

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA STROJNÍ

Studijní program: B 2301 Strojní inženýrství
Studijní zaměření: Stavba výrobních strojů a zařízení

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Problematika konstrukce rámu cyklistického kola

Autor: **Ladislav VÍT**
Vedoucí práce: **Ing. Ivana MAZÍNOVÁ**

Akademický rok 2015/2016

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
Fakulta strojní
Akademický rok: 2015/2016

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Ladislav VÍT**
Osobní číslo: **S13B0427P**
Studijní program: **B2301 Strojní inženýrství**
Studijní obor: **Stavba výrobních strojů a zařízení**
Název tématu: **Problematika konstrukce rámu cyklistického kola**
Zadávací katedra: **Katedra konstruování strojů**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

Základní požadavky:

Prostudujte s vedoucím práce předložené zdroje a zpracujte problematiku konstrukce rámu cyklistického kola především z hlediska materiálu.

Základní technické údaje:

Technické parametry jsou uvedeny v příloze zadání.

Osnova bakalářské práce:

1. Úvod
2. Rešerše dané problematiky
3. Konstrukce výběr materiálu rámu kola
4. Závěr, shrnutí

Rozsah grafických prací: **dle potřeby**
Rozsah kvalifikační práce: **30-40 stran A4**
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**
Seznam odborné literatury:

ASHBY, M. F. *Materials Selection in Mechanical Design*. Oxford: Butterworth Heinemann, 2011

ASHBY, M. F., SHERCLIFF, H., CEBON, D. *Materials: Engineering, Science, Processing and Design*. Oxford: Butterworth Heinemann, 2013


Podkladový materiál, výkresy, katalogy, apod. poskytnuté zadavatelem úkolu.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Ivana Mazínová**
Katedra konstruování strojů
Konzultant bakalářské práce: **Ing. Ivana Mazínová**
Katedra konstruování strojů

Datum zadání bakalářské práce: **21. září 2015**
Termín odevzdání bakalářské práce: **20. května 2016**


Doc. Ing. Milan Edl, Ph.D.
děkan




Doc. Ing. Václava Lašová, Ph.D.
vedoucí katedry

V Plzni dne 21. září 2015

Prohlášení o autorství

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě bakalářskou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě strojní Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených v seznamu, který je součástí této bakalářské práce.

V Plzni dne:

.....

podpis autora

Poděkování

Děkuji své vedoucí paní Ing. Ivaně Mazínové za vstřícné vedení a všechny potřebné rady a návody, které mně poskytla během vyhotovení této bakalářské práce.

Dále bych rád poděkoval Západočeské Univerzitě v Plzni, Fakultě strojní, zvláště Katedře konstruování strojů za poskytnutí zajímavého tématu k vypracování bakalářské práce.

ANOTAČNÍ LIST BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

AUTOR	Příjmení Vít	Jméno Ladislav	
STUDIJNÍ OBOR	2302T013 „Stavba výrobních strojů a zařízení“		
VEDOUCÍ PRÁCE	Příjmení (včetně titulů) Ing. Mazínová	Jméno Ivana	
PRACOVISŤE	ZČU - FST - KKS		
DRUH PRÁCE	DIPLOMOVÁ	BAKALÁŘSKÁ	Nehodící se škrtněte
NÁZEV PRÁCE	Problematika konstrukce rámu cyklistického kola		

FAKULTA	strojní	KATEDRA	KKS	ROK ODEVZD.	2016
----------------	---------	----------------	-----	--------------------	------

POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

CELKEM	34	TEXTOVÁ ČÁST	34	GRAFICKÁ ČÁST	0
---------------	----	---------------------	----	----------------------	---

<p style="text-align: center;">STRUČNÝ POPIS (MAX 10 ŘÁDEK)</p> <p>ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY</p>	<p>Bakalářská práce obsahuje rešerši stávajícího stavu jízdních kol, používaných materiálů a typů geometrií rámu. Následně byl vybrán nejvhodnější materiál a geometrie z hlediska ceny, hmotnosti a tuhosti rámu. Jednotlivé vlastnosti rámu byly počítány pomocí MKP v programu Siemens NX 9.0.</p>
<p style="text-align: center;">KLÍČOVÁ SLOVA</p> <p style="text-align: center;">ZPRAVIDLA JEDNOSLOVNÉ POJMY, KTERÉ VYSTIHUJÍ PODSTATU PRÁCE</p>	<p>Jízdní kolo, rám, geometrie, materiál, hmotnost, tuhost, zatížení, zkouška, cena, výběr varianty</p>

SUMMARY OF BACHELOR SHEET

AUTHOR	Surname Vít	Name Ladislav	
FIELD OF STUDY	2302T013 „Design of Manufacturing Machines and Equipment“		
SUPERVISOR	Surname (Inclusive of Degrees) Ing. Mazínová	Name Ivana	
INSTITUTION	ZČU - FST - KKS		
TYPE OF WORK	DIPLOMA	BACHELOR	Delete when not applicable
TITLE OF THE WORK	Issue of bicycle frame design		

FACULTY	Mechanical Engineering	DEPARTMENT	Machine Design	SUBMITTED IN	2016
----------------	------------------------	-------------------	----------------	---------------------	------

NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

TOTALLY	34	TEXT PART	34	GRAPHICAL PART	0
----------------	----	------------------	----	-----------------------	---

BRIEF DESCRIPTION TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS	Bachelor thesis contains search of the current state of bicycles, materials and types of frame geometry. After that was chosen the most suitable material and geometry in terms of price, weight and rigidity of the frame. The frame properties were calculated using FEM in program Siemens NX 9.0.
KEY WORDS	Bicycle, frame, geometry, material, weight, stiffness, load, test, price, select options

Obsah

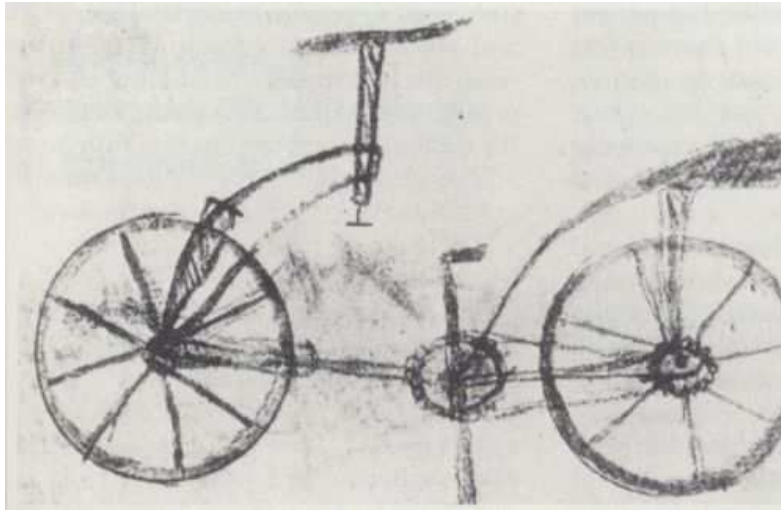
1	Historie kol	3
2	Druhy současných kol	6
2.1	Popis kola	6
2.1.1	Pevné součásti	6
2.1.2	Pohonný systém.....	7
2.1.3	Kola a brzdy	8
2.2	Horské kolo.....	9
2.3	Krosové / trekkingové kolo	9
2.4	Městské kolo.....	10
2.5	Silniční kolo.....	11
2.5.1	Rekreační.....	11
2.5.2	Závodní.....	11
2.5.3	Časovkové a triatlonové speciály.....	12
2.5.4	Dráhové	12
3	Analýza problému	13
3.1	Požadavky.....	13
3.2	Výběr materiálu	13
3.2.1	Ocel	13
3.2.2	Hliník.....	14
3.2.3	Karbon, kompozit.....	15
3.2.4	Titan	16
3.3	Výběr varianty	16
4	Geometrie rámu.....	20
4.1	Namáhání rámu.....	20
4.1.1	Náraz	20
4.1.2	Skok.....	21
4.2	Volba druhu rámu	21
4.2.1	Standardní rám	22
4.2.2	Protažení zadní vidlice	23
4.2.3	Snížení zadní vidlice	24
4.2.4	Nižší rám	25
4.2.5	Dámský rám	26
4.2.6	Oblouková horní rámová trubka.....	27

4.2.7	Zadní vidlice Y	28
4.2.8	Vyztužení u sedlové trubky	29
4.3	Výsledky analýzy	30
5	Závěr.....	32
6	Citovaná literatura	33

1 Historie kol

1418 – Giovanni Fontana postavil první člověkem poháněné pozemní vozidlo. Mělo čtyři kola a do pohybu se uvádělo taháním za lano, které bylo připojené přes převody na kola.

1493 – Tohoto roku byla zřejmě načrtnuta první skica kola odpovídající kolu dnešní doby. Nakreslil ji pravděpodobně Leonardo da Vinci. O skutečném původu se však vedou spory. Skicu mohl namalovat da Vinciho žák nebo jde o podvrh z pozdější doby.



Obrázek 1 - První skica kola (1)

1817 – Karl Drais vytvořil první jednošopé vozidlo. Říkalo se mu „dandy horse“ nebo drezína. Vynalezeno bylo z důvodu ušetření týraných koní. Stroj měl jednoduchou dřevěnou konstrukci, rám, dvě kola, sedlo a říditka. Drezína byla poháněna odrazy člověka od země.



