folie. Pomocí vakuové folie a aplikaci vakua se všechny materiály ve formě slisují a zároveň umožní odsátí vzduchových bublin vakuem. Celá forma se následně přesune do vyhřívané pece nebo autoklavu [15].



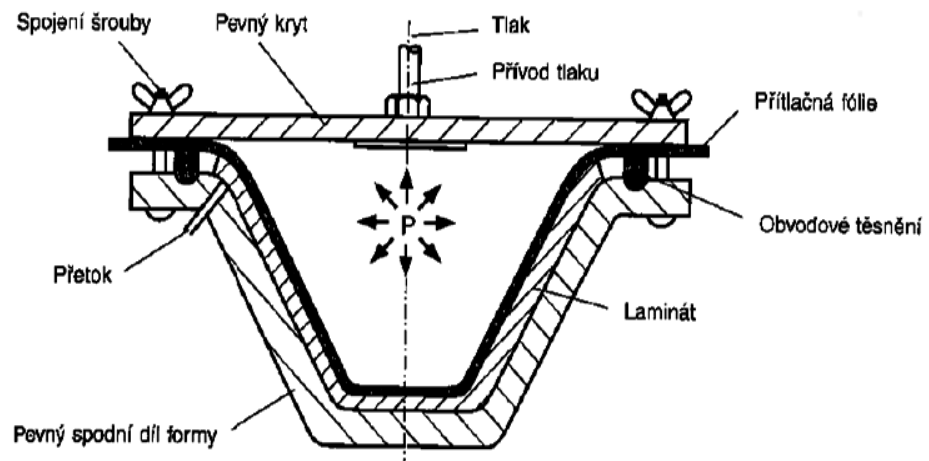
Obr. 17. Schéma vakuového lisování [7]

Vakuové lisování se používá pro malé až střední série, technologie nevyžaduje vysoké náklady. Výsledkem jsou oboustranně hladké výrobky včetně sendvičových struktur s vysokým obsahem výztuže a velmi dobrými mechanickými vlastnostmi.

4.4 Metoda pomocí tlakového vaku

Jde o metodu obráceného vakuového lisování. Forma musí být uzavřena krytem tak, aby bylo možné dosáhnout ve formě rovnoměrného přetlaku (až 8 barů). Tenká vrstva fólie je položena na laminát, tlakem dojde k odstranění nepotřebných vzduchových bublin. Výhoda metody je možnost připravit výrobky s minimálním obsahem vzduchových bublin. Vysokým rozdílem tlaků se dosáhne lepšího zhutnění laminátu, forma však v porovnání s předchozími technologiemi musí být stabilnější a odolnější [15].

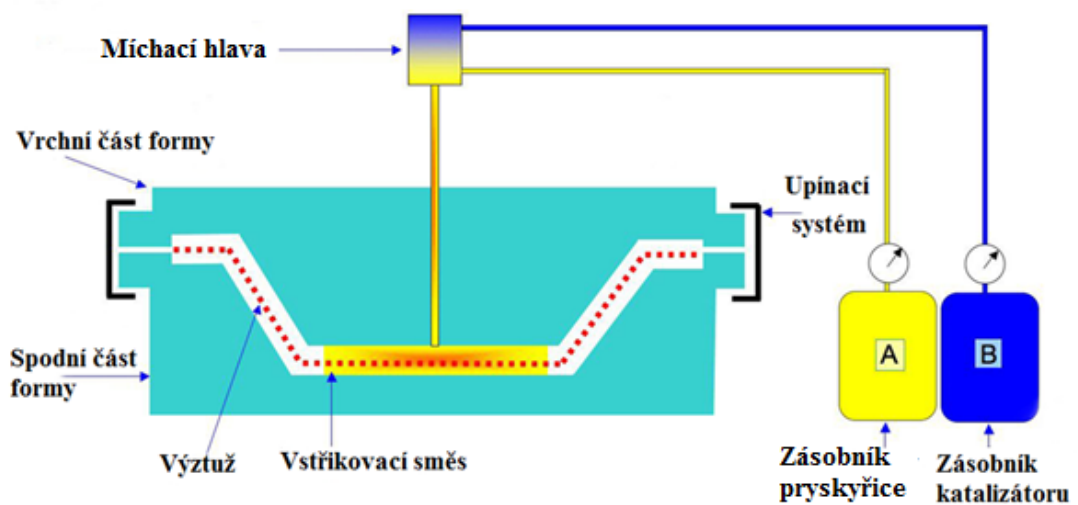
Nevýhoda metody je velký odpad.



Obr. 18. Metoda tlakového vaku [15]

4.5 RTM – vysokotlaké vstřikování

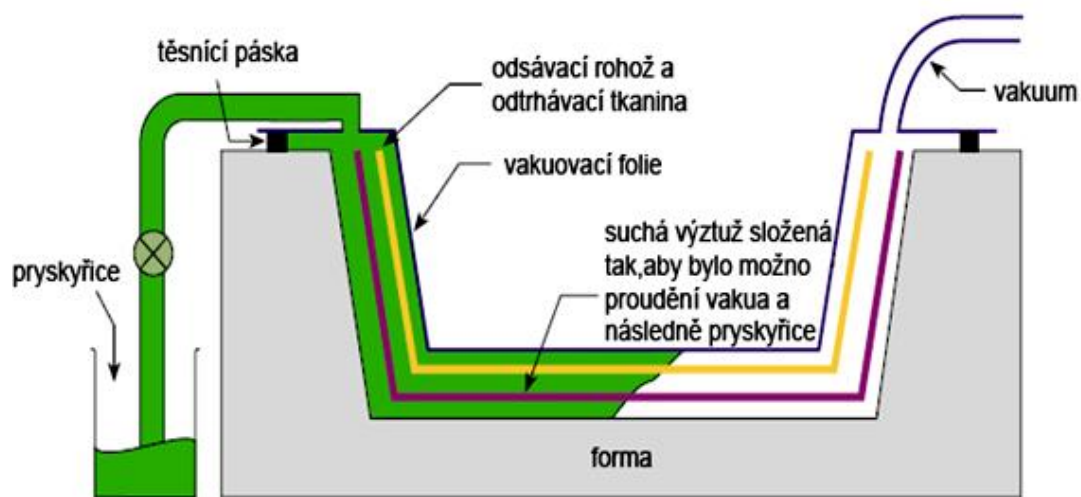
Metoda spojuje technologii lisování a vstřikování. Formy jsou robustní konstrukce, kovové nebo polymerbetonové, aby snesly vysoké vnitřní tlaky. Do formy, opatřené gelcoatem, se vyskládá suchá výtzuž. Forma se následně uzavře vrchním dílem podobně tuhé konstrukce a zajistí rychloupínacím systémem. Do vstřikovacího otvoru se umístí injektážní pistole, kterou se přivádí pojivo ze speciálního strojního zařízení. Pojivo se vstřikuje tak dlouho, pokud nezačne vytékat z kontrolních otvorů na okraji formy. Technologie je vhodná pro větší série, několik stovek až tisíc kusů [16].



Obr. 19. Technologie RTM [16]

4.6 Vakuová infuze

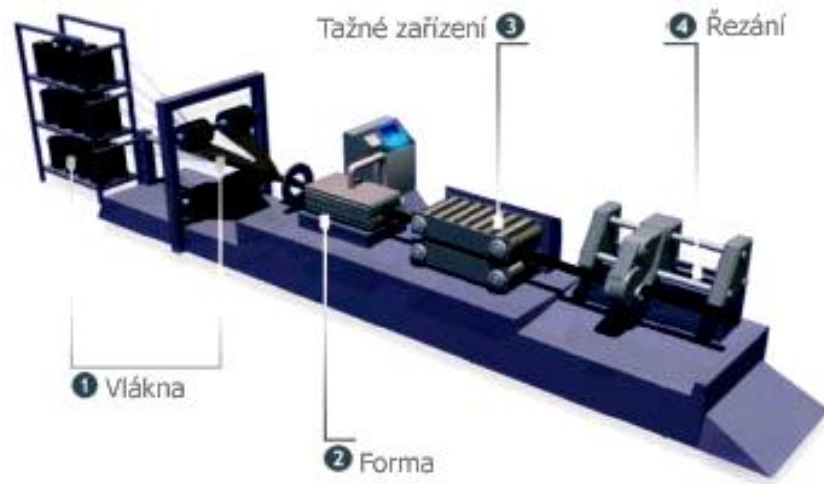
Metoda vakuové infuze využívá podtlak pro vedení pryskyřice v položených jednotlivých vrstvách výztuže. Do dutiny formy se položí suché výztuže. Další pomocné vrstvy určitých materiálů se pokládají na výztuž, které jsou přikryté vakuovou folií. Vlivem podtlaku je pryskyřice nasávána pomocí systému hadiček do připravené formy. Vytvrzování probíhá při standardních atmosférických podmínkách a může trvat až několik hodin. Technologie je vhodná pro výrobu trupu v lodním průmyslu, v dopravním průmyslu a větrné elektrárny. Výroba vakuové technologie patří mezi nesložitější procesy při výrobě kompozitního materiálu[17].



Obr. 20. Schéma vakuové infuze [17]

4.7 Tažení (pultruze)

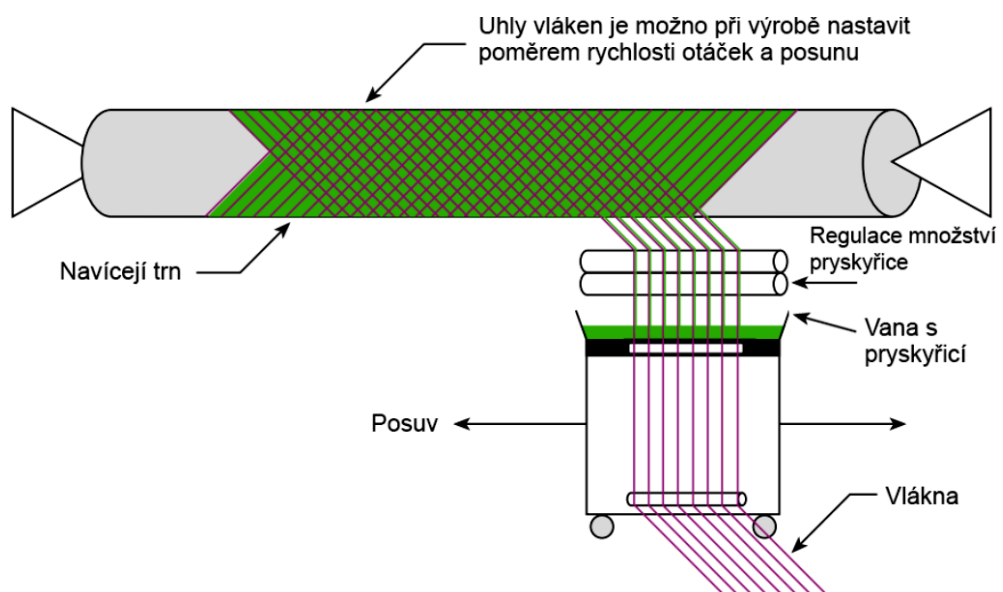
Pultruze je kontinuální výrobní proces výroby kompozitního materiálu různých tvarů a délek tažením. Vstupní materiál je svazek vláken, rohoží a tkanin, které prochází pryskyřičnou lázní, ve které dochází k prosycení výztuže. Po prosycení a odstranění přebytečné pryskyřice je vlákno vtahované do tvarovací a vytvrzovací hlavy. Z formy je tažen hotový profil, který je dělen pilou na výsledný rozměr. Používá se ve stavebnictví. Vlákná mohou být uhlíková, z aromatického polyamidu nebo skelná, lze použít vlákna z jednoho materiálu nebo kombinaci vláken. Při výběru vláken musíme vědět, že aramidová a skleněná jsou pro krátkodobé zatížení. Pro trvalé ohybové a smykové vyztužení jsou nejvhodnější vlákna z uhlíku. Výhody pultruze jsou nízká navlhavost, nekonečná délka a nízké výrobní náklady [18].



Obr. 21. Schéma putruze [18]

4.8 Navíjení

Jde o kontinuální technologii navíjení svazku výztuží na jednodílnou nebo skládací formu. Pohyb ukládajícího ramene podél osy za současné rotace trnu a poloha ukládacího oka dovolují přesné kladení vláken v několika osách a umožňují vytváření i relativně složitých tvarů. Vytvrzení se provádí na trnu. Proces navíjení je plně řízen počítačem. Technologií se vyrábějí kompozitní dutá tělesa - trubky, nádrže a nádoby různého i proměnlivého tvaru a velikosti [7].



Obr. 22. Navíjecí zařízení [7]

5 PŘEHLED EXPERIMENTÁLNÍCH TECHNIK ODOLNOSTI VŮČI HOŘENÍ

Požární odolnost materiálů lze charakterizovat, jako čas mezi počátkem požáru a okamžikem, kdy už materiál nemůže plnit svou původní funkci, zhroucení nebo deformaci nad únosnou míru.

5.1 Hořlavost materiálů

Spalování polymerních materiálů stejně jako spalování jiných hořlavých materiálů je kombinací složených chemických a fyzikálních procesů, které představují počáteční přeměnu produktu. Tento soubor procesů přeměny je rozdělen na několik fází, které specifikují fyzikální a chemické procesy, ke kterým dochází: hoření plynů, hoření kondenzované substance a především polymerní substance. Hořlavost přírodních a syntetických polymerních materiálů je určena jejich schopností vznítit se a umožnit šíření procesu hoření [2].

Chemické reakce plamenového hoření probíhají v plynné fázi. Celý proces prochází několika mezistupni hoření (tab.3.).

Tab. 3. Proces mezistupně hoření

Mezistupeň	Charakteristika
I. Tvoření paliva	Teplo z vnějšího zdroje a termolytických i termooxidačních exotermických reakcí způsobuje trhání vazeb a následně degradaci substrátu a rozklad na nízkomolekulární složky
II. Vznícení	Směs hořlavých plynů a kyslíku po dosažení limitní koncentrace se působením reakčního tepla nebo účinkem intenzivního vnějšího zdroje zapálí a začne silně exotermický proces hoření.
III. Plamenové hoření	Proces probíhající v plynné fázi, spojený se zpětným tepelným tokem z plamene na degradující povrch.
IV. Bezplamenné	Proces hoření, který může probíhat u materiálů s vysokým podílem poměru velikosti povrchu k objemu, doprovázený degradací materiálu na karbonový zbytek.

Chování polymerů při hoření je definováno na několika základních procesech a parametrech, jako je spalovací rychlost (rychlost degradace materiálu a rychlost uvolněného tepla), rychlost šíření plamene (pyrolýza, vyhoření paliva, šíření dýmu), charakteristiky vzplanutí (doba zpoždění, teplota vzplanutí, kritický tok tepla potřebný pro vzplanutí), distribuce produktu (hlavně toxicita emisí vzorku) a produkce kouře [1].

5.2 Požární odolnost

Při požáru je kompozit chráněn tvorbou pěny, která se izoluje od kyslíku. Požární odolnost v železničním průmyslu určuje norma ČSN EN 45545-2 požární ochrana drážních vozidel. Norma specifikuje požadavky reakci na oheň náročných materiálů a výrobků používaných na železničních vozidlech. Je založena na stávajících požárně bezpečnostních předpisech pro kolejová vozidla v mezinárodní železniční unii a různých evropských zemích. Každý stát má vlastní zkušební metody, které jsou přizpůsobené místním podmínkám a zvyklostem. Jednotlivé zkušební metody nelze společně porovnat, zpomalily by proces přizpůsobování [19].

Pro každý výrobek je určená specifická sada požadavků dle normy-R:

- Interiér (panely, prostory pro zavazadla, okenní rámy, plochy můstků)
- Exteriér (sedadla, polstrování, kryty, vzduchové části)
- Nábytek (sedadla polstrování, područky, kryty, matrace, lůžkoviny)
- Elektronické vybavení (kabely, kryty, izolační materiál, rezistory)
- Mechanické vybavení (flexibilní ocelové/gumové části)

Testované materiály jsou zařazeny dle této normy (EN 45545) do kategorie R1, která je v platnosti pro celou evropskou unii od roku 2013 a sjednocuje nejdůležitější požadavky na nehořlavost, toxicitu a emise spalin i tepla [21].

Pro tuto kategorii materiálu jsou povinné tyto základní testovací zkoušky:

- ISO 5658-2 (šíření plamene/ flame spread)
- ISO 5659-2 (hustota kouře/ smoke density)
- ISO 5660-1 (kónický kalorimetr/ cone calorimeter)
- ISO 4589-2 (kyslíkové číslo/ oxygen number)

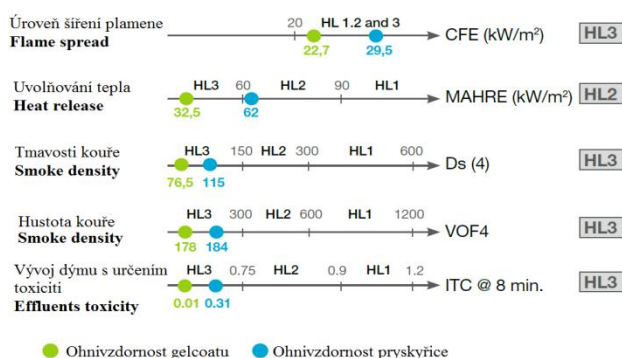
V tabulce jsou popsány zkoušky materiálů požadovaných pro úroveň HL3, podle normy CEN TS 45545-2 pro R1 – materiál.

Tab. 4. Sada požadavků pro materiál R1

Testovací metoda	Parametr	Jednotka	Definiční požadavek	HL1	HL2	HL3
ISO 5658-2	CFE	KW/m ²	Min.	20	20	20
ISO 5660-1	Marhe	KW/m ²	Max.	-	90	60
01. EN ISO 5659-2: 50 Kw/m ²	D _s (4)	Bezrozměrné	Max.	600	300	150
02. EN ISO 5659-2: 50 Kw/m ²	VOF4	min.	Max.	1200	600	300
03. EN ISO 5659-2: 50 Kw/m ²	CIT _G	Bezrozměrné	Max.	1,2	0,9	0,75

Hodnocení požární odolnosti určují úrovně (HL1,2,3). Úroveň byla měřena pomocí 5 testů (obr. 22). Na obrázku jsou zobrazeny ohnivzdorné pryskyřice s gelovým nátěrem HL3, což je nejvyšší úroveň v oblasti bezpečnosti, dále jsou zobrazeny požadavky na železnici v národních normách [20].

Podle ČSN EN /CEN TS 45545 - Železniční aplikace
Ohnivzdorná pryskyřice + gelcoat: úroveň HL3



Country	Standard	Fireblock performances
European Union	CEN TS 45545 LOI, ISO 4589 EN 13501	HL3 >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	Class1 conforms FSI = 10 conforms V-0

Obr. 23. Ohnivzdornost pryskyřice, jednotlivé úrovně [20]

Požadavky na výrobek jsou v rozmezí od R1-R26, podle parametrů testů, aby splnily klasifikační kritéria v závislosti na úrovni požárem ohroženého vozidla (HL1-HL3). Úrovně nebezpečí požáru v závislosti na provozní kategorii jsou zobrazeny v tab. 5.

Tab. 5. Úrovně nebezpečí požáru v závislosti na konstrukci vozidla

Provozní kategorie	Standartní vlak	Automaticky vedený vlak	Dvoupatrové vozidlo	Spací vozy
1) Otevřené tratě vč. tunelů	HL1	HL1	HL1	HL2
2) Provoz na úsecích s tunely max. 5km do 4min.	HL2	HL2	HL2	HL2
3) Provoz na úsecích s tunely max. 20km do 15min.	HL2	HL2	HL2	HL3
4) Vozidla pro provoz v podzemních úsecích	HL3	HL3	HL3	HL3

Sjednocování norem samozhášivosti napříč Evropou vedly k vytvoření normy EN 45545, která je aplikovaná ve všech kontraktech na výrobu nových kolejových vozidel.



Obr. 24. Zobrazení starých norem a sjednocená norma EN 45545

5.2.1 Zkouška šíření plamene podle ISO 5658-2

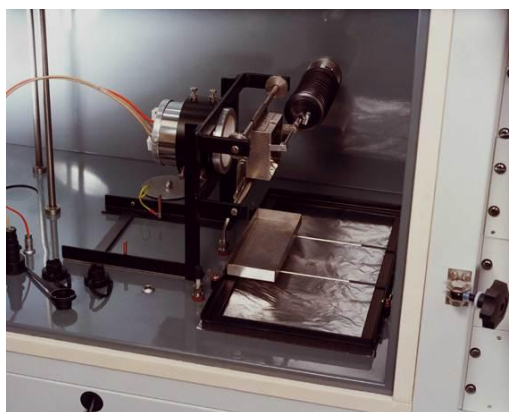
Jedná se o standardní testovací metodu pro povrchové vlastnosti hoření uvnitř materiálů. Tato zkušební metoda měří růst plamene na spodní části horizontálního zkušební vzorku. Výsledkem zkoušky šíření plamene je Index (FSI), bezrozměrné číslo, které je umístěno na relativním měřítku. Rozsah a intenzita hoření jsou zaznamenávány. Zkouška je velmi nákladná na provedení, protože vzorků je velký počet [21].



