Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav konstruování
Akademický rok: 2008/09

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student(ka): Gayer Tomáš, Bc.

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

obor: **Konstrukční inženýrství (2301T037)**

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

Konstrukce rámu lehokola

v anglickém jazyce:

Design of frame of recumbent bicycle

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Cílem DP je konstrukce rámu lehokola a jeho pevnostní analýza s využitím výpočtového modelování pomocí metody konečných prvků (MKP).

Cíle diplomové práce:

Diplomová práce musí obsahovat:
1. Úvod.
2. Přehled současného stavu poznání.
3. Formulaci řešeného problému a jeho technickou a vývojovou analýzu.
4. Vymezení cílů práce.
5. Návrh metodického přístupu k řešení.
6. Návrh variant řešení a výběr optimální varianty.
7. Konstrukční řešení.
8. Závěr (konstrukční, technologický a ekonomický rozbor řešení).

Forma diplomové práce: průvodní zpráva.
Typ diplomové práce: konstrukční.
Účel diplomové práce: pro potřeby průmyslu.

Seznam odborné literatury:

http://www.azub.cz/
http://www.bentrideronline.com/
E. Madenci, I. Guven: The Finite Element Method and Applications in Engineering Using ANSYS, ISBN 0-387-28289-0
K. L. Lawrence: ANSYS Tutorial Release 10, ISBN 1-58503-268-9
K. L. Lawrence: ANSYS Workbench Tutorial Release 11, ISBN 1585033979.
I. Hrubíšek: Horské kolo od A do Z, ISBN 80-85920-86-7

Vedoucí diplomové práce: Ing. Martin Vrbka, Ph.D.

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

V Brně, dne 20.11.2008

L.S.

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ DĚKANÁT

prof. Ing. Martin Hartl, Ph.D.
Ředitel ústavu

doc. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan fakulty

ABSTRAKT

Diplomová práce se zabývá vývojem nového modelu tříkolky pro malosériovou výrobu. Práce popisuje konstrukční postup od návrhu jednotlivých dílů a samotného rámu v CAD systému Autodesk Inventor, po vytvoření kompletní výkresové dokumentace. Další část práce se věnuje základní deformačně-napěťové analýze užitím metody konečných prvků v systému ANSYS Workbench a určením okrajových podmínek pro tuto analýzu. V závěru práce je provedena vizualizace tříkolky.

KLÍČOVÁ SLOVA

Cyklistika, lehokolo, tříkolka, rám tříkolky, AZUB, sport, volný čas, MKP, metoda konečných prvků, modelování, CAD

ABSTRACT

The aim of this diploma thesis is evolution of the new model of tricycle. This thesis describes process of engineering from design of several parts and whole frame in CAD system Autodesk Inventor, to creating complete drawing documentation. Next part of this thesis is focused on basic static-structural analysis using finite element method in software ANSYS Workbench and determining boundary conditions for this analysis. The final part is about visualization of the new tricycle.

KEY WORDS

Cycling, recumbent bike, recumbent tricycle, recumbent tricycle frame, AZUB, sport, free time, FEM, finite element method, design, CAD

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE MÉ PRÁCE

GAYER, T. Konstrukce rámu lehokola. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2008. 70 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Martin Vrbka, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že předložená diplomová práce je původní a že jsem ji vypracoval samostatně pod vedením Ing. Martina Vrbky, Ph.D. Dále prohlašuji, že seznam použitých zdrojů a literatury je úplný a že jsem neporušil autorská práva ve smyslu zákona č.121/2000 Sb. (Zákon o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů).

V Brně 20.5.2009 .....……

Tomáš Gayer

OBSAH

Obsah **11**
Úvod **13**
1 Přehled současného stavu poznání **14**
1.1 Alternativní cyklistika 15
1.2 AZUB 15
1.3 Základní prvky konstrukce tříkolky 15
1.3.1 Rám 16
1.3.2 Celková geometrie 17
1.3.3 Konstrukce rámu 18
1.3.4 Velikost kol 19
1.3.5 Řízení 19
1.3.6 Pohon 22
1.3.7 Brzdy 23
1.3.8 Odpružení 23
1.3.9 Sedačka 24
1.4 Přehled současné nabídky 24
1.4.1 Greenspeed 24
1.4.2 ICE 25
1.4.3 HPVelotechnik 26
1.4.4 TerraTrike 27
2 Formulace řešeného problému a jeho technická a vývojová analýza **28**
2.1 Formulace řešeného problému 28
2.2 Požadavky výrobce 28
2.3 Technická analýza problému 29
2.4 Vývojová analýza 30
3 Vymezení cílů práce **31**
4 Návrh metodického přístupu k řešení **32**
5 Návrh variant řešení a výběr optimální varianty **33**
5.1 Základní koncepce a alternativní řešení 33
5.2 Výběr optimální varianty 35
6 Konstrukční řešení **36**
6.1 Poloosy a uchycení brzd, kotoučový náboj 36
6.2 Řízení 41
6.3 Nastavitelný posed 44
6.4 Pohon 47
6.5 Rám – detailní zpracování 48
6.6 Sedačka 51
6.7 Kompletace modelu, úpravy celkové geometrie 53
6.8 Návrh zátěžných stavů a deformačně-napěťová analýza rámu pomocí MKP 56
6.8.1 Zatížení rámu tíhou jezdce v klidu 58
6.8.2 Zatížení při přímé jízdě 59
6.8.3 Zatížení při intenzivním brzdění 60
6.8.4 Zatížení rámu při průjezdu zatáčkou 62
6.8.5 Zatížení od šlapání 63
6.10 Úpravy navržené na základě výpočtového modelování pomocí MKP 64
6.11 Vizualizace 64

7 Závěr (konstrukční, technologický a ekonomický rozbor řešení) 66
8 Seznam použitých zdrojů 67
9 Seznam použitých zkratek, symbolů a veličin 68
10 Seznam obrázků a grafů 69
11 Seznam příloh 71

ÚVOD

Cyklistika patří k nejvyhledávanějším způsobům aktivního trávení volného času a sílí také trend využívání jízdního kola jako dopravního prostředku v běžném životě. Sám se aktivně věnuji ježdění na horském kole a svět cyklistické techniky mě přitahuje již od klukovských let. Využil jsem proto možnosti, vybrat si sám téma diplomové práce, a oslovil několik českých firem, které mají v této oblasti vlastní vývoj.

Zaujala mě nabídka na spolupráci s firmou AZUB, která je jediným českým výrobcem tzv. lehokol. Firma mi nabídla spolupráci na řešení problémů s tuhostí prototypu rámu nového lehokola. Mým úkolem a tématem diplomové práce tedy mělo být provedení pevnostních výpočtů existujícího rámu a návrh možných vylepšení. V posledním roce svého studia jsem se však podílel na semestrálním projektu, který se zabýval návrhem terénní tříkolky a její výrobou v dílnách Ústavu konstruování, a který měl značný úspěch. Hotovou tříkolku jsem předvedl také ve firmě AZUB, abych si mohl poslechnout hodnocení odborníků. Od majitele firmy jsem se potom dozvěděl, že AZUB ukončil spolupráci s australským výrobcem tříkolek Greenspeed, kterého dosud v Evropě zastupoval a chystá se vyrábět vlastní tříkolku. Rozhodl jsem se proto po domluvě s firmou AZUB a vedoucím práce pro změnu zadání diplomové práce a zaměřil se na konstrukci nové tříkolky, kterou by mohl AZUB následně vyrábět.

V diplomové práci se tedy budu zabývat návrhem tříkolky, která bude vhodná pro malosériovou produkci a svými vlastnostmi a cenou vhodně doplní širokou nabídku lehokol značky AZUB.

1 PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ

Lehokolo (anglicky *recumbent bike*) je jednostopý dopravní prostředek poháněný lidskou silou. Je charakteristický pohodlným zakloněným posedem s nohama směřujícíma vpřed po směru jízdy (obr. 1-1). Tento posed má své výhody nejen v lepší aerodynamice, ale zejména ve své pohodlnosti. Častými uživateli lehokol jsou lidé se zdravotními problémy, kterým shrbený posed na klasickém kole nevyhovuje. Velká plocha sedačky je také šetrná k sedacím partiím cyklisty. Na sedačce není problém sedět pohodlně celý den. Oproti klasickému posedu nabízí zakloněný posed také lepší a přirozenější výhled na cestu. Nevýhodou lehokola je jeho vyšší hmotnost, vyšší cena (z důvodů malosériové produkce), nemožnost práce s těžištěm jezdce při jízdě a náročnější ohlížení se zpět.

Obr. 1-1 Lehokolo AZUB Max [1]

Tříkolky s posedem jako na lehokole (anglicky *recumbent trike*) přidávají výhodu větší stability a snadnějšího nastupování. Jízda na tříkolce je pak podobná jízdě na motorové motokáře je a podobně rychlá a zábavná. Mezi nevýhody lze opět zařadit zejména vyšší cenu a hmotnost, ale také horší transport a skladování, problematickou jízdu po úzkých pěšinách a při jízdě v silničním provozu až nepříjemně nízký posed. Častými uživateli tříkolek jsou například cestovatelé, kteří ocení, že ani u tříkolky plně naložené desítkami kil zavazadel není problém se stabilitou při pomalé jízdě do kopce, se zastavováním kvůli focení a odpadají také starosti, o co opřít naložené kolo, aby nespadlo.

Než se pustím do podrobnějšího rozboru problematiky lehokol a tříkolek, rád bych se krátce zmínil o jejich vývoji a současném postavení v cyklistickém světě.

1.1 Alternativní cyklistika

1.1

Ve světě cyklistické techniky můžeme pozorovat neustálou specializaci a dělení cyklisticky na různá odvětví. Výraznou roli v tomto vývoji sehrála Mezinárodní cyklistická federace (UCI). Ta mimo jiné vydává technické předpisy pro kola používaná při závodech a určuje tak směr vývoje závodních kol. Od roku 1934 jsou pro oficiální závody povolena pouze kola klasické konstrukce. Tyto předpisy diskriminují z různých, zejména však bezpečnostních důvodů, efektivnější technická řešení, která by do závodní cyklistiky jistě přinesla mimo jiné vyšší rychlosti. Masová produkce kol, využívající propagaci cyklistickým sportem, sleduje s malým zpožděním technický vývoj závodních kol a zůstává tak také nepřímo ovlivněna těmito předpisy.

Proč by však cyklista, využívající své kolo například k cykloturistice a nikoliv k závodění, měl být odkázán na méně efektivní jízdní kolo a sedět v předepsané poloze, která mu nemusí vyhovovat? Takový jezdec má možnost výběru z mnoha různých řešení, která mu nabízí svět alternativní cyklistiky. Ta nečerpá inspiraci z kol mistrů světa, ale inspiruje se různými specifickými potřebami cyklistů. Nabízí odlišné posedy, různé počty kol a aerodynamické kryty. Nabízí pohodlná lehokola, stabilní tříkolky a kryté velomobily. Nabízí alternativu. Není se tedy čemu divit, že mnoho cykloturistů používá právě lehokola nebo tříkolky s pohodlným posedem. Vždyť podle jejich slov je jízda v této poloze tak pohodlná, jako jízda v dětském kočárku.

Kdybychom se vrátili zpět ke sportu, tak například v rychlostní cyklistice nemají díky aerodynamice posedu lehokola konkurenci. Všechny oficiální rekordy UCI jsou neoficiálně překonány jezdci na lehokolech. To je jeden z mnoha důkazů vyšší efektivity těchto kol při tomto, pravda dosti specifickém, způsobu použití.

Historie lehokol je stará více než 100 let [2]. Po celou tu dobu tato část cyklistického trhu velmi pozvolna roste. Důležité je, že se nejedná o krátkodobou módní vlnu nebo náhlý boom. Lehokola si své příznivce získávají postupně. Celkově malé množství prodávaných lehokol a tříkolek pak umožňuje existenci mnoha malých firem s vlastní originální výrobou, jako je třeba právě český AZUB, a brání přechodu k velkosériové výrobě v Asii, jako se to stalo například u horských kol. V současné době je patrný růst prodeje tříkolek, které se nově snaží nabízet čím dál více výrobců.

1.2 AZUB

1.2

Jedinou firmou, která se na malém českém trhu zabývá výrobou lehokol, je firma AZUB z Uherského Brodu. Má ucelenou nabídku jednostopých lehokol vlastní produkce. Na poli tříkolek se AZUB prozatím zabýval „pouze“ dovozem a montáží patrně nejznámějších tříkolek na světě od australské firmy Greenspeed pro náš i celý evropský trh. Nyní chce nabídnout alternativu z vlastní produkce.

1.3 Základní prvky konstrukce tříkolky

1.3

Tříkolka má stejné základní prvky konstrukce jako klasické jízdní kolo. Jejich řešení se však různou měrou od řešení u klasického kola liší.

1.3.1 Rám

Rám je přirozeně tím, co nejvíce ovlivňuje konstrukci celé tříkolky. Širokou škálu jeho různých řešení můžeme rozdělit do tří hlavních skupin. [3]

Konstrukce *upright* (obr. 1-2) vychází z posedu na klasickém kole. Zadní kolo je pouze nahrazeno dvěma koly. Tato tříkolka tak nabízí bezpečnou jízdu i pro člověka, který má ze zdravotních důvodů problémy s udržením rovnováhy na klasickém kole. Dobrá stabilita v nízkých rychlostech je ale vykoupena výrazně horšími vlastnostmi při rychlé sportovní jízdě. K té však tyto trojkolky určené až na výjimky nejsou. Zdravotní nevýhody klasického posedu tato konstrukce také neřeší. Tento typ tříkolek vyrábí také česká firma Loped (www.loped.cz).

Obr. 1-2 Tříkolka Torker Tristar [4]

Konstrukce *delta* (obr. 1-3) je charakteristická konfigurací jednoho kola vepředu a dvou kol vzadu. Důsledkem této konstrukce je většinou dlouhý rozvor, menší přítlak na řízené přední kolo, nezávislé brzdění zadních kol ovlivňující řízení a vyšší poloha sedačky. Poháněná zadní kola musí být také vybavena diferenciálem. Při rychlejší jízdě je většina těchto tříkolek málo stabilní. Typicky vzpřímený posed nohama napřed již má většinu zdravotních výhod posedu na obvyklém lehokole.

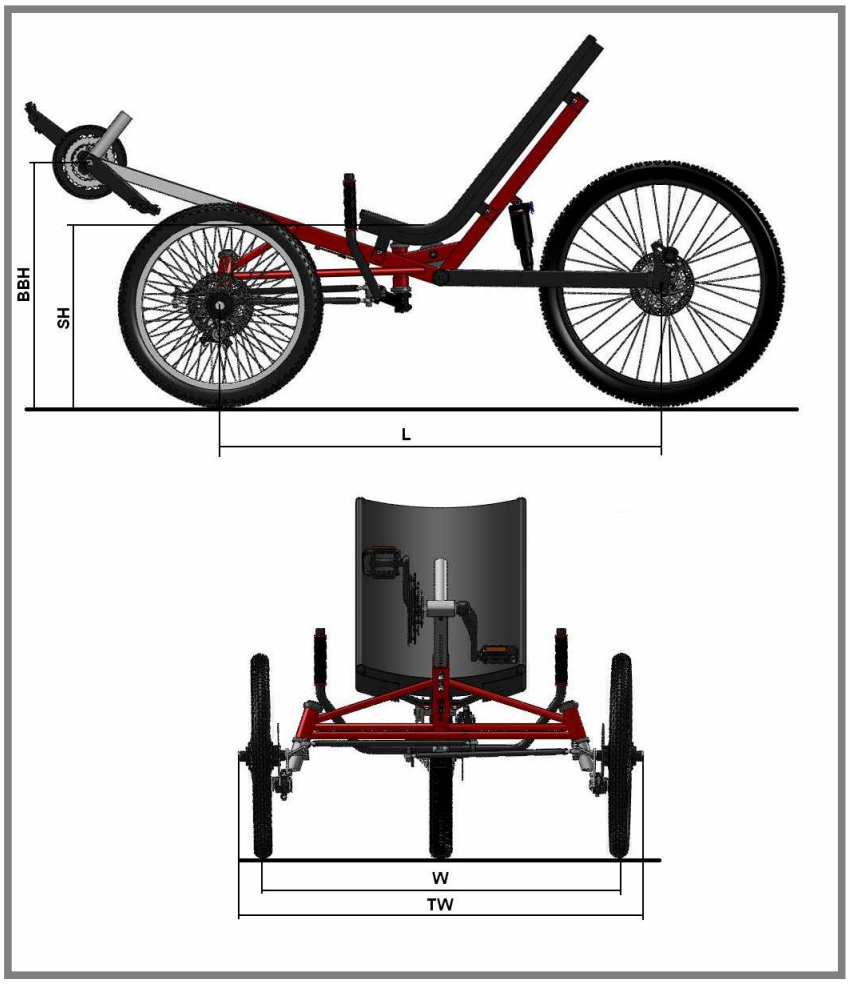
Obr. 1-3 Tříkolka Greenspeed Anura [5]

Konstrukce *tadpole* (obr. 1-4) přichází s dvěma řiditelnými koly vepředu a jedním poháněným vzadu. Poloha jezdce mezi koly přirozeně umožňuje nízko položený posed nohama napřed, který vyniká jak pohodlím a zdravotní nezávadností, tak vynikající aerodynamikou. Nevýhodou nízkého posedu je zejména nepříjemný pocit jezdce na silnici mezi automobily. Nízké těžiště, navíc situované mezi dvojici předních kol, nabízí vynikající stabilitu i ve vysoké rychlosti. Tato u sportovních a cestovních tříkolek nejrozšířenější konstrukce byla zvolena i u nové tříkolky AZUB.

Obr. 1-4 Tříkolka Greenspeed GTO [5]

1.3.2 Celková geometrie

Geometrie rámu a posedu patří mezi základní faktory ovlivňující jízdní vlastnosti a celkovou ergonomii. Největší roli přitom hrají rozměry, označené na obr. 1-5. Rozchod (W), výška sedla (SH) a výška šlapacího středu (BBH) nejvíce ovlivňuje stabilitu tříkolky v zatáčkách. Delší rozvor (L) znamená stabilnější řízení, ale také zvětšuje poloměr kružnice, na které je schopna se tříkolka otočit. Těžiště jezdce by mělo ležet zhruba v 1/3 rozvoru, blíže k přední nápravě. Tato poloha znamená rovnoměrné statické zatížení všech kol hmotností jezdce. Sklon sedačky má vliv na pohodlnost šlapání, celkovou aerodynamiku, výhled a rozložení hmotnosti jezdce, a proto by měl být nastavitelný podle individuálních preferencí různých uživatelů v dostatečném rozsahu. Nastavitelnost posedu je u trojkolek i lehokol zvláště důležitá vlastnost, jelikož se většinou hlavní rám vyrábí (na rozdíl od klasických kol) pouze v jedné velikosti. Nezanedbatelný vliv mají celkové rozměry tříkolky (celková šířka TW) na její praktické uskladnění, dobrou průjezdnost úzkými prostory a transport. Základní parametry osvědčených tříkolek jsou dostupné v katalozích výrobců a mohou být dobrým vodítkem pro první návrhy.



Obr. 1-5 Základní rozměry tříkolky

1.3.3 Konstrukce rámu

Rám tříkolky je při jízdě namáhán v závislosti na hmotnosti jezdce a případně i nákladu zavazadel dynamickými silami od vozovky. Zvýšené namáhání způsobuje nerovný povrch vozovky, setrvačné síly vznikající v zatáčkách, a při brzdění a síly od šlapání. Rám je tedy nutné dimenzovat s dostatečnou bezpečností, aby nedošlo k negativnímu ovlivnění jízdních vlastností jeho deformací nebo k jeho porušení. Prasknutí rámu ve vysoké rychlosti může mít za následek vážný pád, těžký úraz i smrt.

Hmotnost rámu se podílí na celkové hmotnosti tříkolky asi z 1/3 a dosažení nízké váhy celku je důležité pro snadnou jízdu ve stoupání. Proto je potřeba mimo jiné pro konstrukci vhodně volit materiál s vysokým poměrem pevnosti k hustotě. Nejčastěji se zde uplatňují slitiny hliníku a chrom-molybdenová ocel, stejně jako u klasických kol. Špičkových vlastností rámu lze dosáhnout použitím uhlíkových kompozitů. Takováto konstrukce je však prozatím výrazně nákladnější.

Univerzální využití rámu pro jezdce různé výšky zajišťuje u většiny tříkolek vysouvací nosič šlapacího středu, tzv. šlapák, u některých i v různé míře nastavitelná poloha sedačky.

Transport tříkolky a její uskladnění lze výrazně usnadnit, pokud je rám jednoduše rozložitelný (obr. 1-6). Používají se podobná řešení jako u skládacích kol. Rozebíratelný spoj by však neměl mít za následek, menší tuhost celku.

Obr. 1-6 Rozložená tříkolka od firmy ICE [6]

1.3.4 Velikost kol

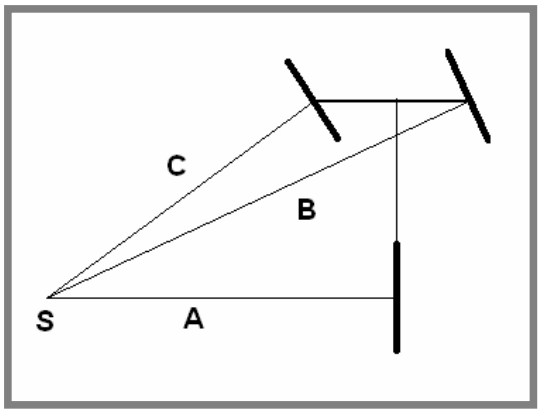
1.3.4

Z široké škály standardizovaných rozměrů ráfků a plášťů kol pro cyklistiku se na tříkolkách různých konstrukcí používají téměř všechny. Obecně lze říci, že kolo je na tříkolce zatíženo jiným způsobem než na klasickém kole. Kromě radiálních sil, které převládají u klasického jízdního kola, vystupují u tříkolek i významné axiální síly. Kolo tříkolky se totiž nenaklápí v zatáčce tak jako u jízdního kola, ale zůstává na vozovku přibližně kolmé. Kola větších průměrů jsou pak na tyto síly více náchylná a více jimi trpí. Vnáší se tak také větší zatížení do rámu tříkolky, což je problematické zejména u zadního kola. Při jízdě pak dochází k nežádoucímu vlnění tříkolky. Velká kola na přední nápravě výrazně zmenšují rejd řízení, takže u předních kol v dnešní době naprosto převládají malá kola velikosti 16“ a 20“. I přes zmíněné nevýhody se na zadním kole některých tříkolek používá velké zadní kolo velikosti 24“, 26 nebo dokonce 29“. Jeho výhody spočívají v nižším valivém odporu (důležité u rychlých silničních sportovních tříkolek) a plynulejší jízdě přes nerovnosti, což je značnou výhodou v terénu. Všeobecně nejrozšířenější je však koncepce se třemi koly velikosti 20“.

