

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

POSTUP LEPENÍ KOMPOZITNÍHO RÁMU HORSKÉHO KOLA

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR WORK

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

JIŘÍ TŮMA

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

ING. JAROSLAV KUBÍČEK

LICENČNÍ SMLOUVA POSKYTOVANÁ K VÝKONU PRÁVA UŽÍT ŠKOLNÍ DÍLO

uzavřená mezi smluvními stranami:

1. Pan/paní

Jméno a příjmení: Jiří Tůma

Bytem: Vinohrady 51, 639 00 Brno

Narozen/a (datum a místo): 30.11.1985, Brno

(dále jen „autor“)

a

2. Vysoké učení technické v Brně

Fakulta strojního inženýrství

se sídlem: Technická 2896/2, 616 69 Brno

jejímž jménem jedná na základě písemného pověření děkanem fakulty:

doc. Ing. Miroslav PÍŠKA, CSc., ředitel Ústavu strojírenské technologie

(dále jen „nabyvatel“)

Čl. 1

Specifikace školního díla

1. Předmětem této smlouvy je vysokoškolská kvalifikační práce (VŠKP):

disertační práce

diplomová práce

bakalářská práce

jiná práce, jejíž druh je specifikován jako
(dále jen VŠKP nebo dílo)

Název VŠKP: Postup lepení kompozitního rámu horského kola

Vedoucí/ školitel VŠKP: Ing. Jaroslav Kubíček

Ústav: Ústav strojírenské technologie

Datum obhajoby VŠKP:

VŠKP odevzdal autor nabyvateli v*:

tištěné formě – počet exemplářů: 2

elektronické formě – počet exemplářů: 2

2. Autor prohlašuje, že vytvořil samostatnou vlastní tvůrčí činností dílo shora popsané a specifikované. Autor dále prohlašuje, že při zpracovávání díla se sám nedostal do rozporu s autorským zákonem a předpisy souvisejícími a že je dílo dílem původním.

* hodící se zaškrtněte

3. Dílo je chráněno jako dílo dle autorského zákona v platném znění.
4. Autor potvrzuje, že listinná a elektronická verze díla je identická.

Článek 2

Udělení licenčního oprávnění

1. Autor touto smlouvou poskytuje nabyvateli oprávnění (licenci) k výkonu práva uvedené dílo nevýdělečně užít, archivovat a zpřístupnit ke studijním, výukovým a výzkumným účelům včetně pořizování výpisů, opisů a rozmnoženin.
2. Licence je poskytována celosvětově, pro celou dobu trvání autorských a majetkových práv k dílu.
3. Autor souhlasí se zveřejněním díla v databázi přístupné v mezinárodní síti
x ihned po uzavření této smlouvy
 - 1 rok po uzavření této smlouvy
 - 3 roky po uzavření této smlouvy
 - 5 let po uzavření této smlouvy
 - 10 let po uzavření této smlouvy(z důvodu utajení v něm obsažených informací)
4. Nevýdělečné zveřejňování díla nabyvatelem v souladu s ustanovením § 47b zákona č. 111/ 1998 Sb., v platném znění, nevyžaduje licenci a nabyvatel je k němu povinen a oprávněn ze zákona.

Článek 3

Závěrečná ustanovení

1. Smlouva je sepsána ve třech vyhotoveních s platností originálu, přičemž po jednom vyhotovení obdrží autor a nabyvatel, další vyhotovení je vloženo do VŠKP.
2. Vztahy mezi smluvními stranami vzniklé a neupravené touto smlouvou se řídí autorským zákonem, občanským zákoníkem, vysokoškolským zákonem, zákonem o archivnictví, v platném znění a popř. dalšími právními předpisy.
3. Licenční smlouva byla uzavřena na základě svobodné a pravé vůle smluvních stran, s plným porozuměním jejímu textu i důsledkům, nikoliv v tísní a za nápadně nevýhodných podmínek.
4. Licenční smlouva nabyvá platnosti a účinnosti dnem jejího podpisu oběma smluvními stranami.

V Brně dne:

doc. Ing. Miroslav PÍŠKA, CSc.
Nabyvatel

Jiří Tůma
Autor

Anotace

Cílem bakalářské práce je navržení metody výroby a konstrukčního uspořádání z dostupných zdrojů mapující současný stav v problematice kompozitních rámců horských kol. Práce se velkou mírou opírá o poznatky získané od výrobců horských kol. V první části bakalářské práce jsou shrnuty poznatky o kompozitních materiálech a uhlíkovém kompozitu. V druhé části jsou shrnuty poznatky týkající se konstrukce rámců. Třetí část je zaměřena na technologii výroby rámců a finální čtvrtá část se zabývá zkoušením kvality produktu.

Anotation

The point of a bachelors work is to propose a method of manufacturing and design form from accessibles sources which survey present condition in problems about composite mountain bike frames. The work is mostly based on informations provided by mountain bike producers. In the first part of bachelor work are summarized pieces of knowledge about composite materials and mainly carbon composite. In the second part are summarized pieces of knowledges about bike frame design. The third part is aimed on manufacturing technology of bike frames and final fourth part considers quality testing of product.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci Postup lepení kompozitního rámu horského kola vypracoval samostatně pod vedením Ing. Jaroslava Kubíčka a uvedl v seznamu literatury všechny použité literární a odborné zdroje.

V Brně dne:

.....

Podpis autora

1	Úvod.....	8
2	Charakteristika kompozitních materiálů	9
3	Charakteristika uhlíkového kompozitu	9
3.1	Popis uhlíkových vláken	9
3.1.1	Charakteristiky uhlíkových vláken	10
3.2	Charakteristika tkanin učených pro kompozity	10
3.2.1	Typy tkaní	11
3.3	Charakteristika pojiv	12
3.3.1	Polyesterové pryskyřice	12
3.3.2	Epoxidové pryskyřice	12
3.3.3	Vytvrzovací systémy pro termosetické matrice	13
3.3.4	Doba zpracovatelnosti	13
3.3.5	Objemové smrštění	13
3.3.6	Další nezbytné součásti materiálu	13
3.4	Příklad kladení jednotlivých vrstev tkaniny	15
3.5	Příprava polotovaru pro výrobu kompozitního materiálu	15
3.5.1	metoda VARTM (vacuum assisted resin transfer molding)	15
3.5.2	metoda předimpregnace	16
3.5.3	Lisování za tepla a tlaku	17
3.5.4	Navíjení	18
3.5.5	Vakuové prosycování	19
3.5.6	Tažení (pultruze)	20
4	Konstrukce rámců horských kol	21
4.1	Rozdělení z hlediska terminologie jednotlivých komponent rámu	21
4.1.1	Rámy typu “hardtail a mediumtail”	21
4.1.2	Rámy typu “softtail” - celoodpružené	21
4.2	Konstrukční uspořádání rámců	24
4.2.1	Geometrie rámců typu Hardtail	24
4.2.2	Zhodnocení různých druhů odpružení zadního kola	25
5	Technologické rozdělení kompozitních rámců horských kol	27
5.1	rámy vzniklé vlepením karbonových trubek do kovových spojek	27
5.1.1	Příprava polotovarů	27
5.1.2	Výběr lepidla	28
5.1.3	Lepení	29
5.2	rámy vzniklé vlepením karbonových trubek do karbonových spojek	29
5.3	monokokové rámy - “z jednoho kusu”	30
5.4	kombinace rámu z hliníkové slitiny a karbonových segmentů - Medium tail	30
5.5	výroba přesně tvarovaných segmentů	30
6	Zkoušení	30
6.1	Zkoušení výchozího materiálu	30
6.1.1	Vzorky pro zkoušku tahem	31
6.1.2	Vyhodnocení zkoušky tahem	31
6.2	Zkoušení lepených spojů	31
6.2.1	Metody destruktivní	32
6.2.2	Metody nedestruktivní	32
6.3	Zkoušení únosnosti montážního celku	32
6.3.1	Silové působení na rám	33
6.3.2	Zkouška torzní tuhosti	33
6.3.3	Zkouška vertikální poddajnosti	34
6.3.4	Zkouška tuhosti zadní vzpěry	34
7	Závěr	35
8	Seznam použitých zdrojů	36

1 Úvod

Úvodem děkuji za podnětné a odborné vedení mé bakalářské práce panu Ing. Jaroslavu Kubíčkovvi, vedoucímu práce.

V zimě roku 1973 se vydali průkopníci MTB (mountain bike) Gary Fisher a Joe Breeze se svými letitými velocipédy na vrcholek jménem Tamlapais poblíž města San Francisco. Do této doby byli lidé zvyklí užívat jízdní kola jakožto dopravní prostředek po pokud možno upravených silnicích, případně se konaly závody silničních jízdních kol. Ale jezdit po neupravených cestách, případně pouze po horském terénu se považovalo téměř za sebevraždu a bezúčelnou ztrátu času.

Ke svému experimentu použili jak již bylo zmíněno letitá kola značky Schwinn Cruiser. Tyto kola byla oproti těm silničním mnohem těžší a masivnější. Stoupání do kopce tehdy nebylo zrovna jednoduché, protože tato kola nebyla vybavena dnes známými a běžně používanými věcmi jako například přehazovačka. Proto tehdy bylo MTB chápáno spíše jako sjezd v neupraveném terénu. Výběr kol se zúžil na ta co nejpevnější a nejlevnější, protože během těchto divokých sjezdů velmi často praskaly rámy, ráfky, vidlice i řídítka, čemuž tehdy Schwinn Cruiser zcela vyhovoval.



Obr.1: Schwinn Cruiser

Stoupenců tohoto nového adrenalinového sportu přibývalo, čímž se vytvořil první MTB klub nadšenců, kteří se společně vydávali do terénu. Talampais zůstal Mekkou horských sjezdů, kam se pravidelně členové klubu vraceli a vychutnávali nebezpečný sjezd.

V roce 1976 se začaly konat první závody MTB. Těmto závodům se začalo přezdívat „repack“, protože během dlouhých sjezdů byla velmi namáhána zadní protiřapací brzda, přední zcela chyběla, přičemž docházelo k velkému zahřívání a pálení mazacího tuku v náboji kola a po každém takovémto sjezdu bylo nutno celý náboj rozebrat a znovu namazat. Po čase přibývalo více a více závodů a ambice vyhrát rostly úměrně, což se stalo důvodem, proč se toto sportovní odvětví stále rychleji rozrůstalo a závodníci chodili stále s lepšími technickými zdokonaleními. Od této doby se vyskytují na trhu jména jako Ritchey, Kelly a mnoho dalších. Jedním z významných vynálezců různých zlepšováků na horská kola byl již zmiňovaný Gary Fisher, který například první namontoval přehazovačku na horské kolo, následně vymyslel řazení palcem na řídítkách oproti tehdejšímu řazení na rámu, vyměnil protiřapací brzdu za motocyklovou bubnovou brzdu, vyztužil řídítka a mnoho dalších. Po jistém čase se inovací dočkaly i rámy horských kol. Začalo se přemýšlet nad geometrií rámu, konstrukcí a použitím materiálu. Snahou bylo vytvořit co nejlehčí, nejpevnější a nejtužší rám. Začalo se experimentovat s různými slitinami oceli, slitinami hliníku a v neposlední řadě s kompozitními materiály, které skrývaly velikou budoucnost díky svým jedinečným vlastnostem a možnostem nastavení směru, kde je únosnost rámu největší. Prvním kdo dotáhl do konce výrobu kompozitního rámu jízdního kola byl veliký nadšenec pro inovace a to pan Colnago, který ale podnikal ve sféře silničních bicyklů a dodnes se drží na špičce závodní cyklistiky. V případě horských kol to trvalo poněkud déle, protože díky větším zatížením, které na rám působí bylo potřeba lépe promyslet a dimenzovat užití kompozitu, což mělo za následek mnoho víceméně úspěšných pokusů. V dnešní době je již po dlouhých letech výroby a zkoušení dosaženo přijatelné kvality těchto rámu horských kol a uhlíko-epoxidový kompozit je zcela běžně používán.

