



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV MATERIÁLOVÝCH VĚD A INŽENÝRSTVÍ
FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MATERIALS SCIENCE AND ENGINEERING

VOLBA MATERIÁLU PRO RÁMY JÍZDNÍCH KOL

THE MATERIAL SELECTION FOR BICYCLE FRAMES

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

PETER ŠÁLY

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. KAREL NĚMEC, Ph.D.

BRNO 2009

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav materiálových věd a inženýrství

Akademický rok: 2008/09

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Šály Peter

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Strojní inženýrství (2301R016)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Volba materiálu pro rámy jízdních kol

v anglickém jazyce:

The Material Selection for Bicycle Frames

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Zpracování přehledu o materiálech v současnosti používaných pro stavbu rámu jízdních kol a následné vyhodnocení hledisek vhodnosti jejich volby pro různé typy kol.

Cíle bakalářské práce:

- 1) Přehled materiálů používaných na rámy jízdních kol
- 2) Popis vlastností jednotlivých materiálů
- 3) Rozbor hledisek volby materiálů pro rámy jízdních kol
- 4) Definice závěrů vyplývajících z tématu

Seznam odborné literatury:

- 1) Ptáček, L.: Nauka o materiálu II. 2. opr. a rozš. vyd. Brno: CERM, 2002. 392 s. ISBN 80-7204-248-3
- 2) Sedláček, V. : Neželezné kovy a slitiny. 1.vyd. Praha: SNTL, 1979. 398 s.
- 3) Chung, Deborah D. L.: Composite materials: functional materials for modern technologies. London: Springer, 2003. 289 s. ISBN 185233665X
- 4) Ashby, M. F. : Materials selection in mechanical design. 3rd ed. Oxford, Burlington: Elsevier Butterworth-Heinemann, 2005. 603 s. ISBN 0-7506-6168-2

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Karel Němec, Ph.D.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2008/09.

V Brně, dne 4.11.2008

L.S.


prof. RNDr. Jaroslav Čihlář, CSc.
Ředitel ústavu




doc. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan fakulty

ABSTRAKT

V bakalárskej práci sú zhrnuté základné informácie o materiáloch, ktoré sa používajú na stavbu rámov bicyklov. Nejde len o bežné materiály, ktoré sa v súčasnosti najviac používajú, teda zliatiny hliníka a kompozitné materiály - konkrétne karbón, ale práca poukazuje aj na ostatné, alternatívne materiály. Taktiež vysvetľuje špecifické pojmy, ktoré sa vzťahujú ku konkrétnym materiálom, alebo k ich technologickému spracovaniu. Každý materiál má uvedenú charakteristiku. Objektívnu teda merateľnú, ktorá vychádza z daných fyzikálno-chemických vlastností a možností spracovania konkrétneho materiálu. Vyjadruje predpoklad správania rámu vyrobeného z tohto materiálu. Taktiež je uvedená aj subjektívna charakteristika, ktorá vychádza z praxe – z pocitov pri skutočnej jazde. Porovnaním týchto dvoch prístupov vyplynuli závery, ktoré majú napomôcť pri voľbe materiálu rámu bicykla, na ktorý máme špecifické požiadavky. Ďalej práca hovorí o použití konkrétnych materiálov u rôznych výrobcov. Či už svetových, alebo domácich so zameraním na značky, ktoré sú zaujímavé práve spracovaním nevšedných materiálov, alebo svojským spracovaním bežných materiálov. Na záver je uvedený stručný prehľad v súčasnosti najčastejšie používaných materiálov pre konkrétne typy rámov bicyklov.

ABSTRACT

Bachelor's thesis summarises basic information about materials that are used for production of bicycle's frames. It concerns not only with common materials that are the most used nowadays, thus aluminium alloys and composite materials – carbon in the concrete, but it also pointed on the other, alternative materials. It also explains specific terms that relate to concrete materials or to their technological treating. Each material has listed characteristic which is objective thus measurable and it results from physical-chemical's properties and treating possibilities of concrete materials. It conveys assumption of frame behaviour made from this material. Subjective characteristic is also listed and it results from practice – from the feelings by real ride. Comparison of these two approaches resulted in conclusion which may help in choosing material for bicycle's frame which we have specific requirements on. Next thesis concerns with usage of concrete materials by various producers whether world producers or national ones, with orientation on brands which are interesting because of their treating of unusual materials or they are interesting because of their specific treating of common materials. There is a brief review of most used materials for concrete types of bicycle's frames at the end of the thesis.

KLÚČOVÉ SLOVÁ

Rámy bicyklov, materiály rámov bicyklov, spracovanie materiálov, druhy rámov bicyklov, ocel', titánové zliatiny, hliníkové zliatiny, kompozitné materiály, karbón, nanotechnológie, výroba rámov bicyklov

KEY WORDS

Bicycle's frames, materials for bicycle's frames, material's treating, types of bicycle's frames, steel, titanium alloys, aluminium alloys, composite materials, carbon, nanotechnologies, bicycle's frames production

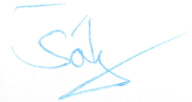
BIBLIOGRAFICKÁ CITÁCIA

ŠÁLY, P. *Volba materiálu pro rámy jízdních kol*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2009. 51 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Karel Němec, Ph.D.

PREHLÁSENIE

Prehlasujem, že som bakalársku prácu na tému Voľba materiálu pre rámy bicyklov vypracoval samostatne s použitím odbornej literatúry a prameňov, uvedených na zozname, ktorý je súčasťou tejto práce.

20. mája 2009



Peter Šály

POĎAKOVANIE

Ďakujem týmto Ing. Karlovi Němcovi, Ph.D. a Ing. Ľubomírovi Šálymu za cenné pripomienky a rady pri vypracovaní bakalárskej práce.

OBSAH

OBSAH.....	15
ÚVOD.....	17
1. VOĽBA MATERIÁLU	18
2. OCEĽ.....	20
3. TITÁN	22
4. HLINÍK.....	23
4.1. SCANDIUM.....	28
4.2. MAGNÉZIUM	28
5. KOMPOZIT	28
6. NANOTECHNOLÓGIE.....	34
7. PREHĽAD MATERIÁLOV RÁMOV RÔZNYCH TYPOV BICYKLOV V SÚČASNOSTI	35
8. POUŽITIE MATERIÁLOV NA VÝROBU RÁMOV U KONKRÉTNÝCH SVETOVÝCH VÝROBCOV	36
8.1. TREK.....	36
8.2. MERIDA	37
8.3. LITESPEED	38
8.4. PINARELLO.....	39
9. POUŽITIE MATERIÁLOV NA VÝROBU RÁMOV U KONKRÉTNÝCH DOMÁCICH VÝROBCOV	40
9.1. PELL'S.....	40
9.2. DURATEC	42
9.3. MORATI	45
10. VOĽBA MATERIÁLU RÁMU BICYKLA.....	46
ZÁVER.....	47
ZOZNAM POUŽITÝCH ZDROJOV	49
ZOZNAM POUŽITÝCH VELIČÍN	51

ÚVOD

Voľba materiálu, alebo lepšie povedané, výber bicykla podľa toho, z akého materiálu má vyrobený rám, sa môže zdať mnohým ľuďom zbytočný. Bicykel vnímajú len ako prostriedok na ľahšiu prepravu z miesta A do miesta B. V tom lepšom prípade kupujú najlacnejší model v špecializovanej cyklo predajni, v tom horšom siahnu po akciovom bicykli z hypermarketu. Ale úlohou tejto práce nebolo rozoberať myslenie ľudí, ale napomôcť tým, ktorí premýšľajú nad vhodným materiálom rámu svojho dvojkolesového miláčika a zároveň vedia rozlíšiť a oceniť kvality každého dostupného materiálu. Taktiež v práci nebudem vyzdvihovať jeden materiál nad druhým, ale rád porovnam aj staručkú oceľ s najmodernejšími kompozitnými materiálmi. Okrem týchto materiálov opíšem v prvej časti práce aj ďalšie materiály, ktoré sa používali, resp. stále sa používajú, na stavbu rámov bicyklov.

Aj keď by sa v súčasnosti mohlo zdať, že voľba materiálu rámu bicykla je vopred rozhodnutá, pretože svetu vládne kompozit nasledovaný hliníkovými zliatinami. Skutočne sú to materiály, z ktorých má 90% značiek vyrobené všetky svoje modely bicyklov v ponuke a keby neexistuje tých zvyšných 10% výrobcov, ktorý sa venujú iným ako štandardným materiálom, tak písať túto prácu by bolo viac menej zbytočné. Našťastie sa vo svete nájde dosť výrobcov, niekedy skôr nadšencov, ktorí sa nenechajú unášať na modernej aktuálnej vlnе dvoch vládnučich materiálov. Práve o ich zviditeľnenie a opísanie prínosu do svetovej cyklistiky sa pokúsim v druhej časti práce, pretože aj tieto alternatívne materiály majú cyklistom čo ponúknuť. S radosťou môžem povedať, že takýto výrobcovia sa nájdu aj u nás doma. Pravdupovediac, nevenujú sa až takým exotickým materiálom, s výnimkou ex-MORATI, ale venujú sa skôr neštandardnému spracovaniu a kombinovaniu známych materiálov. Ich prínosy v tomto odvetví by si zaslúžili celosvetové uznanie a nie kopírovanie inými značkami. Ale to je už opäť iná téma.

1. VOĽBA MATERIÁLU

Spôľahlivá a správna funkcia strojnej súčiastky (teda aj rámu bicykla), a tým aj celého zariadenia stroja či konštrukcie po dobu požadovanej životnosti, je v značnej miere zaručená výberom vhodného materiálu. Primárnymi požiadavkami pri voľbe vhodného materiálu sú takmer vždy jeho pevnostné charakteristiky. K splneniu tejto požiadavky má konštruktér k dispozícii obrovskú paletu najrôznejších materiálov. Bohužiaľ, u väčšiny aplikácií nie sú požadované parametre limitované jedinou vlastnosťou (napr. pevnosťou), ale ich kombináciou. Dôležitou úlohou je teda sklbiť materiálové charakteristiky s požadovanými vlastnosťami budúcej súčiastky.

Počiatkové údaje pre voľbu materiálu sa dajú rozdeliť na:

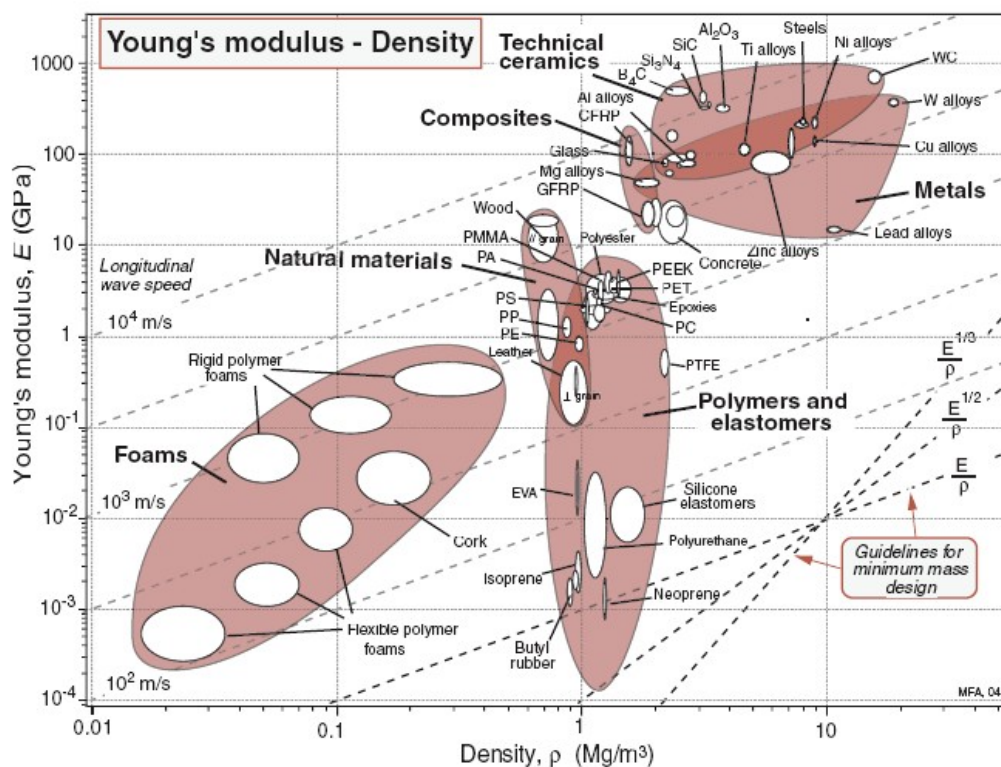
Funkčné požiadavky – vyplývajú z analýzy namáhania a musia byť posúdené tiež z hľadiska prevádzkových podmienok (typ zaťažovania, teplota, okolité prostredie, atď.). Sú v podstate vyjadrením medzných podmienok funkcie súčiastky v podobe materiálových charakteristík, teda mechanických, fyzikálnych a iných vlastností. Z pohľadu rámu bicyklov je okrem pevnosti dôležitá aj tuhosť celej konštrukcie, je teda nutné vyberať medzi materiálmi s vhodnou kombináciou materiálových charakteristík. Dobrým vodiacim prostriedkom pre tieto úvahy môžu byť, okrem noriem, rôzne materiálové databázy. Okrem materiálových charakteristík však musia byť pri výbere materiálu zvažované aj ďalšie hľadiská.

Technologické požiadavky – sú dané technológiou výroby a môžu zásadne ovplyvniť výber materiálu, obzvlášť keď sa u materiálov vhodných pre zvolenú technológiu nedá dosiahnuť požadovaných mechanických (prípadne iných) vlastností alebo naopak, keď sa materiál s vhodnými vlastnosťami nedá zvolenou technológiou spracovávať. Potom je nutné zmeniť technológiu výroby alebo zmierniť požiadavky vyplývajúce z funkcie súčasti napr. zmenou konštrukcie alebo úpravou základných parametrov zariadenia.

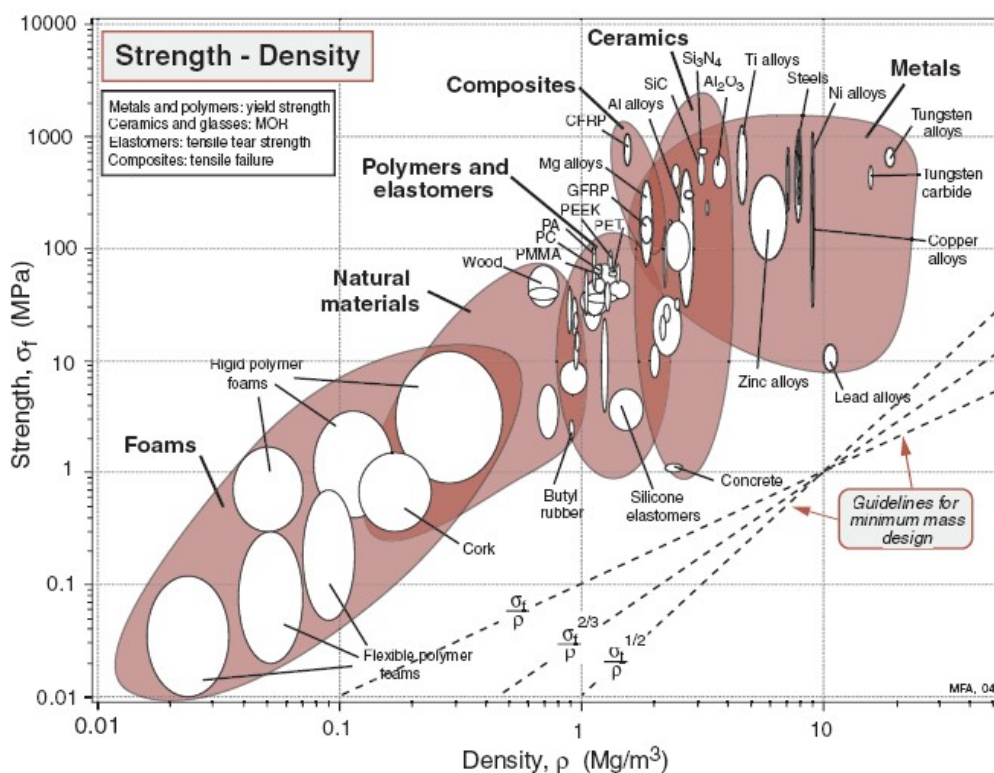
Ekonomické požiadavky – súčasťou každého návrhu výrobku je ekonomický rozbor výrobných nákladov. Materiál sa premieta do hodnotenia nielen svojou cenou, ale tiež nákladmi na jeho výrobu a spracovanie (mzdy pracovníkov, tepelné spracovanie, povrchové úpravy, atď.). Voľba lacného materiálu teda nevedie vždy k najnižším celkovým nákladom, pretože tie sa môžu zvyšovať napr. nutnosťou tepelného spracovania alebo náročnejšou a pracnejšou výrobnou technológiou. Čím je výrobok komplikovanejší a pracnejší, tým menší má význam cena samotného materiálu a naopak.

