FAKULTA
STROJNÍ
ČVUT V PRAZE

Ústav konstruování a částí strojů

Návrh geometrie rámu horského kola

Proposal of mountain bike frame geometry

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2017

Oskar TUREK

Studijní program: B2342 TEORETICKÝ ZÁKLAD STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

Studijní obor: 2301R000 Studijní program je bez oborový

Vedoucí práce: Ing. František Lopot Ph.D.

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

viz vložený list

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že předložená bakalářská práce je původní a že jsem ji vypracoval samostatně pod vedením Ing. Františka Lopota Ph.D. Dále prohlašuji, že seznam použitých zdrojů a literatury je úplný.

V Praze 27. 6. 2017

PODĚKOVÁNÍ

Chtěl bych poděkovat všem, kteří mě při mé práci podporovali, včetně mé rodiny. Zejména děkuji panu Ing. Františku Lopotovi Ph.D. za jeho cenné rady a čas, který mi věnoval.

ANOTAČNÍ LIST

Jméno autora:	Oskar TUREK
Název bakalářské práce:	Návrh geometrie rámu horského kola
Název v angličtině:	Proposal of mountain bike frame geometry
Rok zpracování:	2017
Ústav:	Ústav konstruování a částí strojů FS
Vedoucí práce:	Ing. František Lopot Ph.D.
Konzultant:	
Počet stran:	30
Počet obrázků:	50
Počet tabulek:	2
Počet příloh:	1
Klíčová slova:	Cyklistika, horské kolo, rám kola, rám, materiály rámu, geometrie kola, návrh kola, komponenty kola, sport
Key words:	Bicycling, montain bike, bike frame, frame, frame materials, bike frame geometry, proposal of bike frame, bike components, sport

Anotace: Bakalářská práce se zabývá návrhem geometrie rámu horského kola. Nejprve se věnuje teoretickým vlivům prvků na jízdu. V dalších částech je pojednáno o materiálech rámů kol a o komponentech s vlivem na geometrii. V zásadní části práce je pak samotný návrh geometrie rámu kola pro autora práce. Poté následuje úvaha nad konstrukčním řešením a samotná vizualizace rámu.

Abstract: The bachelor thesis deals with the desing of the geometry of the moutain bike frame. First, it focuses on the theoretical influences of elements on driving. The next parts discuss the materials of the bike frames and the components with influence on geometry. The main part of the thesis is the proposal of frame geometry itself. Then there is a reflection on the design solution and the bike frame visualization itself.

Obsah

1. Úvod a motivace 1
2. Cíle práce 5
3. Teoretická východiska 5
3.1. Pláště horských kol 5
3.2. Geometrie rámu 6
3.2.1. Délka sedlové trubky (A) 7
3.2.2. Efektivní délka horní trubky a její sloping (B) 8
3.2.3. Úhel sedlové trubky (C) 9
3.2.4. Úhel hlavové trubky (D) 9
3.2.5. Délka zadní stavby (E) 10
3.2.6. Celkový rozvor (F) 11
3.2.7. Výška hlavové trubky (G) 11
3.2.8. Bottom bracket drop (BBD) – Pozice středu šlapání 12
3.2.9. Front fork offset (FFO) – Závlek přední osy 12
3.2.10. Fork trail (FT) - Stopa 13
3.3. Materiál rámu 14
3.3.1. Ocelové rámy 14
3.3.2. Hliníkové slitiny 15
3.3.3. Kompozitové rámy 17
3.3.4. Titanové rámy 19
3.4. Komponenty pro výrobu rámu 19
3.5. Přípravky pro výrobu rámů 19
3.6. Komponenty s vlivem na geometrii, na jízdní vlastnosti 20
3.6.1. Velikost kol (viz také 3.1 Pláště horských kol) 20
3.6.2. Představec 20
3.6.3. Vidlice 21
3.6.4. Brzdy 22
3.6.5. Výběr komerčně dostupných komponentů 23
4. Návrh vlastní geometrie 25
4.1. Měření jezdce 25
4.2. Návrh rozměrů 26
4.3. Softwarová podpora 27
4.4. Závěr návrhu a zhodnocení geometrie 28
5. Konstrukční řešení rámu 28
6. Vizualizace rámu 29

7. Závěr 30
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ 31
SEZNAM OBRÁZKŮ 32
SEZNAM TABULEK 33
SEZNAM PŘÍLOH 33

1. Úvod a motivace

Významným trendem v soudobé společnosti, který za poslední desetiletí významně posílil, je péče o zdraví a životní prostředí. Sportovní aktivity se tak stávají stále běžnější součástí denní náplně lidí a tomuto faktu se přizpůsobuje i infrastruktura na všech úrovních – od lokálních cvičeben, přes sportovně relaxační komplexy, po hustou síť cyklostezek, které v řadě případů tvoří již zcela nedílnou součást projektů a realizací vozovek.

Vedle uživatelů, kteří používají kolo k rekreaci, se stále rozšiřuje počet lidí, kteří používají kolo k přepravě do zaměstnání, nebo přímo při jeho výkonu. O narůstajícím počtu cyklistů svědčí i řada statistik, které jsou založené na různých metodách pro sčítání cyklistů zejména kvůli monitoringu využívání cyklistických cest.

Měří se za použití automatických sčítačů na principu tlakových čidel, pyroelektrických senzorů, infračervených senzorů či magnetických senzorů. Měření se obvykle provádí na úsecích v CHK oblastech nebo na jiných turisticky atraktivních místech.

Současný trh rozděluje kola nejčastěji podle účelu jejich využití na městská, sportovní a speciální. Každá kategorie je dále dělena především podle detailní geometrie rámu na kola pánská, dámská a tzv. unisex (tedy společnou variantu pro obě pohlaví). Běžně respektovaná výchozí kategorizace stanovuje následující třídění:

1. Městská kola (Obr. 1)

Obrázek 1: Městské kolo (https://www.cyklospeciality.cz/files/viagio/Viaggio_BLACK.jpg)

Skupina charakterizovaná vysokým jízdním komfortem bez požadavku na vysoký výkon. Kola jsou přizpůsobena užívání bez nutnosti převlékání, takže nezbytnou výbavou jsou hluboké blatníky a kryt řetězu. Rám je koncipován pro pohodlný vzpřímený posez a přizpůsoben pro snadné nastupování a vystupování. Převodování je nejčastěji řešeno vícestupňovou planetovou převodovkou umisťovanou do náboje zadního kola. Touto cestou je minimalizováno riziko spadnutí řetězu při změně převodu. Významným prvkem komfortu je odpružení, které je řešeno aplikací odpružených sedaček, sedlovek, představců řídítek či přímo odpruženou přední či zadní vidlicí.

2. Sportovní kola

Typizace kol v rámci této skupiny je založena zejména na účelu jejich využití. Nejčastěji je možné se setkat s následující kategorizací:

2.1. Silniční kola (obr. 2)

Obrázek 2: Silniční kolo (https://www.koloshop.cz/jizdni-kola-silnicni-kola-18/Cannondale-Synapse-Carbon-Ultegra-Disc-2016-CRB-silnicni-kolo.html)

Silniční kola jsou, jak název napovídá, určena k jízdě po hladkém, nejčastěji asfaltovém povrchu. Mají proto uzpůsobený rám i prvky na něm. Jsou velmi lehká, aerodynamická, mají nízký profil pneumatik pro nízký valivý odpor a nemají odpružení. Z těchto a dalších důvodů jsou schopna dosáhnout vysokých rychlostí. Typické převody jsou 2 x 11, dnes už někdy 2x12. Rámy jsou extrémně tuhé, aby nedocházelo ke ztrátám energie při šlapání, podle účelu se mění geometrie od extrémně zatáčivých kol po kola, která jsou velmi stabilní v přímém směru, ale zatáčení je moc nebaví. Brzdy nejčastěji stále ráfkové, ale začínají se ve větší míře prosazovat kotoučové. Pláště jsou hodně profilované jako u motocyklů, aby držely v zatáčkách (nemají hluboký vzorek, mají pořád stejnou styčnou plochu). Rámy se nejčastěji vyrábí z karbonových kompozitů, jelikož jsou pak velmi tuhé a extrémně lehké (rámy neváží více jak 1000 gramů). Řazení se čím dál častěji realizuje pomocí elektronických přehazovaček, které mají plynulejší a přesnější chod. Výplety kol mívají s menším počtem paprsků, čímž se dosáhne nižší rotující hmotnosti, kterou je potřeba uvést do pohybu. Z toho plyne lepší akcelerace a decelerace.

2.2. Treková kola (obr. 3)

Obrázek 3: Trekové kolo (http://i.idnes.cz/11/041/cl5/TOM3a4487_sportster_20_MEN.jpg)

Treková kola jsou kola určená do velmi lehkého terénu, spíše na upravené cyklostezky. Některá mají přední odpružení, nicméně to není nutné vzhledem k jejich určení. Hodí se do měst, kde není terén. Na

nerovnostech jsou pohodlnější než silniční kola a nejsou zdaleka tak cenově náročná. Mají nižší profily pneumatik než kola horská a proto nekladou takový odpor na zpevněných cestách. Převody mívají většinou 3x9, a to proto, aby si uživatel mohl vybrat z velkého počtu možností. Brzdy jsou často pouze ráfkové, jelikož kotoučové nejsou zkrátka potřeba. Odpružení bývá v rozsahu zdvihu 80-100mm, přičemž jsou tyto vidlice na bázi tlumícího oleje a pružiny.

2.3. Horská kola

První horská kola se objevila v polovině 80. let minulého století jako kola pro každou příležitost. S nadsázkou lze říci, že se jednalo o ekvivalent dnešních SUV v oblasti automobilů. S postupem doby docházelo k pochopitelnému vývoji kategorie, která dnes zahrnuje řadu typů kol přizpůsobených konkrétnímu účelu jejich využití. Prakticky všechny následující podkategorie jsou k dispozici ve variantě neodpružené, částečně odpružené (užívané označení pro kola s pevnou zadní vidlicí a odpruženou přední (obr. 4)) a plně, nebo také celo-odpružené (obr. 5).

Obrázek 5: Částečně odpružené

Obrázek 4: Celo-odpružené

Tato kola jsou určená do terénu na rozbité polní a lesní cesty. Oproti silničním kolům nejsou tak aerodynamická, jsou výrazně těžší a s pneumatikami s širokou stopou mají i větší valivý odpor. Aby mohla zdolávat náročné úseky, mají odpružení. Částečně odpružená kola jsou určená spíše k jízdě krajinou a ke zdolávání delších cest, protože oproti celo-odpruženým jsou většinou lehčí a mají větší počet převodů pro jízdu do kopce. Celo-odpružená kola jsou pak lepší při jízdě z kopce, jelikož při vysoké rychlosti přes nerovnosti odtlumí i větší překážky. To díky zadnímu odpružení, které umožnuje pohyb zadního kola. Jsou ale i typy celo-odpružených kol, které jsou někde mezi oběma typy, kdy mají nižší zadní zdvih a nejsou tak těžká a lze s nimi bez problémů jezdit celý den.

Podle typu terénu a jízdy se kola mohou dělit na následující kategorie:

1) Cross country – lehký terén, univerzální použití, zdvihy odpružení do 100mm
2) Allmountain – středně těžký terén, zdvihy odpružení do 140mm
3) Enduro – těžký terén, zdvihy odpružení do 160mm
4) Freeride – velmi těžký terén, zdvihy odpružení okolo 180mm
5) Downhill – speciálně určené pro náročné sjezdy, zdvihy odpružení okolo 200mm

3. Speciální kola

Tato kategorie je zavedena pro účely práce pro typy, které se nevešly do výše zmíněného členění, ale s ohledem na kompletnost přehledu je nelze opominout. Jedná se zejména o stroje postavené na kombinaci výše uvedených variant, jako např. krosová kola pro závodní účely, kola pro triatlon, dráhová kola apod.

Obrázek 6: Skládací kolo (http://priblizovadla.cz/wp-content/uploads/DahonMuSL-01.jpg)

Samostatnou kategorii pak tvoří kola skládací (obr. 6), která se nachází v nabídce výrobců napříč výše uvedenými kategoriemi a motivem jejich vývoje především snížení jejich nároků na prostor při transportu či skladování.

Opomenout nelze kategorii, která se v našich končinách teprve prosazuje, ale u které je vzhledem k obecnému trendu stárnutí populace očekáván její dynamický rozvoj. Řeč je o elektrokolech. Vedle elektrokol s integrovanými pomocnými pohony v rámu (obr. 7 – pohonná jednotka v rámové trubce), nebo nábojích kol (obr. 8 – pohonná jednotka v náboji kola) jsou k dispozici různé přestavbové sady (obr. 9), pomocí kterých lze o elektropohon doplnit prakticky libovolné jízdní kolo.

Obrázek 7: Pohonná jednotka v rámu (http://www.active-sport.cz/files/photo/1610/full_p1bcd0e3967cg19tt11k11c8or504.jpg)

Obrázek 8: Motor v náboji kola (https://e-shop.leaderfox.cz/pictureprovider.aspx?z=300&path=//ESHOPLF/web/images/storecards/K17-36-29-1-1-18/E-BIKE%20SWAN%2029%20blackmatt_orange_xdetail%20(5).jpg)

Obrázek 9: Elektrosada (http://img.akumo.cz/images/elektrosady/zapletene_motory.jpg)

Uvedený přehled snad v dostatečné míře ukazuje, jak široké možnosti svým zákazníkům dnešní cyklistický průmysl nabízí, a že snad každý, kdo chce na kole jezdit, najde produkt, který splní jeho představy a potřeby.

Já osobně preferuji jízdu v náročnějším terénu přes kopce a údolí možná proto, že bydlím na okraji CHKO Křivoklátsko. Zde je spousta vrcholů a mnoho údolí podél řeky Berounky, které jsou z pohledu cyklisty velkou výzvou. Z pohledu strojaře je pak pro mě stejně velkou výzvou návrh vlastní geometrie rámu, bezvýhradně přizpůsobené mým fyzickým parametrům a jízdním preferencím.

