

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA STROJNÍ

Studijní program: N2301 Strojní inženýrství
Studijní obor: 2302T013 Dopravní a manipulační technika

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Tuhostní analýza silničního kola

Autor: Bc. Brantlová Jana

Vedoucí práce: Doc. Ing. Ladislav Němec, CSc.

Akademický rok 2019/2020

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta strojní

Akademický rok: 2019/2020

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE (projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Bc. Jana BRANTLOVÁ**
Osobní číslo: **S18N0001P**
Studijní program: **N2301 Strojní inženýrství**
Studijní obor: **Dopravní a manipulační technika**
Téma práce: **Tuhostní analýza silničního kola**
Zadávací katedra: **Katedra konstruování strojů**

Zásady pro vypracování

Základní požadavky:

Vypracovat rešerši silničních kol a používaných materiálů na jejich výrobu. Specifikovat seznam komponent každého silničního kola ve třech variantách dle jejich použití. Provést hmotnostní analýzu závodního silničního kola. Navrhnout optimální design závodního ocelového silničního kola s ohledem na nízkou hmotnost při zachování dostatečné tuhosti. Vybrat vhodné komponenty k dosažení kvalitního závodního kola hmotnosti 7 kg, pořizovací cena komponent bez rámu do 150.000 Kč. Zadání zahrnuje geometrii rámu.

Základní technické údaje:

Technické parametry jsou uvedeny v příloze zadání.

Osnova diplomové práce:

1. Druhy silničních kol
2. Komponenty silničních kol
3. Hmotnostní analýza závodního silničního kola
4. Tuhostní analýza závodního silničního kola

Rozsah diplomové práce: **50-70 stran A4**
Rozsah grafických prací: **dle potřeby**
Forma zpracování diplomové práce: **tištěná**

Seznam doporučené literatury:

[1] HOSNEDL, S., KRÁTKÝ, J. *Příručka strojního inženýra: obecné strojní části I.*. Praha: Computer Press, 1999

[2] WILSON, D.G., PAPADOPOULOS, J. *Bicycling science*. Cambridge: MIT Press, 2004

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

Vedoucí diplomové práce: **Doc. Ing. Ladislav Němec, CSc.**
Katedra konstruování strojů

Konzultant diplomové práce: **Ing. Hana Kolářová**
Saffron Frameworks

Datum zadání diplomové práce: **16. října 2019**
Termín odevzdání diplomové práce: **28. května 2020**



Doc. Ing. Milan Edl, Ph.D.
děkan



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

Prohlášení o autorství

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

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

V Plzni dne:

.....
podpis autora

Poděkování

Touto cestou bych ráda poděkovala panu Doc. Ing. Ladislavu Němcovi, CSc. za ochotu a vedení diplomové práce. Dále bych chtěla poděkovat své konzultantce Ing. Haně Kolářové za spolupráci, ochotný přístup při konzultacích a poskytnutí cenných rad a potřebných informací z praxe.

ANOTAČNÍ LIST DIPLOMOVÉ (BAKALÁŘSKÉ) PRÁCE

AUTOR	Příjmení Brantlová	Jméno Jana	
STUDIJNÍ OBOR	23-35-8 „Dopravní a manipulační technika“		
VEDOUcí PRÁCE	Příjmení (včetně titulů) Doc. Ing. Němec, CSc.	Jméno Ladislav	
PRACOVIŠTĚ	ZČU - FST - KKS		
DRUH PRÁCE	DIPLOMOVÁ	BAKALÁŘSKÁ	Nehodící se škrtněte
NÁZEV PRÁCE	Tuhostní analýza silničního kola		

FAKULTA	strojní	KATEDRA	KKS	ROK ODEVZD.	2020
----------------	---------	----------------	-----	--------------------	------

POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

CELKEM	84	TEXTOVÁ ČÁST	80	GRAFICKÁ ČÁST	4
---------------	----	---------------------	----	----------------------	---

<p style="text-align: center;">STRUČNÝ POPIS (MAX 10 ŘÁDEK)</p> <p>ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY</p>	<p>Diplomová práce se zabývá návrhem závodního silničního ocelového rámu kola. Teoretická část pojednává o typech silničních kol o komponentech používaných na silniční kola. Hlavní část práce se věnuje hmotnostní a tuhostní analýze silničního kola. Výsledkem je 3D model rámu, splňující požadavky zákazníka.</p>
<p style="text-align: center;">KLÍČOVÁ SLOVA</p> <p style="text-align: center;">ZPRAVIDLA JEDNOSLOVNÉ POJMY, KTERÉ VYSTIHUJÍ PODSTATU PRÁCE</p>	<p style="text-align: center;">Cyklistika, silniční kolo, rám kola, ocel, tuhostní analýza, CAD, MKP</p>

SUMMARY OF DIPLOMA (BACHELOR) SHEET

AUTHOR	Surname Brantlova	Name Jana	
FIELD OF STUDY	23-35-8 “Transport and handling machinery“		
SUPERVISOR	Surname (Inclusive of Degrees) Doc. Ing. Němec,CSc.	Name Ladislav	
INSTITUTION	ZČU - FST - KKS		
TYPE OF WORK	DIPLOMA	BACHELOR	Delete when not applicable
TITLE OF THE WORK	Stiffness Analysis of Road Bicycle		

FACULTY	Mechanical Engineering	DEPARTMENT	Machine Design	SUBMITTED IN	2020
----------------	------------------------	-------------------	----------------	---------------------	------

NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

TOTALLY	84	TEXT PART	80	GRAPHICAL PART	4
----------------	----	------------------	----	-----------------------	---

BRIEF DESCRIPTION TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS	This diploma thesis is focused of design of road racing steel frame. The theoretical part deals with the types of road bikes and the components used for road bikes. The main part contains the mass and stiffness analysis of the road bike. The result of this thesis is 3D design of the frame, which meets customer requirements.
KEY WORDS	Cycling, road bicycle, bike frame, steel, stiffness analysis, CAD, FEA

Obsah

Přehled použitých zkratk a symbolů.....	10
Úvod.....	11
1. Druhy silničních kol.....	12
1.1. Typy dle použití.....	12
1.1.1. Silniční kolo	12
1.1.2. Kolo pro časovku / triatlon.....	13
1.1.3. Gravel bike	15
1.1.4. Cyklokrosové kolo	16
1.2. Druhy silničních kol dle materiálu použitého na výrobu rámu	17
1.2.1. Ocel	17
1.2.2. Slitina hliníku	17
1.2.3. Kompozit - karbonová vlákna	18
1.2.4. Slitiny titanu	18
1.2.5. Hořčík.....	18
1.2.6. Dřevo, bambus, polymery	18
2. Komponenty silničních kol	19
2.1. Seznam komponent.....	19
2.1.1. Silniční sady - řazení a brzdy	19
2.1.2. Silniční sady Shimano	20
2.1.3. Silniční sady Sram.....	20
2.1.4. Silniční sady Campagnolo.....	21
2.1.5. Zapletená kola	21
2.1.6. Řídítka, představec a sedlovka	22
2.1.7. Sedlo, omotávky.....	23
2.1.8. Košík na lahev a pedály	24
2.2. Materiály používané na výrobu komponent	25
2.2.1. Ocel	25
2.2.2. Titan	25
2.2.3. Hliníkové slitiny	25
2.2.4. Kompozity.....	25
2.2.5. Polymery	25
2.2.6. Keramika	25
2.2.7. Přírodní materiál.....	25

3.	Hmotnostní analýza silničního kola	26
3.1.	3 varianty sestav komponent s ohledem na váhu	26
3.1.1.	Nízká hliníková kola s ráfkovými brzdami	26
3.1.2.	Nízká hliníková kola s kotoučovými brzdami.....	28
3.1.3.	Karbonová kola s výškou ráfku do 50 mm a s kotoučovými brzdami	30
3.2.	Výběr vhodné varianty pro závodníka.....	32
4.	Tuhostní analýza závodního silničního kola	35
4.1.	Základní požadavky.....	35
4.2.	Geometrie rámu	36
4.2.1.	Měření jezdce - Retül Fit.....	38
4.2.2.	Geometrie navrženého modelu dle měření.....	43
4.3.	Materiál na výrobu rámu	44
4.3.1.	Svařování rámu	46
4.4.	Konstrukce 3D modelu	47
4.4.1.	Kotoučové brzdy	48
4.4.2.	Pevná osa.....	50
4.4.3.	Patka	52
4.4.4.	Středové složení	53
4.4.5.	Hlavová trubka	55
4.4.6.	3D model	56
4.5.	Návrh zatěžovacích stavů	59
4.5.1.	Mechanické zkoušky pro testování rámu dle normy.....	59
4.5.2.	Zatěžovací stav při brzdění	60
4.5.3.	Zatěžovací stav při průjezdu zatáčkou	60
4.5.4.	Zatěžovací stav při dopadu na vozovku	61
4.6.	MKP tuhostní analýza	62
4.6.1.	Nasíťování modelu	62
4.6.2.	Zatěžovací stav 4.5.2 - brzdění.....	64
4.6.3.	Zatěžovací stav 4.5.3 - průjezd zatáčkou	66
4.6.4.	Zatěžovací stav 4.5.4 - náraz na vozovku	68
4.7.	Zhodnocení	69
4.7.1.	Kritická místa ocelových rámu	70
Závěr.....		72
Použitá literatura		73
Seznam obrázků		76

Seznam tabulek	79
Seznam příloh:.....	80

Přehled použitých zkratk a symbolů

UCI	Union Cycliste Internationale - Mezinárodní cyklistická unie
ČSN	Česká státní norma
EN	Evropská norma
mm	milimetr
cm	centimetr
m	metr
g	gram
kg	kilogram
°	stupeň
MPa	megapascal
GPa	gigapascal
N	Newton
BB	Bottom Bracket - středové složení
TIG	metoda tavného svařování za použití inertního plynu
Kč	koruna česká

Úvod

Tato diplomová práce se zabývá silničními koly, návrhem individualizovaného závodního silničního ocelového rámu kola na zakázku. Kolo by mělo být, co nejlehčí, ale zároveň i dostatečně tuhé tak, aby se při zatížení během závodu chovalo dle potřeby jezdce, tzn. aby vynaložená energie jezdce pro pohyb vpřed nebyla akumulována do kroucení rámu nebo komponent kola.

Úvodní teoretická část se zabývá rozdělením silničních kol dle jejich použití a dle jejich materiálu. Dále jsou zde popsány komponenty potřebné pro sestavení jízdního kola a pro pohodlí jezdce.

Další část se zabývá hmotnostní a také cenovou analýzou komponent kola tak, aby daná sestava byla co možná nejlehčí, ale zároveň splňovala přání zákazníka ohledně ovládacích prvků nebo pohodlí jezdce.

Poslední část pak popisuje jak se navrhuje individualizovaný rám kola na zakázku. MKP analýza tohoto rámu, která ukazuje nejslabší místa v konstrukci a také samotnou výrobu rámu.

1. Druhy silničních kol

1.1. Typy dle použití

1.1.1. Silniční kolo

Klasické silniční kolo se vyznačuje tuhým, pevným rámem bez odpružení, pevnou vidlicí a řídítky zvanými berany. Rozvor kol je co nejkratší, kvůli co nejlepší ovladatelnosti a akceleraci. Zapletená kola mají úzké ráfky a hladké pláště nebo galusky. Brzdové páky a páky řazení jsou integrované v jedné komponentě. Brzdy se již téměř výhradně používají kotoučové, které mají výrazně lepší brzdny účinek v nepříznivých podmínkách jako je déšť, než klasické ráfkové brzdy. Tento rozdíl je nejvíce vidět při použití karbonových ráfků, kde je brzdny účinek ráfkových brzd velmi slabý. Navíc kotoučové brzdy opotřebovávají „pouze“ kotouč nikoliv celý ráfek. Tím se zvýší i životnost zapletených kol. Kotoučové brzdy jsou ale o něco těžší než ráfkové. To je ale většina výrobců schopna vyrovnat snížením hmotnosti rámu. Minimální hmotnost kol je dle UCI (Union Cycliste Internationale - Mezinárodní cyklistická unie) omezena na 6,8kg. Řazení se používá nejčastěji 2x11 převodů, ale od roku 2019 se na některých kolech začíná objevovat i 2x12 převodů.

Silniční kola prošla značným vývojem. V profi pelotonu lze sledovat různé druhy silničních kol dle typu závodu nebo etapy. Pro rovinaté tratě se využívají aero kola. Ta mají rám s aerodynamičtějším tvarem. Ráfkové brzdy nebo těmeny kotoučových brzd bývají uloženy v zákrytu rámu tak, aby měly co nejmenší aerodynamický odpor. Tato kola ale mohou mít o něco vyšší hmotnost, ta však v rovinatých etapách není tak důležitá. Je zde kladen důraz zejména na tuhost rámu. Dále se pro tato kola využívají vyšší ráfky kol, do určitého omezení od UCI. Příklady těchto kol jsou Specialized Venge, Trek Madone nebo Lapierre Aircode.



Obrázek 1: Silniční kolo Trek Madone [2]

Pro kopcovité etapy se využívají co nejlehčí kola. Tato kola jsou navíc velmi dobře ovladatelná. Brzdové těmeny nebo ráfkové brzdy bývají snáze přístupné pro případný mechanický problém tak, aby oprava při závodě byla co nejrychlejší. Ráfky kol bývají nízké,

tak aby se kolo chovalo obratně a nebylo náchylné na boční vítr. Příklady jsou Specialized Tarmac, Trek Émonda a Lapierre Xelius.



Obrázek 2: Silniční kolo Specialized S-Works Tarmac [3]

Třetím typem klasických silničních kol jsou kola určená pro etapy na kostkách a etapy se špatným povrchem silnic. Do těchto kol jsou integrované pružící členy a geometrie je často uzpůsobená pro co největší pohodlí jezdce. Příklady jsou Specialized Roubaix, Trek Domane a Lapierre Pulsium.



Obrázek 3: Silniční kolo Lapierre Pulsium [4]

1.1.2. Kolo pro časovku / triatlon

Tato kola jsou uzpůsobena pro jízdu proti chronometru. Největší důraz je proto kladen na aerodynamiku kola, které je podřízeno i pohodlí jezdce a hmotnost kola.

UCI pro časovku stanovuje mnoho pravidel, která musejí tato kola splňovat. Tato pravidla se zaměřují nejen na geometrii rámu jako celku, ale také omezují geometrii jednotlivých trubek, ze kterých se rám skládá. Dále jsou v pravidlech uvedena omezení pro jednotlivé komponenty

použité na kolech a je zakázáno užití dalšího doplňkového vybavení jako jsou například aerodynamické lahve na pití. Další omezení se týkají nastavení posedu jezdce při jízdě. Kde se měří například vzdálenost sedla od konců řídítek.



Obrázek 4: Kolo pro časovku Canyon Speedmax [5]

Zatímco kola pro triatlon žádná pravidla splňovat nemusejí. Lze se tedy setkat s nejrůznějšími aerodynamickými hybridy, jako například kolo Cervélo P3X. Většina firem však pro kola na triatlon vycházejí z kol pro časovku a pouze je doplní dalšími aerodynamickými prvky, například větším průřezem trubek, využitím aerodynamických lahví na vodu nebo částečným zakrytím rámového trojúhelníku.



Obrázek 5: Kolo pro triatlon Cervelo P3X [6]



Obrázek 6: Kolo pro triatlon Specialized S-Works Shiv TT [7]

Kola pro časovku jsou těžší než klasická silniční kola. To je dáno zvýšeným důrazem na aerodynamiku a tedy větším množstvím materiálu. Hmotnost tu není zcela rozhodující. I tak tato kola mají 7,5 až 8 kg. Kola jsou také poměrně špatně ovladatelná, mají mnohonásobně větší poloměr zatáčení než klasická silniční kola a jízdou v bočním větru se kolo může stát i neovladatelné.

Osazení takového kola se skládá z řídítek určených pro časovku s tzv. hrazdou a dvěma způsoby úchopu. Ve sjezdech je jezdec více vzpřímený a drží se za konce řídítek, kde jsou umístěny páky brzd. Zatímco po rovinách popř. v mírných výjezdech jezdec "leží" na hrazdě. To znamená, že je opřený o loketní opěrky a drží se za konce řídítek. Na koncích řídítek bývaly umístěny páky řazení, takže jezdec mohl řadit pouze chycením řídítek za hrazdu. To už se s nástupem elektronického řazení rychle mění a jezdec může řadit jak v hrazdě, tak i na řídítkách beze změny úchopu. Řazení samotné bývá stejné jako u silničních kol avšak na některých závodech lze vidět i „jednopřevodník“. Další typický prvek pro časovkářské kolo jsou samotná kola. Neaerodynamičtější kombinací je diskové kolo vzadu a loukoťové vpředu. Při kopcovitějším profilu trati nebo ve větru se pak vozí klasická zapletená kola, ale i ta bývají s vyššími ráfky. Poslední typický znak pro tato kola bývá sedlo, které je uzpůsobené poloze jezdce. Klasické ráfkové brzdy jsou postupně nahrazovány brzdami kotoučovými, které se taktéž dělají v aerodynamičtější verzi.

1.1.3. Gravel bike

Gravel bike je silniční kolo určené pro jízdu nejen po silnicích ale i zpevněných cestách. Geometrie rámu je konstruována zejména pro pohodlí jezdce na různých typech podkladu nebo na dlouhých cestách. Tato kola mívají velice často také nejrůznější pružící elementy. Rám je konstruován pro průchod širších kol a pláštů, které mohou být obaleny vrstvou bláta. Pláště mívají často hrubší vzorek, pro lepší trakci mimo asfalt. Většina komponent bývá shodná s klasickými silničními koly. Největší rozdíl je v řazení. Rozsah převodů bývá větší a převody jsou lehčí. Tzn. převodníky mívají menší počet zubů a kazeta bývá větší. Často se osazení 2x11 mění za 1x11 po vzoru horských kol. Některá kola jsou navíc osazená teleskopickou sedlovkou, která jezdcům umožňuje lepší posun těžiště dozadu při náročných sjezdech. Tato kola jsou těžší než klasické silniční modely.



Obrázek 7: Gravelové kolo Specialized S-Works Diverge [8]

1.1.4. Cyklokrosové kolo

Posledním typem silničních kol je kolo cyklokrosové. To se běžně v silničním provozu nepoužívá, ale na první pohled mohou být od klasických silničních kol špatně rozeznatelná. Kola mají závodní geometrii rámu a nejsou odpružená ačkoliv se s nimi jezdí téměř výhradně v terénu. Cyklokrosové závody se konají v zimě, tratě tak nebývají technicky náročné, jako pro horská kola, ale jsou často velmi těžké podmínkami - sníh, bláto, písek, voda. Navíc v závodech bývají umělé překážky nebo výběhy schodů. Kola tak musejí být velmi lehká. Jezdci je při závodech nosí na rameni a takto přebíhají náročné pasáže. Konstrukce rámu musí umožnit protáčení kol i pokud se na rámu a kolech zachytávají nečistoty. Pláště se velmi často střídají dle podmínky při závodě od hladkých po velmi hrubé. Brzdy jsou výhradně kotoučové. (UCI povolila použití kotoučových brzd pro závody v cyklokrosu o několik let dříve než byly povoleny na silničních závodech, zejména kvůli jejich výrazně vyššímu brzděmu účinku v nepříznivých podmínkách.) Řazení bývá téměř výhradně pouze s jedním převodníkem, protože to snižuje pravděpodobnost spadnutí a zaseknutí řetězu při závodě a tudíž ztráty pozic nutností zastavit.



Obrázek 8: Cyklokrosové kolo Canyon [9]

1.2. Druhy silničních kol dle materiálu použitého na výrobu rámu

Materiálů pro výrobu kol je relativně velké množství. Výběr materiálu ale velmi ovlivňuje fyzikální a mechanické vlastnosti rámu, zejména hmotnost, tuhost a pevnost. Nejčastěji používaným materiálem pro výrobu závodních silničních rámu je kompozit (karbon), dalším velice častým materiálem je hliníková slitina. Materiály jako ocel, titan nebo slitiny hořčíku, které se poměrně hodně používali v minulosti, jsou již na ústupu a rámy kol z nich vyrábí několik menších firem, jejichž výroba se dá považovat za kusovou. Ojedinele se lze setkat také s koly, které jsou vyrobené ze dřeva, bambusu a plastu. Pro hromadné používání materiálů nemají na vliv pouze fyzikální a mechanické vlastnosti materiálů, ale také cena. Do té se totiž musí započítat i zpracování a technologie výroby, která je často velmi složitá.

1.2.1. Ocel

V minulosti nejpoužívanější a v podstatě jediný materiál používaný pro konstrukci rámu. Často se rámy vyráběly svařováním trubek. Ocel je zcela prozkoumaný materiál. Je to homogenní materiál, má tedy stejné vlastnosti ve všech směrech. Ocel se chová pružně a pohlcuje vibrace a menší rázy od vozovky. Což zvyšuje jízdní komfort a je to velmi cenná vlastnost rámu. Také únavové vlastnosti oceli jsou známé, takže lze určit chování materiálu i po několika letech. Hlavní nevýhoda oceli je ta, že podléhá korozi. Navíc tato kola měla velmi vysokou hmotnost, tak byla ocel postupně nahrazována lehčími materiály.

Nejčastější druhy oceli jsou (dle starého značení ČSN) oceli třídy 15, přesněji ocel ČSN 15 130. Tato ocel odpovídá dle evropského značení oceli EN 25CrMo4. Tato ocel má velmi dobrý poměr pevnosti a hmotnosti a lze tedy použít tenčí trubky. Jedná se o nízkolegovanou ocel s obsahem molybdenu a chromu, což vede ke zlepšení mechanických vlastností. Další ocelí je ocel ČSN 11 523, což je nízkolegovaná ocel s 1,2% Mn. Tato ocel byla používána u levnějších kol, ale pro svou vysokou měrnou hmotnost se již nepoužívá.