Zvláštne požiadavky – do tejto skupiny môžeme zaradiť veľmi častú požiadavku na nízku hmotnosť súčiastky alebo konštrukcie. Túto požiadavku môžeme zaradiť aj medzi funkčné (letectvo a kozmonautika), avšak z pohľadu rámu bicykla, o ktorom táto práca pojednáva, je táto požiadavka z pohľadu funkcie druhoradá (avšak z pohľadu zákazníka nie nepodstatná). Charakteristika vyjadrujúca túto požiadavku je napr. merná pevnosť (R_m / ρ) alebo tiež merná medza klzu ($R_{p0,2} / \rho$). Z pohľadu zachovania tuhosti rámu pri snahe o zníženie hmotnosti hrá rolu pomer modulu pružnosti a mernej hmotnosti (E / ρ). Porovnanie materiálov z týchto hľadísk je ukázané na tzv. Ashbyho diagramoch (obr. 1 a 2).

Obmedzujúce požiadavky – ak bude súčiastka pracovať napríklad v agresívnom prostredí, bude obmedzujúcou požiadavkou korozivzdornosť, prípadne za vyššej teploty žiaruvzdornosť. U rámov bicyklov, kde je na ráme upevnené množstvo súčiastok z rôznych materiálov, hrá rolu aj to, či spolu dva spojované materiály netvoria silný korózný článok. Medzi obmedzujúce požiadavky môže byť zaradená aj zvariteľnosť daného materiálu a iné.



Obr. 1: Ashbyho diagram – závislosť mernej hmotnosti na module pružnosti v ťahu (1)



Obr. 2: Ashbyho diagram – závislosť mernej hmotnosti na pevnosti (1)

Aby bola voľba materiálu pre súčiastku, v tomto prípade rám bicykla, úspešná, je potrebné najskôr dôkladne popísať vlastnosti jednotlivých materiálov. Ich prednosti a obmedzenia a tiež pochopiť funkciu rámu bicykla, čím sa zaoberajú ďalšie kapitoly.

2. OCEĽ

Je najstarším používaným materiálom na výrobu cyklistických rámov. Práve oceľ sa môžeme poďakovať za trubky, ktoré tvorili srdcia prvých bicyklov. Je možno zvláštne, že sa tento materiál používa dodnes. Najmä keď zoberieme do úvahy, že za tých približne 120 rokov od vyrobenia prvého bicykla, ktorý bol poháňaný pedálmi a prenos sily zabezpečovala reťaz, prešlo ľudstvo rôznymi technologickými revolúciami. Od objavenia nových materiálov, spôsobov obrábania a tvarovania, cez rôzne typy zvárania, povrchových úprav atď.

Oceľový rám môže byť v dnešnej dobe vnímaný dvojako. Častejšie sa stretávame s názorom, že je to materiál pre najlacnejšie rámy bicyklov z rôznych hypermarketov. Tieto rámy majú od precízneho spracovania veľmi ďaleko a bicykle s takýmto rámom svojou hmotnosťou skôr pripomínajú ľahší skúter. Taktiež o komforte nemôže byť žiadna reč. Škoda, že práve použitím na takýchto bicykloch a nezmazateľnými spomienkami ľudí, ktorí si pamätajú aká to bola drina jazdiť na starých „Ukrajinách“, sa oceľ dostáva do povedomia ľudí ako ten najhorší materiál na výrobu rámu.



Obr.3: rôzne typy mufní (2)

Opak však môže byť pravdou. Dávno sú preč časy, kedy sa oceľové trubky, najčastejšie triedy 11 xxx (konštrukčná oceľ), spájali pomocou *mufní* (anglicky *lugs*, obr. 3). Mufne boli presne vytvorené spojky, do ktorých sa jednotlivé trubky len zasunuli (obr. 4) a potom sa jednotlivé mufne vyplnili olovom, cínom, striebrom alebo bronzom, vďaka čomu boli trubky pevne spojené. Prípadná oprava bola jednoduchá. Stačilo spoj nahriať a trubku vytiahnuť. Tento spôsob spájania sa používal najmä kvôli ešte nedokonalšej zvärackej technológii. Veľké teplo pri zváraní značne oslabovalo materiál trubky.

Z druhej strany môže byť oceľový rám v súčasnosti vnímaný ako určitá chuťovka. Keď zručný a skúsený výrobca dostane do rúk kvalitné oceľové trubky, môže vzniknúť rám, ktorý sa určitými vlastnosťami priblíži, alebo aj prekoná niektoré titánové rámy (nehovoriac o hliníkových). Pri kvalitnejších rámoch sa stretávame s legovanými oceľami, spravidla typu Cr-Mo (anglicky zaužívané *chromoly*). Najčastejšie sa používa oceľ 15 130, označovaná ako 25CrMo4, alebo podľa ASTM 4130. Jej chemické zloženie je približne 0,80 – 1,10% Cr; 0,15 – 0,25% Mo; 0,28 – 0,33% C a ďalšie legujúce prvky sú mangán, fosfor, síra a kremík.

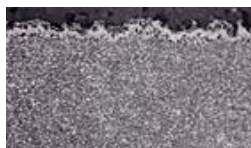
Tu sa dostávame k obecnému problému materiálov rámov. Ideálny bicyklový rám by mal byť pevný, ale zároveň pružný. Samozrejme by sme nemali zachádzať do extrémov, lebo veľmi pružný rám by sa pri zaberaní do pedálov mohol ľahko pokrútiť a enormne pevný rám by mohol veľmi rýchlo prasknúť. Oceľový rám má práve tento pomer pevnosti a pružnosti veľmi priaznivý, avšak hmotnosť, ďalší veľmi dôležitý faktor, je jeho najväčšou slabinou. Lacné oceľové rámy „akciových“ bicyklov budú vždy ťažké. Lebo sú vyrobené z hrubostenných trubiek aby sa dali zvärať relatívne dobre. Avšak kvalitné trubky z ktorých sa vyrábajú špičkové oceľové rámy nemusia mať s hmotnosťou až taký problém. Takéto oceľové trubky majú na svedomí napríklad výrobcovia ako *Reynolds*, *Columbus*, *Dedacciai*, *SANKO*. Columbus vyvinul vysokokvalitné ocele označované ako *Niobium* a *Nivacrom*. Prvá



Obr.4: spájanie trubiek rámu pomocou mufní (3)



Obr. 5: Snímka štruktúry
klasickéj nízkolegovanej oceli (4)



Obr. 6: Snímka štruktúry
Columbus Niobium oceli (4)

menovaná ocel', je legovaná nióбом, ako je už z názvu zrejmé. Ide o špeciálnu ocel', ktorá bola vyvíjaná za účelom zlepšenia mechanických vlastností a lepšiemu odolávaniu atmosferickej

korózie. Niób v tomto prípade zvyšuje medzu klzu precipitačným vytvrdzovaním a zjemňuje zrno (obr. 6). Ako vidno z obrázkov, klasická ocel' (obr. 5) má značne viditeľnú oblasť oduhlíčenía a kvalita jej mechanických vlastností tým poklesla. Niobium ocel' má taktiež viditeľnú oblasť oduhlíčenía, ale je niekoľko násobne menšia. Navyše môžeme vidieť veľmi jemnú a homogénnu štruktúru, vďaka ktorej má táto ocel' výborné mechanické vlastnosti. Druhé menované – ocele Nivacrom, prechádzajú sériou procesov, ktoré zjednocujú mechanické vlastnosti po celej dĺžke trubky, tým že homogenizujú zrno v štruktúre materiálu trubky.

Reynolds sa preslávil svojimi legendárnymi ocel'ovými trúbkami (ktorým sa stále najviac venuje). Jeho najznámejšie sú ocel'ové trúbky s označením *Reynolds 531* a *Reynolds 953*, čo sú obe vysoko pevné oceľe a napríklad druhá spomenutá je nehrdzavejúca, martenzitická ocel', ktorá dosahuje pevnosť v ťahu až 2000MPa. Vďaka tejto vynikajúcej hodnote môžu byť na zhotovenie rámu použité veľmi tenké trúbky, až 0,3mm a tým pádom je rám veľmi ľahký. Chemické zloženie tejto oceli dovoľuje jej zváranie aj pri takých tenkých stenách trúbok. Pre zaujímavosť, bicykle ktoré mali rám z Reynolds trúbok sa stali v histórii 27 krát víťazmi Tour de France. Ako Columbus alebo Reynolds, tak aj ostatní výrobcovia sa v súčasnosti zaoberajú aj inými materiálmi na výrobu kvalitných trúbok.

Z tohto všetkého by sa mohlo zdať, že ocel' má už to najlepšie za sebou. Z časti je to pravda, lebo napríklad v profi pelotóne sa s ňou už nestretneme, ale v iných disciplínach cyklistiky má nenahraditeľné miesto. Väčšina bicyklov označovaných ako *street* (obr. 7), *dirt* a *BMX* má ocel'ové rámy, najčastejšie vyrobené z trúbok materiálu 25CrMo4. Sú to bicykle, ktoré sú veľmi namáhané rôznymi pádmi, skokmi, nárazmi a toto všetko musia vydržať bez ujmy. Iný materiál ako ocel', ktorý znesie takéto tvrdé zaobchádzanie, nepripadá do úvahy. No okrem výrobcov takýchto typov rámov



Obr. 7: ukážka ocel'ového rámu značky Destroyer (5)

bicyklov, existuje vo svete stále veľa nadšencov – výrobcov, ktorí vyrábajú rámy pre klasické bicykle, či už horské, alebo cestné a zároveň tlačia vývoj ocel'ových rámov výrazne dopredu.

Napríklad minesotská značka bicyklov *Salsa* má vo svojej ponuke rámy vyrobené z ocel'ových trúbok označených *True Temper OX Platinum S3*. V podstate ide o super pevnú ocel' (*S3 = super strenght steel*), ktorá je dodatočne tepelne spracovaná. Samozrejme s cieľom dosiahnuť ešte vyššiu pevnosť, ale minimalizovať zároveň krehkosť. Ako u trúbok Reynolds aj tu je možné použiť tenkostenné trúbky a tým minimalizovať výslednú hmotnosť rámu. Na druhej strane je veľmi obtiažné spracovanie tejto oceli. Rýchlo tupí rezné nástroje a zváranie

musí byť veľmi precízne a citlivé vzhľadom na hrúbku trubiek. Preto sa s touto S3 oceľou nestretávame častejšie.

Tab. 1: prehľad mechanických vlastností jednotlivých ocelí pri skúške ťahom

Druh ocele	Medza pevnosti Rm [MPa]	Medza klzu Re [MPa]	Ťažnosť [%]
15 130	800	≅ 760	12
Columbus Niobium	1050 ÷ 1250	≅ 750	14
Columbus Nivacrom	950 ÷ 1050	≅ 780	10
Reynolds 953	1700 ÷ 2050	1500 ÷ 1900	<i>nezistená</i>
Temper OX Platinum S3	1030 ÷ 1500	930 ÷ 1250	10

V konečnom dôsledku je úlohou konštruktérov a návrhárov cyklistických rámov nájsť vhodný pomer medzi pružnosťou, pevnosťou a hmotnosťou rámu. U oceli pružnosť a pevnosť nie je problém, ale výsledná hmotnosť je problematická. Keď sa ale tento kompromis podarí nájsť, vznikne naozaj veľmi pevný, ale zároveň komfortný rám, ktorý krásne tlmí nerovnosti terénu. Samozrejme ako všade aj tu platí, že výnimka potvrdzuje pravidlo. Preto môžeme naraziť na ľahký, moderný oceľový rám, ktorý bude extrémne tvrdý a k jazdcovi bude prenášať aj tie najmenšie odchýlky nerovnosti povrchu po ktorom jazdí.

3. TITÁN

Materiál známy skôr z vesmírnych, alebo leteckých programov sa dostal aj do cyklistiky vďaka svojím výborným mechanickým vlastnostiam (napr. vysoká merná pevnosť a vysoký vnútorný útlm). Titánový rám ľahko rozpoznáme v dave rámov vyrobených z iných materiálov. Ide skôr o trubky menších priemerov, kde sa formovanie a tvarovanie používa veľmi zriedka. Taktiež ho spoznáme podľa typického lesklého povrchu, dosiahnutého pomocou leštenia, ktorému predchádzalo kartáčovanie, alebo pieskovanie mikroskopickými sklenenými guľôčkami. Aj napriek tomu, že trubky nie sú široké ako plechovka od piva, dokáže titánový rám osloviť a zaujať na prvý pohľad. Titánové rámy sa stále spájajú s určitou dávkou luxusu a noblesy. Bodaj by aj nie, keď si ho môžu dovoliť naozaj len tí solventnejší. Áno, jeho cena je jeho najväčšie mínus.



Obr. 8: ukážka titánového rámu značky Litespeed (6)

Inak je to výborný materiál, ktorý dobre tlmí vibrácie a má zároveň vysokú pevnosť, nízku hmotnosť, odolnosť voči korózii a UV žiareniu, chemickú stálosť, dlhú únavovú životnosť a schopnosť zvládať cyklické namáhanie. Titán dokáže pružiť a nedochádza pritom k jeho únave, alebo keby zaťažujeme rovnakú trubku z hliníku, oceli a titánu tak titánová

trubka sa dokáže vrátiť do pôvodnej polohy po zaťažení, ktoré by oceľová a hliníková trubka nezvládli a natrvalo by sa zdeformovali. Obrovskou výhodou, napríklad voči karbónu, je jeho schopnosť odolať rázovému namáhaniu. Ďalšia výhoda sa môže zdať nepodstatná, ale viacerí odborníci ju označujú ako jednu z popredných výhod titánových rámov. Ide o možnosť stavby rámu na mieru. Či už veľkosťou alebo aj vlastnosťami. Oproti karbónovým rámom, kde je táto možnosť značne obmedzená drahými formami, v ktorých sa karbónové rámy vyrábajú.

Titán je predsa materiál certifikovaný pre letecký a vesmírny priemysel, tak môžeme od neho očakávať len to najlepšie a určite nie útlm, alebo odchod zo sveta cyklistiky. Predsa neustále prebieha technologický a metalurgický výskum pre potreby letectva a kozmonautiky, ktorý sa zužitkuje aj pri konštrukcii špičkových titánových rámov.

Titán, ako aj ostatné kovové materiály na stavbu cyklistických rámov, sa nepoužíva v čistej forme, ale vždy s nejakými prímiesami (tab. 2). Zliatina titánu je ťažko obrobiteľný materiál. Rovnako ťažko sa aj tvaruje za vysokých teplôt a tlakov. Ale je to možné. Podobne ako u hliníkových rámov (hydroforming). Superplastické tvárnenie je náročné kvôli vysokej zľúčiteľnosti titánu s kyslíkom, vodíkom a dusíkom. Zvára sa v ochrannnej atmosfére argónu, ktorú je potrebné udržať aj po samotnom zváraní, kým zvar ochladne približne na teplotu 300°C. Používa sa metóda TIG. Pri procese zvárania je potrebný prídavný materiál – titánový drôt, ktorý je taktiež zliatina titánu ER Ti6Al4V. Ešte sa môžeme s titánom stretnúť ako s materiálom spojok karbónových rámov – tzv. titánové uzly.