2. Cíle práce

Cílem práce je návrh geometrie rámu horského kola s pevnou zadní stavbou pro použití v náročnějším terénu bezvýhradně přizpůsobené fyzickým parametrům a jízdním preferencím autora práce.

Tohoto cíle bude dosaženo v několika následujících krocích:

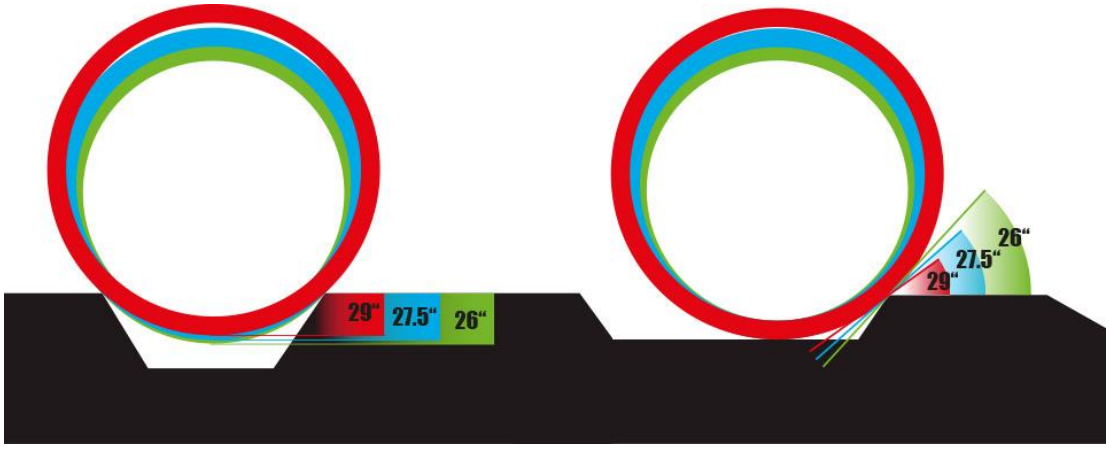
1. shromáždění dostupných informací o geometrii rámu, o vlivu jejích parametrů na jízdní projev kola a o způsobu jejich návrhu
2. zmapování materiálů pro výrobu rámů a technologií pro jejich zpracování
3. zmapování trhu komponent pro výrobu rámů
4. zmapování trhu komponent jízdních kol
5. návrh vlastní geometrie
6. úvaha nad konstrukčním řešením rámu
7. vizualizace rámu

3. Teoretická východiska

Následující kapitoly přinesou přehled východisek, které budou využity pro návrh vlastní geometrie.

3.1. Pláště horských kol

Budeme-li se věnovat velikostem u horských kol, pak lze říci, že každý rozměr má svá pro i proti.



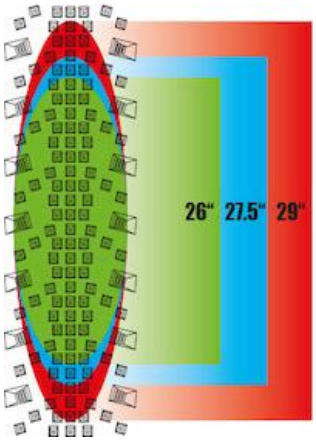
Obrázek 10: Porovnání velikostí kol (Katalog Superior Riding smart Catalogue 2015)

Pro velikosti 29“ a 27,5“ hovoří především vyšší setrvačnost v terénu, snazší přejíždění nerovností, stabilní vedení stopy a větší jistota při překonávání překážek. Důvodem je větší průměr a větší

kontaktní plocha pneumatiky. V porovnání s velikostí 26“ velikosti 29“ a 27,5“ překonávají překážky pod mírnějším úhlem. Nerovnosti je pak snazší přejet, což dělá jízdu plynulejší a bezpečnější. S tím se také snižuje riziko defektu či poškození ráfku kola. Pro velikost 26“ hovoří hlavně obratnost a „hravost“ v terénu. Tato velikost je určená hlavně pro jezdce s menší postavou do asi 160cm.

Na obrázku 10 lze vidět tyto výhody větších průměrů, kdy je zjevné, že kolo o průměru 29“ přejede překážky snáz než kolo s průměrem 26“. Méně totiž zapadávají do děr a mají mírnější nájezdový úhel. Proto lze jet plynuleji a rychleji.

Na dalším obrázku (obr. 11) je vidět, že větší kola mají větší kontaktní plochu pláště s terénem. Z toho plyne silnější záběr bez prokluzu, rychlejší akcelerace a kratší brzdná dráha.



Obrázek 11: Kontaktní plochy (Katalog Superior Riding smart Catalogue 2015)

3.2. Geometrie rámu

Geometrie jízdního kola má velký vliv na jízdní vlastnosti a projevy v terénu. Každý její prvek má sám o sobě vliv na jízdu, ale teprve v kombinaci s ostatními prvky se dá hodnotit celkový projev kola. Zde si uvedeme jednotlivé prvky geometrie a tedy jejich vlivy na jízdní vlastnosti.

Jak lze vidět na obrázku 12, rám je tvořen několika základními parametry:

A) Délka sedlové trubky

B) Efektivní délka horní trubky a její sloping

C) Úhel sedlové trubky

D) Úhel hlavové trubky

E) Délka zadní stavby

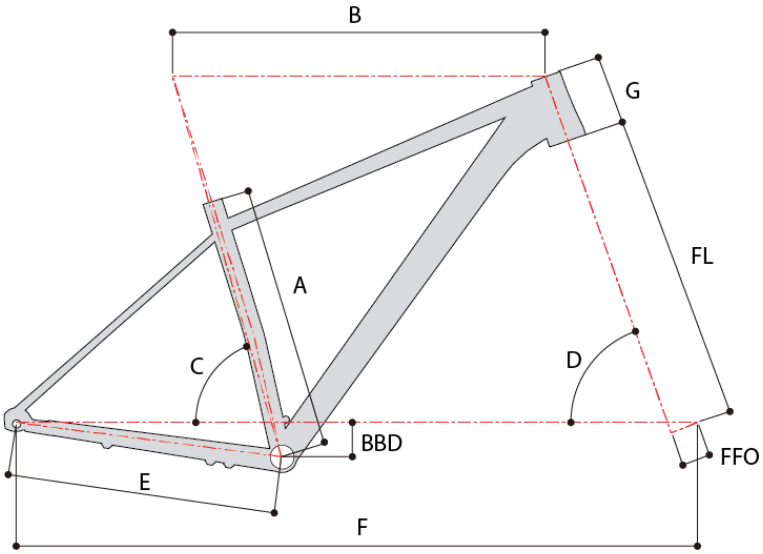
F) Celkový rozvor

G) Výška hlavové trubky

BBD) Bottom bracket drop - neboli středové snížení

FFO) Front fork offset - neboli ofset vidlice

FT) Fork trail – neboli stopa (není na obrázku)



Obrázek 12: Prvky geometrie (https://superiorbikes.eu/cz/2017/)

3.2.1. Délka sedlové trubky (A)

Délka sedlové trubky (obr. 13) je základním parametrem velikosti kola. U většiny výrobců se uvádí v palcích, u některých jak v palcích, tak v milimetrech. Pokud si jde člověk kupovat nové kolo, tak podle velikosti k jeho postavě. Tabulka 1 uvádí velikosti rámu kola v závislosti na výšce postavy:

Tabulka 1: Velikosti rámů

výška postavy [cm]	160-170	170-180	180-190	190-200
velikost rámu [“]	15,5 (S)	17,5 (M)	19,0 (L)	21,0 (XL)
délka trubky [mm]	393	431	482	533

Jelikož ale výrobci mají různé metodiky měření této délky, jsou údaje při porovnávání délek od různých výrobců irelevantní. Protože jeden výrobce může tuto trubku měřit až k jejímu konci u sedla a druhý výrobce délku měří pouze k průsečíku s horní rámovou trubkou. Tudíž je nutno vědět, kam daná firma trubku měří. Poté podle postavy lze vybrat délku. Délka trubky vychází z převodu palců na milimetry, kdy 1“= 25,4 mm.

Pokud jezdec vybere jinou než odpovídající délku, pak:

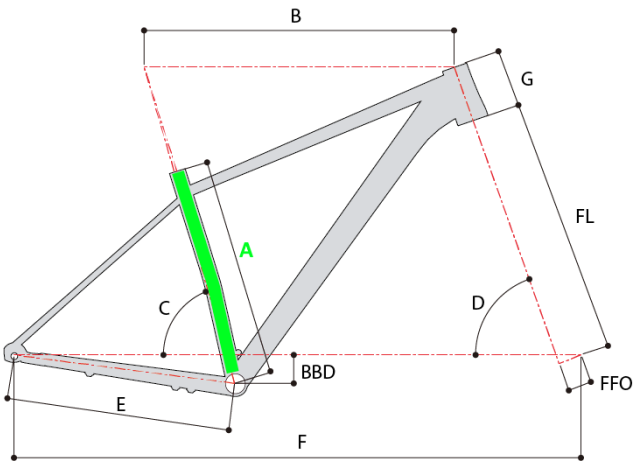
čím bude trubka vyšší, tím bude jezdec dále od řídítek

čím vyšší bude, tím výše bude středisko hmotnosti

čím nižší, tím hůře bude jezdec využívat energii ke šlapání

Sedlové trubky bývají v dnešní době často prohnuté u spodního konce, aby zadní kolo a potažmo zadní stavba mohli být blíže středu šlapání a tím mohlo být kolo obratnější (viz dále). Pokud je trubka takto prohnutá, je jezdec a jeho těžiště více nad zadním kolem. To může být přínosem při jízdě z kopce, ale při jízdě do kopce je pak riziko zvedání předního kola od povrchu a tím i ztráta trakce a energie.

Obecně lze říci, že kratší sedlová trubka znamená celkově menší rám kola. Tedy i menší rám pak znamená nižší hmotnost a poměrně lepší obratnost v terénu. Jelikož ale menší rámy mají jiné (často rozměrnější) komponenty než rámy větší, tak jsou často jen o pár set gramů lehčí (o cca 200g).



Obrázek 13: Sedlová trubka

3.2.2. Efektivní délka horní trubky a její sloping (B)

Více užitečným parametrem než délka sedlové trubky je délka horní trubky (obr. 17). Protože právě podle ní se dá určit, jak daleko bude jezdec od řídítek, respektive od hlavové trubky. Uvádí se efektivní hodnota, jelikož samotná délka je nicneříkající z důvodu sklonu trubky a orientace mezi hlavovou a sedlovou trubkou. Čím bude trubka delší, tím bude jezdec dál, tím bude muset být více ohnutý v zádech a bude se více namáhat při šlapání v náročnějším terénu. Délka ovlivňuje i rozvor kol tak, že od sebe vzdaluje sedlovou a hlavovou trubku. Pokud zase na druhou stranu jezdec zvolí moc krátkou délku, pak bude mít problémy ve stoupáních, kdy se bude kolo zvedat na zadní. Bude sedět moc vzpřímeně a nebude moci využít správně energii ke šlapání.

I když ale budou mít dvě různá kola stejnou délku horní trubky, neznamená to, že budou stejně velká či že se budou podobně ovládat. Zde záleží právě i na sklonech ostatních trubek a jejich délkách.

Nicméně nejlepším parametrem pro výběr (návrh) nového kola je právě efektivní délka horní trubky.

Rozměry se pohybují v závislosti na velikosti rámu od 550mm do 700mm. Toto je však pouze informativní, jelikož každý výrobce má své postupy a prakticky každý rozměr je možný.

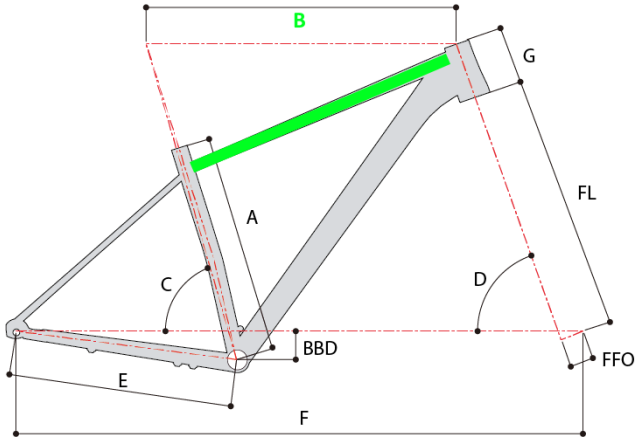
Na obrázcích 14 a 15 lze vidět různá provedení horních trubek s různou efektivní délkou:

Obrázek 15: Specialized Rockhopper

Obrázek 14: GT Zaskar

Obrázek 16: Specialized Jynx

Jak lze vidět, horní trubky mohou být různě prohýbané a pod různými úhly. Tomuto se v oboru říká Sloping horní trubky. Tento prvek je výhodou, pokud je například jezdec menšího vzrůstu a potřebuje mít horní trubku níže z důvodu nižšího rozkroku. Celkově kompaktnější rozměry a hladší návaznosti mezi horní trubkou a zadními vzpěrami napomáhají k celkově lepšímu jízdnímu projevu rámu a jeho vyšší tuhosti.



Obrázek 17: Horní rámová trubka

3.2.3. Úhel sedlové trubky (C)

Tento úhel (obr. 19–C) má pouze nepřímý vliv na geometrii rámu. Obecně lze říci, že mezi různými výrobci se úhel na stejné velikosti rámu neliší. Liší se pouze mezi velikostmi rámu, ale i to je nepatrné.