1.3.5 Řízení

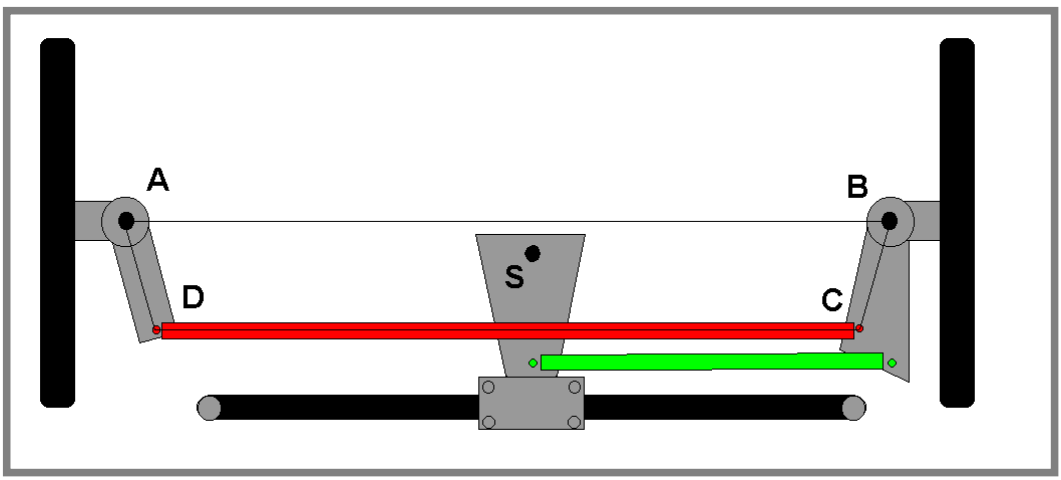
1.3.5

Stabilní přesné řízení s dostatečným rejdem je podmínkou příjemné a bezpečné jízdy na tříkolce. Všechny používané systémy by měly být schopny samovolného návratu do střední polohy, klidné jízdy ve vyšší rychlosti a stability při nerovnoměrném brzdění předních kol. Těchto vlastnosti se stejně jako u automobilů dosahuje vhodnou volbou parametrů záklonu rejdové osy, závleku, příklonu rejdové osy, poloměru rejdu a sbíhavosti nebo rozbíhavosti kol. Při jízdě zatáčkou pak obě přední kola vytváří stopu o jiném poloměru (obr. 1-7). Pokud by přední kola zůstala při zatočení rovnoběžná, docházelo by k jejich smýkání. Proto musí být geometrie řízení navržena tak, aby se vždy vnitřní kolo natáčelo do zatáčky více. Toho je možné docílit pomocí lichoběžníkové konfigurace řízení, známé opět z konstrukce automobilů.



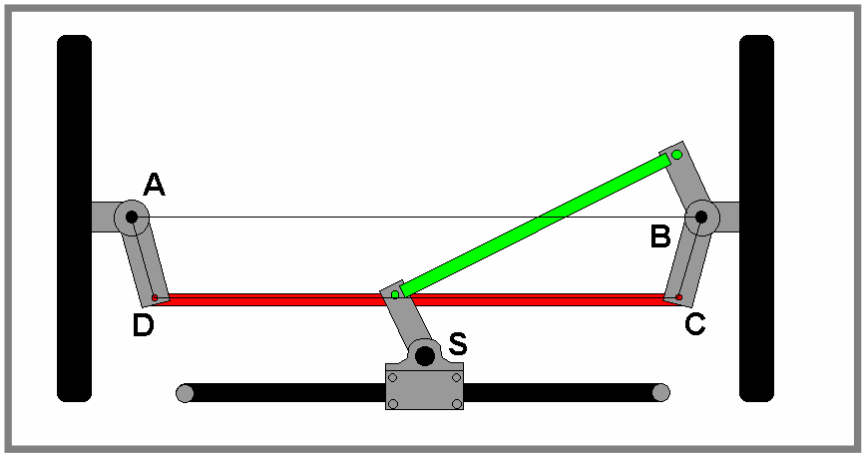
Obr. 1-7 Rozdílné natočení předních kol v zatáčce

Řízení je u tříkolek ovládáno řidítky, která mohou být umístěna nad nebo pod sedačkou. Síly z řidítek je nutné převést vhodným pákovým mechanismem na poloosy kol. Používá se více uspořádání tohoto mechanizmu [7]. Existuje také tzv. přímé řízení, kde jsou řidítka rozpůlena a upevněna přímo na čepy řízení.
Základní varianta na obr. 1-8 využívá dvojice táhel. Červené táhlo, spojující obě poloosy kola, vytváří výše zmíněnou lichoběžníkovou konfiguraci řízení. Geometrie rovnoramenného lichoběžníku ABCD, naznačeného v obrázku, rozhoduje o vlastnostech řízení. Pro správnou funkci řízení by se měl průsečík přímek proložených body AD a BC v neutrální poloze řízení nacházet v blízkosti osy zadní nápravy. Při zatočení se potom lichoběžník deformuje, přičemž pro jízdní vlastnosti je důležité, že průsečík os předních kol se bude nacházet v blízkosti osy zadního kola, což znamená jízdu v zatáčce bez smýkání některého kola. Všechna kola jedou po kružnici se stejným středem, kterým je zmíněný průsečík. Nastavením délky červeného táhla potom řídíme sbíhavost nebo rozbíhavost předních kol. Zelené táhlo v tomto případě jen přenáší síly z řízení na pravou poloosu, nastavením jeho délky se ladí správná poloha řidítek v neutrální poloze. Výhodou tohoto uspořádání je nezávislost nastavení sbíhavosti a řidítek a jednoduchý návrh geometrie lichoběžníku. Nevýhodou je velká délka červeného táhla, a tedy vyšší hmotnost nebo nižší tuhost řízení, a zejména to, že na levé kolo se síly přenášejí přes pravé kolo a ne přímo.



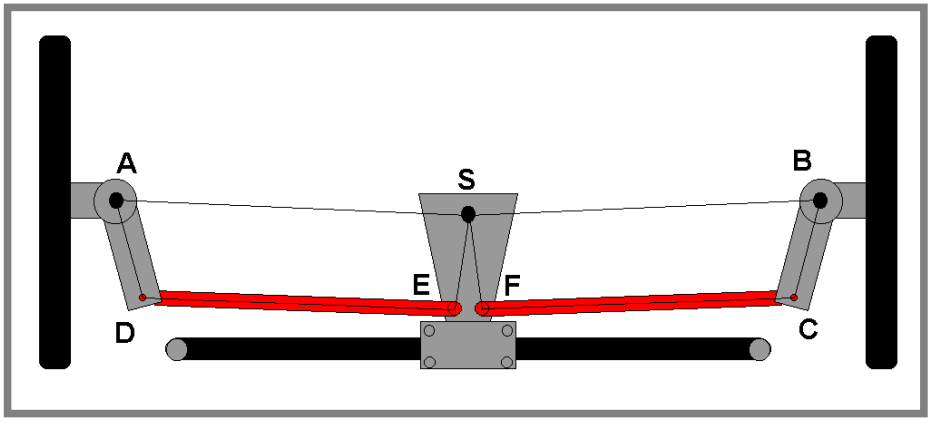
Obr. 1-8 První varianta mechanizmu řízení [7]

Podobné vlastnosti má druhá varianta uspořádání na obr. 1-9. Jediný rozdíl je v poloze zeleného táhla a středu řízení S. Výhody a nevýhody zůstávají také stejné. Použití první nebo druhé varianty závisí na celkové konstrukci rámu a potřebné poloze řidítek.



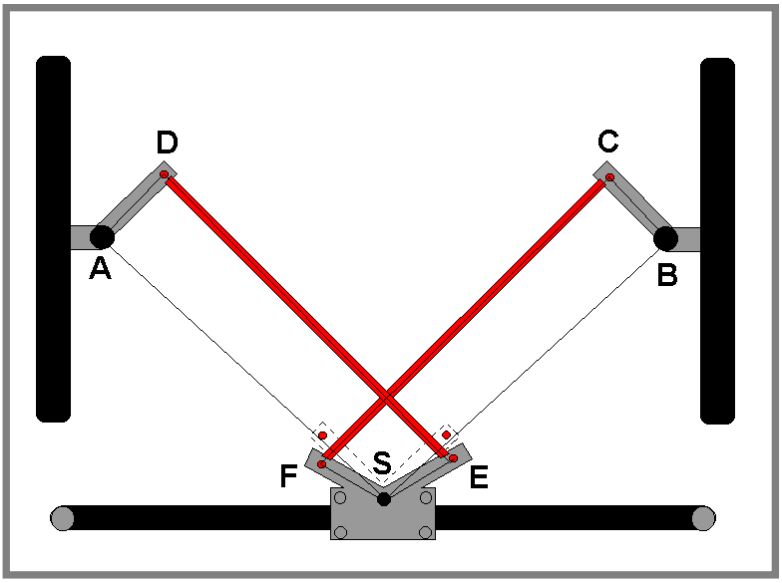
Obr. 1-9 Druhá varianta mechanizmu řízení [7]

Další varianty jsou typické tím, že jsou symetrické podle podélné osy tříkolky. Oproti výše popisovaným variantám zde chybí přímé spojení obou poloos červeným táhlem. Obě kola jsou řízena přímo, každé svým táhlem. To vždy spojuje řidítka přímo s poloosou. Existují dvě varianty tohoto uspořádání.
U varianty na obr. 1-10 dochází k rozdělení rovnoramenného lichoběžníku ABCD na dva lichoběžníky (ASED a SBCF). Aby tato geometrie správně fungovala, je zapotřebí změnit velikost úhlu řídících pák poloos AD a BC vždy zhruba o polovinu velikosti úhlu ESF. (Toto pravidlo je však pouze orientační, využitelné při prvním návrhu. Ten je následně nutné odladit. Ideální je pro tento účel zjednodušený virtuální kinematický model.) Výhodou tohoto uspořádání je jeho souměrnost, tuhost a úsporné prostorové uspořádání, které u tříkolky vytváří dostatek prostoru při nastupování a šlapání. Táhla jsou také vhodně umístěna z pohledu vedení brzdových hadiček nebo bowdenů. Nevýhodou je složitější návrh geometrie, na prostor náročnější umístění řízení mezi kola u tříkolek s užším rozchodem a také složitější seřízení sbíhavosti a neutrální polohy. Oboje nastavení se musí provádět naráz změnou délky obou táhel a navzájem se ovlivňují.



Obr. 1-10 Třetí varianta mechanizmu řízení [7]

Čtvrtá varianta na obr. 1-11 je charakteristická zkřížením táhel. Tímto uspořádáním dosáhneme polohy středu řízení S dosti daleko za přední nápravu. To je většinou značnou výhodou z ergonomického hlediska a umožňuje dosáhnout například užšího rozchodu. Nevýhodná je větší délka táhel, jejich mimoběžné křížení, poloha komplikující nasedání a horší vedení ovládání k předním brzdám.
Na drtivé většině současných tříkolek s nepřímým řízením se využívá jednoho ze dvou posledně zmíněných uspořádání, přičemž varianta na obr. 1-10 je častější.



Obr. 1-11 Čtvrtá varianta mechanizmu řízení [7]

1.3.6 Pohon

Síla potřebná k pohonu tříkolky je, jako u klasického kola, převáděna z převodníku klik otáčejících se ve středovém složení řetězovým převodem na pastorky na náboji zadního kola. Změna převodu se provádí pomocí standardních cyklistických komponentů, jako jsou přesmykač a přehazovačka nebo se využívají náboje či kliky s integrovanou převodovkou.
Posed na tříkolce umožňuje jezdci vyvinout na pedály větší sílu než u klasického kola. Vzniklé síly v řetězu mohou dosáhnout vysokých hodnot a vnést do rámu značné zatížení. Tento fakt musí být zohledněn při návrhu trasy řetězu a při konstruování rámu.
Protože je prakticky nemožné dosáhnout přímého vedení řetězu z převodníků na pastorky, jako u klasického jízdního kola, používá se jednoduchá, respektive dvojitá kladka umístěná pod sedačkou, po níž je vedená buď jen zatížená, nebo i odlehčená větev řetězu. Kladka by měla být vybavena vodítkem, které zabraňuje spadnutí řetězu a umožňuje upevnění plastových trubiček, kterými je veden řetěz, aby nemohl ušpinit jezdce nebo jeho oděv.
U některých tříkolek je do odlehčené větve řetězu vložena ještě napínací dvojkladka, kompenzující změnu délky řetězu při různém vysunutí šlapáku. U tříkolek, které tuto kladku nemají, je nutné při větším posunu šlapáku upravit délku řetězu. Nevýhodou kladky je však navýšení hmotnosti a ceny a také zvýšení ztrát v řetězovém převodu.

1.3.7 Brzdy

Většina tříkolek má 2 nezávislé brzdy, přičemž brzděná jsou jimi přední kola. Brzdy jsou ovládány ručně z řidítek, přičemž každá ruka brzdí jedno přední kolo. Jelikož jsou přední kola uložena letmo, nelze u nich jednoduše použít klasické ráfkové čelisťové brzdy. Výhodnější je použití bubnových nebo kotoučových brzd. Bubnové brzdy se vyrábějí v jednom kuse spolu s nábojem kola, speciálně upraveným pro použití na letmé uložení (obr. 1-12). Tyto brzdy jsou ovládány mechanicky brzdovým lankem. Kotoučové brzdy se používají stejné jako u klasických jízdních kol. Standardní brzdový kotouč se montuje na náboj kola, třmen brzdy přes adaptér na poloosu kola. Kotoučové brzdy mohou být jak v mechanickém tak hydraulickém provedení, na trhu je v této oblasti značný výběr. Problém nastává u náboje. Standardní cyklistické náboje mají osu malého průměru, která není vhodná pro letmé uložení, a speciální náboje se nevyrábí. Lze použít pouze náboje pro sjezdová kola, které se nasazují na dutou osou o průměru 20 mm, nebo navrhnout náboje vlastní konstrukce.

Obr. 1-12 Náboj s bubnovou brzdou Sturmey Archem [8]

Brzdění zadního kola se používá jen výjimečně. Zadní kolo je vlivem setrvačných sil, které vznikají při brzdění přední brzdou odlehčené a zadní brzda tak ztrácí na účinnosti. Hrozí zde také nebezpečí smyku. Odlehčené zadní kolo ztrácí ve smyku schopnost udržovat tříkolku v přímém směru při nerovnoměrném brzdění předními brzdami. Hrozí tak vytočení tříkolky z přímého směru a její převrácení po odbrzdění zadní brzdy. Smyk zadního kola také zvyšuje namáhání rámu i samotného kola. Zadní brzda je na tříkolce vhodná pro agresivní, sportovní jízdu v terénu na speciálně navržené tříkolce. Využití ale také může nalézt u cestovatelů, kteří se na tříkolce pohybují s velkým nákladem. Na zadním kole lze použít libovolný typ brzdy.

1.3.8 Odpružení

Pohodlný posed na tříkolce neumožňuje takovou práci jezdce s těžištěm jako na klasickém kole. Jezdec nemá žádnou možnost na tříkolce vyskočit nebo ji výrazně před případnou nerovností odlehčit. Pro komfort jízdy na povrchu horší kvality je

tedy odpružení rámu velmi vhodné. Drobné nerovnosti povrchu dokáže absorbovat kvalitní, dostatečně široký plášť. Dobře navržený rám by také měl být schopen absorbovat část energie nárazu. Funkční aktivní odpružení však takto nahradit nelze. Nevýhodou každého odpružení je však vyšší složitost, cena a hmotnost.
K odpružení zadního kola tříkolek se většinou používají pružící a tlumící jednotky z celoodpružených terénních kol. Užívá se většinou jednoduchého jednočepového závěsu bez přepákování. Takovéto odpružení je dnes na značné části tříkolek.
Složitějším problémem je odpružení přední nápravy. Nezávislost odpružení a odolnost proti přílišnému naklánění v zatáčce musí být řešená použitím příčného stabilizátoru. Kvalitně zpracované odpružení přední nápravy tak dnes nabízí jen několik málo výrobců.

1.3.9 Sedačka

Sedačka na tříkolce musí splňovat požadavky na přiměřenou měkkost a tvarovou přizpůsobivost, dobré boční vedení a odvětrání zad. Využívají se dva základní typy sedaček. Rámová sedačka s pružným a prodyšným výpletem nabízí výborné pohodlí, boční vedení těla i prodyšnost. Pevná sedačka z kompozitu má výhodu lepší opory jezdce při šlapání a nižší hmotnost.
U některých tříkolek je síťová sedačka součástí nosné konstrukce rámu. Nevýhodou této jinak lehké a pevné konstrukce je fixní nastavení sedačky.

1.4 Přehled současné nabídky

V této kapitole bych rád popsal některé z nejrozšířenějších modelů tříkolek dostupných na trhu, které jsou typově podobné navrhované tříkolce AZUB. Kompletní nabídka je však mnohem rozsáhlejší a navíc doplněná o nepřeberné množství tříkolek postavených amatérsky. Různorodost všech možných technických řešení je důkazem živého vývoje v této oblasti cyklistiky. V dubnu 2009 jsem měl možnost většinu nejrozšířenějších tříkolek krátce vyzkoušet na německé výstavě lehokol SPEZI. Níže uvedené poznatky tedy vychází z mých osobních zkušeností.

1.4.1 Greenspeed

Tříkolky značky Greenspeed, která se jejich stavbou zabývá téměř 20 let, jsou považovány za symbol kvality a vyzrálosti technických řešení. Tato australská firma má nejširší nabídku tříkolek na trhu od ryze sportovních, přes cestovatelské, až po speciální pracovní tříkolky. Typickým zástupcem produktů výrobce je model GTO (obr. 1-13). Tato cestovní tříkolka je postavena jako všechny tříkolky Greenspeed z kvalitní oceli. Používá kola o velikosti 20“ ,nekřížené řízení, které je ideálně umístěné mezi rám a síťovou sedačku a speciální spojku, pomocí níž lze rám rozdělit na 2 díly což usnadňuje jeho transport. Specifickým prvkem tříkolek Greenspeed je využití odnímatelné sedačky jako nosné části rámu, což výrazně zvyšuje jeho tuhost. Použití spojky S&S k rozkládání rámu je elegantní, lehké řešení, poskytující dostatečnou tuhost. Nevýhodou je vysoká cena těchto spojek. Další nevýhodou tohoto modelu je pevná poloha sedačky na rámu, která je částečně kompenzována dostupností celého rámu v různých velikostech. Jednou z mnoha dalších zajímavostí tříkolek Greenspeed je použití kluzných pouzder na uložení čepů poloos, namísto

častěji používaného hlavového složení z klasického kola. Cena tříkolek Greenspeed se pohybuje v závislosti na modelu a výbavě od 2 300 po více než 5 000 $. Více informací o tříkolkách Greenspeed lze nalézt na stránkách výrobce www.greenspeed.com.au.

Obr. 1-13 Tříkolka Greenspeed GTO [5]

1.4.2 ICE

Anglický výrobce lehokol a tříkolek ICE nabízí například model Trice Q (obr. 1-14), který nabízí pohodlí nastavitelného zadního odpružení a využívá opět nekříženého řízení. Na tříkolku lze nasadit jak síťovou, tak skořepinovou sedačku, přičemž rám umožňuje nastavení jejího sklonu. Rozložení rámu probíhá sklopením zadní kyvné vidlice pod rám a odejmutím kol a sedačky. Takto složenou tříkolku je možné naložit například i do kufru miniauta Smart. Zajímavým prvkem rámu tříkolky je například oblast křížení hlavní rámové trubky s křížovou trubkou přední nápravy, kde je spoj provedený mimoběžně, svařením do frézovaného spojovacího dílce. Další zajímavostí je nastavení sklonu sedačky a délky rámu vysouváním zadní části rámové trubky z části přední. Cena této hliníkové tříkolky se pohybuje na úrovní 2.000 €. Více informací o tříkolkách ICE lze nalézt na stránkách výrobce www.ice.hpv.co.uk.

Obr. 1-14 ICE Trice Q [6]

1.4.3 HPVelotechnik

Německý výrobce HPVelotechnik má mimo jiné v nabídce zajímavý celoodpružený model Scorpion FS (obr. 1-15). Přední kola jsou odpružena systémem McPerson, který je známý z konstrukce osobních automobilů. Pohodlná jízda po nerovné cestě je vykoupena složitější a těžší konstrukcí a samozřejmě i vyšší cenou, která začíná na 3.000 €. Všechny modely výrobce spoléhají na nekřížené řízení, skořepinové sedačky a některé jsou také vybaveny skládacím kloubem podobné konstrukce, jako se používá u skládacích kol. Více informací o tříkolkách HPVelotechnik lze nalézt na stránkách výrobce www.hpvelotechik.de.

Obr. 1-15 Tříkolka HPVelotechnik Skorpion FS [9]

1.4.4 TerraTrike

Mezi nejlevnější tříkolky patří model Path od americké firmy TerraTrike (obr. 1-16). S cenou stlačenou na hranici 1.000 $ nabízí pouze 3 převodové stupně díky řazení v náboji zadního kola, pevnou polohu středu šlapání, volitelně přímé nebo nepřímé nekřížené řízení, síťovou sedačku a kotoučové brzdy. Rám této tříkolky je svařován z CrMo oceli na Taiwanu. Zajímavé je jednoduché řešení čepů poloos předních kol. Místo použití hlavového složení je poloosa uložena na čepu tvořeném šroubem, který prochází rozdvojeným zakončením křížové trubky přední nápravy. Více informací o tříkolkách TerraTrike lze nalézt na stránkách výrobce www.terratrike.com.

Obr. 1-16 TerraTrike Path [10]

2 FORMULACE ŘEŠENÉHO PROBLÉMU A JEHO TECHNICKÁ A VÝVOJOVÁ ANALÝZA

2.1 Formulace řešeného problému

Firma AZUB ukončila spolupráci s australským výrobcem Greenspeed, jehož tříkolky dříve do Evropy dovážela, a chce nyní nabídnout tříkolku vlastní výroby jako rozšíření široké nabídky svých lehokol do tohoto rostoucího segmentu trhu.
Řešený problém spočívá ve vypracování konstrukčního návrhu tříkolky podle zadání budoucího výrobce, posouzení vybraných prvků návrhu deformačně-napěťovým výpočtem MKP, následném navrhnutí potřebných úprav a vypracování výkresové dokumentace k nově vyráběným dílům. Návrh musí zohledňovat především požadované zaměření tříkolky, základní koncepci, výslednou cenu a technologické možnosti výrobce. Technicky i vizuálně musí navazovat na současné modely firmy AZUB a využívat maximum společných dílů.

2.2 Požadavky výrobce

Firma AZUB specifikovala ve svém zadání jak požadované parametry nové tříkolky, tak své technologické možnosti, ekonomická kritéria, formu průběžných konzultací postupu řešení i formu předání výsledku této práce. Poskytla také potřebnou výkresovou dokumentaci k dílům, které má mít tříkolka společné s lehokoly AZUB. Požadavky výrobce jsou následující:

1. tříkolka typu *tadpole* s koly 3x20“ a pevným rámem, tedy bez odpružení
2. výrobek cenově zařaditelný na spodní hranici vzhledem ke konkurenci
3. nepřímé řízení, v budoucnu možnost varianty s přímým řízením
4. vyplétaná sedačka i verze pro pevnou skořepinovou (alu, laminát)
5. bubnové brzdy (možnost montáže kotoučových)
6. použití zadní vidlice z AZUB Eco (dodány výkresy)
7. uložení poloos přes A-head hlavové složení
8. geometrie posedu přizpůsobitelná pro jezdce o výšce 145 - 190 cm
9. nastavitelný šlapák a sedačka, použití systémů ze současných modelů AZUB)
9. poloměr zatáčení pod 5 m
10. výška sedačky: 260 - 320 mm
11. výška šlapacího středu: 350 - 400 mm
12. rozvor: 960 - 1020 mm
13. světlá výška min. 70 mm
14. celková šířka max. 780 mm (průchod dveřmi)
15. maximální využití možnosti řezat profily rámu laserem
16. nízké výrobní náklady = minimalizovat frézování a soustružení, využít laser
17. materiál profilů hliníková slitina AlMgSi / EN AW-6060
18. hlavní trubka rámu: ∅60x2,5 mm – možnost ohýbání (R220)
19. křížová trubka: ∅50x2 – 5 mm možnost ohýbání (R120)
20. materiál pro plechové díly: AlMg3 / EN AW-5754 tl. 2 - 5 mm
21. celková plochost rámu pro jednoduché zasílání balíkovou službou
22. základní startovací vybavení Shimano Acera případně Alivio

25. možnost použít pneu Schwalbe BigApple 20“ x 2.00“
26. celková váha pod 15 kg (pravděpodobně nedosažitelné, reálně 17 až 18 kg)
27. možnost v budoucnu vylepšit o možnost skládání
28. denní konzultace v průběhu práce na vývoji
29. odevzdání práce ve formě výkresové dokumentace

2.3 Technická analýza problému

Jelikož navrhovaná tříkolka bude první tříkolkou značky AZUB, byla zvolena strategie návrhu jednoduchého základního modelu, který by při základním osazení oslovil zákazníky mimo jiné nízkou cenou. Následně by mohly na tento návrh navazovat vyspělejší modely s vyšší cenou. Faktorem, který nejvíce ovlivňuje koncovou cenu, je u malosériové výroby cena rámu. Zatímco například u velkosériové produkce klasických kol tvoří cena rámu asi 10% celkové ceny, u malosériové výroby může být tento podíl až 50%. Proto je kladen maximální důraz na návrh rámu s nízkými výrobními náklady. U rámu tříkolky s očekávanou hmotností 3 – 5 kg neovlivňuje tolik výslednou cenu cena materiálu, ale spíše časová náročnost výroby. Proto je nutné v souladu se zadáním maximálně využít technologie automatického řezání profilů laserem, která umožní rychlou a přesnou výrobu základních prvků rámu přímo podle CAD modelu. Z technologického hlediska je také důležité vyhnout se ohýbání a vypalování laserem na jednom profilu. Ohýbání profilů s vypálenými otvory nelze provést s dostatečnou přesností a obrácený postup, tedy ohnutí profilu a následné vypalování, není na výrobci dostupných strojích technologicky možný.