Nejkvalitnější oceli pro výrobu rámu kol jsou od firem Columbus a Reynolds. Jedná se již o korozivzdorné materiály, které mají výborný poměr mezi pevností a hustotou. Trubky se pak vyrábějí jako zeslabované, kdy uprostřed je trubka zeslabená a na koncích, kde působí větší síly je zesílená. Tyto trubky jsou také jedny z nejdražších na světě.

1.2.2. Slitina hliníku

Slitiny hliníku zvané duraly jsou i přes nástup kompozitů nejpoužívanějším materiálem. Největší pozitivum hliníku je nízká měrná hmotnost, ale ta je vyvážena nízkou pevností. Proto se používají slitiny, které pevnost výrazně zvyšují. Typickým znakem pro duralové rámy kol jsou větší průměry trubek, než u ocelových rámu. Toto řešení je využito pro zachování tuhosti trubek při stejné tloušťce stěn, jako mají ocelové rámy. Pro dražší kola se opět velmi výrazně používá zeslabování trubek. Čímž je docíleno velmi výrazného snížení hmotnosti rámu. Duralové trubky se stejně jako ty ocelové spolu svařují. Velmi důležitou roli pak hraje další tepelné zpracování.

Nejčastěji používané slitiny hliníku v cyklistice jsou třídy 6000 a 7000. Třída 6000 je slitina hliníku s hořčíkem a křemíkem a třída 7000 je slitina hliníku se zinkem. Nejčastěji používané slitiny jsou 6061, 6066, 7005 a 7020. Jedná se o nejpevnější hliníkové slitiny, které lze svařovat.

1.2.3. Kompozit - karbonová vlákna

Kompozitní materiály v cyklistice se začaly objevovat výhradně u závodních silničních kol. Do cyklistiky se kompozity dostaly z leteckého průmyslu, avšak první rámy nebyly o nic lehčí než jejich duralový předchůdci. Vývoj šel však díky obrovským investicím do vývoje velmi rychle dopředu a rámy z uhlíkového kompozitu zvaného karbon už jsou velmi hluboko pod 1 kg a to nejen u rámu silničních kol ale i těch horských. Uhlíkový kompozit je složen z uhlíkových vláken o průměru několika mikrometrů a matrice z polymeru, která slouží jako pojivo. Velkou roli zde hraje skládání jednotlivých kompozitních vrstev na sebe a směr jednotlivých vláken. Nevýhodou tzv. karbonu je pak náchylnost na mechanické poškození při nárazu z jiného směru než na který je zkonstruován. Tyto rámy se na rozdíl od duralových neohnou, ale rovnou prasknou. V současnosti se ale už i tato poškození dají relativně dobře opravit a spoje pak často bývají pevnější než zbytek rámu, ale hodně záleží kde k dané prasklině dojde. Karbon je přibližně pětkrát lehčí a má šestkrát vyšší pevnost než ocel. Další výhodou je, že velmi dobře tlumí rázy od povrchu. Nevýhody jsou vysoká cena a náročná výroba. Rámy jsou lepené z jednotlivých kusů nebo lze vyrobit i rám z jednoho kusu, s čímž slavila úspěch například firma Duratec z Touškova.

1.2.4. Slitiny titanu

Slitiny titanu jsou pro použití v cyklistice v podstatě téměř dokonalý materiál. Má nízkou měrnou hmotnost, vysokou pevnost, nízkou náchylnost k únavovému lomu a velmi dobrou korozivzdornost. Nevýhody ale bohužel převažují nad výhodami a to je zejména velmi vysoká cena, náročná výroba a náchylnost k iniciaci trhlin v místě vrubu. Titan se leguje hliníkem a vanadem a nejčastější slitiny jsou Ti3Al2,5V a Ti6Al4V. Zejména cena pak staví titan do pozice exkluzivního materiálu a rámy jsou vyráběny v podstatě na zakázku. Velmi často je pak titanový rám nechán bez povrchových úprav (laků), kdy vynikne jeho lesk.

1.2.5. Hořčík

Hořčík má velmi nízkou měrnou hmotnost a to o 34% než hliník a jeho slitiny mají vysokou pevnost a tuhost. Lze použít větší průměr a větší tloušťku stěny trubky, tím je rám pevnější a tužší, ale hmotnost oproti jiným materiálům vyšší není. Hořčíkové slitiny velmi dobře tlumí vibrace a nárazy, ale opět je to poměrně drahý materiál. Průkopníkem používání tohoto materiálu byla firma Merida.

1.2.6. Dřevo, bambus, polymery

Rámy vyrobené z těchto materiálů jsou velice neobvyklé a téměř se s nimi nesetkáme. Dřevo je nejméně používaný materiál a takovýto rám je spíš vzácný úkaz, kdy si rám vyrobí cyklista sám doma. Bambus už je více používaný materiál díky dostupnosti v tropických oblastech. Rychle se ovšem mění jeho vlastnosti zejména vlivem vysoké vlhkosti. Tyto rámy vyrábí několik firem zejména v Asii.

Polymery jsou možné nástupci současných materiálů. Jejich využití v sériové výrobě v cyklistice se zatím zkoumá. První rámy kol už se testovali, ale zatím se to nesetkalo s větším úspěchem. Výhodou těchto materiálů je nízká hmotnost, možnost tisku na 3D tiskárně, ale také například využití kompostovatelných polymerů.

2. Komponenty silničních kol

2.1. Seznam komponent

2.1.1. Silniční sady - řazení a brzdy

Řazení kol prošlo velkým vývojem, kdy se neustále měnil počet převodů, v současnosti se silniční kola ustálila na převodech 2x11. Kdy dvoupřevodník vpředu a 11 pastorků vzadu na kazetě spolu s klikami, řetězem a pákami na řídítkách tvoří pohon kola. Řazení pro dražší kola už se používá elektricky poháněné. U nejdražších modelů se používá dokonce bezdrátové řazení. Páky řazení jsou zároveň pákami brzd, proto se většinou využívá celá sada od jednoho výrobce. Každý výrobce má pak své typické ovládání.

Největší výrobci sad komponent pro silniční kola jsou japonské Shimano a americký Sram. Silniční sady komponent dále vyrábí například italská firma Campagnolo. Tato firma ale v podstatě nekonkuruje Sramu a Shimanu. Dále je na trhu několik dalších firem, ti ale dodávají například pouze kliky (Rotor) nebo se specializují na řetězy (KMC). Sady ale často nelze kombinovat mezi sebou, lze vyměnit pouze části v rámci různých sérií jedné firmy. Tzn. vyměnit nižší model za vyšší atp. Libovolně lze měnit řetěz, popřípadě kliky a středové složení, které musí být kompatibilní s daným rámem. Problém s výměnou může nastat u elektrického řazení, kdy již nemusí být možné propojit starší a novější model.

Silniční sady se skládají z převodníků, kazety, přesmykače, přehazovačky, řetězu, klik, středového složení a brzdových pák, které zajišťují ovládání brzdění i řazení. Čelistové (tzv. V-brzdy), které se skládají z čelistí brzd, a brzdových špalíků, jsou nahrazovány brzdami kotoučovými, které se skládají z brzdových třmenů, brzdových destiček a brzdových kotoučů.

Řetězy můžeme většinou volně zaměňovat, důležitá je podmínka šířky řetězu, kdy řetězy pro 10, 11, 12 a také už 13 pastorků jsou užší a užší. Ale rozhoduje také materiál řetězu a komponent, kdy s tvrdším řetězem KMC dochází k většímu opotřebenosti převodníků a kazety zatímco řetěz vydrží více oproti řetězům od Shimana či Sramu. Ty jsou z měkčích materiálů a snadněji se „vytahají,“ takže se musejí častěji vyměňovat, ale neopotřebávají se dražší komponenty.

2.1.2. Silniční sady Shimano

U závodních kol se od firmy Shimano používají v podstatě maximálně tři nejvyšší sady - DuraAce, Ultegra a 105 a jejich elektrické varianty DuraAce Di2 a Ultegra Di2. Jedná se o řazení 2x11, kdy vpředu jsou 2 převodníky a kazeta má 11 pastorků. A v nabídce jsou varianty s kotoučovými nebo ráfkovými brzdami.



Obrázek 9: Silniční sada Shimano Dura Ace Di2 [10]

2.1.3. Silniční sady Sram

Sram ve vývoji řazení předběhl Shimano a vytvořil již bezdrátové řady svého elektrického řazení a drátové už nepoužívá. Jedná se o řady Red, Force a popř. Rival. Elektrické sady jsou Red eTap a Red eTap AXS a Force eTap AXS. Sram také posunul vývoj řazení pro silniční kola stejným směrem jako u horských kol a to k jednopřevodníkům a kazetě o 12 pastorkách. Lze se tedy setkat se sadami 1x12 a 2x12, ale tyto sady jsou pouze pro bezdrátová řazení AXS. Opět je na výběr mezi variantami s kotoučovými nebo ráfkovými brzdami.



Obrázek 10: Silniční sada Sram Red eTap AXS [11]

2.1.4. Silniční sady Campagnolo

Třetí firma, která je částečně schopna konkurovat největším výrobcům komponent pro kola je italské Campagnolo. To se zaměřuje pouze na komponenty pro silniční kola a v dnes již není tak často používaná. Firma ale předstihla své konkurenty a jako první přišla na trh s kombinací převodů 2x12, čímž se opět posunula na špičku vývoje a výroby nových technologií. Samozřejmostí je elektrická řada Super Record EPS 12s a neelektrické sady Super Record 12s, Record 12s a Chorus 12s. A opět jsou na výběr verze jak pro kotoučové tak pro ráfkové brzdy.



Obrázek 11: Silniční sada Campagnolo Super Record EPS [12]

2.1.5. Zapletená kola

Kola lze považovat za nejdůležitější komponenty na kole. Nejen, že bez nich by kolo nebylo kolo, ale také velmi ovlivňují výkon závodníka. Závodní kola musejí být velice lehká a tuhá. Jsou to komponenty, které se neustále otáčejí a navíc se dotýkají povrchu země - částečně tlumí a částečně přenášejí nárazy a vibrace od vozovky. Kola se skládají z náboje, drátů, niplů a samotného ráfku, který nese plášť nebo galusku. Pro zadní kolo je součástí náboje ještě tzv. ořech, který nese kazetu. Kola jsou pak k rámu uchycena pomocí os. Osy jsou buď pevné (při sundávání kola se musejí vyšroubovat pomocí klíče) nebo s rychloupínacím systémem.



Obrázek 12: Zapletená kola Lighthouse [13]

2.1.6. Řídítka, představec a sedlovka

S ohledem na výrobu se vlastně jedná o „nejjednodušší“ součásti kola. Výrobci si ale i na těchto komponentách dávají velmi záležet. Zohledňuje se aerodynamika i pohodlí jezdce. Řídítka se dělají různě tvarovaná pro pohodlný úchop, snadnou montáž pák řazení a vnitřní vedení kabelů pro elektrické sady nebo lanek a bowdenů pro mechanické sady a brzdy.

Představec spojuje řídítka a krk vidlice a je většinou samostatná komponenta, lze volit různou délku a sklon představce. Někteří výrobci mají v nabídce i řídítka s představcem jako jeden kus. Důvodem je hlavně aerodynamika a ušetření hmotnosti, ale je tím znemožněno nastavení posedu jezdce pouze výměnou levného představce. Musí se měnit celá řídítka a navíc není taková variabilita různých délek a sklonů.

Sedlovka je uchycena v rámu a nese sedlo. Dle výšky jezdce je možné jí zasouvat do rámu tak, aby si každý jezdce upravil posed na míru. Sedlovky mají většinou kruhový průřez, který má několik používaných rozměrů, tak aby je bylo možné měnit i za sedlovky od jiných výrobců. Výrobci rámu si ale čím dál častěji vytvářejí své tvary. Důvodem je nejčastěji aerodynamika, protože prvně se tyto sedlovky objevily u kol pro časovku. Další výhodou je pak nemožnost pootočení sedla. Tyto sedlovky jsou většinou dodávány od výrobce spolu s rámem. Nevýhodou pak je nemožnost výměny za sedlovku jiného druhu nebo jiného výrobce. Sedlovka je pak k rámu v nastavené pozici připevněna buď sedlovou objímkou nebo systémem pro uchycení, který je součástí rámu.



Obrázek 13: Řídítka Deda Superzero Carbon [14]



Obrázek 14: Představec Ritchey Superlogic Carbon [15]



Obrázek 15: Sedlovka Deda Superzero Carbon [16]

2.1.7. Sedlo, omotávky

Tyto komponenty jsou nejvíce obměňované podle preferencí jezdce. Sedlo musí jezdcí vyhovovat tak, aby na něm vydržel sedět i několik hodin, vyrábějí se proto různé tvary a šířky. Různá je také tvrdost jednotlivých sedel a pak materiál nejen sedla shora a výplně ale i ližin, které jsou uchycené do sedlovky.

Omotávky se používají pro zvýšení pohodlí a zlepšení úchopu řídítek. Vyrábějí se v nejrůznějších barvách a provedeních. Liší se také tloušťka a použitý materiál. Omotávky pak dokážou podtrhnout design celého kola a jezdcí si je velmi často mění dle svého vkusu, pohodlí a pocitu.



Obrázek 16: Omotávky Supacaz [17]



Obrázek 17: Sedlo Specialized Power [18]

2.1.8. Košík na lahev a pedály

Poslední dvě komponenty, které se na kola používají jsou pedály a košíky na pití. Ty si ale téměř vždy zákazník dokupuje podle sebe. Pedálů je totiž hned několik druhů a k danému pedálu náleží tzv. kufř, který je připevněný na botě. Pedál od jednoho výrobce pak nelze kombinovat s kufrem od jiného. Proto se závodní kola prodávají bez pedálů.



Obrázek 18: Košík na lahev Lightweight [19]



Obrázek 19: Pedály Look Keo [20]

2.2. Materiály používané na výrobu komponent

Na všechny tyto zmíněné komponenty se používají nejrůznější materiály. Od různých kovů (ocel, dural, titan) přes kompozity, polymery, keramiku až po kůži. Záleží k čemu je daná komponenta určena.

2.2.1. Ocel

Různé druhy ocelí se používají téměř všude. U závodních kol se ale často nahrazuje lehčími materiály. Lze říci, že čím dražší kolo je, tím méně oceli je na kole použito. U drahých komponent pro kola se i malé šroubky používají titanové. Ale například dráty kol stále bývají většinou ocelové.

2.2.2. Titan

Titan se používá na nejrůznější šroubky, ližiny sedla a další části komponent. Jeho největší výhodou je zejména vysoká tuhost a nízká váha. Oproti karbonu je ale homogenní materiál a lze ho využít mnohem častěji.

2.2.3. Hliníkové slitiny

Těmito slitinami je také nahrazována ocel. Tyto součásti jsou opět velmi lehké a pevné a jejich využití je opět široké. Oproti titanu se ale používají i celé komponenty vyrobené z těchto slitin. Mohou to být například řídítka, představce nebo sedlovky nebo jejich části. U některých kol se pak používají dráty také z těchto slitin.

2.2.4. Kompozity

Kompozitní materiály, zejména tzv. karbon se také nepoužívá jen pro rámy kol, ale hojně se uplatní u komponent, kde jde opět o váhu a tuhost a zatížení těchto součástí umožní použití zapletených vláken. Jedná se například o řídítka, sedlovku, kliky nebo ráfky kol, lze ho použít i na dráty zapletených kol, ale to už se jedná o kola, která svou cenou jsou schopna převýšit většinu kompletních kol na trhu.

2.2.5. Polymery

Nejrůznější polymery se používají pro součásti, které nepřenášejí žádné nebo relativně malé síly a nepoužívají se pro přenos pohonu. Jedná se hlavně o gumy na pákách řazení, samotné páky řazení nebo potahy a výplně sedel.

2.2.6. Keramika

V poslední době se u těch nejlepších závodních kol začala používat tzv. keramická ložiska. Ta se používají v nábojích, ve středovém složení nebo například v přehazovačce. Téměř žádné tření v těchto součástech ušetří jezdci další sílu potřebnou pro výkon v závodě.

2.2.7. Přírodní materiál

Z přírodních materiálů se na komponentech kol lze setkat například s kůží, která může být použita například na potažení sedla.

3. Hmotnostní analýza silničního kola

Hmotnostní analýza silničního kola je tvořena návrhem několika variant komponent tak, aby bylo kolo použitelné pro silniční závody na úrovni MČR a pro jezdce s výškou přibližně 180 cm a váhou do 75 kg. Jedná se o výkonnostní až poloprofesionální sportovce. Tito sportovci si často již nakupují kola sami, popřípadě dostanou jedno kolo na sezónu a některé komponenty si sami mění dle potřeby. Nejčastěji to jsou tréninková kola (nízké ráfky, levnější kola, často hliníková) a závodní kola (karbonová, vysoké ráfky, drahá). Tuto výměnu pak závodník provádí na každý závod a tréninková kola slouží pak jako náhradní v případě defektu. (Profesionální cyklisté zde nejsou uvažováni, úroveň závodů a možnost jejich vybavení je mnohem výše. Tito závodníci mají možnost měnit typ kola a komponent dle typu závodu. Navíc za nimi stojí velké firmy, které jim materiál dodávají.)

3.1. 3 varianty sestav komponent s ohledem na váhu

K vytvoření návrhu jízdního kola se musí počítat i s rámem, který bude osazen různými komponentami. Ty tvoří nedílnou součást kola a i ten nejlepší, nejtužší a nejlehčí rám s málo tuhými nebo špatně fungujícími komponentami nebude jako celek plnit svůj účel.

Pro návrh této diplomové práce byly zvoleny tyto varianty:

1. nízká hliníková kola s ráfkovými brzdami
2. nízká hliníková kola s kotoučovými brzdami
3. karbonová kola s výškou ráfku do 50 mm a s kotoučovými brzdami

Pro každou z těchto 3 variant byly navrženy tři další varianty ostatních komponent. Pro každou variantu byla určena hmotnost a cena těchto komponent.

3.1.1. Nízká hliníková kola s ráfkovými brzdami

Kolo osazené hliníkovými koly s nízkým profilem ráfku bývá používáno zejména pro trénink. Na závod si závodníci téměř vždy mění tato tréninková kola za závodní karbonová. Hliníková nízká kola se více hodí do kopcovitých etap, kde se jede pomaleji a není tam tak znatelná aerodynamika kola (použití ráfků s vysokým profilem) a kola nejsou namáhána takovou silou jako například při sprinterském dojezdu rovinaté etapy, kde jsou celá kola velmi namáhána vysokými momenty. Hliníkové ráfky jsou levnější než karbonové, avšak jejich cena bývá vykoupená vyšší hmotností a zejména nižší tuhostí. Samozřejmě existují i lehká hliníková zapletená kola, ale ta už se cenově vyrovnají levnějším karbonovým kolům.

Na rozdíl od kol, která je možná kdykoliv vyměnit a tím změnit některé vlastnosti celého kola se brzdy vyměnit nedají. Rámy kol jsou uzpůsobené vždy jen pro jeden typ brzd. Do nedávna se na silničních kolech používaly jen brzdy ráfkové. Výměna těchto brzd za kotoučové se rozjela jako první u horských a sjezdových kol, kde tyto brzdy už zcela nahradily brzdy ráfkové, avšak na silničních kolech tato výměna není tak razantní a špalíkové brzdy jsou stále velmi používané, ačkoliv někteří výrobci od jejich použití již ustupují. Špalíkové brzdy se na silničních kolech drží zejména pro jejich velmi nízkou hmotnost,

kompaktnost a aerodynamiku (i když některé nové kotoučové brzdy už tuto výhodu také smazávají). Další výhodou je zatím ještě jejich univerzální použití do většiny kol a v závodě při defektu není problém s výměnou kola, protože značná část závodníků (ne profi peloton) je stále používá. Jeden z posledních argumentů, který se udává jako výhoda špalkových brzd je jejich vyšší bezpečnost. Závodníci na silničních kolech jezdí ve velkých skupinách (klidně přes 200 lidí) a při pádu s kotoučovými brzdami hrozí nebezpečí pořezání někdy i popálení jiného závodníka o kotouč. Proto se dlouho nesměli v silniční cyklistice kotouče používat. Při koupi nového kola si cyklista nyní volí ráfkové brzdy spíše ze zvyku, to je vidět i u některých profi jezdců, a protože jsou kola s těmito brzdami zatím stále o něco levnější.

