

Konstrukce forem pro RTM technologie

Jaroslav Procházka

Bakalářská práce
2012



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

akademický rok: 2011/2012

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Jaroslav PROCHÁZKA**
Osobní číslo: **T09462**
Studijní program: **B 3909 Procesní inženýrství**
Studijní obor: **Technologická zařízení**

Téma práce: **Konstrukce forem pro RTM technologie**

Zásady pro vypracování:

1. RTM technologie, principy, materiály, využití
2. Konstrukce RTM forem, přehled
3. Návrh formy pro konkrétní výrobek
4. Volba technologických parametru výrobního procesu pro navrhnoutou formu. (tlak, materiály, teplota, čas, ...)
5. Zhodnocení výsledku

prof. Ing. Jaroslav Procházka, Ph.D.
ředitel ústavu



prof. Ing. Roman Černý, Ph.D.
ředitel ústavu

Rozsah bakalářské práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

- [1] Jančář, J.: Úvod do materiálového inženýrství kompozitu, Brno, 1999.
- [2] Ptáček, L.: Náuka o materiálu II. CERM, s.r.o., Brno, 2002.
- [3] Kořínek, Z.: Kompozity. dostupné na: www.volny.cz/korinek
- [4] Ehrenstein, G. W.: Polymérní kompozitní materiály. Scientia Praha, 2009.
- [5] www.rtmcomposites.com
- [6] Bareš, R. A.: Kompozitní materiály. SNTL Praha, 1988.
- [7] <http://www.euro-rtm-group.de>

Vedoucí bakalářské práce:

doc. Ing. Soňa Rusnáková, Ph.D.

Ústav výrobního inženýrství


Datum zadání bakalářské práce:

13. února 2012

Termín odevzdání bakalářské práce:


25. května 2012

Ve Zlíně dne 13. února 2012


doc. Ing. Roman Čermák, Ph.D.

děkan




prof. Ing. Berenika Hausnerová, Ph.D.

ředitel ústavu

Příjmení a jméno: PROCHÁZKA JAROSLAV

Obor: TECHNOLOGICKÁ ZARÍZENÍ

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 obhajoby¹⁾;
- 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. 3²⁾;
- beru na vědomí, že podle § 60³⁾ 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 § 60³⁾ 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 neobhajení práce.

Ve Zlíně 22.8.2012

Procházka

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

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

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

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

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

(3) Do práva autorského také nezasahuje škola nebo školské či vzdělávací zařízení, užije-li nikoli za účelem přímého nebo nepřímého hospodářského nebo obchodního prospěchu k výuce nebo k vlastní potřebě dílo vytvořené žákem nebo studentem ke splnění školních nebo studijních povinností vyplývajících z jeho právního vztahu ke škole nebo školskému či vzdělávacímu zařízení (školní dílo).

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

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

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

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

zákon (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby.

beru na vědomí, že diplomové/bakalářské práce bude možná v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k nahlídnutí, že jeden výsledek diplomové/bakalářské práce bude možná na příslušném ústavu fakulty technologické (ITB) ve Zlíně a jeden výsledek bude možná u vedoucího práce; bylo jsem seznámena s tím, že na moji diplomovou/bakalářskou práci se má poskytnout 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 přihlídí k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

beru na vědomí, že podle § 60 odst. 1 autorského zákona má UTH ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona; beru na vědomí, že podle § 60 odst. 2 a 3 mohu užit své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jin a 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 jejího 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 komerčním účelům), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům; beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považuji se za součast práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Nadevzdáním této současti může být důvodem k neoprávněné práci.

beru na vědomí, že podle § 60 odst. 1 autorského zákona má UTH ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;

beru na vědomí, že podle § 60 odst. 2 a 3 mohu užit své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jin a 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 jejího 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 komerčním účelům), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;

beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považuji se za součast práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Nadevzdáním této současti může být důvodem k neoprávněné práci.

beru na vědomí, že podle § 60 odst. 1 autorského zákona má UTH ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;

beru na vědomí, že podle § 60 odst. 2 a 3 mohu užit své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jin a 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 jejího 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 komerčním účelům), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;

beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považuji se za součast práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Nadevzdáním této současti může být důvodem k neoprávněné práci.

beru na vědomí, že podle § 60 odst. 1 autorského zákona má UTH ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;

beru na vědomí, že podle § 60 odst. 2 a 3 mohu užit své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jin a 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 jejího 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 komerčním účelům), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;

beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považuji se za součast práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Nadevzdáním této současti může být důvodem k neoprávněné práci.

beru na vědomí, že podle § 60 odst. 1 autorského zákona má UTH ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;

beru na vědomí, že podle § 60 odst. 2 a 3 mohu užit své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jin a 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 jejího 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 komerčním účelům), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;

beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považuji se za součast práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Nadevzdáním této současti může být důvodem k neoprávněné práci.

beru na vědomí, že podle § 60 odst. 1 autorského zákona má UTH ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;

beru na vědomí, že podle § 60 odst. 2 a 3 mohu užit své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jin a 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 jejího 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 komerčním účelům), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá RTM technologií, jejím využitím a materiály s touto technologií spojenými. V teoretické části jsou popsány jednotlivé technologie, druhy výztuží a matric, které se u RTM technologie používají. Praktická část je věnována výrobě RTM formy pro zvolený výrobek, což zahrnovalo výrobu modelu, výrobu formy a výrobu výrobku.

Klíčová slova: RTM, kompozit, pryskyřice, laminát, forma

ABSTRACT

In this BP thesis, RTM technologies, their application and materials associated with this technology. In theoretical part describes the different technologies, types of reinforcement and matrix that is used in RTM technology. The practical part is devoted to the production of RTM mold for the selected product, which included the production model, mold making and production on product.

Keywords: RTM, composite, resin, laminate, mold

Chtěl bych poděkovat doc. Ing Rusnákové PhD za její rady, které mi pomohli při tvorbě této bakalářské práci. Dále bych chtěl poděkovat firmě Form s.r.o, především Ing. Rusnákovovi za jeho pomoc.

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

OBSAH

ÚVOD	10
I TEORETICKÁ ČÁST	11
1 ZVOLENÍ VÝROBNÍ TECHNOLOGIE PRO KOMPOZITNÍ MATERIALY	12
2 RTM TECHNOLOGIE	14
2.1 RTM (RESIN TRANSFER MOLDING)	14
2.2 LRTM (LIGHT RESIN TRANSFER MOLDING).....	15
2.3 VARTM (VACUUM ASSISTED RESIN TRANSFER MOLDING).....	16
2.4 SQRTM (SOME QUALIFIED RESIN TRANSFER MOLDING).....	17
2.5 HSRTM (HIGHT SPEED RESIN TRANSFER MOLDING).....	18
3 KOMPOZITNÍ MATERIÁLY	20
3.1 MATRICE	20
3.1.1 Nenasycené polyesterové pryskyřice	21
3.1.2 Vinylesterové pryskyřice	21
3.1.3 Akrylove – hybridní pryskyřice	22
3.1.4 Epoxidové pryskyřice.....	22
3.1.5 Tvrdé polyuretanové pryskyřice	22
3.1.6 Formaldehydové pryskyřice.....	23
3.2 VLÁKNA	23
3.2.1 Skleněná vlákna	23
3.2.2 Uhlíková vlákna	25
3.2.3 Preform.....	26
3.2.4 Sendviče	27
3.3 TECHNOLOGICKÉ MATERIÁLY	28
3.3.1 Materiály modelu	28
3.3.2 Materiály forem.....	28
4 ODVZDUŠŇOVACÍ A VTOKOVÁ SOUSTAVA	30
II PRAKTICKÁ ČÁST	33
5 CÍLE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE	34
5.1 TEORETICKÁ ČÁST.....	34
5.2 PRAKTICKÁ ČÁST	34
6 VÝROBA RTM FOREM	35
6.1 VÝROBA 3D MODELU	36
6.2 VÝROBA FORMY	37
6.3 VÝROBA STOJANU FORMY	42
6.4 PŘÍPRAVA FORMY	43
6.5 VÝROBA VÝROBKU	45
6.6 DALŠÍ MOŽNOSTI VÝROBY FORMY.....	46
ZÁVĚR	48
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	49
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	50

SEZNAM OBRÁZKŮ	51
SEZNAM TABULEK.....	52

ÚVOD

Bakalářská práce zabývá návrhem RTM formy a materiálů pro její výrobu. V dnešní době se používají pro výrobu RTM forem většinou kompozitní materiály, popřípadě kovové. Bude navrhována forma, u které je rozhodujícím prvkem váha, tudíž v úvahu připadá pouze forma kompozitní vyztužená sendvičovou konstrukcí s ocelovým rámem pro pevné spojení obou částí formy. Dále byly určeny požadavky na snadnou manipulaci a nízkou cenu. Manipulace bude řešena pomocí univerzálního vozíku na kolečkách. Konstrukce formy by měla být co nejvíce jednoduchá. Forma nesmí překročit stanovenou výšku skladovacích prostor. Univerzální vozík musí splňovat požadavky pro jednoduchou manipulaci a možnost použití na více forem podobných velikostí.

Technologie RTM je několik desetiletí stará a její využití je zejména u konstrukcí pro dopravní průmysl. V automobilovém průmyslu je nejnověji technologie HSRTM pro jeho rychlost výroby, bohužel je potřeba znát potřebné know-how. Vesměs použití kompozitních materiálů je v dnešní době velmi populární díky jejich ceně a nízké hmotnosti, mechanickým vlastnostem.

Hlavním cílem bakalářské práce je návrh principiálně jednoduché formy pro nižší a střední série RTM technologie. Účelem výroby takýchto jednoduchých forem je postupné rozšíření RTM technologie ve společnosti FORM s.r.o. Tento návrh bude sloužit i pro výrobu dalších forem podobného charakteru.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 ZVOLENÍ VÝROBNÍ TECHNOLOGIE PRO KOMPOZITNÍ MATERIALY

Hlavním kritériem pro výběr správné technologie je množství, které chceme vyrobit a volba uzavřené, otevřené technologie. U jedno, či málo kusových sériích v řádech desítek se nevyplatí volit technologie např. RTM, když se započítají náklady na výrobu formy a nutnost různých technologických zařízení, zjistíme že tato technologie je neefektivní a velice drahá. V tom případě můžeme volit například z technologií ručního kladení za mokra, u této technologie stačí lehká finančně nenákladná forma, navíc se jedná o formu jednodílnou, nevýhodou může být potřeba zkušených pracovníků a také obsah styrenu je na pracovišti vyšší než u uzavřených technologií. Můžeme volit také ruční kladení za mokra s pomocí vakuové techniky, i tato technologie je použitelná v řádech jednotek, či desítek kusů oproti obyčejné technologii ručního kladení za mokra jsou zde nižší emise styrenu, ovšem za cenu zvýšených nákladů. Pro lepší poměr vlákno/matrice můžeme zvolit technologii ručního kladení prepregů v autoklávu. Zde je výborná tuhost a pevnost, a to díky již zmíněnému poměru, který může dosahovat 80% vlákna ku 20% matrice, ale jsou zde vysoké pořizovací autoklávu a následně na jeho provoz. V autoklávu můžeme volit teplotu podle druhu kompozitu a matrice, pro většinu kompozitních materiálů se používá teplota mezi 200-300°C. Dále se využívá mikrovlnného ohřevu a to hlavně kvůli úspoře energií, které jsou i 80% nižší než u autoklávu, lepší regulaci teploty. Kovy se v mikrovlnném záření neohřívají a slouží nám k odrazu záření, je zde nutnost použít polyimidu, který snese vyšší teploty. Při velkých rotačních dílech se dá využít technologie strojního kladení prepregů. Strojní kladení prepregů je počítačem řízený proces, při kterém stroj sejme separační folii a prepregů nanáší na otevřenou formu, pomocí kladek ji přitiskne k formě, nebo předchozí vrstvě. Na konci každé kladené vrstvy stroj oddělí prepreg. Kladení je rychlejší než u ručního kladení, navíc je menší možnost výroby zmetku díky řízení počítačem. Navíjení šroubovicové za mokra, tuto technologii používáme pro výrobu trubek, rotačních i nerotačních nádob. Stroj připomíná soustruh, navijí roving smočený v matrici na trn. Vhodnou orientací vláken zajišťuje rychlost posuvu kladečního ustrojí. Největší uplatnění je při výrobě golfových holí a rybářských prutů. RTM technologie se dají využít od několikaset kusových sérií, až po několika tisícové série, jsou zde vysoké počáteční náklady na zhotovení formy, která má jednu, nebo obě poloviny kovové. Ovšem nejsou zde žádné emise styrenu díky uzavření výrobku do útroby formy, a tím se lepší hledá obsluha pro tyto zařízení. RTM technologie jsou rozděleny do několika podskupin a poskytují nám využití téměř ve všech

oblastech průmyslu od zbrojařského (pažby zbraní), až po letecký (trupy helikoptér). Ve většině případů do formy vkládá preform, což je předpřipravený výrobek na přesný tvar formy. Výroba se provádí pomocí stříkací pistole, oplétáním, vinutím nebo sešíváním tkaniny. Stříkají se krátká vlákna tkaniny na jádro. Stříkací pistol je statická a otáčí se jádro. Operace může být i naopak, a to stacionární zůstává výrobek a kolem něj se otáčí stříkací pistole. Po vložení preformu do formy a zaformování se nám začne vpouštět matrice do formy pod určeným tlakem. Celkový čas potřebný k výrobě je oproti ručnímu kladení za mokra kratší v řádech desítek procent u HSRTM je možno dosáhnou snížení času i přes 50-60%. [1,2]

2 RTM TECHNOLOGIE

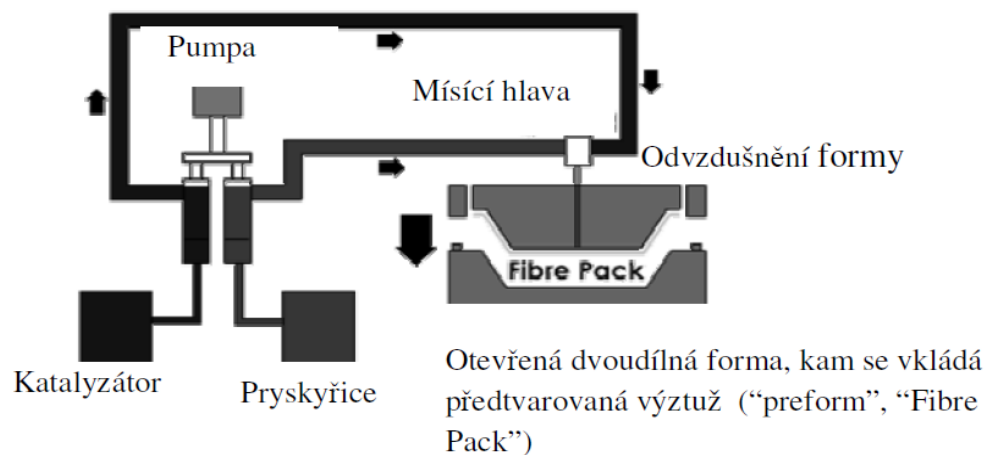
RTM technologie se začaly používat teprve v nedávné době, nyní se jejich využití rozšiřuje a to hlavně do lodářského a automobilového průmyslu. Využívají se od několikaset kusových sérií až po série několikatisícové. Díky uzavřené technologii jsou také daleko méně škodlivé vůči zaměstnancům.[1]