Tento úhel hlavně určuje předozadní polohu jezdce, kdy menší úhel posune jezdce nad zadní kolo a naopak větší úhel ho posune blíže k řídítkům. Pokud bude jezdec moc vzadu nad zadním kolem, pak má vyšší trakci při výjezdech, ale na druhou stranu se mu při tom bude zvedat přední kolo a bude celkově nervóznější. Bude-li sedlová trubka skloněná pod větším úhlem, bude těžiště více nad středem, zadní kolo nebude mít takovou trakci a přední kolo bude naopak zatěžováno větší silou, což vede k horšímu ovládání. Strmých úhlů se používá hlavně u silničních kol, kde je potřeba aerodynamická poloha jezdce a jeho hlava co nejníže.

U horských kol se úhly sedlové trubky pohybují od 70° do 75° a tyto hodnoty se moc nepřekračují ani nemění. Pokud úhel nevyhovuje, pak jej lze trochu upravit pomocí posunutí sedla dopředu, respektive dozadu.

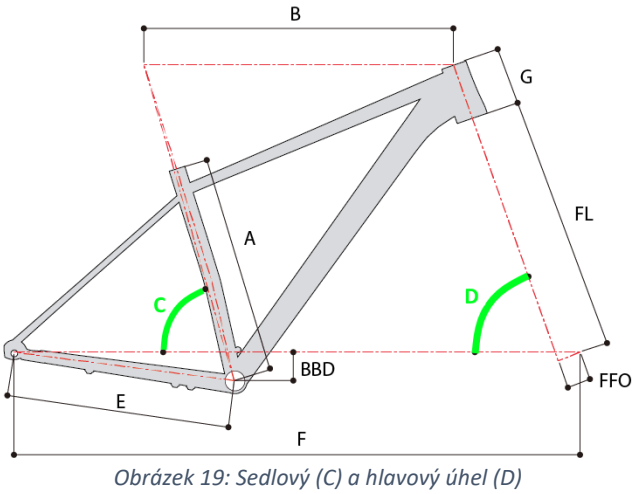
3.2.4. Úhel hlavové trubky (D)

Tento parametr (obr. 19–D) určuje, jak moc je hlavová trubka (a s ní i vidlice) skloněná. Čím bude úhel menší, tím bude kolo lépe držet v přímém směru a při vyšších rychlostech. Bude ale hůře reagovat na povely jezdce. Opačně vyšší úhly znamenají agilnější kolo ale nestabilní při sjezdech. S tímto úhlem souvisí i pojem „stopa“, viz dále.

Úhly se pohybují v rozmezí zhruba od 62° do 70° (sjezdové disciplíny) nebo od 69° do 74° (běžná kola).

Obecně lze tedy říci, že nižší úhel hlavové trubky je vhodnější zejména pro jízdu z kopců. Poté není takové riziko „jít“ přes řídítka. Pro porovnání rozdílu 63,5° a 71° viz obrázek 18.

Obrázek 18: Úhel 71° (VLEVO) a 63,5°



Obrázek 19: Sedlový (C) a hlavový úhel (D)

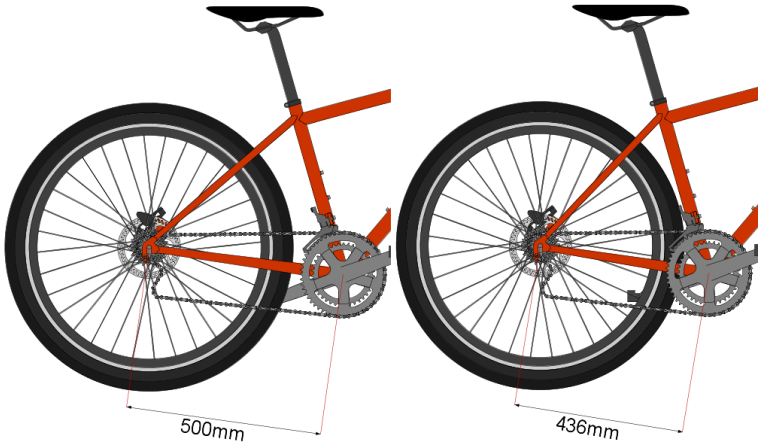
3.2.5. Délka zadní stavby (E)

Tento prvek je podle mého názoru velmi důležitý. Závisí na něm rozvor kola a ovládání ve sjezdech a výjezdech. Je-li osa zadního kola dále od středu šlapání (delší zadní stavba) má kolo delší rozvor a tudíž má lepší stabilitu a lépe vede směr. Navíc má dobré vlastnosti při výjezdu do kopců, kdy se přední kolo méně zvedá. Ale může se stát, že zadní kolo nebude mít takový záběr. Právě záběr bude lepší u kola s kratší zadní stavbou, kdy je jezdce více nad zadním kolem a tím je i těžiště posunuto více vzad. Celé kolo je pak kratší a má tudíž lepší obratnost a snáze se ovládá. Horší bude ale ve výjezdech, kdy se může zvedat přední kolo.

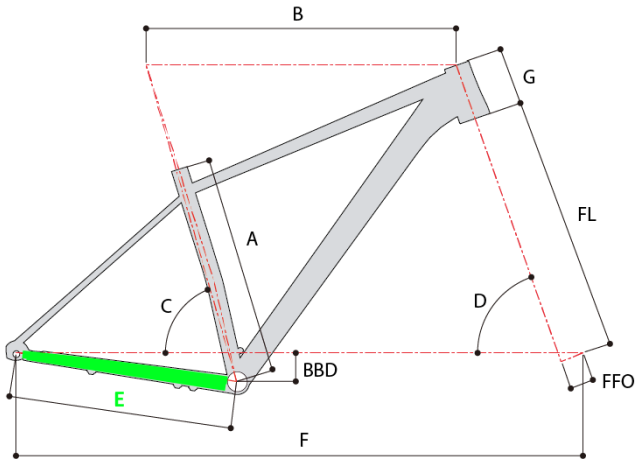
Tato délka se většinou pohybuje okolo 400 – 450 mm, kdy záleží na velikosti rámu a na určení kola. Hravější kolo bude mít délku zhruba 410mm a kolo pro jízdu ve vyšších rychlostech bude mít délku skoro 450mm.

Mohlo by se zdát, že když bude zadní stavba dlouhá, nebude tak pevná jako stavba kratší, ale to již díky dnešním materiálům neplatí. Výrobci duralových trubek umí zajistit potřebnou tuhost a zároveň nízkou hmotnost. Nemluvě o karbonových rámech, kdy je tuhost ještě výrazně vyšší a hmotnost také nižší.

Na obrázku 15 lze vidět rozdíl mezi zadní stavbou, která by byla 500mm dlouhá a stavbou dlouhou 436mm. Bylo použito softwaru BikeCAD (https://www.bikecad.ca). Příliš dlouhá zadní stavba znamená příliš dlouhý rozvor kol a také horší ovládání v zatáčkách. Ani prostor mezi zadní gumou a sedlovou trubkou není využit na plno.



Obrázek 20: Délka zadní stavby 500vs436mm (https://www.bikecad.ca)



Obrázek 21: Zadní stavba

3.2.6. Celkový rozvor (F)

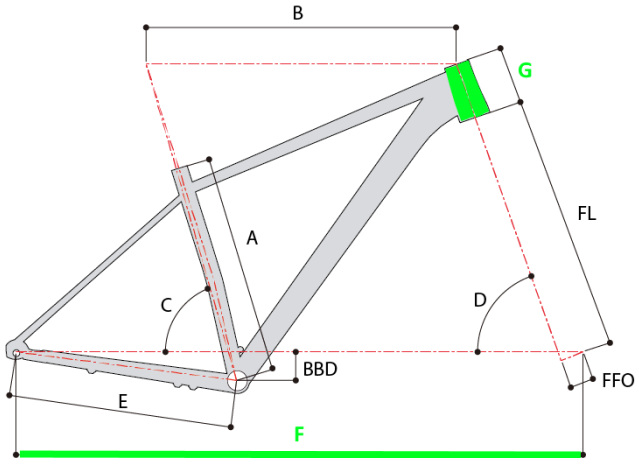
Tento pojem představuje vzdálenost od osy předního kola k ose kola zadního (viz obr. 24-F). Hodnota délky rozvoru závisí na výše popsaných prvcích geometrie a je výsledkem jejich nepřímého součtu. Pokud bych je měl shrnout, dostal bych tuto trojici – úhel hlavové trubky, délka horní trubky, délka zadní stavby. Tyto tři parametry jsou nejrelevantnější. Rozvor rovněž celkem logicky přímo závisí na velikosti celého kola, kdy větší kolo rovná se delší rozvor. Z této skutečnosti lze rovněž logicky odvodit jeho vliv na jízdní vlastnosti - delší rozvor znamená stabilnější kolo, kratší pak snazší ovladatelnost. Delší kolo bude stabilnější ve výjezdech, oproti kolu s kratším rozvorem bude ale méně agilní ve sjezdech či v zatáčkách. Rozvor ale nelze jen tak zkrátit na co nejmenší hodnotu, jelikož je tu riziko, že by jezdec mohl nohou zavadit o řetězové vzpěry zadní stavby nebo přehazovačku. Hodnoty se volí podle velikosti jezdce nebo podle určení kola. Kola na Cross-country mívají rozvor kolem 1090mm až 1190mm. Kola na Downhill (sjezd) mají rozvor ještě delší a to až nad 1200mm.

3.2.7. Výška hlavové trubky (G)

Tento rozměr (obr. 24-G) nepřímo značí, jak vysoko budou řídítka nad horní rámovou trubkou. Bude-li hlavová trubka delší, znamená to, že se jezdec nebude muset tolik hrbit. Zároveň to ale znamená, že bude mít vyšší posed a bude mít vyšší odpor při jízdě. Na rozdíl od silničních kol, která mají hlavové trubky velmi krátké (viz obr. 23), mají horská kola tyto trubky více dlouhé. Lze tento rozměr ale upravovat. To hlavně z důvodu podložek pod představec (obr. 22), kterým se také upravuje výška řídítek. Znamená to tedy, že kolo s dlouhou hlavovou trubkou bez podložek pod představcem bude mít řídítka stejně vysoko, jako kolo s kratší trubkou, ale s podložkami.

Obrázek 23: Krátká hlavová trubka (http://cdn.mos.bikeradar.imdserve.com/images/news/2017/03/26/trek-domane-slr-race-shop-limited-disc---2-1490560429832-1lt6dfgmg2agg-630-354.jpg)

Obrázek 22: Podložky pod předsatvcem (https://www.mtb-mag.com/wp-content/uploads/2015/03/03.jpg)



Obrázek 24: Rozvor (F) a délka hlavové trubky (G)

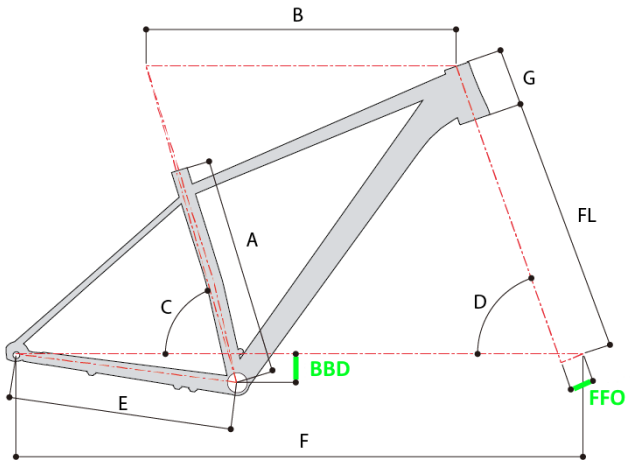
3.2.8. Bottom bracket drop (BBD) – Pozice středu šlapání

Bottom bracket drop, neboli snížení středu, je míra, která udává, jak nízko je střed s klikami vůči ose mezi koly (viz obr. 25-BBD). Pokud by byla hodnota rovna nule, pak by to znamenalo, že osa klik je ve stejné rovině jako osa spojující obě kola. U silničních kol je střed velmi nízko z důvodu posunu těžiště blíže k vozovce. To ale nejde praktikovat u kol horských, protože horská kola musí mít dobrou prostupnost terénem. A aby byla schopna v terénu uspět, musí být střed s klikami méně pokleslý. Obvykle se tyto hodnoty volí i s ohledem na délku samotných klik, ale lze považovat za běžná čísla hodnoty kolem 55 až 65mm. Je logické, že pokud bude středové složení posunuto blíže k zemi, pak je větší šance kontaktu středového složení se zemí a možného poškození. Na druhou stranu ale nižší středové složení znamená nižší středisko hmotnosti a lepší jízdní vlastnosti, zejména v zatáčkách. Některá horská kola mají v dnešní době středové složení s možností výběru a změny polohy. Zde jde ale spíše o posuny dopředu či více dozadu, nikoli výše nebo níže.

3.2.9. Front fork offset (FFO) – Závlek přední osy

Front fork offset znamená ofset přední vidlice. Je to délka, o kterou přečnívá osa předního kola vůči ose hlavové trubky (viz obr. 25-FFO) Tato hodnota se měří kolmo mezi těmito osami. Parametr není dán geometrií samotnou, jelikož přímo závisí na použité přední vidlici. Lze s ním sice počítat při návrhu rámu, ale jeho hodnota nemusí být konečná. Tuto hodnotu výrobci udávají a většinou se u jedné značky mění v závislosti na velikosti zdvihu a určení (viz příloha 1 – výkres vidlice Fox). Hodnota tohoto ofsetu znamená také prodloužení rozvoru kol a stopy (viz dále). Je tedy velmi důležitá, protože ovlivní ty pro jízdu důležitější prvky. To, co ofset přední vidlice ovlivní přímo je právě stopa kola, o které bude pojednáno dále.

Hodnoty ofsetu se pohybují zhruba okolo 35mm až 55mm.