Tab. 2: prehľad používaných titánových zliatin, ich chemického zloženia a mechanických vlastností

Druh titánovej zliatiny	Chemické zloženie	Medza pevnosti Rm [MPa]	Ťažnosť [%]
Ti 3Al 2,5V	3% Al; 2,5% V	800	15
Ti 6Al 4V	6% Al; 4% V	1100	10

Na záver v podstate platí to isté ako pri oceľových rámoch. Aj keď od titánových rámov sa očakávajú všetky tie skvelé vlastnosti, ktoré som spomenul, záleží od výrobcu, akú navrhne konštrukciu a technológiu výroby, lebo najmä od toho závisia výsledné vlastnosti rámu. Môže sa teda stať, že na titánovom ráme sa budete cítiť menej pohodlne ako na hliníkovom ráme za zlomok ceny.

4. HLINÍK

Začalo to v 80-tych rokoch, kedy sa ešte na stavbu cyklistických rámov iný materiál ako oceľ nepoužíval. Vtedy prišli firmy Cannondale a Klein s prvými bicyklami, ktoré mali hliníkové rámy. Najprv si všetci mysleli, že hliník sa neuje a len oceľový rám je ten najlepší, ale po krátkom čase sa táto situácia prudko zmenila. Hliník vytlačil používanie ocele na stavbu rámov skoro úplne mimo hru. Ešte pred použitím hliníku, ako konštrukčného materiálu cyklistických rámov, sa najskôr používal v letectve. Samozrejme nešlo o čistý hliník, ktorý je mäkký, ale o zliatinu. Konkrétne zliatinu hliníka, medi a horčíka, ktorá bola zhodou okolností objavená náhodou a volá sa *duraluminium*. Viac známa pod obchodným názvom *dural*. Tento názov značne zľudovel a preto sa takto často nesprávne nazývajú aj iné zliatiny hliníka, takže si treba dávať pozor, či to čo voláme dural, je naozaj dural, alebo úplne iná zliatina hliníka. Často sa používajú prvky ako skandium, zirkónium, alebo spomínaný horčík, ktorými sa hliník leguje, alebo sú ním prvky legované, ale o tom až neskôr. Len na okraj by som spomenul, že obrovský výrobcovia bicyklov sa neuspokoja so zliatinami, ktoré

si môžu niekde kúpiť, ale využívajú hlavne svoj vlastný vývoj. Z množstva spomeniem napríklad koncern *Trek*, ktorý investoval nemalé prostriedky do ich známych zirkóniových zliatin rámov.

Hliníkových zliatin, je podobne ako ocelí, ohromné množstvo. Preto sa z amerických noriem prebral systém rozdelenia týchto zliatin do tried označovaných číslom: 1000, 2000, ..., 6000, 7000 atď. Cyklistom sú najznámejšie práve triedy 6000 a 7000. Ďalšie čísla 6xxx alebo 7xxx potom označujú hlavné prísadové prvky.

Tab. 3: prehľad tried hliníkových zliatin, a ich krátky popis (7)

Trieda hliníkovej zliatiny	Popis zliatiny
1000	V podstate čistý hliník, s minimálne 99% hmotnostným zastúpením hliníka v zliatine hliníka. Môže byť mechanicky spevnený.
2000	Hliník je legovaný meďou, zliatina môže byť precipitačne vytvrdená – jej pevnosť je potom porovnateľná s oceľou. Predtým bola označovaná ako duraluminium (dural) a bola najpoužívanejšou hliníkovou zliatinou v kozmonautike. Vyskytli sa však problémy s praskaním, preto je čoraz viac nahradzovaná hliníkovou zliatinou triedy 7000.
3000	Hliník je legovaný mangánom. Môže byť mechanicky spevnený.
4000	Hliník je legovaný kremíkom, zliatina je známa pod názvom silumin. Je to ľahká, vysoko pevná zliatina, ktorá je odolná voči korózii, preto sa využíva najmä vo vlhkom prostredí.
5000	Hliník je legovaný horčíkom, zliatina je pevná najmä vďaka mechanickému spevneniu. Tieto zliatiny sa využívajú v prostrediach s nízkou teplotou, avšak sú náchylné ku korózii pri teplote nad 60°C.
6000	Hliník je legovaný horčíkom a kremíkom, táto zliatina sa ľahko spracúva. Môže byť precipitačne vytvrdená, avšak nedosahuje pevnosť ktorú môžu dosiahnuť zliatiny triedy 2000 a 7000.
7000	Hliník je legovaný zinkom, zliatina môže byť precipitačne vytvrdená a dosahuje najvyššie hodnoty pevnosti zo všetkých hliníkových zliatin.
8000	Využíva sa najmä pre lítiové zliatiny.

Jazdcovi môže byť v podstate jedno z akej hliníkovej zliatiny (akej triedy) má rám svojho bicykla. Je to skôr vstupný údaj pre výrobcov rámov, aby vedeli, aké má materiál presné zloženie a podľa toho vedeli určiť spracovanie danej zliatiny. Napríklad zliatiny triedy 6000 majú oproti triede 7000 o niečo horšiu pevnosť a tuhosť, ale zase priaznivejšiu cenu, jednoduchšie spracovanie a tvarovanie využívané najmä pri hydroformingu. Jednou z najpevnejších hliníkových zliatin, ktoré môžete v súčasnosti zohnať je zliatina označovaná 7020 T6. Tá sa len pred nedávnom používala výhradne v leteectve.

Aby som vysvetlil označenie posledne menovanej hliníkovej zliatiny, musím zájsť do tepelného spracovania týchto materiálov. Lebo práve tie posledné dva znaky môžu o ňom napovedať. Ale prečo sa vlastne tepelné spracovanie používa? Po zvarení trubiek do tvaru rámu sú miesta v okolí zvaru značne tepelne ovplyvnenou oblasťou, ktorá sa prejavuje napríklad znížením pevnosti v tomto mieste. Pre rôzne druhy hliníkových zliatin je vhodné iné tepelné spracovanie, prípadne tepelné spracovanie nie je potrebné. Ako napríklad väčšina zliatin triedy 7000, ktorá má vlastnosť samovytvrdnuteľnosti, čo v podstate znamená, že po zvarení sa kryštalická mriežka v tepelne ovplyvnenej oblasti dokáže samovoľne ustáliť a vrátiť, bez vonkajšieho zásahu, na hodnoty pevnosti pred zvarením. Už v priebehu 72 hodín dochádza k razantnému nárastu pevnosti, ktorá potom stúpa už len pomaly. Pre tento proces

sa ale udáva približne hodnota dvoch týždňov ustálenia na pôvodné hodnoty. Závisí to samozrejme aj od prostredia, kde sa rám po zvarení uskladňuje. Na rozdiel od toho pri druhej, cyklistom známej, zliatine triedy 6000 je potrebné uskutočniť proces umelého starnutia, aby sa čo najviac zvýšili hodnoty pevnosti. Tento proces prebieha v dvoch krokoch. Prvým je stabilizácia, kedy sa rám postupne zahrieva na teplotu približne 530°C a následne sa rýchlo schladí ponorením do vody. Druhým je samotný proces umelého starnutia, kedy sa teplota zvýši na 180°C na presne stanovenú dobu (rádovo v hodinách). Označenie T6 znamená potom typ tepelného spracovania (tab. 4).

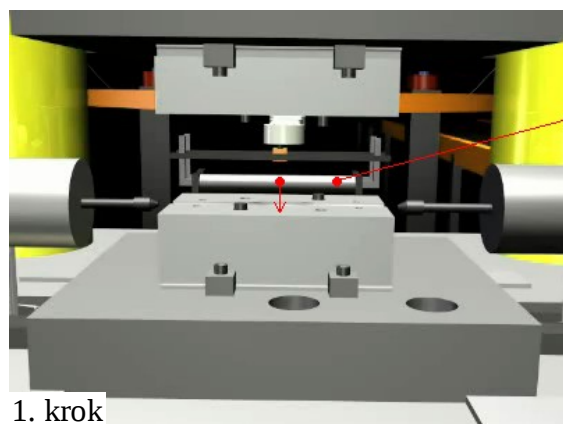
Tab. 4: prehľad tipov tepelného spracovania hliníkových zliatin, a ich popis

Označenie	Popis tepelného spracovania
T1	Po ochladení zo zvýšenej teploty tvárnenia a prirodzenom starnutí.
T2	Po ochladení zo zvýšenej teploty tvárnenia, tvárnenie za studena a prirodzenom starnutí.
T3	Po rozpúšťacom žíhaní, tvárnenie za studena a prirodzenom starnutí.
T4	Po rozpúšťacom žíhaní a prirodzenom starnutí.
T5	Po ochladení zo zvýšenej teploty tvárnenia a umelom starnutí.
T6	Po rozpúšťacom žíhaní a umelom starnutí.
T7	Po rozpúšťacom žíhaní a umelom prestarnutí.

Ešte pripomeniem, že tepelné spracovanie je operácia akoby navyše, takže sa prejaví aj v cene. Preto sa u lacných hliníkových rámov nestretáme s takýmto spracovaním, ale prípadná strata pevnosti sa vyrieši použitím hrubších trubiek.

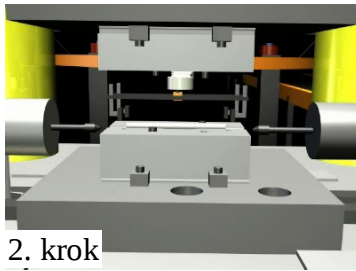
K požadovaným vlastnostiam rámu sa môžeme dostať aj inou cestou ako voľbou materiálu. Práve u hliníkových rámov sa pred nejakým časom zdalo, že už nemajú čo ponúknuť a vtedy prišli poprední výrobcovia s technológiou zvanou *hydroforming*, ako som ju už párkrát spomínal. Ešte pred používaním tejto technológie bolo tvarovanie hliníkových rámov značne obmedzené. No teraz sa dajú robiť s hliníkovými trubkami úžasné veci. Hydroforming (obr. 9) je spôsob tvarovania – profilácie trubiek horúcim olejom. Do kovovej formy sa vloží hliníková trubka, ktorú chceme tvarovať, forma sa uzavrie a vháňaním oleja pod obrovským tlakom sa trubka deformuje - roztáhuje a získava tvar formy.

Obr. 9: ukážka postupu úpravy trubky metódou hydroforming (8)

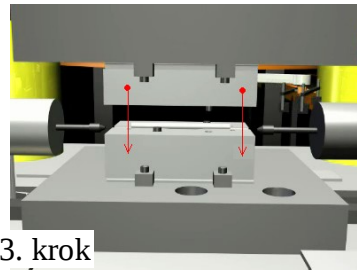


trubka ktorú chceme tvarovať sa umiestni do formy

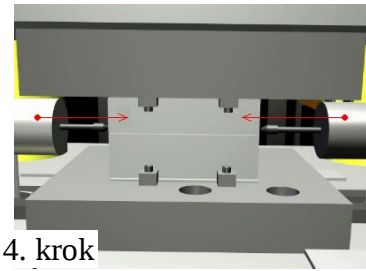
1. krok



2. krok

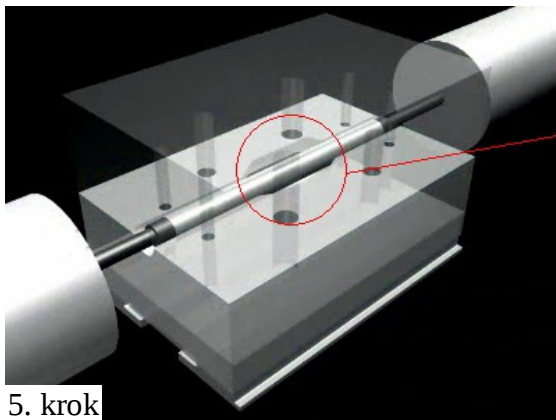


3. krok



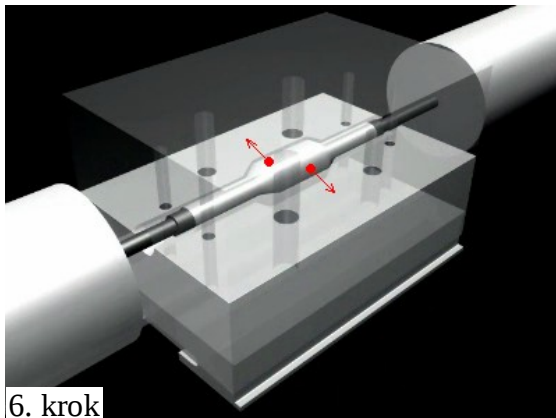
4. krok

V ďalších krokoch sa forma uzavrie, a do koncov trubky sa umiestnia trysky, ktoré budú do trubky vhaňať horúci olej.

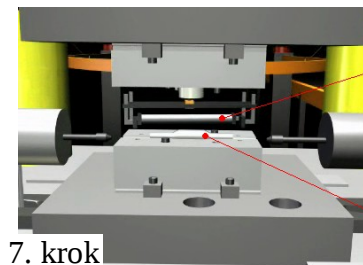


5. krok

trubka je pripravená na samotný proces tvarovania, v ďalšom kroku sa do nej napustí vysokým tlakom horúci olej, čím sa začne trubka rozťahovať a prispôbovať tvaru formy (6. krok)



6. krok

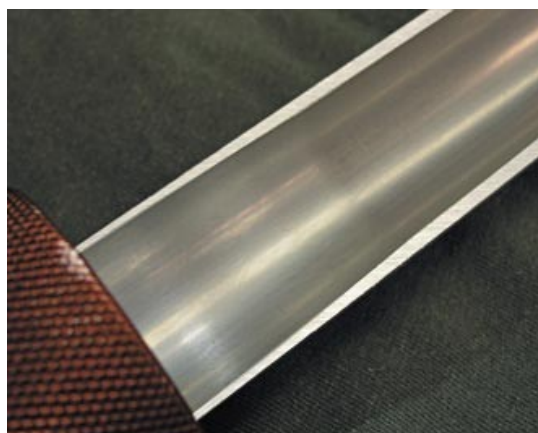


7. krok

v poslednom kroku sa vyformovaná trubka vyberie z formy a proces sa opakuje s novou trubkou

Vyzerá to jednoducho, ale je to proces zložený z mnohých rôznych etáp výroby. Hydroforming môže byť použitý ako marketingový ťah, aby rámy vyzerali pre zákazníka príťažlivejšie, ale jeho primárnou úlohou je zmenou tvaru zlepšiť vlastnosti rámu. Tento spôsob profilovania spomínam náročky pri hliníkových rámoch, lebo u nich sa táto technológia používa najčastejšie a relatívne najľahšie. Na rozdiel od titánových rámov, ako som spomínal, kde to nie je také jednoduché kvôli zlej tvárnosti titánových zliatin a vysokej afinite titánu ku kyslíku, vodíku a dusíku, ktoré sú pri tejto operácii neodmysliteľnou súčasťou. A u iných materiálov sa hydroforming prakticky ani nedá použiť. Ale čo ak chceme zmeniť hrúbku steny trubky? Hydroformingom dosiahneme zoslabenie trubky po celej dĺžke na rovnakú hodnotu. Ale ak chceme rôznu hrúbku steny trubky na rôznych miestach, použijeme buď *technoforming*, čo je obdobná operácia akurát sa namiesto horúceho oleja používajú rôzne trny a formy, alebo ešte pred operáciou hydroformingu zaradíme proces *zoslabovania* (obr. 10) netvarovaných trubiek. *Zoslabovanie* slúži najmä na zredukovanie

hmotnosti jednotlivých trubiek. Môže byť *jedno* alebo *viac stupňové* – *dvojité (Dual Butted* alebo *Double Butted)*, *trojité (Triple Butted)* resp. zoslabovanie podľa zaťaženia jednotlivých partií (*Full Butted*). Ďalej poznáme vnútorné, ktoré okom nespoznáme, ale poklepaním po ráme budeme určite počuť rozdiel vo zvuku tenkej a hrubšej trubky. A taktiež vonkajšie, ktoré spozorujeme hrubnutím trubky k jej koncu. Na toto použijeme kovanie na trne a následné zarovnanie vonkajšieho povrchu do roviny (v podstate podobná operácia ako technoforミング, akurát po nej nasleduje ešte hydroforming). Ďalej sa rámové trubky z hliníkových zliatin dajú upravovať lisovaním, kde sa vždy jedna polovica trubky vytlisuje na požadovaný tvar a následne sa obe polovice pozdĺžne zvaria dokopy. Potom sa využívajú rôzne ohýbania trubiek za tepla (obr. 11), ktoré nájdu uplatnenie najmä pri konštrukcii zadnej stavby rámu bicykla.