2.1 RTM (Resin Transfer Molding)

Jde o technologii, která se nedávno ukázala být konkurence schopná například s technologií autoklávu při zpracování prepregů. Tento proces nese celou řadu podobností s vstřikováním plastových dílů. Formy používané pro RTM jsou nejčastěji v uzavřeném systému, to nám určuje, že máme dva nástroje (vrchní část formy, spodní část formy), které nám uzavírají polotovar (preform). Na konečný výsledek má největší podíl hlavně kvalita formy, která určuje povrchovou úpravu a rozměrové tolerance, a taky nám umožňuje použití velkých tlaků. Levnější nástroje mohou být použity, ale to často omezuje stlačovací tlak a mohou snížit kvalitu povrchu. Formy jsou většinou kompozitní, kovové (ocelové, hliníkové), nebo polymerbetonové. Do formy se zabudovává chladicí popřípadě ohřívací systém. Cena formy bývá většinou vysoká. Při rozměrných výrobcích musíme přemýšlet nad odformováním, jelikož konstrukce formy má velkou váhu potřebujeme zařízení na odformování, používá se jeřábu. Forma by měla být taktéž dobře spojena pomocí šroubového spojení nebo jiného zabezpečovacího systému. Do forem se vkládá polotovar (preform), ten se může skládat z vrstvi pletených, tkaných, nebo sekaných vláken. Konstrukční prvky, jako jsou kovová žebra nebo pěnová jádra mohou být přidány do polotovarů (preform). Před vložením polotovaru do formy se musí forma bezchybně naseparovat. Při špatné separaci bude povrch nekvalitní. U technologie RTM jsou obě strany výrobku pohledové, to znamená že se musí separovat obě. Tvrditelné pryskyřice se pak vstříkují pod tlakem do formy. Kvůli zvýšené odolnosti proti toku způsobené přítomností vláken, je nutné, aby pryskyřice měla nízkou viskozitu a tím se zajistily přiměřené vstřikovací tlaky. Umístění vtokového ústí je velice důležité a musí být pečlivě vybráno, aby se výrobek zcela vyplnil pryskyřicí a nevznikala žádná suchá místa a dutiny. Taktéž je nutné vypočítat správně gel-time, jelikož ve velkosériové výrobě nesmíme mít prostoje a výrobek by měl být ve formě 10-20minut. Při větších výrobcích musí být umístěno více vtokových ústí. Po odformování formy se výrobek vyndá a nechá na volném vzduchu vytvrdnout. Následují dokončovací operace. . Výroba technologií RTM se vyskytuje převážně v automobilovém a leteckém

průmyslu. Je vhodná zejména pro série obsahující 300-5000 kusů. Výhodou může být obsah tkaniny mezi 15% až 60% a tím vyšší pevnost než u ručního laminování, Také to že je forma uzavřená tudíž na pracovišti nemáme vysoké hodnoty styrenu z pryskyřic. Nevýhodou je znalost Know-how, a také u velkých forem špatná manipulace.[3,7]

- Sériovost 300-5000 kusů.
- Tlaky do 0,689 MPa
- Podíl vláken do 60%



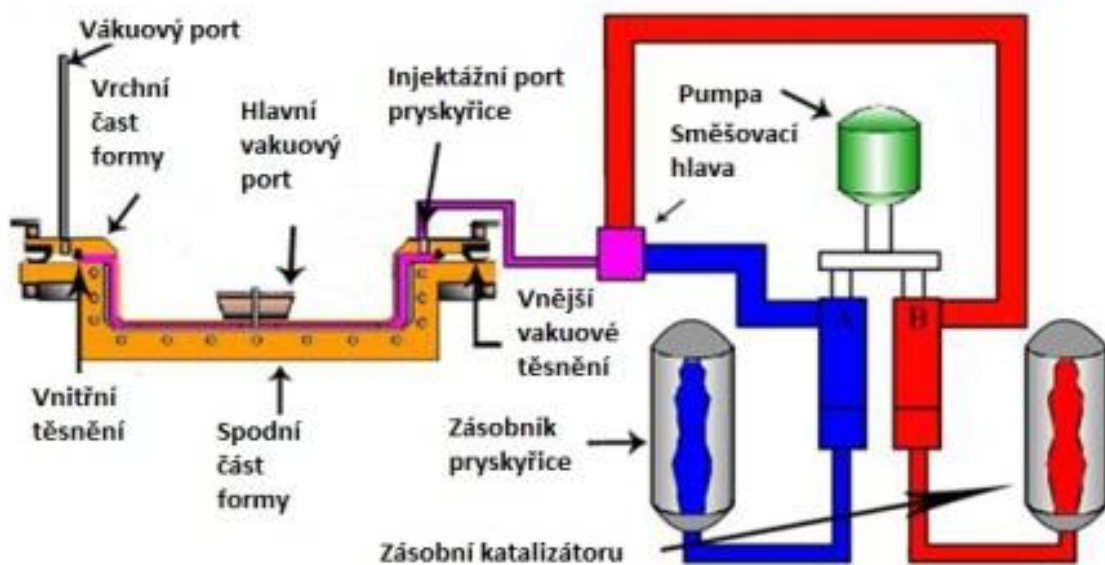
Obrázek 1. Schéma RTM soustavy.

2.2 LRTM (Light Resin Transfer Molding)

Technologie založená na RTM, jedná se o levnější variantu díky nižším nákladům na nástroje. V současné době se ujala jako nejpopulárnější uzavřená technologie. Využívá se tak jako RTM v autoprůmyslu, lékařství a letectví. Lze s ní vytvořit i velice rozměrné výrobky například trup lodě. Nástroje pro LRTM jsou podobné jako nástroje u RTM. Většina LRTM forem má pevnou spodní polovinu formy, vrchní polovina formy je průhledná semi flexibilní z termosetů polyesteru nebo vinyl esteru. Vrchní část formy může být vyztužena trubkovým rámem pro její tuhost a lepší manipulaci. Cena na formu oproti technologii RTM je nižší. U LRTM forem je výsledná efektivita na metr čtvereční oproti ručnímu laminování o 300-400% vyšší. Tlak je také oproti RTM nižší a pohybuje se nanejvýš do 1Baru. Do formy se většinou vkládají polotovary (preform) které mohou být vyztuženy například pěnovým či dřevěným jádrem. Forma musí být naseparována, abychom zajistili dokonalý povrch. Zde nám odpadá nutnost odformovacího zařízení, vrchní část formy ne-

má takovou hmotnost, a proto je možno otevřít jen s pomocí lidské síly. Pozor by se mělo dávat taky na dobu gelingu a tvrdnutí pryskyřice. Máme dvě možnosti umístění vstřikování a vakua, a to do středu výrobku, nebo po okraji, tyto dvě možnosti můžeme kombinovat. Tak jako u RTM i zde jsou nízké emise styrenu na pracovišti, tím můžeme zaručit vyšší efektivitu a přilákat kvalifikovanější pracovníky.[3]

- Sériovost 100-5000 kusů
- Tlaky do 0,096 MPa
- Podíl vláken do 60%

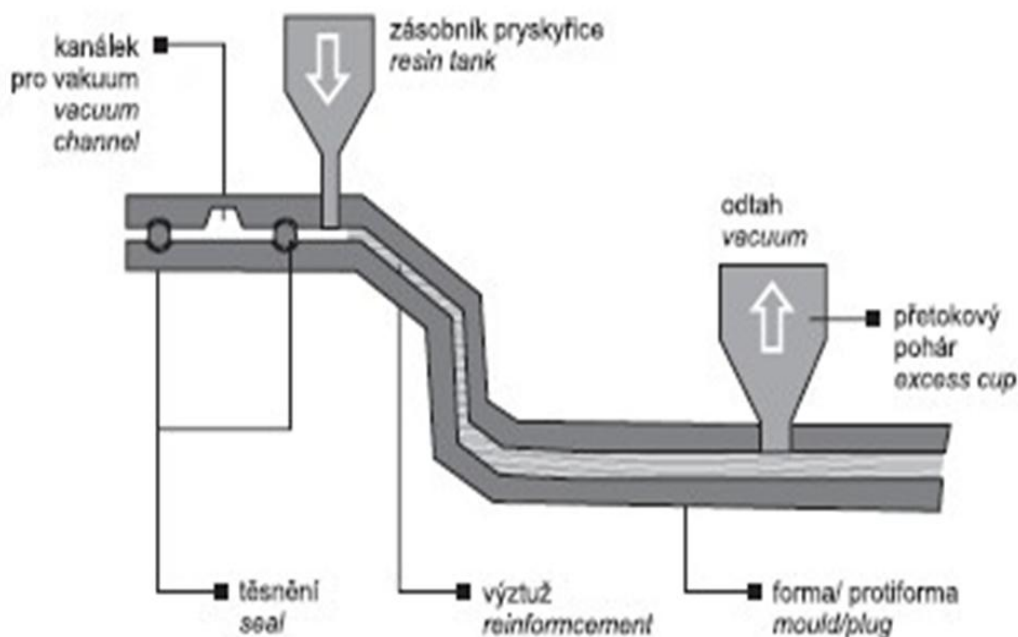


Obrázek 2. Schéma LRTM soustavy.

2.3 VARTM (Vacuum Assisted Resin Transfer Molding)

Jedná se o vakuovou pomoc při technologii RTM a LRTM. Většinou se používá u forem, které jsou složité a mají místa kde špatně zatéká pryskyřice. Proto se po obvodu (středu) vytvoří vakuum, které nám nasává pryskyřici. Díky této technologii máme menší šanci že nám budou vznikat suchá místa nebo bubliny, taktéž se odsaje přebytečná pryskyřice a tím bude vyšší obsah vlákna ve výrobku. Technologie je velmi rozšířená díky úspoře času při výrobě, používá se především u lodního průmyslu ale také v automobilovém.[3,7]

- Sériovost 100-5000 kusů
- Tlaky do 0,096 MPa
- Podíl vláken až do 50%



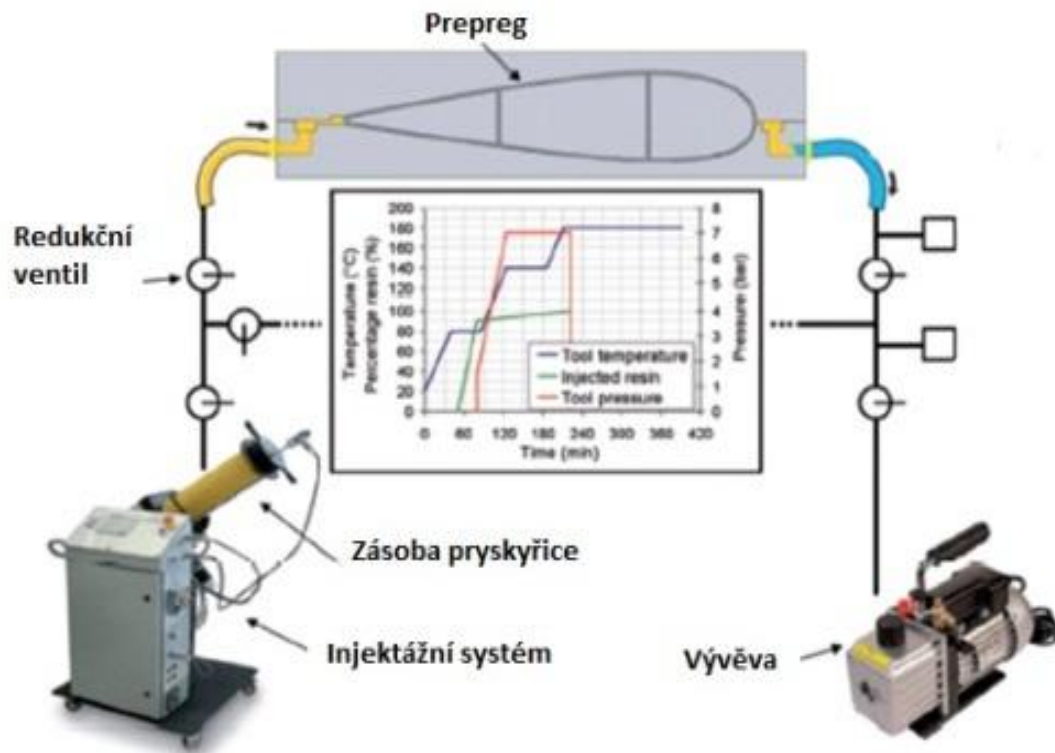
Obrázek 3. Schéma VARTM soustavy.