Obr. 25. Zařízení pro testování šíření plamene[21]

5.2.2 Hustota kouře podle normy ISO 5659-2

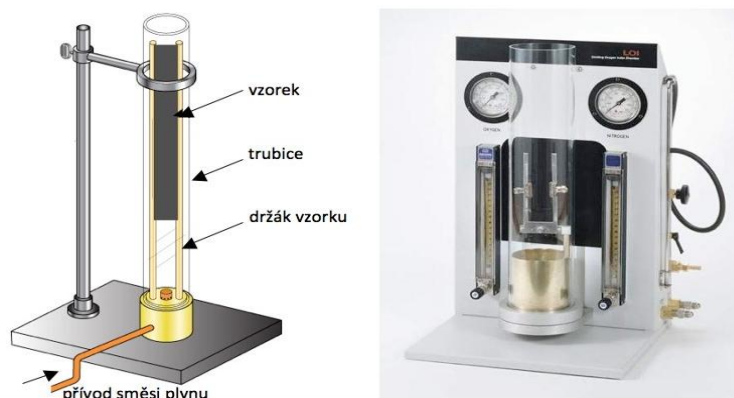
Stanovení optické hustoty kouře, vzniklého z horizontálních zkušebních vzorků, vystavených specifickému tepelnému záření v uzavřené jednoduché komoře. Tato zkouška je určena k měření hustoty kouře, který vzniká v závislosti na čase v plameni podle podmínek. Zkušební metoda měří schopnost určitého materiálu kouřit při požáru. Test je určen pro použití ve výzkumu a vývoji požární bezpečnosti budov, vlaků, lodí, aut.



Obr. 26. Zařízení pro měření hustoty kouře [22]

5.2.3 Kyslíkové číslo podle normy ISO 4589-2

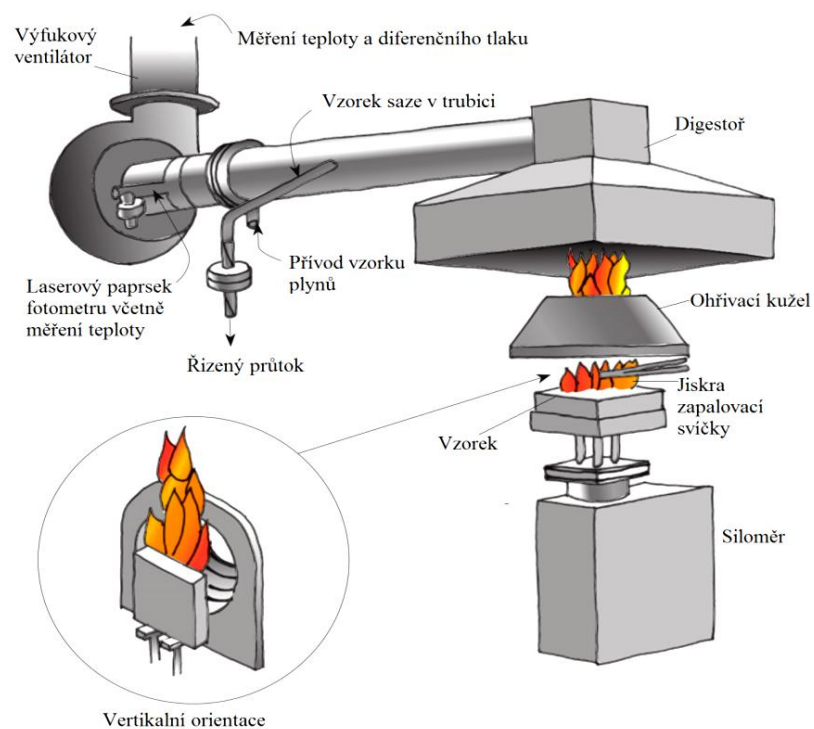
Kyslíkové číslo je minimální koncentrace kyslíku v proudu směsi s dusíkem (%), při které polymer ještě hoří za předepsaných podmínek zkoušky. Zkušební těleso je upevněno ve svislé poloze v trubici ze žáruvzdorného skla, kterou proudí směs kyslíku a dusíku přiváděná z tlakových láhví směrem nahoru. Horní konec vzorku se zapálí pomocí hořáku. Po zapálení se sleduje doba a délka ohořelé části vzorku. Zkušební vzorek se zkouší při různých koncentracích kyslíku do doby, než se stanoví minimální koncentrace kyslíku. Nejpresnější z laboratorních testů.[23]



Obr. 27. Zařízení pro stanovení kyslíkového čísla [23]

5.2.4 Kónický kalorimetr podle normy ISO 5660-1

Kónický kalorimetr je zkušební zařízení pro určení rychlosti uvolňování tepla z materiálů na základě spotřeby kyslíku a měření koncentrací oxidu uhličitého (CO_2) a uhelnatého (CO), stanovení tepelného toku a efektivní výhřevnosti. Výhody tohoto testu jsou v malých rozměrech vzorků (10x10cm), nízkých nákladech na přípravu, hmotnosti vzorku, teploty hoření a míra kouře. Experimentálním měřením se zaznamenává interval od začátku testu až po vznik plamenového a bezplamenového hoření na povrchu vzorku. Vzniklé plyny se shromažďují v digestoři a odvádějí přes ventilační systém. Uvolňování tepla se měří za použití údajů o naměřené koncentraci kyslíku a vznikajícího kouře [24].



Obr. 28. Schéma zařízení pro metodu kónického kalorimetru [24]

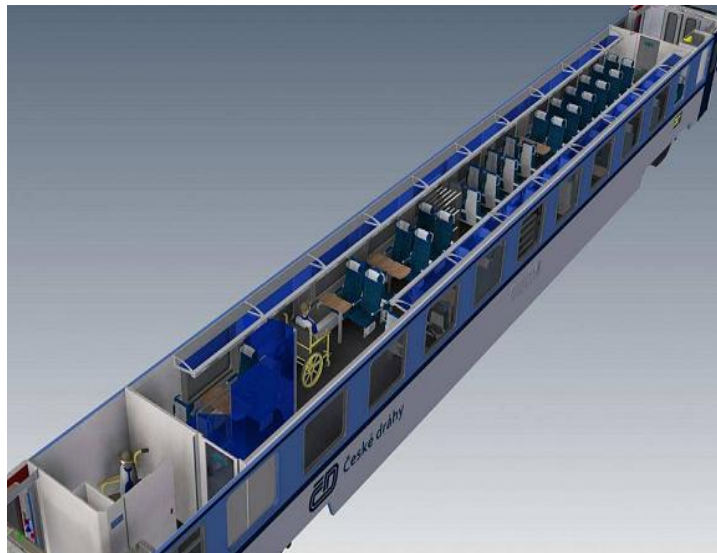
5.3 Materiálové požadavky pro železniční průmysl

V současné době se kompozitní materiály stávají stále důležitějším prvkem v konstrukci. V železničním průmyslu je použití kompozitu zatím malá, ale postupně se rozšiřuje v tomto odvětví. Největší překážkou pro velké rozšíření jsou počáteční vysoké náklady na návrhy, výpočty, suroviny a složitou výrobu kompozitních součástí. Na tyto materiály vhodné pro výrobu v železničním průmyslu jsou kladeny požadavky:

- **Hmotnost** - snižování hmotnosti vlaků, menší opotřebení kolejnic, snížení těžiště, zvýšení stability, nižší setrvačnost.
- **Mechanické vlastnosti** - trvanlivost kompozitních materiálů, dobré únavové vlastnosti, korozivzdornost, nárazové vlastnosti.
- **Bezpečnost** - kompozity musí být vyrobeny s protipožárních materiálů, tlumí hluk a vibrace.
- **Životnost** - požadavky na dlouhou životnost
- **Údržba** - požadavky na údržbu kompozitu jsou velmi malé.

- **Ekologie** - výroba a použití kompozitních materiálů mají minimální dopad na životní prostředí.
- **Tvarové vlastnosti** - výrobky mohou mít i složité tvary, aerodynamické tvary
- **Náklady** - co nejnižší náklady. Počáteční náklady jsou vyšší než u výroby z kovu, ale provozní náklady jsou levnější u kompozitu.
- **Vzhled materiálů** – tato vlastnost je důležitá při obkladových aplikacích určujících design produktu[25]

5.3.1 Použití kompozitu v železničním průmyslu



Obr. 29. Aplikace kompozitu firmou ČD [26]

- Dveře (hlavní i posuvné)
- Kapoty
- Interiéry (sedačky, kabina řidiče, odkládací stolky, obložení, úložné prostory)
- Podlahy
- Vnější stropní panely
- Pouzdra brzdových ústrojí
- Prahy, nárazníky [26].

II. PRAKTICKÁ ČÁST

6 CÍL PRÁCE

Cílem praktické části jsou stanovení optimálního složení kompozitních desek, vzhledem k výsledkům zkoušky dle normy ČSN 45545-2 a porovnání výsledků podle normy. Při výrobě sledujeme mechanické a protipožární vlastnosti desek (zkušební vzorky).

Experimentální část diplomové práce se bude vyrábět ve firmě FORM s.r.o., která se zabývá výrobou kompozitních materiálů, laminátových výrobků a termoplastů. Produkce firmy je zaměřena na komponenty pro železniční, tramvajový a automobilový průmysl, výrobou se zabývá přes 20 let. V práci budeme zkoumat vyrobené desky pro železniční průmysl. Díky této spolupráci se vyrobily vzorky pomocí technologie ruční laminace pod folií. Vzorky jsou vyrobeny běžným způsobem velkoplošného dílu technologií ručního kladení s následným zavakuováním, který je následně nařezán na velikost zkušebních tělísek pro jednotlivé zkoušky.

Na základě zadání práce byly stanoveny následující experimentální cíle této diplomové práce:

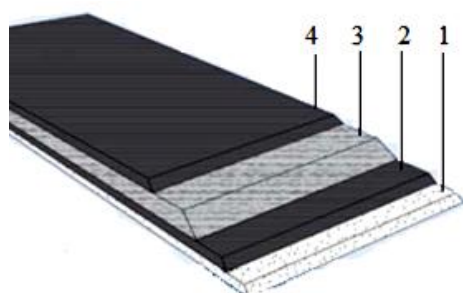
- Složení skladby navrhovaného materiálu
- Popis technologie výroby
- Výroba vzorků ruční laminace s následným zavakuováním
- Testování mechanických vlastností dle norem: Zkouška ohybových vlastností dle ČSN ISO 178, Zkouška ohybových vlastností po expozici vodou dle NF T 57-15, Zkouška tahových vlastností dle ČSN ISO 527-4
- Měření zkoušky kónického kalorimetru dle ISO 5660-1 a zkoušky šíření plamene dle ISO 5658-2 pro klasifikaci železniční normy ČSN EN 45554-2
- Vyhodnocení dosažených výsledků
- Závěr

6.1 Složení navrhovaného materiálu pro výrobu vzorků

V praktické části bylo navržena taková skladba materiálů, která by dosahovala co nejmenších protipožárních a mechanických vlastností. V průběhu výroby vzorků byla stanovena skladba, která má potřebný počet vrstev výztuže podle vyrábějící firmy.

Při výrobě kompozitních desek jsou použity následující druhy materiálů:

- Laminát plněný pěnou (sendvič)



1. Ochranná vrstva
2. Výztuž + pryskyřice
3. Jádru materiálu (pěna)
4. Další vrstva výztuže

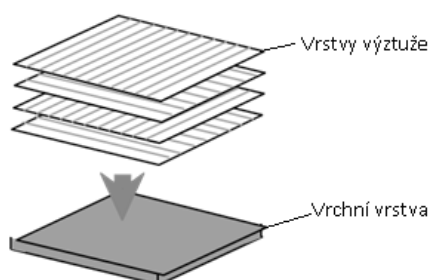
Obr. 30. Struktura vzorku sendviče

Pro sledování hořlavosti a mechanických vlastností byly navrženy tři druhy vzorků pro výrobu. Složení vzorku pro výrobu sendviče je zobrazeno v následující Tab.6. Pouze vzorky 2F, 4C byly vyrobeny a zkoumány dle norem. Vzorky byly vyrobeny pomocí ruční technologie kladením jednotlivých vrstev na připravenou formu s následným odsátím vzduchu, všechny vrstvy byly stlačeny pomocí vakuové folie.

Tab. 6. Složení jednotlivých vzorků sendviče pro výrobu

Označení	Gelcoat tip	Složení materiálů	Lak
2F	2	Sendvič + laminát (vlákna nahodile orientované)	ano
3C	3	Sendvič + laminát s orientací vláken	ne
4C	4	Sendvič + laminát s orientací vláken	ano

- Laminát bez výplně



Obr. 31. Složení vzorku laminátu

Pro výrobu vzorků byla použita jedna pryskyřice a několik druhů gelcoatu (vrchní vrstva). Složení navrhovaných vzorků pro výrobu laminátu je popsáno v Tab.7. Pouze vzorky 2E, 4B, byly vyrobeny a zkoumány dle norem. Všechny vzorky byly vyrobeny stejnou technologií jako sendviče.

Tab. 7. Složení jednotlivých vzorků laminátu pro výrobu

Označení vzorků:	Gelcoat typ:	Složení materiálů	Lak
1B	1	Laminát s orientací vláken	ne
2E	2	Laminát (vlákna nahodile orientované)	ano
3B	3	Laminát s orientací vláken	ne
4B	4	Laminát s orientací vláken	ano
1E	1	Laminát (vlákna nahodile orientované)	ne

6.1.1 Použitá pryskyřice

Při výrobě byla použita vinyl esterová pryskyřice na bázi bisfenol-A-epoxidu rozpuštěná ve styrenu, která je bezhalogenová. Díky své nízké viskozitě je vhodná pro použití pro RTM a vakuovou technologii, tedy pro uzavřené technologie které jsou šetrnější pro životní prostředí. Používá se pro výrobu tvarových dílů v železničním průmyslu, které jsou vysoké mechanické kvality a chemicky odolné. Pryskyřice má vynikající dlouhodobou odolnost vůči teplu a vysokou odolnost proti dynamickým zatížením.

Tab. 8. Specifika pryskyřice

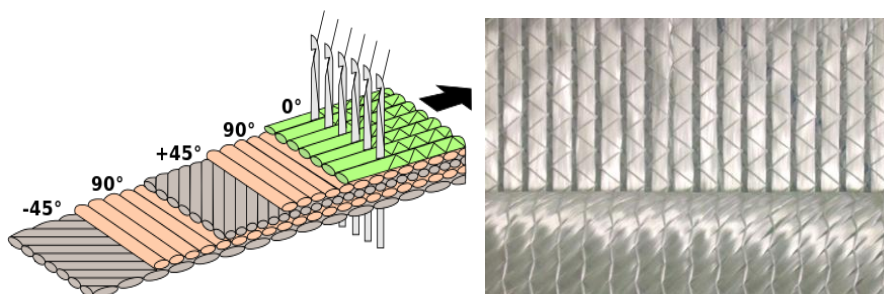
Vlastnosti	Testovací metoda	Hodnota	Jednotka
Hustota při 20°C	DIN 53 217/2	1,04	g/ml
Viskozita při 20°C	ISO 2555	300-400	mPas
Obsah monomeru		41-44	%
Bod vzplanutí	DIN 53 213	32	°C
Pevnost v tahu	ISO 527-2	95	MPa
Modul v tahu	ISO 527-2	3600	MPa
Prodloužení při přetržení	ISO 527-2	6,1	%

6.1.2 Gelcoat

Gelcoat je materiál, který je použit pro vysoce kvalitní povrchovou úpravu na viditelný povrch kompozitu vyztuženého vláknou. Jde o modifikovanou pryskyřici, která se aplikuje do formy v kapalném stavu. Gelcoat dodává povrchu tvrdost a lesk s dobrou tepelnou a chemickou odolností. Pryskyřice dodává gelcoatu dobrou mechanickou oporu.

6.1.3 Multiaxiální tkanina

Tkaniny jsou netkané textilie, jejíž vlákna jsou nekonečná, paralelně uspořádaná vedle sebe, jsou spojena stehem nebo zafixovaná v jejich poloze. Skládají se v jednotlivých vrstvách na sebe v orientaci -45° , 90° , $+45^\circ$.



Obr. 32. Skladba tkaniny

6.1.4 Pěna

Polymerní pěna má vysoký poměr pevnosti k hmotnosti, díky své buněčné struktuře. Pěna má velmi dobré mechanické vlastnosti a mimořádnou odolnost proti únavě, je chemicky

stabilní, odolná proti UV záření. Používá se pro konstrukční aplikace sendvičů vyžadující vysokou požární odolnost.



Obr. 33. Použití pěny v sendvičové výrobě

6.2 Pomocné technologické materiály

6.2.1 Rohož

Je plošný textilní polotovar používaný výhradně jako výztuž kompozitu. Rohože vyrobené z netkané textilie mají náhodně uspořádaná kontinuální nebo sekaná vlákna, uložena plošně vedle sebe.



Obr. 34. Rohož

Tab. 9. Složení jednotlivých rolí

Charakteristika role				
Hmotnost (g/m ²)	Šířka (cm)	Průměr (cm)	Délka (m)	Hmot- nost (kg)
300	130	40	220	86
450			150	88
600			110	86

Hlavní výhodou je velký výběr šířek a hmotností pro jednotlivé role. Nejpoužívanější jsou zobrazeny v Tab.9. V našem případě byla použita role o hmotnosti 300 g/m^2 .

6.2.2 Odrhová tkanina

Tkanina je vyrobena ze syntetických vláken, která se vloží jako první na výztuže výrobku. Při odformování se tkanina strhává z výrobku a vzniká drsný povrch, který se musí dalšími technologiemi upravovat – lepení, laminování, povrchové úpravy.



Obr. 35. Odrhová tkanina

6.2.3 Vakuová fólie

Je to pružná plastová fólie, která se používá k utěsnění formy. Fólie se připevní k formě pomocí oboustranné lepicí pásky. Vyrábí se z PA, PE, PTFE a umožňuje vytvořit vakuum v horní části formy. Rozměr se volí o 35% větší než výrobek.



Obr. 36. Vakuová fólie a ventilky

7 VÝROBA KOMPOZITNÍCH VZORKŮ

Hlavním cílem praktické části je otestovat a vyhodnotit kompozitní materiál pro výrobu vzorku z vrstvené a sendvičové struktury pro železniční průmysl. Vzorky byly vyrobeny technologií ruční laminace a následné vakuování pod pružnou folií.

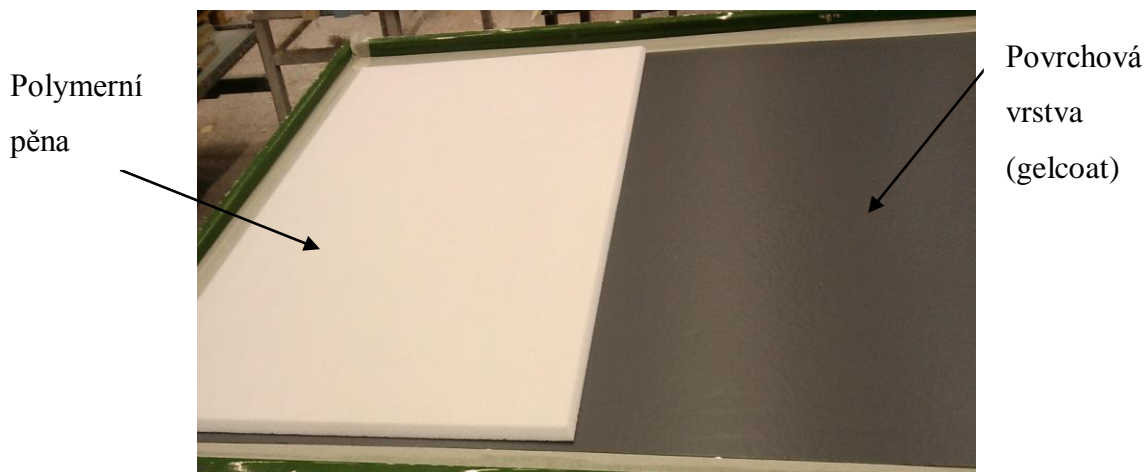
7.1 Výrobní postup

Nejdříve bylo potřeba přichystat formu, aby neměla žádné nečistoty z předešlé výroby desek. Po vyčištění povrchové vrstvy formy nalepíme papírovou pásku na okraje formy, podle požadovaných rozměrů a nanese ručně vrchní vrstvu pohledové desky.



Obr. 37. Příprava formy a nanesení povrchové vrstvy

Po nanesení povrchové vrstvy bylo potřeba nechat vrstvu vytvrdit v peci, abychom mohli položit další vrstvy. Díky velikosti formy jsme mohli vyrobit 2 desky současně. Výrobní desku tvoří z poloviny polymerní pěna.



Obr. 38. Položení pěny na výrobní formu

Další krok bylo připravení potřebného množství pryskyřice s urychlovačem tvrzení. Pryskyřice byla nanášena na připravenou formu ručně pomocí válečku, aby byla rovnoměrně rozmístěna po celé formě. Následně byla položena přes celou formu vrstva multiaxiální tkaniny a přidána další vrstva pryskyřice, která byla rovnoměrně rozprostřena po celé formě, aby bylo zajištěno dokonalé prosycení a stejná struktura bez vzduchových bublin.



Obr. 39. Nanesení tkaniny a pryskyřice

Poslední vrstvou byla vakuová fólie, která byla položena přes celou formu. Fólie musí být větší o 35% než navrhovaný výrobek. Na okrajích fólie se přilepí oboustranná lepicí páska k utěsnění formy s fólií a umístí se vakuové ventily k odsání veškerého vzduchu pomocí vývěvy. Celá struktura se stlačí pomocí vakua (Obr. 40), přičemž se všechny vrstvy spojily a tím se dosáhlo co nejlepšího vzhledu.

Jakmile je odsán všechen vzduch, laminát se nechá vytvrdit za pokojové teploty po dobu 1 dne.



