VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO INŽENÝRSTVÍ
INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

MĚSTSKÉ TŘÍKOLOVÉ VOZIDLO S ELEKTRICKÝM POHONEM
URBAN THREE-WHEELED VEHICLE WITH ELECTRIC DRIVE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE — **Adam Černík**
AUTHOR

VEDOUCÍ PRÁCE — **Ing. Martin Tobiáš**
SUPERVISOR

BRNO 2021

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

Zadaní bakalářské práce

Ústav:	Ústav automobilního a dopravního inženýrství
Student:	**Adam Černík**
Studijní program:	Strojírenství
Studijní obor:	Základy strojního inženýrství
Vedoucí práce:	**Ing. Martin Tobiáš**
Akademický rok:	2020/21

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 bakalářské práce:

Městské tříkolové vozidlo s elektrickým pohonem

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Úkolem studenta je provést rešerši v oblasti tříkolových vozidel a navrhnout koncepci podvozku tříkolového vozidla s elektrickým pohonem pro osobní přepravu v městském prostředí. V současné době je jasný trend v osobní mobilitě směrem k vozidlům s elektrickým pohonem. Zvláště v městské dopravě se celosvětově čím dál více uplatňují elektrická kola, koloběžky a tříkolky, umožňující i transport hmotnějších nákladů.

Cíle bakalářské práce:

Proveďte rešerši v oblasti podvozků tříkolových vozidel pro přepravu osob a nákladu s různými druhy pohonu.
Porovnejte různé koncepce těchto vozidel a uveďte jejich výhody a nevýhody.
Vytvořte koncepční návrh podvozku tříkolového vozidla s elektrickým pohonem, určeného pro přepravu jedné osoby a nákladu v městském prostředí s užitečnou hmotností 160 kg.

Seznam doporučené literatury:

REES, Chris. Three-Wheelers A-Z: The Definitive Encyclopaedia of Three-wheeled Vehicles from 1940 to Date. Ascot, United Kingdom: Quiller Print, 2014. ISBN 978-0-9926651-0-4.

PANCHAL, Dhruv U. Two And Three Wheeler Technology. 2nd Edition. Delhi, India: PHI Learning Private Limited, 2015. ISBN 978-81-203-5143-1.

AMATI, Nicola, Andrea FESTINI, Luigi PELIZZA a Andrea TONOLI. Dynamic modelling and experimental validation of three wheeled tilting vehicles. Vehicle System Dynamics. 2011, 49(6), 889-914. ISSN 0042-3114. Dostupné z: doi:10.1080/00423114.2010.503277.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2020/21

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Josef Štětina, Ph.D. ředitel ústavu	doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D. děkan fakulty

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá koncepčním návrhem podvozku tříkolového vozidla. Celková užitková hmotnost vozidla je 160 kg. Na začátku se práce zabývá rešerší různých typů podvozků u používaných tříkolových vozidel. Dále jsou shrnuty výhody a nevýhody různých koncepcí podvozků a následná volba jednoho z nich. Poté jsou zvoleny koncepční parametry vozidla. Nakonec je vymodelován 3D model v programu Inventor, který odpovídá zvoleným koncepčním parametrům. Tento model slouží k vizualizaci navrženého podvozku tříkolového vozidla.

KLÍČOVÁ SLOVA

Elektrický pohon, geometrie kol, koncepční návrh, podvozek, tříkolové vozidlo

ABSTRACT

This bachelor thesis deals with the conceptual design of the chassis of a three-wheeled. The total payload od the vehicle is 160 kg. At the beginning, the work deals with the search for different types of chassis in used three-wheeled vehicles. The advantages and disadvantages of various chassis concepts and the subsequent choice of one them are also summarized. Then the conceptual parameters of the vehicle are selected. At the end a 3D model is modelled in program Inventor, which corresponds to the selected conceptual parameters. This model is used to visualize the designed chassis of three-wheeled vehicle.

KEYWORDS

Electric drive, chassis, conceptual design, Three-wheeled vehicle, wheel geometry

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

ČERNÍK, Adam. *Městské tříkolové vozidlo s elektrickým pohonem*. Brno, 2021. Dostupné také z: https://www.vutbr.cz/zav-prace/detail/132289. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav automobilního a dopravního inženýrství. 48 s. Vedoucí Martin Tobiáš.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením Ing. Martina Tobiáše a s použitím informačních zdrojů uvedených v seznamu.

V Brně dne 18. května 2021 ……..……..……..

Adam Černík

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval svému vedoucímu bakalářské práce Ing. Martinu Tobiášovi za vstřícnost a cenné rady při vypracování bakalářské práce.

OBSAH

Úvod **11**

1 Rozdělení a popis tříkolových vozidel **12**
1.1 Rozdělení podle konfigurace kol 12
1.2 Rozdělení podle pohonné jednotky 12
1.3 Rozdělení podle způsobu využití 12

2 Podvozky různých tříkolových vozidel **13**
2.1 Typ Tadpole s naklápěcími předními koly 13
2.1.1 Chike cargobike 13
2.1.2 Quadro 350D 14
2.1.3 Elektrická tříkolka Jaroslava Fraise 14
2.2 Typ Tadpole bez naklápění předních kol 15
2.2.1 Nákladní elektrokolo Clamber Carbat 24“ 15
2.2.2 Morgan Threewheeler Super sport, Anglie 1935 16
2.2.3 ICE sprint X 17
2.2.4 Aptera 18
2.3 Podvozky tříkolových vozidel typu Delta 18
2.3.1 LEADER FOX BORMIO 2019 BÍLÁ 19
2.3.2 Piaggio Ape 50 20
2.3.3 ČZ 175 typ 505 Rikša (1962-1963) 21
2.3.4 Reliant Robin 22
2.4 Podvozky jednostopých vozidel s postranním vozíkem 22
2.4.1 Jawa 500 OHC s postranním vozíkem Velorex 561 22

3 Výhody a nevýhody různých koncepcí podvozků **24**
3.1 Tříkolové vozidlo s dvěma koly vzadu 24
3.2 Tříkolové vozidlo s dvěma koly vpředu 25
3.2.1 S naklápěcími koly 25
3.2.2 Bez naklápění kol 25

4 Koncepční návrh podvozku **26**
4.1 Konfigurace kol 26
4.2 Návrh brzd 27
4.3 Volba velikosti kol 28
4.4 Návrh velikosti rozvoru a umístění těžiště vozidla 28
4.4.1 Grafické znázornění umístění těžiště 29
4.5 Geometrie přední nápravy 30
4.5.1 Úhel odklonu kola 30
4.5.2 Poloměr rejdu 31
4.5.3 Úhel příklonu rejdové osy 31
4.5.4 Záklon rejdové osy a závlek 33
4.5.5 Úhel sbíhavosti 34
4.6 Návrh ramen 35
4.7 Návrh uložení motoru a jeho minimálního točivého momentu 36
4.8 Umístění tlumičů 38

5 Vizualizace koncepčního návrhu podvozku 39

Závěr 42

Použité informační zdroje 43

Seznam použitých zkratek a symbolů 47

ÚVOD

Málokdo ví, že první motorová vozidla byla tříkolová. Měla dvě kola vzadu a jedno vpředu, což znamenalo jednodušší konstrukci zatáčecího mechanismu. V dnešní době můžeme vidět tříkolové mechanismy např. u skútrů, které ale mají pro změnu dvě kola vpředu. Tříkolový design upoutá pozornost a má při jízdě oproti jednostopým vozidlům lepší stabilitu a manévrovatelnost. Ke koncepčnímu návrhu podvozku tříkolových vozidel se přitom přistupuje stejným způsobem jako u vozidel dvoustopých. A právě koncepčním návrhem podvozku se moje bakalářská práce zabývá.

1 ROZDĚLENÍ A POPIS TŘÍKOLOVÝCH VOZIDEL

Tříkolová vozidla můžeme rozdělit do několika kategorií podle různých pohledů na věc.

1.1 ROZDĚLENÍ PODLE KONFIGURACE KOL

První varianta rozmístění kol se nazývá Delta. Tento typ má dvě kola vzadu a jedno vpředu. Využívá se spíše pro nákladní tříkolová vozidla s menší rychlostí, z důvodu nestability v zatáčkách [1].

Druhá varianta se jmenuje Tadpole a je více rozšířená než Delta. Tento typ má dvě kola vpředu a jedno vzadu. U typu Tadpole jsou možnosti natáčení kol buď dvou předních, nebo jednoho vzadu. Další vylepšení konstrukce je podvozek s naklápěcími koly, čímž využijeme potenciál tříkolového vozidla a zvýšíme stabilitu vozidla v zatáčkách [1].

1.2 ROZDĚLENÍ PODLE POHONNÉ JEDNOTKY

Nejrozšířenější variantou pro pohon tříkolových vozidel je spalovací motor. Nachází se například na současných tříkolových skútrech.

Nejlevnější variantou je tříkolové vozidlo bez pohonu. Nejčastěji se můžeme setkat s tzv. cargobike (nákladní kolo), což je jízdní kolo pro přepravu většího nákladu.

Nejvíce preferovaná varianta pohonu u tříkolových vozidel je v dnešní době elektrický motor. Z důvodů snížení emisí elektrický motor postupně nahrazuje spalovací motor.

1.3 ROZDĚLENÍ PODLE ZPŮSOBU VYUŽITÍ

Velice populární jsou recumbent trikes (lehokola). Jsou to tříkolová vozidla, kde řidič je v horizontální pozici. Využívají se hlavně ke sportovním a cestovním účelům.

Dalším typem jsou nákladní kola, která jsou v poslední době oblíbená, kvůli praktickému převážení nákladů a rychlému pohybu v městské dopravě.

Můžeme se setkat i s dětskými tříkolovými vozidly, jejichž konstrukční řešení podvozku je ale velmi jednoduché, proto jsou pro můj budoucí koncepční návrh nepodstatné.

Dalším typem jsou závodní tříkolová vozidla, která se ale v dnešní době moc nevyužívají, protože byly nahrazeny modernějšími typy závodních vozidel.

Cestovní motorové tříkolové vozidlo často vychází z koncepce motocyklů. Přední vidlice s kolem je stejná, ale zadní náprava je uzpůsobena pro montáž dvou kol.

Velká pozornost se věnuje i invalidním tříkolovým vozidlům, které usnadňují pohyb handicapovaným lidem. Vozidla mají tři kola kvůli větší stabilitě.

2 PODVOZKY RŮZNÝCH TŘÍKOLOVÝCH VOZIDEL

Každé tříkolové vozidlo má jinak řešený podvozek. Někteří z výrobců nechtějí mít příliš složité konstrukce, a proto například ani nepoužívají odpružení s tlumícím zařízením. Další výrobci naopak mají velmi složité konstrukce podvozku a tím i lepší jízdní vlastnosti. To se však projeví na ceně vozidla.

2.1 TYP TADPOLE S NAKLÁPĚCÍMI PŘEDNÍMI KOLY

Naklápěcí kola umožňují lepší manipulovatelnost a lepší jízdní vlastnosti, avšak konstrukce podvozku je náročnější.

2.1.1 CHIKE CARGOBIKE

Chike je německá firma, která vyrábí tříkolová elektro kola, nejčastěji nákladní, které můžeme vidět na obr. 1. Konstrukční řešení podvozku u těchto kol je typu Tadpole. Zadní kolo je poháněno elektrickým motorem a přední kola jsou odpružená a naklápěcí. Brzdění zabezpečují dvě hydraulické kotoučové brzdy na předních kolech a jedna hydraulická kotoučová brzda na zadním kole. Nákladní prostor je umístěn v přední části vozidla. Nosnost vozidla je 200 kg. Nákladní modely jsou často vybaveny přepravní plošinou, s délkou 90 cm a šířkou 72 cm. Tyto parametry nabízí dostatek prostoru pro přepravu větších nákladů. Prodává se i typ s uzavřenou sedačkou pro přepravu dětí. Naklápěcí kola lze zablokovat pomocí spínače na řídítkách, což je výhodou při nakládání a vykládání břemen. Zadní kolo je osazeno automatickou planetovou převodovkou, která se stará o plynulé řazení [2].

Obr. 1 Chike cargobike [3]

2.1.2 QUADRO 350D

Quadro 350 D je tříkolový skútr italského výrobce Quadro Technologie, který vidíme na obr. 2. Motor skútru je čtyřdobý jednoválec chlazený kapalinou s elektronickým vstřikováním. Má jedno kolo vzadu a dvě kola vpředu, jedná se tedy o typ Tadpole. Quadro 350D je osazen systémem podvozku HTS, vyvinutý firmou Quadro. To je pneu-hydraulický systém, který zvyšuje jízdní vlastnosti a stabilitu vozidla. Systém HTS neobsahuje žádné pružiny. Kvůli robustní konstrukci a širokým pneumatikám, kterými je skútr osazen, má Quadro 350D dobrou adhezi vůči asfaltu i na mokré vozovce. HTS systém umožňuje náklon skútru až 40 ° [4]. Při zaparkování motocyklu se nepoužívá hlavní stojan, ale páka ruční brzdy. Není zde možné aretovat kola ve větším náklonu než 5 ° [5].

