



**FAKULTA
STROJNÍ
ČVUT V PRAZE**

Ústav konstruování a částí strojů

Koncepční návrh nákladního kola

Conceptual Design of Cargo Bike

DIPLOMOVÁ PRÁCE

2022

Bc. Michal BEDRNÍK

Studijní program: N0716A270001 DOPRAVNÍ A TRANSPORTNÍ TECHNIKA

Specializace: Transportní technika

Vedoucí práce: Ing. Kamenický Josef

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Bedrník** Jméno: **Michal** Osobní číslo: **473696**
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
Zadávající katedra/ústav: **Ústav konstruování a částí strojů**
Studijní program: **Dopravní a transportní technika**
Specializace: **Transportní technika**

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

Koncepční návrh nákladního kola

Název diplomové práce anglicky:

Conceptual Design of Cargo Bike

Pokyny pro vypracování:

V rámci závěrečné práce proveďte návrh nákladního kola pro přepravu nákladu po v městském prostředí. Práce bude obsahovat:

- 1) stručná rešerše nákladních kol a standardizovaných komponent používaných v konstrukci jízdních kol
- 2) konstrukční návrh kola pro přepravu nákladu o hmotnosti 100 kg. V rámci konstrukčního návrhu vytvořte 3D model a 2D výkres hlavní sestavy, svařence rámu a vybrané součásti.
- 3) návrhové výpočty klíčových konstrukčních uzlů a MKP analýza vybrané části konstrukce.

Seznam doporučené literatury:

CIBULA, Karel. Mechanika jízdního kola. Vyd. 2. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2004. ISBN 80-01-03016-4
ŠVEC, V.: Části a mechanismy strojů. Spojce a části spojovací. Praha: ČVUT, 2008.
ŠVEC, V.: Části a mechanismy strojů. Mechanické převody. Praha: ČVUT, 2003.
KUGL, O. a kol.: Projekt - III. ročník. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2005.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

Ing. Josef Kamenický ústav přístrojové a řídicí techniky FS

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) diplomové práce:

Datum zadání diplomové práce: **06.04.2022**

Termín odevzdání diplomové práce: **30.06.2022**

Platnost zadání diplomové práce: _____

Ing. Josef Kamenický
podpis vedoucí(ho) práce

Ing. František Lopot, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

doc. Ing. Miroslav Španiel, CSc.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Diplomant bere na vědomí, že je povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v diplomové práci.

Datum převzetí zadání

Podpis studenta

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci s názvem: „Koncepční návrh nákladního kola“ vypracoval samostatně pod vedením Ing. Josefa Kamenického, s použitím literatury, uvedené na konci mé diplomové práce v seznamu použité literatury.

V Praze dne

Michal Bedrník

Poděkování

Tímto děkuji Ing. Josefu Kamenickému za cenné názory a poznatky, které mi předal během vedení této diplomové práce. Zároveň bych rád poděkoval Václavu Podestátovi za pomoc při tvorbě některých grafických schémat a při korekci jazykové formy této práce.

Anotační list

Jméno autora: Michal BEDRNÍK
Název BP: Konceptní návrh nákladního kola
Anglický název: Conceptual Design of Cargo Bike
Rok: 2022
Studijní program: N0716A270001 DOPRAVNÍ A TRANSPORTNÍ TECHNIKA
Specializace: Transportní technika
Ústav: Ústav konstruování a částí strojů
Vedoucí BP: Ing. Kamenický Josef
Konzultant: XXX

Bibliografické údaje:

počet stran	83
počet obrázků	69
počet tabulek	1
počet příloh	3

Klíčová slova: jízdní kolo, rám, středové složení, hliník, náklad, město
Keywords: bicycle, frame, central composition, aluminium, cargo, city

Anotace:

Tato diplomová práce se zabývá konceptním návrhem nákladního jízdního kola. Úkolem bylo provést rešerši historie a konstrukce bicyklů. Dále byl vytvořen vlastní návrh v podobě 3D modelu. Funkčnost některých jeho částí byla ověřena výpočty. V práci je provedena MKP analýza vytvořeného rámu. Součástí práce je výkres celkové sestavy, výkres svařence rámu a výrobní výkres dílu pro uložení ložisek.

Abstract:

This thesis deals with the conceptual design of a cargo bicycle. The task was to research the history and design of bicycles. Furthermore, a custom design in the form of a 3D model was created. The functionality of some of its parts was verified by calculations. In the thesis, FEM analysis of the created frame is performed. The thesis includes a drawing of the overall assembly, a drawing of the frame weldment and a fabrication drawing of the part for bearing placement.

Obsah

1.	Úvod	- 1 -
2.	Historie jízdních kol	- 2 -
3.	Popis jízdního kola	- 6 -
3.1	Prvky řízení	- 6 -
3.1.1	Řídítka	- 6 -
3.1.2	Představec	- 7 -
3.1.3	Přední vidlice	- 7 -
3.2	Prvky pohonu	- 8 -
3.2.1	Pedály	- 8 -
3.2.2	Kliky	- 8 -
3.2.3	Středové složení	- 8 -
3.2.4	Řetěz	- 9 -
3.2.5	Kazety	- 9 -
3.2.6	Měniče	- 10 -
3.3	Brzdy a kola	- 11 -
3.3.1	Brzdy	- 11 -
3.3.2	Pláště a duše	- 11 -
3.3.3	Ráfky	- 11 -
3.3.4	Výplet kola	- 12 -
3.3.5	Náboj kola	- 12 -
3.4	Části kola pro sezení	- 12 -
3.4.1	Sedlo	- 12 -
3.4.2	Sedlovka	- 13 -
4.	Rám jízdního kola	- 14 -
4.1	Části rámu	- 14 -

4.1.1	Hlavová trubka	- 14 -
4.1.2	Horní rámová trubka	- 14 -
4.1.3	Spodní rámová trubka.....	- 14 -
4.1.4	Sedlová trubka	- 14 -
4.1.5	Zadní stavba.....	- 15 -
4.2	Geometrie rámu.....	- 15 -
4.2.1	Rozvor kol.....	- 15 -
4.2.2	Délka zadní stavby.....	- 16 -
4.2.3	Výška šlapacího středu	- 16 -
4.2.4	Úhel sedlové trubky	- 16 -
4.2.5	Délka horní rámové trubky	- 16 -
4.2.6	Hlavový úhel.....	- 16 -
4.3	Materiál rámu.....	- 17 -
4.3.1	Ocel.....	- 17 -
4.3.2	Hliníkové slitiny	- 18 -
4.3.3	Karbon	- 19 -
4.4	Druhy jízdních kol.....	- 20 -
4.4.1	Horské kolo	- 20 -
4.4.2	Silniční kolo.....	- 21 -
4.4.3	Městské kolo.....	- 22 -
5.	Nákladní jízdní kolo	- 23 -
5.1	Typy nákladních kol.....	- 23 -
5.1.1	Kolo s prodlouženou zadní částí	- 23 -
5.1.2	Nákladní tříkolka.....	- 24 -
5.1.3	Dlouhý Honza.....	- 25 -
5.1.4	Další koncepce nákladních kol.....	- 26 -

6.	Postup při navrhování nákladního kola	- 27 -
7.	Vlastní návrh jízdního kola.....	- 30 -
7.1	Návrh rámu	- 30 -
7.2	Přední vidlice.....	- 35 -
7.3	Návrh řídicího mechanismu	- 36 -
7.3.1	Nakoupené díly řídicího mechanismu	- 41 -
7.4	Nákladní prostor	- 42 -
7.6	Další nakoupené díly.....	- 43 -
7.6.1	Kola a jejich příslušenství.....	- 43 -
7.6.2	Středové složení a příslušenství.....	- 44 -
7.6.3	Řídítka.....	- 44 -
7.6.4	Sedlo a sedlovka.....	- 45 -
7.6.5	Další příslušenství.....	- 45 -
8.	Návrhové a kontrolní výpočty.....	- 46 -
8.1	Výpočet šroubů objímky pro řídkovou trubku	- 46 -
8.1.1	Určení počátečního zatížení	- 46 -
8.1.2	Podmínka únosnosti spoje.....	- 47 -
8.1.3	Výpočet předpětí šroubu	- 47 -
8.1.4	Volba šroubu.....	- 47 -
8.1.5	Pevnostní kontrola šroubů M5.....	- 48 -
8.2	Výpočet šroubů objímky pro řídicí tyč	- 48 -
8.2.1	Určení počátečního zatížení	- 48 -
8.2.2	Podmínka únosnosti spoje.....	- 49 -
8.2.3	Výpočet předpětí šroubu	- 49 -
8.2.4	Volba šroubu.....	- 50 -
8.2.5	Pevnostní kontrola šroubů M5.....	- 50 -

8.3	Výpočet zatížení řídkové trubky v krutu	- 51 -
8.3.1	Výpočet průřezových charakteristik	- 51 -
8.3.2	Materiálové charakteristiky	- 51 -
8.3.3	Pevnostní kontrola	- 52 -
8.3.4	Natočení.....	- 52 -
8.4	Rozsah rychlostí kola	- 52 -
8.4.1	Výpočet rychlosti pro pastorek s 28 zuby.....	- 52 -
8.5	Výpočet reakčních sil od provozní tíhy v uložení kol.....	- 54 -
8.5.1	Určení zátěžových sil	- 55 -
8.5.2	Výpočet reakčních sil.....	- 55 -
8.5.3	Určení výsledných sil v uložení	- 55 -
9.	Pevnostní analýza rámu	- 56 -
9.1	MKP analýza celého rámu	- 56 -
9.2	Pevnostní analýza zadní patky.....	- 60 -
9.3	Zhodnocení analýzy	- 63 -
10.	Závěr.....	- 64 -
11.	Seznam použitých zdrojů	- 65 -
11.1	Stažené 3D modely	- 70 -
12.	Seznam obrázků.....	- 71 -
13.	Seznam použitých veličin a zkratk.....	- 74 -
14.	Seznam příloh.....	- 75 -

1. Úvod

Tato diplomová práce se zabývá návrhem nákladního jízdního kola. V rámci práce je provedena rešerše, ve které je popsán historický vývoj jízdních kol. Následně představuje jednotlivé komponenty jízdního kola, je zde popsána stavba rámu. Dále se věnuje jednotlivým typům nákladních bicyklů běžně dostupných na trhu. V praktické části je popsán postup při navrhování kola, volba materiálů a jednotlivých nakoupených dílů. Dále jsou zde uskutečněny výpočty řídicích prvků. Následně je provedena pevnostní analýza rámu kola a jedné z nejvíce namáhaných částí, a to patky pro uložení zadního kola. Práce obsahuje výkresovou dokumentaci.

2. Historie jízdních kol

Vývoj jízdních kol začal přibližně před dvěma sty lety. V roce 1817 si nechal patentovat německý baron a vynálezce Karl Drais jednostopé vozidlo poháněné člověkem, které bylo po něm pojmenováno Draisina (Obrázek 1). Bylo vyrobeno převážně ze dřeva a jezdec se na něm pohyboval odrážením. Do dnešní doby se tato koncepce zachovala v podobě odrážedel pro děti. [1], [4]



Obrázek 1: Draisina s jezdcem [11]

V šedesátých a sedmdesátých letech devatenáctého století vznikaly různé koncepce velocipédů vyrobené většinou ze dřeva, ale stále častěji se jako materiál používaly ocelové trubky. Tato kola již byla poháněna pomocí pedálů. Pro dosažení vyššího převodu mezi pedály a silnicí, a tedy i vyšší rychlosti, se vyráběla jízdní kola, jejichž hnané kolo dosahovalo průměrů až kolem 1,5 m. Tato takzvaná vysoká kola (Obrázek 2) dosahovala značných rychlostí, avšak kvůli vysoko položenému těžišti byla velmi nestabilní a jezdec musel být pro jejich ovládání velmi zručný. V této době nebyla ještě obruč kola opatřena pneumatikou a duší, což byl další důvod nepohodlí, proto se těmto kolům přezdívalo kostitřasy. [1], [3], [4]



Obrázek 2: Vysoké Kolo [12]

V osmdesátých a devadesátých letech devatenáctého století byly zavedeny postupně na všechna jízdní kola pneumatiky. Pneumatiku (Obrázek 3) vynalezl skotský veterinář John Boyd Dunlop a nechal si ji patentovat v roce 1888. Později se ale zjistilo, že stejný nápad byl patentován již v letech čtyřicátých Robertem Williamem Thomsonem, avšak tehdy se neujal. Díky tomu Dunlop o patent přišel a pneumatiky na kola se rozšířily do celého světa. [3], [4], [5], [13]



Obrázek 3: Dunlopova první pneumatika [13]

V roce 1885 se rozšířila koncepce „bezpečného kola“ (Obrázek 4), která se v podstatě bez větších změn udržela dodnes. Jízdní kolo bylo tvořeno ocelovými trubkami spojenými do tvaru dvou trojúhelníků, dále mělo dvě přibližně stejně velká kola opatřená pneumatikami, pohon byl zajištěn pomocí řetězového převodu a pedálů s klikami. Díky této konstrukci byla zajištěna stabilita, bezpečnost a dostatečný komfort pro běžné použití širší veřejností. [4], [5]



Obrázek 4: Bezpečnostní kolo značky Rover, 1885 [14]

V průběhu první poloviny dvacátého století stagnoval vývoj jízdních kol kvůli světovým válkám, ale také konkurenci v podobě automobilu a motocyklu. K dalšímu většímu rozvoji dochází v sedmdesátých letech, kdy se poprvé ve velké míře začínají rámy vyrábět z hliníkových slitin a také se poprvé hromadně vyrábějí rámy z titanu. Ve Spojených státech amerických se tou dobou rozvíjí specializované typy kol BMX a také první horská kola. Tato koncepce se velmi rychle rozšířila do celého světa. V letech osmdesátých se začínají vyrábět rámy z kompozitních materiálů, které jsou tvořeny uhlíkovými vlákny spojenými epoxidovou pryskyřicí. Tento materiál se nazývá karbon. [4]

Od této doby probíhá kontinuální vývoj, který zajišťuje zlepšování jízdních a mechanických vlastností kol, jsou vyvíjeny další specializované druhy pro různé typy terénu. Jsou například vytvářena i jízdní kola pro přepravu nákladu, kterými se tato práce zabývá.

3. Popis jízdního kola

V této části práce popíšu základní prvky, kterými je tvořeno jízdní kolo a které zaručují jeho správnou funkčnost. Nejdůležitější část kola, tedy rám, představím v samostatné kapitole. V této kapitole popíšu převážně prvky řízení, pohon a brzdy.

3.1 Prvky řízení

3.1.1 Řídítka

Řídítka slouží k ovládní směru jízdy. Obvykle jsou vyráběna z oceli nebo duralu. V případě závodních kol se používá pro odlehčení například i karbon. Existuje několik typů řídítek podle druhu jízdního kola. Nejčastěji se používají řídítka rovná, která jsou na horských kolech nebo také na kolech do města. Jelikož jsou tato řídítka poměrně dlouhá, jsou vhodná pro ostřejší zatáčení a přesnější manipulaci směru. Kulatá řídítka neboli berany (Obrázek 5), podle jejich tvaru se používají na silničních kolech, protože umožňují aerodynamičtější posed jezdcce, který může navíc dle potřeby řídítka uchopit více způsoby. Tento typ řídítek je vhodný pro přímé rychlé trasy na silnici, ale nevhodný pro zatáčky o malém poloměru. [3]



Obrázek 5: Řídítka ZOOM – berany [15]

3.1.2 Představec

Představec (Obrázek 6) je díl kola, který umožňuje připevnit řídítka k přední vidlici. Podle délky představce se pak mění posed jezdce. Na městských kolech jsou představce většinou kratší, jelikož to umožňuje vzpřímenější a pohodlnější posed, naopak u kol silničních jsou představce delší. [3]



Obrázek 6: Stavitelný představec ZOOM [16]

3.1.3 Přední vidlice

Přední vidlice je součást kola, která slouží k uložení předního kola a ke změně směru, což je umožněno rotací kolem svislé osy. Dnes se používají podle typu kola vidlice pevné nebo odpružené s tlumiči (Obrázek 7). Pevné jsou vhodnější pro jízdu po silnici naopak odpružené pro jízdu v terénu. Ty jsou schopné tlumit nárazy, avšak například při jízdě do kopce tu dochází ke ztrátám energie, proto se vyrábí převážně uzavíratelné vidlice. [3], [5]



Obrázek 7: Odpružená vidlice Force [17]

3.2 Prvky pohonu

3.2.1 Pedály

Pedály slouží jako kontaktní část mezi chodidly jezdce a pohonným ústrojím kola. Pedály mohou být vyrobeny například z plastu, oceli nebo duralu. Nejjednodušší jsou klasické pedály se zuby (Obrázek 8), které zajišťují tření mezi podrážkou a pedálem. Nevýhodou těchto pedálů je, že přenáší sílu od jezdce na kola pouze při pohybu pedálu z horní úvratí do dolní. Tento problém řeší pedály nášlapné, kdy je pomocí speciální obuvi docíleno stálého přenosu síly. Pro tento typ je však nutná dostatečná zkušenost jezdce. Kompromisem mezi těmito řešeními jsou pak pedály s klipsami. [3]



Obrázek 8: Klasický pedál se zuby [18]

3.2.2 Kliky

Jsou součástí, které tvoří spojení mezi pedály a středovým složením. Vyrábějí se nejčastěji z oceli nebo slitin hliníku případně z karbonu. Ke klikám jsou připevněny převodníky (Obrázek 9), které pohání řetěz. [3]

3.2.3 Středové složení

Středové složení slouží ke spojení klik na obou stranách a dále k zajištění plynulé rotace pomocí kuličkových ložisek (Obrázek 10). Jako radiální zajištění se zde používají čtyřhrany nebo další typy drážkování, které jsou unikátní dle výrobce. [3], [20]



Obrázek 9: Kliky s převodníky a středovým složením Force [19]



Obrázek 10: Díly středového složení [20]

3.2.4 Řetěz

Řetěz slouží k přenosu síly od šlapání jezdce na zadní kolo. Spojuje převodníky u klik s kazetami na zadním kole. [3]

3.2.5 Kazety

Kazety (Obrázek 11) jsou sestavy pastorků na zadním kole, díky kterým si může jezdec zvolit v kombinaci s předními převodníky ideální převodový poměr pro daný terén. Vyrábějí se z oceli nebo slitin hliníku.

