

Vývoj technologie výroby kapoty lokomotivy technologií vakuové infuze

Bc. Petr Sucháček

Diplomová práce
2013



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

akademický rok: 2012/2013

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Petr SUCHÁČEK**
Osobní číslo: **T11181**
Studijní program: **N3909 Procesní inženýrství**
Studijní obor: **Výrobní inženýrství**
Forma studia: **prezenční**

Téma práce: **Vývoj technologie výroby kapoty lokomotivy
technologíí vakuové infuze**

Zásady pro vypracování:

I. Teoretická část

1. Polymerní kompozitní materiály, vlastnosti, výhody a nevýhody, možnosti uplatnění v dopravním průmyslu.
2. Přehled aktuálního stavu výroby forem pro výrobu kompozitních materiálu, volba a přehled materiálů pro výrobu modelu.
3. Technologie vakuové infuze, popis a princip, přehled a význam pomocných materiálů využívaných při samotném procesu.

II. Experimentální část

1. Navrhněte materiálové složení pro konkrétní aplikaci lokomotivy dle zadané dokumentace.
2. Zvolte procesní podmínky pro vakuovou infuzi, navrhněte vhodné pomocné materiály (dle požadavku pro konkrétní aplikaci, prozkoumejte vhodnost použití pryskyřičných systémů, atd.)
3. Experimentální realizace velkoplošné vakuové infuze, ověření stanovených parametrů, záznam teploty v době vytvrzování, zhotovení fotodokumentace).
4. Kontrola kvality výrobku s ohledem na suchá místa, vady gelcoatu, přemostění, atd.
5. Zhodnocení dosažených výsledků a stanovení doporučení pro technickou praxi.

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

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

[2] Jančář, J.: Úvod do materiálového inženýrství polymerních kompozitů. Vyd. 1. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta chemická, 2003. 193 s.

[3] Zenkert, D.: The Handbook of Sandwich Construction, EMAS Publishing, Nordic Industrial Fund, Worcestershire, 1997.

[4] Bareš, R. A.: Kompozitní materiály. SNTL Praha, 325 s, 1988.

[5] Elektronické zdroje dle doporučení vedoucího práce.

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

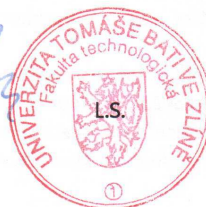
Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání diplomové práce: **8. února 2013**

Termín odevzdání diplomové práce: **10. května 2013**

Ve Zlíně dne 11. února 2013


doc. Ing. Roman Čermák, Ph.D.
děkan




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

Příjmení a jméno:

Obor:

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

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

Ve Zlíně

.....

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 vzdělávacího zařízení (školní dílo).

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

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

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

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

ABSTRAKT

Tato diplomová práce se v teoretické části zabývá kompozitními materiály a jejich využitím v praxi. Dále pak popisuje teorii forem a modelů pro výrobu kompozitních součástí. Nakonec je popsána technologie vakuové infuze a její využití v železničním průmyslu.

Cílem praktické části je vývoj vakuové infuze. To zahrnuje výrobu vzorků a jejich testování a vyhodnocení. Ve finále to pak je výroba prototypu kapoty lokomotivy.

Klíčová slova: vakuová infuze, železniční průmysl, skelná vlákna, kapota lokomotivy

ABSTRACT

Theoretical part of this dissertation work is dealing with composite materials and their usage. Next, it describes form and model theory for production of composite parts. At last, it describes technology of vacuum infusion and its usage in railway industry. The goal of a practical part is production of the vacuum infusion. That contains creating, testing and appraising samples, which leads into production of locomotive hood prototype.

Keywords: vacuum infusion, railway industry, fiberglass, hood locomotives

Rád bych poděkoval vedoucí mé práce doc. Ing. Soně Rusnákové, Ph.D. za odborné vedení, cenné rady, připomínky a čas strávený při konzultacích mé diplomové práce.

Dále bych chtěl poděkovat Ing. Vladimíru Rusnákovi za odborné vedení a čas strávený při vypracovávání praktické části a firmě FORM s.r.o., která mě umožnila diplomovou práci vypracovat.

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

OBSAH

ÚVOD	11
I TEORETICKÁ ČÁST	12
1 POLYMERNÍ KOMPOZITNÍ MATERIÁLY	13
1.1 DEFINICE A HISTORIE KOMPOZITNÍCH MATERIÁLŮ	13
1.2 POLYMERNÍ KOMPOZITNÍ MATERIÁLY.....	14
1.2.1 Vlastnosti polymerních kompozitních materiálů	14
1.2.2 Výhody polymerních kompozitních materiálů.....	14
1.2.3 Nevýhody polymerních kompozitních materiálů	15
1.2.4 Možnosti uplatnění v dopravním průmyslu	15
1.2.4.1 Automobilový průmysl	15
1.2.4.2 Letecký a kosmický průmysl.....	16
1.2.4.3 Lodní doprava	17
1.2.4.4 Železniční doprava.....	18
2 FORMY PRO VÝROBU KOMPOZITNÍCH MATERIÁLŮ	19
2.1 AKTUÁLNÍ STAV VÝROBY FOREM PRO KOMPOZITNÍ MATERIÁLY	19
2.2 POSTUP A REALIZACE VÝROBY FORMY	20
2.3 FORMY	20
2.3.1 Materiály forem.....	21
2.3.1.1 Kompozitní (laminátové).....	21
2.3.1.2 Kovové formy	21
2.3.1.3 Ostatní materiály	21
2.3.2 Formy ze sklolaminátů	22
2.3.2.1 Postup výroby formy ze skelných vláken na model:.....	24
2.4 MODELÝ.....	25
2.4.1 Materiály modelů	25
3 TECHNOLOGIE VAKUOVÉ INFUZE	26
3.1 PRINCIP VAKUOVÉ INFUZE	26
3.2 VLASTNOSTI, POUŽITÍ, VÝHODY A NEVÝHODY VAKUOVÉ TECHNOLOGIE.....	27
3.2.1 Vlastnosti.....	27
3.2.2 Použití	27
3.2.3 Výhody	28
3.2.4 Nevýhody	28
3.3 POPIS A POSTUP PŘI VAKUOVÉ INFUZI	28
3.4 DARCYHO ZÁKON PRO KOMPOZITNÍ MATERIÁLY	31
3.4.1 Vliv strategie postupu při vakuové infuzi	33
3.5 PŘEHLED A VÝZNAM POMOCNÝCH MATERIÁLŮ	34

4	POŽADAVKY NA MATERIÁLY PRO ŽELEZNIČNÍ PRŮMYSL.....	40
4.1	MATERIÁLOVÉ POŽADAVKY	40
4.2	APLIKACE V ŽELEZNIČNÍM PRŮMYSLU.....	42
II	PRAKTICKÁ ČÁST.....	43
5	CÍLE DIPLOMOVÉ PRÁCE	44
5.1	NÁVRH A ZDŮVODNĚNÍ VÝBĚRU TECHNOLOGIE PRO VÝROBU KAPOTY LOKOMOTIVY NA ZÁKLADĚ ZADANÝCH TECHNICKÝCH SPECIFIKACÍ	45
5.2	NÁVRH A VÝBĚR MATERIÁLŮ PRO SAMOTNOU INFUZI.....	45
5.2.1	Výstužný materiál.....	45
5.2.2	Matrice	47
5.2.3	Technologické materiály	48
6	VÝROBA VZORKŮ PRO EXPERIMENTOVÁNÍ TESTOVÁNÍ VLASTNOSTÍ VZORKŮ.....	51
6.1	VZOREK Č. 0.....	52
6.2	VZOREK Č. 1.....	53
6.3	VZOREK Č. 2.....	54
6.4	VZOREK Č. 2 – OPAKOVANÝ	55
6.5	VZOREK Č. 3.....	57
6.6	TESTOVÁNÍ VZORKŮ	58
6.6.1	Stanovení ohybových vlastností.....	58
6.6.2	Zkouška požární odolnosti polyesterového skelného laminátu.....	61
6.6.3	Stanovení obsahu textilního skla a minerálního plniva – kalcinační metoda	65
6.6.4	Stanovení hořlavosti metodou kyslíkového čísla	67
6.7	PRŮRAZOVÉ ZKOUŠKY.....	68
6.7.1	Rázová zkouška na rázovém hmotnostním přístroji	68
6.7.2	Průrazová zkouška VTÚSP Slavičín.....	70
6.8	VOLBA OPTIMÁLNÍ SKLADBY MATERIÁLŮ PRO VÝROBU PROTOTYPU KAPOTY.....	74
7	VÝROBA POKUSNÉHO VZORKU.....	76
8	NÁVRH TECHNOLOGICKÝCH PODMÍNEK VAKUOVÉ INFUZE PRO VÝROBU KAPOTY	79
8.1	TECHNOLOGICKÉ PODMÍNKY	80
9	EXPERIMENTÁLNÍ VÝROBA PROTOTYPU KAPOTY LOKOMOTIVY	82
9.1	EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ VÝROBY KAPOTY LOKOMOTIVY	85
9.1.1	Výpočet nákladů na výrobu kapoty pomocí ruční laminace	85
9.1.2	Výpočet nákladů na výrobu kapoty pomocí vakuové infuze.....	86
9.1.3	Vyhodnocení	87
10	VÝVOJ KOMPOZITŮ A INFUZNÍCH TECHNOLOGIÍ.....	89
11	DISKUZE DOSAŽENÝCH VÝSLEDKŮ.....	91

11.1	STANOVENÍ OHYBOVÝCH VLASTNOSTÍ	91
11.2	ZKOUŠKA POŽÁRNÍ ODOLNOSTI	94
11.3	STANOVENÍ OBSAHU SKLA KALCINAČNÍ METODOU	94
11.4	STANOVENÍ KYSLÍKOVÉHO ČÍSLA	95
11.5	RÁZOVÁ ZKOUŠKA NA PADOSTROJI	96
11.6	PRŮRAZOVÁ ZKOUŠKA VTÚSP SLAVIČÍN	97
	ZÁVĚR	98
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	100
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	104
	SEZNAM OBRÁZKŮ	105
	SEZNAM TABULEK	107
	SEZNAM GRAFŮ	109
	SEZNAM PŘÍLOH	110

ÚVOD

Kompozitní materiály prodělávají v posledních třech desetiletích významný progres. Nárůst využití kompozitů jde ruku v ruce s vývojem nových kombinací materiálů, nebo vylepšení stávajících kombinací. Kompozity nacházejí uplatnění v mnoha průmyslových odvětvích, ale tato práce se zaměřuje na dopravní, konkrétně železniční průmysl.

Hlavním důvodem proč kompozity čím dál více nacházejí uplatnění v železničním průmyslu je fakt, že komponenty z těchto materiálů mají velmi nízkou hmotnost v porovnání se zavedenými materiály, přičemž jsou srovnatelné z hlediska tuhosti a pevnosti. Také lze vytvořit směrově orientované vlastnosti. Hlavní překážkou v hromadném využití kompozitů v železničním průmyslu je počáteční vysoká cena při konstrukčním návrhu a zavádění výroby.

Podle světových dopravních výrobců jsou železniční a automobilový průmysl posledními odvětvími, ve kterých se kompozitní materiály teprve začínají masově používat. V kosmickém, leteckém i lodním průmyslu už kompozitní materiály našly svoje široké využití.

Stěžejní téma této diplomové práce, tedy vakuová infuze je specifická výrobní technologie, která je náročná při zavádění do praxe jak na počáteční náklady, tak i na zkušenosti v celém výrobním procesu. Proto byly v diplomové práci velmi důležité obě části práce. V teoretické části bylo důležité získat teoretické poznatky a poté je v praktické části převést do praxe.

Teoretická část na svém začátku obecně popisuje kompozitní materiály a jejich využití v průmyslu, ale poté už se specializuje na témata s ohledem na praktickou část. To zahrnuje modely a formy pro výrobu kompozitních materiálů. Poté už je popsána vakuová infuze a technologické materiály, které se u této technologie používají. Nakonec jsou popsány požadavky a využití kompozitních materiálů v železničním průmyslu.

Praktická část byla vypracována ve spolupráci s firmou FORM s.r.o. se sídlem ve Střelné, která celou diplomovou práci zaštitila. Zde byla provedena výroba všech vzorků i prototypů a také zde byly provedeny některé zkoušky vzorků. Stěžejní částí praktické části byla výroba prototypu kapoty pro lokomotivu technologií vakuové infuze.

I. TEORETICKÁ ČÁST

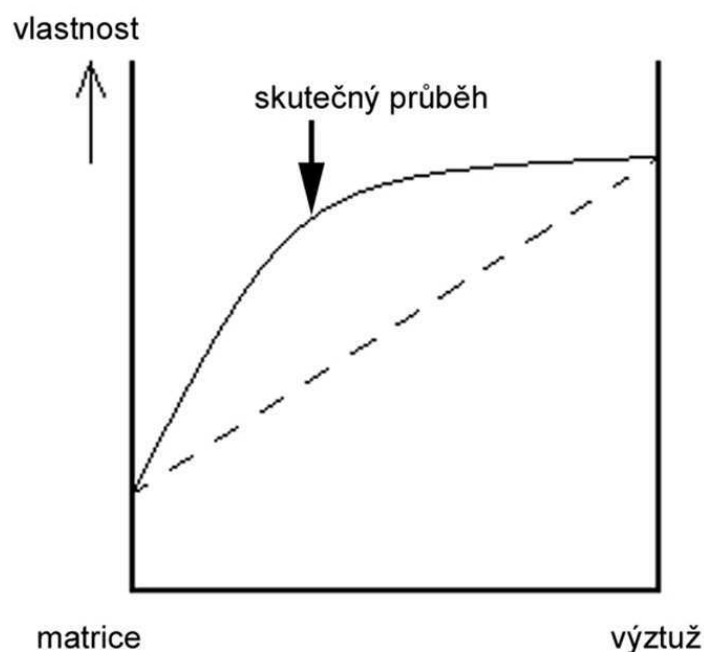
1 POLYMERNÍ KOMPOZITNÍ MATERIÁLY

1.1 Definice a historie kompozitních materiálů

Kompozit lze definovat jako materiál, který se skládá ze dvou a více složek tvořící heterogenní materiál. Tyto složky se vzájemně liší svými mechanickými, fyzikálními a chemickými vlastnostmi. Obecně se kompozitní materiál skládá ze spojitě a nespojitě fáze. Spojitá fáze se nazývá matrice a v kompozitní struktuře je jejím hlavním úkolem zastávat funkci pojiva. Nespojitá fáze se nazývá výstuž a v kompozitu má funkci vystužující.

U kompozitních materiálů platí, že při kombinaci vlastností matrice a pojiva je účinek větší, než účinek při součtu těchto dvou složek samotně. Tento jev se nazývá synergismus a vede k získávání nových materiálů. [1]

V současné době existuje velké množství různých kombinací, a to jak fázi pojící, tak i vystužující. Toto odvětví se dynamicky rozvíjí, protože neustále vznikají nové modifikace stávajících kompozitních materiálů. [33]



Obr. 1 Synergismus [2]

Historie kompozitních materiálů je o hodně delší, než si v dnešní době veřejnost myslí, protože kompozitní materiály prodělávají největší rozvoj od druhé poloviny dvacátého století. Ale je známo, že kompozitními materiály se používaly ve starém Egyptě, a to jako

cihly (matrice – jíl, pojivo – organická látka, např. sláma). V železničním průmyslu, kterého se z největší části týká praktická část, byl největší vývoj zaznamenán v posledních třech desetiletích. [3]

1.2 Polymerní kompozitní materiály

Tyto materiály lze definovat jako polymery, které jsou vystuženy vlákny. Materiál vláken může být například uhlík, sklo, aramid, atd. Polymerní matrice může být trojího druhu, to znamená buďto termoplastická (polypropylen, polyamid, polykarbonát), rekatoplastická (např. nenasycený polyester, epoxid), nebo elastomerní (sesíťovaný styren-butadien, akrylonitril-butadien).

1.2.1 Vlastnosti polymerních kompozitních materiálů

Vlastnosti kompozitních materiálů poukazují na perspektivu těchto materiálů nejen pro strojírenství, ale i ostatní odvětví. Základní vlastností kompozitního materiálu je malá hmotnost kompozitních součástí při zachování vysokých hodnot mechanických vlastností. Kompozity se mohou vyrovnat i ocelím z hlediska mechanických vlastností. Dalšími důležitými vlastnostmi je možnost tlumit rázy, výrazné zvýšení životnosti, bezpečnosti konstrukce a menší požadavky na údržbu. Důležitou vlastností a zároveň výhodou je možnost kombinovat matrici a výstuž s ohledem na požadované konečné vlastnosti navrhovaného dílu. Na rozdíl od ocelí kompozit může být anizotropní materiál, pokud se to požaduje. To znamená, že součást má různé vlastnosti v různých směrech.

U polymerních kompozitů se používají dva typy vláken rozdělených podle délky:

- Krátká vlákna (poměr délky/průměru – $L/D < 100$)
- Dlouhá vlákna (poměr délky/průměru – $L/D > 100$)

Kompozity vystužené dlouhými vlákny se používají na rozměrově velké konstrukce, jako například lopatky větrných elektráren, části lodí, komponenty v dopravním průmyslu, atd. [4], [5]

1.2.2 Výhody polymerních kompozitních materiálů

- Vysoká pružnost při deformaci
- Velká pevnost a tuhost, kterou lze přizpůsobit směru a druhu zatížení

- Vysoká možnost přizpůsobení každému tvaru
- Velká odolnost proti dynamickému namáhání při vysokém mechanickém tlumení
- Nízký součinitel délkové teplotní roztažnosti
- Odolnost proti stárnutí a korozi
- Velká možnost kombinovat různé druhy matrice a výstuže, vytvoření „výrobku na míru“
- Velké snížení hmotnosti proti ocelovým výrobkům [6]

1.2.3 Nevýhody polymerních kompozitních materiálů

- Neexistuje standardizovaný kompozit z důvodu velkého množství možností kombinace matrice a výstuže
- Nelze přesně odhadnout chování kompozitního materiálu (nelze jednoduše sečíst vlastnosti jednotlivých složek)
- Složitá zkoušení materiálu (pokud je podmínkou nedestruktivní zkouška)
- Malá mez pevnosti v tahu ve směru kolmém vzhledem k orientaci vláken (trhlíny, oslabené spojení vlákna a matrice)
- Složitá oprava a obrábění kompozitních materiálů po vyrobení [7]

1.2.4 Možnosti uplatnění v dopravním průmyslu

Kompozitní materiály v dnešní době nacházejí uplatnění téměř v každém odvětví průmyslu. V dopravním průmyslu se to týká všech způsobů dopravy, tedy automobilového, železničního, leteckého i lodního. Kosmický průmysl se sem řadí také, i když do dopravního průmyslu patří jenom okrajově.

1.2.4.1 Automobilový průmysl

V tomto dopravním odvětví se z kompozitních materiálů vyrábí například přístrojové desky, nápravy, části karosérií, nárazníky, kryty světlometů, hnací hřídele, sedadla, kokpity,...

V automobilovém průmyslu se kompozity využívají kvůli mechanickým vlastnostem a kvůli snižování hmotností jednotlivých součástí a tím pádem i celého automobilu. Z těchto

důvodů je velký podíl kompozitů ve sportovních automobilech. Konkrétně například kapoty automobilů (viz. obr. 2) [5]



Obr. 2 *BMW R3 CRT* [6]

1.2.4.2 Letecký a kosmický průmysl

Tyto dva obory byly první, kde se kompozitní materiály začaly uplatňovat. I v dnešní době se velké procento inovací v oblasti kompozitních materiálů používá v leteckém a kosmickém průmyslu. Je to opět z důvodu snižování hmotnosti, z čehož vyplývá snižování spotřeby paliva. Nejnovější vyvinuté kompozity se využívají ve vojenství, to znamená z největší části v letectví. Jako příklad využití ve vojenském průmyslu je fakt, že kompozitní materiál dokáže z části pohltit radarové vlny.

V dopravním letectví se kompozitní materiály uplatňují na vrtule, křídla, radarovou techniku, trupy letadel, ale i na interiér (např. sedadla, vnitřní obložení, palubní mechanismy, atd.). [5]



Obr. 3 Materiálové složení letadla Boeing 787 Dreamliner [7]

1.2.4.3 Lodní doprava

Zde našly kompozity uplatnění díky své nízké hmotnosti, tudíž nižšího ponoru. Největší použití mají v lodní dopravě uhlíková vlákna, které se vyznačují odolností vůči slané vodě.

Použití je u sportovních, vojenských i dopravních lodí. Konkrétně pak na trupy, paluby i stožáry. [5]



Obr. 4 Výzkumná loď M80 Stiletto [8]

1.2.4.4 Železniční doprava

V železniční dopravě z hlediska důvodů použití tomu není jinak, než v předchozích uvedených odvětvích. Hlavním hlediskem je snižování hmotnosti (nejen samotná hmotnost, ale i snadnější manipulace) a výborné mechanické vlastnosti (vysoká tuhost a pevnost, nehořlavost, atd.). Další velkou výhodou a zároveň vlastností je malá potřeba údržby. Použití je velmi široké jak na lokomotivy, tak i na vagony. Konkrétně je to celá hrubá stavba, přední i zadní čelo, přední, zadní panel osvětlení, obložení stropů i stěn, interiérové kompozity, palubové desky, atd. [5]



Obr. 5 Použití kompozitních kapot na vlakové soupravě [9]

2 FORMY PRO VÝROBU KOMPOZITNÍCH MATERIÁLŮ

Forma je obecně komponent důležitý pro výrobu. Dutina má tvar budoucího výrobku. U forem pro odlévání, nebo vstřikování se počítá se smrštěním a forma je o míru smrštění zvětšená. U forem na výrobu kompozitních materiálů se smrštění pohybuje v rozmezí 1-2%. Formy pro výrobu kompozitních součástí se dělí na jednodílné (otevřené) a dvoudílné (uzavřené).

2.1 Aktuální stav výroby forem pro kompozitní materiály

V současné době je jedním z nejhlavnějších faktorů pro výběr formy průsečík požadavků mezi konečnými požadavky na výrobek a vybavení, náklady na výrobu a časovou náročnost. Hlavním faktorem, podle kterého se volí typ formy, je sériovost výroby, to znamená například odhadovaná roční produkce. Z hlediska přesnosti forem je důležité, aby byly zajištěny minimální tvarové odchylky a také rozměrová přesnost jednotlivých dílů. V opačném případě se potom vyskytují problémy při montáži. [10]

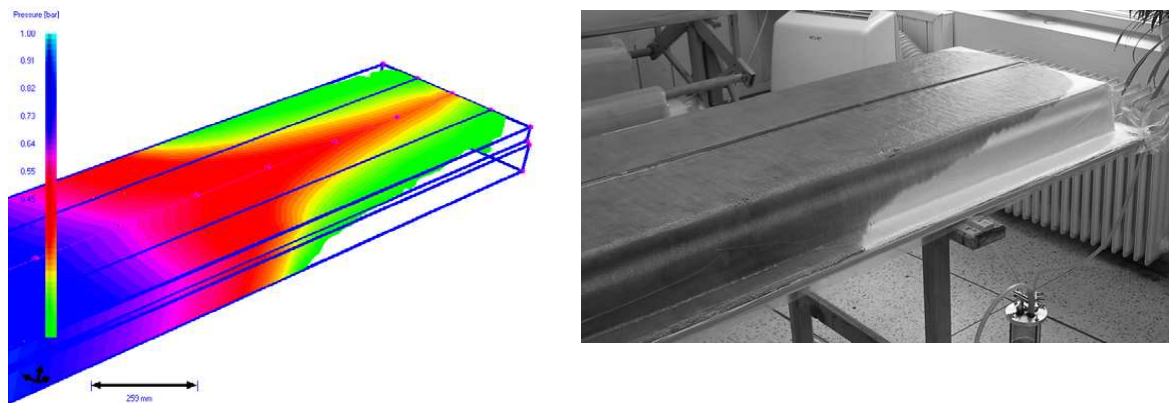
Co se týká výroby modelů, tak v poslední době je velmi moderní metodou Rapid Prototyping. Znamená to vytvoření požadovaného modelu pomocí počítače, včetně možnosti simulace funkcí a vlastností. Většinou se jedná o velmi tvarově složité výrobky, které by bylo nákladné a náročné vytvořit konvenčními způsoby výroby. Pod termín Rapid Prototyping patří několik technologií, z nichž nejznámější jsou LOM – Laminated Object Manufacture a stereolitografie. Tyto technologie v podstatě pracují na principu postupného přidávání a následného lisování a lepení vrstev, respektive postupného vytvrzování jednotlivých vrstev pomocí UV laseru. Materiál modelu bývá ABS, polyester, vosk, papír, tekuté pryskyřice, atd. [11]



Obr. 6 Příklad výroby prototypu pomocí technologie Rapid Prototyping [47]

2.2 Postup a realizace výroby formy

Zadaný budoucí výrobek se nejprve vymodeluje ve 3D a 2D softwaru. Dle požadavků se potom vytvoří model, který se následně používá pro výrobu. Následně se používá metoda konečných prvků (MKP), která slouží k optimalizaci výroby. MKP je verifikační metoda, kterou se ověřují mechanické vlastnosti, deformace, vnitřní napětí, stabilita, prosycování vrstvy pojiva (rychlost, čas, atd.). [12]



Obr. 7 Výroba silnostěnné kompozitní součásti [13]

Na základě výše daných informací (2D, 3D, MKP) se vyrobí prototypová forma. V dnešní době se na výrobu forem využívá CNC strojů, nebo obráběcích center z důvodu centralizace výroby, což má výhodu z hlediska úspory času a financí. Po obrobení následuje dokončení a separace formy. [12]

2.3 Formy

Výroba forem se odvíjí od několika následujících kritérií:

- Velikost formy
- Složitost a členitost geometrie
- Přesnost a kvalita povrchu
- Maximální limit nákladů
- Požadovaná trvanlivost: počet vyrobených kusů

Nároky na formu zejména při ručním kladení a vakuové infuzi:

- Nízká hmotnost z důvodu manipulace s formou
- Rozměrová stálost při teplotách okolo 80 °C
- Mobilní provedení [10]

2.3.1 Materiály forem

2.3.1.1 Kompozitní (laminátové)

- Používají se pro středně velké série
- Používají se pro velkorozměrné a tvarově složité součásti
- Vyznačují se nízkou hmotností při zachování velmi dobré pevnosti
- Laminátová forma se většinou upíná do kovové konstrukce pro zvýšení tuhosti
- Laminátové formy se vyrábějí podle modelu součásti (model je vždy nutný)
- Kompozitní formy jsou levnější než kovové, ale musí se počítat s výrobou modelu

2.3.1.2 Kovové formy

- Používají se pro velké série a vyznačují se velkou životností
- Největší odolnost proti vysokým tlakům a teplotním změnám
- Vysoká kvalita povrchu
- Možnost zabudování ohřevu
- Vyšší cena než u kompozitních forem
- Vyšší hmotnost oproti kompozitním formám, složitá výroba velkorozměrných a tvarově složitých součástí

2.3.1.3 Ostatní materiály

- Nejčastěji používané materiály jsou dřevo, polyuretan, silikon, polystyren
- Jedná se o prototypové formy [10]



Obr. 8 Forma pro výrobu kompozitních součástí [12]

2.3.2 Formy ze sklolaminátů

Kompozitní formy vyrobené ze sklolaminátů jsou v současné době nejčastěji používané. Je to z důvodů ekonomických a pevnostních. Z ekonomického hlediska je forma ze skelných vláken mnohem levnější než ocelová. Výrobky z kompozitů mohou dosahovat rozměrů i několik desítek metrů. A pro takové velkorozměrové výrobky jsou formy ze sklolaminátů velmi vhodné. Tyto formy vykazují velmi dobré mechanické vlastnosti a jsou dostatečně tuhé. Jejich oblast použití jsou středně velké série. Samozřejmě co do životnosti se s ocelovými formami nemohou kompozitní rovnat. Výhodou kompozitních forem je velká úspora hmotnosti, z toho pramení snadnější manipulace.

Postup výroby je takový, že na začátku výroby musí být k dispozici model výrobku. Ten musí odpovídat finálnímu výrobku jak tvarem, tak i rozměry. Materiál modelu se volí podle požadované životnosti, tedy kolik forem se z jednoho modelu bude moct vyrobit.



Obr. 9 Model (prototyp) budoucího výrobku [44]

Každá tvarová chyba, nebo nerovnost povrchu se přenesou na formu a poté na samotný výrobek. Pokud musí být forma dělená, dělicí rovina se volí v nejširším místě součásti. Na každé formě, která bude sloužit k výrobě pomocí vakuové infuze, musí být po obvodu vyrobena příruba. Její velikost se volí minimálně 15 cm. Příruba funguje jako místo pro instalaci pomocných (technologických) vrstev, jako je spirálová hadička, odtrhová tkanina a vakuová fólie. Dále tam bývá zahrnuta rezerva pro ořezání hotové součásti. Pokud je forma dělená, tak se příruba používá pro spojení těchto dvou částí.

Formy pro vakuovou infuzi musí být dostatečně tuhé, aby zajistily držení tvaru během laminace. Čím větší jsou požadavky na hotový výrobek, tím pevnější forma musí být. Mezi tyto požadavky patří tloušťka a tuhost laminátu, velikost formy a přesnost konečného výrobku. Co se týká povrchu formy pro vakuovou infuzi, musí být vzduchotěsný a dostatečně hladký, aby bylo zabráněno lepení k laminátu. Každý výrobek je konstruován tak, aby spodní část (vrstva nejbližší k formě) měla drsný povrch oproti hladkému povrchu formy.