Obr. 10: prierez zoslabovanej trubky (9)



Obr. 11: forma na ohýbanie trubiek zadnej stavby rámu bicykla (10)

netreba zamýšľať. Je to problém závodných rámov, ktoré sa jazdia maximálne jednu sezónu a potom sa aj tak vymenia, ale aj bežných rámov, u ktorých sa toto mäknutie môže prejaviť až po dlhšom čase. Je to dané práve tepelnou úpravou rámov, ktoré prechádzajú procesom umelého starnutia, aby čo najrýchlejšie dosiahli svoju maximálnu hodnotu pevnosti. Avšak

Ako vidíme, s hliníkovými trúbkami sa dajú robiť hotové zázraky, ale pomôže to k zlepšeniu vlastností výsledného rámu? Je to veľmi zložitá otázka, lebo ako som už pred tým u oceli a titánu spomínal, závisí to od výrobcu – akým smerom sa pri výrobe rámu bude uberať. Zrejme najčastejšie sa stretávame s názorom, že hliníkové rámy sú „tvrdé“ (tvrdé v zmysle, že nepohlcuje vibrácie – nerovnosti terénu), nepohodlné, ale zato veľmi ľahké. Občas sa síce nájde výnimka, kedy je rám tuhý v zábere a komfortnejší v pohlcovaní nerovností, ale v celkovom pohľade na hliníkové rámy by sa dalo súhlasiť, že sú naozaj tvrdé a ľahké. Niektorí výrobcovia sa ani nesnažia o nejako extra pohodlné rámy, lebo zastávajú názor, že rám má byť pevný, tvrdý, nepoddajný a pritom čo najľahší a najlacnejší. Presne ako u motocyklov a automobilov. Ak chceme „mäkký“ rám (mäkký v zmysle, že pohlcuje vibrácie – nerovnosti terénu), treba ho odpružiť predným, prípadne aj zadným odpružením. Naopak niektorí jazdci tvrdia, že hliník je pre nich „mŕtvy a studený“ a siahnu radšej po kvalitnom ocelovom, alebo ak na to majú, titánovom ráme.

Ak by som mal spomenúť aj nejaké nevýhody, tak pri veľmi tenkých rámoch sa hovorí o mäknutí rámu. No pri tej naozaj minimálnej hrúbke steny sa nad tým asi ani

potom sa už materiál ďalej nespevňuje, ale práve naopak – mäkne. Taktiež hliníkové trubky sú náchylné na vrub. Poprední výrobcovia však tvrdia, že je to problém len tých, čo s hliníkom nevedia správne pracovať. Pre zaujímavosť, o dosť viac týmto neduhom trpia titánové rámy, kde si šírenie štrbiny ani nestihnute všimnúť, lebo to prosto praskne. U hliníkových rámov to je o niečo lepšie. Nesporne obrovskou výhodou je však cena. Hliníkových rámov je už naozaj toľko, že ich cena klesla na veľmi prijateľné hodnoty, a teda s hliníkovým rámom sa stretávame na bicykloch všetkých cenových kategórií.

Stále píšem o hliníkových rámoch, alebo o rámoch z hliníkových zliatin. Ako som už napísal, čistý hliník sa ako konštrukčný materiál nepoužíva, vždy je to zliatina s inými prvkami. Aké sa teda najznámejšie hliníkové zliatiny používajú na výrobu cyklistických rámov?

4.1. SCANDIUM

Je vzácny prvok ktorým sa leguje hliník a vzniká špecifická hliníková zliatina väčšinou triedy 7000. Často sa o ňom mylne tvrdí, že zlepšuje tlmiace vlastnosti hliníkových rámov. Nie je to však presné tvrdenie, pretože prítomnosť tohto prvku vlastne zlepšuje možnosti spracovania a zvarenia normálne nezvariteľných trubiek. Vďaka tomu je možnosť vyrábať a zvärať trubky s menším priemerom, pri zachovaní rovnakej pevnosti. Už samotný fakt, že trubky majú menší priemer prispieva k zlepšeniu tlmenia vybrácií a vyššieho komfortu. Scandiové trubky sú taktiež odolnejšie voči únavovému opotrebeniu a v porovnaní s klasickými hliníkovými trúbkami lepšie odolávajú prirazu resp. podobnému možnému poškodeniu trubky. Nevýhodou sú však vyššie technologické nároky na spracovanie, ako napríklad zložitejší proces zvarovania a nutnosť tepleného spracovania, ktoré sa prejaví v cene. Takisto aj vzácnosť výskytu scandia v prírode prispieva k vysokej cene tejto zliatiny. Aj preto sú tieto materiály skôr na ústupe pred kompozitnými materiálmi.

4.2. MAGNÉZIUM

Často si o rámoch z tohto materiálu ľudia myslia, že magnézium je len legura hliníka, podobne ako scandium. No opak je pravdou. Nie je to rám zo zliatiny hliníka, s prímiesou horčíka, ale práve je to horčíková zliatina, kde hliník je len legura a má zastúpenie približne 10% v tejto zliatine. Výhodou magnéziových rámov je zlepšenie tlmiacich vlastností, oproti klasickým hliníkovým rámom. Najväčší problém trubiek vyrobených z tohto materiálu je korózia spôsobená vysokou chemickou reaktivitou magnézia. Stačí, aby sa niekde poškodila ochranná vrstva trubky (náter) a spustila sa chemická reakcia, pri ktorej začne táto zliatina korodovať. Problém vzniká aj na miestach, kde sa k rámu uchytávajú oceľové alebo hliníkové komponenty. Na týchto miestach vzniká *galvanická korózia*, čo je vlastne elektrochemický proces. Kvôli týmto problémom ustúpilo niekoľko výrobcov od používania magnéziových rámov. Preto sa s nimi na bicykloch stretávame len veľmi zriedka.

5. KOMPOZIT

Všetci ho dobre poznáme a v dnešnej dobe už nie je tak exkluzívnym a výnimočným materiálom ako kedysi. Jeho výhody sú zrejmé aj z toho, že celá svetová špička, či už cestnej alebo horskej cyklistiky jazdí na rámoch z tohto materiálu. Tento trend sa posúva aj do nižších sfér cyklistiky a zjednodušením výroby kompozitných rámov sa stáva karbon prístupnejší pre širšie masy. Jeho pôvod je jasný z armádnych, leteckých a kozmických výskumov. Stretnúť sa s ním môžeme na krídlach lietadiel, v raketoplánoch, ale aj v iných odvetviach ako napríklad vrcholové športy a iné...

Už v úvode som použil viacero názvov pre kompozitné materiály a je ich ešte viac. Začnime tým, čo vlastne kompozit je? V preklade by to znamenalo niečo ako zloženina – materiál, ktorý je zložený z viacerých prvkov, zložiek. Avšak takémuto prekladu vyhovuje skoro každý materiál na svete. Kompozitné materiály sú ale iné v tom, že po spojení ich zložiek, dostaneme výsledný materiál, ktorý má oveľa lepšie fyzikálno-mechanické vlastnosti, ako jeho samotné pôvodné zložky. Tieto zložky sú matrica a spevňujúce fáze. Ďalej by sme ich mohli špecifikovať podľa druhu a tvaru takto:

	- kov	
Matrica:	- polymér	- polyesterové, vinylesterové, epoxidové
	- keramika	
Spevňujúce fáze:	- častice	
	- krátke vlákna	
	- dlhé vlákna	- rôzne dĺžky, usporiadania, natočenie, vrstvenie (obr. 12)

Matrica má za úlohu držať vlákna pohromade. Najpoužívanjšie a najlepšie sú epoxidové živice. Ich nevýhodou je však cena. Ako spevňujúce fáze sa v kompozitoch, pri stavbe rámov bicyklov, používajú vlákna. Tie ovplyvňujú z veľkej časti mechanické vlastnosti výsledného kompozitu. Vlákna sa vyrábajú z rôznych materiálov. V cyklistike sa najčastejšie stretávame s uhlíkovými, sklenenými a aramidovými vláknami. Uhlíkové sú najpoužívanjšie pre špičkové požiadavky. Aramidové sú známe ich typickou žltou farbou, alebo podobné kevlarové vlákna, ktorých pomenovanie sa zaužívalo, aj keď to je ich obchodný názov. Kevlarové vlákna majú nižšiu pevnosť v ťahu, tlaku a nižšiu tuhosť oproti uhlíkovým vláknam. Najmä nízka pevnosť v tlaku je zapríčinená hladkým povrchom vlákna a tým pádom slabým spojením s matricou, avšak tieto vlákna majú najväčší pomer pevnosť/hustota zo všetkých dostupných komerčných vlákien. Sklenené vlákna majú navrch oproti ostatným hlavne v cene a sú vhodné v takej triede bicyklov, kde nie sú požadované špičkové vlastnosti. Môžeme sa stretnúť aj s tkaninami vyrobenými z viacerých druhov vlákien, nazývané hybridné tkaniny. Najčastejšie to sú uhlík-kevlarové tkaniny. Ďalej to môžu byť polyamidové alebo polyesterové tkaniny, ktoré sa zvyčajne zapracujú ako jedna vrstva medzi ďalšie, už spomínané tkaniny. Takto dosiahneme zlepšenie konkrétnych požadovaných vlastností. Napríklad väčšia odolnosť voči odreniu, lepšie pohlcovanie vibrácií, alebo ovplyvňujú správanie kompozitu pri náraze, kedy sa nepoláme, ale len pokrčí.

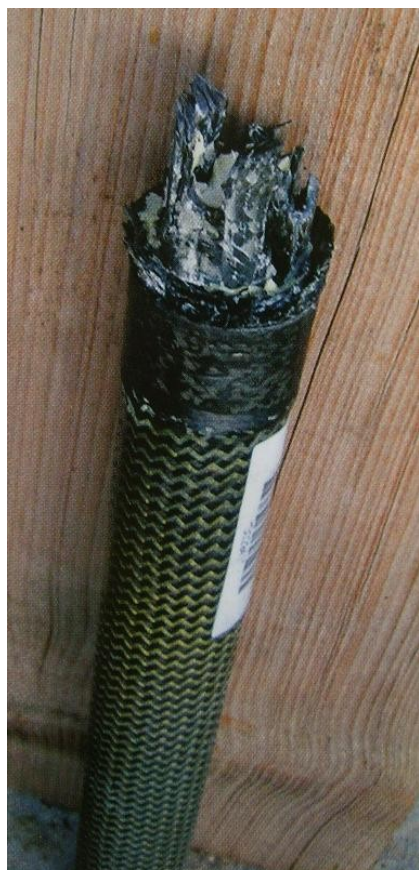
Obr. 12: rôzne druhy usporiadania vlákien v kompozite



Obrovskou výhodou kompozitov oproti kovovým materiálom je anizotropia. Vláknové kompozity majú v rôznych smeroch rôzne vlastnosti. Preto pri výrobe rámu môžeme jednotlivé vrstvy naskladať podľa potreby, resp. podľa veľkosti a smeru zaťaženia v konkrétnom mieste rámu (obr. 13), na rozdiel od titánu, oceli, hliníku, kde je materiál izotropný a má v každom smere rovnaké vlastnosti. Takýmto vhodným smerovaním vlákien a jednotlivých vrstiev sa dá dosiahnuť úspora hmotnosti, lebo v miestach, kde rám nie je príveľmi namáhaný môžeme použiť oveľa menej vrstiev tkaniny, ale s vhodnou orientáciou. Miestami môže mať stena hrúbku len 0,4 mm, takže je to ešte efektívnejšie lokálne zoslabovanie ako u iných materiálov. Samozrejme sa pri návrhu rámu používajú počítačové systémy, ktoré



Obr. 13: ukážka zosilnenia karbónového rámu v namáhanom mieste stredového zloženia (10)



Obr. 14: delaminácia kompozitného materiálu (10)

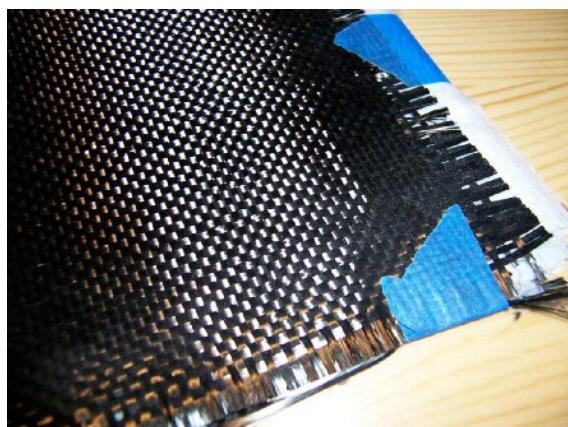
dokážu nasimulovať veľkosť a smer napätia v konkrétnych oblastiach celého rámu bicykla. Konštruktéri potom môžu presne naskladať v konkrétnom mieste toľko vrstiev tkaniny, koľko je potrebné na zaručenie bezpečnosti rámu. Ak by však malo dôjsť, za nejakých okolností, k únavovému porušeniu, môžeme zostať pokojní, lebo aj v tejto vlastnosti sú na tom kompozity lepšie ako kovy. Príčinou je odlišný mechanizmus šírenia únavových porúch. V kovoch sa trhlinka, ktorá vznikla pri namáhaní, šíri po hraniciach zŕn veľmi rýchlo až kým nedôjde k únavovému lomu. V kompozitoch sa však trhlinka zastaví na najbližšom vlákne. Aby došlo k poruche podobnej únavovému lomu ako u kovov, museli by sme sa u kompozitov pohybovať na vyšších hodnotách napätia. Vtedy by sa začali jednotlivé vlákna oddeľovať, vtrhávať z matrice, tá by začala praskať, vlákna by sa popretŕhali a došlo by k delaminácií (obr. 14).

Spoločnými znakmi týchto všetkých kompozitných materiálov je dobrá pevnosť, tuhosť, nízka merná hmotnosť a rázová húževnatosť. Práve hmotnosť je najväčším lákadlom pre celú svetovú cyklistickú špičku a pre ostatných lovcov gramov. Konkrétne mám na mysli hmotnosť všadeprítomného karbónu čo je uhlíkovo-epoxidový kompozit. Ako to je teda s jeho hmotnosťou? Je samozrejmé, že ohromne záleží na konkrétnom zložení daného kompozitu, ale ak by som sa to pokúsil trochu zovšeobecniť, tak karbón má päťkrát menšiu mernú hmotnosť než legovaná oceľ, ale zároveň má rovnakú alebo vyššiu pevnosť, pri orientácii vlákien jedným smerom a namáhaní ťahom. Ak by sme karbón porovnali s duralom, tak kompozit má dvakrát menšiu mernú hmotnosť, ale je skoro trikrát tak pevný. Porovnateľnú mernú hmotnosť s karbónom má z kovov jedine magnézium. Aby

som mernú hmotnosť nespomínal zbytočne, vysvetlím jej dôležitosť na ďalšej materiálovej charakteristike a tou je modul pružnosti. Ak by sme rozmerovo rovnaké vzorky ocele a uhlíkového kompozitu namáhali ťahom (pri pôsobení rovnakej sily), tak deformácia karbónu bude 2,4 krát väčšia ako ocelej vzorky. Na prvý pohľad by sa mohlo zdať, že to nie je žiadna sláva, keď je oceľ tuhšia, ale ak by sme prierez kompozitnej vzorky zväčšili natoľko, aby vykazovala rovnaké deformácie ako oceleová vzorka, tak karbón by mal polovičnú hmotnosť! Práve vďaka svojej mernej hmotnosti.