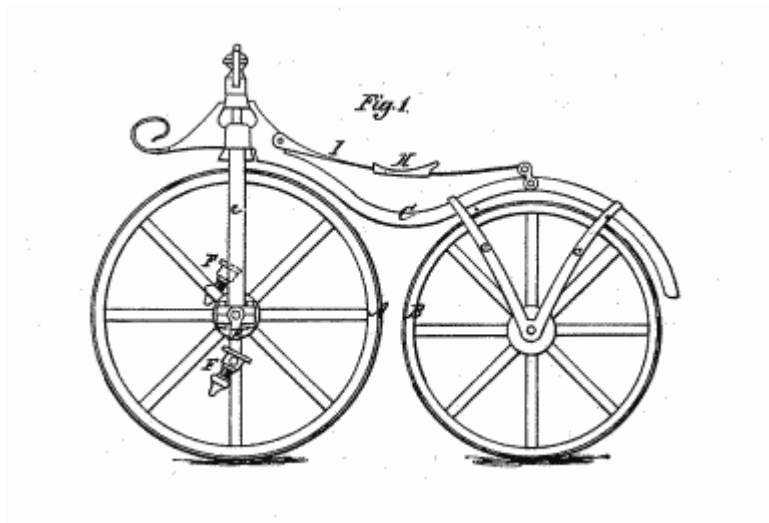
Obrázek 2 - Dandy horse (2)

1839 – První kolo s pedály vytvořil kovář Kirkpatrick Macmillan. Při stavbě drezíny ho napadlo použít pedály, které konaly kmitavý pohyb přenášený na zadní kolo spojovacími tyčemi. Stroj byl těžký a jízda na něm fyzicky náročná.



Obrázek 3 - První kolo s pedály (3)

1863 – Pierr Lallement se inspiroval drezínou a vytvořil nové konstrukční řešení, které spočívalo ve spojení pedálů s předním kolem. Vznikl tzv. „velociped“. Též se mu říkalo kostitřas, protože byl převážně ze dřeva a na dlážděných silnicích na něm nebyla jízda pohodlná. O rok později Lallement začal tato kola hromadně vyrábět. Ráfek kola byl navíc pokryt gumou pro lepší pohodlnost jízdy.



Obrázek 4 - Velociped (4)

1870 – S narůstající potřebou zrychlování jízdy bylo nutné zvětšovat velikost předního kola na průměry přes 1,5 m, a proto se tomuto kolu začalo říkat vysoké. Jeho nevýhodou bylo vysoko položené sedlo a díky tomu mělo kolo špatnou stabilitu. Dalšími nevýhodou bylo pevné připojení pedálů k přednímu kolu. Cyklista tak musel neustále šlapat.



Obrázek 5 - Vysoké kolo (5)

1870 – 1890 – Během těchto dvaceti let vzniklo mnoho patentů pro zpříjemnění a zvýšení bezpečnosti jízdy na kole, např. kuličková ložiska, čelist'ové brzdy, planetová převodovka do náboje předního kola, řetěz a pneumatika.

1890 – John Kemp Starley vynalezl bezpečné kolo, které je již velmi podobné kolům, jak je známe dnes. Zlepšení metalurgie dovoľovalo vrátit se k původním návrhům kola a rám vyrobít z kovu tak, aby bylo kolo dostatečně lehké a mohl jej bez problémů používat jeden člověk.



Obrázek 6 - Bezpečné kolo (6)

1901 – Armáda začíná používat kola

1930 – Vynález odpružené vidlice

1938 – Přehazovačka

1950 – Přesmykač

1977 – Horské kolo

1994 – Kotoučové brzdy

(7)

2 Druhy současných kol

2.1 Popis kola



Obrázek 7 - Popis kola (8)

Rozvor kol je vzdálenost mezi osami kol nebo body, kde se pneumatiky dotýkají země. Rozvor kol se pohybuje v rozmezí od 98 cm u silničních speciálů až po 114 cm u horských kol.

Stopa je vzdálenost mezi bodem, kde prodloužená osa otáčení vidlice protne zemi, a bodem dotyku přední pneumatiky se zemí.

Průhyb vidlice je kolmá vzdálenost osy otáčení vidlice od osy předního kola. Větší průhyb znamená kratší stopu pro snazší řízení a jemnější ovládání kola. Delší stopa znamená naopak obtížnější a méně citlivé řízení, ale větší stabilitu.

2.1.1 Pevné součásti

Horní rámová trubka je součástí rámu kola, která spojuje sedlovou a hlavovou trubku. Sklon horní rámové trubky rozhoduje též o tom, zda se jedná o kolo pánské nebo dámské. U pánských kol začíná těsně pod horním vrcholem sedlové trubky a je většinou rovnoběžná se zemí nebo mírně skloněná. U dámských kol začíná o něco níže na sedlové trubce. Tvar a sklon horní rámové trubky je důležitým faktorem, který ovlivňuje tuhost rámu.

Sedlová trubka vychází ze středu rámu, kde je spojena se spodní rámovou trubkou. Pokračuje přes spoj s horní rámovou trubkou a nahoře je ukončena sedlovým rychloupínákem. Do této trubky se zasouvá sedlovka a tím je možné nastavit výšku sedla.

Hlavová trubka je krátká trubka v přední části rámu. K ní je napojená dolní a horní rámová trubka. Skrze vložené hlavové složení je připojena přední vidlice a představec, na kterém jsou řídítka.

Spodní rámová trubka většinou vede lanka od páček měničů k přesmykači. Spojuje sedlovou trubku s trubkou hlavovou, čímž vytvoří rámový trojúhelník.

Přední a zadní vidlice se dělí na dva zásadní typy, pevné a odpružené. Odpružené mají tu výhodu, že tlumí nárazy, čímž zvyšují jízdní komfort a dobu kontaktu pneumatiky s podkladem, a tím zvyšují trakci. Nevýhodami jsou vyšší hmotnost a větší nárok na údržbu.

Řídítka ovládají kolo. Běžně se vyrábí z oceli, duralu nebo karbonu. Používá se několik druhů řídítek. Na horských kolech převládají řídítka rovná. U silničních kol se používají řídítka kulatá, tzv. berany. Na těchto řídítkách lze jednoduše měnit úchop a vybírat mezi pohodlnou a aerodynamickou polohou. Řídítka mohou být úzká, která zužují cyklistův úchop a zlepšují tak aerodynamiku. Širší řídítka vytvářejí větší odpor vůči větru, ale jsou lépe ovladatelná. Na řídítkách jsou zpravidla připevněny další komponenty jako brzdové páčky, páčky k přehazovače, zvonek, cyklocomputer.

Představec je ta část kola, kterou jsou připevněna řídítka k rámu kola. Jeho délka je důležitá pro správný posed na kole.

Sedlo je jedno ze součástí jízdního kola, se kterým je cyklista v kontaktu neustále. Proto je vhodné, aby sedlo bylo pohodlné, a dalo se na něm vydržet sedět co nejdéle.

Důležitý je také správně nastavený posed. Horní poloha sedla musí být vodorovná. Výška sedla se nastavuje tak, aby se při natažené noze v kolením kloubu pata dotýkala pedálu, který je v dolní úvratí.

Sedlovka je trubka, na které je namontováno sedlo. Jde vysouvat ze sedlové trubky, ale pouze po vyznačenou maximální hodnotu. Při větším vysunutí vzniká riziko poškození sedlovky nebo rámu kola.

Sedlový rychloupínák je jednoduchý upínací nástroj na sedlové trubce, kterým se dá uvolňovat a zase zajišťovat sedlovka při úpravě výšky sedla.

2.1.2 Pohonný systém

Pedály se dělí na dva základní druhy. Prvním typem jsou obyčejné pedály se zuby, které zabezpečují neuklouznutí podrážky boty. Druhým typem jsou pedály nášlapné, na které je potřeba mít speciální obuv. Výhodou nášlapných pedálů je držení chodidla vždy ve správné pozici a možnost šlapání i směrem nahoru.

Kliky jsou dvě kovové součásti spojující pedály a středové složení. Svírají mezi sebou úhel 180 stupňů.

Středové složení slouží k ukotvení klik pedálů a převodníků k rámu kola.

Řetěz přenáší sílu ze šlapání na zadní kolo. Spojuje převodník na středové ose a kazetu na ose zadního kola.

Kazety jsou ozubená kolečka na zadním kole, která přidávají spolu s převodníky další převodové poměry, které může jezdec využít k optimálnímu poměru mezi šlapáním do pedálů a rychlostí otáčení poháněného kola.

Zadní měnič neboli **přehazovačka** slouží k přehození řetězu na jiné ozubené kolo na kazetě.

Přední měnič neboli **přesmykač** je určen k přesmyknutí řetězu na další ozubené kolo předního převodníku.

Páčky měničů jsou umístěny na řídítkách a slouží k ovládní změny polohy řetězu na některém z ozubených koleček - převodníků nebo pastorků. To ulehčuje jízdu do kopce, kdy je možné nastavit lehčí převod. Pro ideální využití jezdcovi síly je vhodné často přehazovat a udržovat šlapání ve stále stejné a pohodlné frekvenci.

2.1.3 Kola a brzdy

Náboje jsou středy kol, předního i zadního. Náboj je složen, podobně jako je tomu u středu kola, z ložisek, misek a matek nasazených na středovou osu, která je určena k uchycení kola do vidlice.

