

Technologické řešení prototypu karbonového ko- šíku na jízdní kolo

Karel Maršovský

Bakalářská práce
2014



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

akademický rok: 2013/2014

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Karel Maršovský**
Osobní číslo: **T13089**
Studijní program: **B3909 Procesní inženýrství**
Studijní obor: **Technologická zařízení**
Forma studia: **prezenční**

Téma práce: **Technologické řešení prototypu karbonového košíku na jízdní kolo**

Zásady pro vypracování:

I. Teoretická část

1. Zpracování přehledu o problematice využití kompozitních materiálů v cyklistice .
2. Popis, definice a rozdělení kompozitních materiálů s ohledem na jejich uplatnění ve sportovním průmyslu.
3. Přehled zpracovatelských technologií kompozitních materiálů s polymerními matricemi

II. Experimentální část

1. Návrh konstrukčního řešení zadané aplikace – košík na sportovní lahve.
2. Volba vhodného materiálu na výrobu s ohledem na navrženou zpracovatelskou technologii
3. Experimentální výroba prototypů košíků, nastavení a zdokumentování zpracovatelských podmínek.
4. Experimentální testování dle navržených norem.
5. Shrnutí zadané problematiky a formulace závěru.

Rozsah bakalářské práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

[1] Ehrenstein, G. W.: Polymerní kompozitní materiály. Scientia Praha, 2009.

[2] Bareš, R. A.: Kompozitní materiály. SNTL Praha, 1988.

[3] Ptáček, L.: Nauka o materiálu II. CERM, s.r.o., Brno, 2002.

[4] GERDEEN, James C a Ronald A RORRER. Engineering design with polymers and composites. 2nd ed. Boca Raton, FL: CRC Press, c2012, xvii, 402 s. ISBN 978-1-4398-6052-6.

[6] Chung, Deborah, D. L.: Composite materials, functional materials for modern technologies.

London, Springer, 2003. 289 s., ISBN 185233665X

[7] Jančář, J.: Úvod do materiálového inženýrství polymerních kompozitů. Brno, 2003

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

Ústav výrobního inženýrství

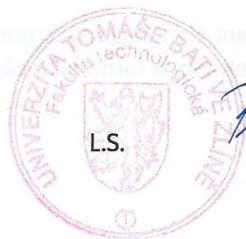
Datum zadání bakalářské práce: **10. února 2014**

Termín odevzdání bakalářské práce: **23. května 2014**

Ve Zlíně dne 10. února 2014

doc. Ing. Roman Čermák, Ph.D.

děkan



prof. Ing. Berenika Hausnerová, Ph.D.

ředitel ústavu

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby ¹⁾;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen na příslušném ústavu Fakulty technologické UTB ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3 ²⁾;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ odst. 2 a 3 mohu užít své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, 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 23.5.2014

.....

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

(1) Vysoká škola 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). 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 výtěžku 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 výtěžku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá kompozitními materiály, jejich základním rozdělením podle jejich vlastností, technologií zpracování a jejich aplikací ve sportovním průmyslu, a to především v cyklistice. Praktická část dokumentuje výběr vhodného typu kompozitního materiálu, návrh, výrobu kopyta a praktickou výrobu samotného výrobku.

Klíčová slova: kompozit, návrh, košík, uhlíkové vlákno, pryskyřice, laminát

ABSTRACT

This bachelor thesis deals with composite materials, their basic division according to their properties, processing technologies and their use in sport industry, especially in cycling. The practical part illustrates a selection of an appropriate type of the composite material, a design, a manufacture of form and a practical production of the product itself.

Keywords: composite, design, cage, carbon fibre, resin, laminate

Touto cestou bych chtěl poděkovat paní doc. Ing. Soňe Rusnákové, Ph.D. za obětavou pomoc, náměty a rady při vypracování a vedení mé bakalářské práce a panu Ing. Zdeňku Čermákovi za pomoc a odborné rady při dokončení praktické části mé bakalářské práce.

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

OBSAH

I	TEORETICKÁ ČÁST	11
1	KOMPOZITNÍ MATERIÁLY	12
1.1	MATRICE	13
1.2	POLYMERNÍ MATRICE	14
1.2.1	Termoplasty	14
1.2.2	Termosety (reaktoplasty)	15
1.3	VYZTUŽUJÍCÍ VLÁKNA	16
1.3.1	Přírodní vlákna	18
1.3.2	Skleněná vlákna	19
1.3.3	Aramidová vlákna	19
1.3.4	Uhlíková vlákna	20
1.3.5	Whiskery	21
1.3.6	Vlákna z keramických materiálů	21
2	.VYUŽITÍ KOMPOZITNÍCH MATERIÁLŮ VE SPORTOVNÍM PRŮMYSLU	23
2.1.1	Dřevo	23
2.1.2	Ocel	24
2.1.3	Slitiny Titanu	25
2.1.4	Slitiny hliníku	26
2.1.5	Hořčík	27
2.1.6	Karbon	27
3	.TECHNOLOGIE POUŽÍVANÉ PŘI VÝROBĚ KARBONOVÝCH RÁMŮ	29
4	ZPRACOVATELSKÉ TECHNOLOGIE MATERIÁLŮ S POLYMERNÍMI MATICEMI	31
4.1	Ruční kladení	31
4.2	Ruční kladení prepregů, vytvrzování v autoklávu	31
4.3	Způsoby přípravy termoplastických prepregů	32
4.4	Strojní kladení termoplastických prepregů	33
4.5	ATP (“Automated Tape Laying”), strojní kladení prepregů, vytvrzování v autoklávu	33
4.6	Stříkání	34
4.7	Rotační odlévání	34
4.8	Výroba trubek malého průměru (“Tube Rolling”)	34
4.9	Navíjení šroubovicové za mokra	34

II	PRAKTICKÁ ČÁST	40
5	VÝROBA CYKLISTICKÉHO KOŠÍKU	41
5.1	POSTUP VÝROBY.....	41
5.2	NÁVRH TVARU KOŠÍKU VE 2D, 3D	41
5.3	VÝBĚR MATERIÁLU A ZPRACOVATELSKÉ TECHNOLOGIE.....	43
5.6	VÝROBA KOPYTA	44
5.7	EXPERIMENTÁLNÍ VÝROBA PROTOTYPU KOŠÍKU	47
	Postup experimentální výroby:	47
5.8	Experimentální testování dle navržených norem.....	51
	ZÁVĚR	52
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	53
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	54
	SEZNAM OBRÁZKŮ	55
	SEZNAM TABULEK.....	57
	SEZNAM PŘÍLOH.....	58

ÚVOD

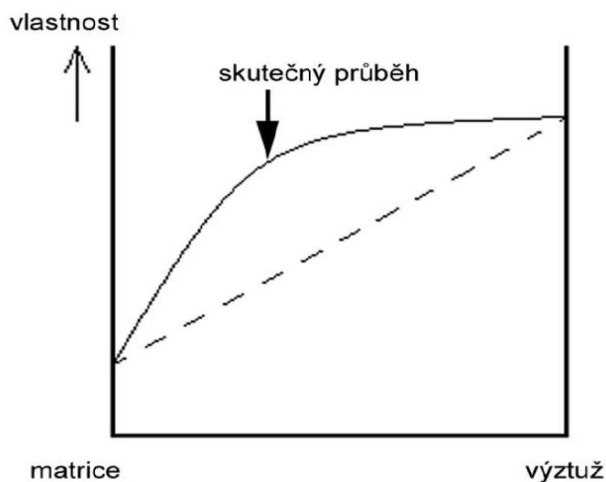
Historie cyklistiky, tak jak ji známe dnes, se začala psát kolem 90-let 19.století. V této době vznikaly první prototypy nízkých kol vybavených převody. Při vhodné volbě převodů mohla tato „nízká“ kola dosáhnout stejné rychlosti jako v té době preferovaná „vysoká kola“. Bohužel i přes tuto výhodu byla jízda na kole členitou krajinou bez možnosti volby převodů za jízdy značně namáhavá. Ke slovu se dostaly různé varianty měničů převodů, které změnou převodového poměru pomohly s jízdou do kopců, tak i s rychlou jízdou na rovině. Tak, jak se kolo zlepšovalo, rostl i počet uživatelů a začaly se pořádat první závody. Vysoká zátěž při závodech znamenala velkou ztrátu tekutin, které bylo potřeba doplnit a to i v průběhu závodu. Jezdci začali vozit láhve na vodu s sebou, což vedlo k nutnosti tyto láhve na kolo připevnit. První košíky vozili upevněné na řídítkách a až po čase se jeho umístění přesunulo do rámu. Tam také díky výhodnému umístění pro většinu cyklistických disciplín vydržel dodnes. Košíky se v dnešní době vyrábí ze široké škály materiálů a to z hliníku, plastů, slitin železa, titanu a kompozitů. Kompozity díky svým vlastnostem nahrazují v dnešní době konvenční materiály ve všech odvětvích, nejvíce však v leteckém, automobilním a sportovním průmyslu.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 KOMPOZITNÍ MATERIÁLY

Jako kompozitní materiál rozumíme heterogenní (různorodé) materiály tvořené dvěma, nebo více fázemi, obvykle rozdílných fyzikálních a mechanických vlastností, které mají rozdílné chemické složení. Tyto fáze dávají dohromady výslednému výrobku zcela nové vlastnosti, které se samostatně u jednotlivých fází nevyskytují. Jedna z těchto fází tvoří matici kompozitu, která spojuje nespojitou výztuž, má nižší pevnostní vlastnosti, a také větší houževnatost a plasticitu oproti zpevňující fázi.

Zpevňující fáze je většinou nespojitá, tvořená částicemi nebo vlákny různého druhu a tvaru, má vysokou pevnost a modul pružnosti. Při vhodné volbě materiálů matrice a vyztužující fáze a jejich vhodném objemovém poměru, můžeme získat u kompozitů neobvyklou kombinaci pevnosti, tuhosti, hustoty, odolnosti proti korozi u běžných materiálů nedosažitelnou. Navíc je pro kompozitní materiály charakteristický tzv. synergismus, což znamená že vlastnosti výsledného kompozitu neodpovídají pouze sečtení jednotlivých složek, ale naopak je překonávají. Pro získání těchto výhodných vlastností u kompozitů je ale potřeba dodržet dobrou vzájemnou soudržnost matrice a zpevňující fáze na jejich fázovém rozhraní. [2]



Obr. 1.1. Synergické chování složek kompozitu [1]

1.1 Matrice

Matrice slouží ke spojení nespojitě výztuže kompozitu. Je většinou houževnatější a měkčí než výztužná vlákna, která spojuje. Matrice ochraňuje vlákna před mechanickým poškozením a vlivy okolí, přenáší na ně namáhání, přenáší namáhání mezi vlákny a zajišťuje tvarovou stálost výrobku. Důležitá je i volba vhodné viskozity matrice, pro dokonalé smočení vláken bez bublin, které slouží jako koncentrátoři napětí. Pro kvalitu kompozitu je důležitá adheze mezi fázovým rozhraním matrice a zpevňující výztuží. Při porušení adheze na fázovém rozhraní se rapidně zhoršují výsledné mechanické vlastnosti celku. Matrici je potřeba pro aplikaci mezi vlákna výztuhy zkapalnit pomocí rozpouštědla, a po prosycení je potřeba ji vytvrdit. Teplota a rychlost vytvrzování závisí na použité pryskyřici a druhu tvrdidla. Podle požadavků je možné použít buď urychlovače pro zkrácení doby vytvrzování, nebo naopak inhibitor, který nám umožní pracovat se směsí déle. S těmito pojmy také souvisí doba gelace, která je pro zpracování jedna z nejdůležitějších veličin. Říká nám, jak dlouho lze s pryskyřicí pracovat, než ztratí schopnost prosycovat vlákna rohože a ztuhne. Matrice, které se běžně používají v kompozitních materiálech dělíme na keramické (včetně uhlíkových a skleněných), polymerní a kovové. Keramické matrice používané v kompozitech se vyznačují svou velkou tvrdostí, lehkostí, ale bohužel jsou křehké. U kovových matic se používají většinou lehké slitiny hliníku, hořčíku a titanu. Nejčastěji používané jsou polymerní pojiva, které mají nízkou hustotu, ale naopak velmi špatnou tepelnou stabilitu. [1]