Tab. 5: merná hmotnosť a modul pružnosti u konkrétnych materiálov (11)

Materiál	Merná hmotnosť [kg.dm ⁻³]	Modul pružnosti v ťahu [GPa]
Oceľ	≈8,0	190 ÷ 220
Titán	4,4 ÷ 4,7	100 ÷ 130
Hliník	2,6 ÷ 2,9	690 ÷ 730
Karbón	≈1,6	≈100



Obr. 15: vláknový kompozit (12)

Na výrobu kompozitných rámov alebo samotných trubiek sú vhodné rôzne technológie. Preto existuje viacero foriem, v akých sa vlákna (obr. 15) dodávajú k výrobcovi. Môžu to byť rôzne tkaniny, pásy, rohože, špagáty. Okrem toho, pre technológiu vstrekovania sa nepoužívajú vláknové kompozity (iba ak sú jemne nasekané), ale skôr časticové, alebo granulové (obr. 16) kompozity. Technológia vstrekovania sa využíva napríklad pri výrobe plastových polotovarov. Samotné kompozitné rámy sa tak nevyrábajú, ale rôzne doplnky ako telá prehadzovačiek, brzdové páčky atď. Preto, keď v štruktúre neuvidíme vlákna, nemusí to

jednoznačne znamenať, že to nie je kompozitný materiál. Časticové kompozity sa vo veľkom používajú ako materiál rôznych trecích segmentov, napríklad brzdové kotúče, alebo doštičky. V tomto prípade nemusí byť matrica polymér, ale najmä kov, alebo keramika.

Na prvý pohľad je možno najjednoduchšou technológiou výroby rámu, spájanie karbónových trubiek pomocou kovových spojok, ktoré sú väčšinou z hliníkových, horčíkových zliatin, alebo titánu, občas z ocele (obr. 17). Tieto spojky sú buď vnútorné alebo vonkajšie. Karbónové trubky sa do nich vlepujú. Musí sa použiť vhodné lepidlo, lebo práve to by malo zrovnať odchýlky medzi rozdielnymi tepelnými rozťažnosťami kompozitu a kovu. Trubky môžeme použiť jednoduché s rovnakým prierezom a rovnakou hrúbkou steny, ktoré sa vyrábajú navíjaním a súčasnou impregnáciou na trni.

Ich kvalita je veľmi dobrá. Alebo môžeme použiť už upravené, tvarované trubky napríklad aj s lokálnym zoslabením (dá sa stretnúť aj s kompozitnými trubkami, ktoré majú už priamo od výrobcu, na ich koncoch nalepené oceleové koncovky, vďaka ktorým sa dajú potom tieto



Obr. 16: granulový kompozit (13)



Obr. 17: spájanie karbónových trubiek pomocou vonkajších spojok (10)

trubky zväzať). Najväčšou výhodou lepenia trubiek do spojok je možnosť stavby maximálne individuálnych geometrií rámov presne na mieru a podľa požiadaviek jazdca. Taktiež pri výrobe samotných kompozitných trubiek sa môže klásť väčšia pozornosť jednotlivým uhlom nápletu a počtu vrstiev tkaniny, tak aby čo najlepšie zvládali celkové zaťažovanie rámu. Nespornou výhodou je aj možnosť výmeny ktorejkoľvek rámovej trubky pri jej prípadnom poškodení. Na druhej strane treba zabezpečiť

vysoko kvalifikovaných pracovníkov pri takejto individuálnej stavbe rámov a to sa samozrejme negatívne prejaví aj v cene rámu.

Veľmi podobnou technológiou, ako bola predošlá, je vlepovanie kompozitných trubiek do kompozitných spojok. Tu však záleží na kvalite týchto spojok. Ak sú vyrobené z kvalitného kompozitu, vznikajú rámy s nízkou hmotnosťou a perfektnými vlastnosťami. Ak sú spojky menej kvalitné a nevenuje sa im toľko pozornosti pri výrobe (predimenzujú sa aby sa nemuseli náročne počítať), rám bude mať vyššiu hmotnosť. Aby sa výroba urýchlila a zjednodušila, tak sa začali spojky vyrábať vo formách a tým pádom veľkých sériách. Výhodou je, že na finálne zostavenie rámu, nepotrebujeme až takých kvalifikovaných pracovníkov, ale zároveň strácame výhodu v možnosti prispôbiť geometriu rámu individuálnym požiadavkám jazdca. Pretože sa spojky vyrábajú napríklad len v troch variantoch a v obrovských množstvách.

Ďalší postup je zrejme najnáročnejší na kvalifikovanosť personálu, kedy samotný pracovník je tvorca, možno až umelec a rám sa vyrába celý od základov. Takže žiadne pripravené trubky a ich vlepovanie do vyrobených spojok. Pri tomto postupe sa tkanina ukladá do negatívnej formy, alebo na pozitívne kopyto a následne sa ručne impregnuje živicom. Väčšinou sa rámy vyrábajú z dvoch symetrických polovíc a spájajú sa vo vákuovej alebo tlakovej peci. Táto technológia nie je až taká náročná na prípravky ale o to viac, ako som už spomínal, na odbornosť personálu. Výhodou je, že môžu vznikať rámy s individuálnou geometriou, ktoré sú naozaj veľmi ľahké. Najľahšie majú značne pod jeden kilogram.

Iná, možno trochu podobná technológia sa nazýva *prepregy*. Tak isto ako predtým je základným materiálom jednosmerná tkanina, no tentokrát už strojovo presýtená živicom a je na nej ochranná fólia. Z takejto tkaniny sa, podobne ako u krajčír, narežú jednotlivé strihy, odlepí sa fólia a teplom (teplovzdušnými pištoľami) sa zahrejú tak, aby sa stali mierne tvarovateľnými a vkladajú sa do foriem. Tieto formy sa spájajú a spoločne putujú do pecí, kde je zvyčajne aj zvýšený tlak a tým živica vytvrdne. Nevýhodou je náročnosť prípravy foriem, ale na druhej strane, výhodou je čistota práce, rovnomerné, ideálne, strojové presýtenie tkaniny živicom a nižšie nároky na zručnosť pracovníkov.

Poslednou známou technológiou na výrobu kompozitných rámov je výroba *monokokových* rámov (obr. 18). Je to vlastne rám vyrobený v jednej operácii. Nelepia sa žiadne trubky do spojok, všetko potrebné sa vloží do formy a všetko sa spečie v jednom

operačnom kroku, alebo sa rám zlepi v rovine symetrie. Tieto rámy sa vyrábajú vo formách. Každá veľkosť rámu má svoju formu. Tým pádom sa úplne stráca možnosť individualizácie geometrie rámu. Táto technológia je náročná prvotnými nákladmi na výrobku každej formy,



Obr. 18: ukážka monokokového rámu (14)

ale nasledovná produkcia je veľmi jednoduchá, rýchla a lacná. Pri dôkladnom kladení jednotlivých vrstiev, správnom smerovaní vlákien, správnom uhle nápletu a optimálnej profilácii trubiek, môžeme vyrobiť veľmi kvalitný rám. No častejšie sa stretávame s masovou ázijskou produkciou, kde si veľmi starosti s počtom a smerovaním vrstiev nerobia, lebo sa nevenujú rozboru síl a napätí pôsobiacich na rám. Namiesto toho použijú univerzálnu karbónovú tkaninu a takto vyrábajú obrovské množstvo, v podstate lacných rámov.

Takže keď sa v cyklistike hovorí o výhodách karbónových rámov, máme na mysli ich bezkonkurenčnú hmotnosť, vysokú pevnosť a pružnosť, ktorá nie je sprevádzaná zmenami vlastností materiálu, majú najlepší pomer pevnosti a hmotnosti z pomedzi ostatných konštrukčných materiálov na stavbu rámu. Taktiež najpomalšie starnú, majú najlepšie únavové charakteristiky a nekorodujú. Absorpcia vibrácií je vynikajúca pri vhodných uhloch nápletu, pri použití správneho typu vlákna a naskladaní jednotlivých vrstiev, čo u kovových materiálov nemôžeme nikdy ovplyvniť. Dokážu najlepšie špecifikovať konkrétne jazdné požiadavky, aj keď niekedy za cenu divokých tvarových kreácií. V súčasnosti aj hrozba náhleho prerazu karbónového rámu o nejakú prekážku, napríklad pri páde, ustúpila do pozadia, lebo sa s ním môžeme stretnúť aj na celoodpružených bicykloch, kde sa drsnejšie zaobchádzanie berie ako samozrejmosť. Zrejme riziko fatálneho poškodenia kompozitného rámu pri páde nie je o nič väčšie, ako pri rámoch z tenkostenných hliníkových trubiek. Avšak väčšina týchto výborných vlastností je závislá práve na vhodných výrobných technológiách, kvalitných surovinách alebo polotovaroach, dlhom výskume a výpočtoch napätí, silových pôsobení, ktoré sa v ráme vyskytujú a treba ich zvládnuť. V neposlednom rade na ľudskom prístupe, teda odbornosti personálu, ktorý vytvára finálnu podobu rámu. Avšak ak niektorý z týchto bodov nie je splnený, za nemalé peniaze si kúpime rám, ktorému by sa vyrovnal lepší hliníkový, alebo iný kvalitnejší kovový rám za možno polovičnú cenu. Napriek tomu, zrejme len zvládnutie vhodných technológií, ktoré uľahčia výrobu kompozitných rámov a zrazia ich

cenu ešte nižšie, nás delí od toho, aby sa karbón stal naozaj najpoužívanejším materiálom na výrobu cyklistických rámov.

Existuje však ešte jedno riešenie, ktoré zníži cenu rámu, zachová si tuhosť kovového rámu, no zároveň sa priblíži ku komfortu kompozitného rámu. Je to kombinácia karbónovej zadnej stavby bicykla a hliníkovej zliatiny zvyšku rámu, teda hlavného trojuholníka. Niekedy



Obr. 19: softailový rám (15)

sa zvykne takýto rám označovať názvom ako *softail* (obr. 19). Nie je tvrdý ako klasický *hardtail* (pevná konštrukcia rámu) a ani tak výrazne nepruží ako odpružený rám (s použitím zadného tlmiča), ale je to niečo medzi nimi. Práve toto jemné odpruženie je dosiahnuté použitím kompozitu a jeho správnym upletením, profilovaním, zoslabovaním a smerovaním vlákien v zadnej stavbe. Kompozit tu funguje presne tak, ako som popisoval skôr. Je možnosť, že ho nájdeme na trubkách, ktoré smerujú šikmo od zadného náboja kolesa k sedlovej trubke, alebo aj na spodných trubkách rovnobežných s reťazou. Tieto karbónové trubky sú nasadené a následne prilepené, na spojky rámu (väčšinou vnútorné spojky), ktoré vyčnievajú v miestach pripojenia kompozitných trubiek, teda v miestach na sedlovej rámovej trubke. Samozrejme podľa množstva karbónu sa mení aj cena rámu a komfort jazdy. No ako doteraz, aj v tomto prípade platí, že niektorí výrobcovia sa k takémuto riešeniu postavia zodpovedne a na ich

rámoch kompozitná zadná stavba prispieva k značnému zvýšeniu pohodlia. Iní výrobcovia len využijú trend karbónu ako takého a zadná stavba sa stáva akýmsi módnym doplnkom, marketingovým lákadlom, no z funkčnej stránky je úplne zbytočná.

6. NANOTECHNOLÓGIE

V poslednej dobe sa môžeme v cyklistických katalógoch stretnúť práve s takýmto výrazom. Samozrejme je to úplný nezmysel a len hra so slovíčkami a názvami. Nano je predpona pre hodnotu, ktorá je veľkosti desať na mínus deviatu. Takže napríklad dĺžka o akú nám narastie necht za jednu sekundu. Pri tejto veľkosti sú konštrukčnými prvkami nanotechnológií molekuly, alebo samotné atómy. V súčasnosti sa v najlepších výskumných ústavoch na svete pracuje okrem iného na výskume a výrobe *nanotubes*, čo sú, veľmi zjednodušene povedané, malé trubky vyrobené práve z atómov usporiadaných do akejsi kryštalickej mriežky. Darí sa ich zatiaľ vyrobiť v dĺžkach len niekoľko mikrometrov a aj to s množstvom defektov. Prečo sa potom stretávame s termínom *nanotubes* v katalógoch a na výstavách niektorých výrobcov? Dokonca majú celé rámy vyrobené z nanotrúbok. Pravda je ale zrejme taká, že pri troche šťastia primiešali do kompozitnej štruktúry nejaké neznáme (nano)častice, alebo dokonca len mikročastice a vyhlasujú že sú to nanotrúbky. Vlastnosti materiálu sa pri takom nízkom počte „nejakých“ častíc nemohli ani zlepšiť a sme radi, že aspoň zostali rovnaké. Takže takéto tvrdenia ohľadom rámov z nanotrúbok sú samozrejme číry nezmysel. Nanotechnológie v cyklopriemysle sú žiaľ zatiaľ len hudbou budúcnosti.

7. PREHL'AD MATERIÁLOV RÁMOV RÔZNYCH TYPOV BICYKLOV V SÚČASNOSTI

Tab. 6: Prehľad materiálov na výrobu rámov rôznych druhov bicyklov v súčasnosti

kategória bicyklov	rozdelenie	detailnejšie rozdelenie	materiál rámu
cestné	klasické		karbón / zliatina hliníka
	časovkové špeciály		karbón
trekingové	klasické		zliatina hliníka
horské	odpružená len predná vidlica		karbón / zliatina hliníka
	celoodpružné	nízke zdvihy	karbón / zliatina hliníka
		vysoké zdvihy	karbón / zliatina hliníka / oceľ
zábavné	BMX		oceľ / zliatina hliníka
	freestyle, street, dirt...		oceľ / zliatina hliníka

Pozn.: v tabuľke sú uvedené najbežnejšie materiály používané na stavbu rámov v súčasnosti. Samozrejme sa používajú aj ostatné, ale nie sú tak bežné. Keď je uvedených viac druhov materiálov, znamená to, že pre rôzne cenové kategórie sú bežné iné materiály rámov.

8. POUŽITIE MATERIÁLOV NA VÝROBU RÁMOV U KONKRÉTNÝCH SVETOVÝCH VÝROBCOV

Výrobcov cyklistických rámov je vo svete obrovské množstvo. Pri otázke použitia konkrétneho materiálu zostávajú niektorí výrobcovia verní klasickým materiálom, ktorých použitím sú všeobecne známi. No niektorí výrobcovia vkladajú nemalé peniaze do vývoja nových materiálov alebo vylepšovania vlastností už použitých materiálov v cyklistike. Každoročne prichádzajú s novinkami v oblasti spracovania, použitia, tvarovania a v podstate určujú celosvetové trendy v použití daných materiálov na konkrétnych typoch rámov bicyklov. Z pravidla sú to veľké a silné koncerny - známe značky, ktoré dodávajú svoje rámy (bicykle) závodným tímom. Obyčajne sú to horúce novinky, ktoré sú už ale kvalitne otestované a po úspešnej sezóne sa rovnaké modely dostanú aj do cyklistických predajní. Samozrejme každá značka prichádza s novinkami, no teraz by som chcel spomenúť tých najznámejších, najinovatívnejších alebo inak zaujímavých výrobcov cyklistických rámov (bicyklov):

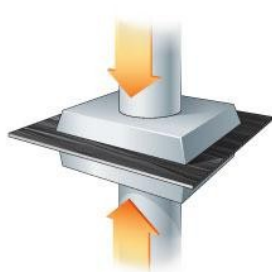
8.1. TREK

Pomerne známa americká značka aj vďaka Tour de France a Lancovi Armstrongovi. Všetky modely v ich ponuke sú postavené na hliníkovom alebo kompozitnom ráme, okrem niektorých detských bicyklov, ktoré majú oceľové rámy. Za prínos TREK-u do cyklistiky môžeme, okrem iného, považovať použitie zirkónia ako legujúceho prvku v hliníkovej zliatine. Svoju hliníkovú zliatinu, ktorú používajú na stavbu rámov označujú ako alpha aluminum. Ďalej ju ešte špecifikujú na tri skupiny (obr. 20) podľa kvality a ceny a odlišujú ich farebnými bodkami. Červená – používajú najkvalitnejšie zliatiny hliníka práve s prídavkom zirkónia označované ZR9000 alebo hliníkové zliatiny triedy 7000. Ďalšie dve rady označujú čiernou a bielou bodkou, kde biela je najnižšia rada. V oboch používajú zliatiny hliníka triedy 6000 a odlišujú sa len v použití tvarovania resp. netvarovania trubiek.