Výplet tvoří paprskovitě prozmístěné dráty, které bývají nejběžnější výplní vnitřku kola. Slouží hlavně k tomu, aby kolo mělo stále svůj kulatý tvar. Vyrábějí se nejčastěji z oceli, duralu nebo titanu. Z důvodu zlepšení aerodynamiky se dráty zplošťují a snižuje se jich počet z původních 32 i na 15. U závodních speciálů bývají i plné výplety.

Ráfek je obruč s profilem písmene U, na které je nasazena pneumatika. Dělí se na jednoduché, které nejsou tak odolné a navíc se můžou brzděním prošoupat stěny, a dvojitě, které jsou mnohem odolnější. Vyrábí se z hliníku nebo z křehkého a drahého karbonu. I zde je snaha o snížení odporu vzduchu a vznikají tak vyšší rámy kapkovitého tvaru.

Plášť a duše

Silniční kola mají úzký plášť (20 - 25 mm) s jemným vzorkem určeným pro rychlou jízdu na silničním povrchu.

Horská kola mají naopak plášť širší (38 – 57 mm). Jejich vzorek je hrubší, neboť zvyšuje přilnavost na nezpevněném povrchu a je lepší pro jízdu v terénu. Na silnicích se však tento vzorek hodně opotřebovává, proto se používá hrubý plášť s jemným vzorkem uprostřed.

Důležité je také huštění. V terénu by se měly pneumatiky hustit o něco méně, protože pak lépe pruží a zvyšují tak pohodlnost jízdy. Také zvyšují stykovou plochu s podkladem a vylepšují přilnavost. Silně nahuštěné pneumatiky jsou vhodné pro jízdu po silničním povrchu, protože mají menší valivý odpor.

Kontrola správného tlaku se zjišťuje tlakoměrem při huštění. Správný tlak je napsaný na boku pneumatiky.

Brzdy u kol se používají buď špalkové, kotoučové a bubnové se zadním volnoběžným nábojem nebo brzdy protišlapné (torpédo). Dvě na sobě nezávislé účinné brzdy s odstupňovatelným ovládním brzděného účinku jsou povinnou součástí kola.

Brzdová a převodová lanka vedou z páček měničů či brzdových pák přímo k těm částem kola, která ovládají, což jsou zadní brzda, přední brzda, převodník a přehazovačka. Lanka většinou vedou přes horní či spodní část horní rámové trubky. U závodních kol jsou vedena vnitřkem rámu pro zlepšení aerodynamiky.

(9) (10)

2.2 Horské kolo

Horské kolo, označované zkratkou MTB neboli mountain bike, je bicykl navržený pro jízdu v terénu. Jak z hlediska povrchu, tak z hlediska sklonu. Pro horské kolo je charakteristický robustní a menší rám, široké pneumatiky pro lepší zvládnání terénních nerovností a převody přizpůsobené pro větší sklony terénu. Většina dnešních horských kol disponuje odpružením předního kola a nezanedbatelná část i odpružením kola zadního. Horská kola mají navíc často kotoučové brzdy, které jsou účinnější.

V současné době se horská kola dělí podle konstrukce do těchto hlavních kategorií:

- cross country (zdvihy odpružení cca 80 – 100 mm)
- trail /allmountain (zdvihy odpružení cca 120 – 140 mm)
- enduro (zdvihy odpružení cca 140 – 160 mm)
- freeride (zdvihy odpružení cca 160 – 203 mm)
- downhill (zdvihy odpružení cca 190 – 203 mm)
- dirt-jump / street (zdvihy odpružení cca 0 – 100 mm)
- trial (bez odpružení)

(11)



Obrázek 8 - Horské kolo (12)

2.3 Krosové / trekingové kolo

Pro cykloturistiku a pohodové vyjížděky se obecně doporučují krosová či trekingová kola. Mají lehčí rám, užší pláště, větší průměr kol, jiné poměry převodů a další drobnější odlišnosti než kola horská. Dnes už je běžné u této kategorie kol odpružení přední vidlice, která přináší větší pohodlí. Tato kola snesou i lehký terén jako jsou lesní a poľní cesty.

Trekingová kola mají většinou blatníky, nosič, světla a další vybavení. Hodí se spíše do města a na lehkou cykloturistiku po cyklostezkách.

Krosová kola sice z výroby podobnými doplňky vybavená nejsou, ale lze je na ně snadno namontovat. Jsou stavěná pro pohodlné svezení i sportovnější kondiční jízdu. (11)



Obrázek 9 - Krosové kolo (12)

2.4 Městské kolo

Tento druh kola je vytvořen za účelem jízdy městem a jeho okolím. Jedná se o druh kola přizpůsobený k pohodlné jízdě v každodenním oblečení.

Na městském kole se prakticky vše soustřeďuje na pohodlí a použitelnost ve městě. Sedlo je tvarované jinak než u závodních kol. Cyklista je na městském kole spíše vzpřímený. Jeho poloze jsou často přizpůsobena řídítka, která jsou u městských kol spíše vysoká a zakřivená. Střední trubka je zkosená pro lepší nasedání a sesedání z kola. Řetěz je chráněn krytem. Brzdy se většinou používají bubnové a to z důvodu své odolnosti vůči znečištění a otřesům. (11)



Obrázek 10 - Městské kolo (12)

2.5 Silniční kolo

Silniční kolo je druh bicyklu sloužící k jízdě převážně na pevném povrchu. Na jiném povrchu je jízda na něm velice nepohodlná až nemožná. Veškeré vlastnosti kola jsou podřízeny rychlosti. Jízda tak bývá nepohodlná, ale rychlá. Používají se úzké pláště od 23 mm, nahuštěné na tlak přes 8 barů. Používána jsou i kulatá řídítka, tzv. berany, pro aerodynamičtější posed cyklisty. (13)

2.5.1 Rekreační

Jsou cenově dostupná a přitom plně funkční. Jsou vhodná pro jezdce, kteří se občas rádi projedou na rychlém silničním kole, ale nejezdí na výkon, nebojí s časem a není pro ně důležitá hmotnost kola. Tato kola bývají postavena na hliníkových rámech a jejich komponenty jsou navrženy tak, aby hlavně dobře fungovaly, ale neklade se u nich takový důraz na hmotnost. Geometrie kola umožňuje pohodlnější a vzpřímenější posed.



Obrázek 11 - Rekreační silniční kolo (12)

2.5.2 Závodní

Jedná se o kola nekompromisně zaměřená na výkon bez ohledu na jízdní pohodlí. Mají geometrii s velmi položeným posedem, nejlehčí a nejtužší rámy většinou z karbonu a velmi odolné, lehké a kvalitní komponenty.



Obrázek 12 - Závodní silniční kolo (12)

2.5.3 Časovkové a triatlonové speciály

Jedná se o nejrychlejší kola s aerodynamicky tvarovaným rámem, u nichž díky předpokládané kratší době strávené v sedle zcela potlačují pohodlí ve prospěch výkonu. Časovková kola podléhají svou konstrukcí přísnějším pravidlům mezinárodní cyklistické unie (UCI).



Obrázek 13 - Časovkové silniční kolo (12)

2.5.4 Dráhové

Dráhová cyklistika vznikla v 60. letech 19. století. Jezdí se na okruhu zvaném velodrom, který je 250, 333 nebo 400 metrů dlouhý. Šířka dráhy se pohybuje kolem 8 m. Okruh má pouze dvě zatáčky vlevo. V rovinkách je klopení mírné okolo 10 stupňů a v zatáčkách až 42 stupňů. Povrch velodromu je vyroben nejčastěji z dřevěných parket na krytých dráhách nebo z betonu na venkovních dráhách.

Bicykly pro dráhovou cyklistiku se odlišují od běžných silničních kol tím, že postrádají brzdy a mají pevný převod a náboj zadního kola. Z tohoto důvodu jsou tato kola výrazně lehčí a jízda na nich rychlejší. (14)



Obrázek 14 - Dráhové kolo (15)

3 Analýza problému

3.1 Požadavky

V průběhu vývoje cyklistických kol vzniklo mnoho různých typů a druhů rámu. Tato bakalářská práce se zabývá výběrem vhodného rámu pro koncového zákazníka z hlediska tuhosti, hmotnosti i ceny. Požadavky na vlastnosti kola jsou vztaženy na řešitele práce. Konkrétní pořadí priorit vlastností bude upřesněno dále.

Práce obsahuje rešerši používaných materiálů a výběr nejvhodnějšího z nich. Rovněž řeší volbu rámu z existujících druhů, které mají v analýze stejnou tloušťkou trubek a je zkoumána rozdílná tuhost, hmotnost a pevnost jednotlivých rámu. K výběru správné varianty je použita metoda párového srovnávání.

3.2 Výběr materiálu

Pro rámy kol jsou nejčastěji používány materiály ocel, hliník, karbon a titan. Při výrobě rámu kola je důležitou vlastností svařitelnost a obrobitelnost materiálu. Proto jsou voleny již kompletní existující rámy, aby v ceně byla zahrnuta i technologičnost výroby a závěrečná úprava. Z důvodu zajištění srovnatelných cen rámu z různých materiálů jsou zvoleny rámy převážně od jednoho výrobce a dodavatele. Pro rámy z ocele, hliníku a karbonu byla vybrána americká firma Specialized. Tato firma je jedna z mála, která vyrábí rámy svých silničních kol z těchto tří materiálů. Pro co nejlepší srovnatelnost byl titanový rám kola, který se vyrábí pouze na zakázku, zvolen ten nejlevnější možný a na českém trhu dostupný.