Kazeta je na kolo připevněna pomocí volnoběžky, aby jezdec nemusel šlapat neustále. Některá jízdní kola mají pouze jedno ozubené kolo a v současnosti existují planetové převodovky umístěné přímo v náboji zadního kola. [3]



Obrázek 11: Kazeta s deseti ozubenými koly Shimano [21]

3.2.6 Měníče

Měníče slouží k přehození řetězu na jiné ozubené kolo v kazetě, případně na převodníku. Zadnímu měniči se říká přehazovačka (Obrázek 12) a zároveň plní funkci napínáku řetězu. Přední měnič se nazývá přesmykač. Oba měniče jsou ovládány pomocí páček měničů, které bývají umístěny na řídítkách. Páčky jsou s měniči spojeny pomocí ocelových lanek. [3]



Obrázek 12: Přehazovačka Shimano [22]

3.3 Brzdy a kola

3.3.1 Brzdy

Na jízdních kolech jsou v současnosti využívány různé druhy brzd. Nejjednodušší a nejčastější jsou brzdy špalkové. Stále rozšířenější jsou brzdy kotoučové (Obrázek 13), které mají vyšší účinnost a lepší schopnost brždění. Na některých starších kolech je použito tzv. torpédo, kdy se brzdí „protišlapem“. Brždění tímto způsobem však není příliš účinné, a proto se tento typ brzd příliš nepoužívá. [3], [5]



Obrázek 13: Kotoučová brzda Avid [23]

3.3.2 Pláště a duše

Plášť je část, která slouží ke styku kola s vozovkou. Podle typu jízdního kola jsou užity různé druhy pláště. Pro horská kola jsou využívány široké pláště s hrubým členitým povrchem, které zajišťují lepší trakci v terénu. Pokud je kolo určeno k jízdě po silnici, jsou užívány úzké pláště s jemným vzorkem (Obrázek 14). Pláště jsou pak vyplněny duší, která zajišťuje požadovanou tvrdost kola pro ideální jízdní vlastnosti. [3], [5]

3.3.3 Ráfky

Ráfky jsou obruče, na kterých jsou nasazené pláště vyplněné duší, proto mají profil odpovídající písmeni U. Ráfky se vyrábějí nejčastěji z duralu, pro závodní kola existují i karbonové ráfky. Pro snížení aerodynamického odporu se vyrábí vysoké ráfky kapkovitého tvaru (Obrázek 14). [3]

3.3.4 Výplet kola

Výplet je část kola, které spojuje ráfek s nábojem a zajišťuje přesný kruhový tvar. Nejčastěji je výplet tvořen dráty (paprsky), které jsou vyrobeny z oceli nebo slitin hliníku (Obrázek 14). Pro snížení aerodynamického odporu se snižuje na silničních kolech počet paprsků, jsou zplošťovány a kola určená na dráhu mohou mít loukotě nebo dokonce vyplněné kolo celé. [3]

3.3.5 Náboj kola

Náboj kola je součást, která je tvořená dutou osou a ložisky. Zajišťuje rotaci kola kolem své osy s co nejmenším odporem (Obrázek 14). Je přes ložiska uložen na středové ose kola, která slouží k připevnění kola do vidlice. [3]



Obrázek 14: Kolo s vysokým ráfkem a klasickým výpletem [24]

3.4 Části kola pro sezení

3.4.1 Sedlo

Sedlo je část kola, která drží váhu jezdce a je proto důležité, aby bylo pohodlné a správně zvolené pro požadovaný typ jízdy. Pro sportovní jízdu jsou sedla tvarově spíše užší a zároveň tvrdší (Obrázek 15). Při jízdě ve městě je důležitý především komfort a sedlo je měkčí. [3]

3.4.2 Sedlovka

Sedlovka (Obrázek 15) je součást kola, která drží sedlo a je uložena v sedlové trubce, která je součástí rámu. Pomocí sedlovky je možné nastavit polohu sedla vhodně pro každého jezdce. Zamezení pohybu sedlovky je zajištěno rychloupínákem sedla. [3]



Obrázek 15: Sedlo se sedlovkou [25]

4. Rám jízdního kola

Rám kola je část, která spojuje všechny jeho další části v jeden celek. Podle rámu lze na první pohled určit účel kola, protože pro každý druh jízdních kol má rám specifické vlastnosti. Základní koncepce rámu je však pro většinu případů podobná. V této kapitole popíšu jednotlivé části rámu, materiály, ze kterých se rámy vyrábí a jednotlivé typy kol, které se od sebe rozlišují především stavbou rámu.

4.1 Části rámu

4.1.1 Hlavová trubka

Hlavová trubka je část rámu, která slouží převážně k uložení řídicích a přední vidlice pomocí hlavového složení. Jsou k ní napojeny horní a dolní rámová trubka. Většinou je krátká, mezi 120 a 170 mm, ale v případě rámu použitého v této diplomové práci je dlouhá a rozdělená na dvě části. [3]

4.1.2 Horní rámová trubka

Horní rámová trubka je jedna ze dvou hlavních částí, která spojuje hlavovou trubku s trubkou sedlovou. Zaručuje dostatečnou tuhost a pevnost rámu a zajišťuje, aby se vůči sobě přední a zadní část rámu nekroutily. Tyto vlastnosti jsou ovlivněny převážně sklonem trubky. Alternativou tomuto řešení je zesílení spodní rámové trubky a úplné vynechání trubky horní. Vzhledem ke snížení celkové tuhosti rámu je však toto řešení vhodné pouze pro kola určená k městskému ježdění. [3]

4.1.3 Spodní rámová trubka

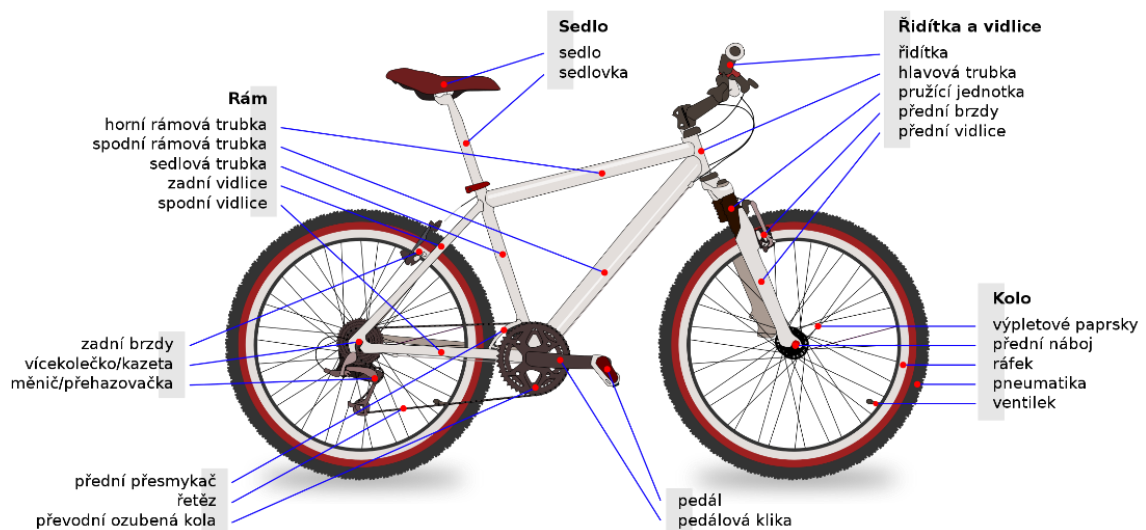
Spodní rámová trubka slouží obdobně jako ta horní ke spojení hlavové a sedlové trubky. Ve spoji se sedlovou trubkou (střed rámu) se nachází prostor pro uložení středového spojení. Jelikož spodní rámová trubka zaručuje dostatečnou pevnost rámu, jedná se zpravidla o nejrobustnější trubku. [3]

4.1.4 Sedlová trubka

Jak už název napovídá, sedlová trubka slouží k uložení sedlovky a správnému nastavení výšky sedla. Zároveň spojuje horní a dolní rámovou trubku a tvoří tak rámový trojúhelník. [3]

4.1.5 Zadní stavba

Zadní stavba neboli zadní vidlice slouží k uložení zadního kola. Většinou je zadní vidlice pevnou součástí rámu, avšak například u kol určených k náročným terénním sjezdům se využívá vidlice odpružená, jelikož je nutné tlumit četné nárazy. Tento typ však není vhodný pro ježdění po silnici nebo zpevněném terénu, neboť při šlapání se velká část vynaložené energie maří v tlumiči. [3]



Obrázek 16: Popis jednotlivých částí jízdního kola [26]

4.2 Geometrie rámu

Geometrie rámu určuje jízdní vlastnosti daného bicyklu. Podle rozměrů rámu je pak možné určit, zda se jedná o kolo určené pro silniční cyklistiku nebo o sjezdové horské kolo. Nedůležitější rozměry vysvětlím v této části kapitoly. V případě mnou navrženého rámu je například rozvor kol výrazně odlišný oproti klasickému jízdnímu kolu. [5]

4.2.1 Rozvor kol

Rozvor je vzdálenost os předního a zadního kola. Bicykly s delším rozvorem jsou stabilnější ve vyšších rychlostech, avšak při nízkých rychlostech mají zhoršenou manévrovatelnost. V případě kol s krátkým rozvorem je docíleno dobré manévrovatelnosti při nízkých rychlostech, naopak při vyšších rychlostech je obtížnější udržet stopu. [5]

4.2.2 Délka zadní stavby

Jedná se o vzdálenost mezi osou zadního kola a šlapacím středem. Je to rozměr, který přímo ovlivňuje rozvor a jeho změna ovlivní jízdní vlastnosti stejně jako změna rozvoru. Čím je rozměr kratší, tím je kolo obratnější v zatáčkách a zadní stavba je tužší. [5]

4.2.3 Výška šlapacího středu

Tento rozměr určuje světlost rámu v případě běžných jízdních kol a je důležitý zejména při jízdě ve členitém terénu. Jedná se o vertikální vzdálenost od spojnice středů předního a zadního kola v případě, že bicykl stojí vodorovně a osy kol jsou stejně vysoko od země. [5]

U navrženého rámu nelze tento rozměr shodným způsobem určit, jelikož přední a zadní kolo mají různou výšku středů, protože mají rozdílný průměr. Světlost kola je navíc v tomto případě závislá na řídicím mechanismu, který se nachází pod úrovní šlapacího středu. [5]

4.2.4 Úhel sedlové trubky

Na základě tohoto úhlu je určena poloha těžiště jezdce při jízdě v sedě. V případě mnou navrženého rámu se jedná o úhel mezi osou sedlové trubky a spodní rámovou trubkou. Větší úhel umožňuje jezdcovi vyšší rychlost šlapání. [5]

4.2.5 Délka horní rámové trubky

Jedná se o horizontální vzdálenost mezi středy hlavové a sedlové trubky. Tato délka je volena na základě výšky jezdce tak, aby odpovídala požadované poloze dle typu kola, je to jeden z hlavních parametrů, podle kterého je rám pro konkrétního jezdce vybírán. [5]

4.2.6 Hlavový úhel

Úhel mezi hlavovou trubkou a horizontální rovinou se nazývá hlavový. S vyšším hlavovým úhlem je snadnější jízda do stoupání a manévrovatelnost při nízkých rychlostech. Naopak pro menší úhel je rám stabilnější ve vyšších rychlostech. [5]

4.3 Materiál rámu

Volba materiálu rámu kola značně ovlivňuje jeho mechanické vlastnosti a cenu. Při výrobě je nutné, aby materiál zajišťoval dostatečnou obrobitelnost, případně svažitelnost. Mezi běžně používané materiály patří ocel a hliník. Tyto dva typy materiálů jsou zároveň nejvhodnější pro výrobu rámu jízdního kola, protože mají nejlepší poměr mechanických vlastností a ceny. Pro lepší silniční kola se vyrábějí rámy z karbonu a speciální rámy jsou dokonce vyráběny z titanu.

4.3.1 Ocel

Ocel byla v minulosti nejběžnějším materiálem používaným při výrobě rámu. Později začala být nahrazována jinými materiály, například slitinami hliníku a karbonem. Ocel má oproti hliníku vyšší pevnost a méně podléhá únavě. Mezi její nevýhody ale patří vysoká hustota, kvůli které jsou ocelové rámy poměrně těžké. Dalším problémem je také korozivzdornost, je tedy nutné ocelové rámy kvalitně povrchově upravit. [4]

Pro výrobu cyklistických rámu se nejvíce používají dva typy ocelí. První S355J0 (11 523) je asi nejlevnější vhodná ocel pro cyklorám. Tato ocel je vhodná ke svařování a má vyšší mez kluzu, přes 300 MPa. Je vhodná pro ohýbání, dále se využívá například při svařování mostních konstrukcí, vyrábějí se z ní díly automobilů nebo motocyklů. [4], [7]

K tomuto účelu nejčastěji užívaná ocel je 25CrMo4 (15 130). Tato ocel je hojně využívána ke konstrukci nejen rámu kol, ale i bugin, některých závodních aut nebo se využívá v letectví. Má dobrou svažitelnost, tvarovatelnost a obrobitelnost. Je také vhodná k zušlechťení, čímž je docíleno vyšší pevnosti.

Největší rozdíl mezi těmito dvěma ocelmi je jejich pevnost, přičemž 25CrMo4 má přibližně o 40 % vyšší pevnost než S355J0. V důsledku toho je možné z 25CrMo4 vytvořit tenčí profily trubek o stejné celkové pevnosti a výsledná konstrukce je tedy lehčí než při užití S355J0. Rám z S355J0 bude tak buď těžší nebo méně pevný, ale kvůli použitému materiálu bude mít nižší cenu.

4.3.2 Hliníkové slitiny

V současné době jsou hliníkové slitiny jedněmi z nejpoužívanějších materiálů při výrobě rámu. Jelikož má hliník mnohem nižší hustotu, jsou rámy z něho vyrobené lehčí než rámy ocelové. Vzhledem ke zvládnutým výrobním operacím jsou tyto rámy také poměrně levné.

Hliníkové slitiny jsou děleny do devíti řad a jsou značeny číselně. Jednotlivé řady se mezi sebou liší legujícími prvky. V cyklo průmyslu se používají řady 6xxx a 7xxx. Řada 6xxx má jako hlavní legující prvky hořčík a křemík, díky čemuž je lépe svařitelná, snadnější ke zpracování, obrábění, ohýbání atd. V současnosti jsou také rámy ze slitin této řady levnější. Řada 7xxx má ale vyšší pevnost, díky čemuž je možno použít trubky s tenčími stěnami, což umožňuje vyrobit lehčí rám. Pro hliníkové slitiny je vhodné tepelné zpracování po svaření rámu, jelikož jsou vytvrditelné. K výrobě cyklistických rámu se nejčastěji používají slitiny 6061, 7005 a 7020. [4]

Slitina 6061 (AlMg1SiCu) je nejpoužívanějším materiálem řady 6xxx, což ji činí velmi dostupnou. Má velmi dobrou svařitelnost, korozní odolnost a je relativně nenáročná na zpracování, obrábění, ohýbání, zakružování atp. Kromě cyklistiky se využívá i v letectví a kosmonautice. U této slitiny je výrazný rozdíl v pevnosti před a po tepelném zpracování. Před tepelným zpracováním (6061 T0) má mez pevnosti v tahu 150 MPa a například po tepelném zpracováním rozpouštěcím žíháním a umělým zestárnutím (6061 T6) může být tato hodnota až 300 MPa. Při svařování se slitina v okolí svaru dostává do stavu T0, a proto je nutné tepelně zpracovat celý rám po svaření. [4]

Materiál 7005 (AlZn4,5Mg1,5Mn) je ve velkopřůmyslu nejpoužívanější hliníkový materiál. Hlavní legurou je zde zinek, který má největší podíl na zvýšení pevnosti. Zároveň zinek lehce snižuje svařitelnost oproti 6061. Svařitelnost je však dostatečně dobrá pro masové průmyslové použití. Tento materiál se stejně jako 6061 téměř vždy tepelně zpracovává. Při úrovni zpracování T6 dosahuje meze pevnosti až 350 MPa. [4]

Materiál 7020 (AlZn4,5Mg1) je vlastnostmi i složením velmi podobný slitině 7005. Stejně jako u ní se i pro tuto slitinu používá nejvíce úprava T6. Obě tyto slitiny se používají na kola, protože jsou nejpevnějšími svařitelnými hliníkovými slitinami. Po svařování dochází u všech materiálů ke zbytkovému pnutí a je proto vhodné je následně tepelně zpracovat. Tyto dvě slitiny se vyznačují samovytvrditelností, což znamená, že se mechanické vlastnosti materiálu po svařování vrátí postupem času. Proto se u těchto materiálů tepelné zpracování provádí, pokud je nutné dosáhnout požadovaných vlastností brzy po svaření. [4]

Tyto materiály se také využívají ve stavebnictví, leteckém a vojenském průmyslu atp. Obecně se z nich vytvářejí středně namáhané svařované konstrukce.

4.3.3 Karbon

Karbon je kompozit složený z uhlíkových vláken a pryskyřice. Oproti oceli je přibližně pětkrát lehčí a až šestkrát pevnější, běžně dosahuje meze pevnosti v tahu kolem 2500 MPa, například firma Scott však vyrábí rámy s mezí pevnosti až 7000 MPa. Při výrobě rámu se využívá toho, že tento kompozit lze vyrobit tak, aby byl v jednom směru tuhý a pevný, naopak v jiném směru měkký a pružný. Díky těmto vlastnostem jsou karbonové rámy velmi lehké a dobře tlumí vibrace vzniklé jízdou. Nevýhodou je však vysoká náchylnost k poškození rámu nárazem způsobeným letícím kamenem od kola nebo pádem kola. V takovém případě může poměrně lehce dojít ke zničení rámu. Zároveň jsou kvůli vysoké náročnosti výroby karbonové rámy velmi drahé a nejsou tedy vhodné pro malosériovou výrobu. [3], [4]

4.4 Druhy jízdních kol

Jelikož se s rostoucím počtem jízdních kol rozvíjelo spektrum jejich využití, začaly se vyrábět specializované druhy jízdních kol pro určité podmínky. Jednotlivé druhy popíšu v této kapitole.