Obr. 20:
označovanie skupín
Al. rámov (16)

TREK sa od samotného začiatku, kedy do cyklistiky vstúpili kompozitné materiály, zaoberá výskumom a neustálym vývojom nových technológií v spracovaní, tvarovaní a správnom použití týchto materiálov. Použité kompozitné materiály na svojich rámoch označujú ako OCLV carbon (Optimum Compaction, Low Void), čo v preklade znamená niečo ako: „optimálne stláčanie, málo dutín“. Na výrobu svojho OCLV karbónu naozaj používajú lis (obr. 21), kde za pôsobenia tlaku a tepla vyrobí kompozitný materiál s požadovaným pomerom vlákien k množstvu živice a tým maximalizujú pevnosť



Obr. 21: lisovanie
karbónu (16)



Obr. 22: zredukovanie
dutin (16)



Obr. 23: smerovanie
vlákien (16)



Obr. 24: vrstvenie
tkaniny (16)

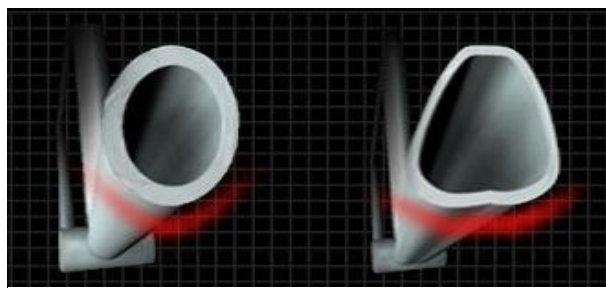
a minimalizujú hmotnosť. Pri tomto procese lisovania sa tak isto redukovávajú aj miniatúrne dutiny medzi jednotlivými vrstvami tkaniny (obr. 22). Samozrejme, pri stavbe rámu používajú aj ostatné dôležité technológie ako správne smerovanie vlákien (obr. 23) a skladanie viacerých vrstiev tkaniny na seba v namáhaných častiach rámu (obr. 24). Karbónové rámy taktiež delia ešte do troch skupín, označovaných farbami, presne ako u hliníkových rámoch.

8.2. MERIDA

Patrí medzi najväčších svetových výrobcov a vo svojej širokej ponuke má všetky druhy bicyklov. Vysoké čísla predaja ich produktov jej zabezpečujú stabilné ekonomické zázemie, ktoré správne využívajú na vývoj nových technológií už viac ako 30 rokov. Preto je Merida v cyklistike známa ako tvorca nových technológií. O kvalite ich rámov, resp. bicyklov svedčí aj fakt, že na nich jazdia majstri sveta (najmä z horských disciplín) a olympijskí víťazi. Na začiatku tohto tisícročia prišla Merida s materiálovou novinkou. Konkrétne išlo o využitie zliatiny magnézia ako materiálu na stavbu cyklistických rámov. Merida tým reagovala na dopyt po stále ľahších rámoch. Okrem toho ostatné používané materiály (oceľ, titán, hliník) sa v tej dobe dostávali na hranicu svojich fyzikálnych možností. Preto sa Merida vydala svojou cestou a začala investovať nemalé prostriedky do vývoja nových technológií a do náročného testovania nového „materiálu budúcnosti“, ako vtedy volali horčíkovú zliatinu. Keď niekto v tej dobe povedal slovo Merida, automaticky každého kto sa trochu vyznal v cyklistike napadlo magnézium. Merida skutočne rámom z tejto zliatiny spravila obrovskú reklamu a používala ich na svojich TOP modeloch bicyklov. Pre zaujímavosť spomeniem, že na jednom takomto ráme vyhrala Gunn-Rita Dahleová Olympiádu. Horčíková zliatina sa javila ako výborný materiál na stavbu rámov, v jej prospech hovorili aj čísla a fakty, ktoré som už na začiatku práce v prehľade materiálov spomínal.

Dalo by sa povedať, že Merida v podstate zo sezóny na sezónu prestala hovoriť o svojich jedinečných magnéziových rámoch. Akosi v tichosti sa tieto rámy stratili a Merida sa začala oveľa viac orientovať na výrobu kompozitných rámov. Vlastne ju k tomu dotlačil celosvetový trend a dopyt po karbónových rámoch, kedy každý výrobca musel mať vo svojej ponuke aspoň jeden kompozitný rám. No postupom času treba povedať, že sa Merida opäť vydala správnym smerom a ich technológie na výrobu a spracovanie kompozitných materiálov patria k celosvetovej špičke.

Ak by som mal ešte spomenúť technológiu, ktorú Merida pred pár rokmi vyzdvihovala a v súčasnosti je zabudnutá, tak je to určite tvarovanie spodnej rámovej trubky tzv. *shotgun*



Obr. 25: klasický - kruhový a *shotgun* prierez trubky (17)

tubing (obr. 25). Už z prekladu je jasné, že trubka má tvar hlavne brokovnice. Tým chceli konštruktéri v Meride odstrániť problém deformácie tenkostenných trubiek (menej ako 2mm). Zjavne sa im to aj podarilo, lebo Merida používala najmenšiu hrúbku steny 1,4mm, ale o tejto technológii v súčasnosti nie je počuť. Dokonca sa nevyskytuje na žiadnom modeli z tohoročnej ponuky bicyklov.

V súčasnosti má Merida každý bicykel postavený na kompozitnom alebo hliníkovom ráme. Svoj kompozitný materiál označujú ako Nano Carbon. Používajú uhlíkové vlákna Hi-Modulus IM-600 japonskej firmy TOHO, ktoré sú vraj o 20% pevnejšie ako konkurenčné. Pri stavbe kompozitných rámov používajú špeciálny vytvrdzovací materiál Nano Matrix, ktorý obsahuje reťazce molekúl v rozmeroch nanometrov. Tým sa vytvára extrémne pevná vnútorná sieť, ktorej výsledkom je zvýšenie pevnosti (odolnosti) na prierez až o 40%. Takže použitím Hi-Modulus vlákien,



Obr. 26: zadná stavba flex-stay (18)

tzv. *Flex-Stay* (obr. 26). Ide o tvarovanie zadnej stavby, kde návrhári vychádzali z jednoduchej myšlienky plochej pružiny. V kombinácii s karbónovými vláknami takáto zadná stavba umožňuje mierny pohyb hore a dole, čím jemne absorbuje rázy z terénu. Túto technológiu detailnejšie popíšem neskôr, avšak u iného výrobcu.

Na záver len stručne popíšem ďalšie inovatívne technológie, ktoré Merida v súčasnosti používa, a ako ich označuje:

HFS, TFS – hydroforming, technoforming – technológie, ktoré som už popisoval, Merida používa ako materiál trubiek, zliatinu hliníka PROLITE 66, čo je vlastne zliatina hliníka triedy 6000, ktorých tvar upravuje hydroformingom alebo technoformingom

Robotweldet System – robotické zváranie trubiek rámu – oveľa presnejšie ako ručné

S tým súvisí technológia Smooth – hladké zvary – zvary netreba dodatočne brúsiť ani leštiť a tým sa neoslabuje pevnosť trubiek.

Egg shape – špeciálne tvarovaná hlavová trubka, ktorá zvyšuje tuhosť prednej časti rámu

Dura Skin – vysoko kvalitné práškové laky – vysoká odolnosť voči poškrabaniu

8.3. LITESPEED

Menej známa americká firma, ktorá sa zaoberá výrobou titánových rámov už od roku 1986. V rokoch 2002-2006 používali na stavbu rámov aj hliníkové zliatiny alebo kompozitné materiály, ale na konci roka 2006 sa vrátili späť k výrobe rámov z materiálu, vďaka ktorému sa preslávili, a teda titánu. Ich služby, ako vynikajúcich konštruktérov titánových rámov, využilo mnoho známych ľudí a firiem. Napríklad v roku 1999 Lance Armstrong na Tour de France jazdil časovky na titánovom ráme od Litespeed, avšak vo farbách tímu a pod označením rámu TREK. Litespeed sa zaoberá, pre svoje vlastné účely, aj výskumom zaťažovania jednotlivých trubiek rámu pri rôznych štýloch jazdy. Výsledky samozrejme napomáhajú pri návrhu hrúbky stien trubiek a ich vhodnom tvarovaní. Z tohto výskumu uvediem niektoré zaujímavé hodnoty zaťaženia, ktoré sú uvedené v %, kde 100% je maximálne zaťaženie a názorné obrázky (obr. 27)

Cruising = pokojná jazda

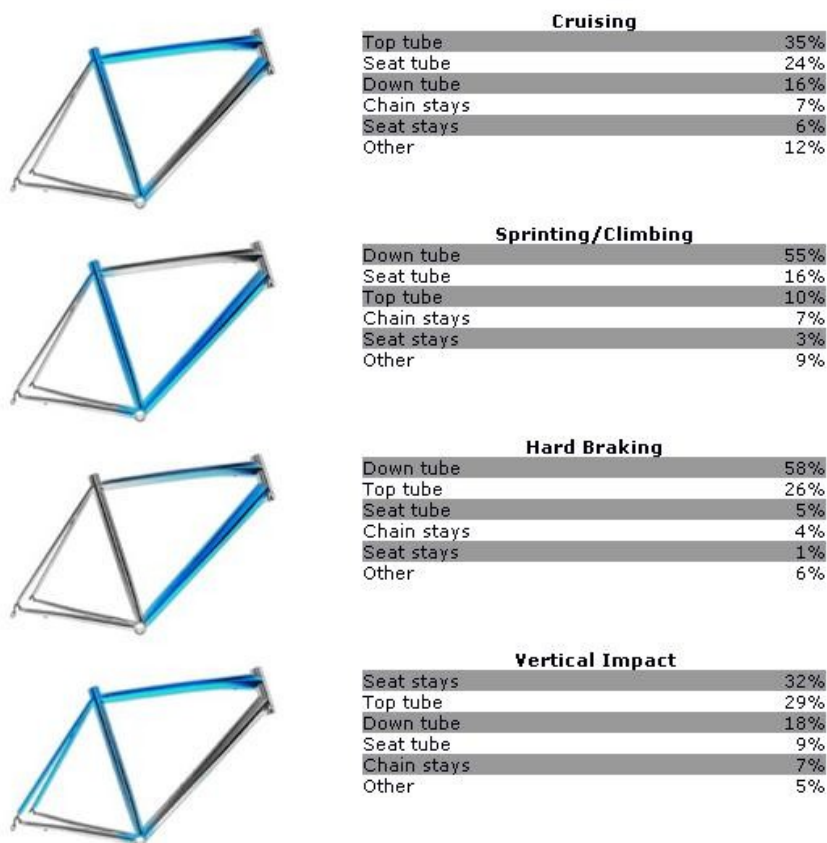
Sprinting/Climbing = šprintovanie/výjazd do kopca

Hard Braking = silné brzdenie

Vertical Impact = vertikálne zaťaženie

Nano Matrix technológie a nového tvarovania trubiek sa im podarilo zvýšiť pevnosť rámu na ohyb, dokonca pri súčasnom znížení hmotnosti! Na papieri to vyzerá pekne, ale aká je skutočnosť? O tom hovorí množstvo ocenení, napríklad od nemeckého magazínu *Bike*, ktorý vyhodnotil model 2008 Carbon FLX 5000 ako jeden z dvoch najlepších na svete!

Ďalšou výbornou technickou novinkou (ťažko povedať či z dielne Meridy) je



Obr. 27: zaťaženie trubiek rámu pri rôznych štýloch jazdy (19)

Takže prínos firmy Litespeed do svetovej cyklistiky je zrejmy. Ako jedna z mála sa zaoberá výrobou špičkových titánových rámov.

8.4. PINARELLO

Známa talianska firma, ktorej bicykle sú hotové umelecké diela. Môže sa zdať, že túto značku spomínam zbytočne. Svoje bicykle stavajú štandardne najmä na karbónových rámoch a tie lacnejšie na hliníkových rámoch, ako aj 90% ostatných svetových značiek. Ale jeden model z ich ponuky bicyklov je zaujímavý materiálom, z ktorého má vyrobený rám. Ide o magnézium, čo je po ukončení produkcie horčikových rámov značkou Merida, celkom nezvyčajný materiál na stavbu rámov. Projekt horčikového rámu začalo Pinarello v roku



Obr. 28: Dogma Magnesium (20)

2000. Po siedmych rokoch výskumu, vývoja a testovania uviedli na trh to, čo si zaumienili – DOGMA FPX 2007 (obr. 28) – bicykel, ktorý má rám vyrobený zo zliatin horčika. Označujú ho ako extrémne pohodlný, kovový, ľahký, precízny a výkonný. Firma Pinarello tvrdí, že na svete neexistuje žiadny iný bicykel podobný tomuto. Rám je pozváraný technológiou TIG z magnéziových trubiek, ktoré sú trikrát zoslabované.

9. POUŽITIE MATERIÁLOV NA VÝROBU RÁMOV U KONKRÉTNÝCH DOMÁCICH VÝROBCOV

Tak ako svetové značky prinášajú každoročne do cyklistiky novinky v rôznych oblastiach, ktoré sú viac alebo menej zaujímavé, tak ani domáce značky sa nenechajú zahanbiť a snažia sa upútať našu pozornosť svojimi produktami. Aj keď nám revolučné zmeny možno neponúkajú tak často ako zahraničná konkurencia a do novej sezóny nám ponúknu akurát zmenu farebného prevedenia alebo drobné úpravy v konštrukcii. Je to dané tým, že vývoj v našich podmienkach trvá o čosi dlhšie, pretože to je, ako inak, otázka peňazí. Ekonomické zázemie silných svetových výrobcov proste nemôžeme dosiahnuť u našich domácich značiek. Ďalšou kapitolou je chuť obyvateľstva kupovať domáce produkty. Veľa ľudí siahne za rovnaké peniaze radšej po zahraničnej značke bicyklov, akoby si mali vybrať domácu firmu. Pretože si stále tak nejako myslia, že to zahraničné (západné) je lepšie. Z tohto faktu potom vyplýva otázka, či sa našim značkám vôbec oplatí produkovať svoje bicykle – svoje rámy. V mnohých prípadoch ide skôr o splnenie sna, alebo dôkaz, že aj u nás sa dá vyrobiť špičkový rám, ako o vidinu finančného obohatenia. Preto sa musia naše firmy vedieť presadiť inak. Niekoľko z nich si práve zvolilo cestu výroby kvalitných, nevšedných, originálnych produktov (bicyklov, rámov) a nie produkciu kópií lacných, ázijských, masovo vyrábaných bicyklov.

9.1. PELL'S

Brnenská firma, ktorá má naozaj široký záber výroby rôznych cyklistických produktov od košíkov na fľaše cez riaditká, sedlovky, sedlá, helmy, predstavce až po samotné cyklistické rámy. Avšak skoro všetky ich produkty spája použitý materiál. Práve Pell's je známy kvalitným spracovaním kompozitných materiálov a je asi najznámejšou Českou firmou, ktorá



Obr. 29: lepenie trubky do spojky (21)

sa špecializuje na použitie tohto materiálu. Samozrejme okrem karbónu používajú pri konštrukcii, či už rámov bicyklov alebo komponentov, aj všadeprítomný a známy hliník. Aby som však spomenul naozaj všetky materiály, pár rokov dozadu sa v Pell'se objavil nápad karbónových trubiek spájaných titánovými spojkami.