Podle druhu matrice dělíme kompozity na:

- Kompozitní materiály s uhlíkovou maticí
- Kompozity s polymerní maticí (Plastic Matrix Composites – PMC)
- Kompozitní materiály s kovovou maticí (Metal Matrix Composites – MMC)
- Kompozitní materiály s keramickou maticí (Ceramic Matrix Composites – CMC)
- Kompozitní materiály se skleněnou maticí
- Kompozitní materiály se sklokeramickou maticí
- Kompozitní materiály s uhlíkovou maticí

matrice	hustota (g/cm ³)	modul pružnosti v tahu (GPa)	pevnost v tahu (MPa)	deformace do lomu (%)
termosety	1.10-1.67	1.3-6.0	20-180	1-30
epoxy	1.1-1.4	2.1-6.0	35-90	1-10
polyestery	1.1-1.5	1.3-4.5	45-85	1-5
fenolické pr.	1.3	4.4	50-60	1-3
polyimidy	1.2-1.9	3.0-3.1	80-190	2-40
termoplasty	0.90-1.45	1.0-4.0	20-250	5-150
PP	0.90	1.1-1.5	28-41	10-700
PA	1.42	2.8-3.4	76-83	60-300
PC	1.21	2.1-2.8	62-76	110-130
PEEK	1.31	3.8	70	50-150

Tab. 1.1. Vlastnosti nejčastěji používaných matic [1]

1.2 Polymerní matrice

Polymerní matrice v kompozitu plní funkci pojiva, které chrání křehká vlákna. U kompozitních materiálů je výhodou, že existuje nepřeberné množství polymerních matic, nabízejících různé vlastnosti, které poskytují širokou škálu využití pro technické aplikace. Polymerní matrice jsou zpravidla více poddajná než vlákna a jejich pevnost v tahu je několika násobně menší než pevnost používaných vláken. Pro výrobu kompozitů se spojitými vlákny se nejčastěji používají polymerní matrice reaktoplastické (termoset) nebo termoplastické. [4], [3]

1.2.1 Termoplasty

Termoplasty mezi které například patří polystyren (PS), polyetylén (PE), polypropylen (PP), polykarbonát (PC), polyetylén tereftalát (PET) a další, jsou při normálních podmínkách tuhé látky, které zvýšením teploty měknou a tečou. Po ochlazení opět přejdou do pevného skupenství. Mohou se dodatečně svařovat nebo tvarovat. Charakteristickým strukturálním znakem termoplastů jsou velmi dlouhé molekuly (makromolekuly) vytvořené opakováním stejných strukturálních jednotek (několik tisíc až několik milionů). Proto také bývá tento typ makromolekul označován jako polymer. Jednotlivé makromolekuly nejsou vzá-

jemně vázány chemickými vazbami. Díky vlastnostem termoplastické matrice je matrice chemicky odolná, má dobrou houževnatost a není hydrofilní. [3]

1.2.2 Termosety (reaktoplasty)

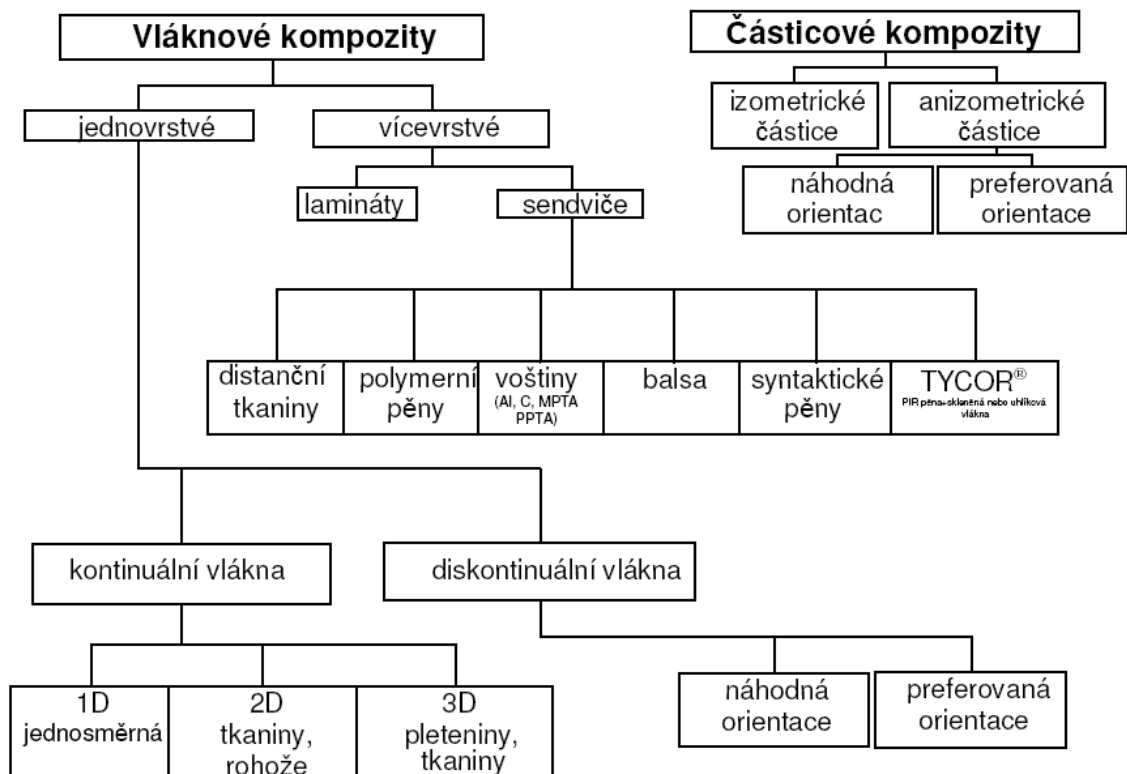
Termosety jakými jsou například epoxidy, nenasycené polyestery, nebo také fenol formaldehyd, se většinou uchovávají ve formě viskózních tekutin s konzistencí podobnou řídkému medu. Po dodání katalyzátoru a iniciátoru započne chemická reakce, která vytvrdí malé molekuly v termosetu. Toto vytvrzení probíhá buď za pokojové teploty nebo za zvýšených teplot. Vlastnosti termosetu lze ovlivnit průběhem vytvrzovací reakce (v tzv. době gelace). Jelikož při vytvrzování dochází ke vzniku chemických vazeb mezi jednotlivými malými molekulami, vzniká místo dlouhých lineárních molekul, které jsou charakteristické pro termoplasty, třídimenziální polymerní síť. V ideálním případě je celý makroskopický výrobek jedinou makromolekulou, takže zůstává v tuhé fázi i po zahřátí. Díky tomu je vytvrzený termoset odolný vysokým teplotám a creepu. Tento fakt způsobuje, že vytvrzený termoset zůstává, což zvyšuje jeho odolnost proti creepu a vysokým teplotám, i když to na druhé straně zvyšuje i jeho křehkost a omezuje recyklovatelnost. Kompozity s termosetovými maticemi mají mezi konstrukčními aplikacemi vláknových kompozitů naprostou převahu.

Poslední trendy vedou při snaze o lepší recyklovatelnost k nahrazování reaktoplastů termoplasty. Uplatnění většinou nalézají levné typy termoplastů jako polypropyleny nebo polyamidy, u kterých se nejčastěji využívá výztuže ze skleněných vláken. [1], [3]

1.3 Vyztužující vlákna

Úkolem výztuže v kompozitních materiálech je hlavně zajištění požadovaných mechanických vlastností materiálu, jako je tuhost a pevnost. Běžně používanými vlákny jsou přírodní vlákna, skleněná vlákna, aramidová a uhlíková vlákna. Velkým skokem pro vláknové výztuže bylo uvedení prvních komerčních uhlíkových vláken s modulem pružnosti až 600GPa v 60. a 70. letech. Na konci 70.let se navíc začala objevovat i další vlákna s vysokým modulem pružnosti v tahu (kolem 120-190Gpa), která ale už nebyla křehká. Mezi nově zavedená vlákna patřily aramidové vlákna komerčně nazývané KEVLAR a vlákna z UHMW PE s označením DYNNEMA. Obecně lze říct, že například uhlíková vlákna dávají kompozitu vysokou tuhost a elektrickou vodivost. Naopak kevlarová vlákna umožňují, aby profil z kompozitu odolal rázům. [1]

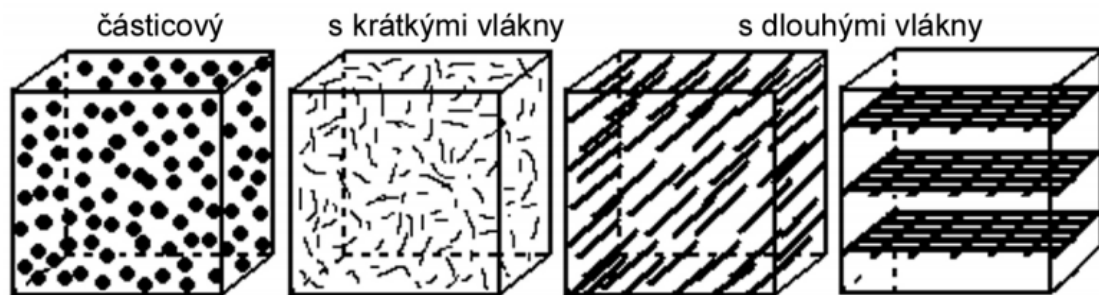
Podle typu výztuže lze rozdělit kompozity na:



Obr. 1.2. Dělení kompozitů dle typu výztuže [1]

Podle velikosti částic výztuže dělíme kompozitní materiály na:

- nanokompozity
- mikrokompozity
- makrokompozity

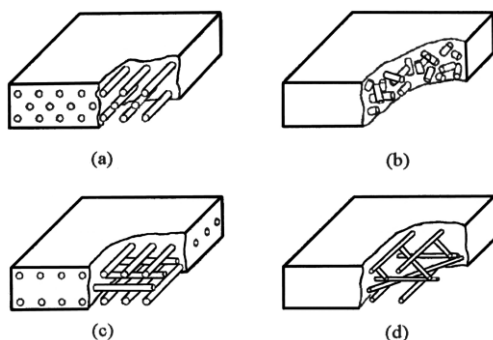


Obr. 1.3. Rozdělení kompozitních materiálů podle typů výztuže [2]

Částicové kompozity mají jednotlivé rozměry útvarů ve stejných řádech, které nepřesahují ostatní rozměry. Tyto vyztužující částice mohou mít například tyčinkovitý, kulovitý, deskovitý nebo nepravidelný tvar.

Vláknové kompozity mají v jednom směru výrazně rozměrnější útvary výztuže – vlákna. Podle jejich délky je dělíme na kompozity s krátkými vlákny a kompozity s dlouhými vlákny. U kompozitů s krátkými vlákny je velikost vláken výrazně menší proti výsledné velikosti výrobku, naopak u kompozitů s dlouhými vlákny je délka vyztužujících vláken plně srovnatelná s velikostí výrobku.

Uspořádání vláken má mnoho variant podle požadované aplikace..