1.varianta			
	Název	Hmotnost [g]	Cena [Kč]
osazení	Shimano Ultegra Di2 8050	2209	38500
kliky	v sadě		
zapletená kola	Mavic Ksyrium Pro UST	1410	24990
pláště 2x	Continental GrandPrix 5000	440	3258
duše 2x	Continental Race 20-25/622 S42	204	180
řídítka	DEDA Superzero Team Finish 420 mm	305	2390
představec	DEDA Superzero Team Finish 110 mm	140	1990
sedlovka	DEDA Superzero Team Finish 31,6 mm	216	3490
sedlo	Specialized Power Comp 143 mm	247	2399
omotávký	SUPACAZ Super Sticky Kush	90	849
pedály	Shimano Ultegra PD-R8000 Carbon	248	2590
součet		5509	80636

Tabulka 1: 1. varianta pro nízké ráfky a ráfkové brzdy

2.varianta			
	Název	Hmotnost [g]	Cena [Kč]
osazení	Shimano Dura-Ace Di2 R9150	1911	65900
kliky	v sadě		
zapletená kola	Mavic Ksyrium Pro UST	1410	24990
pláště 2x	Continental GrandPrix 5000	440	3258
duše 2x	Continental Race 20-25/622 S42	204	180
řídítka	FSA SL-K Compact Grey Carbon	185	5990
představec	FSA OS-99 CSI UD Carbon 110 mm	128	3190
sedlovka	FSA K-Force Light Carbon Gray Di2 SB25 31,6	188	3190
sedlo	Specialized Power S-Works 143 mm	159	7299
omotávký	SUPACAZ Super Sticky Kush	90	849
pedály	Shimano Dura Ace PD-R9100	228	3990
součet		4943	118836

Tabulka 2: 2. varianta pro nízké ráfky a ráfkové brzdy

3.varianta			
	Název	Hmotnost [g]	Cena [Kč]
osazení	Sram Force eTap AXS	2387	35990
kliky	Sram Force D1 DUB 175	420	11299
zapletená kola	Mavic Ksyrium Pro UST	1410	24990
pláště 2x	Continental GrandPrix 5000	440	3258
duše 2x	Continental Race 20-25/622 S42	204	180
řídítka	3T Aeronova Team 31,8/420 carbon	220	6630
představec	3T Apto Team Stealth AH 28,6/31,8mm	145	2509
sedlovka	3T Zero 25 Team Stealth 350mm carbon	215	3756
sedlo	Specialized Power Expert 143 mm	233	3399
omotávky	SUPACAZ Super Sticky Kush	90	849
pedály	LOOK Keo Blade 2 Carbon	220	3690
součet		5984	

Tabulka 3: 3. varianta pro nízké ráfky a a ráfkové brzdy

3.1.2. Nízká hliníková kola s kotoučovými brzdami

Druhá alternativa nabízí hliníková kola s nízkým profilem a kotoučové brzdy. I v tomto případě se hliníková kola používají spíše pro trénink a na závod se kola vyměňují. Tato kola se alespoň na úrovni Českých pohárů, MČR popřípadě některých menších kontinentálních týmů používají jako záložní při defektu v závodě.

Špalíkové brzdy jsou již dnes postupně nahrazovány kotoučovými. Důvodem je zejména vyšší spolehlivost, větší brzdový účinek a navíc se brzděním opotřebovává pouze kotouč a nikoliv celý ráfek. Následná výměna opotřebovaných součástí je pak cenově výhodnější (výměna kotouče nebo výměna celého ráfku nebo zapleteného kola). Při výměně kol z tréninkových hliníkových na závodní karbonové pak není třeba měnit i brzdové špalíky, jako tomu je u ráfkových brzd (špalíky běžně používané pro hliníkové ráfky se na karbonová kola při brzdění „napečou“ a špalíky na karbonová kola se na hliníkových rychleji opotřebovávají a brzdí s menší účinností.

Kola s kotoučovými brzdami a nízkými profily kol jsou vhodné zejména pro jízdu v kopcích popřípadě v silném větru. Nízké profily kol mají menší hmotnost, jsou lépe ovladatelné, kolo s nimi má rychlejší rozjezd a jsou méně citlivé na poryvy bočního větru. A kotoučové brzdy jsou k tomu velice výhodné ve sjezdech, kdy je jejich brzdový účinek mnohem vyšší, téměř okamžitý, a kotoučové brzdy navíc velmi dobře brzdí i při jízdě v dešti. Nevýhoda větší hmotnosti těchto brzd je v dnešní době kompenzována stále se snižující hmotností rámu a ostatních komponent a daná minimální hmotnost celého kola je stále 6,8 kg. Pokud má jezdec kolo lehčí než je tato hranice, tak musí být kolo doplněné o nepotřebnou hmotnost navíc. Proto se také rozmáhá použití kotoučových brzd. Většina komponent je již totiž tak lehká, že by kola mohla vážit i hluboko pod 6 kg, proto některé součásti nemusejí mít nutně nejnižší hmotnost. (Jedná se zejména o komponenty, které se neotáčejí. Je výhodnější mít například o 100 g lehčí zapletená kola než mít o 100 g lehčí sedlo.)

1.varianta			
	Název	Hmotnost [g]	Cena [Kč]
osazení	Shimano Ultegra Di2 8070	2200	40500
kliky	v sadě		
zapletená kola	Mavic Ksyrium Pro UST Disc	1650	26499
pláště 2x	Continental GrandPrix 5000	440	3258
duše 2x	Continental Race 20-25/622 S42	204	180
řídítka	DEDA Superzero Team Finish 420 mm	305	2390
představec	DEDA Superzero Team Finish 110 mm	140	1990
sedlovka	DEDA Superzero Team Finish 31,6	216	3490
sedlo	Specialized Power Comp 143 mm	247	2399
omotávký	SUPACAZ Super Sticky Kush	90	849
pedály	Shimano Ultegra PD-R8000 Carbon	248	2590
součet		5740	84145

Tabulka 4: 1. varianta pro nízké ráfky a kotoučové brzdy

2.varianta			
	Název	Hmotnost [g]	Cena [Kč]
osazení	Shimano Dura-Ace Di2 R9170	1931	69990
kliky	v sadě		
zapletená kola	Mavic Ksyrium Pro UST Disc	1650	26499
pláště 2x	Continental GrandPrix 5000	440	3258
duše 2x	Continental Race 20-25/622 S42	204	180
řídítka	FSA SL-K Compact Grey Carbon	185	5990
představec	FSA OS-99 CSI UD Carbon 110 mm	128	3190
sedlovka	FSA K-Force Light Carbon Gray Di2 SB25 31,6	188	3190
sedlo	Specialized Power S-Works 143 mm	159	7299
omotávký	SUPACAZ Super Sticky Kush	90	849
pedály	Shimano Dura Ace PD-R9100	228	3990
součet		5203	124435

Tabulka 5: 2. varianta pro nízké ráfky a kotoučové brzdy

3.varianta			
	Název	Hmotnost [g]	Cena [Kč]
osazení	Sram Force eTap AXS HRD	2603	53907
kličky	Sram Force D1 DUB 175 mm	420	11299
zapletená kola	Mavic Ksyrium Pro UST Disc	1650	26499
pláště 2x	Continental GrandPrix 5000	440	3258
duše 2x	Continental Race 20-25/622 S42	204	180
řídítka	3T Aeronova Team 31,8/420 carbon	220	6630
představec	3T Apto Team Stealth AH 28,6/31,8mm	145	2509
sedlovka	3T Zero 25 Team Stealth 350mm carbon	215	3756
sedlo	Specialized Power Expert 143 mm	233	3399
omotávký	SUPACAZ Super Sticky Kush	90	849
pedály	LOOK Keo Blade 2 Carbon	220	3690
součet		6240	115976

Tabulka 6: 3. varianta pro nízké ráfky a kotoučové brzdy

3.1.3. Karbonová kola s výškou ráfku do 50 mm a s kotoučovými brzdami

Třetí alternativou je použití karbonových vysokých ráfků s kotoučovými brzdami. Tato varianta je nejvhodnější na rovinatější závody, sprinterská kritéria, většinu triatlonových závodů nebo pokud je v etapovém závodě cyklistická časovka a závodník nemá možnost použít speciální kolo pro časovku. (Tuto možnost volí i profesionálové pokud mají etapový závod například v Jižní Americe, kam je složitá letecká přeprava většího množství kol a závodník časovku jede pouze jako součást etapového závodu a nejede na celkové pořadí nebo na vítězství v etapě.) Ráfky s vysokým profilem bývají sice o něco těžší, rozjezd s nimi náročnější, ale kola se pak točí s vyšší setrvačností a jsou také aerodynamičtější. Při závodech v silném zejména bočním větru se pak jejich výhody snižují, protože boční plocha těchto kol je vyšší a hlavně pro jezdce s nízkou hmotností se kolo pak může stát neovladatelné. Kotoučové brzdy se pro tato kola už také dělají podobně aerodynamické jako brzdy špalíkové. Ale závodníci mohou brzdit mnohem později než se špalíkovými brzdami, tak aby rychleji zpomalili nebo zastavili do zatáčky nebo při pádu cyklisty před nimi.

1.varianta			
	Název	Hmotnost [g]	Cena [Kč]
osazení	Shimano Ultegra Di2 8070	2200	40500
kliky	v sadě		
zapletená kola	Mavic Comete PRO Carbon UST Disc	1840	34798
pláště 2x	Continental GrandPrix 5000	440	3258
duše 2x	Continental Race 18-25/622 S60	216	180
řídítka	DEDA Superzero Team Finish 420 mm	305	2390
představec	DEDA Superzero Team Finish 110 mm	140	1990
sedlovka	DEDA Superzero Team Finish 31,6 mm	216	3490
sedlo	Specialized Power Comp 143 mm	247	2399
omotávký	SUPACAZ Super Sticky Kush	90	849
pedály	Shimano Ultegra PD-R8000 Carbon	248	2590
součet		5942	92444

Tabulka 7: 1. varianta pro vysoké ráfky a kotoučové brzdy

2.varianta			
	Název	Hmotnost [g]	Cena [Kč]
osazení	Shimano Dura-Ace Di2 R9170	1931	69990
kliky	v sadě		
zapletená kola	Mavic Comete PRO Carbon UST Disc	1840	34798
pláště 2x	Continental GrandPrix 5000	440	3258
duše 2x	Continental Race 18-25/622 S60	216	180
řídítka	FSA SL-K Compact Grey Carbon	185	5990
představec	FSA OS-99 CSI UD Carbon 110 mm	128	3190
sedlovka	FSA K-Force Light Carbon Gray Di2 SB25 31,6	188	3190
sedlo	Specialized Power S-Works 143 mm	159	7299
omotávký	SUPACAZ Super Sticky Kush	90	849
pedály	Shimano Dura Ace PD-R9100	228	3990
součet		5405	132734

Tabulka 8: 2. varianta pro vysoké ráfky a kotoučové brzdy

3.varianta			
	Název	Hmotnost [g]	Cena [Kč]
osazení	Sram Force eTap AXS HRD	2603	53907
kliky	Sram Force D1 DUB 175 mm		11299
zapletená kola	Mavic Comete PRO Carbon UST Disc	1840	34798
pláště 2x	Continental GrandPrix 5000	440	3258
duše 2x	Continental Race 18-25/622 S60	216	180
řídítka	3T Aeronova Team 31,8/420 carbon	220	6630
představec	3T Apto Team Stealth AH 28,6/31,8mm	145	2509
sedlovka	3T Zero 25 Team Stealth 350mm carbon	215	3756
sedlo	Specialized Power Expert 143 mm	233	3399
omotávký	SUPACAZ Super Sticky Kush	90	849
pedály	LOOK Keo Blade 2 Carbon	220	3690
součet		6222	124275

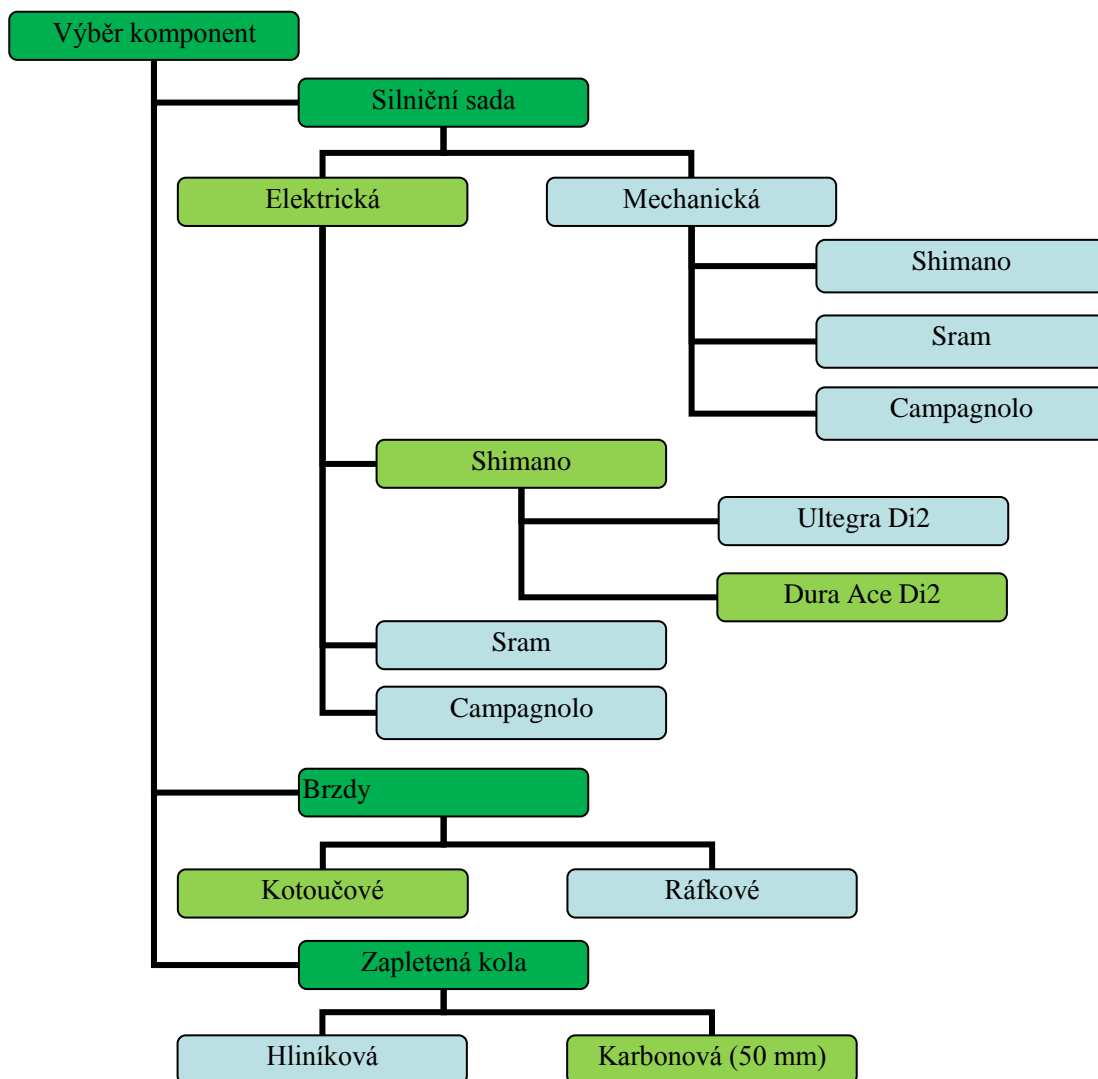
Tabulka 9: 3. varianta pro vysoké ráfky a kotoučové brzdy

3.2. Výběr vhodné varianty pro závodníka

Při výběru kola hraje roli nejen hmotnost, ale také preference závodníka ohledně jednotlivých komponent. Nejdůležitější je výběr systému řazení (silniční sady), brzd a kol. Řazení od jednotlivých výrobců mají různá ovládání a ne každé může jezci vyhovovat. Brzdy si závodník volí mezi kotoučovými a ráfkovými. Ačkoliv v ČR nejsou vysoké hory a dlouhé sjezdy, tak se kotoučové brzdy dostávají do popředí i v rovinnatějších etapách. Současný styl závodění se vyznačuje bojem o pozice vpředu téměř před každou zatáčkou a brzdí se až na poslední chvíli, často na hraně pádu, a proto mají kotoučové brzdy velkou výhodu. Pro výběr zapletených kol je ideální případ vlastnit více párů. Mít kola s nízkým i vysokým profilem ráfku pro různé typy závodů. Karbonové ráfky jsou v tomto výběru lepší. Jsou tužší, méně se krouží a při použití kotoučových brzd se ráfky zbytečně neopotřebovávají, takže není nutné je měnit z důvodu opotřebení tak brzy.

U ostatních komponent hraje největší roli poměr hmotnosti a ceny. U stavby kol na zakázku si často závodník volí komponenty včetně kol dle preferencí značek nebo designu, ale to bývá finančně velmi nákladné.

Pro tuto práci jsou voleny následující komponenty:



Obrázek 20: Výběr vhodné varianty konfigurace komponentů

Z navrhovaných komponent je nejvýhodnější osazení (sedlovka, představec a řídítka) od firmy FSA. Jedná se o velmi kvalitní karbonové komponenty, které jsou velmi lehké a cenově nejdostupnější. Pláště a duše jsou zvolené od firmy Continental. Pláště od této firmy mají velmi dobrou přilnavost a závodníky jsou velice oblíbené. Pedály jsou taktéž jako řazení od firmy Shimano. Sedlo a omotávky jsou pak velice individuální. Pro tuto práci je zvoleno sedlo firmy Specialized a omotávky od firmy Supacaz.

Jedná se tedy o tuto konfiguraci:

	Název	Hmotnost [g]	Cena [Kč]
osazení (řazení + brzdy)	Shimano Dura-Ace Di2 R9170	1931	69990
zapletená kola	Mavic Comete PRO Carbon UST Disc	1840	34798
pláště 2x	Continental GrandPrix 5000	440	3258
duše 2x	Continental Race 18-25/622 S60	216	180
řídítka	FSA SL-K Compact Grey Carbon	185	5990
představec	FSA OS-99 CSI UD Carbon 110 mm	128	3190
sedlovka	FSA K-Force Light Carbon Gray Di2 SB25 31,6	188	3190
sedlo	Specialized Power S-Works 143 mm	159	7299
omotávký	SUPACAZ Super Sticky Kush	90	849
pedály	Shimano Dura Ace PD-R9100	228	3990

Tabulka 10: Vhodná varianta komponent

Celková hmotnost osazení kola je 5405 g a cena komponent je 132 734 Kč. K hmotnosti pak musíme připočítat hmotnost rámu včetně vidlice. Požadovaná minimální hmotnost celého kola je 6800 g. Karbonová vidlice váží kolem 400 g. Tudíž samotný rám by měl vážit kolem 1 kg. Hmotnosti silničních rámu se přitom běžně pohybují pod touto hranicí. Ale to se jedná o rámy z karbonových vláken nebo slitin hliníku. Ocelové rámy jsou o něco těžší a právě kvůli své hmotnosti ustoupily z velkovýroby.

4. Tuhostní analýza závodního silničního kola

Vývoj rámu závodních kol je na velice dobré úrovni. V současnosti je nejvíce používaným materiálem karbon. Ten má nejlepší poměr tuhosti a hmotnosti rámu. Je však velmi důležité, jak jsou karbonová vlákna zapletena. Nevýhodou těchto rámu je, že při nárazu nebo působení sil v jiném směru, než na který jsou uzpůsobena, velmi rychle praskají. Dalším běžně používaným materiálem je slitina hliníku. V tomto případě se jedná o materiál, který má taktéž velmi dobrý poměr tuhosti a hmotnosti, avšak horší než kompozit. Výhoda této slitiny oproti karbonu je, že se jedná o materiál homogenní a návrh těchto rámu je o něco jednodušší a levnější.

Tato práce se však zabývá vývojem závodního rámu z oceli. Ta se na výrobu rámu v minulosti hodně používala, avšak ustoupila již zmíněným materiálům zejména kvůli vysoké hmotnosti. Nyní se používá k výrobě kol v kusové, ruční výrobě, ale také k výrobě těžších, cestovních a velmi odolných kol, na které je možné navěsit relativně velké množství nosičů. Ocelová kola jsou navíc velice pohodlná. Ocel na rozdíl od karbonu tlumí nárazy a vibrace od vozovky. Také proto se ocelové rámy často využívají pro cestovní kola, kde nehraje hlavní roli hmotnost a úspora vynaloženého výkonu, ale pohodlí při dlouhých etapách s těžkou bagáží.

4.1. Základní požadavky

Ve firmě Saffron Frameworks již bylo velmi lehké závodní kolo zkonstruováno, avšak nebylo dostatečně tuhé. Hon za nízkou hmotností totiž způsobil, že se kolo při větším zatížení kroutilo. Proto je na nové kolo požadavek na zvýšení tuhosti. Druhým požadavkem je pak použití kotoučových brzd místo ráfkových.



Obrázek 21: Lehké závodní ocelové kolo Saffron Naked Columbus XCr [21]

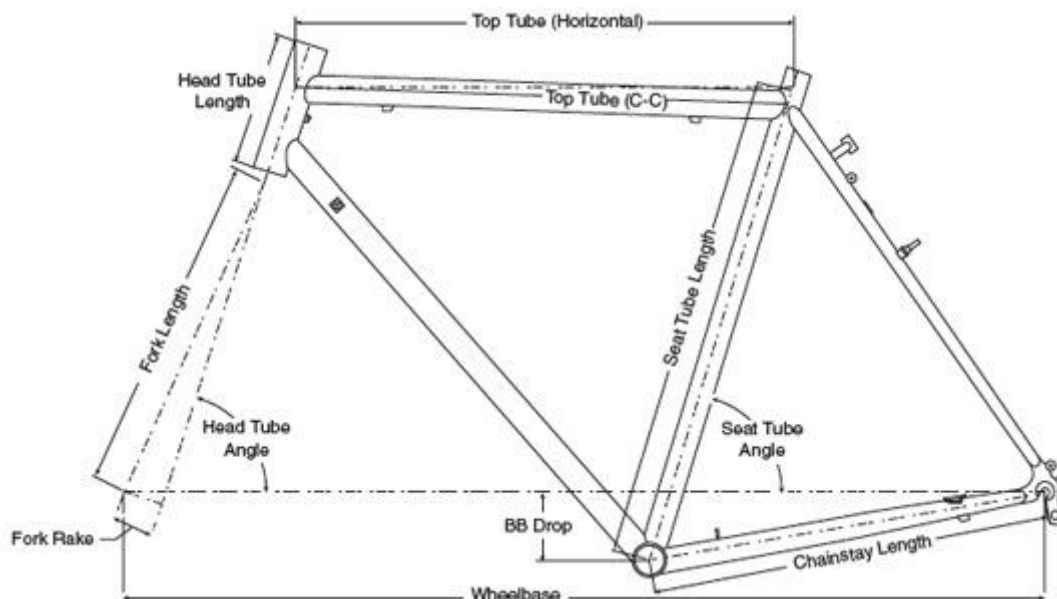
Ocelové kolo Saffron Naked Columbus XCr má svou hmotnost 6,58 kg a hmotnost samotného rámu je 1,58 kg. To jsou na ocelový rám vynikající údaje. (Minimální hmotnost závodního kola je 6,8 kg, kolo se tak pro použití na závodech stejně musí dovážet.) Takto nízká celková hmotnost byla dosažena zejména použitím ultra lehkých komponent od německé firmy AX Lightness (například pár zapletených kol s hmotností pod 1 kg). Avšak dle testu kola pro cyclist.co.uk [21] právě tyto ultra lehké komponenty výrazně snižují tuhost celého kola. Při větším zatížení (silový výjezd prudkého kopce nebo sprint) se zapletená kola velmi kroutí a ráfky škrtaří o brzdové špalky. Tyto ráfky totiž nemají dostatečnou tuhost pro daného závodníka (pro malou lehkou závodnici však již dostatečně tuhé mohou být).