Obr. 40. Výroba sendvičového a laminátového vzorku

Po vytvrzení a následném odformování laminátové desky, byl proveden nástřík laku na pohledovou stranu desky.



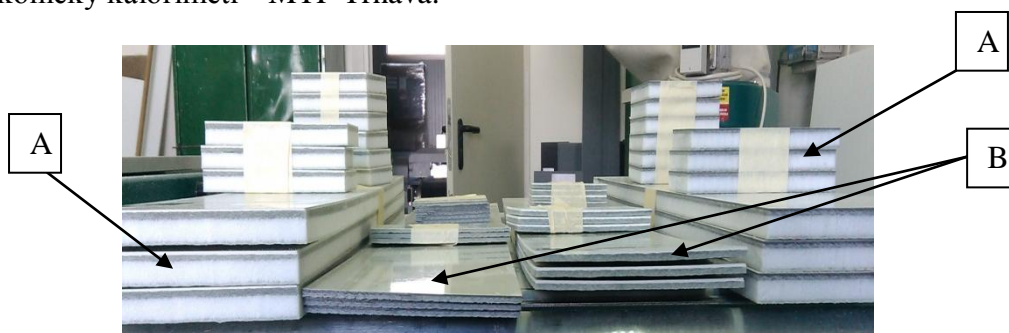
Obr. 41. Hotový výrobek po lakování

Tímto způsobem byly vyrobeny všechny laminátové desky (2E, 2F, 4B, 4C), které byly nařezány na vzorky podle zkušebních norem. Řezání vzorků bylo uskutečněno pomocí diamantového kotouče na stolní řezačce.



Obr. 42. Nařezané vzorky pro zkoušky: A) šíření plamene, B) kónický kalorimetr,

Vyrobené vzorky byly dále zkoumané na partnerských pracovištích – šíření plamene CSI Praha, kónický kalorimetr - MTF Trnava.



Obr. 43. Dva druhy vzorků: A) sendvič B) laminát

Mechanické zkoušky byly provedeny v laboratoři na FT UTB ve Zlíně: A) ohyb, B) tah



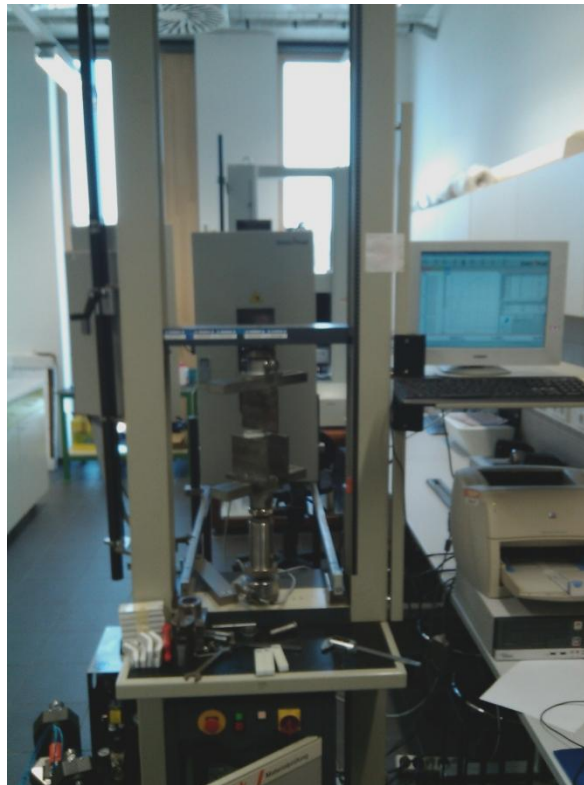
Obr. 44. Vzorky pro mechanické zkoušky: A) ohyb, B) tah

8 MECHANICKÉ ZKOUŠKY

Testování mechanických vlastností bylo provedeno v laboratoři fakulty technologické na Univerzitě Tomáše Bati ve Zlíně na zařízení Zwick 1456. Vzorky byly vybrány dle normy. Mechanickými zkouškami zkoumáme odpor proti deformaci.

8.1 Zkouška ohybových vlastností

Měření zkoušky ohybem bylo zhotoveno dle normy ČSN EN ISO 178 třibodový ohyb. Zkouška byla měřena na zkušebním zařízení Zwick 1465. Tato zkouška patří mezi statické. Princip zkoušky je umístění vzorku mezi podpěry, které jsou od sebe vzdáleny šesnásti násobek tloušťky zkušebního vzorku. Vzorek je mezi podpěrami namáhán trnem a zjištěné hodnoty se zaznamenávají do programu, který je nainstalován v počítači vedle zařízení.



Obr. 45. Měřící zařízení Zwick 1456

Podmínky v laboratoři při měření:

- Rozměry vzorků: 20x100 mm
- Vzdálenost podpěr: 70 mm
- Teplota okolí: 22°C
- Program na vyhodnocení dat: TestXpert

Technické parametry zařízení Zwick 1456:

Maximální síly snímače: 20 kN a 2,5 kN

Strojová výška: 1284 mm

Pracovní výška: 1160 mm

Pracovní šířka: 420 mm

Celková šířka: 630 mm

Celková výška: 2012 mm

Hmotnost: 150 kg

Maximální zkušební rychlost: 750 mm/min⁻¹

Vyhodnocovací software: standart - ohyb a tlak, master - tah

Při této zkoušce se vyhodnocují veličiny jako pevnost v ohybu (napětí), které je dáno vztahem:

$$\text{Pevnost v ohybu} \quad \sigma = \frac{M_o}{W_o} [\text{MPa}] \quad (1)$$

$$\text{Max. ohybový moment} \quad M_o = \frac{F \times L_p}{4} [\text{N} \cdot \text{mm}] \quad (2)$$

$$\text{Modul pružnosti v ohybu} \quad W_o = \frac{b_o \times a_o^2}{6} [\text{mm}^3] \quad (3)$$

$$\text{Průhyb} \quad y = \frac{F \cdot l^3}{48 \cdot E \cdot J} \quad (4)$$

kde: L_p - vzdálenost podpěr

E - modul pružnosti

J - moment setrvačnosti průřezu

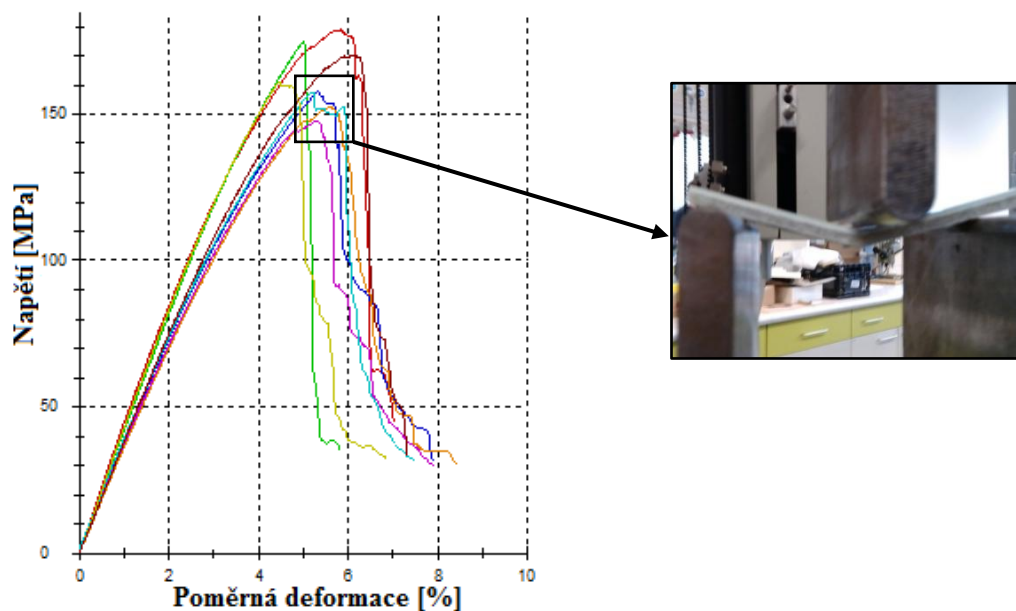
Vzorky pro zkoušku ohybem byly rozděleny na dvě poloviny, jedna polovina byla uvařena ve vodě podle normy. Z naměřených hodnot ohybové zkoušky byly použity pouze veličiny vyhodnocující: modul pružnosti v ohybu E [MPa], pevnost v ohybu σ_m [MPa], maximální prodloužení ε [%], maximální práce W [J], šířka vzorku a [mm] a výška vzorku b [mm].

8.1.1 Výsledné hodnoty ohybové zkoušky vzorku 2E

Tab. 10. Naměřené výsledky vzorku 2E

Počet vzorku	E [MPa]	ϵ [%]	σ_m [MPa]	W [J]	a [mm]	b [mm]
1	4180	5,8	179	4283,9	4,4	19,8
2	4010	5	175	3730,5	5	19,8
3	3590	5,3	158	3311,6	4,5	19,8
4	3440	5,6	153	3490,3	4,5	19,8
5	3610	5,3	148	3184,8	4,5	19,9
6	3650	5,2	158	3282,7	4,6	19,9
7	4090	4,5	161	2753,9	4,5	19,9
8	3570	6,1	170	4358,9	4,5	19,9
9	4430	5,4	195	4506,7	5	19,9
10	3440	5,4	178	3490,3	4,6	19,9
Průměr	3770	5,4	163	3549,6	4,563	19,85
S	281	0,5	10,9	550,89	0,1847	0,05345
V	7,45	9,6	6,72	15,52	4,05	0,27

Výsledky měření zkoušky ohybu pro vzorek 2E je zobrazeno v Tab. 10. Z naměřených dat jsme zjistili hodnoty pro E: $\bar{x} = 3770$, $s = 281$, $v = 7,45$.



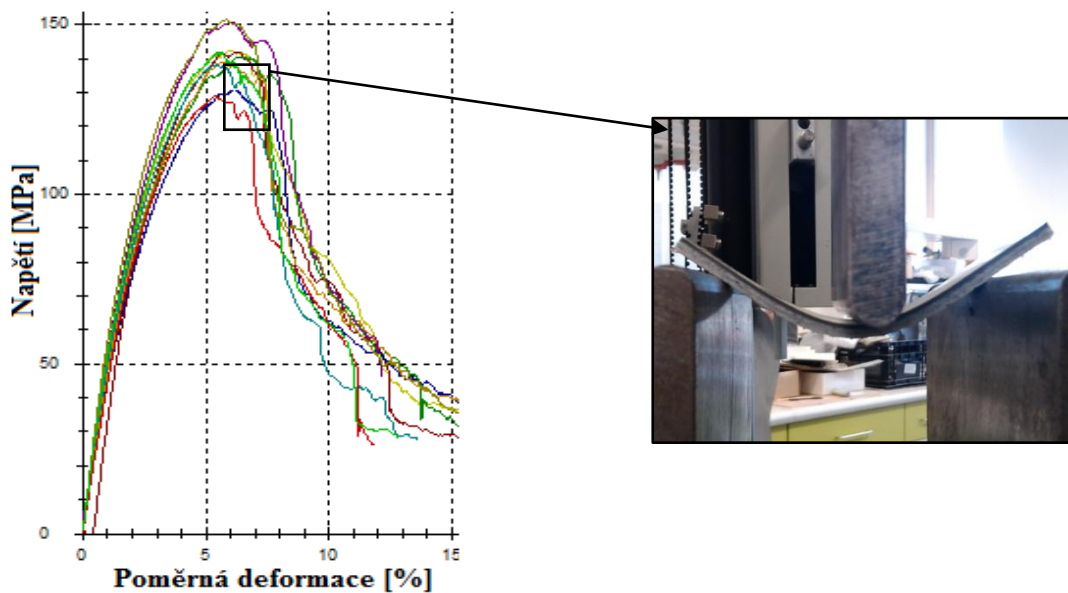
Obr. 46. Grafický průběh závislosti napětí (MPa) na deformaci v (%) vzorek 2E a zobrazení detailu zlomení laminátu.

8.1.2 Výsledné hodnoty ohybové zkoušky vzorku 4B

Tab. 11. Naměřené výsledky vzorku 4B

Počet vzorku	E [MPa]	ε [%]	σ_m [MPa]	W [J]	a [mm]	b [mm]
1	4320	4,6	172	3408,5	3,6	19,9
2	5590	6	142	3245,7	3,6	19,8
3	5170	6,5	141	3640,5	3,7	19,9
4	4620	6	131	2989,1	3,5	19,9
5	5000	5,8	139	2973,7	3,6	19,9
6	5760	6,1	151	3502,7	3,6	19,9
7	5380	5,5	138	2811,2	3,6	19,8
8	5890	5,8	152	3306,9	3,5	19,9
9	4330	5,4	129	2573,7	3,6	19,8
10	5550	5,7	142	3055,9	3,6	19,9
Průměr	4680	5,8	143	3163	3,72	19,89
s	481	0,5	11,6	315,4	0,45	0,302
v	11,45	9,1	8,12	9,9	12,3	0,15

Výsledky měření zkoušky ohybu pro vzorek 4B je zobrazeno v Tab. 11. Z naměřených dat jsme zjistili hodnoty pro E: $\bar{x} = 4680$, $s = 481$, $v = 11,45$.



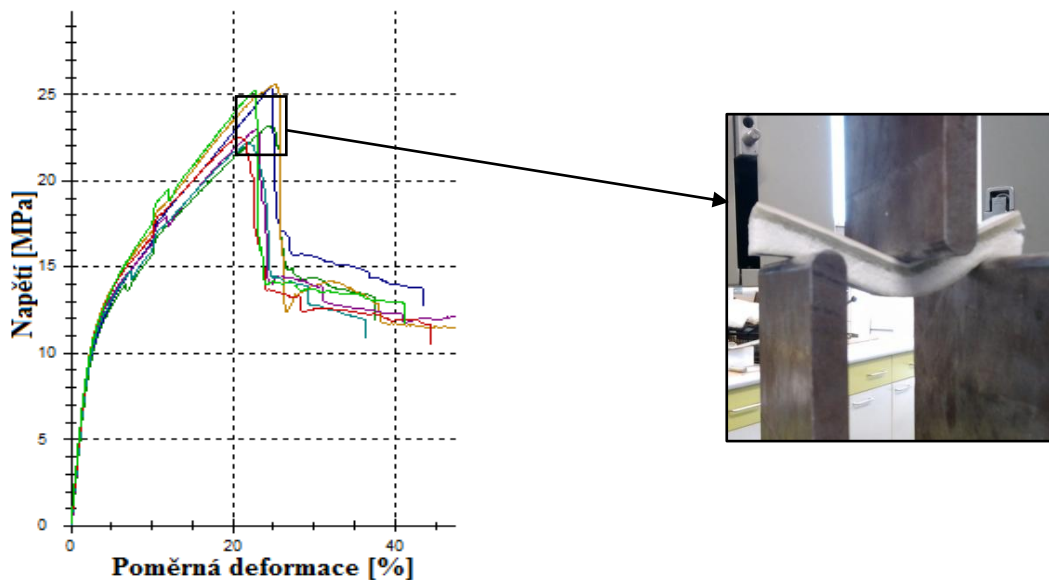
Obr. 47. Grafický průběh závislosti napětí (MPa) na deformaci v (%) vzorek 4B a zobrazení detailu zlomení laminátu.

8.1.3 Výsledné hodnoty ohybové zkoušky vzorku 2F

Tab. 12. Naměřené výsledky vzorku 2F

Počet Vzorku	E [MPa]	ϵ [%]	σ_m [MPa]	W [J]	a [mm]	b [mm]
1	386	24,8	23,8	8968,2	15,4	19,5
2	367	25,2	24,9	9657,3	15,4	19,5
3	324	24,6	23,1	9428,3	15,4	19,5
4	376	24,7	25,4	10098,9	15,3	19,7
5	452	25,2	25,6	10536,4	15	19,7
6	351	22,8	23	8710,1	15,2	19,7
7	404	21,9	22,2	8126,7	15,2	19,7
8	378	23	19,6	7689,5	15,2	19,8
9	428	20,5	22,5	7812,1	15,3	19,7
10	500	22,7	25,3	9384,7	15,3	19,7
Průměr	403	23,2	23,3	8973,4	15,24	19,68
S	58,3	1,6	2,1	106,3	0,118	0,07
V	14,47	6,8	8,7	11,8	0,78	0,36

Výsledky měření zkoušky ohybu pro vzorek 4F je zobrazeno v Tab. 12. Z naměřených dat jsme zjistili hodnoty pro E: $\bar{x} = 403$, $s = 58,3$, $v = 14,47$.



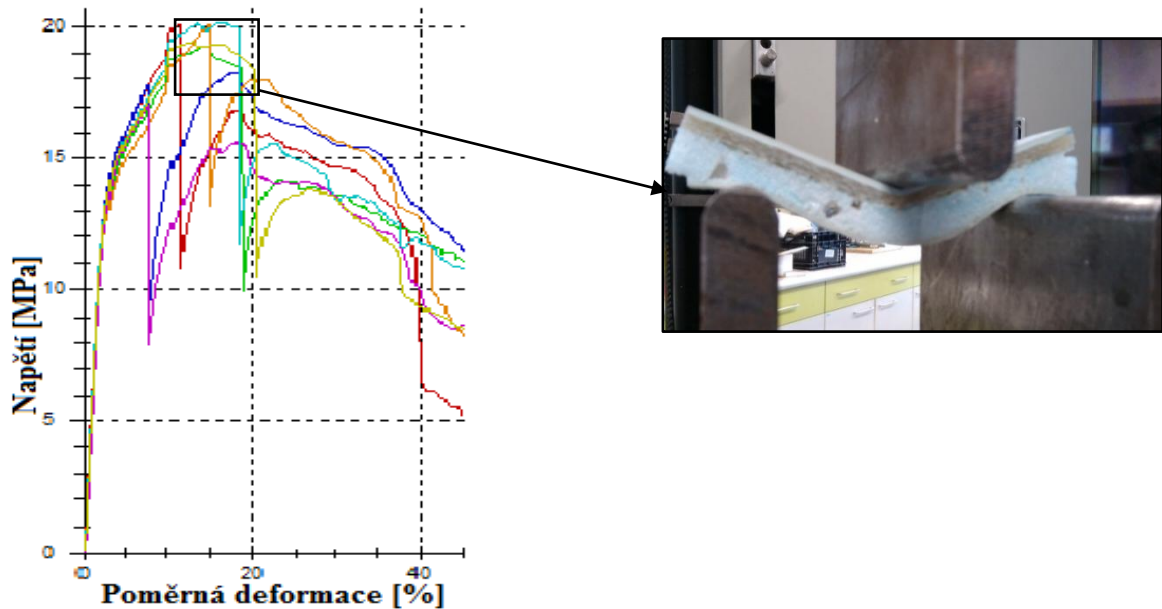
Obr. 48. Grafický průběh závislosti napětí (MPa) na deformaci v (%) vzorek 2F a zobrazení detailu zlomení sendviče.

8.1.4 Výsledné hodnoty ohybové zkoušky vzorku 4C

Tab. 13. Naměřené výsledky vzorku 4C

Počet Vzorku	E [MPa]	ε [%]	σ_m [MPa]	W [J]	a [mm]	b [mm]
1	581	16,2	17,1	4682,6	14,1	19,5
2	561	13,8	19,4	4986,2	14,1	19,5
3	585	11,4	20,1	3611,2	14,1	19,5
4	522	14,9	19,3	4868,3	14,1	19,5
5	548	18,2	18,2	5684,9	14,1	19,6
6	555	15	20,1	4943,8	14,2	19,6
7	350	7,7	17,1	2031,4	14	19,6
8	564	17,1	20,1	5957,4	14	19,5
9	529	13,1	19,5	4214,9	14,1	19,5
10	542	16,5	20,1	5809,1	14	19,6
Průměr	531	14,4	19,1	4644,9	14,08	19,54
S	71	1,2	3,3	1244,2	0,067	0,053
V	13,37	6,6	22,7	26,8	0,47	0,27

Výsledky měření zkoušky ohybu pro vzorek 4C je zobrazeno v Tab. 13. Z naměřených dat jsme zjistili hodnoty pro E: $\bar{x} = 531$, $s = 71$, $v = 13,37$.



Obr. 49. Grafický průběh závislosti napětí (MPa) na deformaci v (%) vzorek 4C a zobrazení detailu zlomení sendviče.

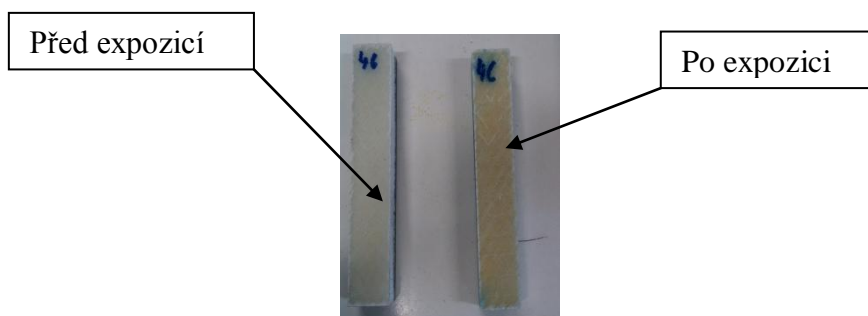
8.2 Zkouška ohybových vlastností po expozici ve vodě

Druhá polovina vzorku určená pro zkoušku ohybem, byla podle normy NF T 57-15 - Fibre reinforced thermosetting plastics uvařena. Zkouška probíhá v laboratoři, vzorky jsou ošetřeny vodou při teplotě 100°C a pravidelně kontrolovány po dobu 2 hodin. Po vychladnutí byly vzorky zkoušeny na zařízení pro zkoušku ohybem.