Americká firma Specialized byla založena Mikem Sinyardem v roce 1974. Nejdříve dovážela italské komponenty jízdních kol do USA. V roce 1976 firma vyrobila své první kolo. Poté v roce 1981 představila první sériově vyráběné horské kolo pro širokou veřejnost tzv. „Stumpjumper“. Dnes firma s obratem 500 mil. \$ patří k největším výrobcům jízdních kol na světě. (16)

Do analýzy byly uvažovány všechny rámy ve velikosti 52 cm.

3.2.1 Ocel

V minulých letech ocel naprosto dominovala. Byl to prakticky jediný používaný materiál pro výrobu rámu, který však začaly vytlačovat jiné materiály hliník a později karbon. Oproti hliníku ale ocel disponuje vyšší pevností a velmi nízkou unavitelností. Je však nutné uvažovat i negativní vlastnosti. Ocel podléhá korozi, takže jsou nutné povrchové úpravy rámu.

Dnes můžeme ocel najít spíše u jízdních kol levnější třídy. Jedná se o tzv. Hi-Ten ocel, která je pevná, ale zároveň má rám z ní vyrobený poměrně vysokou hmotnost. Díky patentované výrobě ocelových Reynolds trubek, které jsou ve střední části tenčí a na krajích, kde jsou více namáhány, mají silnější stěnu, získávají ocelová kola s takovými trubkami zcela nový potenciál a mohou uspokojit i náročnější cyklisty.

Hustota u většiny ocelí $7,78 \text{ g/cm}^3$

Nejpoužívanější oceli:

- Hi-Ten, CrMo 4130 ocel, modul pružnosti v tahu 210 GPa
- Reynolds 725, bežešvá tvrzená ocel, modul pružnosti v tahu 217 GPa

Rám kola byl zvolen Specialized Awol. Cena: 17 000 Kč, hmotnost: 1 305 g

(12) (17) (18) (19)



Obrázek 15 – Specialized Awol (12)

3.2.2 Hliník

I tento materiál patřil na dlouhou dobu k nejčastěji používaným, neboť poskytl jízdním kolům snížení hmotnosti. Umožňuje postavit rámy i poměrně levně. Sám hliník je velmi měkký, proto se musí zpracovávat do slitin, aby se dal použít pro výrobu rámu jízdního kola. U jízdních kol jsou používány hliníkové trubky s větším průměrem, čímž se získá celková pevnost při zachování nízké hmotnosti. Rámy z hliníkových trubek se vyrábí dvěma technologiemi, svařováním nebo lepením.

Hustota hliníku $2,7 \text{ g/cm}^3$

Modul pružnosti v tahu 70 GPa

Nejpoužívanější slitiny hliníku:

- EN AW-7005 slitina se zinkem
- EN AW-6061 slitina s křemíkem a hořčíkem

Rám kola byl zvolen Specialized Allez. Cena: 25 000 Kč, hmotnost: 1 050 g

(12) (17) (20) (21) (22)



Obrázek 16 – Specialized Allez (12)

3.2.3 Karbon, kompozit

Uhlíkový kompozit je pětikrát lehčí a má šestkrát větší pevnost než ocel. Podle typu a směru vláken, způsobu pletení, zvolené pryskyřice a dalších přidaných materiálů (např. kevlar) vznikají rámy různých vlastností. Kompozit lze vyrobit tak, aby byl v jednom směru tuhý a pevný a v jiném měkký a pružný. Například na vidlicích se používá pružný kompozit pro tlumení vibrací. Obecnou výhodou kompozitních materiálů je vysoká pevnost a nízká hmotnost. Karbonové rámy mají vysokou trvanlivost, neboť v důsledku namáhání stárnou velice pomalu. Daleko více je ale ohrožuje jednorázový náraz z jiného směru, než na jaký je rám konstruovaný. Například pád na kole může mít pro rám fatální důsledky.

Karbonové cyklistické rámy se vyrábějí dvěma způsoby. Levnější je lepený rám z předem připravených trubek a kloubů. Druhou variantou je tzv. monocoque, kdy jsou karbonové pláty namotávány na předem připravenou formu tak, aby v místech s větším namáháním byla větší vrstva a naopak menší na místech nenamáhaných. Vznikají tak rámy velmi pevné a přitom lehké.

Hustota karbonu $1,6 \text{ g/cm}^3$

Modul pružnosti v tahu 900 GPa

Rám kola byl zvolen Specialized Roubaix. Cena: 30 000 Kč, hmotnost: 961 g

(12) (17)(20) (23)



Obrázek 17 – Specialized Roubaix (12)

3.2.4 Titan

Titanový rám má schopnost aktivně pohlcovat vibrace. Je lehký, odolává korozi a materiálové únavě. Nevýhodou je jeho vysoká pořizovací cena a složitost případných oprav. Titan se svařuje ve speciální ochranné atmosféře a je potřeba při tom dodržovat složitý technologický postup. Titan nekoroduje, proto k jeho povrchové úpravě stačí leštění nebo otryskání. Díky vysoké výrobní ceně se používá jen na závodní rámy nebo cyklokrosové rámy, které vyžadují tuhost a pevnost. Z titanu se vyrábí i komponenty kol.

Hustota titanu $4,45 \text{ g/cm}^3$

Modul pružnosti v tahu 116 GPa

Rám kola byl zvolen z titanu 3Al/2,5V (3% hliníku a 2,5% vanadu), cena rámu 40 000 Kč, hmotnost rámu 1 600 g

(17) (20)

3.3 Výběr varianty

Pro výběr nejvhodnějšího materiálu byla použita varianta párového srovnávání. V prvním kroku se srovnává důležitost ceny rámu, hmotnosti rámu, tlumení rázů a tuhosti rámu.

Modul pružnosti v tahu je veličina důležitá pro pohodlí jezdce. Čím má materiál vyšší modul pružnosti v tahu, tím je rám tužší, ale méně tlumí rázy vzniklé jízdou po nerovném povrchu a přenáší je do řídítek a sedla. V případě, že by byl rám dokonale tuhý, jízda na takovém kole by byla nepohodlná, ale veškerá síla by se přenášela do pohybu vpřed. Proto se nejtužší kola používají v závodní cyklistice, kde není třeba mít pohodlné kolo. V případě nízkého modulu pružnosti v tahu je rám měkký a pružný, tudíž pohodlnější, ale energie jezdce se ztrácí v rámu.

Nejvhodnější rám je levný, lehký, dobře tlumí rázy a je zároveň tuhý.

Tab. 1

Vlastnosti rámu	1	2	3	4
1. Cena rámu	XXXX			
2. Hmotnost rámu	1	XXXX		
3. Tlumení rázů	1	2	XXXX	
4. Tuhost	1	2	4	XXXX
Součet voleb	3	2	0	1

V tab. 1 jsou uvedeny volené priority jezdce. Sloupec 1 porovnává ceny s ostatními vlastnostmi rámu. První rozhodnutí se týká srovnání s hmotností rámu. Pro řešitele je důležitější cena než hmotnost, proto je zde hodnota „1”. Tento algoritmus je použit i pro ostatní buňky. Poslední řádek obsahuje součet voleb v tabulce. Cena rámu (1) byla zvolena třikrát, proto je v součtovém řádku hodnota 3. Tímto způsobem je sečten každý sloupec.

Z této tabulky vyplývá, že nejdůležitější je pro řešitele cena rámu, poté hmotnost, následně tuhost rámu a nejméně důležité se jeví tlumení rázů.

V druhém kroku je proveden výpočet vážených hodnot jednotlivých vlastností pro konkrétní varianty rámu, které jsou uvedeny v tab. 3. Nejdříve jsou v tabulce seřazeny vlastnosti dle počtu voleb z tab. 1. Poté se nejdůležitější vlastnosti přiřadí nejvyšší váha. Následně se vypočítá prostá hodnota pro jednotlivé varianty pomocí následujícího vzorce:

$$\frac{\text{hodnota nejvhodnějšího}}{\text{hodnota konkrétního}} * 100 = \text{prostá hodnota}$$

Nejvhodnější je nejnižší cena.

Tab. 2

Materiál	Cena [Kč]	Hmotnost [g]	Modul pružnosti v tahu [GPa]
Ocel	17 000	1 305	217
Hliník	25 000	1 050	70
Karbon	30 000	961	900
Titan	40 000	1 600	116

Pro hliník:

$$\frac{17\,000}{25\,000} * 100 = 68\%$$

Výpočet je proveden i pro ostatní materiály.

Jelikož je ocel nejlevnější, vychází 100%.

Další vlastnosti rámu jsou počítány podle výše uvedeného vzorce.

Pouze pro tuhost je vhodná nejvyšší hodnota modulu pružnosti v tahu. Z tohoto důvodu je vzorec ve tvaru:

$$\frac{\text{hodnota konkrétního}}{\text{hodnota nejvhodnějšího}} * 100 = \text{prostá hodnota}$$

Pro výpočet, vážených hodnot je použit vzorec:

$$\text{prostá hodnota} * \text{váha} = \text{vážená hodnota}$$

Dalším výpočtem pro volbu materiálu je součet vážených hodnot. Nejideálnější rám má součet vážených hodnot 1000.