Obr. 1.4. Uspořádání vláken v kompozitech [2]

Uspořádání vláken v kompozitech:

- a) spojitá jednosměrně orientovaná vlákna
- b) nespojitá náhodně orientovaná vlákna
- c) spojitá ortogonálně orientovaná vlákna
- d) spojitá několikavrstevně uspořádaná

vlákno	hustota (g/cm^3)	modul pružnosti v tahu (GPa)	pevnost v tahu (MPa)	deformace do lomu (%)
<u>anorganická:</u>				
azbest	2.56	160	3100	1.9
sklo	2.54	70-85	2200-3500	2.5
borová vl.	2.65	420	3500	0.8
SiC	2.60	250	2200	0.9
uhlík	1.86	300-800	2700	0.7
$\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$	3.2-3.9	300-414	1800-2000	0.3-0.8
<u>organická:</u>				
Kevlar 49	1.45	130	2900	2.5
Kevlar 29	1.45	60	2700	5.0
Kevlar 129	1.44	120	3000	3.0
Kevlar 149	1.45	190	2600	2.5
PE Spectra	0.97	172	3000	1.7
PBT	1.50	250	2400	1.5
Len	1.30	180	2600	3.1

Tab. 1.2. Vybrané vlastnosti některých vyztužujících vláken [2]

1.3.1 Přírodní vlákna

Základem přírodních vláken je celulóza, která je nejrozšířenějším biopolymerem na zemi. Přírodní vlákna jsou například len, bavlna, konopí, juta, sisal a v neposlední řadě vlákna z kokosu. Výhodou přírodních vláken je přirozená degradace, odolnost proti stárnutí, nízká měrná hmotnost a jejich pevnost v tahu. Nevýhodou je naopak omezená odolnost proti vyšším teplotám, jejich omezená délka a citlivost vůči vlhkosti. Jako příklad získávání přírodních vláken lze uvést přípravu celulózových nanovláken rozvlákněním dřeva. [10]

1.3.2 Skleněná vlákna

Skleněná vlákna se začala vyrábět koncem 19. století. Sklo má poměrně velkou pevnost v tahu a nízký modul pružnosti, také je odolné vůči ohni a chemikáliím. Pevnost se u skleněných vlákních snižuje působící vlhkostí, proti které je potřeba skleněná vlákna chránit. Slabou stránkou je také nízká odolnost proti trvalému namáhání a malá pevnost v oděru. Pro výrobu skleněných vláken se využívá nejčastěji výroba metodou sol/gel, při které se těkáním z disperze tvoří gel, který je tak viskózní, že se chová jako pevná látka. Tento gel je potřeba postupně zvláknit a vzniklé vlákna spojit do jednoho svazku a navinout. Tyto svazky mohou mít v průměru něco mezi 125 – 2000 vlákní. Průměrná hmotnost skleněných vláken je kolem 2500 kg/m^3 , bod tání přes 1000°C a dlouhodobě mohou snést teploty až 450°C . [1], [3]

Sklo	E	S	D	C	L
Hustota [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$]	2540	2490	2160	2490	4300
Pevnost v tahu [GPa]	3,5	4,65	2,45	2,8	1,68
Modul pružnosti v tahu [GPa]	73,5	86,8	52,5	70,0	51,1
Poměrné prodloužení do meze pevnosti [%]	4,8	5,4	4,7		
Dielektrická konstanta, 20°C , 10^6 Hz	5,8	4,53	3,56	6,24	9,49

Tab. 1.3. Vlastnosti jednotlivých druhů skel [3]

1.3.3 Aramidová vlákna

Aramidová vlákna patří mezi polymerní vlákna, která vynikají velice příznivou objemovou hmotností a měrnou pevností. Jejich nevýhodou je citlivost vůči působení vody a velká citlivost na ultrafialové záření. (AF – Aramid fiber) jsou vlákna z lineárních makromolekul v jejichž řetězcích se opakují funkční amidové skupiny (karbonylová skupina). Aramid je zkratka aromatického polyamidu, který vzniká napojením aromatických struktur na polyamidový řetězec, kdy musí být nejméně 85% aramidových skupin spojeno se dvěma aromatickými kruhy. Velkou výhodou aramidu je jeho vysoká tepelná odolnost. Jeho bod tání je

přes 400°C. Dalším stupněm vývoje byly para-aramidy vyráběné od 70. let minulého století např. pod značkou Kevlar. Tato vlákna dosahují mimořádně vysokou pevnost v tahu při nízké specifické hmotnosti. [9]

Uplatnění ve sportu podle typu kevlaru:

- **Kevlar XP** jedná se o nejnověji vyvinutý typ kevlaru který se používá převážně při sportovní střelbě na výrobu ochranných vest
- **Kevlar 49** díky jeho nejvyšší pevnosti v tahu ze všech typů kevlarů má široké uplatnění u tenisových raket, rámu kol, rybářských prutů a letadel
- **Kevlar 100** převážně se používá na výrobu lan



Obr. 1.5. Rám wilier triestina s 5% obsahem Kevlaru-49 [2]

1.3.4 Uhlíková vlákna

Uhlíková vlákna spojují vysokou pevnost, modul pružnosti a tepelnou odolnost, s nízkou měrnou hmotností. Jako uhlíkové vlákno se označuje dlouhý, tenký pramen o průměru 5–8 μm složený převážně z atomů uhlíku, které jsou spojeny v mikroskopické krystaly s převážnou orientací paralelně k dlouhé ose vlákna. Uhlíková vlákna se vyrábějí řízenou pyrolýzou z prekurzorů (surovina používaná k výrobě uhlíkových vláken). Většina je vyrobena z polyakrylonitrilových vláken (PAN). Podle teploty zpracování lze získat různé typy vláken s odlišnou pevností v tahu. Čím nižší teplota zpracování, tím vyšší pevnost v tahu (až 5650 Mpa). Vlákna která získáme při 900°C až 1500°C jsou pevnější, nazývají

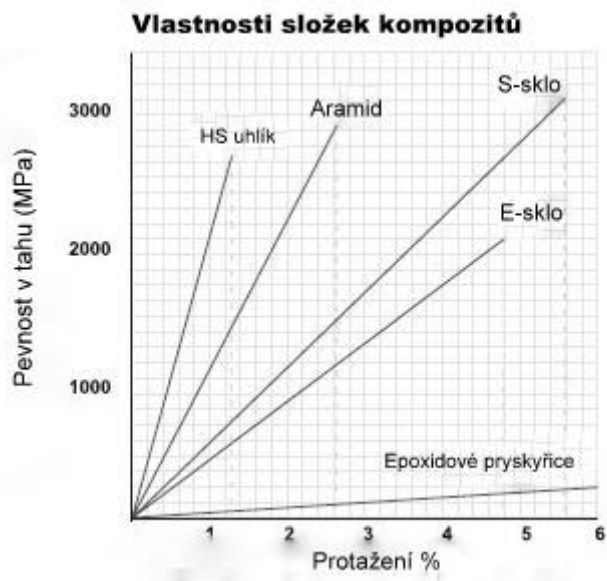
se vysokopevnostní uhlíková vlákna (zkratka HS která pochází z anglického výrazu „*high strength*“). Tato vlákna jsou o dost levnější než vysokomodulová grafitová vlákna, které získáme další karbonizací HS vláken při teplotách kolem 2000°C až 2800°C , která se vyznačují nižší tahovou pevností, ale naopak vynikají vyšším modulem pružnosti v tahu (zkratka HM která pochází z anglického výrazu „*high modulus*“). Hlavními výhodami uhlíkových vláken jsou vynikající tepelné vlastnosti, stabilita, minimální teplotní roztažnost, velká odolnost proti únavě a vysoká tuhost. Cena uhlíkových vláken je minimálně dvojnásobná proti skleněným vláknům a u nejkvalitnějších je rozdíl v ceně až stonásobný. [2], [1]

1.3.5 Whiskery

Whiskery jsou monokrystaly ve tvaru vláken s velmi malým průměrem okolo 1 μm. Mají vysokou pevnost způsobenou minimem mřížkových poruch. Whiskery mohou být kovové, keramické nebo uhlíkové. Z SiC se vyrábějí whiskery vhodné pro vyztužování kovových matic na bázi Al a Ti. Například z Al slitin vyztužených SiC whiskery se vyrábějí písty spalovacích motorů pro závodní stroje.

1.3.6 Vlákna z keramických materiálů

Keramická vlákna mají oproti uhlíkovým nebo polymerním vláknům větší hustotu, ale jejich hlavní výhodou je výborná tepelná a chemická odolnost. Keramická vlákna rozdělujeme na oxidová a neoxidová. Pro výrobu vláken se běžně používají SiC, Al₂O₃, ZrO₂.



Obr. 1.6. Graf vlastností jednotlivých vláken [3]

2 .VYUŽITÍ KOMPOZITNÍCH MATERIÁLŮ VE SPORTOVNÍM PRŮMYSLU

Kompozitní materiály nacházejí uplatnění v celé řadě sportů. Obecně lze říci, že nacházejí uplatnění všude tam, kde je požadována tuhá, lehká a pevná konstrukce. Vyrábějí se z nich rámy jízdních kol, tenisové rakety i golfové hole, které umožňují lepší přenos energie a tím pádem delší odpal. V současnosti jde až 40 procent kompozitů na sportovní účely.

Jednou z prvních forem přírodního kompozitního materiálu používaného ve sportu bylo dřevo, které je velmi snadno dostupné, snadno obrobitelné a levné. Ze dřeva se dříve vyráběly prakticky všechny sportovní potřeby jako lyže, hokejky, první jednoduché odrážedla.

Postupem času bylo zjištěno, že vlastnosti výsledného výrobku lze značně ovlivnit kombinací a následným slepením více druhů dřev. Podobný princip lze vypořádat i u vrstvení a kombinací různých druhů vláken (uhlíkových, aramidových, přírodních).

Současný trend výroby sportovního vybavení se zaměřuje na další redukci hmotnosti a optimalizaci vlastností výsledného sportovního náčiní.

Vývoj použitých materiálů přiblížím na cyklistice, které se dlouhodobě aktivně věnuji.

Cyklistika, velmi podobná té, kterou známe dnes, začala roku 1813, kdy německý baron Karl Fridrich Dreis sestrojil svůj první samohyb nazývaný Draisina, který si nechal roku 1818 patentovat. Jednalo se o odrážedlo s rámem ze dřeva, na kterém se přímo sedělo. Kola tvořily dřevěné loukotě, obité železem. Díky tomu dostal vehikl přezdívku kostitřas. Už při uvedení tohoto odrážedla byla vidět důležitost použitých materiálů na jízdní komfort, odolnost, tuhost, váhu a spolehlivost. [10], [3]

2.1 Porovnání materiálů používaných v cyklistice a sportovním průmyslu

2.1.1 Dřevo

Tento dostupný přírodní materiál má při jeho vhodné volbě příznivé mechanické vlastnosti měnící se v závislosti na směru namáhání – anizotropie. Díky této vlastnosti má dřevo mnoho společné s uhlíkovými kompozity, které budou popsány níže. U dřeva se obtížně určují vlastnosti v daných směrech namáhání, také se z něho obtížně vyrábějí vrstvené duté profily, které jsou potřebné pro použití ve sportu a cyklistice. V dnešní době zažívají značný rozmach rámy z bambusových trubek vlepených do spojek, které už nabízejí při vhod-

ném výběru materiálu potřebné mechanické vlastnosti a stálost. Výhodou dřevěných rámu je dobrá dostupnost velké škály druhů dřevin a jejich snadná dostupnost, naopak nevýhodou je poněkud vyšší hmotnost výsledného rámu a v případě bambusu náročný výběr vstupního polotovaru.



Obr .2.1 Bambusový rám z ČR [2]

2.1.2 Ocel

Ocel byla hned po dřevu prvním materiálem použitým na stavbu rámu. Díky velkému rozvoji hutnictví a s tím spojenou snadnou dostupností trubek různých profilů a jakosti se ocel stala na dlouhou dobu nejvíce používaným materiálem na stavbu rámu. Postupným zvyšováním nároků na mechanické vlastnosti bylo potřeba zvýšit u ocelí jejich obsah uhlíku, čímž ale zase klesla jejich svařitelnost a narostla cena. V dnešní době se ocel používá na jedné straně v nejlevnějším segmentu cyklistického průmyslu a na straně druhé se používají jakostní trubky renomovaných výrobců rámových sad jako jsou Columbus a Reynolds, které díky jakostnímu materiálu a náročné profilaci trubek dosahují výborných mechanických vlastností a špičkové váhy.

Nejvíce se používají slitiny třídy 15, které se legují pro zlepšení vlastností chromem, vanadem a molybdenem. Jednou z nejlepších ocelových rámových sad je sada trubek 953, kterou vyrábí britská firma Reynolds, která díky legování hořčíkem, niklem a titanem má pevnost v tahu až 2 GPa.