Obr. 50. Vaření vzorků při 100°C, v laboratoři FT

Porovnání vzorků před a po expozici vodou (obr.51.), na první pohled je patrný rozdíl v barvě vzorku.



Obr. 51. Vzorky před a po expozici

Měření se provádí na vzorcích, které byly podrobeny ošetření s teplou vodou. Tabulka 13. zobrazuje soubor hodnot, které budou získány v době schválení. Při provádění sérií zkoušek, hodnoty nesmí být menší než hodnoty získané v době schválení o více než 10%.

Tab. 14. Výsledné hodnoty, které budou získány v době schválení

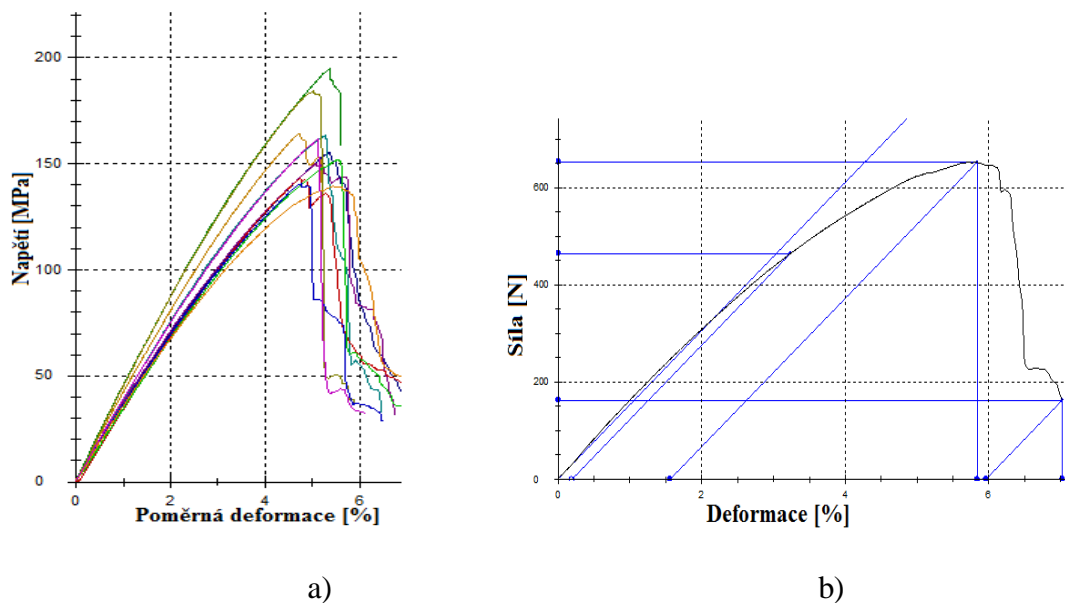
Část	Pevnost v ohybu částí		Změna pevnosti v ohybu po ošetření vodou
	Min. průměrná hodnota R_{pr}	Min. jednotlivá hodnota R_m	
Lití složených dílů (horká komprese)	110 MPa	80 MPa	$\frac{\Delta R}{R_m} \leq 12\%$
Ostatní díly (lisování za studena)	150 MPa	110 MPa	$\frac{\Delta R}{R_m} \leq 18\% \text{ v } R_{pr}$

8.2.1 Výsledné hodnoty ohybové zkoušky vzorku 2E po expozici vodou

Tab. 15. Naměřené výsledky vzorku 2E po expozici vodou

Počet vzorku	E [MPa]	ϵ [%]	σ_m [MPa]	W [J]	a [mm]	b [mm]
1	3450	5,4	155	3458,9	4,8	19,9
2	4040	4,7	164	3254,9	4,9	19,8
3	3730	5,1	150	3108,6	4,7	19,9
4	3560	5,3	163	3464,9	4,6	19,9
5	4470	5	184	3728,3	4,7	19,8
6	3280	4,8	143	2662,7	4,7	19,8
7	2990	5,5	152	3464,9	4,7	19,9
8	3560	4,8	141	2704,9	4,7	19,9
9	3460	5,4	139	3055,9	4,4	19,9
10	3770	5,1	162	3211,6	4,5	19,9
Průměr	3700	5,1	159	3329,3	4,7	19,88
s	456	0,3	17,6	507,6	0,167	0,040
v	12,3	5,6	11,1	15,3	3,56	0,2

Výsledky měření zkoušky ohybu pro vzorek 2E po expozici vodou je zobrazeno v Tab.15. Z naměřených dat jsme zjistily hodnoty pro E: $\bar{x} = 3700$, $s = 456$, $v = 12,3$.



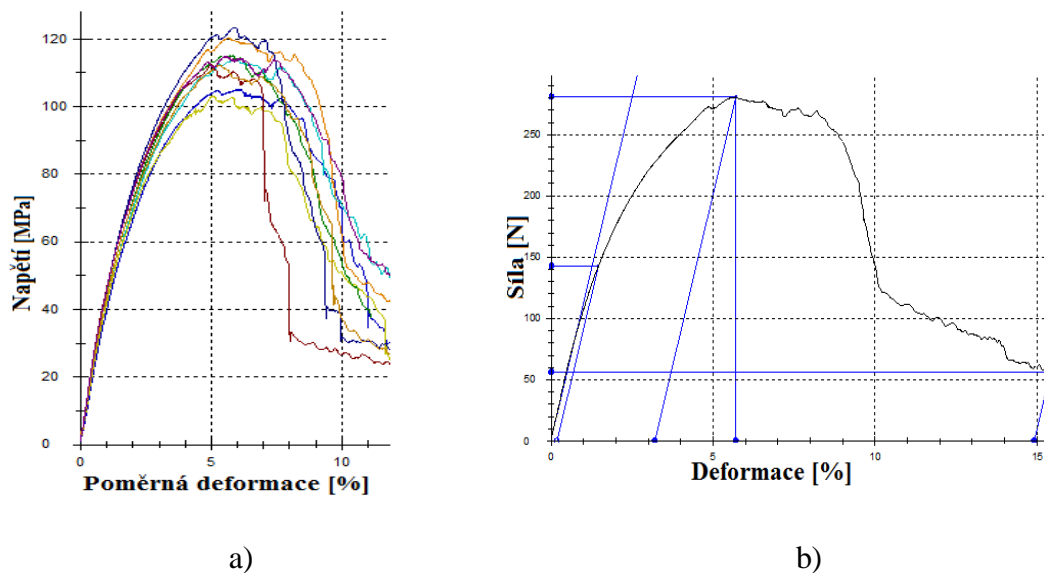
Obr. 52. Grafické průběhy závislosti: a) napětí (MPa) na deformaci v (%) vzorek 2E b) síla (N) na deformaci v (%) pro vzorek 2E č.1

8.2.2 Výsledné hodnoty ohybové zkoušky vzorku 4B po expozici vodou

Tab. 16. Naměřené výsledky vzorku 4B po expozici vodou

Počet vzorku	E [MPa]	ϵ [%]	σ_m [MPa]	W [J]	a [mm]	b [mm]
1	3900	6,1	105	2592,6	3,6	20
2	4780	5,7	120	2566,7	3,5	20
3	5340	6	148	3341,9	3,6	20
4	4480	6	114	2677,7	3,6	20
5	4400	5	103	1856,8	3,4	20
6	5030	5	112	2021,3	3,4	20
7	4930	5,8	115	2494,5	3,4	20
8	4730	5,9	123	2665,6	3,4	20
9	4880	5,3	112	2145,9	3,4	20
10	5190	5,5	115	2330,8	3,4	20
Průměr	4770	5,7	117	2469,4	3,47	20
s	418	0,4	12,4	417,5	0,095	0
v	8,8	7,3	10,6	16,9	2,73	0

Výsledky měření zkoušky ohybu pro vzorek 4B po expozici vodou je zobrazeno v Tab.16. Z naměřených dat jsme zjistily hodnoty pro E: $\bar{x} = 4770$, $s = 41,8$, $v = 8,8$.



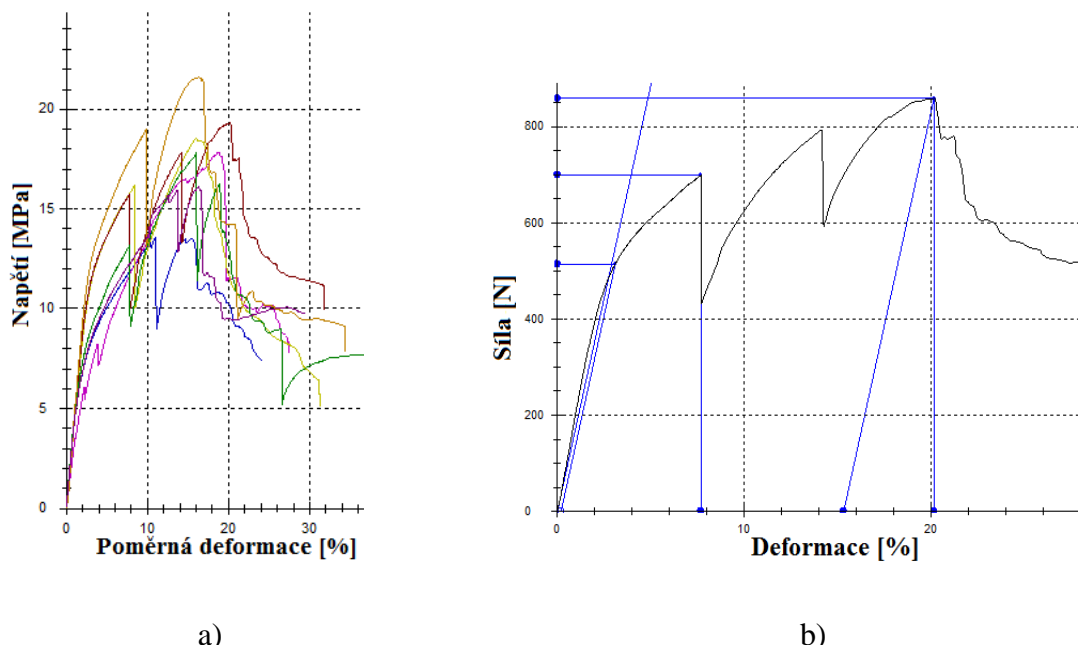
Obr. 53. Grafické průběhy závislosti: a) napětí (MPa) na deformaci v (%) vzorek 4B b) síla (N) na deformaci v (%) pro vzorek 4B č.1

8.2.3 Výsledné hodnoty ohybové zkoušky vzorku 2F po expozici vodou

Tab. 17. Naměřené výsledky vzorku 2F po expozici vodou

Počet vzorku	E [MPa]	ϵ [%]	σ_m [MPa]	W [J]	a [mm]	b [mm]
1	458	10,3	13,8	2371,2	16	19,7
2	407	18	16,5	5239,6	15,7	19,7
3	320	18,6	17,8	5348,2	15,6	19,7
4	496	16	18,4	5020,4	15,8	19,7
5	373	16	18,5	4971,0	15,4	19,7
6	399	20,2	19,3	6715,5	15,4	19,7
7	477	16	17,8	4623,2	15,8	19,7
8	390	16,8	18,2	4698,2	15,3	19,7
9	309	16,3	21,6	6022,3	15,5	19,7
10	451	16,3	16,1	4685,9	16,1	19,7
Průměr	410	16,4	17,8	4999,7	15,7	19,7
s	66,8	2,7	2,2	1189,5	0,25	0
v	16,3	16,6	12,21	23,8	1,59	0

Výsledky měření zkoušky ohybu pro vzorek 2F po expozici vodou je zobrazeno v Tab.17. Z naměřených dat jsme zjistily hodnoty pro E: $\bar{x} = 410$, $s = 66,8$, $v = 16,3$.



Obr. 54. Grafické průběhy závislosti: a) napětí (MPa) na deformaci v (%) vzorek 2F b) síla (N) na deformaci v (%) pro vzorek 2F č.1

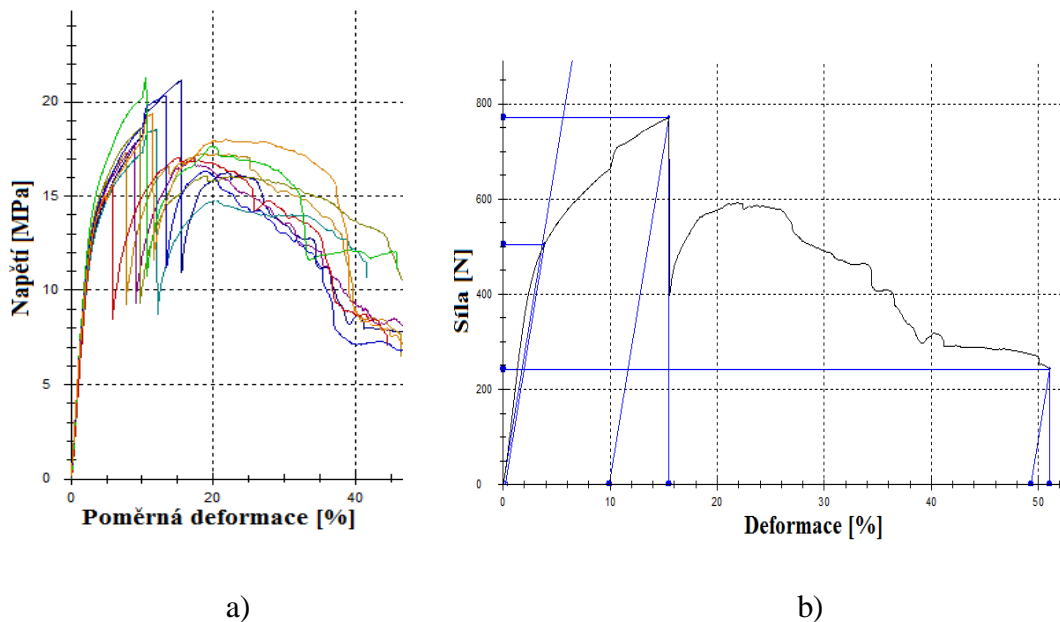
8.2.4 Výsledné hodnoty ohybové zkoušky vzorku 4C po expozici vodou

Tab. 18. Naměřené výsledky vzorku 4C po expozici vodou

Počet vzorku	E [MPa]	ϵ [%]	σ_m [MPa]	W [J]	a [mm]	b [mm]
1	330	16,6	22	5887,6	14	19,6
2	379	15,5	21,2	5175,2	14	19,5
3	493	7,6	17,3	2082,5	14,1	19,6
4	355	9	17,8	2523,6	14,1	19,6
5	384	12,1	18,6	3586,9	14,1	19,6
6	528	9,7	18,6	2903,7	14,1	19,5
7	312	15	17,1	4189,4	14,1	19,5
8	436	10,5	21,3	3420,7	14	19,5
9	547	13	20,3	4230,8	14,1	19,5
10	530	11,5	19,4	3479,7	14,1	19,5
Průměr	429	12,1	19,4	3748	14,07	19,54
s	39,3	3	1,8	1165,9	0,05	0,05
v	20,8	24,6	9,1	31,1	0,34	0,26



Výsledky měření zkoušky ohybu pro vzorek 4C po expozici vodou je zobrazeno v Tab.18.

Z naměřených dat jsme zjistili hodnoty pro E: $\bar{x} = 429$, $s = 39,3$, $v = 20,8$.



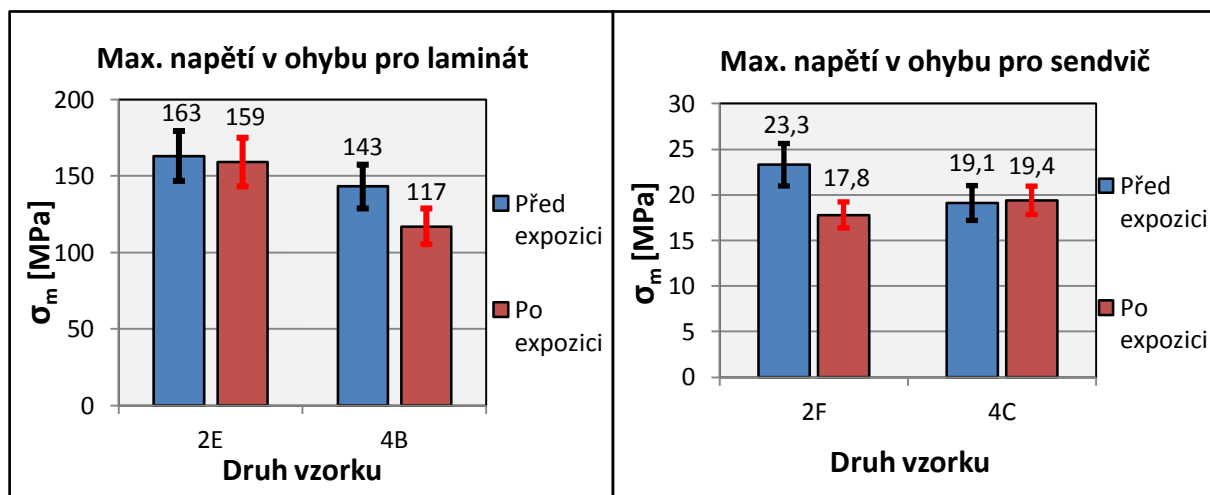
Obr. 55. Grafické průběhy závislosti: a) napětí (MPa) na deformaci v (%) vzorek 4C b) síla (N) na deformaci v (%) pro vzorek 4C č.1

Tab. 19. Vzorky po ohybové zkoušce

Vzorek po zkoušce ohybu	Typ konstrukce	Plošná hmotnost výztuže [g/m ²]	Počet a typ vrstev
	Sendvič	300	- 3 rohož - 1 Pěna - 2 rohož
	Laminát	300	- 6 rohož

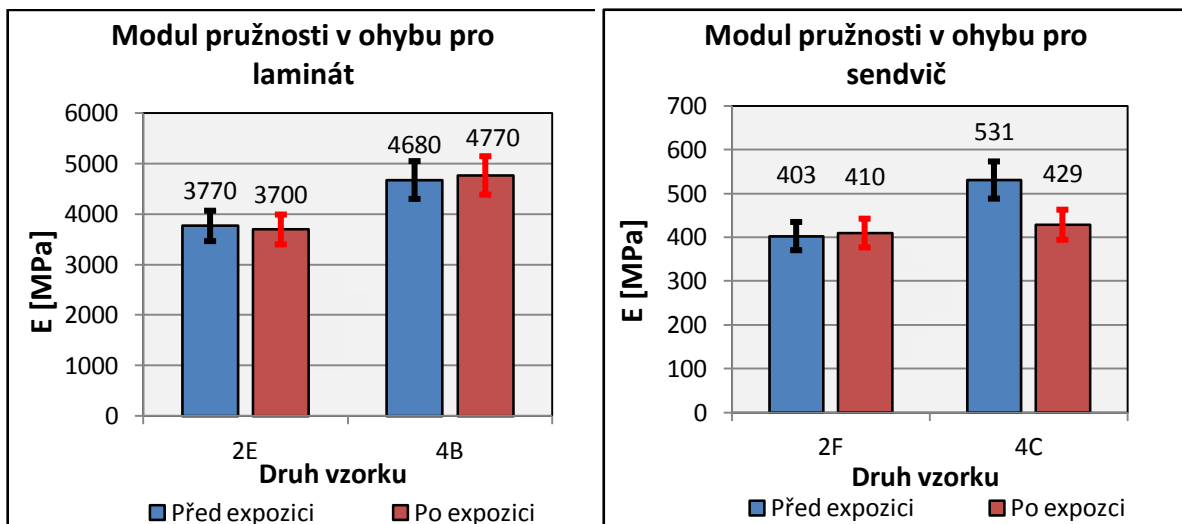
Vyhodnocení naměřených výsledků po zkoušce ohybu před a po expozici vodou

Průměrné hodnoty maximálního napětí v ohybu σ_m u jednotlivých vzorků laminátu a sendvičů, které porovnáváme před a po expozici horkou vodou jsou zobrazeny v grafu. Porovnáním vzorku tepelně zatížených a tepelně nezatížených bylo zjištěno, jak teplota jednotlivé vzorky ovlivňuje.



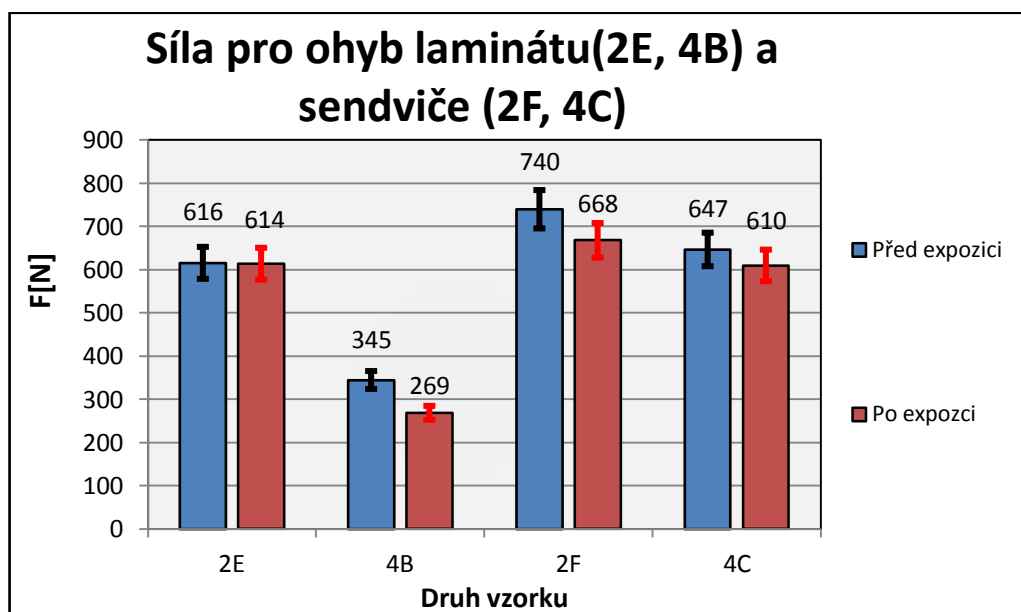
Obr. 56. Srovnání průměrných hodnot pevnosti v ohybu σ_m pro vzorky vyrobené z laminátu a sendviče, před a po expozici vodou

Z výsledných hodnot lze určit průměrné hodnoty maximálního napětí v ohybu σ_m pro vzorky před a po expozici. Největší max. napětí v ohybu bylo naměřeno u vzorku 2E pro laminát a 2F pro sendvič.



