

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

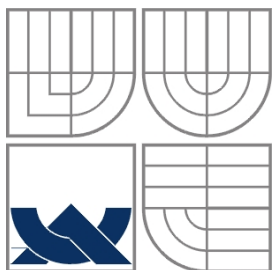
NÁVRH RÁMU HPV

DIPLOMOVÁ PRÁCE
DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

PETR ŠMAK

BRNO 2008



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO
INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

NÁVRH RÁMU HPV

HPV

DIPLOMOVÁ PRÁCE
DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

PETR ŠMAK

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

DOC. ING. ZDENĚK KAPLAN, CSC.

BRNO 2008

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Název práce:	Návrh rámu HPV
Název práce anglicky:	HPV
Vedoucí:	doc. Ing. Zdeněk Kaplan, CSc.
Ústav:	Ústav automobilního a dopravního inženýrství
Typ práce:	diplomová práce

Cíle, kterých má být dosaženo:

Vypracujte návrh rámu silničního vozidla poháněného lidskou silou.

DP bude obsahovat:

- Úvod do problematiky HPV
- Výběr koncepce HPV
- Konstrukční návrh rámu
- Pevnostní kontrolu rámu
- Výkres sestavy, výkres rámu, případně další výkresy
- Závěr a kritické zhodnocení výsledků práce

Charakteristika problematiky úkolu:

DP je věnována konstrukčnímu návrhu rámu silničního vozidla poháněného lidskou silou.

Základní literární prameny:

Abbott, A., V., Wilson, D., G.: Human-Powered Vehicles

ANOTACE

Diplomová práce se zabývá návrhem rámu vozidla poháněného lidskou silou (HPV). Vlastnímu návrhu předchází široká analýza dané problematiky. Práce popisuje historický vývoj pozemní dopravy, zaměřený především na historii cyklistiky, jízdních kol a ostatních, méně rozšířených, vozidel poháněných lidskou silou. Uvedeny jsou přednosti a nedostatky dopravy lidí na těchto ekologických vozidlech, přehled nejrozšířenějších koncepcí, včetně výhod a nevýhod. Zvolena byla koncepce tříkolového vozidla, se dvěma řízenými koly vpředu a jedním poháněným kolem vzadu. Důraz je kladen na širokou použitelnost vozidla, ergonomii, jednoduchost rámu a možnost použití běžných cyklistických komponentů. Byl vytvořen 3D model rámu a sestavy vozidla, který byl pevnostně zkontrolován metodou MKP.

KLÍČOVÁ SLOVA

HPV, vozidlo poháněné lidskou silou, lehokolo, tříkolka, cyklistika, pozemní doprava

ANNOTATION

Design of frame of a human powered vehicle (HPV) is the aim of this diploma thesis. Wide analysis precedes design process. The thesis describes historical development of land transportation, especially history of cycling, bicycles and other human powered vehicles, which are not so extended. Preferences and deficiencies of transportation by these ecological vehicles are shown. The thesis includes summary of most widespread and best-known conceptions, including their advantages and disadvantages. Conception of three-wheeled vehicle was selected. It has two steered front wheels and one powered rear wheel. The accent is putted on wide efficiency, ergonomics, simplicity of vehicle's frame and possibility of using common cycling components. 3D model of frame and assembly of vehicle was created. This model was checked by FEM computation.

KEY WORDS

HPV, Human Powered Vehicle, recumbent bike, trike, cycling, land transportation

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

ŠMAK, Petr. Návrh rámu HPV. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2008. 84 s. Vedoucí diplomové práce Doc. Ing. Zdeněk Kaplan, CSc.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji tímto, že jsem předkládanou diplomovou práci vypracoval samostatně, pod vedením vedoucího diplomové práce Doc. Ing. Zdeňka Kaplana, CSc. za použití uvedené literatury.