Základním požadavkem na konstrukci tříkolky je ergonomie posedu. Zde jsem vycházel ze zkušeností firmy AZUB s ergonomií posedu na lehokole, kde je pozice jezdce velmi podobná.

Použití některých hotových součástí je dalším stavebním kamenem prvního návrhu. Použitý šlapák (tj. výsuvný nosič šlapacího středu) určuje jednoznačně profil hlavní rámové trubky a zadní vidlice z modelu ECO v podstatě dává jedinou možnost konstrukce této části rámu.

Výšková a podélná nastavitelnost sedačky ve velkém rozsahu a nastavitelnost sklonu znemožňuje využití konstrukce sedačky jako nosné částí rámu, jedná se však o typický prvek pro značku AZUB, a musí být proto zachován.

Poloosy uložené v hlavovém složení budou podle přání výrobce vyrobeny z nerez oceli, aby nemusely být povrchově upravovány. Ze stejného materiálu bude také jednodílný sloupek řízení s představcem řízení.

Aby bylo možné na rám, resp. poloosu montovat bubnové i kotoučové brzdy, je potřeba kromě samotných poloos navrhnout také nový náboj použitelný s kotoučovou brzdou. Ten musí být rozměrově plně kompatibilní s nábojem s bubnovou brzdou.

Po dohodě s výrobcem bude za účelem snadného nastupování a celkové prostorové úspornosti na tříkolce použito nekřížené nepřímé řízení i za cenu vyšší celkové šířky, než je v zadání.

Návrh se tedy zaměří zejména na konstrukci rámu, poloos, řízení, síťové sedačky, kotoučového náboje a na zjednodušení konstrukce řetězové kladky.

2.4 Vývojová analýza

V první fázi bude zpracován koncepční návrh řešení rámu respektující ergonomické a výrobní požadavky. Následně bude posouzena realizovatelnost všech dílčích funkcí rámu, jako je geometrie řízení, nastavitelnost sedačky a šlapáku a správné vedení řetězu. V druhé fázi bude detailně zpracován návrh poloos, upnutí předních kol a náboje pro kotoučovou brzdu. Součástí třetí fáze, ve které by měla být dále doladěna geometrie rámu s ohledem na ergonomii posedu, bude také návrh síťové sedačky, která musí být plně zaměnitelná za existující skořepinovou a duralovou verzi. Ve čtvrté fázi by měly být všechny konstrukční prvky vloženy do detailního návrhu prototypu. Po vyřešení dílčích problémů by výsledkem této fáze měl být model vyrobitelného prototypu. Následně bude proveden základní pevnostní výpočet rámu ve vybraných zátěžných stavech metodou konečných prvků. V předposlední fázi by měl být návrh mírně upraven na základě výsledků pevnostní analýzy. Poslední fází bude zpracování úplné výkresové dokumentace nově vyráběných dílů a jednoduchá vizualizace celkové sestavy.

3 VYMEZENÍ CÍLŮ PRÁCE

Hlavním cílem diplomové práce je návrh konstrukce a vytvoření parametrického modelu tříkolky v 3D modeláři Inventor, se zaměřením na konstrukci rámu a poloos, kinematiku řízení a ergonomii posedu, přičemž musí být respektovány požadavky budoucího výrobce, firmy AZUB.

Dalším cílem je určení významných zátěžných stavů a provedení deformačně-napěťové analýzy rámu pomocí metody konečných prvků. Na základě výsledků bude provedena úprava nevyhovujících částí konstrukce.

Posledním cílem a pro výrobce hlavním výstupem bude vypracování výkresové dokumentace k vyráběným dílům a vizualizace celkové sestavy.

4 NÁVRH METODICKÉHO PŘÍSTUPU K ŘEŠENÍ

Z technické analýzy řešeného problému a požadavků výrobce vyplývá základní koncepce návrhu. Ta bude zpracována v podobě více studií, ze kterých bude vybráno po konzultaci s výrobcem nejvhodnější řešení. Na základě této studie vznikne 3D model geometrie, kde již budou detailně řešeny jednotlivé konstrukční části. Postupnými úpravami, které vyplynou ze zjištěných nedostatků, vznikne konečný návrh prototypu. Další částí bude deformačně-napěťový výpočet rámu ve zvolených zátěžných stavech. Na základě výsledků této kontroly bude model geometrie upraven a bude vytvořena jeho výkresová dokumentace, která bude následně předána výrobci. Výrobce zhotoví prototyp v omezeném počtu kusů a podrobí jej testování. Poznatky získané během návrhového procesu a deformačně-napěťové analýzy budou shrnuty v závěru, kde budou také navrhnuta další případná zlepšení.

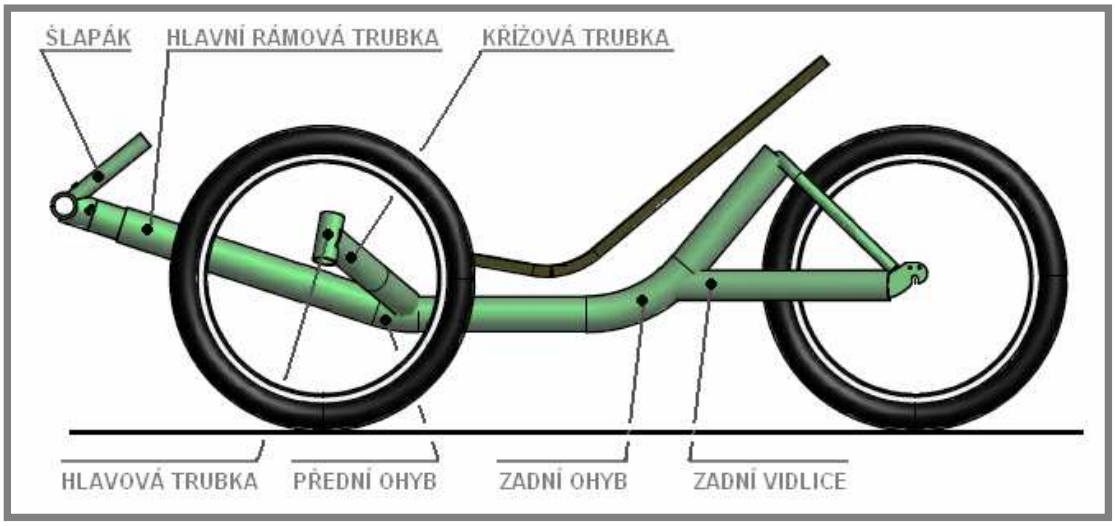
Návrh bude proveden v 3D modeláři Autodesk Inventor 2008, který výrobce standardně používá. Deformačně-napěťová analýza pomocí metody konečných prvků bude provedena v prostředí ANSYS Workbench 11.

5 NÁVRH VARIANT ŘEŠENÍ A VÝBĚR OPTIMÁLNÍ VARIANTY

5.1 Základní koncepce a alternativní řešení

Při tvorbě prvních návrhů jsem vycházel ze součástí jejichž poloha jednoznačně vyplývala z požadavků zadání (kola, sedačka a střed šlapání). Podle požadovaného rozvoru a rozchodu (viz. zadání) jsem tak umístil do sestavy zjednodušené modely tří 20“ kol. Dále jsem do modelu vložil sedačku, a to tak, aby její výška, sklon a přibližná poloha těžiště jezdce ležely v blízkosti středu intervalů uvedených v zadání. Podobně jsem do předepsané polohy umístil také střed šlapání. V tu chvíli máme přibližně umístěny všechny základní součásti, zbývá je jen propojit rámem. Prvky převzaté z jiných modelů AZUBu, tedy výsuvný nosič středového složení (tzv. šlapák) a zadní vidlici, jsem do modelu umístil také a spojil je vazbou se šlapacím středem a osou zadního kola. Oběma komponentům tak zůstala pouze možnost různého natočení v rovině souměrnosti tříkolky.

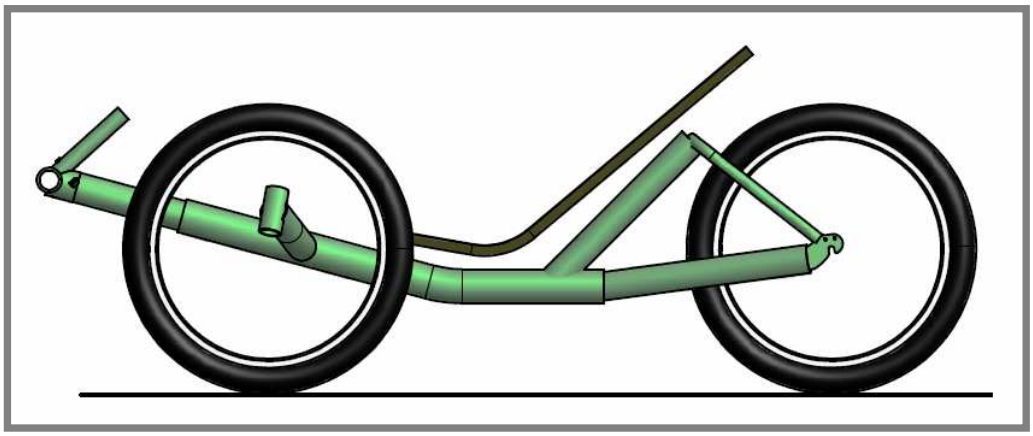
Všechny modely lehokol AZUB jsou typické ohýbanou hlavní rámovou trubkou, která nese všechny prvky lehokola. První myšlenka tedy směřovala k zachování tohoto konceptu a použití jediné hlavní nosné trubky, ohnuté do požadovaného tvaru (obr. 5-1). Tento návrh vizuálně mírně zvýrazňoval vodorovnou linii střední části rámu a zadní vidlice.



Obr. 5-1 Návrh s hlavní trubkou s dvěma ohyby

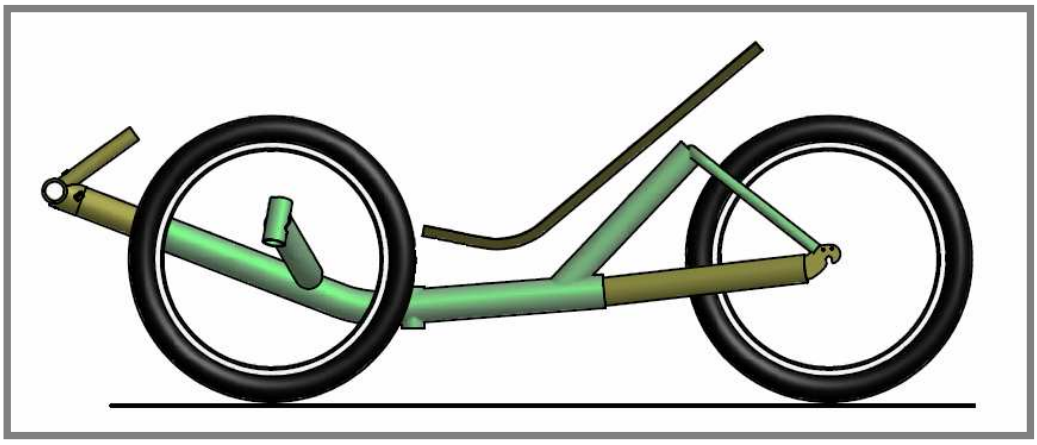
První návrh měl však hned několik nevýhod. Nejproblematičtějším místem bylo napojení zadní vidlice do ohybu hlavní trubky. Další návrhy se tedy zaměřily na změny v tomto místě.

V návrhu na obr. 5-2 je zrušený ohyb pod sedačkou a vzniká tak samostatná sedlová trubka. Zadní vidlice je pak napojena pod malým úhlem do přesahující vodorovné části hlavní trubky.



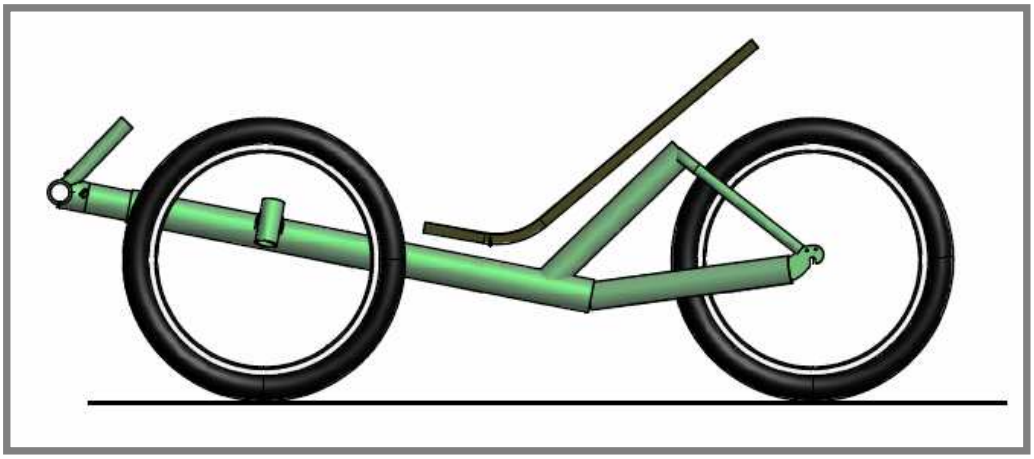
Obr. 5-2 Návrh s hlavní trubkou s jedním ohybem a sedlovou trubkou

Další návrh na obr. 5-3 spojuje do jedné linie zadní vidlici se spodní částí hlavní trubky a vytváří tak i více prostoru mezi sedačkou a rámem pro umístění řízení.



Obr. 5-3 Návrh s hlavní trubkou s jedním ohybem a místem pro řízení

Poslední návrh na obr. 5-4 dále zjednodušuje konstrukci. Řízení se z předpokládaného umístění mezi rámem a sedačkou přemisťuje pod hlavní rámovou trubku a ta tak může být přímá, bez jediného ohybu.



Obr. 5-4 Návrh s hlavní rámovou trubkou bez ohybů

5.2 Výběr optimální varianty

O výběru nejvhodnější varianty rozhodla zadaná výrobní technologie. Hlavní rámová trubka nese nejvíce prvků vypalovaných laserem (spoj s křížovou, sedlovou a hlavovou trubkou řízení). Ohýbání hlavní trubky by komplikovalo použití laseru a zpomalilo by rychlou a přesnou automatizovanou výrobu. Z tohoto důvodu byla tedy po dohodě s výrobcem vybrána varianta 4 (obr. 5-4).

6 KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ

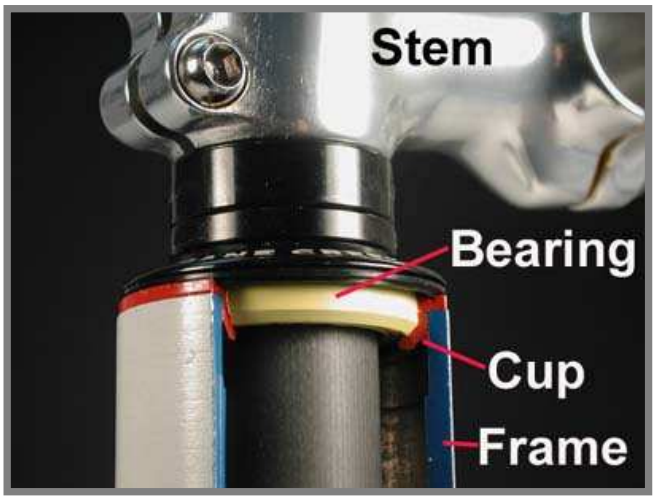
Na základě varianty provedení rámu zvolené v předcházejícím kroku, bylo dále zapotřebí detailněji rozpracovat poloosy kol, řízení a nastavovací systém sedačky, tedy prvky, které ovlivňují konečnou podobu rámu. Vzájemné vazby mezi těmito konstrukčními skupinami potom vyžadují doladění jako celek v kompletní sestavě tříkolky.

6.1 Poloosy a uchycení brzd, kotoučový náboj

Funkcí poloos je uložení předních kol, umožnění natáčení kol vůči rámu, jejich ovládání táhly řízení a uložení brzd. Součástí poloosy je tedy uložení náboje kola, sloupek pro uložení poloosy v rámu, řídící páka s připojením pro táhlo řízení a úchyty na oba typy brzd. Uložení náboje by mělo umožňovat jednoduché odejmutí kol kvůli přepravě. Aby bylo možné takovouto poloosu dobře navrhnout, je nutné seznámit se prvně s konstrukcí všech komponent které s ní souvisejí.
Uložení poloosy v rámu bude zajištěno hlavovým složením typu a-head z klasického jízdního kola (obr. 6-1).

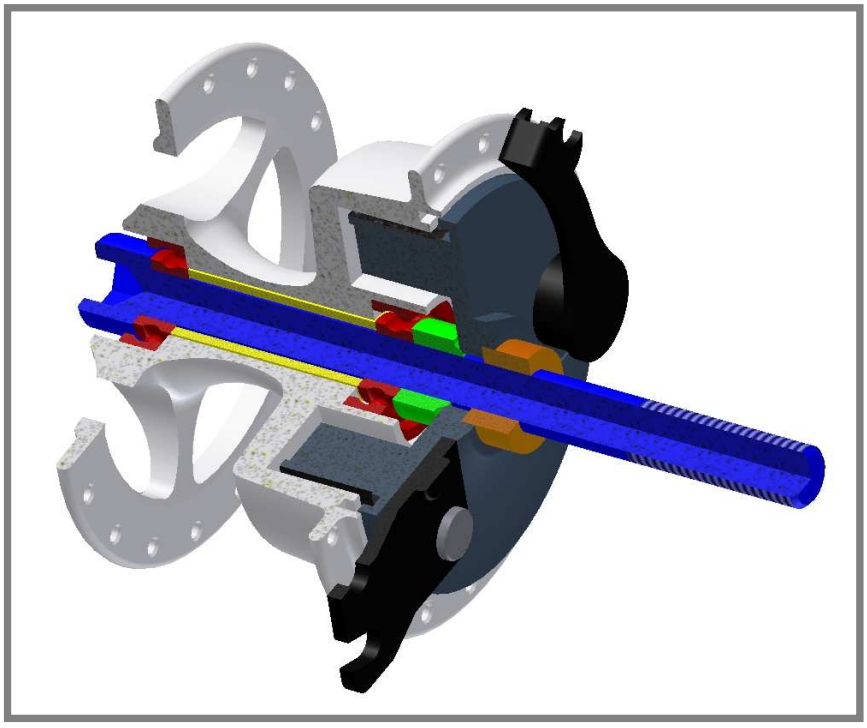
Obr. 6-1 Hlavové složení a-head [11]

Lze použít dvě varianty tohoto složení. Kdyby byla použita verze hlavové složení umístěného vně hlavové trubky rámu, musela by mít tato trubka průměr 40 mm. To by byl problém kvůli přivaření na křížovou rámovou trubku o vnějším průměru 50 mm. Použitím semi-integrované verze hlavového složení (obr. 6-2) se sníží celková výška uložení a průměr hlavové trubky se zvětší na 50 mm, což bude z hlediska napojení na křížovou trubku výhodnější.



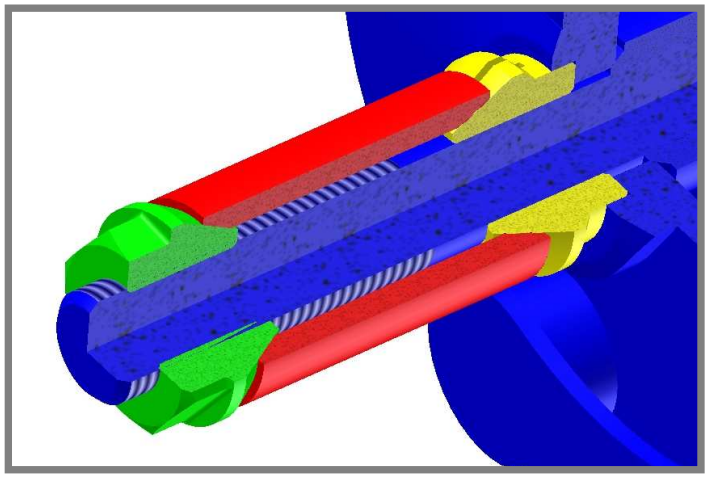
Obr. 6-2 Semi-integrované hlavové složení [12]

Poloosa tedy musí být vybavena sloupkem, stejným, jako je u přední vidlice moderního horského kola, s funkčními rozměry odpovídajícími zavedenému standardu, aby byla kompatibilní s použitým hlavovým složením.
Budoucí výrobce tříkolky předpokládá výchozí osazení tříkolky sériově vyráběnými bubnovými brzdami v nábojích Sturmey Archer XFD-H (obr. 6-3) [8].



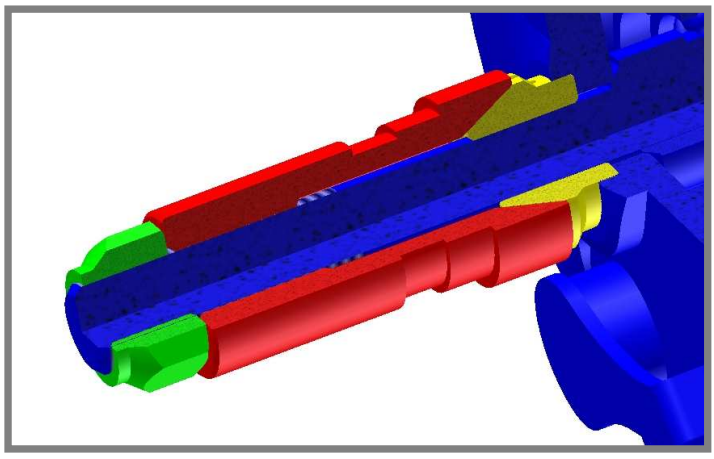
Obr. 6-3 Upravený náboj s bubnovou brzdou Sturmey Archer

Tento náboj, konstruovaný pro letmé uložení, je standardně vybaven plnou osou ∅12mm a je uložen na průmyslových ložiscích řady 6001, konkrétně typu 6001Z s jedním krycím plechem. Osu tvoří šroub M12x1,25-130 s nízkou hlavou s vnějším šestihranem. Uložení náboje k poloose musí zajišťovat jak radiální tak axiální směr a musí být jištěné proti povolení.
První návrh (obr. 6-5) nahrazoval originální distanční váleček (na obr. 6-4 v oranžové barvě), dodávaný s bubnovým nábojem, kleštinou s kuželovou plochou (na obr. 6-5 žlutě). Ta by po dotažení dosedla do kuželové plochy v pouzdře poloosy (pevná součást poloosy, vyznačeno červenou barvou) a upnula by osu stejným způsobem, jako je upnut vrták ve vrtačce. Dotažení by bylo zajištěno speciální maticí se stejnou kuželovou plochou (zelená barva). Zajistilo by se tak celkové vystředění a uložení odolné vůči všem působícím silám.