Obr .2.2 příklad trubkové sady Columbus Zona [2]

2.1.3 Slitiny Titanu

Díky unikátním mechanickým vlastnostem titanu a jeho vysoké ceně se jedná spíše o okrajové použití, stejně jako u jakostních legovaných ocelových trubkových sad od renomovaných firem. Titan má nejlepší poměr mezi váhou a pevností ze všech známých běžně používaných kovů, dobře odolává okolnímu prostředí. Vysoká cena a obtížná obrobiteľnosť titanu se promítá ve vysoké ceně rámových sad. Titan je za vysokých teplot reaktivní, a proto je potřeba jej ochránit při svařování inertním plynem. Při špatné volbě průměru trubek může mít rám nízkou tuhost, což ale můžeme s výhodou využít u částí rámu, kde je komfort potřebný. Posledním trendem u zpracování profilů z titanu je tzv. hydroforming, který nám titan umožňuje díky vysoké tažnosti. Hydroforming nám umožní vtlačení horkého oleje pod vysokým tlakem tvarovat a měnit tloušťku výsledného profilu podle potřeby. Smutným faktem zůstává, že ještě nedávno jsme byli díky české firmě Morati jedním z nejlepších výrobců titanových kol na světě.



Obr. 2.3 silniční rám morati vyrobený z titanu [2]

2.1.4 Slitiny hliníku

Hliník je v současnosti nejvíce používaným materiálem pro stavbu rámu. Jeho nespornou výhodou je snadná dostupnost, váha a mechanické vlastnosti po legování a jeho tepelné úpravě. Nejčastěji používané hliníkové skupiny jsou 6061, kde jsou legujícími prvky hořčík a křemík a skupina 7005 ve které leguje hořčík, zinek a měď. Části hliníkového rámu lze lehce obrobit a vytvarovat tzv. hydroformingem do požadovaného průřezu a tloušťky. Výrobou čistě hliníkových rámu se v České republice zabývá na špičkové úrovni firma RB.



Obr.2.4 rám RB z leštěného hliníku [2]

2.1.5 Hořčík

V cyklistickém průmyslu se hojně používá jako materiál odlitků noh odpružených vidlic. Magnesium patří mezi nejlehčí konstrukční kovy s dobrou obrobitelností. Bohužel jsou magnesiové slitiny velmi reaktivní s prostředím a je potřeba zvolit odpovídající povrchovou úpravu. Magnesiové slitiny jsou schopné tlumit vibrace oproti hliníkovým, které jsou takzvaně tvrdé.

2.1.6 Karbon

Díky možnosti ovlivnit poměrně jednoduše složení a výsledné vlastnosti podle skutečného zatížení mají kompozitní materiály pro výrobu sportovního vybavení široké uplatnění. Obrovskou výhodou kompozitních materiálů oproti ostatním materiálům je možnost prakticky neomezeného tvarování, pohlcování vibrací, výborného poměru mezi odolností a hmotností, možnosti kombinací vlastností vrstvením. Důležitá je také ochrana vláken před porušením na nejvíce exponovaných místech, na kterých se objevují přídatné vrstvy pružných materiálů proti nárazům, které chrání rám před porušením.

V počátcích použití kompozitních materiálů ve sportovním průmyslu se náčiní vyrábělo značně naddimenzované, často z mnoha dílčích kusů, které bylo pak potřeba slepit dohromady. Tímto jednoduchým provedením ale utrpěly mechanické vlastnosti výrobku a neú-

měrně stoupla hmotnost. Vzhledem k tomu, že ve světě je jen pár obravdu velkých výrobců uhlíkových vláken, není překvapením, že většina výrobců sportovních komponentů z uhlíkových vláken používá vlákna pocházející ze stejného zdroje. Jako příklad lze uvést firmy Toray, Hexcel, Cytac industries, Toho Tenat atd. Aby se firmy alespoň trochu odlišily, zavádí si své vlastní obchodní označení, které má nalákat koncového zákazníka. Například jeden z leaderů v cyklistice firma Giant používá například vlákna Toray s označením T- 600, T- 700, T -800. Pro topmodely série Advanced SL Composite se používá Toray T – 800 naopak pro ekonomické rámy se používá nižší gramáž T-600. [11], [1]



Obr.2.5 Silniční topmodel firmy Giant Propel advanced SL z vláken Toray T-800 [2]

U firmy Pinarello je situace obdobná, jen se upravilo značení pro 4 hlavní používané varianty 50HM1K, 46HM3K, 30HM12K a 30HM3K. První hodnota značí pevnost vlákna v tunách na milimetry čtvereční, označení HM znamená High Modulus a poslední označení např. 12K značí hustotu vláken v jednom svazku povrchové vrstvy.

3. TECHNOLOGIE POUŽÍVANÉ PŘI VÝROBĚ KARBONOVÝCH RÁMŮ

3.1 Lepení a nýtování do spojek

První rámy byly kombinací jednoduchých trubkových profilů vyrobených buď z uhlíkových nebo aramidových vláken. Tyto trubky jednoduchých průřezů byly buď nýtovány nebo vlepeny do duralových spojek. Toto řešení trpělo většinou nedostatečnou kvalitou slepení, nebo naopak náchylností na poškození, díky vyvrtaným dírám na spojovací nýty.



Obr.3.1 Příklad vlepení Kevlarových trubek do spojovacích hliníkových profilů u rámu Vitus 979 [8]

3.2 Tube to Tube (technologie trubky v trubce)

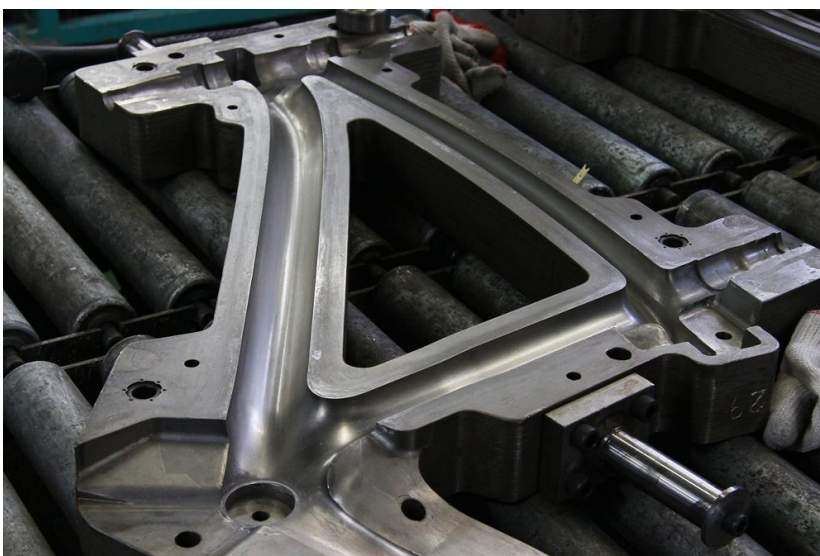
U této metody vytváříme jednotlivé části rámu samostatně v oddělených formách a nakonec se kompletují lepením do jednotného celku. Důležité je u této metody kvalita slepených spojů a následné přeplátování dalšími vrstvami, které rám zpevní a pohledově sjednotí. Díky této technologii lze velmi pružně uskutečňovat změny ve výrobě díky snadné zaměnitelnosti a volitelné tuhosti spojení. Touto metodou vzniká v současnosti většina dodávaných karbonových rámu. Její nevýhodou je hlavně zbytečná tloušťka ve spojích a tím i vyšší hmotnost a možnost delaminace spojů.



Obr.3.2 Příklad řešení přeplátování středového složení od firmy Santa Cruz [8]

3.3 Monocoque (v jednom kusu)

Tento proces se odehrává v uzavřené formě, ve které je umístěný vzduchový vak, který při zaformování přitlačí tkaninu nasycenou pojivem ke stěnám a tím odstraní přebytečné pojivo. Díky tomu, že rám vzniká vcelku, získá výborné mechanické vlastnosti a hmotnost. U této metody lze přesně definovat počet a kvalitu zvolených vláken a dosáhnout tím výborných výsledků a reprodukovatelnosti. Bohužel je tato metoda značně náročná na výrobu, technologii a zkušenosti. Nejmodernější postupy dokonce zvládnou dělat uvnitř průřezů zpevňující žebra a tvořit duté struktury podle odhadovaného provozního namáhání. [9]



Obr.3.3 Forma na monocoque rám [2]

4 ZPRACOVATELSKÉ TECHNOLOGIE MATERIÁLŮ S POLYMERNÍMI MATICEMI

4.1 Ruční kladení

Ruční kladení je proces ve kterém se na výztuž v podobě tkaniny nebo rohože nanáší kapalná pryskyřice. Prosycování výztuže pryskyřicí je prováděno ručně pomocí válečku, štětce nebo stěrky. Dosaženou kvalitu výsledného dílce dosáhneme podle toho, na který povrch jednotlivé komponenty nanášíme. Z tohoto plyne omezení, že jen jedna strana může mít kvalitní povrch. Po položení výztuže a dokonalém provlhčení pryskyřicí následuje vytvrzení. [1]

Obvyklý postup technologie ručního kladení :

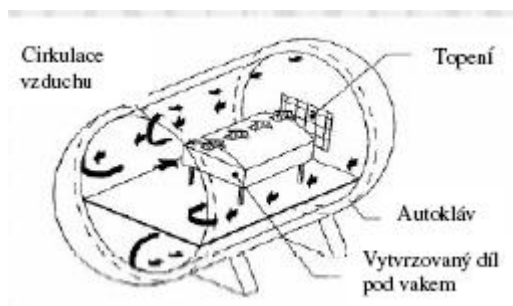
- separace formy separačním činidlem
- gel coat pokud je třeba
- katalyzovaná pryskyřice
- zvolená výztuž
- nanesení další vrstvy pryskyřice válečkem a vytlačení vzduch. bublin
- vytvrzení v klidu
- vyjmutí z formy.

Mezi výhody ručního kladení patří jednoduchá proveditelnost, proveditelnost velkých rozměrů a minimální náklady na nástroje. Nevýhodou je pouze jeden kvalitní povrch a malá produktivita. Často se takto vyrábí lodě, jednoduché kapotáže atd.. [2]

4.2 Ruční kladení prepregů, vytvrzování v autoklávu

Tato metoda se používá pro kusovou výrobu mechanicky namáhaných kompozitových dílů. Do otevřené formy opatřené vrstvou separátoru nebo fólií je vložena odtrhová vrstva tkaniny. Potom pokládáme do formy nařezané a orientované prepregy, které nahříváme horkým vzduchem. Aby se zvětšila lepivost

prepregů, je možno je nahřívat horkým vzduchem, potom položíme na vrchní vrstvu odtrhovou vrstvu a poté vrstvu umožňující průnik přebytečné pryskyřice do odsávací vrstvy, která musí snášet teplotu vytvrzování (děrovaná fólie nebo tkanina). Na ní jsou položeny odsávající vrstvy a nakonec polymerní fólie nebo vak. V tlakové nádobě, tzv. autoklávu, je provedeno vakuování dílu. Po odsátí vzduchu z vaku přitlačuje jednotlivé vrstvy atmosférický tlak. Po ohřátí autoklávu na požadovanou teplotu nastane vytvrzování pryskyřice (120° až 200°C). Vyvozením přetlaku v autoklávu se ještě lépe přitlačí vrstvy prepregů k sobě a je tak zaručen minimální obsah pryskyřice. Doba působení teploty a přetlaku se volí podle rychlosti vytvrzování pryskyřice. Výroba v autoklávu je značně finančně náročná. [10]

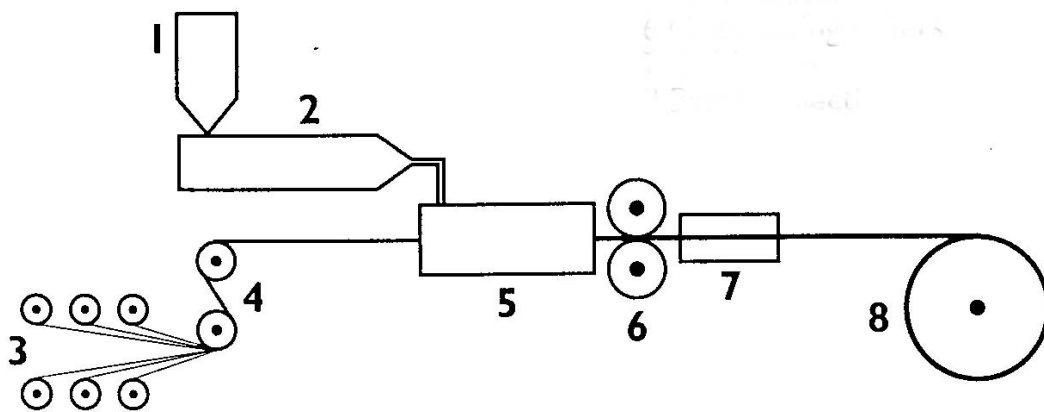


Obr.4.1 Vytvrzování v autoklávu [10]