Při infuzi různých druhů matric je také potřeba počítat se smrštění matrice při vytvrzování. Míra smrštění se pohybuje průměrně kolem 1%, ale ve výsledku to jsou 2%, protože smrštění nastává jak u výroby formy, tak i při výrobě finálního kusu.

Formy se všeobecně dělí na rovinné a zakřivené. Zakřivené se dále dělí na vnitřní a vnější.

- a) Vnitřní (anglicky female) – jsou konkávní, tedy vyduté směrem dovnitř.
- b) Vnější (anglicky male) – jsou konvexní, tedy vyduté směrem ven [38]

2.3.2.1 Postup výroby formy ze skelných vláken na model:

a) Příprava modelu

- Je-li model porézni, je nutné nejdříve na povrch modelu nanést vrstvu epoxidového tmelu
- Poté se na povrch modelu nanáší několik vrstev přípravků (směs glazury a nátěrových hmot) pro dosažení vysokého lesku a také pro vyrovnání všech nerovností a odstranění povrchových vad, jako jsou rýhy, vrypy, atd.
- Po těchto procesech je povrch jemně broušen a vyleštěn
- Poté je povrch natřen separačním činidlem, čímž se usnadní odformování

b) Nanesení gelcoat

- Nanáší se proto, aby povrch formy byl odolný proti poškrábání
- I když to není nezbytné, při výrobě formy se mohou nanést dvě vrstvy gelcoat
- Tloušťka bývá 0,5 mm

c) Kladení vrstev

- Tyto typy forem se vyrábějí ručním kladením
- Počet vrstev se volí podle požadavků na pevnost a tuhost formy

d) Odformování

- Oddělí se od sebe model a forma

e) Příprava formy

- Obdobné, jako u přípravy modelu [39]

2.4 Modely

Model je nedílná součást při výrobní technologii, podle které se vyrábí jak forma, tak i hotová součást. Model má tvar negativní geometrie výsledné formy. Při navrhování je nutné počítat s rozměrovými přídávky, a to v případě, že se povrch formy bude obrábět. U modelů, podle kterých se vyrábí kompozitní formy, se povrch modelu lakuje a nanáší se separační činidlo z důvodu snadného odformování.

2.4.1 Materiály modelů

- Dřevo
- Polystyrén
- Sádra
- Blokované materiály (odlitky desek z polyuretanových a epoxidových matic)
- Tenké plechy [10]



Obr. 10 Model pro výrobu formy [14]

3 TECHNOLOGIE VAKUOVÉ INFUZE

Proces vakuové infuze (VIP – vacuum infusion proces) je technika, která využívá vakuum a atmosférický tlak k distribuci matrice do formy. V podstatě se jedná o vylepšení technologie ručního kladení, nebo stříkání. Výstuž se vkládá v suché formě do připravené formy. Vakuum je vytvořeno těsně před transportem matrice do formy.

Modifikace a způsoby označování vakuových technologií:

VFI – vacuum foil infusion

VPI – vacuum proces infusion

CVI – Controled vacuum infusion

SCRIMP – Seeman Composite Resin Infusion Moulding Process

VBM - Vacuum Bag Mouldning

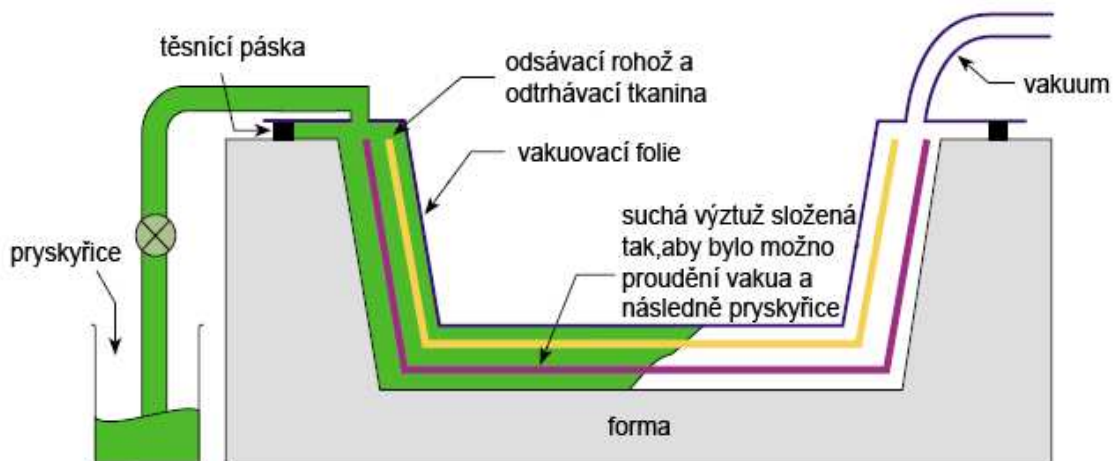
DBI – Double bag infusion

RI – Resin infusion

Všechny tyto zkratky různých výrobních technologií jsou založeny na principu vytvoření vakua před přivedením matrice do formy. [15]

3.1 Princip vakuové infuze

Suché pojivo se postupně klade do připravené dutiny formy. Na tuto výstuž se dále kladou technologické, respektive pomocné vrstvy (odtrhová tkanina, separační fólie, rozváděcí tkanina, vakuová fólie, atd.). Pomocí vakuové fólie se všechny materiály ve formě zlisují. Matrice je následně do formy transportována pomocí vakua a rozváděcí tkaniny. K prosycení suchých vrstev se využívá podtlaku a suchá výstuž se postupně smáčí matricí. Matrice se potom vytvrzuje při standardních atmosférických podmínkách. [16]



Obr. 11 Schéma technologie vakuové infuze [16]

3.2 Vlastnosti, použití, výhody a nevýhody vakuové technologie

3.2.1 Vlastnosti

Vlastnosti, které jsou dále uvedeny, jsou vždy ve srovnání s nějakou jinou technologií na výrobu kompozitů. V odborné literatuře bývá vakuová infuze většinou srovnávána s ručním laminováním, nebo stříkáním. U vakuové infuze se přebytečná matrice odsává z formy, což u ručního laminování, nebo stříkání není. Tím pádem vzniká lehčí výrobek s téměř stejnými mechanickými vlastnosti. Díky vakuové fólii je zabráněno emisi matrice do okolí, naproti ručním technologiím. Proces vakuové infuze eliminuje až 90% organických polyesterových sloučenin. [16]

3.2.2 Použití

Obecně lze říct, že se vakuová infuze používá tam, kde by ostatní metody byly pracné, nebo neúnosně nákladné. Také se kompozity používají u součástí zatížených pevnostně.

Technologie vakuové infuze se používá na:

- Paluby a trupy lodí
- Různé dílce pro kapotáž lokomotiv a vagonů
- Lopatky větrných elektráren
- Komponenty letadel

- Sendvičové struktury
- Sportovní a závodní automobily

3.2.3 Výhody

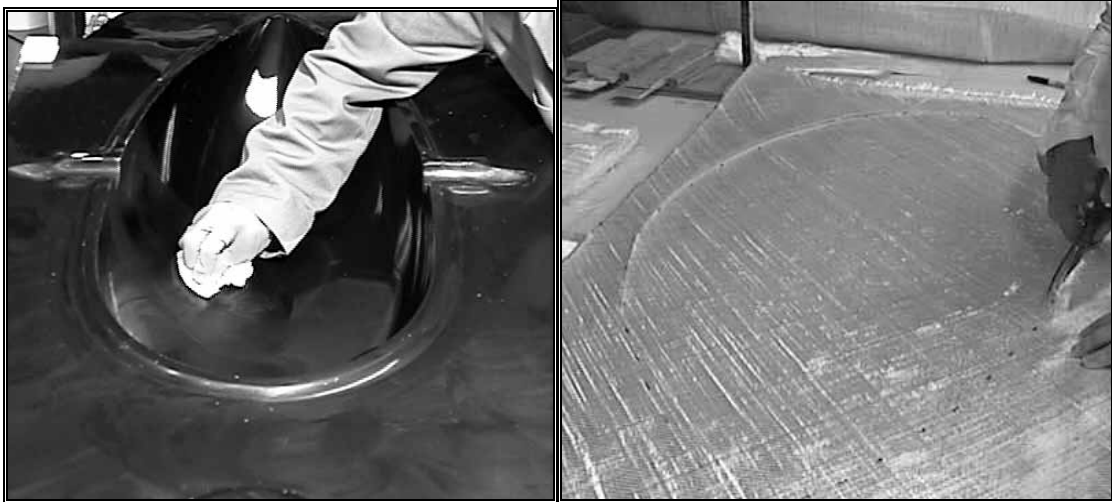
- Vhodné pro velkorozměrné výrobky
- Nízká hmotnost
- Výborné mechanické vlastnosti (vysoká tuhost a pevnost)
- Směrově orientované vlastnosti
- Velká variabilita volby matrice i výstuže, tím pádem možnost vytvořit specifické vlastnosti kompozitu a splnění specifických požadavků zákazníka
- Tepelná a chemická odolnost
- Elektrická a tepelná vodivost

3.2.4 Nevýhody

- Náročnost na zkušenosti obsluhy
- Vysoké náklady na výrobu
- Technologické materiály se po odformování stávají odpadem
- Obtížná recyklace
- Náročné na opravy [16]

3.3 Popis a postup při vakuové infuzi

Technologický postup je velmi důležitá podmínka pro získání konečných požadovaných vlastností a také z hlediska ekonomičnosti výroby. Proto je třeba volbě technologie a technologickému postupu věnovat patřičnou pozornost. Hlavní faktory, podle kterých se vybírá nejvhodnější technologie, jsou sériovost výroby, členitost a tvar výrobku, kvalita povrchu a požadavky na finální vlastnosti. Následně je v diplomové práci uveden popis a postup při technologii vakuové infuze. [16]



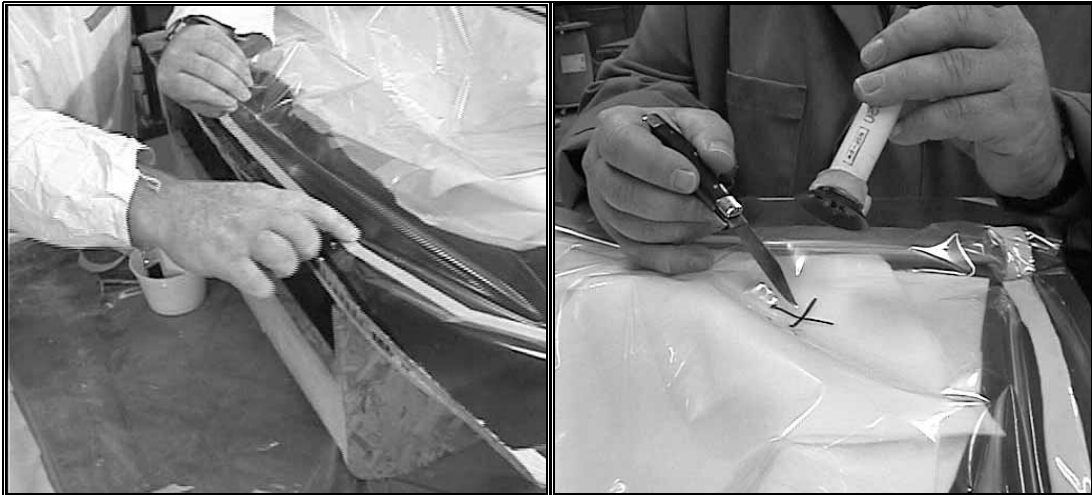
Obr. 12 Příprava formy a příprava výstuže [16]



Obr. 13 Nátěr gelcoatu a lepení těsnící pásky na formu [16]



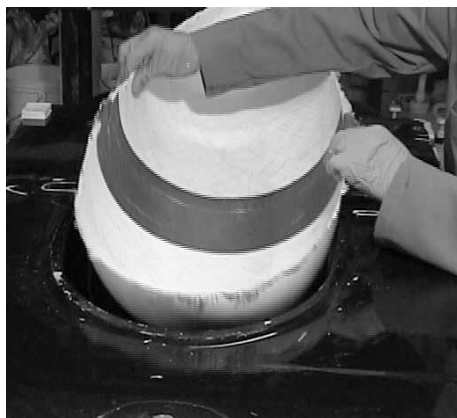
Obr. 14 Kladení suché výstuže do formy a kladení technologických vrstev [16]



Obr. 15 Aplikace vakuové fólie, instalace prostředků potřebných na vytvoření vakua [16]



Obr. 16 Vakuovací proces a kontrola a následný transport matrice do formy [16]



Obr. 17 Odformování výrobku [16]

3.4 Darcyho zákon pro kompozitní materiály

Při teoretické simulaci infuzních procesů se využívá Darcyho zákon. Zákon popisuje lineární vztah mezi lokální hustotou toku pojiva a tlakovým gradientem aplikovaným v přípravku. Tento empirický vztah popisuje tok matrice přes vláknovou výstuž. Zákon byl poprvé využit v geologii, kdy se zjišťoval tok a pohyb ropy v porézních horninách. Darcyho zákon se v současné době využívá hlavně pro technologie RTM (resin transfer moulding) a pro vakuovou infuzi. [13]

Darcyho zákon:

$$\frac{Q}{A} = -\frac{K \cdot \Delta p}{\eta \cdot L} \quad (1)$$

Tab. 1 Legenda pro Darcyho zákon [13]

Veličina	Jednotka	Popis	Veličina	Jednotka	Popis
Q	m ³ .s ⁻¹	Objemový průtok	Δp	l	Tlakový gradient
A	m ²	Plocha průtoku	η	Pa.s	Viskozita pojivého systému
K	m ²	Permeabilita výstuže	L	m	Penetrovaná délka

Zobecněný Darcyho zákon v 3D prostoru:

Pro silnostěnné kompozity se Darcyho zákon ve 3D prostoru zobecňuje ve tvaru:

$$u_i = -\frac{K_{ij} \cdot \delta p}{\eta \cdot \delta x_j} \quad (2)$$

Rovnici spjitosti, v tomto případě též zákon zachování hmotnosti lze uvést:

$$\frac{\delta u_i}{\delta x_i} = 0 \quad (3)$$

Následnou substitucí Darcyho zákona do rovnice spjitosti (3) lze dostat vztah, kde jedinou proměnnou je tlakový spád, respektive tlakový gradient média. Následující rovnice se využívá pro simulaci procesu metodou konečných prvků:

$$\frac{\delta}{\delta x_i} \left(K_{ij} \frac{\delta p}{\delta x_j} \right) = 0 \quad (4)$$

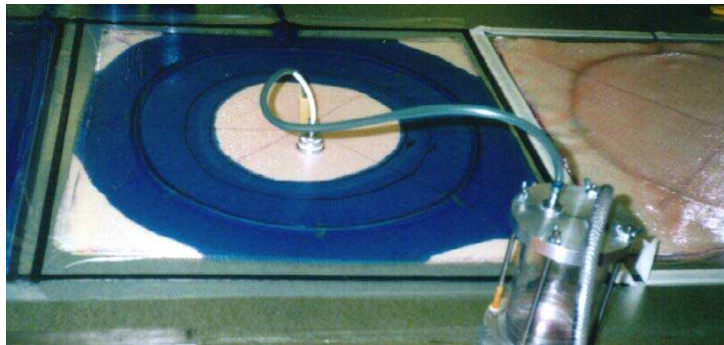
Infuzi také kromě permeability zásadně ovlivňuje strategie plnění. Následně je uveden vztah, který definuje vztah závislosti doby penetrace zkušební vzorku a parametrů technologického procesu:

$$t = C \frac{\eta \cdot L^2}{\Phi K \cdot \Delta p} \quad (5)$$

Konstanta C charakterizuje zvolené strategie infuze. V praxi se používají tři způsoby penetrace:

- a) Obvodové plnění – plnění směrem od obvodu do středu (platí pro čtvercový vzorek)

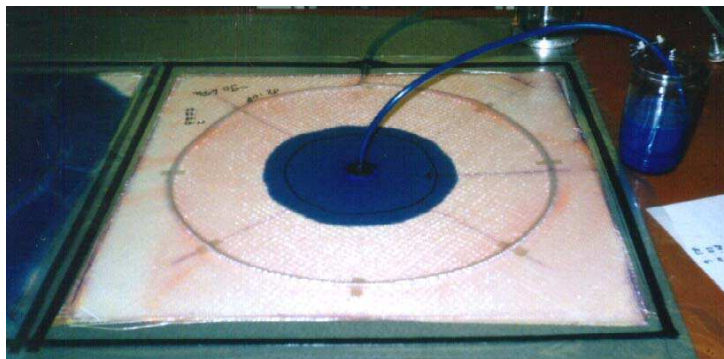
$$C = 1/16$$



Obr. 18 Příklad obvodového plnění [13]

- b) Centrální plnění – od středu k obvodu čtvercového vzorku

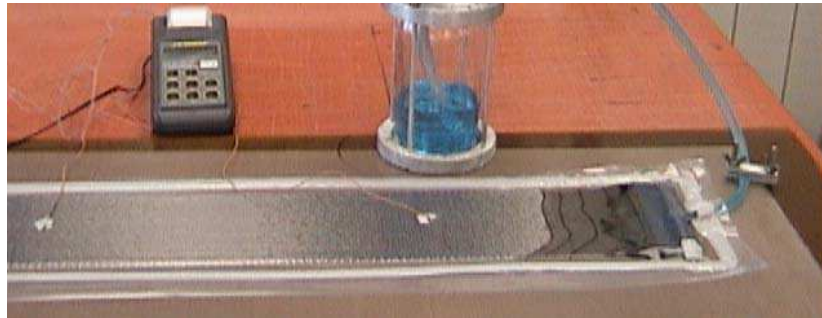
$$C = 0,0625 \left[\varepsilon^2 + 2 \ln \left(\frac{1}{\varepsilon} \right) - 1 \right]; \text{ kde } \varepsilon = \text{\textcircled{O}} \text{ plnicího vstupu} / \text{\textcircled{O}} \text{ zkušební vzorku}$$



Obr. 19 Příklad centrálního plnění [13]

c) Hranové plnění – od jedné hrany směrem ke druhé

$$C = 1/16 [13]$$



Obr. 20 Příklad hranového plnění [13]

3.4.1 Vliv strategie postupu při vakuové infuzi

Jak už bylo zmíněno v předchozí kapitole, v praxi se používají 3 metody plnění kompozitních materiálů. Při výběru strategie prosycování materiálu technologií vakuové infuze záleží hlavně na tvaru výrobku a jeho velikosti. Před samotným výrobním procesem existují dvě metody, podle kterých lze postupovat při volbě parametrů této technologie:

a) Metoda „pokus – omyl“

Při této metodě se využívá teoretických znalostí a získaných zkušeností. Pravdou je, že jen výjimečně je dosaženo optimálních výsledků napoprvé. U vakuové infuze na rozdíl od technologie RTM (resin transfer moulding) existuje jistá výhoda, která spočívá v tom, že díky průhledné vakuové fólii je na celý proces sycení dobře vidět. Takže je možná vizuální kontrola procesu a lze získávat zkušenosti a poznatky pro další pokusy. U technologie RTM se vady výrobku odhalí až po vyjmutí z formy.

b) Metoda simulace MKP

Metodou MKP (metoda konečných prvků) se dosahují přesné výsledky, podle kterých lze postupovat ve výrobním postupu. Existuje více programů, které dokážou simulovat infuzní procesy. Využití těchto programů je otázkou pro každou firmu. Na jedné straně je vysoká cena za licenci pro tyto programy, ale na straně druhé jsou velmi přesné výsledky, takže z velké části odpadá metoda zkoušení. Při simulaci výrobního procesu je potřeba co nejpřesněji zadat vstupní parametry. Celý proces simulace je uveden v následujícím textu:

Postup simulace:

1. Vstupní data

- Geometrie dílu (model), parametry výstuže (tloušťka, porosita, permeabilita), parametry pojiva (viskozita, hustota, závislost viskozita – hustota, závislost viskozita – teplota)

2. MKP – simulace v programu

3. Výstupní data – výsledky

- Poloha čelní vlny pojiva (funkce času), rozložení tlaku v pracovním prostoru, okamžitá rychlost pohybu pojiva, faktor zaplnění [13]

3.5 Přehled a význam pomocných materiálů

Použití pomocných materiálů je nezbytná podmínka pro proces vakuové infuze. Z velké části díky těmto materiálům se při vakuové infuzi dosahuje výborných vlastností. Oproti ručnímu laminování, nebo stříkání se u vakuové infuze dosahuje velkého snížení hmotnosti. Na druhou stranu tento pomocný materiál se po odformování stává těžko recyklovatelným odpadem.

Gelcoat

Tento materiál se používá k zajištění vysoké kvality povrchu pohledové části kompozitní součásti. Materiál gelcoatu z největší části může být buďto na bázi epoxidu, nebo polyesterové pryskyřice. Gelcoaty se nanášejí na dno dutiny formy. Většinou se používají dvě metody nanášení. Buďto ručně natíráním (u nepřístupných míst formy), nebo stříkáním. Při nanášení gelcoatu je důležité dodržovat bezpečnost práce, to znamená mít na sobě ochranné pomůcky (oděv, maska, brýle). [35], [36]



Obr. 21 Gelcoat nanesený na formě

Odrhová tkanina (Peel – Ply)

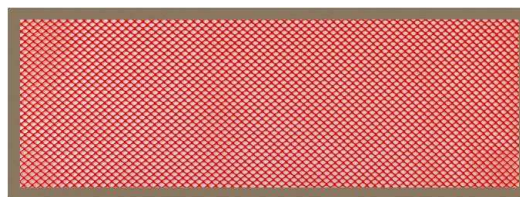
Je to obvykle nylonová tkanina. Klade jako první vrstva na suché výstuže. Po infuzním procesu pomáhá k oddělení všech pomocných materiálů od matricí prosycené výstuže. Odrhová tkanina je užitečná i při další výrobě, když je třeba na výrobku dále laminovat. Po odtržení zůstane na výrobku drsný povrch, který je nutný pro další laminaci. Vyrábí se hlavně z polyesteru, ale může být i z nylonu. Teplota použití se pohybuje od 180 °C do 290 °C. Jednotlivé tkaniny se také liší různou hustotou. [16], [37]



Obr. 22 Odrhová tkanina

Rozvodná tkanina (sít')

Slouží ke zrychlení distribuce matrice. Používá se z důvodu toho, že matrice teče pomalu a pouze díky působení vakua. Po prosycení přes rozvodovou tkaninu prudce klesá syčení pojiva. Vyrábí se z různých druhů polymerů, např. LDPE, HDPE, polypropylen, polyester, nylon, atd. Rozvodné tkaniny se dělí podle hustoty a pracovní teploty. Dle těchto kritérií se také volí nejvhodnější tkanina. Po infuzi se odtrhává a stává se z ní odpad. [16], [37]



Obr. 23 Rozvodná tkanina [37]

Rozvodový kánál (resintrak)

Plní obdobnou funkci jako rozvodová tkanina. Používá se na dopravu matrice do méně přístupných míst. Je to tenká pletená páska, která je velmi propustná a určuje linku tečení matrice. Materiál je 100% polyester. Po výrobě je s ostatními technologickými vrstvami odtržen jako odpad. [16], [37]



Obr. 24 Rozvodový kanál (resintrak)

Těsnící páska

Používá se jako těsnící materiál mezi formou a vakuovou fólií. Je to oboustranná páska, která je jednou stranou přilepena k formě a druhou vakuové fólii. Dále slouží k utěsnění prostoru mezi přívodní hadicí a konektorem RIC. Existuje více druhů těchto pásek, které se liší teplotou použití. [16]



Obr. 25 Těsnící páska

Hadice pro dopravu matrice a vytvoření vakua

Slouží k transportu matrice buďto do formy, nebo odvodu do rezervoáru. Hadice se liší průměrem a teplotou použití. Polyetylenové hadice se používají do 121 °C. Nylonové hadice až do 177 °C.

- a) Slouží k dopravě matrice a odvodu vzduchu, vyrábí se většinou z PE
- b) Spirálová hadice se používá k rozvodu matrice do hůře přístupných míst a k odsávání přebytečné matrice do rezervoáru [37]



Obr. 26 Druhy hadic u vakuové infuze

Konektor RIC (Resin infusion connector)

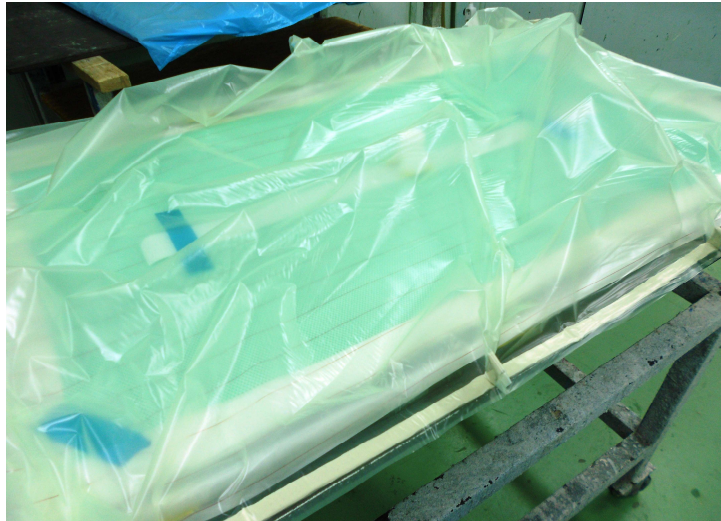
Slouží k propojení formy a přívodní hadice. Zároveň je to vtokové ústí do formy. Dělí se na nízkoteplotní a vysokoteplotní. Pro nižší teploty do 80 °C se používá konektor vyrobený z polyetylenu. Pro vyšší teploty do 180 °C je používá konektor vyrobený z nylonu. Liší se také velikostí jednotlivých konektorů. [37]



Obr. 27 Konektor RIC [37]

Vakuovací fólie

Je to průhledná fólie, která slouží k uzavření formy a rovnoměrnému rozložení tlaků na povrch kompozitní struktury. Fólie je flexibilní, odolná proti roztržení, odolná vůči matrici. Materiál může být polyetylen, polyamid nebo nylon. Pro vysoké teploty se používá PTFE. Výběr fólie závisí hlavně na typu použité matrice, teplotě a složitosti výrobku. Tloušťka fólie bývá maximálně 0,08 mm. Pracovní teploty se pohybují od 120 °C do 430 °C. Jednotlivé fólie se také liší hodnotou prodloužení při přetržení. [16], [37]



Obr. 28 Vakuovací fólie

Fixační lepidlo

Slouží k dočasnému zafixování materiálu

Vývěva – vakuová pumpa

Vytváří vakuum ve formě a čerpá matrici ze zásobníku do vývěvy

Rezervoár matrice

Je umístěn mezi formou a vývěvou, zabraňuje vniku matrice do vývěvy.



Obr. 29 Rezervoár matrice [37]

Zásobník matrice

Zde je matrice pod tlakem nasávána do formy ze zásobníku. Důležité je, aby transportní hadice byla neustále až do ztvrdnutí matrice ponořena. Do hadice se v žádném případě nesmí dostat vzduch, protože by výrobek obsahoval vzduchové bubliny.

Měřidlo podtlaku

Slouží ke kontrole podtlaku. Minimální hodnota, na které se tlak musí ustálit je 0,8 bar.



Obr. 30 Měřidlo podtlaku [37]

4 POŽADAVKY NA MATERIÁLY PRO ŽELEZNIČNÍ PRŮMYSL

V současné době se kompozitní materiály stávají stále důležitějším prvkem v konstrukci. Kompozity ve velké míře pronikly do leteckého, lodního i automobilového průmyslu, ale v železničním průmyslu je míra použití kompozitů zatím nejmenší. Lze ale říct, že postupem času nacházejí a budou nacházet své uplatnění i v tomto odvětví. Hlavní překážkou pro masové rozšíření jsou počáteční vysoké náklady na návrhy, výpočty a kontroly v simulačních programech, ale také suroviny a výroba kompozitních součástí. To má za následek, že výrobci v železniční dopravě zatím vyrábějí hlavně z konvenčních materiálů. V poslední době se výrobci kompozitů zaměřili také na zavedení kovů do svých produktů (ocel, hliník). [40]

4.1 Materiálové požadavky

V současné době existuje 8 hlavních požadavků na materiály v železničním průmyslu. Dá se říct, že jednotlivé požadavky popsané níže spolu přímo, či nepřímo souvisí.

1. Hmotnost

Snižování hmotnosti je jedním s hlavních požadavků, protože cena za energie neustále stoupá. Hmotnostní úsporou se následně dosahuje vyšších rychlostí vlaků, menšího opotřebenosti kolejnic, nižší setrvačnosti, snížení těžiště a tím pádem zvýšení stability. To všechno má za následek snižování nákladů na údržbu a opravy.

2. Mechanické vlastnosti

Kompozitní materiály se postupně dostávají na úroveň ocelí. Zatím ale se jim ve všech směrech nevyrovnaly, co se týká mechanických vlastností. Důvody využití kompozitních materiálů jsou trvanlivost, velmi dobré únavové vlastnosti, korozivzdornost, vysoká tuhost a pevnost a nárazové vlastnosti. Zejména při dynamickém namáhání kompozity za oceli zaostávají.