2 Charakteristika kompozitních materiálů

Pod pojmem kompozit obecně rozumíme materiál vzniklý složením dvou či více jiných materiálů, z čehož vznikne materiál svými vlastnostmi předčící výchozí materiály. U kompozitů rozlišujeme 2 základní dělení materiálu:

Plnivo, výztuha - které má potřebnou materiálovou charakteristiku

Matrice, nosič - udává tvar výsledného produktu, formuje a fixuje plnivo

Kompozity jsou předně používaný materiál v mnoha odvětvích lidské činnosti - letectví, sport, stavebnictví.... Jedná se o heterogenní materiál, který v určitých směrech zatěžování vykazuje lepší vlastnosti než v jiných směrech. Výhodou je, že tyto směry se dají technologií výroby ovlivnit tak, aby vyhovovaly danému upotřebení. Jako příklad nejrozšířenějších kompozitů bych uvedl ve stavebnictví používaný železobeton, vzniklý zalitím ocelových armatur do betonové matrice. Dalším běžně používaným kompozitem je kupříkladu povrch silnic - asfaltová matrice a šterková výztuha. Toto jsou světově nejvíce užívané kompozitní materiály co se týče četnosti použití.

Nás ovšem budou spíše v dané problematice zajímat kompozity ne stavební, ale konstrukční.

Mezi ty bych zařadil nejužívanější sklolaminátové a uhlíkové kompozity. Ty se liší ve výztuze. V jednom případě je použita výztuha realizována pomocí skelných vláken, v druhém uhlíkových. Matrice je potom ve většině případů epoxidová.

V problematice kompozitních rámců silničních a horských jízdnic kol v současnosti vévodí kompozit uhlíkový, tedy epoxidová pryskyřice vyztužená uhlíkovým vláknem.

3 Charakteristika uhlíkového kompozitu

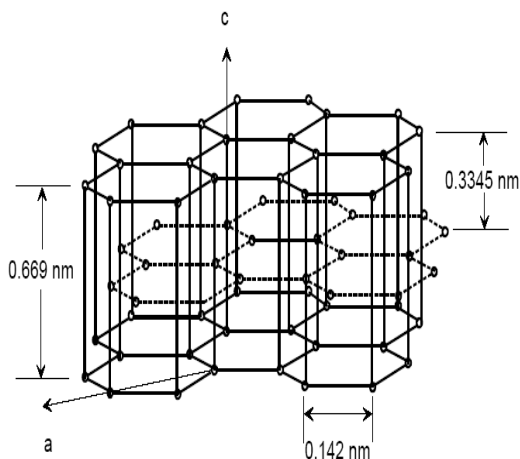
Jak již bylo zmíněno uhlíkový kompozit se skládá z matrice tvořené většinou epoxidovou pryskyřicí a uhlíkovým vláknem. V případě výroby uhlíkového kompozitu připravovaného pro jízdnicí kola rozumíme hlavně produkci profilovaných trubek, spojek nebo celých rámců

3.1 Popis uhlíkových vláken

[3], [9]

Uhlíková vlákna je název pro vlákna obsahující uhlík v různých modifikacích.

Speciální podskupinou jsou grafitová vlákna, která vznikají tepelným zpracováním při teplotách kolem 2400°C , čímž vzniká hexagonální vrstevnatá struktura, která má výrazně odlišné vlastnosti od negrafitické formy.



obr. 2: Šesterečné uspořádání atomů uhlíku

Uhlíková vlákna se vyrábějí řízenou pyrolýzou vhodných prekurzorů, mezi které patří viskózní vlákna, polyakrylonitrilová vlákna a vlákna na bázi smol z dehtu jako zbytků krakování ropy.

Je možné získat celou řadu vláken od vysoce pevných (HS), s vysokým modulem (HM), středním modulem (IM) a extrémně vysokým modulem (SHM).

Uhlíková vlákna se vyrábějí ze dvou výchozích surovin (prekurzorů):

- 1) polyakrylonitrilových (PAN) vláken
- 2) pyrolyzních olejů a smol (pitch), vznikajících při destilaci ropy.

-V případě PAN vláken je již výchozí materiál ve formě vláken, která se v kontinuálním procesu preoxidují a následně karbonizují při teplotách 1200 - 1400°C v inertní atmosféře (vysokopevné typy) nebo podstupují další operaci při teplotách 2200-3000°C za vzniku grafitické struktury (vysokomodulové typy).

-V případě pitche jako výchozího materiálu je třeba surovinu nejprve zvláknit, další postup – karbonizace nebo grafitizace je obdobný, jako u PAN prekurzoru.

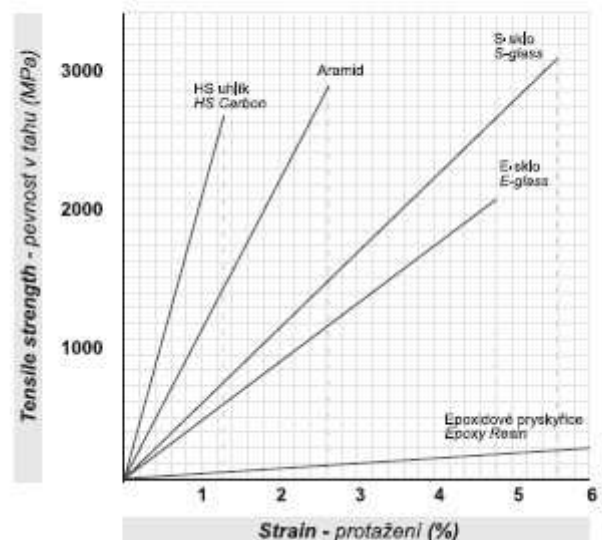
Uhlíková vlákna se používají ve formě pramenců o různé jemnosti od 67 do 4300 tex (rovněž se udává jemnost v počtu monovláken – tzv. družení, např 3K nebo 12K znamená 3000 nebo 12000 monovláken v pramenci) nebo jako tkaniny s různou vazbou a gramážích od 80 do 800 g/m² buď jako celouhlíkové nebo hybridní v kombinaci s vlákny skleněnými resp. aramidovými.

3.1.1 Charakteristiky uhlíkových vláken

[3]

-Vysokopevná
 Hustota 1,7g/cm³
 Pevnost v tahu MPa 3000-6000
 E modul GPa 250-300
 Protažení % 1,0

-Vysokomodulová
 Hustota g/cm³ 1,9
 Pevnost v tahu MPa 3000-4500
 E modul GPa 400-700
 Protažení % 0,5



obr. 3: Pevnostní charakteristiky výztuží kompozitu

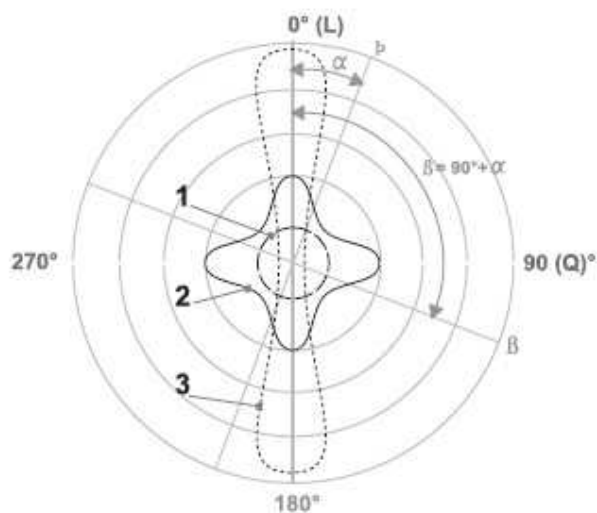
3.2 Charakteristika tkanin určených pro kompozity

[3]

Jsou k dostání různé druhy tkanin se specifickým způsobem tkaní a z různých materiálů. V předchozích kapitolách bylo uvedeno, že jako materiál pro výrobu kompozitního rámu horského kola je nejčastěji používána uhlíková tkanina. V této kapitole se budu spíše věnovat způsobům tkaní tkanin, využitelných v této problematice

Obecně platí, že mechanické vlastnosti kompozitu stoupají se zvyšujícím se obsahem vyztužující složky až do podílu 80%. Všechna vlákna musejí být totiž dokonale smočena pojivem-pryskyřicí. Aby se využily plně pevnosti vláken musí se zabezpečit dobrá adheze mezi vlákny a maticí a tím i dokonalý přenos síly z matrice na výztuž. Vlákna se proto na povrchu chemicky upravují tak, aby se na rozhraní mezi maticí a vláknem vytvořily pevné chemické vazby.

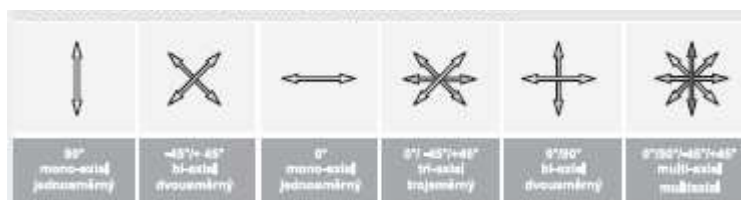
Vlastnosti kompozitu silně závisí na směru uložení (orientaci) výztužných vláken. Tento jev dobře ilustruje i tzv. polární diagram pevnosti v tahu pro laminát se základními typy výztuží, které reprezentují různou orientaci vyztužujících vláken (jednosměrnou výztuž, tkaninu s plátňovou vazbou a rohož).



u laminátů/composite type: 1. rohožového mat
2. tkaninového fabric
3. jednosměrného unidirectional

L - podélný směr (u tkaniny směr osnovy) / longitudinal direction (warp)
Q - kolmý směr (u tkaniny směr útku) / orthogonal direction (weft)

obr.4: Polární diagram



obr.5: Orientace vláken v tkaninách

3.2.1 Typy tkaní

Tkaniny se tkají s vazbou plátňovou, keprovou nebo atlasovou v různých gramážích od 280 do 1500 g/m². Číslo tex je jednotka charakterizující jemnost vlákna, je to váha 1 km vlákna v gramech.