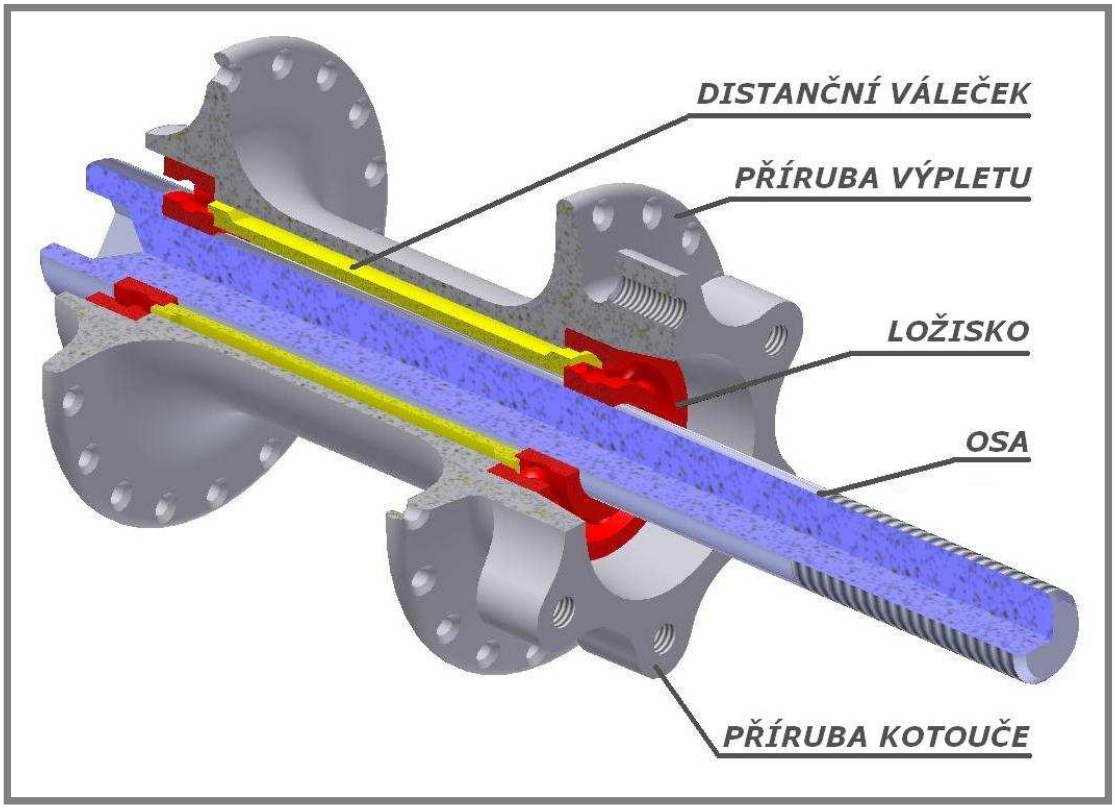
Obr. 6-4 První návrh uložení náboje

Po konzultaci s výrobcem byl z důvodů zjednodušení výroby první návrh pozměněn a kuželová matice byla nahrazena závitem v pouzdře poloosy a normalizovanou samojistnou pojistnou maticí M12 (zeleně na obr. 6-5). Z praktických důvodů byla také původní osa nahrazena šroubem M12x1,25-140 s vnitřním šestihranem. Klíč potřebný k povolení tohoto šroubu je běžnou součástí cyklistického nářadí, na rozdíl od nástrčného klíče č. 19, který by byl zapotřebí k manipulaci s původní osou.



Obr. 6-5 Druhý návrh uložení náboje

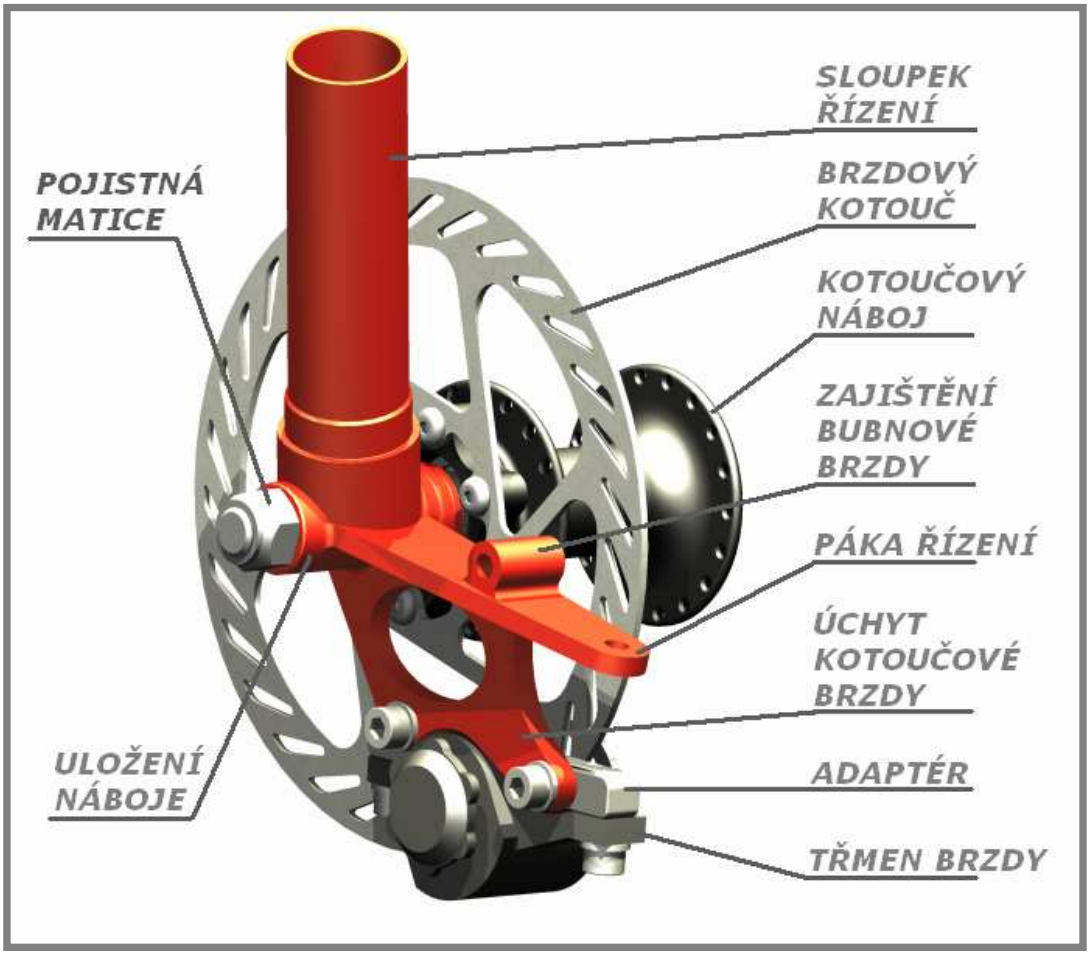
Upnutí osy by mohlo být provedeno také jako rychloupínací, s excentrickým rychloupínákem, jak jej známe z klasického jízdního kola. Toto řešení by však bylo výrobně složitější, a pro základní model tříkolky se s ním tedy nepočítá.
Jako alternativu k náboji z bubnovou brzdou bylo dále potřeba navrhnout náboj pro kotoučovou brzdu. (obr. 6-6) Snahou v tomto případě bylo využít všechny stávající díly a nahradit pouze samotný náboj. Z tohoto důvodu byla použita stejná ložiska, jejichž vzdálenost byla upravena tak, aby odpovídala celkové vnější vzdálenosti dosedacích ploch bubnového náboje a nový náboj tak ložiskem dosedal přímo na kuželovou kleštinu. Příruby náboje byly umístěny do stejné polohy jako na bubnovém náboji, aby nedošlo k posunutí střední roviny kol a změně rozchodu tříkolky (která by měla vliv na řízení) při výměně nábojů. Příruba pro brzdový kotouč byla navržena v souladu s požívaným standardem upnutí šesti šrouby M5. Tělo náboje bude obráběno na univerzálním obráběcím CNC centru z hliníkové slitiny. Součástí náboje musí být také distanční trubička zajišťující správnou vzdálenost vnitřních kroužků ložisek.



Obr. 6-6 Návrh náboje pro kotoučovou brzdu

Třmen kotoučové brzdy je na klasickém kole uchycen k rámu kola nebo vidlici přes výměnný adaptér (pro případnou změnu rozměru brzdového kotouče) čtyřmi šrouby M6. Díry ve třmenu jsou oválné, což umožňuje nastavení polohy třmenu vůči kotouči v rozsahu 3 mm. Uchycení třmenu na poloosu bude provedeno stejně, takže montážní otvory musí ležet ve správné vzdálenosti od sebe a od osy kola. Tyto vzdálenosti jsou standardizovány, stejně jako vzdálenost roviny úchytu od roviny kotouče. Některé brzdové třmeny se vyrábějí v levém i pravém provedení, ale pravé brzdové třmeny bývají hůře dostupné. Proto byly poloosy navrženy tak, aby na obou

kolech mohl být použit běžný levý třmen. Poloosy tedy nejsou zrcadlově symetrické. Odlehčený tvar úchytu bude vypálen laserem z plechu o tloušťce 6 mm.
Stejně jako kotoučová brzda, i bubnová brzda musí být zajištěna vůči poloose, aby mohla plnit svoji funkci. Zajištění bubnové brzdy je jednodušší, stačí ji pojistit jedním šroubem M6, pro nějž je na těle brzdy připravena díra. Vzdálenost středu díry od osy náboje je 55 mm. Opět je potřeba dodržet přesnou polohu čela díry v jejím axiální směru. Zde však vzniká konflikt, protože by tento prvek zasahoval do brzdového kotouče. Proto musí být čelo díry od náboje vzdálenější a při montáži bubnové brzdy se použije distanční váleček.
Celkový tvar těla poloosy ovlivňuje ještě poloha díry pro připojení kloubového oka táhla řízení. Poloha této díry vychází z geometrie řízení, s níž souvisí také velikost úhlů mezi sloupkem poloosy a dalšími prvky. Geometrii řízení se věnuje následující kapitola.
Navrhnuté tělo poloosy (červeně na obr. 6-7) se tedy skládá z pěti součástí: sloupku poloosy, uložení osy náboje, páky řízení, úchytu kotoučové brzdy a úchytu bubnové brzdy. Tyto součásti musí být k sobě svařeny v přesné poloze. Pro usnadnění výroby byly styčné plochy součástí upraveny tak, aby vytvářely zámky usnadňující nalezení správné vzájemné polohy a minimalizovala se tak složitost přípravků potřebných k přesnému svaření.

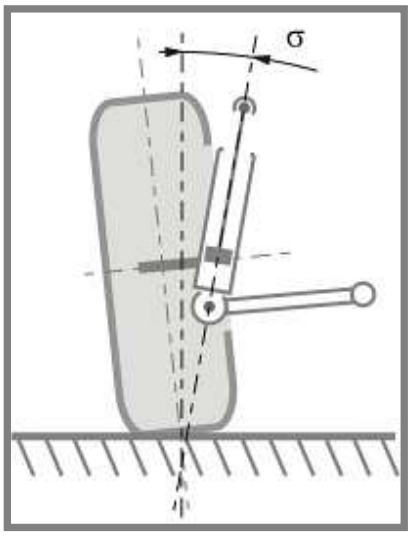


Obr. 6-7 Návrh pravé a levé poloosy

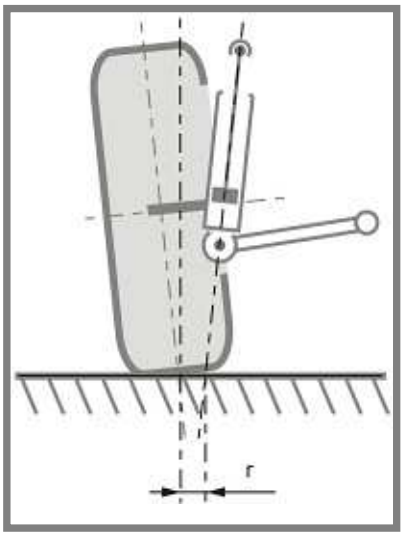
Jako materiál pro výrobu poloos byla výrobcem zvolena nerezová ocel s označením 1.4301 (staré označení 17 240). Jedná se o nerezovou ocel s dobrou obrobitelností a následujícími materiálovými charakteristikami: mez kluzu $R_{p0,2}$ = 210 MPa a mez pevnosti R_m = 520 - 720 Mpa. Materiál je dostupný v dostatečně široké škále polotovarů.
Výrobní výkresy svařenců obou poloos, jednotlivých součástí a kotoučového náboje jsou součástí přiložené výkresové dokumentace.

6.2 Řízení

Jízdní vlastnosti tříkolky, zejména její ovladatelnost a stabilitu při brzdění, určuje především geometrie řízení. Tou je v tomto případě myšlena kombinace úhlů záklonu a příklonu rejdových os, poloměru rejdu a geometrie nekříženého mechanismu ovládání řízení z obr. 1-10.
Tříkolka s dobře navrženým řízením by měla úspěšně projít testem nezávislosti brzdění a řízení. Při tomto testu jezdec na tříkolce sjíždí kopec a brzdí tříkolku pouze jednou přední brzdou. Brzdovou páku přitom nemá přidělánu na řidítkách a řidítka nedrží. Test je úspěšný, pokud brzdění neovlivňuje řízení, tzn. že tříkolka nemá tendenci při takovémto brzdění vybočovat z přímého směru. Tohoto chování lze dosáhnout vhodným nastavením příklonu rejdové osy (obr. 6-8) a poloměru rejdu (obr. 6-9). Příklon rejdové osy σ je průmět úhlu sevřeného rejdovou osou a svislicí do roviny rovnoběžné s příčnou rovinou vozidla a poloměr rejdu r je vzdálenost od středu pneumatiky k průsečíku rejdové osy s rovinou vozovky [13].



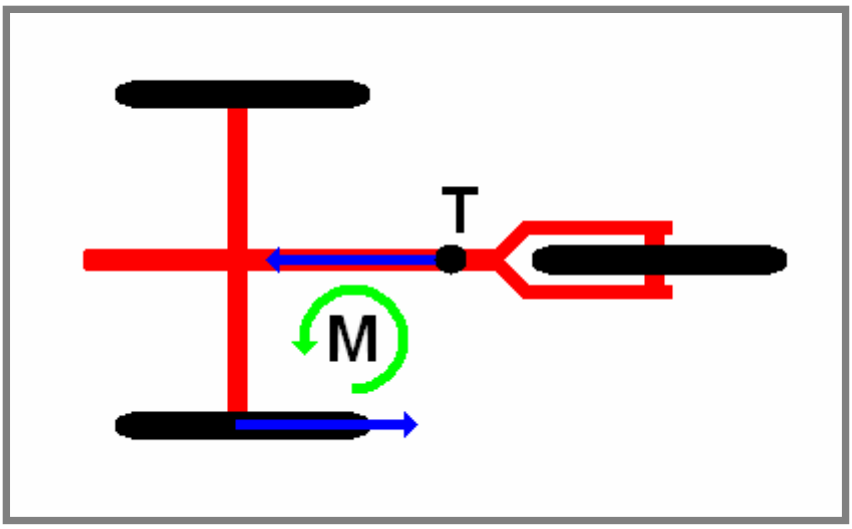
Obr. 6-8 Příklon rejdové osy [13]



Obr. 6-9 Poloměr rejdu [13]

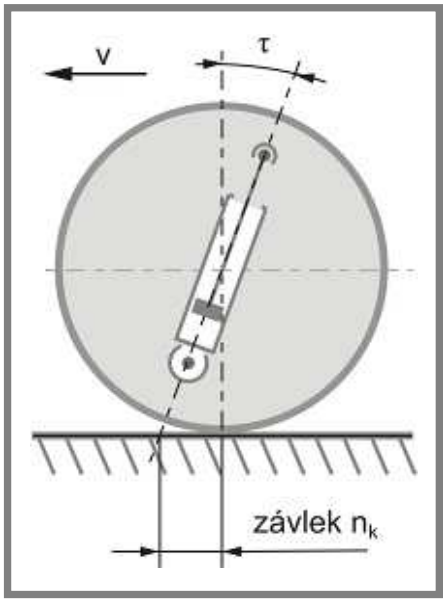
Působiště brzdné síly se nachází v místě dotyku vozovky a pneumatiky. Pokud tímto bodem prochází také osa rejdu ($r = 0$), nevytváří tato síla vůči ose žádný moment a kolo nemá tendenci vybočovat z přímého směru. Kromě brzdné síly v místě kontaktu s vozovkou, však na jezdce a tříkolku působí také setrvačné síly v těžišti soustavy. Setrvačná síla vytváří vůči dotykovému bodu brzděného kola moment, který má tendenci tříkolku otáčet kolem brzděného kola a způsobuje mírné odchylování od přímého směru na stranu brzděného kola (obr. 6-10). Tento efekt je možné korigovat mírně negativním poloměrem rejdu (průsečík rejdové osy je dál od

střední roviny tříkolky než dotykový bod kola). Brzděné kolo má potom tendenci vytáčet se tak, že při vhodném nastavení koriguje výše uvedené vybočování. Přesné doladění poloměru rejdu je vhodné provést až nastavením při testování. Příklon rejdové osy u hotové tříkolky nastavit samozřejmě nelze, a nastavení se proto provádí posunem kola po jeho ose (zkrácením nebo prodloužením distanční kleštiny).



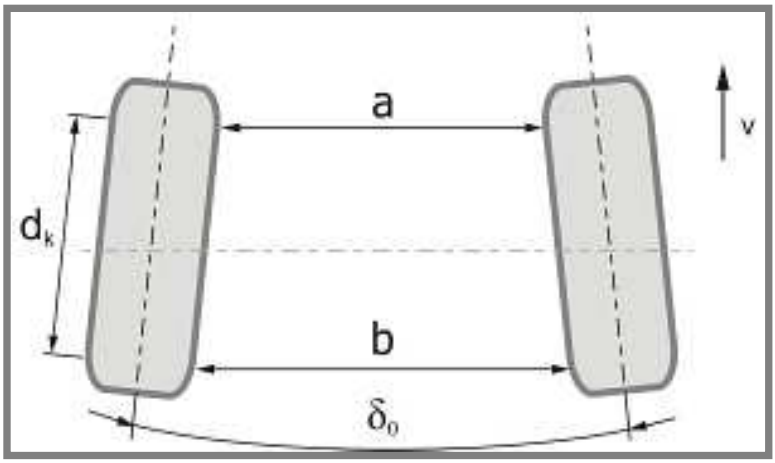
Obr. 6-10 Moment vznikající při brzdění

Pokud by se kola natáčela podle rejdových os, které by byly pouze skloněny o úhel příklonu, docházelo by k jejich naklápění vůči svislé ose. Z hlediska zatížení ložisek a pláště je výhodné upravit geometrii tak, aby se kola naklápěla dovnitř, do zatáčky. Toho lze dosáhnout záklonem rejdových os (obr. 6-11). Záklon rejdové osy τ je průmět úhlu mezi svislicí kola a rejdovou osou do roviny rovnoběžné s podélnou rovinou. Závlek je pak vzdálenost mezi průsečíkem rejdové osy s vozovkou a svislou osou kola [13].



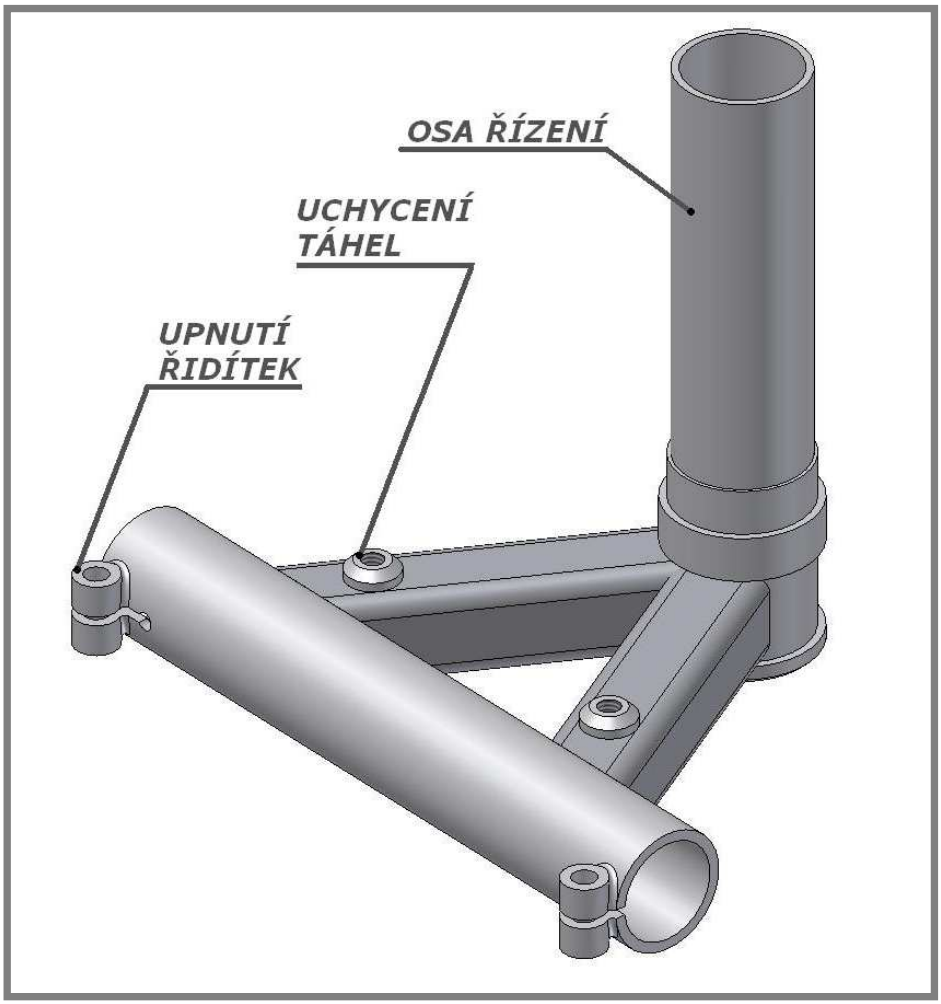
Obr. 6-11 Záklon rejdové osy a závlek [13]

Zvětšení příklonu rejdové osy, záklonu rejdové osy a poloměru rejdu znamená zvětšení vratného momentu řízení, tj. momentu, který má tendenci vracet řízení do přímého směru. Větší závlek se projevuje zvýšenou tendencí držení přímého směru při vyšší rychlosti. Působí zde odporové síly valivého tření předních kol, které stejně jako u koleček nákupního vozíku pomáhají udržovat přímý směr.
Všechny výše popsané efekty je dosti složité posoudit kvantitativně. U prototypu je tedy vhodné přidržet se hodnot záklonu používaných na konkurenčních tříkolkách. Znalost principu vlivu záklonu i příklonu je však velmi důležitá při hodnocení jízdních vlastností prototypu a návrhu dalších úprav.
Hodnota záklonu byla tedy zvolena 12˚. Velikost úhlu příklonu je dále udávána v rovině rejdových os skloněných pod úhlem záklonu. Z konstrukce poloosy, prostorových požadavků kotoučové brzdy a náboje a zvoleného malého negativního poloměru rejdu vyšel úhel příklonu 15˚. Tyto d hodnoty tedy ovlivňují tvar poloos a prostorové umístění a natočení hlavových trubek rámu (tj. trubek, ve kterých je vloženo hlavové složení nesoucí poloosy).
Geometrie táhlového mechanizmu řízení byla v 3D modelu plně parametrizována, takže poloha řídícího čepu na poloose, délka táhel, poloha středu otáčení řidítek, délka představce a vzdálenost mezi úchyty táhel mohly být doladěny až po dokončení ostatních částí modelu, které prostor pro řízení omezovaly. Doladění v modelu probíhalo tak, že byla sledována poloha průsečíku os předních kol při různém zatočení vůči ose zadního kola v pohledu shora. Cílem pak bylo najít takovou geometrii, u které by se průsečík pohyboval mírně za osou zadního kola v celém rozsahu využitelném rejdu. Takováto poloha průsečíku znamená, že přední kola jsou tzv. sbíhavá (obr. 6-12). Sbíhavost kol δ je průmět úhlu mezi podélnou osou vozidla a střední rovinou kola do roviny vozovky [13]. Mírná sbíhavost je výhodná. Vzniklé odporové síly valivého tření vymezují vůle v řízení a zamezují jeho kmitání.