Obr. 57. Srovnání průměrných hodnot modulu pružnosti E pro vzorky vyrobené z laminátu a sendviče, před a po expozici vodou

Z výsledných hodnot lze určit maximální modul E pro vzorky před a po expozici. Největší max. modul v ohybu byl naměřen u vzorku 4B pro laminát a 4C pro sendvič



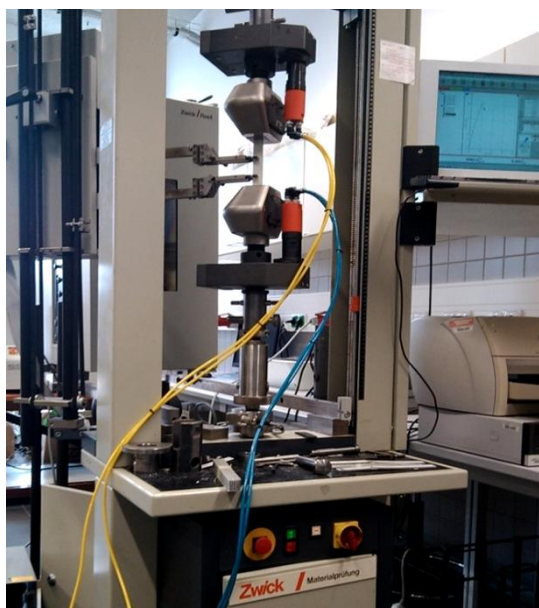
Obr. 58. Síla pro ohyb laminátu (2E, 4B) a sendviče (2F, 4C)

Největší síla potřebná pro ohyb byla naměřena u vzorku 2F sendvič a 2E laminát. Z grafu je viditelné, že nedošlo při aplikaci expozici vodou k nijak výrazným změnám síly, kromě vzorku 2F, kde pozorujeme úbytek síly.

8.3 Zkouška tahových vlastností

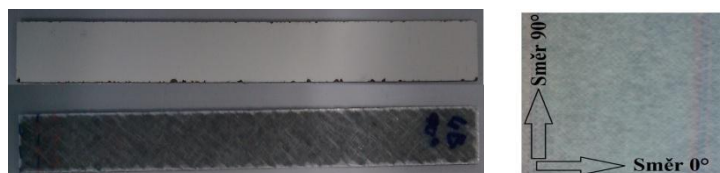
Zkouška spočívá v deformaci zkušební tyče tahovým zatížením obvykle do přetržení pro stanovení jedné nebo více mechanických vlastností zavedených podle normy ČSN EN ISO 527-4.

Při tahové zkoušce je vzorek podroben tahové deformaci, jejíž velikost s časem rovnoměrně roste. Testování tahových vlastností bylo provedeno v laboratoři fakulty technologické na Univerzitě Tomáše Bati ve Zlíně na zařízení Zwick 1456.



Obr. 59. Zařízení Zwick 1456 s pneumatickými čelistmi

Testovací vzorek se upne do pneumatických čelistí trhacího zařízení, aby pomalu působící síla byla v ose testovaného vzorku. Vzorek se začne zatěžovat tahovou silou F , která je zaznamenává do programu TestXpert, který je uložen v počítači vedle testovacího stroje.



Obr. 60. Vzorky pro zkoušku tahem a směr orientace vláken

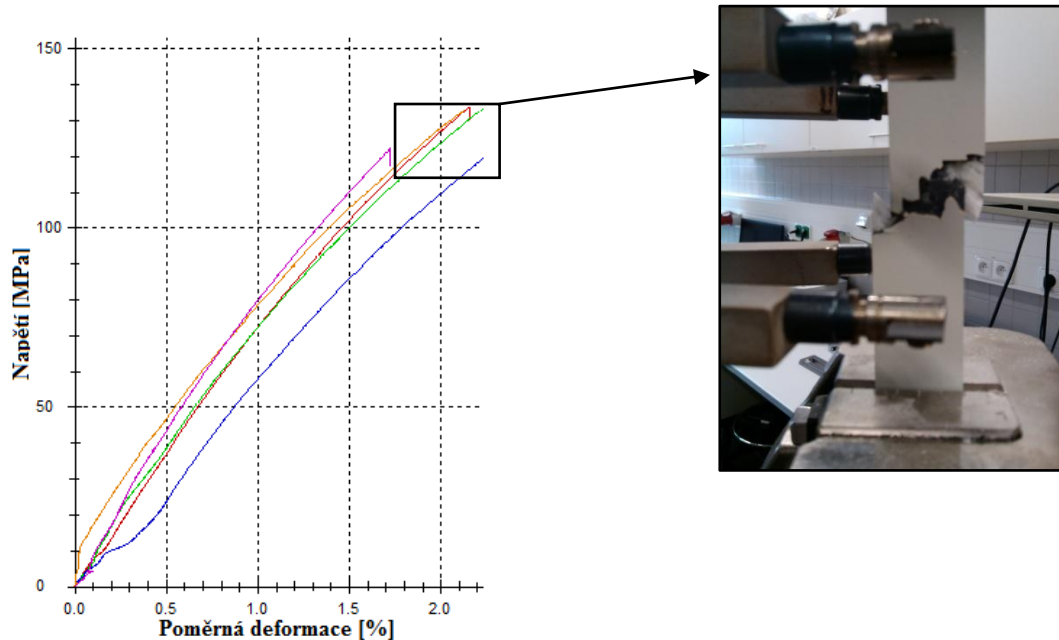
Podle normy byly vyrobené desky nařezány na rozměr 200x20 mm. Počet vzorku bylo 5 a zkoumaly se pouze laminátové desky. Zkouška byla prováděna při laboratorní teplotě 22°C.

8.3.1 Výsledné hodnoty tahové zkoušky vzorku 2E při 90°orientaci vláken

Tab. 20. Naměřené výsledky vzorku 2E

Počet vzorku	E [MPa]	ε [%]	σ_{mf} [MPa]	W [J]	a [mm]	b [mm]
1	7360	2,2	134	5117,3	4	20,2
2	7730	2,3	136	5705,4	4	20,2
3	4600	2,3	123	4785,5	4	20
4	7800	2,1	133	5424,6	4	20,2
5	8850	1,7	122	3701,9	4	20
Průměr	7270	2,1	130	4946,9	4	20,12
s	850	0,2	6,3	775,9	0	0,109
v	21,8	11,3	4,85	15,7	0	0,54

Výsledky měření zkoušky tahem pro vzorek 2E při 90°orientaci vláken je zobrazeno v Tab.20. Z naměřených dat jsme zjistili hodnoty pro E: $\bar{x} = 7270$, $s = 850$, $v = 21,8$.



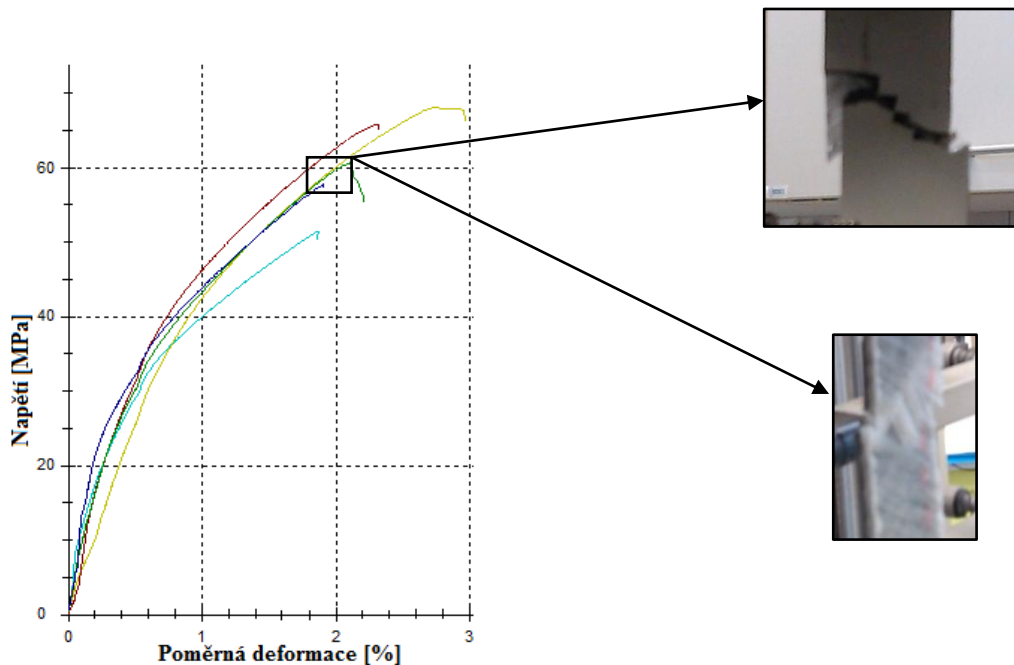
Obr. 61. Grafický průběh závislosti napětí (MPa) na deformaci v (%) vzorek 2E při 90°orientaci vláken a zobrazení detailu zlomení laminátu při tahové zkoušce.

8.3.2 Výsledné hodnoty tahové zkoušky vzorku 4B při 0° orientaci vláken

Tab. 21. Naměřené výsledky vzorku 4B při 0°

Počet vzorku	E [MPa]	ε [%]	σ_{mf} [MPa]	W [J]	a [mm]	b [mm]
1	5500	1,9	51,5	2154,8	4	20,3
2	4960	2,7	68,1	3995,3	4	20,4
3	6310	2,3	65,8	3313,6	4	20,3
4	5770	2,1	60,7	2774,4	4	20,3
5	6230	1,9	57,7	2465,2	4	20,2
Průměr	5750	2,2	60,8	2940,7	4	20,14
s	557	0,4	6,6	728,4	0	0,09
v	9,7	16,3	10,9	24,8	0	0,44

Výsledky měření zkoušky tahem pro vzorek 4B při 0° orientaci vláken je zobrazeno v Tab. 21. Z naměřených dat jsme zjistily hodnoty pro E: $\bar{x} = 5752$, $s = 557$, $v = 9,7$.



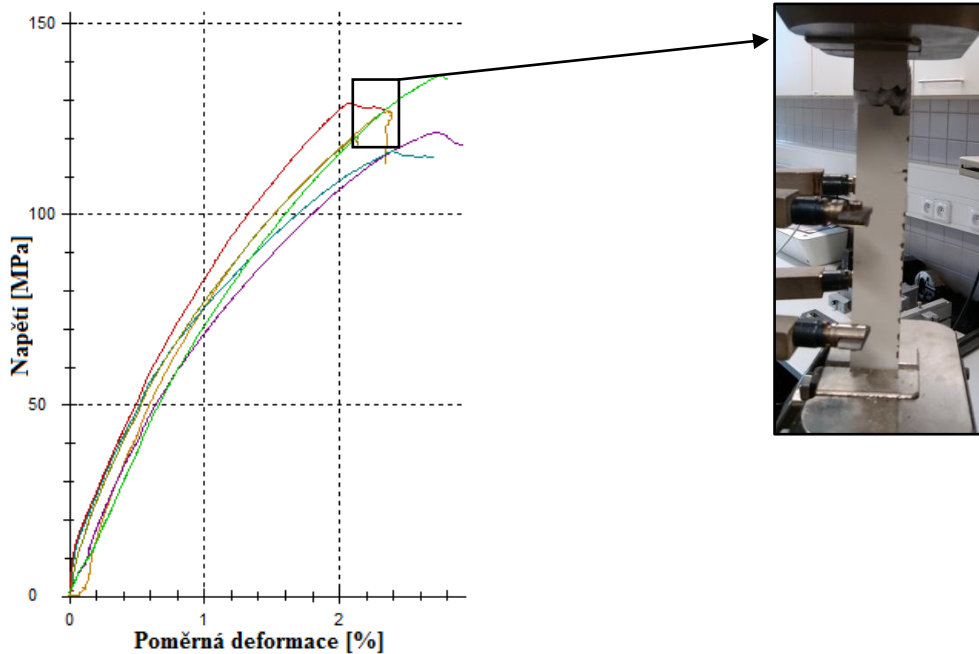
Obr. 62. Grafický průběh závislosti napětí (MPa) na deformaci v (%) vzorku 4B při 0° a zobrazení detailu zlomení přední a zadní strany laminátu při tahové zkoušce.

8.3.3 Výsledné hodnoty tahové zkoušky vzorku 4B při 90°orientaci vláken

Tab. 22. Naměřené výsledky vzorku 4B při 90°

Počet vzorku	E [MPa]	ε [%]	σ_{mf} [MPa]	W [J]	a [mm]	b [mm]
1	8860	2,4	127	5970,1	4	20,3
2	7870	2,7	121	6863,9	4	20,4
3	8530	2,4	117	6005	4	20,3
4	9140	2,1	121	5187,9	4	20,3
5	8540	2,7	129	5437,1	4	20
Průměr	8380	2,4	125	6122,2	4	20,3
s	664	0,3	7,15	805,6	0	0,14
v	7,9	11,7	5,71	13,2	0	0,67

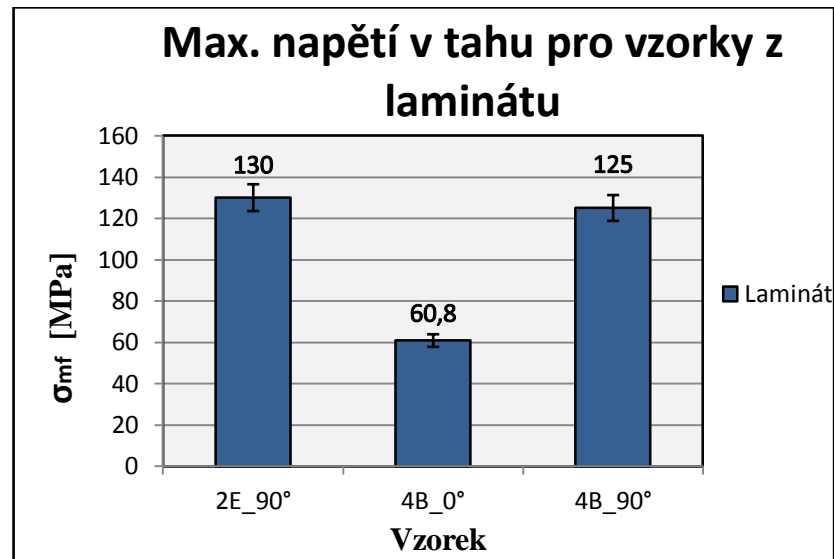
Výsledky měření zkoušky tahem pro vzorek 4B při 90°orientaci vláken je zobrazeno v Tab. 22. Z naměřených dat jsme zjistili hodnoty pro E: $\bar{x} = 8380$, $s = 664$, $v = 7,9$.



Obr. 63. Grafický průběh závislosti napětí (MPa) na deformaci v (%) vzorku 4B při 90° a zobrazení detailu zlomení laminátu při tahové zkoušce.

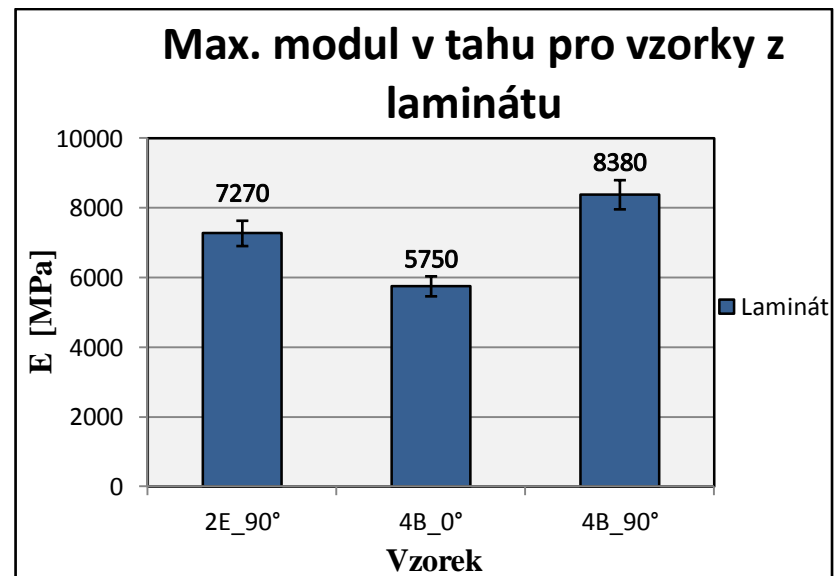
Vyhodnocení naměřených výsledků po zkoušce tahem.

Pro vyhodnocení zkoušky tahem, byly vybrány pouze vzorky vyrobené z laminátu.



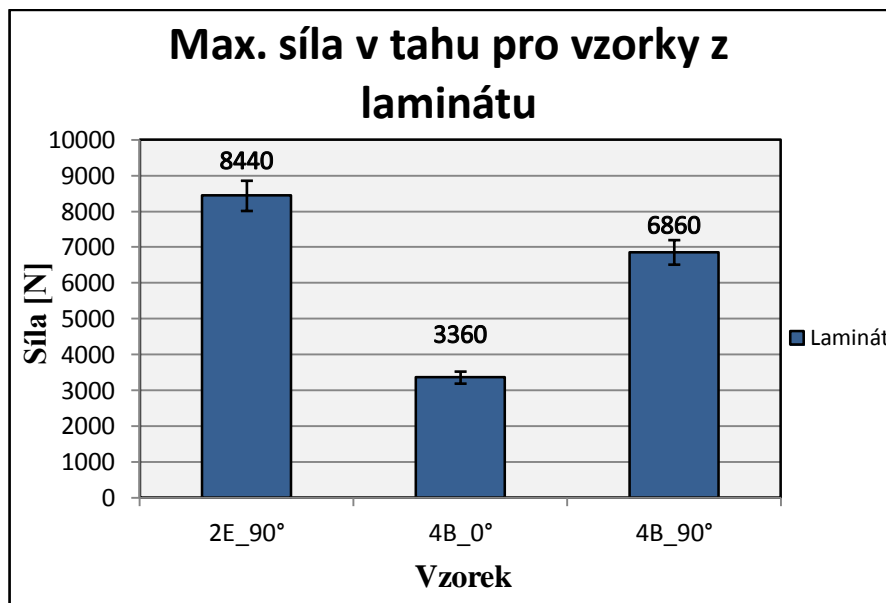
Obr. 64. Max. napětí v tahu pro vzorky z laminátu

Z naměřených dat lze určit, že maximální napětí $\sigma_{mf} = 130$ [MPa] v tahu dosahuje vzorek 2E při 90° orientaci vláken.



Obr. 65. Max. modul v tahu pro vzorky z laminátu

Z naměřených dat lze určit, že nejvyššího modulu $E = 8380$ [MPa] v tahu dosahuje vzorek 4B při 90° orientaci vláken.

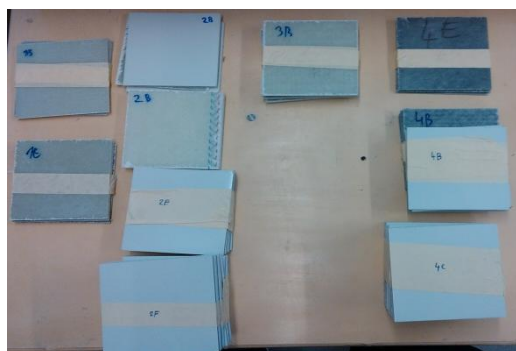


Obr. 66. Max. síla v tahu pro vzorky z laminátu

Maximální potřebná síla v tahu $F=8440$ [N] pro roztržení byla naměřena u vzorku 2E při 90° orientaci vláken.