Obr. 2 Quadro 350D [6]

2.1.3 ELEKTRICKÁ TŘÍKOLKA JAROSLAVA FRAISE

Někteří lidé si chtěli tříkolové vozidlo postavit sami, neboť se jim nelíbily varianty, které nabízeli obchodníci. Tak tomu bylo i u Jaroslava Fraise. Rozhodl se pro vytvoření tříkolového terénního motocyklu s elektrickým pohonem, který vidíme na obr. 3. Tříkolové vozidlo sestrojil, protože podle něho se takový typ v nabídce obchodníků nevyskytoval. Celý elektromotor si Jaroslav Frais vyvinul sám. Dosahuje výkonu až 30 kW [7]. I přesto, že Jaroslav Frais nemá technické vzdělání, dokázal sestrojit terénní tříkolový motocykl poháněný elektrickým motorem. Přední nápravu má řešenou celkem netradičním způsobem,

který se u prodávaných tříkolových vozidel nevyskytoval. Konfigurace kol je typu Tadpole s výkyvnou nápravou s podélnými rameny. O tlumení se stará centrální tlumič zadního kola a další tlumič, který se stará o odpružení předních kol a je umístěn vodorovně v přední části rámu. Přední část podvozku je celkem inovativně konstrukčně řešena [8].

Obr. 3 Elektrická tříkolka Jaroslava Fraise [9]

2.2 TYP TADPOLE BEZ NAKLÁPĚNÍ PŘEDNÍCH KOL

Podvozky bez naklápění předních kol jsou využívány převážně u levnějších tříkolových vozidel. Nejčastěji u nákladních tříkolových jízdních kol. Jsou méně náročné na výrobu, a proto jsou levnější než tříkolová vozidla s naklápěcími koly. Výhodou je například to, že se zde nenachází mechanismus pro aretaci kol, který se používá u naklápěcích kol z důvodu vykládání a nakládání.

2.2.1 NÁKLADNÍ ELEKTROKOLO CLAMBER CARBAT 24“

Jde o nákladní tříkolové vozidlo poháněné elektrickým motorem o výkonu 250 W. Dojezd na jedno nabití baterie je 25 km, což je na městské vzdálenosti dostačující. Nosnost vozidla je 150 kg, což zahrnuje hmotnost nákladu a řidiče. Tříkolka má jedno kolo v zadní části a dvě kola v přední části. Přední kola jsou upevněna v jedné ose a nejsou naklápěcí. Kola jsou umístěna spolu s velkým nákladovým boxem na obdélníkové konstrukci v přední části elektro kola. Zadní rám je ukotven v přední nápravě pomocí ložisek a zajištěn pomocí distančního válečku a matice. Mezi těmito rámy jsou namontovány dva menší tlumiče, které slouží k tlumení rázů ve směru otáčení přední konstrukce. Řídící tyč s madly je umístěna na přední části rámu a proto zde není potřeba použít táhlo pro zatáčení kol. Na přední konstrukci jsou přivařeny vymezovací tyče, které brání přetočení přední nápravy. Toto konstrukční řešení

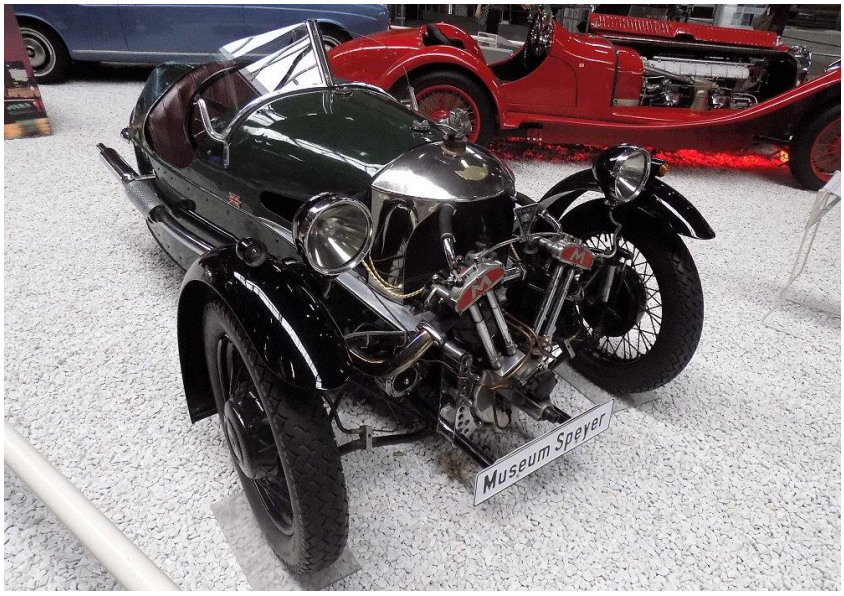
podvozku má výhodu ve své jednoduchosti. Tříkolka disponuje dvěma kotoučovými brzdami, které jsou umístěny na předních kolech a jednou čelisťovou brzdou na kole zadním [10].

Obr. 4 Nákladní elektrokolo Clamber Carbat 24‘‘ [11]

2.2.2 MORGAN THREEWHEELER SUPER SPORT, ANGLIE 1935

Morgan Threewheeler Super sport je historické tříkolové vozidlo první poloviny 20. století. Vyráběla ho společnost Morgan, založená v roce 1909. Má dvě kola vpředu a jedno vzadu schované pod zadní kapotou. Vozidlo je poháněno zážehovým, kapalinou chlazeným vidlicovým dvouválcovým motorem, který je umístěn v přední části vozidla. Motor je V2, což znamená, že válce jsou v konfiguraci do tvaru písmene V. U motoru se vyskytují rozvody typu OHV [12], u kterého jsou ventily umístěny v hlavě válců, a vačkový hřídel je umístěn v bloku motoru [13]. Celý podvozek je vyroben z ocelových trubek. Je to jednoduché řešení, ale na druhou stranu tuhé a účinné. Rozvor náprav je 2210 mm, rozchod kol je 1270 mm. Pohotovostní hmotnost vozidla je 410 kg [14]. Tlumení na zadním kole je zajištěno podélnými čtvrt eliptickými listovými pery. Výhodou listových per je samotlumící účinek, z důvodů tření mezi jednotlivými listy, na druhou stranu nevýhodou je velká rozměrová náročnost, proto jsou v současné době nahrazována válcovými pružinami. Přední odpružení zajišťuje lineárně kluzně vedená náprava. Skládá se ze dvou rovnoběžných příčných trubek s čepy na obou stranách. Čepy jsou osazené vinutými pružinami. V horní části čepu se nachází větší a silnější pružina pro absorpci rázů od vozovky, zatím co menší pružina ve spodní části se starala pouze o odskok. Vozidlo má na předních i zadních kolech namontovány bubnové brzdy. Spojka je odolná vůči prachu a dá se snadno nastavit. Skládá se z jednoduchého kuželu a tlačných pružin. U prvních modelů tříkolek Morgan byla spojka

realizována s dosedacími plochami kov na kov, později byla plocha kužele vyložena kůží [15].



Obr. 5 Morgen Threewheeler Super Sport, Anglie 1935 [16]

2.2.3 ICE SPRINT X

ICE sprint X vyrábí anglická firma ICE (Inspired Cycle Engeneering), která se zabývá výrobou tříkolek od roku 1999. Vyrábí i tříkolky na míru podle představ zákazníka. ICE sprint X je sportovní recumbent trike bez motorového pohonu. Je možné ho snadno složit pro případnou přepravu v dopravním prostředku. Jeho konstrukce je velmi aerodynamická. Má jedno kolo v zadní části, které je větší než dvě kola v přední části, která jsou standardně bezdušová. Přední kola jsou odpružená, ale nejsou naklápěcí. Zadní kolo je taktéž odpružené. Zdvih předních tlumičů je 40 mm a zdvih zadního tlumiče je 100 mm. Prodejce nabízí varianty buď s bubnovými, nebo kotoučovými brzdami. Řidič je v ležaté pozici na polstrované sedačce, která je vyrobena z uhlíkových vláken, přičemž vlákna jsou orientována tak, aby bylo dosaženo maximální pevnosti. Nastavení úhlu sedadla je možné v rozmezí 28-35 °. Maximální zatížení je 104 kg. Celková šířka vozidla je 800 mm [17].

Obr. 6 ICE sprint X [18]

2.2.4 APTERA

Aptera je moderní elektrické tříkolové vozidlo, které je zkonstruované tak, aby bylo co nejvíce šetrné k přírodě. Na konci roku 2020 začal předprodej těchto vozů s termínem odběru během roku 2021 a počátkem roku 2022. Konstruktéři z firmy Aptera se snažili co nejvíce snížit jak hmotnost vozidla, tak i přizpůsobit tvar tak, aby byl co nejvíce aerodynamický. Proto jsou i kola, která jsou umístěna vedle vozu, kapotovaná a kapota je také aerodynamického tvaru. Možná proto připomíná tvar kapky, která je právě jedna z nejvíce aerodynamických tvarů. Firma Aptera oznámila, že dojezd tohoto vozidla je až 1000 mil, a to díky solárním panelům, které budou konstantně nabíjet baterie vozidla. Vozidlo je poháněno kapalinou chlazeným elektromotorem s maximální rychlostí až 110 mil/h. Na stavbu karoserie, ale i jiných částí vozidla Aptera používá speciální kompozity. Uvádí, že bezpečnost vozidla je větší než u klasických automobilů, z důvodu větší pevnosti než je například u oceli. Konfigurace kol je typu Tadpole. Zadní kolo je osazeno tlumičem s válcovou pružinou. Přední náprava je lichoběžníková s rameny ve tvaru trojúhelníku. Ramena jsou velice složitého tvaru, protože konstruktéři se snažili co nejvíce zvýšit pevnost a snížit hmotnost ramen. Rám, na kterém jsou uložena ramena, je převážně trubkový. Přední kola jsou tlumena pomocí dvou tlumičů s válcovými pružinami, které jsou na jenom konci upevněné na rám a druhým koncem jsou upevněné na konec horního ramena [19].

Obr. 7 Aptera [20]

2.3 PODVOZKY TŘÍKOLOVÝCH VOZIDEL TYPU DELTA

Jedná se o typ konstrukce s dvěma koly vzadu a jedním kolem vpředu. Náhon kola se může lišit, ale u náhonu zadního kola se často používá diferenciál. Tento typ je méně dynamicky stabilnější než typ Tadpole. Rozložení hmotnosti by mělo být směřováno k zadní části podvozku, aby nedošlo k převrácení vozidla. Tento typ však používají často tříkolky s menšími rychlostmi, takže k tomuto jevu nedochází. Aerodynamika u těchto vozů je horší než u Tadpole.

2.3.1 LEADER FOX BORMIO 2019 BÍLÁ

Tříkolka Bormio je tříkolové vozidlo navrhnuté jako rehabilitační pomůcka, bez motorové jednotky. Je určeno pro osoby s poruchou rovnováhy, starší nebo méně pohyblivé lidi. Hmotnost tříkolky je 27,7 kg a nosnost je 120 kg. Má jedno kolo vepředu a dvě kola vzadu, jde tedy o typ delta. Koncepce rámu je téměř stejná jako u dvoukolového jízdního kola. Rám je hliníkový, což zajišťuje menší hmotnost než u ocelového rámu. Přední vidlice je ocelová. Ráfky kol jsou dvaceti čtyř palcové. Středové složení je zapouzdřené a je osazeno hliníkovým převodníkem o průměru 170 mm. Tříkolka je osazena planetovou převodovkou značky Shimano se třemi rychlostmi. Je uchycena na zadním rámu a pomocí řetězu je točivý moment přenášen na zadní hřídel, která pohání kola. Tříkolka je vybavena nákladním prostorem v zadní části pro přepravu nákladu. Na představci je upevněn košík pro přepravu menšího nákladu. Na předním kole je umístěna mechanická kotoučová brzda TX-805. Jelikož je tříkolka určena pro starší osoby se zhoršenou pohyblivostí, je vozidlo vybaveno zpětným zrcátkem. Konstrukce vozidla je stavěna tak, aby byla co nejstabilnější [21].

Obr. 8 LEADER FOX BORMIO 2019 BÍLÁ [22]

2.3.2 PIAGGIO APE 50

Piaggio Ape 50 je tříkolové vozidlo italské značky Piaggio. Tato značka se proslavila hlavně díky svým skútrům. Piaggio Ape byl z počátku propagován především jako vůz pro malé a střední podnikatele. Toto vozidlo je vhodné pro všechny možné typy použití. Motor je benzínový, dvoudobý a vzduchem chlazený o výkonu 1,8 kW. Objem válce motoru je pouhých 50 cm^3. Výhodou je určitě malá spotřeba vozidla, kterou výrobce uvádí 3 l/100 km. Vozidlo je možno řídit od patnácti let s řidičským oprávněním AM. Dosahuje maximální rychlosti 40 km/h. Nákladní prostor, který je umístěn v zadní části vozidla, má objem 1,5 l. Motor, který pohání zadní kola, je umístěn pod nákladovým prostorem. Pohon kol je bez diferenciálu. Odpružení a tlumení zadních kol je zajištěno pomocí dvou tlumičů s válcovými pružinami. Na předním kole i na zadních kolech se nacházejí bubnové brzdy. Celková nosnost vozidla je 185 kg. Celková hmotnost vozidla je 510 kg, proto si řidič musí dávat pozor při průjezdu ostrými zatáčkami, aby se vozidlo nepřevrátilo. V přední části vozidla se nachází kabina. Protože se Ape často využíval jako donáškový vůz, měl dveře na obou stranách, aby bylo umožněno rychlejší vystupování bez ohledu na směr. I přesto, že s kabinou vypadal Ape jako automobil, stále si zachoval spoustu výhod skútrů. Velikostně byl Ape stále mnohem výhodnější než automobil a dokázal se velmi svižně proplétat úzkými italskými uličkami [23].