Frame	Saffron Naked Columbus XCr
Groupset	Campagnolo Super Record
Brakes	Campagnolo Super Record
Chainset	Campagnolo Super Record
Cassette	Campagnolo Super Record
Bars	AX Lightness ax4200 Ergo
Stem	AX Lightness Rigid
Seatpost	AX Lightness Europa Selection
Saddle	Berk Composites Lupina
Wheels	AX Lightness Ultra 25T, Challenge Criterium 25mm tubular tyres
Weight	6.58kg (frame weight 1.58kg)

Tabulka 11: Komponenty kola Saffron Naked Columbus XCr [21]

4.2. Geometrie rámu

Rám závodního kola musí být dle pravidel UCI konstruován jako hlavní trojúhelník a zadní stavba. Hlavní trojúhelník se skládá z horní a dolní rámové trubky a sedlové trubky. Horní a dolní rámová trubka jsou vpředu spojené s hlavovou trubicí, skrz kterou prochází krk vidlice. Zadní stavba je složena ze sedlových a řetězových vzpěr. Ve vývoji rámu se už téměř ustoupilo z rovných trubek kruhového průřezu a trubky jsou různě tvarované. Například sedlová trubka bývá prohnutá kolem zadního kola a horní rámová trubka bývá zlehka vyklenutá a různě profilovaná. Sedlová vzpěra zadní stavby nemusí být v prodloužení horní rámové trubky. U většiny silničních kol je totiž pro lepší aerodynamiku posunuta o něco níže. Horní rámová trubka může být vodorovná se zemí nebo mírně skloněná směrem k sedlové trubce. Toto sklonění se nazývá sloping.



Obrázek 22: Geometrie rámu [22]

Důležité parametry jsou délky horní rámové trubky (top tube), hlavové trubky (head tube), sedlové trubky (seat tube) a řetězové vzpěry (chainstay), úhel hlavového složení (head tube angle), úhel sedlové trubky (seat tube angle), rozvor kol (wheelbase), výška středového složení (BB drop - Bottom Bracket Drop), Stack and Reach (horizontální a vertikální vzdálenost od středu po vrchol hlavové trubky).

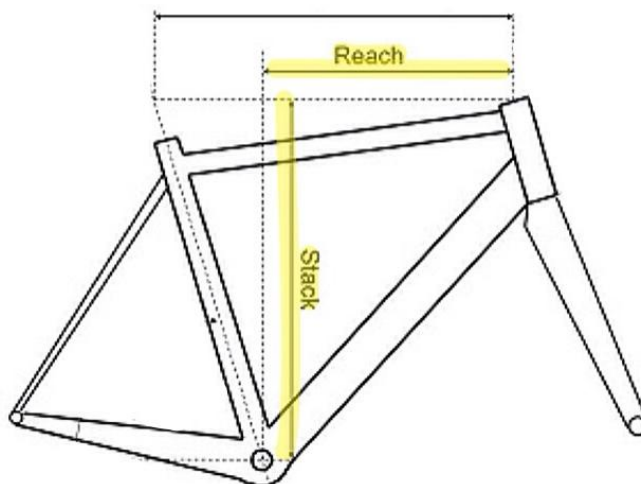
Úhel hlavové trubky (head tube angle) určuje stabilitu a ovladatelnost kola. Čím je úhel menší, tím je vyšší stabilita kola a menší ovladatelnost. Pro silniční kola bývá tento úhel 73° - 74° a je největší ze všech kol (nutnost rychlé změny směru při vyhýbání se překážce). S tímto úhlem ještě souvisí offset vidlice (tzn. o kolik mm předchází osa kol osu hlavové trubky a bývá 40-45 mm). Opět platí, že čím větší je offset, tím lepší je stabilita a horší říditelnost.

Délka řetězové vzpěry prodlužuje rozvor kol. Čím větší délka vzpěry a tím i rozvor kol, tím vyšší stabilita při vyšších rychlostech. Délka řetězové vzpěry obvykle bývá 405-415 mm.

Výška středového složení určuje výšku těžiště. Čím menší drop, tím nižší těžiště a lepší jízdní vlastnosti.

Úhel sedlové trubky bývá nejčastěji 73° a úzce souvisí s efektivitou šlapání. Pro co nejvyšší efektivitu by mělo být koleno přibližně ve svislé rovině osy pedálu.

Stack a Reach určuje vodorovnou a svislou vzdálenost středu od vrcholu hlavové trubky a je důležitý zejména při výběru správné velikosti kola.

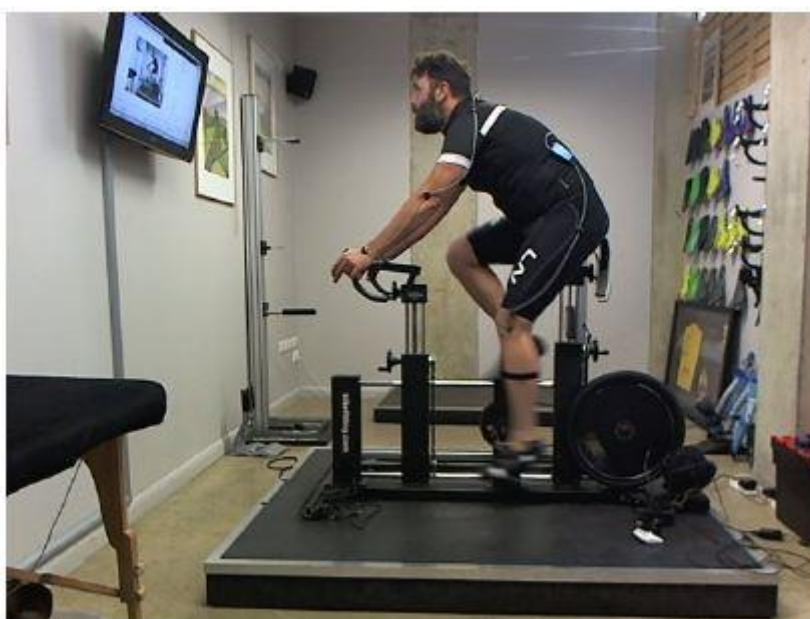


Obrázek 23: Stack a Reach [22]

4.2.1. Měření jezdce - Retül Fit

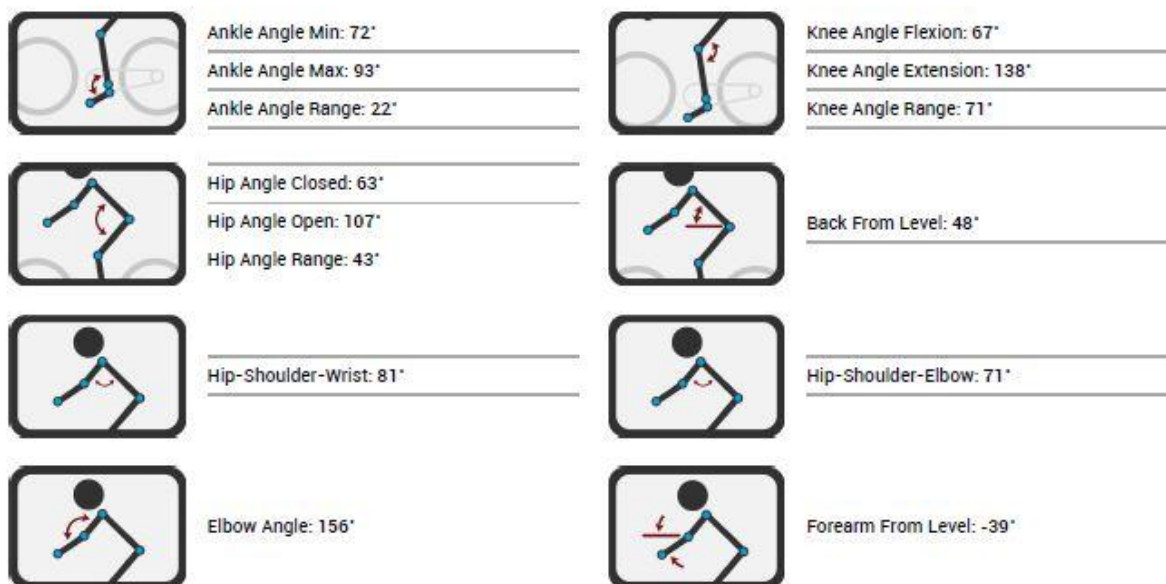
Geometrie tohoto modelu byla určena na základě údajů o samotném jezdci. Tyto údaje byly naměřeny na specializovaném pracovišti, které se zabývá individuálním nastavením posedu. Nejdříve probíhá vyšetření zdravotního stavu (úrazy, pohybové omezení, vyšetření ohebnosti, postavení páteře, rotace kloubů). Následuje vyšetření samotné jízdy na kole. To je možné dvěma způsoby. První možností je nastavení posedu přímo na kole a druhou možností je nastavení posedu na speciálním stroji, na kterém jsou nastavitelné téměř všechny důležité rozměry, které se poté přenesou na dané kolo. Tato možnost je vhodná před výběrem kola (pro určení velikosti rámu, zejména pro zakázková kola na míru a pro kola na časovku, kde je velmi složité přestavování pozice jezdce), ale je zde možnost nastavení i nepřenositelných rozměrů na kolo, takže pak musí docházet k určitým kompromisům a doladování posedu přímo na kole.

Pro tuto práci byla použita možnost měření na speciálním kole. Hodnoty z měření je možné vidět na následujících obrázcích.



Obrázek 24: Měření posedu

FIT ANGLES

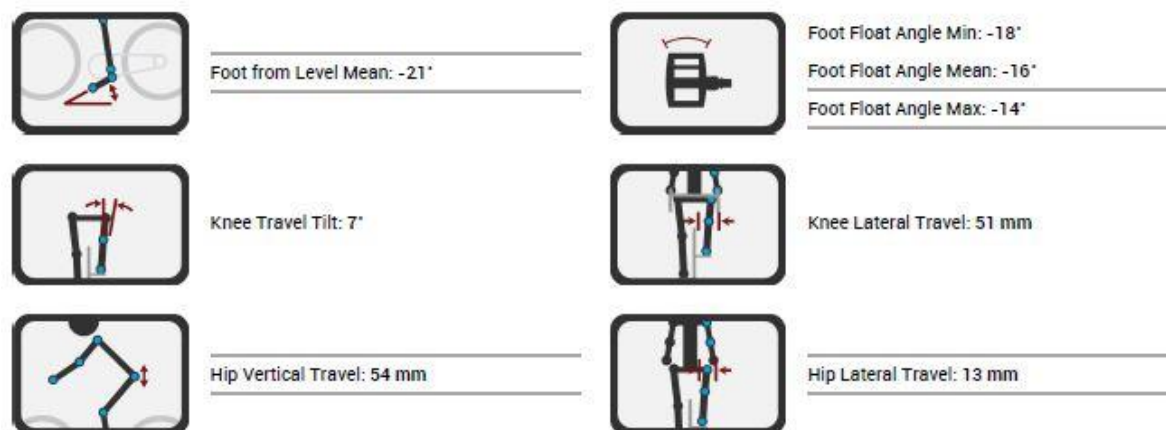


FIT ALIGNMENT



Obrázek 25: Levá strana 1

FIT MOVEMENT



Obrázek 26: Levá strana 2

ANTHROPOMETRICS



Thigh Length: 448 mm
Shin Length: 450 mm



Hip to Wrist Vertical: -86 mm
Hip to Wrist Forward: 771 mm



Hip to Elbow Vertical: 101 mm
Hip to Elbow Forward: 540 mm

MARKER PATH

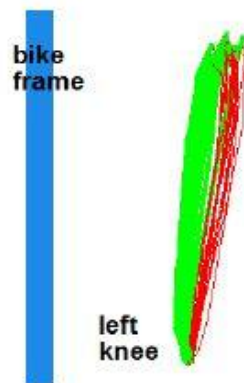


Front View of Knee Path:

WORKLOAD



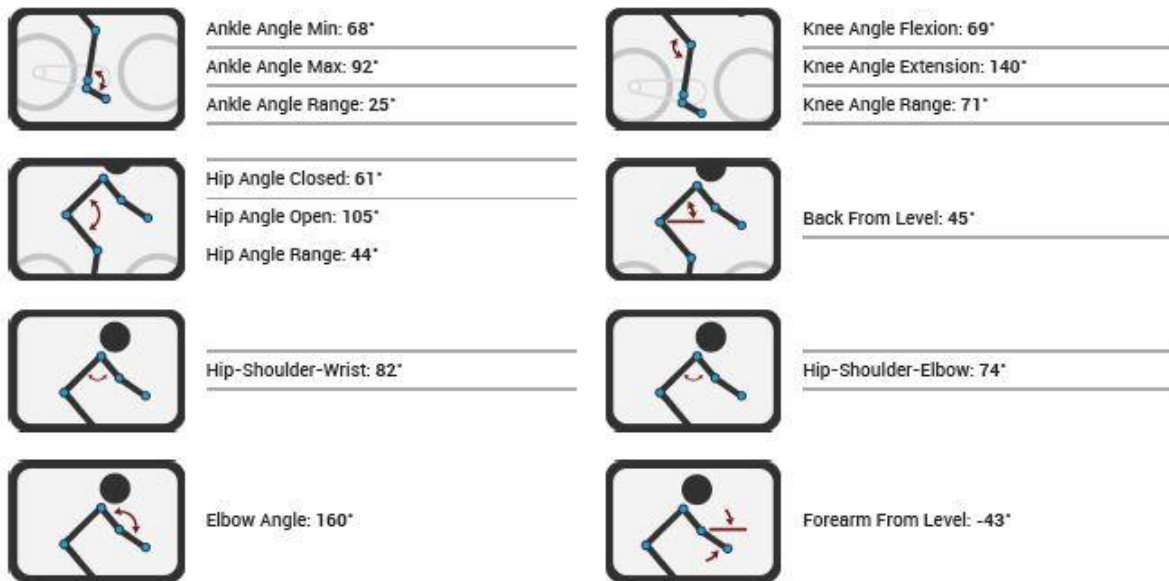
Cadence Mean: 91 RPM
Cadence Maximum: 107 RPM
Power Mean: ~~~
Power Maximum: ~~~
Speed Mean: ~~~
Speed Maximum: ~~~



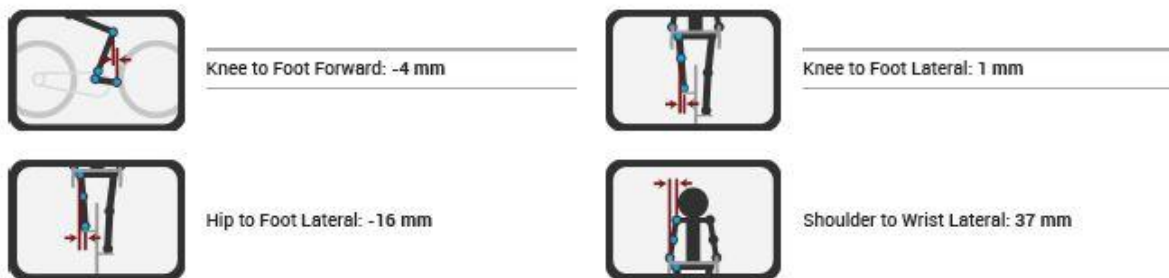
THIS BIKE FIT PERFORMED USING THE **RETÚL** SYSTEM

Obrázek 27: Levá strana - 3

FIT ANGLES

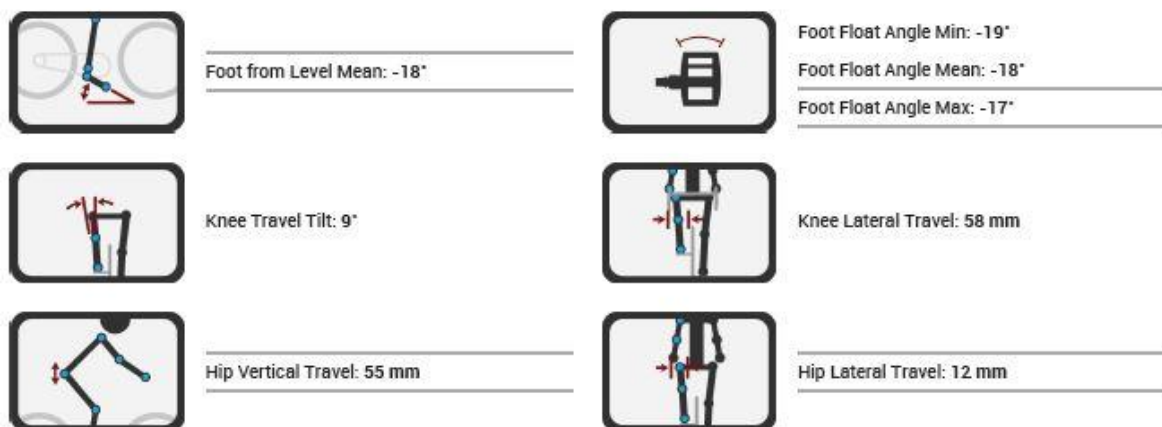


FIT ALIGNMENT



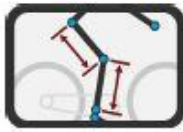
Obrázek 28: Pravá strana 1

FIT MOVEMENT



Obrázek 29: Pravá strana 2

ANTHROPOMETRICS



Thigh Length: 467 mm

Shin Length: 442 mm



Hip to Wrist Vertical: -108 mm

Hip to Wrist Forward: 775 mm



Hip to Elbow Vertical: 88 mm

Hip to Elbow Forward: 563 mm

MARKER PATH



Front View of Knee Path:

WORKLOAD



Cadence Mean: 84 RPM

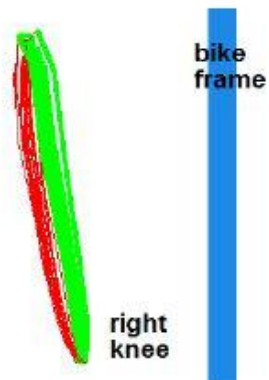
Cadence Maximum: 100 RPM

Power Mean: ~~~

Power Maximum: ~~~

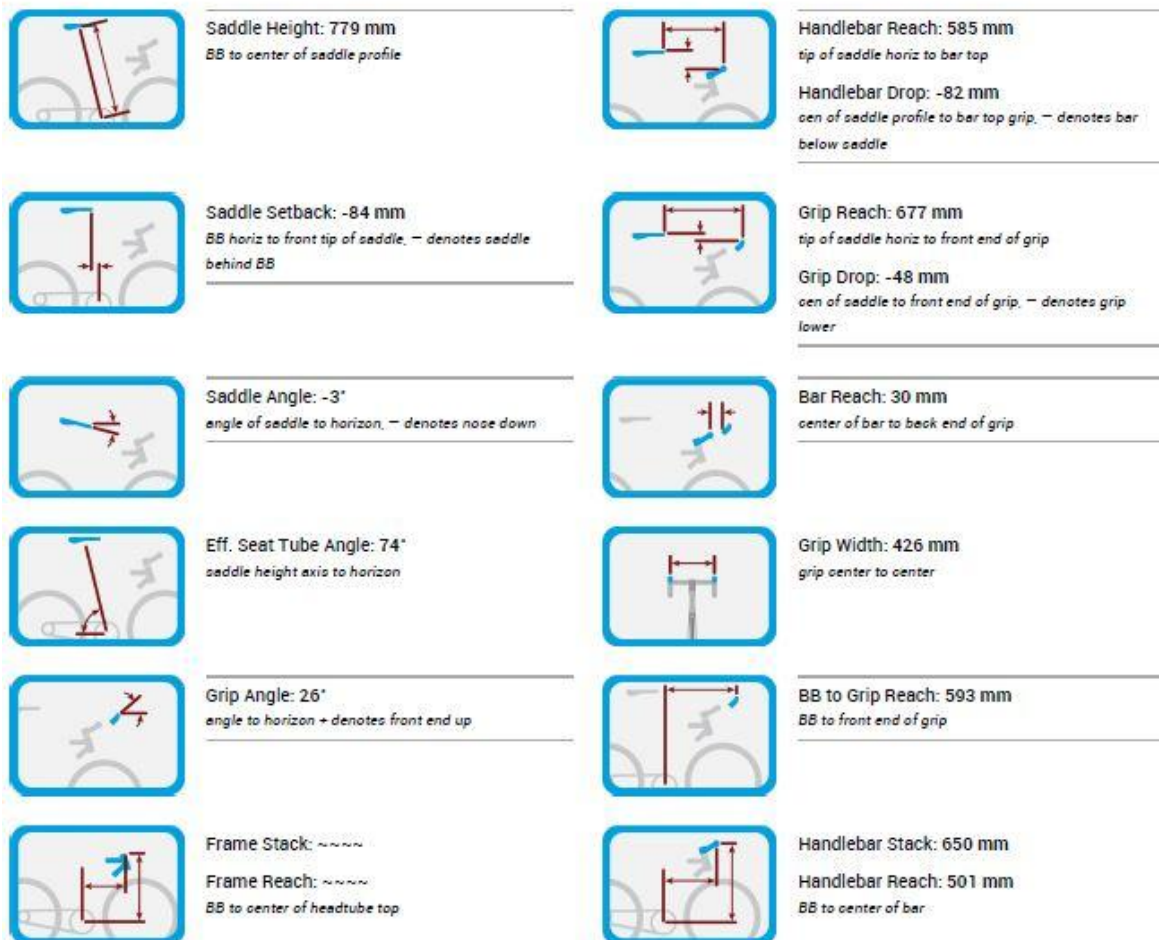
Speed Mean: ~~~

Speed Maximum: ~~~



Obrázek 30: Pravá strana 3

MEASUREMENTS & ANGLES



Obrázek 31: Naměřené hodnoty kola

4.2.2. Geometrie navrženého modelu dle měření

Na základě tohoto měření a zkušeností výrobce jsou navrženy hlavní rozměry. Některé rozměry jsou pro danou velikost kola dané pro všechna silniční kola, například úhel sedlové trubky (73°) nebo úhel hlavové trubky (73°) a některé rozměry jsou typické pro danou velikost kola. Běžně se jedná například o délku sedlové trubky (pro velikost 56 měří 560 mm). Tento rozměr je ale pro výrobu kola na zakázku orientační a lze jej upravit přímo dle potřeb jezdce. Další rozměry jsou určeny dle zkušenosti výrobce. Jsou to například délka hlavové trubky nebo délka řetězové vzpěry.