Obrázek 25: BBD a FFO

3.2.10. Fork trail (FT) - Stopa

Tímto naváži na předchozí prvek geometrie ofset vidlice, jelikož stopa na něm přímo závisí. Stopa je rozměr, který dostaneme, když spojíme místo, kde na zemi končí osa hlavové trubky, s místem, kam by šla dolů spuštěná osa předního kola (viz obr. 25). Na obrázku 25 je také vidět, že bude-li ofset větší, bude stopa kratší a naopak. Stopa má velký vliv na jízdní vlastnosti. Při delší stopě bude kolo lépe držet směr a bude více stabilní. Bude i snáze pokračovat ve směru jízdy z důvodu „samo centrování“ kola, kdy rotující hmotnost chce držet rovinu rotace. Nebude ale tak obratné v zatáčkách ani ve stoupáních či jiných situacích, kdy je potřeba jemné korekce dráhy či objetí překážek.

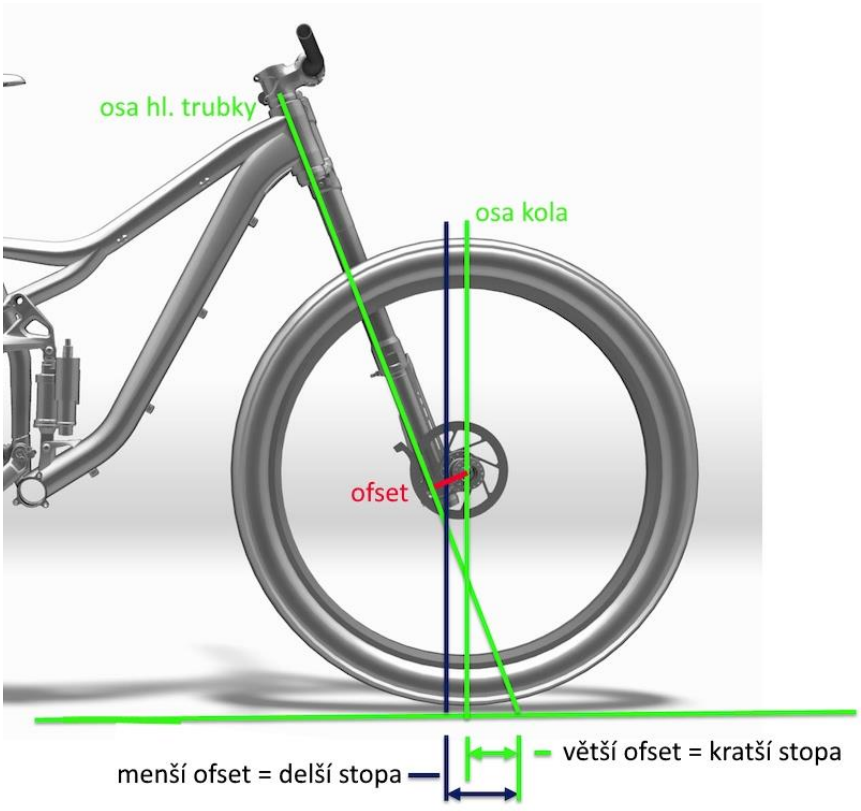
Stopa také přímo závisí na úhlu hlavové trubky, jelikož čím bude úhel větší, bude i stopa delší. Teoreticky lze délku stopy spočíst pomocí následující rovnice:

$$Stopa = (Poloměr\ kola - (ofset\ vidlice)/(\sin(90 - \alpha))) * tg(90 - \propto) \quad (1)$$

kde α je úhel hlavové trubky a poloměr kola se bere od země do středu náboje kola.

Nicméně tento vzorec závisí i na nahuštění plášťů a není tedy úplně přesný.

Pokud by byla hodnota stopy rovna nule, bylo by teoreticky kolo schopné za jízdy protáčet řídítka dokola a pokračovat v jízdě. Výrobci horských kol velmi „míchají“ s těmito hodnotami. Není se co divit, když lze kratší ofset dohnat na celkové délce rozvoru a výsledek bude stejný jako u kola s kratším rozvorem, ale delším ofsetem.



Obrázek 26: Stopa (https://ep1.pinkbike.org/p4pb9516905/p4pb9516905.jpg)

3.3. Materiál rámu

O volbě materiálu rámu rozhoduje především určení kola (závodní, speciální, rekreační apod.). Tyto rámy lze kategorizovat podle materiálů do 4 hlavních skupin (pozn. aut.: použité názvosloví odpovídá v oboru zavedené konvekci):

1) Ocelové rámy

2) Hliníkové slitiny

3) Kompozitové rámy

4) Titanové rámy

Toto jsou v dnešní době nejběžnější materiály na výrobu rámů kol. Ocel byla universální volba pro závodní rámy, dokud se neobjevil na scéně hliník nebo později (v 90. letech) karbonová vlákna. Lze tyto materiály mezi sebou i kombinovat (např. patky jsou z titanu, ale zbytek rámu je z kompozitu).

Mezi rámy jsou samozřejmě rozdíly ve vlastnostech i cenách. Tyto vlastnosti si rozebereme jednotlivě pro každou skupinu zvlášť.

3.3.1. Ocelové rámy

Ocel na rámy lze rozdělit na dva typy. Prvním je vysoko-pevnostní ocel, která je levnější verzí ocele. Používá se hlavně na levnější rámy, především z obchodních domů apod. Nabízí nízký poměr pevnosti a hmotnosti a z toho důvodu se již moc nepoužívá. Druhým typem ocele je chromolytická ocel (nebo také chrom-molybdenová ocel), což je legovaná ocel dosahující vysoké pevnosti oproti prvnímu typu. Díky tomu může být zeslabována a tím je rám lehčí.

Ocel není drahá, má vysokou výdrž a odolnost, velmi dobře odolává únavě, snadno se opravuje (svary mohou být znovu svařeny) a dobře se s ní pracuje. Překvapivě i přes svou pevnost nabízí ocel dobrou elasticitu a tím i komfort. Nevýhodou je, že ocel může zreznout a je těžší než jiné materiály.

Kola pro dlouhé výpravy (enduro, maraton) jsou často vyrobené z ocele právě kvůli pevnosti a výdrži. To umožňuje jezdcům brát s sebou mnoho výbavy (stany, jídlo, …) a neomezit výkonost kola. Ocel se také objevuje u „vstupních“ kol nebo kol pro rekreační jízdu, kde váha nehraje takovou roli.

Pro spojování trubek z oceli se používá podobný postup sváření jako u hliníkových slitin, ale existují další možnosti, včetně pájení nebo použití oček. Svařuje se pomocí metody TIG (WIG). Tato metoda je výhodná hlavně pro to, že svary budou ideálně hladké a nevystupující. Pájení je podobné TIG svařování, ale pájení používá vyplňující materiál, který se roztaví a spojí trubky. Plnící materiál je většinou stříbro nebo mosaz, ale je nesčetné množství dalších slitin. Použití oček působí jako konektory v bodech spojení rámu, čímž vznikne objímka, do které se trubky zasunou. Před konstrukcí rámu jsou konce trubek přesně vyříznuty tak, aby perfektně zapadly do oček, a pak se spájí. Použití oček vytváří nesmírně silný spoj. Trubky lze také tvarovat pomocí metody zvané Hydroforming (viz 3.3.2. Hliníkové rámy).

Ocelové rámy jsou možná nejjednodušeji opravitelné díky jednoduchosti sváření nebo díky tomu, že ocel vydrží opětovné zahřívání. Z těchto důvodů je ocel vhodná pro kola na dojíždění do práce, městská kola, rekreační kola a také pro kola s nutnou velkou výdrží.

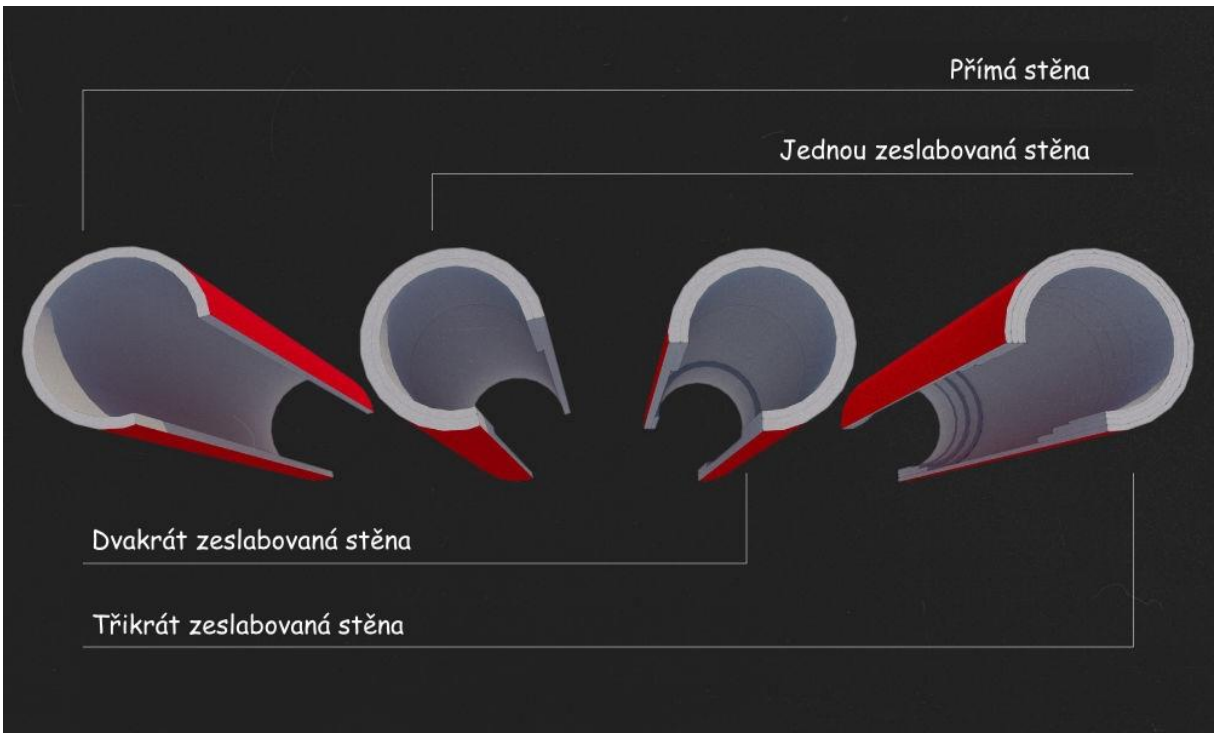
3.3.2. Hliníkové slitiny

Rámy ze slitin hliníku (dále jen hliníkové) jsou možná nejrozšířenější v moderní cyklistice, a to jak přímo na rámech tak také na jejich komponentech. Hliník jako materiál nemá velkou hustotu a právě proto se používá na lehké konstrukce jízdních kol. Rámy z hliníku jsou relativně levné na výrobu, zejména ve srovnání s karbonovými rámy, které jsou na výrobu 14x časově náročnější. Hliník má také dobrý poměr pevnosti a hmotnosti a výborně odolává korozi. Hůře se ale opravuje a je náchylný na únavu materiálu. Při nízké hustotě a stejné tloušťce není hliník tak pevný jako ocel, ale je mnohem lehčí a lépe odolává korozi. Nevýhodou je také únava materiálu, kdy nejlépe zkonstruované rámy vydrží zhruba „jen“ celý život.

Stejně jako karbon i hliník je v různých formách a je vždy doplněn legujícími a minerálními prvky. Výběr materiálu má vliv i na jízdní vlastnosti jako pohodlí, pevnosti v krutu a ohybu a další.

Nejvíce se používá duralové slitiny hliníku. Jsou to slitiny hliníku s mědí, hořčíkem či manganem. Hliníku je zhruba 90-96% a asi 4-6% mědi. Oproti čistému hliníku s měrnou hmotností 2,7 g/cm^3 je dural jen nepatrně těžší, má 2,8 g/cm^3. Dural má ale asi 5x vyšší pevnost v tahu. Snadno se obrábí a svařuje či lepí. Nevýhodou je malá schopnost tlumit otřesy a pohlcovat rázy, neboť duraly mají malou anelasticitu (dopružování, vnitřní útlum).

Společně s možností tvarování trubek Hydroformingem lze trubky z hliníku také zeslabovat. Tím se dá ušetřit hmotnost a zajistit vyšší tuhost. V zásadě jde o zeslabování stěn středu trubek pro snížení hmotnosti a zároveň udržení širších konců pro místa svařování (viz obr. 27).



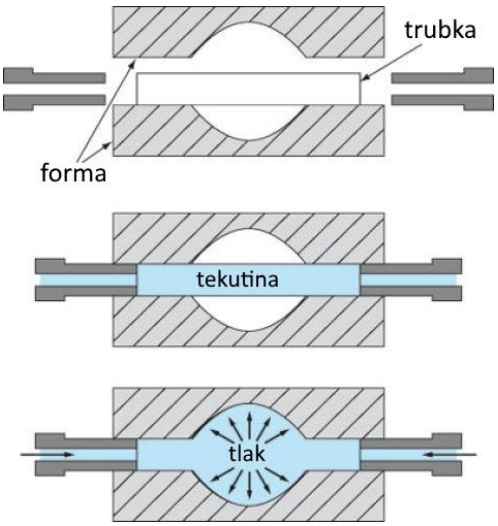
Obrázek 27: Zeslabování trubek (https://www.bikeexchange.com.au/blog/bike-frame-materials-explained)

Trubky s přímou stěnou nemají proměnlivou tloušťku stěny, což dodává konzistentní pevnostní vlastnosti, kdežto jednou, dvakrát a třikrát zeslabované stěny mají různé tloušťky stěn a to dovoluje mít pevné konce trubek v místech spojení ale žádný přebytečný materiál uprostřed trubek.

Jednou zeslabované trubky budou tlustší pouze na jednom konci, kde je potřeba vyšší pevnost a také na specifických místech jako je střed rámu pod sedlovou trubkou. Dvakrát zeslabované trubky jsou rozšířené na obou koncích. Příkladem je třeba dolní rámová trubka, kde je potřeba vyšší pevnosti na obou koncích jak u sedlové trubky, tak i u hlavové trubky. Třikrát zeslabované trubky mají podobné výhody jako dvakrát zeslabované, ale dále redukují váhu uprostřed trubky.