3.3 Charakteristika pojiv

[3]

Primárně se pojiva rozdělují do dvou kategorií :

-Termosetické pryskyřice - dnes v odvětví cyklistiky se používá častěji, jedná se o pryskyřice, které během vytvrzovacího procesu vytváří nerozpustnou a netavitelnou zesíťovanou strukturu

-Termoplastické pryskyřice - dříve často používané, mají nevýhodu, že jsou amorfni a se zvyšující se teplotou měknou. Užití v cyklistice není už příliš časté, protože potřebné vlastnosti byly překonány termosety, proto se jimi nebudu detailněji zabývat.

Termosetické pryskyřice

Nejužívanějšími jsou nenasyčené polyesterové pryskyřice, vinylestery a epoxidové pryskyřice.

3.3.1 Polyesterové pryskyřice

Se podle své chemické struktury dělí na ortoftalové, izoftalové a tereftalové typy, v tomto pořadí obecně stoupají jejich mechanické vlastnosti, teplotní a chemická odolnost. Ještě lepších vlastností lze dosáhnout použitím vinylesterových pryskyřic s teplotní odolností až do 160°C a dlouhodobou chemickou odolností vůči většině agresivních látek – např. kyselinám, hydroxidům a rozpouštědlům. Monomerem a síťujícím činidlem je u těchto pryskyřic styren. Pryskyřice se pro zlepšení zpracovatelských podmínek dodávají i s přísadami urychlovačů, speciálních voskových složek pro snížení odparu zdraví škodlivého styrenu případně s přísadami thixotropních složek, upravujících viskozitu a snižujících stékání pryskyřice ze svislých stěn. Pro povrchové vrstvy, dodávající výrobku povětrnostní a chemickou odolnost a zajišťující estetický efekt se používají speciální polyesterové pryskyřice obsahující různá aditiva, zejména barevné pigmenty, UV stabilizátory a další složky.

Jelikož obsahuje škodlivý styren není příliš vhodný pro naši aplikaci.

3.3.2 Epoxidové pryskyřice

Se vyznačují lepšími mechanickými, zejména dynamickými, vlastnostmi, použitím vhodných tvrdidel lze získat i vyšší teplotní odolnost – až do 180°C. Neobsahují škodlivý styren. Epoxidových pryskyřic je řada typů, nejběžnější jsou na bázi bisfenolu A nebo bisfenolu F. Vhodných technologických vlastností, zejména snížení viskozity, se dosahuje mísením epoxidových pryskyřic s tzv. reaktivními ředidly, kterých se nabízí velký výběr. Volbou správného typu lze zlepšit i další vlastnosti pojivového systému, např. teplotní odolnost a snížení hořlavosti. Teplotní odolnost matrice se vyjadřuje buď hodnotou T_g – teplota skelného přechodu, tj. teplota, pod kterou vytvrzený polymer zůstává v tzv. skelném stavu, makromolekuly jsou pevně fixovány v polymerní síti. V tomto stavu si kompozit zachovává potřebné mechanické vlastnosti, nad touto teplotou do jisté míry měkne a počíná jeho teplotní destrukce a stává se tedy nepoužitelným. Teplotní odolnost lze vyjádřit i hodnotou HDT (heat distortion temperature), tj. mezní teplota, nad níž těleso kompozitu vystavené ohybovému zatížení vykazuje nepřijatelnou deformaci (průhyb). Hodnoty T_g a HDT jsou vodítkem pro použití kompozitů, které by neměly být dlouhodobě vystavovány teplotám, daným hodnotami T_g nebo HDT minus 20°C.

3.3.3 Vytvrzovací systémy pro termosetické matrice

Nenasycené polyesterové pryskyřice a vinylestery, kde je síťujícím monomerem styren, se vytvrzují exotermní radikálovou kopolymerací za využití dvojných vazeb v řetězci polyesterových jednotek a styrenu.

Potřebnou iniciaci dodávají volné radikály, vzniklé rozpadem peroxidů, které se dávkuje v množství 1-2 dílů na 100 dílů pryskyřice v závislosti na typu pojiva a teplotě. Nejčastěji užívanými iniciátory jsou ketonperoxydy (metyletylketonperoxid –MEKP), cyklohexanonperoxid a jejich směsi a dibenzoylperoxid zejména pro vytvrzování za zvýšených teplot.

Peroxydy se zpravidla charakterizují teplotou rozpadu na volné radikály a obsahem aktivního kyslíku. Z hlediska bezpečné výroby, dopravy, skladování a použití se dodávají ve směsi s tzv. flegmatizátory, např. ftaláty, obsah aktivní složky bývá nejčastěji 50-60%.

Pro vytvrzování za normální teploty je třeba přídavku urychlovačů rozpadu peroxidů.

Nejběžnější jsou organické soli kobaltu (kobaltnaftenát nebo kobaltoktoát) ve vhodném rozpouštědle – styren nebo nenasycené polyestery.

Epoxidové pryskyřice se vytvrzují (síťují) tužidly/ tvrdidly. Jedná se většinou o polyadiční reakce s lineárními (alifatickými), aromatickými nebo cykloalifatickými aminy, pro dosažení vyšší teplotní odolnosti se k vytvrzování užívají anhydridy organických kyselin nebo vhodné amidy (např. dikyandiamid). Řídicí vytvrzování probíhá iontovou polymerací s využitím komplexů BF₃ s aminy, zejména pro rychletvrdnoucí tmely a lepidla.

Pro vytvrzování aminy platí obecné pravidlo, že pro získání optimálních vlastností musí vzájemně zreagovat všechny reakční skupiny epoxidové pryskyřice, charakterizované tzv. epoxyekvivalentem a všechny odpovídající reakční skupiny tužidla – aminové skupiny –NH.

3.3.4 Doba zpracovatelnosti

Doba mezi přídavkem iniciátoru v případě polyesterů a tužidla v případě epoxidů a počátkem vytvrzovací reakce, charakterizovaném počínajícím vzrůstem viskozity systému, se nazývá dobou zpracovatelnosti směsi. Může se volbou iniciátoru, urychlovače a jejich množství resp. volbou tužidla pohybovat od několika minut do několika hodin (zejména u epoxidů). Doba zpracovatelnosti směsi je pro danou technologii jedním z určujících faktorů. V některých případech, zejména u polyesterových pryskyřic, je třeba vytvrzovací reakci z technologických důvodů ať už v náběhové nebo vytvrzovací fázi zpomalit. K tomuto účelu slouží tzv. inhibitory.

3.3.5 Objemové smrštění

Při vytvrzování pryskyřic dochází k reakčnímu smrštění, se kterým je třeba při konstrukci a výrobě kompozitních dílů počítat. U čisté polyesterové pryskyřice se jedná až o 7% objemového smrštění, u epoxidu je to cca 4%. Tato hodnota se snižuje u kompozitů se zvyšujícím se obsahem výztuže a plniv, přídavkem dostatečného množství plniv v kombinaci s vhodnými termoplasty lze smrštění prakticky eliminovat (tento systém se používá u pojivových systémech pro výrobu forem). Velikost smrštění lze rovněž snížit volbou vytvrzovacího systému – čím pomalejší vytvrzování a nižší exoterm (uvolňování reakčního tepla), tím je nižší konečné smrštění pojiva resp. celého dílce.

3.3.6 Další nezbytné součásti materiálu

-**Aditiva** jsou takové látky, které přidáním malého množství příznivě upravují některé vlastnosti pojiv, např. zlepšují smáčení vláken a plniv pryskyřicí, ulehčují odvdzdušnění pryskyřic a gelcoatů, antioxidanty a UV absorbery zpomalují stárnutí a degradaci polymerů.

-Pigmenty jsou užívány pro probarvení pryskyřic a zejména gelcoatů. Musí mít dostatečnou kryvost, aby požadovaného odstínu bylo dosaženo s minimálním přídatkem pigmentu musí být dlouhodobě stabilní vůči UV záření a dalším povětrnostním vlivům, aby byla zaručena stálost odstínu. Z těchto hledisek jsou nejvhodnější anorganické pigmenty, většinou kysličníky různých kovů. V poslední době se však v řadě případů přechází na pigmenty organické, aby se vyloučilo znečišťování životního prostředí toxickými těžkými kovy, jako jsou rtuť, olovo, chrom a molybden. Jako bílý pigment je téměř výlučně používána nezávadná titanová běloba.

-Plniva jsou malé, pevné částice inertních materiálů, které se přidávají do pojiva s cílem zvýšit pevnost, tvrdost, tvarovou stálost, zlepšit zpracovatelnost, snížit hořlavost a smrštění a většinou také pro zlevnění produktu. Nejužívanějšími plnivy jsou uhličitán vápenatý (křída), mastek, kaolin, křemenná moučka, písek aluminiumtrihydrát (snížení hořlavosti), kysličník hořečnatý (zahušťování SMC prepregů), vločky kysličníku hlinitého (estetické efekty), kameninová drť atd. Plniva se přidávají podle typu a účelu použití v množství 30-400 hm.d. na 100 hm.d. matrice.

Zvláštním případem je koloidně srážený oxid křemičitý známý pod názvem Aerosil nebo Cabosil, který vytváří velmi lehké jemné vločky s enormně velkým specifickým povrchem a je proto užíván pro vytvoření tzv. thixotropního efektu – nestékavosti za klidového stavu jak v pryskyřicích, tak zejména v povrchových gelcoatových vrstvách.

Pro zvýšení tuhosti a snížení váhy se pro některé aplikace jako plnivo používají duté skleněné mikrokuličky (mikrobalony) o \varnothing 20 – 100 μ m.

-Separátory umožňují resp. usnadňují vyjímání vytvrzených kompozitních výrobků z forem nebo se používají jako oddělovací vrstvy v kontinuálních procesech. Separáčnické prostředky lze rozdělit do 4 hlavních skupin:

1) Foliové – celofán, polyetylen, polyethylentereftalát, polyamid, teflon slouží nejen jako separáčnické vrstvy, ale i jako nosiče materiálu např. při kontinuální výrobě desek nebo výrobě SMC prepregů a při vakuoinfuzních technologiích. Do této skupiny patří i polyvinylalkohol, který se nanáší ve formě vodně-lihového roztoku na formu, po vyschnutí vytvoří separáčnickou foliovou vrstvu, kterou je možno z formy i vylisku lehce smýt vodou.

2) Voskové, zejména na bázi tvrdého karnaubského vosku. Nejrozšířenější typ s mnoha modifikacemi pro normální i zvýšené zpracovatelské teploty. Dávají výrobku vysoký lesk, lze je použít i několikanásobně. Nesmí obsahovat silikony, které by znemožnily případnou následnou povrchovou úpravu nátěrovými hmotami.

3) Semipermanentní separátory pro mnohonásobné použití, většinou na bázi fluoroplastů.




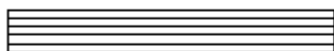

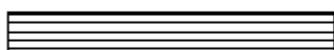





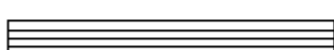





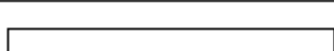

4) Vnitřní separátory, např. na bázi stearatů mastných kyselin. Používají se jako přídatek do pryskyřice při technologii tažení (pultruze). Při zpracování za tepla „vykvétají“ na povrch a zajišťují separáčnický efekt.