8.4 Zkouška dle kónického kalorimetru

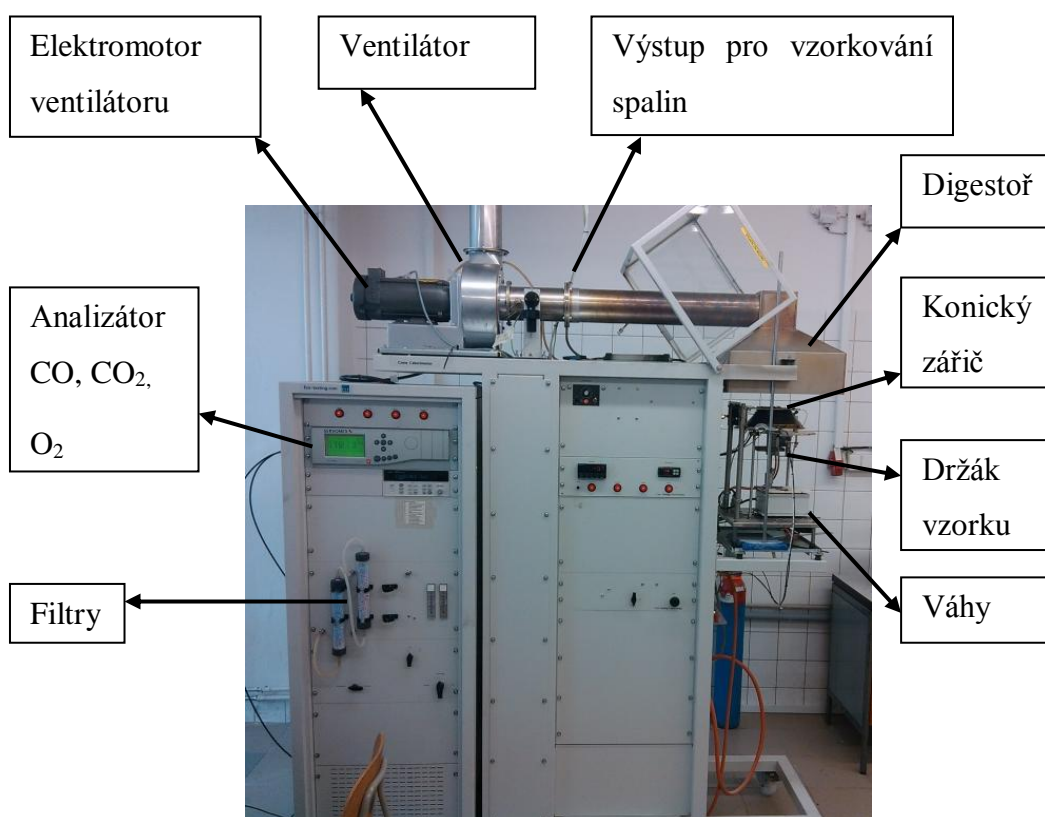
Vyrobené vzorky byly zkoušeny pomocí kónického kalorimetru ve spolupráci s firmou Forms s.r. o. na STU MTF v Trnavě, Slovenská republika. Touto metodou byla zjišťována spotřeba kyslíku a úbytek hmotnosti. Z uvedených parametrů se zjišťovala rychlost uvolňování tepla a výhřevnost. Samotné zkoušce předcházela příprava vzorků. Vzorky byly nařezány na přesné rozměry (100x100mm) a upraveny pomocí kondičiace ve speciálních klimatických komorách na konkrétní teplotu (21°C) a vlhkost (30%) v souladu s normou ISO 554. Celá příprava proběhla podle normy ISO 5660-1.



Obr. 67. Vzorky pro zkoušku kónického kalorimetru

Postup měření malorozměrové laboratorní zkoušky je popsán v následujících bodech:

- **Kalibrace analyzátoru kyslíku** - před zahájením zkoušky byla nutná kalibrace při běžné koncentraci kyslíku v okolí vzduchu, tzn. 21%.
- **Úprava objemového průtoku ventilátoru** – regulátorem byl nastaven průtok dostatečný pro odvod zplodin hoření
- **Nastavení požadovaného výkonu zařízení** – měření probíhalo při výkonu 50 kWm^{-2} a teplotě 700°C
- **Tárování vah** – na váhy v kalorimetru byl umístěn držák bez vzorku a po ustálení se váhy vynulovaly



Obr. 68. Kónický kalorimetr

- **Zvážení vzorků** – zjištění hmotnosti jednotlivých vzorků na samostatných digitálních vahách
- **Příprava vzorku na zkoušku** – zabalení vzorku do hliníkové folie z pěti stran a její uložení do speciálního držáku, následné umístění do kónického kalorimetru na podstavec, který je součástí vah určených na měření úbytku hmotnosti během zkoušky.



Obr. 69. Příprava vzorků do speciálního držáku

- Vzorek je vložen do zařízení, které se musí očistit po předchozím zkoušení obr. 70. aby zkouška mohla proběhnout podle normy.



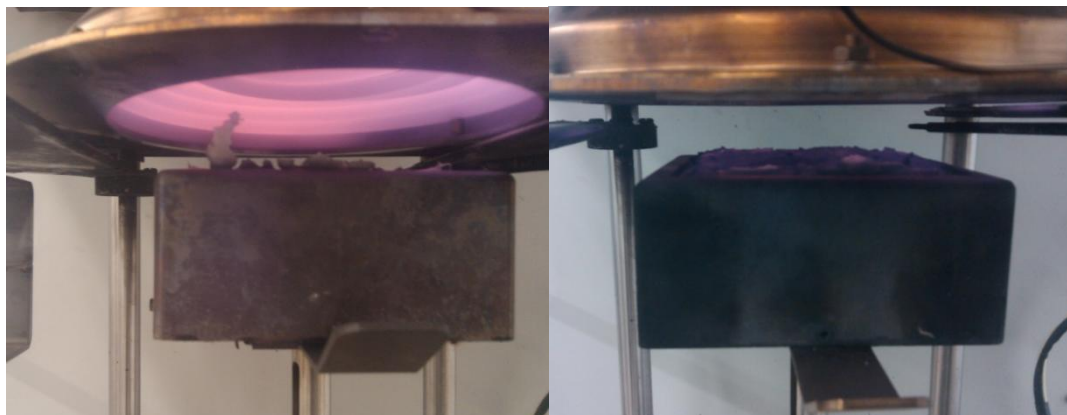
Obr. 70. Příprava zkušebního zařízení

- **Zapálení vzorku** – jakmile je vzorek nachystán v držáku můžeme zahájit proces hoření, nejprve dojde k otevření izolační clony a přiložení jiskrového iniciátoru, od kterého se vzorek zapálí.



Obr. 71. Jiskrový iniciátor (vlevo) a zapálení vzorku (vpravo)

- Působení kónického zářiče na vzorek po dobu minimálně 30 minut. Na obr.72. je zobrazen detail kónického zářiče při průběhu zkoušky.



Obr. 72. Průběh působení kónického zářiče při zkoušce

- Po ukončení každého experimentu nastane volné dohoření vzorku na pokojovou teplotu.



Obr. 73. Vzorek po dohoření plamene

8.4.1 Výsledky zkoušky

Během testování vzorků v kalorimetru byly zaznamenávány a vyhodnocovány následující údaje:

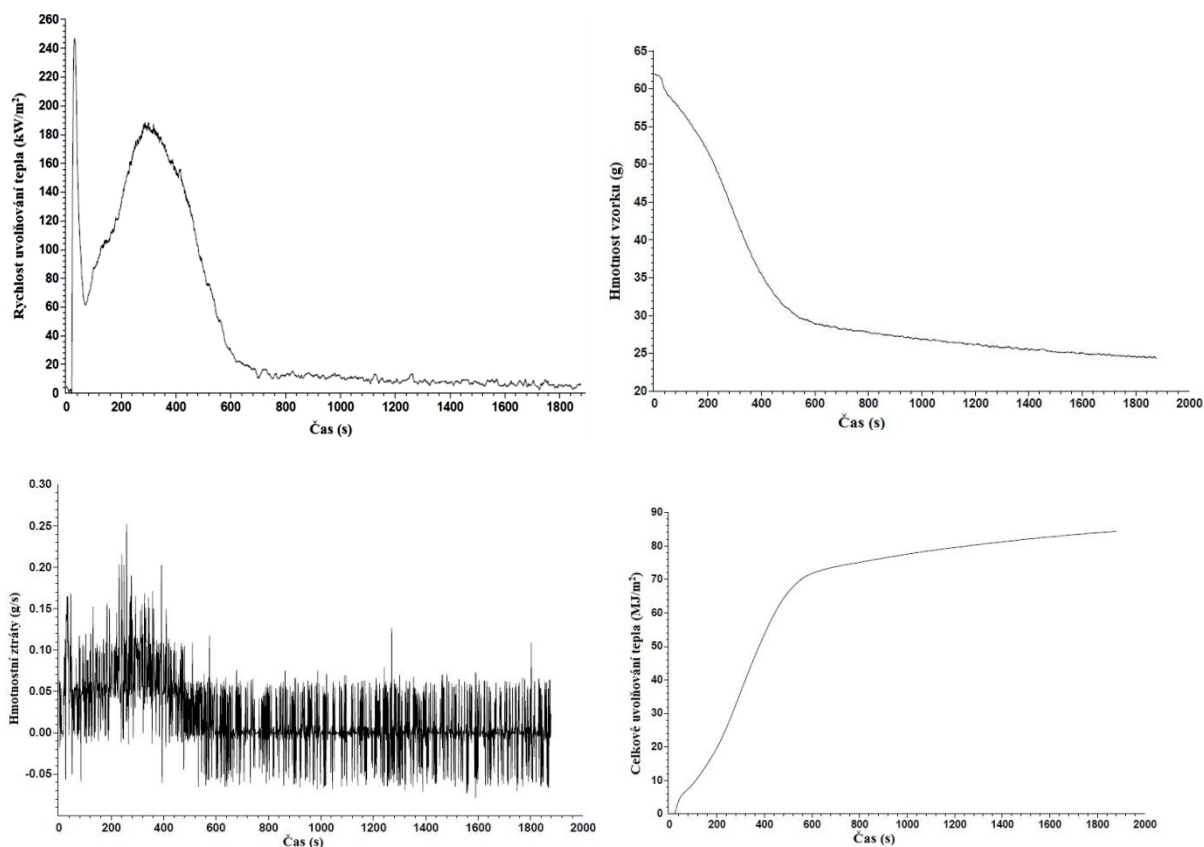
- výhřevnost materiálu
- průměrné uvolnění tepla po dobu prvních 3 minut
- celkové uvolněné teplo přepočítané na 1 m^2
- průměrný úbytek hmotnosti z 1 m^2 mezi 10% a 90% úbytkem hmotnosti
- celkový úbytek hmotnosti z 1 m^2

V následujících tabulkách a grafech jsou uvedeny hlavní výsledky malorozměrových testů na kónickém kalorimetru.

Tab. 23. Naměřené hodnoty u jednotlivých vzorků pro laminát (mezi 27 a 818 s).

Vzorek	Uvolňování Tepla (KW/m ²)	Celková produkce kouře (m ²)	Celkový únik tepla (MJ/m ²)	Hmotnostní ztráta (g)	Rychlost uvolňování tepla (KW/m ²)
1B	128,8	9,2	31,3	15,2	50,3
2E	135,1	27,8	83,9	37,2	46,6
3B	111,2	9,3	34	19,5	40,7
4B	84,1	4,5	27,5	11,4	53,8
5B	158,4	12,1	53,9	25,2	29,9

Následující grafy (obr.74.) zobrazují: rychlost uvolňování tepla v závislosti na čase, úbytek hmotnosti vzorku v závislosti na čase, hmotnostní ztráty v závislosti na čase a celkové uvolňování tepla v závislosti na čase pro vzorek 2E vyrobený z laminátu.

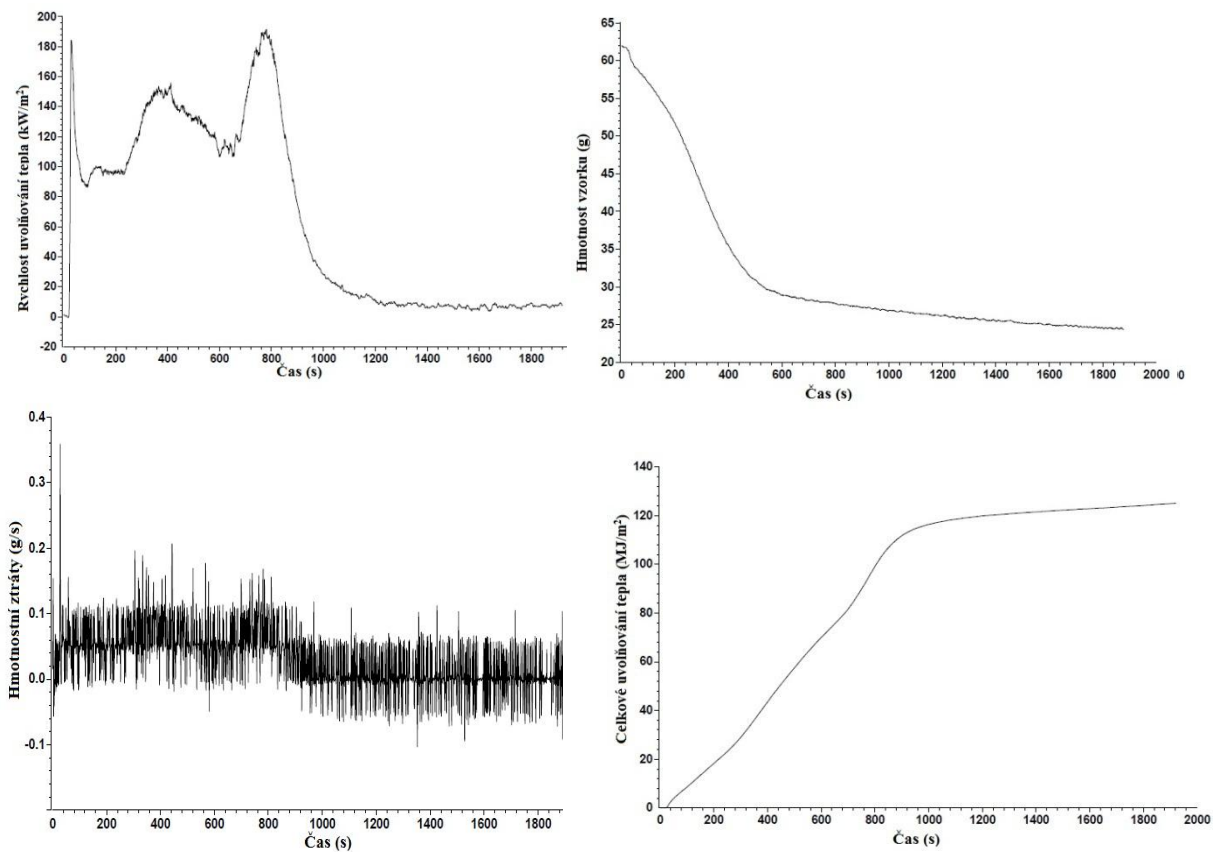


Obr. 74. Výsledky zkoušky vztahující se k chování zkušebních vzorků 2E za konkrétních podmínek zkoušky

Tab. 24. Naměřené hodnoty u jednotlivých vzorků pro sendvič (mezi 27 a 818 s).

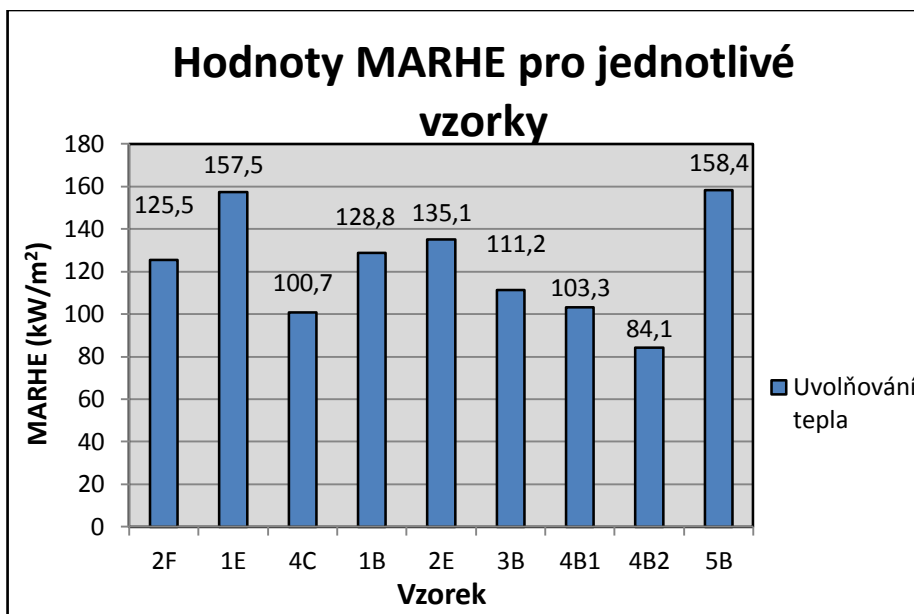
Vzorek	Uvolňování tepla (KW/m ²)	Celková produkce kouře (m ²)	Celkový únik tepla (MJ/m ²)	Hmotnostní ztráta (g)	Rychlost uvolňování tepla (KW/m ²)
2F	125,5	42,1	124,2	59,7	59
2B	111,1	23,5	83,2	39,5	46,3
4C	100,7	12,6	106,2	40,4	59

Následující grafy (obr.75.) zobrazují: rychlost uvolňování tepla v závislosti na čase, úbytek hmotnosti vzorku v závislosti na čase, hmotnostní ztráty v závislosti na čase a celkové uvolňování tepla v závislosti na čase pro vzorek 2F vyrobený ze sendviče.



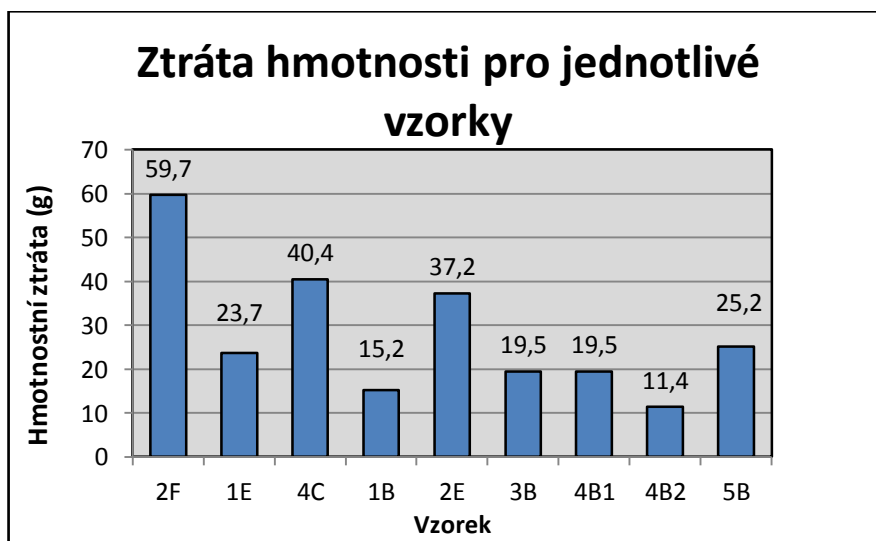
Obr. 75. Výsledky zkoušky vztahující se k chování zkušebních vzorků 2F za konkrétních podmínek zkoušky

Výsledné hodnoty zkoušky jsou vyhodnoceny a zobrazeny v grafu (obr. 76.77.). Hodnota MARHE určuje hodnotu uvolňování tepla ze vzorku při zkoušce (kW/m^2). Podle této hodnoty zařazujeme vzorky do jednotlivých hladin požární bezpečnosti pro železniční průmysl (HL1, HL2, HL3). Naměřené hodnoty vzorku nespádají do potřebných hladin pro výrobu, pouze vzorek 4B2 spadá do hladiny (HL2) pro výrobu.



Obr. 76. Porovnání naměřených výsledků MARHE pro jednotlivé vzorky

Z naměřených dat lze určit, že největší ztráty hmotnosti (g) v průběhu zkoušky dosahuje vzorek 2F, tedy sendvičová struktura vzorku.



Obr. 77. Porovnání ztráty hmotnosti pro jednotlivé vzorky

8.5 Zkouška šíření plamene laminátů dle ISO 5658-2 pro klasifikaci dle EN 45545-2

Tato zkušební metoda měří růst plamene na spodní části horizontálního zkušebního vzorku. Šíření plamene u dopravních produktů ve svislé poloze, délka vzorku 800x150mm počet kusů 3 pro jednotlivé vzorky.

Tab. 25. Požadavky EN 45545-2, R.1. pro jednotlivé úrovně HL na výsledky dle ISO 5658-2:

Sada požadavku	Zkušební metoda	Parametr	HL1	HL2	HL3
R1(IN1A, IN1B, IN1E, IN4, IN8, IN9, IN11, IN12, IN14, F5)	ISO 5658-2	CFE	$\geq 20 \text{ kWm}^{-2}$	$\geq 20 \text{ kWm}^{-2}$	$\geq 20 \text{ kWm}^{-2}$
	ISO 5660-1: 50 kWm^{-2}	MAHRE	-	$\leq 90 \text{ kWm}^{-2}$	$\leq 60 \text{ kWm}^{-2}$
	EN ISO 5659-2:	$D_s(4)$	≤ 600	≤ 300	≤ 150
	EN ISO 5659-2:	VOF_4	$\leq 1200 \text{ min}$	$\leq 600 \text{ min}$	$\leq 300 \text{ min}$
	EN ISO 5659-2:	CIT_G	$\leq 1,2$	$\leq 0,9$	$\leq 0,75$

CFE = kritický tepelný tok zhášení

Vzorek 2E - kompozitní deska s jednostrannou bílou povrchovou úpravou, celková tloušťka 4,5 až 5 mm, tloušťka vrstvy gelcoatu cca 2 mm. Plošná hmotnost $5,32 \text{ kg/m}^2$.

Tab. 26. Vzorek 2E po zkoušce šíření plamene

Vzorek: 2E	
Ohořelá délka: 350 mm	
CFE: 23,9	

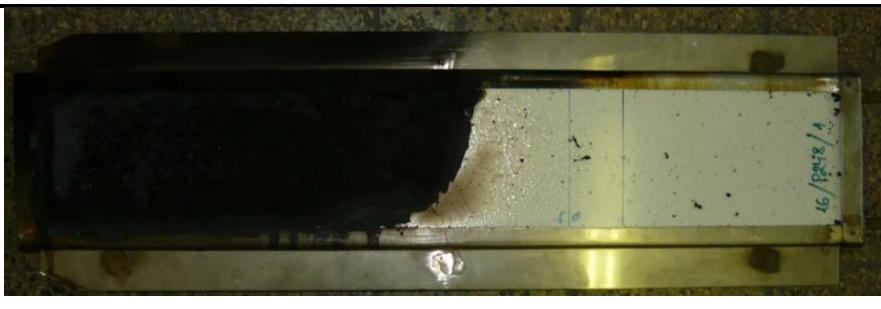
Vzorek 2F - kompozitní deska s jednostrannou bílou povrchovou úpravou a s bílým pěnovým jádrem. Celková tloušťka 15 mm, tloušťka vrstvy gelcoatu cca 2 mm, tloušťka vrstvy pěnového materiálu cca 9 mm. Plošná hmotnost $8,87 \text{ kg/m}^2$.