Posledním výpočtem je výpočet výsledných procent podle vzorce:

$$\frac{\text{součet vážených hodnot konkrétního rámu}}{\text{součet vážených hodnot ideálního rámu}} * 100 = \text{výsledná procenta}$$

(24)

Tab. 3

Díličí kriteria	Pořadové číslo	Počet voleb	Pořadí významu	Váha	Ocel - Awol		Hliník - Allez		Karbon-Roubaix		Titan	
					Prostá hodnota	Vážená hodnota	Prostá hodnota	Vážená hodnota	Prostá hodnota	Vážená hodnota	Prostá hodnota	Vážená hodnota
Cena rámu	1	3	1	4	100	400	68	272	57	227	43	170
Hmotnost rámu	2	2	2	3	74	221	92	275	100	300	60	180
Tlumení rázů	3	0	4	1	32	32	100	100	8	8	60	60
Tuhost	4	1	3	2	24	48	8	16	100	200	13	26
Celkem				10*100=1000	701		662		734		436	
Užitnost v relativním vyjádření					70,14%		66,21%		73,44%		43,63%	

Z uvedených výsledků výpočtu vyplývá, že nejlepším materiálem pro výrobu rámu je karbon. Volba karbonového rámu sice zvýší cenu kola, avšak ostatní přednosti tohoto materiálu, malá hmotnost a velká tuhost jsou tak vysoké, že převýší nevýhodu vyšší ceny.

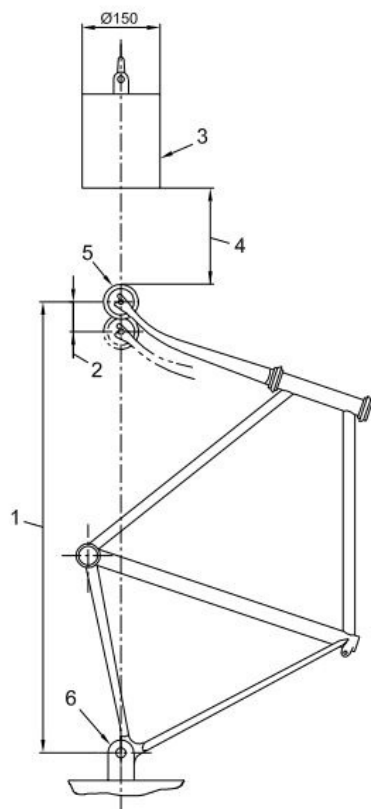
4 Geometrie rámu

4.1 Namáhání rámu

Tuhost rámu byla ověřena dvěma metodami, náraz a skok, podle normy EN 14781:2005 (E) Racing bicycles - Safety requirements and test methods.

4.1.1 Náraz

Provedení zkoušky rázem je povinnou součástí uvedení nového rámu do prodeje. Během zkoušky se rám nachází ve svislé poloze. Přední vidlice je nahrazena ocelovou tyčí a zadní je pevně uchycena. Ekvivalentem nárazu cyklisty o hmotnosti 80 kg v rychlosti 12,5 km/h je pád 22,5 kg závaží z výšky 212 mm na konec přední vidlice. Závaží se musí po pádu odrazit a na rámu nesmí být žádné trhliny či lomy. Trvalá deformace měřená mezi osami kol (rozvoru) nesmí přesáhnout 15 mm.



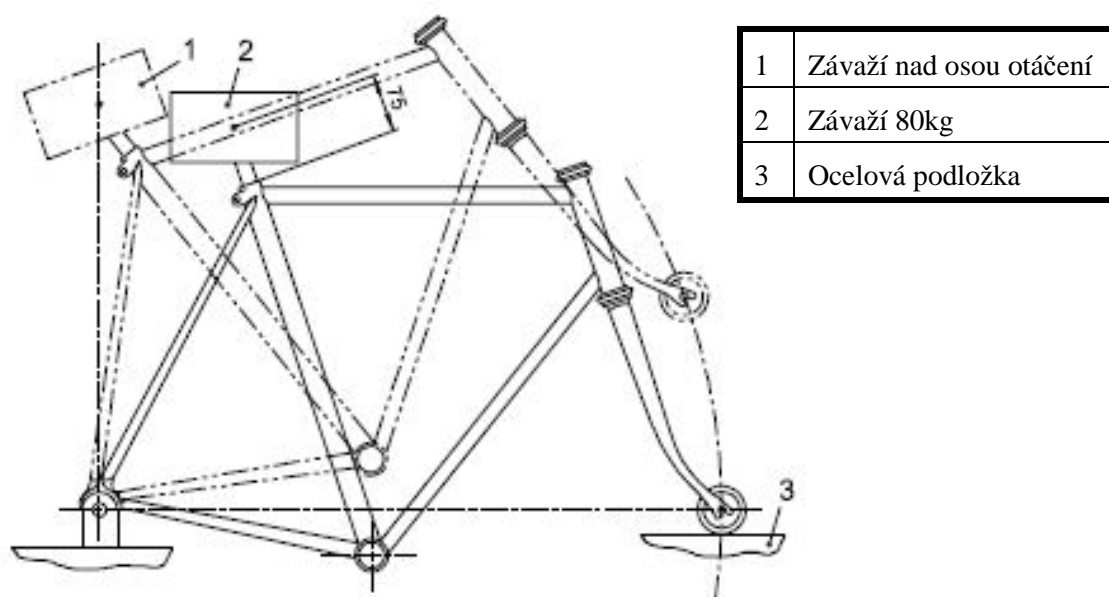
1	Rozvor kol
2	Deformace
3	Závaží
4	Výška pádu
5	Nízkohmotnostní váleček 1kg
6	Pevné připojení zadní vidlice

Obrázek 18 – Zkouška nárazem

Pro zjednodušení tohoto případu je padající těleso nahrazené silou, která bude působit na přední vidlici a zatíží tak rám kola staticky.

4.1.2 Skok

Zkouška skokem se opět provádí za použití ocelové tyče nahrazující přední vidlici nebo s vidlicí, která byla již dříve úspěšně otestována. Těžiště závaží je 75 mm nad spojem horní rámové trubky a sedlové trubky. Jak je znázorněno na Obrázek 19 – Zkouška skokem, rám je namontovaný tak, aby se mohl volně otáčet kolem zadní vidlice. Nejdříve se rám uvede do takové polohy, aby závaží bylo nad osou otáčení. Poté se nechá sestava padat tak dlouho, dokud se nedostane do provozní polohy. V tu chvíli narazí přední vidlice do pevné ocelové podložky. Po ukončení testu nesmí být žádné trhliny nebo lomy v sestavě. Test se provádí dvakrát. Po druhém nárazu trvalá deformace měřená mezi osami kol (rozvoru) nesmí přesáhnout 15 mm.



Obrázek 19 – Zkouška skokem

V bakalářské práci je tato metoda skoku zjednodušená. Rám kola byl zatížen silou, která působí na sedlovou trubku ve směru její osy. Výsledky testu by neměly být ovlivněny, protože nejde o absolutní hodnoty, ale pouze o porovnání rozdílů mezi jednotlivými druhy rámu.

4.2 Volba druhu rámu

Rámy kol jsou zvolené podle existujících rámu na trhu, u kterých byla vypočtena hmotnost. Při zatížení nárazem (4.1.1) byla testována deformace os kol od sebe a maximální napětí. Posun středové osy a maximální napětí bylo zjištěno zatížením skokem (4.1.2).

Vlastní modelování a výpočty proběhly za použití programu Siemens NX 9.0.

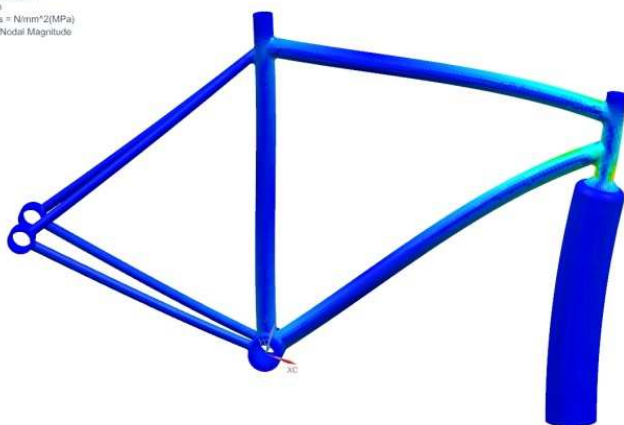
Deformace rámu na výsledných obrázcích je zvětšená pro lepší viditelnost.