Obr. 9 Piaggio APE 50 [24]

2.3.3 ČZ 175 TYP 505 RIKŠA (1962-1963)

Jedná se o tříkolové vozidlo typu Delta. Vyráběla ho česká firma ČZ, což byla zbrojní firma, která se později začala věnovat i výrobě motorek. Tříkolové vozidlo vychází z konstrukce skútru ČZ 175. V zadní části motocyklu se nachází nákladní prostor. Motor je zde dvoudobý jednoválec chlazený vzduchem se čtyřmi převodovými stupni. Maximální rychlost tohoto vozidla je 52 km/h. Jelikož je většina váhy rozložena v zadní části vozidla, a maximální rychlost není tak vysoká, nedochází v zatáčkách k převrácení vozidla. Tříkolové vozidlo má pohon zadních kol. Přenos točivého momentu od motoru na zadní hřídel je realizován pomocí řetězu, který je zcela zapouzdřen v olejové lázni. Karosérie je dvoudílná. Přední konstrukce podvozku je stejná jako u skútru ČZ 175. Ta přechází do zadní trubkové konstrukce, kde je uložen motor. K zadní konstrukci jsou připevněna kyvná ramena, na kterých jsou uložena kola. Zadní kola jsou odpružena válcovými pružinami s olejovými tlumiči. Tříkolka disponuje diferenciálem na zadní nápravě. Přední vidlice má zdvih 100 mm. Přední kolo je odpérováno kyvnou vidlicí s dvěma pérovacími elementy se šroubovými pružinami a olejovými tlumiči. Pérovací elementy jsou zavěšeny jedním koncem na kyvné vidlici a druhým koncem na vlastní vidlici. Na zadních kolech se nachází bubnová brzda. Brzdové čelisti mají průměr 160 mm a šířku 35 mm. Zadní brzda je ovládána nožní pákou a je nastavitelná. V předním kole je bubnová brzda. Čelisti jsou zde o průměru 140 mm. Zajímavostí motoru je, že ho lze nastartovat pro jízdu vpřed i vzad. Nosnost vozidla je 200 kg. Tříkolka ČZ 175 typ 505 se hodí pro přepravu lehčích nákladů na menší vzdálenosti, například v městské dopravě [25]. V dnešní době se však jedná o historické vozidlo, které by svým designem ani konstrukcí nebylo vhodné pro budoucí návrh podvozku.

Obr. 10 ČZ 175 typ 505 Rikša [26]

2.3.4 RELIANT ROBIN

Reliant Robin je tříkolový vůz pro čtyři osoby. Vyráběla ho společnost Reliant Motor Company v Anglii. První vozidlo bylo vyrobeno už v roce 1973. Vozidlo bylo prodáváno ve více verzích, ale konfiguraci tří kol si stále zachovávalo. Jedná se dvoudveřové vozidlo s pohonem na zadní kola. Motor je umístěn pod kapotou v přední části. Řízení vozidla je realizováno pomocí předního kola. První verze Mk I byla vybavena motorem o objemu 750 cm^3 a v roce 1975 byl objem válců zvýšen na 850 cm^3. Roku 1989 se začala vyrábět verze Mk II, která byla osazena 12 palcovými koly, vylepšenými brzdami a interiérem. Poslední verze byla Mk III, která se začala vyrábět v roce 1999. Tato verze měla také nové vylepšení. Byl to první typ, který se designoval pomocí počítače. Spotřeba tohoto vozu byla do 3,5 l/100 km. Hmotnost vozidla je pouhých 450 kg. Reliant Robin měl být ekonomický a měl zajistit osobní přepravu. Dosahoval rychlosti až 130 km/h. Nevýhodou tohoto vozidla je právě rozmístění kol. Při vysoké rychlosti a průjezdu zatáčkou mohlo dojít k převrácení vozidla. Snížení pravděpodobnosti převrácení vozidla by mohlo zajistit posunutí těžiště do zadní části vozidla. Moment od dostředivé síly by tak více vyvažovaly zadní kola [27].

Obr.11 Reliant Robin [28]

2.4 PODVOZKY JEDNOSTOPÝCH VOZIDEL S POSTRANNÍM VOZÍKEM

Tento typ podvozku tříkolového vozidla se trochu liší od doposud zmíněných. Tato konstrukce se používala u starších motocyklů. V dnešní době už se v provozu nevyskytují, ale můžeme je vidět například na závodech. Postranní vozík sloužil pro přepravu osob, nebo nákladu. Tyto postranní vozíky se lidově nazývají „sajdkáry“.

2.4.1 JAWA 500 OHC S POSTRANNÍM VOZÍKEM VELOREX 561

Jawa je česká značka, která má v České republice velkou tradici. Model Jawa 500 OHC je čtyřtaktní motocykl, který byl vybaven postranním vozíkem. Tento vozík však nevyráběla Jawa, ale družstva Velorex z východních Čech. Tento typ postranního vozíku si vzal všechny dobré prvky z předešlého typu Velorex 560. Například laminátovou skořepinu, blatníky nebo karoserii. Dále zde bylo zachováno pérování, které je bezhlučné. Postranní vozík Velorex 561 byl určen pro přepravu jedné osoby nebo zavazadel s maximální přípustnou hmotností do 103 kg. Celková hmotnost samotného vozíku je 75 kg. Celý rám je vyroben z ocelových trubek, které jsou svařeny. Pérování kola má zdvih 80 mm a je uloženo v kuličkových ložiskách a v gumovém bloku. Pérovací ústrojí tvoří samostatnou část podvozku, ke kterému je ústrojí přichyceno šrouby. Kolo postranního vozíku je uloženo letmo na čepu výkyvného ramena. Kolo postranního vozíku je možné demontovat po odklopení blatníku a je výměnné

s předním kolem motocyklu. Blatník je laminátový a je navržený tak, aby zabránil jakémukoliv vniknutí nečistoty z vozovky na osobu v postranním vozíku. Zadní část blatníku je uložena na otočném čepu a přední část je uchycena šroubem k podvozku vozíku. Tento typ uložení je výhodnější pro demontáž kola. Brzda na postranním vozíku je mechanická a je ovládána lankem, které je uchycené k nožní brzdě motocyklu. Celá karoserie vozidla je ze skelných laminátů s vložkami z hliníkových slitin a je velmi aerodynamická. Postranní vozík je vybaven větrným štítem, který zajišťuje větší komfort přepravované osoby. Zadní část postranního vozíku tvoří prostor pro zavazadla. Tento prostor se zpřístupní po odklopení opěradla a je uzamykatelný. Celý postranní vozík se montuje k motocyklu z pravé strany a uchycení je čtyřbodové [29]. Celé sestavení motocyklu s postranním vozíkem můžeme vidět na obr. 12.

Obr. 12 Jawa 500 OHC Velorex 561 [30]

3 VÝHODY A NEVÝHODY RŮZNÝCH KONCEPCÍ PODVOZKŮ

Každá koncepce podvozku má své výhody a nevýhody. Při návrhu tedy musíme brát v úvahu to, k jakým účelům bude vozidlo využíváno a v jakých rychlostech se bude vozidlo pohybovat.

3.1 TŘÍKOLOVÉ VOZIDLO S DVĚMA KOLY VZADU

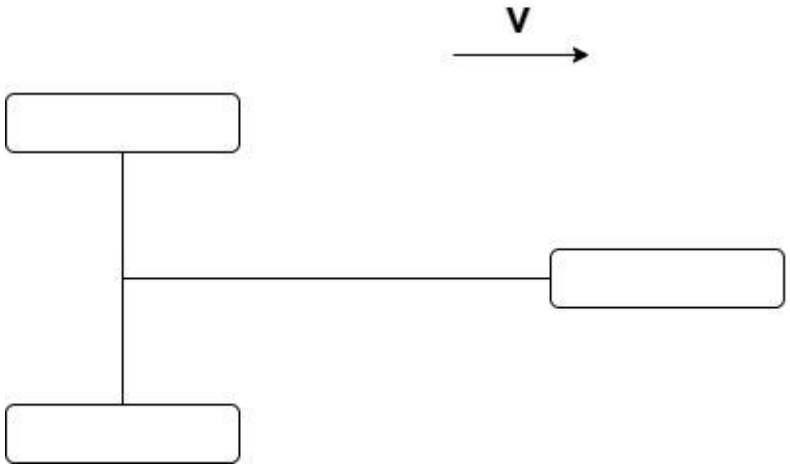
Tříkolové vozidlo s dvěma koly vzadu je vhodné například pro nákladní tříkolové vozy, z důvodů rozložení váhy na obě dvě kola a lepší stability. Velikou nevýhodou je však nestabilita v zatáčkách. Příklad takto špatně navržené konstrukce byl Reliant Robin od společnosti Reliant Motor Company. Tento vůz se při vyšších rychlostech do zatáček převracel. Moment vytvořený gravitační sílou v zatáčce byl menší než moment dostředivé síly [31]. Těžiště se proto doporučuje umístit co nejblíže k nápravě s dvěma koly k vyvážení momentů. Při osazení vozidla širšími pneumatikami se tento jev posune do vyšších rychlostí. V dnešní době se tato konfigurace kol využívá například u zmrzlinářských vozů, které nepotřebují dosahovat vysokých rychlostí a pracovní prostor mají v zadní části vozidla. Tento typ rozmístění kol se vyskytuje i u některých nákladních jízdních kol. První vyráběná motorová auta měla také jen tři kola, s jedním kolem vpředu. Bylo to z důvodů jednoduchého mechanismu zatáčení předního kola. Jelikož tato vozidla nedosahovala velkých rychlostí, konstruktéři nemuseli řešit nebezpečí překlápění vozu. Výhodou této koncepce je však často jednoduchá konstrukce. Při pohonu zadních kol se často používá diferenciál.

Výhody

- Méně náročná konstrukce mechanismu zatáčení předního kola

Nevýhody

- Nutnost umístění nákladového prostoru do zadní části vozidla
- Malá stabilita v zatáčkách
- Častá nutnost použití diferenciálu



Obr. 13 Tříkolové vozidlo s dvěma koly vzadu

3.2 TŘÍKOLOVÉ VOZIDLO S DVĚMA KOLY VPŘEDU

Tato konfigurace kol je v posledních letech používána více než s dvěma koly vzadu. Velkou výhodou jsou především lepší jízdní vlastnosti a stabilita v zatáčkách. Moment od odstředivé síly v zatáčce je vyvažován dvěma koly vpředu. Tím pádem je těžiště směřováno k přední části, kde se nacházejí dvě kola. Tato koncepce je lepší z hlediska přetáčivosti v zatáčkách. To znamená, že jako první ztratí kontakt s vozovkou zadní kolo. S těmito vozidly si i tak můžeme dovolit větší rychlosti i v zatáčkách.

Výhody

- Dobrá stabilita v zatáčkách
- Lepší přetáčivost vozidla
- Lepší aerodynamika

Nevýhody

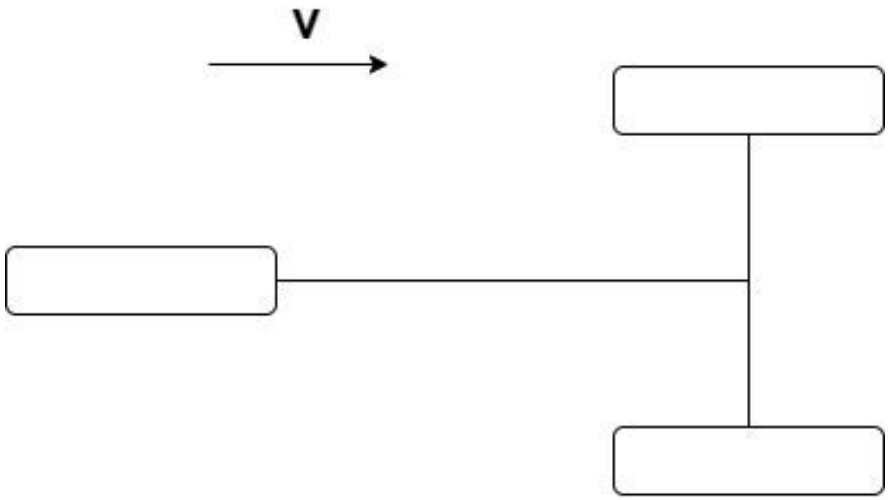
- Složitější mechanismus zatáčení předních kol
- Nutnost řešení geometrie kol

3.2.1 S NAKLÁPĚCÍMI KOLY

U naklápěcích kol musíme přizpůsobit konstrukci přední nápravy. Při průjezdu zatáčkou mají naklápěcí kola lepší přilnavost z důvodu rozložení sil v dotyku s vozovkou. S naklápěcími koly se tříkolové vozidlo při jízdě chová jako jednostopé vozidlo a při vyšších rychlostech má lepší jízdní vlastnosti.

3.2.2 BEZ NAKLÁPĚNÍ KOL

Kola, která se nenaklápějí, jsou vhodná například pro pomalá vozidla. Výhoda je stabilita při malých rychlostech. Při větších rychlostech v průjezdu zatáčkami by mohlo dojít k převracení vozidla při špatně zvolené konstrukci podvozku. Podvozek bez naklápění kol je vhodné použít například na nákladní vozidla s velkou zátěží a malou rychlostí.