Myšlienka bola jednoduchá – karbón by sa mal spájať spojkami, ktoré sú vyrobené z materiálu podobných vlastností aké

má kompozit. Avšak v dnešnej dobe už nie je problém spojiť, vďaka dokonalejším lepidlám, aj odlišné materiály. Práve v použití lepidiel sa brnenská firma nespolieha len na dostupný tovar, ale zaoberá sa aj vlastným vývojom. Z veľkej časti však nejde len o vhodné lepidlo, ale je dôležité nájsť optimálnu plochu spoja, vrstvenie vlákien v jeho blízkom okolí, šírku medzery medzi spojkou a trúbkou a tiež je dôležitá mechanická a chemická úprava spoja pred samotným lepením (obr. 29). Lepšie zvládnutie týchto faktorov pozitívne ovplyvní výslednú pevnosť a životnosť spoja. Samozrejme lepené spoje prešli v Pell'se rôznymi zaťažovacími

testami a dopracovali sa až k stavu, kedy lepidlo vydržalo, ale povolil samotný materiál (obr. 30).

Na stavbu karbónových trubiek používajú vlákna japonskej značky Torray T-700. Ako je už dnes bežné, výroba trubiek začína simuláciou v počítači, kde sa navrhnu rôzne typy výpletov, uhly nápletu, počty vrstiev tkaniny a výsledný profil trubiek. Čo sa týka profilu, tak na rámoch Pell's sa stretávame s trubkami s klasickým kruhovým alebo s trojuholníkovým prierezom. Samotnú trubku vyrábajú buď v klasickej vonkajšej forme,



Obr. 30: poškodenie lepeného spoja (21)

alebo na vnútornej forme, na ktorú napletajú jednotlivé vrstvy tkaniny (obr. 31). Táto metóda sa dá použiť iba niekedy, pretože forma sa musí dať vytiahnuť z trubky, čo u rôznych zalomených tvarov nejde. Zaujímavá je aj povrchová úprava takto vyrobených trubiek, ktoré



Obr. 31: vnútorná forma (21)

treba obrúsiť, začistiť a až potom nanášať dizajnové prvky. Ako posledná vrstva sa používala tenká vrstva skla, ktoré je v takejto hrúbke pružné a chráni kompozitnú trubku práve voči jej nárazovej krehkosti. Niekomu sa však výsledný vzhľad „skleneného“ rámu nemusí pozdávať, preto sa od tejto technológie upustilo a nahradzuje sa ďalšou vrstvou kompozitu a priesvitným lakom.

Pell's, ako som už spomínal, sa rozhodol pre výrobu rámov spájaním karbónových trubiek do hliníkových spojok. Prečo však nesiahli napr. po technológii monocoque? Veď následná sériová produkcia rámov by bola lacnejšia ako pri spájaní pomocou spojok. Počiatočné náklady na formu sú však veľmi vysoké a pružnosť výroby žiadna. Na každú veľkosť rámu je potrebná nová forma. Dlhú dobu by sa produkovali, aj keď lacné, ale v podstate rovnaké rámy a ešte viac by sa predĺžila vývojová doba medzi novými a starými modelmi. A v neposlednej rade by sa od zvyšku svetovej produkcie vôbec neodlišovali.

Čím však Pell's naozaj prekvapil, bolo uvedenie na trh špeciálnej zadnej stavby na rámoch horských bicyklov. Túto technológiu (obr. 32) majú patentovanú a volá sa „Medium Tail“. Ako už názov napovedá, je to niečo medzi pevným rámom (hard tail) a celoodpruženým rámom. S podobnou technológiou sme sa mohli už skôr stretnúť na oceľových rámoch českého výrobcu Sfinx a zrejme neskôr na rámoch značky Merida, ktorí túto technológiu označujú ako Flex-stay. V prípade Pell'su ide o karbónovú zadnú stavbu, ktorej trubky vlastne nie sú trubky, ale len tenké planžety – (vodorovne sploštené) ploché pružiny. Použitý karbón má najideálnejšie vlastnosti, z pomedzi ostatných materiálov, pre danú funkciu. Pri terénnych nerovnostiach, pod zadným kolesom, planžety jemne pružia hore a dolu a prinášajú jazdcovi značnú dávku komfortu, no v prípadnom pohybe zadného kolesa



Obr. 32: formy na výrobu zadnej stavby Medium Tail (21)

do strán sú maximálne tuhé. Pri pohľade z vrchu (obr. 33) nám takáto zadná stavba môže pripomínať podkovu a možno si ani nevšimneme, že nie je skonštruovaná z trubiek. No pri pohľade z boku (obr. 34) v nás môže tenkosť použitých planžiet vzbudzovať značnú nedôveru. Netreba sa však báť, bicykle



Obr. 33: pohľad na zadnú stavbu z hora (22)



Obr. 34: pohľad na zadnú stavbu z boku (21)

medium tail prešli náročným, či už laboratórnym alebo skutočným – terénnym testovaním na výbornú.

Verím, že firma Pell's prinesie do cyklistiky ešte mnoho takýchto skvelých nápadov a ich riešení.

9.2. DURATEC

Ďalšia Česká firma, ktorá prináša zaujímavé novinky do sveta cyklistiky. Úspešná v amatérskych súťažiach, ale aj profesionálnych závodoch, taktiež známa aj zo súťaží pre handicapovaných športovcov, napríklad paraolympiáda a iné. Na úvod musím hneď povedať, že Duratec je známy najmä svojím individuálnym prístupom k zákazníkovi. Nesnažia sa vám predat' bicykel, maximálne v 3 veľkostiach, s pevne zvolenými komponentami. Práve naopak. Môžete si dať vyrobiť bicykel, ktorý bude zodpovedať presne Vaším požiadavkám. Poviete presne akú veľkosť rámu chcete, s tým súvisí úprava geometrie, zvolíte si komponenty z danej ponuky a na záver ešte grafické vyhotovenie. Takáto značná dávka individualizmu pre každého zákazníka nie je bežná ani u zahraničných značiek. Preto všetky ich technologické novinky sa nesú v duchu dodatočnej možnosti úpravy pre konkrétneho jazdca.

Ešte pred vstupom kompozitných materiálov do ich portfólia, prešli v Duratecu v priebehu 2 rokov tieto materiály náročnými skúškami. Rozhodne sa neuspokojili s prvým ponúkaným materiálom na stavbu svojich rámov. Ich testovaním prešla kombinácia

uhlíkových a aramidových vlákien, tzv. kevlar, neskôr aj biely karbón, čo je kombinácia uhlíkových a sklenených vlákien, ale ani jeden z týchto materiálov nebol postačujúci. Preto sa nakoniec spoločnosť rozhodla, aj napriek vyššej cene, pre kombináciu uhlíkového vlákna so živicom, teda karbón. V otázke hliníkových zliatin mali jasno, pretože v tejto oblasti sa pohybovali už vyše 10 rokov. Najlepšie sa im osvedčila práca s hliníkovou zliatinou AL 7020 T6, ako materiál rámových trubiek.

Od roku 2005 prichádza na trh veľmi zaujímavý model cestného bicykla *Heroine* (obr. 35), ktorého rám bol vytvorený novou, špeciálnou metódou spájania kompozitných trubiek



Obr. 35: Duratec Heroine (23)

pomocou hliníkových spojok s otvorom. Táto metóda sama o sebe nie je špeciálna, ale v Duratecu túto metódu povýšili na tzv. *Locked Composite*. Čo v preklade môžeme chápať ako zamknutý kompozit a už názov nám jemne naznačuje princíp funkcie. Ide o špeciálny mechanický zámok, kedy otvor v hliníkovej spojke rámu vyplní karbónová trubka (obr. 36). Vyzerá to jednoducho, no samotný postup výroby rámu je zložitý. Najprv sa do formy rámu presne umiestnia (nastavia sa vzdialenosti) jednotlivé

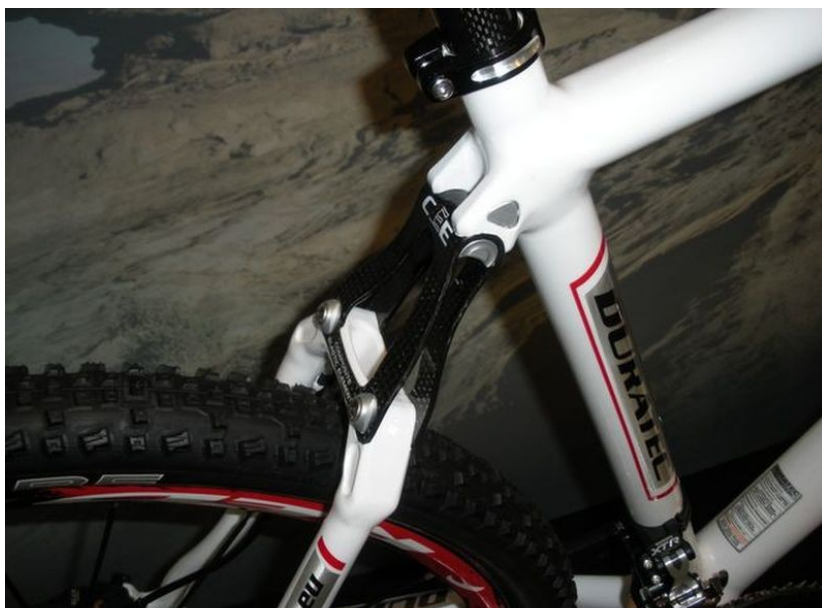
spojky. Potom sa do nich aplikuje špeciálne lepidlo, ktoré má dlhšiu dobu vytvrdzovania ako ostatné lepidlá a následne sa nasunú karbónové trubky, v ktorých je tzv. vzdušnica. Vzdušnicu si môžeme predstaviť ako dušu z kolesa, ktorá však odolá vysokému tlaku, chemickému pôsobeniu živice, teplote a po dokončení operácie sa dá z trubky vytiahnuť. Princíp je už zrejmý. Keď je karbónová trubka, vo vnútri so vzdušnicou, vložená do hliníkovej spojky, vzdušnica sa nafúkne a kompozit rozťahne natoľko, že sa vytlačí cez otvory v spojke. Dôležitá je taktiež správna hodnota tlaku, lebo ak použijeme príliš vysoký tlak, môže nám hliníková spojka prasknúť alebo ak vydrží spojka, tak sa z kompozitnej trubky môže vytlačiť veľké množstvo živice, čo je samozrejme nežiadúce. Takto sa postupuje od prvej spojky k poslednej a nasleduje proces vytvrdenia v peci. Doba vytvrdenia je niekoľko hodín pri maximálnej teplote 200°C. Dôležité je však vákuum v peci, aby boli odstránené všetky vzduchové bubliny z kompozitu. Tento proces sa nevykonáva len kvôli vytvrdeniu trubiek rámu, tie by vytvrdli na podobnú hodnotu pevnosti aj pri izbovej teplote, ale ich trvanlivosť by bola až sedemkrát nižšia! Posledným krokom je úprava zvarov – brúsenie, čistenie a nanášanie farby resp. laku. Zvláštnosťou však je, že aj napriek značne náročnému vývoju tejto technológie Duratec od Locked Composite upustil alebo lepšie



Obr. 36: ukážka locked composite technológie (24)

povedané venoval sa ďalšiemu vývoju nových technológií, ktoré prinášajú natoľko lepšie vlastnosti a výsledky, že dnes už mechanický zámok nenájde na žiadnom ich ráme.

Práve ďalšou takouto novinkou je *C.E.E.-CARBON ELASTIC ELEMENT* (obr. 37), čo v preklade znamená karbónový pružný prvok. Ten je umiestnený v zadnej stavbe rámu, pripevnený na sedlové vzpery. Veľkosťou tohto pružného elementu môžeme ovplyvniť jeho tuhosť a tým aj jazdné vlastnosti a správanie bicykla v teréne. V podstate použitím CEE chce Duratec vytvoriť jemne pružiacu zadnú stavbu rámu bicykla a tým poskytnúť vyšší komfort jazdcovi ako pri



Obr. 37: C.E.E. (25)

klasickom pevnom ráme. Takýto typ rámu by som zaradil do rovnakej kategórie, ktorú vytvoril Pell's – medium tail. V súčasnosti Duratec využíva aj ďalší systém nazývaný *Sandwich system*, ktorý môžeme vidieť aj u zahraničnej konkurencie, avšak samozrejme pod iným názvom. Ide o vnútorné vedenie lanka prehadzovačky rámom, ktorého výhodou sú minimálne nároky na údržbu.

Najnovšiu revolučnú novinku schovala firma pod skratku *AFCF*. Veľa informácií o tejto technológii nie je, pretože spoločnosť maximálne utajuje výrobný postup rámu touto technológiou. V podstate by sa dalo povedať, že ide o celokarbónový rám, tzv. monocoque, ale opäť v duchu spoločnosti sa dá aj takto vyrobený rám prispôbiť čo do rozmerov, tak aj do geometrie, požiadavkám jazdca. Je to naozaj revolučná novinka, pretože sa to doposiaľ nikomu na svete nepodarilo a vždy, keď sa hovorilo o monocoque ráme a danej technológii výroby bolo jasné, že individuálne požiadavky jazdca idú bokom a nastupuje hromadná produkcia. Duratec o svojej novinke tvrdí, že každá vrstva tkaniny a jednotlivé smery vlákien sú presne umiestnené v požadovanom smere, bez deformácií, vlnenia a odchýlok, a tým je definovaná presná štruktúra. Ďalej je využité každé vlákno kompozitu, žiadny nadbytočný materiál, a tým je zaručená naozaj nízka hmotnosť. 95% vlákien prechádza v miestach spojenia trubiek priebežne, bez ostrého lomu alebo porušenia štruktúry. Monocoque – hlavný rámový trojuholník a zadná vidlica sú vyrobené z jedného kusu a spoje v oblasti stredu nie sú lepené. Tým sú odstránené lokálne napätia a rám je veľmi pevný a tuhý. Jednotlivé strihy kompozitu sa v miestach spojenia neprekrývajú – tým sú vylúčené problémy vzniku kazu pri stečení živice. Sú to naozaj silné tvrdenia Duratecu, uvidíme ako takto vyrobený rám obstojí v testoch a pri závodnom nasadení.

9.3. MORATI



Obr. 38: riaditká Morati (26)

pochváliť žiadna iná značka na svete. Niekdajší úspech Morati vychádzal z dokonale zvládnutej technológie zvárania titánu, práve vďaka materskej spoločnosti Mora Aerospace, pod ktorú firma Morati patrila. Mora Aerospace sa zaoberala výrobou titánových dielov pre letecký priemysel, potom už len stačilo zopár cyklistických nadšencov vo vnútri firmy a k výrobe špičkových titánových rámov nebolo ďaleko. Kvalitu českých titánových rámov okúsili aj svetové mená cyklistiky ako napríklad Miguel Martinez, ktorý sa stal majstrom sveta práve na ráme Morati, avšak nalakovanom v tímových farbách a s nálepkou Columbus. Firma zaznamenávala značné úspechy v cyklokrose, kde ich rámy dokázali bez porušenia jazdiť aj šesť sezón. Legendárnou sa stala predná titánová vidlica (obr. 41), ktorej výrobu už nikto na svete nedokázal zopakovať. Okrem toho, po zániku Morati v roku 2005, ostalo mnoho skvelých, inovatívnych nápadov, na škodu cyklistickej verejnosti, len na papieri.