Podle typu trubek se také odvíjí cena, kdy rámy s levnou výrobou budou mít přímé stěny a opačně závodní hliníkové rámy budou mít třikrát zeslabované trubky.

Stejně jako mohou být hliníkové trubky zeslabovány, mohou být i tvarově upravovány. To se děje pomocí procesu zvaného Hydroforming. Je to způsob tvarování trubek za použití formy a tekutiny pod tlakem (viz obr. 28). Hliníková trubka je umístěna do formy daného tvaru. Vstřikovače pak vpustí do trubky kapalinu pod extrémním tlakem, což způsobí, že se trubka vytvaruje přesně podle formy. Této techniky se využívá hlavně při optimalizování tvaru pro dodatečnou pevnost (například u hlavové trubky) za nenutnosti dalšího přídavného materiálu. Lze tímto procesem dosáhnout prakticky jakéhokoliv průřezu trubek (viz obr. 29).



Obrázek 28: Hydroforming (http://www.designlight.se/files/ror01.jpg)

Obrázek 29: Tvary trubek (http://www.shuztung.com/new/web_c/images/02_products/Hydroforming.png)

Po zeslabování a tvarování trubek je možné tyto trubky spojit. To se nejčastěji děje svařováním. Sváří se metodou TIG (WIG), kdy je použito přídavného materiálu, který je shodný s rámem. Je cílem vytvořit hladký a široký svar, který se případně dočistí a zahladí. Dnešní rámy se takto svařují automaticky, kdy odpadá možnost selhání lidského faktoru. Svary jsou tím kvalitnější, přesnější a svařování trvá kratší dobu.

Riziko u rámů z hliníkových slitin je v jejich stárnutí a následnému křehnutí. Takové rámy mají životnost kolem 10 let.

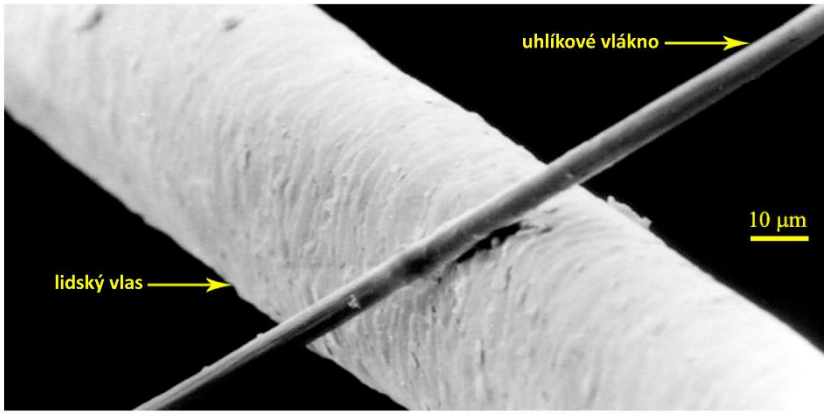
3.3.3. Kompozitové rámy

Kompozitové rámy z uhlíkových vláken (dále jen karbonové) jsou bezesporu nejlepší volbou pro moderní kola bez ohledu na disciplínu. To zejména kvůli svému vysokému poměru pevnosti a hmotnosti, možnosti upravovat tvar trubek podle libosti, vysoké odolnosti proti únavě (rámy vydrží teoreticky nekonečně zatěžovacích cyklů) a dalším možnostem, co poskytují výrobcům. Zatímco s některými materiály je těžší pracovat a nelze je dobře tvarovat, tak uhlíkové vlákno je snadno tvarovatelné a může být tvarováno tak, aby vyhovovalo výrobnímu designu. Podle tvarů a toho, jak je materiál použit mohou být rámy aerodynamické, pevné ale zároveň pružné a hlavně velmi lehké (klidně 300g celý rám bez vidlice).

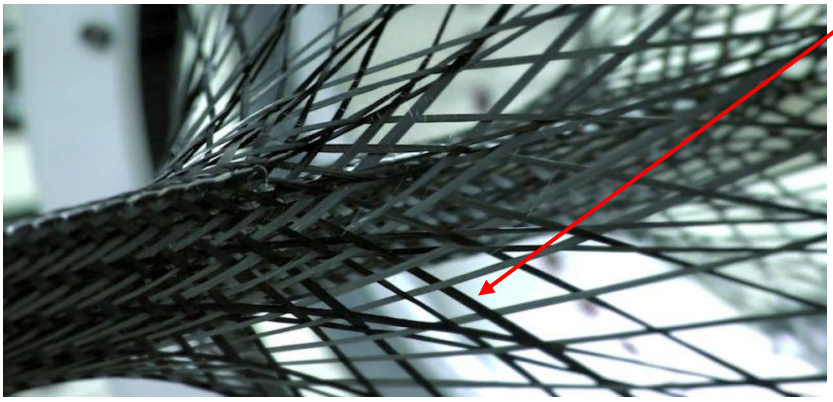
Karbon se poprvé objevil na kolech na konci 80. let a nejvíce se rozšířil během začátku 90. let. Byl vyzdvihován zejména kvůli nízké hmotnosti v porovnání s tehdejšími ocelovými rámy. Bohužel vysoká cena, kvalita karbonu a výrobní postupy znemožnili karbonu, aby se více rozšířil. To dnes již neplatí a karbonový rám si může pořídit skoro každý, i když vyšší cena v porovnání s ostatními materiály stále přetrvává. Dnes již také nemusí být z karbonu pouze rám samotný, ale také komponenty na něm.

Další výhody jsou malá teplotní roztažnost, odolnost korozi, výdrž a výborná pevnost v tahu a tlaku. Běžné karbonové pláty mají pevnost v tahu kolem 200 GPa, nejpevnější vlákna mají pak tuhost skoro 4x vyšší, až 780 GPa. Jsou ale velmi křehká, kdy na zlomení je stačí ohnout a stlačit mezi prsty. Proto je u karbonových rámu při pádu velké riziko prasknutí.

Je také důležité uvědomit si, že samotná uhlíková vlákna by nebyla tak pevná bez použití pryskyřic, které se chovají jako lepidlo nebo jiná substance, která drží vlákna pohromadě. Samotná vlákna (obr. 30) nejsou tlustší než lidský vlas a v jednou svazku (obr. 31) je jich od 1 000 do 12 000, podle toho se také označují 1K nebo třeba 12K.



Obrázek 30: Uhlíkové vlákno (http://www.mdpi.com/polymers/polymers-07-01501/article_deploy/html/images/polymers-07-01501-g003.png)



Jednotlivý svazek složený z tisíců uhlíkových vláken. Tyto svazky jsou pak spřádány (splétány) do tvaru trubek.

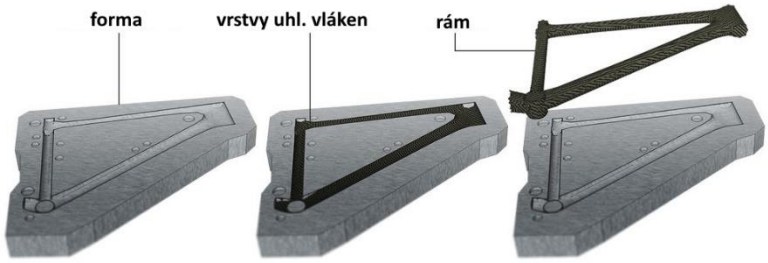
Obrázek 31: Svazky uhlíkových vláken (https://i.kinja-img.com/gawker-media/image/upload/s--Vp5WMk2l--/c_scale,fl_progressive,q_80,w_800/ulhaz3zzbsnxzauq9s6r.jpg)

Uhlíková vlákna (nebo spíše struny uhlíkových vláken) se tedy splétají do svazků, z kterých se poté „pletou“ dané listy, které jsou k dispozici zákazníkům. Tyto listy jsou většinou trojúhelníkového tvaru z důvodu lepšího vzájemného propojení listů a variability orientace listů na rámu. Pryskyřice je často měkka a nepružná část kompozitu a proto se výrobci snaží dávat svazky v listech co nejblíže sobě, aby nebylo potřeba tolika pryskyřice jako výplň mezer.

Uhlíková vlákna jsou často jednosměrná a proto je úhel, kterým se pokládají, nesmírně důležitý. Podle úhlů je možno dosáhnout různých pevností v jakémkoliv směru. Záleží na výrobci, co od rámu očekává, ale lze si nakonfigurovat téměř jakékoliv vlastnosti rámu. Díky prefabrikátům (listy z uhlíkových vláken), které se skládají ručně do forem, lze určit, které části rámu budou tužší v ohybu a které třeba v krutu apod. Karbonová vlákna mohou být tuhá nebo pevná, ale nemohou být zpravidla obojí. Z toho důvodu se kladnou vlákna pod různými úhly na různých místech rámu podle potřeby.

Nevýhodou karbonových rámů z prefabrikovaných listů je to, že při nárazu se energie šíří po vláknech a jakmile dosáhne konce listu, je možnost, že zde vznikne trhlina a vlákna se delaminují. Poté rám může snadno prasknout a musí se opravit.

Vlákna se dodávají na špulkách jako nitě. Poté se spřádá do listů, ve kterých už může být pryskyřice, ale nemusí. Tyto se pak vkládají do forem (viz obr. 32). Nejběžnější způsob výroby je za použití právě formy a měchýře (např. z pěny). Formy musí být na každé kolo i na každou velikost různé. Jsou většinou z ocele a váží i přes 400kg. Jejich výroba je poněkud nákladná. Když jsou listy vloženy do obou částí forem, tak se složí do jednoho kusu, naplní se pěna dovnitř rámu, aby tlakem vytlačila pláty k formě a rám měl požadovaný tvar. Celá forma je pak dána do pece, kde se karbon vypeče, pryskyřice ztuhne a rám tím získá svou pevnost. Rám je pak vyndán z formy, zkontrolován, očištěn od výstupků a může být dál opracováván.



Obrázek 32: Forma (https://www.bikeexchange.com.au/blog/bike-frame-materials-explained)

Jsou zde i další metody, jako třeba strojové „pletení“ trubek, kdy celá trubka je produktem automatu. Tím odpadá riziko selhání lidského faktoru a každá trubka je stejná. Zde se zmíním o jednotlivých vrstvách trubky (obr. 33). První vrstva je po obvodu trubky z důvodu tvarové stálosti. Druhá vrstva se klade pod nulovým úhlem kvůli pevnosti v ohybu. Konečná vrstva je do kříže, to proto, aby nedocházelo ke zkrutu trubky. Samozřejmě čím více vrstev, tím pevnější trubka. Tady ale platí, že by mělo být vždy střídáno toto pořadí vrstev, tudíž aby vrchní byla křižně položená. Díky těmto vrstvám má trubka pevnost jak v tahu a tlaku, tak i ohybu a také tvarovou stálost.

Obrázek 33: Vrstvy karbonové trubky (http://www.better-digital-photo-tips.com/images/benro-monopod-leg-8-layer-carbon-fiber-composition.jpg)

3.3.4. Titanové rámy

Titan sdílí hodně vlastností s ocelí, ale je mnohem lehčí, lépe odolává korozi a vydrží více. Je ale znatelně dražší a hůře se s ním pracuje. Jako u hliníkových a ocelových slitin je i titan s příměsí dalších prvků jako například vanadu nebo právě hliníku. Má lepší poměr tuhosti a hmotnosti než ocel, je podobně pružný jako karbon a je teoreticky nezničitelný. Výrobci na tyto rámy poskytují doživotní záruku.

Výroba je podobná jako u ocelí nebo duralových trubek. Poté, co jsou trubky natvarovány nastupuje TIG (WIG) sváření (svařování v ochranné atmosféře argonu). Titan lze také velmi obtížně opracovávat a tudíž i dokončovací práce na rámu stojí čas a úsilí.

3.4. Komponenty pro výrobu rámu

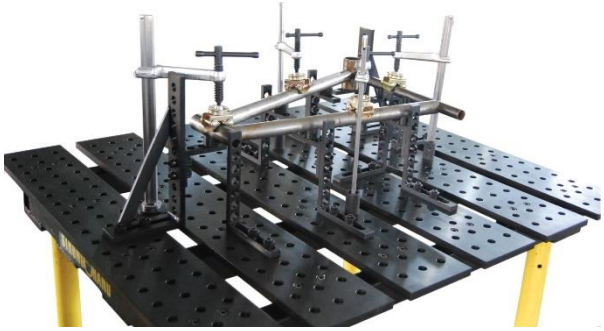
Pro výrobu rámů je na trhu k dispozici řadu polotovarů od hladkých trubek po tvářené či obráběné součásti, které jsou připravované buď dle návrhu výrobců kol, nebo podle návrhu dodavatelů komponent:

- hlavové trubky - obráběno
- trubky pro středy šlapání - obráběno
- koncovky rámů – výkovky, obráběno
- držáky bowdenů, průvlaky pro bowdeny, lanka a hydraulické hadice – výlisky, obráběno
- nosiče brzdových čelistí a třmenů – výkovky, obráběno

3.5. Přípravky pro výrobu rámů

Řeč je zejména o pracovních stolech s úchyty pro trubky, kde se rám buď přímo svaří, nebo se až po svaření srovná. Srovnat rám po tepelných operacích je nutné, jelikož vlivem tepelné roztažnosti a pohybu trubek se rám „kroutí“. Takto se z kola může stát dvoustopý prostředek, a to nelze dopustit. Pokud by byla kola vyosená, pak bude jezdec ztrácet mnoho sil, jelikož pneumatiky se budou špatně odvalovat, pozice jezdce nebude v ose jízdy a šlapání nebude efektivní. Budou i jiné stranově jízdní vlastnosti a jezdec bude nucen i pří jízdě rovně intenzivně vyrovnávat sklon k zatáčení.