V Brně dne 23. 5. 2008

Petr Šmak

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych na tomto místě poděkoval Doc. Ing. Zdeňku Kaplanovi CSc. za důvěru projevenou v tento projekt a podporu při jeho řešení a zpracování.
Chtěl bych také poděkovat celé své rodině a všem svým blízkým za podporu při studiu.

OBSAH

OBSAH	9
ÚVOD.....	12
1 OBJASNĚNÍ ZÁKLADNÍCH POJMŮ	13
1.1 HPV	13
1.2 IHPVA.....	14
1.3 EPV.....	14
1.4 Lehokolo	14
2 HISTORICKÝ PŘEHLED	15
2.1 Historie pozemní dopravy	15
2.2 Historie jízdního kola	16
2.3 Historie lehokol	20
2.3.1 První lehokola.....	20
2.3.2 Charles Mochet a Velocar	21
2.3.3 Znovuobjevení lehokola	23
2.3.4 Historie lehokola u nás	24
3 ZNAKY JÍZDY NA VOZIDLECH POHÁNĚNÝCH LIDSKOU SILOU	25
3.1 Zdravotní přínos	25
3.2 Ohleduplnost k životnímu prostředí a srovnání s automobilovou dopravou	25
3.3 Cenová výhodnost	26
3.4 Cykloturistika a cestovní ruch	26
3.5 Zranitelnost cyklistů a chování v provozu	27
4 TYPY LEHOKOL	29
4.1 Jednostopá HPV.....	29
4.1.1 Rozdělení podle výšky sezení	29
4.1.2 Rozdělení podle polohy středu šlapání	30
4.2 Tříkolky	32
4.2.1 Porovnání tříkolek	33
4.3 Ostatní	34
5 JÍZDA NA LEHOKOLE	36
4.1 Pozice na lehokole	36
5.2 Řízení	37
5.2.1 Horní řízení	37

5.2.2 Spodní řízení	38
5.2.3 Přímé řízení	38
5.2.4 Nepřímé řízení	38
5.3 Pohon a převody	38
5.3.1 Pohon zadního kola	39
5.3.2 Poháněné přední kolo	39
5.4 Aerodynamika	39
5.5 Srovnání s běžným kolem	40
5.5.1 Přednosti lehokol	40
5.5.2 Zápory lehokol	40
6 VOLBA KONCEPCE	42
6.1 Výběr z existujících koncepčních řešení	42
6.1.1 Popis existujících řešení	42
6.2 Zvolená koncepce	43
6.3 Legislativa	44
6.4 Ergonomie	45
7 JÍZDNÍ ODPORY	46
7.1 Přehled jízdních odporů HPV	47
7.2 Valivý odpor	47
7.3 Vzdušný odpor	48
7.3.1 Šikmé proudění	50
7.3.2 Kompromis tvarování	51
7.3.3 Drsnost povrchu	51
7.3.4 Systémové vibrace	51
7.4 Odpor stoupání	51
7.5 Odpor zrychlení	52
7.6 Mechanické ztráty	52
7.7 Grafické porovnání jízdních odporů	52
8 VLASTNÍ KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ	56
8.1 Realizace vlastní koncepce	56
8.2 Rám	57
8.3 Sedadlo a nastavitelnost	58
8.4 Kola	59

8.5 Brzdy.....	59
8.5 Převody a řazení.....	60
8.7 Řízení.....	62
8.6.1 Ackermannova geometrie řízení.....	63
8.6.2 Lichoběžník řízení.....	65
8.6.3 Geometrie řízených kol.....	65
8.7 Ostatní doplňky vozidla.....	67
9 JEDNODUCHÝ VÝPOČET JÍZDNÍCH MEZÍ.....	68
9.1 Určení těžiště soustavy.....	68
9.2 Silový rozbor na rovině.....	69
9.2.1 Se zavazadly.....	69
9.2.2 Bez zavazadel.....	70
9.3 Výpočet maximální stoupavosti.....	70
11 PEVNOSTNÍ KONTROLA RÁMU.....	73
11.1 Materiál rámu.....	73
11.2 Kontrola rámu.....	73
ZÁVĚR.....	78
POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE.....	79
SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ.....	82
SEZNAM PŘÍLOH.....	84
Příloha 1: Technické požadavky na jízdní kola, potahová vozidla a.....	84
ruční vozíky.....	84
Příloha 2: Výkresová dokumentace.....	84
Příloha 3: CD.....	84