4.2.1 Standardní rám



Obrázek 20 - Standardní rám

kolo1.3_sim1 : Solution 1 Result
 Subcase - Static Loads 1, Static Step 1
 Stress - Elemental, Von-Mises
 Min : 0.00, Max : 116.78, Units = N/mm²(MPa)
 Deformation : Displacement - Nodal Magnitude

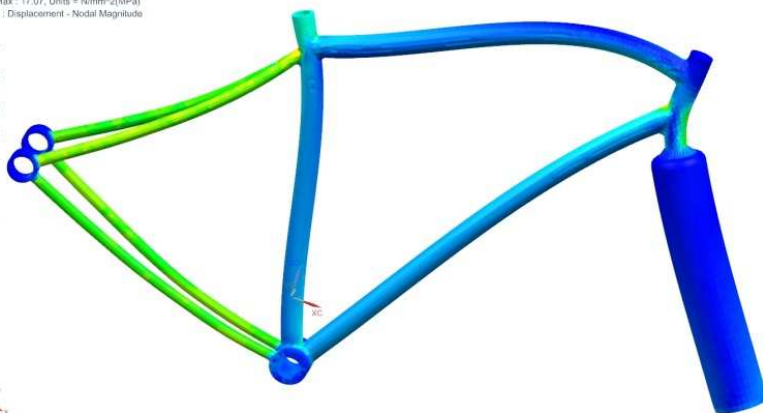
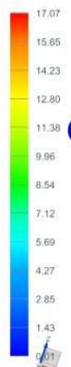


Units = N/mm²(MPa)

Hmotnost	1 431 g
Náraz	
Deformace	5,91 mm
Napětí	116,78 MPa
Skok	
Posun	0,1 mm
Napětí	17,07 MPa

Obrázek 21 - Standardní rám, náraz

kolo1.3_sim1 : Solution 2 Result
 Subcase - Static Loads 1, Static Step 1
 Stress - Elemental, Von-Mises
 Min : 0.01, Max : 17.07, Units = N/mm²(MPa)
 Deformation : Displacement - Nodal Magnitude



Units = N/mm²(MPa)

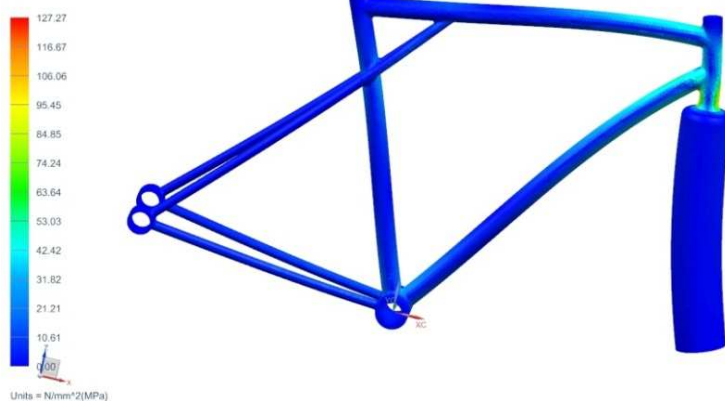
Obrázek 22 - Standardní rám, skok

4.2.2 Protážení zadní vidlice



Obrázek 23 - Protážení zadní vidlice

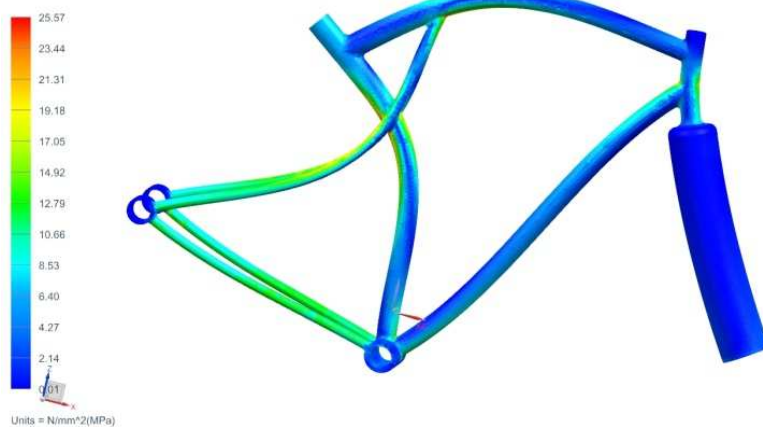
kolo2.2_sim1 : Solution 1 Result
 Subcase - Static Loads 1, Static Step 1
 Stress - Elemental, Von-Mises
 Min : 0.00, Max : 127.27, Units = N/mm²(MPa)
 Deformation : Displacement - Nodal Magnitude



Hmotnost	1 453 g
Náraz	
Deformace	5,76 mm
Napětí	127,27 MPa
Skok	
Posun	0,28 mm
Napětí	25,57 MPa

Obrázek 24 - Protážení zadní vidlice, náraz

kolo2.2_sim1 : Solution 2 Result
 Subcase - Static Loads 1, Static Step 1
 Stress - Elemental, Von-Mises
 Min : 0.01, Max : 25.57, Units = N/mm²(MPa)
 Deformation : Displacement - Nodal Magnitude



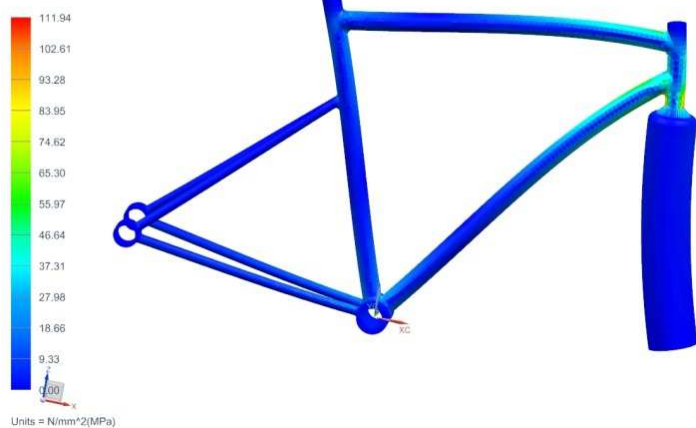
Obrázek 25 - Protážení zadní vidlice, skok

4.2.3 Snížení zadní vidlice



Obrázek 26 - Snížení zadní vidlice

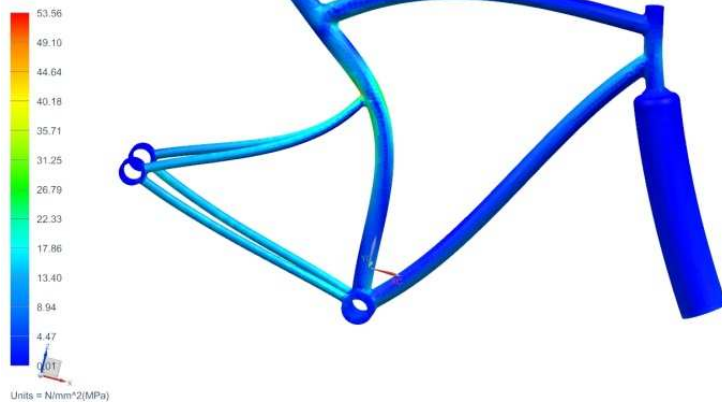
kolo3_sim1 : Solution 1 Result
 Subcase - Static Loads 1, Static Step 1
 Stress - Elemental, Von-Mises
 Min : 0.00, Max : 111.94, Units = N/mm²(MPa)
 Deformation : Displacement - Nodal Magnitude



Hmotnost	1 419 g
Náraz	
Deformace	5,98 mm
Napětí	111,94 MPa
Skok	
Posun	0,38 mm
Napětí	53,56 MPa

Obrázek 27 - Snížení zadní vidlice, náraz

kolo3_sim1 : Solution 2 Result
 Subcase - Static Loads 1, Static Step 1
 Stress - Elemental, Von-Mises
 Min : 0.01, Max : 53.56, Units = N/mm²(MPa)
 Deformation : Displacement - Nodal Magnitude



Obrázek 28 - Snížení zadní vidlice, skok

4.2.4 Nižší rám



Obrázek 29 - Nižší rám

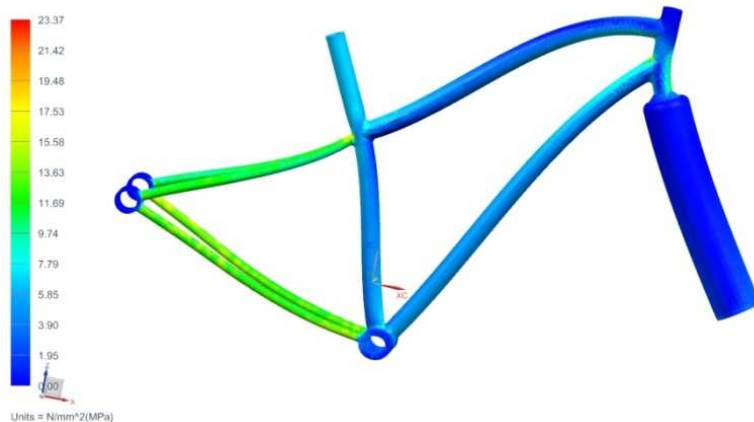
kol04_sim1 : Solution 1 Result
 Subcase - Static Loads 1, Static Step 1
 Stress - Elemental, Von-Mises
 Min : 0.00, Max : 118.92, Units = N/mm²(MPa)
 Deformation : Displacement - Nodal Magnitude



Hmotnost	1 414 g
Náraz	
Deformace	5,72 mm
Napětí	118,92 MPa
Skok	
Posun	0,16 mm
Napětí	23,37 MPa

Obrázek 30 - Nižší rám, náraz

kol04_sim1 : Solution 2 Result
 Subcase - Static Loads 1, Static Step 1
 Stress - Elemental, Von-Mises
 Min : 0.00, Max : 23.37, Units = N/mm²(MPa)
 Deformation : Displacement - Nodal Magnitude



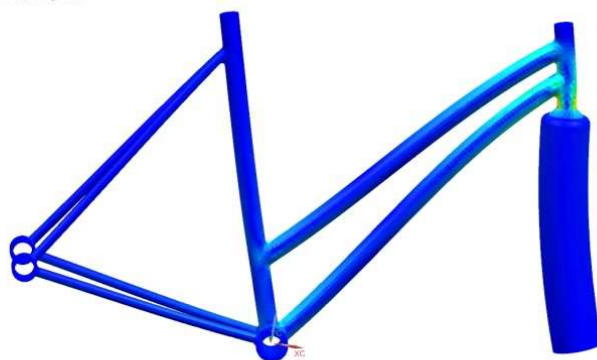
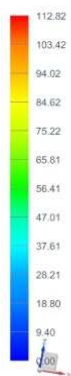
Obrázek 31 - Nižší rám, skok