Z těchto důvodů se ocelové, hliníkové a titanové rámy po sváření umísťují na stoly (viz obr. 34) nebo jiné podobné standy, kde se rovnají, aby měly požadovanou geometrickou přesnost. Tyto konstrukční prostředky jsou ve velmi malé míře nabízeny pár výrobci, ale většinou jde o vlastní řešení v rámci firem.



Obrázek 34: Svařovací a rovnací stůl (http://stronghandtools.com)

Kompozitové rámy se také mohou po „vypečení“ rovnat. Tady ale nejsou takové nepřesnosti při výrobě a není tedy nutno tyto rámy posléze rovnat. Pro tyto rámy (většinou z uhlíkových vláken) se používá pecí, kde teplota není často vyšší než 100°C. Části rámů je potřeba také vakuovat, aby nedocházelo k reakci uhlíku a kyslíku v peci a tím

Princip je vcelku prostý – trubky se dají mezi kónické trny, čímž se zajistí vycentrování trubky ve správné poloze. Potom se měří, kde je jaká odchylka od správné polohy a případně se následně trubky silou ohýbají proti této výchylce. Tím se zajistí správný tvar a geometrická přesnost.

3.6. Komponenty s vlivem na geometrii, na jízdní vlastnosti

Je zde několik komponent, které znatelně ovlivňují to, jak bude výsledná geometrie vypadat:

1) Velikost kol
2) Představec
3) Vidlice
4) Brzdy

Dále budou tyto komponenty rozebrány jednotlivě. V závěru této kapitoly také zvolím, jaké komponenty použiji při navrhování geometrie.

3.6.1. Velikost kol (viz také 3.1 Pláště horských kol)

Na průměru kol velmi závisí celková geometrie kola. Tento rozměr má vliv zejména na délku zadní stavby, celkový rozvor, výšku středu nad zemí a volbu vidlice. Je ale potřeba brát v úvahu nejen průměr ráfku, ale také šířku pláště, který by se případně mohl zadrhovat o rám. V dnešní době je mnoho možných kombinací ráfků a šířky plášťů, kdy základní rozměry ráfků jsou v palcích 26, 27.5 a 29 (viz 3.1 Pláště horských kol) a šířky plášťů jsou od rozměru 1“ až do 2,5“ (ojediněle jsou šířky i 4,8“). Čím širší pláště, tím lepší trakce v terénu, ale horší odvalování na hladkém povrchu.

Kola také ovlivní volbu vidlice, jelikož je potřeba, aby se kola s plášti do vidlice vešla.

3.6.2. Představec

Je výhodou vědět, jaký představec se na kole použije, ještě před tím, než se začne rám navrhovat. To z toho důvodu, že pokud budeme znát délku představce, pak můžeme volit přímo délku horní trubky nebo parametry sedlové trubky.

Obrázek 35: Negativní sklon představce (https://www.koloshop.cz/)

Představec má dvě základní vlastnosti – délku a úhel sklonu. Délka značí, jak daleko bude střed řídítek od osy hlavové trubky. Úhel sklonu zase říká, jak je představec skloněn oproti vodorovné poloze.

Délky mohou být různé, záleží především na tom, jaký chce mít jezdec posed a jakou chce ovladatelnost. Protože čím bude představec delší, tím bude řízení lehčí a také méně rychlé. Úhel sklonu také závisí na preferencích jezdce, ale také závisí na určení kola. Pro závodní kola bude mít představec záporný úhel (viz obr. 35), jelikož jezdec může být více skloněn nad kolem a má tak lepší aerodynamickou pozici. Pro rekreační kola jsou představce skloněny kladně (viz obr. 36). To z důvodu pohodlnější, více vzpřímené pozice při projížďkách v přírodě, kdy není vyžadováno nějaké tempo či jízda na čas apod.

Obrázek 36: Pozitivní sklon představce (https://www.koloshop.cz/)

3.6.3. Vidlice

Přední vidlice zaručuje tlumení rázů od předního kola a zlepšuje tím ovladatelnost v terénu i komfort jízdy. Tento komponent má velký vliv na celkovou geometrii rámu, jelikož přímo ovlivňuje rozvor a stopu. Vidlice jsou různých typů a lze je kategorizovat podle dvou základních parametrů:

1) Zdvih (značí o kolik lze vidlici stlačit)

2) Princip odpružení

Podle výšky zdvihu se vidlice dělí následovně: Treková kola – zdvih od 50 do 80 mm

Horská kola – zdvih od 80 do 120 mm

Sjezdová kola – zdvih od 120 do 200 mm

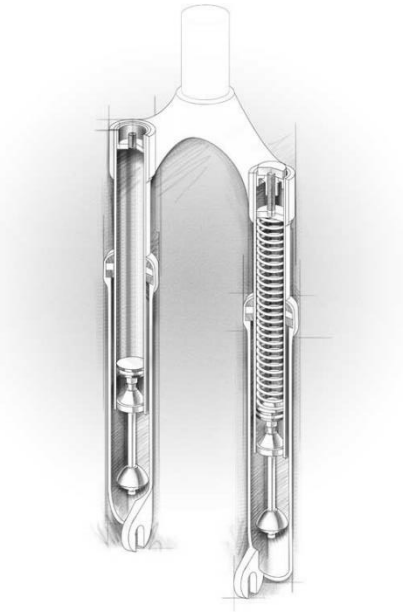
Podle způsobu odpružení je dělení takové: Pružinové vidlice s olejovou patronou

Vzduchové vidlice s olejovou patronou

Vzduchové vidlice se vzduchovou patronou

Zdvih je potřeba takový, jaký je terén. Pro jízdu po hladkých cestách není potřeba mít zdvih 120 mm a naopak při jízdě z kopce na čas je potřeba co největší chod vidlice až 200 mm. Běžná horská kola mají zdvih 100 mm.

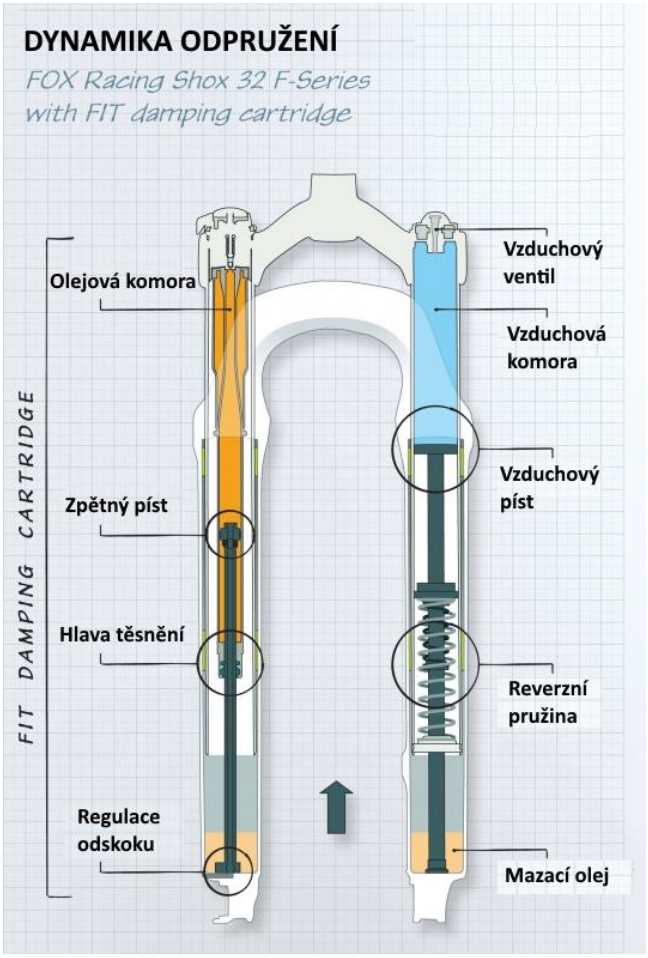
Pružinové vidlice s olejovou patronou (viz obr. 37) pracují na principu stlačované pružiny, která vrací vidlici zpět do původní polohy a olejové patrony, která tlumí nárazy a nerovnosti. V jedné noze vidlice je právě pružina a v druhé je olej, který proudí přes patronu a tím tlumí. Tyto vidlice jsou levnější a nedají se tolik upravovat. Mají ale oproti vzduchovým vidlicím výhodu v tom, že mají lineární chod tlumení. Nemají ale takovou trakci na více rozbitém terénu (např. při jízdě přes kořeny).



Obrázek 37: Pružinová vidlice (http://www.technical-illustrations.co.uk/img/Bike-project/sprung-

Vzduchové vidlice mají v jedné noze komoru, kde je vzduch stlačován a tím se vidlice tlumí a vrací se zpět. V druhé noze mají buď olejovou patronu jako pružinové vidlice nebo tam mají další vzduchovou komoru. Pod ní je ale ještě reverzní pružina, která vzduch po jeho stlačení roztahuje. Vzduchové vidlice jsou jasnou jedničkou v oblasti způsobu odpružení a to zejména díky nastavitelnosti tuhosti a odskoku vidlice nebo třeba díky výborné odezvě na nerovnostech. Jedinou nevýhodou je nelinearita chodu tlumení, ale to již dnes výrobci vidlic umí řešit. Na obrázku vpravo je řez vzduchové vidlice s olejovou patronou.

Několik vidlic má také místo reverzní pružiny další vzduchovou komoru, která účinek pružiny nahrazuje.



Obrázek 38: Vzduchová vidlice (https://cz.pinterest.com/pin/49469295882397275/)

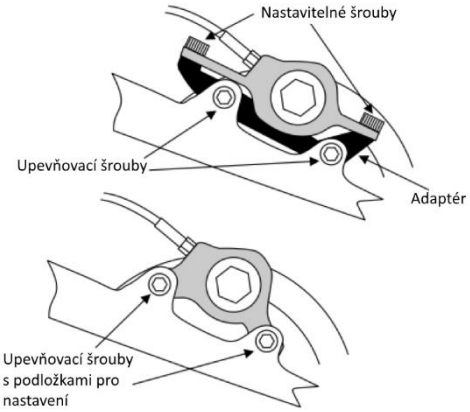
3.6.4. Brzdy

Typ a pozice brzd také do jisté míry ovlivňují rám. Jde o to, kam se konstruktér rozhodne brzdy umístit a jak je hodlá připevnit k rámu. Brzdy mohou být buď ráfkové (dnes zejména u trekových kol) nebo kotoučové (hlavně u horských kol). U ráfkových brzd je použito gumové špalíky, které při brždění třou o ráfky. Tyto nejsou tak účinné jako kotoučové brzdy. Ovládány jsou mechanicky lanovody.

Kotoučové brzdy se dále mohou dělit na mechanické (s lanovody) nebo na hydraulické. Hydraulické kotoučové brzdy jsou dnes nejúčinnějšími z brzd, jelikož není potřeba velké síly, aby se brzdové destičky stlačily. Výhodu také mají v tom, že hydraulický systém je téměř bezúdržbový (na rozdíl od mechanických brzd, kdy se lanko může přetrhnout) a náplň se mění maximálně jednou do roka. Nevýhodou je, že pokud se brzdový kotouč nebo destičky zašpiní mastnotou, přestávají skoro brzdit a je pak velmi těžké je znovu odmastit, aby správně fungovaly. Naproti tomu bahno nebo voda kotoučovým brzdám nevadí a brzdí i v náročných povětrnostních podmínkách (oproti ráfkovým brzdám). Kotoučové brzdy mají bohužel nižší životnost destiček i samotných kotoučů, naproti tomu špalíky u ráfkových brzd vydrží i 3x déle.

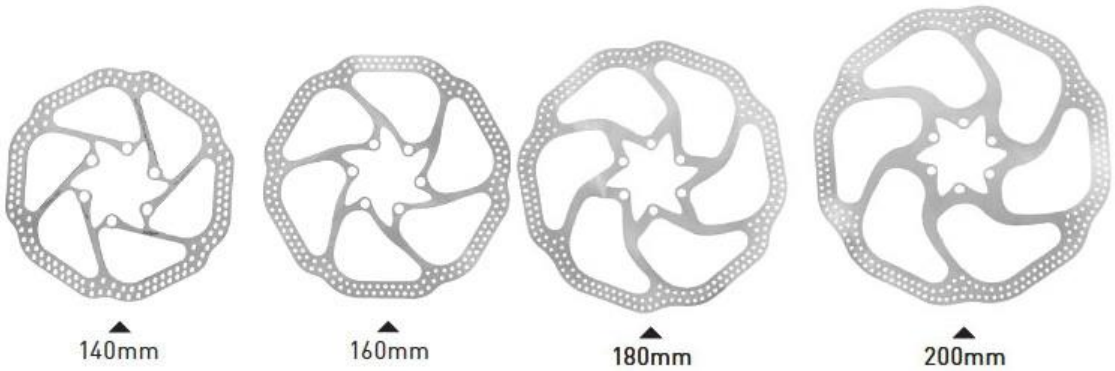
Brzdy se uchycují buď na rám samotný, nebo častěji spíše na adaptér, který se přimontuje k rámu (viz obr. 39). Přední brzdy se přidělají na vidlici, zadní pak buď na zadní vzpěry (v případě ráfkových) nebo do rámu k zadní patce (u kotoučových). Zde je právě možnost volby pozice přichycení brzdy a to nad

zadní trubku nebo do rámu mezi horní vzpěru a zadní stavbovou trubku. U brzd se vyskytují dva hlavní standardy: IS (international std) mount a Post mount. U IS mountu je brdový třmen přichycen dvěma šrouby od sebe vzdálenými 51mm přes adaptér. Post mount používá také dva šrouby, ale tyto jsou od sebe 74mm a nevyužívají adaptér, ale montují se přímo na rám nebo vidlici.



Obrázek 39: Typy uchycení brzd (http://bikebooboos.com/files/2012/09/Disk-brake-types.png)

Brzdové kotouče jsou také různých průměrů – od 120mm do 220mm. Větší kotouče mají delší kontaktní plochu s destičkami, a tudíž mají vyšší účinnost, jsou ale těžší. Menší brzdy mohou mít problémy s chlazením kotouče, kdy se malý průměr nestačí při otáčení ochlazovat. Nicméně není neobvyklé mít na sjezdových kolech kotouče dva, kdy se brzdný účinek rozloží, a tudíž mohou být kotouče menší. Nevýhodou je ale zatěžování výpletu kol na jedné straně.