4.4.1 Horské kolo

Jak už název napovídá, horská kola jsou určena převážně k jízdě v terénu. Mají k tomu přizpůsobený robustní menší rám a široké pneumatiky s hrubým vzorkem pro lepší trakci (Obrázek 17). Pro větší sklony při stoupání a obecně pro lepší přizpůsobení rychlosti v terénu má kolo přizpůsobené převody do pomala. Většina horských kol je vybavená přední odpruženou vidlicí a velká část i kotoučovými brzdami a zadní odpruženou vidlicí. Existují další specializované druhy horských kol pro konkrétní typy terénu jako například cross country, enduro, downhill nebo dirt-jump. Tyto typy mají případně vyšší zdvihy vidlice, širší pneumatiky a podobně. [3]



Obrázek 17: Horské kolo značky Author [27]

4.4.2 Silniční kolo

Silniční kolo (Obrázek 18) je určené pro rychlou jízdu výhradně po zpevněném povrchu, například po asfaltu. Pro přizpůsobení povrchu má kolo úzké pneumatiky od 23 mm s jemným vzorkem a nahuštěné až na 8 bar. Dále mají silniční kola kulatá řídítka neboli berany. Jelikož jsou určena pro jízdu po rovném povrchu, nemají silniční kola odpruženou vidlici. Silniční kola se opět dají rozdělit do několika podkategorií, a to například kola závodní, dráhová, nebo triatlonové speciály. Tato kola mají často rámy vyrobené z karbonu, podobně jako velkou část dalších dílů. [3]



Obrázek 18: Silniční kolo Author [28]

4.4.3 Městské kolo

Pro jízdu výhradně po městě slouží městská kola, která umožňují relativně vzpřímený a pohodlný posed (Obrázek 19). Dále mají pro větší pohodlí široká polstrovaná sedla a kryté řetězy, aby se jezdec nezašpinil. Rámy jsou vyráběny převážně z oceli nebo hliníku. Jelikož se tato kola nepohybují v terénu, nemají speciální vzorky, ani odpružené vidlice. Pro pohodlné nastupování se také často rám u městských kol konstruuje bez horní rámové trubky. [3]



Obrázek 19: Městské kolo Author [29]

5. Nákladní jízdní kolo

Nákladní jízdní kolo je dopravní prostředek, který slouží k přepravě menšího množství nákladu. Tento typ přepravy je vhodný převážně ve městech, která jsou rovinná a na kratší vzdálenosti. Poháněn může být pouze člověkem nebo může být kolo doplněno o elektromotor. Nákladní kola jsou využívána například kurýry k doručování zásilek, jako mobilní stánky s občerstvením nebo k přepravě dětí.

5.1 Typy nákladních kol

Jízdní kolo se k převážení nákladu používá již od počátku minulého století, postupem času bylo tedy vyvinuto několik typů nákladních kol.

5.1.1 Kolo s prodlouženou zadní částí

Jedním z rozšířených typů nákladních kol je kolo s prodlouženou zadní vidlicí (anglicky „longtail“). Jedná se o kolo s prodlouženým rozvorem, kdy je prodloužená část za sedadlem jezdce a zde je za pomoci speciálních zavazadel nebo nosiče umístěn náklad (Obrázek 20). Toto kolo je široké jako standardní jízdní kolo a je tedy vhodné pro dopravu po městských cyklostezkách. Má i obdobné jízdní vlastnosti, pouze nezvládne tak ostré zatáčky jako klasické kolo. [8], [9], [10]



Obrázek 20: "Longtail" kolo, výrobce Kona [30]

5.1.2 Nákladní tříkolka

K přepravě většího a těžšího nákladu je možno použít nákladní tříkolku. Podle konstrukce, terénu a sil jezdce je schopna uvést 100 až 300 kg zátěže. Oproti ostatním typům je však široká a méně mobilní a je tedy vhodná převážně pro přepravu na krátké vzdálenosti. Tento typ může být například použit jako mobilní stánek s občerstvením. Dvě kola mohou navíc být buď řízená vpředu (Obrázek 21) nebo hnaná vzadu (Obrázek 22). [8], [9], [10]



Obrázek 21: Nákladní tříkolka, varianta s dvěma koly vpředu [31]



Obrázek 22: Nákladní tříkolka, varianta s dvěma koly vzadu [32]

5.1.3 Dlouhý Honza

Typ kola „Dlouhý Honza“ (anglicky Long John) představuje kompromis mezi předchozími variantami. Má pouze dvě kola, hlavová trubka je oproti klasickému kolu prodloužená a rozdělená na dvě části (Obrázek 23), díky čemuž je na rozdíl od tříkolky užší. Zároveň má díky tomu větší nákladní prostor, než typ „longtail“. Nákladní platforma bývá dlouhá okolo jednoho metru a její maximální zatížení se pohybuje okolo 100 kg. První Dlouhý Honza byl představen v Dánsku již v roce 1924. Na kole se převáží náklad, ale často se používá i k přepravě dětí. Pro svou délku je složité s kolem manipulovat v malých rychlostech. Existují různé varianty, které jsou většinou vhodné pro jízdu na silnici, ale existují i terénní modely. Pro náročnost jízdy s nákladem jsou tato kola často doplňována elektromotorem. [8], [9], [10]



Obrázek 23: Dlouhý Honza vhodný pro jízdu po městě [33]

5.1.4 Další koncepce nákladních kol

V současnosti je stále vyšší poptávka po ekologické dopravě a omezování emisí. Jelikož jízdní kolo nemá spalovací motor, a proto nevydává žádné emise, je vhodné pro přepravu nákladu po městě. Pro zvýšení kapacity vznikají koncepce jízdních kol, které mají s klasickými jízdními koly společného velmi málo (Obrázek 24). Mají například větší počet kol, přívesy, kabiny (Obrázek 25) pro zvýšení komfortu jezdce a podobně. V místech, kde není velké převýšení, například v Nizozemsku, se s takovými koly můžeme setkat velmi často a stále probíhá vývoj nových návrhů. [10]



Obrázek 24: Městské nákladní elektrokolo společnosti DHL [34]



Obrázek 25: Elektrokolo se čtyřmi koly a kabinou [35]

6. Postup při navrhování nákladního kola

Pro vytvoření své diplomové práce jsem si určil provedení koncepčního návrhu nákladního jízdního kola. Na základě toho určím v této kapitole podmínky, pro které má být kolo zkonstruováno a z jakých materiálů má být vyrobeno.

Pro město je výhodné nahradit co největší část převáženého nákladu pomocí jízdních kol, protože se tak ulehčí dopravní situaci. Zároveň zapojení nákladních kol namísto vozidel se spalovacími motory přispívá ke snížení znečištění vzduchu v daném prostředí. Zvolil jsem tedy takovou koncepci jízdního kola, která je vhodná pro převoz nákladu v městské zástavě (Obrázek 26). Města jsou v současnosti cyklistice stále více přizpůsobována pomocí cyklo pruhů nebo výstavby cyklostezek. Díky tomu je doručení nákladu pomocí kola mnohdy rychlejší než v případě vozidla se spalovacím motorem.

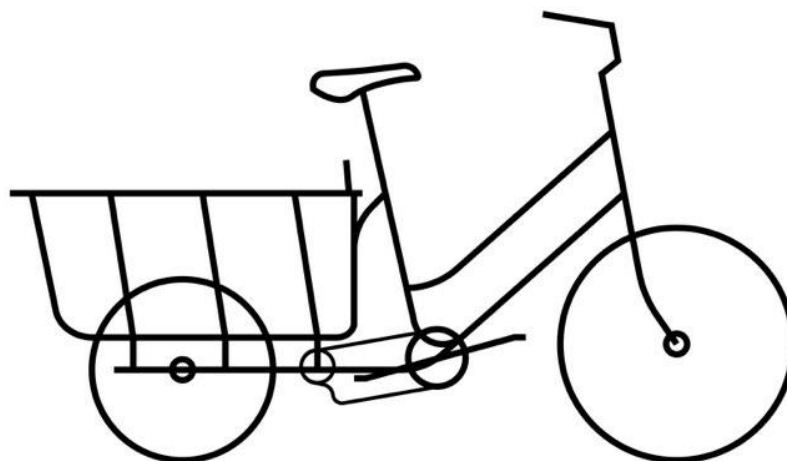


Obrázek 26: Nákladní kolo v městské zástavbě [36]

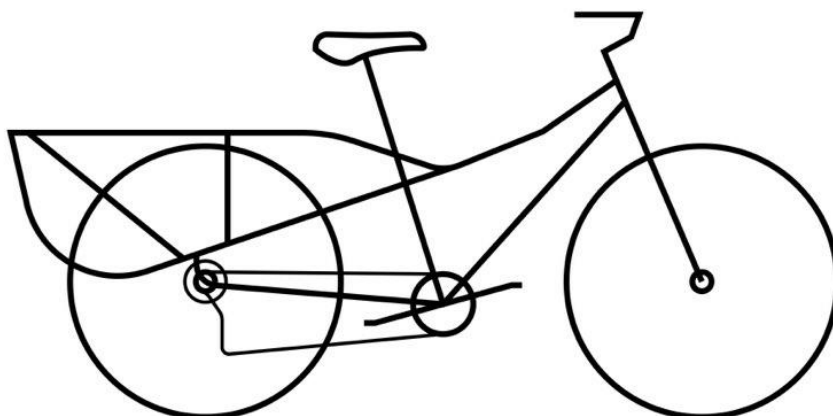
Dalším úkolem bylo určit, z jakého materiálu bude vytvořen rám kola a další důležité komponenty. Jelikož titan a karbon jsou používány převážně pro sportovní rámy a jsou velmi drahé, uvažoval jsem dále pouze o užití oceli nebo hliníkových slitin. Oceli užívané k stavbě rámu mají velmi dobré mechanické a pevnostní vlastnosti, avšak mají také vysokou hustotu

($7\ 850\ \text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$). Protože je rám mohutnější než u běžného kola, výsledný rám by byl tak příliš těžký, což by způsobilo větší námahu pro jezdce. Proto jsem se dále rozhodoval mezi hliníkovými slitinami. Po zhodnocení vlastností jsem zvolil slitinu 7005, která zajišťuje dostatečnou svařitelnost materiálu, dále je vhodná i k výrobě složitějších tvarů a po tepelné úpravě zajišťuje dostatečnou pevnost a pružnost.

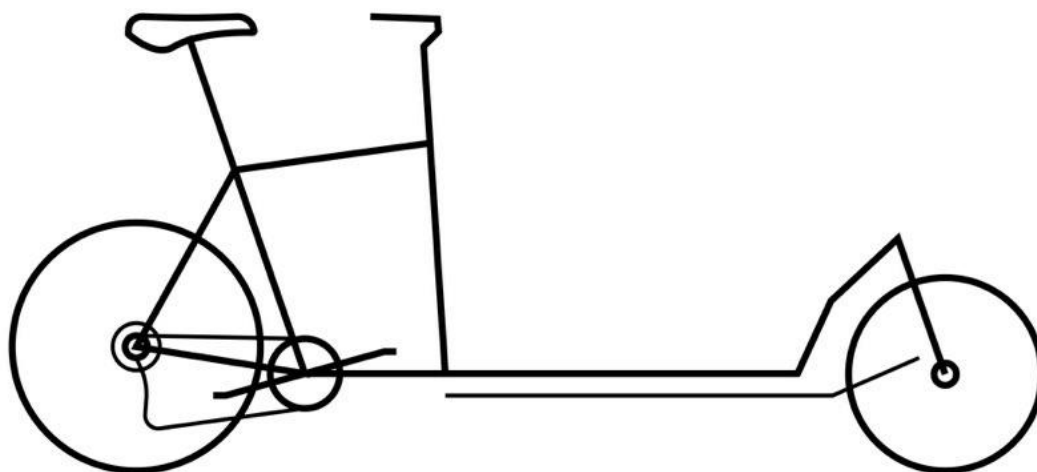
Po určení těchto parametrů jsem určil základní koncept nákladního jízdního kola, ze kterého budu vycházet. Existují tři základní varianty, a to kolo s dlouhou zadní stavbou (longtail) (Obrázek 28), tříkolové kolo (Obrázek 27) a kolo s prodlouženou přední částí (Dlouhý Honza) (Obrázek 29). Jako nejvhodnější variantu jsem vybral právě tu poslední, tedy Dlouhého Honzu, jelikož má oproti kolu s prodlouženou zadní stavbou větší nákladový prostor a oproti tříkolce je pouze jednostopý a vhodnější k jízdě v provozu. Kombinuje tedy mobilitu a kompaktnost kola s prodlouženou zadní částí a velikost nákladového prostoru tříkolky.



Obrázek 27: Tříkolová varianta nákladního kola



Obrázek 28: Longtail varianta nákladního kola



Obrázek 29: Varianta Dlouhý Honza, použitá pro pracovní návrh

7. Vlastní návrh jízdního kola

V této kapitole se zaměřím na vlastní návrh nákladního kola. Vysvětlím užití jednotlivých komponent a představím svůj postup při navrhování. Zároveň zde uvedu nakupované díly, které jsem pro daný návrh zvolil.

7.1 Návrh rámu

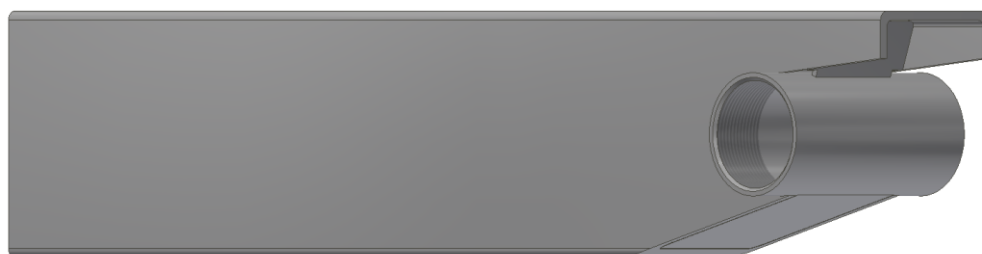
Při navrhování rámu (Obrázek 30) bylo mým cílem, aby byl vytvořen ze snadno dostupných polotovarů, velká část rámu je svařena z trubek kruhového průřezu. Hlavní nosné prvky nákladového prostoru jsou pak tvořeny z uzavřených obdélníkových profilů. Pro zvýšení únosnosti jsem pak přední vidlici a zadní stavbu navrhl z trubek tzv. plochooobálného profilu. Zároveň musí být rám dostatečně robustní, aby bylo dosaženo dostatečné pevnosti a tuhosti pro přepravu nákladu. Pro odlehčení rámu jsem jako materiál zvolil hliníkovou slitinu (7005).



Obrázek 30: Rám nákladního kola

Hlavní geometrii rámu jsem volil podle městských jízdních kol. Rozměry sedlové trubky, horní a dolní rámové trubky jsou voleny tak, aby jezdec seděl poměrně vzpřímeně a jízda tak byla pohodlná.

Na rozdíl od klasického kola je v tomto případě dolní rámová trubka vodorovná (Obrázek 31). Jedná se o jeden z nejvíce namáhaných dílů rámu. Navrhl jsem ji z obdélníkového profilu o tloušťce stěny 3 mm pro zaručení dostatečné robustnosti. Pro zpevnění mezi středovým spojením a sedlovou trubicou je do tohoto místa přivařen výztužný plech.



Obrázek 31: Spodní rámová trubka

Nejsložitější částí konstrukce rámu je zadní stavba (Obrázek 32). Pro dosažení vhodných vlastností jsem ji navrhl z plochooválného profilu o tloušťce stěny 2 mm. Obě části vidlice jsou spojeny trubicou, aby byl minimalizován jejich vzájemný pohyb během jízdy a byla dosažena vyšší pevnost zadní stavby. Pro uložení osy zadního kola jsem navrhl patky, které zároveň slouží k uložení zadního přesmykače a čelistí brzdy. Ty jsem navrhl s ohledem na vysoké zatížení z 5 mm plechu.



Obrázek 32: Zadní stavba

Hlavová trubka je v případě mnou navrženého kola odlišná od klasické koncepce jízdního kola. Jelikož spojuje horní a dolní rámovou trubku, musí být oproti klasické hlavové trubce prodloužená. Pro celkovou pevnost rámu a zabránění jeho kroucení je trubka po stranách vyztužena dalšími trubkami o 2 mm stěnách (Obrázek 33).



Obrázek 33: Hlavová trubka s vyztužnými trubkami

Hlavní rám, který slouží pro převoz nákladu jsem navrhl z robustních obdélníkových profilů o stěnách tlustých 3 mm pro minimalizaci ohybu. Je zpevněný příčnými pomocnými nosíky, aby bylo docíleno plynulého rozložení zatížení od nákladu a pro zvýšení odolnosti proti namáhání krutem (Obrázek 34).



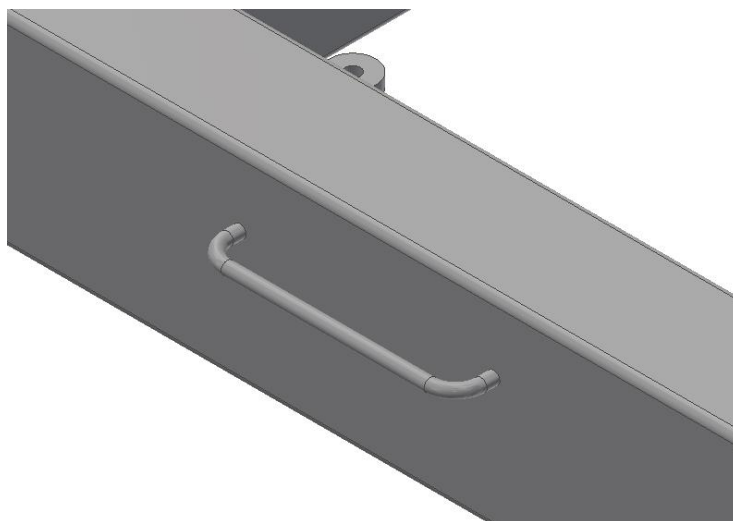
Obrázek 34: Přední část rámu pro nákladový prostor

Uložení vidlice předního kola je vytvořeno pomocí části hlavové trubky, která je tvarem shodná se standardní hlavovou trubkou na jízdním kole. K rámu je připevněna pomocí ohýbaných trubek. Pro zpevnění jsem tuto část konstrukce opatřil několika vzpěrami (Obrázek 35) z 5 mm plechu.