Obr. 14 Tříkolové vozidlo s dvěma koly vpředu

4 KONCEPČNÍ NÁVRH PODVOZKU

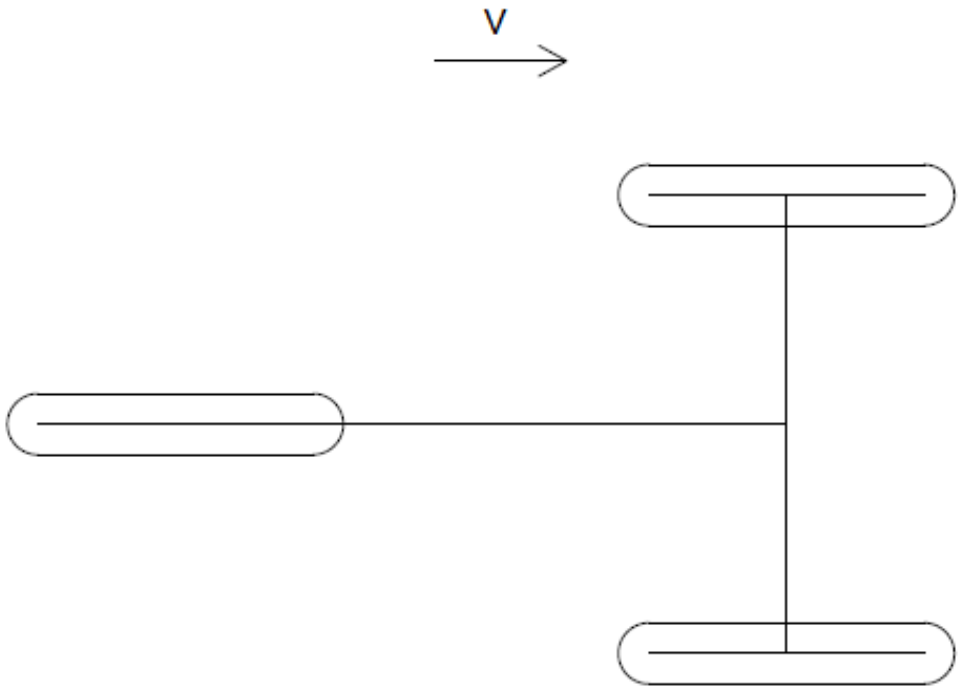
Při koncepčním návrhu vycházím ze zadání práce. Úkolem je navrhnou městské tříkolové vozidlo s elektrickým pohonem do nosnosti 160 kg. Pro budoucí koncepční návrh podvozku jsem zvolil řešení, kde jednotlivé části podvozku rozepíšu do podkapitol a zjistím, jaká varianta bude pro můj návrh nejlepší.

Volím si koncepci tříkolového jízdního kola bez karoserie nebo dveří. Pro přepravu osoby a malého nákladu do městského provozu je to podle mě nejvýhodnější řešení. Tím, že mám zadanou nosnost vozidla 160 kg, tak bych mohl lehce tuto hmotnost dosáhnout jenom konstrukcí nějakého tříkolového automobilu.

4.1 KONFIGURACE KOL

Tříkolové vozidlo bude používáno v městském provozu, a proto je třeba, aby se pohybovalo rychle a obratně. Rozložení kol tedy volím typu Tadpole, s naklápěcími koly vpředu viz obr. 15. Tuto variantu volím kvůli větší stabilitě v zatáčkách a lepší manévrovatelnosti. Nákladní prostor umístím do přední části vozidla.

Z důvodů uložení nákladu nad přední kola, musím zamezit větším rázům, aby nedošlo například ke ztrátě nákladu. Proto budou kola odpružena a tlumena za pomocí tlumiče.



Obr.15 Konfigurace kol u koncepčního návrhu

4.2 NÁVRH BRZD

Na zadním kole bude špalíková brzda, která je používána tradičně na jízdních kolech. Malý brzdný účinek však bude mít i elektrický motor.

Nejvíc brzdné síly musí zachytit přední brzdy, z důvodu setrvačných sil celého vozidla s jezdcem. Při tomto tlaku se také zvětší plocha dotyku pneumatik s vozovkou. Naopak zadní kolo má tendenci ztratit kontakt s vozovkou, a proto někdy může dojít při prudkém brzdění k převrácení vozidla. Na tento jev má vliv i umístění těžiště.

Kritické brzdění

Při návrhu brzd musíme počítat s nejkritičtějším případem. V našem případě to znamená s maximální přípustnou hmotností. Celková hmotnost při výpočtu bude tedy hmotnost vozidla plus maximální přípustná hmotnost. Celkovou hmotnost vozidla pro koncepční výpočty volím 50 kg. Celková hmotnost v nejkritičtějším případě bude tedy 210 kg. Maximální rychlost tříkolového vozidla by neměla překročit rychlost 25 km/h. Při této rychlosti můžeme zanedbat odpor vzduchu. Dále budeme uvažovat konstantní zrychlení během brzdění. Jako reakční dobu člověka při brzdění budu uvažovat 0,5 s. Brzdnou dráhu při těchto podmínkách volím maximálně 5 m. Zrychlení a_b při brzdění vypočteme z rovnice (3).

$$a_b = \frac{v_0^2}{2s} \tag{3}$$

$$a_b = \left[\frac{\left(\frac{25}{3{,}6}\right)^2}{2 \cdot 5}\right] m \cdot s^{-2}$$

$$a_b = 4{,}823\ m \cdot s^{-2}$$

kde v_0 je počáteční rychlost při brzdění, s je maximální brzdná dráha a číslo *3,6* je převod na základní jednotky SI

K celkové brzdné dráze musíme připočíst i dráhu, kterou vozidla urazí za reakční dobu, podle vztahu (4).

$$s_0 = v_0 t \tag{4}$$

$$s_0 = \left[\left(\frac{25}{3{,}6}\right) \cdot 0{,}5\right] m$$

$$s_0 = 3{,}472\ m$$

kde s_0 je dráha, kterou urazí vozidlo během reakční doby člověka t

Na vozidlo s jezdcem působí při brzdění největší brzdná síla *B*, která je důležitá pro dimenzování brzdného systému [38].

$$B = ma_b \tag{5}$$

$$B = (210 \cdot 4{,}823)\ N$$

$$B = 1012{,}83\ N$$

kde *m* je celková hmotnost vozidla plus maximální přípustná hmotnost

4.3 VOLBA VELIKOSTI KOL

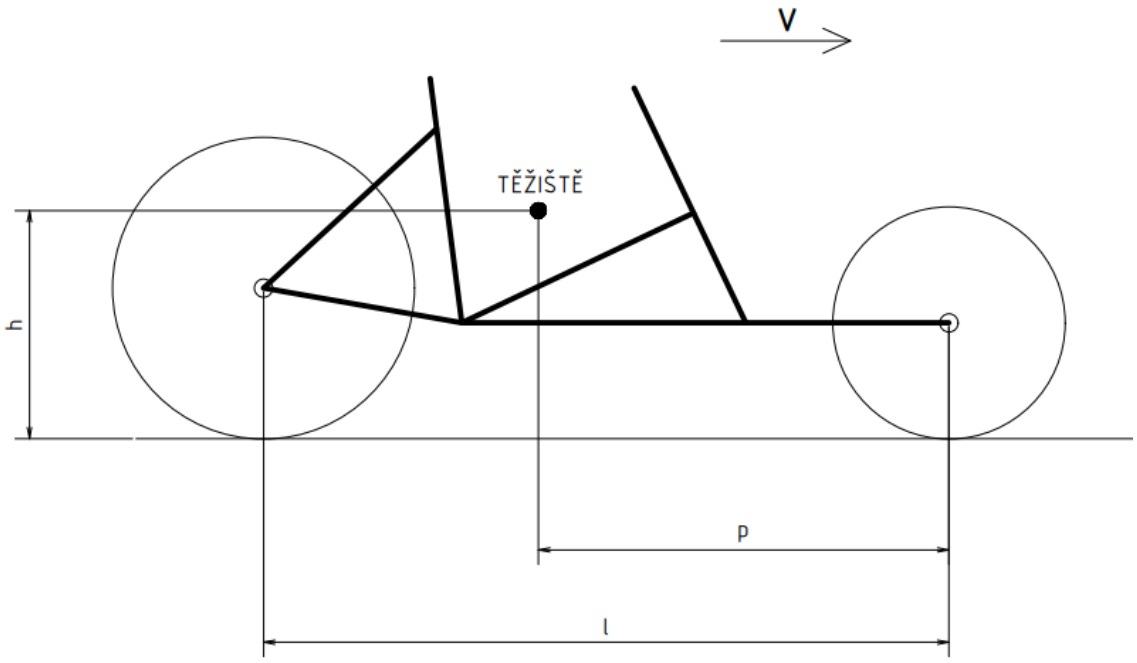
Přední kola na tříkolovém vozidle budou mít stejný průměr. Vychází to ze symetrie nápravy a z podstaty věci. Čím menší průměr kola, tím lepší manévrovatelnost, ale na druhou stanu menší stabilita při jízdě. Přední kola tedy volím s dvaceti palcovým ráfkem, na těchto kolech budou umístěny kotoučové brzdy.

Zadní kolo bude mít průměr větší. Volím dvaceti šesti palcový ráfek. Brzdy na tomto ráfku budou špalíkové, jelikož hlavní brzdný účinek bude na předních kolech.

4.4 NÁVRH VELIKOSTI ROZVORU A UMÍSTĚNÍ TĚŽIŠTĚ VOZIDLA

Problém by mohl nastat také při odlehčení zadního kola, a tím pádem i možnosti převrácení vozidla. To závisí také na umístění těžiště vozidla a rozvoru kol.

U rozvoru kol musíme počítat s velikostí kol a rámu. Pomocí náčrtu v Inventoru jsem navrhl předběžný tvar tříkolového vozidla. Na obr. 16 je vyznačený rozvor vozidla *l* a souřadnice těžiště. Zvolené koncepční parametry jsou uvedeny v rovnicích (7,8).



Obr. 16 Návrh rozvoru kol a souřadnice těžiště

Pomocí rovnic (7,8,9), ze zdroje [38], se dají určit základní parametry vozidla. To jsou rozvor kol a umístění těžiště. Prvním způsobem návrhu může být cesta, že si zvolíme jeden parametr a další dimenzujeme podle něho. Nebo si pomocí nějakého matematického programu naprogramujeme rovnice, měníme vstupní parametry a sledujeme změnu výstupních hodnot.

$$Z_B = \frac{Bh}{l} \tag{7}$$

$$Z_B = \left(\frac{1012{,}83 \cdot 500}{1700}\right) N$$

$$Z_B = 297{,}89\ N$$

kde Z_B je odlehčení zadního kola při brzdění, h je výška těžiště nad vozovkou, l je rozvor vozidla

$$Z = \frac{mgp}{l} \tag{8}$$

$$Z = \left(\frac{210 \cdot 9{,}81 \cdot 900}{1500}\right) N$$

$$Z = 1090{,}64\ N$$

kde Z je statické zatížení zadního kola, p je vodorovný průmět vzdálenosti těžiště od osy předního kola

Z těchto vztahů můžeme vyvodit podmínku stability ze vztahu (9).

$$Z > Z_B \tag{9}$$

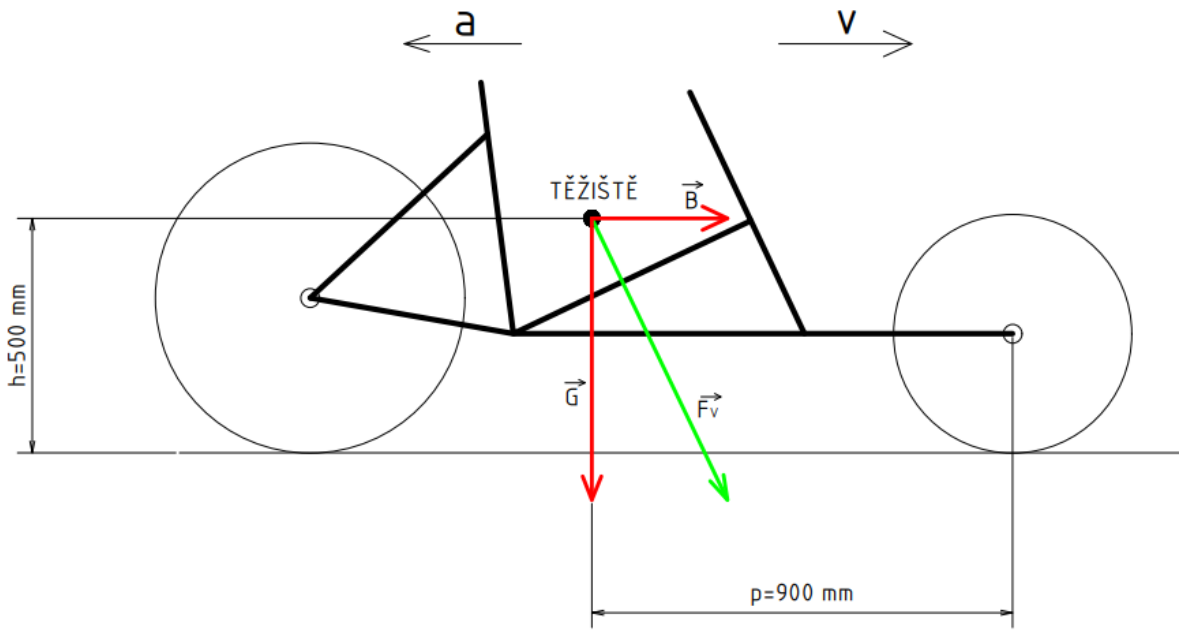
$$1090{,}64\ N > 297{,}89\ N$$

Tato podmínka je splněna, proto by při těchto koncepčních parametrech nedošlo k převrácení vozidla.