Tyto hodnoty se pak zadají do programu BikeCad, který dopočítá ostatní rozměry a vygeneruje geometrii rámu. Do programu jsou také zadány hodnoty vnějších průměrů jednotlivých trubek, které vycházejí z katalogu dodavatele. A celkový návrh geometrie je vidět na následujícím obrázku.

Tyto trubky jsou navíc bezešvé, za studena tažené. Tím se firma Columbus nejvíce odlišuje od konkurence, protože jako jediná nabízí bezešvé trubky pro využití v konstrukci rámu jízdních kol.

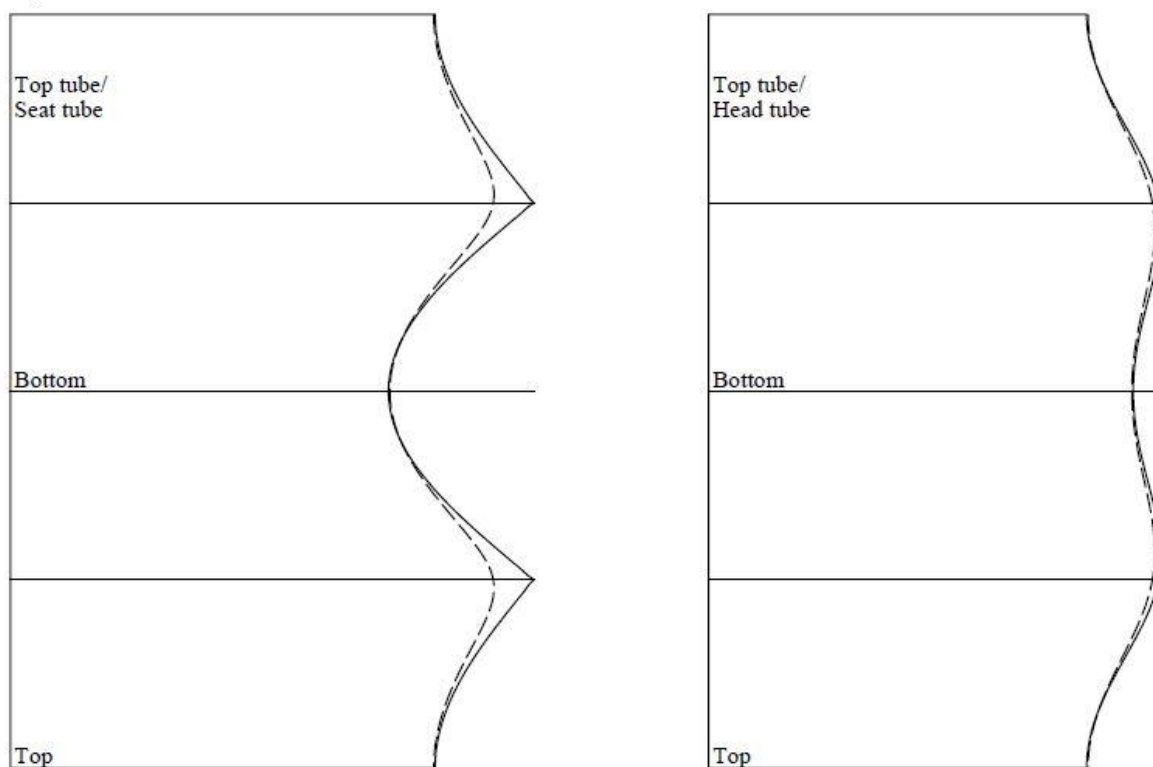
Trubky se volí dle katalogu na základě průměru a délky trubky a druhu zeslabování. Toto pak určí danou trubku a tloušťky její stěny. Při výrobě se pak řežou konce trubek do požadovaných tvarů dle šablon tak, aby na sebe před svařováním šly nasadit a ustavit je do požadované pozice.

MAIN TUBES - double / triple butted												
CODE	O.D.	LENGHT	BUTT TH. PROFILE			BUTT LENGTHS					FAMILY	
			R1	RC	R2	L1	T1	LC	T2	L2		
XCRL11570	31,7	570	0,6	0,4	0,6	40	40	330	40	120	XCr	
XCRL11600	31,7	600	0,6	0,4	0,6	40	40	380	40	100	XCr	
XCRL11600W			= XCRL11600 + "W" shape									XCr
XCRS11600	31,7	600	0,7	0,5	0,7	110	40	350	40	60	XCr	
XCRS12650	35	650	0,55	0,45	0,55	40	40	430	40	100	XCr	
XCRS12670	35	670	0,7	0,5	0,7	60	40	385	40	145	XCr	
XCRA12670	38	670	0,55	0,45	0,55	40	40	450	40	100	XCr	
XCRA12670Z			= XCRA12670 + "Z" shape									XCr
XCRA12670MAX			= XCRA12670 + "MAX" bi-oval shape									XCr
XCRG12670	42	670	0,6	0,45	0,6	60	40	410	40	120	XCr	
XCRC11600	28,6	600	0,75	0,45	0,75	100	40	320	40	100	XCr	
XCRC12650	31,7	650	0,75	0,45	0,75	100	40	320	40	150	XCr	
SPTL11570	31,7	570	0,6	0,4	0,6	50	40	370	40	70	Sprint	
SPTL11570112AW			= SPTL11570 + "AW" 27 x 33,5 shape									Sprint
SPLM12625B	31,7	625	0,8	0,5	0,8	70	40	380	40	95	Sprint	
SPTA12635	38	635	0,6	0,4	0,6	50	40	425	40	80	Sprint	
SPTA12635112AZ			= SPTA12635 + "AZ" 29 x 43,5 shape									Sprint
SPLM11600	28,6	600	0,75	0,45	0,75	100	40	320	40	100	Sprint FL	
SPLM12650	31,7	650	0,75	0,45	0,75	100	40	350	40	120	Sprint FL	
SPK111580	25,4	580	0,8	0,5	0,8	160	30	305	30	55	Sprint Keirin	
SPK112640	28,6	640	0,8	0,5	0,8	100	30	390	30	90	Sprint Keirin	
SL2111600	25,4	600	0,8	0,5	0,8	100	40	320	40	100	SL	
SL2112650	28,6	650	0,8	0,5	0,8	100	40	320	40	150	SL	

Obrázek 33: ukázka katalogu Columbus [24]

	Diameter [mm]	Thickness [mm]	Length [mm]	Weight [g]
TOP TUBE	Round 31,7 mm	0,7–0,5–0,7	600	250
DOWN TUBE	Round 35 mm	0,7–0,5–0,7	670	330
SEAT TUBE	Round 31,7 mm	0,7-0,5	650	275
CHAIN STAYS	Oval 30×16 mm tapered to round 12,5 mm	0,7	410	130 g each
SEAT STAYS	Round 16 mm tapered to 12,5 mm	0,7	560	100 g each
HEAD TUBE	For 1-1/8" steerer, diameter 36 mm	1,1	250	230 g

Tabulka 14: Rozměry a hmotnosti trubek Columbus [25]



Obrázek 34: Šablona pro oříznutí horní rámové trubky

4.3.1. Svařování rámu

Před svařováním musejí být trubky oříznuty na danou délku a tvar podle šablony tak, aby k sobě šly jednotlivé trubky upnout do požadovaného tvaru. Poté se může rám začít svařovat. Nejdříve se k sobě trubky nastehují, poté se překontroluje jejich poloha a nakonec se udělá kompletní svar. Používá se tavná metoda TIG, díky které je možné dosáhnout požadovaných výsledných vlastností. Touto metodou lze dobře svařovat velmi tenké materiály, navíc svar vytvořený touto metodou je houževnatější a to je pro součásti namáhané dynamicky velice vhodné. Další výhodou je i velmi dobrý vzhled svarové housenky.



Obrázek 35: Ustavení trubek do požadované polohy [27]



Obrázek 36: Nastehování svaru [27]



Obrázek 37: Hotový svar [27]

4.4. Konstrukce 3D modelu

Model rámu byl vytvořen pomocí programu Autodesk Inventor na základě údajů o geometrii rámu z programu BikeCad a na základě zkušeností s již vyrobeným závodním kolem.

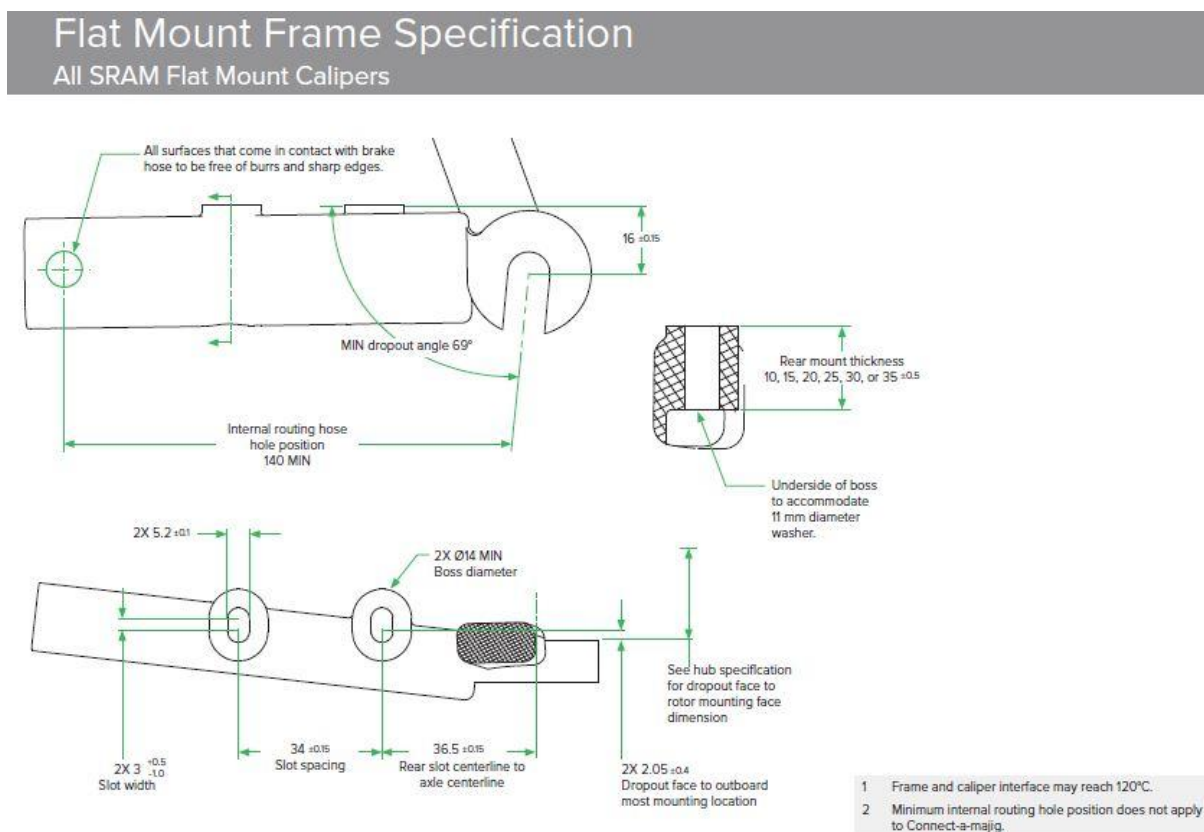
S požadavkem kotoučových brzd se pojí několik velmi důležitých úprav rámu. Třmen kotoučových brzd se pro silniční kola umísťuje na řetězovou vzpěru (tzv. Flat Mount). Proto musí být na kole jakýsi návarek pro uchycení tohoto třmenu. Aby byl splněn požadavek na vyšší tuhost, tak je vhodné využít na kole systém pevných os, které rozloží napětí z levé řetězové vzpěry do celé zadní stavby (z levé nohy vidlice na obě nohy vidlice). Ráfkové brzdy jsou oproti tomu uloženy v ose rámu mezi sedlovými vzpěrami a zatěžování rámu je tak velmi odlišné.

Dalšími požadavky jsou vytvoření patky pro uchycení řazení, návrh středového trubky a hlavové trubky. To jsou zásadní uzly pro kontakt s dalšími komponentami na kole a jsou na ně kladeny vyšší nároky. Proto jsou v této kapitole popsány tyto důležité prvky a jejich

požadavky na konstrukci rámu, které jsou použité v modelu tak, aby co nejvíce odpovídaly realitě.

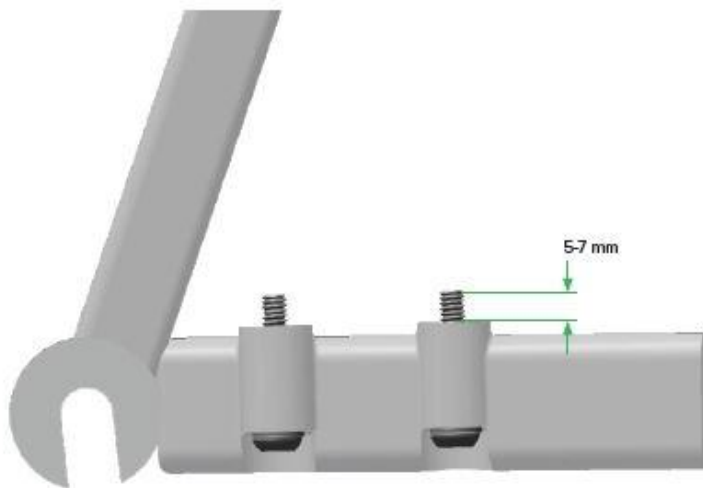
4.4.1. Kotoučové brzdy

Kotoučové brzdy resp. třmeny kotoučových brzd jsou na silničním kole umístěny na levé řetězové vzpěře. Umístění návarku pro přišroubování třmenů je vytvořeno na základě katalogu výrobce viz. následující obrázky. Takto uchycené kotoučové brzdy mají označení Flat Mount.



Obrázek 38: Ukázka z katalogu pro návrh uchycení brzdového třmenu [28]

Samotné uchycení třmenu je pak provedeno pomocí dvou šroubů. Šrouby lze v otvorech ještě mírně posunout tak, aby bylo možné vystředit kotouče a třmen a nedocházelo tak ke škrtnutí kotouče. Šrouby musejí mít délku danou tak, aby byl zajištěn dostatečný přesah rámu opět dle katalogu výrobce.



⚠WARNING - CRASH HAZARD

There must be 5-7 mm of mounting bolt thread engagement when mounting brake calipers to forks and frames with flat mount hardware and brackets. Riding a bike with improper bolt engagement can allow the brakes to disengage from the bicycle, which can lead to a crash and serious injury or death to the rider.

1 Available in rear bolt lengths: 17, 22, 27, 32, 37, and 42 mm

Obrázek 39: Ukázka z katalogu pro uchycení brzdového třmenu [28]

Reálné uchycení třmenu brzdy lze vidět na následujících obrázcích.



Obrázek 40: Uchycení brzdového třmenu na kole

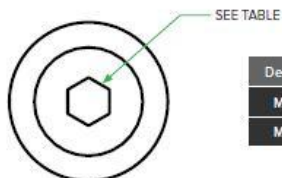


Obrázek 41: Uchycení třmenu brzdy na návarku ocelového kola

4.4.2. Pevná osa

S požadavkem na kotoučové brzdy se také váže dnes už téměř nutnost použití pevné osy. Kotoučová brzda je uchycena pouze na levé straně rámu na řetězové vzpěře a napětí přenesené do rámu při použití systému rychloupínacích os tak zatěžuje pouze levou stranu rámu. To zapříčiní, že se zadní kolo zkroutí k levé straně a může pak i zavadit o rám. Navíc se krotí i samotný rám. Tento účinek snižuje pevná osa, která přenáší zatížení i na pravou stranu zadní stavby a napětí se tak rozloží. Rám je již zatěžován mnohem lépe a nedochází ke kroucení kola nebo rámu.

Maxle Stealth



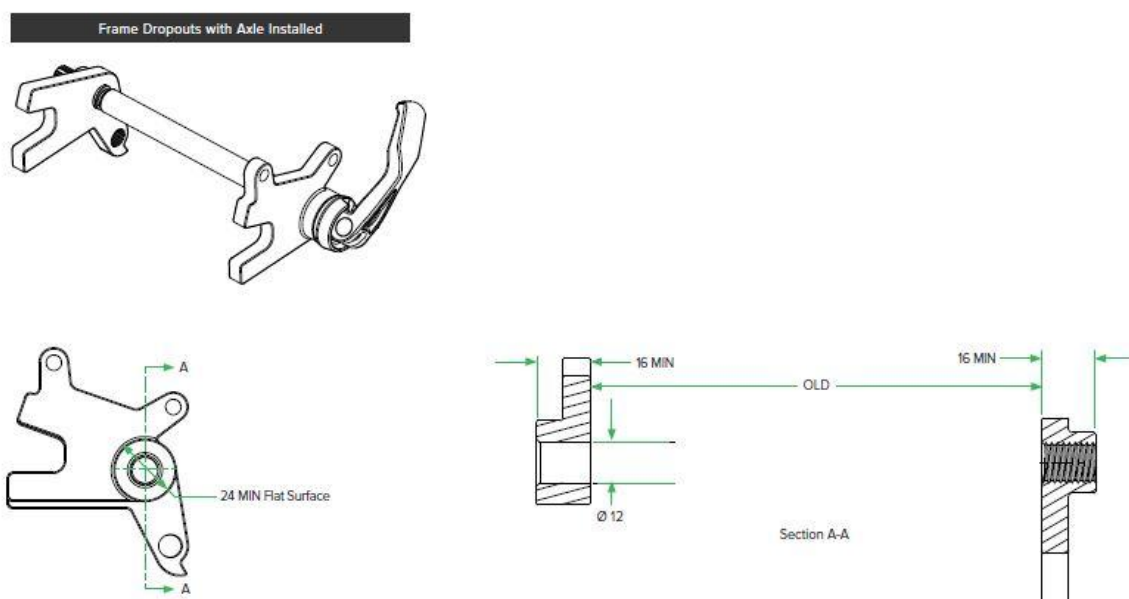
Description	Hex Size	Torque Value
Maxle 12	5	9-13.5 N·m
Maxle 15	6	9-13.5 N·m

- 1 Drawing is not to scale.
- 2 Customer is responsible for ensuring hub, frame, and axle compatibility.
- 3 The frame manufacturer is responsible for ensuring the frame and/or fork assemblies using Maxles are compliant with existing safety standards.

Obrázek 42: Ukázka z katalogu - pevná osa [28]

Pro uchycení pevné osy jsou na spoji řetězových a sedlových vzpěr zhotovené díry. Na pravé straně je pak díra se závitem pro utažení osy. Návrh těchto děr a v podstatě celé zadní stavby se opět řídí katalogem výrobce.