Obr. 6-12 Sbíhavost [13]

Konstrukční řešení představce a středu řízení bylo navrženo jako svařenec ze 6 kusů (obr. 6-13): osy řízení (s osazením na semi-integrované hlavové složení), představce tvořeného zdvojenou trubkou čtvercového průřezu, závitovými vložkami na uchycení táhel řízení a trubkou, ve které budou nastavitelně uložena samotná řidítka. Ty se budou skládat ze dvou stejných polovin.Vše bude vyrobeno z nerezové oceli. Výrobní výkresy svařence i jednotlivých dílů jsou součástí výkresové dokumentace.



Obr. 6-13 Představec se sloupkem řízení

6.3 Nastavitelný posed

Většina tříkolek na dnešním trhu (ICE, HPVelotechnik, Challenge) nabízí pouze omezené možnosti nastavení posedu (většinou sklon sedačky). Modely značek Greenspeed a Catrike mají sedačku úplně napevno. Všechna tato řešení spoléhají pouze na výsuvný šlapák, kterým se nastaví délka posedu, případně i na různé velikosti rámu. Lehokola AZUB jsou typická ve všech směrech široce nastavitelnou polohou sedačky. Tato funkce se u AZUBu nazývá IPS (Ideal Position System). Výhody tohoto řešení jsem si mohl důkladně vyzkoušet na výstavě lehokol SPEZI, kde jsem se staral o předvádění lehokol této značky zákazníkům, učil zákazníky na těchto lehokolech jezdit a absolvoval s nimi testovací jízdy. Nastavení pozice sedačky je rychlé a správný posed jízdu výrazně usnadní.

IPS používá AZUB na svých lehokolech ve dvou provedeních. Jednodušší a levnější provedení má v rámu vevařeny jednotlivé trubičky s plastovou vložkou, kterými může procházet rychloupínák a nést děrovanou konzolu sedačky (obr. 6-14). Různá poloha trubiček v kombinaci s polohami děr na konzole umožňuje podélné i výškové nastavení sedačky.

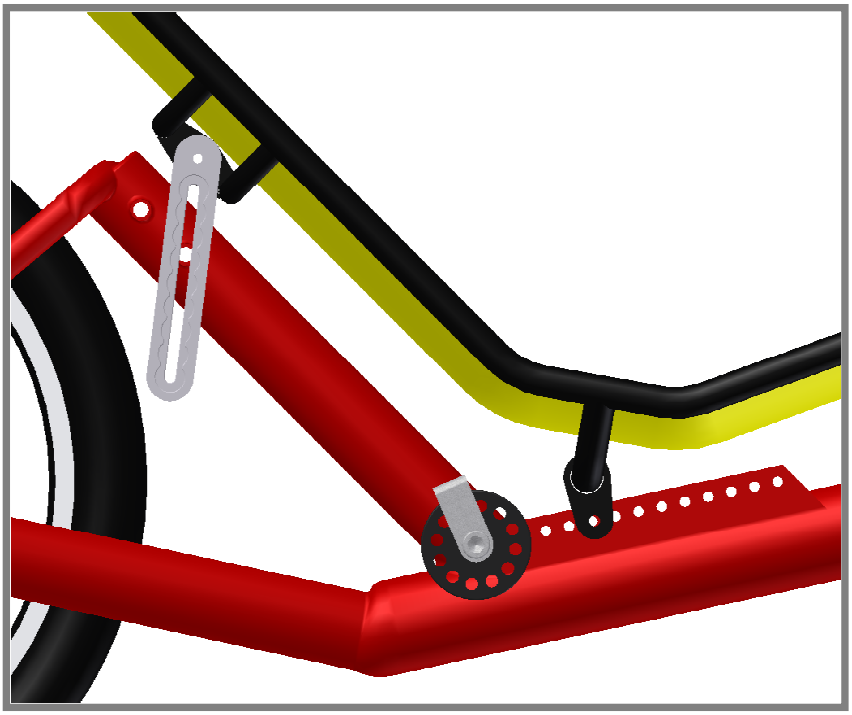
Obr. 6-14 Jednodušší varianta AZUB IPS [1]

V horní části je sedačka podepřena na páru podpěr, které mohou být opět přes rychloupínák přichyceny v různé poloze k rámu. Nastavením této polohy se mění sklon sedačky. Ještě rychlejší změnu polohy nabízí výrobně složitější a dražší provedení použité na dražších modelech značky. Spodní trubičky na rámu jsou nahrazeny CNC frézovaným dílem, který umožňuje změnu pozice sedačky v horizontálním směru bez vyndání rychoupináku. Ten v tomto případě stačí pouze povolit. Upevnění horní částí zůstává stejné jako u levnější varianty (obr. 6-15).

Obr. 6-15 Složitější varianta AZUB IPS [1]

Návrh spodního úchytu sedačky tříkolky vychází ovšem nejvíce z provedení na nejlevnějším modelu AZUB ECO (obr. 6-16). Výhoda tohoto řešení spočívá v maximální možné kompatibilitě se všemi sedačkami, výhodně zvýšené pozici upínacích otvorů, velkém rozsahu a jednoduché výrobě. Svaření úchytu z profilu U 50x30x3 se sedlovou trubkou navíc zvýší tuhost rámu v krutu. Horní úchyt zůstane zachován ve stejné podobě, jaké se vyskytuje u lehokol AZUB. Na obr. 6-17 je vidět navržené nastavitelné uchycení nové rámové sedačky, o jejíž konstrukci se podrobněji zmíním dále.

Obr. 6-16 Uchycení sedačky na modelu AZUB ECO [1]

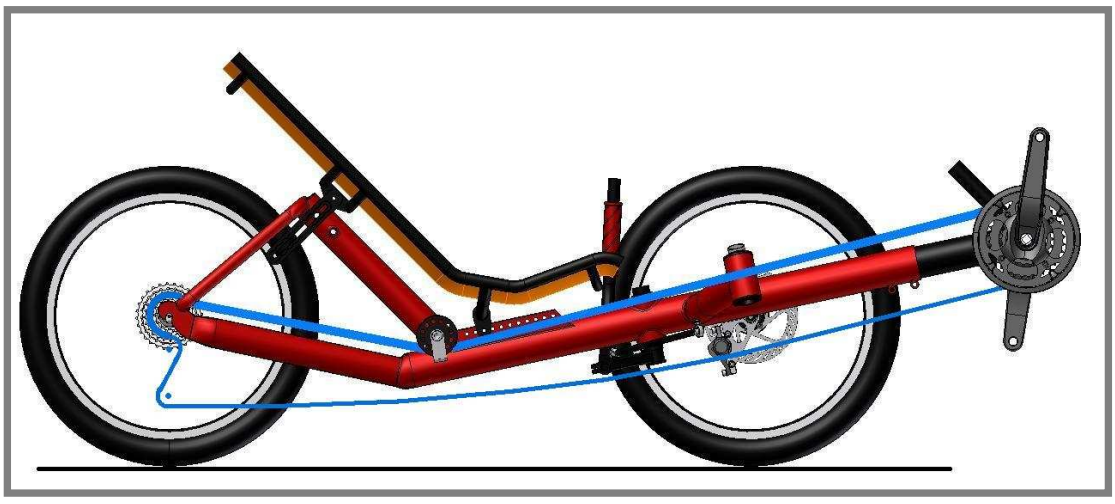


Obr. 6-17 Navržený systém nastavení pozice sedačky

Na tříkolce bude použit stejný šlapák a způsob jeho sevření v hlavní rámové trubce, jako je u všech lehokol AZUB. Rozsah nastavení je v tomto případě 200 mm.
Posledním nastavitelným prvkem tříkolky jsou řidítka. Ty lze v navrženém představci natočit a různě hluboko zasunout. Tím se mění pozice rukojetí a šířka řidítek.

6.4 Pohon

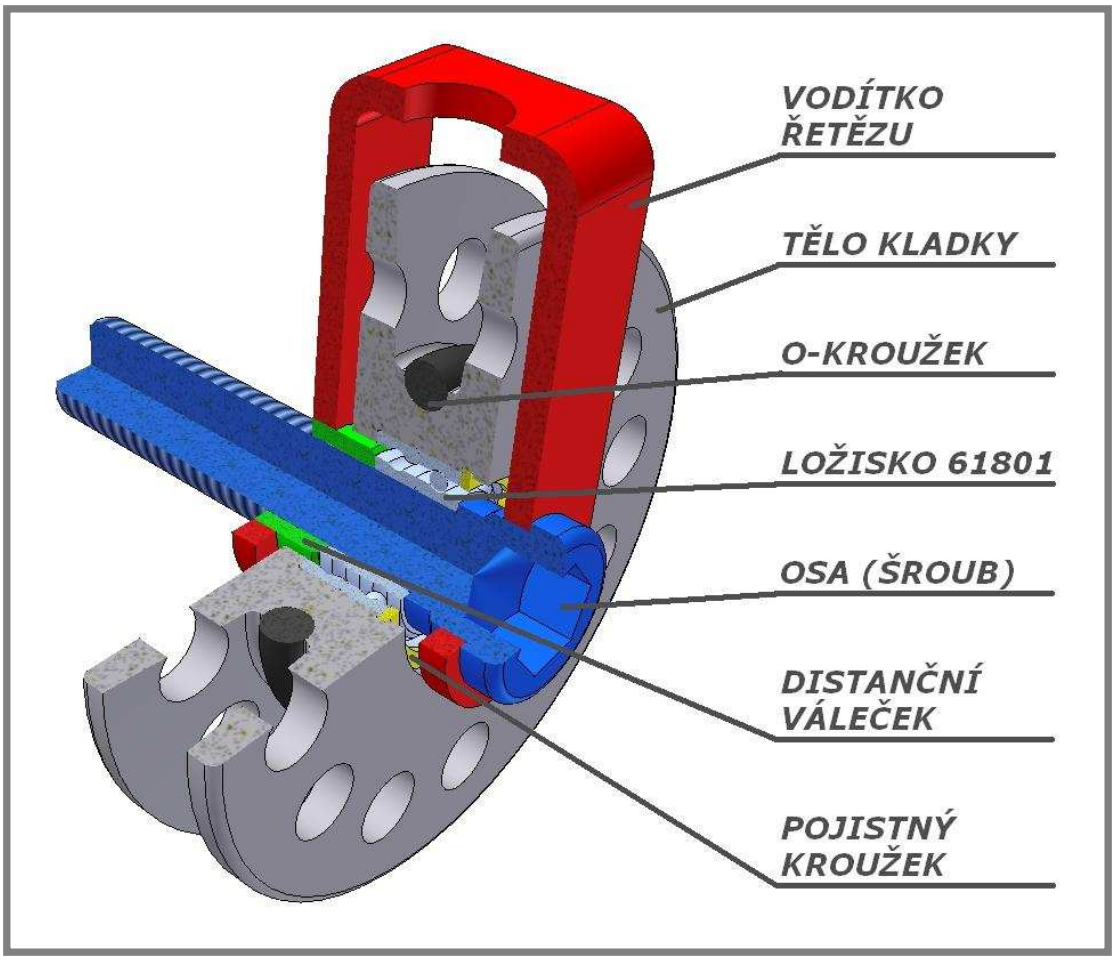
Řetězový převod pohonu tříkolky může výrazně namáhat její rám. Umístění osy zadního kola a středového složení je přitom dané celkovou geometrií. Jelikož přímá trasa řetězu mezi převodníkem a pastorky koliduje s prostorem potřebným pro sedačku, musí být na rám upevněna řetězová kladka. Pozice této kladky určuje tvar řetězové linky, což opět ovlivňuje zatížení rámu při šlapání. Čím ostřejší úhel řetěz ohnutý přes kladku svírá, tím větší silou je kladka zatížena. Při návrhu umístění kladky musí být také zohledněn velký rozsah průměrů používaných převodníků a nastavitelná poloha středu šlapání, což znamená větší prostor potřebný pro vedení řetězu. Ten je přitom dosti omezen křížovou trubkou rámu a pohyblivou sedačkou. Z hlediska namáhání zadní stavby je výhodné, aby řetěz vedl z pastorků na kladku přibližně rovnoběžně s osou zadní vidlice. Posledním kritériem je uchycení kladky k rámu. Síly, které na kladku působí, musí být do rámu přeneseny uložením v místech, kde má rám dostatečnou tuhost. Navržené umístění kladky vyhovuje všem uvedeným požadavkům. Kladka bude uložena v závitové vložce, zavařené do sedlové trubky v místě napojení U profilu uložení sedačky. Výsledná řetězová linka je zakreslena modrou barvou do návrhu na obr. 6-18.



Obr. 6-18 Navržená pozice kladky a řetězová linka

Vedení spodní nezatížené větve řetězu je v návrhu zakresleno slabší čarou. Pozice této části řetězu závisí na postavení vodítka přehazovačky, které se mění se zařazeným převodem. Řetěz je v této větvi také znatelně prověšen vlastní vahou. Případné kolize řetězu například s řidítky ničemu nevadí, řetěz je chráněný v plastové trubičce a případné překážce uhne.
Z původní řetězové kladky, používané na lehokolech AZUB, zůstalo v novém návrhu pouze vlastní tělo kladky, ložiska 61801 a o-kroužek, po kterém běží řetěz.

V původní verzi byla kladka uchycena do středu otáčení odpružené zadní stavby. Nově bude její osu tvořit soustružením upravený šroub s vnitřním šestihranem o rozměru M12, který bude přímo zašroubován v závitové vložce, která bude pevnou součástí rámu. Řez sestavou kladky je na obr. 6-19. Výkresová dokumentace nově navržených dílů kladky je součástí přílohy.



Obr. 6-19 Sestava kladky

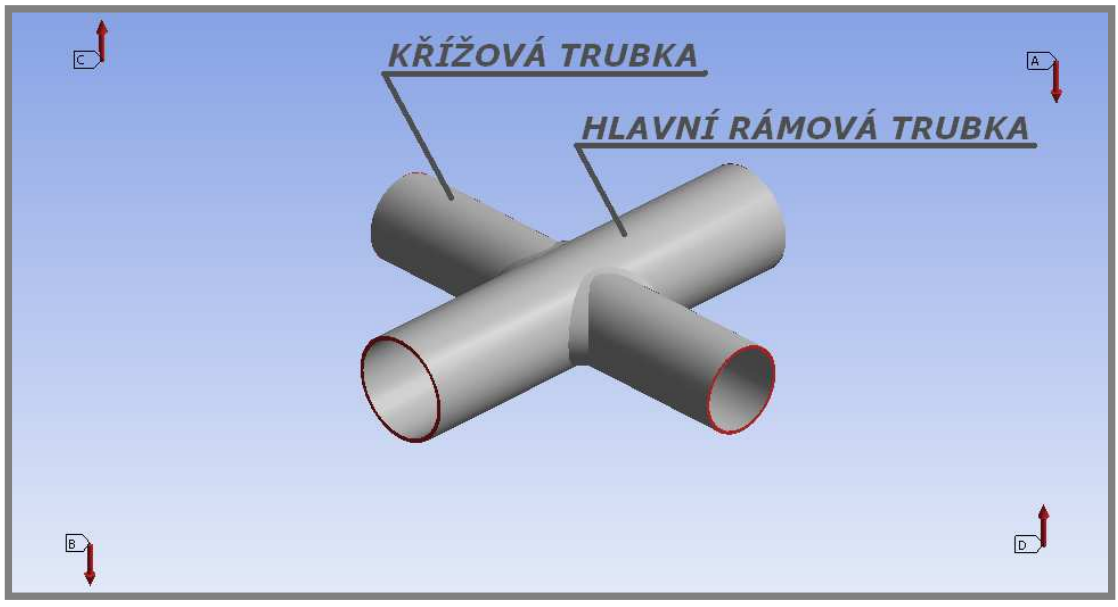
6.5 Rám – detailní zpracování

Na základě návrhu z obr. 5-4 byl vytvořen 3D model rámu tříkolky obsahující uložení řízení, prvky pro uchycení sedačky a závitovou vložku pro uložení kladky řetězu. Některé rozměry použitých profilů vyplynuly ze zadání nebo byly určeny souvisejícími součástmi. Zbývající rozměry byly navrhnuty jako kompromis mezi tuhostí rámu a jeho hmotností. Jednalo se zejména o sílu stěny křížové a sedlové trubky a zadních vzpěr. Poloměry ohybů trubkových profilů byly navrženy s ohledem na strojní vybavení výrobce. Posledním prvkem rámu, který bylo potřeba vyřešit, bylo napojení křížové a sedlové trubky na hlavní rámovou trubku.

Propojení křížové trubky o průměru 50 mm a hlavní trubky o průměru 60 mm je nejvíce namáhaným místem celého rámu, a proto jsem mu věnoval zvláštní pozornost. Spoj lze provést více způsoby. Trubky se mohou křížit tak, že se jejich osy protínají (jsou různoběžné), nebo tak, že jsou mimoběžné, přičemž osa křížové

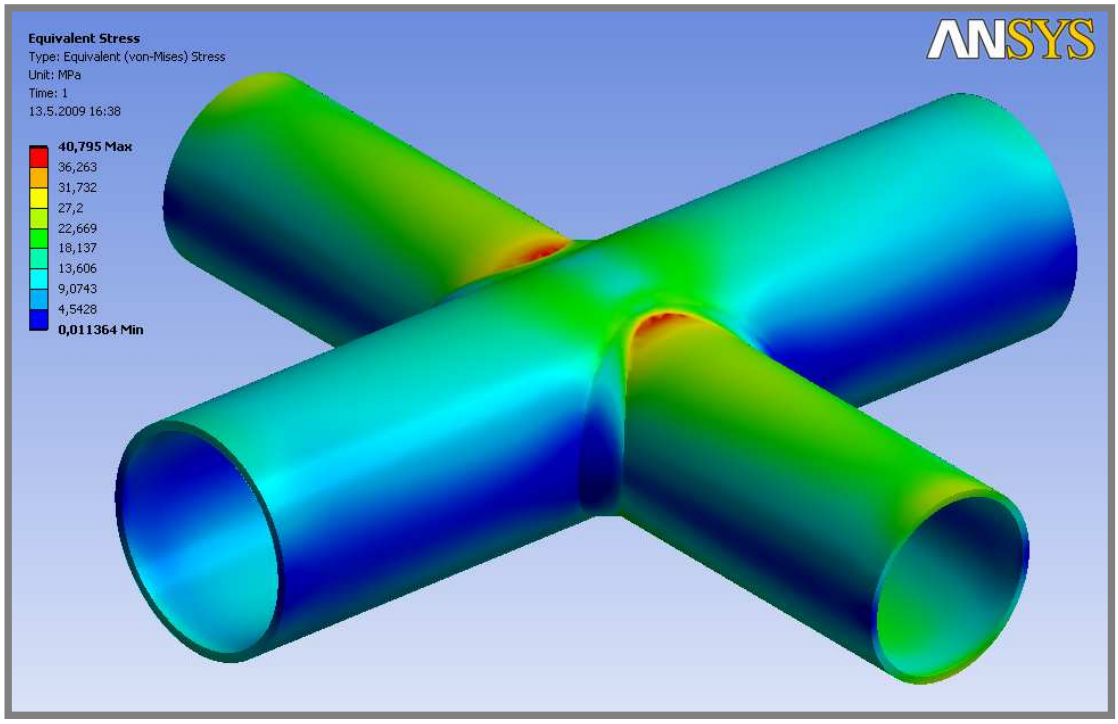
trubky může ležet pod i nad osou hlavní rámové trubky. Z hlediska napětí ve spoji závisí na tom, která z trubek bude vypálena laserem a která bude průběžná. Z technologického hlediska je výhodné, aby křížová trubka byla průběžná, jelikož obsahuje dva ohyby a vypalování laserem je na ohnuté trubce problematické. Naopak vypálení hlavní trubky zaručí přesnou polohu spoje vůči ostatním prvkům rámu. Z hlediska ergonomie je důležité, aby střední část křížové trubky byla co nejníže a co nejvíc vzadu. Při nastupování na tříkolku totiž jezdec potřebuje stát co nejblíže sedačce a překážku mu zde vytváří právě křížová trubka. Komplikované nasedání bylo jednou z největších nevýhod tříkolky postavené v rámci školního semináře. Dalším omezujícím prvkem je řetězová linka, která znemožňuje křížení nad osou hlavní trubky. Z uvedeného rozboru tedy vyplývá, že by bylo výhodné, kdyby spoj mohl být provedený pod osou hlavní trubky.

Pro srovnání obou variant jsem provedl výpočet napětí v různoběžném i mimoběžném spoji. Vymodeloval jsem oba spoje trubek s reálnými průměry (60 a 50 mm), tloušťkami stěn (2,5 a 3 mm) a svary. Pro zjednodušení byly obě trubky vždy dlouhé jen 250 mm a křížily se ve svém středu. Vzdálenost os trubek byla u mimoběžného křížení navržena 20 mm. Model byl v softwaru ANSYS Workbench zatížen silami o velikosti 300 N (průměrné zatížení jednoho kola hmotností jezdce) s působišti ve vzdálenosti 225 mm od čel trubek (*remote force*) (obr. 6-20). Takto je spoj zatížen stejným ohybovým momentem a silou, jakoby trubky byly dlouhé 700 mm, což je velikost rozchodu tříkolky. Stejným způsobem byl zatížen také druhý typ spoje, přičemž směr sil byl takový, aby odpovídal situaci, kdy křížová trubka protíná hlavní trubku pod její osou. Pro výpočet byly použity materiálové charakteristiky hliníkové slitiny EN AW-6060 T6 (mez kluzu $R_{p0,2}$ = 50 MPa, mez pevnosti R_m = 190 MPa, modul pružnosti E = 69500 MPa a Poissonovo číslo μ = 0,33).