2.4 SQRTM (Some Qualified Resin Transfer Molding)

Je uzavřená metoda, která kombinuje zpracování prepregu a technologii RTM. Je navržena tak, aby byly vyrobené výrobky tak kvalitní jako v autoklávu bez použití autoklávu. SQRTM odlišuje od běžného RTP především že se nepoužívá suchých polotovarů (preform), ale používá se zde prepregů. Prepregové vrstvy jsou naskládány do formy, následně se forma uzavře a do formy se vstříkne malé množství pryskyřice. Je důležité přesné umístění vtokových ústí, a také vakua pro dobré prosycení prepregu v dutinách podél okraje formy na jednotný tlak 6.89Bar. Pryskyřice není určena k prosycení prepregu ale pouze k udržení stabilního hydrostatického tlaku. Pryskyřice zajistí taktéž, aby ve formě nezůstávali vzduchové nebo těkavé látky. Technologii SQRTM je také daleko jednodušší ovládat vzhledem k tomu, že do výrobku nemusíme dodávat téměř žádnou pryskyřici, ta se nachází přímo v prepregu tím je zajištěno, že se nám pryskyřice dostane do všech prostor. U většiny výrobků téměř nedochází k vadám díky použití prepregu. Formy jsou vyhřívány, ale taky chlazeny tak abychom dosáhli konzistentní teploty podél celého cyklu. Teplota se určuje stejně jako v autoklávu a to podle popisu výrobce prepregu. [3,7]

- Sériovost 100-1000 kusů
- Tlaky do 0,689 MPa

- Podíl vláken 75%



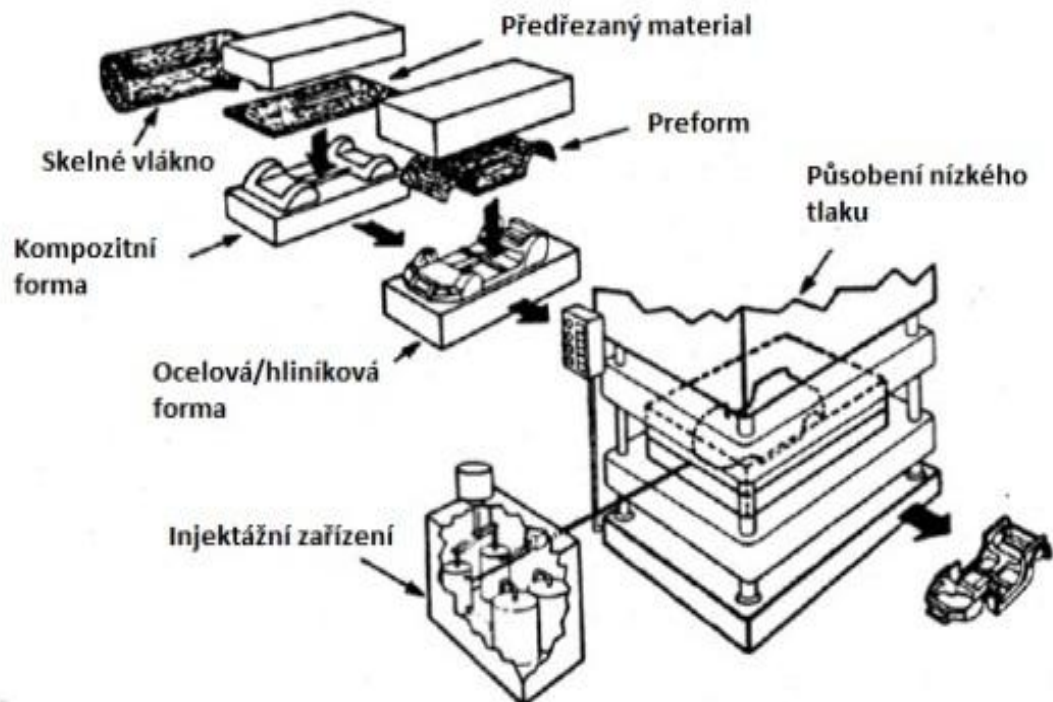
Obrázek 4. Schéma SQRTM soustavy.

2.5 HSRTM (High Speed Resin Transfer Molding)

Používá se především v automobilovém průmyslu, je nutné, aby pryskyřice rychle polymerovala a výrobek se tudíž mohl během krátké doby vyndat z formy. Pryskyřice pro tento typ plnění jsou tak vysoce reaktivní, požaduje, aby při konci plnění pryskyřice už pomalu vytvrzovala. Řešení je navrženo tak, aby se poměr katalyzátoru vyvíjel v průběhu času při plnění a poslední kapky pryskyřice obsahovali více katalyzátoru než ty na začátku. Pryskyřice je smíchávána s katalyzátorem těsně před vstupem do formy a tím se spustí její vytvrzování až přímo ve formě. Je nutné mít čas vytvrzení pryskyřice přesně spočítán. Forma je zde plně vyhřívána a to většinou pomocí elektřiny. U technologie HSRTM je velice důležité mít své Know-how vzhledem k tomu že je velice těžké zde nastavit vstřikování do formy a čas vytvrzení.[4,7]

- Sériovost 1000-50000 kusů
- Tlaky 0,689-3,447 MPa

- Podíl vláken 65%



Obrázek 5. Schéma výroby HSRTM výrobku.

3 KOMPOZITNÍ MATERIÁLY

Kompozitní materiály se sestávají nejméně ze dvou či více složek. Vyztužujících vláken, která dávají pevnost a tuhost a eliminují možnost vzniku trhlin ve struktuře. Matricí, ta slučuje vyztužující vlákna a určuje tvar výrobku. Důvodem skombinování dvou či více materiálů je získání lepších vlastností, než u jednotlivých složek. Kompozitní materiály se vesměs vyznačují dobrou pevností vůči své váze, která je o řád nižší než u kovů. Pevnost vzrůstá, čím vyšší je podíl vyztužujících vláken ve výrobku, až do hodnoty 80% vláken vůči pojivu. Vlákna by měla být důkladně prosycena pojivem, při nedostatečném prosycení vzniknou vady a to sníží pevnost, vzhledové vlastnosti. Také zaleží na uspořádání vláken to určuje konečnou pevnost.[4]

3.1 Matrice

Matrice bývá většinou měkčí a více poddajná než vyztužující vlákna. Matricí musíme prosytit vlákna, proto je nutné, aby byla tekutá, čehož dosáhneme pomocí rozpouštědel. Po prosycení je nutné vytvrzení matrice a k tomuto úkolu se použije tvrdidla. V tomto procesu nám vznikne prostorová makromolekula s nekonečnou molární hmotností. U vytvrzování záleží na teplotě, druhu pryskyřice a tvrdidlu. Hlavní veličinou je doba gelace, je to doba kdy se mění viskozita pryskyřice, a to v tuhou, elastickou hmotu. V tento moment pryskyřice nezatéká mezi vlákna výztuže. Při výběru pryskyřice by se mělo zvažovat, co od výrobku očekáváme a k čemu bude použit.[3,8]

Užitné vlastnosti	Technologické vlastnosti
Pevnost	Viskozita pryskyřice
Modul pružnosti	Smáčivost vláken
Prodloužení při přetržení	Doba gelace
Houževnatost	Skladovatelnost
Odolnost proti tečení	Reakční rychlost
Tepelná odolnost	Recyklace
Hořlavost	Obsah těkavých složek
Navlhavost	Smrštění při reakci
Odolnost proti UV záření	Citlivost na poměr složek
Dielektrické vlastnosti	Vedlejší produkty vytvrzování
Chemická odolnost	Adheze k povrchu formy

Tabulka 1. Vlastnosti pryskyřic.

Polymerní matrice	€/kg	Technologie
-------------------	------	-------------

Nenasycené polyesterové	78-129	IM, SMC, BMC, DMC, TMC SCRIMP, VIP, RTM Kontaktní laminace (ruční kladení za mokra) Navíjení za mokra, pultruze
Vinyl-esterové	92-103	IM, SMC, RTM, SCRIMP, VIP, Kontaktní laminace (ruč- ní kladení za mokra) Navíjení za mokra, pultruze
Akrylamaty	95-134	SMC, LPMC, RTM, RIM, SRIM
Epoxidy	45-112	Navíjení za mokra, pultruze Kontaktní laminace (ruční kladení za mokra) OOA, RTM, VIP, Prepregy (ATL) Navíjení prepregů, AFP
Tvrdé polyurethanové pryskyřice	47-54	RIM, RRIM, SRIM, pultruze, navíjení
Formaldehydové	43-45	Kontaktní laminace, BMC, RTM, IM

Tabulka 2. Přehled polymerů pro matrice kompozitů.

3.1.1 Nenasycené polyesterové pryskyřice

Jsou to nejvíce používané pryskyřice. Smrštění dosahuje hodnot 7-8% , jsou křehké a vyskytují se v nich nezhledná mikrotrhlina. Ultrafialové záření vstřebávají dobře a jejich elektrické vlastnosti jsou dobré. Přílehavost je horší, avšak dobře smáčejí skelná vlákna. Správnou volbou plniva můžeme dosáhnout nižšího smrštění a jiných požadovaných vlastností. Správnou volbou vytvrzovacího systému získáme velkého rozmezí gellimu a následného vytvrzení. Polyesterové pryskyřice jsou vhodné pro všechny technologie. Jejich viskozita se může také volit téměř jakákoliv podle množství reaktivního rozpouštědla. Přísady zabraňující odpařování rozpouštědla, mají svou účinnost pouze tehdy, pokud je pryskyřice v klidu, při aplikaci jsou jejich účinky rovny téměř nule. Základní rozdělení pryskyřic máme na orthoftalová, izoftalová, fumarová, chlorftalová, tereftalová.[3,4,8]

3.1.2 Vinylesterové pryskyřice

Jsou to nenasycené estery epoxidových pryskyřic. Jsou více ohebné než polyesterové pryskyřice díky tomu že mají dvojnou vazbu na pouze koncích řetězce. Výrobky s vinyl esterovou pryskyřicí mají větší houževnatost a díky tomu také nevzniká takové množství mi-

krotrhlin. Mají taky lepší odolnost vůči korozi, větší tepelnou odolnost a vyšší cenu oproti polyesterovým pryskyřicím.[4,8]

3.1.3 Akrylove – hybridní pryskyřice

Injektážní a infuzní technologie potřebují pryskyřice o co nejmenší viskozitě, proto se do nich přidává 30-50% styrenu, tím se zvýší emise styrenu na pracovišti. Kvůli tomu byli vyvinuty pryskyřice bez obsahu reaktivního ředidla. Jsou to akrylové pryskyřice na bázi akryl esterové pryskyřice. Mají větší modul pružnosti a větší pevnost v tahu.[4,8]

3.1.4 Epoxidové pryskyřice

Jedná se o nejvšestrannější reaktoplasty které se používají u konstrukčních použití. Mají nejširší rozsah použití, lze u nich využít velké nabídky přísad, které jim zajistí požadované vlastnosti. Jejich výhody jsou především minimální smrštění při vytvrzování, houževnatost, skvělá adheze k vláknům, dobrá tepelná odolnost, odolnost vůči tečení a únavě. Jsou velmi navlhavé před zpracováním by se mněli dobře uchovávat, případně by se mělo počítat i u pryskyřic s vysokou hodnotou tepelného přechodu s mírnou ztrátou tepelné odolnosti. Epoxidové pryskyřice mají o něco větší viskozitu jako polyesterové, vinyl-esterové pryskyřice. Jedná se o kapaliny až tuhé nelepivé látky. Vytvrzovací reakce probíhá velmi pozvolna a nevznikají žádné vedlejší produkty. Tím vzniká i za nízkého tlaku kompozit bez vad (bublin). Pro zkrácení doby vytvrzování lze použít urychlovačů. Pryskyřice jsou použitelné ve všech technologiích, jejich cena je vyšší než u polyesterových a vinyl-esterových pryskyřic. Pro správnou volbu pryskyřice je nutné zvážit několik okolností, za jakých se ta daná pryskyřice hodí, a to způsob výroby kompozitu, mechanické vlastnosti pryskyřice, tepelnou odolnost, chemické a fyzikální parametry.[4,5,8]

3.1.5 Tvrdé polyuretanové pryskyřice

Polyuretanové pryskyřice se používají především pro kontinuální procesy. Mají větší houževnatost než styrenové nenasycené polyestery a vinylestery, také jejich odolnost proti únavě je větší. Cena je stejná jako u styrenových pryskyřic. Ve vytvrzovacím procesu nedochází k uvolňování organických plynných produktů. V minulých letech byli polyuretanové pryskyřice nevhodné díky své rychlé vytvrzovací době a vytváření pěny. V dnešní době už jsou tyto problémy vyřešeny, vytvrzovací doba bývá až 20minut, a to díky použití dvojsložkových polyuretanů. Ty zvýšily podélnou, příčnou pevnost a mezilaminární smyková pevnost je až o 60% větší.[4,6]

3.1.6 Formaldehydové pryskyřice

Formaldehydové pryskyřice uplatňujeme především v technologii RTM, injekčním vstříkávání a pro technologii lisování. Mají dobrou odolnost proti organickým i anorganickým látkám, rezistenci proti proudu a jsou nehořlavé, tepelně odolné. Používají se především nevyztužené v domácnostech a na místech u kterých je požadavek na nehořlavost.[4,8]

3.2 Vlákná

Vyztužující vlákna určují pevnost hotového výrobku, čím větší je podíl vláken k matici tím větší je pevnost, u technologie ručního kladení v autoklávu, zde dosahuje podíl vláken 80%. Vláknové mikrokompozity obsahují řadu vláken o průměru 10^0 až 10^2 μm . Některé kompozity můžou obsahovat i vlákna o průměru 1 μm a řadí se do nanokompozitů. U vláken se vyskytuje pouze minimum vad, díky malému příčnému průřezu, vždy jsou pouze v podobě submikroskopických, mikroskopických trhlin a dutinek.[3]

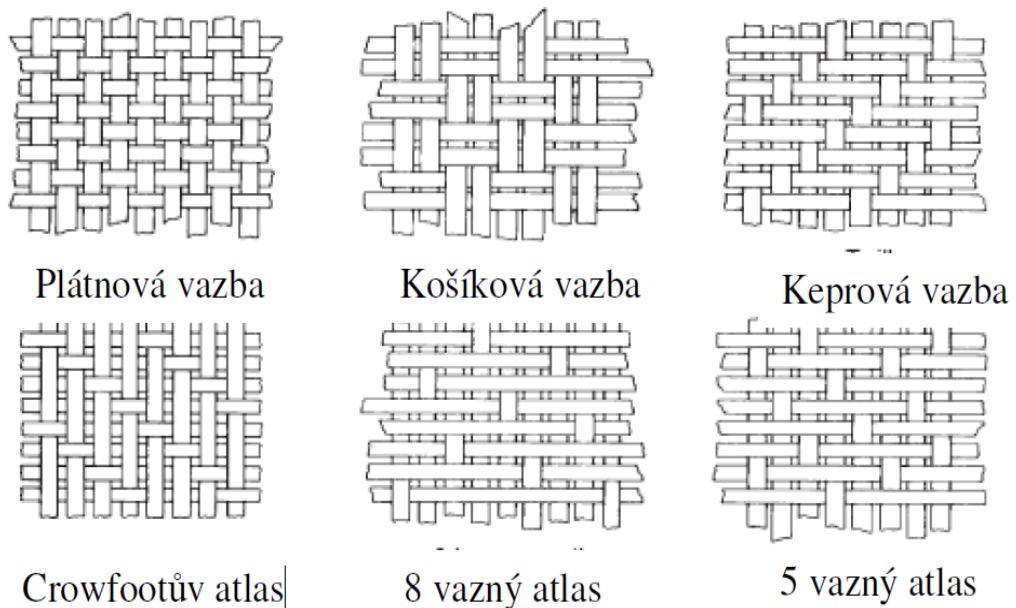
Vlákno	Průměr vlákna [μm]	Modul E [GPa]	rmin [mm]
Uhlíkové	11	520	1
Al_2O_3	25	345	3
SiC	9	300	0,5
B, SiC	200	400	14

Tabulka 3. Přehled různých variant vláken.