Tab. 27. Vzorek 2F po zkoušce šíření plamene

Vzorek: 2F	
Ohořelá délka: 460 mm	
CFE: 12,3	

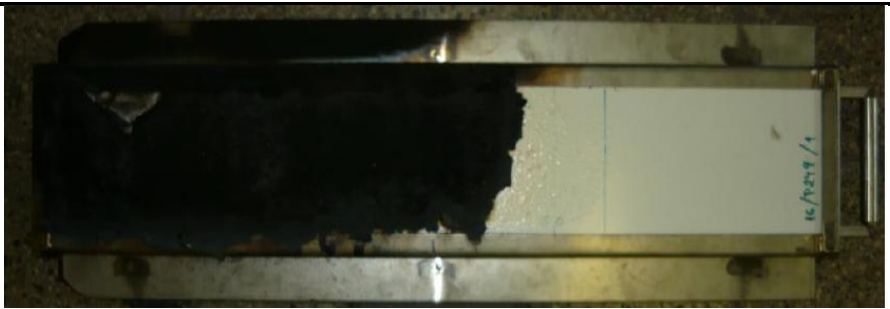
Vzorek 4B - kompozitní deska s jednostrannou bílou povrchovou úpravou, celková tloušťka 3 mm, tloušťka vrstvy gelcoatu cca 0,2 mm. Plošná hmotnost 5,30 kg/m².

Tab. 28. Vzorek 4B po zkoušce šíření plamene

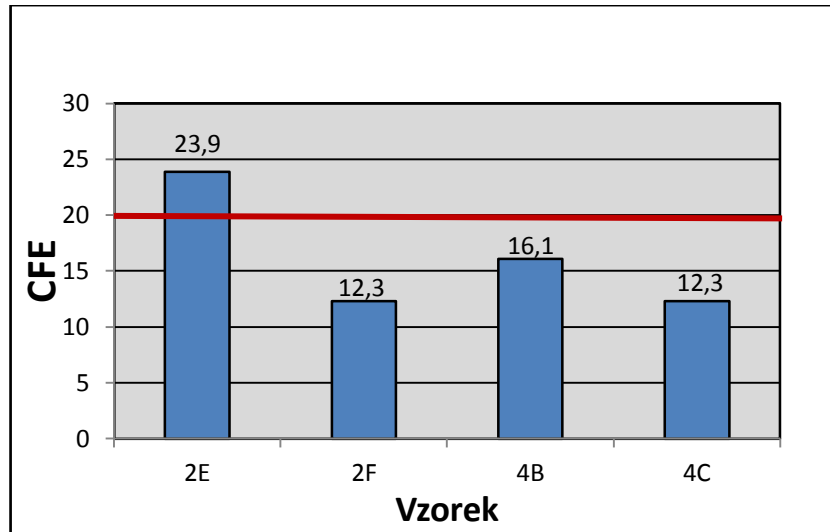
Vzorek: 4B	
Ohořelá délka: 420 mm	
CFE: 16,1	

Vzorek 4C - kompozitní deska s jednostrannou bílou povrchovou úpravou a s bílým pěnovým jádrem. Celková tloušťka 14 až 15 mm, tloušťka vrstvy gelcoatu cca 0,2 mm, tloušťka vrstvy pěnového materiálu cca 9 mm. Plošná hmotnost 8,06 kg/m².

Tab. 29. Vzorek 4C po zkoušce šíření plamene

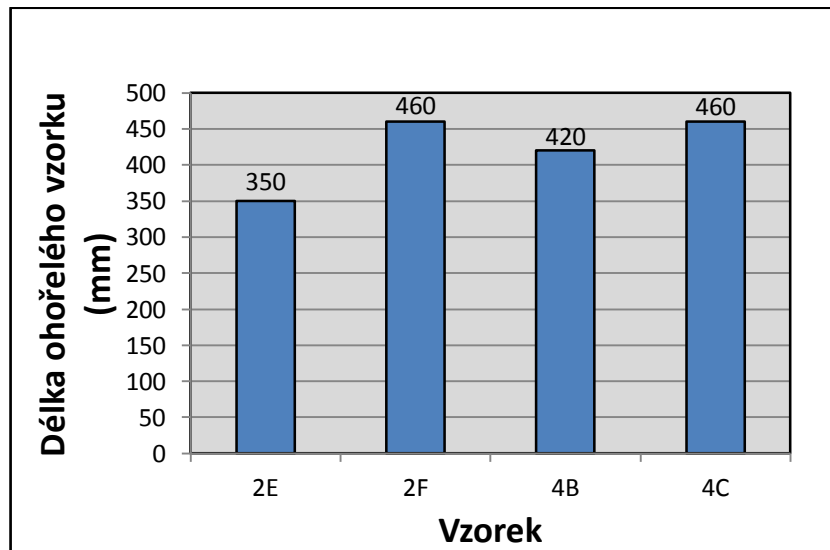
Vzorek: 4C	
Ohořelá délka: 460 mm	
CFE: 12,3	

Určení CFE pro jednotlivé vzorky po zkoušce šíření plamene je zobrazeno na Obr. 78.



Obr. 78. Porovnání CFE pro jednotlivé vzorky

Zkoušce šíření plamene pro klasifikaci v železničním průmyslu vyhovuje pouze jeden vzorek 2E pro normu ISO 5658-2. Ostatní vzorky neměly hodnotu větší jako 20 kWm^{-2} .



Obr. 79. Porovnání délky ohořelého vzorku pro jednotlivé vzorky

Porovnání jednotlivých délek ohoření vzorků po zkoušce šíření plamene je zobrazeno na Obr. 79.

ZÁVĚR

Cílem diplomové práce bylo zjištění optimálního složení kompozitního materiálu pro výrobu v železničním průmyslu a provedení mechanických zkoušek na vyrobených zkušebních vzorcích. Pro výrobu kompozitních desek byla vybrána technologie ručního kladení s následným lisováním pomocí vakua. Vzorky byly vyrobeny ve firmě Form s. r. o. se sídlem ve Střelné.

Na základě zadání práce byly porovnány různé typy povrchových úprav (gelcoat) a lakovací systém. V rámci výzkumu byly použité různé druhy materiálů: jeden druh pryskyřice a různé druhy výztuží (pěna, tkanina, rohož) včetně laku.

Vzhledem k aplikaci materiálů v železničním průmyslu, byly vzorky zkoumány podle normy ČSN EN 45545-2 požární ochrana drážních vozidel a podle normy NF T 57-15 Fibre reinforced thermosetting plastics. Na základě těchto norem, byly vybrány tyto testy: Kónický kalorimetr podle normy ISO 5660-1, Pevnost v ohybu před a po expozici horkou vodou podle normy ČSN ISO 178, Pevnost v tahu podle normy ČSN ISO 527-4 a Zkouška šíření plamene dle ISO 5658-2. Z uvedených zkoušek, které jsou zobrazeny v praktické části, můžeme provést tyto závěry.

Z použitých povrchových vrstev (gelcoat) byl použitelný pouze jeden, protože ostatní měli hodnotu MARHE větší jako 90. Při ohybové zkoušce pozorujeme, že nedošlo při aplikaci expozici vodou k nijak výrazným změnám, kromě vzorku 2F, vzorky jsou v toleranci 10%. Zkouška šíření plamene vyhovuje pouze jeden vzorek 2E vrstvená struktura. Ostatní vzorky měly menší hodnotu jako 20.

Cíle diplomové práce byly splněné, byla otestovaná široká škála kompozitního materiálu a posouzení jejich vhodnosti pro dopravní průmysl. Testovaná matrice má dobré zpracovatelské vlastnosti a je použitelná pouze vhodnou povrchovou úpravou, pouze pro kategorie spadající do hladiny HL2.

Nalezení vhodných kombinací materiálů pro výrobu kompozitního materiálů, pro aplikaci v železničním průmyslu, je velmi složitá a nákladná, aby výsledný produkt splňovat přísné kritéria a normy pro bezpečnost v dopravním průmyslu.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] JANČÁŘ, Josef. *Úvod do materiálového inženýrství polymerních kompozitů*. Vyd. 1. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta chemická, 2003, 194 s. ISBN 80-214-2443-5
- [2] BAREŠ, Richard A. *Kompozitní materiály*. Vydání 1. Nakladatelství SNTLnakladatelství technické literatury. 1988
- [3] ING. KOŘÍNEK CSC., Zdeněk. [Http://www.volny.cz/zkorinek/](http://www.volny.cz/zkorinek/) [online]. 2013 [cit. 2015-12-18]. Dostupné z: <http://www.volny.cz/zkorinek/>
- [4] ING. BAUMRUK M. *Kompozitové materiály v leteckém průmyslu v ČR* [online]. 2006[cit.2015_12_20] Dostupné z:http://www.kompozity.info/clanky/compb/kompozitive_mat_v_let_prumyslu_CR.pdf
- [5] Výzkumný a zkušební letecký ústav, a. s. Praha. *Experimentální vrtulové listy* [online]. [cit.2016_1_10] Dostupné z: <http://www.vzlu.cz/cs/vyvoj-kompozitnich-technologii-c274.html#prettyPhoto>
- [6] Otto Bock ČR s.r.o. *Nadkolenní sportovní protéza* [online]. [cit.2016_1_10] Dostupné z: <http://mojeproteza.cz/zivot-protezou/nase-produkty/sportovni-protezy/nadkolenni-sportovni-proteza/>
- [7] RUSNÁKOVÁ, Soňa. *Kompozity_FORM_technology*. Zlín 2011
- [8] FORM s. r. o. Horní lideč. *Výroba dílu z laminátu* [online]. 2016 [cit.2016_1_12] Dostupné z: <http://www.form-composite.com/vyrobni-program>
- [9] Fibreconcrete ebeton. *Vláknobeton* [online]. 2016 [cit.2016_1_12] Dostupné z: <http://www.ebeton.cz/pojmy/vlaknobeton>
- [10] JANČÁŘ, Josef. *Úvod do materiálového inženýrství polymerních kompozitů*. Vyd. 1. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta chemická, 2003, 194 s. ISBN 80-214-2443-5.
- [11] Flame Retardants Integral to Fire Safety . *Flame Retardants*. Dostupné z: <http://www.cefic-efra.com/index.php/en/flame-retardants-en-gb>
- [12] AFFOLTER, S., SCHMID, M., Thermal analysis experiments with fire-retarded polymers, firemní materyály Mettler Toledo Usercom, 2/2005, 12-16
- [13] TROITZSCH. J. *PlasticsFlammability Handbook: Principles, Regulations and Approval*. 3rd edition. HanserGardener, 2004. 748 s. ISBN 1569903565

- [14] LENFELD, P.: Technologie II.: Zpracování plastů [online]. Liberec: Technická univerzita Liberec, Fakulta strojní, 2008[online]. [cit.2016_01_15] Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/03.htm
- [15] EHRENSTEIN, Gottfried W. *Polymerní kompozitní materiály*. V ČR 1. vyd. Praha: Scientia, 2009, 351 s. ISBN 978-80-86960-29-6.
- [16] RUSNÁKOVÁ. Soňa. Kompozity_RTM. Zlín 2011
- [17] RUSNÁKOVÁ. Soňa. Vakuové_technologie. Zlín 2011
- [18] Kompozitní materiály FRP. *Tažení-pultruze* [online]. [cit.2016_01_16] Dostupné z: <http://www.stado.cz/index.php/aplikace/carbo-system>
- [19] KUDLÁČEK D. *Aplikace požadavků normy CEN/TS 45545*. [online]. 2012 [cit. 2016_01_18] Dostupné z: http://www.acri.cz/uploads/acriprezentace/ACRI_akademie_Kudlacek_EN%2045545.pdf
- [20] Fireblock. *Highly resistant to fire-An intumescent system*. materiály od firmy: Form, s.r.o.
- [21] EN 45545. *European Norm EN 45545* [online]. [cit 2016_01_20] Dostupné z: <http://www.dmt.de/en/services/product-testing-building-safety/testing-product-fire-protection/railway-vehicles/pruefungen-nach-din-en-45545.html>
- [22] Smoke density chamber. [online]. [cit 2016_01_20] Dostupné z: <http://www.fire-testing.com/sdc>
- [23] Tepelné vlastnosti polymerů. [online]. [cit 2016_01_20] Dostupné z: <http://publi.cz/books/180/13.html>
- [24] Cone calorimeter. *Kónický kalorimetr* [online]. [cit 2016_01_23] Dostupné z: <http://www.buildmagazine.org.nz/articles/show/wall-and-ceiling-linings-reaction/>
- [25] LUPULESCU, Alin. Composite materials make way in the railway industry after conquering aeronautics and even car building industry. *Railway Pro: The railway bussiness magazine* [online]. 2010 [cit. 2016-01-23]. Dostupné z: <http://www.railwaypro.com/wp/?p=1592>
- [26] Pars nova a.s. součástí skupiny Škoda Transportation [online]. 2016 [cit. 2016-01-28]. Dostupné z: <http://www.parsnova.cz/produkty/modernizace-a-rekonstrukce-zeleznicnich-kolejovych-vozidel/ridici-vuz-961>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

a	Tloušťka zkušebního tělesa	[mm]
s	Směrodatná odchylka	[-]
b	Šířka zkušebního tělesa	[mm]
l	Délka zkušebního vzorku	[mm]
E	Modul pružnosti	[MPa]
FSI	Index šíření plamene	[-]
y	Průhyb	[-]
σ_{\max}	Mez pevnosti v ohybu	[MPa]
M_o	Ohybový moment	[N.mm]
W_o	Modul pružnosti v ohybu	[mm ³]
L_p	Vzdálenost podpěr	[mm]
J	Moment setrvačnosti průřezu	[-]
E	Poměrná deformace	[%]
CFE	Kritický tok při hašení	[KW/m ²]
ATH	Hydroxid hlinitý	
CO ₂	Oxid uhličitý	
PA	Polyamid	
PE	Polyetylen	
PTFE	Polytetrafluetylen	
ČSN	Česká státní norma	
EN	Evropská norma	
RTM	Vysokotlaké vstřikování	
ISO	Mezinárodní organizace pro normalizaci	

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1. Rozdělení podle orientace a geometrie výztuže [3].	12
Obr. 2. Využití kompozitního materiálu v případě Airbus A380[4].	13
Obr. 3. Vrtulové listy VZLÚ V45[5].	13
Obr. 4. Nadkolenní sportovní protéza [6].	14
Obr. 5. Karosérie z uhlíkových vláken [7]	14
Obr. 6. Vlaková jednotka TBZ řady 671[8]	15
Obr. 7. Řez betonového sloupu plněný vlákny [9].	15
Obr. 8. Retardér hoření ATH[12].	18
Obr. 9. Bubnová míchačka[14]	23
Obr. 10. Pásová míchačka [14]	23
Obr. 11. Dvouramenná míchačka a příklady konstrukce míchadel[14]	24
Obr. 12. Lopatková míchačka [14].	24
Obr. 13. Planetová míchačka[14].	25
Obr. 14. Fluidační míchačka[14]	25
Obr. 15. Ruční laminování [7]	28
Obr. 16. Schéma stříkacího zařízení [7]	28
Obr. 17. Schéma vakuového lisování [7]	29
Obr. 18. Metoda tlakového vaku [15]	30
Obr. 19. Technologie RTM [16]	30
Obr. 20. Schéma vakuové infuze [17].	31
Obr. 21. Schéma putruze [18]	32
Obr. 22. Navíjecí zařízení [7]	32
Obr. 23. Ohnivzdornost pryskyřice, jednotlivé úrovně [20].	35
Obr. 24. Zobrazení starých norem a sjednocená norma EN 45545	36
Obr. 25. Zařízení pro testování šíření plamene[21]	37
Obr. 26. Zařízení pro měření hustoty kouře [22]	37
Obr. 27. Zařízení pro stanovení kyslíkového čísla [23]	38
Obr. 28. Schéma zařízení pro metodu kónického kalorimetru [24]	39
Obr. 29. Aplikace kompozitu firmou ČD [26].	40
Obr. 30. Struktura vzorku sendviče.	43
Obr. 31. Složení vzorku laminátu	44
Obr. 32. Skladba tkaniny	45

Obr. 33. Použití pěny v sendvičové výrobě	46
Obr. 34. Rohož	46
Obr. 35. Odtrhová tkanina	47
Obr. 36. Vakuová fólie a ventilký	47
Obr. 37. Příprava formy a nanesení povrchové vrstvy	48
Obr. 38. Položení pěny na výrobní formu	49
Obr. 39. Nanesení tkaniny a pryskyřice	49
Obr. 40. Výroba sendvičového a laminátového vzorku	50
Obr. 41. Hotový výrobek po lakování	50
Obr. 42. Nařezané vzorky pro zkoušky: A) šíření plamene, B) kónický kalorimetr,	51
Obr. 43. Dva druhy vzorků: A) sendvič B) laminát	51
Obr. 44. Vzorky pro mechanické zkoušky: A) ohyb, B) tah	51
Obr. 45. Měřicí zařízení Zwick 1456	52
Obr. 46. Grafický průběh závislosti napětí (MPa) na deformaci v (%) vzorek 2E a zobrazení detailu zlomení laminátu.....	54
Obr. 47. Grafický průběh závislosti napětí (MPa) na deformaci v (%) vzorek 4B a zobrazení detailu zlomení laminátu.....	55
Obr. 48. Grafický průběh závislosti napětí (MPa) na deformaci v (%) vzorek 2F a zobrazení detailu zlomení sendviče.....	56
Obr. 49. Grafický průběh závislosti napětí (MPa) na deformaci v (%) vzorek 4C a zobrazení detailu zlomení sendviče.....	57
Obr. 50. Vaření vzorků při 100°C, v laboratoři FT	58
Obr. 51. Vzorky před a po expozici1	58
Obr. 52. Grafické průběhy závislosti: a) napětí (MPa) na deformaci v (%) vzorek 2E b) síla (N) na deformaci v (%) pro vzorek 2E č.1	59
Obr. 53. Grafické průběhy závislosti: a) napětí (MPa) na deformaci v (%) vzorek 4B b) síla (N) na deformaci v (%)pro vzorek 4B č.1.....	60
Obr. 54. Grafické průběhy závislosti: a) napětí (MPa) na deformaci v (%) vzorek 2F b) síla (N) na deformaci v (%)pro vzorek 2F č.1	61
Obr. 55. Grafické průběhy závislosti: a) napětí (MPa) na deformaci v (%) vzorek 4C b) síla (N) na deformaci v (%)pro vzorek 4C č.1.....	62
Obr. 56. Srovnání průměrných hodnot pevnosti v ohybu σ_m pro vzorky vyrobené z laminátu a sendviče, před a po expozici vodou	63

Obr. 57. Srovnání průměrných hodnot modulu pružnosti E pro vzorky vyrobené z laminátu a sendviče, před a po expozici vodou	64
Obr. 58. Síla pro ohyb laminátu (2E, 4B) a sendviče (2F, 4C).....	64
Obr. 59. Zařízení Zwick 1456 s pneumatickými čelistmi	65
Obr. 60. Vzorky pro zkoušku tahem a směr orientace vláken	65
Obr. 61. Grafický průběh závislosti napětí (MPa) na deformaci v (%) vzorek 2E při 90°orientaci vláken a zobrazení detailu zlomení laminátu při tahové zkoušce.	66
Obr. 62. Grafický průběh závislosti napětí (MPa) na deformaci v (%) vzorku 4B při 0° a zobrazení detailu zlomení přední a zadní strany laminátu při tahové zkoušce.	67
Obr. 63. Grafický průběh závislosti napětí (MPa) na deformaci v (%) vzorku 4B při 90° a zobrazení detailu zlomení laminátu při tahové zkoušce.....	68
Obr. 64. Max. napětí v tahu pro vzorky z laminátu	69
Obr. 65. Max. modul v tahu pro vzorky z laminátu.....	69
Obr. 66. Max. síla v tahu pro vzorky z laminátu	70
Obr. 67. Vzorky pro zkoušku kónického kalorimetru.....	70
Obr. 68. Kónický kalorimetr.....	71
Obr. 69. Příprava vzorků do speciálního držáku.....	72
Obr. 70. Příprava zkušebního zařízení	72
Obr. 71. Jiskrový iniciátor (vlevo) a zapálení vzorku (vpravo).....	72
Obr. 72. Průběh působení kónického zářiče při zkoušce.....	73
Obr. 73. Vzorek po dohoření plamene	73
Obr. 74. Výsledky zkoušky vztahující se k chování zkušebních vzorků 2E za.....	74
Obr. 75. Výsledky zkoušky vztahující se k chování zkušebních vzorků 2F za	75
Obr. 76. Porovnání naměřených výsledků MARHE pro jednotlivé vzorky.....	76
Obr. 77. Porovnání ztráty hmotnosti pro jednotlivé vzorky	76
Obr. 78. Porovnání CFE pro jednotlivé vzorky	79
Obr. 79. Porovnání délky ohořelého vzorku pro jednotlivé vzorky.....	79

SEZNAM TABULEK

Tab. 1. Chemické a fyzikální vlastnosti ATH (hydroxid hlinitý) [11].....	17
Tab. 2. Struktura prodejního retardéru ATH(hydroxid hlinitý)[11]	18
Tab. 3. Proces mezistupně hoření	33
Tab. 4. Sada požadavků pro materiál R1	35
Tab. 5. Úrovně nebezpečí požáru v závislosti na konstrukci vozidla	36
Tab. 6. Složení jednotlivých vzorků sendviče pro výrobu	43
Tab. 7. Složení jednotlivých vzorků laminátu pro výrobu	44
Tab. 8. Specifika pryskyřice	45
Tab. 9. Složení jednotlivých rolí	46
Tab. 10. Naměřené výsledky vzorku 2E.....	54
Tab. 11. Naměřené výsledky vzorku 4B	55
Tab. 12. Naměřené výsledky vzorku 2F	56
Tab. 13. Naměřené výsledky vzorku 4C	57
Tab. 14. Výsledné hodnoty, které budou získány v době schválení	58
Tab. 15. Naměřené výsledky vzorku 2E po expozici vodou	59
Tab. 16. Naměřené výsledky vzorku 4B po expozici vodou.....	60
Tab. 17. Naměřené výsledky vzorku 2F po expozici vodou	61
Tab. 18. Naměřené výsledky vzorku 4C po expozici vodou.....	62
Tab. 19. Vzorky po ohybové zkoušce	63
Tab. 20. Naměřené výsledky vzorku 2E.....	66
Tab. 21. Naměřené výsledky vzorku 4B při 0°	67
Tab. 22. Naměřené výsledky vzorku 4B při 90°	68
Tab. 23. Naměřené hodnoty u jednotlivých vzorků pro laminát (mezi 27 a 818 s).....	74
Tab. 24. Naměřené hodnoty u jednotlivých vzorků pro sendvič (mezi 27 a 818 s).....	75
Tab. 25. Požadavky EN 45545-2, R.1. pro jednotlivé úrovně HL na výsledky dle ISO 5658-2:.....	77
Tab. 26. Vzorek 2E po zkoušce šíření plamene	77
Tab. 27. Vzorek 2F po zkoušce šíření plamene	78
Tab. 28. Vzorek 4B po zkoušce šíření plamene.....	78
Tab. 29. Vzorek 4C po zkoušce šíření plamene.....	78

SEZNAM PŘÍLOH

Všechny přílohy jsou uloženy na přiloženém CD-ROM.