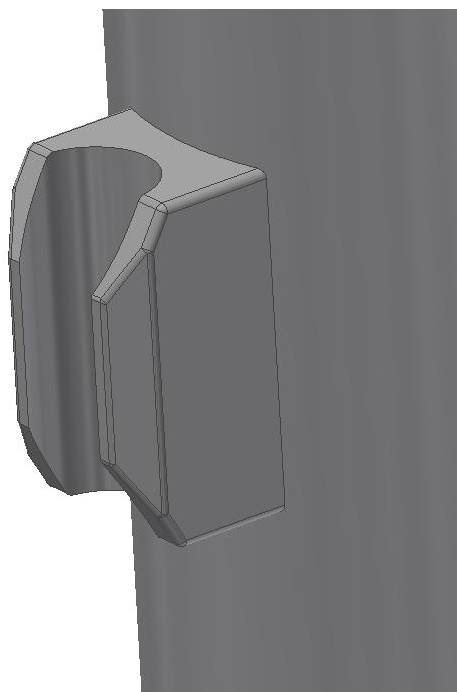


Obrázek 35: Uložení přední části hlavové trubky na rámu

Pro upevnění nákladu pomocí pružných upínačů, tzv. gumicuků nebo upínacích lan, jsem část rámu pro nákladový prostor po stranách opatřil oky (Obrázek 36). Dále jsou také na rámu navařeny části pro vedení lanek brzd a přehazovačky (Obrázek 37).



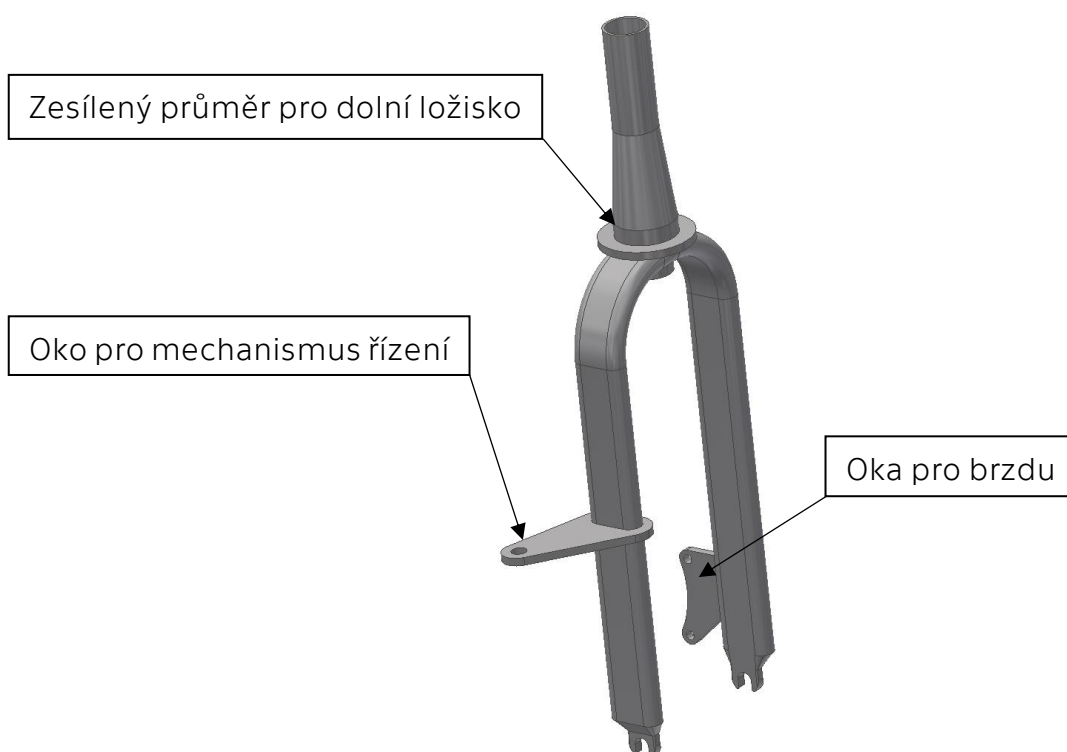
Obrázek 36: Oko pro upevnění nákladu



Obrázek 37: Vedení lanka brzdy

7.2 Přední vidlice

Při navrhování přední vidlice (Obrázek 38) jsem vycházel z dostupných modelů na trhu. Jelikož je kolo navrženo výhradně pro pohyb v městském prostředí, tedy na asfaltových silnicích, zvolil jsem vidlici bez aktivního odpružení. Materiál vidlice jsem použil stejný jako u rámu, tedy hliníkovou slitinu 7005. Tato vidlice je oproti klasickým jízdním kolům poměrně hodně zatížena, proto jsem ji navrhl z plochooobálného profilu o tloušťce stěny 2 mm. Z důvodu vyššího zatížení je také uložení vidlice řešeno rozdílnými průměry pro ložiska hlavového složení. Průměr pro dolní ložisko je větší než pro ložisko horní. Přechod mezi uloženími je řešen pomocí kuželové plochy. Obdobným způsobem jsou řešeny vidlice některých horských kol určených na sjezdy a velmi náročný terén. Oproti standardním kolům jsem tuto vidlici opatřil okem pro připojení mechanismu řízení. Vidlici jsem také opatřil oky pro uchycení kotoučové brzdy.



Obrázek 38: Přední vidlice

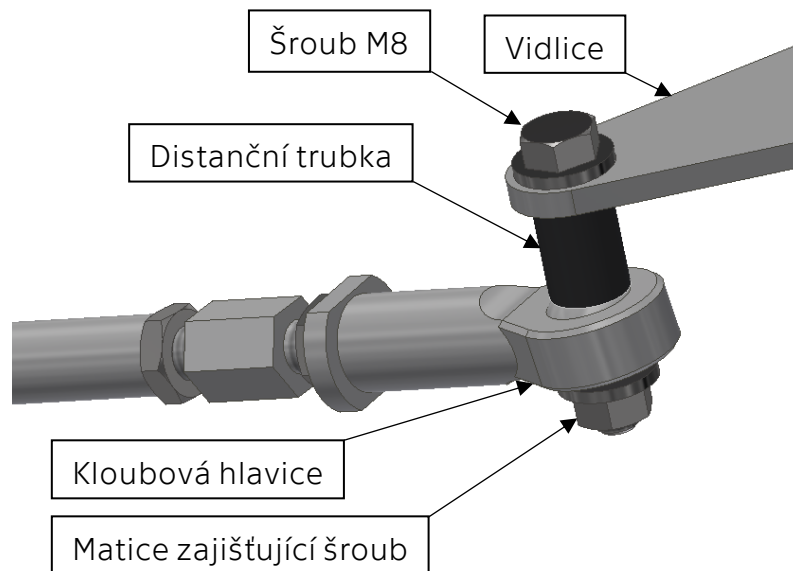
7.3 Návrh řídicího mechanismu

Jednou z nejkompexnějších částí byl návrh ovládacího mechanismu předního kola. V případě klasického jízdního kola jsou řídítka jezdce přímo připevněna k vidlici, avšak v tomto případě je přední kolo ve velké vzdálenosti od jezdce a musel jsem tedy využít jiné řešení. Jako nejvhodnější způsob jsem určil ovládání pomocí řídicí tyče. Při návrhu bylo nutné zajistit zejména dostatečnou světlost při přejíždění nerovností. Dále jsem musel určit vhodnou délku tyče a úhel, pod kterým je ohnutá, aby mělo přední kolo dostatečný rozsah otáčení (rejď). Mechanismus jsem navrhl tak, aby byl v případě poruchy či servisu snadno rozebíratelný a přístupný.



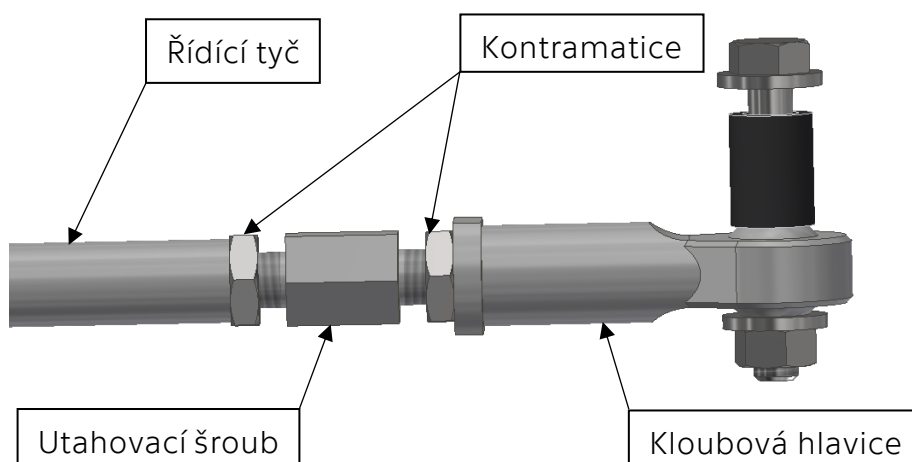
Obrázek 39: Mechanismus řízení nákladního kola

Spojení řídicí tyče s přední vidlicí jsem realizoval pomocí normalizovaného šroubu se šestihrannou hlavou a závitem M8. Pomocí distanční trubky je uložen v kloubové hlavici s kluzným uložením (Obrázek 40).



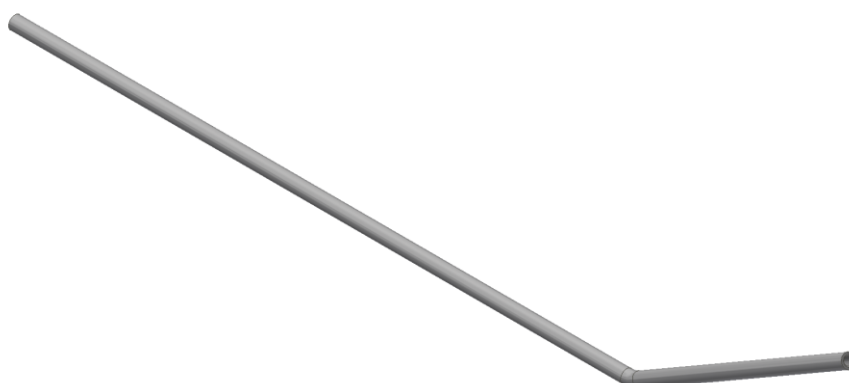
Obrázek 40: Spojení přední vidlice a řídicí tyče

Kloubová hlavice je s tyčí řízení spojena speciálním utahovacím šroubem, který má jeden závit pravotočivý a druhý levotočivý. Oba závity jsou M10. Díky tomu je umožněna úprava řízení. Proti povolování jsem šroub zajistil kontramaticemi (Obrázek 41).



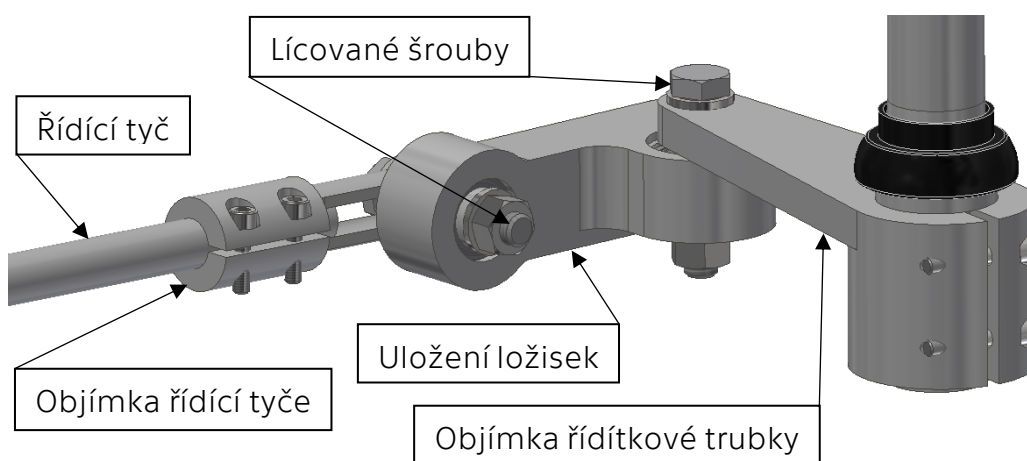
Obrázek 41: Spojení řídicí tyče s kloubovou hlavicí

Řídící tyč (Obrázek 42) jsem navrhl tak, aby délkovými rozměry zajišťovala ideální ovládní předního kola a zajistila co nejvhodnější rozsah. Zároveň zajišťuje kompaktnost i při zatáčení, takže tyč nevyčnívá při zatáčení do stran. Tloušťka stěny je 3,5 mm, díky čemuž je minimalizován ohyb tyče při zatáčení. Tyč je také vyrobena z hliníkové slitiny. Na kratší straně je v tyči vnitřní levotočivý závit M10 pro utahovací šroub.



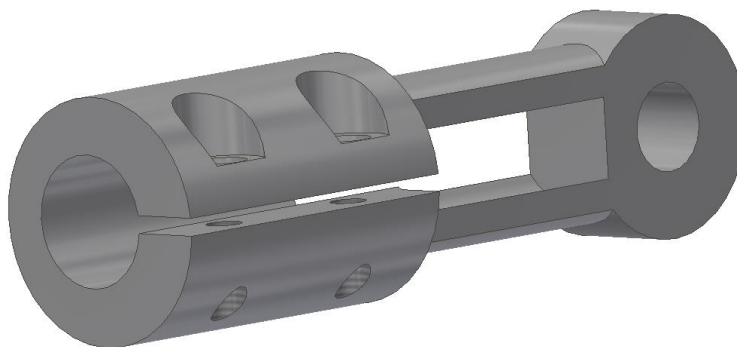
Obrázek 42: Řídící tyč

K řídkové trubce je řídká tyč připevněná pomocí objímek, které jsou vzájemně spojeny přes valivá ložiska (Obrázek 43).

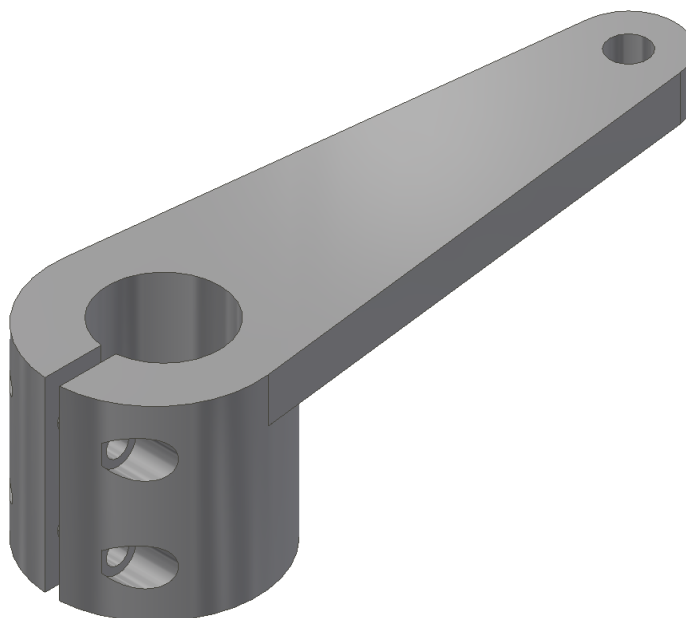


Obrázek 43: Spojení řídkové trubky s řídká tyčí

Objímky jsem navrhl tak, aby vhodně přenášely sílu od jezdce na řídicí tyč. Součástí návrhu bylo i dimenzování šroubů podle daného zatížení. Výpočet je uveden v kapitole 8.2. Objímka řídicí tyče přenáší převážně axiální sílu (Obrázek 44). Naopak objímka řídkové trubky je nejvíce zatěžována kroutícím momentem (Obrázek 45).



Obrázek 44: Objímka řídicí tyče



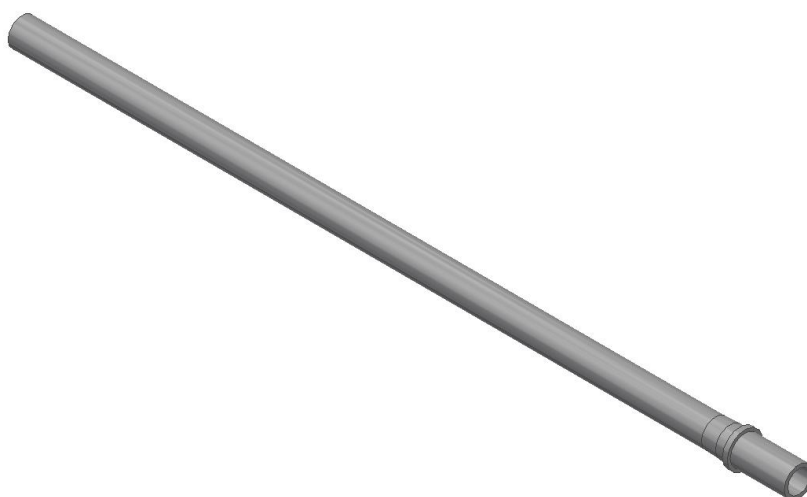
Obrázek 45: Objímka řídkové trubky

Díky ložiskům, která mají na sebe kolmé osy rotace je umožněn pohyb řídicí tyče. Ložiska jsou uložena v robustní součásti, jejíž výrobní výkres je uveden v příloze číslo 1. Ložiska jsou axiálně zajištěna pojistným kroužkem (Obrázek 46).



Obrázek 46: Uložení ložisek řídicího mechanismu

Řídicí trubka je opět od klasického kola velmi odlišná. Je dlouhá 790 mm, aby zajistila pohodlný posed pro jezdce. Dále je v dolní části opatřena osazením pro objímku a ložisko (Obrázek 47).



Obrázek 47: Řídicí trubka

7.3.1 Nakoupené díly řídicího mechanismu

K spojení kloubové hlavice jsem použil normalizovaný šroub s metrickým závitem a šestihrannou hlavou. V rámci tohoto spoje jsem dále použil normalizované podložky a šroub zajistil šestihrannou maticí. Dvě nízké šestihranné matice jsem dále užil jako kontramatice k zajištění utahovacího šroubu. Pro zajištění objímek jsem zvolil šrouby s vnitřním šestihranem.