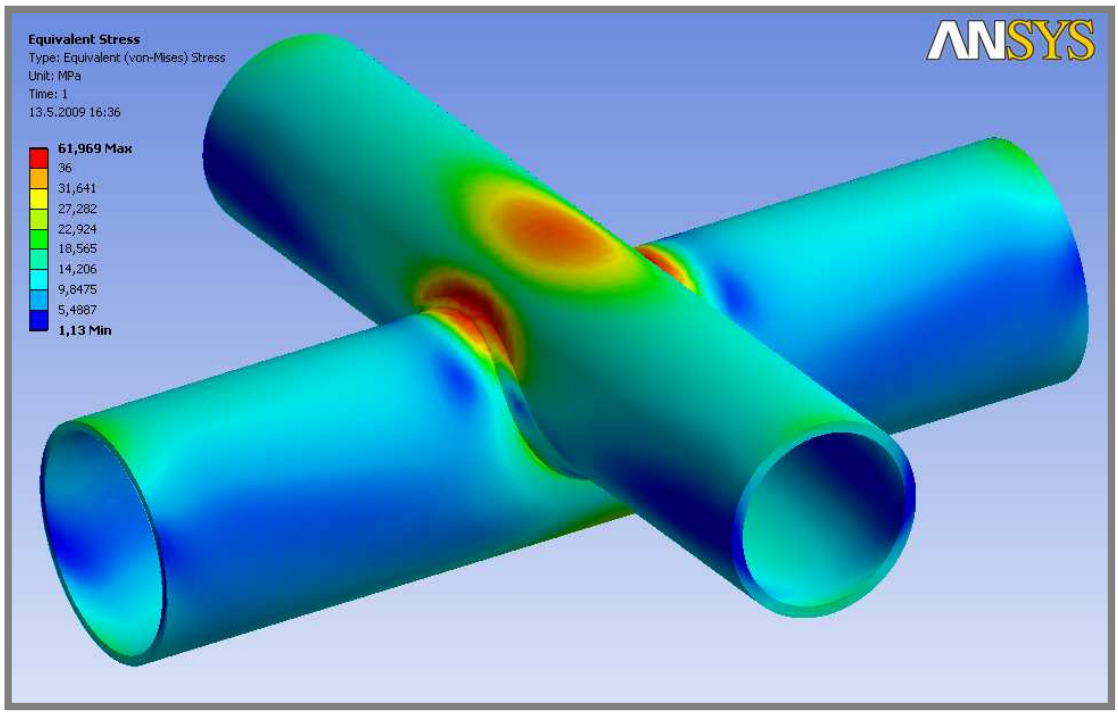


Obr. 6-20 Zatížení spoje

Srovnání výsledků výpočtů (obr. 6-21 a 6-22) ukázalo, že redukované napětí je výrazně menší (max. 40 MPa) v různoběžně kříženém spoji než v mimoběžně kříženém (max. 62 MPa). Pro názornější srovnání je barevná stupnice na obr. 6-22 upravena podle stupnice na obr. 6-21. Na základě získaných výsledků, byla zvolena varianta různoběžného křížení.

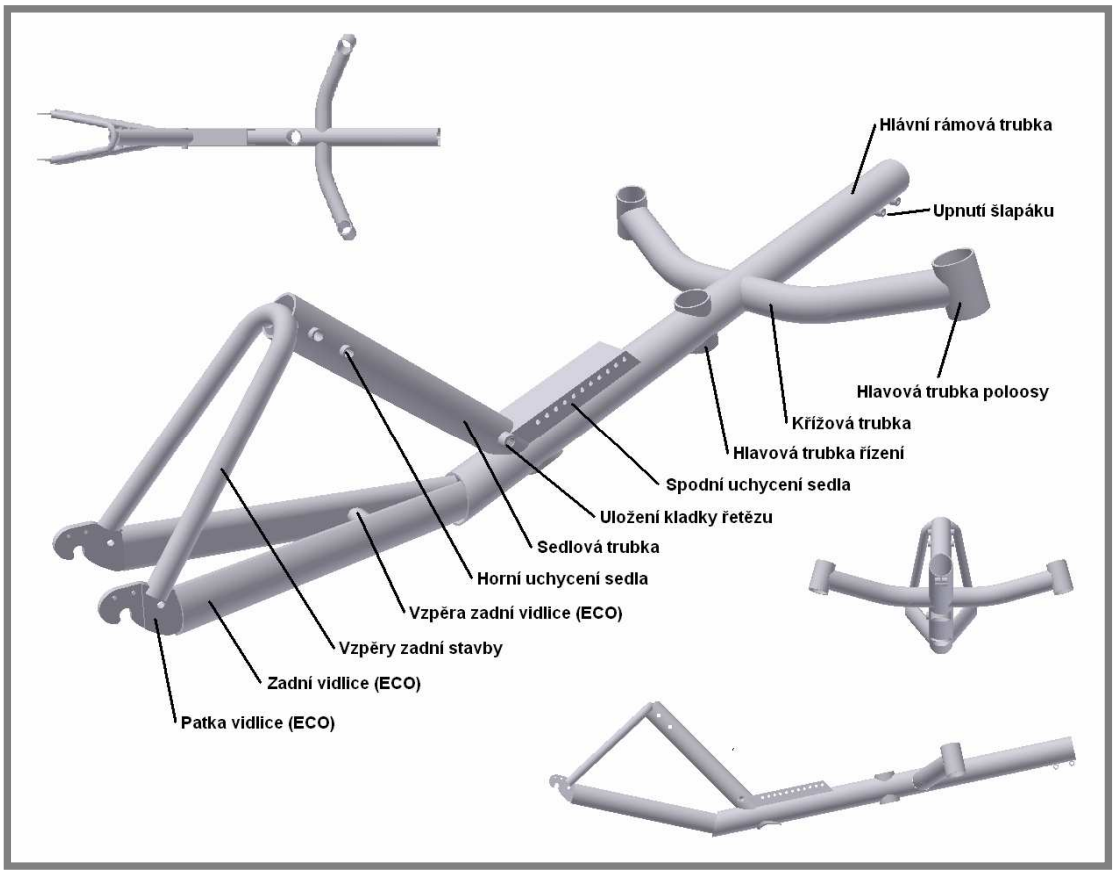


Obr. 6-21 Redukované napětí v různoběžném spoji



Obr. 6-22 Redukované napětí v mimoběžném spoji

Spoj sedlové trubky s hlavní rámovou trubkou lze provést buď bez vypalování hlavní rámové trubky (vypálena by byla jen dosedací plocha sedlové trubky), nebo vypálením obou a prostrčením sedlové trubky skrz trubku rámovou a zavařením na obou stranách. Zvolena byla druhá varianta, která má výhodu nejen ve větší tuhosti spoje, ale i v přesném uložení sedlové trubky oproti ostatním prvkům (výhoda jednodušších přípravků pro svaření).
Po vyřešení posledních konstrukčních problémů byl dokončen parametrický model rámu (obr. 6-23). Úpravou parametrů bylo možné doladit geometrii rámu v rámci celkové sestavy tříkolky.



Obr. 6-23 Parametrický model rámu

6.6 Sedačka

Rám tříkolky byl navržen tak, aby byl kompatibilní se sedačkami, které AZUB používá na lehokolech. Jedná se především o laminátovou sedačku, která se vyrábí ve třech velikostech (obr. 6-24). Její výhodou je nízká hmotnost a vysoká tuhost, poskytující jezdci dobrou oporu při záběru. Nevýhodou je horší odvětrání zad přes celistvou plochu sedačky.

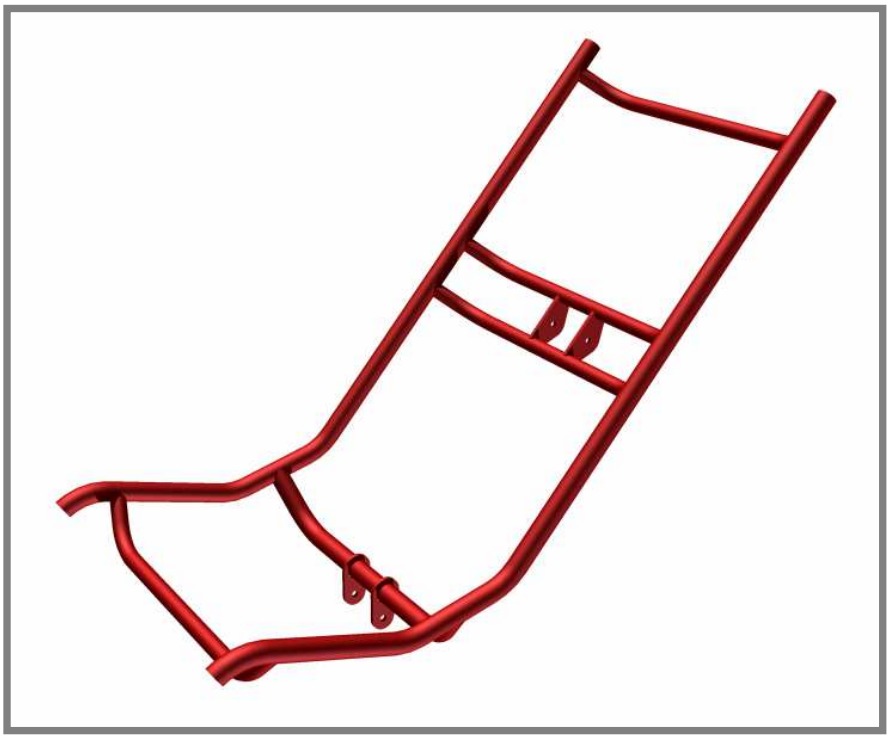
Obr. 6-24 Model laminátové sedačky

Druhou variantou je nová hliníková sedačka z modelu ECO (obr. 6-25), která je nastavitelná a může být proto vyráběna v jediném provedení. Tato velká výhoda je vykoupena mírně vyšší hmotností. Sedačka nabízí také výborné odvětrání.

Obr. 6-25 Nastavitelné sedačky z modelu AZUB Eco [1]

Obě sedačky se přichycují na rám stejným způsobem a jsou tedy zaměnitelné. Jejich nevýhodou při použití na tříkolce je absence bočního vedení. Ta nijak nevadí na lehokole, kde se jezdec naklání do zatáčky i se sedačkou, ale na tříkolce může boční opora chybět.
Dobré boční vedení nabízejí rámové sedačky se síťovým výpletem. Výplet se prosednutím natvaruje tak, že poskytuje tělu dostatečnou oporu. Nová rámová (výpletová, síťová) sedačka byla navržena speciálně pro použití na tříkolce. Na základě zkušeností výrobce byly pro rám sedačky vybrány trubkové profily ∅20x1,5 a ∅16x1,5 z oceli S235JRG2. Boční profil sedačky byl navržen podle vyzkoušených prototypů. Spodní úchyt sedačky je posunutý výrazně dozadu,

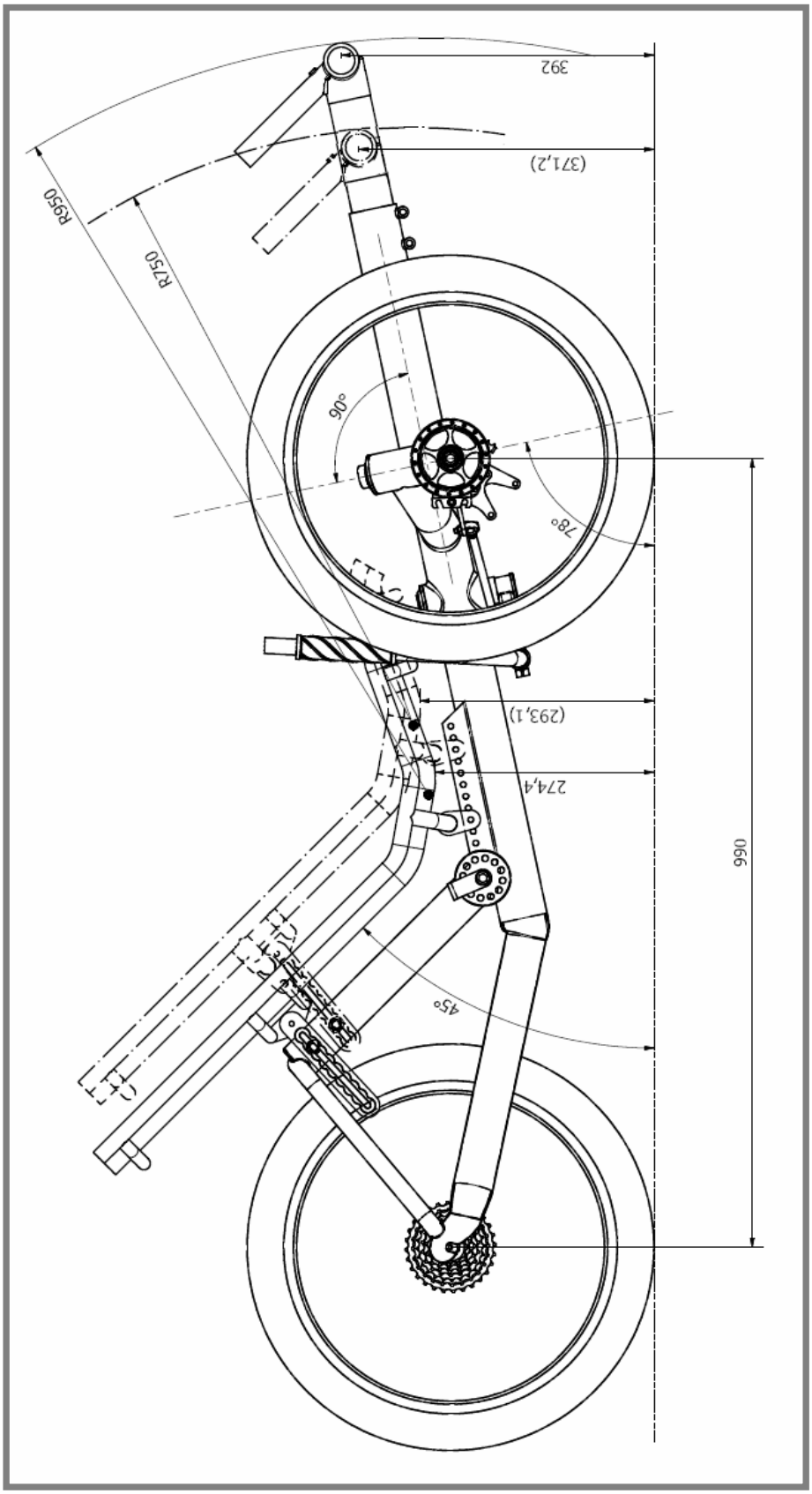
což umožňuje umístit sedačku blíže rámu. Předpokládá se také zvýšení komfortu sezení pružením spodní části. Návrh sedačky je na obr. 6-26, výkresová dokumentace k sestavě a jednotlivým dílům je součástí přílohy.



Obr. 6-26 Návrh rámu síťové sedačky

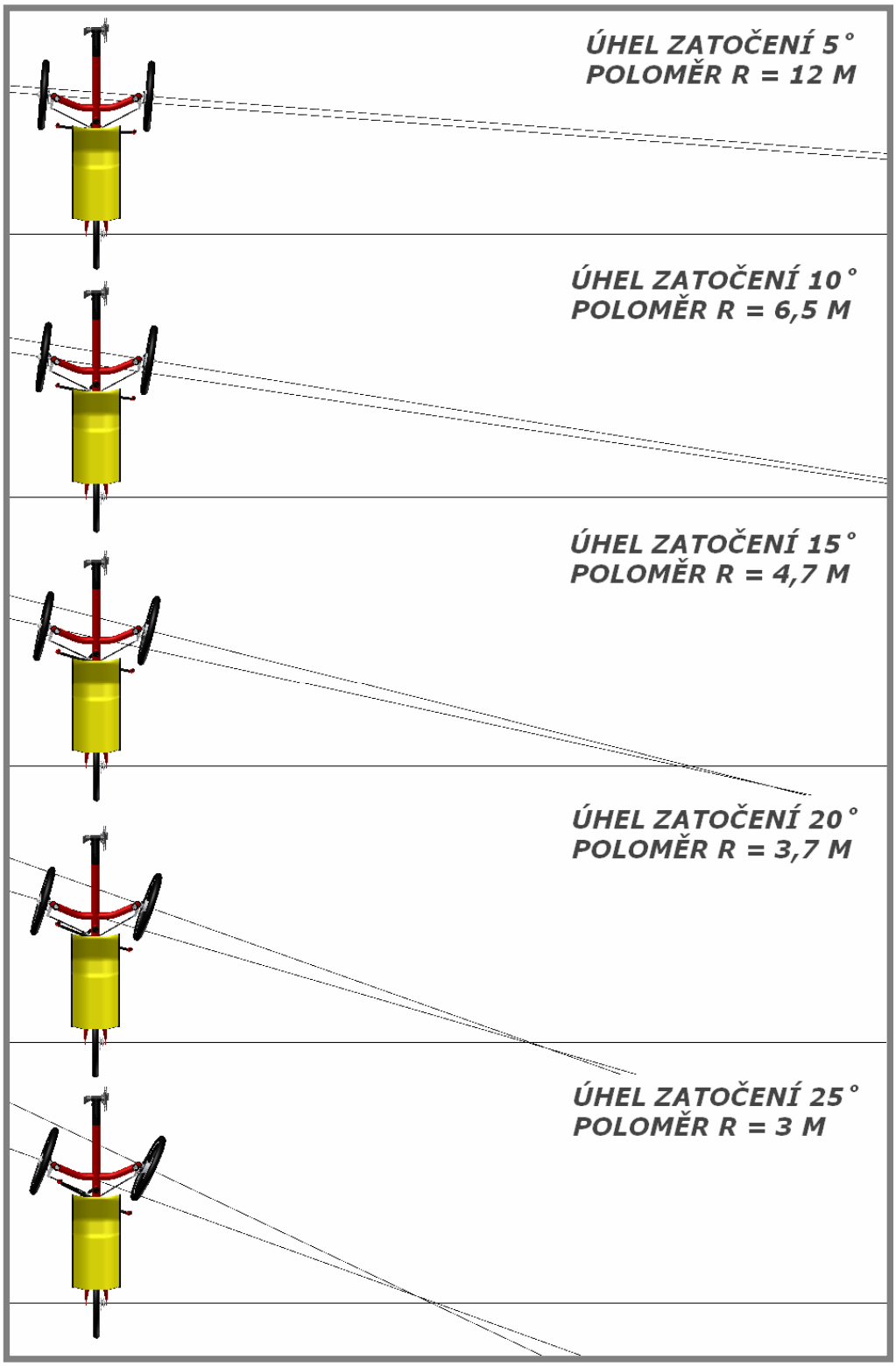
6.7 Kompletace modelu, úpravy celkové geometrie

Po vložení všech výše popsaných součástí do jedné sestavy bylo zapotřebí doladit celkovou geometrii posedu a řízení a zkontrolovat případné kolize.
Základním předpokladem pohodlného šlapání na lehokole nebo tříkolce je vhodná vzájemná poloha sedačky a šlapacího středu. Příliš vysoko položený šlapací střed nejen zvyšuje polohu těžiště jezdce, ale také zmenšuje úhel mezi nohama a trupem. Tento požadavek je částečně protichůdný s požadavkem na co nejnižší polohu sedačky. Výška posedu má přitom zásadní vliv na stabilitu tříkolky v zatáčkách. Při hledání vhodného kompromisu musejí být vždy zváženy všechny varianty nastavení pozice sedačky a šlapáku (pro výšku jezdce 145 cm - 190 cm), a to v kombinaci s všemi výše uvedenými variantami sedaček. Posledním omezujícím prvkem je pak vždy ještě řetězová linka. Než bylo docíleno uspokojivého výsledku, vzniklo postupně 8 vývojových verzí. Hlavní rozměry poslední verze jsou zakótovány na obr. 6-27 ve dvou extrémních variantách nastavení (pro jezdce vysokého 190 cm: sedačka maximálně posunuta vzad a šlapák vysunutý, pro jezdce vysokého 145 cm: sedačka v přední poloze a šlapák zasunutý). Lze konstatovat, že základní parametry splňují požadavky zadání.



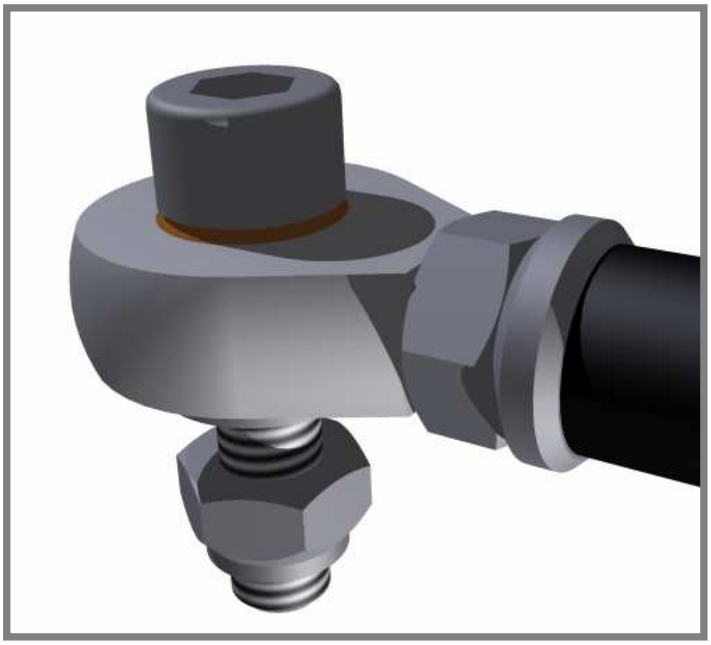
Obr. 6-27 Hlavní rozměry poslední verze návrhu – dvě varianty nastavení posedu

Při hledání ideálního nastavení geometrie mechanizmu řízení jsem prodloužil osy kol tak, aby bylo možné sledovat polohu jejich průsečíku při pohledu shora. Na obr. 6-28 je vidět poloha průsečíku při zatočení řidítek postupně o 5˚, 10˚, 15˚¸ 20˚ a 25˚.



Obr. 6-28 Sledování průsečíku os kol při zatočení

Změnou polohy úchytů táhel na představci a poloosách lze nastavit různou strmost řízení a s tím související rejd, přičemž cílem bylo dosáhnout při maximálním rejdu vnějšího poloměru zatáčky 3 metry. Při hledání vhodného nastavení je také třeba kontrolovat vnitřní úhly v čtyřúhelnících řízení. V krajních polohách se jejich velikost může blížit 180˚, což je jednak nevýhodné z hlediska přenosu sil v mechanizmu řízení, ale hlavně nebezpečné, jelikož hrozí nebezpečí překmitnutí kola nebo řidítek do špatné polohy.
Navržená táhla se skládají z dvojice kloubových ok s bronzovými kulovými pouzdry, zašroubovaných do kruhového profilu o ∅10 mm z hliníkové slitiny, který tvoří vlastní táhlo. Délka táhel lze šroubováním nastavit a ovlivnit tak sbíhavost předních kol, případně doladit polohu řidítek v přímém směru (obr. 6-29). Po správném nastavení je pozice zajištěna distančními podložkami tak, aby pojistná matice mohla být opřena o tělo kloubového oka a nevzniklo tak zúžené místo, které by snižovalo vzpěrnou stabilitu táhla. U konečné geometrie vzniká doraz řízení kontaktem řidítek s táhlem při úhlu jejich natočení 25˚ (minimální poloměr zatáčky 3 m). Táhlo bude v místě kontaktu chráněno gumovým návlekem.