3.2.1 Skleněná vlákna

Základ skleněných vláken tvoří silikátový základ SiO_2 . Jejich výroba probíhá za vysoké teploty ze směsí oxidů Si a zanedbatelným podílem oxidů kovů Na a K. Tekoucí tavenina prochází tryskami o průměru 1mm, dloužením přes tyto trysky se dosáhne požadovaného průměru. Konečný průměr vlákna je dán rozdílem mezi rychlostí vytékání skloviny a rychlostí odtahování. Následně se vlákna semknou do pramene a navíjí se na cívku. Používaná vlákna jsou ze skloviny E, S, C (kyselinám odolná vlákna), ACR (vlákna odolná alkáliím), L vlákna (se zvýšeným obsahem olova a křemenná vlákna). Skleněná vlákna z E skloviny jsou nejlevnější, přitom mají dobré mechanické i elektrické vlastnosti. Vlákna ze skloviny S mají příměsi oxidů křemíku a hliníku, proto je jejich cena desetinásobná oproti klasickým vláknům z E skloviny. Navíc oproti E sklovinám mají lepší modul pružnosti a větší pevnost v tahu. Používají se vesměs s epoxidovými matricemi. Vlákna ze skloviny C mají

nižší teplotu měknutí, nemají ani příliš dobré mechanické vlastnosti, ty se navíc s narůstající teplotou dále zhoršují. Zlepšují nám odolnost vůči rozpouštění. Vlákná ze skloviny L obsahují oxidy olova, jejich využití tedy spadá do kategorie, kde musíme zabránit prostupu rentgenového záření. Jejich využití je ve vojenském a lékařském průmyslu. Křemenná vlákna mají oproti E vláknům vyšší tepelnou odolnost, dokážou snášet teploty do 1000°C kdy u nich dochází k měknutí. Jejich cena je několikanásobně vyšší než u běžných vláken (220 \$/kg). Využívají se u vojenských letounů, díky jejich propustnosti elektromagnetických vln. Všeobecně platí, že čím tenčí je vlákno tím má větší pevnost. Vlákná se splétají do různých druhů tkanin například plátňová vazba, košíková vazba, keprová vazba, 8 vazný atlas, 5 vazný atlas, Crowfootův atlas. Plošná hmotnost tkanin se pohybuje obvykle v rozmezí 140 až 800 g/m². Těžké tkaniny umožňují rychlé získání větší tloušťky laminátu.[3,4,9]



Obrázek 6. Druhy vazeb

	Sklo E	Sklo S	Sklo C	Sklo ACR	Sklo L	Křemenné sklo
Průměr [μm]	5-16	9-13	9-13			8,9
Hustota [g/cm ³]	2,54	2,49	2,49	2,7	4,3	2,19
Modul pružnosti [GPa]	73	85,5	69	75	51,1	69
Pevnost v tahu [GPa]	2-4	4,6	3	1,7	1,6	3,45
Prodloužení	1,8-3,2	5,7	4,8			5

[%]						
Součinitel tepelné roztažnosti	4,9	5,6	7,2			
Součinitel tepelné vodivosti	1	1	1			
Teplota měknutí [°C]	800	970	750			980
Relativní permitivita při frekvenci 1 MHz	5,9-6,4	5-5,4			9,49	3,78
Ztrátový činitel (tand) při 10 GHz	0,0039					0,002

Tabulka 4. Přehled vybraných vlastností skleněných vláken.

3.2.2 Uhlíková vlákna

Mají největší rozmezí využitelnosti díky jejich mechanickým vlastnostem při velmi malé hustotě. Uhlík by se neměl dostat k méně ušlechtilým kovům, dochází k elektrochemické korozi, při níž koroduje kov. Uhlíková vlákna se vyrábějí převážně z vláken polyakrylonitrilových (PAN) a nejnověji z vláken novoloidu – vláken fenol-aldehydových. Vlákna se taktéž splétají do různých tkanin, nebo je lze použít pro rohože. V dnešní době je velká poptávka po uhlíkových vláknech, a to hlavně v leteckém a automobilovém průmyslu. Díky tomu se jejich cena zvyšuje. S nejmodernějšími technologiemi přichází Japonský trh, ovšem největším dodavatelem je Čína. Využívají se zejména u velmi namáhaných komponentů a pohledových prvků například u automobilu, nebo v interiérech drahých jacht, vládků a letadel. Mletá uhlíková vlákna jsou používána jako plnivo pro dosažení elektrické vodivosti polymerů a jako jejich výztuž.[4,9]

	Novoloid (Kynol)	PAN
Teplota zpracování [°C]	800-2000	1500-2000
Hustota [g/cm ³]	1,4-1,5	1,8-2
Obsah uhlíku [%]	95-99,8	93-99,5
Pevnost v tahu [MPa]	400-700	1500-3000
Poměrné prodloužení při přetržení [%]	1,5-3	1-1,5
Modul pružnosti [GPa]	150-300	150-300
Teplota počátku ztráty hmotnosti na vzduchu [°C]	476-573	560
Tepelná odolnost, ztráty	2,2-2,8	2,4

Hmotnosti [%]		
Chemická afinita k epoxidovým pryskyřicím	dobrá	horší

Tabulka 5. Přehled vlastností uhlíkových vláken

3.2.3 Preform

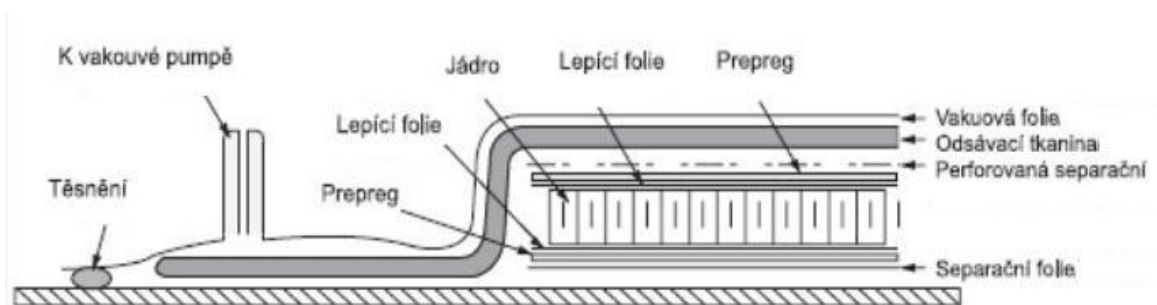
Preform je předpřipravená struktura do požadovaného tvaru, můžeme mít několik druhů preformu. Základní rozdělení máme na sekaná, nebo navíjená vlákna. U navíjení existuje několik metod, které mohou být použity k vytvoření preform polotovaru na trnu pro použití v RTM výrobním procesu. Nejběžnější je použití tkaniny, která má malou gramáž. Látku dále zkracujeme na délku trnu, která se následně nabaluje kolem trnu. Když se používá tato metoda může být obtížné udržet konzistentní orientaci vláken a jednotnou tloušťku z důvodu překrývání látky. Další metodou je použití navíjení preformu. Tato metoda se většinou uplatňuje k pletení dlouhých rotačních předmětů, jako jsou například kuželové trubky. Je zde odvíjeno nekonečné vlákno na trn, trn může být jak stacionární tak pohyblivý. Sekaná vlákna lze zpracovávat několika způsoby, a to s přiváděním vlákna s vrchní části, nebo z boční stěny stroje. Vlákna nám procházejí přes stříhací hlavu, ta nám je naseká na požadovanou délku, následně padají do prostoru trnu na kterém se usazují a tím dostávají výsledný tvar preformu, který bude následně vložen do formy. Cena u preformu je vzhledem k ceně práce nízká, jelikož je proces téměř automatizován není potřeba lidské práce, tím se ušetří i při instalaci materiálu do formy, kdy by musel pracovník vkládat celou strukturu výrobku ručně do formy, naproti tomu u preformu vloží pouze preform a část matrice. [8,9]



Obrázek 7. Preform

3.2.4 Sendviče

Sendvičové polymerní struktury se skládají z jádra, které se nachází ve středu a potahů na povrchu. Jejich hlavní uplatnění je jako u I kovových profilů, a to tak že járo nám přenáší smykové napětí z jednoho pláště na plášť druhý. Nejčastější použití je z tenkého hliníkového plechu, Nomexu-aramidové tkaniny prosycené epoxidovou pryskyřicí, polypropylenem, papíru, tuhé pěny na bázi polyuretanu, PVC, a spousta dalších materiálů.[3,8]



Obrázek 8. Schéma uložení sendvičové struktury

3.3 Technologické materiály

3.3.1 Materiály modelu

Materiál modelu by měl splňovat určité požadavky. Vždy záleží na finanční stránce, ale ne každý materiál je vhodný pro danou technologii. Modely jsou nejčastěji vyráběny třískovým obráběním z připraveného polotovaru. Materiálů k zhotovení modelu je celá řada. Jsou to například MDF desky, dřevo nebo PUR pěny. MDF desky mají výhodu především v hmotnosti a ceně. Také opracovatelnost je u nich vynikající. Nevýhodou je jejich rozměrová nestálost. Ytong má nejnižší cenu ze všech modelových materiálů. Jeho nevýhodou je velká křehkost a nedokonalá jakost povrchu. Dřevěné modely jsou nejdostupnější a zároveň jedny z nejlevnějších. Rozměrová stabilita může být narušena vlhkostí. PUR pěny mají vynikající homogenitu povrchu a rozměrovou stálost. Cena je oproti zmíněným několika násobně vyšší. Na výběr jsou i jiné materiály ovšem jejich cena je poměrně dosti vysoká.

Typ materiálu makety	Ytong	MDF	Ocel s podpůrnou konstrukcí	Dřevo (masiv)	PUR pěna (modelové bloky)	PUR (modelovací pasty)	Nástrojové bloky (Epoxid)	Uhlíková pěna
Hustota (kg/m ³)	350 - 600	700-870	7800	530-680	580-700	780-1300	730-1200	320
Cena materiál (Kč/m ³)	4 200	10 500	200 000	12 000 - 40 000	90 000	-	300 000	334 000*
Pozitiva	Dostupnost, hmotnost, cena, teplotní odolnost	Dostupnost, hmotnost, cena	Dostupnost, cena, teplotní odolnost	Dostupnost, hmotnost, cena, teplotní odolnost	Standardní technologie, hmotnost, homogenita povrchu, stabilita rozměrová	Standardní technologie, homogenita povrchu, stabilita rozměrová	Homogenita povrchu, teplotní odolnost, rozměrová stabilita	Teplotní odolnost a rozměrová stabilita, tuhost, hmotnost
Negativa	Křehké, jakost povrchu	Teplotní odolnost, vliv vlhkosti na rozměrovou stabilitu	Jen jednoduché tvary.	Vliv vlhkosti na rozměrovou stabilitu	Vyšší cena	Vyšší cena, komplikované nanášení (vyžaduje speciální vybavení)	Vysoká cena	Dostupnost a vysoká cena

Tabulka 6. Přehled materiálu pro výrobu modelu [10]

3.3.2 Materiály forem

Na výrobu formy se může použít materiálů jako je například prepreg. Prepreg nebyl zvolen kvůli jeho vyšší ceně, ale také má vyšší nároky na technologie a je potřeba vlastnit autokláv pro dosažení perfektních vlastností. Oproti standartnímu ručnímu zpracování má prepreg výhody ve vyšší pevnosti a nemusí se používat gelcoat, také má vyšší životnost. Dalším materiálem pro výrobu formy je keramika. Bohužel keramika je z materiálů pro výro-

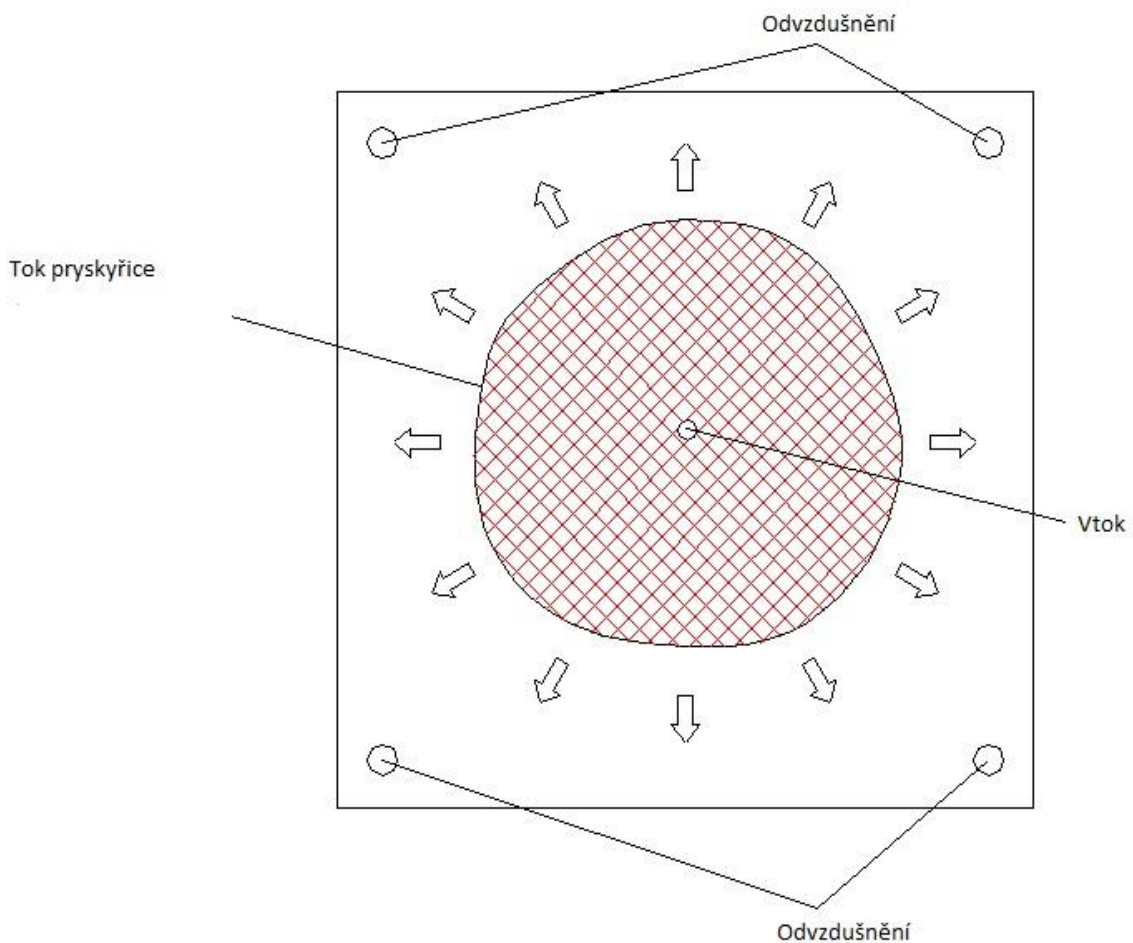
bu forem nejdražší, technologie na výrobu keramické formy jsou extrémně drahé. Zato keramická forma vydrží i několikaset tisícové série což žádný jiný materiál nevydrží. Hliníkové formy jsou druhou nejlepší volbou, jejich zpracování se provádí CNC obráběním, nebo můžeme použít technologii hydroforming. Tato technologie by se nám vyplatila pouze při odběru většího počtu kusů, nebo v případě že by forma byla nadměrně opotřebovávaná. Pro hliníkové formy svědčí jejich váha, která je několikanásobně menší jako váha ocelových, nebo keramických forem. Hliník má nejlepší využití pro spodní formu u LRTM technologie. Ocelové formy jsou po keramice nejtěžší, jejich váha ovšem zaručí dostatečnou tuhost formy a mají vynikající odolnost vůči opotřebení. Jejich volba se vyplatí až na několikatisícové série. Kompozitové formy jsou v dnešní době nejvíce rozšířené a to pro jejich dobrou váhu a levnou výrobu. Mezi nevýhody patří nedostatečná tuhost formy ta lze odstranit pomocí sendvičových materiálů, nebo pomocné ocelové konstrukce.