ÚVOD

Asi každý z nás zná běžné jízdní kolo. Jedná se o jeden z nejrozšířenějších a nejdostupnějších dopravních prostředků na světě. Provoz kola je ekologický, v porovnání s ostatními druhy dopravy téměř nezatěžuje životní prostředí. Kolo je dnes však chápáno spíše jako prostředek sportování a relaxace. Jako dopravní prostředek, například pro každodenní dojíždění do zaměstnání, škol a podobně, se ale využívá relativně málo. Přitom jde o jeden z nejlépe využitelných prostředků dopravy na krátké vzdálenosti. Výjimkou jsou v dnešní době rozvojové země, kde je jízdní kolo stále velmi podstatným a důležitým dopravním prostředkem. I když i zde dochází s postupným rozvojem k rozšiřování motorizace. V rozvinutých zemích jsou to například některé ze západoevropských měst, která podporují cyklistiku a přispívají tak k celkovému ozdravení života ve městech.

Existují různá provedení bicyklů určená pro specifická použití, všechna ale vychází z koncepce známé již od druhé poloviny 19. století. Vinou několika faktorů se odlišná provedení nikdy příliš nerozšířila. Právě těmi odlišnými vozidly, která podobně jako běžná jízdní kola pohání člověk pomocí svých svalů, se zabývá tato práce. Ve světě, ale i u nás, se pro označení vozidel poháněných lidskou silou vžilo označení HPV (z anglického Human Powered Vehicle). Pozemní vozidla poháněná lidskou silou se česky označují „lehokolo“ případně „lehociped“, anglicky Recumbent Bike. Od běžného „vzpřímeného“ kola se liší polohou jezdce při jízdě. Jezdec sedí v sedačce, která podpírá celou sedací část jeho těla a záda. Toto řešení přináší jak výhody, tak nevýhody. Mezi výhody můžeme zařadit aerodynamičtější polohu jezdce, lepší prokrvení organismu jezdce, menší zatěžování zad a horních končetin. Největší nevýhodou je pak obtížnější jízda do kopce, na nezpevněném povrchu a v terénu.

Pro seznámení s problematikou HPV předchází samotnému návrhu široká analýza, obsahující popis historického vývoje lehokol a přehled nejrozšířenějších koncepcí. Z existujících řešení byla vybrána koncepce tříkolového vozidla, se dvěma řízenými koly vpředu a jedním poháněným kolem vzadu. Při návrhu rámu vozidla byl kladen důraz na jednoduchost a pohodlí jezdce. Vozidlo by mělo být široce využitelné, jak pro zábavu, tak také pro každodenní používání. Lehokola obecně jsou určena pro jízdu na asfaltu a zpevněném povrchu. Nejsou určena pro jízdu v terénu. Proto není nevýhoda třech stop a širšího rozchodu tak podstatnou, jak by se na první pohled mohlo zdát. Největší výhodou tohoto řešení je jeho stabilita.