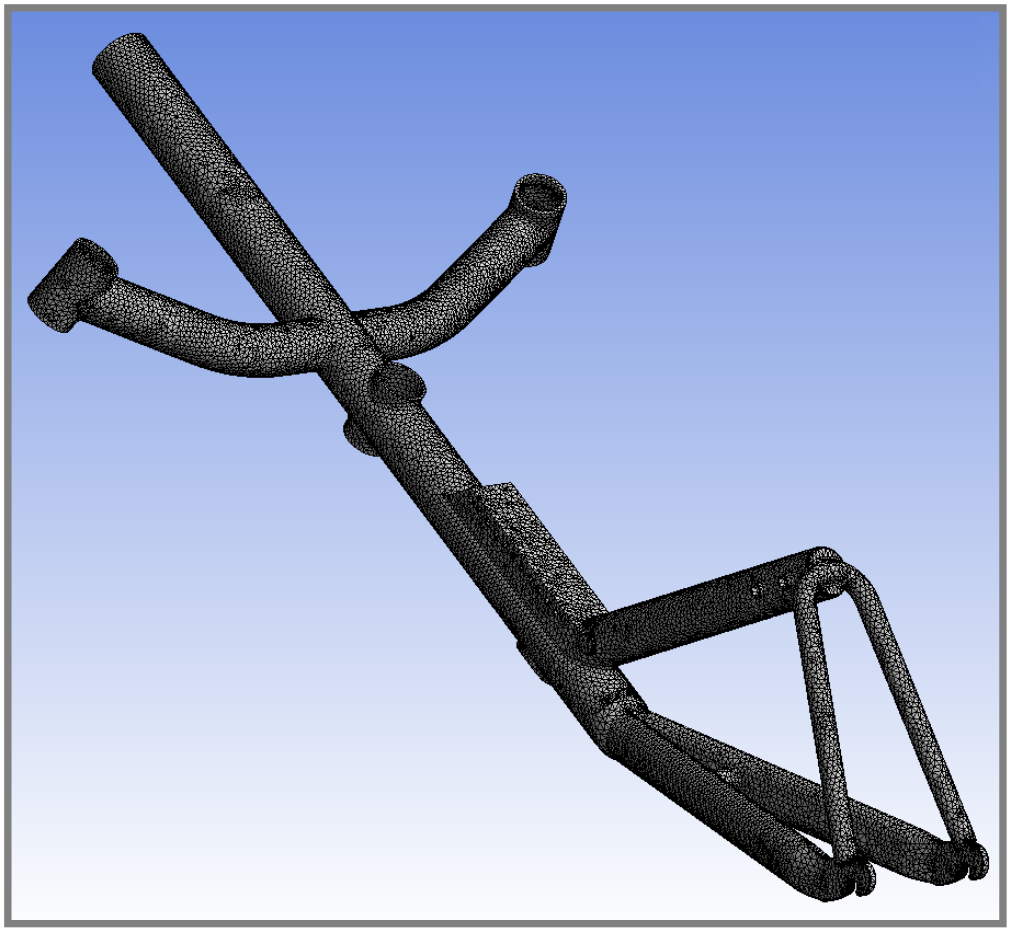


Obr. 6-29 Kloubové oko táhla řízení

6.8 Návrh zátěžných stavů a deformačně-napěťová analýza rámu pomocí MKP

Provedení kompletní deformačně-napěťové analýzy ve všech významných zátěžných stavech u rámu a dalších součástí představuje velké množství práce přesahující rozsah zvoleného tématu. Na základě svých zkušeností s jízdou na tříkolce jsem proto vybral pouze pět zátěžných stavů, které charakterizují základní způsoby zatížení rámu tříkolky. Jsou to statická zatížení simulující zatížení rámu tíhou jezdce v klidu, zatížení rámu při jízdě po nerovné vozovce, zatížení při brzdění, zatížení v zatáčce a zatížení od sil vzniklých při šlapání. Tyto zátěžné stavy budou rozebrány v následujících podkapitolách, kde budou také uvedeny příslušné výsledky získané

pomocí MKP analýzy. Uvedenou analýzu lze však považovat pouze za předběžnou, její význam spočívá v upozornění na potenciálně problematická místa, kterým bude při následném testování prototypu věnována zvýšená pozornost.
Při hledání vhodného způsobu zatížení modelu je vždy nutné brát v úvahu fakt, že toto zatížení je závislé nejen na nastavení posedu, ale také na různé míře zapření jezdce do pedálů a sedačky a dalších drobnostech. Reálné zatížení je tedy dosti variabilní a u takovéto předběžné analýzy nemá žádný smysl snažit se jej detailně vystihnout. Pro základní představu o tuhosti rámu a napětí v něm postačí zcela jednoduché modely zatížení.
Všechna níže uvedená zatížení dále počítají pouze s hmotností jezdce a do výpočtu nezahrnují například nezanedbatelnou hmotnost zavazadel, která mohou být přepravována na nosiči nad zadním kolem. Přítomnost naložených brašen má vliv na polohu těžiště, což ovlivňuje například maximální velikost sil při brzdění a i v ostatních zátěžných stavech zvyšuje namáhání zadní stavby. Na druhou stranu se předpokládá s takovou zátěží méně dynamická jízda.
Deformačně-napjatostní analýza rámu při uvedených zatíženích byla provedena na modelu, který byl pro tento účel doplněn o svary, podle specifikací výrobce. Pro zjednodušení bylo z modelu odebráno stahování šlapáku. Pro výpočet byly použity materiálové charakteristiky hliníkové slitiny EN AW-6060 T6 (viz. kap. 6.5, str. 49). Globální velikost prvků byla pro síť konečných prvků modelu rámu nastavena na 5 mm (obr. 6-30).

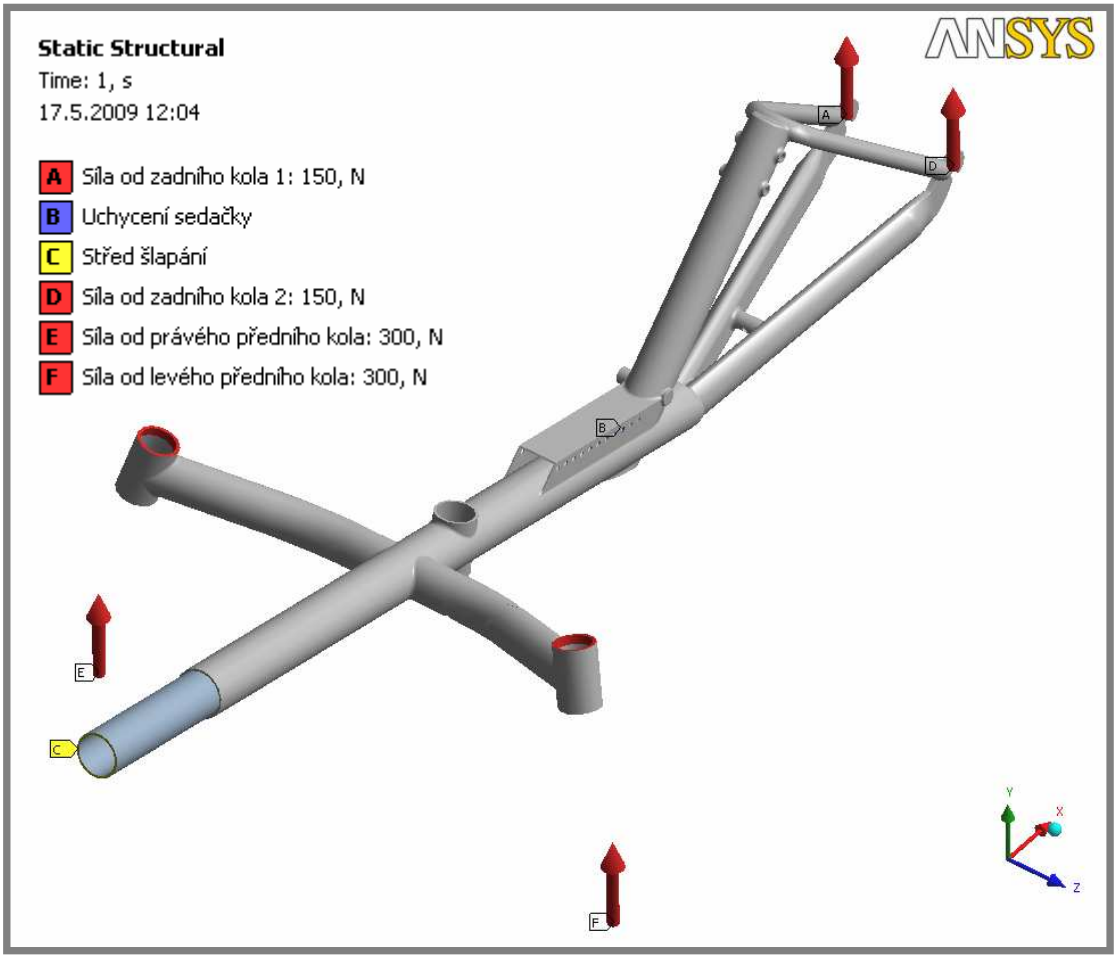


Obr. 6-30 Síť konečných prvků na modelu rámu

6.8.1 Zatížení rámu tíhou jezdce v klidu

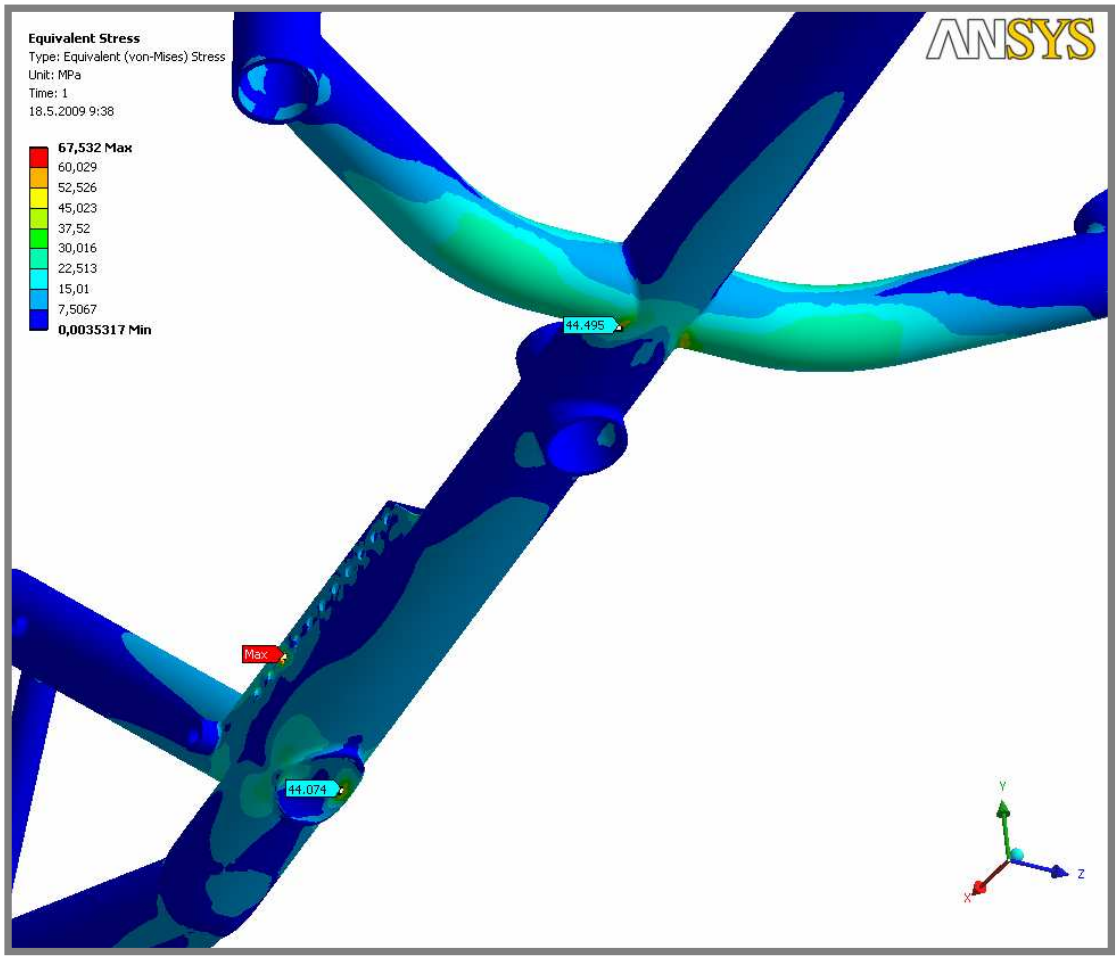
Základním stavem je zatížení tříkolky stojící na vodorovné podložce hmotností jezdce. Lze předpokládat, že tento stav nevyvolá v rámu žádná extrémní napětí, je zajímavý spíše pro představu o deformaci a napětí v rámu vlivem tohoto primárního zatížení.

Tíhová síla působící na jezdce se přenáší do rámu prostřednictvím sedačky, která podpírá tělo jezdce, a šlapáku, který nese kliky, o něž se opírají nohy jezdce. Reakcí na toto zatížení jsou síly od vozovky, působící na kola tříkolky. Zatížení od nich se v případě předních kol do rámu přenáší skrze poloosy a hlavové složení, v případě zadního kola přímo z osy kola do patek rámu. Jelikož přesné rozložení hmotnosti mezi šlapák a úchyty sedačky nelze jednoduše určit, byl zvolen opačný postup zatěžování. Vazbami umístěnými do spodního úchytu sedačky a středu šlapání bylo zamezeno pohybu ve svislém směru. Síly byly zadány ve vzdáleném působišti v místě dotyku předních kol s vozovkou (*remote force*) tak, aby byl zatížen přímo rám v místě uložení hlavového složení poloos. Velikost těchto sil je snadné určit, pokud počítáme s polohou těžiště jezdce ve třetině délky rozvoru, což je doporučená poloha z hlediska jízdních vlastností tříkolky. Taková poloha znamená rovnoměrné zatížení všech tří kol, na každé kolo tedy působí třetina z tíhové síly, která působí na jezdce. Pro tento zátěžný stav byla zvolena hmotnost jezdce 90 kg, síla na každé kolo tedy vychází přibližně 300 N (obr. 6-31).



Obr. 6-31 Zatížení rámu tíhou jezdce v klidu

Výpočet odhalil maximální redukované napětí v místě spodního úchytu sedačky o velikosti 67 MPa (obr. 6-32). Zvolená vazba v tomto místě však neodpovídá reálnému uložení sedačky. Ve skutečnosti přenese část zatížení svěrné spojení dotaženým rychloupínákem, takže skutečné napětí v tomto místě bude patrně výrazně nižší. Na obr. 6-32 jsou označena také další místa s významnými lokálními maximy (na spodní straně křížového spoje a ve spoji sedlové a hlavní rámové trubky). Hodnota redukovaného napětí 45 MPa však není vysoká, bezpečnost vůči meznímu stavu pružnosti je při tomto zátěžném stavu tedy dostatečná. Zobrazení deformace rámu ukazuje maximální velikost deformace v místě uchycení kol. Velikost deformace je 1,2 mm.



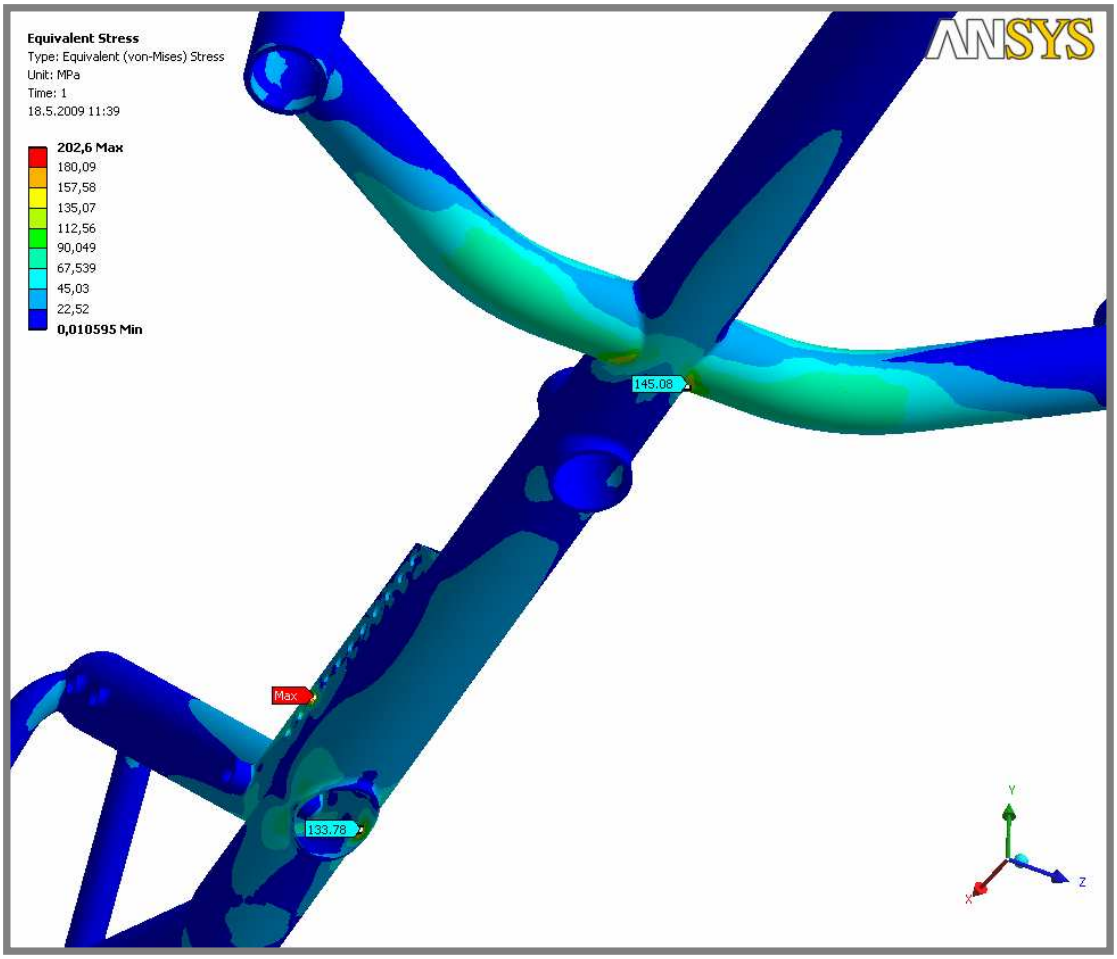
Obr. 6-32 Zatížení rámu tíhou jezdce v klidu – redukované napětí

6.8.2 Zatížení při přímé jízdě

6.8.2

Při reálné jízdě po nerovném povrchu je výsledné zatížení vlivem dynamických jevů vyšší, než výše uvedené. Aby bylo možné je jednoduše posoudit, je vhodné zavést koeficient, kterým se násobí základní zatížení. Na základě zkušeností výrobce byla zvolena velikost tohoto koeficientu rovná třem. Zatížení je tedy jinak stejné jako předcházející, pouze velikost působících sil je trojnásobná. Modelovanou situaci si lze také představit tak, že na sedačce tříkolky sedí jezdec o hmotnosti 270 kg.

Vypočtené redukované napětí (obr. 6-33) má samozřejmě svá maxima ve stejných místech jako u předchozího stavu. Opět se zde nalézá napěťová špička v místě uchycení sedačky (202 Mpa), kterou zanedbáváme (viz. výše). Důležité jsou napěťové špičky v křížovém spoji o velikosti 145 MPa a ve spoji se sedlovou trubkou o velikosti 135 MPa. Tato napětí se již blíží mezi kluzu, takže vyšší zatížení by již patrně mohlo rám tříkolky v těchto místech poškodit. Maximální deformace u tohoto zátěžného stavu je 3 mm, opět v místě uložení kol.



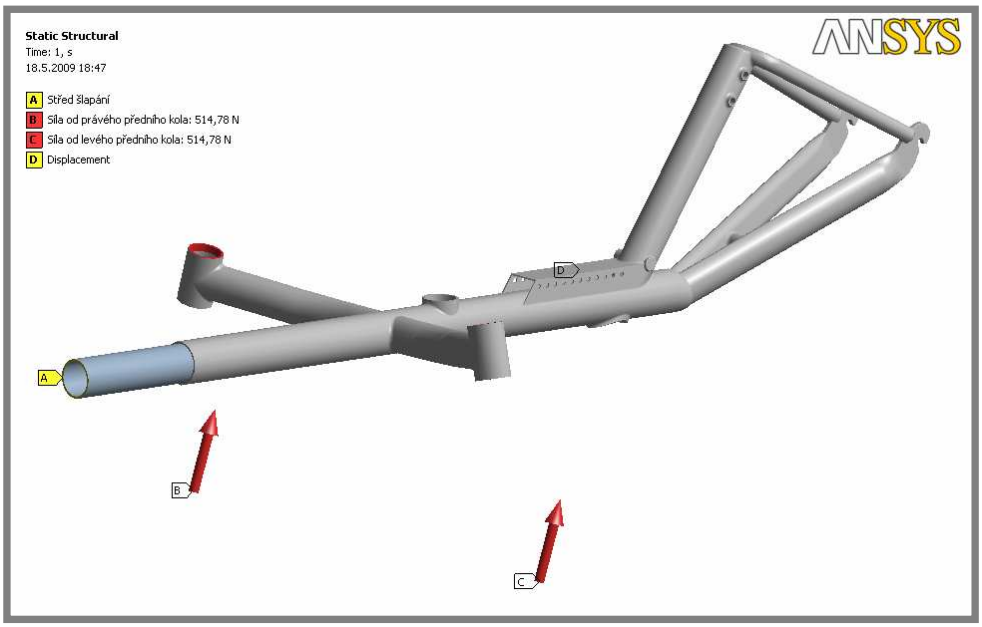
Obr. 6-33 Zatížení při přímé jízdě – redukované napětí

6.8.3 Zatížení při intenzivním brzdění

Dalším zátěžným stavem, způsobujícím hlavně zvýšené namáhání křížové trubky, je intenzivní brzdění. Zadní kolo se při tomto manévru může vlivem setrvačných sil zcela odlehčit a veškerá tíha pak zatěžuje přední nápravu. K tomuto zatížení se navíc přidávají horizontální síly působící v místě styku předních kol s vozovkou.

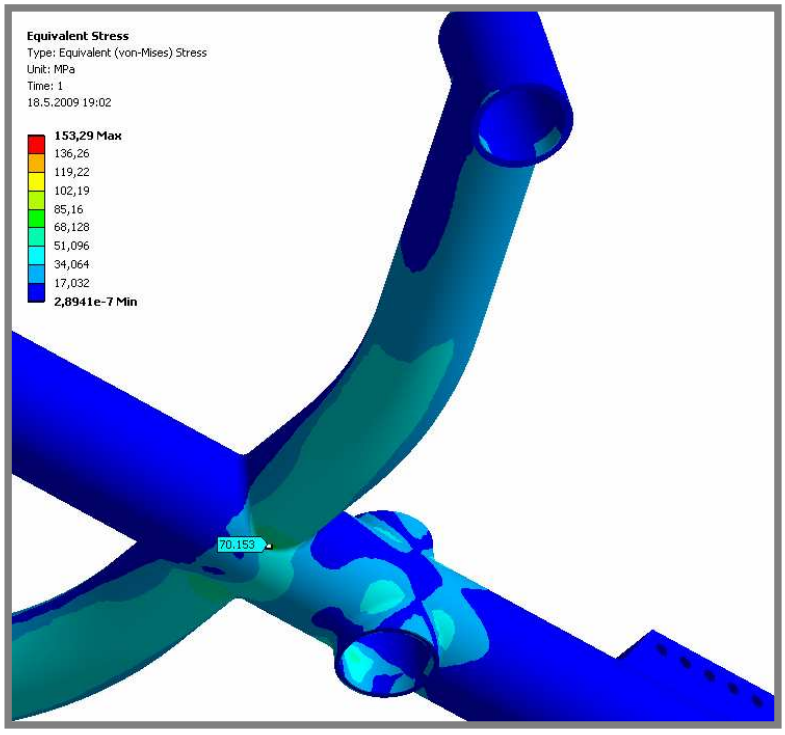
Tento zátěžný stav byl modelován tak, že byly upraveny síly působící v místě dotyku předních kol. Velikost jejich svislé složky byla zadána jako polovina tíhové síly působící na jezdce (450 N) a velikost horizontální složky působící proti směru jízdy jako maximální velikost třecí síly mezi předním kolem a zemí. Součinitel smykového tření guma-asfalt je roven přibližně 0,55 a maximální velikost třecí síly je tedy $450\ \mathrm{N} \cdot 0{,}55 = 247{,}5\ \mathrm{N}$. Síly působící na zadní kolo byly odebrány. Vazby v místě

spodního úchytu sedačky a šlapáku byly také pozměněny. Obě omezovaly pohyb ve svislém směru a vazba ve šlapacím středu zabraňovala také pohybu ve směru jízdy (obr. 6-34).