Obrázek 9. Hliníková forma

4 ODVZDUŠŇOVACÍ A VTOKOVÁ SOUSTAVA

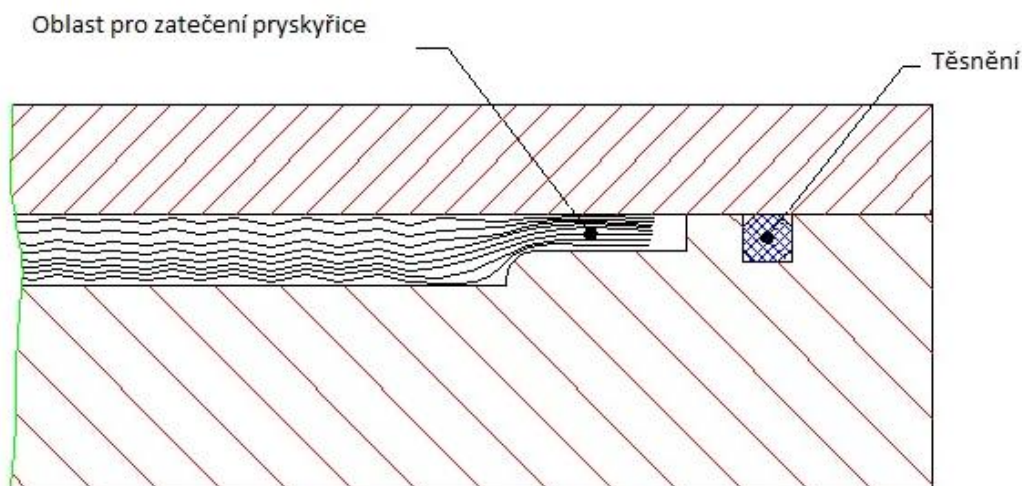
U výroby formy je nutné, aby bylo zvoleno správně vtokové ústí a také odvzdušňovací otvory. Pokud bude vtokové ústí špatně zvoleno, může se stát, že pryskyřice bude špatně zatékat a vzniknou nečekané vady nebo místa z různých prosycení pryskyřicí, to by mělo za následek pozdější deformace. Pokud by na formě nebyli odvzdušňovací otvory, byl by celý systém formy nefunkční, protože by docházelo k odporu toku pryskyřice díky vysokému tlaku, který by se vytvořil uvnitř formy, a tím také k vysokému tlaku na konstrukci formy, která by se mohla porušit.



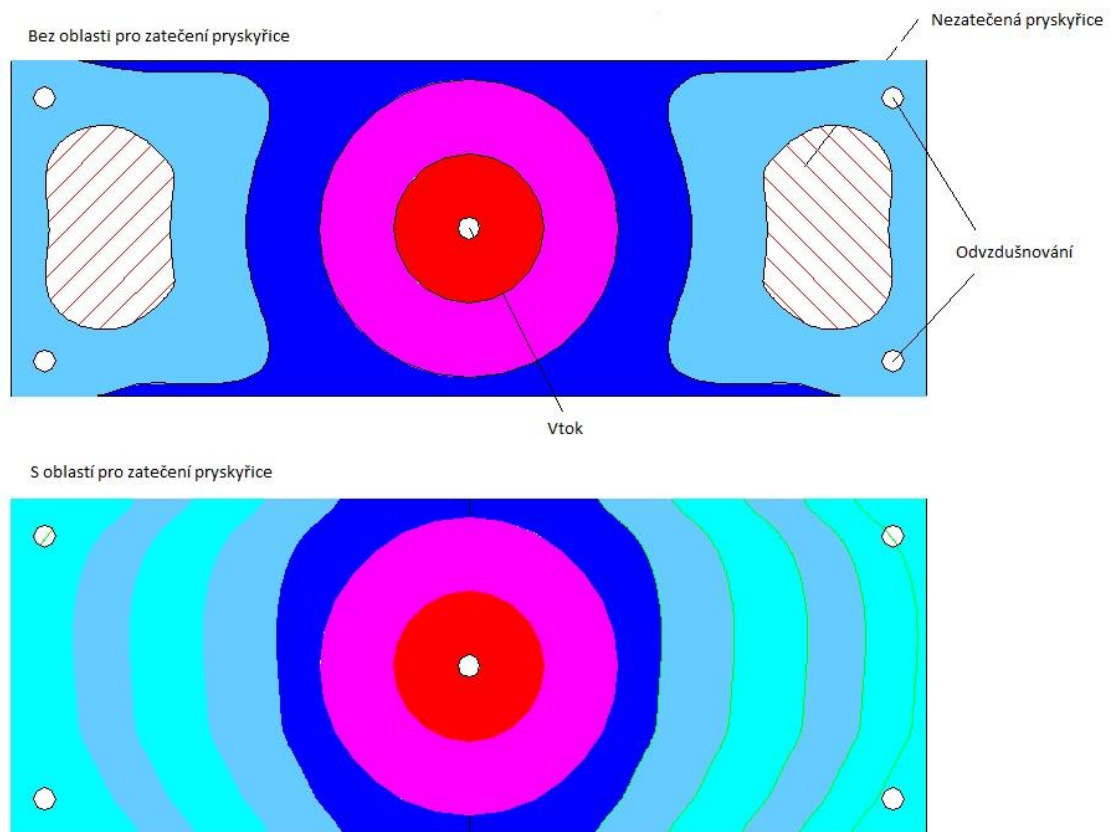
Obrázek 10. Uspořádání vtoku a odvzdušňovacích otvorů

Musí se také vytvořit oblast pro přetok pryskyřice, která se v posledním kroku bude ořezávat. Tato oblast také zajišťuje dokonalý rozvod pryskyřice. Pokud se na formě neudělá,

dochází k nedostatečnému prosycení pryskyřicí na koncích výrobku a tím k vadám na výrobku. U svislých stěn by se oblast pro přetok pryskyřice měla vyrábět pod úhlem třicet až čtyřicet pět stupňů vůči svislé stěně. Šířka oblasti pro přetok pryskyřice by měla být čtvrtina šíře výrobku, dále se může použít jako v tomto případě postupné zužování pomocí úhlového sklonu. Řešení pomocí úhlového sklonu se zdá výhodnější díky možnosti lepšího dosednutí formy a řešení odvětrávacího systému. U vodorovných částí výrobku jsou použity oblasti pro přetok pryskyřice od šesti do deseti stupňů. Důležité je také na okraj formy zařadit těsnění, to zabrání unikání vzduchu v místech kde to není požadováno. Těsnění by mělo být určitého profilového tvaru, prodávají se v metrážích. Výroba drážky na formě pro těsnění je značně komplikovaná. Těsnění se umístí pouze na jednu stranu formy, byla zvolena horní strana formy. Těsnění na horní straně má více výhod, jelikož horní strana je méně nepohyblivá a tudíž se těsnění nemůže nijak porušit. Navíc na MDF modelu můžeme vyrobít výstupek na drážku jednoduší formou jako na spodní polovině formy. [11]



Obrázek 11. Oblast pro zatečení pryskyřice



Obrázek 12. Zatékání pryskyřice

II. PRAKTICKÁ ČÁST

5 CÍLE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

5.1 Teoretická část

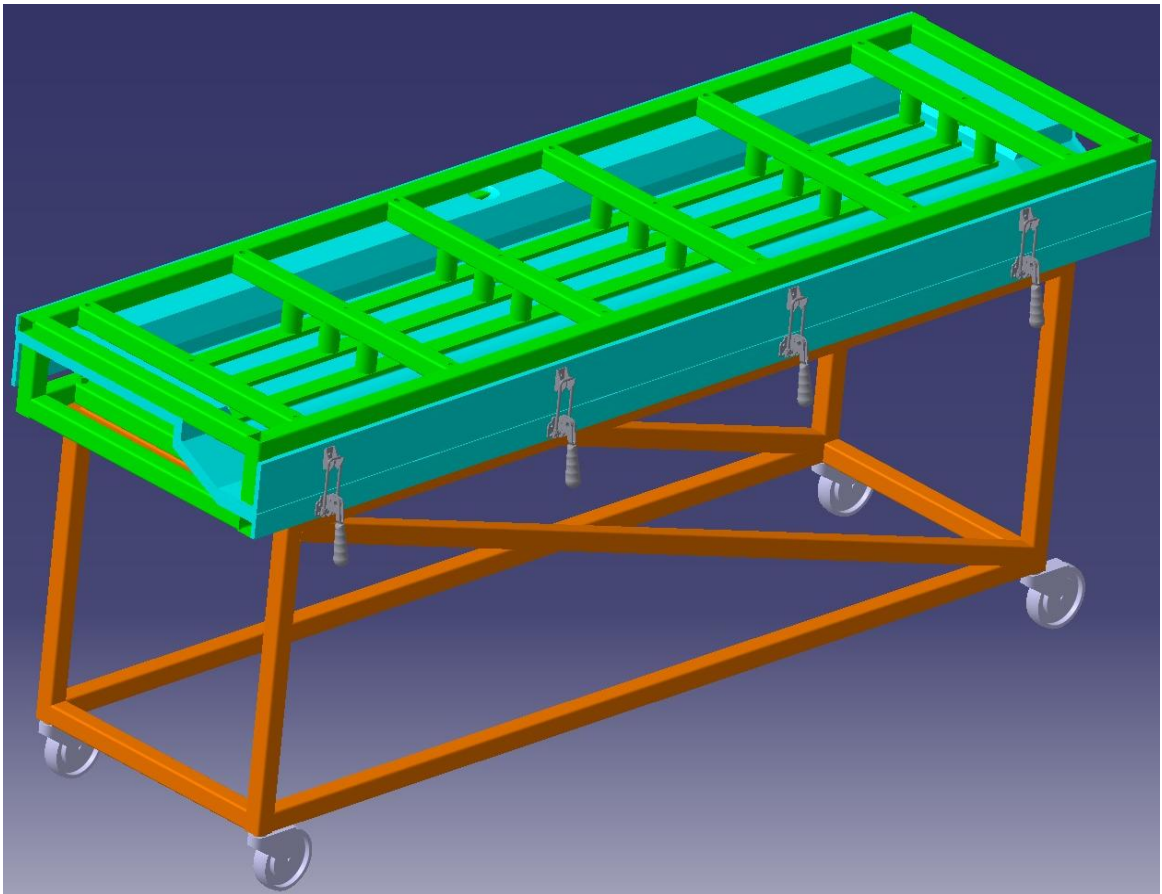
- Literární průzkum používaných RTM technologií v praxi
- Výběr parametrů ovlivňujících volbu technologie
- Přehled materiálů pro RTM technologii

5.2 Praktická část

- Návrh RTM formy pro zadaný konstrukční díl
- Technologicky – ekonomické zhodnocení výrobku

6 VÝROBA RTM FOREM

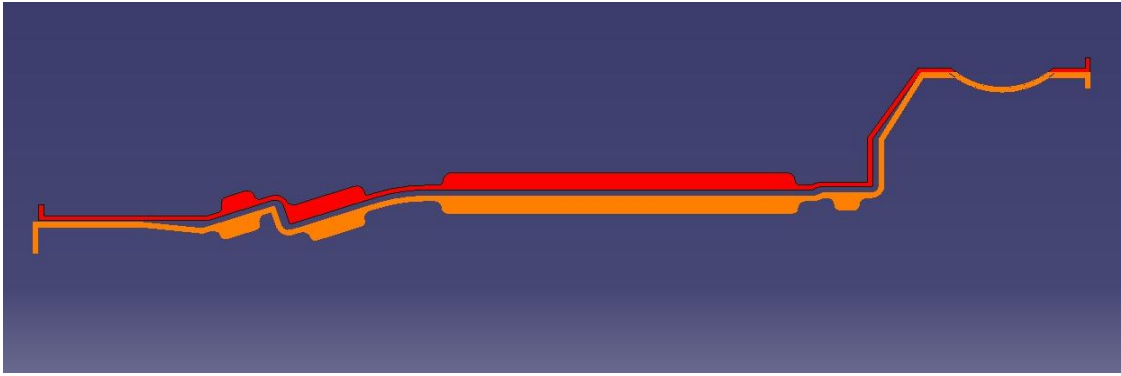
Bakalářská práce se zabývá výrobou RTM formy, která může mít více variant uspořádání vtokového systému a odvzdušňovacího systému. Byl zvolen systém s vtokovým ústím uprostřed výrobku a odvzdušňováním ve stranách výrobku. Tím se zajistily dostatečné podmínky pro tok pryskyřice u námi zvoleného výrobku. Na formu bude působit tlak do 0,096 MPa, proto se musí zajistit dostatečná tuhost formy při zachování nízké hmotnosti. Dále se budeme zabývat výrobou modelu a dalšího příslušenství. U formy je několik omezení a to váhové, které bylo určeno na 100 kg na 1m² výrobku, a výška formy u daného výrobku nesmí překročit 70 cm. Možnost manipulace musí být zajištěna pomocí úchopů, a to tak že manipulaci s formou by měli zajistit pouze dva pracovníci. Cena nebyla určena, ale z hlediska konkurenceschopnosti výroby by měla být co nejnižší.