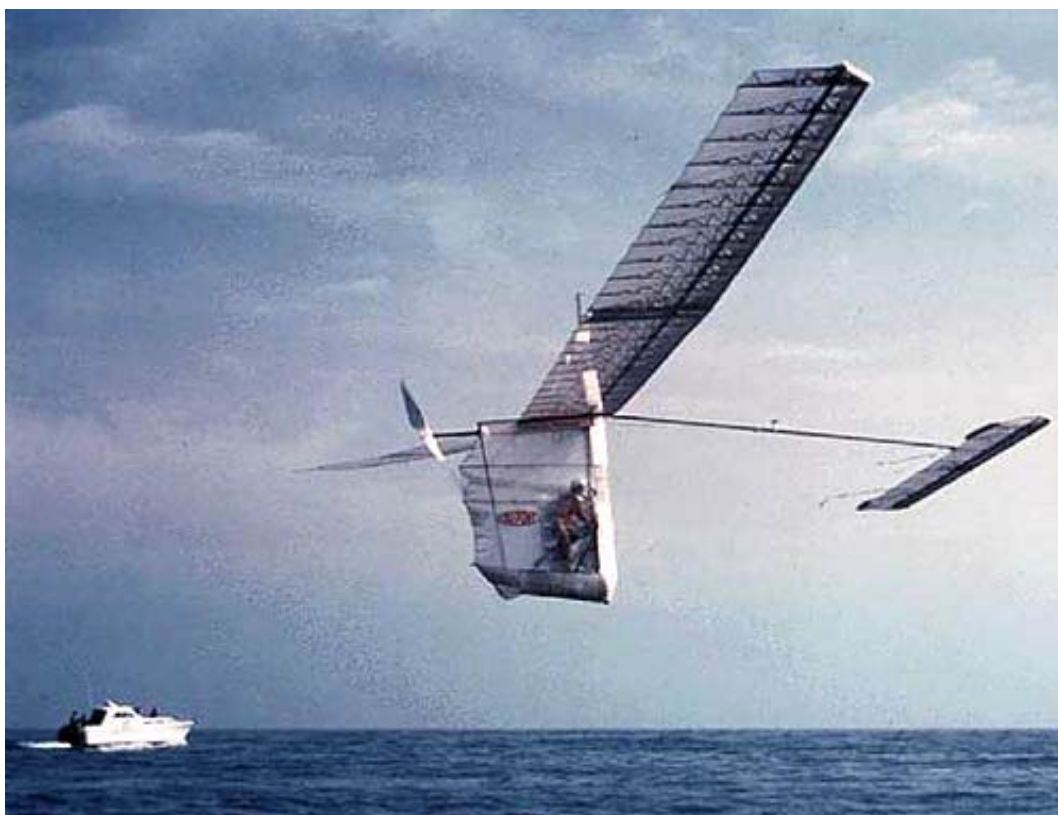
1 OBJASNĚNÍ ZÁKLADNÍCH POJMŮ

Kapitola obsahuje krátké objasnění pojmů, které nejsou všeobecně známé a se kterými se dále pracuje.

1.1 HPV

Human powered vehicle (zkráceně HPV) je anglické označení vozidel poháněných lidskou silou. Tato zkratka je rozšířena na celém světě, včetně ČR. Neoznačuje jen pozemní vozidla, ale všechny dopravní prostředky poháněné silou lidských svalů, pohybující se po zemi, na vodě, pod vodou i ve vzduchu. Na světě je nepřeborné množství různých konstrukcí, některé vyráběné profesionálně, sériově, jiné jako jednotlivé kusy v domácích podmínkách. Pohon obstarávají ruce, nohy nebo kombinace obojího.

Na ukázkou nejsložitější konstrukce HPV je uveden obrázek 1.1. The Gossamer Albatross, první pedolet (letadlo poháněné lidskou silou), který přeletěl Kanál LaManch. Let trval okolo tří hodin, uskutečnil se 12. června 1979. Konstruktorem byl Paul B. MacCready, autor prvního funkčního pedoletu The Gossamer Condor.



Obr. 1.1 The Gossamer Albatross, [7]

1.2 IHPVA

IHPVA (The International Human Powered Vehicle Association) je organizace zabývající se problematikou HPV. Svou činnost započala v USA v 70. letech 20. století. Zabývá se zejména designem a vývojem vozidel HPV, pořádá soutěže, zveřejňuje oficiální rekordy a vydává publikace.