4.3 Způsoby přípravy termoplastických prepregů

Při přípravě termoplastických prepregů je potřeba vyřešit pevné spojení vyztužujících vláken s termostatem těmito metodami:

- impregnací polotovarů roztokem polymeru
- předimpregnací vláken taveninou již v hubici vytlačovacího stroje
- nanesením kapalné suspenze na výztuž
- impregnace jednotlivých vláken suchým práškem polymeru (elektrostaticky) a jeho následné slinutí

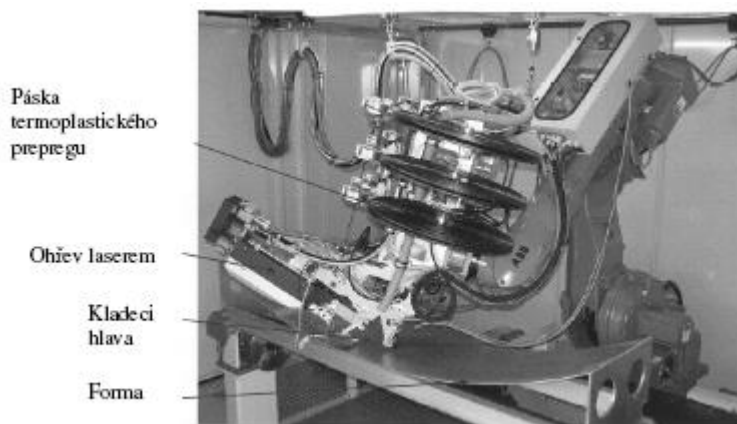


Obr.4.2 Prosyčování rovingů taveninou reaktoplastu [2]

1- zásobník granulí termoplastu, 2-vytlačovací stroj se štěrbinovou hubicí, 3-cívky rovingů, 4-napínací kladky, 5-prosyčování rovingů taveninou termoplastu, 6- válcování prepregu, 7- chlazení prepregu, 8-navíjení prepregu

4.4 Strojní kladení termoplastických prepregů

Termoplastickou maticí je potřeba roztavit, aby došlo k dokonalému spojení jednotlivých vrstev.



Obr.4.3 Strojní kladení termoplastických prepregů [10]

4.5 ATP (“Automated Tape Laying”), strojní kladení prepregů, vytvrzování v autoklávu

Jde o technologii s použitím kladečního robotu. Tento robot sejme separační folii, předejde prepreg a přitiskne ho k předchozí vrstvě. Výhodou toho řešení je přesná orientace vláken a možnost výroby značně tlustých vrstev.

4.6 Stříkání

Směs krátkých vláken a katalyzované pryskyřice se stříká na negativní nebo pozitivní otevřenou formu. Při ručním způsobu je do stříkací pistole zaveden roving, který se v pistoli seká a při rozprašování způsobuje značné odpařování reaktivního rozpouštědla. Díky velkému množství rozpouštědla jsou zdravotní rizika vysoká a je výhodnější nechat aplikaci na automatizaci. [2]

4.7 Rotační odlévání

Do otáčející se ocelové trubky je vpravena kombinace výztuže a katalyzované pryskyřice, která se po vytvrzení smrští a umožní vytažení výrobku. Tímto způsobem vyrábí potrubí firma Hobas, která sídlí v Uherském Hradišti.

4.8 Výroba trubek malého průměru (“Tube Rolling”)

Technologie je založená na navíjení (valení) tkaninového prepregu podobně jako u cigarety. Lze tak vyrobit trubky malých průměrů a kuželovité tvary s vlákny orientovanými k ose trubky pod úhlem 0° , použití je například u rybářských prutů. [2]

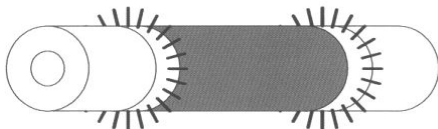
4.9 Navíjení šroubovicové za mokra

Navíjí se rovingy smočené v pryskyřici, které prochází přes trysku regulující množství pryskyřice. Forma zůstává uvnitř navinutého výrobku. Tento způsob se používá hlavně pro výrobu jak rotačních, tak i nerotačních nádob. Přípravek lze upnout do soustruhu a volbou posuvu lze docílit požadované orientace vláken.

Tímto způsobem se vyrábějí golfové hole, rybářské pruty a dokonce i listy rotorů helikoptér. [10]

4.10 Axiální navíjení

K položení vláken v axiálním směru se používá důmyslně uchycený systém radiálních trnů, na který se navíjejí axiálně položená vlákna. Takto se zvyšuje odolnost výrobku při axiálním tlaku. [10]



Obr.4.4 Axiální navíjení [10]

4.11 AFP (“Automated Fiber Placement”), navíjení rovingového prepregu

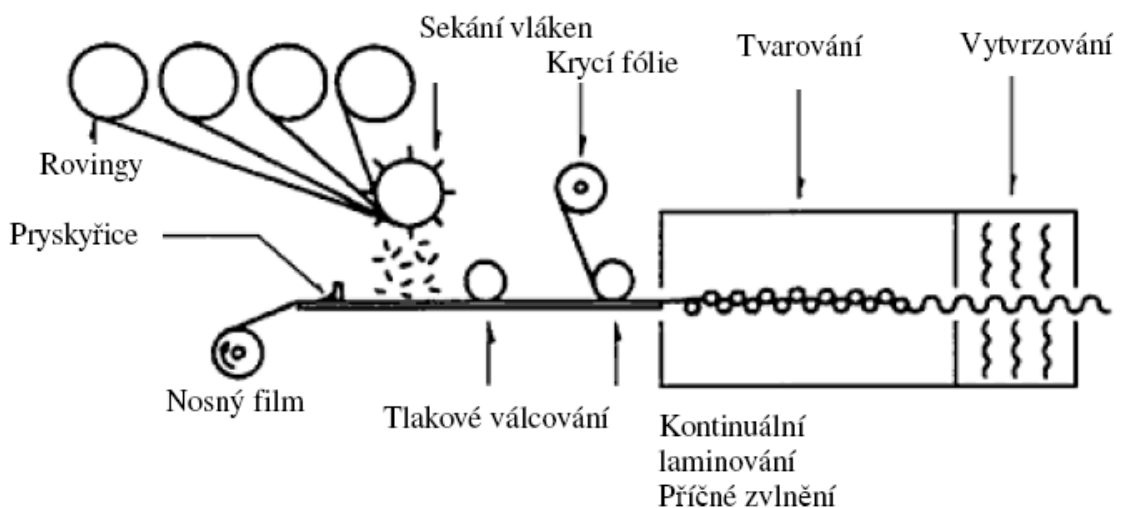
Výhodou této metody proti klasickému navíjení za mokra je možnost vyrobit tvary s konkávními plochami. [10]



Obr.4.5 Navíjení vstupního kanálu vzduchu pro tryskový motor letadla [10]

4.12 Kontinuální laminování

U této technologie se nanáší UP pryskyřice průchodem stěrkou na nosný film, na který dopadají sekané skleněné prameny. Vrchní strana se zakryje folií, projde vyhřívanou komorou a vznikají rovné nebo vlnité pásy sklolaminátu. [4]



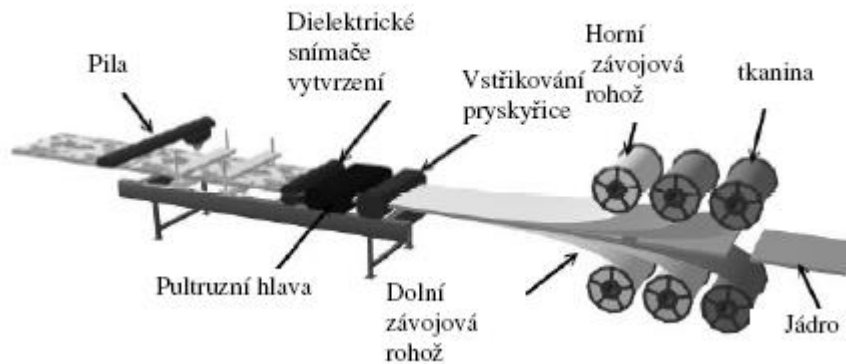
Obr.4.6 Kontinuální laminování [4]

4.13 Pultruze

U pultruze je výztuž kontinuálně impregnována (vstřikováním) pryskyřicí a vtahována do tvarovací a vytvrzovací hlavy. V ohřívané části (mikrovlny, indukce), vytvrzovací hlavy je pryskyřice vytvrzena a výsledný profil je upraven na potřebné rozměry diamantovým kotoučem. Pro zlepšení prosycení pryskyřicí lze použít i ultrazvuk. U výroby profilů z uhlíkových vláken v kombinaci s epoxidovou pryskyřicí je potřeba počkat na dostatečné vytvrzení, než bude profil vytažen a nakrácen.

Vylepšením klasické pultruze je tzv **Pulforming**, který nám umožňuje v kombinaci s BMC technologií tažený profil po průchodu mikrovlnným ohřevem dotvarovat různě zakřivené profily a postupně je vytvrdit.

Naopak výrobu zakřivených 3D modelů nám umožní tzv **Pullwinding**, který využívá k vytvrzení za tvarovací částí UV záření. [10], [3]



Obr.4.7 Pultruzní linka [10]

4.15 Pullwinding” (“In-Line Winder“)

Je to kontinuální technologický proces kombinující ovíjení a pultruzi. Kombinací více směrů získáme lepší podélnou a příčnou pevnost.

Šroubovicově vinutá (proti směru chodu hodinových ručiček) vnitřní vrstva

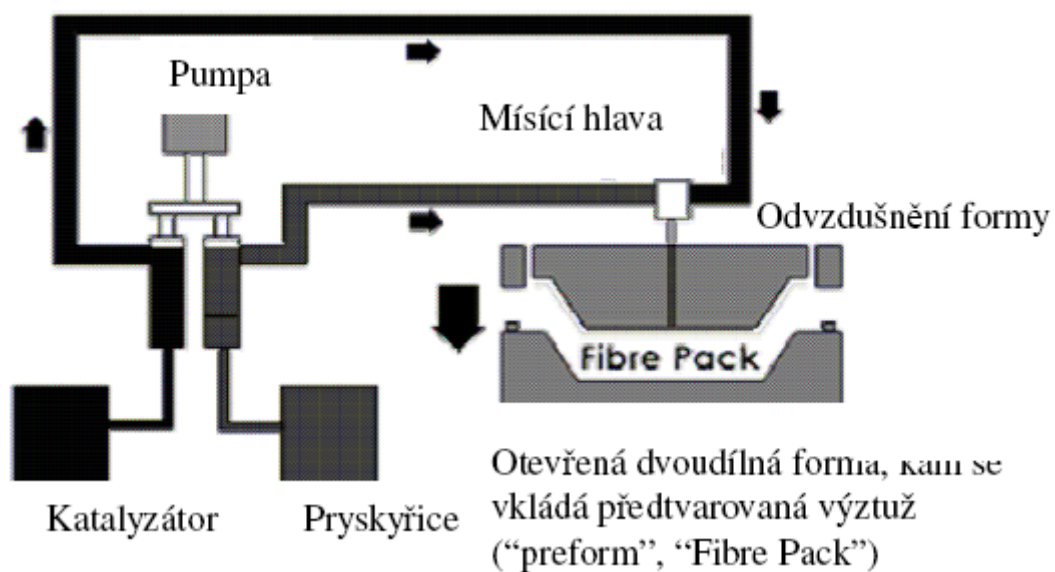


Obr.4.8 Kombinace ovíjení a pultruze tzv. Pullwinding [4]

4.16 RTM (“Resin Transfer Molding”)

U této technologie se používá hliníková nebo ocelová forma, do které se dopraví čerpadlem ohřátá pryskyřice s tvrdidlem, které se před injektáží smísily v hlavě. Jako výztuž se používají tkaniny nebo rohože, které jsou ve formě už předtvarovány (preformed). Díky uzavřené dobře upravené formě jsou rozměry dílů přesné s hladkými plochami.