Obrázek 40: Průměry brzd (https://www.bikerumor.com/wp-content/uploads/2012/03/2013-avid-hs1-disc-brake-rotors-lineup.jpg)

3.6.5. Výběr komerčně dostupných komponentů

Velikost kol: Vybírám velikost 29“, jelikož lépe překonává terénní nerovnosti a má lepší trakci ve výjezdech. Šířku plášťů bych volil od 2,1“ do 2,25“ kvůli větší styčné ploše s povrchem a také kvůli trakci v zatáčkách.

Představec: Volím představec od firmy FSA model NS -20D 2017, který má délku 100mm a sklon -10° od osy hlavové trubky. Je dostatečně dlouhý na to, abych měl ve stoupání oporu v předním kole, a také není tak vzpřímený, což zajistí sportovnější posed. Průměr na vidlici má 28,6mm což odpovídá 1-1/8“. Průměr pro řídítka je 31,8mm. Je vysoustružen z hliníkové slitiny AL7075/T73.

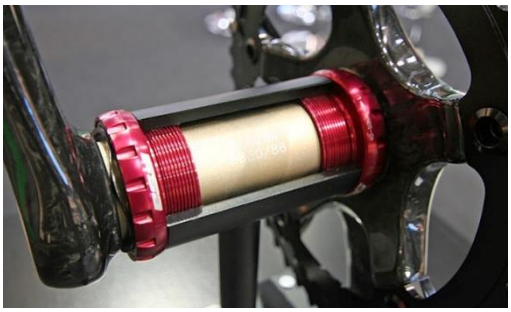
Vidlice: Firma RockShox má vynikající reference a dlouholetou tradici a proto vybírám vidlici právě od této firmy. Je to zástupce nižší střední třídy RockShox Recon TK. Tato vidlice je vzduchová s olejovou patronou a má zdvih 100mm, což plně postačuje mým požadavkům. Má nastavitelnou tuhost a odskok. Horní trubka má průměr 1-1/8“, takže na tuto vidlici dám výše vybraný představec. Váží 1960g a důležitou hodnotou je ofset, který je 46mm.

Obrázek 41: RockShox Recon TK (https://www.sram.com/rockshox/products/recon-tk#sm.001l2qnj71bjxdc6s0z22e1v8z1j3)

Brzdy: Tady nejde ani tak o výběr konkrétní značky a modelu, ale o to, jak budou brzdy v rámu umístěny. Rozhodl jsem se dát zadní brzdu do rámu mezi trubky, aby se síly od brždění více přenášely do celého rámu a měly oporu ve dvou trubkách. Také je to lepší z hlediska tuhosti konstrukce uchycení brzdových destiček. Tento způsob úchytu zadní brzdy je vidět na obrázku 42.

Obrázek 42: Brzda v rámu (https://superiorbikes.eu/cz/)

Střed šlapání: Volím typ se zapouzdřením, což znamená spodní trubku s vnitřním závitem pro pouzdra (viz obr. 43). Toto řešení je vhodné z důvodu lehčí výměny a jeho jednoduchosti.



Obrázek 43: Zapouzdřený střed (http://imgur.com/Vw33WMa)

Výběrem těchto komponent mám podklady pro konstrukci rámu a zakončuji tak teoretickou část své práce a zahájím vlastní návrh geometrie.

4. Návrh vlastní geometrie

Zde navrhnu vlastní geometrii podle svých preferencí a tělesných proporcí. Budu při tom vycházet ze zkušenosti se svým dosavadním kolem. Také bych tuto část zároveň rozdělil na několik podčástí:

1) Měření jezdce

2) Návrh rozměrů

3) Implementace rozměrů do celku a případné úpravy

4) Závěr a zhodnocení geometrie

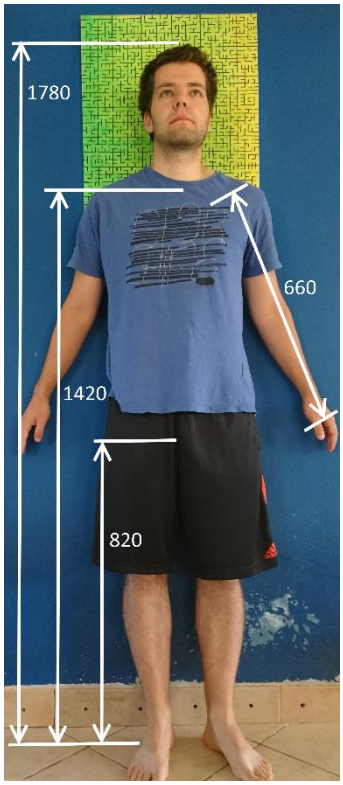
4.1. Měření jezdce

Základními parametry jezdcova těla jsou výška, výška hrudníku, výška rozkroku a délka paže. Tyto hodnoty pomůžou s určováním geometrie rámu. V tabulce 2 jsou naměřené hodnoty jezdce (autora) na obrázku 44:

Tabulka 2: Proporce jezdce

	výška	hrudník	rozkrok	paže
[mm]	1780	1420	820	660

Díky těmto hodnotám se bude lépe navrhovat a upravovat rám na míru jezdce. Jde o to, že tělesné proporce se sebou souvisí. Například délka paže určuje, jak daleko by mělo být sedlo od středu šlapání nebo že horní rámová trubka nebude výš, než je výška rozkroku.



Obrázek 44: Proporce jezdce

Díky naměřené výšce 1780mm vy u velké většiny výrobců vychází rám velikosti M až L (17“ až 19“). Tady bych spíše volil menší variantu, ale jelikož výsledná geometrie rámu bude na míru, nelze takto přesně velikost rámu kategorizovat.

Vyjdu ze svého starého kola a jeho rámu, na kterém bych rozměry upravil tak, aby mně více vyhovovali. Nicméně ale mé staré kolo má kola velikosti 26“ a rám navrhuji na velikost 29“. Tudíž rozměry by byli i v případě stejného rámu jiné právě kvůli velikosti kol.

4.2. Návrh rozměrů

Na obrázku 45 je vidět posed jezdce autora na stávajícím kole. Na dalším obrázku (46) je kolo samotné s vyznačenými rozměry stávajícího kola (bíle) a rozměry nově navržené a vkreslené (červeně).

Obrázek 45: Stávající kolo s jezdcem

Sedlová trubka – běžné hodnoty této trubky pro velikost M se pohybují od 430 do 450 mm. Vzhledem k tomu, že bych sedlo rád montoval přímo na tuto trubky a ne na trubku do této vsazenou, tak nejprve zvolím délku 420mm a poté tuto délku případně upravím. Také bych rád tuto trubku u středu šlapání prohnul okolo zadního kola, aby mohlo být blíže a byl kratší rozvor.

Horní trubka – na svém dosavadním kole mám horní trubku dlouhou 620mm. Rozhodně bych tuto trubku ale prodloužil a více sklonil, aby více plynule navazovala na zadní vzpěry. Běžné hodnoty jsou od 600 do 640 mm. Proto volím 630 mm a to proto, že trubka bude více skloněná a bude blíže ke středu těžiště.

Úhel sedlové trubky – běžné hodnoty jsou od 72 do 74°. Tady zachovám konvence a vyberu úhel 74°. Tento úhel je více vzpřímený a tudíž posed jezdce nebude tak vzadu nad zadním kolem, to podpoří stabilitu ve výjezdech a pohodlí.

Úhel hlavové trubky – výrobci uvádějí od 69 do 74°. Já bych preferoval ostřejší úhel z důvodu lepší stability při jízdě z kopců ale zároveň ne tolik ostrý, aby řízení nebylo příliš pomalé. Pro tyto požadavky se zdá být nejlepší volbou 71°, kdy bude vidlice dost skloněná, ale při tom bude řízení hbité.

Délka zadní stavby – aby se do zadní stavby vešlo kolo i s plášti o průměru 29“, je nutno mít minimální délku 400mm. Běžné délky jsou od 430 do 450mm. Z důvodu stability bych volil delší zadní stavbu, ale oproti tomu čím delší zadní stavba bude, tím více bude rám vážit. Jelikož jsem již zvolil více strmý úhel sedlové trubky, je zde možno volit kratší zadní stavbu. Volím tedy délku 435mm. Mezi pláštěm a sedlovou trubkou by tedy teoreticky měla být vůle asi 30mm, kdy záleží na konkrétních pláštích.

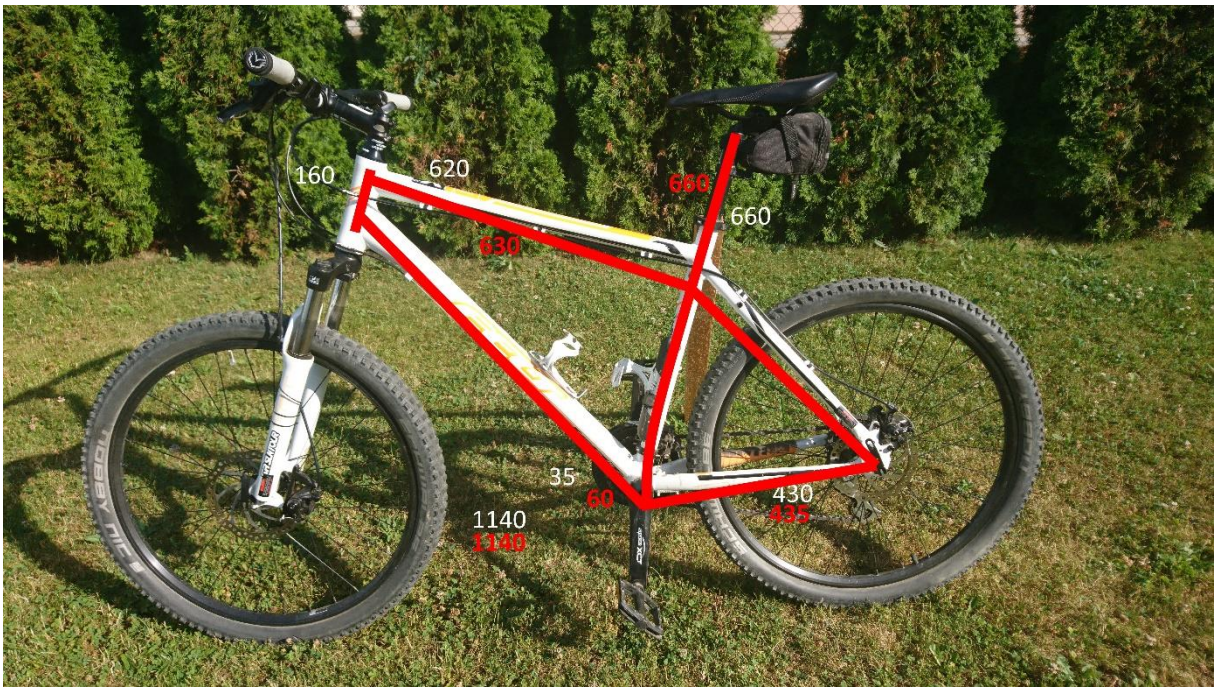
Pozice středu šlapání – na dosavadním kole mám tuto hodnotu rovnou 35mm. Vyšší poloha je vhodnější pro průjezdnost, ale zatím se mi nestalo, že bych se středem dřel o zem. Tudíž polohu středu

snížím vůči zemi na hodnotu 60mm. Také celkově osa obou kol bude výše z důvodu 29“ kol a tedy nižší střed se sám nabízí.

Celkový rozvor – je výsledkem výše zvolených parametrů a z obrázku vychází zhruba na 1140mm.

Tento rozvor je delší, ale to je v zájmu stability ve výjezdech i stability při vyšších rychlostech.

Výška hlavové trubky – běžné rozměry jsou od 100 do 120mm. Zde lze volit rozměr podle vkusu a případné funkční nedostatky kompenzovat podložkami pod představec. Volím tedy 110mm dlouhou hlavovou trubku, která bude kónická. Tyto jsou lepší než pouze rovné trubky z důvodu lepšího zajištění vidlice ve správné poloze a lepšího přenosu sil do rámu.



Obrázek 46: Stávající vs nově navržené rozměry

Na obrázku 46 je vidět, jak se rám změnil. Není ale vidět, jak budou veliké ráfky (na obrázku ráfky velikosti 26“). Sedlová trubka je dlouhá 660mm podle délky paže a bude po celé délce z jednoho kusu (bez vnitřní nastavitelné sedlovky).

4.3. Softwarová podpora

Existuje několik licencovaných CAD systémů (Catia, AutoCAD, SolidWokrs,…), které se dají při návrhu rámu kola použít. Našel jsem ale i takový, který nepotřebuje licence ani výkonné počítače a je jednouchý v používání. Tím je software BikeCAD, což je volně přístupný webový aplet, kde lze zadávat hodnoty rozměrů a vidět okamžité změny na rámu. Tento software je dostupný z webové stránky www.BikeCAD.ca (nutno povolit přístup pro Java aplikaci).

4.4. Závěr návrhu a zhodnocení geometrie

Navrhnutá geometrie je určena k jízdě v kopcovitém terénu pro jezdce mého vzrůstu. Měla by být výkonná především při stoupání a rychlé jízdě. O tom svědčí úhel hlavové trubky, celkový rozvor i délka zadní stavby. Váha takového kola se všemi komponenty by neměla přesáhnout 12kg nezávisle na materiálu rámu.

5. Konstrukční řešení rámu

Rám z hlediska konstrukce lze vidět ze dvou pohledů – z materiálového a tvarového.