Obrázek 13. Sestava kompletu formy

6.1 Výroba 3D modelu

K vyrobení formy je zapotřebí zhotovit model, který má přesné rozměry vyráběného výrobku a zároveň je rozšířen o technologické části budoucí výrobní formy. Model slouží k výrobě formy, proto se nemusí usilovat, aby byl z co nejlepšího materiálu, ale spíše nad jeho přesností, kvalitou opracování, ale také cenou. Modely mohou být vyrobeny z několika druhů materiálů, jako jsou například napěněný polystyren, polyuretanová pěna, MDF desky, dřevo nebo ze skelných popřípadě jiných tkanin. Byl zvolen MDF materiál. U MDF by se měla zajistit dostatečná kvalita materiálu. Materiál je časově nestálý, proto by měla forma být vyrobena co nejdříve a také kvůli této vlastnosti není vhodný na násobnou výrobu formy. Výroba nové formy po delší době by mohla znamenat potíže vzhledem k nestálosti materiálu. Následně proběhla modelování modelu pomocí programu SolidWorks s výstupním formátem protokolu pro CNC obráběcí stroj, který formu obrobí do požadovaného tvaru. Po CNC obrábění se model následně ještě ručně doobrobí a to pomocí jemných brusných papírů zrnitosti od 150 do 1200. Po ručních pracích je výsledný povrch připraven na nanášení PUR plniče, který nám povrch ještě více vyhladí a také je nanesen separátor. Po dokončení MDF modelu spodní poloviny formy se začne s nanášením gelcoatu a tkanin. Vyrobí se spodní forma, která bude laminovaná. Po vyrobení spodní formy se vyrobí dutina. K výrobě dutiny můžeme použít několik druhů materiálů, jako jsou například voskové folie, linoleum, korek nebo dřevo. Výhodou voskových folií je zaručení stejné tloušťky stěny u velice složitých tvarů, nebo se můžou použít různé blokové materiály u kterých je velice dobrý poměr mezi dobrým povrchem a nízkou hustotou, také mají dobrou tepelnou odolnost. Byly zvoleny voskové folie a to v tloušťkách jeden milimetr. Následně byla nanesena folie o stejné tloušťce ještě jednou a poslední milimetr modelu dutiny byl nanášen v tloušťce půl milimetru a to taky dvakrát, tato kombinace byla zvolena, protože při nanášení jedné silné vrstvy by nebylo zaručeno dokonalé vytvarování podle horní formy a to by mělo za následek chybu, která by se jen velmi těžko odstraňovala. Po dokončení nanášení voskové folie se může začít s výrobou spodní poloviny formy. Při navrhování modelu se musí počítat se smrštěním dle použití materiálu na výrobu výrobku a to v rozmezí 0,5 až 2 promile. Na obrázku [15] je zobrazen model výrobku. Kde horní část je přesný rozměr výrobku a rozšíření o technologické části. Spodní strana výrobku je zobrazení technické části modelu. Tyto dvě části by měli být rozděleny vrypem, pomocí kterého se následně forma upraví na požadovaný rozměr.



Obrázek 14. Řez dutinou formy

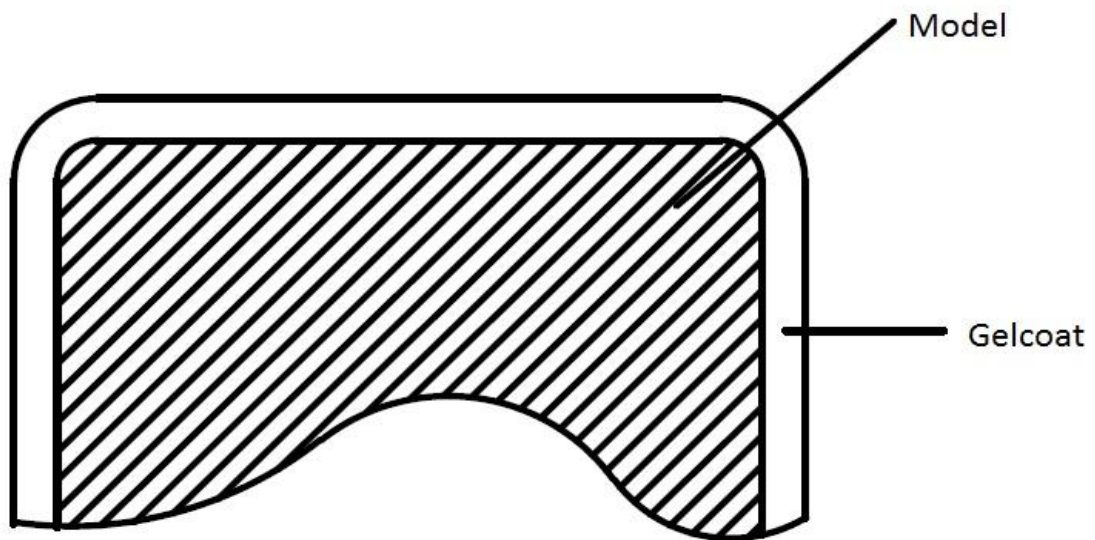


Obrázek 15. Model výrobku

6.2 Výroba formy

U formy byla zvolena odvzdušňovací soustava na krajích formy a vtoková vložka uprostřed formy. To je základní uspořádání. Následně se na model může nanést gelcoat. Model

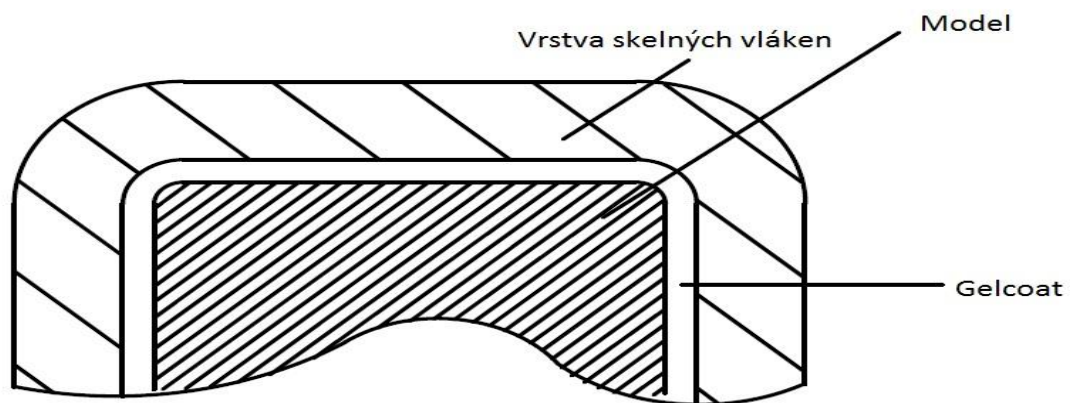
by se měl naseparovat. Byla zvolena na doporučení firma Axson a její produkty. Pro model byl doporučen separátor Chemlease PMR-90 EZ, který má lepší klouzavost a je určen pro snadnější vyjímání málo úkosových dílů se zachováním lesklého povrchu. Nanášet se bude bavlněným hadříkem na menších plochách, po nanesení se druhým hadříkem povrch vyleští, tento postup se bude opakovat třikrát. Posléze se muže nanášet 1mm silná vrstva gelcoatu a to v několika nánosech pro vyrobení potřebné kvalitní vrstvy. Gelcoat byl zvolen bezbarvý polyesterový GS20000 Norpol, který vytváří hladkou pohledovou vrstvu ovšem v závislosti na povrchu formy. Povrch nevyžaduje následně žádné další úpravy. Vytváří se přímo na modelu a formě. Gelcoat se dodává pro nanášení ručně pomocí štětců, nebo pro nanášení pomocí stříkací pistole, tato varianta byla zvolena. První vrstva bude silná 300 μm , musí se počkat než gelcoat přejde do gelu, druhá vrstva se nanáší v síle 300 μm a následně se bude čekat než gelcoat přejde do gelu. Poslední vrstva je v síle 400 μm a před další operací se čeká dvě hodiny. Když bude gelcoat na formu stříkán, nebudou nám vznikat bublinky. To bude mít za následek, že nebudou na povrchu formy žádné mikro póry a povrch bude nádherně lesklý a hladký. Nemněl by se používat peroxid styrenu který má poměr nižší jak 2%.. Je nezbytné použití inhibitoru pro správný čas geltimu.



Obrázek 16. Nanesení gelcoatu

Na nanosený gelcoat se nanáší další vrstvy. První vrstva se nanese nejdříve po dvou hodinách od nanesení poslední vrstvy gelcoatu, tato vrstva bude u formy ze skelného vlákna o gramáži 255g/m² od výrobce AEROGLOSS a to ve formě plátna. Výrobce zaručuje dokonalé prosycení všemi druhy pryskyřic, také je toto vlákno považováno za vysokopevnostní

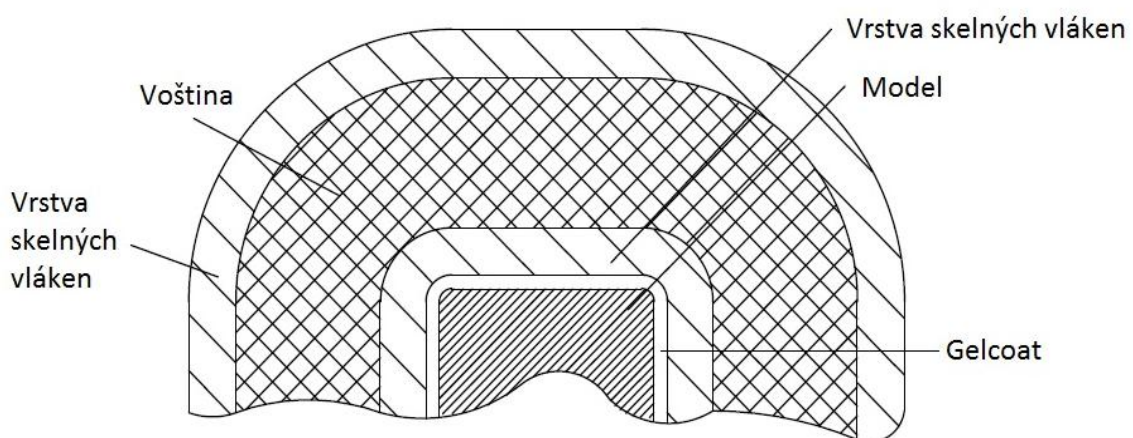
a je vhodná i pro diagonální skladby výrobků. Muže být použita taky jako krycí vrstva pro výrobu z voštin. Cena tohoto materiálu je 50 Kč/m² to na velikosti výrobku oproti jiným přízovým tkaninám znamená značnou úsporu. Následující vrstva se bude nanášet den poté a to vrstva o stejné gramáži (225g/m²) jako předchozí den, výrobce i materiál zůstane stejný jako u první vrstvy. Třetí den se bude nanášet taktéž vrstva ze skelného vlákna, ale v gramáži 390 g/m², výrobce zůstane stejný, jen cena této rohože bude 70Kč/m². Vrstva laminátu nad gelcoat vrstvou bude 3mm. Vrstva by měla zaručit dostatečnou pevnost proti tlaku, také by měla zaručit požadovanou kvalitu konečného výrobku. Vrstvy se budou nanášet ručně a to za pomoci náradí a válečků k tomu určených u tohoto výrobku nebude zapotřebí extrémně tuhá forma, protože výrobek nemá velké rozměry. Pryskyřice pro jednotlivé vrstvy byla zvolena polyesterová od Havel composites s označením RM3000. Je to pryskyřice určená pro výrobu speciálních forem s vysokou tepelnou odolností. Odolnost pryskyřice je 120°C, ale odolnost formy může dosáhnout až 150°C v závislosti na množství dané výztuže. Tato pryskyřice je také vhodná nejen pro RTM, ale také pro strojní a ruční aplikace. Pryskyřice je samotemperační, proto není nutné formu tepelně dotvrzovat. Při prvních cyklech výroby je nutné zvýšené opatrnosti a forma by se měla postupně zahřívat na teplotu od 80 do 100°C. Od výrobce bylo dodáno doporučení na použití peroxidu Cata 2000, u kterého je poměr míchání s pryskyřicí 100:1



Obrázek 17. Nanášení skelných vláken

Po nanesení základních vrstev gelcoatu a vrstev skelné tkaniny přijde na řadu vypracování pevnostní vrstvy, která zajistí dokonalou tuhost formy. Jelikož je váhové omezení formy, musí být použit drahý materiál, jako jsou například voštiny, nebo jiné sendvičové materiály. Byla zvolena polypropylenová voština výrobce NIDAPLAST-FR o silách 10 až 25 mm, které budou následně položeny mezi několik vrstev skelné tkaniny. Na spodní stranu, která

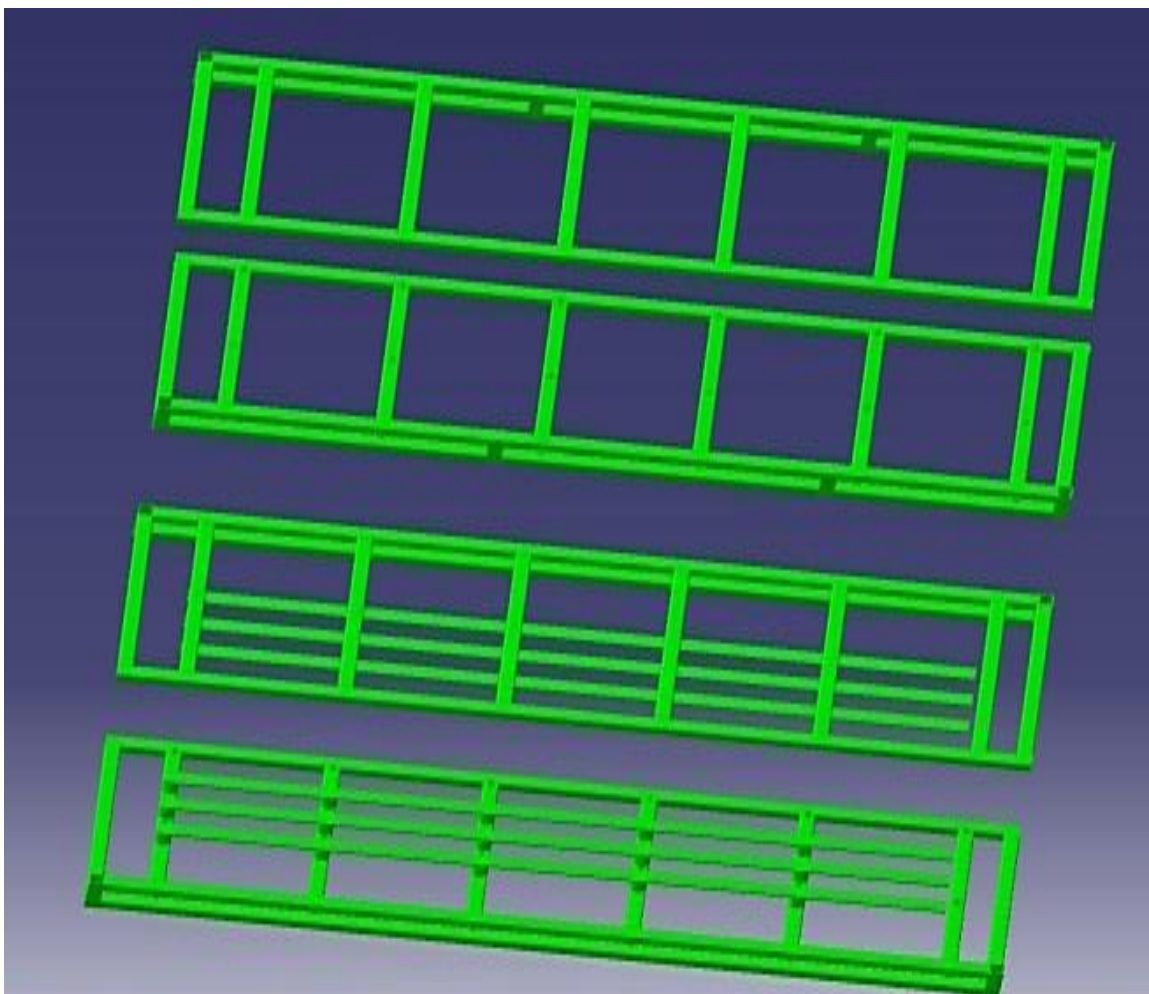
bude položena na již hotovou vrstvu, nebude dána žádná vrstva skelné tkaniny. Z vrchní strany budou 6-7 vrstvy skelné tkaniny o gramáží 390 g/m^2 od výrobce AEROGLASS ve formě plátna. Tato tkanina byla použita již při výrobě skeletu formy, bylo k ní použito pryskyřice RM3000 a peroxidu Cata 2000. Použití epoxidových pryskyřic se zdá zbytečné, jejich kladné vlastnosti nepřekonají poměrně vyšší cenu oproti polyesterové pryskyřici. Vrstva tkaniny musí být dokonale prosycena pryskyřicí, ta se musí dostat až k spodní vrstvě tkaniny přes aramidovou voštinu, aby bylo zaručené dokonale spojení. Voštiny byly zvoleny aramidové a to hlavně kvůli váze která je 29 kg/m^2 . U voštin narůstá pevnost neúměrně s váhou, to zaručí abnormálně vysokou pevnost při zachování dobré hmotnosti. Voštin je několik druhů hliníkové, plastové, polypropylenové. K výrobě výztuh do rámu může být využito i jiného sendvičové materiálu než jsou voštiny. Například materiály jako jsou Spheretex, Havelpur, Coremat, Airex, Rohacell, Parabeam a další. Všechny tyto materiály zaručují podmínky jako voštiny, ale žádný z nich nedokáže zaručit tak nízkou hmotnost jako aramidová voština. Ceny jsou velice rozdílné, záleží ovšem na požadovaných vlastnostech.