1.3 EPV

Někdy se můžeme také setkat s termínem EPV – ekologicky poháněná vozidla. Jedná se o vozidla šetrná k životnímu prostředí, využívající kromě pohonu lidskou silou také například různé kombinace elektrických pohonů.

1.4 Lehokolo

V naší zemi se pro označení „netradičních“ jízdních kol (tedy pozemních HPV) vžil název lehokolo, někdy také lehociped. Anglické označení je recumbent bike nebo jen bent. Tyto stroje se na první pohled od běžných kol liší provedením rámu, ale hlavně odlišnou pozicí jezdce při jízdě. Právě těmito vozidly se tato práce zabývá, proto budeme výraz HPV spojovat právě s těmito vozidly.

2 HISTORICKÝ PŘEHLED

Tato kapitola přináší stručný přehled vývoje pozemní dopravy a historicky významných vynálezů, které ji ovlivnily, od samých počátků po současnost. Popsán je vývoj jak motorizovaných dopravních prostředků, které jsou dnes pro dopravu lidí nejpoužívanější, tak vývoj lehokol a běžných bicyklů od prvních skic a plánů do podoby, kterou známe dnes.

2.1 Historie pozemní dopravy

Jediným přirozeným pohybem člověka je chůze, případně běh. Před příchodem prvních vynálezů, které lidstvu usnadnily a urychlily pohyb a umožnily transport těžkých nákladů po zemi, byli lidé odkázáni jen na vlastní sílu a vzdálenosti, které mohli překonávat, spolu s objemem nákladu, tak byly značně omezeny.

Prvním takovým vynálezem v historii byly sáně. První zmínky o dřevěných saních pocházejí z období asi 7000 let p. n. l. z arktických oblastí severní Evropy. Byly využívány při lovu a rybolovu, usnadnily přesun nákladu po zmrzlém povrchu s využitím relativně malé síly. Později bylo pro tahání saní využíváno psích spřežení. Od 4. tisíciletí p. n. l. byl k tažení těžkých nákladních saní využíván domestikovaný dobytek.

Dalším přirozeným krokem ve vývoji byl vynález kola, Mezopotámie 3000 p. n. l. Nejprve šlo o těžké vozy se dvěma páry plných dřevěných kol, vyrobených z jednoho kusu dřeva nebo ze tří spojených fošen. Doprava byla pomalá, ale umožnila přesun těžkých nákladů. Zrychlení dopravy přinesl až záprah koní a lehčí loukoťová (paprsková) kola – období kolem 2000 p. n. l. v Mezopotámii. Vozíky byly dvoukolové, vyrobené z lehkého dřeva, obruče kol byly ohýbány ze dřeva a s osou spojeny pomocí paprsků.

V období 2. století p. n. l. až 2. století n. l. vznikají v Římském impériu první dlážděné silnice, které opět ulehčují a urychlují dopravu, propojují odlehlé oblasti s centrem říše. V dalším éře došlo k velkému rozvoji zejména lodní dopravy, zatímco vývoj pozemní dopravy byl spojen převážně s výstavbou silnic.

Další technický pokrok znamenal až příchod kočárů v 16. a 17. století. Kočáry byly taženy koňmi, kabina kočáru byla na čtyřkolovém podvozku zavěšena na kožených pásech. Ty zajišťovaly odpružení kabiny vůči podvozku. Později se objevily ploché a eliptické ocelové pružiny. Kola byla paprsková, opatřená kovovými obručemi.

V roce 1769 získal anglický strojník James Watt patent na parní stroj s kondenzátorem odděleným od válce motoru a pomocnou vakuovou pumpou. Tento vynález znamenal skutečný průlom, odstranil nedostatky předchozích řešení a umožnil tak rozvoj průmyslu a samozřejmě také dopravy. Roku 1769 Nicolas Joseph Cugnot postavil tříkolové vozidlo poháněné svislým dvouválcovým parním motorem a stal se tak prvním, kdo využil pro pohon vozidla parní stroj. V roce 1815 začíná George Stephenson konat pokusné jízdy s první lokomotivou, v roce 1830 otevřel pravidelný provoz na trati Liverpool – Manchester. Parní železniční doprava si udržela prim v pozemní dopravě až do 20. století.