V případě ložisek jsem zvolil jednořadá kuličková ložiska od firmy SKF, a to typ 361200 R (Obrázek 48). Ložiska nejsou namáhána vysokými otáčkami ani silami, proto jsem je zvolil převážně na základě průměru lícovaných šroubů a ceny. K jejich axiálnímu zajištění jsem pak využil pojistné kroužky. [37]



Obrázek 48: Kuličkové ložisko SKF [37]

K uložení řídkové trubky v hlavové trubce jsem použil hlavové složení FSA Orbit XL II. [38]



Obrázek 49: Hlavové složení FSA Orbit XL II [38]

7.4 Nákladní prostor

Pro uložení nákladu jsem vepředu vytvořil plošinu, která je tvořena deskou z překližky (Obrázek 50). Díky tomu je možné převážet i relativně rozměrný náklad nebo naopak větší množství menších položek, protože díky desce nepropadnou skrze rám. K rámu je deska připevněna pomocí normalizovaných šroubů s plochou hlavou DIN 603.



Obrázek 50: Nákladní prostor s překližkovou deskou

7.6 Další nakoupené díly

7.6.1 Kola a jejich příslušenství

Jelikož je u nákladního kola zatížení oproti klasickému jízdnímu kolu mnohem větší, je nutné tomu přizpůsobit i jeho kola. V mém případě jsem vycházel z rozměrů modelu kola Bullitt od dánské firmy Larry vs Harry. Tento model je pro svůj design, únosnost a celkovou pohodlnost a obratnost při jízdě jedním z nejrozšířenějších kol na trhu. Vzadu jsem zvolil kolo o průměru 26", vpředu o průměru 20". V mém návrhu jsem použil sportovní vysoké ráfky, které jsou velmi pevné a snesou tak vysoké zatížení (Obrázek 51).



Obrázek 51: Zadní kolo s kazetou a brzdovým kotoučem [44]

Pro zajištění dostatečného brzdění jsem vpředu i vzadu použil kotoučové brzdy. Ty jsou sice oproti špalkovým brzdám dražší, ale mají mnohem lepší účinnost. Brzdové kotouče i třmeny jsou do firmy Spyre.

Pro pohodlnost a vyšší rozsah rychlostí jsem nákladní kolo opatřil přehazovačkou a kazetou s dostatečným rozsahem převodů.

7.6.2 Středové složení a příslušenství

Pro středové složení jsem zvolil variantu FC-M8000-1 od firmy Shimano. Součástí jsou i kliky s převodníkem (Obrázek 52). Jako pedály jsem pak zvolil odolnou variantu od značky BBB, které jsou určeny pro vyšší zatížení.



Obrázek 52: Středové složení Shimano s pedály [49], [50]

7.6.3 Řídítka

Pro zajištění co nejpohodlnějšího ovládání pro jezdce bylo vhodné použít řídítka s širokým úchopem, které umožňují snadnou manipulaci. Tento požadavek splňovala řídítka od firmy Truvativ. Páčky pro ovládání brzd a přehazovačky jsou od firmy SRAM (obrázek 53).



Obrázek 53: Řídítka s ovládacími páčkami [46]

7.6.4 Sedlo a sedlovka

Pro zajištění správného posedu jezdce a jeho pohodlí při delší jízdě je nutné zvolit správné sedlo a sedlovku, která odpovídá průměru sedlové tyče a zároveň je dostatečně dlouhá pro nastavení výšky sedla. Zvolil jsem tedy sedlovku o průměru 31,8 mm a délce 220 mm. Zvolené sedlo pro můj návrh je model C17 od firmy Brooks. Toto sedlo zajišťuje svými parametry pohodlnou jízdu na silničním kole a díky výřezu má i zvýšenou pružnost, což je vhodné například při přejíždění nerovností.



Obrázek 54: Sedlo C17 Brooks [39]

7.6.5 Další příslušenství

Další kupovanou součástí, která na jízdním kole nesmí chybět, je cyklistický řetěz. Zajišťuje přenos hnací síly od jezdce na zadní kolo, proto jsem zvolil řetěz Shimano. Pro jízdu za snížené viditelnosti jsem kolo vybavil předním a zadním svítlidlem.

8. Návrhové a kontrolní výpočty

Při navrhování mechanismu řízení jsem se rozhodl, že přenos kroutícího momentu z řídítek realizuji pomocí dvou objímek. Přenos momentu, případně síly u každé zajišťují dva předepjaté šrouby, jejichž rozměry budu v této kapitole navrhovat.

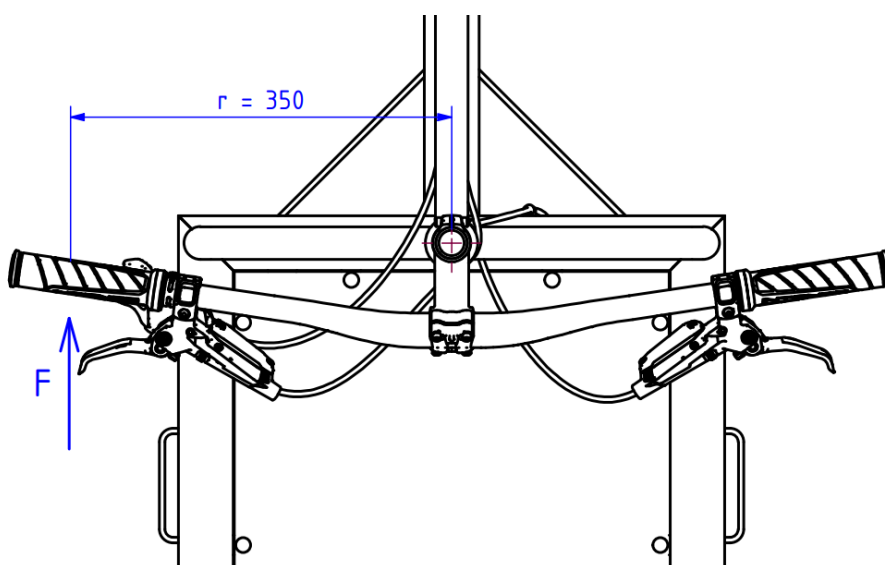
Dále v této kapitole provedu pevnostní kontrolu na krut řídkové trubky a spočítám přibližný rozsah rychlostí, kterými se kolo bude pohybovat. Následně určím přibližnou velikost reakčních sil v uložení předního a zadního kola.

8.1 Výpočet šroubů objímky pro řídkovou trubku

8.1.1 Určení počátečního zatížení

Při určování maximálního zatížení jsem musel stanovit dva hlavní parametry, a to velikost síly a rameno, na kterém síla bude působit. Rameno r jsem určil podle toho, ve které části se bude jezdcí nejlépe držet, tedy 350 mm od středu rotace. Sílu F jsem následně odhadl na 50 N jako ekvivalent tíhy 5 kg závaží (Obrázek 55). Tato síla je uvažována jako maximální síla, kterou je jezdec při jízdě schopen vyvinout.

$$M_k = F \cdot r = 0,35 \cdot 50 = 17,5 \text{ [Nm]} \quad (1)$$

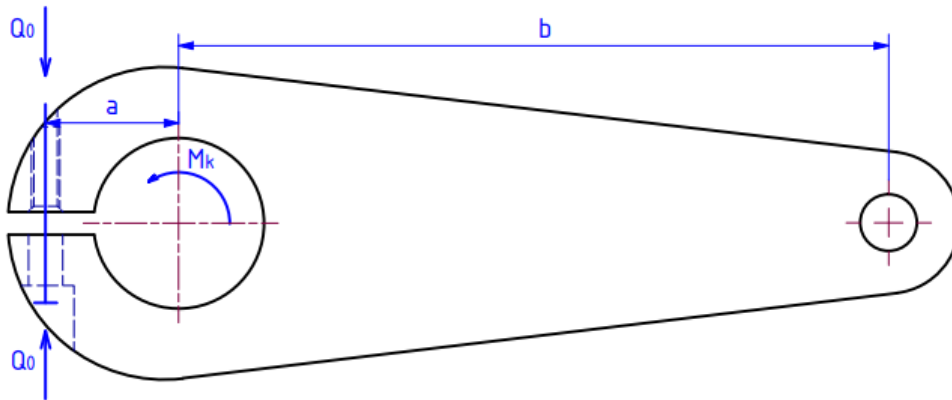


Obrázek 55: Zobrazení předpokládaného maximálního zatížení řídítek

8.1.2 Podmínka únosnosti spoje

Únosnost spoje volím na základě rovnováhy krouticího a třecího momentu. Hodnoty součinitele tření ($f=0,15$) a koeficientu bezpečnosti ($k=1,5$) volím na základě skript. [2]

$$k \cdot M_k \leq f \cdot M_t \rightarrow M_t = \frac{M_k \cdot k}{f} = \frac{17,5 \cdot 1,5}{0,15} = 175 \text{ [Nm]} \quad (2)$$



Obrázek 56: Schéma zatížení a rozměrů objímky pro řídkovou trubku

8.1.3 Výpočet předpětí šroubu

Pokud jsou šrouby objímky umístěny pouze na jedné straně, řeší se běžně předpětí ve šroubech Q_0 z momentové rovnováhy. Rameno a je zobrazeno v Obrázku 56. [6]

$$i \cdot Q_0 \cdot a = M_t \rightarrow Q_0 = \frac{M_t}{i \cdot a} = \frac{175}{2 \cdot 0,0234} = 3739,3 \text{ [N]} \quad (3)$$

8.1.4 Volba šroubu

Výpočet minimálního obsahu jádra šroubu a jeho minimálního průměru pro pevnostní třídu 8.8 jsem provedl na základě skript. [2]

$$S_3 \geq \frac{Q_0}{0,7 \cdot \sigma_{kt}} = \frac{3739,3}{0,7 \cdot 630} = 8,48 \text{ [mm}^2\text{]} \quad (4)$$

$$d_3 \geq \sqrt{\frac{4 \cdot S_3}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 8,48}{\pi}} = 3,29 \text{ [mm]} \quad (5)$$

Podle strojnických tabulek je nejbližší použitelný šroub M4,5. Pro vyšší bezpečnost volím šrouby M5. [43]

8.1.5 Pevnostní kontrola šroubů M5

Nejprve určím napětí v tahu σ_t :

$$\sigma_t = \frac{Q_0}{\frac{\pi \cdot d_3^2}{4}} = \frac{3739,2}{\frac{\pi \cdot 4,019^2}{4}} = 294,78 \text{ [N} \cdot \text{mm}^{-2}] \quad (6)$$

Pomocné výpočty pro určení smykového napětí τ :

$$\tan \gamma = \frac{P}{\pi \cdot d_2} = \frac{0,8}{\pi \cdot 4,48} = 0,0568 \quad (7)$$

$$M_{kz} = Q_0 \cdot \frac{d_2}{2} \cdot \tan(\gamma + \varphi') = 3739,3 \cdot \frac{4,48}{2} \cdot (0,0568 + 0,15) = 1732,16 \text{ [N} \cdot \text{mm}] \quad (8)$$

Výpočet smykového napětí τ :

$$\tau = \frac{M_{kz}}{\frac{\pi \cdot d_3^3}{16}} = \frac{1732,16}{\frac{\pi \cdot 4,019^3}{16}} = 135,9 \text{ [N} \cdot \text{mm}^{-2}] \quad (9)$$

Výpočet redukovaného napětí dle teorie HMM:

$$\sigma_{red} = \sqrt{\sigma_t^2 + 3 \cdot \tau^2} = \sqrt{294,78^2 + 3 \cdot 135,9^2} = 377,23 \text{ [N} \cdot \text{mm}^{-2}] \quad (10)$$

Určení koeficientu bezpečnosti:

$$k = \frac{\sigma_{kt}}{\sigma_{red}} = \frac{630}{377,23} = 1,67 > 1,2 \quad (11)$$

Šrouby se závitem M5 vyhovují bezpečnostní podmínce.

8.2 Výpočet šroubů objímky pro řídicí tyč

8.2.1 Určení počátečního zatížení

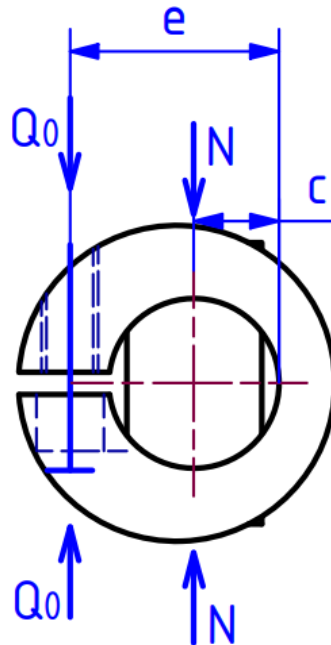
Při výpočtu axiální síly působící na tuto objímku jsem vycházel z krouticího momentu, který je přenášen z řídítek. Následně jsem axiální sílu vypočítal jako podíl krouticího momentu a délky ramena b (Obrázek 56).

$$F_a = \frac{M_k}{b} = \frac{17,5}{0,125} = 140 \text{ [N]} \quad (12)$$

8.2.2 Podmínka únosnosti spoje

Svěrnou sílu jsem určil z podmínky únosnosti:

$$k \cdot F_a \leq f \cdot N \rightarrow N = \frac{F_a \cdot k}{f} = \frac{140 \cdot 1,5}{0,15} = 1400 \text{ [N]} \quad (13)$$



Obrázek 57: Schéma rozměrů objímky pro řídicí tyč

8.2.3 Výpočet předpětí šroubu

Podobně jako u předchozí úlohy i zde vycházím z momentové rovnováhy (Obrázek 57).

$$i \cdot Q_0 \cdot e = N \cdot c \rightarrow Q_0 = \frac{N \cdot c}{i \cdot e} = \frac{1400 \cdot 7,5}{2 \cdot 18,5} = 283,78 \text{ [N]} \quad (14)$$

8.2.4 Volba šroubu

Užity stejné vzorce jako u předchozího dílu:

$$S_3 \geq \frac{Q_0}{0,7 \cdot \sigma_{kt}} = \frac{283,78}{0,7 \cdot 630} = 0,64 \text{ [mm}^2\text{]} \quad (15)$$

$$d_3 \geq \sqrt{\frac{4 \cdot S_3}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,64}{\pi}} = 0,9 \text{ [mm]} \quad (16)$$

Podle strojnických tabulek je nejbližší použitelný šroub M1,4. Pro zachování dostatečné pevnosti a bezpečnosti volím opět šrouby M5. [43]

8.2.5 Pevnostní kontrola šroubů M5

Určení napětí v tahu σ_t :

$$\sigma_t = \frac{Q_0}{\frac{\pi \cdot d_3^2}{4}} = \frac{283,78}{\frac{\pi \cdot 4,019^2}{4}} = 22,37 \text{ [N} \cdot \text{mm}^{-2}\text{]} \quad (17)$$

Pomocné výpočty pro určení smykového napětí τ :

$$\tan \gamma = \frac{P}{\pi \cdot d_2} = \frac{0,8}{\pi \cdot 4,48} = 0,0568 \quad (18)$$

$$M_{kz} = Q_0 \cdot \frac{d_2}{2} \cdot \tan(\gamma + \varphi') = 283,78 \cdot \frac{4,48}{2} \cdot (0,0568 + 0,15) = 131,46 \text{ [N} \cdot \text{mm]} \quad (19)$$

Výpočet smykového napětí τ :

$$\tau = \frac{M_{kz}}{\frac{\pi \cdot d_3^3}{16}} = \frac{131,46}{\frac{\pi \cdot 4,019^3}{16}} = 10,3 \text{ [N} \cdot \text{mm}^{-2}\text{]} \quad (20)$$

Výpočet redukovaného napětí dle teorie HMM:

$$\sigma_{red} = \sqrt{\sigma_t^2 + 3 \cdot \tau^2} = \sqrt{22,37^2 + 3 \cdot 10,3^2} = 28,61 \text{ [N} \cdot \text{mm}^{-2}\text{]} \quad (21)$$

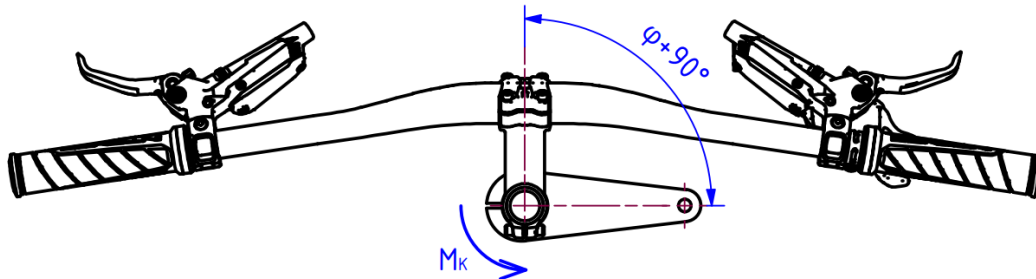
Určení koeficientu bezpečnosti:

$$k = \frac{\sigma_{kt}}{\sigma_{red}} = \frac{630}{28,61} = 22 \gg 1,2 \quad (22)$$

Šrouby se závitem M5 vyhovují s velkou rezervou bezpečnostní podmínce.

8.3 Výpočet zatížení řídkové trubky v krutu

V této části určím bezpečnost řídkové trubky při zatížení krouticím momentem a dále úhel natočení řídek vůči objímce (Obrázek 58).



Obrázek 58: Zobrazení úhlu natočení φ

Zátěžný krouticí moment jsem zvolil stejný, jako v předchozích výpočtech, tedy $M_k = 17\,500$ Nmm. Vnější průměr trubky je 28,6 mm a vnitřní je 23 mm. Vzdálenost mezi objímkou a řídky je přibližně 740 mm. Dovolené napětí v tahu na základě meze pevnosti v tahu slitiny 7005 jsem zvolil 250 N·mm⁻². Youngův modul pro hliníkové slitiny má hodnotu přibližně 68 GPa a Poissonovo číslo je 0,33.