Z materiálového hlediska bych volil rám z hliníkových slitin, především pak z Duralu, z kterého se rámy vyrábí nejčastěji. Jde o lehký materiál, který není finančně náročný a pokud se dobře opracuje, pak vydrží mnoho let. Trubky z Duralu se pak také snadno tvarují a dobře se svařují (TIG). Proto bych zvolil právě hliníkové slitiny.

Z tvarového hlediska se pak lze zabývat zejména tvarem trubek a případným konstrukčním úpravám pro další komponenty na rámu. Tvar bych řešil zejména u dolní rámové trubky, kdy u hlavové trubky je potřeba, aby byla vyšší než širší. To z toho důvodu, že od vidlice zde jsou velké rázové síly a na trubku tyto síly působí ohybem ve směru hlavové trubky. Proto je lepší, aby zde byla horní rámová trubka užší ale vyšší, což zajistí vyšší odolnost proti těmto deformačním silám. Naopak na druhém konci této trubky je potřeba opačný přístup. Je potřeba, aby trubka vydržela kroucení od sil ze šlapání, a proto se zde často tyto trubky zplošťují a rozšiřují (viz obr. 47). Rám pak lépe odolává kroucení a lépe a efektivněji převádí energii ze šlapání na pohyb.

Obrázek 47: Zploštělá dolní trubka (http://www.sicklines.com/wp-content/uploads/2015/04/Norco-Aurum-C71-enve-bottomb-bracket-guard.jpg)

Celkově lze konstatovat, že dolní trubky mají být tuhé a vyšších průměrů aby odolávali kroucení a nárazům. Na druhé straně vrchní rámové trubky by měly být tenčí a poddajnější, aby právě tlumily nárazy a plnili tak dodatečnou funkci tlumičů.

Jsou zde bohužel patentově chráněná provedení rámů, což svazuje ruce firmám. Například firma GT Bikes má chráněný tvar trojitého trojúhelníka (viz obr. 48). Jelikož ale navrhovaný rám nebude komerční a nebude se prodávat, nemusím se těmito patenty tolik zabývat.

Obrázek 48: GT TripleTriangle (http://www.gtbicycles.cz/o-znacce-gt/technologie/triple-triangle)

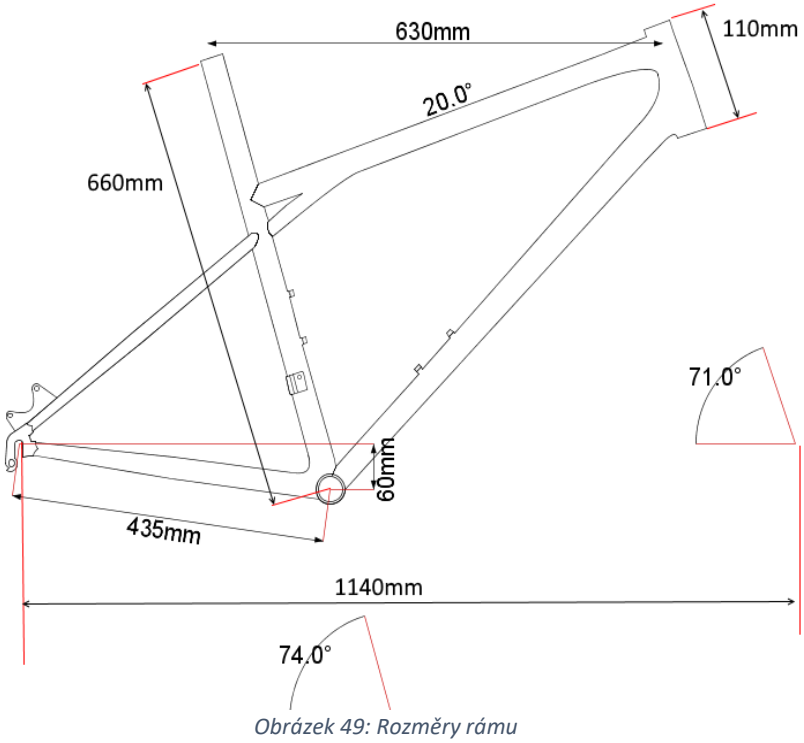
Proto bych také rád navrhl pár prvků, které bych na kole vítal.

Mimo tvarové úpravy dolní rámové trubky (viz výše) bych po vzoru právě firmy GT Bikes překřížil horní sedlové vzpěry se sedlovou trubkou, čímž markantně vzroste tuhost této oblasti a sníží se riziko prasknutí rámu. Také bych u spojení horní rámové trubky s dolní rámovou trubkou u hlavové trubky tyto trubky „vnořil“ více do sebe, aby se lépe provázali a oblast dosáhla vyšší tuhosti.

Zadní brzdy bych umístil do zadní stavby, aby se zvýšila tuhost jejich upevnění díky opoře dvou trubek a ne pouze jedné.

6. Vizualizace rámu

Pro vizualizaci rámu použiji softwaru BikeCAD. Zde zadám rozměry, vyberu a nastavím všechny komponenty, rozmístím kóty a nechám vykreslit. Na prvním obrázku (49) je výkres samotného rámu bez komponent, na dalším (50) je pak vizualizace kompletního kola se všemi komponenty.



Obrázek 49: Rozměry rámu

Obrázek 50: Vizualizace kola

7. Závěr

V rámci práce byly shromážděny informace o parametrech jízdních kol a především jejich rámů, které mají bezprostřední vliv na jejich uživatelské a jízdní vlastnosti. Na tomto základě pak byla vytvořena geometrie pro autora práce podle jeho zadání a požadavků. Po vyřešení otázek na materiál rámu a prověření dostupnosti výrobních technologií věřím, že se mi rám podaří i prakticky realizovat.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

[1] CIBULA, Karel. Mechanika jízdního kola. Vyd. 2. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2004. ISBN 80-01-0316-4

[2] HRUBÍŠEK, Ivo. Horské kolo od A do Z. 4. aktualiz. vyd. Praha: Sobotáles, 1999. ISBN

[3] HROZNA, Rudolf. Jak na posed. VELO. 2017, 2017(4), 36-38

[4] HÁJÍČEK, Štěpán. Milimetry a stupně z blízka [online]. [cit. 2017-05-21]. Dostupné z: http://www.ivelo.cz/casopis/2006-3/ukazka2/

[5] Anatomie horského kola, pozice jezdce na MTB [online]. [cit. 2017-05-21]. Dostupné z: https://is.muni.cz/do/1499/el/estud/fsps/js06/p034/links2/page2btext.htm#osa

[6] Geometry of bike handling [online]. [cit. 2017-05-21]. Dostupné z: http://calfeedesign.com/tech-papers/geometry-of-bike-handling/

[7] DENHAM, Alee. Understanding Bicycle Frame Geometry [online]. [cit. 2017-05-21]. Dostupné z: http://www.cyclingabout.com/understanding-bicycle-frame-geometry/

[8] DENHAM, Alee. Understanding Bike Fit: How Does It Work? Do You Need One? [online]. [cit. 2017-05-21]. Dostupné z: http://www.cyclingabout.com/understanding-bike-fit/

[9] The geometry of bike handling [online]. [cit. 2017-05-21]. Dostupné z: https://cyclingtips.com/2011/02/the-geometry-of-bike-handling/

[10] THE BIKEEXCHANGE TEAM. Bike Frame Materials Explained [online]. [cit. 2017-05-21]. Dostupné z: https://www.bikeexchange.com.au/blog/bike-frame-materials-explained

[11] Superior [online]. [cit. 2017-05-21]. Dostupné z: https://superiorbikes.eu/cz

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1: Městské kolo 1
Obrázek 2: Silniční kolo 2
Obrázek 3: Trekové kolo 2
Obrázek 4: Celo-odpružené 3
Obrázek 5: Částečně odpružené 3
Obrázek 6: Skládací kolo 4
Obrázek 7: Pohonná jednotka v rámu 4
Obrázek 8: Motor v náboji kola 4
Obrázek 9: Elektrosada 4
Obrázek 10: Porovnání velikostí kol 5
Obrázek 11: Kontaktní plochy 6
Obrázek 12: Prvky geometrie 6
Obrázek 13: Sedlová trubka 7
Obrázek 14: GT Zaskar 8
Obrázek 15: Specialized Rockhopper 8
Obrázek 16: Specialized Jynx 8
Obrázek 17: Horní rámová trubka 8
Obrázek 18: Úhel 71° (VLEVO) a 63,5° 9
Obrázek 19: Sedlový (C) a hlavový úhel (D) 9
Obrázek 20: Délka zadní stavby 500vs436mm 10
Obrázek 21: Zadní stavba 10
Obrázek 22: Podložky pod předsatvcem 11
Obrázek 23: Krátká hlavová trubka 11
Obrázek 24: Rozvor (F) a délka hlavové trubky (G) 11
Obrázek 25: BBD a FFO 12
Obrázek 26: Stopa 13
Obrázek 27: Zeslabování trubek 15
Obrázek 28: Hydroforming 16
Obrázek 29: Tvary trubek 16
Obrázek 30: Uhlíkové vlákno 17
Obrázek 31: Svazky uhlíkových vláken 17
Obrázek 32: Forma 18
Obrázek 33: Vrstvy karbonové trubky 18
Obrázek 34: Svařovací a rovnací stůl 19
Obrázek 35: Negativní sklon představce 20
Obrázek 36: Pozitivní sklon představce 21
Obrázek 37: Pružinová vidlice 21
Obrázek 38: Vzduchová vidlice 22
Obrázek 39: Typy uchycení brzd 23
Obrázek 40: Průměry brzd 23
Obrázek 41: RockShox Recon TK 24
Obrázek 42: Brzda v rámu 24
Obrázek 43: Zapouzdřený střed 24
Obrázek 44: Proporce jezdce 25
Obrázek 45: Stávající kolo s jezdcem 26
Obrázek 46: Stávající vs nově navržené rozměry 27
Obrázek 47: Zploštělá dolní trubka 28

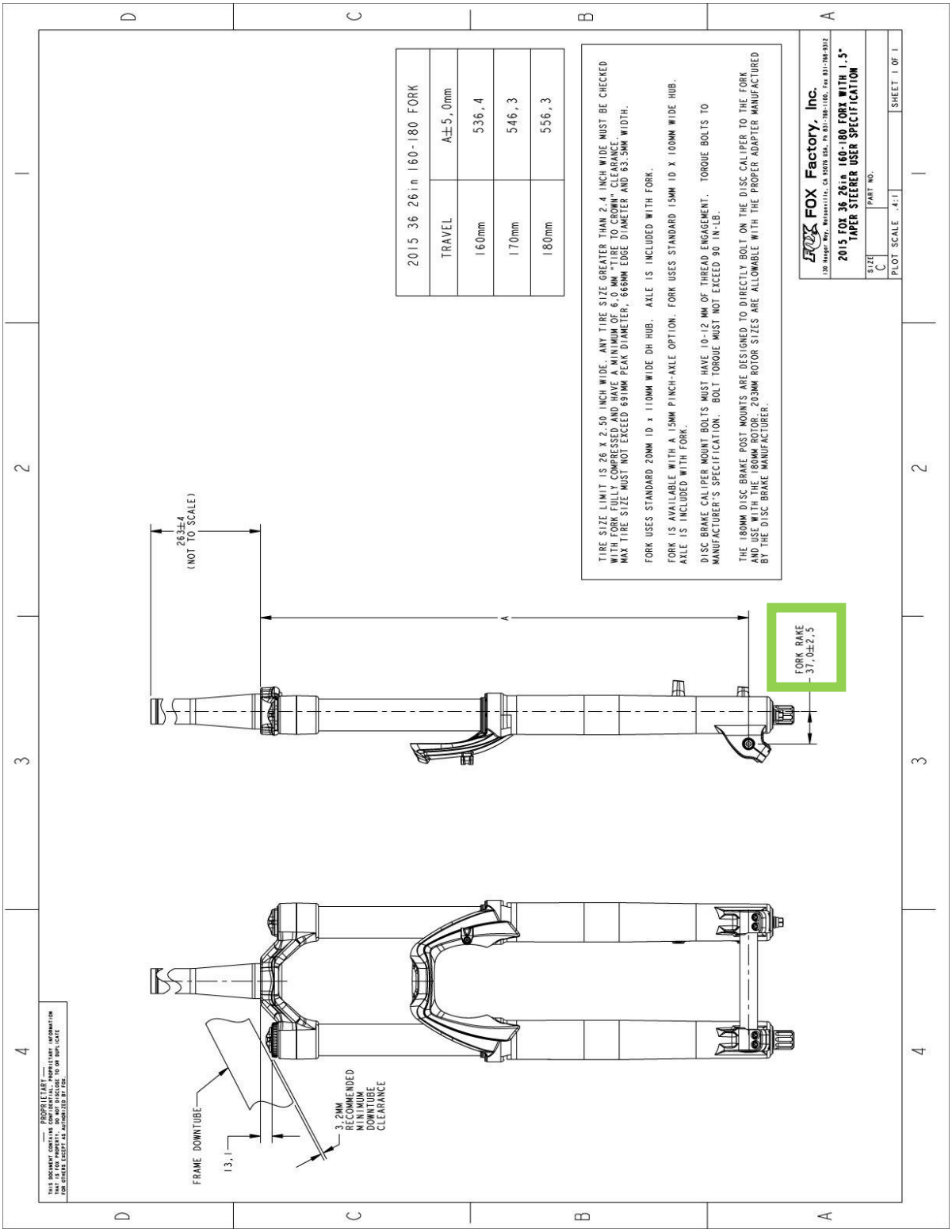
Obrázek 48: GT TripleTriangle 29
Obrázek 49: Rozměry rámu 29
Obrázek 50: Vizualizace kola 30

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1: Velikosti rámů 7
Tabulka 2: Proporce jezdce 25

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1 – Výkres odpružené vidlice firmy FOX

Příloha 1 – Výkres odpružené vidlice firmy Fox

[http://forums.mtbr.com/attachments/rocky-mountain/841980d1382819355-fork-2014-instinct-2014_fox_34_29in_user_spec_reva.jpg]