Příloha PI: Materiálový list rohože M 134

Příloha PII: Materiálový list pěny AIREX T90

Příloha PIII: Materiálový list gelcoatu Norpol®svx-h

PŘÍLOHA P I: MATERIÁLOVÝ LIST ROHOŽE M 134



OCV[™] Reinforcements

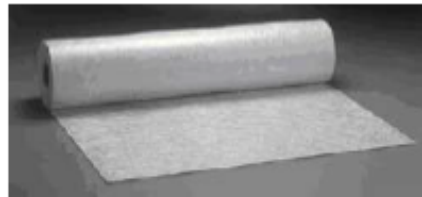
PRODUCT INFORMATION

M134

Chopped Strand Mat for Hand-Lay Up

PRODUCT DESCRIPTION

M134 Chopped Strand mat is made with medium size strands of E-glass, held together by a powder binder which is extremely soluble in styrene. The basic strand has a sizing system containing a silane coupling agent.



PRODUCT REFERENCE

Example: M134 375-130 1B

M134 : OCV[™] Reinforcements code for this Chopped Strand mat

375 : roll weight (g/m²)

130 : roll width (cm)

1B : number of trimmed edges (zero, one or two)

PRODUCT APPLICATION

This sizing system of the strands and the nature of the binder also make M134 suitable for use with epoxy, vinyl ester and anti-corrosion resins. In the following applications: automotive, trucks, sport and leisure, urban, industrial and marine parts.

FEATURES AND PRODUCT BENEFITS

- Good drapability
- Easy wet-out
- Excellent clarity of the UP laminates
- Very high tensile strength, suitable for filament winding or continuous laminating
- Good resistance to watering and chemical agents in anti-corrosion applications
- Approved by Lloyd's Register.
- Approved by Det Norske Veritas.
- Approved by Croatian Register.

TECHNICAL CHARACTERISTICS (NOMINAL VALUES)

LINEAR WEIGHT (TEX)	LOSS ON IGNITION (%)	MOISTURE (%)
ISO 3374:1990	ISO 1887:1980	ISO 3344:1977
375 ± 20%	4.4 ± 40%	0.2
450 ± 20%	3.6 ± 39%	
600 ± 20%	3.6 ± 38%	

VISUAL CHARACTERISTICS OR POSSIBLE DEFECTS

- Unbound edges
- Holes (> 40mm) or tears
- Dirt spots (greater than 5 mm)
- Unopened strands
- Accumulation of fibers (>40mm)

Maximum number of defects allowed: Each area of 100 sqm of a roll of Chopped Strand mat may contain at most 5 of the defects listed above.

M134

Chopped Strand Mat for Hand-Lay Up

PRODUCT AVAILABILITY

- The main advantage of M134 Chopped Strand mat is the availability of an extensive range of widths and weights (widths from 10 to 340 cm, nominal weights from 80 to 900 g/m²).
- Most combinations of weights and widths can be supplied.
- A roll is considered to be complete if it measures more than 70% of the nominal length.

ROLL CHARACTERISTICS				
Standard weight (g/m ²)	Standard width (cm)	Diameter (cm)	Length (m)	Weight (kg)
300	130	40	220	66
450			150	68
600			110	66

PACKAGING

Individual packaging:

- Each roll is wound on a cardboard tube (internal diameter 101 mm)
- Each roll is packaged in an individual cardboard box, 40 x 40 (L x W)
- The height is equal to the width of the mat.

Bulk packaging:

- 9 standard rolls are packed vertically on a pallet, secured by shrink-wrap polythene

PALLETIZATION					
Mat Width (cm)	Pallet Dimensions L x W x H (cm)	Net Pallet Weight (kg)			Pallet (vertical)
130	120 x 120 x 147	300g/m ²	450g/m ²	600g/m ²	9
		516	528	516	

Pallet height is equal to mat width + 17 cm. The pallet is wrapped with polyamide straps.

LABELING

Each pallet has two identification labels detailing the product reference, the net and gross weights in kg, packaging and product code, identification code of the palletized unit, production date.

STORAGE

The M134 mat should be stored in its original packaging in a dry and cool place. Best conditions are at temperature from 10 to 35°C and humidity between 35 and 85%. If you store the product at lower temperatures, please move the soon to be processed pallets to the production area 24 hours ahead of time; remove part of the protective cover of each roll to prevent condensation. You can stock pallets one on one with a plywood plank in between the two.

Contact: ChoppedStrandMats.owenamerica@owenscorning.com ChoppedStrandMats.owemea@owenscorning.com ChoppedStrandMats.owepac@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
188, CHAUSSÉE DE LA HULPE
B-1170 BRUSSELS
BELGIUM
+32.2.874.82.11

OWENS CORNING - OCV ASIA PACIFIC
SHANGHAI REGIONAL HEADQUARTERS
2F OLIVE LVO MANSION
820 HUA SHAN ROAD
SHANGHAI 200040
CHINA
+86.21.82489922

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. 10010265-A, Owens Corning reserves the right to modify this document without prior notice. ©2009 Owens Corning.
ChoppedStrandMats_M134_amea_1F-2008_Rev1

PŘÍLOHA P II: MATERIÁLOVÝ LIST PĚNY AIREX T90

AIREX[®] BALTEK[®]



DATA SHEET

Issue 11/10 / Replaces Issue 08/10

AIREX[®] T90

Easy Processing Structural FST Foam

Characteristic

- Superior FST Properties (FAR 25.853; NF 16.101; DIN 5510)
- Excellent fatigue strength
- Easy to process with all types of resin and lamination processes
- Excellent long term thermal stability up to 100°C (212°F)
- Best thermal stability in process up to 150°C (302°F)
- High compression strength and modulus
- Very low variance of the mechanical values
- Good adhesion (skin-to-core bond)
- Excellent chemical stability
- No water absorption
- No after-expansion, no outgassing

Applications

- **Road and Rail:**
Floors, sidewalls, front ends, interiors, roofs, engine covers
- **Marine:**
Decks, interiors, superstructure
- **Industrial**
Cover, containers, x-ray tables, sporting good
- **Architecture and Construction:**
Roofs, claddings, domes, portable building

Processing

- Contact molding (hand/spray)
- Vacuum infusion
- Resin infusion / injection (VARTM / RTM)
- Adhesive bonding
- Prepreg processing
- Compression molding (GMT, SMC)
- Thermoformable

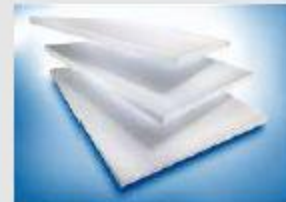
Description:

AIREX[®] T90 is a closed-cell, thermoplastic and recyclable polymer foam with excellent fire, smoke & toxicity (FST) properties.

It has very good mechanical properties and an extraordinary resistance to fatigue, is chemically stable, UV-resistant and has negligible water absorption.

It is thermally stable during high temperature processing and post curing without after expansion or out-gassing. T90 is designed for easy use with all resin systems and processing technologies.

AIREX[®] T90 is the ideal core material for structural sandwich applications requiring high fire resistance.



Typical properties AIREX [®] T90		Unit (metrical)	Value ¹⁾	T90.100	T90.150	T90.210 ²⁾
Density	ISO 845	kg/m ³	Average Typ. range	110 105 - 115	150 145 - 155	210 200 - 220
Compressive strength perpendicular to the plane	ISO 844	N/mm ²	Average Minimum	1.4 1.2	2.0 1.8	3.5
Compressive modulus perpendicular to the plane	DIN 53421	N/mm ²	Average Minimum	85 75	90 80	160
Tensile strength perpendicular to the plane	ASTM C297	N/mm ²	Average Minimum	2.2 1.6		
Tensile modulus perpendicular to the plane	ASTM C297	N/mm ²	Average Minimum	120 90		
Shear strength	ISO 1922	N/mm ²	Average Minimum	0.8 0.7	1.0 0.7	1.85
Shear modulus	ISO 1922	N/mm ²	Average Minimum	20 18	30 25	50
Shear elongation at break	ISO 1922	%	Average Minimum	10 5	2.5 2	5
Thermal conductivity at room temperature	ISO 8301	W/m.K	Average	0.033	0.036	0.041
Standard sheet	Width ³⁾	mm ± 5		610	610	610
	Length ³⁾	mm ± 5		1220	1220	1220
	Thickness	mm ± 0.5		5 to 100	5 to 100	5 to 100

Finishing Options, other dimensions and closer tolerances upon request

¹⁾ Minimum values acc. DNV definition; test sample thickness 20mm except compressive modulus (40mm)

²⁾ Alternative width 1220 mm, alternative length 2440 mm

³⁾ Preliminary Data

Fire performance	Standard		T90.100	T90.150	T90.210
Aircraft	FAR 25.853/ABD0031	Flammability	passed	passed	ongoing
	FAR 25.853/ABD0031	Smoke density	passed	passed	ongoing
	FAR 25.853/ABD0031	Toxicity	passed	passed	ongoing
Rail	DIN 5510/2	Flammability	S4	S4	ongoing
	DIN 5510/2	Smoke density	SR2	SR2	ongoing
	DIN 5510/2	Dripping	ST2	ST2	ongoing
	DIN 5510/2/DIN 53438-2	Edge flaming	K1	K1	ongoing
Rail	NF F16-101	Flammability	M1		M1
	NF F16-101	Smoke density	F1		F1
Rail	CEN TS 45545-2 (Nov. 2006)		Certification depending on sandwich design		

The data provided gives approximate values for the nominal density and DNV minimum values according to DNV type approval certificate. The information contained herein is believed to be correct and to correspond to the latest state of scientific and technical knowledge. However, no warranty is made, either expressed or implied, regarding its accuracy or the results to be obtained from the use of such information. No statement is intended or should be construed as a recommendation to infringe any existing patent.



Issue 11/10 / Replaces Issue 08/10

Typical properties AIREX® T90		Unit (metric)	Value ¹⁾	T90.100	T90.150	T90.210 ²⁾
Density	ISO 845	kg/m ³	Average Typ. range	110 105 - 115	150 145 - 155	210 200 - 220
Compressive strength perpendicular to the plane	ISO 844	N/mm ²	Average Minimum	1.4 1.2	2.0 1.8	3.5
Compressive modulus perpendicular to the plane	DIN 53421	N/mm ²	Average Minimum	85 75	90 80	160
Tensile strength perpendicular to the plane	ASTM C297	N/mm ²	Average Minimum	2.2 1.8		
Tensile modulus perpendicular to the plane	ASTM C297	N/mm ²	Average Minimum	120 90		
Shear strength	ISO 1922	N/mm ²	Average Minimum	0.9 0.7	1.0 0.7	1.85
Shear modulus	ISO 1922	N/mm ²	Average Minimum	20 18	30 25	50
Shear elongation at break	ISO 1922	%	Average Minimum	10 5	2.5 2	5
Thermal conductivity at room temperature	ISO 8301	W/m.K	Average	0.033	0.036	0.041
Standard sheet	Width ³⁾	mm ± 5		610	610	610
	Length ³⁾	mm ± 5		1220	1220	1220
	Thickness	mm ± 0.5		5 to 100	5 to 100	5 to 100

Finishing Options, other dimensions and closer tolerances upon request

¹⁾ Minimum values acc. DNV definition; test sample thickness 20mm except compressive modulus (40mm)

²⁾ Alternative width 1220 mm, alternative length 2440 mm

³⁾ Preliminary Data

Fire performance	Standard		T90.100	T90.150	T90.210
Aircraft	FAR 25.853/ABD0031	Flammability	passed	passed	ongoing
	FAR 25.853/ABD0031	Smoke density	passed	passed	ongoing
	FAR 25.853/ABD0031	Toxicity	passed	passed	ongoing
Rail	DIN 5510/2	Flammability	S4	S4	ongoing
	DIN 5510/2	Smoke density	SR2	SR2	ongoing
	DIN 5510/2	Dripping	ST2	ST2	ongoing
	DIN 5510/2/DIN 53438-2	Edge flaring	K1	K1	ongoing
Rail	NF F16-101	Flammability	M1		M1
	NF F16-101	Smoke density	F1		F1
Rail	CEN TS 45545-2	(Nov. 2008)	Certification depending on sandwich design		

The data provided gives approximate values for the nominal density and DNV minimum values according to DNV type approval certificate. The information contained herein is believed to be correct and to correspond to the latest state of scientific and technical knowledge. However, no warranty is made, either expressed or implied, regarding its accuracy or the results to be obtained from the use of such information. No statement is intended or should be construed as a recommendation to infringe any existing patent.

3A COMPOSITES CORE MATERIALS
www.corematerials.3AComposites.com



Europe / Middle East / Africa:
Airex AG
Industrie Nord 26
5940 Sene, Switzerland
Tel: +41 41 739 99 00
Fax: +41 41 739 99 00
corematerials@3AComposites.com

North America / South America:
Baltex Inc.
138 Parkway Court
Northvale, NJ 07647, USA
Tel: +1 201 767 14 00
Fax: +1 201 367 99 21
corematerials.us@3AComposites.com

Asia / Australia / New Zealand:
3A Composites (China) Ltd.
Shanghai Road 933, Building 6, Pudong
201201 Shanghai, China
Tel: +86 21 585 88 006
Fax: +86 21 338 272 96
corematerials.asia@3AComposites.com

PŘÍLOHA PIII: MATERIÁLOVÝ LIST GELCOATU NORPOL®SVX-H

REICHOLD

PRODUCT BULLETIN

Červen 2015

NORPOL® SVX-H Předběžný

POPIS

NORPOL® SVX-H je nový typ gelcoatu, který je vzhledem k povaze použitých materiálů a technologií výroby šedý (SVX 800 H, o něco světlejší než RAL 7001), a nelze využít možnosti jeho pigmentace v široké škále barev, které standardně nabízíme. Díly pro dopravní prostředky jsou obvykle stříkány na požadovaný odstín, a nový systém by tak neměl nijak změnit pracovní postup a použití pro konečného uživatele.

NORPOL® SVX-H společně s DION FR 7721-00 splňuje normu HL3 pro použití v dopravním sektoru, jež nabízí konečnému uživateli vysokou míru bezpečnosti v daném rozsahu a má potenciální využití v maximálním možném počtu kritických událostí.

Jsme si vědomi faktu, že jsou finální barvy na železniční vozy obvykle aplikovány dle přání konečného zákazníka, i tak můžeme zajistit, že jakýkoliv nástřik splní požadavky normy EN 45545-2, a tím i nároky zákazníka samotného.

Doporučený rozsah dávkování katalyzátoru: 1,3 – 2,0 %
Doporučená tloušťka filmu: 0,5 – 0,85 mm (měřeno za mokra)

VLASTNOSTI

FYZIKÁLNÍ VLASTNOSTI PŘI 23°C

Vlastnost	Jednotka	Hodnota	Metoda
Viskozita			
- Brookfield RVF 5/4	mPa.s (cP)	20000 – 45000	A050
- Brookfield RVF 5/20	mPa.s (cP)	12000 – 20000	A050
- Kužel & deska	mPa.s (cP)	1200 – 2000	A010
Hustota	g/cm ³	1,3 – 1,5	B020
Geltime: 1,5% NORPOL PEROXIDE 1	minuty	15 – 45	G020
Stádovatelnost od data výroby (při dodržení předepsaných podmínek)	měsíců	3	G180

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

919-980-7500 • 800-440-3482 • P.O. Box 13882, Research Triangle Park, NC 27709 USA • 2400 Ellis Road, Durham, NC 27713 USA • www.reichhold.com
Reichhold CZ s.r.o., Veleslavnova 10, 400 11 Ústí nad Labem, Czech Republic, Tel. +420-47-270 7777, Fax +420-47-270 7710.

NORPOL® SVX-H
Červen 2015
Str. 1/3

MECHANICKÉ VLASTNOSTI VE VYTVRZENÉM STAVU (MĚŘENO NA ZÁKLADNÍ PRYSKYŘICI)

Pině dotvrzeno: 24hod při 60°C

Vlastnost	Jednotka	Hodnota	Metoda
Pevnost v tahu	MPa	min. 60	ISO 527-1/2-1993
E-modul v tahu	MPa	min. 3000	ISO 527-1/2-1993
Protažení při přetržení	%	min. 3,0	ISO 527-1/2-1993
Tvarová stálost za tepla	°C	min. 80	ISO 75-1/2-1993
Tvrdost dle Barcola	-	min. 40	ASTM D 2583-99
Absorbce vody	mg/zk. vzorek	max. 80	Det norske Veritas 1981

SKLADOVÁNÍ

Výrobky, jejichž základem jsou nenasyčené polyesterové pryskyřice a vinylstery, jsou reaktivní materiály, a proto se mohou jejich vlastnosti během skladování měnit. Aby se minimalizovaly tyto nežádoucí změny, měl by se gelcoat skladovat za teplot nižších než 25°C, a musí být uložen mimo přímé sluneční světlo. Nízké skladovací teploty pod 18°C nezpůsobují problémy, ale pro zajištění dobrého průběhu vytvrzování je nutné před použitím gelcoat vytemperovat minimálně na 18°C.

Skladovací prostory a nádoby musí být v souladu s místními požárními a stavebními předpisy. Obalové materiály, které se používají pro skladování polyesterových pryskyřic, nesmí obsahovat měď a její slininy. Skladovat odděleně od oxidujících materiálů, peroxidů a solí kovů. Sudy musí být skladovány mimo jakýchkoli zdrojů plamene nebo hoření. Skladované množství je nutno udržovat na rozumné míře.

BALENÍ

Nevratně 20 kg plechovky.

Nevratně 220 kg kovové sudy (na vyžádání s PE vložkou)

BEZPEČNOST**PŘED PRVNÍM POUŽITÍM TOHOTO VÝROBKU JE NUTNÉ SE PEČLIVĚ SEZNÁMIT S BEZPEČNOSTNÍM LÍSTEM**

Vše je uvedeno v Bezpečnostním listě, se kterým je nutno se před prvním použitím výrobku seznámit. Bezpečnostní list je nutno obdržet před první dodávkou zboží od dodavatele.

Výrobky POLYLITE, NORPOL, DION, HYDREX, jsou klasifikovány a označeny jako Xn – Zdraví škodlivý.

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

919-969-7508 • 800-443-3482 • P.O. Box 13582, Research Triangle Park, NC 27709 USA • 2400 Ellis Road, Durham, NC 27703 USA • www.reichhold.com

Reichhold CZ, s.r.o., Veleslavnova 10, 400 11 Ústí nad Labem, Czech Republic, Tel. +420-47-270 7777, Fax +420-47-270 7710.

NORPOL® SVX-H
Červen 2015
Str. 2/3

POZNÁMKA

Údaje o vlastnostech výrobku a jeho zpracování byly získány laboratorním měřením a aplikačními zkouškami. Tento prospekt však může jen právně nezávazně poradit, zpracování výrobku je nutno přizpůsobit konkrétním podmínkám.

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

919-669-7508 • 800-449-3482 • P.O. Box 13582, Research Triangle Park, NC 27709 USA • 2400 Ellis Road, Durham, NC 27713 USA • www.reichhold.com

Reichhold CZ s.r.o., Veleslavínova 10, 400 11 Ústí nad Labem, Czech Republic, Tel. +420-47-270 7777, Fax +420-47-270 7710.