8.3.1 Výpočet průřezových charakteristik

Určení polárního kvadratického momentu průřezu J_p :

$$J_p = \frac{\pi \cdot D^4}{32} \cdot \left[1 - \left(\frac{d}{D} \right)^4 \right] = \frac{\pi \cdot 28,6^4}{32} \cdot \left[1 - \left(\frac{23}{28,6} \right)^4 \right] = 38211,34 \text{ [mm}^4\text{]} \quad (23)$$

Výpočet průřezového modulu v krutu W_k :

$$W_k = \frac{\pi \cdot D^3}{16} \cdot \left[1 - \left(\frac{d}{D} \right)^4 \right] = \frac{\pi \cdot 28,6^3}{16} \cdot \left[1 - \left(\frac{23}{28,6} \right)^4 \right] = 2672,122 \text{ [mm}^3\text{]} \quad (24)$$

8.3.2 Materiálové charakteristiky

Určení dovoleného smykového napětí τ_D dle teorie τ_{MAX} :

$$\tau_D = \frac{\sigma_D}{2} = \frac{250}{2} = 125 \text{ [N} \cdot \text{mm}^{-2}\text{]} \quad (25)$$

Výpočet Youngova modulu ve smyku G :

$$G = \frac{E}{2 \cdot (1 + \mu)} = \frac{68}{2 \cdot (1 + 0,33)} = 25,56 \text{ [GPa]} \quad (26)$$

8.3.3 Pevnostní kontrola

Určení smykového napětí τ_k :

$$\tau_k = \frac{M_k}{W_k} = \frac{17500}{2672,122} = 6,55 \text{ [N} \cdot \text{mm}^{-2}] \quad (27)$$

Výpočet koeficientu bezpečnosti:

$$k = \frac{\tau_D}{\tau_k} = \frac{125}{6,55} = 19,1 \quad (28)$$

8.3.4 Natočení

Určení úhlu natočení φ :

$$\varphi = \frac{M_k \cdot l}{G \cdot J_P} = \frac{17500 \cdot 740}{25,56 \cdot 10^3 \cdot 38211,34} = 0,01326 \text{ [rad]} = 0,76^\circ \quad (29)$$

8.4 Rozsah rychlostí kola

V této části spočítám přibližný rozsah rychlostí jízdního kola pro vybraný převodník, kazetu a rozměr zadního kola. Dále vycházím z předpokladu, že průměrná rychlost šlapání jezdce bude 60 ot/min. Počet zubů převodníku na středovém složení je 37. Počty zubů z_P jednotlivých pastorků v kazetě jsou uvedeny v tabulce. Průměr zadního kola je 26", tedy 660 mm.

8.4.1 Výpočet rychlosti pro pastorek s 28 zuby

Určení převodového poměru i_{Z28} :

$$i_{Z28} = \frac{Z_1}{Z_{28}} = \frac{37}{28} = 1,32 \quad (30)$$

Určení otáček Zadního kola n_Z :

$$n_Z = n_1 \cdot i_{Z28} = 60 \cdot 1,32 = 79,2 \text{ [ot/min]} \quad (31)$$

Výpočet obvodové rychlosti v_Z :

$$v_Z = \frac{2 \cdot \pi \cdot n_Z}{60} \cdot \frac{d_Z}{2} = \frac{\pi \cdot 79,2 \cdot 0,66}{60} = 2,74 \text{ [m} \cdot \text{s}^{-1}] = 9,85 \text{ [km} \cdot \text{h}^{-1}] \quad (32)$$

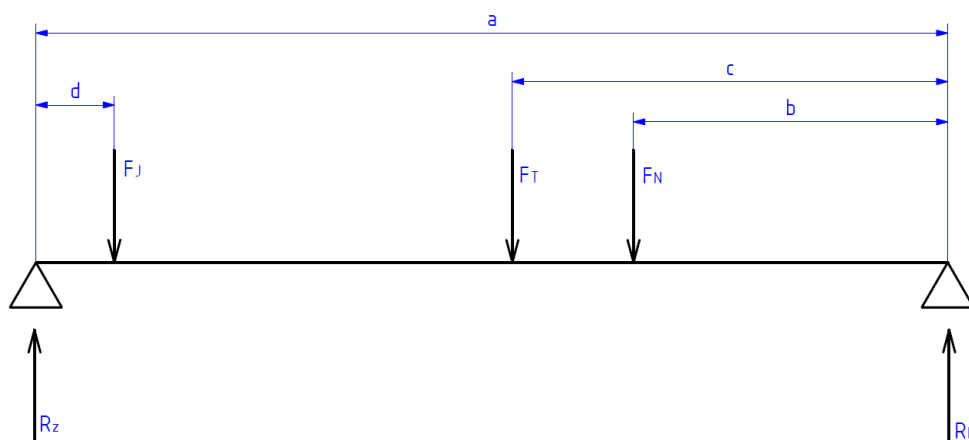
Analogickým způsobem jsou provedeny výpočty pro ostatní pastorky (Tabulka 1). Z tabulky vyplývá, že se cyklista bude moci pohodlně po městě pohybovat rychlostmi mezi 10 až 30 km/h. To je naprosto dostatečná rychlost pro daný účel a zvolená kazeta a převodník jsou vhodné pro toto užití.

Tabulka 1: Převody a rychlosti pro jednotlivé pastorky

z_p	i_z	n_z [ot/min]	v_z [m/s]	v_z [km/h]
28	1,32	79,29	2,74	9,86
25	1,48	88,80	3,07	11,05
23	1,61	96,52	3,34	12,01
21	1,76	105,71	3,65	13,15
19	1,95	116,84	4,04	14,54
17	2,18	130,59	4,51	16,25
15	2,47	148,00	5,11	18,41
14	2,64	158,57	5,48	19,73
13	2,85	170,77	5,90	21,24
12	3,08	185,00	6,39	23,02
11	3,36	201,82	6,97	25,11

8.5 Výpočet reakčních sil od provozní tíhy v uložení kol

Pro určení reakčních sil, které působí na patkách přední a zadní vidlice, jsem výrazně zjednodušil výpočtový model, jedná se tedy spíše o orientační výpočet, ze kterého jsem však vycházel v následující kapitole MKP analýzy. Pro zjednodušení jsem rám jízdního kola zobrazil jako nosník na dvou podpěrách, které zastupují uložení kol a působí zde hledané reakční síly (Obrázek 59).



Obrázek 59: Schéma zatížení kola a rozložení jednotlivých sil

Na obrázku 59 jsou zobrazeny jednotlivé vzdálenosti nutné pro výpočet. Rozvor a je 2031 mm. Vzdálenost působíště síly od nákladu (F_N) od předního uložení b je 700 mm. Těžiště nákladního kola, kde působí tíhová síla F_T je od přední vidlice vzdáleno přibližně 970 mm (vzdálenost c). Síla F_J tedy tíha jezdce má působíště přibližně 175 mm od uložení zadního kola (rozměr d). Všechny tyto rozměry jsem získal odměřením z 3D modelu v programu Autodesk Inventor.

8.5.1 Určení zátěžových sil

Volbu jednotlivých sil zatěžujících jízdní kolo jsem provedl následovně. Hmotnost nákladu, na kterou je kolo navrženo je 100 kg, zátěžová síla od nákladu F_N bude tedy přibližně 1000 N. Hmotnost jezdce, se kterou počítám, je 90 kg, jeho výsledná tíhová síla F_J je přibližně 900 N. Tíhu kola jsem určil na základě hmotnosti rámu podle 3D modelu v programu Autodesk Inventor, která je přibližně 12 kg a dále odhadu hmotnosti jednotlivých komponent, jako je deska na nosič, mechanismus řízení a podobně. Výsledná hmotnost kola bude přibližně 25 kg a síla F_T je přibližně 250 N.

8.5.2 Výpočet reakčních sil

Finální výpočty reakčních sil jsem provedl na základě rovnic momentové rovnováhy k jednotlivým uloženíům.

Určení zadní reakce R_Z :

$$M_P: R_Z \cdot a - F_N \cdot b - F_T \cdot c - F_J \cdot (a - d) = 0 \rightarrow R_Z = \frac{F_N \cdot b + F_T \cdot c + F_J \cdot (a - d)}{a} \quad (33)$$

$$R_Z = \frac{1000 \cdot 700 + 250 \cdot 970 + 900 \cdot (2031 - 175)}{2031} = 1286,5 \text{ [N]}$$

Určení přední reakce R_P :

$$M_Z: R_P \cdot a - F_N \cdot (a - b) - F_T \cdot (a - c) - F_J \cdot d = 0 \rightarrow$$

$$\rightarrow R_P = \frac{F_N \cdot (a - b) + F_T \cdot (a - c) + F_J \cdot d}{a} \quad (34)$$

$$R_P = \frac{1000 \cdot (2031 - 700) + 250 \cdot (2031 - 970) + 900 \cdot 175}{2031} = 863,5 \text{ [N]}$$

8.5.3 Určení výsledných sil v uložení

Jelikož je každé kolo uloženo symetricky ve dvou patkách, bude výsledná síla v uložení na každé patce poloviční oproti vypočítané reakci, tedy zadní síla v uložení F_Z je 643,25 N a přední síla v uložení F_P je 431,75 N.

9. Pevnostní analýza rámu

V této kapitole se zaměřím na pevnostní analýzu mnou navrženého rámu pomocí metody konečných prvků. Ověřím, zda je rám dostatečně pevný při daném zatížení. Pro pevnostní analýzu celého rámu jsem použil systémové prostředí programu Autodesk Inventor, pro detailnější ověření pevnosti zadní patky jsem zvolil výpočetní program Abaqus.

9.1 MKP analýza celého rámu

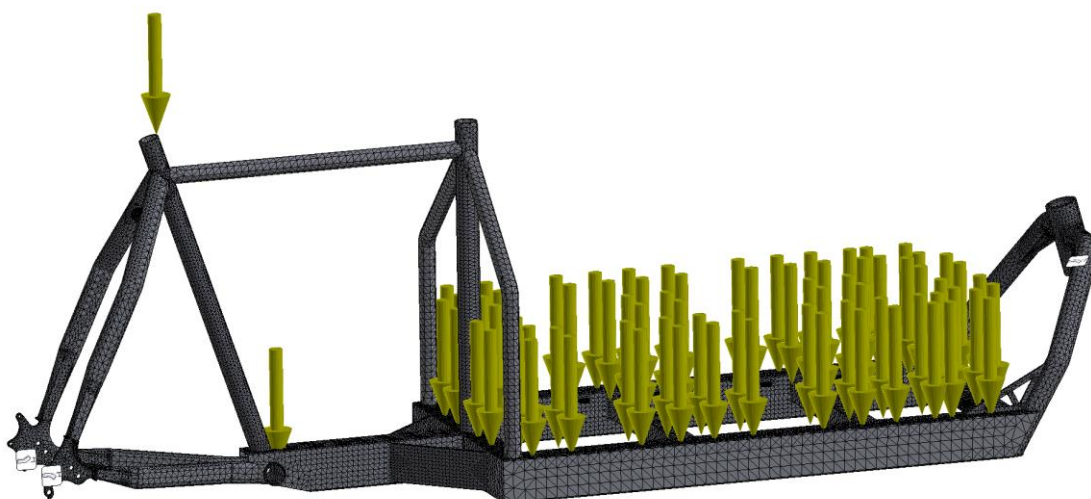
Pro komplexnost navrženého rámu bylo nevhodné provádět celkovou analýzu v Abaqusu. Bylo by velmi obtížné vytvořit vhodnou výpočetní síť pro dosažení legitimních výsledků. Provedl jsem tedy orientační analýzu přímo v programu Inventor. Vzhledem k nízké hustotě sítě se číselné hodnoty částečně liší od skutečnosti, ale výsledek jsem mohl použít pro určení nejzatěžovanější části konstrukce a ověření únosnosti tohoto místa.

Výpočetní síť jsem vygeneroval přímo pomocí systémového nástroje v Inventoru. Ten umožňuje pouze tvorbu tetragonálních prvků. Síť je automaticky hustější v částech rámu s komplexnější geometrií (Obrázek 60).



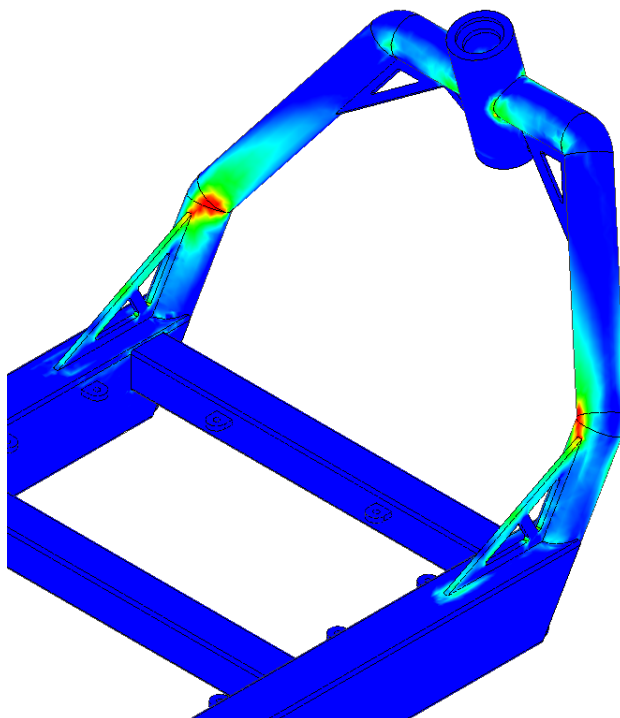
Obrázek 60: Vygenerovaná síť rámu

Poté jsem přiřadil rámu materiálové vlastnosti a určil vazby a zatížení (Obrázek 61). Pevné uložení jsem zvolil v patkách zadní vidlice a ve spodní části přední hlavové trubky, kde je uložena přední vidlice. Zatížení od jezdce jsem rozložil mezi horní část sedlové trubky a díru pro středové složení. Tíha nákladu pak bude rozložena na příčné pomocné nosníky a oka sloužící k upevnění nákladové desky.



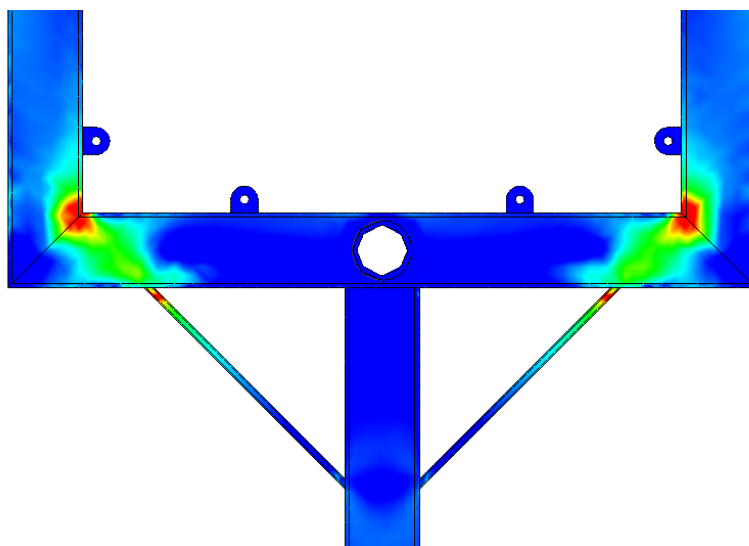
Obrázek 61: Zobrazení uložení a zatížení rámu

Z provedené analýzy jsem zjistil několik potenciálně rizikových částí. Nacházejí se souměrně po obou stranách rámu. První místo se nachází na trubkách uložení přední hlavové trubky (Obrázek 62). Číselné hodnoty však dosahují přibližně 30 MPa, což je méně než desetina meze pevnosti 350 MPa.



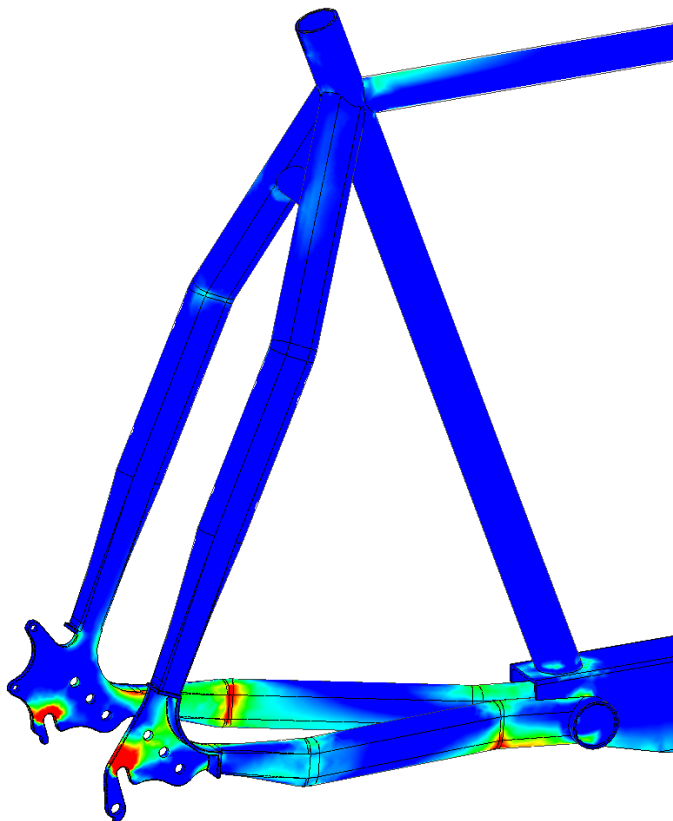
Obrázek 62: Namáhání uložení přední části hlavové trubky

Další místa se zvýšeným napětím se vyskytují kolem příčného nosníku pro hlavovou trubku (Obrázek 63). Hodnoty napětí jsou však opět přibližně 30 MPa.



Obrázek 63: Oblasti se zvýšeným napětím v oblasti kolem příčného nosníku, pohled ze spodu

Nejvíce namáhanou částí rámu je zadní stavba (Obrázek 64). Vzhledem k její konstrukci je zde několik oblastí se zvýšeným napětím. Z těchto míst jsou nejkritičtější patky pro uložení kola. Z tohoto důvodu jsem provedl detailnější MKP analýzu patky v programu Abaqus.