Parní stroje znamenali technickou revoluci, ale z důvodů velkých rozměrů a nákladů na stavbu bylo jejich užití omezené. Objevují se tedy motory spalující plyn (svítiplyn). První patent na vozidlo poháněné plynovým spalovacím motorem získává Issac de Riva. Za tvůrce prvního použitelného plynového motoru je považován J. J. Etienne Lenoir, který v roce 1860 sestrojil dvoudobý motor s šoupátkovým rozvodem na svítiplyn se zapalováním elektrickou jiskrou. V roce 1877 dostal Nikolas August Otto patent na moderní čtyřdobý spalovací motor. Vynálezcem dvoudobého spalovacího motoru je skotský inženýr Douglas Clerk, rok 1878.

První tříkolové vozidlo poháněné spalovacím motorem vyjelo z dílny Karla Benze roku 1885, patent získal o rok později. Roku 1885 zastavěl Gottlieb Daimler spalovací jednoválcový motor do dřevěného rámu a vyrobil tak první motocykl. Roku 1888 vynalezl John Boyd Dunlop první vzduchem plněnou pneumatiku. V tomto období vznikají také první použitelné stroje poháněné lidskou silou – velocipedy, které se dále vyvíjí do nám dobře známé podoby. Cyklistika zažívá zlaté období, na rozdíl od prvních motorových vozidel je jízdní kolo levné a dostupné velkému množství lidí.

Na konci 19. století bylo vynalezeno vše potřebné k tomu, aby se automobil s motocyklem mohli dále vyvíjet do dnešní podoby a během 20. století dobýt svět. K prvnímu rozvoji motorismu dochází v meziválečném období a poté po druhé světové válce, kdy se automobil stává měřítkem úspěchu. Automobily postupně nahrazují a vytlačují ostatní druhy dopravy.

2.2 Historie jízdního kola

O prvenství vynálezu kola se dodnes vedou spory, přivlastňuje si ho hned několik národů. Pravděpodobně první lidskou silou poháněné pozemní vozidlo postavil v roce 1418 Giovanni Fontana. Jednalo se o čtyřkolové vozidlo, kde přenos síly na kola obstarával svázaný provaz.

Roku 1974 byla při renovaci spisu Codex Atlanticus Leonarda da Vinciho objevena skica stroje, který se svou konstrukcí podobá dnešnímu jízdnímu kolu, obrázek 2.1. Skica pochází z roku 1493, její autorství a původ jsou však sporné. Kolo bylo poháněno pomocí klik a síla byla přenášena na zadní kolo řetězem.



Obr. 2.1 Skica kola, Codex Atlanticus, 1493, [11]

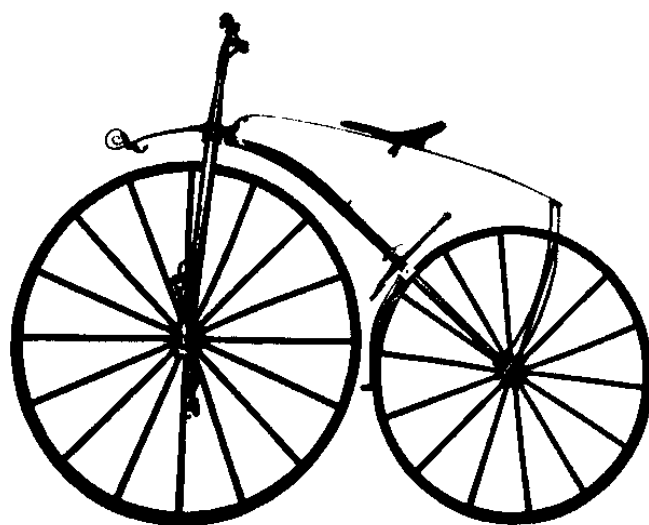
První jednoduché stroje poháněné lidskou silou se objevují až v 19. století. Rám je dřevěný a konstrukcí, které známe, se podobá jen vzdáleně – pohybuje se odražením od země a řídí se předním kolem. Roku 1817 bylo takové odraždlo (obrázek 2.2) sestrojeno v Německu Baronem Karl Draisem von Sauerbronn. Označuje se proto Draisienne – drezína. Setkáme se také s anglickými výrazy running machine a dandy horse. Drais tento stroj sestrojil, aby si ulehčil a zrychlil pohyb v zahradách a parku. Použití odraždla bylo omezeno právě na takové prostředí, kde kvalitní cesty umožnily jízdu. Na běžných komunikacích odraždla jezdit nemohla.