3. Bezpečnost

V dnešní době podléhá dopravní průmysl přísným bezpečnostním normám. Proto kompozity musí být vyrobeny s protipožárních materiálů. To vždy záleží hlavně na použité matici, která musí být odolná proti ohni, kouři a toxicitě. Také při havárii musí být eliminovány

ostré hrany. V současnosti se stále vyvíjejí nové bezpečné matrice. Dále také kompozity tlumí vibrace a hluk

4. Životnost

Zejména u velkých a nákladných dílů jsou požadavky na dlouhou životnost. Tuto vlastnost kompozity mají. Proti ocelím mají kompozity malé nároky na údržbu, ale na druhou stranu jsou velmi obtížné na opravu. Proto bývají hodně poškozené komponenty vyměněny.

5. Údržba

Jak už bylo zmíněno, požadavky na údržbu jsou u kompozitů velmi malé. Tyto materiály mají oproti ocelím mnohem vyšší odolnost proti korozi, proto nemusí být ošetřovány. Údržba se skládá z opravy škrábnutí, promáčknutí a grafitů. To se obvykle řeší barvivy a plnivy.

6. Ekologie

Výroba a použití kompozitních materiálů mají minimální dopad na životní prostředí. Proto je ekologická stránka jednou z velkých příčin, díky kterým použití kompozitů v železničním průmyslu bude získávat na významu.

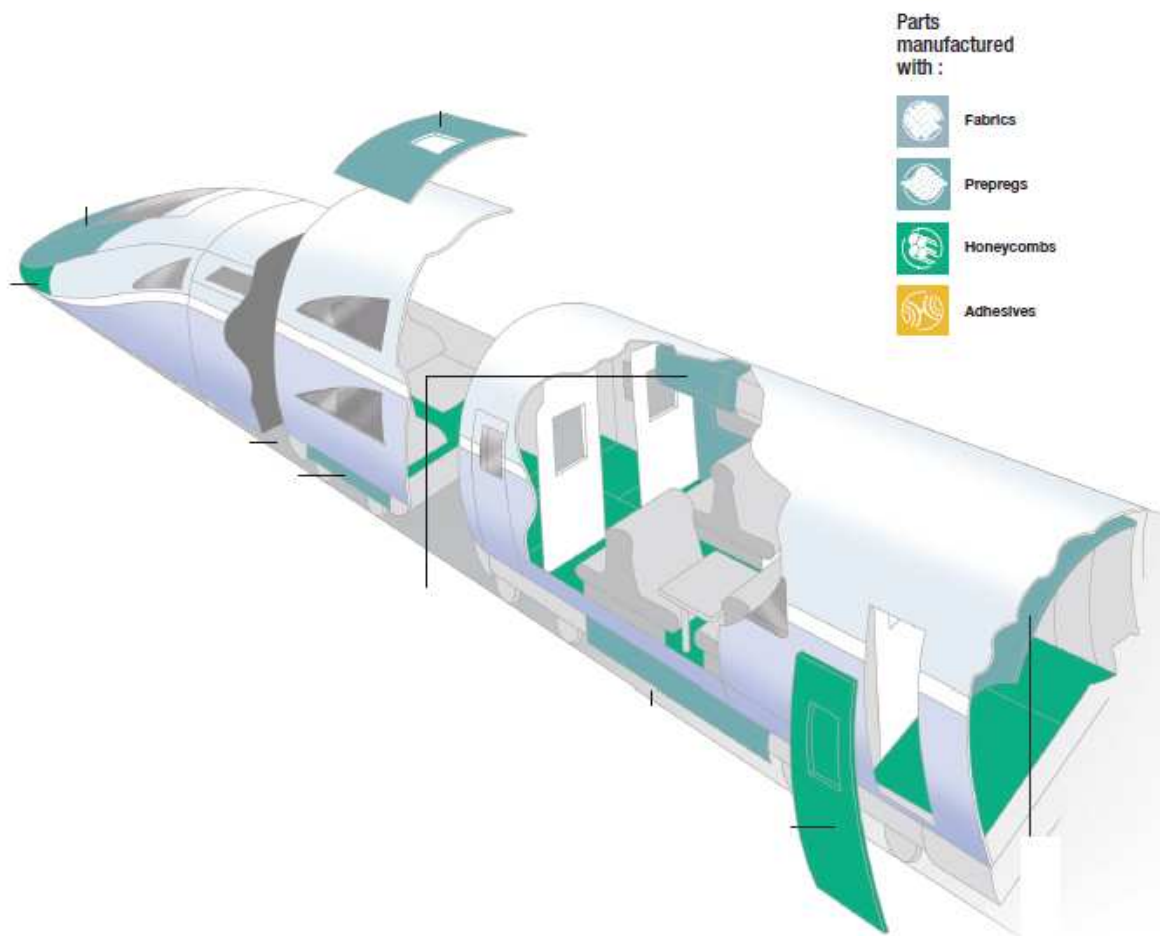
7. Tvarové vlastnosti

Komponenty z kompozitů mohou mít i složité tvary. Výroba tvarově složitých i velkorozměrných dílů není překážkou. Se zvyšováním rychlosti na železnicích jsou požadovány aerodynamické tvary. V interiérech je požadavek na estetiku, prostor a pohodlí pasažérů. Díky optimalizaci uložení a nízké hmotnosti toho lze dosáhnout.

8. Náklady

Všechny výše zmíněné požadavky výrobců a provozovatelů spojuje prvek nejdůležitější, a to jsou co nejnižší náklady. Jak už bylo řečeno, počáteční náklady na návrh, simulaci a výrobu kompozitů jsou vyšší než u výrobků z kovu. Ve fázi provozování jsou naopak náklady na energie a údržbu nižší u kompozitů. Lze tedy říct, že s dlouhodobé perspektivy se kovy a kompozity z hlediska nákladů vyrovnávají. [40], [41], [42], [43]

4.2 Aplikace v železničním průmyslu



Obr. 31 Příklady použití kompozitů firmou Hexcel [43]

- Dveře (hlavní i posuvné)
- Kapoty
- Interiéry (sedačky, kabina řidiče, obložení, úložné prostory, odkládací stolky)
- Podlahy
- Pouzdra brzdových ústrojí
- Vnější stropní panely
- Prahy, nárazníky [43]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

5 CÍLE DIPLOMOVÉ PRÁCE

Diplomová práce se zabývá experimentální výrobou a vývojem kapoty lokomotivy technologií vakuové infuze. Diplomová práce byla vypracována na základě zadání firmy FORM s.r.o. se sídlem ve Sřtelné, kde zároveň probíhala samotná výroba kapoty pod odborným dohledem zkušených pracovníku. Cíle diplomové práce se dají shrnout do následujících bodů:

I. Teoretická část

1. Literární přehled kompozitních materiálů, vlastnosti a aplikace
2. Přehled materiálů a zpracovatelských technologií pro výrobu forem a modelů v průmyslu kompozitních materiálů
3. Princip a rozdělení infuzních technologií, popis technologických materiálů a zákonitosti infuzních technologií
4. Uplatnění kompozitních materiálů v železničním průmyslu

II. Praktická část

5. Návrh a zdůvodnění výběru technologie pro výrobu konkrétního dílu – kapoty lokomotivy na základě zadaných technických specifikací
6. Návrh a výběr materiálu pro samotnou výrobu (tkanina, matrice, vzájemný poměr, technologické materiály)
7. Výroba vzorků pro experimentování, testování mechanických a bezpečnostních vlastností dle požadavků vedoucího práce (stanovení ohybových vlastností; zkouška požární odolnosti polyesterového skelného laminátu; stanovení hořlavosti metodou kyslíkového čísla; textilní sklo – vystužené prepregy (předlaminovaný laminát) lisovací směsi a lamináty – stanovení obsahu textilního skla a minerálního plniva – kalcinační metoda; průrazová zkouška – UTB; průrazová zkouška VTÚSP Slavičín)
8. Vyhodnocení dosažených výsledků a volba optimální skladby materiálu pro výrobu prototypu kapoty
9. Návrh technologických podmínek vakuové infuze pro výrobu kapoty, včetně způsobu plnění, gel-time, volba vtoku, umístění pomocných technologických materiálů

10. Výroba pokusného kontrolního vzorku vyrobeného na základě zkušeností a poznatků získaných u první kapoty
11. Experimentální výroba prototypu kapoty lokomotivy na základě stanovených podmínek, kontrola kvality povrchu s ohledem na výskyt suchých míst, pórovitosti, zpevnění rohů, prosycení celého povrchu kapoty
12. Navržení technologického postupu pro konkrétní kapotu na základě ověření při výrobě prototypu
13. Ekonomické zhodnocení, vývoj kompozitů a infuzních technologií
14. Diskuze dosažených výsledků a formulace závěru

5.1 Návrh a zdůvodnění výběru technologie pro výrobu kapoty lokomotivy na základě zadaných technických specifikací

Technologie vakuové infuze (VI) pro zadanou kapotu byla podmínkou firmy FORM s.r.o. při zadání této diplomové práce. Bylo to z důvodu toho, že firma měla zájem na vývoji této konkrétní technologie. Nutno dodat, že vakuová infuze (VI) není v České republice obzvláště rozšířená technologie výroby a to zejména v železničním průmyslu.

Z teoretického hlediska je VI nejvhodnější technologií pro výrobu velkorozměrných součástí. V praxi to znamená přibližně od 2 m². V porovnání s ostatními technologiemi by ruční kladení bylo neproduktivní, resin transfer moulding (RTM) není vhodná technologie pro velkorozměrné součásti (maximálně do 2 m²). Alternativou by mohlo být vakuové lisování prepregů, nebo ruční laminování, ale zde platí, že čím je výrobek větší, tím je tato technologie časově náročnější oproti VI. Navíc u lisování prepregů musí být forma odolná proti vyšším teplotám (130 – 180 °C).

5.2 Návrh a výběr materiálů pro samotnou infuzi

5.2.1 Výstužný materiál

Jako nejvhodnější materiál pro výrobu jak vzorků, tak i samotné tkaniny byla zvolena skelná tkanina, konkrétně E - sklo. Hlavním důvodem takového výběru byla ekonomika výroby, protože skelná vlákna jsou nejlevnější varianta. V současné době se skelná vlákna pou-

žívají v 90% výroby kompozitních výrobků. Skelná vlákna v současné době tvoří ideální kombinaci ceny a vlastností. Pro výrobu byly použity tři druhy multiaxiální tkaniny, které jsou popsány v následujících tabulkách. Dále jsou zde popsány vlastnosti pěny, která byla při výrobě kapoty využita jako jádro sendvičové struktury.

Tab. 2 Vlastnosti bidiagonální tkaniny (příloha 1)

Bidiagonální skelná tkanina	
Materiál	E – sklo
Uspořádání	-45°; +45°
Celková plošná hmotnost	988 g/m ²
Prošívání	PES 76 dtex

Pozn. PES – polyesterová vlákna, dtex – jednotka značící jemnost příze (hmotnost 10 km příze v gramech)

Tab. 3 Vlastnosti quadriaxiální tkaniny (příloha 2)

Quadriaxiální skelná tkanina	
Materiál	E – sklo
Uspořádání	0°; -45°; 90°; +45°
Celková plošná hmotnost	922 g/m ²
Prošívání	PES 76 dtex

Tab. 4 Vlastnosti triaxiální tkaniny (příloha 3)

Triaxiální skelná tkanina	
Materiál	E – sklo
Uspořádání	0°; -45°; +45°
Celková plošná hmotnost	839 g/m ²
Prošívání	PES 76 dtex

Tab. 5 Vlastnosti pěny Airex T90 (příloha 4)

Pěna Airex T90	
Materiál	Polyetylentereftalát (PET)
Dlouhodobá tepelná stabilita	Do 100 °C
Hustota	110 kg/m ³
Pevnost v tlaku kolmo k rovině	1,4 N/mm ²

5.2.2 Matrice

Při výběru matrice záleželo hlavně na dvou faktorech. Prvním faktorem byla bezpečnost matrice, to znamená, že matrice musela splňovat požadavky na požární odolnost. Konkrétně to byly vlastnosti zajišťující potlačení hořlavosti a minimalizace kouřivosti. Zkouška hořlavosti byla provedena a je vyhodnocena dále v diplomové práci.

Druhým faktorem výběru byla viskozita matrice. Cílem bylo dosáhnout prosycení tkaniny, jak přes tloušťku tkaniny, tak po celé ploše vzorků, nebo kapoty. Vybrané typy matrice a jejich vlastnosti jsou opět uvedeny v následujících tabulkách. Do této kapitoly je navíc přidán i gelcoat, protože má stejný materiálový základ jako vyjmenované druhy matrice.

Tab. 6 Vlastnosti matrice M850 (příloha 5)

Matrice DION FR 850-M850			
Materiál	Nenasycená polyesterová pryskyřice		
Viskozita	Kužel/deska	350 – 400 mPa.s (cP)	ISO 2884 - 1999
Doba zpracovatelnosti	40 – 50 min		
Tvarová stálost za tepla	83 °C		ISO 75 – 1/2 - 1993

Pozn. Doba zpracovatelnosti byla měřena při přidání 1% iniciátoru

Tab. 7 Vlastnosti vývojové matrice FR 4/12 (příloha 6)

Vývojová matrice FR 4/12		
Materiál	Nenasycená polyesterová pryskyřice	
Viskozita	Kužel/deska	460 mPa.s (cP)
Doba zpracovatelnosti	45 - 49 min	

Pozn. V tomto případě se jedná o novou bezpečnostní matrici, která je stále ve vývoji. Proto není k dispozici kompletní materiálový list.

Tab. 8 Vlastnosti matrice NORPOL 420-100 (příloha 7)

NORPOL 420-100			
Materiál	Nenasycená polyesterová pryskyřice		
Viskozita	Kužel/deska	180 - 210 mPa.s (cP)	ISO 2884 - 1974
Doba zpracovatelnosti	20 - 30 min		
Tvarová stálost za tepla	67 °C		ISO 75 - 1/2 - 1993

Pozn. Doba zpracovatelnosti byla měřena při přidání 1% iniciátoru a 1% urychlovače

Tab. 9 Vlastnosti gelcoat (příloha 8)

NORPOL NGA HX3			
Materiál	Isoftalová polyesterová matrice		
Viskozita	Kužel/deska	500 - 700 mPa.s (cP)	A010
Doba zpracovatelnosti	10 - 25 min		G020

Pozn. Doba zpracovatelnosti byla měřena při přidání 1,5% iniciátoru

5.2.3 Technologické materiály

Výběr technologických materiálů záležel z velké části hlavně na zkušenostech pracovníků ve firmě FORM s.r.o. Důvodem byl fakt, že v praxi existuje mnoho druhů odtrhových, rozváděcích a vakuovacích vrstev. Téměř u všech technologických materiálů existuje alternativa z hlediska vlastností. Dále bylo potřeba brát v úvahu ekonomičnost výroby, protože některé technologické materiály jsou velmi drahé. Cena technologických materiálů se liší podle teploty použití. Níže jsou popsány použité technologické materiály, které jsou charakteristické svým rozměrem, nebo vlastnostmi. Ostatní technologické materiály jsou uvedeny v teoretické části diplomové práce.

Tab. 10 Vlastnosti odtrhové tkaniny (Peel – Ply)

Odtrhová tkanina	
Materiál	Nylon
Max. teplota použití	232 °C
Hmotnost	80 g/m ²

Tab. 11 Vlastnosti rozváděcí tkaniny (Green flow)

Rozváděcí tkanina	
Materiál	Polypropylen
Max. teplota použití	150 °C
Hmotnost sítě	98 g/m ²

Tab. 12 Vlastnosti rozváděcího kanálu (resintrak)

Rozvodový kanál (resintrak)	
Materiál	Polyester
Tloušťka	3 mm
Šířka sítě	43 mm

Tab. 13 Vlastnosti vakuové fólie

Vakuová fólie	
Materiál	Nylon
Prodloužení při přetržení	375%
Pevnost v tahu	48 MPa
Max. teplota použití	177 °C

Tab. 14 Vlastnosti spirálové hadičky

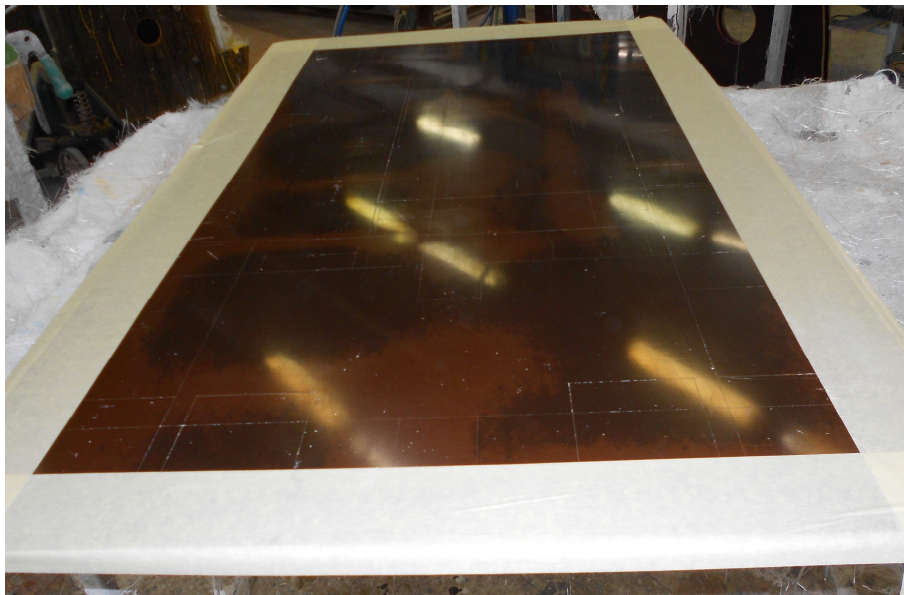
Spirálová hadička	
Materiál	Polyetylen
Vnější průměr	9,5 mm
Vnitřní průměr	6,35 mm
Max. teplota použití	121 °C

Další použité technologické materiály:

- Separáční   inidlo
- Rozváděcí hadička
- Těsnící páska
- Fixační lepidlo
- Rezervoár matrice
- RIC konektor (vtokov  e   st  )
- Měřidlo podtlaku

6 VÝROBA VZORKŮ PRO EXPERIMENTOVÁNÍ TESTOVÁNÍ VLASTNOSTÍ VZORKŮ

Všechny 4 vzorky byly vyráběny na dřevěné formě obdélníkového tvaru o rozměrech 1,07m x 0,62m. Na začátku byl pokaždé na formu nanesen gelcoat, poté se skladba vrstev jednotlivých vzorků lišila. U samotné výroby vzorků vakuovou infuzí byla klíčová část výroby vakuování, to znamená vytvoření vakua ve formě odsátím vzduchu z formy. Kontrola vakua byla prováděna měřidlem podtlaku. Požadovaná hodnota tlaku byla a i v praxi bývá 0,8 bar, přičemž tlak nesmí klesat.



Obr. 32 Forma pro výrobu vzorků

Stanovené cíle při výrobě vzorků:

- Vyrobit dostatečný počet vzorků různých kombinací tkanin a matic pro testování
- Získat zkušenosti při celém výrobním postupu vakuové infuze
- Získat co nejvíce poznatků, které by bylo možné uplatnit u výroby kapoty
- Zjistit, do jaké vzdálenosti se prosytí samotná tkanina na krajích formy (mimo rozváděcí tkaninu), tzv. přetoky
- Získat zkušenosti s umístěním rozvodových kanálů (resintrak)
- Optimalizovat množství použité matrice, aby bylo zabráněno zbytečnému plýtvání
- Optimalizovat přidávané množství iniciátoru

6.1 Vzorek č. 0

Začátek číslování od čísla 0 byl stanoven proto, že tento první vzorek byl vyroben ještě před začátkem vypracovávání diplomové práce. Hlavním důvodem bylo vyzkoušení nově vyvinuté matrice FR 4/12. Protože výsledná kvalita vzorku byla uspokojivá, a protože na vývoji této matrice se neustále pracuje, byl tento vzorek zařazen do vyhodnocení.

Tab. 15 Materiálové složení vzorku č. 0

Materiál	Množství	Rozeř
Gelcoat NORPOL NGA HX3	0,5 mm	0,93m x 0,49m
Bidiagonální skelná tkanina	4x	0,93m x 0,49m
Odrhová tkanina	1x	0,97m x 0,53m
Rozváděcí tkanina	1x	0,89m x 0,46m
Spirálová trubička	1x po obvodu	-
Tkanina Resin Trek	1x na střed	0,75m x 0,043m
Vakuová fólie	1x	1,15m x 0,7m
Matrice FR 2012/4	2 kg	-
Iniciátor BUTANOX M50	2%	-
Urychlovač VANAD	0,09%	-

Vyhodnocení:

Vzorek byl prosycen po celé své ploše i přes tloušťku tkaniny. Na vzorku nebyla žádná suchá místa. Na pohledové straně nebyly vidět žádné vady gelcoat (např. stékání gelcoatu, viditelná vlákna, praskání, puchýře, kráterky, malý lesk). Cíle zadané pro vzorky nemohly být vyhodnoceny.

6.2 Vzorek č. 1

Tab. 16 Materiálové složení vzorku č. 1

Materiál	Množství	Rozeř
Gelcoat NORPOL NGA HX3	0,5 mm	0,93m x 0,49m
Skelná tkanina R100	1x	0,93m x 0,49m
Bidiagonální skelná tkanina	4x	0,93m x 0,49m
Odrhová tkanina	1x	0,97m x 0,53m
Rozváděcí tkanina	1x	0,89m x 0,46m
Spirálová trubička	1x po obvodu	-
Tkanina Resin Trek	1x na střed	0,75m x 0,043m
Vakuová fólie	1x	1,15m x 0,7m
Matrice NORPOL850 M850	2 kg	-
Iniciátor BUTANOX M50	1%	-

Vlastnosti procesu:

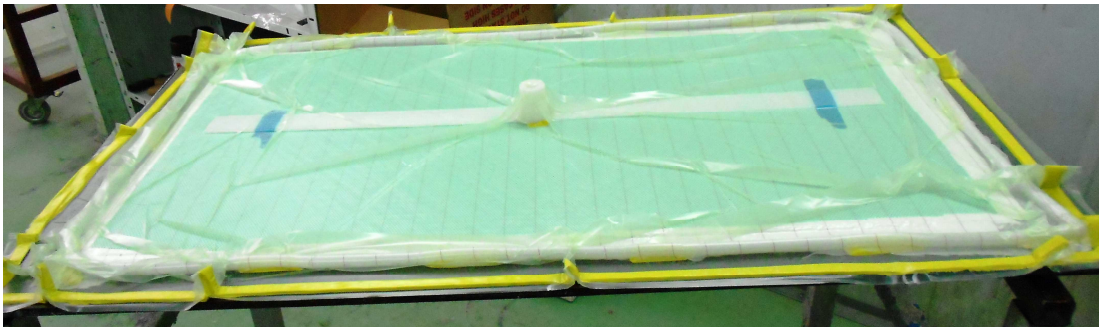
Doba zpracovatelnosti (čas začátku procesu vytvrzování): 47 min

Geltime (matrice M850; 1% iniciátoru) – dle materiálového listu: 40 – 50 min

Kontrola tlaku: 0,8 bar (stálý tlak – bez poklesu) - vyhovuje

Vyhodnocení:

Při infuzi u tohoto vzorku vzniknul problém, a to ten, že se do přívodní hadičky dostal vzduch. Proto se na vzorku vyskytlo pár suchých míst. Kromě těchto problémů byl vzorek kompletně prosycen. Poznatkem bylo, že při prosycení matrice přes rozváděcí tkaninu (green flow) rapidně klesá prosycování samotné tkaniny. Co se týká vyhodnocení cílů, přetoky u tohoto vzorku byly v průměru 2 cm přes rozváděcí tkaninu. Tento poznatek je užitečný u forem, kde jsou po obvodu navrženy lemy pro zpevnění a pro ořez. Rozváděcí síťka u všech vzorků byla položena stejně – středkem formy. Dle literatury mají být jednotlivé linie rozváděcí sítě od sebe vzdáleny maximálně 0,762m – 0,914m, což bylo u vzorků splněno. Čas začátku vytvrzování odpovídal materiálovému listu použité matrice.



Obr. 33 Vakuování vzorku a ukázka umístění rozvodových kanálů (resintrak)

6.3 Vzorek č. 2

Tab. 17 Materiálové složení vzorku č. 2

Materiál	Množství	Rozměr
Gelcoat NORPOL NGA HX3	0,5 mm	0,93m x 0,49m
Skelná tkanina R100	1x	0,93m x 0,49m
Quadriaxiální skelná tkanina	2x	0,93m x 0,49m
Odrhová tkanina	1x	1,1m x 0,7m
Rozváděcí tkanina	1x	0,87m x 0,46m
Spirálová trubička	1x po obvodu	-
Tkanina Resin Trek	1x na střed	0,75m x 0,043m
Vakuová fólie	1x	1,25m x 0,85m
Matrice NORPOL850 M850	1,7 kg	-
Iniciátor BUTANOX M50	2%	-

Vlastnosti procesu:

Doba zpracovatelnosti (čas začátku procesu vytvrzování): 40 min

Geltime (matrice M850; 1% iniciátoru) – dle materiálového listu: 40 – 50 min

Kontrola tlaku: 0,8 bar (stálý tlak – bez poklesu) – vyhovuje

Vyhodnocení:

Tento vzorek nebyl prosycen. Po celé ploše vzorku byla suchá místa, proto byla výroba vzorku č. 2 opakována. U tohoto vzorku bylo zjištěno, že čím blíže je rozvodový kanál (re-

sintrak) ke hraně rozváděcí tkaniny (green flow), tím větší jsou přetoky. To je důkaz významu rozváděcího kanálu (resintrak) pro vakuovou infuzi. Množství iniciátoru bylo 2% a gelytime byl kratší. To odpovídá předpokladům.



Obr. 34 Suchá místa na vzorku č. 2

6.4 Vzorek č. 2 – opakovaný

Tab. 18 Materiálové složení opakovaného vzorku č. 2

Materiál	Množství	Rozměr
Gelcoat NORPOL NGA HX3	0,5 mm	0,93m x 0,49m
Skelná tkanina R100	1x	0,93m x 0,49m
Quadriaxiální skelná tkanina	2x	0,93m x 0,49m
Odrhová tkanina	1x	1,01m x 0,57m
Rozváděcí tkanina	1x	0,85m x 0,46m
Spirálová trubička	1x po obvodu	-
Tkanina Resin Trek	1x na střed	0,67m x 0,043m
Vakuová fólie	1x	1,25m x 0,85m
Matrice NORPOL850 M850	1,6 kg	-
Iniciátor BUTANOX M50	1%	-

Vlastnosti procesu:

Doba zpracovatelnosti (čas začátku procesu vytvrzování): 1hod. 51 min.

Geltime (matrice M850; 1% iniciátoru) – dle materiálového listu: 40 – 50 min

Kontrola tlaku: 0,8 bar (stálý tlak – bez poklesu) – vyhovuje

Vyhodnocení:

Opakovaný vzorek č. 2 se shodoval s předchozím vzorkem jak ve výrobním postupu, tak i v materiálovém složení. Vzorek měl úplně stejné nedostatky jako předchozí vzorek č. 2. Suchá místa se nacházela po celé ploše vzorku. Zde byly přetoky v průměru 4 – 5 cm. To bylo způsobeno dlouhým časem, než matrice začala tvrdnout. V tabulce je uvedeno, že přídavek iniciátoru byl 1%, ale z největší pravděpodobností bylo skutečné množství 0,5% iniciátoru. To mělo za následek dvakrát delší čas počátku vytvrzování. Na kvalitu výsledného vzorku to ale vliv nemělo. Protože ani jeden pokus vytvořit vzorek z tohoto materiálového složení nebyl úspěšný, bylo rozhodnuto s touto materiálovou variantou pro výrobu kapoty nepočítat.



Obr. 35 Suchá místa na opakovaném vzorku č. 2

6.5 Vzorek č. 3

Tab. 19 Materiálové složení vzorku č. 3

Materiál	Množství	Rozměr
Gelcoat NORPOL NGA HX3	0,5 mm	0,93m x 0,49m
Skelná tkanina R100	1x	0,93m x 0,49m
Triaxiální skelná tkanina	2x	0,93m x 0,49m
Odrhová tkanina	1x	1,01m x 0,57m
Rozváděcí tkanina	1x	0,87m x 0,43m
Spirálová trubička	1x po obvodu	-
Tkanina Resin Trek	1x na střed	0,67m x 0,043m
Vakuová fólie	1x	1,25m x 0,85m
Matrice NORPOL850 M850	1,5 kg	-
Iniciátor BUTANOX M50	1%	-

Vlastnosti procesu:

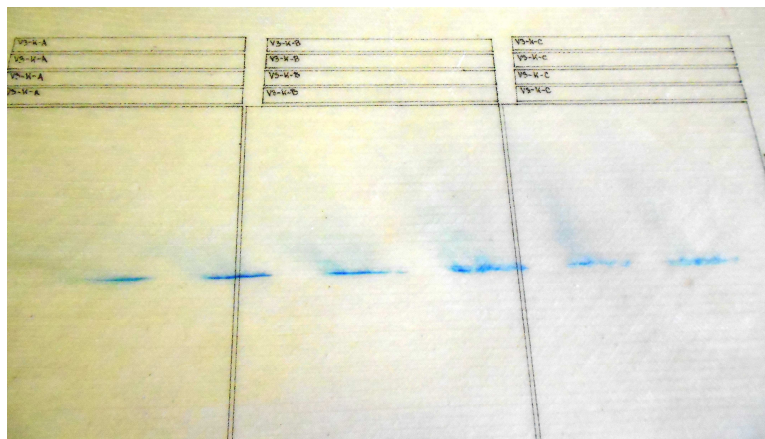
Doba zpracovatelnosti (čas začátku procesu vytvrzování): 1hod. 3 min.