Všechny separátory patřící do skupin 2) a 3) jsou součástí komplexního systému péče o formu, počínaje brusnými a lešticími pastami přes plniče pórů až po odstraňovače starých vrstev separáčnických. Při aplikaci separáčnických těchto typů je třeba vždy přesně dodržovat pokyny výrobců pro oštění nových forem i pro následný běžný provoz nebo změnu typu separáčnického.

3.4 Příklad kladení jednotlivých vrstev tkaniny

[1]

Pořadí a způsob kladení jednotlivých tkanin je pro každou firmu tzv. know-how, a proto sehnat tyto údaje není vůbec jednoduché. Jako příklad uvádím spodní rámovou trubku horského kola z roku 2004 od firmy specialized.

Schéma	Pořadí	Rozměr textilie	Druh textilie	Pozice švů
	1		Jádro	
	2	15x66	Jednosměrná	
	3	15x66	Jednosměrná	
	4	8x66	Jednosměrná	
	5	15x66	Jednosměrná	
	6	15x66	Jednosměrná	
	7	3x60	Jednosměrná	
	8	3x15	Jednosměrná	
	9	15x48	Plátňová	
	10	120x125x0,08	Nylonová hadice	

obr.7: Uspořádání jednotlivých vrstev spodní rámové trubky firmou Specialized

Nulová vlákna – vlákna v pořadí 3.,4. a 7., které směřují od předu dozadu po celé délce trubky. Dodávají rámu podélnou pevnost v ohybu a tlaku

Ostatní vlákna – Tyto vlákna směřují pod úhly 45,3 nebo 22,5 (případně jejich záporné hodnoty) a dodávají rámu torzní tuhost

Menší kusy tkanin – Pomáhají spojům lépe snášet zatížení při menší změně hmotnosti

3.5 Příprava polotovaru pro výrobu kompozitního materiálu [1] [3]

Výroba polotovarů ať už trubek, které se pomocí spojek slepí do rámu, či monokokových rámových konstrukcí může probíhat podle následujících technologií:

3.5.1 metoda VARTM (vacuum assisted resin transfer molding)

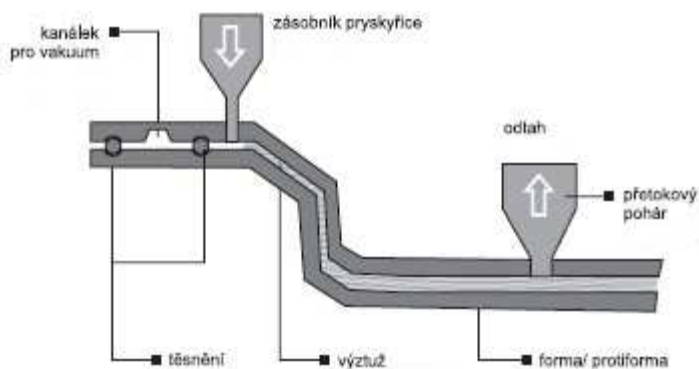
Princip spočívá v uložení vhodné karbonové tkaniny do formy, do které se pomocí vakuové pumpy vhání ze zásobníku pryskyřice (v případě výroby polotovaru pro jízdní kola se užívá pryskyřice epoxidová), která se následně vytvrzuje. Tento proces obecně probíhá podle následujícího postupu

-Suchá tkanina se vloží do formy a zakryje se horním dílem formy. V případě výroby trubek je nutné zajistit dutost trubek tím, že se tkanina navine na vzduchový vak, který bude držet vnitřní tvar trubky a po vytvrnutí pryskyřice je snadné jej odstranit.

- Vakuovou pumpou se vysaje vzduch, čímž je nasávána tekutá pryskyřice, která se nasákne do tkaniny a vyplní prostor ve formě. Nasávání pryskyřice probíhá až do okamžiku, kdy se začne plnit rezervoár. V tento moment nasávání ustane a začne probíhat tuhnutí pryskyřice. Záleží na typu pryskyřice, jestli je potřeba dodat teplo, aby ztuhla, nebo zda se použije dvousložková pryskyřice. Také záleží na způsobu nasávání pryskyřice, aby nedošlo k nadměrnému výskytu bublinek v matrici, což by mělo za následek snížení kvality výsledného produktu.

- VARTM je metoda vhodná například pro kontinuální výrobu prizmatických profilů, které se poté dělí a vlepují do spojek, nebo pro výrobu jednodušších profilů (např. plochých)

- RTM je metodou dá se říci stejnou jako VARTM s rozdílem, že pryskyřice je vháněna vnějším tlakem, nikoli vnitřním podtlakem



Obr.8: Vakuuminjekční technologie

3.5.2 metoda předimpregnace

Princip je velice podobný jako metoda VARTM s tím rozdílem, že pryskyřice není vháněna do formy pod tlakem, ale tkanina je tzv. předimpregnována tzn. namočena do pryskyřice, k dostání jsou také PREPREGY, které jsou z výroby už nasyceny pryskyřicí s přesně daným objemem. Pro ilustraci přesnější popis od firmy SPECIALIZED spočívající v pěti krocích:

- Výběr a příprava formy

Nejdražší část výroby rámu z kompozitních materiálů je výroba forem do nichž se tkanina vkládá. Na formu jsou kladeny vysoké nároky na přesnost a povrch. Na těchto parametrech závisí výsledný vzhled a kvalita rámu.

- Návin a vložení předimpregnované tkaniny do formy

Tato část výrobního postupu určuje výsledné mechanické vlastnosti rámu. Předimpregnovaná tkanina se navine na nylonové vzduchové polštáře. Výsledné mechanické vlastnosti rámu ovlivňuje především počet vrstev tkaniny, typy tkaniny a úhly směrů vláken, ve kterých má tkanina nejlepší mechanické vlastnosti. Poté co je takto připraveno se napojí vzduchové polštáře k vysokotlakému vzduchovému systému, aby přitiskly tkaninu k formě a aby bylo docíleno požadovaných vnějších i vnitřních rozměrů.

- Vytvrzení

Po uložení tkaniny do formy se forma zavře a uzamče, vloží na dopravníkový pás a nechá projet elektrickou pecí. V peci dosahuje teplota až 155°C, což způsobí, že se viskozita

pryskyřice sníží natolik, že se může rovnoměrně rozptýlit ve formě. Je důležité při tomto procesu dodržovat správný tlak v nylonových polštářích. Vliv tlaku na výsledný produkt vytvrzení je následující:

- Wet-out efekt - požadovaný efekt, při kterém dojde k vytlačení 4-8% pryskyřice z formy.
- vznik míst s vyšším množstvím pryskyřice, způsobující zvýšení hmotnosti při nižším než požadovaném tlaku
- vznik míst s nižším množstvím pryskyřice, což způsobí oslabení konstrukce rámu při nižším než požadovaném tlaku
- nadměrné vytěsňování směsi při vyšším než požadovaném tlaku

- **Zchlazení**

Po zahřátí formy se udržuje teplota asi 30 minut na stejné teplotě. Potom se nechá forma schladnout dalších 20-30 minut.

- **Vyjmutí rámu z formy**

Po této výrobní proceduře se musí zkontrolovat, zda nedošlo k nějaké chybě a zda nejsou viditelné nějaké známky defektu, což znamená vyřazení rámu do zmetků.

Tato technologie umožňuje výrobu tvarově složitějších tvarů než u VARTM, z hlediska kvality takto získaného materiálu jsou tyto dvě metody srovnatelné.



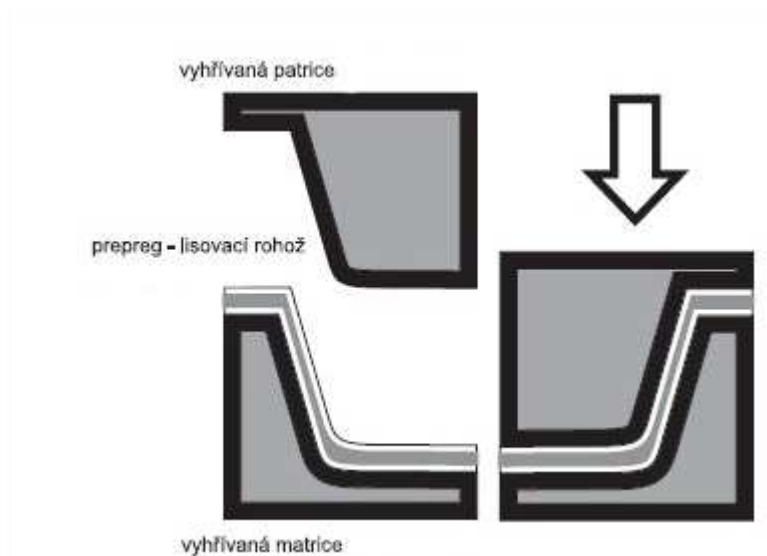
obr.9: Výroba monocoque rámu pomocí metody předimpregnace

Výše popsané metody jsou nejrozšířenější v produkci rámu jízdních kol. Volba potřebné technologie závisí především na tom, jak se při výrobě a užití osvědčila, co do kvality, tak do ekonomické stránky věci. Dále uvedu schématicky další možné a nepřliš časté metody formování a vytvrzování uhlíko-epoxidového kompozitu.

Při popisu následujících technologií jsem čerpal z www.havel-composites.com od firmy Havel composites, kde se nacházejí texty jichž autor je ing. Miroslav Havel

3.5.3 Lisování za tepla a tlaku

Provádí se za zvýšených teplot a tlaků ve dvou nebo vícedílných kovových formách, které musí mít leštěné nebo lépe tvrdě chromované pracovní povrchy. Formy se vyhřívají nejčastěji elektricky nebo topným médiem a jsou upevněny v hydraulických lisech schopných vyvodit tlaky 10-300 Mpa . Výchozím materiálem jsou buď prepregy- tzv. lisovací rohože (SMC – sheet moulding compounds), lisovací těsta (DMC- dough moulding compounds) nebo lisovací směsi -premixy (BMC – bulk moulding compounds).



obr.10: Schéma lisování za tepla a tlaku

Lisování za tepla a tlaku je jednou z nejproduktivnějších výrobních technologií pro velkoseriovou výrobu (2-5 tis. kusů) malých a středně velkých dílů. Výhodou jsou krátké výrobní cykly v řádu několika minut, vysoká reprodukovatelnost kvality a rozměrů a možnost automatizace procesu.

Nevýhodou jsou vysoké pořizovací náklady na lisy a formy.