Maxle, Maxle Lite, Maxle Ultimate, Maxle Stealth Rear Frame Specification



Obrázek 43: Ukázka z katalogu pro návrh uchycení pevné osy [28]

4.4.3. Patka

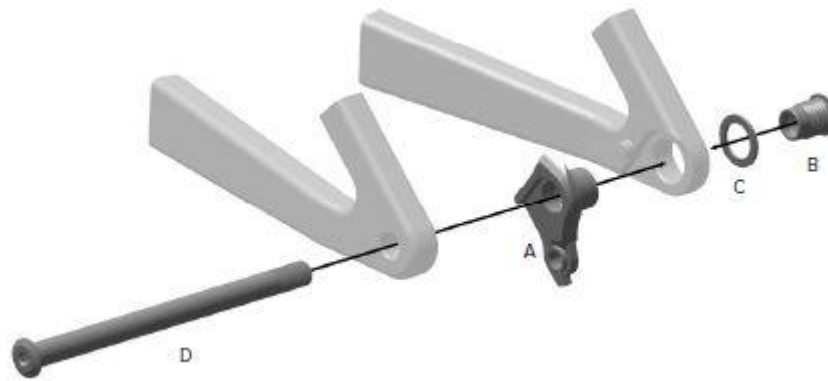
S využitím pevných os souvisí také návrh uchycení patky kola, popřípadě návrh celé patky kola. Patka slouží pro uchycení přehazovačky a má fungovat jako element, který při nevhodném zacházení nebo velkém zatížení nejspíše povolí (praskne, ohne se) tak, aby se nezničila přehazovačka nebo samotný rám kola. Patka je totiž velice snadno vyměnitelnou a levnou součástí kola, bohužel pro každého výrobce je jiná a tak jí lze koupit pouze ve specializovaných obchodech jednotlivých značek. Někteří výrobci ocelových rámu kol používají patku vyrobenou v jednom kuse se spojem zadní stavby. To ale pro závodní rám kola, kde je nebezpečí pádu nebo zničení řazení mnohem vyšší není zcela vhodné. Výrobci řazení se ale snaží navrhnout jednu univerzální patku, využitelnou pro rámy nejrůznějších značek tak, aby bylo dostupné zakoupit a vyměnit jí kdekoliv. Zatím je však dostupná pouze pro horská kola. V této práci je ale tento návrh univerzální patky využitý. Tato patka se vkládá od středu rámu do otvoru v zadní stavbě kola a má v sobě vyrobený závit pro uchycení pevné osy. V pravé zadní stavbě se tak otvor pro pevnou osu zvětší pro uložení patky.



Obrázek 44: Univerzální patka Sram [29]



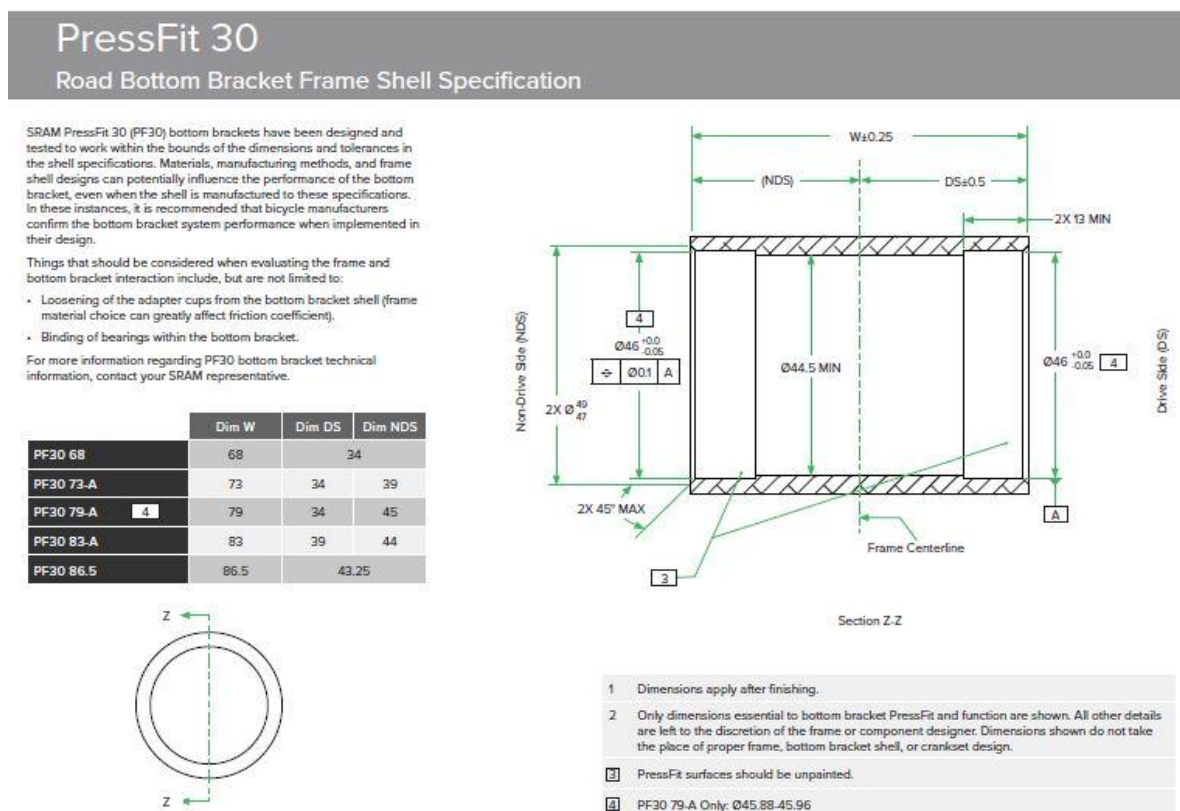
Obrázek 45: Univerzální patka Sram [29]



Obrázek 46: Montáž patky [30]

4.4.4. Středové složení

Středové složení je jednou z hlavních součástí kola. Slouží pro uložení klik, které přenášejí sílu vyvozenou jezdce na řetěz a zadní kolo. Středové složení se vkládá do středové trubky a skrz něj pak prochází osa klik. Středová trubka tak musí mít přesně určené rozměry. Ty jsou opět dané výrobcem středových složení. Pro návrh tohoto rámu bylo zvoleno středové složení PressFit 30. Šířka středového složení je 68 mm. Toto středové složení se do rámu kola nalisovává pomocí speciální sady nářadí. Do středového složení se dále nalisují ložiska a kliky.



Obrázek 47: Ukázka z katalogu - návrh domečku středového složení [28]



Obrázek 48: Středová složení [31]



Obrázek 49: Středové složení PF30 [32]

Návrh domečku středového složení je zobrazen na výkresu v příloze 1. Oproti původní geometrii rámu byl celý domeček středového složení zvětšen z vnějšího průměru 39 mm na průměr 50,8 mm.

4.4.5. Hlavová trubka

Hlavová trubka slouží pro uložení krku vidlice. Na krk vidlice se dále montuje představec a na něj řídítka. Krk vidlice je v hlavové trubce opět uložen na ložiskách v nalisovaném hlavovém složení, tak aby se vidlice mohla otáčet a cyklista mohl kolo ovládat. Ložiska hlavového složení mají většinou vyrobené zkosení, kterým se opírá o hlavové složení. Při montáži je velice důležité nejdříve utáhnout šroub hlavového složení a až poté dotahovat představec, tak aby nevznikla vůle v hlavovém složení.



Obrázek 50: Hlavové složení [33]

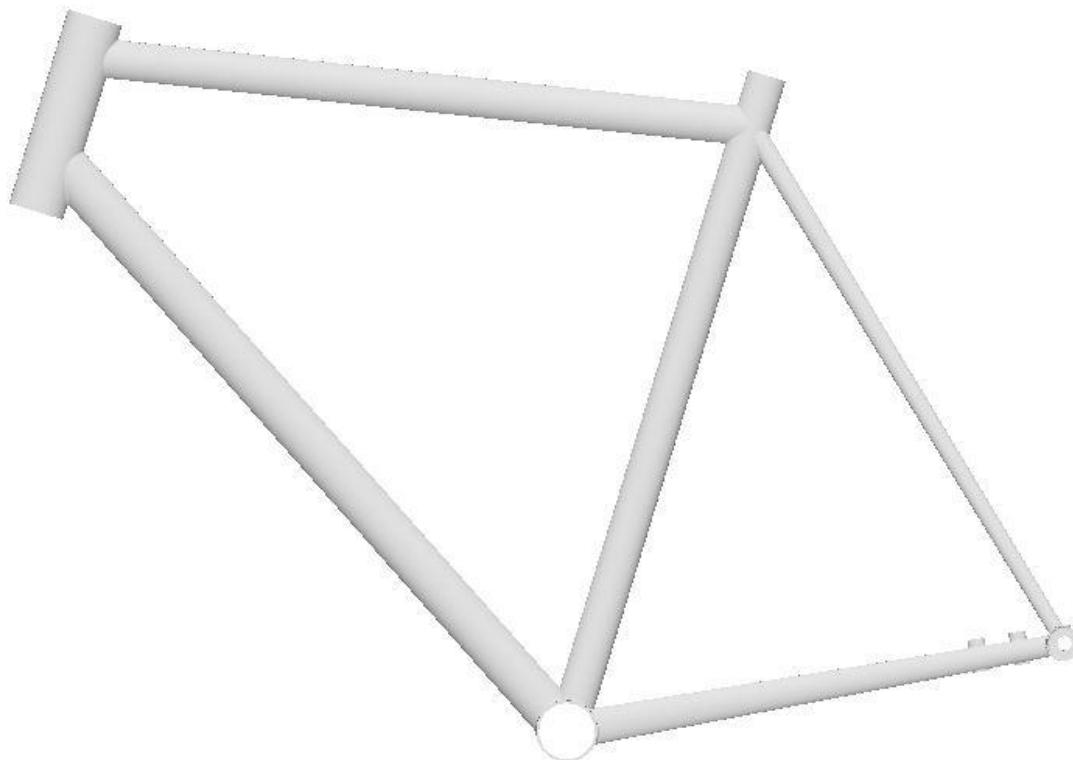


Obrázek 51: Ložisko hlavového složení [34]

Hlavová trubka může být buď rovná nebo kónická. Pro tento rám kola je trubka rovná. Hlavových složení existuje velké množství a je nutné do rámu vložit správné. Některé rámy už mají hlavové složení integrované přímo v rámu a není nutné ho lisovat. Pro tento rám je návrh hlavové trubky v příloze 2.

4.4.6. 3D model

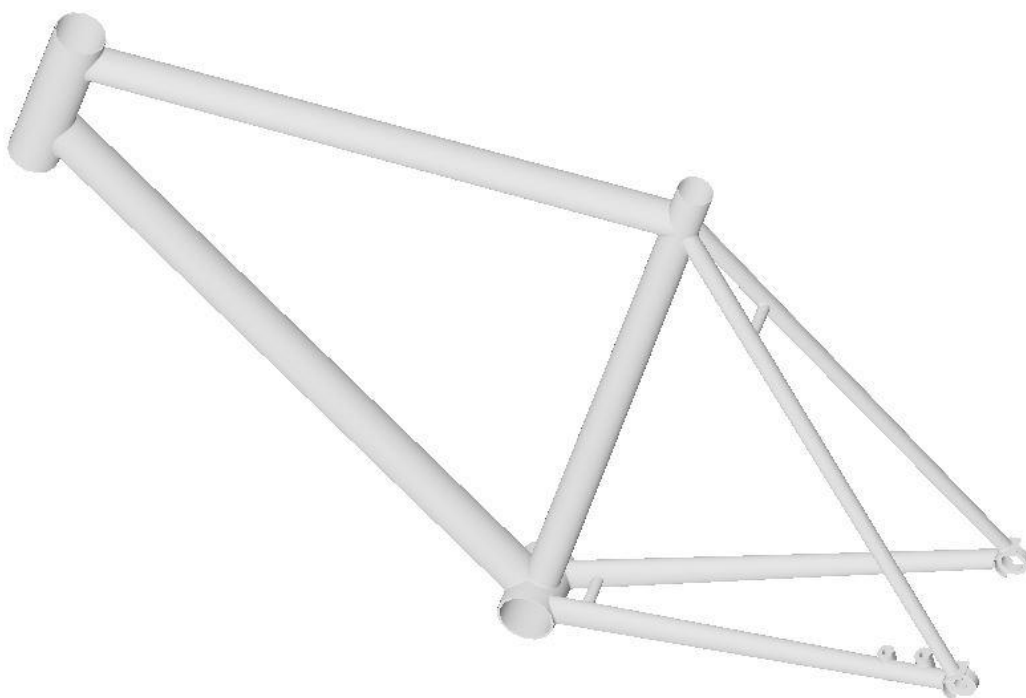
Rám kola je navržen podle všech specifikací uvedených v kapitolách 4.4.1 až 4.4.5. Sestava rámu je zobrazena v příloze 3.



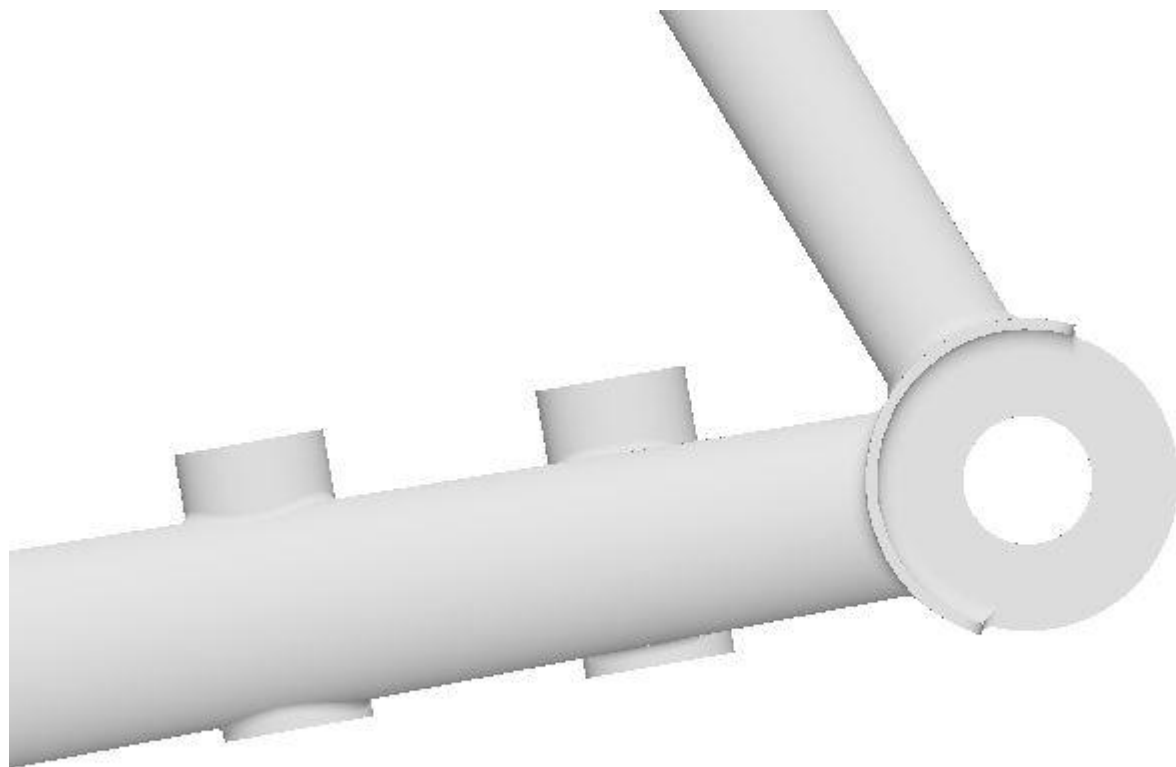
Obrázek 52: Model rámu, boční pohled



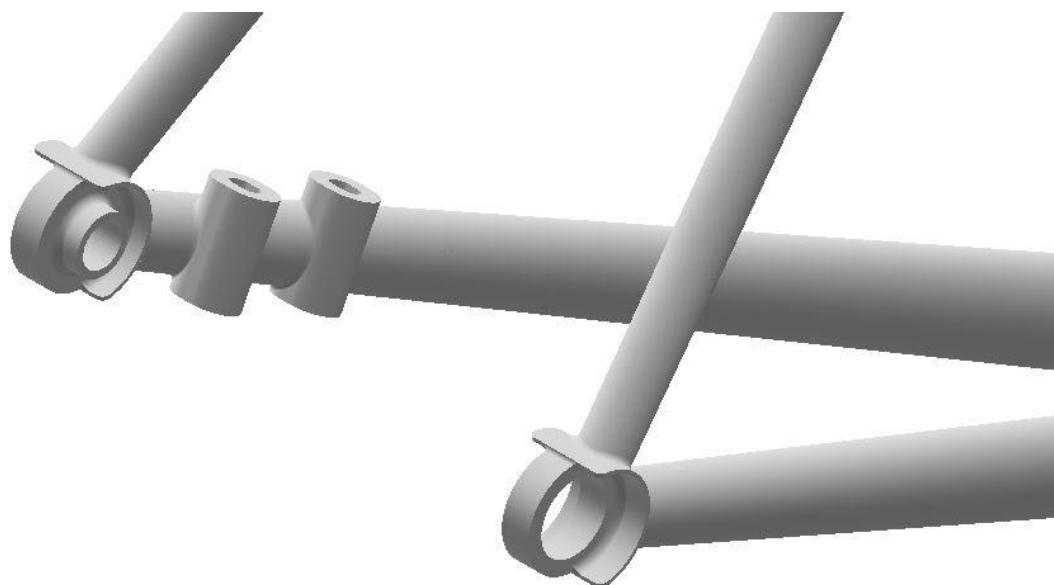
Obrázek 53: Model rámu



Obrázek 54: Model rámu



Obrázek 55: Spojení zadní stavby



Obrázek 56: Návrh zadní stavby pro uchycení brzdového třmenu, patky a pevné osy

Výsledná hmotnost rámu je 1,735 kg. To je o 155 g více než je hmotnost již vyrobeného závodního rámu. Tento rozdíl je způsoben zejména návarkem na kotoučové brzdy a také může být malý rozdíl hmotnosti vycházející z geometrie rámu. Hmotnost však odpovídá očekávání a jedná se tedy pořád o velice lehký ocelový rám.

Navržený rám kola je pro MKP výpočet zjednodušený. Je vymodelovaný jako jedna součást nikoliv jako svařenec ani sestava. U svarů hraje největší roli zejména kvalita jejich provedení. Dalším zjednodušením je použití trubek o stejné tloušťce a nikoliv zeslabovaných. V modelu rámu také nejsou zhotoveny detaily jako otvory/úchyty pro vnitřní/vnější tažení bowdenů a lanek brzd nebo otvory pro uchycení košíku na pití.

4.5. Návrh zatěžovacích stavů

Zatěžovací stavy pro testování závodních jízdních kol vycházejí z normy ČSN EN 4210-2: Jízdní kola - Bezpečnostní požadavky na městská a trekkingová jízdní kola, na jízdní kola pro mládež, na horská a závodní jízdní kola (2015). Norma předepisuje nároky na testování rámu, maximální deformace rámu ve třech stavech zatížení, bez zřetelných trhlin nebo lomů.

4.5.1. Mechanické zkoušky pro testování rámu dle normy

Mechanické testování musí být prováděno, pokud firma produkuje minimálně pět rámu stejného typu. Jedná se o tyto zkoušky:

1. Rázový test - ráz hmoty
2. Rázový test - ráz rámu
3. Únavový test se silami šlapání

Následující zatěžovací stavy jsou navrženy tak, aby se na nich daly simulovat tyto mechanické zkoušky již v procesu návrhu konstrukce rámu a dalo se tak předejít výrazným chybám v konstrukci.

Tyto zatěžující stavy jsou odvozeny v Diplomové práci Ing. Hany Kolářové [1] a zde jsou využity včetně výpočtů.

4.5.2. Zatěžovací stav při brzdění

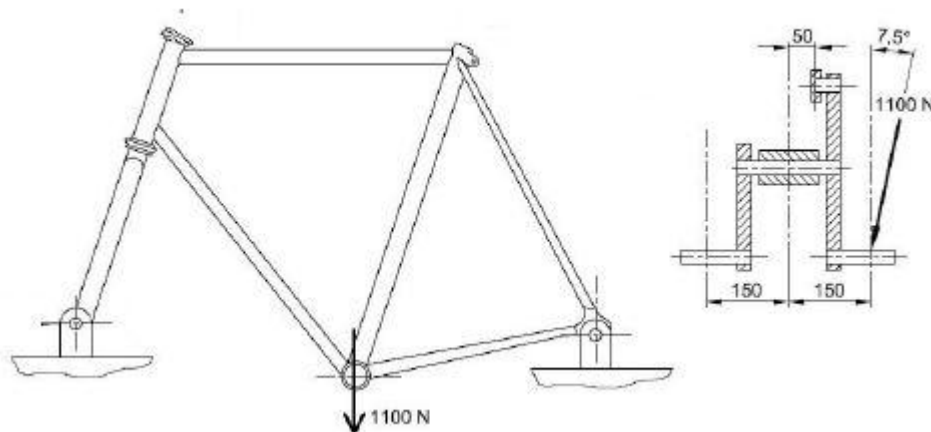
Tento stav vychází z rázového testu - rázu hmoty, kdy se na váleček upnutý do vidlice spustí břemeno. Výsledné posunutí vzdálenosti os kol nesmí překročit hodnotu 30 mm v místě vložení vidlice.



Obrázek 57: Zatěžovací stav při brzdění [1]

4.5.3. Zatěžovací stav při průjezdu zatáčkou

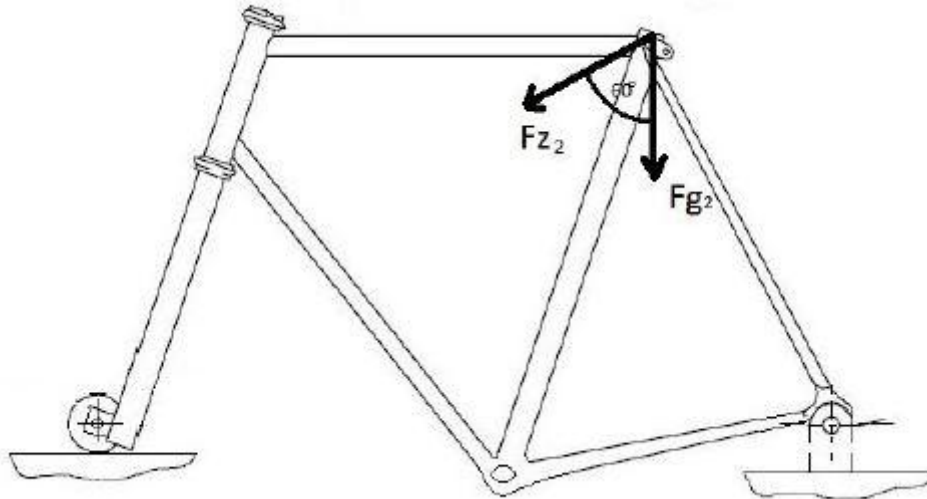
Vychází z únavového testu šlapání. Tento stav je ale zjednodušen na statické zatížení pedálu.