Geltime (matrice M850; 1% iniciátoru) – dle materiálového listu: 40 – 50 min

Kontrola tlaku: 0,8 bar (stálý tlak – bez poklesu) – vyhovuje

Vyhodnocení:

Poslední vzorek byl kompletně prosycen a i po vizuální stránce vypadal velmi dobře. Na vzorku nebyla žádná suchá místa. Přetoky byly velké, průměrně 2-3 cm. Čas začátku vytvrzovacího procesu byl 1 hodina a 3 minuty při přidání 1% iniciátoru. To je o 10 minut delší čas, než jaký je uveden v materiálovém listu. Mohlo to být způsobeno nepřesným dávkováním iniciátoru, ale na výslednou strukturu to nemá žádný vliv.



Obr. 36 Výsledný vzorek č. 3

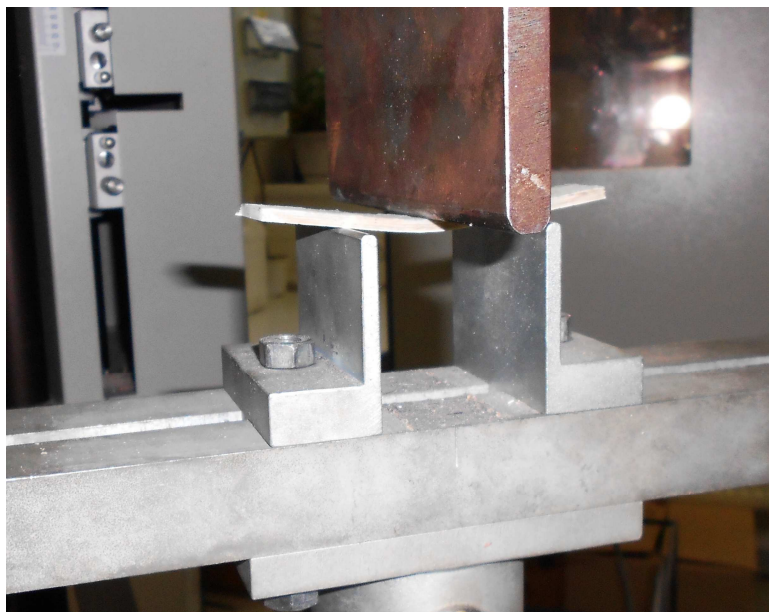
6.6 Testování vzorků

Po vyrobení vzorků byly jednotlivé desky rozřezány na rozměry, podle kterých se mohou zkoušky provádět. Vzorky byly testovány na stanovení ohybových vlastností; zkouška požární odolnosti polyesterového skelného laminátu; stanovení hořlavosti metodou kyslíkového čísla; textilní sklo – vystužené prepregy (předlaminovaný laminát) lisovací směsi a lamináty – stanovení obsahu textilního skla a minerálního plniva – kalcinační metoda. Testy na stanovení ohybových vlastností a stanovení obsahu skla kalcinační metodou byly prováděny v univerzitních laboratořích. Zkouška požární odolnosti byla provedena ve firmě FORM s.r.o. Zkoušku stanovení kyslíkového čísla provedla firma SYNPO a.s. se sídlem v Pardubicích. Jedná se o výzkumný ústav syntetických pryskyřic a laků. Nakonec byly ještě vyrobeny vzorky pro dynamické průrazové zkoušky. První sada vzorků byla vyřezána s vyrobeného prototypu kapoty a druhá sada byla vyřezána s vyrobeného pokusného vzorku. První průrazový test byl proveden v univerzitních laboratořích na rázovém hmotnostním přístroji. Druhý průrazový test byl proveden ve Výzkumném technickém ústavu ve Slavičíně.

6.6.1 Stanovení ohybových vlastností

Nařezané zkušební tělíška měla rozměr 10 cm x 2 cm. Z každé vyrobené desky se řezaly dva druhy zkušebních tyčinek určených pro stanovení ohybových vlastností. Jedna sada nařezána ve směru orientace vláken a druhá kolmo na tento směr. Jak už bylo uvedeno, zkouška byla provedena v univerzitních laboratořích na univerzálním měřicím zařízení

ZWICK/Materialprüfung 1456. Je to univerzální měřící zařízení, kterým lze měřit tah, tlak, ohyb pro statické a cyklické zatížení.



Obr. 37 Trojbodový ohyb

Tab. 20 Výsledky ohybové zkoušky u vzorku č. 0 – 0°

V0 - 0 - 0				
č.m.	E (MPa)	σ_o (MPa)	dL při Fmax (%)	W to Fmax (Nmm)
1	6740	142	3,9	1223
2	9050	158	4,3	1474
3	10900	178	3,6	1286
4	9570	165	3,5	1130
5	9290	163	4,5	1564
Průměr	9100	161	3,9	1335
SMODCH	1500	13	0,4	179

Pozn. V0 – 0 – 0: vzorek 0 – testovaný na ohyb – orientace vláken 0°

Tab. 21 Výsledky ohybové zkoušky u vzorku č. 0 – 90°

V0 - 0 - 90				
č.m.	E (Mpa)	σ_0 (Mpa)	dL při Fmax (%)	W to Fmax (Nmm)
1	10800	263	4,3	2165,31
2	12100	279	4,4	2462,11
3	10400	288	4,7	2601,82
4	12000	273	4,2	2220,23
5	12800	271	4	2044,71
průměr	11620	274,80	4,32	2298,84
SMODCH	886,34	8,35	0,23	203,49

Pozn. V0 – 0 – 90: vzorek 0 – testovaný na ohyb – orientace vláken 90°

Tab. 22 Výsledky ohybové zkoušky u vzorku č. 1 – 0°

V1 - 0 - 0				
č.m.	E (Mpa)	σ_0 (Mpa)	dL při Fmax (%)	W to Fmax (Nmm)
1	11400	208	3,6	1507,65
2	11200	208	4,1	1710,47
3	9180	181	4,2	1619,66
4	8050	172	4	1430,63
5	8900	185	4,5	1770,66
průměr	9746	190,8	4,08	1607,81
SMODCH	1323,81	14,66	0,29	125,40

Pozn. V1 – 0 – 0: vzorek 1 – testovaný na ohyb – orientace vláken 0°

Tab. 23 Výsledky ohybové zkoušky u vzorku č. 1 – 90°

V1 - 0 - 90				
č.m.	E (Mpa)	σ_0 (Mpa)	dL při Fmax (%)	W to Fmax (Nmm)
1	11400	232	4,5	2203,47
2	10100	211	3,7	1621,35
3	9180	198	3,9	1626,01
4	10500	200	4,7	2090,15
5	10700	198	3,3	1210,24
průměr	10376	207,8	4,02	1750,24
SMODCH	731,51	13,03	0,52	359,05

Pozn. V1 – 0 – 90: vzorek 1 – testovaný na ohyb – orientace vláken 90°

Tab. 24 Výsledky ohybové zkoušky u vzorku č. 3 – 0°

V3 - 0 - 0				
č.m.	E (Mpa)	σ_0 (Mpa)	dL při Fmax (%)	W to Fmax (Nmm)
1	7730	202	5,9	1606,75
2	9240	246	5,2	1511,68
3	8990	217	6,3	1906,03
4	10700	289	4,9	1547,4
5	11800	258	5,3	1636,09
průměr	9692	242,4	5,52	1641,59
SMODCH	1414,66	30,68	0,51	139,23

Pozn. V3 – 0 – 0: vzorek 3 – testovaný na ohyb – orientace vláken 0°

Tab. 25 Výsledky ohybové zkoušky u vzorku č. 3 – 90°

V3 - 0 - 90				
č.m.	E (Mpa)	σ_0 (Mpa)	dL při Fmax (%)	W to Fmax (Nmm)
1	10100	180	4,1	885,24
2	10400	190	4,4	1076,62
3	9360	186	5	1241,62
4	8990	172	4,3	930,24
5	8710	190	4,1	904,08
průměr	9512	183,6	4,38	1007,56
SMODCH	643,91	6,86	0,33	135,06

Pozn. V3 – 0 – 90: vzorek 3 – testovaný na ohyb – orientace vláken 90°

Vysvětlivky:

Vzorek č. 2 nebyl zahrnut do měření kvůli nevyhovujícím výsledkům při výrobě.

E (MPa) – modul pružnosti v ohybu

σ_0 (MPa) – mez pevnosti v ohybu

dL při Fmax (%) – poměrná deformace na mezi pevnosti

W to Fmax (Nmm) – práce při maximální síle

6.6.2 Zkouška požární odolnosti polyesterového skelného laminátu

Zkouška byla provedena ve firmě FORM s.r.o. Jednotlivé vzorky měly rozměry 160 x 400 mm. Vzorky byly upevněny do zkušebního stojanu, který umožňoval ustavení vzorku pod úhlem 45° vzhledem k horizontální rovině, kde byla 5cm od vzorku umístěna nádoba

s čistým etanolem pod spodní stranou zkoušeného vzorku. Doba působení plamene na zkoušební vzorek byla dána především přesným množstvím čistého etanolu v nádobě, které činilo $4 \text{ ml} \pm 0,1 \text{ ml}$. Ohni byla vystavena hladká strana vzorku, tedy ta strana, na které byl nanesen gelcoat.



Obr. 38 Schéma zkoušky

Čas byl měřen od zapálení etanolu po jeho vyhoření. V tomto časovém rozpětí byl také zaznamenán čas začátku hoření vzorku. Po vyhoření etanolu se ještě měřil čas hoření vzorku bez působení plamene.

Co se týká měřené plochy, zahrnovala se pouze zničená plocha. Prasklinky a změna barvy povrchu se za zničení nepovažovaly.

Tab. 26 Výsledky zkoušky hořlavosti u vzorku č. 0

	t_1 (s)	t_2 (s)	t_3 (s)	t_4 (s)	S (cm ²)
V0-A	0	71	312	312	29,2
V0-B	0	79	326	326	27,5

Tab. 27 Výsledky zkoušky hořlavosti u vzorku č. 1

	t ₁ (s)	t ₂ (s)	t ₃ (s)	t ₄ (s)	S (cm ²)
V1-A	0	109	358	358	28,7
V1-B	0	111	317	317	32,9
V1-C	0	125	325	325	31,8

Tab. 28 Výsledky zkoušky hořlavosti u vzorku č. 2

	t ₁ (s)	t ₂ (s)	t ₃ (s)	t ₄ (s)	S (cm ²)
V2-A	0	39	335	335	38,6
V2-B	0	58	294	294	36,5
V2-C	0	55	315	315	36,3
V2-D	0	105	334	334	35,8

Tab. 29 Výsledky zkoušky hořlavosti u vzorku č. 3

	t ₁ (s)	t ₂ (s)	t ₃ (s)	t ₄ (s)	S (cm ²)
V3-A	0	47	340	340	34,9
V3-B	0	48	299	299	37,8
V3-C	0	46	284	284	41,2

Pozn. Značení A – D znamená, že vzorek A byl uřezán nejbližší k hraně vzorku a další desky byly řezány směrem do středu desky.

Legenda:

t₁ – čas zapálení (vždy 0)

t₂ – začátek hoření vzorku

t₃ – konec hoření

t₄ – zhasnutí plamene na vzorku (plamen zhasnul vždy okamžitě po zhasnutí plamene s hořlaviny)

Test hořlavosti byl proveden a vyhodnocen podle normy UIC 564 – 2 : Test hořlavosti pro železniční komponenty.

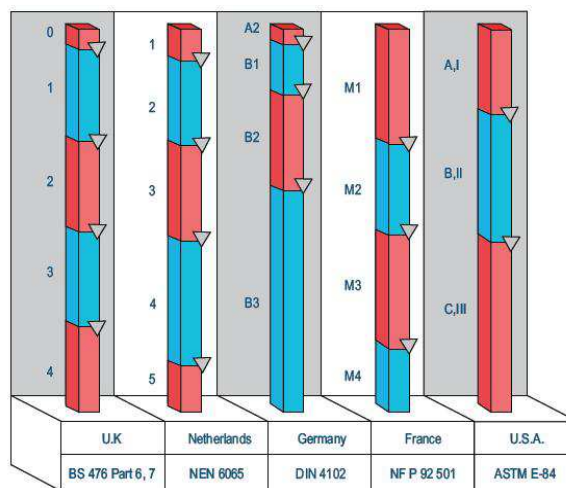
Podle výsledků zkoušek se materiál zařadí do kategorie A, B nebo C tak, jak je znázorněno následující tabulkou.

Tab. 30 Zařazení do kategorií pro tuhé netermoplastické materiály dle UIC 564-2 (příloha 9)

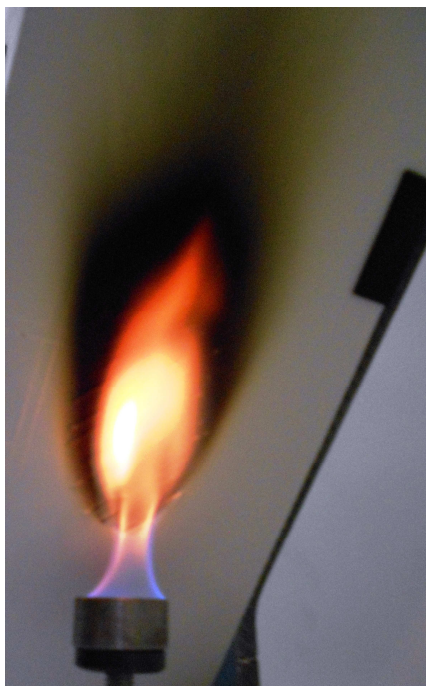
S (cm ²)	P (s)	$P \leq 2$	$2 < P \leq 10$	$P > 10$
$S \leq 100$		I	II _c	III _c
$100 < S \leq 150$		II _a	II _b	III _d
$S > 150$		III _a	III _b	III _c

Výsledky všech zkoušených těles leží v poli I, to znamená, že u žádného vzorku nedošlo k prohoření k hornímu okraji a ze vzorku nespádávaly hořící částice, nebo kapky. Žádné místo nežhnulo déle než 10 s po uhasnutí plamene.

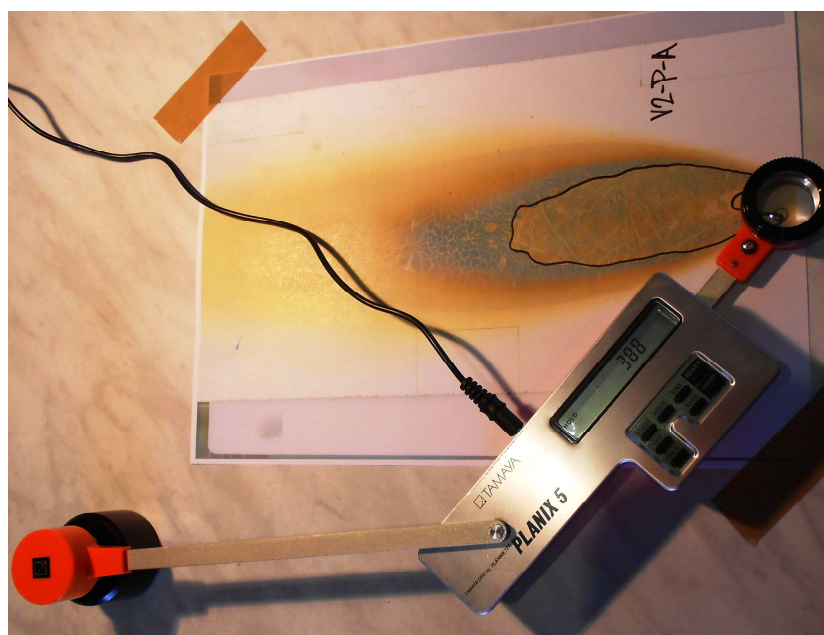
Dle posuzovací směrnice zkušební metody popsané v příloze 9 vyhlášky UIC 564 – 2 vykázaly zkoušené vzorky vlastnosti pro zařazení do **kategorie A**.



Obr. 39 Kategorie hořlavosti dle jednotlivých národních norem [45]



Obr. 40 Ukázka zkoušky hořlavosti



Obr. 41 Měření označené zničené plochy pomocí planimetru

6.6.3 Stanovení obsahu textilního skla a minerálního plniva – kalcinační metoda

Tato zkouška byla provedena v laboratořích fakulty technologické v muflové peci dle normy ČSN EN ISO 1172 (viz. příloha 10). Jednalo se o test, při kterém se zjišťoval obsah skelných složek ve vzorcích kalcinační metodou. To znamená, že všechna minerální plniva

buďto shořely, nebo byly odpařeny. Dle normy musel být minimální počet vzorků 2 o hmotnosti od 2 do 10 g. Postup zkoušky byl následující:

- Zvážení vzorků před testováním
- Vysušení vzorků na vařiči (dle normy na 30 min při 105 °C)
- Po vysušení další zvážení vzorků
- Vložení do muflové pece na 20 minut při teplotě 500 – 600 °C
- Zvážení vzorků po vytažení z pece
- Výpočet kyslíkového čísla

V následujících tabulkách jednotlivé hodnoty vzorků reprezentují jejich rozmístění na vařiči při vysušování a poté i v muflové peci

Tab. 31 Hmotnost vzorků před vysušením

	m (g)		
V0-S	2,2429	2,3407	2,2443
V1-S	2,4453	2,3568	2,3459
V2-S	1,2112	1,0629	
V3-S	1,0032	1,0184	

Tab. 32 Hmotnost vzorků po vysušení

	m (g)		
V0-S	1,7274	1,7691	1,7345
V1-S	1,8636	1,7986	1,7524
V2-S	0,8147	0,7263	
V3-S	0,7445	0,7568	

Při tomto měření byly vzorky na vařiči asi 2 hodiny. Bylo to z důvodu odpaření veškerého styrenu ze vzorků, aby nedošlo v muflové peci ke vznícení vzorku vlivem velké koncentrace styrenu.

Tab. 33 Hmotnost vzorků po vytažení z muflové pece

	m (g)		
V0-S	1,6461	1,6904	1,6555
V1-S	1,7703	1,6974	1,6961
V2-S	0,7712	0,6087	
V3-S	0,6827	0,6867	

Výpočet obsahu skla:

$$M_{glass} = \frac{M_3}{M_1} \cdot 100 [\%]$$

M_1 (g) – hmotnost vzorku na začátku zkoušky

M_3 (g) – hmotnost vzorku po kalcinaci v muflové peci

Tab. 34 Vypočtené hodnoty obsahu skla

	M _{glass} (%)			Průměr
V0-S	73,39	72,22	73,76	73,12
V1-S	72,40	72,02	72,30	72,24
V2-S	63,67	57,27		60,47
V3-S	68,05	67,43		67,74

6.6.4 Stanovení hořlavosti metodou kyslíkového čísla

Tato zkouška byla provedena firmou SYNPO a.s. v Pardubicích. Zkouška proběhla podle normy ČSN ISO 4589-2 (viz: příloha 11). Dle normy je kyslíkové číslo minimální koncentrace kyslíku v objemových procentech ve směsi kyslíku s dusíkem, přiváděné při teplotě (23 ± 2) °C, která je právě schopna udržovat hoření materiálu za předepsaných podmínek zkoušky.

Princip zkoušky je, že zkušební těleso je upevněno ve vertikální poloze ve směsi kyslíku a dusíku proudícího směrem nahoru průhlednou trubicí. Horní konec tělesa se zapálí a sledují se charakteristiky hoření. Porovnává se doba hoření a délka ohořelé části tělesa s limitními hodnotami, určenými pro daný typ hoření. Za těchto podmínek se zkouší řada zkušebních těles při různých koncentracích kyslíku, čímž se určí minimální koncentrace kyslíku.

Tab. 35 Hodnoty kyslíkového čísla

Číslo vzorku	%obj.
Vzorek 0	30 – 30,6
Vzorek 1	26,6 – 27,4
Vzorek 2	-
Vzorek 3	24,8 – 25,2

Pozn. Vzorek 2 nebyl vyhodnocen, protože už jeho výroba a také výsledek nebyl vyhovující. Proto ani nebyl poslán na stanovení kyslíkového čísla. Dalším důvodem byla ekonomická stránka.

6.7 Průrazové zkoušky

U průrazových zkoušek byly provedeny dva druhy testů. První test byl proveden v univerzitních laboratořích na rázovém hmotnostním přístroji. Druhý test byl proveden ve VTÚSP (vojenský technický ústav, s.p.) Slavičín metodou průrazu projektilem.

6.7.1 Rázová zkouška na rázovém hmotnostním přístroji

Při této zkoušce byly testovány dva druhy vzorků, přičemž oba měly shodný rozměr 10 x 10 cm. První sada vzorků byla vyřezána z prvního prototypu kapoty a druhá byla vyřezána z pokusného vzorku. Skladba a vlastnosti vzorků jsou popsány v příslušné části diplomové práce. Zkouška byla provedena na rázovém hmotnostním přístroji ZWICK HIT 230F.

Tab. 36 Parametry zkoušky

Teoretická nárazová rychlost	4,429 m.s ⁻¹
Celková hmotnost tlouku	23,17 kg
Výška pádu	1000 mm



Obr. 42 Rázový hmotnostní přístroj

Naměřené výsledky – vzorky kapota:

Tab. 37 Naměřené hodnoty (vzorky kapota)

č.m.	Fmax (N)	Wm (J)	Wc (J)
1	13653,62	136,79	135,63
2	14713,19	163,85	207,96
3	10858,08	111,4	145,39
4	15416,99	171,4	227,16
5	9503,81	40,39	110,64
6	10528,43	36,17	118,86
7	10021,04	33,92	96,52
8	8252,01	72,71	114,87
9	6958,29	21,42	73,85
10	15179,18	188,95	232,06
11	14037,83	159,51	183,61
12	11480,92	34,22	110,35
13	12539,15	40,23	118,21
14	8886,04	33,81	95,28
Průměr	11573,47	88,91	140,74
SMDO	2629,84	60,70	49,42

Naměřené hodnoty – pokusný vzorek:*Tab. 38 Naměřené hodnoty (vzorky pokusný vzorek)*

č.m.	Fmax (N)	Wm (J)	Wc (J)
1	9279,69	36,05	86,87
2	9086,12	30,36	90,62
3	8855,6	34,4	96,42
4	9500,4	78,98	102,31
5	9578,95	36,34	83,77
6	10090,03	31,9	87,94
7	9581,92	25,97	99,65
8	9152,63	26,26	127,31
9	8633,41	32,51	90,71
10	9651,22	42,17	84,03
Průměr	9341,00	37,49	94,96
SMDO	404,70	14,57	12,33

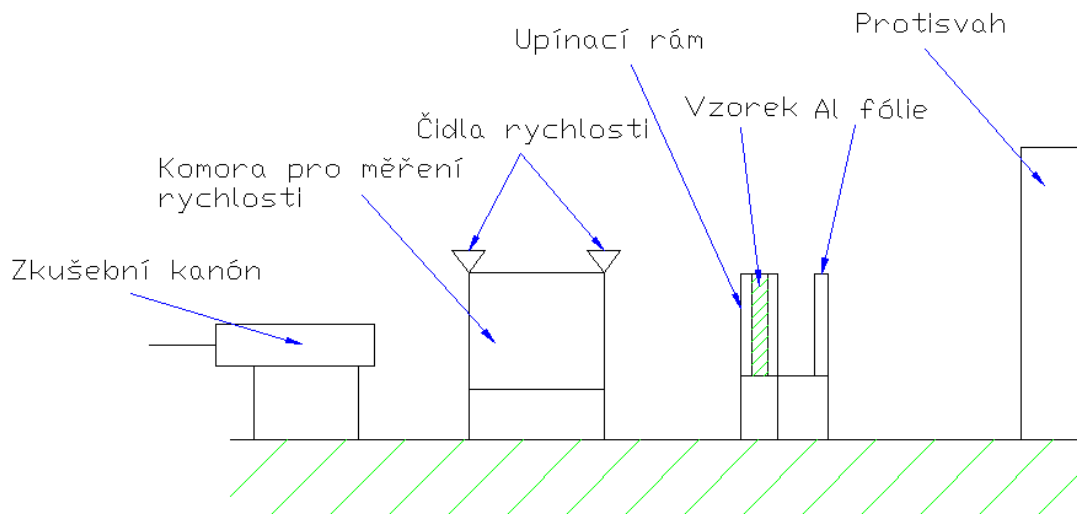
Fmax (N) – maximální síla při nárazu

Wm (J) – velikost práce k maximální síle

Wc (J) – celková energie potřebná k proražení vzorku

6.7.2 Průrazová zkouška VTÚSP Slavičín

Tento test byl proveden ve Výzkumném technickém ústavu ve Slavičíně dle normy UIC 561. Pro zkoušky byly vyrobeny dva vzorky o rozměru 50 x 50 cm. První vzorek (vzorek A) byl vyroben technologií vakuovou infuzí a druhý vzorek byl vyroben ruční laminací (vzorek B). Princip této zkoušky spočíval v tom, že ze zkušební zbraně byl vystřelen projektil definovanou rychlostí do vzorku připevněného do rámu. Ve vzdálenosti 0,5m za vzorkem byla v dalším rámu upevněna Al fólie. V ideálním případě by projektil neměl vzorek prorazit a ani by neměl poškodit Al fólii.

Parametry zkoušky:*Obr. 43 Princip zkoušky**Obr. 44 Zkušební zbraň***Munice:**

Projektíl ráže - 94 mm

Hmotnost - 1kg



Obr. 45 Projektil

Vzorek A – vakuová infuze:Skladba vzorku A:

Tab. 39 Materiálová skladba vzorku A

Materiál	Množství
Gelcoat	1x
R300	1x
Bidiagonální tkanina	2x
Pěna (PET)	1x (20 mm)
Bidiagonální tkanina	2x

Tab. 40 Parametry testu u vzorku A

Vzorek	500 x 500 – 23,3 mm
Hmotnost	2,32 kg
Rychlost střely	88,43 m/s – 318,3 km/h
Energie	3909, 78 J



Obr. 46 Vzorek A po průstřelu

Vyhodnocení:

Vzorek A nebyl proražen, ale výsledek nebylo možné vyhodnotit jako úspěšný. Při nárazu projektilu došlo k prohnutí vzorku a tím pádem se uvolnil z rámu. Došlo k rozlomení vzorku na dvě poloviny v oblasti pěny.

Vzorek B – ruční laminace:**Skladba vzorku B:**

Tab. 41 Materiálové složení vzorku B

Materiál	Množství
Gelcoat	1x
R300	1x
R450	2x
Pěna (PET)	1x (20 mm)
R450	1x
Pěna (PET)	1x (20 mm)
R450	2x

Tab. 42 Parametry testu u vzorku B

Vzorek	500 x 500 – 48 mm
Hmotnost	4,34 kg
Rychlost střely	91,06 m/s – 327,81 km/h
Energie	4146,24 J



Obr. 47 Vzorek B po průstřelu

Vyhodnocení:

Vzorek B byl čistě prostřelen. Aby bylo zabráněno prohnutí a vypadnutí vzorku z rámu, byl za vzorek přidán ještě jeden rám. Po této úpravě lze říct, že zkouška proběhla přesně podle normy. Projektil čistě prolétnul vzorkem.

6.8 Volba optimální skladby materiálů pro výrobu prototypu kapoty

Po porovnání výsledků ze všech testů bylo vyhodnoceno, že optimální skladba materiálu pro výrobu prvního prototypu kapoty lokomotivy bude vycházet ze vzorků č. 0 a č. 1. U těchto vzorků byla použita bidiagonální tkanina, která se ukázala jako nejvhodnější z hlediska svých mechanických, zpracovatelských i ekonomických vlastností.

Při výběru optimální matrice pro prototyp kapoty bylo nejdůležitější podmínkou, aby celá vrstva byla prosycena, a aby matrice zatekla do všech míst formy. Matrice NORPOL M850 nevykazovala při výrobě vzorků tak dobré tokové vlastnosti, aby při výrobě kapoty byla jistota prosycení celé formy. U vývojové matrice FR 4/12 bylo k dispozici omezené množství. Nutno dodat, že obě zmíněné matrice měly srovnatelnou viskozitu. Proto bylo rozhodnuto, že pro výrobu prototypu bude použita matrice s nižší viskozitou, aby bylo zajištěno prosycení celé formy. Důležitou roli zde představovala ekonomika výroby, protože vý-

roba celé kapoty byla nákladná. Z ekonomického hlediska bylo cílem minimalizovat počet vyrobených prototypů, které by nevyhovovaly požadavkům.