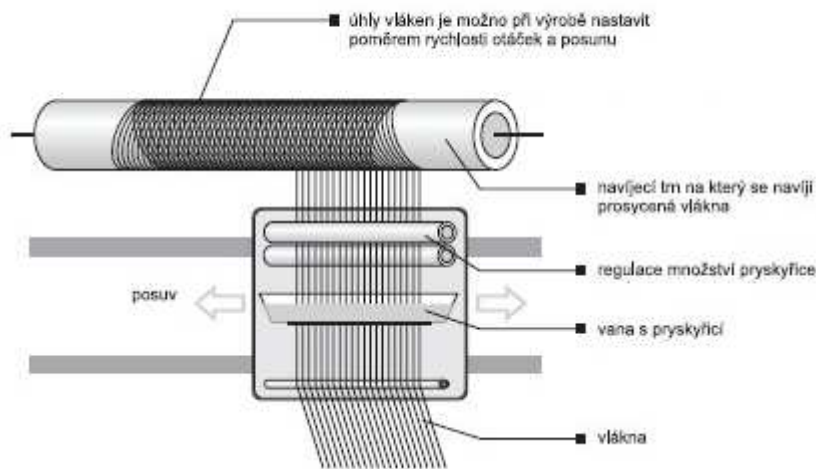
3.5.4 Navíjení

Při technologii navíjení se výztuž, většinou skleněná, ale i uhlíková nebo aramidové pramence impregnované pojivem ovíjejí na jádro (trn) ve tvaru výrobku. Takto se vyrábějí kompozitní dutá tělesa – trubky, nádrže a nádoby různého i proměnného tvaru a velikosti.

Pohyb ukládacího ramene podél osy za současné rotace trnu a poloha ukládacího oka dovolují přesné kladení vláken v několika osách a umožňují vytváření i relativně složitých tvarů.

Proces navíjení je plně řízen počítači.

V impregnačním a naváděcím zařízení se výztuži uděluje určité předpětí, které umožňuje přesné uložení na jádro. Poměrem rychlosti otáčení trnu a posunem ukládacího zařízení lze regulovat úhel návinu od 90° (obvodový návin) přes křížový návin s různým navíjecím úhlem až po 0°, např. osové vyztužení hřídelí a trubek. Díky rozebíratelným a vyjímatelným trnům lze tzv. integrálním navíjením získat kompletní nádoby včetně dnů a vrchlíků pouze s malými polárními otvory.



obr.11: Schéma metody navíjení

Technologie navíjení je jednou z nejprogressivnějších metod pro výrobu dutých těles z kompozitů.

Investiční náročnost je dána cenou navíjecího stroje a náklady na navíjecí trny. Běžně se navíjením vyrábějí trubky od průměru 150 mm do 3000 mm a nádrže od 1 m² až do 100 m². Je možné vyrábět i trubky menší než 150mm určené pro rámy horských kol.

3.5.5 Vakuové prosyčování

Technologie obdobná RTM light, odpadá zcela injekční zařízení. Užívají se 3 modifikace:

1) Vakuové prosyčování s pružnou vrchní částí formy. Spodní forma je tuhá, podobně jako u RTM light s odsávacími kanálky, vrchní část, nejčastěji kompozitní, má určitou pružnost, která reguluje přítlak, uzavírací sílu a prosyčování zajišťuje vakuum 0.6-0.8 bar.

Pojivo je buď přiváděno ze zásobníku nebo se před uzavřením formy zhruba rozprostře na suchou výztuž. Metoda je vhodná pro oboustranně hladké dílce, do kterých mohou být zakomponovány jádrové materiály – pěny nebo voštiny- pro vytvoření sendvičové struktury.

2) Vakuové prosyčování pod pružnou folií. Technologie má mnoho společného s lisováním pomocí vakua. Spodní forma je klasického typu jako pro ruční kladení. Místo druhé části formy se používá pružná folie, která je k okrajům formy připevněna těsníci pásky.

Iniciované pojivo se přisává ze zásobníku, v případě velkorozměrných dílců se rozvádí perforovanými trubičkami až do vzdálenějších míst. Vakuum je aplikováno na obvodu formy pomocí kanálku, vytvořeného těsníci profily.

3) Metoda SCRIMP je velmi podobná metodě 2), pouze rozvod pryskyřice je zajišťován speciální sítí, umístěnou na celý povrch suché výztuže. Závěr tvoří opět pružná folie. Pracovní cykly jsou ovšem delší, někdy až několik hodin. Infuzí prosyčování je vhodné pro malé až střední serie.



obr.12: Schéma metody vakuového prosvycování

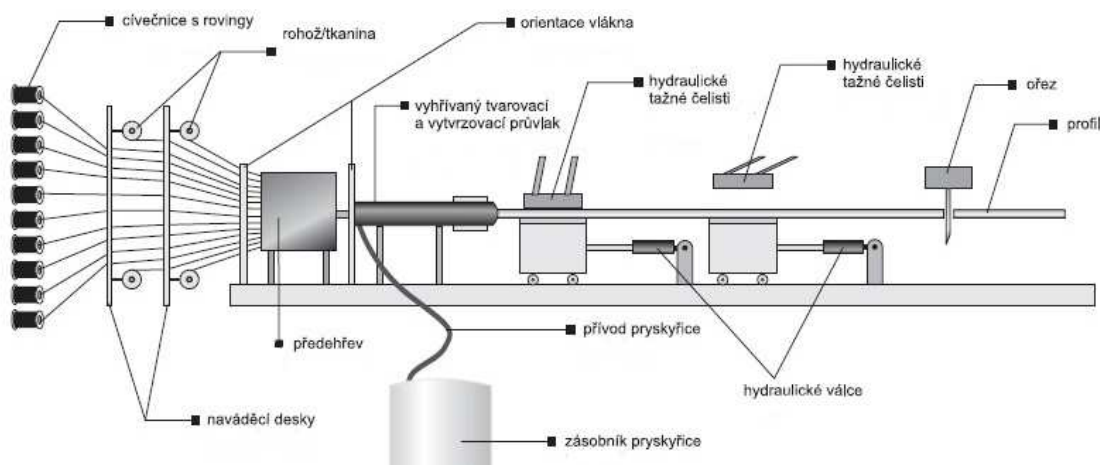
3.5.6 Tažení (pultruze)

Touto metodou lze vyrábět velmi efektivně kontinuálním způsobem různé plné, duté i tvarové profily s vysokým obsahem výztuže (až do 80%). Výztuž, nejčastěji skleněná, ale i uhlíkové nebo i jiné pramence případně v kombinaci se stuhami z tkanin nebo rohoží pro získání příčného vyztužení, prochází lázní s iniciovanou pryskyřicí a po prosycení a odždímání přebytečné pryskyřice je vtahována do tvarovacích a vytvrzovacích průvlaků (forem), jejichž dutina odpovídá vnějšímu tvaru vyráběných profilů. Modifikací této technologie je tlakové prosvycování suché výztuže až v počáteční sekci formy.

V průvlaklu dochází buď působením sdíleného tepla (formy jsou vyhřívány elektricky nebo topným médiem) nebo vývojem tepla účinkem vysokofrekvenčního pole k vytvrzení. Kompozitní profil je odtahován regulovatelnou rychlostí hydraulickými čelistmi nebo pásovými elementy a dělen na požadovanou délku.

Variantou prosté pultruze je tzv. pulforming, kdy se během semikontinuálního procesu táhne prosycená výztuž, které je v následujícím kroku v dvoudílné vyhřívané formě udělen konečný tvar, např. listové eliptické pero-pružina s proměnným průřezem po délce.

Technologie je vhodná pro kontinuální výrobu profilů od velmi tenkých a jednoduchých (1 mm pásky pro vyztužení hokejek a lyží) až po velmi složité a rozměrné (šíře a výška několik desítek cm, tloušťka stěny až 15 mm).



obr.13: Schéma metody tažení

Volba technologie, kterou se budou vyrábět buď polotovary nebo celé monokokové rámy závisí na ekonomickém zvážení možností výrobce, zda se budou vyrábět velké série, nebo menší počty kusů. Různými technologiemi lze dosáhnout stejných kvalitativních výsledků

produkce. Rozdíl je v rychlosti výroby, stupni automatizace, nákladech na pořízení strojů a nákladech na výrobu produktu.

4 Konstrukce rámu horských kol

4.1 Rozdělení z hlediska terminologie jednotlivých komponent rámu

4.1.1 Rámy typu “hardtail a mediumtail”



obr.14: Rozvržení rámu hardtail

- 1 - zadní stavba rámu, zadní trojúhelník (na obrázku provedení PELL'S Medium tail)
- 2 - sedlová spojka spojující sedlovou trubku, rámovou trubku a zadní stavbu kola
- 3 - sedlová trubka
- 4 - střed
- 5 - horní rámová trubka
- 6 - spodní rámová trubka
- 7 - hlavová trubka

4.1.2 Rámy typu “softtail” - celoodpružené

Na trhu se nachází spousta konstrukčních řešení rámu typu softtail. Většinou jsou tyto konstrukce vybaveny tlumiči a odpružením, které vstřebávají síly od zadního kola. To je připevněno pomocí čtyřčepového mechanismu k rámu kola. Rozdíly potom spočívají v provedení tohoto mechanismu a trajektorii, kterou opisuje osa kola. Pro ilustraci uvedu několik z nich.

Merida All mountain

Tento systém charakterizuje čtyřčepová konstrukce s tlumičem umístěným před sedlovou trubkou.



obr.15: Systém Merida All mountain

Giant Maestro

Způsob umístění čepů a přepákování tvoří virtuální čep, který zvyšuje efektivitu přenosu energie bez pohupování zadní stavby. Pružení má lineární průběh a je citlivé i na nejmenší nerovnosti, je nezávislé na speciálních tlumičích, není ovlivněno bržděním a udržuje stále napětí řetězu.



obr.16: Systém Giant Maestro

PSSP (Pell's simple and strong pivot)

Garantuje velkou boční tuhost rámu, dlouhodobou životnost a minimální nároky na údržbu. Spojení předního rámového trojúhelníku se zadní odpruženou částí je realizováno pomocí těsněných ložisek velkých průměrů. V tomto případě se nejedná o čtyřčepový mechanismus, ale osa kola má kruhovou trajektorii se středem v hlavním čepu.



obr.17: Systém PSSP

Trek OCLV(Optimum Compaction Low Void)

Koncepce odpružení bez otočných uložení stojí na pružnosti materiálu. Osvědčený a úspěšný kevlarový blok hlavního trojúhelníku a zadních ramen je doplněn přes vlepené duralové patky o třmen vzpěr (kevlarové trubky a duralový oblouk). Mezi zadní stavbou a sedlovou trubkou je vzduchový tlumič RockShox SID.



obr.18: Systém Trek OCLV

Specialized FSR

Díky umístění čtyřčepového systému je osa v téměř vertikální rovině a síla působící od řetězu je téměř kolmá, což nezpůsobuje odezvy – odpružení téměř nezpůsobuje zpětné pohyby při šlapání a údajně je nezávislé na brždění.