Obrázek 58: Zatěžovací stav při průjezdu zatáčkou [1]

4.5.4. Zatěžovací stav při dopadu na vozovku

Tento stav vychází z rázového testu - ráz rámu, kdy se zadní stavba otočně upne k přípravku. Na sedlovou trubku se upne hmota o hmotnosti 70 kg. Sestava se otočí kolem zadní osy a nechá se volně dopadnout na kovadlinu pod vidlicí. Výsledné posunutí vzdálenosti mezi osami kol nesmí překročit 15 mm v sestavě rámu s vidlicí.



Obrázek 59: Zatěžovací stav při dopadu na vozovku [1]

Velikosti zatěžujících sil jsou také stanoveny z Diplomové práce Ing. Hany Kolářové z kapitoly 6.1.3. Použité velikosti jsou odvozeny jako přibližné průměrné hodnoty z pěti variant návrhů rámu (různé tuhosti rámu, tloušťky stěn atp.).

	F_{z1}	F_{z2}	F_{g2}
<i>Varianta A</i>	6724N	8707N	686N
<i>Varianta B</i>	6423N	8414N	686N
<i>Varianta C</i>	5694N	7550N	686N
<i>Varianta D</i>	5374N	6581N	686N
<i>Varianta E</i>	5947N	7494N	686N

Obrázek 60: Zatěžující síly napočítané pro různé typy rámu [1]

Průměrné hodnoty zatížení jsou použity tyto:

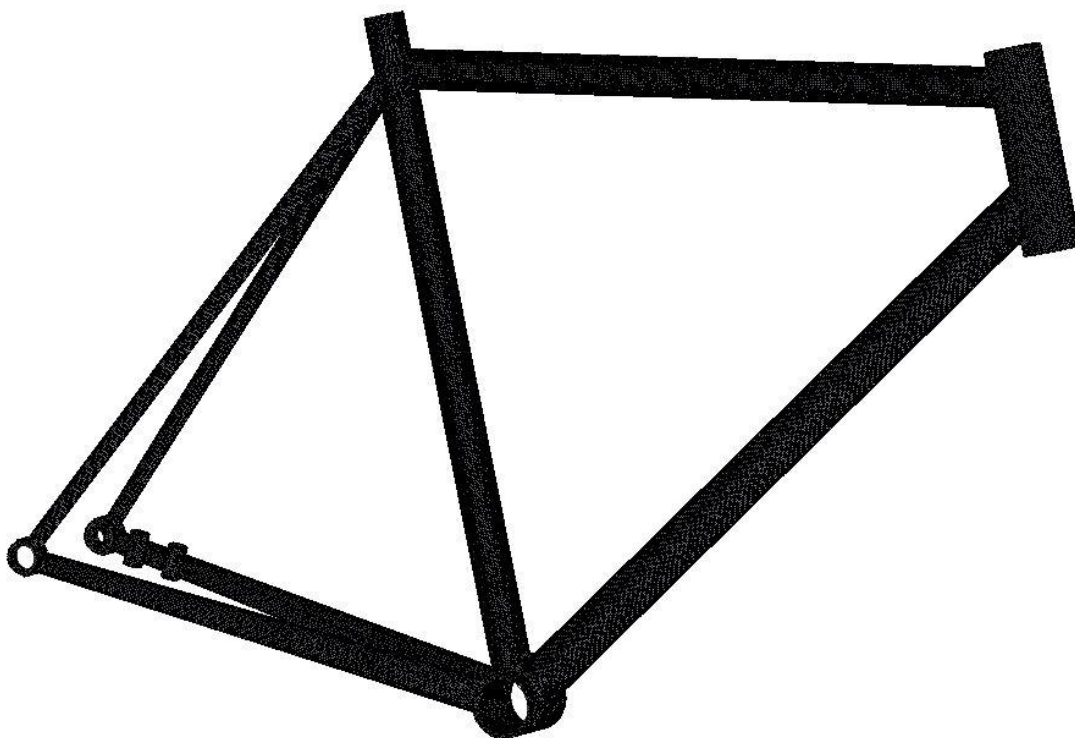
$$F_{z1} = 6000 \text{ N}$$

$$F_{z2} = 7000 \text{ N}$$

4.6. MKP tuhostní analýza

Cílem této analýzy je nalézt zejména nejvíce zatěžovaná místa. Výsledné hodnoty posunutí jsou jen velmi orientační, protože model je zjednodušený a není uvažován vliv svařování.

4.6.1. Nasítování modelu



Obrázek 61: Nasítovaný model



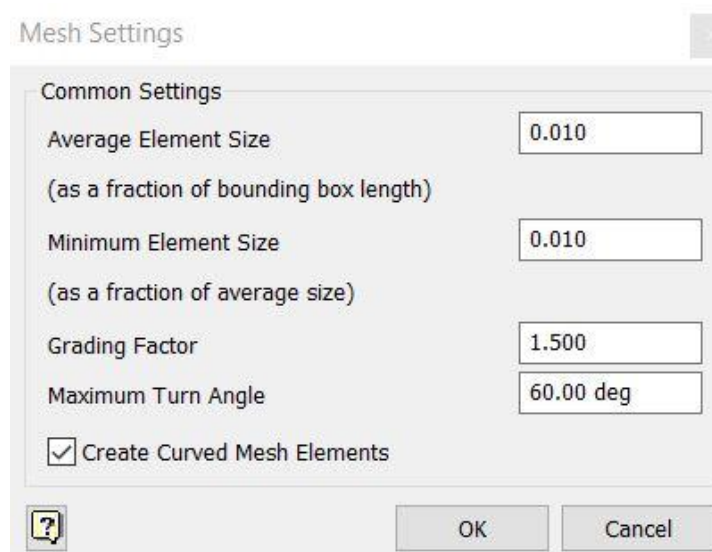
Obrázek 62: Síť modelu, detail 1



Obrázek 63: Sít modelu, detail 2



Obrázek 64: Sít' modelu, detail 3



Obrázek 65: Nastavení sítě

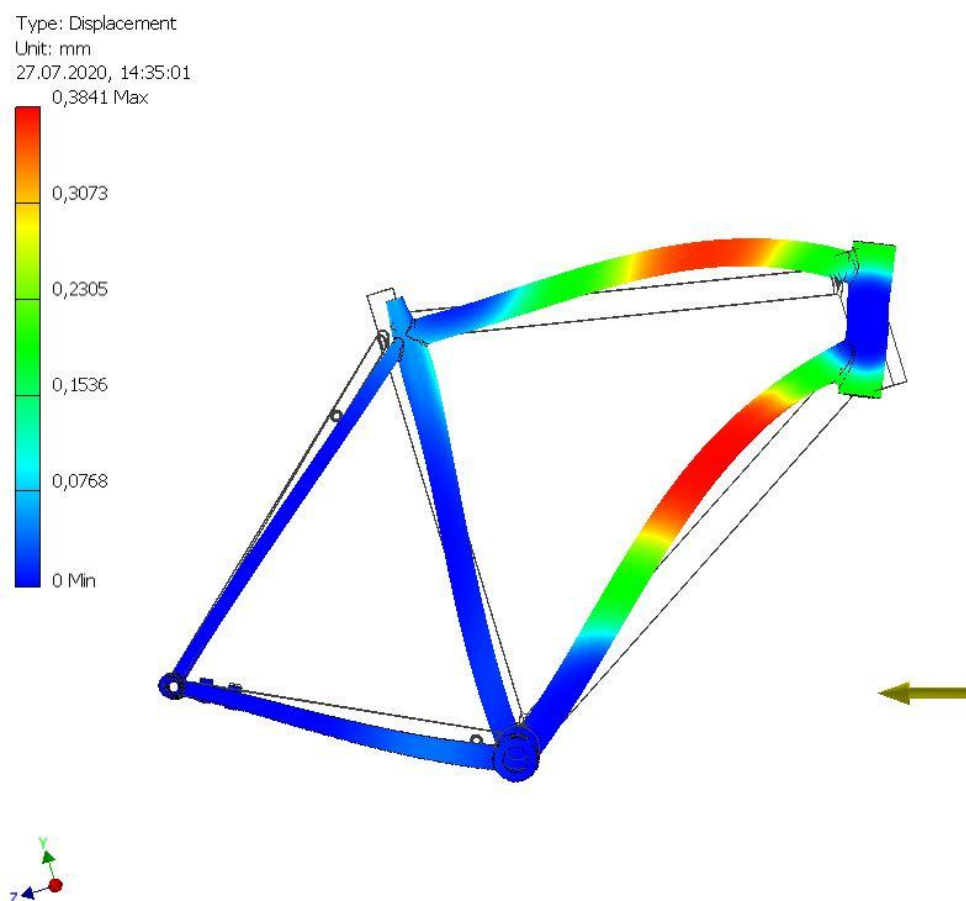
Před samotným simulováním bylo nutné provést několik úprav modelu pro přesnější výsledky. První úpravou modelu je změna hlavové trubky na tlustostěnnou tak, aby její tuhost byla maximální. To simuluje uložení hlavového složení a krku vidlice uvnitř hlavové trubky. Další změnou oproti modelu je zesílení středové trubky tak, aby simulovalo uložení středového složení a osy klik. Poslední úprava je zesílení části sedlové trubky tak, aby to simulovalo zasunutí sedlovky do rámu.

4.6.2. Zatěžovací stav 4.5.2 - brzdění

Uložení rámu je simulované v patkách zadní stavby a v hlavové trubce. Zatížení je určeno jako vzdálená síla o velikosti 6000 N. Bod působení je navržen jako střed osy předního kola a směr působení síly je vodorovný se zemí.



Obrázek 66: Uložení rámu a zatěžující síla - brzdění

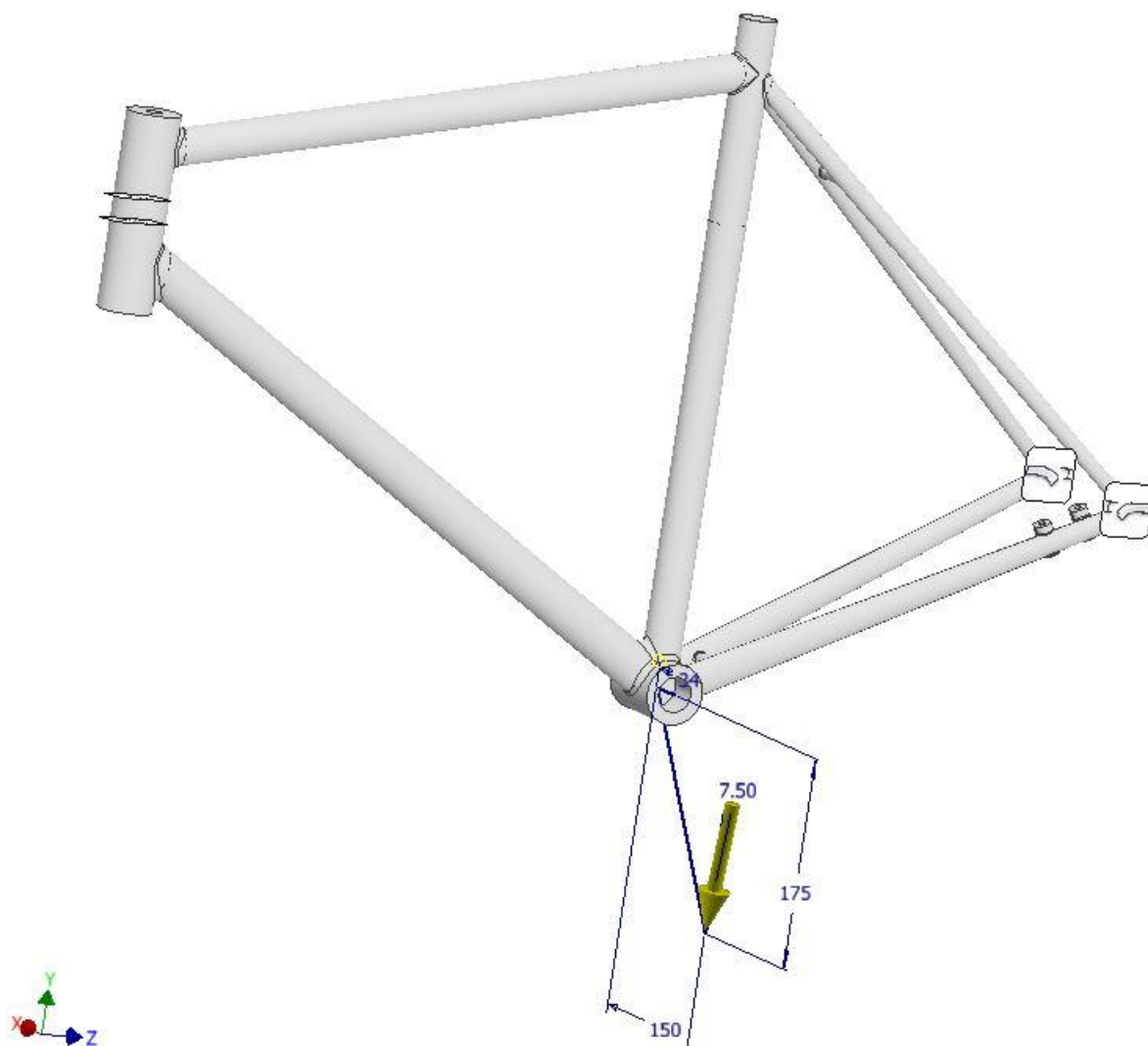


Obrázek 67: Výsledné posunutí - brzdění

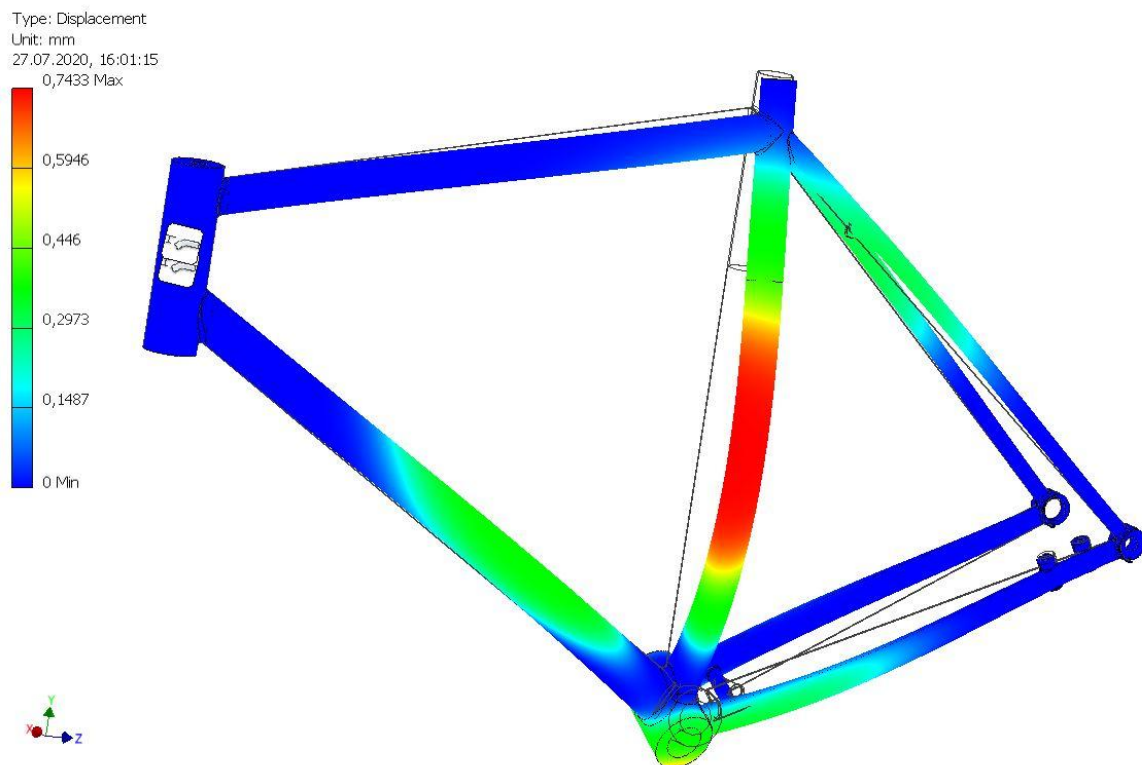
Maximální posunutí je v oblasti dolní rámové trubky a jeho velikost je 0,384 mm.

4.6.3. Zatěžovací stav 4.5.3 - průjezd zatáčkou

Uložení rámu je opět za patky zadní stavby a hlavovou trubkou. Zatěžující síla je v tomto případě dána normou. Je dán její směr a působíště, stejně tak jako velikost 1100 N.



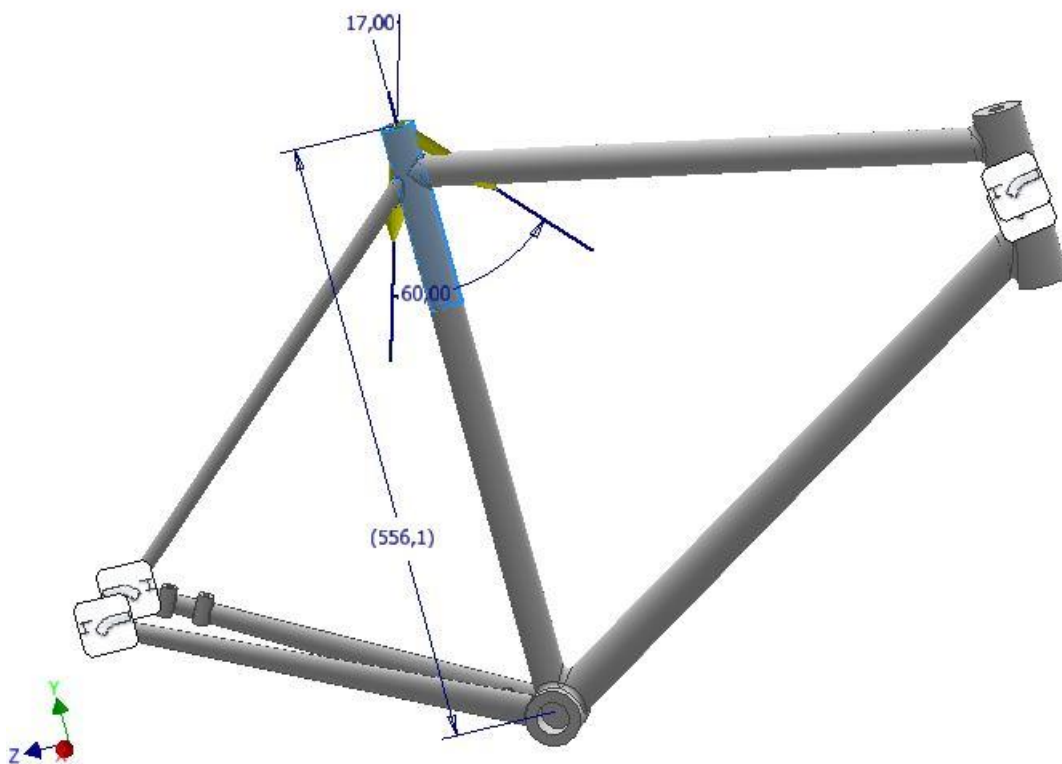
Obrázek 68: Uložení rámu a zatěžující síla - průjezd zatáčkou



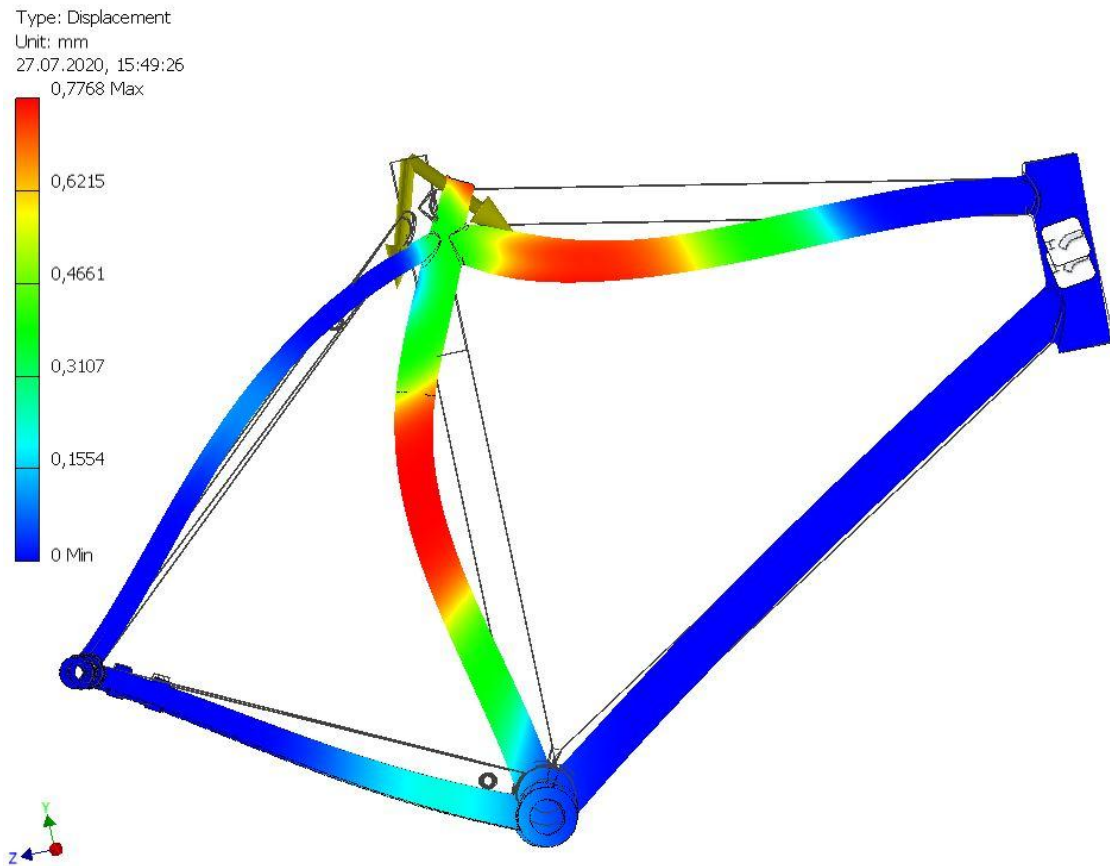
Obrázek 69: Výsledné posunutí - průjezd zatáčkou
Maximální posunutí je v oblasti sedlové trubky a jeho velikost je 0,743 mm.