Obrázek 18. Umístění voštiny

U formy se nebude vyskytovat temperační soustava. V případě že by byli na formu požadovány vyšší nároky je možné zavedení temperační soustavy dodatečně. Temperační soustava zajistí ohřev, nebo ochlazení formy na požadovanou teplotu. Je několik druhů materiálů, které se používají pro temperační soustavy jako jsou například měděné, hliníkové a plastové trubky. U měděných trubek jsou zaručeny nejlepší tepelně vodivé účinky. Trubky musí být usazeny těsně nad povrch formy a následně se zalejí do směsi polymerního materiálu a pryskyřice. Rám formy bude z jácklového profilu na který bude nalepena vnitřní

struktura formy. To bude zajišťovat dostatečnou pevnost celého systému. Z uspořádání žeber je zřetelné, že na ocelové profily bude přenášena téměř veškerá síla tlaku, proto bylo nutné dobré rozložení jednotlivých nosníků. Na horní polovině formy bylo zvoleno uspořádání osmi nosníků v řadě, boční dva nosníky zajišťují dostatečnou pevnost na krajích formy. Vnitřní nosníky jsou nejdůležitější, musí odolat přenosu síly z duti formy přes výztuž, na horní polovině formy bylo zvoleno stejné uspořádání nosníků, nutnost zachování dostatečného prostoru pro vtokové ústí byla zachována díky poměrně dostatečné rozteči profilů. Jedná se o jáckly čtvercového profilu o délce strany 40 mm, hmotnost 2,733 kg/m. Rám formy musí být důkladně svařen.



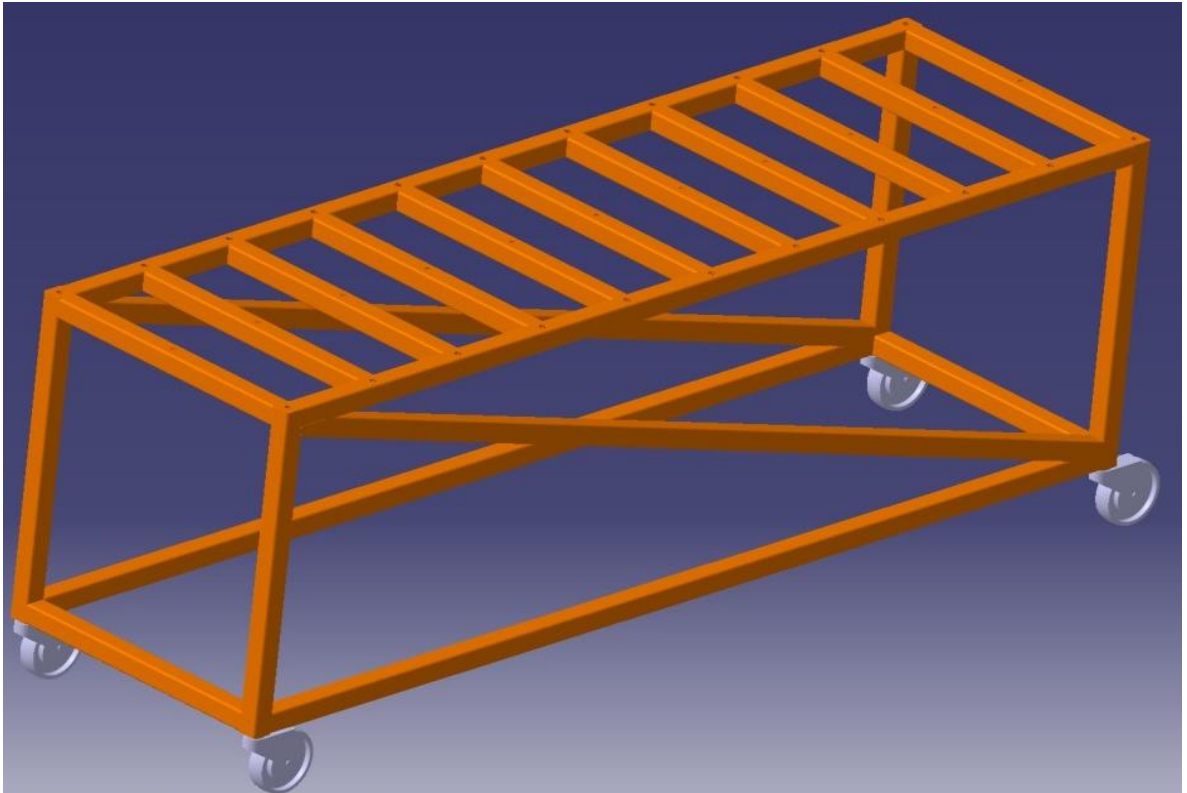
Obrázek 19. Rám formy

Spojení obou částí formy se bude realizovat pomocí upínek Zamet, ty budou přivařeny (popřípadě přišroubovány) k rámu formy. Upínky musí splňovat určité podmínky v případě použití menšího počtu upínek, bude potřeba dát silnější upínky, které odolají vyššímu tahu.

V opačném řešení to může být více malých upínek a menší nároky na zatížení v tahu. Vzhledem k lepší manipulaci s douzavřením formy byly zvoleny upínky hákové s madlem.

6.3 Výroba stojanu formy

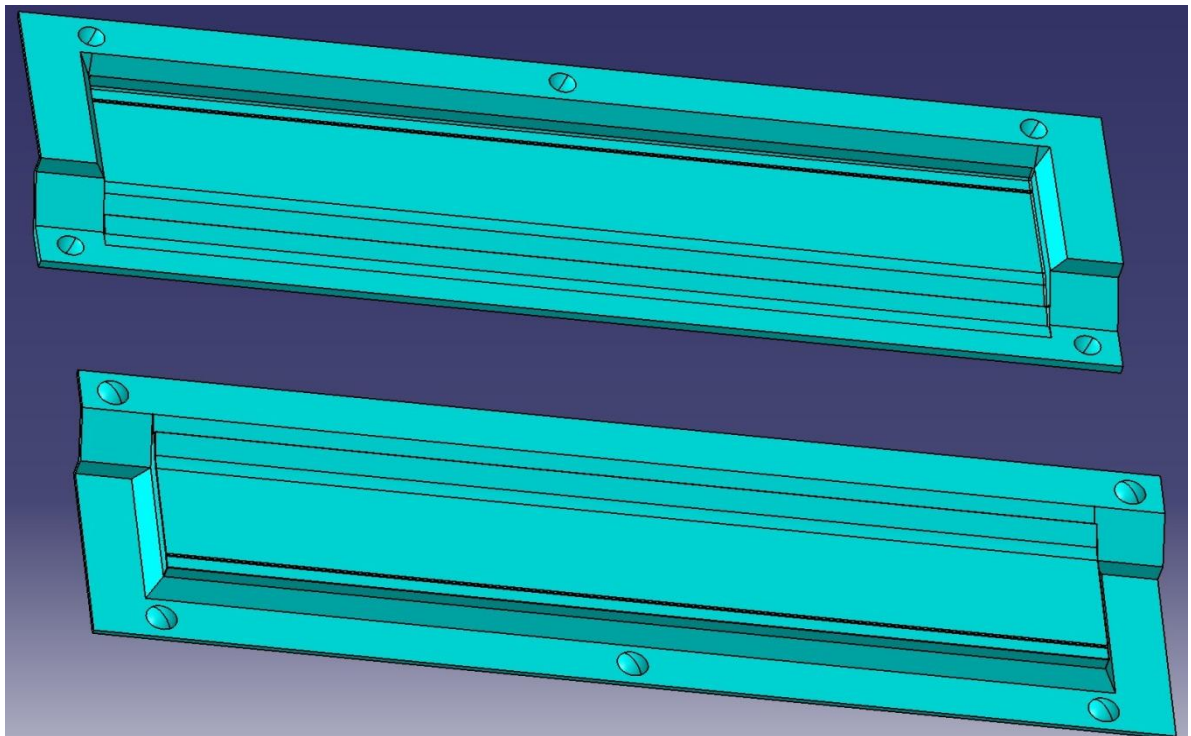
Výroba stojanu formy byla další požadavek. Stojan formy musí zajistit dostatečnou nosnost a zároveň požadovanou míru univerzálnosti. Stojan je zhotoven ze stejného jácklového profilu jako rám formy, jelikož stojan nemá sloužit pouze pro tuto jedinou formu, ale bude se používat pro formy vícerých podobných tvarů a velikostí, byl zvolen systém pouzder, která jsou průvlečná, tento systém by měl vyhovovat pro vícero forem. V budoucnu se uvažuje o výrobě. Do pouzder se budou zasunovat šrouby o stejném průměru a délky nejméně sto milimetrů. Aby se zajistilo dokonalé spojení a nemožnost vysunutí formy ze stojanu jsou na spodní straně rámu formy přivařeny matice, do kterých se zašroubují šrouby. Ze spodní strany stojanu jsou v pouzdrech zasazeny pojezdová kolečka, ty musí být zvoleny průmyslová s vysokou zatížitelností nejméně 500 kg. Jelikož bude probíhat doprava ze skladu do výrobní haly, byl zvolen i větší průměr kolečka kvůli přejezdu nerovností a taky se tím dodá stojanu vyšší stabilita, ta je také zaručena nižší výškou osmdesát centimetrů. Na rámu budou přivařeny madla, aby se zajistila pohodlná přeprava rámu s formou.



Obrázek 20. Stojan

6.4 Příprava formy

Pro výrobu výrobku se musí nejprve dobře připravit dutina formy. U dutiny formy je nejdůležitější se vyhnout především ostrých hran a rohů. V rozích hrozí nedostatečné zatékání pryskyřice a tím vady na výrobku. Tkaninu také nikdy nevytváříme do ostrých rohů. Téměř veškeré vnitřní hrany jsou proto zaobleny.



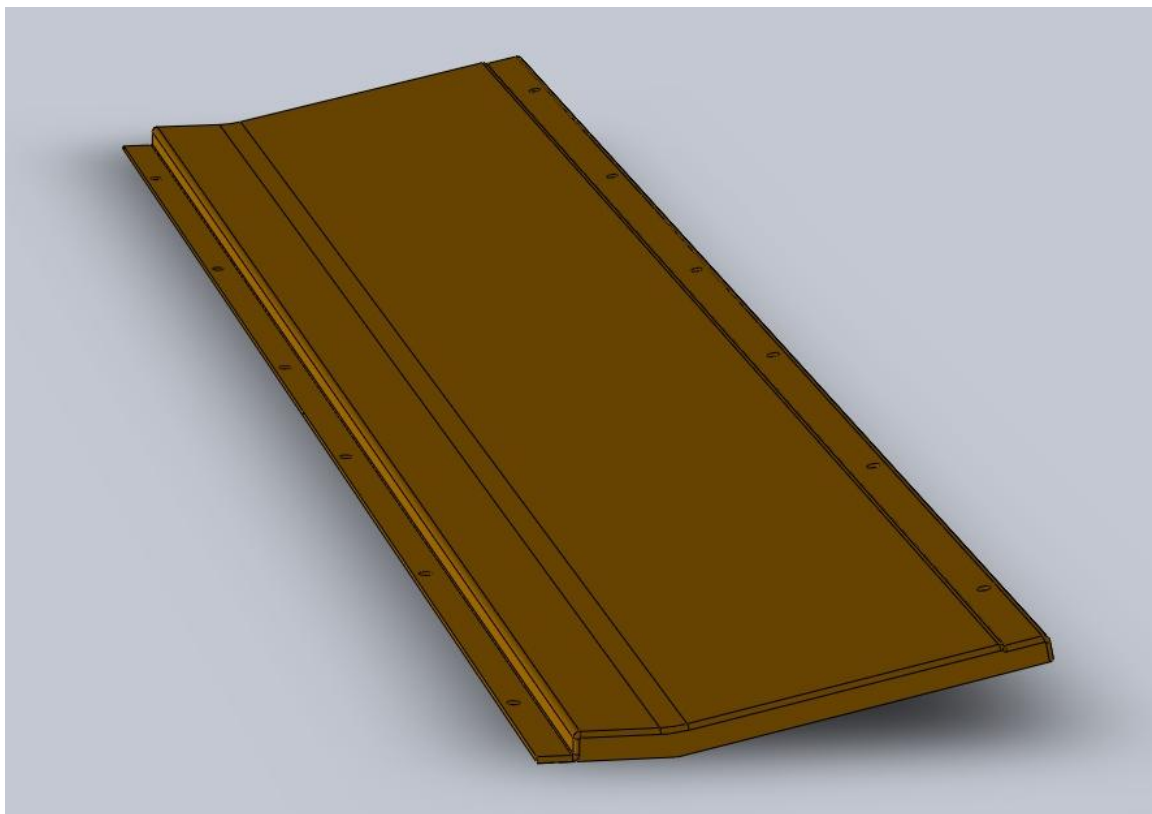
Obrázek 21. Dutina formy

Po výrobě formy je forma pórovitá a znečištěná zbytky vosku a jiných chemikálií. Povrch formy se musí předpřipravit. Příprava se provádí pomocí brusných papírů a to v zrnitosti 240 až 800 v případě že se výrobek bude lakovat. Pro výrobek bez lakování se použije brusných papírů v zrnitosti 240 až 1600. Brusné papíry se použijí od nejmenší zrnitosti po největší. V dalším kroku jsem zvolil výrobek od firmy Axson a to Chemlease mold cleaner EZ tento výrobek zaručí dokonalé vyčištění všech vosků a zbylých nečistot, musí se aplikovat nejméně dvakrát. Vyčištěnou formu upravíme uzavíračem pórů Chemlease MPP 712 EZ tento uzavírač nám zaručí dokonale hladký povrch formy. Nanášení probíhá pomocí suchého hadříku, měli by se nanášet dvě vrstvy s třiceti minutovým rozestupem a následným vyleštěním pomocí suchého hadříku. V této fázi má forma dokonale hladký povrch, na který se může nanášet vrstva separátoru. Separátor zaručuje dobrou odformovatelnost a měl by se používat pravidelně. Podle druhu separátoru a dat od výrobce se dá určit kolik odformování může proběhnou než se bude nanášet opravná vrstva. Separátor se musí nanášet pomocí zvlhčeného bavlněného hadříku, ten vytvoří tenkou hladkou vrstvu, která se následně setře. Aplikace by měla probíhat na menších plochách a postupně. Po uplynutí půl minuty suchým hadříkem krouživým pohybem leštíme, než se vytvoří suchý film. Tímto způsobem se musí ošetřit celá forma. Opakování by mělo být nejméně třikrát a před každou následující vrstvou by se mělo čekat nejméně deset minut. Následně by se forma

měla nechat třicet minut při pokojové teplotě vytvrdit. Po vytvrzení formy se instaluje těsnění. V některých případech více řad těsnění. Vystředění upínek je velmi důležité. Bez důkladného vystředění by mohlo docházet při dovírání formy k jejímu posunu. Ustavení upínek zaručí správnou tloušťku výrobku. Po dokončení formy proběhne kontrola formy a to především funkčnost formy, kvalita povrchu pohledové části, rozměry formy a rozměry dutiny.