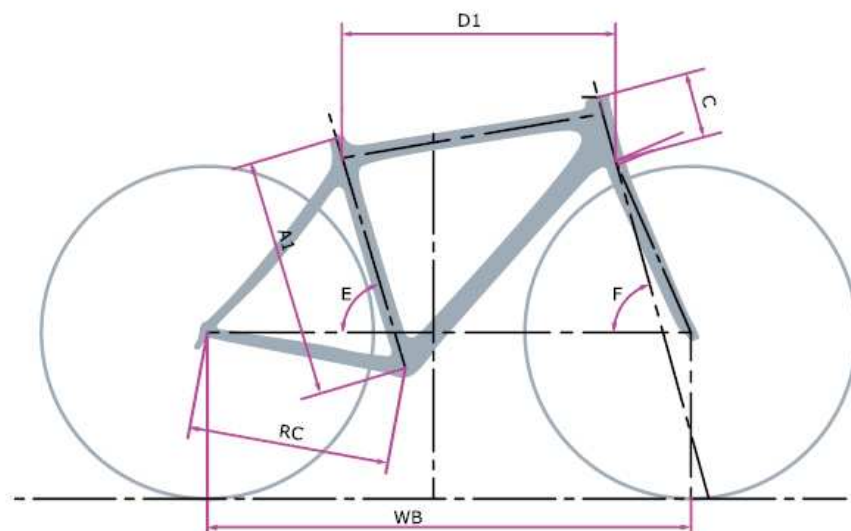


obr.19: Systém Specialized FSR

4.2 Konstrukční uspořádání rámu

4.2.1 Geometrie rámu typu Hardtail

Týká se především uspořádání, velikostí úhlů a délek jednotlivých částí popsaných v bodě 3.1.1. Cílem je nastavit rám tak, aby odpovídal co nejlépe fyziologickým parametrům jezdce. V případě sériové výroby je několik vyráběných rozměrů daného typu rámu. V případě kusové výroby například pro závodníky a zámožné zákazníky je možno tyto parametry nastavit individuálně.



obr.20: Geometrie rámu hardtail

A1 – Velikost rámu – U většiny rámu se udává v palcích. Sériově vyráběné rozměry běžně jsou od 14“-23“ Další rozměry se odvíjí od tohoto rozměru.

D1 – Délka horní rámové trubky (sériově 51-63cm)

C – Délka hlavové trubky (12-20cm)

E – Úhel sedlové trubky (69-75°)

F – Úhel hlavové trubky (67-73°)

RC – Délka zadní stavby (40-45cm)

WB – Rozvor kol (98-110cm)

Toto jsou nejčastěji používané rozměry pro horská kola rámu hardtail u firmy Giant bicycles. Z této škály rozměrů volí konstruktér optimální rozměry odpovídající fyziologickým parametrům cílové skupiny uživatelů. Jestliže se jedná o závodníky, nebo zámožné klienty co se rádi liší, může konstruktér navrhnout i rozměry jiné, přesně podle přání zákazníka. V případě horských kompozitních rámu bude ovšem cena mnohem více převyšovat cenu sériově vyráběného rámu podle zvolené technologie.

Geometrií rámu typu softtail se nadále v tomto rozsahu nebudu zabývat, protože druhů užití je příliš mnoho a není příliš předmětné se jimi zabývat. Navíc se nedá užít jakýchsi univerzálních rozměrů, jako v případě rámu hardtail, protože se většinou jejich konstrukce velmi liší a bylo by zbytečné se každým zvlášť zabývat. Samozřejmě je toto pojetí výroby a konstrukce rámu je velice rozšířené a markantní, proto v následující kapitole provedu jakési srovnání těchto systémů navzájem.

4.2.2 Zhodnocení různých druhů odpružení zadního kola [2]

Propojení (podélná dráha osy)

U některých systémů propojení se zadní osa nepohybuje svisle, ale podélně, nahoru a dolů od článků řetězu. Tím se sice získá pevná základna pro šlapání, ale na úkor několikanásobného snížení odpružení, protože odpružení je (v tomto případě) ovlivněno zátěží řetězu a je méně odolný vůči nárazům. Systémy propojení, které využívají podélné dráhy osy, mají většinou nulový zdvih. Navíc je zadní odpružení ovlivněno brzdými silami.



obr.21: Zadní odpružení s podélnou dráhou osy

Jeden čep (oblouková dráha osy)

Jakýkoliv design, kde je zadní kolo připojeno ke stejné části jako hlavní čep, je tzv. jednočepová konstrukce. Protože se zadní kolo pohybuje v oblouku okolo hlavního čepu, mění se vzdálenost mezi čepem a články řetězu. Změna vzdálenosti způsobuje to, že zátěž řetězu ovlivňuje odpružení a odpružení není plně aktivní, protože se volně nestlačuje a neroztahuje. Zpětné pohyby při šlapání okrádají cyklistu o energii.

Ve zkratce - odpružení je ovlivněno při jízdě na volnoběh, šlapání i brzdění.



obr.22: Zadní odpružení s obloukovou dráhou osy

Virtuální (vypouklá dráha osy)

Následkem přirozené závislosti (zatížení řetězu ovlivňuje odpružení a zdvih odpružení ovlivňuje šlapání) konstrukce s virtuálním čepem je ztráta výkonnosti. Nejenže šlapání ovlivňuje pozici kola a snižuje pohyb, ale ovlivňuje také schopnost odpružení volně reagovat na nerovnosti a nárazy, což snižuje pohodlí, kontrolu a výkon při jízdě. Snížena je také účinnost šlapání, protože měnící se vzdálenost mezi čepem a články řetězu vytváří zpětný pohyb v závislosti na pozici zadního kola při otáčení.

Ve zkratce - výsledkem této konstrukce je odpružení, které je nějakým způsobem aktivní při jízdě na volnoběh, ale podstatně méně aktivní při šlapání a brzdění. Tato konstrukce je také stejně náchylná jako konstrukce s jedním čepem: stlačování a roztahování pružiny bude ovlivňovat výkon při šlapání (zpětný pohyb).



obr.23: Zadní odpružení s vypouklou dráhou osy

Mono-propojení (dráha osy ve tvaru písmenu J)

Systém monopropojení využívá zvyšující se vzdálenosti mezi čepem a články řetězu, což má za následek ztužení odpružení při šlapání. Stejně jako u ostatních závislých systémů, i v tomto případě je šlapání účinnější na úkor pohodlí, kontroly a výkonu.

Takže, další systém odpružení, který bude ovlivňován při jízdě na volnoběh, šlapání i brzdění. A stejně jako u většiny ostatních konstrukcí - při šlapání se vytváří zpětný pohyb.



obr.24: Zadní odpružení s dráhou osy tvaru J

Vícečepové (měnící se dráha osy)

I přesto, že jsou některé "vícečepové" konstrukce odpružení obdivuhodně nezávislé, pravdou je, že čep přidaný za BB se prakticky vůbec nepohybuje, takže tento systém odpružení většinou funguje stejně jako klasický systém s jedním čepem. Opět vzniká zpětný pohyb při šlapání a brzdové síly mají tendenci snižovat odpružení, což ovlivňuje jeho schopnost mapovat terén.



obr.25: Zadní odpružení s měnící se dráhou osy

Zpětná vazba (zpětný pohyb) způsobuje nechtěnou sílu působící proti pohybu pedálů, která vzniká při pohybu zadního kola - při pružení se zadní kolo vzdaluje od převodníků a řetěz tuto změnu kompenzuje napětím. To má za následek tendenci k otočení převodníků vzad, což vyžaduje od jezdce více energie, aby tento protipohyb překonal.

5 Technologické rozdělení kompozitních rámců horských kol

Z technologického hlediska rozdělujeme kompozitní rámy do následujících kategorií

5.1 rámy vzniklé vlepením karbonových trubek do kovových spojek

[8]

Využívá se většinou spojek vyrobených z hliníkové slitiny nebo z titanu. U trubek a spojek se provede vhodná povrchová úprava, aby byl povrch lepených částí vhodný pro lepení epoxidovým lepidlem. Tato technologie se osvědčila především ve vysoké flexibilitě při vytváření geometrie rámu, je možno vyrobit rám na míru, opravy tohoto rámu nejsou příliš náročné, při navrhování trubek pro daný rám může být docíleno vyšší přesnosti co do počtu nápletů a bezpečnost pro jakou je profil dimenzován nemusí být zbytečně vysoká, aby bylo rovněž docíleno ekonomické výroby. Nevýhodou jsou vyšší výrobní náklady a při využití možnosti výroby rámu na míru je potřeba dostatek kvalifikovaného personálu.

Tato technologie bude rozvedena do větších detailů v této práci, protože již podle zadání je primární problém lepení rámců horských kol, což poskytuje tato a následující technologie výroby rámců.



obr.26: Vlepování do spojek

5.1.1 Příprava polotovarů

Trubky, získané metodami výše popsanými se podle technologie výroby trubky zkrátí na potřebný rozměr

- dělením u kontinuálního procesu výroby (pultruze, navíjení)

- zkrácením, případně ostřížením přečnávající tkaniny, v případě nekontinuální výroby

Po získání potřebných polotovarů se musí plochy pro lepení patřičně připravit, aby došlo k co nejlepším výsledkům lepení:

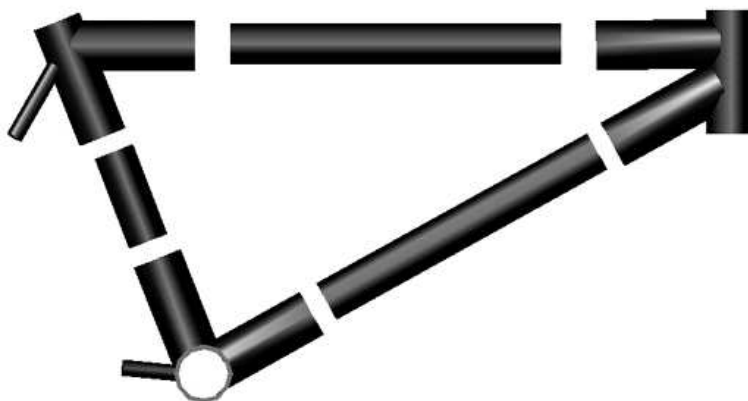
- Z povrchu se nejprve odstraní zbytky separátorů
- Plochy určené pro lepení se lehce zdrsní, aniž by se porušila celistvost první vrstvy textilie. Nejlepší výsledky lepení se dosahují na rovnoměrně opískovaných plochách.
- Po zdrsnění povrchu se musí plochy odmastit. K odmaštění se používá alkohol, benzín, nebo směs těchto rozpouštědel.

Spojky, kovové nebo uhlíkové, získané dostupnou technologií (svařování, obrábění, VARTM), musí být co nejlépe odmaštěny, zbaveny nečistot a zbaveny otřepů, v případě potřeby musí být předem provedeny povrchové mechanické a chemicko tepelné úpravy. Potom co se konstrukce slepí už není možné nijak ovlivnit mechanické vlastnosti spojky.

Kompletace komponent

Je nutné, než se začne připravovat lepidlo, aby všechny části rámu byly připraveny. V případě užití dvousložkového epoxidu je pracovník limitován dobou tuhnutí lepidla.