4.4.1 GRAFICKÉ ZNÁZORNĚNÍ UMÍSTĚNÍ TĚŽIŠTĚ

Grafické řešení nám umožní rychle a přehledně zjistit, kam je vhodné umístit těžiště vozidla. Samozřejmě to závisí na velikosti brzdné síly a celkové tíhy vozidla a řidiče. Při brzdění má zrychlení opačný směr, než je rychlost vozidla a síla *B*, která působí na vozidlo, je ve směru rychlosti. Na obr. 17 vidíme grafické řešení podle vypočítané brzdné síly *B* a tíhy vozidla s řidičem *G*.

Po vektorovém součtu těchto vektorů vidíme, jakou má velikost a kam směřuje výsledný vektor F_v. Kdyby tento vektor protnul vozovku před předním kolem ve směru jízdy, tak by se při těchto podmínkách vozidlo převrátilo. U koncepčně zvolených parametrů vidíme podle grafického řešení, že by nedošlo k převrácení vozidla. Grafické řešení možnosti překlopení vozidla může sloužit jako rychlá kontrola a nemusíme počítat několik rovnic.



Obr. 17 Grafické znázornění umístění těžiště

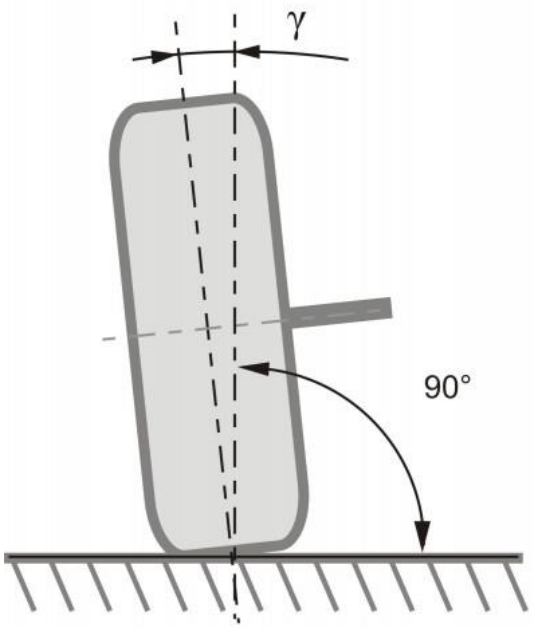
4.5 GEOMETRIE PŘEDNÍ NÁPRAVY

Při pohybu ramen u lichoběžníkové nápravy nastávají změny polohy kol. Těchto vlastností je tu mnoho a každá má vliv na jízdní vlastnosti vozidla. Řízení kol musí být lehké, přesné a stabilní.

4.5.1 ÚHEL ODKLONU KOLA

Tento úhel je sklon střední roviny kola vůči svislé ose vozidla. Je uvažován buď kladný, nebo záporný. Kladný znamená, že střední rovina kola směřuje vně a záporný znamená, že střední rovina směřuje dovnitř. Tento úhel se dříve používal k odstranění vůlí v ložiskách otočného čepu. Toto má však smysl jen u zemědělských vozidel. Při kladném úhlu odklonu navíc dochází k tomu, že kolo tvoří ve styku s vozovkou kuželovitý tvar. Kolo se tak snaží odvalovat po kružnici, což má špatný vliv například na opotřebení pneumatiky [31].

Úhel odklonu kola volím u koncepčního návrhu γ=0 ° při zatíženém stavu. Při zatížení vozidla se tak kola dostanou do rovnoběžné polohy se střední rovinou rámu.



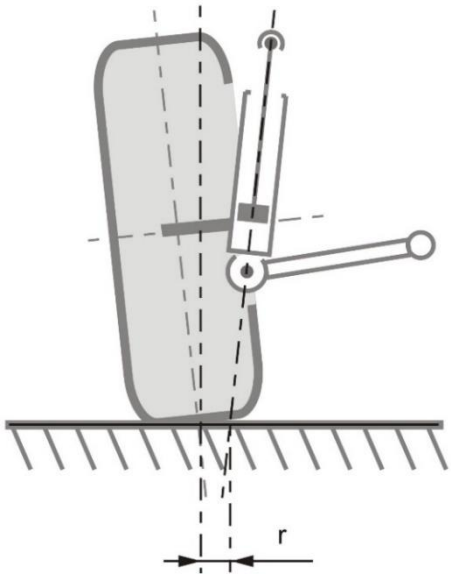
Obr. 18 Odklon kola [32]

4.5.2 POLOMĚR REJDU

Poloměr rejdu *r* je vzdálenost mezi průsečíkem rejdové osy s vozovkou a střední rovinou pneumatiky. Když je tento průsečík vně střední roviny, tak je záporný. Když se nachází uvnitř střední roviny, je poloměr rejdu kladný. Je-li průsečík totožný se střední rovinou, je poloměr rejdu nulový. Při brzdění se kolo natáčí okolo rejdové osy. Podobný účinek mají při jízdě valivé odpory kola. Kladný poloměr rejdu by neměl být příliš velký. U automobilů asi 40 mm, protože při rozdílných brzdných silách, nebo při rozdílných jízdních odporech na levém a pravém kole jsou kola vychylována a řidič musí vyrovnávat směr jízdy [31].

Poloměr rejdu volím u koncepčního návrhu kladný s velikostí *r* =20 mm.

4.5.3 ÚHEL PŘÍKLONU REJDOVÉ OSY



Obr. 19 Poloměr rejdu [34]

Rejdová osa je u lichoběžníkových náprav spojnice středů kulových čepů a u tuhých náprav je to osa totožná s osou rejdového čepu. Příklon rejdové osy slouží k samočinnému vracení řízených kol do polohy, která je rovnoběžná s jízdou vozidla. Vlivem příklonu dochází při natáčení řízených kol k jejich zvedání. Při uvolnění volantu po zatáčení tlačí přední náprava přední kola do přímé polohy ve směru jízdy pomocí vratného momentu. Při propružení kola dochází ke změně úhlu příklonu rejdové osy, která vyjadřuje i změnu odklonu kola. Tyto změny úhlů se dají snadno zjistit pomocí grafického řešení [31].

Určení vratného momentu vlivem příklonu rejdové osy

Po vychýlení kola vzniká moment, který se snaží navrátit kolo do přímé polohy. Vratný moment vzniká silou F_z, která působí na rameni r_2. F_z je co do velikosti stejná jako svislé zatížení kola [31].

Pro rameno r_2 platí vztah (10), jedná se o rovnici ze zdroje [31].

$$r_2 = r_d \cdot sin\sigma + r \cdot sin\sigma \tag{10}$$

kde r_d je vzdálenost středu kola od vozovky

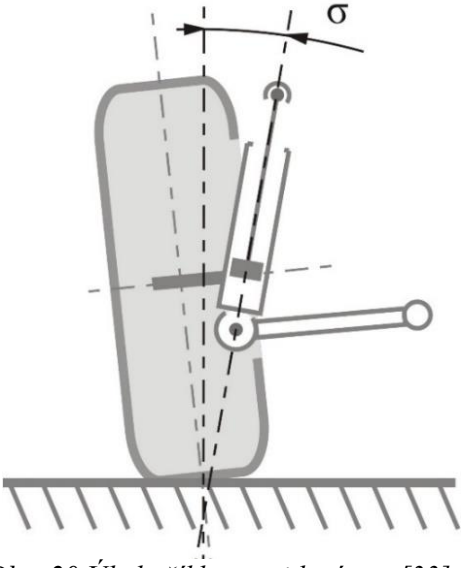
Celkový vratný moment řízených kol vlivem příklonu

Tento moment vypočítáme podle rovnice (11) ze zdroje [31].

$$M_\sigma = G_p \cdot sin\sigma \cdot sin\delta_s \cdot r_2 \tag{11}$$

kde G_p je statické zatížení celé přední nápravy (na jedno kolo je to tedy $G_p/2$), δ_s je střední úhel rejdu (aritmetický průměr úhlů rejdu vnějšího a vnitřního kola) [31]

Úhel příklonu rejdové osy volím u koncepčního návrhu σ = 5 ° při zatíženém stavu.



Obr. 20 Úhel příklonu rejdové osy [33]

4.5.4 ZÁKLON REJDOVÉ OSY A ZÁVLEK

Jedná se o úhel, který svírá rejdová osa se svislicí do roviny rovnoběžné s podélnou rovinou vozidla. Je-li záklon rejdové osy vzad, uvažuje se kladně. Je-li záklon vpřed, uvažuje se záporně. Přičemž záporně uvažovaný záklon se nazývá předklon. Se záklonem rejdové osy je spojen pojem závlek. Závlek n_k je vzdálenost mezi průsečíkem rejdové osy s rovinou vozovky a středem styku pneumatiky. Závlek má za následek vracení se kol do přímého směru ve směru pohybu vozidla. Kolo je tak vlivem závleku vlečeno a ne tlačeno [31].

Při velkém záklonu rejdové osy dochází k velkému momentu, který navrací kolo do přímé polohy. Tento velký moment může být pak těžké překonávat při zatáčení, ale na druhou stranu by neměl být nulový [31].

Výpočet momentů vyvolaných záklonem rejdové osy

Na kolo tedy působí vzhledem k rejdové ose boční síla F_y na rameni $n´_k$, toto rameno se vypočítá podle vztahu (12) ze zdroje [31].

$$n´_k = r_d \cdot sin\tau \tag{12}$$

Boční síla F_y vzniká dostředivou silou, při jízdě na nakloněné vozovce nebo v důsledku bočního větru. Vzniklý moment boční síly se vypočítá podle vztahu (13) ze zdroje [31].

$$M_{\tau(y)} = F_y \cdot \mathrm{n´_k} \tag{13}$$

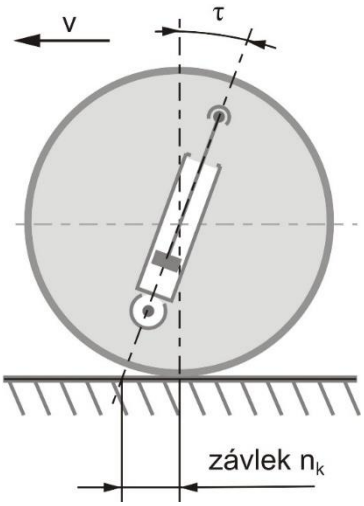
Záklon rejdové osy volím u koncepčního návrhu τ =5 °. Závlek vychází z geometrie kola a úhlu záklonu rejdové osy. Velkost závleku vypočítáme podle vztahu (14).

$$\tan\tau = \frac{n_k}{r_d} \tag{14}$$

$$n_k = \tan\tau \cdot r_d$$

$$n_k = \tan 5° \cdot 254$$

$$n_k = 22{,}22\ mm$$



Obr. 21 Záklon rejdové osy a závlek [35]

4.5.5 ÚHEL SBÍHAVOSTI

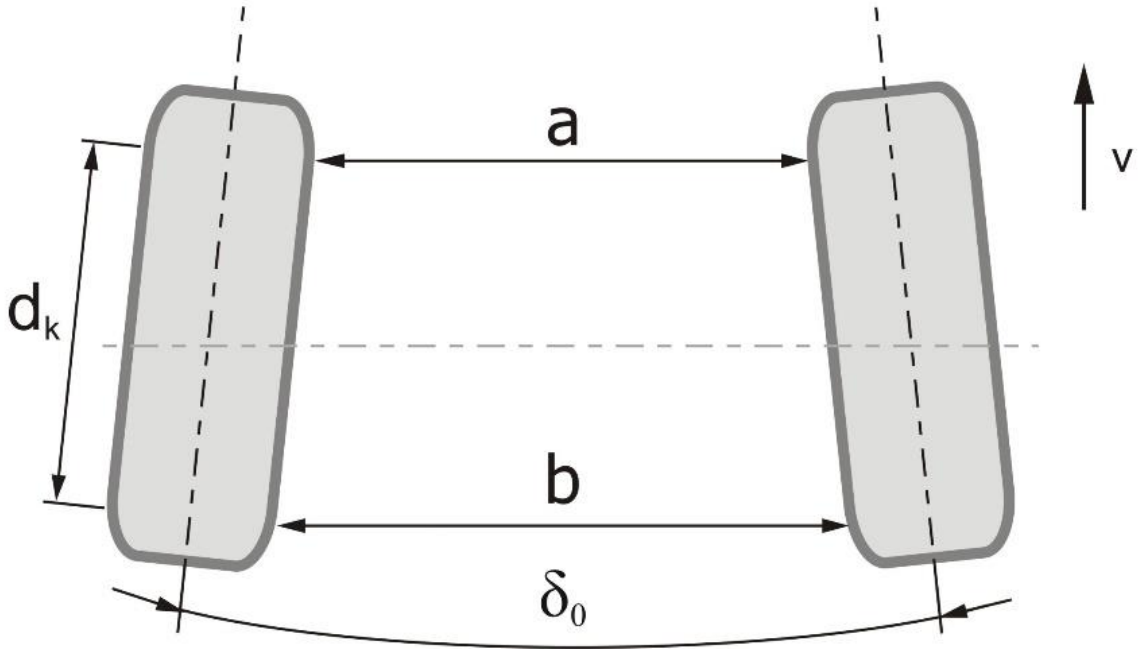
Úhel sbíhavosti je úhel, který svírají podélné osy kol vozidla. Rozlišujeme dva pojmy a to sbíhavost a rozbíhavost kol. Sbíhavost kol nastává, jestliže je přední část kol přikloněna k podélné ose vozidla. Rozbíhavost kol nastává, když je přední část kola odkloněna od podélné osy vozidla. Vlivem valivých odporů a poddajnosti řízení a zavěšení je kolo natáčeno do rozbíhavosti. Pro dosažení přímého směru slouží právě sbíhavost. Velká sbíhavost může vést k opotřebení pneumatik na vnější straně [31].