4.6.4. Zatěžovací stav 4.5.4 - náraz na vozovku

Uchycení rámu je opět za patky zadní stavby a za hlavovou trubku. Tento zatěžující stav simulují dvě zatěžující síly. Gravitační síla má velikost 686 N a síla F_{z2} má velikost 7000 N. Působíště těchto sil je ve středu sedlové trubky.



Obrázek 70: Uložení rámu a zatěžující síla - náraz na vozovku



Obrázek 71: Výsledné posunutí - náraz na vozovku

Maximální posunutí je v horní části sedlové trubky a jeho velikost je 0,777 mm.

4.7. Zhodnocení

Výsledky ukazují nejvíce zatížené oblasti. Nejvíce namáhaná část kola je dolní rámová trubka. Proto se téměř vždy jedná o jednu z trubek s největším průměrem. Maximální hodnota posunutí pro stav při brzdění je 0,38 mm, pro průjezd zatáčkou 0,74 mm a pro náraz na vozovku 0,78 mm. Tyto hodnoty jsou velmi zkrácené, v reálu by se jednalo o hodnoty vyšší. Reálně lze některé části rámu kola při zatížení viditelně prohnut. Lze také říci, že i přes tato zjednodušení bude rám dostatečně tuhý. Proto jsou tyto napočítané hodnoty pouze orientační a ukazují zejména kritická místa. Ta se shodují s nejrůznějšími výsledky jiných výzkumů, zabývajících se touto problematikou. Celková tuhost kola je navíc velmi ovlivněna i použitými komponentami. Pro původní rám byla použita velmi lehká zapletená kola. Jejichž tuhost však pro závodníka není dostačující. (Pro lehkou, malou cyklistku by již kola vyhovovala.) Proto jsou i tyto komponenty navrženy již v hmotnostní analýze tak, aby výsledná stavba kola byla dostatečně tuhá. Výsledky MKP vyhovují normě [1].

4.7.1. Kritická místa ocelových rámu

Prvním nejkritičtější místem rámu je špatně provedený svar. Pokud jsou svary provedené v požadované kvalitě, poté je ocelový rám téměř nezničitelný. Na rozdíl od karbonových rámu, kde vznikají praskliny, tak ocelový, popř. i hliníkový rám se pod zatížením nejdříve ohne. Ohnutí a praskliny reálně vznikají v místech, která jsou vyhodnocena i pomocí MKP.



Obrázek 72: Rám ohnutý po nárazu [37]



Obrázek 73: Prasklina na sedlové trubce [1]



Obrázek 74: Prasklina na sedlové a dolní rámové trubce [1]

Závěr

Tato diplomová práce se zabývala silničními koly, jejich komponentami a návrhem závodního ocelového rámu přímo na míru zákazníka.

V úvodní teoretické části jsou popsány druhy silničních kol dle jejich použití a dle materiálu, který se k jejich stavbě používá. Dále jsou popsány komponenty silničních kol, které jsou potřebné pro stavbu silničního kola.

V další části je popsána hmotnostní analýza silničního kola. Komponenty jsou navrženy již s ohledem na přání zákazníka. Jsou rozděleny do 3 variant stavby kola (ráfkové nebo kotoučové brzdy, nízké nebo vysoké ráfky kol) a každá z těchto variant má 3 možnosti osazení. Pro všechny tyto varianty jsou sepsány také cenové relace.

V poslední části je ukázán návrh stavby rámu kola na zakázku. Nejdříve je popsána geometrie rámu a její individualizace dle měření posedu. Dále je popsána samotná výroba rámu z ocelových trubek. Poté je zde popsán návrh konstrukce rámu, požadavky od výrobců komponent a model rámu. V závěru jsou popsány zatěžovací stavy dle normy, jejich varianty pro MKP a samotná MKP analýza. Z té jsou odvozena místa s největším zatížením a také, že návrh rámu bude dostatečně tuhý a bude splňovat požadavky zákazníka. Místa s největším zatížením navíc odpovídají reálným poškozením rámu.

Použitá literatura

- [1] KOLÁŘOVÁ, Hana. *Návrh silničního závodního kola*. Plzeň, 2015. Diplomová práce. Západočeská univerzita v Plzni. Vedoucí práce Doc. Ing. Zdeněk HUDEC, CSc.
- [2] Trekbikes.com. *Trekbikes.com* [online]. [cit. 2019-11-15]. Dostupné z: https://www.trekbikes.com/cz/cs_CZ/kola/silni%C4%8Dn%C3%AD-kola/silni%C4%8Dn%C3%AD-performance/madone/madone-slr/madone-slr-9-disc-etap/p/28486/?colorCode=purple_grey
- [3] Specialized.com. *Specialized.com* [online]. [cit. 2019-11-15]. Dostupné z: <https://www.specialized.com/us/en/s-works-tarmac---sram-red-etap-axs/p/171346?color=271680-171346>
- [4] Lapierebikes.com. *Lapierebikes.com* [online]. [cit. 2019-11-15]. Dostupné z: <https://shop.lapierebikes.com/pulsium-700-disc-ultimate>
- [5] Canyon.com. *Canyon.com* [online]. [cit. 2019-11-15]. Dostupné z: https://www.canyon.com/cs-cz/road-bikes/triathlon-bikes/speedmax/speedmax-cf-slx-9.0-tt/2146.html?dwvar_2146_pv_rahmengroesse=S&dwvar_2146_pv_rahmenfarbe=BK%2FBU
- [6] Cervelo.com. *Cervelo.com* [online]. [cit. 2019-11-15]. Dostupné z: <https://www.cervelo.com/en/bikes/triathlon>
- [7] Specialized.com. *Specialized.com* [online]. [cit. 2019-11-15]. Dostupné z: <https://www.specialized.com/us/en/s-works-shiv-disc---sram-red-etap-axs/p/171300?color=271742-171300>
- [8] Specialized.com. *Specialized.com* [online]. [cit. 2019-11-15]. Dostupné z: <https://www.specialized.com/us/en/s-works-diverge---sram-etap-axs/p/171315?color=264749-171315>
- [9] Canyon.com. *Canyon.com* [online]. [cit. 2019-11-15]. Dostupné z: https://www.canyon.com/cs-cz/road-bikes/cyclocross-bikes/inflite/inflite-cf-slx-9.0-team/2445.html?dwvar_2445_pv_rahmengroesse=2XS&dwvar_2445_pv_rahmenfarbe=RD%2FWH
- [10] Bikeinvest.cz. *Bikeinvest.cz* [online]. [cit. 2020-11-27]. Dostupné z: <https://www.bikeinvest.cz/sada-shimano-dura-ace-di2-9170-11s-disc>
- [11] Bikeinvest.cz. *Bikeinvest.cz* [online]. [cit. 2020-11-27]. Dostupné z: <https://www.bikeinvest.cz/sada-sram-red-etap-axs-2x-d1-electronic-hrd>
- [12] Campagnolo-sirer.cz. *Campagnolo-sirer.cz* [online]. [cit. 2020-11-27]. Dostupné z: <http://www.campagnolo-sirer.cz/products/eps-super-record-12s-kompletni-sada-novinka/>
- [13] Bikegallery.cz. *Bikegallery.cz* [online]. [cit. 2020-11-27]. Dostupné z: https://www.bikegallery.cz/lightweight-meilenstein/?gclid=EAIaIQobChMIkZiMqdXq6gIVTe3tCh3SuAC-EAQYAyABEgJs5_D_BwE

- [14] Kolokram.cz. *Kolokram.cz* [online]. [cit. 2020-11-27]. Dostupné z: <https://www.kolokram.cz/riditka-deda-superzero-carbon-polish-on-black-p191772/?vid=162297>
- [15] Kupkolo.cz. *Kupkolo.cz* [online]. [cit. 2020-11-27]. Dostupné z: https://www.kupkolo.cz/predstavec-ritchey-superlogic-carbon-c260_z93897/
- [16] Cyklosvec.cz. *Cyklosvec.cz* [online]. [cit. 2020-11-27]. Dostupné z: https://www.cyklosvec.cz/sedlovka-deda-superzero-pob-27-2mm-ean13618.php?gclid=EAIaIQobChMIlayUrtfq6gIVCqh3Ch3jHA0EEAQYAiABEGJm wPD_BwE
- [17] Koloshop.cz. *Koloshop.cz* [online]. [cit. 2020-11-27]. Dostupné z: https://www.koloshop.cz/gripy-a-omotavky-omotavky-146/Supacaz-Super-Sticky-Kush-Star-Fade-omotavka-celeste-star-fade-celeste-plugs.html?gclid=EAIaIQobChMIImIm45dfq6gIV2-vtCh1JJQ0QEAQYBSABEGJRy_D_BwE
- [18] Bike sport. *Bike-sport-shop.cz* [online]. [cit. 2020-11-28]. Dostupné z: https://www.bike-sport-shop.cz/sedlo-specialized-s-works-power-arc-carbon-black-155mm?gclid=EAIaIQobChMIIpqL-3Njq6gIVG-3tCh2YBwHDEAQYAiABEGK7xvD_BwE
- [19] R2-bike.com. *R2-bike.com* [online]. [cit. 2020-11-28]. Dostupné z: <https://r2-bike.com/LIGHTWEIGHT-Bottle-Cage-Edelhelper-Carbon>
- [20] Koloshop.cz. *Koloshop.cz* [online]. [cit. 2020-11-28]. Dostupné z: https://www.koloshop.cz/pedaly-naslapne-silnicni-149/Look-Keo-Blade-Carbon-8-silnicni-pedaly-2020.html?gclid=EAIaIQobChMIzY7V9tvq6gIVh-3tCh09DAi4EAQYAyABEGKzKvD_BwE
- [21] Cyclist.co.uk. *Cyclist.co.uk* [online]. [cit. 2020-12-15]. Dostupné z: <https://www.cyclist.co.uk/reviews/6921/saffron-naked-columbus-xcr-review?fbclid=IwAR29kfyZSGGSF52zHwnuodl3O6O13WXBxSUXpB-FVL9aQKn93vp92b7GZKw>
- [22] Cyclingabout.com. *Cyclingabout.com* [online]. [cit. 2020-03-15]. Dostupné z: https://www.cyclingabout.com/understanding-bicycle-frame-geometry/?fbclid=IwAR3JYefZKcHVBtrl_fnDceM6kvy7uyiHKtm-9OjVaH_PZxKWitjptrCSLA
- [23] Roadbikereview.com. *Roadbikereview.com* [online]. [cit. 2020-03-18]. Dostupné z: <https://forums.roadbikereview.com/bikes-frames-forks/reynolds-953-vs-columbus-xcr-stainless-steel-303754.htmlvzv>
- [24] Columbustubi.com. *Columbustubi.com* [online]. [cit. 2020-03-18]. Dostupné z: <http://columbustubi.com/wp-content/uploads/2020/04/Columbus2020SteelCatalogueV3-1.pdf>
- [25] Ciclicorsa.com. *Ciclicorsa.com* [online]. [cit. 2020-03-18]. Dostupné z: <https://ciclicorsa.com/shop/columbus-xcr-tube-set/>
- [26] GRIM, Robert. *Svařitelnost ocelí pro výrobu rámců jízdních kol*. Brno, 2014. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce Ing. Mojmír Vaněk.
- [27] Pinkbike.com. *Pinkbike.com* [online]. [cit. 2020-04-07]. Dostupné z: <https://www.pinkbike.com/news/building-a-custom-bike-frame-at-home.html>

- [28] SRAM. *Frame Fit Specifications: 2019 Road Components*. 2019.
- [29] Hibike.cz. *Hibike.cz* [online]. [cit. 2020-05-19]. Dostupné z: https://www.hibike.cz/sram-universal-derailleur-hanger-patky-p5f043fb024e3b73f2cc5d330d5cef474#var_74200049
- [30] Sram.com. *Sram.com* [online]. [cit. 2020-05-31]. Dostupné z: https://www.servicearchive.sram.com/sites/default/files/techdocs/95-7918-014-100_user_manual_udh_eeu_rev_b.pdf
- [31] Bikerumor.com. *Bikerumor.com* [online]. [cit. 2020-05-31]. Dostupné z: <https://bikerumor.com/2015/11/05/industry-launches-new-larger-threaded-t47-bottom-bracket-standard-say-goodbye-to-pressfit/>
- [32] Koloshop.cz. *Koloshop.cz* [online]. [cit. 2020-05-31]. Dostupné z: https://www.koloshop.cz/press-fit/Sram-PF30-PressFit-stredove-slozeni-pro-BB30.html?gclid=EAIaIQobChMIgPeo9_Hi6gIV0oBQBh3IqwKmEAQYASABEgJPQfD_BwE
- [33] Zbozi.cz. *Zbozi.cz* [online]. [cit. 2020-06-10]. Dostupné z: <https://www.zbozi.cz/vyrobek/hlavove-slozeni-bbb-bhp-51-semiintegrated-44-mm-1-1-8/fotogalerie/>
- [34] Koloshop.cz. *Koloshop.cz* [online]. [cit. 2020-06-10]. Dostupné z: <https://www.koloshop.cz/loziska-pro-hl-slozeni/Cane-Creek-Forty-41-mm-lozisko,-36x45st..html>
- [35] Koloshop.cz. *Koloshop.cz* [online]. [cit. 2020-01-03]. Dostupné z: <https://www.koloshop.cz/>
- [36] Kolokram.cz. *Kolokram.cz* [online]. [cit. 2020-01-03]. Dostupné z: <https://www.kolokram.cz/>
- [37] Vernonbarkercycles.co.uk/. *Vernonbarkercycles.co.uk/* [online]. [cit. 2020-07-15]. Dostupné z: <https://www.kolokram.cz/>

Seznam obrázků

Obrázek 1: Silniční kolo Trek Madone [2]	12
Obrázek 2: Silniční kolo Specialized S-Works Tarmac [3]	13
Obrázek 3: Silniční kolo Lapierre Pulsium [4]	13
Obrázek 4: Kolo pro časovku Canyon Speedmax [5]	14
Obrázek 5: Kolo pro triatlon Cervelo P3X [6]	14
Obrázek 6: Kolo pro triatlon Specialized S-Works Shiv TT [7]	15
Obrázek 7: Gravelové kolo Specialized S-Works Diverge [8]	16
Obrázek 8: Cyklokrosové kolo Canyon [9]	16
Obrázek 9: Silniční sada Shimano Dura Ace Di2 [10]	20
Obrázek 10: Silniční sada Sram Red eTap AXS [11]	20
Obrázek 11: Silniční sada Campagnolo Super Record EPS [12]	21
Obrázek 12: Zapletená kola Lightweight [13]	22
Obrázek 13: Řídítka Deda Superzero Carbon [14]	22
Obrázek 14: Představec Ritchey Superlogic Carbon [15]	23
Obrázek 15: Sedlovka Deda Superzero Carbon [16]	23
Obrázek 16: Omotávky Supacaz [17]	23
Obrázek 17: Sedlo Specialized Power [18]	24
Obrázek 18: Košík na lahev Lightweight [19]	24
Obrázek 19: Pedály Look Keo [20]	24
Obrázek 20: Výběr vhodné varianty konfigurace komponentů	33
Obrázek 21: Lehké závodní ocelové kolo Saffron Naked Columbus XCr [21]	35
Obrázek 22: Geometrie rámu [22]	37
Obrázek 23: Stack a Reach [22]	38
Obrázek 24: Měření posedu	38
Obrázek 25: Levá strana 1	39
Obrázek 26: Levá strana 2	39
Obrázek 27: Levá strana - 3	40
Obrázek 28: Pravá strana 1	41
Obrázek 29: Pravá strana 2	41
Obrázek 30: Pravá strana 3	42
Obrázek 31: Naměřené hodnoty kola	43
Obrázek 32: Geometrie rámu vytvořená pomocí programu BikeCad	44
Obrázek 33: ukázka katalogu Columbus [24]	45

Obrázek 34: Šablona pro oříznutí horní rámové trubky.....	46
Obrázek 35: Ustavení trubek do požadované polohy [27].....	46
Obrázek 36: Nastehování svaru [27].....	47
Obrázek 37: Hotový svar [27].....	47
Obrázek 38: Ukázka z katalogu pro návrh uchycení brzdového třmenu [28].....	48
Obrázek 39: Ukázka z katalogu pro uchycení brzdového třmenu [28].....	49
Obrázek 40: Uchycení brzdového třmenu na kole	49
Obrázek 41: Uchycení třmenu brzdy na návarku ocelového kola	50
Obrázek 42: Ukázka z katalogu - pevná osa [28].....	51
Obrázek 43: Ukázka z katalogu pro návrh uchycení pevné osy [28].....	51
Obrázek 44: Univerzální patka Sram [29].....	52
Obrázek 45: Univerzální patka Sram [29].....	52
Obrázek 46: Montáž patky [30]	53
Obrázek 47: Ukázka z katalogu - návrh domečku středového složení [28].....	53
Obrázek 48: Středová složení [31]	54
Obrázek 49: Středové složení PF30 [32].....	54
Obrázek 50: Hlavové složení [33].....	55
Obrázek 51: Ložisko hlavového složení [34].....	55
Obrázek 52: Model rámu, boční pohled.....	56
Obrázek 53: Model rámu.....	57
Obrázek 54: Model rámu.....	57
Obrázek 55: Spojení zadní stavby.....	58
Obrázek 56: Návrh zadní stavby pro uchycení brzdového třmenu, patky a pevné osy	58
Obrázek 57: Zatěžovací stav při brzdění [1]	60
Obrázek 58: Zatěžovací stav při průjezdu zatáčkou [1].....	60
Obrázek 59: Zatěžovací stav při dopadu na vozovku [1].....	61
Obrázek 60: Zatěžující síly napočítané pro různé typy rámu [1].....	61
Obrázek 61: Nasíťovaný model	62
Obrázek 62: Síť modelu, detail 1	62
Obrázek 63: Síť modelu, detail 2	63
Obrázek 64: Síť modelu, detail 3	63
Obrázek 65: Nastavení sítě.....	63
Obrázek 66: Uložení rámu a zatěžující síla - brzdění	64
Obrázek 67: Výsledné posunutí - brzdění	65
Obrázek 68: Uložení rámu a zatěžující síla - průjezd zatáčkou	66

Obrázek 69: Výsledné posunutí - průjezd zatáčkou.....	67
Obrázek 70: Uložení rámu a zatěžující síla - náraz na vozovku	68
Obrázek 71: Výsledné posunutí - náraz na vozovku.....	69
Obrázek 72: Rám ohnutý po nárazu [37]	70
Obrázek 73: Prasklina na sedlové trubce [1].....	71
Obrázek 74: Prasklina na sedlové a dolní rámové trubce [1].....	71

Seznam tabulek

Tabulka 1: 1. varianta pro nízké ráfky a ráfkové brzdy	27
Tabulka 2: 2. varianta pro nízké ráfky a ráfkové brzdy	27
Tabulka 3: 3. varianta pro nízké ráfky a a ráfkové brzdy	28
Tabulka 4: 1. varianta pro nízké ráfky a kotoučové brzdy	29
Tabulka 5: 2. varianta pro nízké ráfky a kotoučové brzdy	29
Tabulka 6: 3. varianta pro nízké ráfky a kotoučové brzdy	30
Tabulka 7: 1. varianta pro vysoké ráfky a kotoučové brzdy	31
Tabulka 8: 2. varianta pro vysoké ráfky a kotoučové brzdy	31
Tabulka 9: 3. varianta pro vysoké ráfky a kotoučové brzdy	32
Tabulka 10: Vhodná varianta komponent	34
Tabulka 11: Komponenty kola Saffron Naked Columbus XCr [21]	36
Tabulka 12: Chemické složení oceli Columbus XCr [23]	44
Tabulka 13: Mechanické vlastnosti oceli Columbus XCr [23]	44
Tabulka 14: Rozměry a hmotnosti trubek Columbus [25]	45

Seznam příloh:

Příloha č.1: Výrobní výkres středové trubky

Příloha č. 2: Výrobní výkres hlavové trubky

Příloha č. 3: Výkres sestavy rámu