Všechny lepené části musí být navzájem vyrobeny s velmi malou vůlí (v řádech desetin milimetrů), aby se netvořila zbytečně velká vrstva lepidla, nebo, aby nedošlo k vytlačení lepidla v případě přesahu.



obr.27: Díly rámu před slepením

5.1.2 Výběr lepidla

Pro výběr lepidla se musí dodržovat základní poučka při lepení a svařování a to taková, že přidaný materiál musí mít lepší mechanické vlastnosti než materiál základní. Pro lepení epoxidu volíme epoxidové lepidlo. Jsou na výběr epoxidová lepidla, co do rychlosti tuhnutí: rychlotuhnoucí, klasická a vytvrditelná teplem.

Pro daný problém byly zvoleny pro svůj velký sortiment lepidla značky Henkel Loctite.

Výběr lepidel Henkel Loctite probíhá následovně:

-Sortiment lepidel Loctite je rozdělen do několika kategorií podle vlastností a druhu lepeného materiálu. Pro aplikaci na lepení rámu budou potřeba lepidla houževnatá, aby spoj odolával rázům a unesl poměrně velikou sílu na stříh. Proto byla vybrána kategorie houževnatých epoxidových lepidel.

-Houževnatá epoxidová lepidla se rozdělují na výše zmiňované kategorie. Podle faktu, zda si výrobce rámu vyrábí i trubky, což u jistých technologií vyžaduje pec pro vypalování polotovarů bude zvoleno lepidlo teplem vytvrditelné. V porovnání s jinými lepidly je epoxid

vytvrditelný teplem na tom, co se týče mechanických vlastností mnohem lépe než jiná lepidla, proto se doporučuje.

Příklad: dvousložkový Loctite Hysol 9464 A&B a Loctite Hysol 9514 teplem vytvrditelný.

	Dvousložkové	Teplem vytvrditelné
Mez pevnosti ve smyku [Mpa]	22	46
Mez odlupování [Mpa]	10,5	9,5

5.1.3 Lepení

Cílem lepení je vytvořit hotovou konstrukci, kterou už čeká jenom povrchová úprava a osazení díly. Aby bylo lepení co možná nejkvalitnější a aby se co nejvíce zanedbalo chyby lidského faktoru, tak se používají tzv. montážní rámy.

Montážní rámy jsou seřizeny tak, aby bylo možno montážní celek do něj upnout a nechat vytvrdit lepidlo. Po natření, případně ponoření lepících ploch do lepidla se rám sestaví a po tomto sestavení se upne do onoho montážního rámu, který celou konstrukci přidrží a díky zajišťovacím šroubům se nastaví potřebné předpětí v lepených spojích stlačením. Takto připravený rám může jít buď do pece nebo se nechat na vzduchu vytvrdit pomocí dvousložkových lepidel. V případě teplem vytvrditelného lepidla, tedy již zmiňovaný Loctite Hysol 9514 se v peci nechá 30 min při teplotě 120°C. Lepidlo LH 9464 začne tuhnout za 20 min. po přidání tvrdidla a tuhne dalších 180 min. Tento údaj samozřejmě je potřeba experimentálně odzkoušet, aby nedošlo k nějakým vadám způsobeným nedostatečně zatuhlým lepidlem.

5.2 rámy vzniklé vlepením karbonových trubek do karbonových spojek [8]

Tato technologie je velice podobná technologii využívající kovové spojky. Spojky se vyrábí ve speciálních formách, což umožňuje rychlejší a za daných podmínek kvalitnější sériovou výrobu. Podmínka je použití kvalitního anizotropního uhlíkového polotovaru, protože při použití méně kvalitních je nutnost použít tlustších spojek a ty se stejně při zachování řádově stejných rozměrů materiálovými charakteristikami nevyrovnají. Výhodou této technologie je jednoduchost montáže, tedy lepení, které probíhá ve speciálních přípravcích a následné lepení je už jen poskládání stavebnice, což klade menší nároky na personál a nižší náklady na výrobu spojek jsou taky dobrým důvodem užití této technologie. Nevýhodou se stává díky sériovosti nemožnost výroby rámu na míru.



obr.28: Kompozitní spojka rámu

5.3 monokokové rámy - "z jednoho kusu"

[8]

Při výrobě rámu touto technologií je důležité vše pečlivě předem propočítat a vyhodnotit. Pro různé typy rámu je potřeba vyrobit zvláštní formu. Poté co je vyrobena forma je už samotná výroba jednoduše sériově realizovatelná a probíhá velmi rychle. Musí ale být kladen důraz na pečlivé skládání vrstev a zachovávání předepsaných úhlů nápletu, aby bylo docíleno optimálních výsledků. Je ale potřeba vzít v potaz rozložení silového působení na rám a podle toho přizpůsobit náplet. Toho se nejčastěji dosahuje empirií a sérií destruktivních zkoušek. Většinou se používá izotropní karbonové tkaniny, která vyhovuje díky svým přijatelným vlastnostem, ale k vyrobení rámu, který optimálně splňuje požadované kritéria a dokáže odolat rázovému zatížení, ke kterému vzhledem k využití jistě dojde, je potřeba vzít v potaz i tento aspekt. Nevýhodou je jako u metody vlepvání do karbonových spojek nemožnost výroby rámu na míru a například úprava geometrie pro potřebu cyklisty

5.4 kombinace rámu z hliníkové slitiny a karbonových segmentů - Medium tail [8]

Tato kombinace je realizována pomocí dvou karbonových planžet, které nahrazují odpružení zadního kola. Tohoto je docíleno vertikálním zploštěním zadní stavby - planžet, což umožňuje pohyb, který díky nižší tuhosti tlumí rázy vzniklé při jízdě. V horizontálním směru si systém zachovává vysokou "boční" tuhost. Sestavení tohoto rámu je realizován díky svaření celého rámu, do kterého se vlepí planžety.

5.5 výroba přesně tvarovaných segmentů

[8]

Tyto segmenty nejsou vlepvány do předem připravených spojek, ale sestavovány a spojovány do jednoho celku přesně definovaným postupem pomocí anizotropního kompozitu se spojitými vlákny. Tento postup vyžaduje veliký podíl ruční práce a kvalitního profesionála. Nevýhodou je, že se jedná se o současnou nejdražší technologii výroby kompozitních rámu a týká se spíše kusové výroby drahých a kvalitních rámu.

6 Zkoušení

Jakost rámu jakožto montážního celku je závislá na třech aspektech

- Přené dodržení výrobního postupu polotovarů (trubek, spojek a v případě monokokových konstrukcí celého rámu), co do rozměrů tak do složení.
- Kvalitně dimenzované a lepené spoje.
- Dosažená potřebná přesnost při sestavování.

Z těchto tří aspektů vyplývá množství zkoušek, které je nutno pravidelně provádět, jimiž bude věnována tato část.

6.1 Zkoušení výchozího materiálu

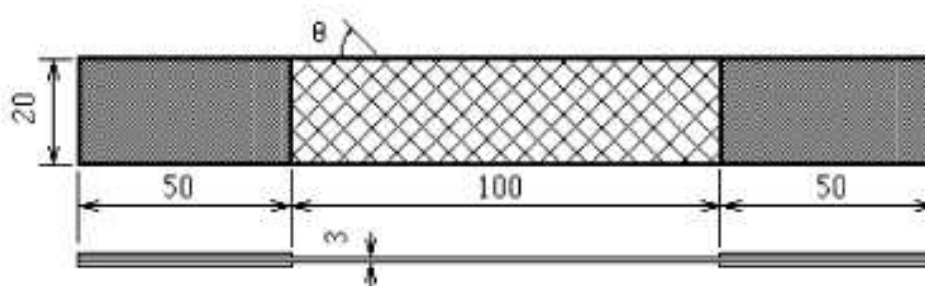
Provádí se především tahová zkouška vzorků materiálu, zda splňují potřebné limity. Především se počítá se zatížením ve směru vláken, která jsou tak nasměrovaná, aby zatížení působilo co nejvíce v axiálním směru vláken. Tyto zkoušky jsou nutné především proto, že například vrstva jednosměrně orientované tkaniny, na kterou momentálně působí největší zatížení může být přeřezávána vrstvou jiných vláken, které nejsou tolik zatížené, ale působí jako koncentrátoři napětí, což může vést k porušení kontinuálního vlákna a později k narušení parametrů celé konstrukce.

Dále je vhodné testovat materiál na průraz, což není u horských kol běžné, že by byly tímto způsobem zatíženy, ale množství proražených kompozitních rámu od nárazu například kamene není pro tuto činnost nezajímavé.

6.1.1 Vzorky pro zkoušku tahem

[7]

Vytvoří se tolik vzorků, kolik různých tkanin bylo použito, aby se vystihly pokud možno všechny hlavní axiální směry vláken. Tyto vzorky se vytvoří pro každý z nich. Každý vzorek je opatřen nalisovaným obalem pro uchycení z hliníkové slitiny podle rozměrů uvedených na obrázku.



obr.29: Zkušební vzorek pro zkoušku tahem

6.1.2 Vyhodnocení zkoušky tahem

[7]

Série testů se provádí jak pro různé úhly vláken, tak pro různé teploty při statickém a dynamickém zatížení, aby byly výsledky komplexní. Z výsledků tahové zkoušky se následně určí nejnáchylnější místo k tomu, aby se mohla vytvořit vada při používání. Po tom co se vyhodnotí více sérií vzorků materiálu je jasně viditelné, jestli je vše v pořádku. Jestli se vyskytne problém je potom na zváženu, zda není materiál špatně navržen, nebo zda byl špatně dodržen výrobní postup materiálu. Při testování musí vzít pracovníci v potaz, že si nejsou vlákna co se týče zatížení rovnocenná, protože na ně působí při provozu různě velké síly. Výsledky testu potom mohou vypadat viz. obr.



obr.30: Zkušební vzorky po provedení zkoušky tahem

6.2 Zkoušení lepených spojů

[5]

Existuje množství metod navržených pro hodnocení lepených spojů, ale z nich převažují zkoušky destruktivní spočívající v hodnocení pevnosti spoje namáhaného ve smyku, lámavosti a rázu. Doplnkovými zkouškami bývají zkoušky pevnosti spojů při statickém zatížení a zkoušky trvalé pevnosti za zvolených podmínek, např. za zvýšené teploty, nebo po expozici v různých kapalinách. Výsledek potom slouží jako podklad pro konstrukční výpočty.

6.2.1 Metody destruktivní

-Pevnost lepených spojů ve smyku

Zkouška spočívá v namáhání přeplátovaného spoje statickým tahem ve směru podélné osy do porušení vzorku. Při zatížení může dojít k vychýlení nebo k deformaci roviny lepeného spoje, což může vést k nerovnoměrnému silovému rozložení. Takovéto měření jsou zkruslená a nedají se výsledky považovat za „čistou“ pevnost ve smyku. V případě, že se tento jev vyskytne, je potřeba navrhnout úpravy vzorku, aby k tomu nedocházelo.

-Pevnost lepených spojů při namáhání rázem

Rázová pevnost spojů je nejmenší síla potřebná k porušení zkušebního vzorku rázem. Při této zkoušce je vzorek namáhán ve smyku rázovým tlakem ve směru podélné osy. Zkouška se provádí na kyvadlovém přístroji.