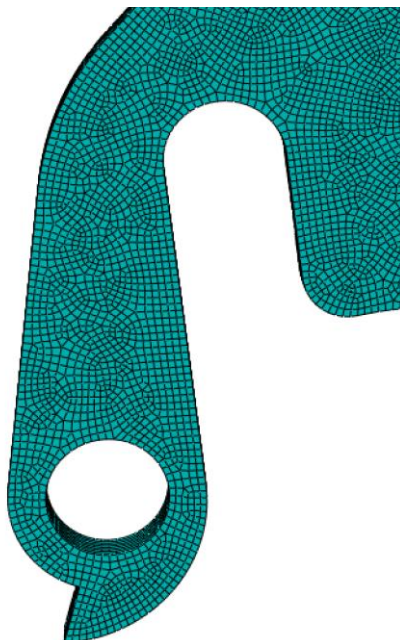


Obrázek 64: Napětí na zadní stavbě

9.2 Pevnostní analýza zadní patky

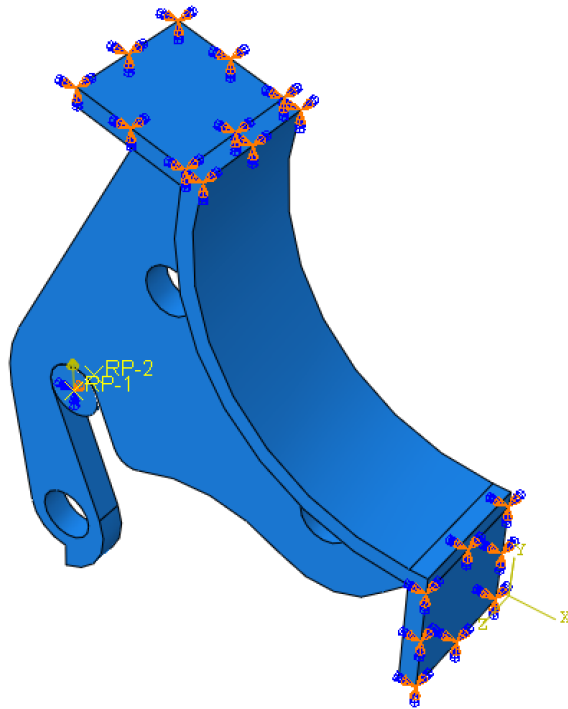
Detailní analýzu metodou konečných prvků jsem provedl na pravé zadní patce, která slouží k uložení zadního kola. K tomuto účelu jsem využil program Abaqus. Ten umožňuje tvorbu vhodnější výpočetní hexagonální sítě. Pro přesnější simulaci zatížení, které zde vzniká mezi patkou a nábojem zadního kola jsem prováděl analýzu jako kontaktní úlohu mezi patkou a čepem, který nahrazuje osu zadního kola.

Při tvoření sítě bylo nutné rozdělit patku na několik dílčích částí. Následně jsem zvolil maximální délku hrany elementu 0,6 mm, což zajišťuje dostatečnou hustotu sítě pro validní výsledek (Obrázek 65).



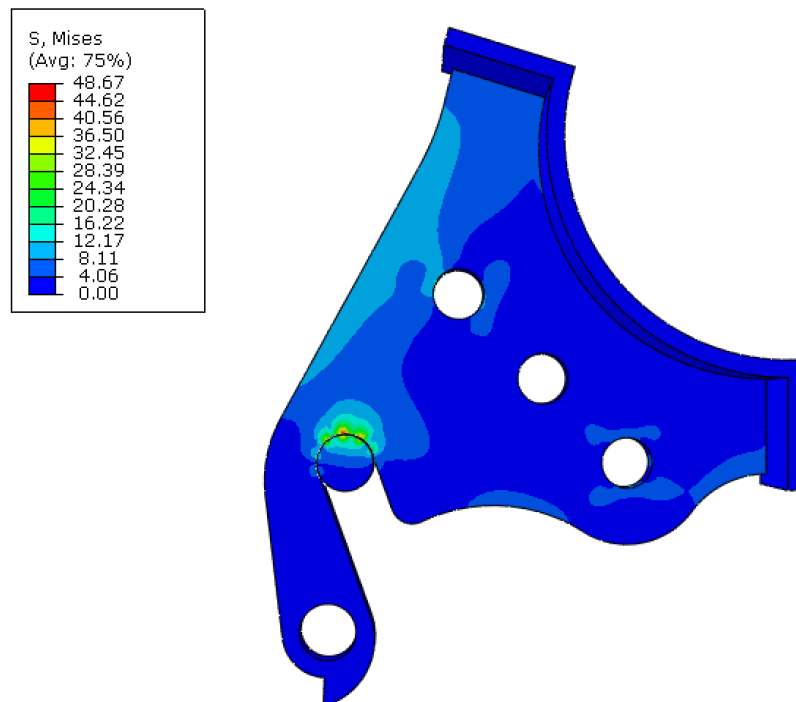
Obrázek 65: Detail hexagonální sítě na patce

Následně jsem nastavil vzájemné interakce mezi patkou a čepem. V místech, kde je patka svařená se zbylými částmi zadní vidlice, jsem vložil pevné vazby, abych zamezil nežádoucím posuvům a rotaci patky. Působíště zátěžné síly jsem vložil do bodů, které se nacházejí na ose čepu a směr síly je svisle vzhůru (Obrázek 66). Zatěžovací sílu jsem zvolil 650 N, což je hodnota vycházející z výpočtů reakcí provedených v předešlé kapitole.



Obrázek 66: Zobrazení vazeb a RP bodů, ve kterých působí zatěžná síla

Po provedení výpočtu jsem z výsledků zjistil, že nejvyšší napětí se nachází na patce přímo v místě kontaktu s čepem. Ve zbylých částech patky je napětí velmi nízké (Obrázek 67).

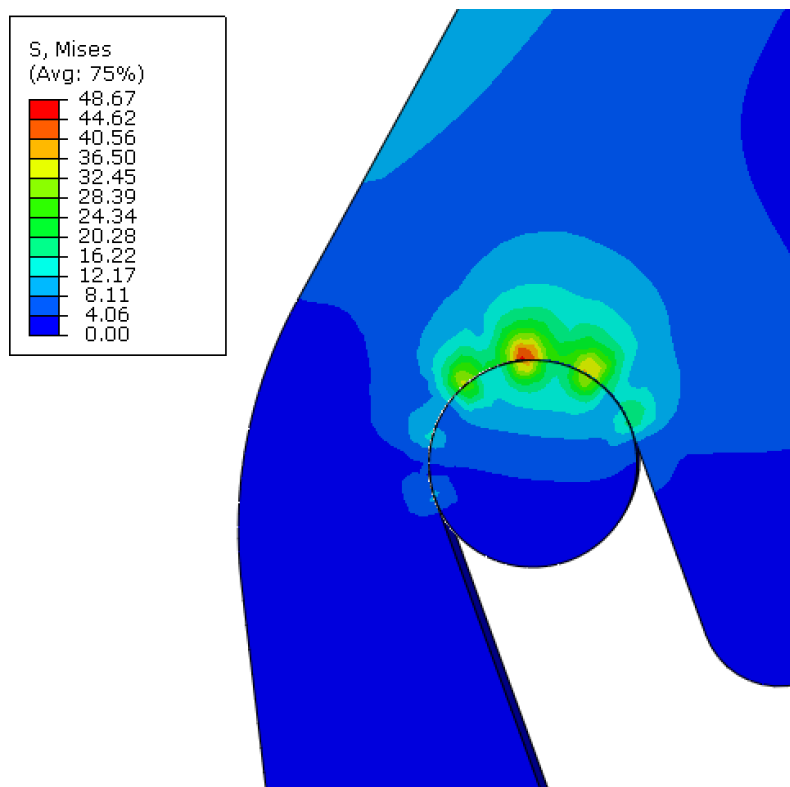


Obrázek 67: Napětí na zadní patce

Hodnota napětí je v kritickém místě přibližně 49 MPa (Obrázek 68). Pro ověření určím koeficient bezpečnosti oproti dovolenému napětí σ_D 250 MPa:

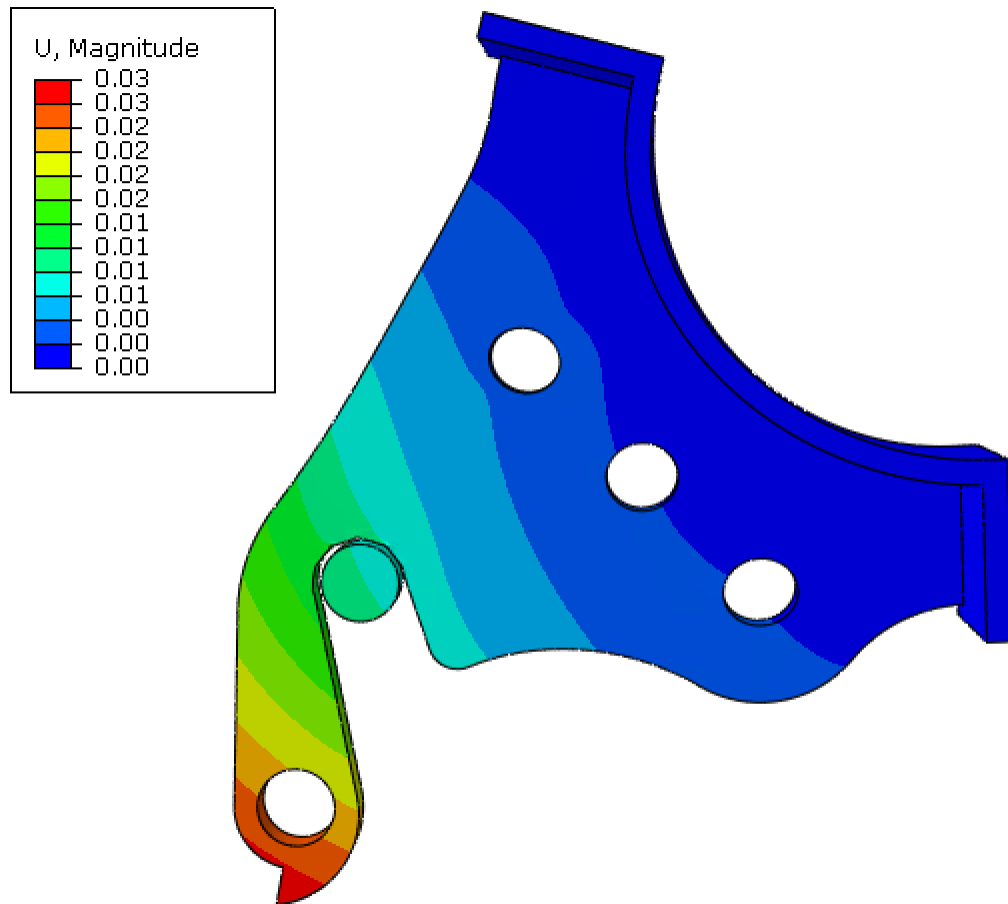
$$k = \frac{\sigma_D}{\sigma_{MAX}} = \frac{250}{49} = 5,1 \quad (35)$$

Koeficient bezpečnosti ukazuje, že patka je zkonstruována dostatečně pevně, aby unesla požadované zatížení.



Obrázek 68: Detail nejvíce namáhaného místa

Pomocí této metody jsem ověřil i posuv jednotlivých částí, ten je největší na dolním okraji patky určeném k uložení přehazovačky, avšak s hodnotou 0,03 mm je v podstatě zanedbatelný (Obrázek 69).



Obrázek 69: Zobrazení posuvů na zadní patce

Nejvyšší hodnota tlaku v místě kontaktu patky a čepu je přibližně 13 MPa. V místě kontaktu tedy nebude docházet k plastickým deformacím.

9.3 Zhodnocení analýzy

Podle výsledků dosažených v rámci MKP analýzy celého rámu i zadní patky jsem zjistil, která místa jsou nejvíce namáhána. Rám je dostatečně pevný pro jízdu po městě s nákladem 100 kg.

10. Závěr

V této diplomové práci zabývající se návrhem nákladního jízdního kola jsem se nejdříve zaměřil na historii a vývoj jízdních kol, následně jejich části a materiály, ze kterých jsou vyráběny cyklistické rámy. Poslední část rešerše jsem věnoval průzkumu koncepcí jízdních kol.

V další části jsem se věnoval mému návrhu jízdního kola, který vychází z koncepce „Dlouhý Honza“, a popsal jednotlivé části návrhu. Bicykl jsem navrhl převážně z kruhových a obdélníkových profilů, které jsou běžně dostupné. Dále jsem použil co nejvíce nakupovaných dílů od renomovaných výrobců.

Poté jsem uvedl výpočty sloužící k návrhu řídicího mechanismu a ověření pevnosti některých jeho částí. Určil jsem rozsah rychlostí, kterými se kolo přibližně bude pohybovat, a zjistil velikost sil působících v uložení kol v rámu bicyklu.

V poslední kapitole jsem provedl pevnostní analýzu pomocí MKP, abych ověřil pevnost rámu. Na základě analýzy celého rámu jsem provedl detailní ověření pevnosti zadní patky, která je nejvíce namáhanou částí kola. Všechny požadavky byly splněny a rám je tedy bezpečný.

Práce je doplněna výkresem sestavy celého kola, výkresem svařence rámu a výrobním výkresem dílu sloužícího k uložení ložisek.

11. Seznam použitých zdrojů

- [1] CIBULKA, Karel. Mechanika jízdního kola. Vydání druhé. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2004. ISBN 80-01-03016-4.
- [2] ŠVEC, V.: Části a mechanismy strojů. Spoje a části spojovací. Praha: ČVUT, 2008.
- [3] VÍT, Ladislav. Problematika konstrukce rámu cyklistického kola. Plzeň, 2016. Bakalářská práce. Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta strojní.
- [4] MOTL, Daniel. Materiály pro atypické konstrukce rámců jízdních kol. Brno, 2015. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně.
- [5] SUNEK, Ondřej. Návrh jízdního kola pro městský provoz. Brno, 2019. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně.
- [6] CINK, Petr. Návrh spirálového gravitačního dopravníku. Praha, 2017. Bakalářská práce. České vysoké učení technické. Vedoucí práce Ing. Jiří Mrázek Ph.D.
- [7] Bolzano | Přehled vlastností oceli S355JO. Bolzano [online]. Kladno: Bohdan Bolzano, 2020 [cit. 2022-06-04]. Dostupné z: <https://bbolzano.cz/cz/technicka-podpora/technicka-prirucka/tycove-oceli-uhlikove-konstrukcni-a-legovane/nelegovane-konstrukcni-oceli-podle-en-10025/prehled-vlastnosti-oceli-s355jo>
- [8] Cargo bike. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2022 [cit. 2022-06-04]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Cargo_bike
- [9] A VISUAL HISTORY OF CARGO BIKES. Mechaniccycling [online]. USA: MECHANIC/BICYCLE PRO SHOP, 2022 [cit. 2022-06-04]. Dostupné z: <https://mechaniccycling.com/blogs/blog/a-visual-history-of-the-cargo-bike>

- [10] Nákladní kolo – k čemu je a jak může vypadat?. Mtbs [online]. Praha: Cycling Media, 1998–2015 [cit. 2022-06-04]. Dostupné z: <https://mtbs.cz/clanek/nakladni-kolo-k-cemu-je-a-jak-muze-vypadat/kategorie/ostatni#.YptieahBwuU>
- [11] Wide Magazine. In: Wide Magazine [online]. Itálie: Piaggio & C. S.p.A. Pontedera, 2022 [cit. 2022-06-04]. Dostupné z: <https://wide.piaggiogroup.com/en/articles/products/two-hundred-years-of-riding-bicycles-from-the-draisine-to-the-wi-bike/index.html>
- [12] Zbraslav – Jíloviště (a vice versa) - Bicycleclub. In: Bicycleclub [online]. Zbraslav: klub VBC, 1997 [cit. 2022-06-04]. Dostupné z: <http://bicycleclub.zbraslav.info/?p=zbraslav-%E2%80%93-jiloviste--a-vice-versa-&lang=cs>
- [13] John Boyd Dunlop. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2022 [cit. 2022-06-04]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/John_Boyd_Dunlop
- [14] Rover Safety bicycle, 1885 | Science Museum Group Collection. In: Science museum group [online]. Londýn: The Board of Trustees of the Science Museum, 2022 [cit. 2022-06-04]. Dostupné z: <https://collection.sciencemuseumgroup.org.uk/objects/co25833/rover-safety-bicycle-1885-bicycle>
- [15] Řídítka ZOOM 25,4 / 400mm berany stříbrné. In: Ustrojíme vaše kolo i vás | Global - Sport CZ [online]. Pardubice: Global - Sport CZ, 2022 [cit. 2022-06-04]. Dostupné z: <https://www.global-sport.cz/riditka-zoom-254-400mm-berany-stribrne>
- [16] Představec ZOOM 31,8/75mm stavitelný - CykloNěmčik.cz. In: CykloNěmčik - internetový obchod s cyklistickým, sportovním a fitness vybavením a doplňky - CykloNěmčik.cz [online]. Praha: CykloNěmčik.cz, 2022 [cit. 2022-06-04]. Dostupné z: <https://www.cyklonemcik.cz/zbozi/predstavec-zoom-31-8-75mm-stavitelny>

- [17] Force Basic X.6 26" odpružená vidlice černá lesklá | Koloshop.cz. In: Koloshop.cz - jízdní kola, horská kola, trekingová kola, dětská kola [online]. Teplice: Koloshop, 2022 [cit. 2022-06-04]. Dostupné z: https://www.koloshop.cz/mtb-odpruzene-vidlice-mtb-odpruzene-vidlice-26-341/Force-Basic-X.6-26--odpruzena-vidlice-cerna-leskla.html?gclid=CjwKCAiAx8KQBhAGEiwAD3EiP6f7TOMFOSnRPnK7g7AMU4f3az3XhiZQAXGPTOsP1RljmsDKNxdCYRoCa__oQAvD__BwE
- [18] Pedály retro silniční Al. In: Ustrojíme vaše kolo i vás | Global - Sport CZ [online]. Pardubice: Global - Sport CZ, 2022 [cit. 2022-06-04]. Dostupné z: <https://www.global-sport.cz/pedaly-retro-silnicni-al>
- [19] Kliky FORCE ROAD CARBON TEAM 53 39z 175 mm. In: Best Cycle [online]. Chotěboř: Best Cycle, 2022 [cit. 2022-06-04]. Dostupné z: <https://www.bestcycle.cz/kliky-FORCE-ROAD-CARBON-TEAM-53-39z-175mm-d17346.htm>
- [20] Bajk.cz - Kliky a středová složení – typy a tipy. In: Bajk.cz - cyklistický portál [online]. Praha: Bajk.cz, 2022 [cit. 2022-06-04]. Dostupné z: http://www.bajk.cz/data/clanek.asp?id__clanek=757
- [21] Kazeta SHIMANO HG500 11-42z 10-kolo - CykloNěmčík.cz. In: CykloNěmčík - internetový obchod s cyklistickým, sportovním a fitness vybavením a doplňky - CykloNěmčík.cz [online]. Praha: CykloNěmčík.cz, 2022 [cit. 2022-06-04]. Dostupné z: <https://www.cyklonemcik.cz/zbozi/kazeta-shimano-hg500-11-42z-10-kolo>
- [22] Shimano SLX RD-M7100 SGS 1x12 sp. přehazovačka | Koloshop.cz. In: Koloshop.cz - jízdní kola, horská kola, trekingová kola, dětská kola [online]. Teplice: Koloshop, 2022 [cit. 2022-06-04]. Dostupné z: https://www.koloshop.cz/horske-12-st-974/Shimano-SLX-RD-M7100-SGS-1x12-sp.-prehazovacka.html?gclid=CjwKCAiAx8KQBhAGEiwAD3EiPza71hCj2w0GzKxJ4TQ7m11m0403ZTmHJfEXSxMOq9ZYh0951Y8Y0BoCtpsQAvD__BwE