Obr. 40: rám Morati (28)

Možno by bol lepší nadpis ex-Morati, pretože táto firma už neexistuje. Bola to pýcha českej cyklistiky. Svetoznáma značka, ktorej kvality si možno viac uvedomovali a cenili v zahraničí ako doma. Táto firma sa ako jedna z mála spoločností na svete zaoberala stavbou titánových rámov. No okrem toho produkovali aj komponenty, taktiež z tohto materiálu. Z ich produkcie spomeniem sedlovku, riaditká (obr. 38), vidlice pre cestné, resp. krosové bicykle, kľuky (obr. 39) a samozrejme rámy (obr. 40). S takýmto širokým záberom výroby produktov z titánu sa nemohla



Obr. 39: kľuky Morati (27)



Obr. 41: vidlica Morati (29)

10. VOĽBA MATERIÁLU RÁMU BICYKLA

Ako z celej práce vyplýva, voľba materiálu, z ktorého bude rám bicykla vyrobený, je vysoko individuálna záležitosť. Každý jazdec očakáva od rámu iné vlastnosti. Preto by bolo výborné, keby výrobcovia preniesli na svoje rámy len tie najlepšie vlastnosti materiálu, z ktorého sú rámy vyrobené a využili naplno potenciál daného materiálu. Potom by si jazdec jednoducho podľa svojich požiadaviek vybral rám z konkrétneho materiálu, s konkrétnymi vlastnosťami. Nanešťastie to tak vždy nefunguje a materiál, od ktorého by sme očakávali určité vlastnosti sa v skutočnosti správa úplne inak. Tým pádom sa rozdiely medzi jednotlivými materiálmi rámov strácajú a vzniká možnosť voľby medzi rôznymi materiálmi s rovnakými alebo blízkyimi vlastnosťami. Podľa informácii v tejto práci by som voľbu materiálu rámu rozdelil podľa viacerých hľadísk:

Pevnostné hľadisko – ak by malo ísť o materiál, ktorý znesie najhoršie zaobchádzanie, bola by to zrejme kvalitná oceľ. Rám z tohto materiálu môžeme vidieť na rôznych zjazdárskych špeciáloch, BMX-kách a street bicykloch. V tejto kategórii bicyklov sa môžeme stretnúť, síce menej ale predsa, aj s hliníkovými rámami, ale určite to nie sú tie tenkostenné plechovky, aké poznáme z najľahších bicyklov. Je potrebná väčšia hrúbka steny, s ktorou však rastie aj hmotnosť rámu. Pevné sú samozrejme aj rámy z kompozitov, ale určite by pády a hrubé zaobchádzanie nezvládli v takom množstve ako oceľové resp. hrubostenné hliníkové rámy.

Komfortné hľadisko – toto kritérium asi najviac závisí od konkrétneho výrobcu, ako využije potenciál daného materiálu. No vo všeobecnosti by sa dalo povedať, že najkomfortnejšie rámy by mali byť rámy vyrobené z titánu. Komfortné v zmysle pohlčovania nerovností terénu. Avšak cenovo sú pre väčšinu jazdcov nedostupné. Samozrejme veľmi komfortné sú aj karbónové a oceľové rámy, ak je správne využitý ich potenciál.

Hmotnostné hľadisko – medzi najľahšie rámy určite patria kompozitné a hliníkové. Štandardné karbónové sú hmotnosťou zrovnateľné s najkvalitnejšími hliníkovými a aj cenovo sa môžu porovnávať. Najkvalitnejšie karbónové rámy majú najnižšiu hmotnosť, ale cena za takýto rám sa šplhá veľmi vysoko.

Miera prispôsobenia – v súčasnosti sa rám presne na mieru jazdca dá vyrobiť najľahšie asi spájaním kompozitných trubiek do hliníkových alebo kompozitných spojok. Cenovo porovnateľné sú aj vysokokvalitné, zvarané, oceľové rámy vyrábané na zákazku. Takýmto spôsobom sa dajú vyrobiť aj individuálne titánové rámy, ale ich cena je neporovnateľne vyššia oproti prvým dvom menovaným.

Finančné hľadisko – najlacnejšie bicykle z hypermarketov majú väčšinou oceľové rámy. Mierne kvalitnejšie bicykle, a zrejme prístupné najširšej verejnosti, sú v súčasnosti rámy vyrobené z hliníkových zliatin. Samozrejme karbónové rámy sa stávajú stále prístupnejšími, ale vo všeobecnosti sa dá povedať, že sú drahšie ako hliníkové. Titánové a kvalitné oceľové rámy si stále držia cenu vysoko.

ZÁVER

Táto práca mala napomôcť pri voľbe správneho materiálu rámu bicykla. Preto bolo potrebné na začiatku jednotlivé materiály zhodnotiť. Každý materiál objektívne popísať, či už konkrétnym chemickým zložením, údajmi z materiálových listov, teda materiálovými charakteristikami. Z toho vyplývajú predpoklady správania sa rámu vyrobeného z daného materiálu pri skutočnej jazde. Tieto teoretické predpoklady sa v práci porovnávajú s reálnymi skúsenosťami pri jazde na takomto ráme. Veľakrát sa stalo, že výborné predpoklady a danosti konkrétneho materiálu výrobca nevyužil alebo znehodnotil nesprávnym technologickým spracovaním. Je to škoda, keď ide o drahý produkt s exkluzívneho materiálu a zákazník mohol zvoliť rám od iného výrobcu, z iného materiálu, s rovnakými vlastnosťami, ale za zlomok ceny pôvodného rámu. Sú to najmä hliníkové zliatiny, ktoré sú v súčasnosti najprístupnejšie širokej verejnosti a po vhodnom technologickom spracovaní dokážu konkurovať aj iným a hlavne drahším materiálom. Preto pri materiáloch ako titán, karbón a oceľ je treba klásť veľký dôraz najmä na správne zvládnuté spracovanie tohto materiálu. Rám, ktorý nesie kladné charakteristické vlastnosti jeho materiálu dokážu znalci v radoch cyklistov patrične oceniť.

V práci sú informácie o vlastnostiach každého materiálu ako pozitívnych, tak aj negatívnych. Nie je uprednostňovaný žiaden materiál, ide predsa o snahu napomôcť pri voľbe vhodného materiálu pre rám, na ktorý sú konkrétne požiadavky a nie predat' určitý produkt danej značky. Uvedený je aj prehľad, v ktorom sú vymenované bicykle, resp. rámy, pre rôzne disciplíny a materiál, z ktorého sa v súčasnosti najčastejšie vyrábajú. Pre ľahší výber materiálu, vhodného pre určitý typ rámu bicykla, sa dajú pre štyri najdôležitejšie a najpoužívanejšie materiály uviesť nasledujúce závery o ich vhodnosti, resp. nevhodnosti, z hľadiska použitia na rámy bicyklov:

Oceľová trubka je okrem dreva prvým materiálom, ktorý bol použitý na stavbu rámu bicykla. Oceľ je najklasickejším a zároveň najosvedčenejším materiálom pre stavbu rámov. Veľkou prednosťou ocelí je široká škála možností spojovania trubiek. Od spájkovania do spojok, či na tupo, cez zváranie metódou TIG (WIG), až po lepenie špeciálnymi lepidlami. Taktiež pevnosť a únavové správanie je vyhovujúce. Nevýhodou je len vyššia merná hmotnosť a z nej plynúca, nie príliš vysoká merná pevnosť.

Zliatiny hliníka sú vo velopriemysle žiadané hlavne pre svoju nízku hmotnosť pri zachovaní dobrej pevnosti. Ich nevýhodou je však nižšia životnosť a zmena vlastností v závislosti na čase. Krivka únavy má u týchto zliatin iný priebeh ako u oceli a o životnosti rozhoduje celá história namáhania.

Titán a jeho zliatiny sú mnohými firmami uznávané ako optimálny materiál pre stavbu rámov, pretože vysoký pomer medzi pevnosťou a mernou hmotnosťou týchto materiálov ponúka obrovské možnosti v kombinácii pružnosti a trvanlivosti, ktoré v niektorých smeroch prekonajú oceľ alebo dural. Nevýhodou je však náročné a nákladné spracovanie týchto zliatin a ich pomerne vysoká cena.

Kompozity sú veľmi perspektívnym materiálom a to nielen na stavbu rámov bicyklov. Pri všetkých kompozitných materiáloch výsledné mechanické vlastnosti závisia na voľbe materiálu oboch zložiek, ale aj na objemovom podiele spevňujúcej fázy. Pri kompozitoch sa dá získať výsledný materiál pevnejší ako oceľ, ľahší ako hliník a pritom nie drahší ako titán. Rámy z týchto materiálov tak spájajú tri najdôležitejšie požiadavky, ktoré sú na ne kladené.

Pozdĺžnu tuhosť rámu, jeho nízku hmotnosť a dobré tlmiace vlastnosti. Dá sa teda povedať, že kompozity sú v cyklistike materiálom budúcnosti.

Výrobou rámov sa zaoberá celá rada firiem. Z množstva svetových a domácich značiek sú v práci spomenuté práve tie, ktorým môže cyklistika v súčasnosti a blízkej minulosti vdáčiť za určitý prínos v oblasti materiálov. Či už výskum, vývoj a použitie nových materiálov na stavbu rámov alebo inovatívne spracovanie už známych materiálov, čím sa ich vlastnosti znateľne zlepšili. Najmä u domácich značiek nevznikajú takéto špičkové rámy s úmyslom veľkého finančného obohatenia. Skôr samotný výrobca si chce dokázať, že je v jeho silách vyrobiť takýto špičkový rám. Potom je to už len o myslení ľudí, či kúpou podporia takéto domáce výrobky alebo siahnu po lacnejšej, masovejšie produkovanej alternatíve z ázijských krajín. Aj o tom môže byť voľba materiálu rámu bicykla.

ZOZNAM POUŽITÝCH ZDROJOV

1. Ashby, M. F. *Materials selection in mechanical design*. 3rd ed. Oxford, Burlington: Elsevier Butterworth-Heinemann, 2005. 603 s. ISBN 0-7506-6168-2
2. *Oceľ, hliník, karbón, kartón... čo vybrať?* [online]. 11.01.2008 [citované dňa 2009-04-11]. Dostupné z: <<http://www.bikemagazin.sk/clanok/items/Oceľ-hliník-karbon-karton...-co-vybrat.html>>
3. CYCLERY, Harris. *Rambouillet Frames and Bicycles* [online]. c2008 [citované dňa 2009-04-11]. Dostupné z: <<http://www.sheldonbrown.com/harris/rambouillet.html>>
4. *Columbus Tubi* [online]. 29.10.2008 [citované dňa 2009-04-11]. Dostupné z: <http://www.columbustubi.com/eng/3_3.htm>
5. *Caprnka bike frames, oceľové mtb rámy Jozef Čaprnka, FATRIA* [online]. 22.07.2006 [citované dňa 2009-04-11]. Dostupné z: <<http://www.eurobike.sk/clanok132.htm>>
6. *Campione Cycles - Clearance House!* [online]. 02.12.2008 [citované dňa 2009-04-11]. Dostupné z: <<http://clearance.campionecycles.com/frames.html>>
7. *Aluminium alloy* – *Wikipedia, the free encyclopedia* [online]. 22.04.2009 [citované dňa 2009-04-22]. Dostupné z: <http://en.wikipedia.org/wiki/Aluminium_alloy>
8. *Hydroforming Press System Video (high bandwidth) | Hydraulic Press, Hydroform, Hydroformed, Sheet Hydroforming, Hydroforming Process, Hydro Forming, Hydroforming Press* [online]. c2008 [citované dňa 2009-04-11]. Dostupné z: <<http://www.interlaken.com/hydroforming/hydroforming-video-hi.htm>>
9. *Processes & Solutions* [online]. 17.02.2009 [citované dňa 2009-04-11]. Dostupné z: <<http://www.glyne.com/processes-solutions.html>>
10. HÁJÍČEK, Štěpán. Starý (ne)známý. *VELO*, 2007, roč. 9, č 4, s. 40-44.
11. SEDLÁČEK, Vladimír. *Neželezné kovy a slitiny*. 1.vyd. Praha: SNTL, 1979. 398s, s. 114, 123
12. *Carbon fiber* [online]. 22.03.2009 [citované dňa 2009-04-11]. Dostupné z: <http://en.wikipedia.org/wiki/Carbon_fiber>
13. *Activated Carbon Information* [online]. 03.04.2009 [citované dňa 2009-04-11]. Dostupné z: <<http://www.carbonresources.com/activated-carbon-1.html>>
14. *Taiwan Carbon Bicycle Company, frame* [online]. 27.08.2008 [citované dňa 2009-04-11]. Dostupné z: <<http://www.supplierlist.com/b2b/products/twcarb/p-0/showroom.htm>>
15. *ŠTĚRBA KOLA - jízdní kola - prodej, výroba a servis :: Články - Apache - Kola* [online]. 05.04.2009 [citované dňa 2009-04-11]. Dostupné z: <<http://www.sterba-kola.cz/category/apache>>

16. *Trek Bikes | Company | Technology* [online]. 11.04.2009 [citované dňa 2009-04-11]. Dostupné z: <<http://www.trekbikes.com/us/en/company/technology/>>
17. *Technology.Shotgun - merida.com* [online]. 11.04.2009 [citované dňa 2009-04-11]. Dostupné z: <http://www2.merida-bikes.com/de_DE/Technology.Shotgun>
18. *Merida Carbon FLX 5000-D váz | Bikemag.hu* [online]. 01.02.2009 [citované dňa 2009-04-11]. Dostupné z: <<http://bikemag.hu/shopping-guide/vazak/merida-carbon-flx-5000-d-vaz>>
19. *Litespeed* [online]. 11.04.2009 [citované dňa 2009-04-11]. Dostupné z: <http://www.litespeed.com/current/tech_mat.aspx>
20. *CICLI PINARELLO S.p.A.* [online]. 01.04.2009 [citované dňa 2009-04-11]. Dostupné z: <http://www.pinarello.com/eng/dogma_01_scheda.php>
21. HRONZA, Rudolf. Český karbon. *VELO*, 2005, roč. 7, č 5, s. 76-84.
22. *Pells 2006* [online]. 24.11.2005 [citované dňa 2009-04-11]. Dostupné z: <<http://www.bikemagazin.sk/clanok/items/Pells-2006.html>>
23. *Sportlife 2007 part 1/3* [online]. 15.11.2007 [citované dňa 2009-04-11]. Dostupné z: <<http://www.mtbiker.sk/index.php?modul=clanky&id=1053>>
24. BUREŠ, Peter. *Duratec 2006* [online]. 24.02.2006 [citované dňa 2009-04-11]. Dostupné z: <<http://www.mtbs.cz/Biketech/Technews/Duratec2006060224.html>>
25. STIBINGER, Roman. *Bike Brno 2008 dokola kolem kol vol. II* [online]. 13.11.2008 [citované dňa 2009-04-11]. Dostupné z: <<http://www.bikebase.cz/article.php?ARTICLEID=3106>>
26. *Whatever happened to Morati?* [online]. 11.04.2009 [citované dňa 2009-04-11]. Dostupné z: <<http://forums.mtbr.com/showthread.php?t=373440>>
27. *Autres composants VTT* [online]. 18.08.2004 [citované dňa 2009-04-11]. Dostupné z: <<http://www.bikersclub78.org/pedalator/autres.htm>>
28. *Morati Titanium Bicycles* [online]. 11.04.2009 [citované dňa 2009-04-11]. Dostupné z: <<http://www.totalbike.com/web/interbike/2001/morati.html>>
29. *Interbike 2003 pics 1* [online]. 26.08.2005 [citované dňa 2009-04-11]. Dostupné z: <http://www.cyclesdeoro.com/Interbike/2003/interbike_03_pics1.htm>

ZOZNAM POUŽITÝCH VELIČÍN

Názov veličiny	Symbol	Jednotka
Medza pevnosti	R _m	MPa
Medza klzu	R _e	MPa
Ťažnosť	A	%
Teplota	T	°C, K
Dĺžka	l	mm
Čas	t	s
Tlak	p	Pa
Sila	F	N
Merná hmotnosť	ρ	kg.dm ⁻³
Modul pružnosti v ťahu	E	GPa