7 VÝROBA POKUSNÉHO VZORKU

Před výrobou další kapoty lokomotivy bylo rozhodnuto, že mezitím bude vyroben pokusný vzorek, pro který byly stanoveny vlastní cíle. Skladba sendvičové konstrukce byla stejná jako při výrobě kapoty č. 1 (tkanina/pěna/tkanina) s tím rozdílem, že v trojúhelníkové části formy (viz. obr. 48) byla položena 4x vrstva tkaniny bez pěny. Bylo to za účelem zjištění, jaké bude prosycování této skladby. Pro výrobu pokusného vzorku byla na rozdíl od kapoty č. 1 použita jiná matrice, a sice NORPOL M850.

Cíle pokusného vzorku:

- Zjistit jak se bude vzorek chovat při prosycování ze dvou vtokových míst
- Zajistit dokonalé vakuování, tím by se mělo zamezit vzniku suchých míst
- Vyzkoušet prosycování přes větší počet vrstev tkaniny

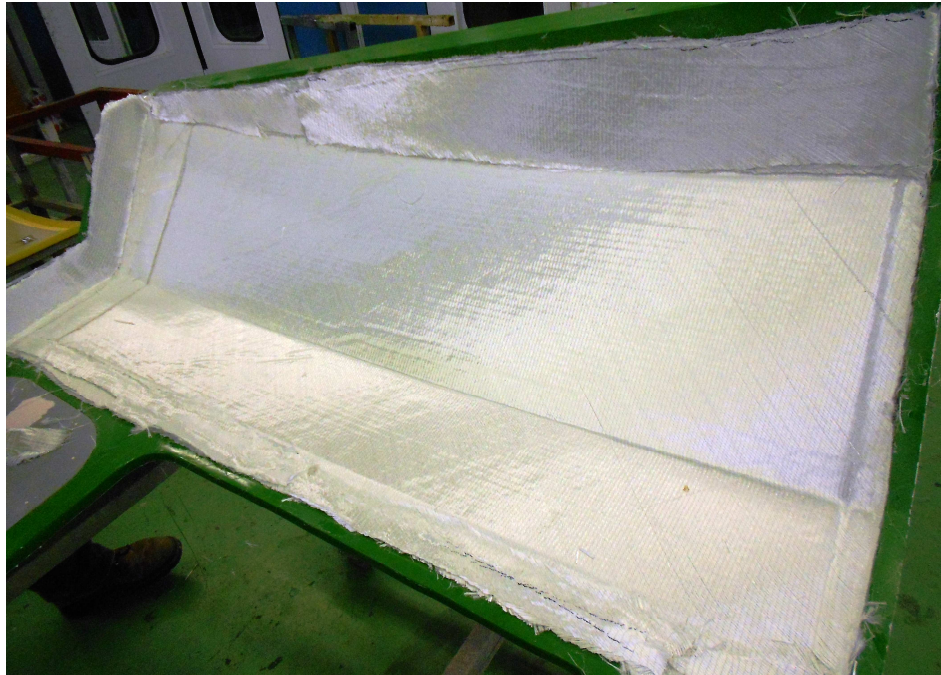
Tab. 43 Materiálové složení pokusného vzorku

Materiál	Množství	Rozeř
Gelcoat	Bez gelcoatu	-
Bidiagonální skelná tkanina	2x / 4x	Dle formy
Pěna (PET)	Dle formy	Tloušťka 5mm
Odrhová tkanina	1x	Dle formy
Rozváděcí tkanina (greenflow)	1x	0,89m x 0,46m
Spirálová trubička	1x po obvodu	-
Tkanina resintrak	Dle formy	Dle formy
Vakuová fólie	1x	Dle formy
Matrice NORPOL850 M850	4kg + 0,6kg	-
Iniciátor BUTANOX M50	1% + 2%	-

Vlastnosti vytvrzovacího procesu:

Doba zpracovatelnosti (čas začátku procesu vytvrzování): 50 min

Kontrola tlaku: 0,85 bar (stálý tlak – bez poklesu) - vyhovuje



Obr. 48 Skladba tkaniny u pokusného vzorku

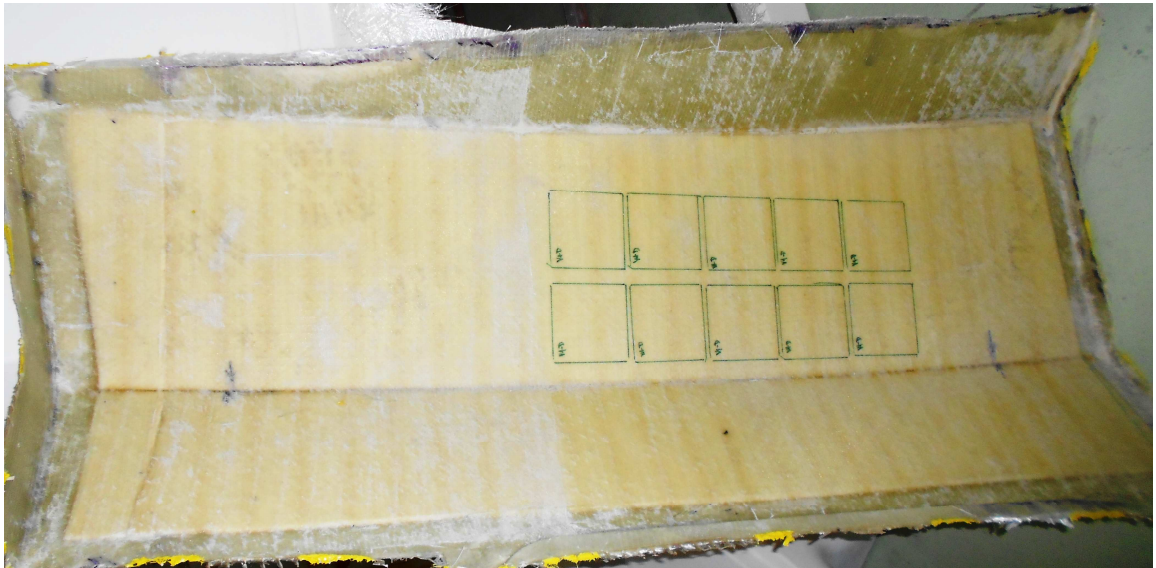
Vyhodnocení cílů:

- Umístění vtoku (viz. obr. 50) bylo 30 cm od hrany formy, pro příští infuzi kapoty bude nezbytné použít aspoň dva vtoky. Z hlediska plnění byla strategie dvou vtoků bez problémů
- Vakuum bylo perfektně zajištěno. Oproti kapotě č. 1 byl tento pokusný vzorek jednodušší na vakuování. Pro další kapotu bude nutné před samotnou infuzí udělat pár testů na formě, to znamená například vyzkoušet zavakuovat samotnou vložku na formě
- Prosyncování přes 4 vrstvy tkaniny bylo vyzkoušeno v trojúhelníkové části formy. V těchto místech ale byly oblasti, kde byla suchá místa.

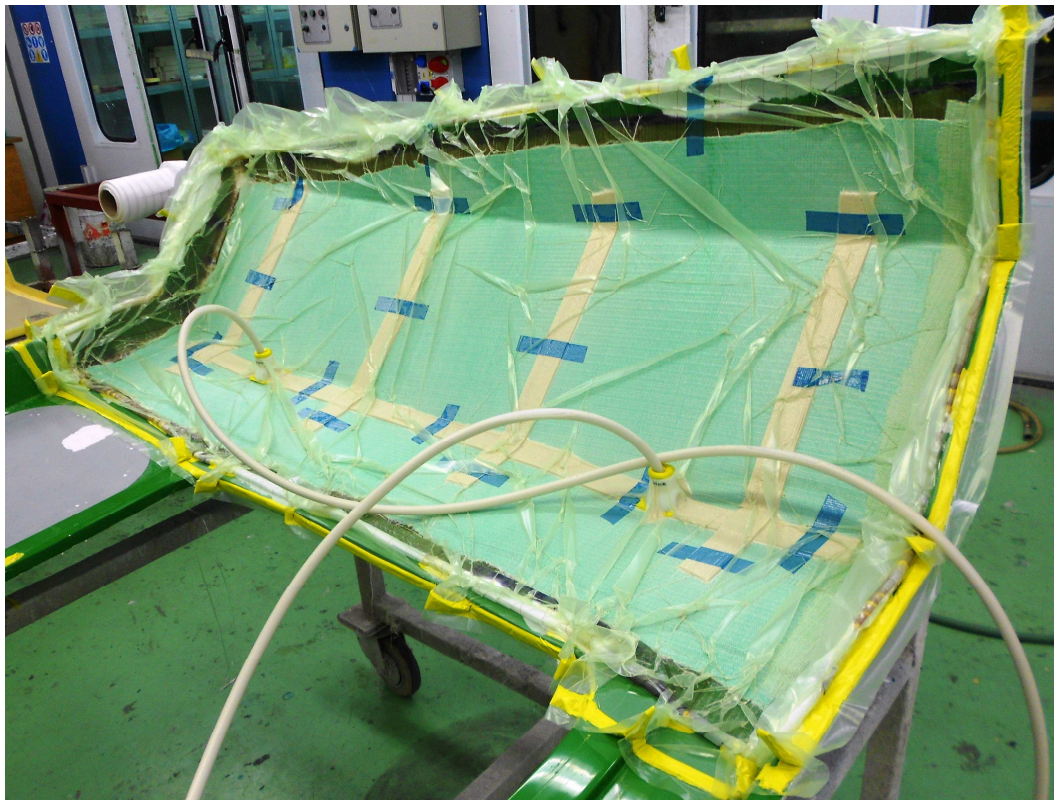
Celkové zhodnocení:

Výsledek pokusného vzorku nebyl v žádném případě uspokojivý. Na povrchu výrobku bylo mnoho oblastí suchých míst. Příčin mohlo být několik. Za prvé byl použit jiný typ matrice, která má vyšší viskozitu, proto nemuselo dojít k vyhovujícímu prosyncení. Druhou příčinou mohlo být nesprávné množství iniciátoru, protože k zatumnutí matrice v rezervoáru došlo v době, kdy ve formě bylo možné dobře sledovat toky matrice. To potvrzuje i fakt, že

v době zatuhnutí vtoku se stále zvětšovaly přetoky přes rozváděcí síťku (green flow). Těmto chybám se bude třeba vyvarovat při výrobě kapoty č. 2.



Obr. 49 Pokusný vzorek (suchá místa)



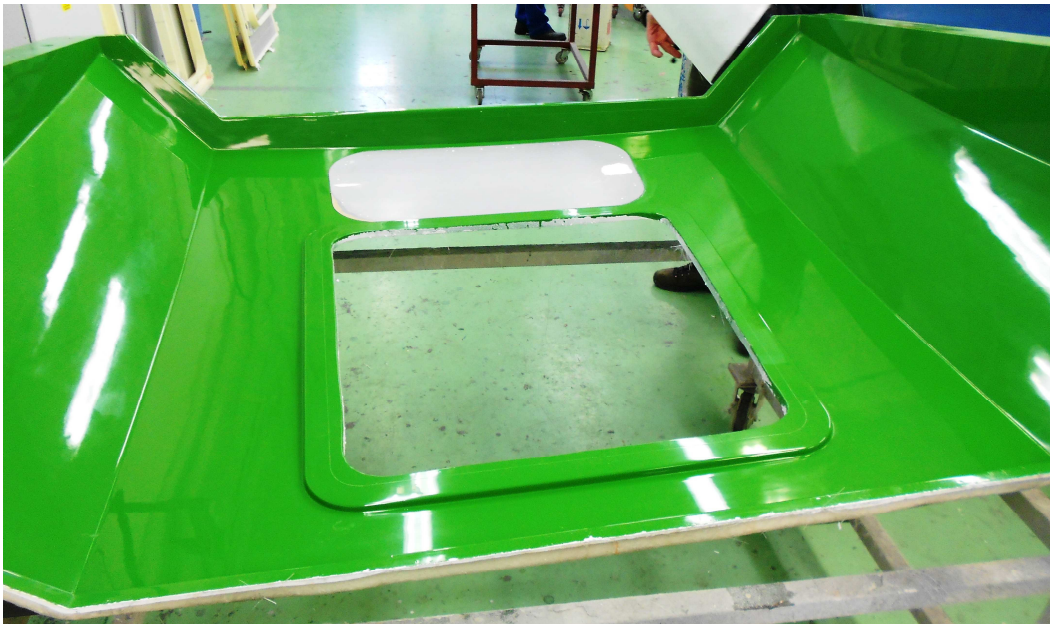
Obr. 50 Infuze pokusného vzorku

8 NÁVRH TECHNOLOGICKÝCH PODMÍNEK VAKUOVÉ INFUZE PRO VÝROBU KAPOTY

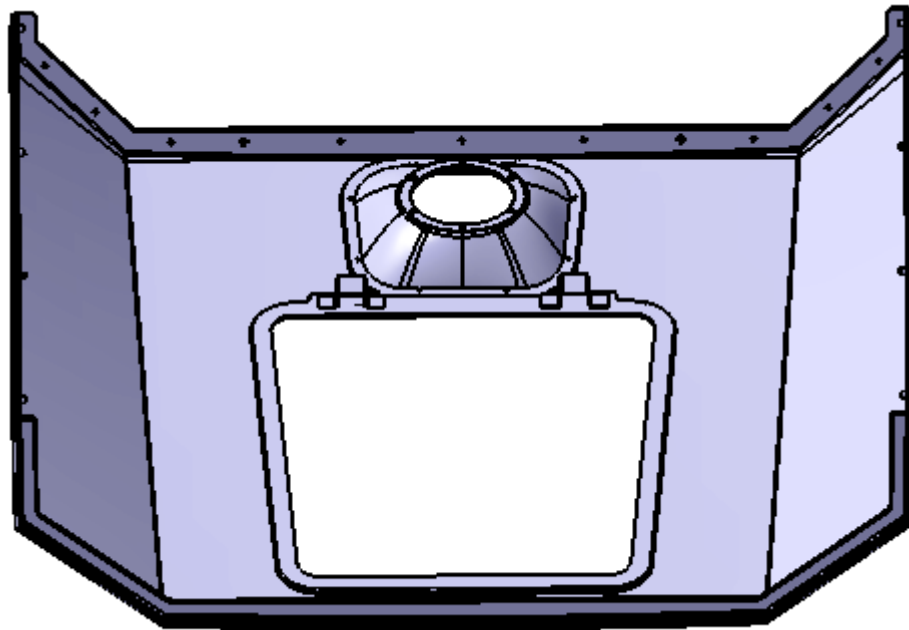
Forma pro kapotu lokomotivy byla vyrobena jako kompozit, konkrétně jako sklolaminát. Před samotnou výrobou prototypu kapoty se nejdřív muselo vyřešit utěsnění dřevěné vložky (viz. obr. 51 – šedá vložka). Utěsnění bylo zajištěno silikonovým tmelem. Plocha celé kapoty byla 3,1 m².

Stanovené cíle pro výrobu kapoty č. 1:

- Ověřit navrhnutý vtokový systém
- Stanovit spotřebu matrice
- Zjistit porozitu v povrchové části
- Ověřit stabilitu sendvičové struktury ve složení 1/5/1 (1x bidiagonální tkanina / pěna na bázi polyetylentereftalátu o tloušťce 5 mm/ 1x bidiagonální tkanina)



Obr. 51 Kapota lokomotivy



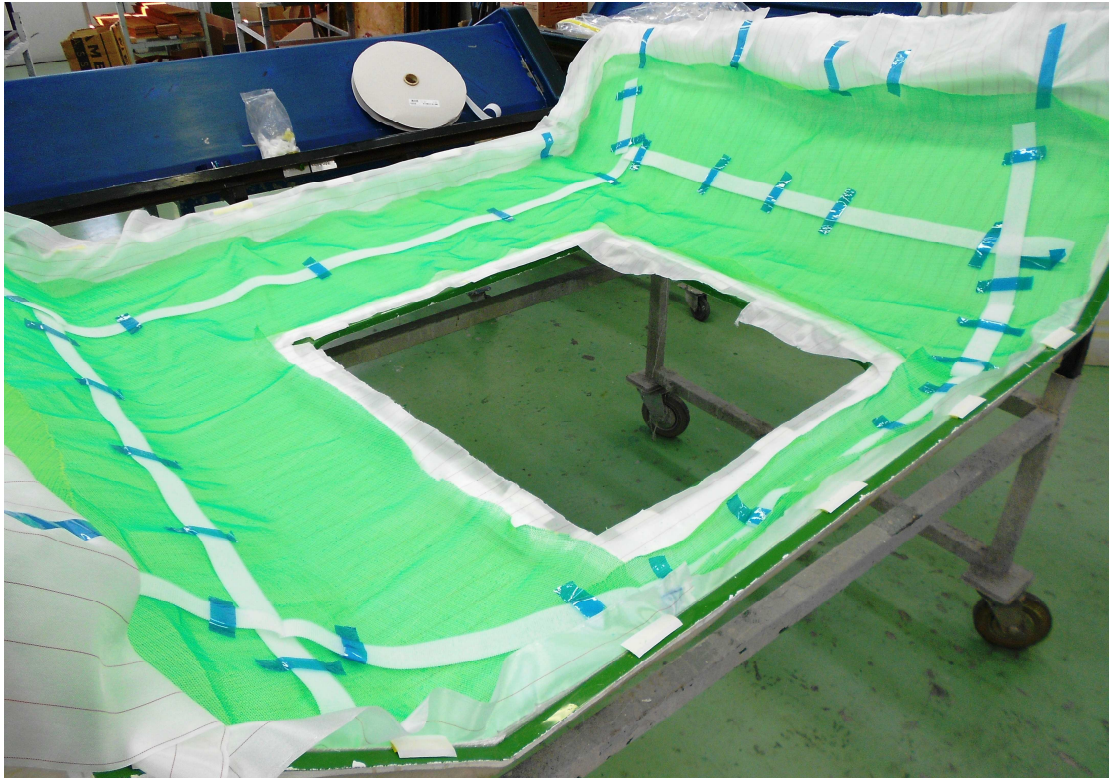
Obr. 52 3D model kapoty lokomotivy

8.1 Technologické podmínky

Skladba materiálu byla zvolena z bidiagonální tkaniny a vývojová matrice 420-100. Na rozdíl od výroby vzorků byla mezi tkaninu přidána polymerní pěna, takže vznikla sendvičová konstrukce.

Co se týká plnění formy matricí, byla zvolena strategie jednoho vtokového místa. Poloha vtoku byla zvolena do středu vložky (viz. obr. 51) Tím pádem muselo být do matrice přidáno takové množství iniciátoru, aby byla prosycena celá plocha formy před začátkem procesu vytvrzování. K tomuto problému byl proveden ještě jeden malý test, kdy se do malého množství matrice přidalo pokaždé různé množství iniciátoru a byla měřena doba zpracovatelnosti jednotlivých vzorků (viz. tab. 44). Díky tomuto testu bylo následně zvoleno množství iniciátoru 0,6 %.

Typ a skladba technologických (pomocných) materiálů byla zvolena stejná jako při výrobě vzorků pro testování. Jakým způsobem byla položena rozváděcí tkanina (green flow) a rozvodové kanály (resintrak) lze vidět na obrázku 53.



Obr. 53 Umístění technologických materiálů

Tab. 44 Test doby zpracovatelnosti matrice NORPOL 420 - 100

NORPOL 420 - 100		
Množství matrice (g)	Iniciátor (%)	Geltime (min)
100	0,6	31:30
100	1	14
100	1,5	9
100	2	7

Pozn. U tohoto druhu matrice začíná vytvrzovací proces při 28 °C a postupně se zvyšuje až na 100 °C.

9 EXPERIMENTÁLNÍ VÝROBA PROTOTYPU KAPOTY LOKOMOTIVY

V tomto případě nebyl na formu nanesen gelcoat, a to z důvodu, aby byla možná vizuální kontrola obou stran výsledné kapoty. Celá forma byla naseparována separačním voskem z důvodu snadnějšího odformování. Kvůli zvýšení tuhosti byly nejdříve položeny pásy tkaniny do všech rohů formy. Poté už byly kladeny materiály tak, jak bylo popsáno v kapitole 7.1.

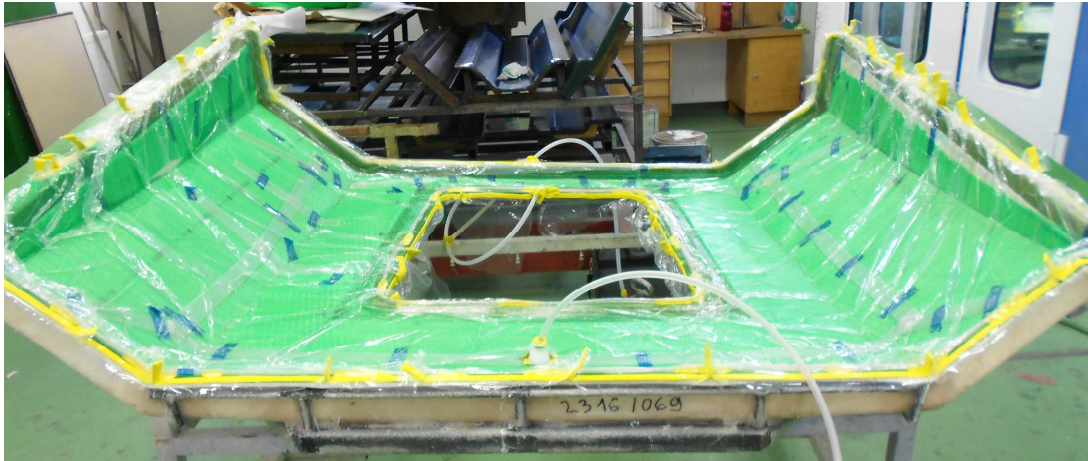
Tab. 45 Materiálové složení kapoty č. 1

Materiál	Množství	Rozměr
Gelcoat	Bez gelcoatu	-
Bidiagonální skelná tkanina	2x	Dle formy
Pěna (PET)	1x	Tloušťka 5mm
Odrhová tkanina	1x	Dle formy
Rozváděcí tkanina	1x	Dle formy
Spirálová trubička	1x po obvodu; 1 vnitřní obvod	
Tkanina Resintrak	Dle formy	Dle formy
Vakuová fólie	1x	Dle formy
NORPOL 420 - 100	7kg + 1kg + 1kg	-
Iniciátor BUTANOX M50	0,6% + 0,5% + 1%	-

Vlastnosti vytvrzovacího procesu:

Doba zpracovatelnosti (čas začátku procesu vytvrzování): 40 min

Kontrola tlaku: 0,85 bar (postupně klesající tlak) – v praxi nepřípustné



Obr. 54 Vakuová infuze kapoty

Vyhodnocení cílů:

- Vtokový systém s jedním vtokem není ideální pro tak velkou plochu. Nutno ale říct, že i z jednoho vtoku došlo k prosycení celé plochy formy kapoty
- Množství matrice bylo stanoveno dle plochy formy na 7 kg, v průběhu infuze musely být přidány ještě 2 kg matrice. Tento poznatek posloužil při výrobě dalšího kusu kapoty
- Co se týká porozity (propustnosti) materiálů, matrice prosytila jak pěnu, tak i tkaninu. Na výrobku sice vznikla suchá místa, ale to zapříčiněno jinými vlivy, které budou popsány níže
- Kapota vykazovala dostatečnou tuhost, správným krokem bylo zpevnění kritických míst ve všech rozích formy pomocí pásků tkaniny. Pro příští kapotu by ale klidně mohl být zvolen poměr 2x tkanina/pěna/2x tkanina

Celkové zhodnocení:

Hned úvodem nutno říct, že při vakuování nebylo dosaženo stabilního vakua, což je hlavní předpoklad úspěšné vakuové infuze. V důsledku toho vznikly na výrobku suchá místa. Hlavní centra suchých míst byly po obvodu vložky, z čehož vyplývá, že vložka nebyla dostatečně utěsněna. Další suchá místa vznikla v nejužším místě formy, kde se potkaly čela toků (viz rozmístění rozvodových kanálů (resintrak) obr. 53). To bylo s největší pravděpodobností zapříčiněno dlouhou dobou prosycování a z toho vyplývajícím začátkem vytvrzovacího procesu. V jednom případě vinou nepozornosti byl položen plát triaxiální tkaniny (10 x 10 cm), který následně při infuzi nebyl vůbec prosycen. Poslední výskyt suchých míst

byl v několika případech po obvodu formy. Zde byl příčinou už zmíněný důvod, a to dlouhá doba prosvěcování.

Z celkového hlediska ale bylo možné hodnotit kapotu č. 1 jako úspěšnou, a to hned z několika důvodů. Došlo k plnému prosvěcení celé plochy formy až na pár suchých míst a u všech těchto nedostatků byly nalezeny příčiny. Díky tomu se bylo možné poučit při další výrobě. I v praxi je známo, že při výrobě prototypu je výsledek plně vyhovující jen v malém procentu případů. Při této infuzi bylo získáno mnoho poznatků a zkušeností, které vedly ke zdokonalení technologie.



Obr. 55 Hotová kapota č. 1



Obr. 56 Ukázka suchého místa

9.1 Ekonomické zhodnocení výroby kapoty lokomotivy

Po vyrobení prototypu kapoty lokomotivy bylo provedeno ekonomické vyhodnocení tohoto procesu. Účelem ekonomického zhodnocení bylo srovnat výrobu kapoty lokomotivy pomocí vakuové infuze a ruční laminace. Ruční laminace v současné době představuje zavedenou výrobní technologii, která je však pomalu na ústupu. A vakuová infuze představuje výrobní technologii, která je perspektivní. Kalkulace cen materiálů a operací byly převzaty z firmy FORM s.r.o. Vypočtené náklady byly rozděleny na materiálové a operační.

9.1.1 Výpočet nákladů na výrobu kapoty pomocí ruční laminace

Tab. 46 Kalkulace cen jednotlivých materiálů (RL)

Materiál	Spotřebované množství	Nákupní cena za jednotku	Cena (Kč)
Gelcoat	2,5 kg	140 Kč/kg	350
Rohož R300	0,95 kg	52 Kč/kg	49,4
Rohož R450	6,9 kg	48 Kč/kg	331,2
PET pěna t20 mm	1,8 m ²	630 Kč/kg	1134
Matrice M850	23,8 kg	75 Kč/kg	1785
Iniciator (butanox M50)	0,336 kg	86 Kč/kg	28,9
Technický aceton	2,2 kg	28 Kč/kg	61,6
Tmel	0,9 kg	112 Kč/kg	100,8
Celková částka (Kč)			3840,9

Tab. 47 Výrobní časy jednotlivých operací (RL)

Operace	Výrobní čas (min)	Sazba pracovníka
Příprava sklovýztuže	24	90 Kč/hod.
Příprava pěny	60	
Příprava laminační směsi	9	
Příprava a nástři forem	26	
Ruční laminace	270	
Odformování	12	
Celkový čas	401	

Materiálové náklady - 3840,9 Kč

Operační náklady = celkový čas x sazba pracovníka = 6,68 x 90 = 601,2 Kč

Výrobní režie - 350 %

Celkové náklady = (operační náklady x výrobní režie) + materiálové náklady =
= (601,2 x 3,5) + 3840,9 = **5944,4 Kč**

9.1.2 Výpočet nákladů na výrobu kapoty pomocí vakuové infuze

Tab. 48 Kalkulace cen jednotlivých materiálů (VI)

Materiál	Spotřebované množství	Nákupní cena za jednotku	Cena (Kč)
Gelcoat	2,5 kg	140 Kč/kg	350
Rohož R100	0,22 kg	100 Kč/kg	22
4x Bidiagonal	12,25kg	70 Kč/kg	857,5
PET pěna t20 mm	1,8 m ²	630 Kč/m ²	1134
Matrice 420 - 100	17,2 kg	60 Kč/kg	1032
Iniciátor (butanox M50)	0,18 kg	86 Kč/kg	15,5
Technický aceton	2,2 kg	28 Kč/kg	61,6
Odtrhová tkanina	3,41 m ²	35 Kč/m ²	119,4
Green flow (rozváděcí síťka)	2,48 m ²	55 Kč/m ²	136,4
Rozvodový kanál (resintrak)	10 m	50 Kč/m	500
Vtoková ústí	2 ks	100 Kč/ks	200
Spojky	10 ks	10 Kč/ks	100
Těsnící páska	20 m	12 Kč/m	240
Vakuovací fólie	6,2 m ²	7,5 Kč/m ²	46,5
Celková částka (Kč)			4814,9

Tab. 49 Výrobní časy jednotlivých operací (VI)

Operace	Výrobní čas (min)	Sazba pracovníka
Příprava sklovýztuže	24	90 Kč/hod
Příprava pěny	80	
Příprava matrice	9	
Příprava technologických vrstev	30	
Příprava a nástřik formy	26	
Kladení vrstev výstuže	120	
Kladení technologických vrstev	30	
Vakuování	150	
Infuze	30	
Odformování	18	
Celkový čas (min)	517	

Materiálové náklady – 4814,9 Kč

Operační náklady = celkový čas x sazba pracovníka = 5,61 x 90 = 504,9 Kč

Výrobní režie - 350 %

Celkové náklady = (operační náklady x výrobní režie) + materiálové náklady =

= (504,9 x 3,5) + 4814,9 = **7527 Kč**

9.1.3 Vyhodnocení

Po vypočtení celkových nákladů na obě technologie vyšlo, že náklady na výrobu kapoty ruční laminací byly 5944,4 Kč a náklady na výrobu kapoty vakuovou infuzí činily 7527 Kč. Z toho vyplývá, že výroba kapoty pomocí ruční laminace je zřejmě levnější. Jak už bylo několikrát v této diplomové práci zmíněno, vysoké náklady jsou jednou z hlavních překážek, proč se vakuová infuze (VI) nepoužívá více. Při srovnání těchto dvou technologií se u vakuové infuze dosahuje výrazně menší hmotnosti výrobku. U této kapoty to bylo 50%. U vakuové infuze se také dosahuje vyššího obsahu skla. VI je také bezpečnější technologie z hlediska zdraví pracovníků a čistoty práce. VI téměř zabraňuje úniku styrenu do okolí, což u ruční laminace neplatí. Lze také říct, že čím větší je výrobek, tím vhodnější je použití vakuové infuze. Naopak podstatnou výhodou ruční laminace (RL) je lepší odolnost z hlediska hořlavosti, protože u RL se používají matrice s vyšší viskozitou obsahující plniiva, které pozitivně ovlivňují požární vlastnosti výrobku. Nevýhodou VI ovlivňující operační časy a výslednou kvalitu výrobku jsou vysoké nároky na zkušenosti a zručnost pracovní-

ků. Naopak nevýhodou u RL je velká nečistota při výrobě. V současné době je z tohoto důvodu o tuto práci malý zájem. Dále RL má podobně jako VI velké požadavky na zkušenosti a zručnost obsluhy. V porovnání s VI je také tento výrobní proces hůře kontrolovatelný. Při výrobě hrozí, že bude použito většího množství matrice, než je potřeba a tím zbytečně narůstá hmotnost výrobku. Při použití menšího množství matrice naopak hrozí vznik suchých míst. Všechny vyjmenované vlastnosti jednotlivých technologií ovlivňují celkové náklady ať už pozitivně, či negativně. Existuje předpoklad, že se vakuová infuze bude dále zdokonalovat a více prosazovat na výrobním trhu. Tím pádem při širším použití se budou náklady na výrobu pomocí vakuové infuze snižovat. Ruční laminace už narazila na svůj vývojový strop. Stále ale platí, že vakuová infuze má své uplatnění pouze u velkorozměrných výrobků a maximálně u středních sérií.