- [23] Mechanická kotoučová brzda AVID BB7 MTB šedé 200mm G2CS kotouč. In: Ustrojíme vaše kolo i vás | Global - Sport CZ [online]. Pardubice: Global - Sport CZ, 2022 [cit. 2022-06-04]. Dostupné z: <https://www.global-sport.cz/mechanicka-kotoucova-brzda-avid-bb7-mtb-sede-200mm-g2cs-kotouc>
- [24] Přední kolo Urban concept - YK URFW01 | E-shop LKQ CZ s.r.o. In: Náhradní díly, autodíly - LKQ CZ E-Shop [online]. Praha: Auto Kelly - LKQ CZ, 2020 [cit. 2022-06-04]. Dostupné z: [https://www.autokelly.cz/Product/YK-URFW01/12445537?utm_campaign=VVPLA+-+PLA&utm_medium=cpc&utm_source=google&utm_source=google&utm_medium=cpc&utm_campaign=vvpla-pla-\(google-nakupy\)-roas&utm_term=vse&gclid=CjwKCAiAsNKQBhAPEiwAB-I5zQLW8Xv6As__ne3vdURi6az3hyhCKeb7-jJ0rsWYPXF7dZgXH8ImqVhoCLuwQAvD__BwE](https://www.autokelly.cz/Product/YK-URFW01/12445537?utm_campaign=VVPLA+-+PLA&utm_medium=cpc&utm_source=google&utm_source=google&utm_medium=cpc&utm_campaign=vvpla-pla-(google-nakupy)-roas&utm_term=vse&gclid=CjwKCAiAsNKQBhAPEiwAB-I5zQLW8Xv6As__ne3vdURi6az3hyhCKeb7-jJ0rsWYPXF7dZgXH8ImqVhoCLuwQAvD__BwE)
- [25] ITM Sit'n'Go CARBON SET-sedlovka + 31,6mm,350mm+sedlo. In: SUPSHOP.cz [online]. Rožnov p. Radhoštěm: Viktor Bolek, 2022 [cit. 2022-06-04]. Dostupné z: <https://www.supshop.cz/itm-sin-n-go-carbon-set-sedlovka-31-6mm-350mm-sedlo-1/>
- [26] Seznam součástí jízdního kola. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2022 [cit. 2022-06-04]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Seznam_sou%C4%8D%C3%A1st%C3%AD__j%C3%ADzdn%C3%ADho_kola#/media/Soubor:Bicycle_diagram-en.svg
- [27] Context 29 2019 - duralový rám s třikrát zeslabovanými trubkami. In: Author 2022 - česká jízdní kola - Author bicycles [online]. Praha: Universe Agency, 2022 [cit. 2022-06-04]. Dostupné z: <https://cz.author.eu/horska/mtb-29/author-context-29-2019-ua42907612>

- [28] Silniční kolo Author Charisma 55 2020 56 karbon-matná/stříbrná - Pelotony.com. In: Pelotony.com [online]. Praha: Pelotony, 2022 [cit. 2022-06-04]. Dostupné z: <https://www.pelotony.com/cs/silnicni-kolo-author-charisma-55-2020-56-karbon-matna-stribrna>
- [29] Elan 2019 - duralový rám s nízkým nástupem. In: Author 2022 - česká jízdní kola - Author bicycles [online]. Praha: Universe Agency, 2022 [cit. 2022-06-04]. Dostupné z: <https://cz.author.eu/e-bike/e-tour/author-elan-2019-ua42912001>
- [30] Ute | Kona.cz. In: KONA.cz [online]. Praha: ndistribution.cz, 2022 [cit. 2022-06-04]. Dostupné z: <http://kona.cz/ute/>
- [31] Trike Classic Wide. In: Bakfiets [online]. Hoogeveen: Webba, 2022 [cit. 2022-06-04]. Dostupné z: <https://www.bakfiets.com/modellen/cargotrike/trike-classic-wide>
- [32] Sanitov MovE Cargo Trike - Cargocycles. In: Cargocycles | Cargo bikes and electric bikes, trikes, bikes for transport | Cargo bikes and electric bikes, trikes, bikes for transport [online]. Melbourne: Cargocycles, 2022 [cit. 2022-06-04]. Dostupné z: <https://cargocycles.com.au/product/sanitov-move-cargo-trike/>
- [33] The Original Bullitt. In: Larry vs Harry [online]. Copenhagen: Larry vs Harry, 2022 [cit. 2022-06-04]. Dostupné z: <https://www.larryvsharry.com/bullitt>
- [34] The No. 1 electric cargo bike. In: Pinterest [online]. San Francisco: Pinterest, 2022 [cit. 2022-06-04]. Dostupné z: <https://cz.pinterest.com/pin/727472146035510480/>
- [35] Our cargo bikes - Co-delivery. In: Electric cargo bike delivery service in Exeter | Co Delivery [online]. Salisbury: Co-delivery, 2022 [cit. 2022-06-04]. Dostupné z: <https://www.co-delivery.co.uk/our-cargo-bikes/>
- [36] Electric cargo bike pilot project launched in Tartu | Eltis. In: Eltis | The urban mobility observatory [online]. Brusel: Eltis, 2022 [cit. 2022-06-04]. Dostupné z: <https://www.eltis.org/in-brief/news/electric-cargo-bike-pilot-project-launched-tartu>
- [37] SKF. In: SKF [online]. Praha: SKF, 2022 [cit. 2022-06-04]. Dostupné z: <https://www.skf.com/group/products/rolling-bearings/track-rollers/cam-rollers/productid-361200%20R?system=metric>

- [38] FSA Orbit XL II EC34/28.6 - EC34/30 Headset - bike-components. In: Bike-components | bicycle parts, accessories, apparel [online]. Aachen: Bike-components, 2022 [cit. 2022-06-04]. Dostupné z: https://www.bike-components.de/en/FSA/Orbit-XL-II-EC34-28-6-EC34-30-Headset-p1887/?o=204759-black-EC34-28-6-EC34-30&delivery__country=CZ&upid=google&gclid=CjwKCAjwkMeUBhBuEiwA4hpgqEOvZMxCyC7joLlycOA2SDQa4vhkSMKX6v4fmfhDIO1r5Lra6yEO-fBoCONOQAvD__BwE
- [39] Brooks Cambium C17 Carved All Weather Saddle - bike-components. In: Bike-components | bicycle parts, accessories, apparel [online]. Aachen: Bike-components, 2022 [cit. 2022-06-04]. Dostupné z: <https://www.bike-components.de/en/Brooks/Cambium-C17-Carved-All-Weather-Saddle-p59743/>
- [40] ŠUBRT, CSC., Doc. Ing. Ladislav, Doc. Ing. Jan ŘEZNÍČEK, CSC. a Prof. Ing. Milan RŮŽIČKA, CSC. PŘÍKLADY Z PRUŽNOSTI A PEVNOSTI 1. Praha, 2018. Sběrka příkladů. České vysoké učení technické.
- [41] Plochooobalné profily Kovona System. Kovona System Velkosériová zakázková kovovýroba [online]. Český Těšín: Devx, 2022 [cit. 2022-06-06]. Dostupné z: <https://kovona.cz/product/plochoovalne-profily/>
- [42] ČADEK, Bc. Miloš. Návrh konstrukce speciálního rámu horského kola. Liberec, 2015. Diplomová práce. Technická univerzita v Liberci, Fakulta strojní.
- [43] LEINVEBER, Jiří a Pavel VÁVRA. Strojnické tabulky: učebnice pro školy technického zaměření. Šesté vydání. Úvaly: Albra, 2017. ISBN 978-80-7361-111-8.

11.1 Stažené 3D modely

- [44] MOROZOV, Max. Cargo bike. In: Free CAD Designs, Files & 3D Models | The GrabCAD Community Library [online]. San Francisco: STRATASYS, 2019 [cit. 2022-06-04]. Dostupné z: <https://grabcad.com/library/cargo-bike-7>
- [45] MOROZOV, Max. Brooks C17. In: Free CAD Designs, Files & 3D Models | The GrabCAD Community Library [online]. San Francisco: STRATASYS, 2019 [cit. 2022-06-04]. Dostupné z: <https://grabcad.com/library/brooks-c17-1>
- [46] Tilting Cargo eBike XC. In: Free CAD Designs, Files & 3D Models | The GrabCAD Community Library [online]. San Francisco: STRATASYS, 2020 [cit. 2022-06-04]. Dostupné z: <https://grabcad.com/library/tilting-cargo-ebike-xc-1>

[47] SIDELINGER, Thomas. BIKE REAR LIGHT. In: Free CAD Designs, Files & 3D Models | The GrabCAD Community Library [online]. San Francisco: STRATASYS, 2012 [cit. 2022-06-04]. Dostupné z: <https://grabcad.com/library/bike-rear-light>

[48] SIDELINGER, Thomas. BIKE FRONT LIGHT. In: Free CAD Designs, Files & 3D Models | The GrabCAD Community Library [online]. San Francisco: STRATASYS, 2012 [cit. 2022-06-04]. Dostupné z: <https://grabcad.com/library/bike-front-light>

[49] MOROZOV, Max. Shimano Deore XT crankset. In: Free CAD Designs, Files & 3D Models | The GrabCAD Community Library [online]. San Francisco: STRATASYS, 2012 [cit. 2022-06-04]. Dostupné z: <https://grabcad.com/library/shimano-deore-xt-crankset-1>

[50] PINGALE, Kunal. Bicycle Pedal. In: Free CAD Designs, Files & 3D Models | The GrabCAD Community Library [online]. San Francisco: STRATASYS, 2021 [cit. 2022-06-04]. Dostupné z: <https://grabcad.com/library/bicycle-pedal-13>

12. Seznam obrázků

Obrázek 1: Draisina s jezdcem [11]	- 2 -
Obrázek 2: Vysoké Kolo [12]	- 3 -
Obrázek 3: Dunlopova první pneumatika [13].....	- 4 -
Obrázek 4: Bezpečnostní kolo značky Rover, 1885 [14].....	- 4 -
Obrázek 5: Řídítka ZOOM – berany [15]	- 6 -
Obrázek 6: Stavitelný představec ZOOM [16].....	- 7 -
Obrázek 7: Odpružená vidlice Force [17]	- 7 -
Obrázek 8: Klasický pedál se zuby [18]	- 8 -
Obrázek 9: Kliky s převodníky a středovým složením Force [19]	- 9 -
Obrázek 10: Díly středového složení [20].....	- 9 -
Obrázek 11: Kazeta s deseti ozubenými koly Shimano [21]	- 10 -
Obrázek 12: Přehazovačka Shimano [22]	- 10 -
Obrázek 13: Kotoučová brzda Avid [23].....	- 11 -
Obrázek 14: Kolo s vysokým ráfkem a klasickým výpletem [24].....	- 12 -
Obrázek 15: Sedlo se sedlovkou [25].....	- 13 -
Obrázek 16: Popis jednotlivých částí jízdního kola [26].....	- 15 -
Obrázek 17: Horské kolo značky Author [27].....	- 20 -



Obrázek 18: Silniční kolo Author [28].....	- 21 -
Obrázek 19: Městské kolo Author [29].....	- 22 -
Obrázek 20: "Longtail" kolo, výrobce Kona [30].....	- 23 -
Obrázek 21: Nákladní tříkolka, varianta s dvěma koly vpředu [31].....	- 24 -
Obrázek 22: Nákladní tříkolka, varianta s dvěma koly vzadu [32].....	- 24 -
Obrázek 23: Dlouhý Honza vhodný pro jízdu po městě [33].....	- 25 -
Obrázek 24: Městské nákladní elektrokolo společnosti DHL [34].....	- 26 -
Obrázek 25: Elektrokolo se čtyřmi koly a kabinou [35].....	- 26 -
Obrázek 26: Nákladní kolo v městské zástavbě [36].....	- 27 -
Obrázek 27: Tříkolová varianta nákladního kola.....	- 28 -
Obrázek 28: Longtail varianta nákladního kola.....	- 29 -
Obrázek 29: Varianta Dlouhý Honza, použitá pro pracovní návrh.....	- 29 -
Obrázek 30: Rám nákladního kola.....	- 30 -
Obrázek 31: Spodní rámová trubka.....	- 31 -
Obrázek 32: Zadní stavba.....	- 32 -
Obrázek 33: Hlavová trubka s výztužnými trubkami.....	- 32 -
Obrázek 34: Přední část rámu pro nákladový prostor.....	- 33 -
Obrázek 35: Uložení přední části hlavové trubky na rámu.....	- 33 -
Obrázek 36: Oko pro upevnění nákladu.....	- 34 -
Obrázek 37: Vedení lanka brzdy.....	- 34 -
Obrázek 38: Přední vidlice.....	- 35 -
Obrázek 39: Mechanismus řízení nákladního kola.....	- 36 -
Obrázek 40: Spojení přední vidlice a řídicí tyče.....	- 37 -
Obrázek 41: Spojení řídicí tyče s kloubovou hlavicí.....	- 37 -
Obrázek 42: Řídicí tyč.....	- 38 -
Obrázek 43: Spojení řídkové trubky s řídicí tyčí.....	- 38 -
Obrázek 44: Objímka řídicí tyče.....	- 39 -
Obrázek 45: Objímka řídkové trubky.....	- 39 -
Obrázek 46: Uložení ložisek řídicího mechanismu.....	- 40 -
Obrázek 47: Řídková trubka.....	- 40 -
Obrázek 48: Kuličkové ložisko SKF [37].....	- 41 -

Obrázek 49: Hlavové složení FSA Orbit XL II [38].....	- 41 -
Obrázek 50: Nákladní prostor s překližkovou deskou.....	- 42 -
Obrázek 51: Zadní kolo s kazetou a brzdovým kotoučem [44].....	- 43 -
Obrázek 52: Středové složení Shimano s pedály [49], [50].....	- 44 -
Obrázek 53: Řídítka s ovládacími páčkami [46]	- 44 -
Obrázek 54: Sedlo C17 Brooks [39].....	- 45 -
Obrázek 55: Zobrazení předpokládaného maximálního zatížení řídítek	- 46 -
Obrázek 56: Schéma zatížení a rozměrů objímky pro řídítkovou trubku	- 47 -
Obrázek 57: Schéma rozměrů objímky pro řídicí tyč.....	- 49 -
Obrázek 58: Zobrazení úhlu natočení φ	- 51 -
Obrázek 59: Schéma zatížení kola a rozložení jednotlivých sil	- 54 -
Obrázek 60: Vygenerovaná síť rámu.....	- 56 -
Obrázek 61: Zobrazení uložení a zatížení rámu	- 57 -
Obrázek 62: Namáhání uložení přední části hlavové trubky.....	- 58 -
Obrázek 63: Oblasti se zvýšeným napětím v oblasti kolem příčného nosníku, pohled ze spodu.....	- 58 -
Obrázek 64: Napětí na zadní stavbě	- 59 -
Obrázek 65: Detail hexagonální sítě na patce	- 60 -
Obrázek 66: Zobrazení vazeb a RP bodů, ve kterých působí zatěžná síla	- 61 -
Obrázek 67: Napětí na zadní patce	- 61 -
Obrázek 68: Detail nejvíce namáhaného místa.....	- 62 -
Obrázek 69: Zobrazení posuvů na zadní patce	- 63 -

13. Seznam použitých veličin a zkratk

MKP	Metoda konečných prvků	-
M_k	Zátěžný kroutící moment	[Nm]
F, F_N, F_T, F_J	Zátěžné síly	[N]
a, b, c, d, e	Délkové rozměry	[m]
k	Koeficient bezpečnosti	-
f	Součinitel tření	-
M_t	Třecí moment	[Nm]
i	Počet šroubů	-
Q_0	předpětí	[N]
S_3	Průřez jádra šroubu	[mm ³]
d_3	Průměr jádra šroubu	[mm]
σ_t	Tahové napětí	[MPa], [N·mm ⁻²]
μ	Úhel stoupání závitu	[rad]
φ'	Odporový úhel závitu	[rad]
M_{kz}	Utahovací moment	[Nm]
τ, τ_D, τ_K	Smyková napětí	[MPa], [N·mm ⁻²]
σ_{RED}	Redukované napětí	[MPa], [N·mm ⁻²]
F_a	Axiální síla	[N]
N	Svěrná normálová síla	[N]
d	Vnitřní průměr trubky	[mm]
D	Vnější průměr trubky	[mm]
J_P	Polární kvadratický moment průřezu	[mm ⁴]
W_K	Průřezový modul krutu	[mm ³]
E	Youngův modul pružnosti v tahu	[GPa]
G	Youngův modul pružnosti ve smyku	[GPa]
φ	Úhel natočení hřídele	[rad]
i_{z28}	Převodový poměr	-
Z_1, Z_{28}, Z_P	Počty zubů	-
n_z, n_1	otáčky	[ot/min]



v_z	Obvodová rychlost zadního kola	$[m \cdot s^{-1}]$
R_z, R_p	Reakční síly	$[N]$
M_p, M_z	Rovnovážné momenty	$[Nm]$
σ_D	Dovolené napětí	$[MPa], [N \cdot mm^{-2}]$
σ_{MAX}	Maximální dosažené napětí	$[MPa], [N \cdot mm^{-2}]$

14. Seznam příloh

Příloha 1: Výrobní výkres; Ložisková uložení

Příloha 2: Sestavní výkres; Nákladní kolo

Příloha 3: Sestavní výkres; Rám kola