Jde o technologii s uzavřenou formou, při které se při použití UP a VE pryskyřic do okolního prostoru neuvolňuje reaktivní rozpouštědlo. Ohřátá pryskyřice a ohřáté tvrdidlo se pomocí nízkotlakých čerpadel dopravují do mísící hlavy bezprostředně před injektáží směsi do ocelové nebo hliníkové formy. Výhodou RTM je, že oba povrchy dílu jsou hladké a rozměry dílu jsou přesné. Podíl vyztužujících vláken (a tedy mechanické vlastnosti dílu) je obvykle menší než při kladení jednosměrných prepregů, při navíjení a při pultruzi. Jako výztuž se používají tkaniny nebo rohože. Výztuž je obvykle předtvarována (tzv. “preform”), které metodou konečných prvků simulují tok pryskyřice výztuží. Dalším vývojem vznikla technologie **LP RTM** (“Light” RTM) u které se používá pryskyřice nižších viskozit, která nám umožní použít menších tlaků a tenčích forem. Pro ještě vyšší rychlosti se používá **HS RTM** (“High - speed”)[10]



Obr.4.9 Technologie RTM [10]

4.17 VARTM (“Vacuum Assisted RTM”)

Technologie VARTM je kombinací podtlaku a vstříknutí pryskyřice s malou viskozitou do dvoudílné formy, ve které je předtvarovaná výztuž. Často se používá kombinace jednodílné formy a folie (vaku, filmu atd.) VARTM bývá také často používán i pro infuzní technologie, kdy k toku pryskyřice dochází díky podtlaku (SCRIMP, VIP, FASTRAC a VARIM). [10]

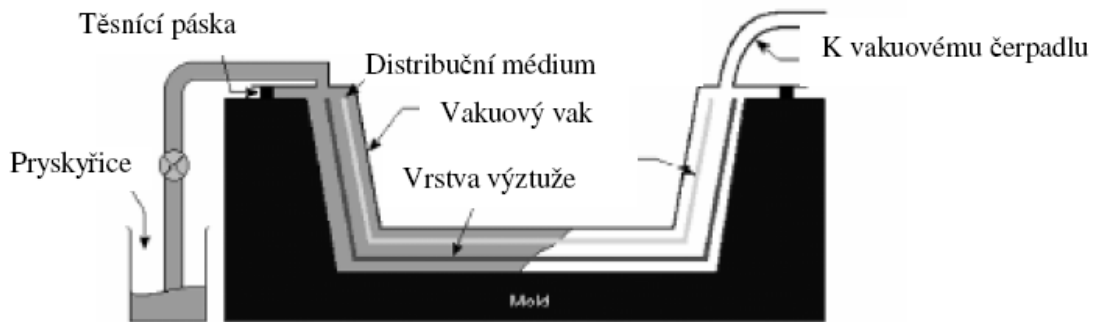
4.18 SCRIMP, VIP, FASTRAC a VARIM

U technologie SCRIMP (“Seemann Composite Resin Infusion Molding Process”) rozvod polyesterové nebo vinylosterové pryskyřice zajišťují hadice a distribuční médium, které se z povrchu vytvrzeného výrobku lehce sejme díky odtrhové vrstvě. Mezi nosné vrstvy lze vložit distanční tkaninu nebo např. voštinové jádro. Touto technologií se vyrábí velkoplošné sandwichové výrobky (lodě, karoserie autobusů atd.). Obdobou SCRIMP technologie jsou další infuzní technologie s evakuací prostorupod fólií, filmem nebo vakuem: [10]

- VIP (“Vacuum Infusion Process”),

- FASTRAC (“Fast Remotely Actuated Resin Channeling”)
- VARIM (“Vacuum Assisted Resin InfusionMolding”)

Všechny tyto technologie jsou si velmi podobné, protože je u všech pryskyřice nasávána do vakuovaného prostoru. Jako distribuční médium pro povrchovou infuzi slouží síť nebo řídká tkanina a mezilamenární difuzi slouží 3D distanční tkanina. [10], [3]

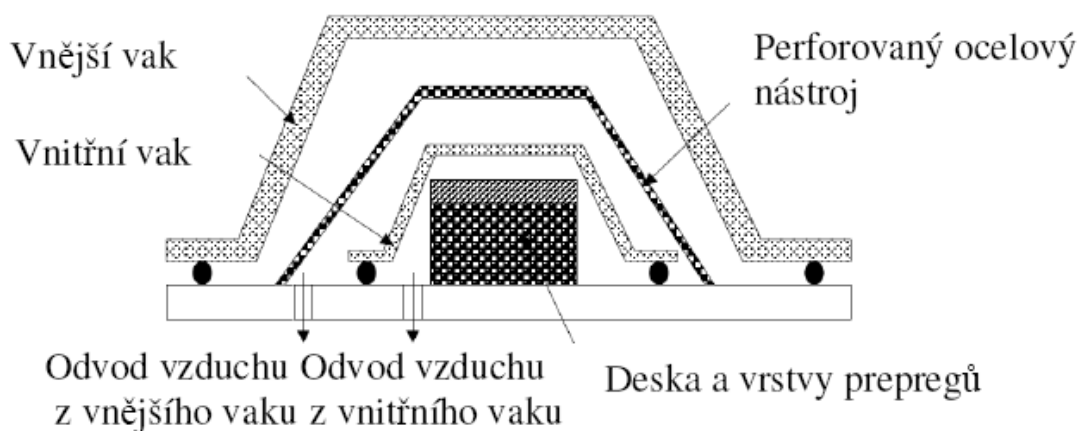


Povrchová infuze

Obr.4.10 Povrchová infuze [10]

4.19 DBV (“Double Bag Vacuum”)

Tato metoda pod dvojitým vakuovacím pytel se používá primárně všude tam, kde je potřeba mít velmi malý podíl mikrodutin, které mají velký vliv na mechanické vlastnosti. Pokud by byl použit jednoduchý vak, nešlo by zabránit úniku těkavých látek a tvorbě mikrodutin. Díky dvojitému vaku můžeme kontrolovat . Při vakuování prostoru pod vnějším vakem dojde k přilnutí vaku na perforovaný ocelový nástroj. Vnitřní vak se naopak nafoukne (je v něm menší vakuum než v prostoru pod vnějším vakem) a dosedne také na ocelový nástroj. Netlačí na vrstvy prepregů a těkavé látky se z nich mohou odsát. Na konci B stavu pryskyřice, kdy začíná její vytvrzování, se vakuuje vnitřní vak, prostor po vnějším vakem je mezitím spojen s atmosférou. Vrstvy prepregů jsou stlačeny atmosférickým tlakem, vzduch mezi nimi je mechanicky odstraněn a odsát. [3]



Obr. 4.11 Dvojitý vakuovací pytel [9]

4.20 VBM (“Vacuum Bag Molding”)

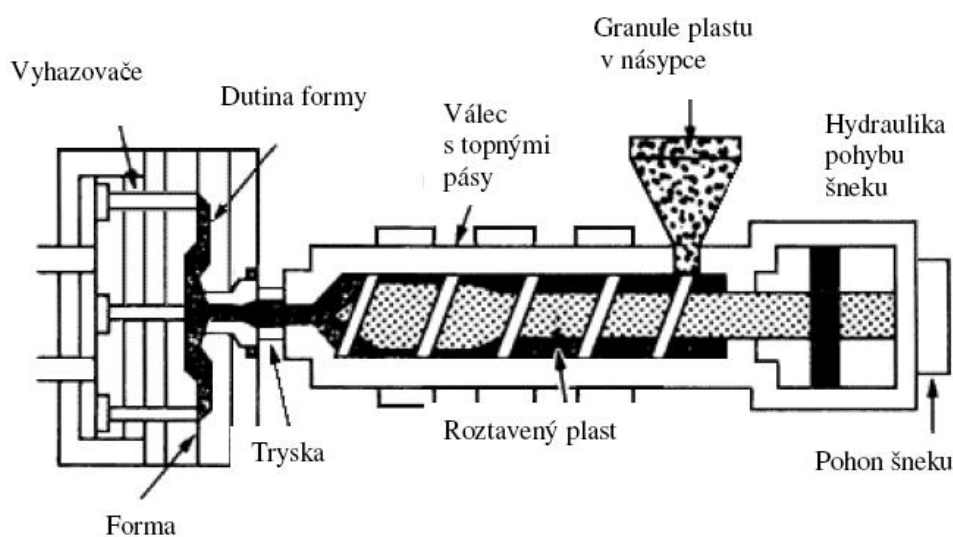
U metody VBM je velmi podobná technologii SCRIMP □ navíc je jen odsávací vrstva, která pomůže odsát přebytečnou pryskyřici. Po odsátí vzduchu dojde k stlačení vrstev laminátu atmosférickým tlakem.

Velmi podobné jsou také technologie:

- RIM pro použití s polyuretanovými pryskyřicemi
- SRIM kdy je připravenou pryskyřicí zastříknuta předformovaná výztuž [10], [4]

4.21 IM (“Injection Molding”)

V první fázi se ve vstřikovací stroji se nataví termoplast, který je dopraven šnekem do dutiny formy. Tento termoplast je vyztužen krátkými skleněnými vlákny pro lepší tuhost, pevnost a rozměrovou stabilitu. Výrobky jsou lehké s dobrými izolačními vlastnostmi. [10]



Obr. 4.12 Injection Molding [8]

4.22 BMC (“Bulk Molding Compound”)

Jedná se o speciální metodu při které je do uzavřené vytápěné formy vložena tableta nebo prášek směsi reaktoplastu. V tomto prášku jsou již obsaženy plniva, resistol, tvrdidla a vláknová výztuž. Při vytvrzení se změní pryskyřice na resit.

4.23 SMC (“Sheet Molding Compound”)

Do vytápěné ocelové formy se vloží polotovar tvz. „prepreg“. Pro lisování je potřeba hydraulický lis s leštěnou vyhřívanou formou. Díky těmto požadavkům je zaručena vysoká kvalita výsledného povrchu.

Podle uspořádání výztuže lze rozlišit na:

- **SMC R** - "Sheet Molding Compound Random"
- **CR** "Sheet Molding Compound, Continuous and Random"
- **XMC** "Sheet Molding Compound", vlákna orientována pod úhly.
- **TMC** Jde o analogii SMC, pouze polotovar má větší tloušťku.
- **LPMC** aplikace díky pryskyřicím přecházejícím do stavu gelu, které následně krystalizují, lze používat nízké tlaky a vkládat například pěnová nebo vosťinová jádra. [10], [4]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

5 VÝROBA CYKLISTICKÉHO KOŠÍKU

Jednalo se o výrobu cyklistického košíku z uhlíkových vláken na sportovní láhev, který byl určený pro sportovní a závodní použití. V tomto případě bylo potřeba navrhnout dostatečně odolnou a pevnou konstrukci pro závodní použití. Zvolený materiál v sobě kloubí vynikající vlastnosti, odolnost i vzhled, které jsou při daném využití potřeba. Košík je složen jedním pevným celkem z kompozitu, ve kterém byly začištěny díry pro šrouby sloužící k uchycení k rámové trubce kola.

5.1 Postup výroby

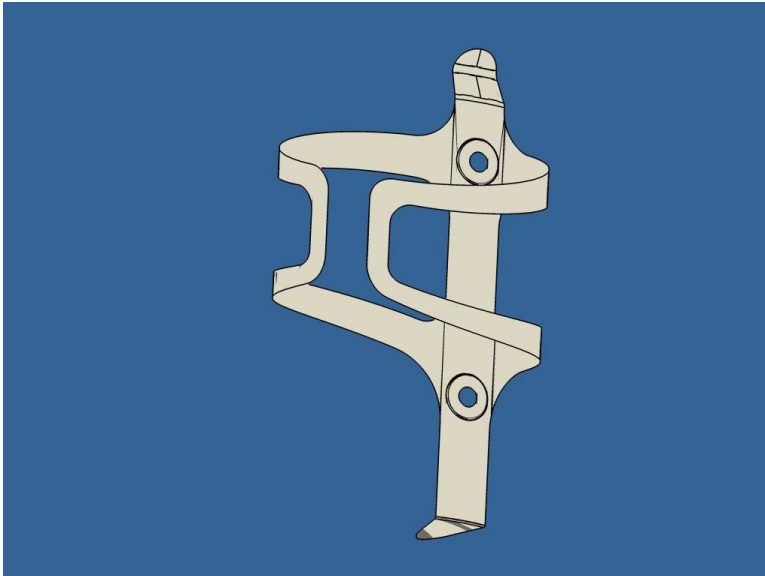
Postup výroby se dělil do těchto částí:

- návrh tvaru košíku ve 2D, 3D
- výběr materiálu košíku, kopyta a zpracovatelských technologií
- výroba kopyta
- výroba košíku, zdokumentování zpracovatelských podmínek
- experimentální testování dle norem

5.2 Návrh tvaru košíku ve 2D, 3D

Při návrhu bylo potřeba na základě zkušeností s podobnými výrobky vybrat ideální tvar, který by zajišťoval pevné držení láhve, měl malou hmotnost a vysokou odolnost proti nechtěnému poškození. Na trhu sportovních potřeb je nepřehledné množství výrobků, ale bohužel jsou to ve většině případů řešení kompromisní, které neposkytují požadovanou odolnost a zaručeně pevné držení láhve.