10 VÝVOJ KOMPOZITŮ A INFUZNÍCH TECHNOLOGIÍ

Během posledních 30-ti let byly kompozity společně s plasty a keramikou dominantní ve svém rozvoji. Objem výroby a poptávka po kompozitech se neustále zvyšuje. Zatímco se kompozity už osvědčily jako úsporné materiály z hlediska hmotnosti, aktuální výzvou do budoucna bude, aby byly nákladově efektivní. Spolu se snižováním nákladů se dále budou vyvíjet nové materiály, design, obrábění, zajištění kvality, výroba a řízení. Cílem kompozitů bude, aby se staly plně konkurence schopnými pro kovy, ale i pro jiné konvenční materiály. Až do nedávné doby platilo, že největší využití má toto odvětví v leteckém průmyslu. Ale poslední době se ukazuje, že kompozity nacházejí a najdou uplatnění v mnohem širším spektru. Zejména to bude v celé dopravě, ale dále i v chemickém průmyslu, u jízdních kol, elektrotechnice, stavebnictví, ropném a plynárenském průmyslu, sportovních potřebách atd. Zvyšování objemu výroby bude mít za následek snižování nákladů. Mezi další trendy budoucnosti bude patřit propojování kompozitů s konvenčními materiály, hlavně s ocelí.

U infuzních procesů byl zpočátku každý nový vývoj zaměřen především na zlepšení kvality výrobků. To znamenalo zvyšování obsahu pojiva, snižování obsahu vzduchových bublin a zlepšení povrchové kvality. V poslední době je největší tlak na zrychlení infuze, snižování viskozity matrice a provádění infuze při zvýšených teplotách za účelem zrychlení vytvrzování a zvyšování tepelné odolnosti komponentů. Infuze se také vyvíjí jednak k výrobě složitějších tvarů, a jednak také ke zvětšování rozměrů výrobků. S postupujícím časem se čím dál více budou zpřísnovat limity bezpečnosti z hlediska ochrany pracovníků kvůli emisím styrenu. U vakuové infuze lze říct, že už v současné době velmi účinně tyto emise eliminuje. Tak jako u celého odvětví kompozitních materiálů bude platit, že s nárůstem poptávky a objemu výroby komponentů pomocí vakuové infuze budou klesat náklady na výrobu. U kompozitů lze říct, že největší vývoj je v kosmickém, leteckém a vojenském průmyslu. U vakuové infuze jsou největší hybnou silou ve vývoji výrobci lopatek pro větrné elektrárny. Některé studie ukazují, že při infuzní výrobě bude možné ještě více zmenšovat tloušťku výrobků bez ztráty pevnosti. Je předpoklad, že díly budou ještě lehčí a bude se u nich zvyšovat lomová houževnatost a odolnost proti únavě.

Další velkou částí infuzních procesů, kterou v budoucnu nepochybně čeká rozvoj je řízení procesu. Důležité je už v současné době oddálení počátku vytvrzovacího procesu. Proto se v poslední době na formách začalo aplikovat jak topení, tak i chlazení. Účelem je do-

sáhnout stejné zpracovatelské vlastnosti, a tím pádem je možné více kontrolovat kvalitu výrobků. Lze produkovat velmi konzistentní součásti. Důraz na vývoj v oblasti řízení procesů bude mít za následek snižování rizika zmetkovitosti při výrobě, zvyšování kvality a možnost opakovatelnosti i pro méně zkušené pracovníky. V současné době je vyvíjen automatizovaný systém, který bude kontrolovat vakuum, dále bude určovat přesný poměr mezi matricí a iniciátorem a urychlovačem vytvrzování. To znamená, že bude kontrolována rychlost infuze i vytvrzování. Přesnou kontrolou a dávkováním se zamezí zbytečnému plýtvání matricí, což je v současné době problémem.

11 DISKUZE DOSAŽENÝCH VÝSLEDKŮ

11.1 Stanovení ohybových vlastností

Tab. 50 Celkové výsledky v ohybu

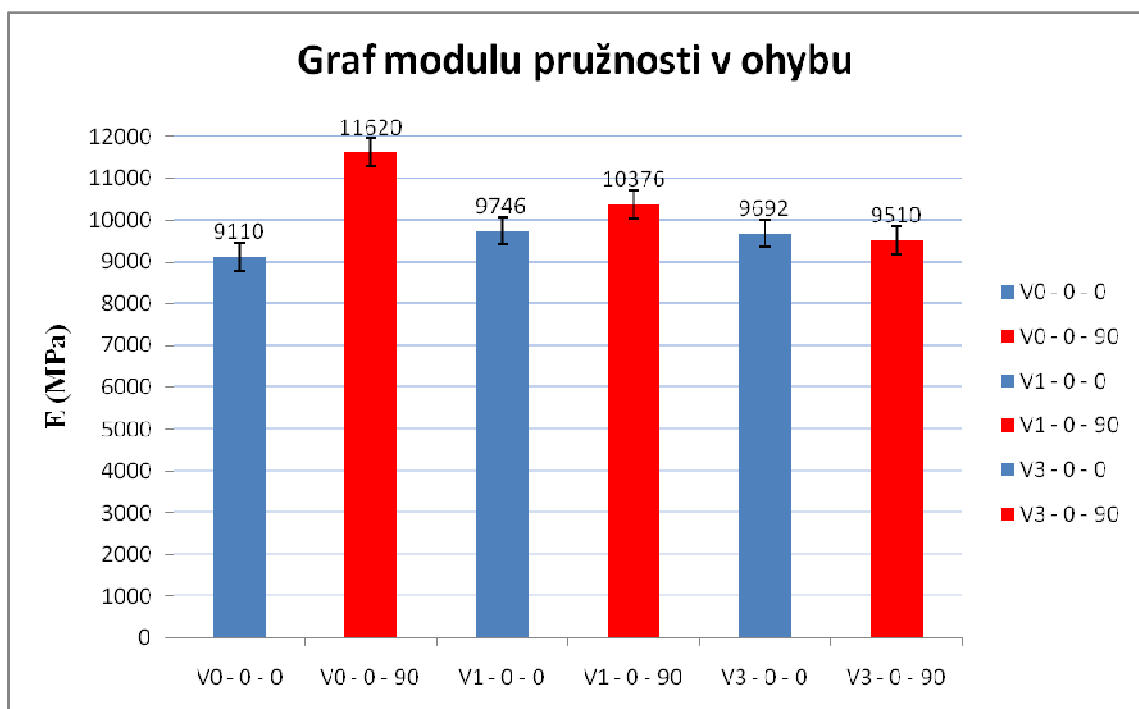
	E (Mpa)	σ_0 (Mpa)	dL při Fmax (%)	W to Fmax (Nmm)
V0 - 0 - 0	9110	161	3,9	1335
V0 - 0 - 90	11620	275	4,3	2298
V1 - 0 - 0	9746	181	4,1	1607
V1 - 0 - 90	10376	208	4,02	1750
V3 - 0 - 0	9692	243	5,5	1641
V3 - 0 - 90	9510	183	4,38	1007

E (MPa) – modul pružnosti v ohybu

σ_0 (MPa) – mez pevnosti v ohybu

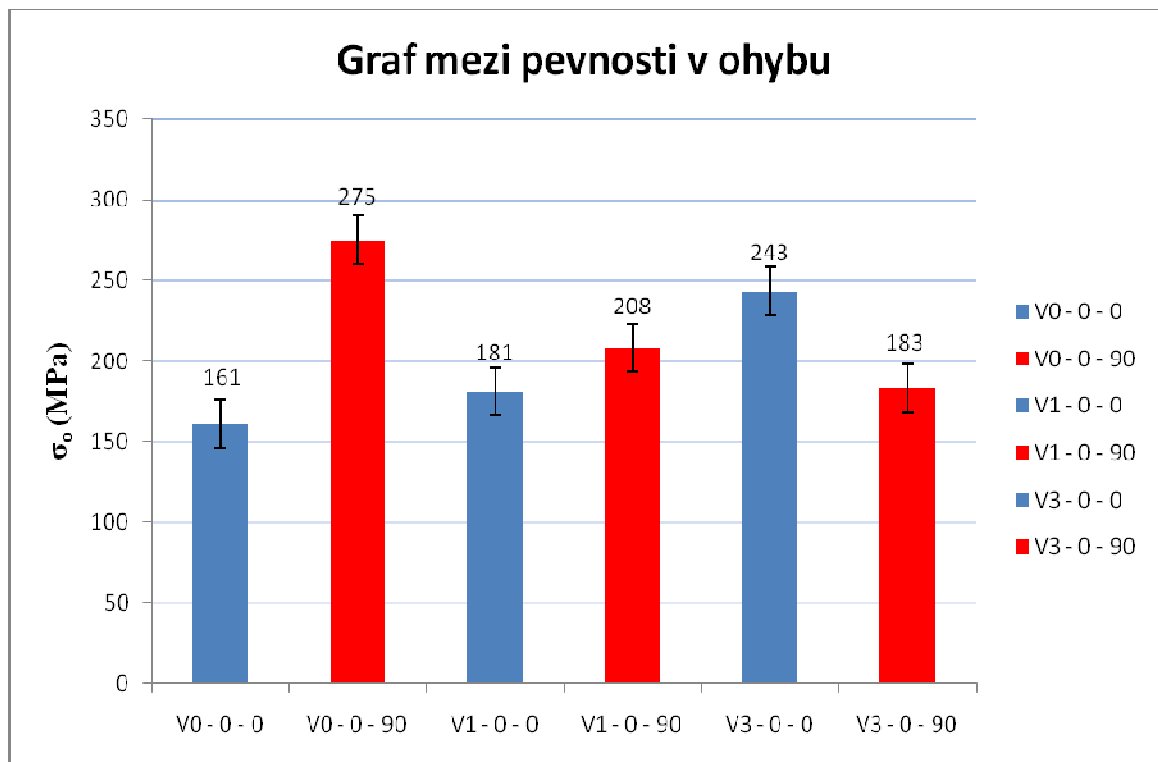
dL při Fmax (%) – poměrná deformace na mezi pevnosti

W to Fmax (Nmm) – práce při maximální síle



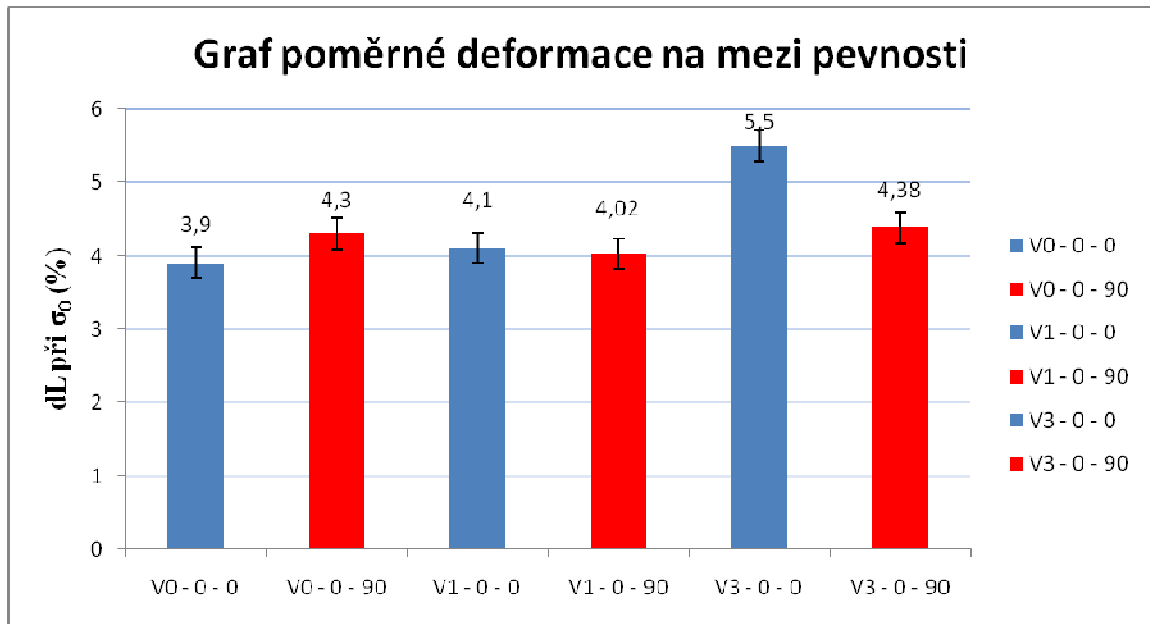
Graf 1 Modul pružnosti v ohybu

Při testování kompozitních vzorků na ohyb má vždy rozhodující vliv na ohybové vlastnosti výstuž kompozitu. Jednotlivé moduly pružnosti měly srovnatelné hodnoty bez ohledu na orientaci vláken. Největší rozdíl mezi jednotlivými hodnotami byl u vzorku 0. To bylo způsobeno kvalitou vnitřní struktury. Tento problém je více rozveden u vyhodnocení dalšího grafu.



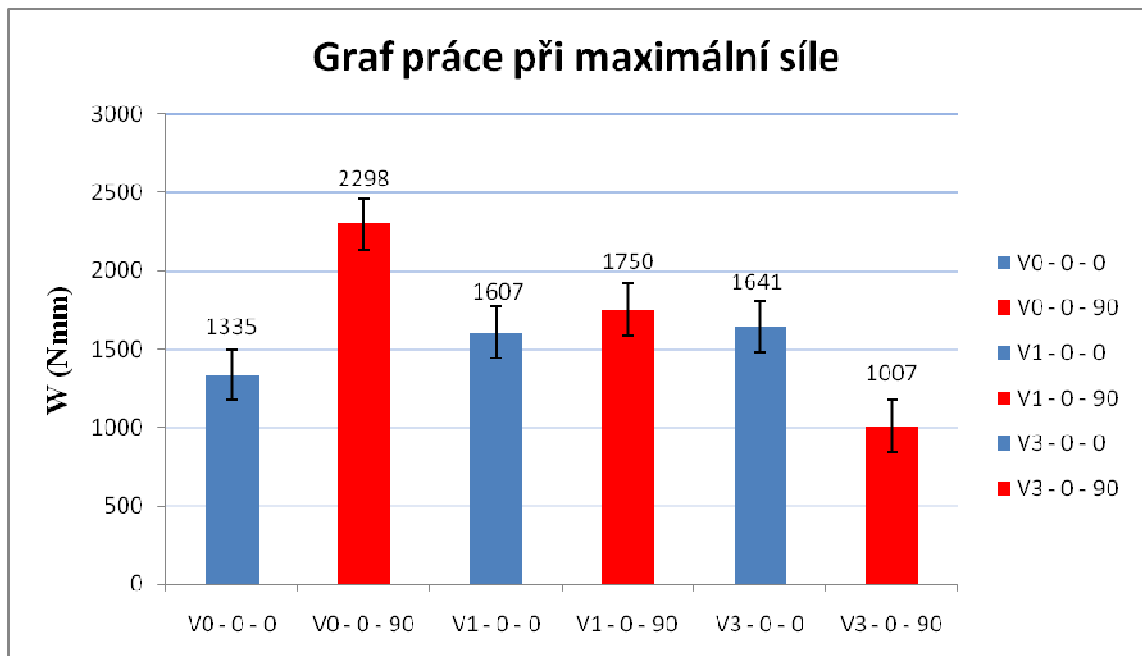
Graf 2 Mez pevnosti v ohybu

Největší pevnost v ohybu byla naměřena u vzorku 0 s orientací 90°. Přitom podle orientace vláken (-45°/+45°) by výsledky měly být přibližně stejné. Tak velký rozdíl lze vysvětlit jedině kvalitou vnitřní struktury vzorku. I relativně malý rozdíl v tloušťce vzorku (0,3 – 0,5 mm) může mít za následek velkou změnu pevnosti. Dalším možným důvodem velkého rozdílu mohla být nedokonale prosycená část vzorku, ze kterého byla vyřezána zkušební tělesa. U vzorku 1 už byly hodnoty podle předpokladů srovnatelné. Konečně u vzorku 3 byla pevnost v ohybu větší, protože triaxiální tkanina měla orientaci vláken (-45°/+45°/0°). V rovině 0° byla vlákna protkaná s největší hustotou.



Graf 3 Poměrná deformace na mezi pevnosti

Co se týká poměrné deformace na mezi pevnosti, tady byly opět všechny hodnoty srovnatelné. Největší poměrná deformace byla u vzorku 3 s orientací vláken 0°. Příčinou tohoto výsledku byl opět fakt, že v rovině 0° byla vlákna protkána s největší hustotou.



Graf 4 Práce při maximální síle

Velikost spotřebované práce měla spojitost s pevností materiálů v ohybu. Platilo zde, že čím větší měl vzorek mez pevnosti v ohybu, tím větší práce musela být spotřebována k ohnutí testovaného vzorku.

11.2 Zkouška požární odolnosti

Tab. 51 Zařazení do kategorií pro tuhé netermoplastické materiály

S (cm ²)	P (s)	$P \leq 2$	$2 < P \leq 10$	$P > 10$
$S \leq 100$		I	II _c	III _e
$100 < S \leq 150$		II _a	II _b	III _d
$S > 150$		III _a	III _b	III _c

Při zkoušce požární odolnosti u žádného ze vzorků nedošlo k prohoření k hornímu okraji a ze vzorku nespadały hořící částice nebo kapky. Žádné místo nežhnulo déle než 10 s po zhasnutí plamene. U všech vzorků byla plocha ohoření menší než 100 cm². Dle normy UIC 564 – 2 byly všechny vzorky zařazeny do kategorie A.

11.3 Stanovení obsahu skla kalcinační metodou

Tab. 52 Vypočtené hodnoty obsahu skla

	M _{glass} (%)			Průměr
V0-S	73,39	72,22	73,76	73,12
V1-S	72,40	72,02	72,30	72,24
V2-S	63,67	57,27		60,47
V3-S	68,05	67,43		67,74

Hodnota obsahu skla se pohybovala průměrně od 67% do 73%. Nejvyšší obsah skla byl u vzorků, kde byla použita bidiagonální tkanina. Vakuová infuze je technologie, kterou lze dosahovat nejvyšších možných hodnot obsahu skla v porovnání s ostatními technologiemi výroby kompozitů. Tato vypočtená čísla odpovídala i údajům z literatury, které uváděly, v jakých rozmezech se hodnoty obsahu skla u infuzních technologií pohybují.

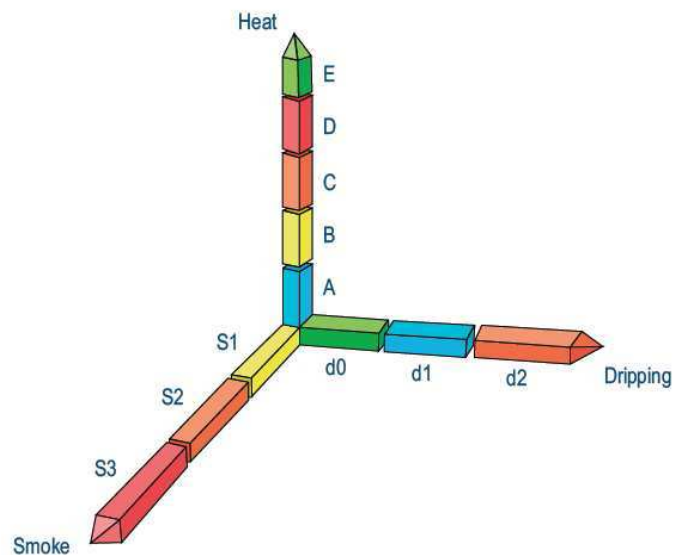
11.4 Stanovení kyslíkového čísla

Tab. 53 Hodnoty kyslíkového čísla

Číslo vzorku	%obj.
Vzorek 0	30 – 30,6
Vzorek 1	26,6 – 27,4
Vzorek 3	24,8 – 25,2

Tab. 54 Zařazení hodnot kyslíkového čísla dle národních norem [46]

ASTM 2863 LOI(low)	Oxygen index		UK BS 476 Part 6.7	Germany		France NF P 92- 501	USA			Euroclass Single Burning Item (SBI)
	LOI(High)			4102	5510		ASTM E84	UL94	UL94	
41	↔	50	Class 0	Class A2	S4	M1	25	5V	0	B
34,5	↔	41	Class 1	Class B1	S4	M2	50	0	1	B/C
28,5	↔	34,5	Class 2	Class B2	S3	M3	100	0	2	C/D
22	↔	28,5	Class 3	Class B3	S2	M4	>100	1	3	D/E
19	↔	22	Class 4	—	—	M5	>100	2	4	—



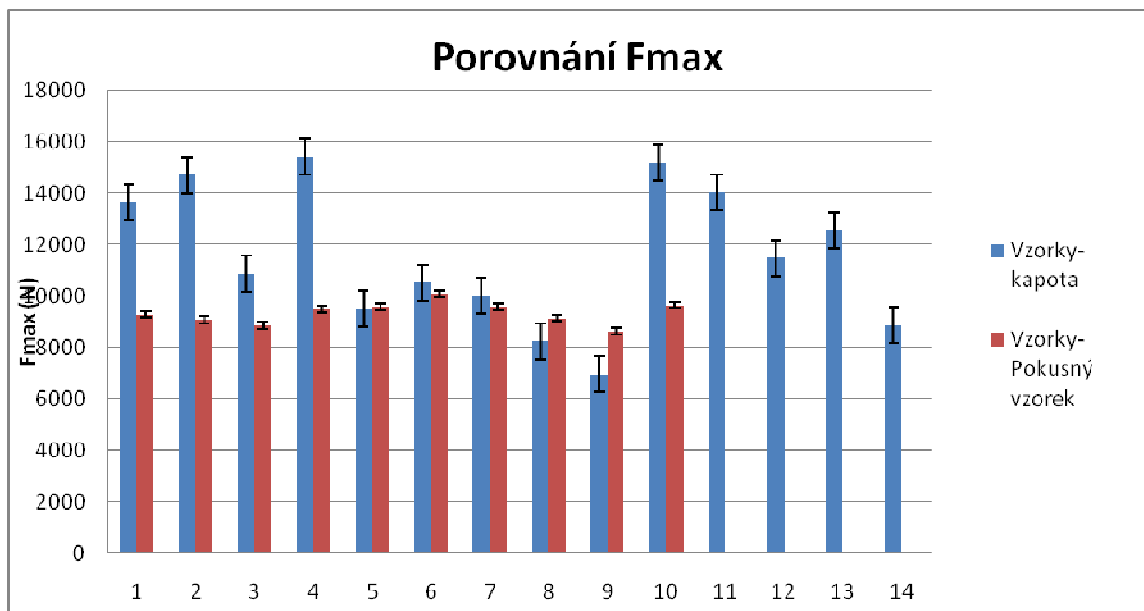
Obr. 57 Jednotlivé kategorie pro stanovení kyslíkového čísla dle normy SBI [45]

Nejvyšší hodnota kyslíkového čísla byla naměřena u vzorku 0. Dle tabulky 59, podle evropské normy spadají všechny vzorky do skupiny D. Obecně platí, že se zvyšujícím se kyslíkovým číslem stoupá i odolnost materiálu proti hoření. Literatura uvádí, že za normálně hořlavé se považují materiály, kde je hodnota kyslíkového čísla do 21%.

11.5 Rázová zkouška na padostroji

Tab. 55 Naměřené hodnoty F_{max}

č.m.	Kapota	Pokusný vzorek
	F_{max} (N)	F_{max} (N)
1	13654	9280
2	14713	9086
3	10858	8856
4	15417	9500
5	9504	9579
6	10528	10090
7	10021	9582
8	8252	9153
9	6958	8633
10	15179	9651
11	14038	-
12	11481	-
13	12539	-
14	8886	-



Graf 5 Porovnání maximálních sil

Co se týká vyhodnocení rázové zkoušky na padostroji, výsledky byly ovlivněny faktem, že jak kapota, tak i pokusný vzorek měly nedostatky v podobě suchých míst. Tento nežádoucí

jev negativně ovlivnil nárazové vlastnosti obou výrobků. Kapota byla poskládána z menšího počtu vrstev tkaniny, ale jako konečný produkt byla kvalitnější než pokusný vzorek. Pokusný vzorek obsahoval více vrstev tkaniny, ale z velké části neprosycený. Proto byla síla potřebná k proražení větší paradoxně u kapoty. V takovéto situaci se nakonec jako kvalitnější ukázala kapota lokomotivy.

11.6 Průrazová zkouška VTÚSP Slavičín

I když zkouška vzorku A nebyla úspěšná, teoreticky by se dalo uvažovat, že by tento vzorek mohl odolat nárazu, protože byla použita bidiagonální tkanina, která je určitě kvalitnější z hlediska dynamických vlastností oproti rohožím použitých u ruční laminace. U průrazových zkoušek je výběr tkaniny rozhodující.

Vzorek B měl sice větší tloušťku, ale jako pojivo byly použity rohože, které nebyly tkané a měly daleko menší hustotu. Proto byl čistě prostřelen.

Po získaných poznacích by například skladba materiálu (4x bidiagonal/pěna/4x bidiagonal) měla velkou šanci nárazu odolat.

ZÁVĚR

Cílem této diplomové práce bylo zhodnotit přínos a použitelnost vakuové infuze pro firmu FORM s.r.o. Tento vývoj byl prováděn pro konkrétní díl, což byla přední kapota na lokomotivu od firmy CZ LOKO, a.s. Že se jednalo opravdu o vývoj, dokazuje fakt, že v České a Slovenské republice se téměř nikdo nezabývá touto výrobní technologií. I v zahraničí bylo velmi složité získávat konkrétnější teoretické informace o vakuové infuzi, kromě všeobecně známých faktů.

Tato diplomová práce se v teoretické části zabývala nejdříve vlastnostmi kompozitních materiálů, což zahrnovalo definice, výhody, nevýhody a použití. Poté byla pozornost zaměřena na modely a formy pro výrobu kompozitních materiálů, protože pro vakuovou infuzi je kvalitní forma nezbytným prvkem k dosažení výrobku vysoké kvality. Tato část dále popisovala materiály forem a modelů. Nakonec byly popsány nejpoužívanější formy v infuzních technologiích, a sice formy ze sklolaminátů. V další části byla popsána samotná vakuová infuze, konkrétně její princip, výhody, nevýhody a použití. Dále byly vyjmenovány typy technologických postupů při navrhování podmínek před samotnou výrobou a zákony, kterými se vakuová infuze řídí. Velká pozornost byla věnována technologickým materiálům (vrstvám), což jsou specifické materiály pro vakuovou infuzi nezbytné. V poslední kapitole teoretické části byly popsány požadavky na materiály v železničním průmyslu.