4.2.5 Dámský rám



Obrázek 32 - Dámský rám

kolo5_sim1 : Solution 1 Result
 Subcase - Static Loads 1, Static Step 1
 Stress - Elemental, Von-Mises
 Min : 0.00, Max : 112.82, Units = N/mm²(MPa)
 Deformation : Displacement - Nodal Magnitude

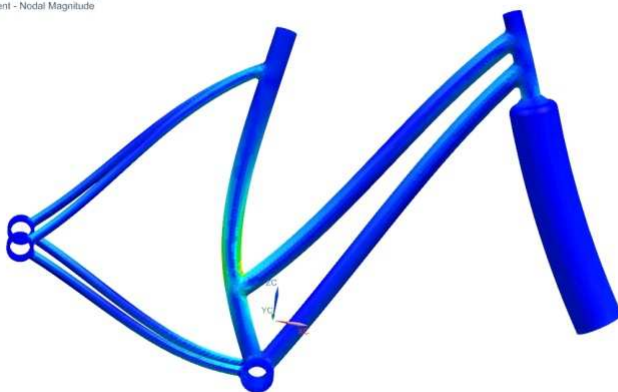


Units = N/mm²(MPa)

Hmotnost	1 453 g
Náraz	
Deformace	5,11 mm
Napětí	112,82 MPa
Skok	
Posun	2,88 mm
Napětí	149,31 MPa

Obrázek 33 - Dámský rám, náraz

kolo5_sim1 : Solution 2 Result
 Subcase - Static Loads 1, Static Step 1
 Stress - Elemental, Von-Mises
 Min : 0.03, Max : 149.31, Units = N/mm²(MPa)
 Deformation : Displacement - Nodal Magnitude



Units = N/mm²(MPa)

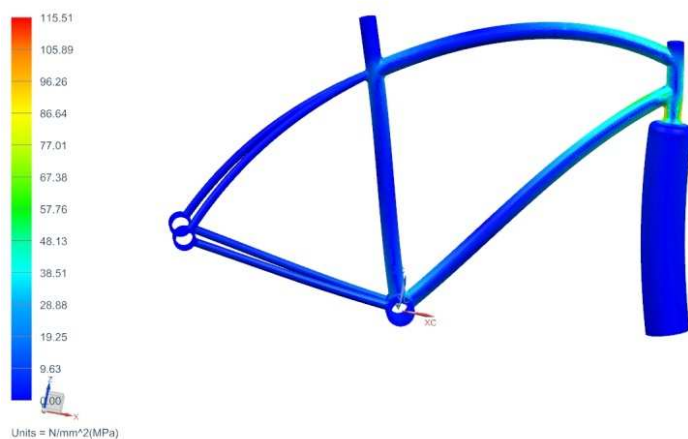
Obrázek 34 - Dámský rám, skok

4.2.6 Oblouková horní rámová trubka



Obrázek 35 - Oblouková horní rámová trubka

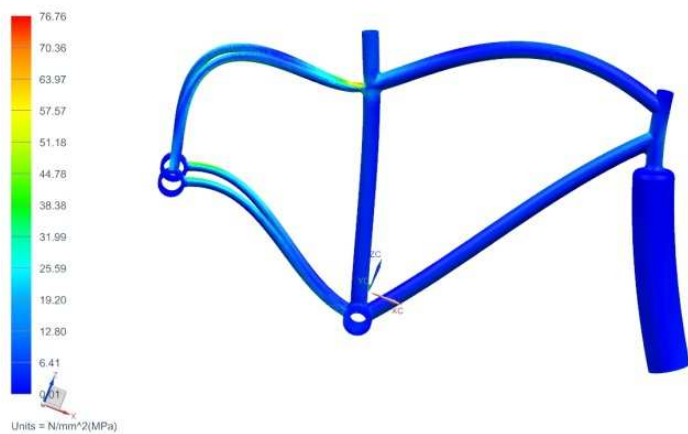
kol06_sim1 : Solution 1 Result
 Subcase - Static Loads 1, Static Step 1
 Stress - Elemental, Von-Mises
 Min : 0.00, Max : 115.51, Units = N/mm²(MPa)
 Deformation : Displacement - Nodal Magnitude



Hmotnost	1 432 g
Náraz	
Deformace	5,98 mm
Napětí	115,51 MPa
Skok	
Posun	0,36 mm
Napětí	76,76 MPa

Obrázek 36 - Oblouková horní rámová trubka, náraz

kol06_sim1 : Solution 2 Result
 Subcase - Static Loads 1, Static Step 1
 Stress - Elemental, Von-Mises
 Min : 0.01, Max : 76.76, Units = N/mm²(MPa)
 Deformation : Displacement - Nodal Magnitude



Obrázek 37 - Oblouková horní rámová trubka, skok

4.2.7 Zadní vidlice Y



Obrázek 38 - Zadní vidlice Y

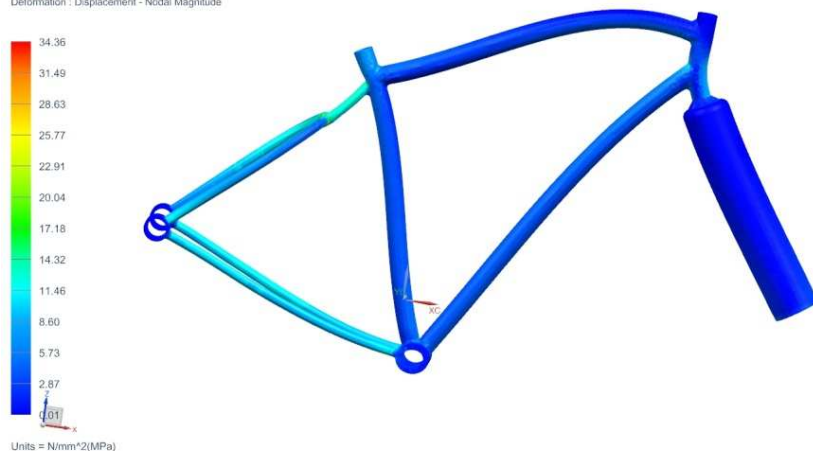
kolo7_sim1 : Solution 1 Result
 Subcase = Static Loads 1, Static Step 1
 Stress - Elemental, Von-Mises
 Min : 0.00, Max : 115.01, Units = N/mm²(MPa)
 Deformation : Displacement - Nodal Magnitude



Hmotnost	1 427 g
Náraz	
Deformace	5,92 mm
Napětí	115,01 MPa
Skok	
Posun	0,11 mm
Napětí	34,36 MPa

Obrázek 39 - Zadní vidlice Y, náraz

kolo7_sim1 : Solution 2 Result
 Subcase = Static Loads 1, Static Step 1
 Stress - Elemental, Von-Mises
 Min : 0.01, Max : 34.36, Units = N/mm²(MPa)
 Deformation : Displacement - Nodal Magnitude

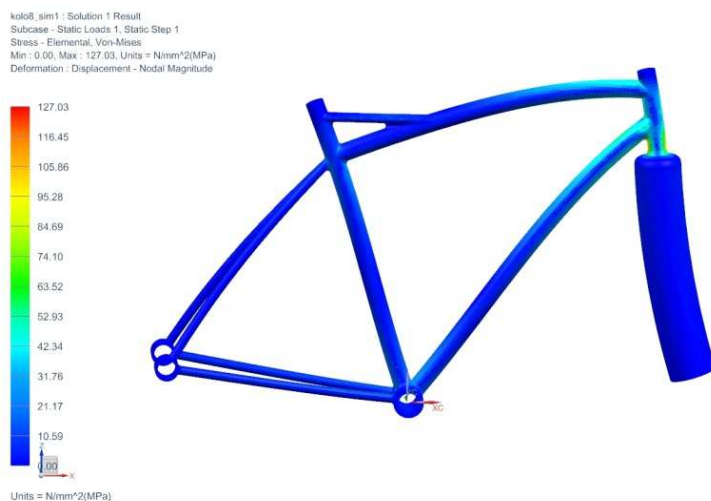


Obrázek 40 - Zadní vidlice Y, skok

4.2.8 Vyztužení u sedlové trubky

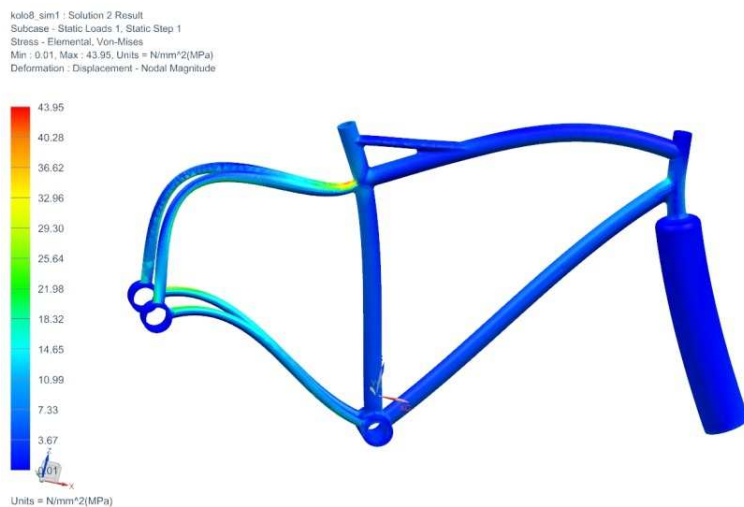


Obrázek 41 - Vyztužení u sedlové trubky



Hmotnost	1 471 g
Náraz	
Deformace	5,88 mm
Napětí	127,03 MPa
Skok	
Posun	0,16 mm
Napětí	43,95 MPa

Obrázek 42 - Vyztužení u sedlové trubky, náraz



Obrázek 43 - Vyztužení u sedlové trubky, skok

4.3 Výsledky analýzy

Tab. 4

Druh rámu	Hmotnost [g]	Deformace Náraz [mm]	Napětí Náraz [MPa]	Posun Skok [mm]	Napětí Skok [MPa]
4.2.1 - Standardní rám	1 431	5,91	116,78	0,06	17,07
4.2.2 - Protážení zadní vidlice	1 453	5,76	127,27	0,16	25,57
4.2.3 - Snížení zadní vidlice	1 419	5,98	111,94	0,25	53,56
4.2.4 - Nižší rám	1 414	5,72	118,92	0,02	23,37
4.2.5 - Dámský rám	1 453	5,11	112,82	2,92	149,31
4.2.6 - Oblouková horní rámová trubka	1 432	5,98	115,51	0,18	76,76
4.2.7 - Zadní vidlice Y	1 427	5,92	115,01	0,05	34,36
4.2.8 – Vyztužení u sedlové trubky	1 471	5,88	127,03	0,16	43,95

Deformace a posun jsou ukazatelé tuhosti rámu. Maximální napětí lze považovat za ekvivalent bezpečnosti a trvanlivosti rámu.