Pro úhel sbíhavosti platí vztah (15).

$$\delta_0 = arcsin\frac{b-a}{d_r} \tag{15}$$

kde a a b jsou vzdálenosti mezi vnitřními okraji ráfků levého a pravého kola ve vodorovné rovině procházející středy kol, d_r je průměr okraje ráfků [31]

Při zatíženém stavu je žádoucí dosáhnout nulového úhlu sbíhavosti, ale během provozu se geometrie mění, z důvodů postupného namáhání nápravy. Proto úhel sbíhavosti volím u koncepčního návrhu $\delta_0 = 1$ °.

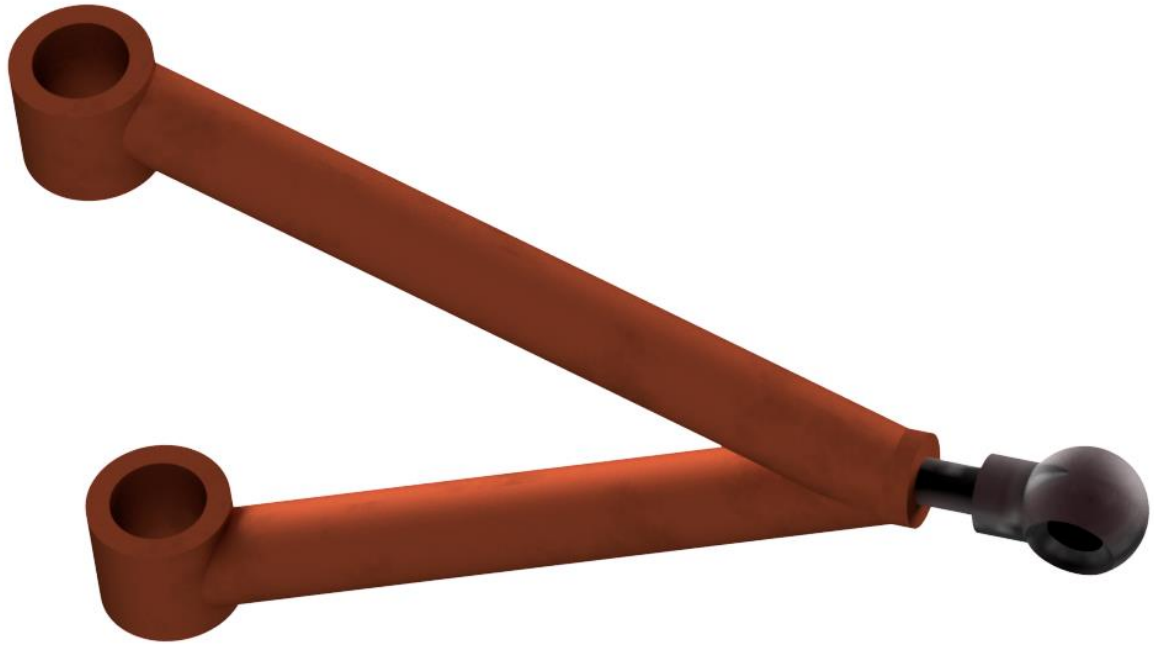


Obr. 22 Sbíhavost kol [36]

4.6 NÁVRH RAMEN

Je více možností, jak uspořádat ramena, na kterých jsou zavěšena kola. Hlavním úkolem ramen je spojení kola s rámem vozidla, ale také zajištění požadované kinematiky kola. Často používanou variantou podvozku je lichoběžníková náprava, která se nachází na automobilech. U této nápravy se nacházejí dvě ramena, kde vrchní rameno je kratší než spodní. Při vertikálním pohybu kola tak dochází k natáčení kola z důvodu rozdílných délek ramen. Pak rozlišujeme pozitivní a negativní geometrii kol [31].

U navrhovaného tříkolového vozidla volím pohyblivá ramena a nezávislé zavěšení kol, což znamená, že kola se mohou pohybovat nezávisle na sobě. Důvodem je, že kdyby tříkolové vozidlo najelo na nerovnost na vozovce, tak by se naklonilo celé vozidlo, což je méně pohodlné pro řidiče. Horní ramena volím kratší než spodní, aby návrhy geometrie korespondovaly se zvolenými parametry. Celková délka ramen záleží na konstrukci přední nápravy a navržených rozměrů uchycení ramen. Závisí také na umístění rejdové osy a její natočení. Ramena budou uchycena na pevném rámu pomocí kluzných ložisek a na těhlici pomocí kulových čepů. Konstrukce ramen je trojúhelníkového tvaru a budou svařena z trubek. Při případném překročení meze kluzu, je možné zvýšit pevnost ramena přední nápravy navařením výztuhy.



Obr. 23 Rameno přední nápravy s kulovým čepem

4.7 NÁVRH ULOŽENÍ MOTORU A JEHO MINIMÁLNÍHO TOČIVÉHO MOMENTU

Jako pohonná jednotka je zadán elektrický motor. U tříkolového vozidla bude poháněno zadní kolo. U pohonu předních kol bychom museli složitě řešit přenos točivého momentu na přední kola. U pohonu zadního kola je více možností, kam umístit motor.

Nejefektivnější možností je umístit motor přímo do středového uložení. Motor dobře dávkuje výkon a je úspornější. Proto jsou u těchto uložení i delší dojezdy. Velkou výhodou je i lepší rozložení hmotnosti. Na druhou stranu se rychleji opotřebuje řetězová sada. Další možnost je uložení motoru přímo do osy zadního kola [40]. Elektromotor má často větší průměr než klasický střed kola, proto se používají i kratší výpletové dráty, které jsou však často s širším průměrem. Když bychom měli motor s velkým výkonem, mohlo by se stát, že by došlo k meznímu stavu pevnosti drátu.

Volím variantu s pohonem zadního kola, kde elektromotor je uložen v ose zadního kola. Využiji tak prostor kola a za druhé není nutné osazovat rám motorem a převádět točivý moment přes další člen na kolo. Při koncepčním návrhu budeme zjišťovat teoretický točivý moment motoru, kterého by měl dosáhnout pro zvolenou akceleraci. Čas *t*, za který vozidlo dosáhne maximální rychlosti 25 km/h, volím 10 s. Zrychlení vozidla spočítáme podle rovnice (16).

$$a = \frac{v}{t} \tag{16}$$

$$a = \left[\frac{\left(\frac{25}{3{,}6}\right)}{10}\right] m \cdot s^{-2}$$

$$a = 0{,}6944\ m \cdot s^{-2}$$

kde *v* je maximální rychlost vozidla, *t* je čas, za který dosáhne vozidlo maximální rychlosti

Otáčky kola při maximální rychlosti vypočítáme podle rovnice (17).

$$n = \frac{v}{D\pi} \tag{17}$$

$$n = \left[\frac{\left(\frac{25}{3{,}6}\right)}{0{,}66 \cdot \pi}\right] s^{-1}$$

$$n = 3{,}35\ s^{-1}$$

kde *D* je průměr zadního ráfku kola

Síla, která působí na vozidlo při akceleraci, se vypočítá podle vztahu (18).

$$F = ma \tag{18}$$

$$F = (210 \cdot 0{,}6944)\ N$$

$$F = 145{,}83\ N$$

Potřebný výkon vypočítáme podle rovnice (19).

$$P = Fv \tag{19}$$

$$P = \left[145{,}83 \cdot \left(\frac{25}{3{,}6}\right)\right]\ W$$

$$P = 1012{,}72\ W$$

Jelikož je motor umístěn přímo v náboji kola, točivý moment nemusíme přepočítávat přes převodový poměr. Tento moment vypočítáme podle rovnice (20).

$$T = \frac{P}{\omega} = \frac{P}{2\pi n} \tag{20}$$

$$T = \left(\frac{1012{,}72}{2 \cdot \pi \cdot 3{,}35}\right)\ Nm$$

$$T = 48{,}113\ Nm$$

kde ω je úhlová rychlost kola

Obr. 24 Motor v náboji zadního kola [37]

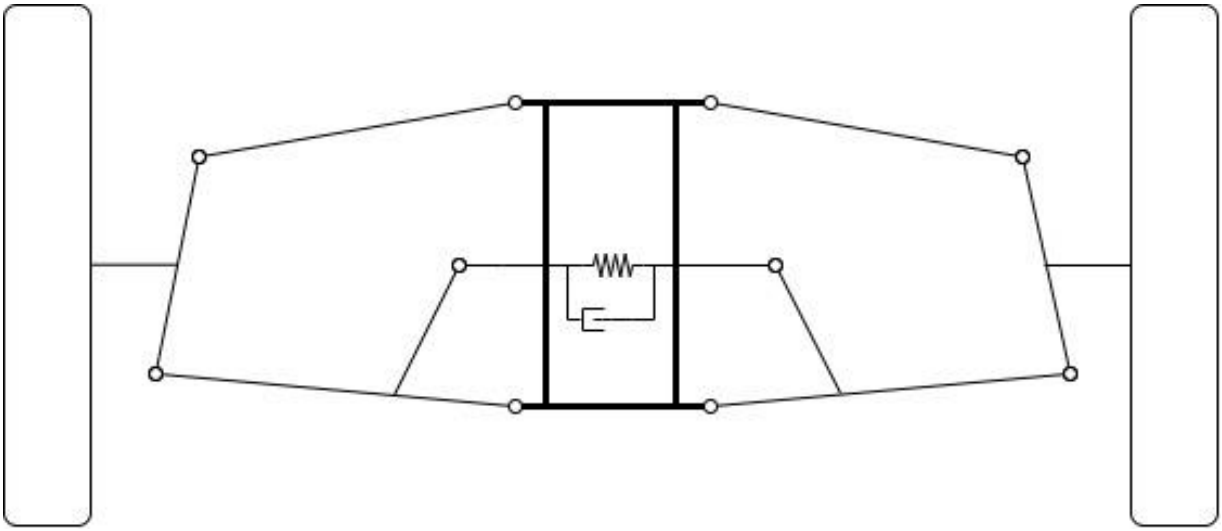
4.8 UMÍSTĚNÍ TLUMIČŮ

Umístění tlumičů jsem řešil jak u přední nápravy, tak i zadní nápravy.

Na zadním kole jsem se rozhodl pro pevnou nápravu bez kyvné vidlice. Odpružené bude jen sedlo pomocí odpružené sedlové trubky. Příklad odpružené sedlové trubky můžeme vidět na obr. 25.

Obr. 25 odpružená sedlová trubka [41]

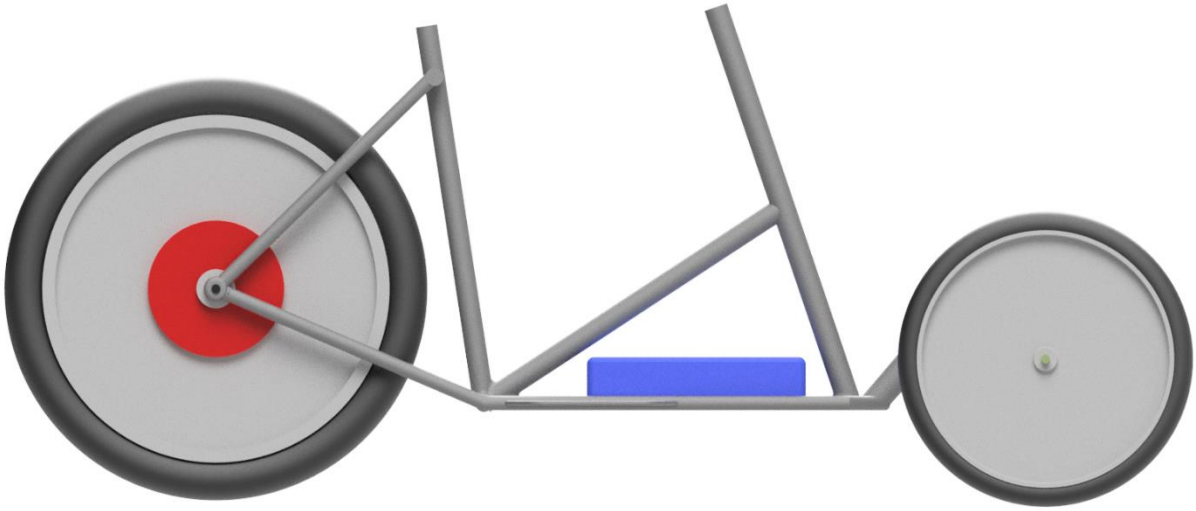
Umístění tlumičů na přední nápravě je možno realizovat více způsoby. Volím jeden tlumič, který bude spojovat spodní ramena přední nápravy, ale nebude uchycen na pevný rám. Výhodou použití jednoho tlumiče je to, že se nemusí tlumit každé rameno zvlášť a snížíme tak i celkovou hmotnost vozidla. Koncepční návrh viz obr. 26.