Po mnoha pokusech s různými tvary šablon byla vybrána finální šablona, která měla poměrně jednoduchý tvar, dostatečně pevné držení lahve a byla i vzhledově exkluzivní pro koncového spotřebitele. Vybraná šablona byla určena primárně pro 0,5 l láhev, kterou dokáže košík plnou spolehlivě udržet za jakékoliv situace. Výkresová dokumentace šablony je přiložena v příloze BP.



Obr.5.1 Vizualizace 3D modelu

Vybraný typ šablony byl překreslen do 3D modelu pomocí programu Catia. V praxi se většinou pro zlepšení fixace láhve vlepují gumové části, které svým třením zabrání nechtěnému vysunutí láhve. U návrhu bylo naopak použito přidané zaoblení, které dokonale zachytí láhev proti nechtěnému povysunutí a umožní nám zapustit šrouby držící košík. Toto řešení je spolehlivější a elegantnější než vlepené gumové části a nezadbatelně ovlivní konečnou hmotnost košíku.

U provedení uchycení připadaly v úvahu dvě možnosti:

1) Uchycení s nezapuštěnými šrouby

Toto uchycení je konstrukčně jednoduché, ale kvůli nutnosti osazení neúměrně zvyšuje riziko poškození košíku a zbytečně přidává výrobku na hmotnosti.

2) Uchycení se zapuštěnými šrouby

Toto uchycení je více odolné proti vrubu a poskytuje dostatečnou oporu pro dosedací plochu šroubů při dodržení výborné hmotnosti celku.

Díky uvedeným důvodům bylo zvoleno zapuštění nerezového šroubu s kónickou hlavou M5 x 20 mm.

5.3 Výběr materiálu a zpracovatelské technologie

Při volbě materiálu byl kladen důraz na tyto vlastnosti výsledného produktu :

- dostatečná odolnost
- vzhledová exkluzivita
- nízká hmotnost
- odolnost proti cyklickému zatěžování

Na základě těchto požadavků byly zvoleny kompozitní uhlíkové materiály. Poté bylo potřeba rozhodnout jestli zvolit materiál ve formě tkaniny nebo tzv.: rovingu. S velkou výhodou byl použit uhlíkový roving firmy TENAX, který nám umožňuje:

- jednotlivé skupiny vláken orientovat přesně podle očekávaného zatěžování
- proměnlivou tloušťku a možnost vyladění hmotnosti díky zcela přesnému umístění materiálu.

Jako zpracovatelská technologie bylo zvoleno vákuování lamelovou vývěvou ve vakuovacím pytli s separační a odsávací tkaninou. Toto řešení nabízí kvalitní distribuci matrice a perfektní zkopírování tvaru kopyta. Pro dobré prosycení byla zvolena epoxidová pryskyřice LH 288 s extrémně nízkou viskozitou v kombinaci s tužidlem H 281 v hmotnostním poměru 100 dílů pryskyřice : 27 dílům tužidla. Použité tužidlo nabídlo dobrou dobu zpracovatelnosti (cca 40 minut při pokojové teplotě) a výsledná směs se poměrně rychle vytvrzovala (při teplotě 80°C dojde k vytvrzení za cca 2h). Při pokojové teplotě trvá vytvrzení zhruba 24h, ale utrpí tím konečná pevnost. Plusem byla i poměrně nízká vstupní cena a dobré mechanické vlastnosti (pevnost, houževnatost, teplotní odolnost). Pro separaci byl vybrán vosk TR 104, který bude následně rozleštěn. Na další vrstvu separace byl zvolen separátor PVA, který se nanáší na kopyto většinou nastříkáním. S tímto separátorem se výborně pracuje a je ředitelný vodou, takže jej pak jde následně z kopyta i smýt. Na konečnou úpravu povrchu byl vybrán osvěčený lak U 1013. Všechny technické listy jsou uvedeny v přílohách.

5.6 Výroba kopyta

Při volbě materiálů kopyta byl kladen důraz na:

- přijatelnou cenu
- dostatečnou odolnost
- jakost povrchu kopyta
- snadnou dostupnost materiálů

Pro výrobu prototypu kopyta byla zvolena sádra jemnozrná od firmy HET obohacená přísadami lepidla HET DUVILAX BD 20 pro lepší soudržnost. Výsledný válcový polotovár válce ale nenaplnil požadované mechanické vlastnosti a bylo potřeba najít za něj náhradu.



Obr.5.2 Výroba 1. Prototypu kopyta

Pro další variantu bylo použito pro základní tvar kopyta směs cementu a plniva, které tvořila skelná moučka a sekané skelné vlákno (pro zvýšení pevnosti) a vody. Tato směs byla odlita do použitého bidonu který měl požadovaný tvar košíku. Výše uvedené materiály byly použity především z důvodu okamžité dostupnosti a velice nízké ceny. Přitom výsledná forma má uspokojivou pevnost. Nevýhodou této směsi oproti sádře je delší doba nutná pro dokonalé vytvrzení. Ocelový profil je ve formě umístěn pro usnadnění manipulace s formou, při následné výrobě.

Na vytvrzené kopyto byl přesně umístěn rozvin košíku. Ten byl vytvořen z cca 3mm silné gumy podle šablony. Rozvin byl k formě přilepen kontaktním lepidlem ve spreji, které umožnilo později rozvin snadno sejmout.



Obr. 5.3 Výroba kopyta míchání, odlévání, odformování, nalepení rozvinu košíku

Následně byl na kopyto s rozvinem aplikován dvousložkový karosářský plnicí tmel (Mo-tip), který se výborně brousí do požadovaného tvaru. Po vytvrzení následovalo částečné

obroušení tmelu a sejmutí rozvinu košíku. Do kopyta byly následně zalepeny kovové trny, které tvoří zahlabení pro upevňovací šrouby košíku. Tím vzniklo samotné kopyto s negativním reliéfem košíku. Kopyto bylo dále opatřena nástřikem dvousložkovým epoxidovým lakem S1300 pro zvýšení odolnosti povrchu. Lak také vytvořil kvalitnější (hladší) povrch formy.



Obr. 5.4 nanesení tmelu, sejmutí rozvinu, broušení, vrtání trnů, nástřik lakem

5.7 Experimentální výroba prototypu košíku

Postup experimentální výroby:

1. opatření formy separačním voskem TR 104

Separční vosk byl aplikován na kopyto podle doporučení výrobce přiloženou houbičkou a kartáčkem a následně byl rozleštěn.

2. nanesení separátoru PVA

PVA separátor byl aplikován stříkáním, ale je možné jej aplikovat i štětcem. Stříkání zajistí rovnoměrnější vrstvu, která se může odrazit na kvalitě výsledného povrchu. Použitý PVA separátor je ředitelný vodou a dobře se s ním pracuje. Je možné jej odstranit vodou i po vytvrzení. Teplotní odolnost separátoru je zhruba 120°C, takže pro dané použití vyhovuje. Díky kombinaci dvou separátorů bylo dosaženo slušného povrchu a snadné sejmutí výrobku z kopyta.

3. příprava materiálu

Zahrnuje přípravu náčiní pro laminování, jakou jsou ochranné pomůcky (rukavice), nůžky, upevňovací lepicí páska, materiál pro vakuování, atd. Dále bylo potřeba nastříhat si přesně roving uhlíkového vlákna na požadované rozměry podle šablony.

4. míchání matrice LH 288 (epoxidová pryskyřice s extrémně nízkou viskozitou) + tužidlo H 281. (poměr 100:27 hmotnostně)

Kvůli velmi malému množství použité matrice, je vhodné pro odvážení obou složek použít přesné váhy (rozlišení 0,01g). Tím se zajistí dosažení dostatečně přesného míšícího poměru.

5. vlastní laminace

Pramence vláken byly kladeny ve směrech a vrstvách tak, aby byla zajištěna dostatečná tuhost a pevnost košíku a dostatečná pevnost uchycení bidonu v košíku. Místa pro upevňovací šrouby byla zesílena páskami tkaniny, která zamezují snadné iniciaci trhliny a jejímu dalšímu šíření.

6. aplikace separační tkaniny

Tkanina umožňuje odtečení přebytečné matrice a odděluje výrobek od odsávací tkaniny.

7. aplikace odsávací tkaniny

Odsávací tkanina umožňuje odsávání vzduchu při vakuování. Zajišťuje, že vzduch je odsán ze všech prostorů vakuovacího pytle. Přebytečná matrice se rovněž vsákne do této tkaniny.

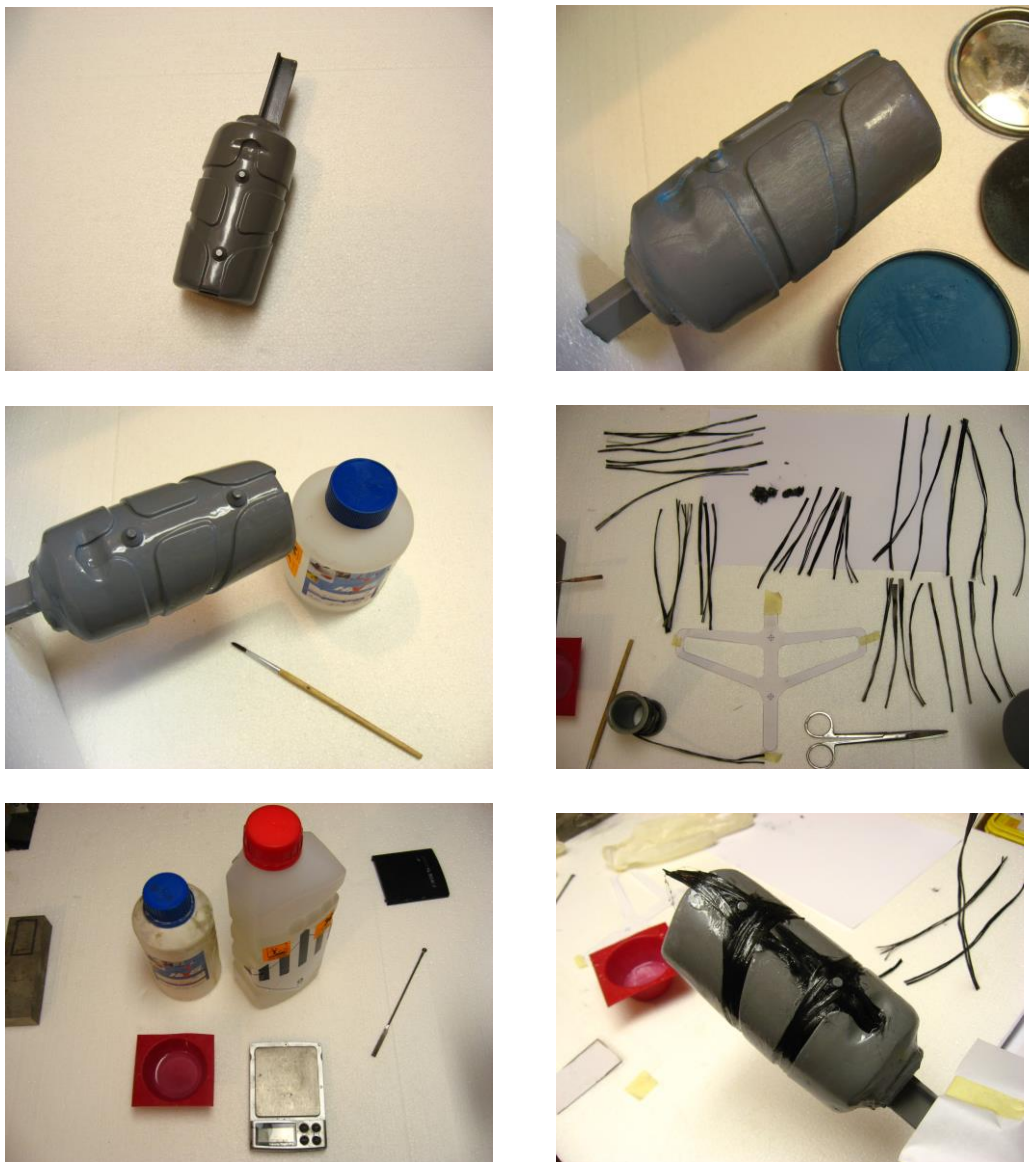
8. zavakuování (podtlak cca -0,9 bar)