V praktické části byly nejdříve vyrobeny vzorky jednoduchého tvaru pro testování, ale také pro získání prvních praktických zkušeností s touto technologií při výrobě. Po vyrobení dostatečného počtu kusů byly tyto vzorky testovány v nejrůznějších zkouškách. Typy zkoušek a jejich vyhodnocení bylo popsáno výše v experimentální části. Nutno ale poznamenat, že jednotlivé typy zkoušek byly vybírány tak, aby vzorky byly testovány na požadavky v železničním průmyslu. Po provedení všech zkoušek byla vybrána nejvhodnější varianta skladby materiálů pro výrobu prototypu kapoty lokomotivy. Po té už následovala samotná výroba kapoty. Jak už bylo několikrát zmíněno v této práci, vakuová infuze klade velké požadavky na zkušenosti a manuální zručnost obsluhy. Klíčovou částí a zároveň nejsložitější částí výroby bylo vakuování celé formy, což bylo i díky špatné konstrukci formy ne zcela splněno. Z těchto důvodů se udělaly při výrobě chyby, které negativně ovlivnily výslednou kvalitu výrobku. Kapota byla kompletně prosycena až na pár oblastí suchých míst. Nakonec byla provedena ještě jedna infuze kontrolního vzorku. Byla to jedna polovina kapoty. Účelem bylo vyzkoušet nové technologické postupy, jako použití více vtoků, jiné

rozmístění rozváděcích kanálů (resintrak), které určovaly tok matrice a konečně materiálová skladba o větší tloušťce. Tato infuze dopadla mnohem hůř než výroba kapoty. Na součásti převažovala suchá místa. Bylo to zapříčiněno nevhodnou volbou matrice s příliš vysokou viskozitou. Na základě získaných zkušeností byly vypracovány technologické zásady při výrobě komponentů pomocí vakuové infuze. Tuto část je možné najít v příloze.

Co se týká přínosu a použitelnosti vakuové infuze, tak na prvním místě platí, že tato technologie je nejvhodnější pro velkorozměrné výrobky. V praxi je možné vidět, že největší použití má vakuová infuze u trupů lodí a lopatek větrných elektráren. Zde vyráběná kapota je z hlediska rozměrů nejmenším možným výrobkem, který se vyplatí vyrábět touto technologií. Vakuová infuze je v současné době technologie velmi nákladná, proto byly testovány i méně povedené vzorky. Jednotlivé zkoušky byly prováděny s takovým počtem vzorků, aby bylo možné tyto testy vyhodnotit s dostatečnou vypovídací hodnotou.

Perspektiva této technologie spočívá ve velké hmotnostní úspoře ve srovnání s jinými výrobními technologiemi. V železničním průmyslu úspora hmotnosti znamená úsporu energie. Nutno dodat, že menší hmotnost neznamena horší mechanické vlastnosti. Kompozitní materiály se vyznačují velmi dobrou pevností a pružností. Tato technologie je díky minimalizaci úniku styrenu do ovzduší zdraví nezávadná.

Z hlediska použitelnosti pro firmu FORM s.r.o. tato technologie zatím není v současné době v takovém stádiu vývoje, aby ji bylo možné zavést do výroby. Vývoj této technologie je dle mého názoru na velmi dobré cestě, ale překážkou jsou dvě hlavní příčiny. První příčinou jsou vysoké náklady na výrobu. Při výrobě komponentů takových rozměrů, jako byla třeba kapota, se každý vyrobený zmetek výrazně promítne v ekonomičnosti tohoto procesu. Proto je třeba mít tuto technologii vyvinutou na mnohem vyšší úrovni. Bude potřeba nejdříve precizně zvládnout výrobu menších výrobků, nebo vzorků a tím pádem získat více poznatků s touto výrobou. S tím souvisí druhá příčina, a to jsou zkušenosti jak zaměstnanců, tak i technologů a konstruktérů. Při výrobě prototypu kapoty lokomotivy se vyskytlo mnoho očekávaných, ale i nečekaných překážek, proto je dle mého názoru úspěchem, že se podařilo vyrobit prototyp kapoty postačující kvality.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [8] JANČÁŘ, J. *Úvod do materiálového inženýrství polymerních kompozitů*. Vyd. 1. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta chemická, 2003. 193 s. ISBN 8021424435.
- [2] DAĐOUREK, K.: *Kompozitní materiály – druhy a jejich využití*, Technická univerzita v Liberci, 1. vydání, 113 s., 2007, ISBN 978-80-7372-279-1.
- [3] Janovec, J., Cejp, J., Steidl, J. *Perspektivní materialy*. ČVUT v Praze, 2008.
- [4] EHRENSTEIN, Gottfried W. *Polymerní kompozitní materiály*. V ČR 1. vyd. Praha: Scientia, 2009. 351 s. ISBN 978-80-86960-29-6.
- [5] RUSNÁKOVÁ, Soňa. *Kompozitné materiály*. Zlín, 2011.
- [6] Carguideblog. *BMW M3 CRT* [online]. 2013 [cit. 2013-02-12]. Dostupné z: <http://carguideblog.com/16840/video-bmw-m3-crt-officially-unrevealed/>.
- [7] Evaluation engineering. *New Airlines Influence Lightning Tests* [online]. 2006 [cit. 2013-02-12]. Dostupné z: <http://www.evaluationengineering.com/articles/200606/new-airliners-influence-lightning-tests.php>
- [8] Armchairgeneral. *LCS' little brother* [online]. 2004 [cit. 2013-02-12]. Dostupné z: <http://www.armchairgeneral.com/forums/showthread.php?t=110668>
- [9] Form s.r.o.: *Železniční průmysl - konstrukční prvky pro kolejová vozidla* [online]. 2011 [cit. 2013-02-12]. Dostupné z: http://www.form-composite.com/sortiment_zeleznice.htm.
- [10] RUSNÁKOVÁ, Soňa. *Formy*. Zlín, 2011.
- [11] HÁJEK, Pavel. *Příručka pro výuku Rapid Prototyping* [online]. 2012 [cit. 2013-02-13]. Dostupné z: <http://www.spszr.cz/projekty/plm/rp2012.pdf>.
- [12] POLYCOM S.R.O. *Postup a realizace projektu*. [online]. 2009 [cit. 2013-02-13]. Dostupné z: <http://www.polycom-sro.cz/index.html>.
- [13] MARTANUS, František. Modelování infuzních technologických procesů metodou konečných prvků. *Transfer: Výzkum a vývoj pro letecký průmysl* [online]. 2007, č. 5 [cit. 2013-02-13]. Dostupné z: www.vzlu.cz/download.php?file=67
- [14] Výroba modelů a forem. *Composite components a.s.* [online]. 2013 [cit. 2013-02-13]. Dostupné z: <http://www.compositecomponents.eu/cs/vyroba-modelu-a-forem>

- [15] RICHMOND - AIRCRAFT PRODUCTS. *Vacuum Infusion - The Equipment and Process of Resin Infusion*. Heanor, Derbyshire, 2004.
- [16] RUSNÁKOVÁ, Soňa. *Vakuové prosycování: VIP - vacuum infusion process*. Zlín, 2011.
- [17] MICHNA, Štefan. *Progresivní technologie*. Fakulta výrobních technologií a managementu, Univerzity J.E.Purkyně v Ústí nad Labem[online]. 2008 [cit. 2013-02-13]. Dostupné z WWW: <http://www.stefanmichna.com/download/technickematerialy_II/kompozitni_materialy.pdf>.
- [18] Ptáček, L.: *Nauka o materiálu II*. CERM, s.r.o., Brno, 2002.
- [19] New Directions in Fiberglass Boat Building. *Canadian Yachting*. 1996, s. 26-28. ISSN:0384-0999.
- [20] MACHEK, Václav; SODOMKA, Jaromír . *Polymery a kompozity s polymerní matricí : Nauka o materiálu. 4. část. Vyd. 1. . Praha : České vysoké učení technické, 2008. 86 s. ISBN 978-80-01-03297-4*.
- [21] Tong, L.; Mouritz, A. P.; Bannister, M. K. *3D Fibre Reinforced Polymer Composites*, 1st ed.; Elsevier: Oxford, U.K., 2002.
- [22] Hexcel.com [online]. *Infuzní technologie výroby kompozitu a jejich simulace v MKP*. 2011 [cit. 2013-02-13]. Dostupné z WWW: <<http://www.hexcel.com/Resources/DataSheets/Brochure-Data-Sheets/Rail.pdf>>
- [23] Airtech.lu [online]. c2011 [cit. 2013-02-13]. *Catalogue Airtech*. Dostupné z WWW: <http://catalogue.airtech.lu/index.php?lang=EN>
- [24] HANKINSON, Ken. Resin Infusion: A Quantum Leap in the Quest for Superior Boats. *Trailer Boats*. 1998, vol. 27, no. 3 s. 30-32. ISSN:0300-6557.
- [25] C. Y. NIU, Michael. *Composite airframe structures: Practical design information and data*. Hong Kong: Conmilit Press Ltd., 1992. ISBN 962-7128-06-6.
- [26] Gurit.com [online]. 2011 [cit. 2011-05-23]. *Guide to composites*. Dostupné z WWW: < <http://www.gurit.com/guide-to-composites.aspx> >.
- [27] CARRUTHERS, Joe. NEWRAIL. *Composites in railway industry: Overview and Future Development*. Derby, UK, 2005.
- [28] GUBENCU, Dinu. MATERIALS ENERGY AND SUSTAINABLE GROWTH. *Use of Composites in the Domain of Railway and Ships Industries* [online]. Politehnica” University of Timisoara, 2010 [cit. 2013-02-13]. Dostupné z: www.dem.isep.ipp.pt/ip2010

- [28] Mazumdar, S. K. Composites manufacturing : *Materials, products and processing*. London : CRC Press, 2002. ISBN 0-8493-0585-3.
- [30] Barbero, E. J. *Introduction to Composite Materials Design*. London : Taylor a Francis, 1999. ISBN 1-56032-701-4
- [31] Kmi2.uniza.sk [online]. 2009 [cit. 2013-02-13]. *Polymérne technické materiály*. Dostupné z www: <http://kmi2.uniza.sk/wpcontent/uploads/2010/10/polymerne_konstrukcne_materialy.pdf>.
- [32] Ime.fme.vutbr.cz [online]. 2011 [cit. 2013-02-13]. *Kompozitní materiály*. Dostupné z WWW: < <http://ime.fme.vutbr.cz/Files/Vyuka/BUM/11-BUM.ppt> >.
- [33] *TRANSFER: Výzkum a vývoj pro letecký průmysl* [online]. 2011 [cit. 2013-02-14]. ISSN 1801-9315. Dostupné z: <http://www.vzlu.cz/cz/publikace/casopis-transfer/rocnik-2011>.
- [34] KOŘÍNEK, Zdeněk. Kompozity. *Definice a historie kompozitů* [online]. 2005 [cit. 2013-02-14]. Dostupné z: <http://www.volny.cz/zkorinek/historie.pdf>
- [35] Gelcoat. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-2013 [cit. 2013-02-14]. Dostupné z: <http://en.wikipedia.org/wiki/Gelcoat>
- [36] LONGAUER, Svatoboj. *Kompozitné materiály: Handlayup*. Košice, 2012.
- [37] Catalogue. *Airtech: Vacuum bagging materials, composite tooling products* [online]. 2010 [cit. 2013-02-14]. Dostupné z: <http://catalogue.airtech.lu/index.php?lang=EN>
- [38] Vacuum bagging techniques. In: *West system* [online]. 2010 [cit. 2013-04-02]. DOI: 002-150. Dostupné z: <http://www.westsystem.com/ss/assets/HowTo-Publications/Vacuum-Bagging-Techniques.pdf>
- [39] Fiberglass mold making. *Fiberglass warehouse: Learning center* [online]. 2009 [cit. 2013-04-02]. Dostupné z: http://www.fiberglasswarehouse.com/fiberglass_mold_making.php
- [40] MCCONELL. Rail – an evolving market for FRP components. *Reinforced plastics.com* [online]. 2008 [cit. 2013-04-02]. Dostupné z: <http://www.reinforcedplastics.com/view/2210/rail-an-evolving-market-for-frp-components/>
- [41] 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. 2013-04-02]. Dostupné z: <http://www.railwaypro.com/wp/?p=1592>

- [42] *THE RESEARCH REQUIREMENTS OF THE TRANSPORT SECTORS TO FACILITATE AN INCREASED USAGE OF COMPOSITE MATERIALS: Part III: The Composite Material Research Requirements of the Rail Industry* [online]. 2004 [cit. 2013-04-02]. Dostupné z: www.compositn.net
- [43] Hexcel's Composite Materials for the Rail Industry. In: *Hexcel* [online]. 2008 [cit. 2013-04-02]. Dostupné z: <http://www.hexcel.com/Resources/DataSheets/Brochure-Data-Sheets/Rail.pdf>
- [44] How to build a fiberglass plug, mold, and part. *Sceadu design* [online]. 2012 [cit. 2013-04-02]. Dostupné z: http://www.sceadu.com/support_fiberglass.html
- [45] Fire retardant systems. In: *REICHHOLD* [online]. 2010 [cit. 2013-04-26]. Dostupné z: <http://www.reichhold.com/brochures/composites/Fire%20Retardant%20%28EMEA%29.pdf>
- [46] FORM S.R.O. *Interní dokumentace*. Střelná, 2010.
- [47] Rapid Prototyping. *G.W.P. AG: Mechanical components in metal and plastic* [online]. 2011 [cit. 2013-05-06]. Dostupné z: <http://www.gwp-ag.com/en/services/prototyping/rapid-prototyping/index.html>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Q	$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	objemový průtok
A	m^2	plocha průtoku
K	m^2	permeabilita výstuže
Δp	1	tlakový gradient
η	Pa.s	viskozita pojivého systému
L	m	penetrovaná délka
C	1	konstanta zvolené strategie infuze
E	MPa	modul pružnosti v ohybu
F _{max}	N	maximální síla při nárazu
dL/F _{max}	%	poměrná deformace na mezi pevnosti
W/F _{max}	Nmm	práce při maximální síle
t ₁	s	čas zapálení
t ₂	s	čas hoření vzorku
t ₃	s	konec hoření
t ₄	s	zhasnutí plamene na vzorku
m	g	hmotnost vzorků
M _{glass}	%	obsah skla
M ₁	g	hmotnost vzorku na začátku zkoušky
M ₃	g	hmotnost vzorku po kalcinaci v muflové peci
σ_0	MPa	mez pevnosti v ohybu
RL	1	ruční laminace
VI	1	vakuová infuze

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1 Synergismus [2]</i>	13
<i>Obr. 2 BMW R3 CRT [6]</i>	16
<i>Obr. 3 Materiálové složení letadla Boeing 787 Dreamliner [7]</i>	17
<i>Obr. 4 Výzkumná loď M80 Stiletto [8]</i>	17
<i>Obr. 5 Použití kompozitních kapot na vlakové soupravě [9]</i>	18
<i>Obr. 6 Příklad výroby prototypu pomocí technologie Rapid Prototyping [47]</i>	19
<i>Obr. 7 Výroba silnostěnné kompozitní součásti [13]</i>	20
<i>Obr. 8 Forma pro výrobu kompozitních součástí [12]</i>	22
<i>Obr. 9 Model (prototyp) budoucího výrobku [44]</i>	23
<i>Obr. 10 Model pro výrobu formy [14]</i>	25
<i>Obr. 11 Schéma technologie vakuové infuze [16]</i>	27
<i>Obr. 12 Příprava formy a příprava výstuže [16]</i>	29
<i>Obr. 13 Nátěr gelcoatu a lepení těsnící pásky na formu [16]</i>	29
<i>Obr. 14 Kladení suché výstuže do formy a kladení technologických vrstev [16]</i>	29
<i>Obr. 15 Aplikace vakuové fólie, instalace prostředků potřebných na vytvoření vakua [16]</i>	30
<i>Obr. 16 Vakuovací proces a kontrola a následný transport matrice do formy [16]</i>	30
<i>Obr. 17 Odformování výrobku [16]</i>	30
<i>Obr. 18 Příklad obvodového plnění [13]</i>	32
<i>Obr. 19 Příklad centrálního plnění [13]</i>	32
<i>Obr. 20 Příklad hranového plnění [13]</i>	33
<i>Obr. 21 Gelcoat nanesený na formě</i>	34
<i>Obr. 22 Odrhová tkanina</i>	35
<i>Obr. 23 Rozvodná tkanina [37]</i>	35
<i>Obr. 24 Rozvodový kanál (resintrak)</i>	36
<i>Obr. 25 Těsnící páska</i>	36
<i>Obr. 26 Druhy hadic u vakuové infuze</i>	37
<i>Obr. 27 Konektor RIC [37]</i>	37
<i>Obr. 28 Vakuovací fólie</i>	38
<i>Obr. 29 Rezervoár matrice [37]</i>	38
<i>Obr. 30 Měřidlo podtlaku [37]</i>	39

<i>Obr. 31 Příklady použití kompozitů firmou Hexcel [43]</i>	42
<i>Obr. 32 Forma pro výrobu vzorků</i>	51
<i>Obr. 33 Vakuování vzorku a ukázka umístění rozvodových kanálů (resintrak)</i>	54
<i>Obr. 34 Suchá místa na vzorku č. 2</i>	55
<i>Obr. 35 Suchá místa na opakovaném vzorku č. 2</i>	56
<i>Obr. 36 Výsledný vzorek č. 3</i>	58
<i>Obr. 37 Trojbodový ohyb</i>	59
<i>Obr. 38 Schéma zkoušky</i>	62
<i>Obr. 39 Kategorie hořlavosti dle jednotlivých národních norem [45]</i>	64
<i>Obr. 40 Ukázka zkoušky hořlavosti</i>	65
<i>Obr. 41 Měření označené zničené plochy pomocí planimetru</i>	65
<i>Obr. 42 Rázový hmotnostní přístroj</i>	69
<i>Obr. 43 Princip zkoušky</i>	71
<i>Obr. 44 Zkušební zbraň</i>	71
<i>Obr. 45 Projektil</i>	72
<i>Obr. 46 Vzorek A po průstřelu</i>	73
<i>Obr. 47 Vzorek B po průstřelu</i>	74
<i>Obr. 48 Skladba tkaniny u pokusného vzorku</i>	77
<i>Obr. 49 Pokusný vzorek (suchá místa)</i>	78
<i>Obr. 50 Infuze pokusného vzorku</i>	78
<i>Obr. 51 Kapota lokomotivy</i>	79
<i>Obr. 52 3D model kapoty lokomotivy</i>	80
<i>Obr. 53 Umístění technologických materiálů</i>	81
<i>Obr. 54 Vakuová infuze kapoty</i>	83
<i>Obr. 55 Hotová kapota č. 1</i>	84
<i>Obr. 56 Ukázka suchého místa</i>	84
<i>Obr. 57 Jednotlivé kategorie pro stanovení kyslíkového čísla dle normy SBI [45]</i>	95

SEZNAM TABULEK

<i>Tab. 1 Legenda pro Darcyho zákon [13]</i>	31
<i>Tab. 2 Vlastnosti bidiagonální tkaniny (příloha 1)</i>	46
<i>Tab. 3 Vlastnosti quadriaxiální tkaniny (příloha 2)</i>	46
<i>Tab. 4 Vlastnosti triaxiální tkaniny (příloha 3)</i>	46
<i>Tab. 5 Vlastnosti pěny Airex T90 (příloha 4)</i>	47
<i>Tab. 6 Vlastnosti matrice M850 (příloha 5)</i>	47
<i>Tab. 7 Vlastnosti vývojové matrice FR 4/12 (příloha 6)</i>	48
<i>Tab. 8 Vlastnosti matrice NORPOL 420-100 (příloha 7)</i>	48
<i>Tab. 9 Vlastnosti gelcoat (příloha 8)</i>	48
<i>Tab. 10 Vlastnosti odtrhové tkaniny (Peel – Ply)</i>	49
<i>Tab. 11 Vlastnosti rozváděcí tkaniny (Green flow)</i>	49
<i>Tab. 12 Vlastnosti rozváděcího kanálu (resintrak)</i>	49
<i>Tab. 13 Vlastnosti vakuové fólie</i>	49
<i>Tab. 14 Vlastnosti spirálové hadičky</i>	49
<i>Tab. 15 Materiálové složení vzorku č. 0</i>	52
<i>Tab. 16 Materiálové složení vzorku č. 1</i>	53
<i>Tab. 17 Materiálové složení vzorku č. 2</i>	54
<i>Tab. 18 Materiálové složení opakovaného vzorku č. 2</i>	55
<i>Tab. 19 Materiálové složení vzorku č. 3</i>	57
<i>Tab. 20 Výsledky ohybové zkoušky u vzorku č. 0 – 0°</i>	59
<i>Tab. 21 Výsledky ohybové zkoušky u vzorku č. 0 – 90°</i>	60
<i>Tab. 22 Výsledky ohybové zkoušky u vzorku č. 1 – 0°</i>	60
<i>Tab. 23 Výsledky ohybové zkoušky u vzorku č. 1 – 90°</i>	60
<i>Tab. 24 Výsledky ohybové zkoušky u vzorku č. 3 – 0°</i>	61
<i>Tab. 25 Výsledky ohybové zkoušky u vzorku č. 3 – 90°</i>	61
<i>Tab. 26 Výsledky zkoušky hořlavosti u vzorku č. 0</i>	62
<i>Tab. 27 Výsledky zkoušky hořlavosti u vzorku č. 1</i>	63
<i>Tab. 28 Výsledky zkoušky hořlavosti u vzorku č. 2</i>	63
<i>Tab. 29 Výsledky zkoušky hořlavosti u vzorku č. 3</i>	63
<i>Tab. 30 Zařazení do kategorií pro tuhé netermoplastické materiály dle UIC 5645-2 (příloha 9)</i>	64

<i>Tab. 31 Hmotnost vzorků před vysušením</i>	66
<i>Tab. 32 Hmotnost vzorků po vysušení</i>	66
<i>Tab. 33 Hmotnost vzorků po vytažení z muflové pece</i>	67
<i>Tab. 34 Vypočtené hodnoty obsahu skla</i>	67
<i>Tab. 35 Hodnoty kyslíkového čísla</i>	68
<i>Tab. 36 Parametry zkoušky</i>	68
<i>Tab. 37 Naměřené hodnoty (vzorky kapota)</i>	69
<i>Tab. 38 Naměřené hodnoty (vzorky pokusný vzorek)</i>	70
<i>Tab. 39 Materiálová skladba vzorku A</i>	72
<i>Tab. 40 Parametry testu u vzorku A</i>	72
<i>Tab. 41 Materiálové složení vzorku B</i>	73
<i>Tab. 42 Parametry testu u vzorku B</i>	73
<i>Tab. 43 Materiálové složení pokusného vzorku</i>	76
<i>Tab. 44 Test doby zpracovatelnosti matrice NORPOL 420 - 100</i>	81
<i>Tab. 45 Materiálové složení kapoty č. 1</i>	82
<i>Tab. 46 Kalkulace cen jednotlivých materiálů (RL)</i>	85
<i>Tab. 47 Výrobní časy jednotlivých operací (RL)</i>	85
<i>Tab. 48 Kalkulace cen jednotlivých materiálů (VI)</i>	86
<i>Tab. 49 Výrobní časy jednotlivých operací (VI)</i>	87
<i>Tab. 50 Celkové výsledky v ohybu</i>	91
<i>Tab. 51 Zařazení do kategorií pro tuhé netermoplastické materiály</i>	94
<i>Tab. 52 Vypočtené hodnoty obsahu skla</i>	94
<i>Tab. 53 Hodnoty kyslíkového čísla</i>	95
<i>Tab. 54 Zařazení hodnot kyslíkového čísla dle národních norem [46]</i>	95
<i>Tab. 55 Naměřené hodnoty F_{max}</i>	96

SEZNAM GRAFŮ

<i>Graf 1 Modul pružnosti v ohybu</i>	91
<i>Graf 2 Mez pevnosti v ohybu</i>	92
<i>Graf 3 Poměrná deformace na mezi pevnosti</i>	93
<i>Graf 4 Práce při maximální síle</i>	93
<i>Graf 5 Porovnání maximálních sil.....</i>	96

SEZNAM PŘÍLOH

- PI: Materiálový list bidiagonální tkaniny
- PII: Materiálový list quadriaxiální tkaniny
- PIII: Materiálový list triaxiální tkaniny
- PIV: Materiálový list PET pěny T90
- PV: Materiálový list matrice DION FR 850 – M850
- PVI: Materiálový list matrice FR 4/12
- PVII: Materiálový list matrice 420 – 100
- PVIII: Materiálový list gelcoat
- PIX: Norma pro stanovení hořlavosti
- PX: Norma pro stanovení obsahu skla kalcinační metodou
- PXI: Norma pro stanovení kyslíkového čísla
- PXII: Technologické zásady pro vakuovou infuzi
- PXIII: Výkres kapoty lokomotivy

PŘÍLOHA P I: MATERIÁLOVÝ LIST BIDIAGONÁLNÍ TKANINY



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

DATASHEET

STYLE NO.
S32EX010-00980-01270-283000

DESCRIPTION OF STYLE BIDIAGONAL-GLASS-FABRIC

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

BINDER: Warp

GAUGES: 5

WIDTH: 1270 mm or in tapes

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

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

PŘÍLOHA P II: MATERIÁLOVÝ LIST QUADRIAXIÁLNÍ TKANINY



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

DATASHEET

(acc. to EN 13473-1)

STYLE NO.
S35EQ240-00970-01270-464000

DESCRIPTION OF STYLE QUADRAXIAL-GLASS-FABRIC

CONSTRUCTION	AREAL-WEIGHT [g/m ²]	TOLERANCE [+/-%]	MATERIAL	LINEAR DENSITY
				tex
<i>upper side</i>				
0°	236	5	E-Glass	600
+45°	250	5	E-Glass	300
90°	236	5	E-Glass	600
-45°	250	5	E-Glass	300
<i>lower side</i>				

STITCHING:	12	5	PES 76 dtex
------------	----	---	-------------

BINDER: TricotWarp

GAUGES: 10

WIDTH: 1270 mm or in tapes

TOTAL AREAL WEIGHT: 984

g/m²

TOTAL TOLERANCE: 5,0 %

PŘÍLOHA P III: MATERIÁLOVÝ LIST TRIAXIÁLNÍ TKANINY



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

DATASHEET

(acc. to EN 13473-1)

STYLE NO.
S35EY510-00830-T1270-464000

DESCRIPTION OF STYLE TRIAXIAL-GLASS-FABRIC

CONSTRUCTION	AREAL-WEIGHT [g/m ²]	TOLERANCE [+/-%]	MATERIAL	LINEAR DENSITY
				tex
<i>upper side</i>				
0°	425	5	E-Glass	1200
+45°	201	5	E-Glass	300
-45°	201	5	E-Glass	300
<i>lower side</i>				

STITCHING:	12	5	PES 76 dtex
------------	----	---	-------------

BINDER: Tricot-Warp

GAUGES: 10

WIDTH: 1270 mm or in tapes

TOTAL AREAL WEIGHT: 839 g/m² TOTAL TOLERANCE: 5,0 %

18.07.2011 PK

PŘÍLOHA P IV: MATERIÁLOVÝ LIST PET PĚNY T90



AIREX[®] T90

Easy Processing Structural FST Foam

CHARACTERISTIC

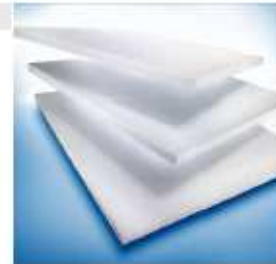
- Superior fire resistance (FAR 25.853; NF 16-101; DIN 5510)
- Outstanding fatigue strength
- Excellent long term thermal stability up to 100 °C (212 °F)
- Best thermal stability in process up to 150 °C (302 °F)
- Good thermal insulation
- Highly consistent material properties
- Easy to process with all types of resin and lamination processes
- Good adhesion (skin-to-core bond)
- Very high 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, superstructures
- **Industrial**
Covers, containers, x-ray tables, sporting goods
- **Architecture and Construction**
Roofs, claddings, domes, portable building

PROCESSING

- Contact molding (hand/spray)
- Vacuum infusion
- Resin infusion / injection (VARTM / RTM)
- Adhesive bonding
- Pre-preg processing



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. T90 is designed for easy use with all resin systems and processing technologies.

AIREX[®] T90 is the ideal core material for structural sand...