Obr. 26 Tlumení přední nápravy

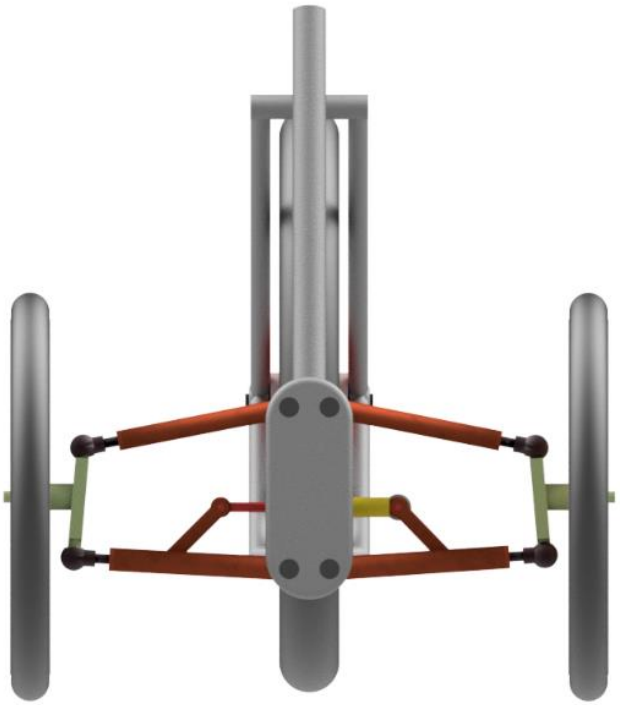
5 VIZUALIZACE KONCEPČNÍHO NÁVRHU PODVOZKU

Po všech zvolených parametrech jsem v programu Inventor vytvořil model, který odpovídá zvoleným koncepčním hodnotám. Jde pouze o předběžný návrh podvozku tříkolového vozidla. Na obr. 27 můžeme vidět pohled zprava. Červená barva na modelu značí umístění motoru a modrá umístění akumulátoru.



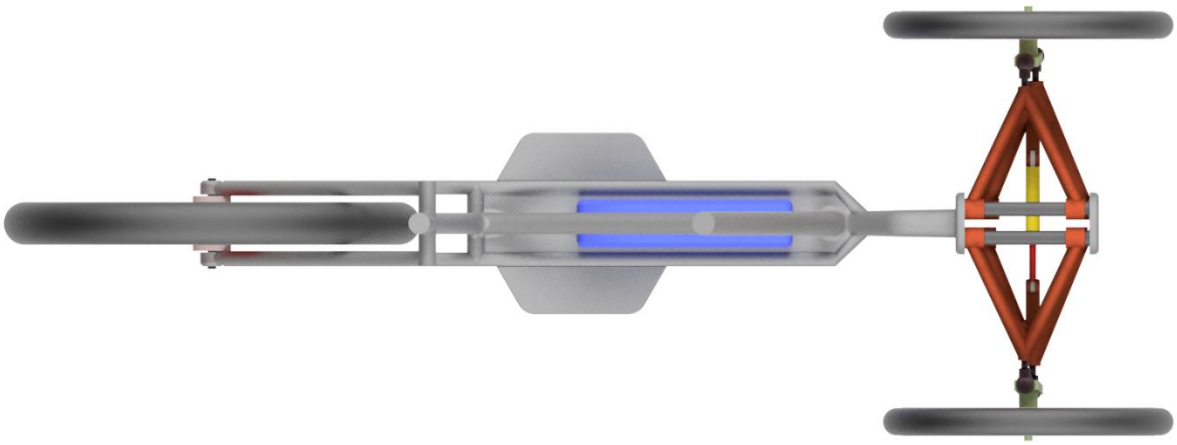
Obr. 27 Pohled zprava

Pohled zepředu je znázorněn na obr. 28, na němž je vidět uložení ramen a tlumících zařízení. Vrchní rameno je kratší než spodní rameno, a jsou tak zajištěny předpoklady lichoběžníkové nápravy.



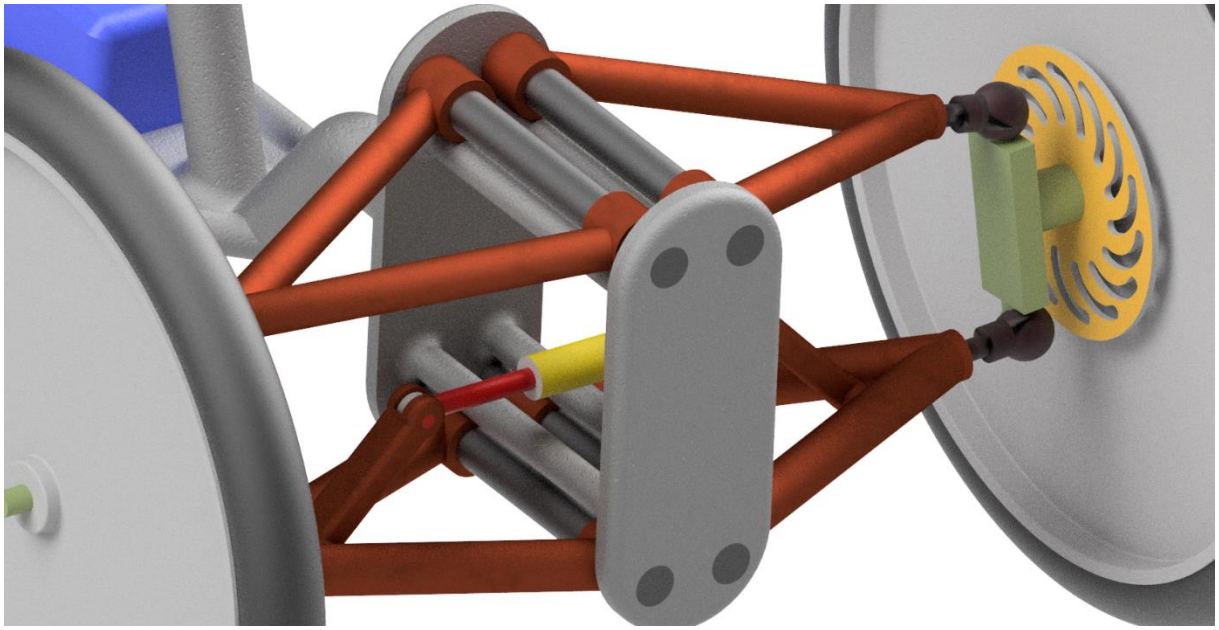
Obr. 28 pohled zepředu

Na obr. 29 můžeme vidět pohled shora. Po stranách rámu jsou navařeny dvě opěrky pro nohy řidiče.



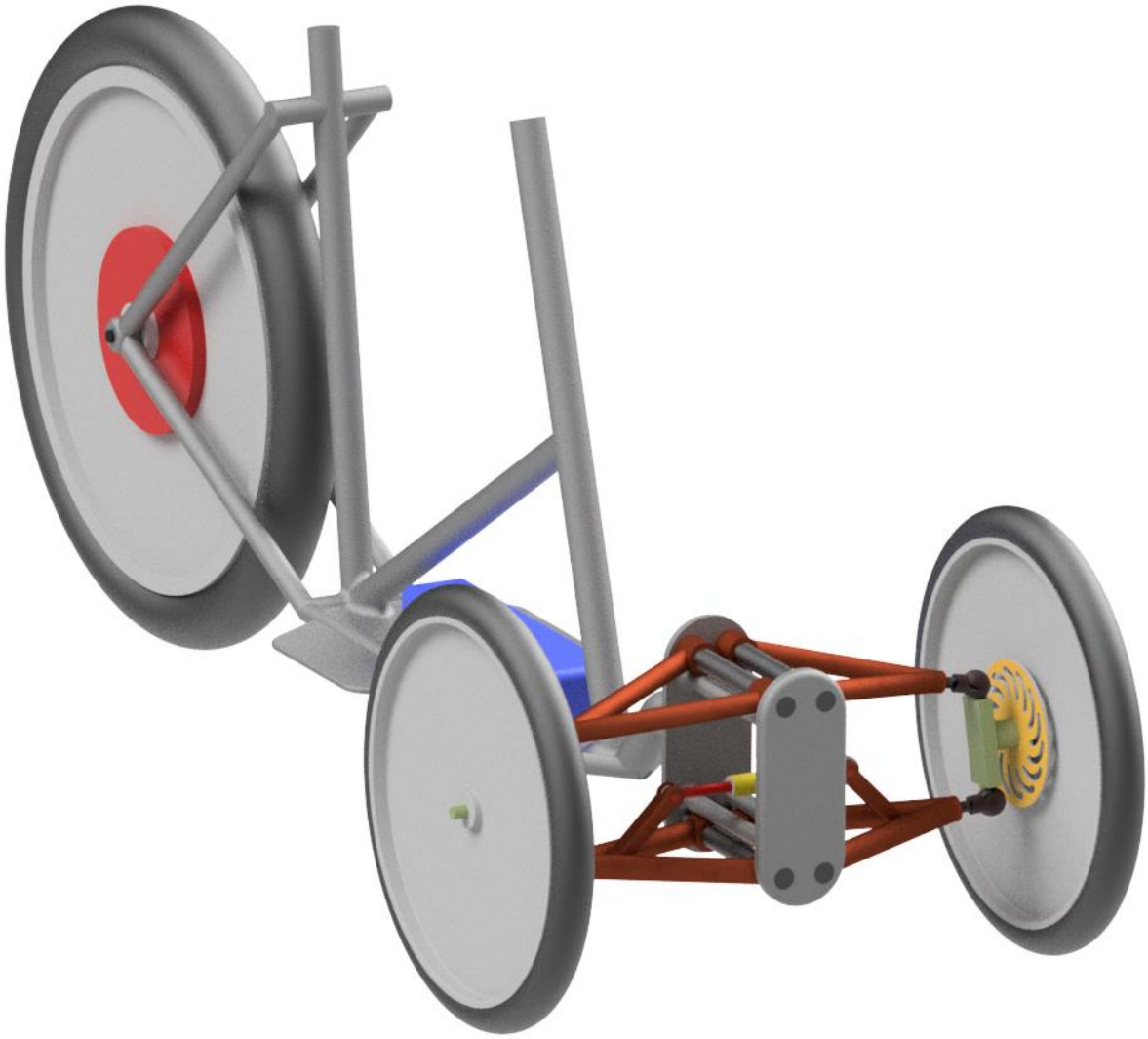
Obr. 29 Pohled shora

Na obr. 30 je detail přední nápravy, na němž je vidět koncepční umístění tlumiče, který je připevněn ke spodním ramenům. Kulové čepy jsou vyznačeny černou barvou a těhlice zelenou. Na kole jsou umístěny kotouče pro kotoučové brzdy. Jelikož je celý návrh pouze koncepční, nejedná se o finální parametry dílů.



Obr. 30 Detail přední nápravy koncepčního modelu

Na obr. 31 je celkový pohled na tříkolové vozidlo. Uložení všech dílů by se řešilo až u konstrukčního návrhu. U budoucího návrhu se bude muset vyřešit mechanismus zatáčení kol. Pravděpodobně se využijí táhla, která budou připevněna jednou stranou k těhlici a druhou stranou k trubce, která bude pevně spojená s řídítky. Kinematické body zatáčení kol je nutné volit tak, aby byla splněna Ackermannova podmínka, protože každé kolo se při průjezdu zatáčkou odvaluje po kružnici s jiným poloměrem. Na obr. 31 není zobrazeno umístění konstrukce nákladního prostoru, který se bude nacházet nad přední nápravou. Sedlo pro řidiče by se nacházelo na zadní trubce vozidla. Tyto prvky zde nejsou zobrazeny z důvodu lepší vizualizace podvozku.



Obr. 31 Podvozek tříkolového vozidla

ZÁVĚR

Ve své bakalářské práci jsem nejprve shrnul výhody a nevýhody různých typů podvozků tříkolových vozidel. Na tomto základě jsem si vybral jeden typ, který mi přišel z mnoha hledisek nejvýhodnější a udělal jeho koncepční návrh podvozku.

Zvolil jsem variantu s jedním kolem vzadu a dvěma koly vpředu, které má výhodu při brzdění. Jelikož většina brzdné síly působí na přední nápravu, tak se síly rozkládají na dvě kola. Tato kola jsou osazena kotoučovými brzdami, tudíž není problém toto vozidlo zastavit na požadované dráze. Nákladní prostor je umístěn v přední části s maximálním možným nákladem do 160 kg včetně řidiče. Kola jsou uložena nezávisle na sobě a tlumena jedním tlumičem. Tento způsob podvozku umožňuje obratné manévry v zatáčkách a městských uličkách. Z důvodů použití naklápěcích kol se vozidlo chová podobně jako motocykl. Uložení baterie pro pohon motoru je ve spodní části rámu. Tímto řešením se nám sníží těžiště, a tím pádem snížíme i možnou nestabilitu vozidla při brzdění. Kapacita baterie musí být zvolena s ohledem na dojezd a hlavně s ohledem na požadované parametry.