6.5 Výroba výrobku

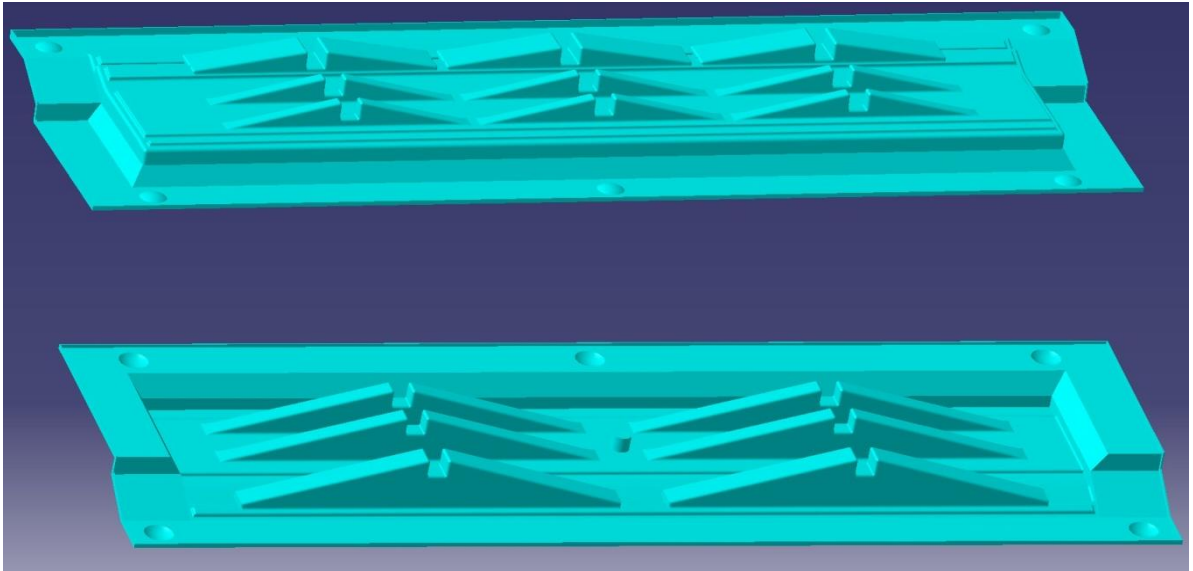
U zvoleného výrobku se bude jednat o kryt v dopravním prostředku. Výrobek se nebude následně lakovat, proto musí být použit gelcoat s barevným odstínem. Barevný odstín gelcoatu je zelený, gelcoat musí být samozhášivý. Výrobek byl zvolen polyesterový gelcoat HAVELgel 1. Gelcoat se nanáší do dutiny formy a tvoří sílu 1mm na konečném výrobku. Po nanesení gelcoatu se začne s nanášením skelných tkanin. Jako skelná výztuž je použita skelná rohož z nekonečných vláken pod značkou Unifillo v různých gramážích, případně v kombinaci s multiaxiálními tkaninami. Při nanášení tkaniny do formy bude první vrstva tkaniny o gramáži 260 g/m^2 . Druhá vrstva tkaniny bude o stejné gramáži a tkanina zůstane rovněž zachována. Poslední třetí vrstva bude mít vyšší gramáž oproti předchozím a to 360 g/m^2 . Všechny tkaniny budou ve formě plátna. Po nanesení tkanin do formy se musí zbytky přečnívající tkaniny zařezat podle okraje formy. Následně po zařezání tkaniny se forma uzavře a je připravena injektáž matrice. Jako matrice byla zvolena středně-plněná polyesterová pryskyřice do splnění požadavků samozhášivosti. Samozhášivost je velice důležitá především u výrobků, které by v případě splnutí mohli ohrozit lidské životy. Peroxid byl zvolen Butanox M50, kterého se přidávají hmot. 2%. Po injektáži pryskyřice a vytvrzení výrobku by celková tloušťka výrobku měla být max. 4 mm.



Obrázek 22. Konečný výrobek

6.6 Další možnosti výroby formy

U zvolené formy je několik možností zajištění tuhosti formy. Bylo zvoleno systému válečku s ocelovou pásovinou, ale může se pro zvýšení tuhosti použít dobře rozmístěné žebrovaní, to zajistí vyšší tuhost. A to pomocí několika párů žeber. Na spodní straně větší počet menších žeber, a to tři řady po třech žebrech. Horní strana formy musí mít zajištěn lepší prostor pro manipulaci s vtokovou vložkou, proto je zvolen menší počet žeber. Žebra budou mít jádro z balzy a budou překryty 3-4 vrstvami skelné tkaniny o gramáži 390 g/m^2 od výrobce AEROGLOSS ve formě plátna. Taktéž pryskyřice s peroxidem by mohli být použity stejně jako u výroby skeletu formy. Balza zaručuje dostatečnou pevnost vůči váze, navíc patří mezi levnější materiály. Pokud nebudu brát v potaz cenu, můžu použít například dřevěné profily, překližku a sendvičové materiály. Žebra by se následně přilepila na rám formy pomocí dvousložkového epoxidového lepidla značky Loctite 3450. Tato varianta je poněkud dražší než pomocí válečků a pásovin



Obrázek 23. Obrázek žebrování

Uzavírací systém může být pneumatický, mechanický nebo hydraulický. Na formě je použit mechanický systém a to upínkami Zamet. Pneumatický systém má výhodu, že dokáže formu uzavřít daleko větší silou než mechanický ovšem výroba vzduchu je velmi drahá a musí se zaručit dokonalá těsnost celé soustavy. U hydraulických uzavíračů se dá uvažovat pouze pro těžké RTM jelikož jsou zde vysoké tlaky a je zapotřebí mít dostatečně tuhou formu. Vyhazovací systém lze řešit pomocí mechanických či pneumatických vyhazovačů. Vyhazovače se používají u velkorozměrových výrobků, nebo u výrobků složitých tvarů kde by mohlo dojít k poškození výrobku při vyndávání. Vyhazovače musí být umístěny tak, aby neporušily vzhled výrobku.

ZÁVĚR

Výroba kompozitní formy proběhla ve firmě Form s.r.o, taktéž výroba ostatních komponent bude probíhat ve jmenované firmě v následujících měsících. Rám formy byl zvolen z ocelových profilů, u kterých dohromady výška nepřesáhla 700 mm což znamená, že do požadovaného kritérium bylo splněno. Celková výška formy je 191 mm a tudíž v skladovacím systému může být více forem na sobě. Celková hmotnost rámu je 64,98 kg. Upínky jsem zvolil hákové od firmy Zamet. Hlavním kritériem pro výběr upínky byl průměr obepínací kulatiny, která musela mít průměr nejméně 8mm. Tento požadavek byl splněn výběrem upínky 403V. Celková váha upínek je 10,84 kg Konstrukce formy byla zvolena poměrně jednoduchým způsobem s co nejmenší hmotností. Proto bylo zvoleno tenčí stěny formy a zesílení pomocí sendvičového materiálu. Hmotnost formy je 15,83 kg. Celková váha spodní i horní formy s upínkami a rámem je tedy 91,65 kg což je 61,1 kg na metr čtvereční a splnil jsem tedy váhovou podmínku. Ovšem v praxi se běžně používají formy dvakrát až třikrát silnější což by mělo za následek další hmotnost. Mnou zvolená technologie a použití materiálu je určeno pouze pro série do několika set kusů. Při vyšší sériovosti bych použil jiný typ výroby. U menšího dílu by šlo použít některé z výše uvedených technologií. Z důvodů nevyužití temperačního a vyhazovacího systému jsem taktéž mohl snížit hmotnost formy. Pokud by bylo použito temperačního systému náklady a hmotnost formy by se několikanásobně zvýšily. Vyhazovací systém nebyl použit. Tvar není složitý a plocha výrobku je taktéž malá, proto použití vyhazovacího systému není ekonomicky ani konstrukčně vhodné. Vozík byl navržen co nejvíc univerzálně. Použití je však omezeno rozměrovou podobností dílce tomu mému. Vozík má dostatečně husté žebrování proto by na něj měli jít přišroubovat téměř všechny dílce podlouhlého tvaru. Vozík také musí disponovat kolečky dimenzovanými i pro případné použití s formou, která bude plněna polymerbetonem, nebo v ní může být zavedena temperační soustava. Dále kolečka musí být zajistitelné, aby se nezabrzdný vozík nerozjel a nezranil obsluhu, proto je nutné, aby vozík měl alespoň dvě brzdové kolečka. Ekonomická návratnost formy je při sérii alespoň padesáti kusů. Zavádění RTM je výhodné především díky své ekonomičnosti u většího počtu výrobků, ale také díky kvalitě výrobků. U kvality výrobků je důležité to, že všechny výrobky mají stejnou sílu a také to že jsou obě strany pohledové a mají vynikající povrch. RTM technologie je uzavřená, to znamená že na pracovišti jsou minimální emise styrenu a pracovníci nejsou vystavováni jejich následkům. Veškeré požadované cíle bakalářské práce byli splněny.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] JANČÁŘ, Josef. *Úvod do materiálového inženýrství kompozitu*, VUT Brno, 1999. ISBN 80-214-2443-5
- [2] PTÁČEK, a kol. *Náuka o materiálu II*. CERM, s.r.o. Brno, 2002. ISBN 80-7204-130-4.
- [3] KOŘÍNEK, Zdenek. *Kompozity* [online]. [cit. 2012-01-21]. dostupné na: www.volny.cz/korinek
- [4] EHRENSTEIN, G. W. *Polymerní kompozitní materiály*. Scientia Praha, 2009. ISBN 978-80-86960-29-6
- [6] BAREŠ, R. A. *Kompozitní materiály*. SNTL Praha, 1988, ISBN 04-734-88, 325 s.
- [7] *Technologie jejich popis a schémata*. [online]. [cit. 2005-12-30]. dostupné na: <http://www.havel-composites.com/clanky/4-Technologie/76-Technologie-jejich-popis-a-schemata.html>
- [8] ROSSEL, S.M. *Fluid flow modeling of resin transfer molding for composite material wind turbine blade structures*. Montana State University Montana, 2004. SAND 2004-0076
- [9] MOURITZ, A.P. *3D fibre reinforced polymer composites*. Elsevier Netherland, 1992. ISBN 0-08-043938-1
- [10] *Transfer: časopis Výzkumu a vývoje pro letecký průmysl*. [online] Výzkumný a zkušební letecký ústav a.s. Praha, 2007- [cit. 2012-08-23], dostupné na: <http://www.vzlu.cz/cz/publikace/casopis-transfer/editorial-casopis-transfer>
- [11] *Mould construction*. [online]. [cit. 2012-08-23]. dostupné na: <http://www.wolfangel.com/>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

RTM	Resin transfer molding
LRTM	Light Resin Transfer Molding
VARTM	Vacuum Assisted Resin Transfer Molding
SQRTM	Some Qualified Resin Transfer Molding
HSRTM	Hight Speed Resin Transfer Molding
RRIM	Reinforced Reaction Injection Molding
RIM	Reaction Injection Molding
SRIM	Structural Reaction Injection Molding
SMC	Sheet Molding Compound
BMC	Bulk Molding Compound
DMC	Dough Molding Compound
TMC	Thick TMC composites
SCRIMP	Seemann Composites Resin Infusion Molding Process
VIP	Vacuum Infusion Process
LPMC	Light Polymer Matrix Composite
OOA	Out Of Autoclave Process
AFP	Automated Fiber Placement
MDF	Medium Destiny Fibreboard

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1. Schéma RTM soustavy.....	15
Obrázek 2. Schéma LRTM soustavy.	16
Obrázek 3. Schéma VARTM soustavy.....	17
Obrázek 4. Schéma SQRTM soustavy.	18
Obrázek 5. Schéma výroby HSRTM výrobku.....	19
Obrázek 6. Druhy vazeb	24
Obrázek 7. Preform.....	27
Obrázek 8. Schéma uložení sendvičové struktury	27
Obrázek 9. Hliníková forma	29
Obrázek 10. Uspořádání vtoku a odvzdušňovacích otvorů	30
Obrázek 11. Oblast pro zatečení pryskyřice	31
Obrázek 12. Zatékání pryskyřice	32
Obrázek 13. Sestava kompletu formy	35
Obrázek 14. Řez dutinou formy.....	37
Obrázek 15. Model výrobku	37
Obrázek 16. Nanesení gelcoatu	38
Obrázek 17. Nanášení skelných vláken	39
Obrázek 18. Umístění voštiny	40
Obrázek 19. Rám formy.....	41
Obrázek 20. Stojan.....	43
Obrázek 21. Dutina formy	44
Obrázek 22. Konečný výrobek	46
Obrázek 23. Obrázek žebrování.....	47

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1. Vlastnosti pryskyřic.	20
Tabulka 2. Přehled polymerů pro matrice kompozitů.	21
Tabulka 3. Přehled různých variant vláken.	23
Tabulka 4. Přehled vybraných vlastností skleněných vláken.	25
Tabulka 5. Přehled vlastností uhlíkových vláken	26
Tabulka 6. Přehled materiálu pro výrobu modelu [10].....	28