Ke správné volbě nejhodnějšího rámu je použita opět metoda párového srovnání popsána v kapitole 3.3 Výběr varianty.

Tab. 5

Vlastnosti rámu	1	2	3
1. Hmotnost rámu	XXXX		
2. Tuhost	1	XXXX	
3. Trvanlivost	1	2	XXXX
Součet voleb	2	1	0

Nejvyšší prioritu pro řešitele má hmotnost rámu. Nižší prioritu má tuhost a trvanlivost je nejméně důležitá.

Tab. 6

Díličí kriteriia	Poř. číslo	Počet voleb	Poř. významu	Váha	4.2.1 - Standardní rám		4.2.2 - Protažení zadní vidlice		4.2.3 - Snížená zadní vidlice		4.2.4 - Nižší rám		4.2.5 - Dámský rám		4.2.6 - Oblouková horní rámová trubka		4.2.7 - Zadní vidlice Y		4.2.8 - Vyztužení u sedlové trubky	
Hmotnost rámu	1	2	1	3	99	297	97	292	100	299	100	300	97	292	99	296	99	297	96	289
Deformace Náraz	2	1	2	2	86	173	89	177	85	171	89	179	100	200	86	171	86	173	87	174
Posun Skok	2	1	2	2	100	200	37	74	27	54	63	127	4	7	29	57	93	185	64	128
Napětí Náraz	3	0	3	1	96	96	88	88	100	100	94	94	99	99	97	97	97	97	88	88
Napětí Skok	3	0	3	1	100	100	67	67	32	32	73	73	11	11	22	22	50	50	39	39
Celkem					865		698		656		772		610		644		802		717	
Užitnost v relativním vyjádření					96,14%		77,60%		72,88%		85,83%		67,75%		71,55%		89,14%		79,65%	

Srovnáním výsledných hodnot testu hmotnosti, deformace a maximálního napětí metodou nárazu a skoku je patrné, že nevhodnější rám je standardní rám 4.2.1, který má jednu z nejvyšších tuhostí a nejnižší napětí při zachování nízké hmotnosti. V pořadí druhým nevhodnějším rámem je rám se zadní vidlicí do Y 4.2.7, který má výsledky vyrovnané.

5 Závěr

Podstatou práce bylo vybrat nejvhodnější kolo z hlediska materiálu a geometrie. Při zkoumání dané problematiky bylo zjištěno, že nejvhodnější materiál s požadovanými vlastnostmi pro cyklistický rám je karbon, jehož přednosti, tj. nízká hmotnost a vysoká tuhost, převýší jeho slabou stránku, vyšší cenu. Pro analýzu geometrie rámu bylo vytvořeno osm výpočtových modelů a testováno podle platné normy EN 14781:2005 (E) při nárazu předního kola do překážky a při dopadu kola po skoku. Nejlépe se jevil rám standardní, používaný například na kolech Favorit již od roku 1951. Poptávka po karbonových rámech na světovém trhu v poslední době vzrůstá a to hlavně díky modernizaci výroby a snížení jeho kupní ceny pro koncového zákazníka.

6 Citovaná literatura

1. **McGurn, Jim.** The leonardo legacy. *Bike culture*. [Online] [Citace: 19. 1 2016.] <http://www.cyclorama.net/viewArticle.php?id=303>.
2. **Boswell, Joe.** DandyCycle: The The Dandy Horse, Or how a German Baron and a Volcano Invented the Bicycle. *Dandy cycle*. [Online] [Citace: 19. 1 2016.] <http://dandycycle.blogspot.be/2010/10/the-dandy-horse-or-how-german-baron-and.html>.
3. **Clarís, Pau.** The Modern Urban Bycicle. *Uniq*. [Online] [Citace: 19. 1 2016.] <http://www.uniqresidential.com/en/modern-urban-bycicle/>.
4. **Hoefler, Carsten.** A Short Illustrated History of the Bicycle . *crazy guy on a bike*. [Online] [Citace: 19. 1 2016.] https://www.crazyguyonabike.com/doc/page/?page_id=40617.
5. **Wildová, Vlad'ka.** Pocta velocipédům aneb Seskokem seskok! *Dobré zprávy*. [Online] [Citace: 19. 1 2016.] <http://zpravyceskyraj.cz/pocta-velocipedum-aneb-seskokem-seskok/>.
6. Coventry's Rover Safety Bicycle receives prestigious award. *Institution of mechanical engineers*. [Online] [Citace: 19. 1 2016.] <https://www.imeche.org/news/institution/press-release/coventry-s-rover-safety-bicycle-receives-prestigious-award>.
7. **Mozer, David.** Bicycle History Timeline. *International bicycle fund*. [Online] [Citace: 19. 1 2016.] <http://www.ibike.org/library/history-timeline.htm>.
8. nanoBIKE.cz - Kola Nano, horská a krosová kola s jedinečným designem. *nano*. [Online] 10. 5 2016. <http://www.nanobike.cz>.
9. Seznam součástí jízdního kola – Wikipedie. *wikipedia*. [Online] [Citace: 11. 5 2016.] https://cs.wikipedia.org/wiki/Seznam_součástí_jízdního_kola.
10. Díly jízdního kola. *T. O. Šelmy*. [Online] [Citace: 11. 5 2016.] <http://toselmy.sweb.cz/dilykola.htm>.
11. Jízdní kolo – Wikipedie. *Wikipedia*. [Online] [Citace: 12. 5 2016.] https://cs.wikipedia.org/wiki/Jízdní_kolo.
12. Specialized: Kola. *Specialized*. [Online] [Citace: 28. 4 2016.] <https://www.specialized.com/cz/cs/bikes>.
13. **Landa, Pavel a Lišková, Jitka.** *Rekreační cyklistika*. Praha : Grada Publishing, 2004. ISBN 80-247-0726-8.
14. Dráhová cyklistika – Wikipedie. *Wikipedia*. [Online] [Citace: 12. 5 2016.] https://cs.wikipedia.org/wiki/Dráhová_cyklistika.
15. Sprinter T11 - Designer - Duratec rámy a jízdní kola. *Duratec*. [Online] [Citace: 12. 5 2016.] <http://www.duratec.cz/cs/612-sprinter-t11/designer/>.
16. Specialized Bicycle Components - Wikipedia, the free encyclopedia. *Wikipedia* . [Online] [Citace: 9. 5 2016.] https://en.wikipedia.org/wiki/Specialized_Bicycle_Components.
17. **Glaďiš, Tomáš.** kolo.cz. [Online] [Citace: 17. 4 2016.] <http://kolo.cz/clanek/jaky-ram-by-melo-mit-vase-kolo/kategorie/rady-vybirame-kolo>.
18. OCEL A JEJÍ VYUŽITÍ V BMX. *tbb bike*. [Online] [Citace: 22. 4 2016.] <http://www.tbb-bike.cz/ocel-a-jeji-vyuziti-v-bmx/>.
19. Reynolds Cycle Technology. *wikipedia*. [Online] [Citace: 22. 4 2016.] https://en.wikipedia.org/wiki/Reynolds_Cycle_Technology.

20. High quality materials we use for the manufacture of our high specification tubes | Fine Tubes. *finetubes.co.uk*. [Online] [Citace: 18. 4 2016.] <http://www.finetubes.co.uk/products/specialist-tube-materials/>.
21. Order Aluminum 6061 Tube in Small Quantities at OnlineMetals.com. *onlinemetals.com*. [Online] [Citace: 17. 4 2016.] http://www.onlinemetals.com/merchant.cfm?id=71&step=2&top_cat=60.
22. Specialized 2015: Allez range highlights. *road.cc*. [Online] [Citace: 3. 5 2015.] <http://road.cc/content/news/136659-specialized-2015-allez-range-highlights>.
23. Specialized S-Works Roubaix SL4. *bikeradar*. [Online] [Citace: 3. 5 2016.] <http://www.bikeradar.com/road/gear/category/bikes/road/product/review-specialized-s-works-roubaix-sl4-us-build-13-47244/>.
24. **VYŠATA, J.** Přednášky z předmětu PVP - Projektování výrobních procesů.