Tříkolové vozidlo z mého návrhu bude nejspíše používáno jak veřejností, tak i například dovážkovou službou apod., proto bude nutné myslet i na prvky jako jsou například blatníky nebo možné uchycení nákladu v nákladním prostoru.

POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE

[1] Three-wheeler. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2020 [cit. 2021-02-04]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Three-wheeler

[2] Chike. *Chike* [online]. Germany: chike GmbH & Co., 2021 [cit. 2021-02-21]. Dostupné z: https://chike.de/

[3] Chike bike. In: *Hollandbikeshop* [online]. Nederland: hollandbikeshop, 2008 - 2021 [cit. 2021-02-21]. Dostupné z: https://hollandbikeshop.com/img/prod/chike-e-cargo-e-kolo-16-20-5r-inter-e-di2-cerna-682053-1-l.jpg

[4] Tříkolový skútr Quadro 350D. *Motoroute* [online]. Zlín: Motoroute, 2012 [cit. 2021-02-02]. Dostupné z: https://www.motoroute.cz/clanek/191-trikolovy-skutr-quadro-350d.aspx

[5] Quadro 350D vs Piaggio MP3 500 LT. *Motorkari.cz* [online]. Petr Poduška, 2013 [cit. 2021-02-02]. Dostupné z: https://www.motorkari.cz/clanky/redakcni-testy/piaggio/quadro-350d-vs-piaggio-mp3-500-lt-24376.html

[6] Quadro 350D. In: *Motoroute* [online]. Štefánikova 2193, Zlín: Motoroute, 2017 [cit. 2021-02-02]. Dostupné z: https://www.motoroute.cz/images/large/QUADRO%20350D_RAW%20BLACK_Bildquelle%20QUADRO.jpg

[7] Elektrická tříkolka Jaroslava Fraise. *Businessinfo* [online]. Praha: BusinessInfo, 2019 [cit. 2021-02-02]. Dostupné z: https://www.businessinfo.cz/clanky/elektrickou-trikolku-do-terenu-nikdo-nevyrabel-tak-ji-jaroslav-frais-sestrojil-a-dostal-ekooskara/

[8] Tříkolka s elektromotorem. *3pol* [online]. Třípól, 2018 [cit. 2021-02-23]. Dostupné z: https://www.3pol.cz/cz/rubriky/bez-zarazeni/2259-trikolka-s-elektromotorem

[9] Český kutil sestrojil unikátní plně elektrickou tříkolku. In: *Bike-mania* [online]. bike-mania, 2021 [cit. 2021-02-02]. Dostupné z: https://bike-mania.cz/wp-content/uploads/2018/09/Jaroslav-Frais-elektricka-trikolka-projekt-TiltingVehicle-27.jpg

[10] Clamber Carbat. *Eoshop* [online]. Eoshop.cz, 2021 [cit. 2021-02-21]. Dostupné z: https://www.eoshop.cz/nakladni-elektrokolo-clamber-carbat-24

[11] Clamber Carbat. In: *Eoshop* [online]. 2021 [cit. 2021-02-02]. Dostupné z: https://www.eoshop.cz/editor/image/eshop_products/in-25848_l.jpg

[12] Morgan Motor Company. *Wikipedia: the free encyclopedia*. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2021. Dostupné také z: https://en.wikipedia.org/wiki/Morgan_Motor_Company

[13] Over Head Valve. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2017 [cit. 2021-02-04]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Over_Head_Valve

[14] Morgan Threewheeler Super Sport, Angile 1935. *Auta5p* [online]. auta 5P [cit. 2021-02-04]. Dostupné z: https://auta5p.eu/muzea/tm_speyer_2016/speyer_067.php

[15] Technical Details of the Morgan Three-wheelers. *Morgan3w* [online]. Germany: Waltraud and Gerhard Kiessling, 2009 [cit. 2021-02-05]. Dostupné z: http://morgan3w.de/technic/technic.htm

[16] Morgan Threewheeler Super Sport, Angile 1935. In: *Auta5p* [online]. auta 5P [cit. 2021-02-04]. Dostupné z: https://auta5p.eu/muzea/tm_speyer_2016/speyer_067b.jpg

[17] Ice trikes. *Icetrikes* [online]. Falmouth: ICE Recumbent Trikes, 2021 [cit. 2021-02-03]. Dostupné z: https://www.icetrikes.co/products/sprint-x-recumbent-trike

[18] ICE spinrt X. In: *Getcycling* [online]. United Kingdom: Get Cycling CIC, 2020 [cit. 2021-02-03]. Dostupné z: https://www.getcycling.org.uk/wp-content/uploads/2020/07/sprint_x_1000x1000.jpg

[19] Aptera. *Aptera* [online]. Aptera Motors, 2020 [cit. 2021-02-18]. Dostupné z: https://www.aptera.us/

[20] Aptera. In: *Autoweek* [online]. Hearst Autos, 2021 [cit. 2021-02-18]. Dostupné z: https://hips.hearstapps.com/hmg-prod.s3.amazonaws.com/images/aptera-0025-1-1607060831.png?crop=1xw:1xh;center,top&resize=980:*

[21] LEADER FOX BORMIO 2019 BÍLÁ. *FLYSTORK* [online]. Třebíč: FlyStork, 2021 [cit. 2021-02-09]. Dostupné z: https://flystork.cz/leader-fox-bormio-2019-bila?gclid=EAIaIQobChMIkdvdzNXc7gIVl6SyCh29IQlNEAQYBSABEgK2UfD_BwE

[22] LEADER FOX BORMIO 2019 BÍLÁ. In: *FLYSTORK* [online]. FlyStork.cz, 2021 [cit. 2021-02-09]. Dostupné z: https://flystork.cz/images/thumbs/0377745_leader-fox-bormio-2019-bila-atricycle20bormio20whitematt_lightgreen_side.jpeg

[23] Tříkolka APE 50. *Auto.cz* [online]. Copyright CZECH NEWS CENTER a.s, 2001 - 2021 [cit. 2021-02-09]. Dostupné z: https://www.auto.cz/piaggio-ape-na-ceskem-trhu-17413

[24] Piaggio APE 50. In: *Autopiaggio.cz* [online]. Ostrava: FAL services, 2017 [cit. 2021-02-09]. Dostupné z: https://www.autopiaggio.cz/wp-content/uploads/2015/02/Nov%C3%BD-obr%C3%A1zek-3.jpg

[25] *ČZ 175 typ 505 Rikša (1962 - 1963)* [online]. ČEZETmania, 2011 [cit. 2021-02-07]. Dostupné z: https://www.cezetmania.info/modely/index.html?item=189

[26] ČZ 505 Rikša. In: *Horiznotfull* [online]. HORIZONT FULL, 2021 [cit. 2021-02-07]. Dostupné z: http://www.horizontfull.cz/wp-content/uploads/2018/05/cz_175_505_riksa_cezeta-8-1300x731.jpg

[27] Reliant Robin. *Reliant* [online]. United Kingdom: Reliant Motor Club, 2021 [cit. 2021-02-18]. Dostupné z: https://www.reliant.website/robin_hist.shtml

[28] Reliant Robin. In: *Telegraph* [online]. Telegraph Media Group Limited, 2019 [cit. 2021-02-18]. Dostupné z: https://www.telegraph.co.uk/content/dam/cars/2019/02/05/TELEMMGLPICT000187564832_trans_NvBQzQNjv4BqBnrYSP_xBwDdbBsa7eTddDN9m5_fp08UOOdgxxtqo9I.jpeg?imwidth=1400

[29] Velorex 561. *SIDECAR CLUB PRAHA* [online]. Praha: WebSite21 [cit. 2021-03-21]. Dostupné z: https://www.sidecar-cz.com/sidecary-velorex/59-velorex/velorex/562-velorex-561

[30] Jawa 500 OHC Velorex 561. In: *SIDECAR CLUB PRAHA* [online]. Praha: WebSite21 [cit. 2021-03-21]. Dostupné z: https://www.sidecar-cz.com/images/sidecar_Velorex/Velorex_561/image014.jpg

[31] *Podvozky motorových vozidel*. 3. přepracované, rozšířené a aktualizované vydání. František: Prof. Ing. František Vlk, DrSc., 2006. ISBN 80-239-6464-X.

[32] Odklon kola. In: *Autolexicon* [online]. 2021 [cit. 2021-02-26]. Dostupné z: https://www.autolexicon.net/obr_clanky/odklon_kola-395x500.jpg

[33] Příklon rejdové osy. In: *Autolexicon* [online]. autolexicon.net, 2021 [cit. 2021-02-26]. Dostupné z: https://www.autolexicon.net/obr_clanky/cs_priklon_rejdove_osy1.jpg

[34] Poloměr rejdu. In: *Autolexicon* [online]. autolexicon.net, 2021 [cit. 2021-02-26]. Dostupné z: https://www.autolexicon.net/obr_clanky/cs_polomer_rejdu1.jpg

[35] Záklon rejdové osy. In: *Autolexicon* [online]. autolexicon.net, 2021 [cit. 2021-02-26]. Dostupné z: https:/www.autolexicon.net/obr_clanky/cs_zaklon_rejdove_osy1.jpg

[36] Úhel sbíhavosti. In: *Autolexicon* [online]. autolexicon.net, 2021 [cit. 2021-02-26]. Dostupné z: https://www.autolexicon.net/obr_clanky/cs_sbihavost_kol1.jpg

[37] Motor v náboji zadního kola. In: *Give.cz* [online]. GIVE Group, 2019 [cit. 2021-02-13]. Dostupné z: https://michal-sadecky.static.s4.upgates.com/3/35c9b389e4ec31-e99110b331f555c9fb14f6d0e4d3f4e3.jpg

[38] HUSÁK, Pavel. *Motocykly s dvoudobým motorem: Konstrukce, výpočty a stavba motocyklů*. Brno: Computer press, 2011. ISBN 978-80-251-2280-8.

[39] Tříkolové motocykly. Základní rozdíl mezi tříkolkou a tříkolkou. *Cfrs* [online]. cfrs.ru, 2020 [cit. 2021-01-31]. Dostupné z: https://cfrs.ru/cs/the-related-machines/trehkolesnye-motocikly-principialnaya-raznica-mezhdu-triciklom-i.html

[40] DRAHOVZAL, Lukáš. Jaký typ motoru je nejlepší. *Akumo* [online]. Mělník: AKUMO.cz [cit. 2021-02-21]. Dostupné z: https://www.akumo.cz/valka-stredovych-motoru-velky-test-elektrokol

[41] Odpružená sedlovka. In: *Bikero* [online]. bikero.cz, 2021 [cit. 2021-03-04]. Dostupné z: https://cdn.bikero.cz/images/0/fcf512040a49b589/2/max1-odpruzena-sedlovka-sport-27-2-350-mm-cerna.jpg

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

a	[mm]	Vzdálenost mezi vnitřními okraji ráfků kol (menší vzdálenost)
3D	[-]	Třírozměrné
a_b	[m/s^2]	Zrychlení při brzdění
b	[mm]	Vzdálenost mezi vnitřními okraji ráfků kol (větší vzdálenost)
B	[F]	Síla působící na vozidlo při brzdění
D	[mm]	Průměr ráfku zadního kola
d_r	[mm]	Průměr okraje ráfků
F	[N]	Síla působící na vozidlo při akceleraci
F_v	[N]	Výsledný vektor síly
F_y	[N]	Boční síla vznikající dostředivou silou
F_z	[N]	Radiální reakce kola
G	[N]	Tíha vozidla s maximální přípustnou hmotností.
G_p	[N]	Statické zatížení celé přední nápravy
h	[mm]	Výška těžiště nad vozovkou
l	[mm]	Rozvor kol
m	[kg]	Hmotnost vozidla plus maximální přípustná hmotnost
T	[Nm]	Točivý moment
M_σ	[Nmm]	Celkový vratný moment vlivem příklonu
$M_{\tau(y)}$	[Nmm]	Moment boční síly
n	[s^{-1}]	otáčky kola při maximální rychlosti
$n´_k$	[mm]	Průmět závleku kolmo k rejdové ose
n_k	[mm]	závlek
P	[W]	Potřebný výkon elektromotoru
p	[mm]	Vodorovný průmět vzdálenosti těžiště od osy předního kola
r	[mm]	Poloměr rejdu
r_2	[mm]	Rameno mající vliv na vratný moment kola
r_d	[mm]	Vzdálenost středu kola od vozovky
s	[m]	Maximální brzdná dráha
s_0	[m]	Dráha, kterou ujede vozidlo za reakční dobu člověka
t	[s]	Čas, za který vozidlo dosáhne maximální rychlosti.
t_r	[s]	Reakční doba člověka při brzdění
v	[m/s]	Maximální rychlost

v_o	[m/s]	Počáteční rychlost vozidla
Z	[N]	Statické zatížení zadního kola
Z_B	[N]	Síla působící na vozidlo při akceleraci
γ	[°]	Úhel odklonu kola
δ_o	[°]	Úhel sbíhavosti
δ_s	[°]	Střední úhel rejdu
σ	[°]	Úhel příklonu rejdové osy
τ	[°]	Záklon rejdové osy
ω	[rad/s]	Úhlová rychlost zadního kola