-Zkouška lámavosti lepených spojů

Při drobných elastických deformacích v spojích může dojít k jistému odlupování, ale spíše lámání lepeného spoje, proto je potřeba tyto zkoušky provádět také, i když se může zdát, že jsou irelevantní. Zkouška probíhá při zatížení lepeného spoje kolmo na podélnou osu a plochu spoje do porušení zkušebního tělesa.

-Zkouška pevnosti spojů při statickém zatížení

Zkušební tělesa se zatíží na stanovenou dobu a zkoumá se, zda spoj zůstal soudržný, nebo zda se nějak nezdeformoval

-Zkouška trvalé pevnosti za zvolených podmínek

Umožňuje zjistit chování lepeného spoje při trvalém používání. V praxi je spoj podroben dlouhodobému namáhání, vlivům teploty a prostředí. Tyto aspekty jsou příčinou stárnutí. Časově náročný průběh zkoušky přirozeného stárnutí je v laboratorních podmínkách nahrazen zkušebními cykly, během nichž je vzorek vystaven střídavému působení např. vroucí vody, proudění suchého vzduchu apod. Přesné výsledky může přinést pouze dlouhodobé zatěžování spoje, proto jsou tyto údaje spíše orientační.

Pozn. Optimální výsledek destruktivní zkoušky při testování lepených konstrukcích rámu horských kol je porušení spoje v základním materiálu.

6.2.2 Metody nedestruktivní

Umožňují ověřit jakost, aniž by byl vzorek (rám) zničen nebo poškozen. Nelze jimi ale měřit pevnost lepeného spoje. Naproti tomu umožňují zjistit skryté vady spojů.

-Akustická defektoskopie

Těleso vydává po rozkmitání v místech vadného spoje zvuk jiné amplitudy, jiné vlnové délky a zvukového spektra než v místech kvalitního spoje.

-Optické zkušební metody

Spočívá v prosvětlování spojů buď intenzivním světelným zdrojem nebo rentgenovými paprsky.

-Defektoskopie pomocí radioizotopů

Do lepidla se přidá vhodný radioizotop a poté se kontroluje jeho rozložení ve spoji.

-Ultrazvuková defektoskopie

Montážní celek se umístí mezi ultrazvukový generátor a přijímač ultrazvukových vln, čímž se zjišťují místa s vadným slepením.

6.3 Zkoušení únosnosti montážního celku

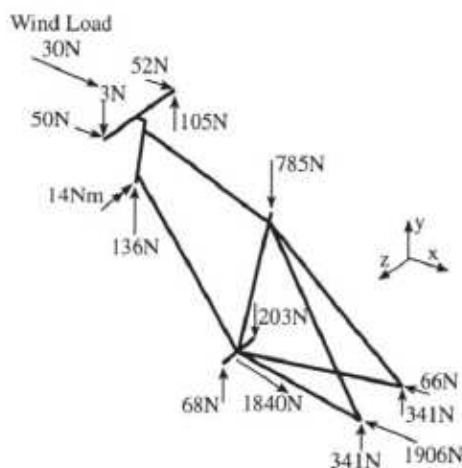
Po sestavení rámu je ještě nutné ověřit jisté údaje, týkající se jízdních vlastností. Zkouška torzní tuhosti pomůže vytvořit si představu jak se bude rám „chovat“ v zatáčkách, zkouška vertikální poddajnosti jak je schopen rám tlumit rázy a zkouška tuhosti zadní vzpěry zase jak

se prohne zadní stavba při plném zatížení rámu. Pro simulaci těchto podmínek je také potřeba vědět jaké silové zatížení bude působit a jak bude rozloženo.

6.3.1 Silové působení na rám

[6]

Tímto tématem se při navrhování kompozitního rámu zabývali Larry B. Lessard, James A. Nemes a Patrick L. Lizotte z McGill University v kanadském Montrealu. Jako vstup pro další výpočty pomocí MKP jim sloužilo následující schéma, zachycující závodníka (75kg, 180cm) jedoucího rychlostí 50km/h v aerodynamické poloze při sprintu po hladké trati na rámu velikosti 58cm(tj. v používanější míře 21“) s přihlédnutím k aerodynamickému odporu.



obr.31: Silové působení na rám při jízdě

6.3.2 Zkouška torzní tuhosti

[1]

Při tomto testu je rám uchycen v blízkosti zadních patek a v malém bodu uprostřed hlavové trubky. Zatěžováním vzpěry vedoucí z hlavové trubky se měří podélné torzní prohnutí rámu. Toto se vztahuje na boční ohyb celého rámu a nikoliv pouze na jednotlivé části. Získané hodnoty se odrážejí na skutečných jízdních vlastnostech.



obr.32: Realizace zkoušky torzní tuhosti

6.3.3 Zkouška vertikální poddajnosti

[1]

Při testování vertikální poddajnosti je každý rám upevněn za hlavovou trubku a zadní patky. Série opakovaného zatížení je aplikována na upínadlo sedla (konec sedlové trubky). Prohnutí nám ukazuje, jak rám a sedlová část dokáží tlumit nárazy ve svislé rovině.



obr.33: Realizace zkoušky vertikální poddajnosti

6.3.4 Zkouška tuhosti zadní vzpěry

[1]

Při testování zadní vzpěry se rám uchytlí za hlavovou trubku a za zadní patky. Potom je rám vykláněn do stran jako při plném zatížení ve sprintu. Zadní vzpěra se zatíží a měří se její vychýlení při každém sešlápnutí.



obr.34: Realizace zkoušky tuhosti zadní vzpěry

7 Závěr

Problematika výroby kompozitních rámu horských kol provází výrobce kol již více jak desetiletí a nadále se vyvíjí. Většina současných výrobců například vidí velkou budoucnost ve výrobě rámu vytvořených z tzv. nanovláken, které předčí současný kompozit mnohonásobně ve svých pevnostních vlastnostech při menší hmotnosti. Problémem je ale stále výroba těchto nanovláken. Musí být přísně dodržena výroba takovýchto vláken a v případě, že se pouze jediný atom uhlíku nebude nacházet na svém místě, tak materiál ztrácí velmi vysokou část ze svých vlastností. Důsledek této náročnosti se odráží v ceně a výroba takového rámu by se potom mohla šplhat spíše do sfér dražších sportovních automobilů. Toto poukazuje na fakt, že je možno vyrábět perfektní rámy, které vydrží téměř jakékoliv možné zatížení, budou velmi lehké a vzhledově odpovídat současným či budoucím módním trendům. Bohužel cílem výrobce kol není vyrábět zhmotněné sny, ale snaha prodat co nejvíce svého zboží. Proto si musí dobře dopředu rozmyslet, jakou cílovou skupinu spotřebitelů hodlají oslovit. V současné době u většiny výrobců kompozitních rámu horských kol je v nabídce cenová škála od rámu, které si může dopřát i běžný smrtelník až po rámy, které si kromě pár jedinců bez sponzora nikdo pořizovat nebude.

Technicky vzato jsou ale tyto materiály od první chvíle převratné – vysoká pevnost, nízká hmotnost a možnost dát anizotropnímu materiálu potřebné vlastnosti a to třeba jen v potřebných směrech. Efektivita, jakou se dají materiálu přiřknout potřebné vlastnosti ale záleží na zvolené technologii. Například výrobou kompozitu pomocí metody navíjení lze vyrobit rámovou trubku s přesně nasměrovanými vlákny. Na druhou stranu touto metodou nelze vyrobit třeba rám celý z jednoho kusu, což znamená, že sériová výroba je možná, ale bude zdlouhavější a nákladnější než v případě, kdy se rám vyrobí z jednoho kusu. Takže tato eventualita je vhodná třeba pro různé závodníky a tovární jezdce, kterým se rámy vyrábí na míru.

Co se týče užité hodnoty těchto rámu, tak pokud bude jezdec ukázněný a nebude konat časté výlety k zemi, rámu se téměř nic nestane. Pokud je dobře dimenzován a kolo se bude bez havárií pohybovat pneumatikami směrem k zemi, životnost bude limitována stárnutím kompozitu. Problém tohoto materiálu spočívá hlavně v rázech u nepředpokládaných směru zatížení, čímž můžeme rozumět třeba náraz rámu do kamene při pádu. Ocelový rám by byl poškrábaný, hliníkový promáčkнутý, ale kompozitní rám praskne a spravit jej znamená vystavovat se velikému riziku, že se celá konstrukce v nestřeženém okamžiku zborší pod vahou jezdce, což bude mít za následek ošklivé zranění.

Nakupování rámu z tohoto materiálu v současné době mezi lidmi co si vyjedou na nedělní výlet do hospůdky poblíž cyklostezky, závodů se nezúčastňujících, spočívá hlavně v módní vlně, která uhlíkový kompozit zahrnuje. Vyrábí se autodíly z karbonu, spotřebiče, hodinky a jiné módní doplňky. I když vývoj těchto kompozitních materiálů spěje stále kupředu, tak klady jsou pořád vyvažovány zápory. Pro běžného cyklistu je to jistě věc zajímavá, ale starý dobrý Cr-Mo-ocelový rám i při poněkud drastičtějším zacházení vydržel téměř cokoliv, byl sice trošku těžší, což se na druhou stranu dá chápat jako důvod pro zlepšení kondice.

8 Seznam použitých zdrojů

- [1] SCHROEDER Mark: Specialized - Functional advanced composite technology. 2007, 24 s, dostupné na [www: www.specialized.cz](http://www.specialized.cz)
- [2] SPECIALIZED: Technologie FSR. 2008, 8s, Informační brožura, dostupné na [www: www.specialized.cz](http://www.specialized.cz)
- [3] HAVEL Miroslav: Všeobecný a základní popis materiálů používaných při výrobě kompozitů. Olomouc, 2005, dostupné na [www: www.havel-composites.com](http://www.havel-composites.com)
- [4] HAVEL Miroslav: Technologie, jejich popis a schémata. Olomouc, 2005, dostupné na [www: www.havel-composites.com](http://www.havel-composites.com)
- [5] OSTEN Miloš: Práce s lepidly a tmely. Praha, 1986. 285s., Polytechnická knihnice SNTL, ISBN 04-333-86
- [6] LESSARD Larry B., NEMES James A., LIZOTTE Patrick : Utilization of finite element analysis in the design of composite bicycle frames. Québec, 1994.,72 s.,dostupné na [www: www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com)
- [7] KAWAI M.,TANIGUCHI T.: Off-axis fatigue behavior of plain weave carbon/epoxy fabric laminates at room and high temperatures and its mechanical modeling. Tsukuba, 2005.,243s., dostupné na [www: www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com)
- [8] PETŘVALDSKÝ Libor: Karbon a nanotechnologie., Velo – Časopis pro cyklisty, Listopad 2005, dostupné na [www: www.pells.eu](http://www.pells.eu)
- [9] HANUŠ Jaroslav: Nepolymerní vlákna. Liberec, 2007, 42s., studijní materiál Technické univerzity v Liberci, fakulty textilní, dostupné na www.ft.vslib.cz/depart/ktm/?q=cs/materialy