Typical properties for AIREX® T90		Unit (metrical)	Value ¹⁾	T90.60 ²⁾	T90.100	T90.150 ³⁾	T90.210 ³⁾
Density	ISO 845	kg/m ³	Average Typ. range	65 60 - 70	110 105 - 115	145 140 - 150	210 200 - 220
Compressive strength perpendicular to the plane	ISO 844	N/mm ²	Average Minimum	0.70	1.4 1.2	2.2	3.5
Compressive modulus perpendicular to the plane	DIN 53421	N/mm ²	Average Minimum	45	85 75	115	160
Tensile strength perpendicular to the plane	ASTM C297	N/mm ²	Average Minimum	1.5	2.2 1.6	2.7	3.0
Tensile modulus perpendicular to the plane	ASTM C297	N/mm ²	Average Minimum	75	120 90	170	225
Shear strength	ISO 1922	N/mm ²	Average Minimum	0.46	0.8 0.7	1.2	1.85
Shear modulus	ISO 1922	N/mm ²	Average Minimum	11	20 18	30	50
Shear elongation at break	ISO 1922	%	Average Minimum	10	10 5	8	5
Thermal conductivity at room temperature	ISO 8301	W/m.K	Average	0.033	0.033	0.036	0.041
Standard sheet	Width ²⁾	mm ± 5		610	610	610	610
	Length ²⁾	mm ± 5		1220	1220	1220	1220
	Thickness	mm ± 0.5		5 to 100	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 20 mm except compressive modulus (40 mm)

²⁾ Alternative width 1220 mm, alternative length 2440 mm

³⁾ Preliminary Data

Fire performance	Standard		T90.60	T90.100	T90.150	T90.210
Aircraft	FAR 25.853/ABD0031	Flammability	passed	passed	passed	passed
	FAR 25.853/ABD0031	Smoke density	passed	passed	passed	passed
	FAR 25.853/ABD0031	Toxicity	passed	passed	passed	passed
Rail	DIN 5510/2	Flammability	S4	S4	S4	S4
	DIN 5510/2	Smoke density	SR2	SR2	SR2	SR2
	DIN 5510/2	Dripping	ST2	ST2	ST2	ST2
	DIN 5510/2 / DIN 53438-2	Edge flaming	K1	K1	K1	K1
	DIN 5510/2	Toxicity (FED)	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Rail	NF F16-101	Flammability	M2	M1	M1	M1
	NF F16-101	Smoke density	F1	F1	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



Typical properties for AIREX® T90		Unit (metrical)	Value ¹⁾	T90.60 ²⁾	T90.100	T90.150 ²⁾	T90.210 ³⁾
Density	ISO 845	lb/ft ³	Average Typ. range	4.1 3.7 - 4.4	6.8 6.0 - 7.2	9.1 8.7 - 9.4	13 12.5 - 13.7
Compressive strength perpendicular to the plane	ISO 844	psi	Average Minimum	102	203 174	319	508
Compressive modulus perpendicular to the plane	DIN 53421	psi	Average Minimum	6'530	12'330 10'875	16'680	23'210
Tensile strength perpendicular to the plane	ASTM C297	psi	Average Minimum	218	319 232	392	435
Tensile modulus perpendicular to the plane	ASTM C297	psi	Average Minimum	10'880	17'400 13'050	25'980	32'630
Shear strength	ISO 1922	psi	Average Minimum	67	116 102	174	268
Shear modulus	ISO 1922	psi	Average Minimum	1'595	2'000 2'610	4'350	7'250
Shear elongation at break	ISO 1922	%	Average Minimum	10	10 5	8	2.5
Thermal conductivity at room temperature	ISO 8301	W/m.K	Average	0.033	0.033	0.036	0.041
Standard sheet	Width ²⁾	mm ± 5		610	610	610	610
	Length ²⁾	mm ± 5		1220	1220	1220	1220
	Thickness	mm ± 0.5		5 to 100	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 20 mm (3/4") except compressive modulus 40 mm (1 1/2")

²⁾ Alternative width 1220 mm, alternative length 2440 mm

³⁾ Preliminary Data

Fire performance	Standard		T90.60	T90.100	T90.150	T90.210
Aircraft	FAR 25.853/ABD0031	Flammability	passed	passed	passed	passed
	FAR 25.853/ABD0031	Smoke density	passed	passed	passed	passed
	FAR 25.853/ABD0031	Toxicity	passed	passed	passed	passed
Rail	DIN 5510/2	Flammability	S4	S4	S4	S4
	DIN 5510/2	Smoke density	SR2	SR2	SR2	SR2
	DIN 5510/2	Dripping	ST2	ST2	ST2	ST2
	DIN 5510/2 / DIN 53438-2	Edge flaming	K1	K1	K1	K1
	DIN 5510/2	Toxicity (FED)	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Rail	NF F16-101	Flammability	M2	M1	M1	M1
	NF F16-101	Smoke density	F1	F1	F1	F1
Rail	CEN TS 45545-2 (Nov. 2006)		Certification depending on sandwich design			

PŘÍLOHA P V: MATERIÁLOVÝ LIST MATRICE DION FR 850 – M850

10-1-07 JK



Technický list

DION® FR 850-M850

Nehořlavá polyesterová pryskyčice
pro ruční laminaci a stříkání

POPIS

DION® FR 850-M850 je isoftalová nenasyčená polyesterová pryskyčice.
DION® FR 850-M850 je pryskyčice obsahující hydroxid hlinitý pro potlačení hořlavosti.
DION® FR 850-M850 neobsahuje žádné halogeny.
DION® FR 850-M850 obsahuje urychlovač a thixotropní přísady.
DION® FR 850-M850 je zvláště vhodný pro výrobky, kde je požadována min. kouřivost spolu s ostatními parametry hořlavosti.
DION® FR 850-M850 obsahuje spec. přísady potlačující odpar styrenu do pracovního prostředí. Pryskyčice obsahuje parafin, který zaručuje nelepivost povrchu laminátu po vytvrzení.
Prodloužená doba skladování nebo nevhodné podmínky skladování mohou způsobit sedimentaci plniva, proto je nutné před aplikací dokonale rozmíchat.

APLIKACE

DION® FR 850-M850 je vhodná pro ruční laminaci, laminaci stříkáním a další strojní aplikace.

CHARAKTERISTIKA

- Retardace hoření pomocí hydroxidu hlinitého
- Neobsahuje halogenové prvky
- Všestrannost
- Výroba a kontrola kvality dle ISO 9001

VÝHODY

- Snižuje vznik dýmu při hoření
- Možno použít i na místech citlivých na korozi
- Vhodná pro ruční kladení a stříkání
- Stabilní kvalita všech šarží

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 use in 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.

VLASTNOSTI
FYZIKÁLNÍ VLASTNOSTI PŘI 23°C

Vlastnost	Jednotka	Hodnota	Metoda
Viskozita			
- Brookfield LVF 2/12	mPa s(cP)	1400 – 1800	ASTM D 2196-86
- Kužel & deska	mPa s(cP)	350 – 400	ISO 2884-1999
Obsah netěkavých látek	% hm.	69 ± 2	B070
Obsah organických rozpouštědel	kg/kg pryskyfice	31 ± 2	
Obsah celkového org. uhlíku	kg/kg pryskyfice	0,37	
Obsah netěkavých látek v obj. %	% obj.	40	
Bod vzplanutí	°C	34	ASTM D 3278-95
Geltime: 1% NORPOL PEROXIDE 1 (MEKP)	minuty	40 – 50	G020
Reaktivita při 25°C: 1% NORPOL PEROXIDE 1			DIN 16945
-25 - 35°C	minuty		
-25 – max. teplota	minuty		
Max. teplota	°C		
Skladovatelnost od data výroby	měsíců	6	-

MECHANICKÉ VLASTNOSTI VE VYTVRZENÉM STAVU

Plně dotvrzeno

Vlastnosti	Jednotka	Hodnota	Hodnota (rohož)	Hodnota (rohož)	Metoda
Obsah skla	%	-	25 – 30	30 – 35	
Pevnost v tahu	MPa	55	100	120	ISO 527-1/2-1993
E-modul v tahu	MPa	6500	9200	11500	ISO 527-1/2-1993
Protažení při přetržení	%	1,2	2,4	2,3	ISO 527-1/2-1993
Pevnost v ohybu	MPa	90	160	200	ISO 178-2001
E-modul v ohybu	MPa	6200	9000	9700	ISO 178-2001
Rázová houževnatost, P4J	mJ/mm ²	7,5	80	90	ISO 179-2001

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.

Tvarová stálost za tepla	°C	83	-	-	ISO 75-1/2-1993
Tvrdost die Barcola	934-1	50	50 – 55	50 – 55	ASTM D 2583-87
Kyslíkový index (OI)	%	25	25	-	ASTM D 2863
Test AEB	mm	10	10	-	ASTM D 635-74
Test ATB	sec	80	60	-	ASTM D 635-74
Šíření plamene po povrchu		Class 2	Class 2	-	BS 476 part 7

SKLADOVÁNÍ

Aby se zajistila maximální stabilita a uchovaly optimální vlastnosti, mají být pryskyřice skladovány v uzavřených nádobách při teplotách pod 24°C a mimo dosah zdrojů tepla a přímého slunečního záření. Před aplikací musí být pryskyřice vyhřáta nejméně na 18°C, aby se zajistilo správné vytvrzení a manipulace. Skladovací prostory a nádoby musí být v souladu s místními požáry a stavebními předpisy. Obalové materiály, které se používají pro skladování polyesterových pryskyřic nesmí obsahovat měď a její slitiny. 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

Ne vratné 220 kg kovové sudy, Kontejnery IBC 1000 kg, Automobilové cisterny

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**.

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 safety 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.

PŘÍLOHA P VI: MATERIÁLOVÝ LIST MATRICE FR 4/12

Testování poloprovozně připravené pryskyřice FR-4/12

Na základě výsledků dosažených u laboratorně připravené pryskyřice FR-4/12 byla navržena její příprava v poloprovozním zařízení UKA-1N v Synpo, a.s., která se konala ve dnech 21. a 22. 11. 2012.

Pryskyřice byla doředěna na viskozitu přibližně 460 mPa.s a následně byl testován iniciační systém tak, aby splňoval požadavky FORM, s.r.o. pro otestování v RTM zařízení. Bylo požadováno, aby geltime pryskyřice se pohyboval v rozmezí 25 – 45 minut a maximální teplota při stanovení reaktivity nepřesáhla 170 °C, ideálně se pohybovala mezi 120 – 140 °C.

Vzhledem k tomu, že pryskyřice obsahuje látku s fosforem v molekule, není možné ji vytvářet užitím standardního iniciačního systému složeného z kobaltnaté soli jako promotoru a methylethylketon peroxidu. Proto byla navržena kombinace methylethylketon peroxidu a soli vanadu. Tabulka 1 zobrazuje geltime (20 °C) a reaktivitu směsi (pokojová teplota) pro jednotlivě navržené kombinace peroxidu a promotoru.

Vzorek: Testovací pryskyřice FR-4/12 připravená v poloprovozním zařízení

Tabulka 1: Dávkování iniciačního systému složeného z methylethylketon peroxidu a roztoku vanadu a jeho vliv na geltime a reaktivitu poloprovozně připravené pryskyřice FR-4/12.

Číslo systému	Koncentrace MEKP	Koncentrace V (0,5 %)	Geltime	Reaktivita	
	(%)	(%)	(min)	Čas (min)	T_{max} (°C)
1.	1	1,0	4 - 10	41	88
2.	1	0,9	32 - 38	53	97
3.	1	0,8	45 - 49	76	98
4.	2	0,5	28 - 30	150	64

PŘÍLOHA P VII: MATERIÁLOVÝ LIST MATRICE 420 – 100

Technický informační list NORPOL 420-100

POPIS

NORPOL 420-100 je středně reaktivní, orthoftálová polyesterová pryskyřice pro injekční vstřikování. NORPOL 420-100 neobsahuje urychlovač a není thixotropizována.

FYZIKÁLNÍ VLASTNOSTI V KAPALNÉM STAVU PŘI 23°C

Vlastnost	Hodnota	Jednotka	Zkušební metoda
Viskozita			
-Kužel-Deska	180-210	mPa.s(cP)	ISO 2884-1974
Hustota	1,10	g/cm ³	ISO 2811-1974
Číslo kyselosti	22	mg KOH/g	ISO 2114-1974
Obsah styrenu	43±2	% hm.	-
Bod vzplanutí	34	°C	ASTMD 3278-73
Doba želatinace: -1% Norpol 1			
-1% Co urychlovač(1%)	20-30	min.	-
Skladovatelnost	6	měsíce při teplotě do 23°C	

VLASTNOSTI VYROBKU VE VYTVRZENEM STAVU

Vlastnost	Čistá prys.	Sklenná rohož		Jednotka	Zkušební metoda
Obsah skla	-	25-35	35-40	% hm.	ISO 1172-1975
Pevnost v tahu	70	110	160	MPa	ISO 527-1993
E-modul v tahu	3700	8000	10300	MPa	ISO 527-1993
Protažení	3,5	2,0	2,2	%	ISO 527-1993
Tvarová stálost za tepla	67	-	-	°C	ISO 75 -1993
Pevnost v ohybu	140	155	215	MPa	ISO 178-1993
E-modul v ohybu	3600	7200	10000	MPa	ISO 178-1993
Rázová houževnatost	12	-	-	mJ/mm ²	ISO 179-1982

Hodnoty uvedené v tabulce byly dosaženy na laminátu vystuženém standardní práškově pojenou rohoží, ruční laminací aby se dosáhlo hodnot, srovnatelných s ostatními typy polyesterových pryskyřic.

PŘÍLOHA P VIII: MATERIÁLOVÝ LIST GELCOAT

BÜFA®-FIRESTOP GC S 260-SV

Fire Protection Gelcoat, spraying quality

Prod. No. 714-2602

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

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

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

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

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

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

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

BÜFA®-FIRESTOP GC S 260-SV

Fire Protection Gelcoat, spraying quality

Prod. No. 714-2602

Attention!

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

Colouring

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

Directions for use

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

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

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

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

Storage/Handling

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

PŘÍLOHA P IX: NORMA PRO STANOVENÍ HOŘLAVOSTI

5 Posuzované veličiny a kategorie zařazení materiálu

5.1 Posuzované veličiny

Význam použitých zkratk:

P [s]	doba dohořívání vzorku po uhašení etanolového plamene (příp. čas žhavení částic)
S [cm ²]	plocha požárem poškozeného zkušebního tělesa po zkoušce (blíže v kap.6)
HČ [ano/ne]	údaj, zda nastalo skapávání hořících částic nebo kapek
HH [ano/ne]	údaj, zda nastalo prohoření k horní hraně zkušebního vzorku

5.2 Kategorie zařazení materiálu

Podle výsledků zkoušek se materiál zařadí do kategorie A, B nebo C tak, jak znázorněno Tabulkou č. 1.

S [cm ²] \ P [s]	$P \leq 2$	$2 < P \leq 10$	$P > 10$
$S \leq 100$	I	II _c	III _c
$100 < S \leq 150$	II _a	II _b	III _d
$S > 150$	III _e	III _b	III _c

Tabulka 1 - Zařazení do kategorií platné pro tuhé netermoplastické materiály

Kategorie A:

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

Kategorie B:

Aritmetický průměr časů dohořívání plamene a aritmetický průměr velikosti poškozených ploch leží buď v poli I (bílém) nebo v šedých polích (II_a, II_b, II_c) posuzovací směrnice, zároveň platí, že nedošlo k prohoření k hornímu okraji zkušební vzorků a nepadávaly žádné hořící částice nebo kapky (platí tedy HČ – ne a HH – ne). Žádné místo nežhnulo déle než 10 s po uhasnutí plamene.

Kategorie C:

Výsledky zkoušek neodpovídají požadovaným podmínkám pro kategorii A ani kategorii B (leží tedy v polích III_a, III_b, III_c, III_d, III_e).

PŘÍLOHA P X: NORMA PRO STANOVENÍ OBSAHU SKLA KALCINAČNÍ METODOU

ICS 83.120

ČSN
EN ISO 1172

64 4041

Červen 1999

ČESKÁ TECHNICKÁ NORMA

Textilní sklo – Vyztužené prepregy (předimpregnovaný laminát) lisovací směsi a lamináty – Stanovení obsahu textilního skla a minerálního plniva – Kalcinační metoda

4 Principle

A test specimen is weighed and subsequently calcinated at a defined temperature. The specimen is then reweighed and the non-combustible matter content (glass + filler) obtained by determining the difference in mass of a test specimen before and after calcination in one of the following ways:

- a) In the case of materials containing no fillers the glass content is calculated directly from the difference in mass (method A);
- b) In the case of materials containing both glass and filler, the glass and filler remaining after calcination are separated by dissolution of the filler in hydrochloric acid. The difference between the mass of the specimen before calcination and the mass of the dried specimen after reaction with acid is used to measure the glass content. The filler content is obtained by calculating the difference between the mass of the specimen after calcination and the mass of the dried specimen after reaction with acid (method B).

The test method requires that all weighings be made at constant mass after repeated calcination and/or drying. In those cases where known materials are being tested regularly, a minimum time for the calcination and drying stages may be determined by experiment to ensure that constant mass has been reached.

NOTES

- 1 If the material tested contains a resin which is combustible under the test conditions and/or fillers which do not degrade by calcination, then the loss on ignition is equal to the resin content. It should be noted that the resin content calculated in this way includes the combustible part of the other components in the composition (glass size, pigments, etc.) but this is usually small compared to the resin content.
- 2 In those cases where fillers are present that are degraded at the test temperature, it is not possible to obtain an accurate determination of the glass, resin or filler content.

6 Preparation of test specimens

The test specimens shall be fully representative of the piece or batch examined. They shall be obtained in accordance with clause 5.

Unless otherwise specified, it is recommended that the specimens be cut out in a shape which allows them to fit into a silica boat or porcelain crucible.

The mass of each specimen shall be within the range

- 2 g to 20 g for prepregs and moulding compounds;
- 2 g to 10 g for laminates.

For each test result, use a minimum of two specimens (see 5.1).

In the case of prepregs and moulding compounds which contain solvents or free monomer, care shall be taken to avoid loss of volatile matter. For SMC, the protective release film shall not be removed from the laboratory sample or the test specimen until just before commencing the test procedure. All prepreg and moulding-compound laboratory samples, including SMC, shall be sealed in a vapourproof plastic bag immediately after the laboratory sample has been taken.

7.1.3.1 Preparation of the boat or crucible

Weigh the clean, dry boat or crucible (7.1.2.2) to the nearest 0,1 mg on the balance (7.1.2.1). Place in the muffle furnace (7.1.2.3) set to the chosen temperature (see 7.1.3.2), and leave for 10 min. After cooling to ambient temperature in the desiccator (7.1.2.4) verify that the mass has not changed. If there has been a change, repeat these operations until constant mass is reached.

7.1.3.2 Calcination

Weigh the clean, dry boat or crucible, prepared as indicated in 7.1.3.1. Record the mass in grams as m_1 .

Place a specimen in the boat or crucible and dry in the ventilated drying oven (7.1.2.5) at 105 °C to constant mass.

Cool to ambient temperature in the desiccator and reweigh. Record the mass in grams as m_2 .

In the case of specimens which contain volatile matter, care is needed to avoid loss of the volatile matter. Omit the drying stage therefore. Remove the specimen from the vapourproof bag and remove any release film. Place the specimen in the boat or crucible, weigh and record the mass in grams as m_6 .

Place the boat or crucible containing the test specimen in the muffle furnace, preheated to a temperature of 625 °C and heat to constant mass.

For reinforced products with glass or filler which will not withstand this calcination temperature, a temperature between 500 °C and 600 °C may be used, in accordance with the specification for the glass or filler. It is essential to maintain the chosen temperature constant to ± 20 °C.

Allow the boat or crucible, together with the residue, to cool in the desiccator to ambient temperature and reweigh. Record the mass in grams as m_3 .

7.1.4 Expression of results

Calculate, for each specimen, the glass content M_{glass} , expressed as a percentage of the initial mass, using equation (1):

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

where


- m_1 is the initial mass, in grams, of the dry boat or crucible;
- m_2 is the initial mass, in grams, of the dry boat or crucible plus dried specimen;
- m_3 is the final mass, in grams, of the boat or crucible plus residue after calcination.

In the case of specimens containing volatile matter, when the drying stage was omitted, replace m_2 in equation (1) by m_0 , where m_0 is the initial mass, in grams, of the dry boat or crucible plus undried test piece.

If the results of the individual measurements differ by more than 5 % in relative value, carry out an additional determination on a third specimen taken from the same location in the elementary unit or laboratory sample.

Express the result of the test as the average of the two (or three) individual measurements.

PŘÍLOHA P XI: NORMA PRO STANOVENÍ KYSLÍKOVÉHO ČÍSLA



**Plasty - Stanovení hořlavosti
metodou kyslíkového čísla
Část 2: Zkouška při teplotě okolí**

**ČSN
ISO 4589-2
64 0756**

Plastics - Determination of burning behaviour by oxygen index - Part 2: Ambient-temperature test
Plastiques - Détermination du comportement au feu au moyen de l'indice d'oxygène - Partie 2: Essai à la température ambiante
Kunststoffe - Bestimmung der Brennbarkeit mit der Sauerstoffindexmethode - Teil 2: Verfahren bei der Temperatur der Umgebung

Tato norma je českou verzí mezinárodní normy ISO 4589-2:1996. Mezinárodní norma ISO 4589-2:1996 má status české technické normy.

This standard is the Czech version of the International Standard ISO 4589-2:1996. The International Standard ISO 4589-2:1996 has the status of a Czech Standard.

Nahrazení předchozích norem
Tato norma nahrazuje ČSN 64 0756 z 1989-06-09.

5 Zkušební zařízení

5.1 Zkušební trubice, ze žáruvzdorného skla upevněná v horizontální poloze na desce, kterou může být přiváděna směs plynů obsahující kyslík (viz obrázky 1 a 2).

Doporučené rozměry trubice jsou 450 mm minimální výška a 95 mm minimální průměr.

Horní vývod musí být zúžen příklopnou redukcí s vývodem natolik redukováným, aby odcházející plyny měly po průchodu touto redukcí rychlost nejméně 90 mm/s.

POZNÁMKA 3 - Vhodná je příklopná redukce, snižující průměr vývodu na 40 mm ve výšce nejméně 10 mm nad vrcholem trubice.

Mohou být použity trubice jiných rozměrů s redukcemi nebo bez nich, pokud prokazatelně poskytují ekvivalentní výsledky. Dno trubice nebo dolní deska, na níž trubice spočívá, musí být vybaveny prostředkem k rovnoměrnému rozptýlení směsi plynů vstupující do trubice. Vhodný je difuzér a komorový směšovač s kovovou fólií. Mohou být použita i jiná zařízení, jako např. radiální rozdělovací potrubí, pokud se prokáže, že poskytují ekvivalentní výsledky. Pod úroveň držáku zkušebního tělesa může být připevněna porézní deska zabraňující ucpávání přívodu plynu a omezení jeho rozptýlení odpařujícími zbytky po hoření.

Podložka trubice může být vybavena zařízením pro ustavení do vodorovné polohy a indikátorem usnadňujícím vertikální uspořádání trubice a zkušební tělesa v ní umístěného. Pro lepší pozorování plamenů uvnitř trubice je výhodné využít tmavého pozadí.

5.2 Držák zkušebního tělesa, vhodný k upevnění tělesa ve vertikální poloze ve středu trubice.

U samonosných materiálů musí být zkušební těleso upevněno malou svorkou vzdálenou nejméně 15 mm od nejbližšího bodu, kterého může dosáhnout plamen, použije-li se jako kritérium délka ohořelé části. U nesamosných filmů nebo tenkých desek musí být zkušební těleso upevněno v horní i dolní části přídržného rámu, který odpovídá obrázku 2 a opatřeného referenčními značkami ve vzdálenosti 20 mm

3 Definice

Pro účely této části normy se používají tyto definice:

3.1 kyslíkové číslo: minimální koncentrace kyslíku v objemových procentech ve směsi kyslíku s dusíkem, přiváděné při teplotě (23 ± 2) °C, která je právě schopna udržovat hoření materiálu za předepsaných podmínek zkoušky

4 Podstata zkoušky

Malé zkušební těleso je upevněno ve vertikální poloze ve směsi kyslíku a dusíku proudící směrem nahoru průhlednou trubicí. Horní konec tělesa se zapálí a sledují se charakteristiky hoření. Porovnává se doba hoření nebo délka ohořelé části tělesa s limitními hodnotami, určenými pro daný typ hoření. Za těchto podmínek se zkouší řada zkušebních těles při různých koncentracích kyslíku, čímž se určí minimální koncentrace kyslíku (viz 8.6).

Jako alternativní postup, sloužící k porovnání s předepsanou minimální hodnotou kyslíkového čísla, se hodnotí tři zkušební tělesa za použití odpovídající koncentrace kyslíku a vyžaduje se, aby nejméně dvě z nich zhasla před překročením příslušného kritéria hoření.

5 Zkušební zařízení

5.1 Zkušební trubice, ze žáruvzdorného skla upevněná v horizontální poloze na desce, kterou může být přiváděna směs plynů obsahující kyslík (viz obrázky 1 a 2).

Doporučené rozměry trubice jsou 450 mm minimální výška a 95 mm minimální průměr.

Horní vývod musí být zúžen příklopnou redukcí s vývodem natolik redukovaným, aby odcházející plyny měly po průchodu touto redukcí rychlost nejméně 90 mm/s.

POZNÁMKA 3 - Vhodná je příklopná redukce, snižující průměr vývodu na 40 mm ve výšce nejméně 10 mm nad vrcholem trubice.

Mohou být použity trubice jiných rozměrů s redukcemi nebo bez nich, pokud prokazatelně poskytují ekvivalentní výsledky. Dno trubice nebo dolní deska, na níž trubice spočívá, musí být vybaveny prostředkem k rovnoměrnému rozptýlení směsi plynů vstupující do trubice. Vhodný je difuzér a komorový směšovač s kovovou fólií. Mohou být použita i jiná zařízení, jako např. radiální rozdělovací potrubí, pokud se prokáže, že poskytují ekvivalentní výsledky. Pod úroveň držáku zkušebního tělesa může být připevněna porézni deska zabráňující ucpávání přívodu plynu a omezení jeho rozptýlení odpadávajícími zbytky po hoření.

Podložka trubice může být vybavena zařízením pro ustavení do vodorovné polohy a indikátorem usnadňujícím vertikální uspořádání trubice a zkušebního tělesa v ní umístěného. Pro lepší pozorování plamenů uvnitř trubice je výhodné využít tmavého pozadí.

5.2 Držák zkušebního tělesa, vhodný k upevnění tělesa ve vertikální poloze ve středu trubice.

U samonosných materiálů musí být zkušební těleso upevněno malou svorkou vzdálenou nejméně 15 mm od nejbližšího bodu, kterého může dosáhnout plamen, použije-li se jako kritérium délka ohořelé části.

9 Výpočty a vyjádření výsledků

9.1 Kyslíkové číslo

Kyslíkové číslo vyjádřené v objemových procentech se vypočte podle vztahu

$$OI = c_i + kd$$

kde c_i je konečná hodnota koncentrace kyslíku, vyjádřená v objemových procentech s přesností na jedno desetinné místo, použitá v řadě měření N_T provedených podle 8.6 a zaznamenaná podle 8.6.3;

d interval mezi koncentracemi kyslíku, vyjádřený v objemových procentech s přesností nejméně na jedno desetinné místo, použitými a kontrolovanými podle 8.6;

k faktor získaný z tabulky 4, jak je popsáno v 9.2.

Pro výpočet \bar{o} , jak je požadováno v 8.6.4 a 9.3, musí být OI vypočteno s přesností na dvě desetinná

PŘÍLOHA P XII: TECHNOLOGICKÉ ZÁSADY PRO VAKUOVOU INFUZI

1. Příprava formy

- Důkladné očistění celé formy; to zahrnuje plochu budoucího výrobku i plochu, kde bude připevněna vakuová fólie (i v případě, že je těsnící páska nalepena na vlákno skelné výztuže, uniká tudy vzduch z formy)
- Nástřík gelcoat; nechat dostatečně dlouho vytvrdit (nepoškodit při tuhnutí, protože jde o pohledovou stranu výrobku)

2. Separace formy

- Pokud se používá vosk, nanést několik vrstev; poslední vrstva by neměla dělat nerovnosti na formě

3. Příprava sklovýztuže

- Pokud je forma složitých tvarů, je vhodné vytvořit si šablony jednotlivých ploch
- Nástřihy dělat co nejpřesnější; každá nepřesnost se ve finále projeví na kvalitě výrobku

4. Příprava pěny

- Opět je vhodné vytvořit si šablony ploch, srazit hrany aby bylo zabráněno ostrým přechodům při kladení dalších vrstev tkaniny
- Jednotlivé kusy pěny by k sobě měly sedět tak, aby mezi nimi byla co nejmenší mezera
- Provrtat pěnu, aby bylo umožněno prosycení; průměr díry a rastr zvolit dle rozměru a tloušťky pěny

5. Příprava technologických vrstev

- Odrhovou tkaninu stříhat s mírnou rezervou, přesně bude zastřižena až při kladení
- Rozváděcí tkanina (green flow) se volí přibližně 80-90% plochy výrobku
- Vakuová fólie by měla mít velikost minimálně 140% velikosti formy; po přilepení fólie nesmí vznikat žádná napnutá místa

6. Kladení vrstev výztuže

- Tkaninu klást tak, aby byla stejně orientovaná (ve svislých místech použít fixační lepidlo k zajištění polohy tkaniny)
- Položení pěny; plochy pěny na sebe musí co nejpřesněji dosedat
- Nenechat mezi jednotlivými vrstvami cizí předměty

7. Kladení technologických vrstev

- Nalepit spirálovou hadičku (v případě nedostatku místa po obvodu formy musí na formě zůstat místo pro nalepení vakuové fólie)
- Položit odtrhovou tkaninu (přesně zastříhnout)
- Položit rozváděcí tkaninu (green flow); ve svislých plochách zajistit polohu lepící páskou
- Položit rozvodové kanály (resintrak); důkladně zvolit rozmístění (jednotlivé větve by od sebe měly být ve vzdálenosti 70 – 90 cm); rozvodový kanál (resintrak) má rozhodující podíl na transportu matrice po ploše formy
- Umístit vtoková ústí; zvolit strategii plnění (jednotlivé strategie byly popsány v teoretické části)
- Zavakuovat formu; pečlivě utěsnit všechny díry
- Zkontrolovat tlak (minimálně 0,8 bar - stabilní)

8. Příprava matrice

- Pečlivě zvolit množství matrice a iniciátoru; před výrobou prvního prototypu je užitečné provést si test doby zpracovatelnosti v malém množství, aby byl správně zvolen poměr
- V případě doplňování matrice do kyblíku je nutné matici dobře promíchat, aby bylo zabráněno předčasnému zatvrdnutí vtoku

9. Infuze

- Vizualní kontrola

10. Odformování

PŘÍLOHA P XIII: VÝKRES KAPOTY LOKOMOTIVY