Pro vytvoření podtlaku byla použita lamelová vývěva. Hodnota tlaku je odečítána na manometru, který je umístěn na "zásobníku vakua", který je vřazen do okruhu. Po dosažení požadovaného podtlaku je vývěva odpojena z okruhu. Pak následuje kontrola, zda je vakuovací pytel těsný (nemění se tlak). Ideální je, pokud je kontrolní manometr pro vakuum umístěný přímo na vakuovacím pytli. Následně byl celý vak umístěn do vytvrzovací pece. Důležité je pozvolné nastavení náběhu na vytvrzovací telotu. V tomto případě trval náběh z cca 20°C na 80°C přibližně 15min. Rychlý nárůst teploty může způsobit příliš rychlé vytvrzení matrice doprovázené tvořením bublin.

9. polotovar po odformování

Díky použitým separátorům je vyjmutí polotovaru z formy velice snadné. Také je snazší vyjmutí polotovaru, pokud je stále vyšší teplota formy (cca 40°C). Při této teplotě je polotovar pružnější, ale již nedochází ke změně jeho tvaru po vyjmutí z formy. Zbytky separátoru je možné z polotovaru i formy opláchnout vlažnou vodou.

10. Polotovár ze kterého byly ruční frézou odstraněny otřepy
11. polotovár připravený pro povrchovou úpravu. (obroušeno brusným papírem zrnitost 300)
12. hotový výrobek s povrchovou úpravou lakem U 1013, který byl aplikován stříkáním. Tento lak je velmi dobře mechanicky odolný, dobře se zpracovává a výborně přilne k použité matrici. Pro urychlení vytvrzení byl košík umístěn na cca 3 hodiny do pece vyhřáté na 70°C .



Obr. 5.5 Postup výroby košíku část A



Obr. 5.6 Postup výroby košíku část B, hotový výrobek

5.8 Experimentální testování dle navržených norem

Konstrukce a skladba vrstev košíku byla navržena pro dostatečnou výdrž a pevné držení cyklistické lahve. Orientace pramenců uhlíkového rovingu byla zvolena přesně podle předpokládaného zatěžování. Dvě díry sloužící na uchycení košíku k rámu kola se projeví jako koncentrátoři napětí a nejvíce rizikové místo na konstrukčním modelu. Proto tyto zahloubení na šrouby byly dodatečně posíleny namotáním kroužků uhlíkového rovingu. Samotný košík je vyroben o něco menší než je rozměr láhve, kterou má držet. Díky tomuto řešení a přidanému záchytu láhev drží skutečně pevně. Ramena byla pro snadnější nasazení košíku ponechána otevřená, takže lze láhev do košíku nasadit z více pozic, než kdyby byla použita ramena uzavřená.

Pro testování tohoto košíku by jistě byly směrodatné cyklické zatěžovací zkoušky se zátěží, ale sestavení přesného modelu zatěžovacího stroje by bylo časově náročné.

Bylo tedy zvoleno testování přímo v závodním nasazení, které důkladně prověřilo jeho kvality. S košíkem bylo v průběhu 2 měsíců najeto zhruba 2000 km převážně v terénu, kdy byl košík 0,5 litrovou lahví naplněnou železnými kuličkami o váze zhruba 2.5 kg. Toto zkušební období se na prototypu košíku téměř nepodepsalo. Viditelné bylo jen porušení vrchní lakované vrstvy otěrem od samotného bidonu. U uchycení pro šrouby nebyl díky zesílení pozorován vznik vrubů ani žádná delaminace materiálu.

ZÁVĚR

Teoretická část byla zaměřena na uvedení do základních pojmů a problematiky kompozitních materiálů. Po uvedení do základu kompozitních materiálů bylo nastíněno uplatnění jednotlivých variant kompozitních materiálů. Dále byl uveden krátký přehled jednotlivých typů a zpracování kompozitních materiálů používaných v cyklistice.

Praktická část se zabývala návrhem vhodného materiálu na konstrukci košíku. Pro své výborné vlastnosti byl zvolen roving firmy TENAX, díky kterému bylo kladení přizpůsobeno skutečnému namáhání. Z předchozích zkušeností s konkurenčními výrobky bylo naopak zavrženo osazení, které slouží ke skrytí hlaviček šroubů, které drží košík na rámu. Toto řešení bylo velmi nepraktické jak kvůli zbytečnému zvýšení hmotnosti výrobku a tak i jeho složitosti.

Výroba kopyta probíhala ve dvou fázích. V první fázi byla neúspěšně zkoušena směs jemnozrné sádry a duvilaxu, který měl sádro zpevnit. Bohužel toto řešení v sobě skrývalo víc problémů, než jaký byl jeho přínos. Tvrdost a soudržnost formy nebyla dostatečná pro výrobu alespoň 10-ti zkušebních vzorků košíků. Na základě této negativní zkušenosti byl vybrán jemnozrný cement zpevněný moučkou a sekanými vlákny. Tato směs byla odlita do vyřazeného bidonu, a tím byl získán alespoň základní tvar košíku. Po nalepení gumové šablony a přetření tmelem byla získána kvalitní a odolná forma pro vakuování košíku.

Košík byl vyroben vakuováním na hodnotu přibližně -0,9 a tím bylo docíleno výborné kvality povrchu bez kazů, s dokonalým prosycením. Po finálním odformování byly ruční frézkou odstraněny otřepy a smirkovým papírem o jemné zrnitosti byl košík vyhlazen.

Vyrobený prototyp měl hmotnost přesně 10 g, což je světová špička v závodní třídě. Poskytuje kvalitní držení láhve a její snadné nasazení zpět, díky dvěma nespojeným ramenům a zobáčku na zajištění. Při praktickém testování na horském kole vykazoval perfektní držení i při značně zvýšené zátěži, na kterou není koncepčně tento prototyp určen. Uvedené vlastnosti byly dosaženy volbou vhodné technologie výroby, přesnou orientací odpovídající zatížení a dodržení všech technologických postupů.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] EHRENSTEIN, Gottfried W. Polymerní kompozitní materiály. V ČR 1. vyd. Praha: Scientia, 2009, 351 s. ISBN 978-80-86960-29-6.
- [2] BAREŠ, Richard. Kompozitní materiály. Vyd. 1. Praha: SNTL, 1988, 325 s. ISBN(Váz)
- [3] Ptáček, Luděk. Nauka o materiálu.II.2 opr. a rozš.vyd. Brno: CERM, 2002. 392 s. ISBN 80-7204-248-3
- [4] GERDEEN, James C a Ronald A RORRER. Engineering design with polymers and composites. 2nd ed. Boca Raton, FL: CRC Press, c2012, xvii, 402 s. ISBN 978-1-4398-6052-6.
- [5] Kratochvíl, B.; Švorčík, V.; Vojtěch, D. Úvod do studia materiálů.Praha: VSCHT, 2005.190 s. ISBN 80-7080-568-4
- [6] Chung, Deborah, D. L.: Composite materials, functional materials for modern technologies. London, Springer, 2003. 289 s., ISBN 185233665X
- [7] GIANT, [online]. [cit. 2013-12-27]. Dostupné z WWW < <http://www.giant.com> >
- [8] JANČÁŘ, Josef. Úvod do materiálového inženýrství polymerních kompozitů. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2003. 289 s. ISBN 185233665X
- [9] Sunsetbike [online]. [cit. 2013-12-24]. Dostupné z WWW < <http://www.sunsetbike.cz/1653/bambusovy-ram-made-in-czech-republic> >
- [10] Zkorinek [online]. [cit. 2013-12-24]. Dostupné z WWW < <http://mujweb.cz/zkorinek/technologie.pdf> >

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

ATP	Strojně kladené prepregy
PMC	Kompozity s polymerní matricí
MMC	Kompozitní materiály s kovovou matricí
CNC	Keramické materiály s keramickou matricí
PS	Polystyren
PP	Polypropylen
PET	Polyetylen-tetraftalát
AF	Aramidové vlákno
GPa	Giga-Pascal
HM	High modulus
AFP	Navíjení rovingového prepregu
RTM	Resin transfer molding

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1.1 Synergické chování složek kompozitu [1]</i>	12
<i>Obr. 1.2 Dělení kompozitů dle typu výztuže [1]</i>	16
<i>Obr. 1.3 Rozdělení kompozitního materiálu podle typu výztuže[2]</i>	17
<i>Obr. 1.4 Uspořádání vláken v kompozitech [2]</i>	17
<i>Obr. 1.5 Rám Willier [8]</i>	20
<i>Obr. 1.6 Graf vlastností jednotlivých vláken [3]</i>	22
<i>Obr. 2.1 Bambusový rám z ČR [2]</i>	24
<i>Obr. 2.2 Příklad trubkové sady Columbus Zona [2]</i>	25
<i>Obr. 2.3 Silniční rám vyrobený z titabu [7]</i>	26
<i>Obr. 2.4 Rám RB z leštěného hliníku [7]</i>	27
<i>Obr. 2.5 Silniční topmodel firmy Giant advance [2]</i>	28
<i>Obr. 3.1 Příklad vlepění Kevlarových trubek [8]</i>	29
<i>Obr. 3.2 Příklad přeplátování středového složení [8]</i>	30
<i>Obr. 3.3 Forma na monocoque rám [2]</i>	30
<i>Obr. 4.1 Vytvrzování v Autoklávu [10]</i>	32
<i>Obr. 4.2 Prosycování rovingu taveninou [2]</i>	33
<i>Obr. 4.3 Strojní kladení termoplastických prepregů [10]</i>	33
<i>Obr. 4.4 Axiální navíjení [10]</i>	34
<i>Obr. 4.5 Navíjení vstupního kanálu vzduchu [10]</i>	35
<i>Obr. 4.6 Kontinuální laminování [4]</i>	35
<i>Obr. 4.7 Pultruzní linka [10]</i>	36
<i>Obr. 4.8 Kombinace ovíjení a pultruze [4]</i>	36
<i>Obr. 4.9 Technologie RTM [10]</i>	37
<i>Obr. 4.10 Povrchová infuze [10]</i>	38

<i>Obr. 4.11 Dvojitý vakuovací pytel [9]</i>	38
<i>Obr. 4.12 Injection Molding[8]</i>	39
<i>Obr. 5.1 Vizualizace 3D modelu</i>	43
<i>Obr. 5.2 Výroba prvního prototypu kopyta</i>	45
<i>Obr. 5.3 Výroba kopyta, míchání, odlévání.</i>	46
<i>Obr. 5.4 Nanesení tmelu, sejmutí rozvinu, broušení</i>	47
<i>Obr. 5.5 Postup výroby košíku část A</i>	50
<i>Obr. 5.6 Postup výroby košíku část B hotový výrobek</i>	51

SEZNAM TABULEK

<i>Tab. 1.1 Vlastnosti nejčastěji používaných matic [1]</i>	14
<i>Tab. 1.2 Vybrané vlastnosti některých vyztužených vláken [2]</i>	18
<i>Tab. 1.3 Vlastnosti jednotlivých druhů skel [3]</i>	19

SEZNAM PŘÍLOH

Výkres šablony na výrobu košíku.

VÝKRES ŠABLONY NA VÝROBU KOŠÍKU