Obr. 6-34 Zatížení rámu při intenzivním brzdění

Výsledky u tohoto zátěžného stavu ukázaly, že maximální redukované napětí je v místě napojení křížové trupky a dosahuje velikosti 70 MPa (obr. 6-35), což je necelá polovina meze kluzu R_e.



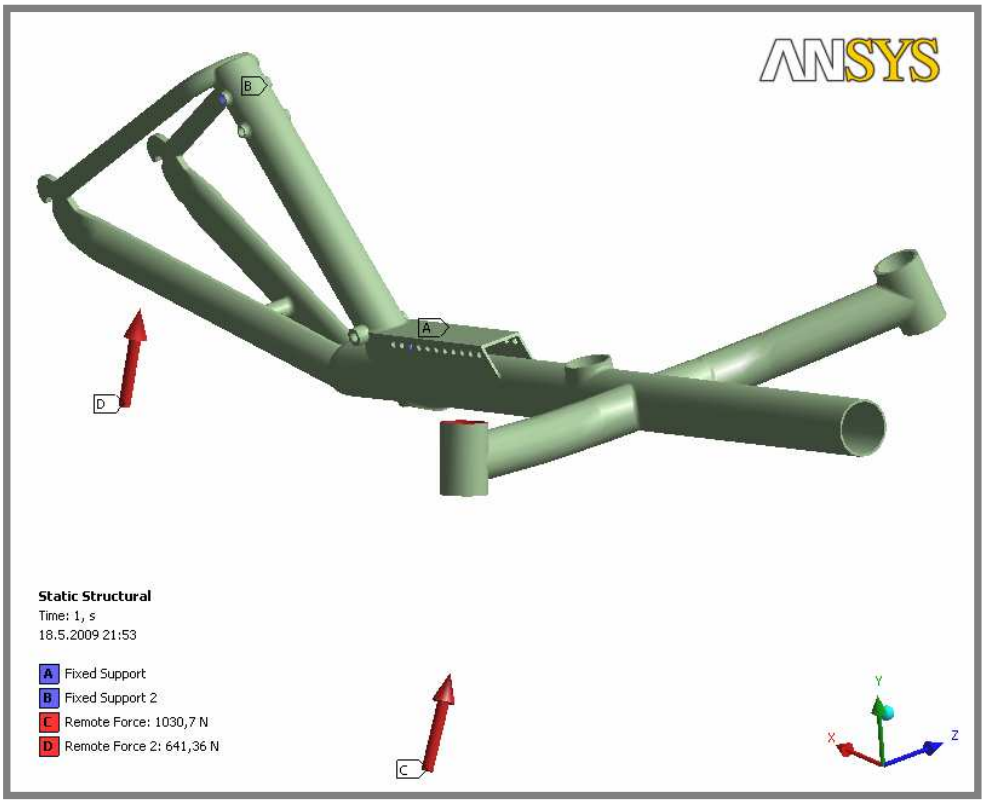
Obr. 6-35 Zatížení rámu při intenzivním brzdění – redukované napětí

6.8.4 Zatížení rámu při průjezdu zatáčkou

Zvláště významným zátěžným stavem pro tříkolku je průjezd zatáčkou. Maximální rychlost nebo minimální poloměr zatáčky je omezen momentem překlopení tříkolky nebo smykem některého kola. To, který z těchto jevů nastane, závisí na geometrii tříkolky. Každopádně je však tento stav velmi nebezpečný, jelikož se celé zatížení přední nápravy přesunuje na vnější přední kolo a na kola navíc působí axiální síly, které výrazně namáhají rám tříkolky.

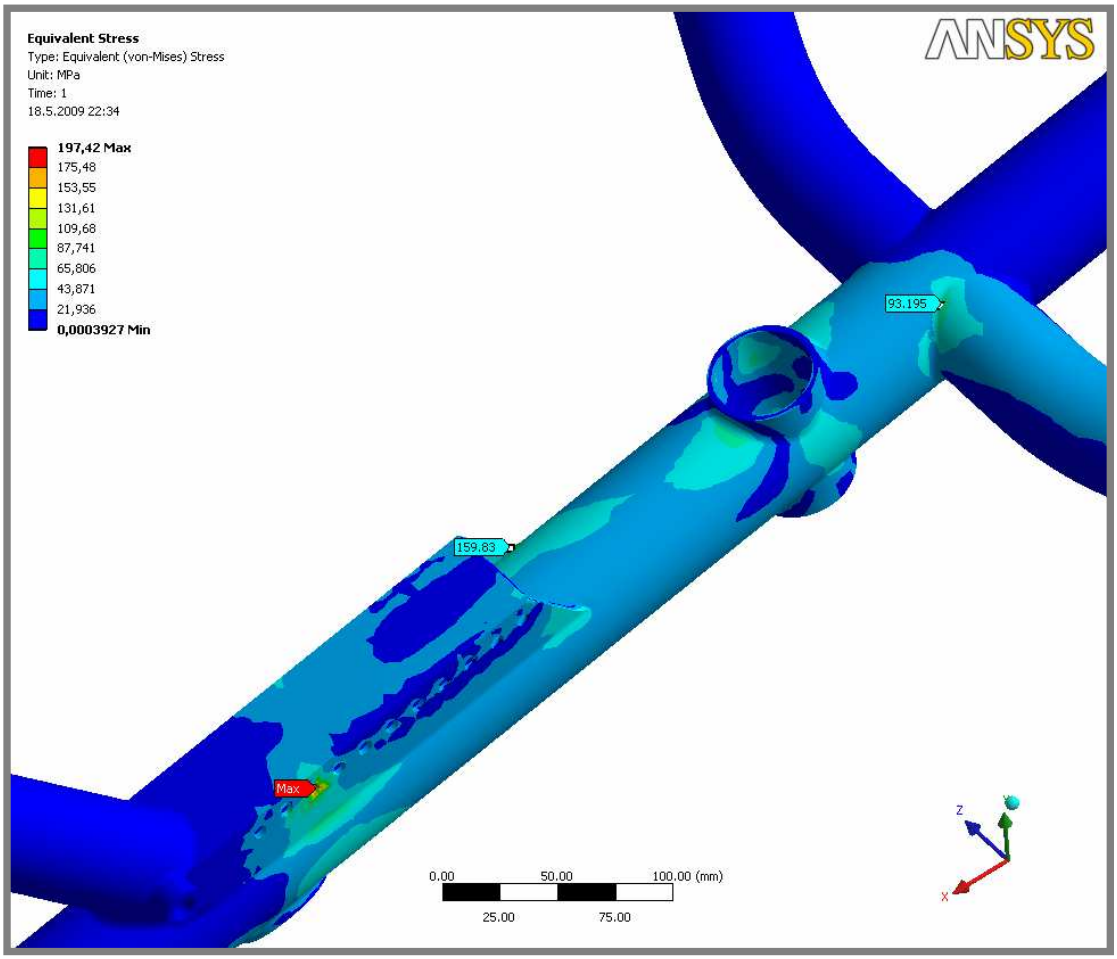
Při jízdě zatáčkou působí v těžišti soustavy jezdce a tříkolky odstředivá síla. Ta se snaží překlopit tříkolku kolem osy, která prochází místem dotyku vnějšího předního kola a zadního kola s vozovkou. Pro stabilitu tříkolky je tedy zásadní výška těžiště, rozchod přední nápravy a předozadní pozice těžiště. Tyto parametry vystupují také v rovnicích statické rovnováhy, které určují závislost mezi maximální rychlostí v zatáčce a poloměrem zatáčky. Následně lze odvodit také vztahy pro velikosti axiálních a svislých sil, které působí na kola. Kromě kritéria překlopení lze formulovat také kritérium smyku předního nebo zadního kola. Z praktických zkušeností s jízdou na tříkolce ovšem vyplývá, že ke smyku může dojít jen na kluzkém povrchu, kde je snížený koeficient tření, přičemž u naprosté většiny tříkolek se jedná o smyk předního kola, tedy o nedotáčivé chování. Na asfaltovém povrchu dochází dříve než dojde ke smyku k překlopení, a to při všech možných poloměrech zatáček a i v případě, že se jezdec snaží posunem těžiště tento moment oddálit. Modelovat silové zatížení při smyku v zatáčce je tedy zbytečné.

Velikost sil, kterými je zatížen rám na mezním stavu překlopení v zatáčce, jsem tedy převzal z řešení výše uvedených rovnic a model zatížení (obr. 6-36) doplnil pevnými vazbami v místě spodního a horního úchytu sedačky, která v zatáčce zachycuje většinu z odstředivé síly působící na tělo jezdce.



Obr. 6-36 Zatížení rámu při průjezdu zatáčkou

Výsledné redukované napětí (obr. 6-37) je nejvyšší v horní části spoje namáhané poloviny křížové trubky s trubkou rámovou (93 MPa) a v začátku svaru U-profilu spodního uchycení sedla (160 MPa). Existenci této napěťové špičky může vysvětlovat zjednodušené modelování svarů. Reálný svar bude v tomto místě vypadat zřejmě jinak. Rozhodně je však zapotřebí tomuto místu věnovat zvýšenou pozornost během testování.



Obr. 6-37 Zatížení rámu v zatáčce – výsledné napětí

6.8.5 Zatížení od šlapání

6.8.5

Posledním významným zatížením je zatížení od šlapání. Jezdec na lehokole nebo tříkolce se může rozepřít mezi sedačku a pedál a vnést do řetězového převodu sílu i výrazně větší než 1000 N. Převodovými poměry mezi klikou a převodníkem se tato síla dále násobí a síly v řetězu se tak mohou pohybovat v řádech tisíců Newtonů. U některých rámů lehokol potom vzniká problém s přílišnou deformací rámu, která je navíc kvůli kinematice šlapání výrazně proměnná a samozřejmě cyklická. Tomuto zátěžnému stavu jsem se však po konzultaci s výrobcem rozhodl dále nevěnovat. Namáhání rámu zatížením od šlapání totiž zřejmě nebude u navržené tříkolky kritické, díky vhodné kombinaci přímého tvaru rámu rovnoběžného vedení řetězu s malým zalomením přes kladku. Všechna lehokola AZUB dobře snášejí stejné

zatížení, přičemž jejich rám je z hlediska tohoto typu namáhání nevýhodně ohýbaný a je přitom z profilu o stejném průřezu.

6.10 Úpravy navržené na základě výpočtového modelování pomocí MKP

Pomineme-li napěťovou špičku objevující se v místě spodního uchycení sedla, nepřesáhlo redukované napětí v žádném ze zvolených zátěžných stavů mez kluzu materiálu. Napěťové špičky v místě spoje křížové a hlavní rámové trubky však upozorňují na vysoké namáhání tohoto místa. Dalšími místy, která zasluhují zvýšenou pozornost, jsou napojení sedlové trubky a přední část svaru na úchytu sedačky. Vyšší hodnoty napětí lze také předpokládat v místě, kde je do rámu zavařena vložka pro uložení kladky řetězu. Naopak ve vzpěrách zadní stavby se neobjevilo ani v jednom zátěžném stavu zvýšené napětí. Lze však předpokládat, že tato část rámu bude více zatížena například při přepravě nákladu na nosiči nad zadním kolem.

V době, kdy byly dokončeny výše uvedené analýzy, byl již prototyp rámu podle stávajícího návrhu ve výrobě. Bylo proto rozhodnuto, že případné úpravy návrhu budou provedeny až na základě testování prvního prototypu, s přihlédnutím k uvedeným analýzám. Potenciálně problematické místo křížení by v případě nedostatečné pevnosti bylo zesíleno použitím silnější křížové trubky, v případě problému v místě napojení trubky sedlové by bylo vhodné zaslepit tento profil ve spodní části tak, aby se doplnila chybějící část stěny hlavní rámové trubky. Pokud by bylo požadováno naopak odlehčení rámu, pak by byl nejspíše nahrazen trubkový profil zadních vzpěr profilem s tenčí stěnou.

6.11 Vizualizace

Pro potřeby výrobce byla provedena jednoduchá vizualizace. Pro tento účel byly do sestavy modelu doplněny některé chybějící komponenty: kliky s převodníky, šlapátka, přehazovačka, brzdové páky. Sestava byla poté renderována v aplikaci Inventor Studio v několika pohledech. Dva z těchto pohledů jsou na (obr. 6-38 a 6-39).

Obr. 6-38 Vizualizace – pohled 1

Obr. 6-39 Vizualizace – pohled 2

7 ZÁVĚR (KONSTRUKČNÍ, TECHNOLOGICKÝ A EKONOMICKÝ ROZBOR ŘEŠENÍ)

Navržené konstrukční řešení rámu a dalších součástí tříkolky bylo v době dokončování této diplomové práce převzato v podobě výkresové dokumentace firmou AZUB a byla zahájena výroba dvou prototypů. Jelikož prototypy nebyly dokončeny před termínem odevzdání této práce, nelze v závěru hodnotit jízdní vlastnosti nové tříkolky, ani uvést podrobnější ekonomický rozbor budoucích výrobních nákladů. Lze však konstatovat, že navržené řešení splňuje všechny ergonomické, konstrukční, materiálové a technologické požadavky zmíněné v požadavcích výrobce, kromě celkové šířky, která byla překročena o 70 mm, z důvodů zachování dostatečného prostoru pro nohy jezdce mezi předními koly.

Ve srovnání s tříkolkou postavenou ve školních dílnách, lze považovat za největší pokrok snížení hmotnosti, zlepšení ergonomie šlapání, možnost nastavení sedačky a kompatibilitu s oběma druhy brzd.

Největšími konkurenčními výhodami nového modelu na trhu tříkolek by měla být nastavitelnost sedačky a nižší cena. Další technický vývoj tohoto základního modelu bude patrně směřovat k dražším tříkolkám, které budou vybaveny zadním a následně i předním odpružením. Současné zvyšování poptávky po velomobilech, tedy kapotovaných tříkolkách, si patrně do budoucna vyžádá vývoj odnímatelné kapotáže, kompatibilní s některou z dalších generací nové tříkolky.

Intenzivní spolupráce s firmou AZUB a účast na výstavě SPEZI zásadně rozšířila mé znalosti v tomto oboru, čehož bych chtěl využít a spolupracovat s firmou AZUB i nadále.

8 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

[1] AZUB BIKE [online]. [cit. 2009-05-14] URL: <www.azub.cz>

[2] Bicycle Man. Recumbent Bicycle History [online]. [cit. 2009-05-14] URL: <http://www.bicycleman.com/history/history.htm>

[3] Wikiped ia, the free encyclopedia. Tricykle [online]. [cit. 2009-05-14] URL: <http://en.wikipedia.org/wiki/Tricycle>

[4] Torker Tristar [online]. [cit. 2009-05-14] URL: <www.torkerusa.com>

[5] Greenspeed [online]. [cit. 2009-05-14] URL: <www.greenspeed.com.au>

[6] Inspired Cycle Engineering Ltd [online]. [cit. 2009-05-14] URL: <www.ice.hpv.co.uk>

[7] HORWITZ, R. M. Build Your Own Recumbent Trike [online]. [cit. 2009-05-14] URL: <http://www.ihpva.org/Projects/PracticalInnovations/index.html>

[8] Sturmey Archem [online]. [cit. 2009-05-14] URL: <www.sturmey-archer.com>

[9] HPVelotechnik. Skorpion FS [online]. [cit. 2009-05-14] URL: <http://www.hpvelotechnik.com/presse/scorpionfs_2009_e.html>

[10] TerraTrike. Path [online]. [cit. 2009-05-14] URL: <http://www.terratrike.com/path.php>

[11] Wikiped ia, the free encyclopedia. Headset (bicycle part) [online]. [cit. 2009-05-14] URL: <http://en.wikipedia.org/wiki/Headset_(bicycle_part)>

[12] Park Tool. Headset standards [online]. [cit. 2009-05-14] URL: <http://www.parktool.com/repair/readhowto.asp?id=68>

[13] Autolexikon.net [online]. [cit. 2009-05-14] URL: <www.autolexikon.net>

9 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK, SYMBOLŮ A VELIČIN

E	[MPa]	- modul pružnosti
R_e	[MPa]	- mez kluzu materiálu
R_m	[MPa]	- mez pevnosti materiálu
μ	[-]	- Poissonův poměr
δ	[˚]	- sbíhavost
σ	[˚]	- příklon rejdové osy
r	[mm]	- poloměr rejdu
τ	[˚]	- záklon rejdové osy
n_k	[mm]	- závlek

CAD	- Computer Aided Design
CNC	- Computer Numerical Controlled
IPS	- Ideal Positron Systém
MKP	- Metoda Konečných Prvků
UCI	- Union Cycliste Internationale

10 SEZNAM OBRÁZKŮ A GRAFŮ

Obr. 1-1 Lehokolo AZUB Max [1] 14
Obr. 1-2 Tříkolka Torker Tristar [4] 16
Obr. 1-3 Tříkolka Greenspeed Anura [5] 16
Obr. 1-4 Tříkolka Greenspeed GTO [5] 17
Obr. 1-5 Základní rozměry tříkolky 18
Obr. 1-6 Rozložená tříkolka od firmy ICE [6] 19
Obr. 1-7 Rozdílné natočení předních kol v zatáčce 20
Obr. 1-8 První varianta mechanizmu řízení [7] 20
Obr. 1-9 Druhá varianta mechanizmu řízení [7] 21
Obr. 1-10 Třetí varianta mechanizmu řízení [7] 21
Obr. 1-11 Čtvrtá varianta mechanizmu řízení [7] 22
Obr. 1-12 Náboj s bubnovou brzdou Sturmey Archem [8] 23
Obr. 1-13 Tříkolka Greenspeed GTO [5] 25
Obr. 1-14 ICE Trice Q [6] 26
Obr. 1-15 Tříkolka HPVelotechnik Skorpion FS [9] 26
Obr. 1-16 TerraTrike Path [10] 27
Obr. 5-1 Návrh s hlavní trubkou s dvěma ohyby 33
Obr. 5-2 Návrh s hlavní trubkou s jedním ohybem a sedlovou trubkou 34
Obr. 5-3 Návrh s hlavní trubkou s jedním ohybem a místem pro řízení 34
Obr. 5-4 Návrh s hlavní rámovou trubkou bez ohybů 34
Obr. 6-1 Hlavové složení a-head [11] 36
Obr. 6-2 Semi-integrované hlavové složení [12] 37
Obr. 6-3 Upravený náboj s bubnovou brzdou Sturmey Archer 37
Obr. 6-4 První návrh uložení náboje 38
Obr. 6-5 Druhý návrh uložení náboje 38
Obr. 6-6 Návrh náboje pro kotoučovou brzdu 39
Obr. 6-7 Návrh pravé a levé poloosy 40
Obr. 6-8 Příklon rejdové osy [13] 41
Obr. 6-9 Poloměr rejdu [13] 41
Obr. 6-10 Moment vznikající při brzdění 42
Obr. 6-11 Záklon rejdové osy a závlek [13] 42
Obr. 6-12 Sbíhavost [13] 43
Obr. 6-13 Představec se sloupkem řízení 44
Obr. 6-14 Jednodušší varianta AZUB IPS [1] 45
Obr. 6-15 Složitější varianta AZUB IPS [1] 45
Obr. 6-16 Uchycení sedačky na modelu AZUB ECO [1] 46
Obr. 6-17 Navržený systém nastavení pozice sedačky 46
Obr. 6-18 Navržená pozice kladky a řetězová linka 47
Obr. 6-19 Sestava kladky 48
Obr. 6-20 Zatížení spoje 49
Obr. 6-21 Redukované napětí v různoběžném spoji 50
Obr. 6-22 Redukované napětí v mimoběžném spoji 50
Obr. 6-23 Parametrický model rámu 51
Obr. 6-24 Model laminátové sedačky 52
Obr. 6-25 Nastavitelné sedačky z modelu AZUB Eco [1] 52
Obr. 6-26 Návrh rámu síťové sedačky 53

Obr. 6-27 Hlavní rozměry poslední verze návrhu – dvě varianty nastavení posedu 54
Obr. 6-28 Sledování průsečíku os kol při zatočení 55
Obr. 6-29 Kloubové oko táhla řízení 56
Obr. 6-30 Síť konečných prvků na modelu rámu 57
Obr. 6-31 Zatížení rámu tíhou jezdce v klidu 58
Obr. 6-32 Zatížení rámu tíhou jezdce v klidu – redukované napětí 59
Obr. 6-33 Zatížení při přímé jízdě – redukované napětí 60
Obr. 6-34 Zatížení rámu při intenzivním brzdění 61
Obr. 6-35 Zatížení rámu při intenzivním brzdění – redukované napětí 61
Obr. 6-36 Zatížení rámu při průjezdu zatáčkou 62
Obr. 6-37 Zatížení rámu v zatáčce – výsledné napětí 63
Obr. 6-38 Vizualizace – pohled 1 65
Obr. 6-39 Vizualizace – pohled 2 65

11 SEZNAM PŘÍLOH

Přílohu této diplomové práce tvoří výkresová dokumentace, zpracovaná podle požadavků výrobce. V následující tabulce jsou uvedeny názvy součástí z výkresů a čísla výkresů.

1	**Rám**	**AZ-PO-RA**
2	hlavní rámová trubka	AZ-PO-RA-01
3	křížová rámová trubka	AZ-PO-RA-02
4	sedlová rámová trubka	AZ-PO-RA-03
5	hlavová trubka	AZ-PO-RA-04
6	spodní uložení sedačky	AZ-PO-RA-05
7	vzpěry zadní stavby	AZ-PO-RA-06
8	horní úchyt sedla	AZ-PO-RA-07
9	úchyt kladky	AZ-PO-RA-08
10	svorka šlapáku	AZ-PO-RA-09
11	**Kingpin P**	**AZ-PO-KP-P**
12	**Kingpin L**	**AZ-PO-KP-L**
13	Sloupek kingpinu P	AZ-PO-KP-01-P
14	Sloupek kingpinu L	AZ-PO-KP-01-L
15	Uložení osy náboje	AZ-PO-KP-02
16	Páka řízení	AZ-PO-KP-03
17	Úchyt kotoučové brzdy P	AZ-PO-KP-04-P
18	Úchyt kotoučové brzdy L	AZ-PO-KP-04-L
19	Úchyt bubnové brzdy	AZ-PO-KP-05
20	Kuželová vložka	AZ-PO-KP-06
21	Distanční podložka úchytu	AZ-PO-KP-07
22	**Představec**	**AZ-PO-RI**
23	Sloupek řízení	AZ-PO-RI-01
24	Konzola představce	AZ-PO-RI-02
25	Uchycení řidítek	AZ-PO-RI-03
26	Uložení táhla řízení	AZ-PO-RI-05
27	Táhlo řízení	AZ-PO-RI-04
28	Polovina řidítek	AZ-PO-RI-06
29	**Sedačka síťová**	**AZ-PO-SS**
30	Boční trubka sedačky	AZ-PO-SS-01
31	Příčka sedačky pr 20	AZ-PO-SS-02
32	Příčka sedačky pr 16	AZ-PO-SS-03
33	Úchyt sedačky spodní	AZ-PO-SS-04
34	Úchyt sedačky horní	AZ-PO-SS-05
35	**Kotoučový náboj**	AZ-PO-KN
36	Tělo náboje	AZ-PO-KN-01
37	Distanční vložka	AZ-PO-KN-02
38	**Kladka**	AZ-PO-KL
39	Vodítko kladky	AZ-PO-KL-01
40	Osa kladky	AZ-PO-KL-02
41	Distanční kroužek	AZ-PO-KL-03