Obr. 2.2 Drezína Barona Draise, [12]

Dalším krokem k dnešnímu bicyklu bylo použití klik a pedálů pro přenos síly od lidských nohou. V 60. letech 19. století tak vznikl velociped (Velocipede), známý hlavně pod jménem Bone Shaker (volně přeloženo kostitřas), na obrázku 2.3. Stroj měl tuhý, stále ještě dřevěný rám a ocelová kola. Kliky s pedály byly pevně spojeny s osou předního kola – tzv. přímý převod.

Velikost předního kola se pro zvýšení rychlosti postupně zvětšovala (z důvodu přímého převodu, který byl velmi lehký). V 70. letech 19. století se objevila první celooceľová konstrukce. Spolu s velkým předním kolem tak velociped získal svůj typický vzhled a vzniklo „vysoké kolo“. Díky dlouhým drátům výpletu předního kola a plné gumové pneumatice se kolo stalo mnohem pohodlnější. Vinou vysokého těžiště však mělo špatnou stabilitu, hůře se nasedalo a sesedalo.



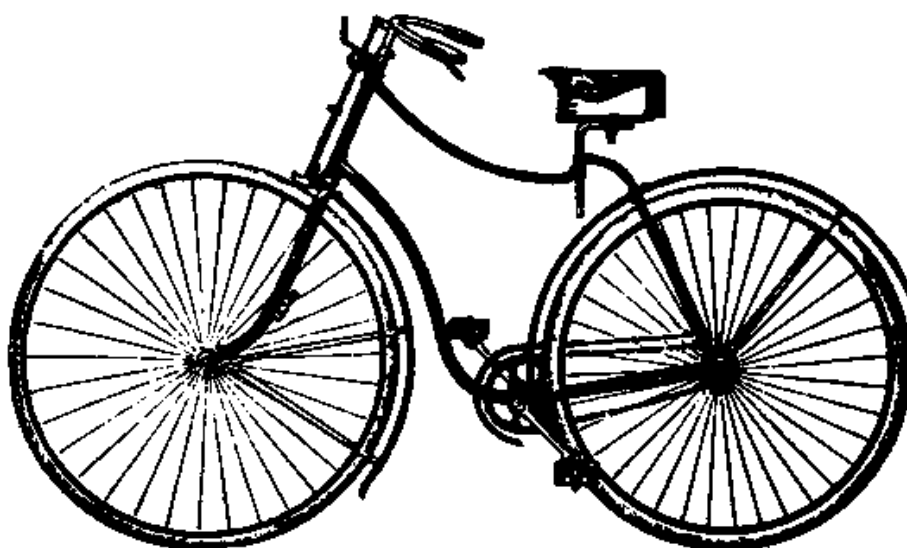
Obr. 2.3 Bone Shaker, [13]



Obr. 2.4 Vysoké kolo, [14]

Konec 19. století přinesl velký technický pokrok a ten se nevyhnul ani cyklistice. V 70. letech se objevují a začínají objevovat sériově produkovaná kuličková ložiska a vznikají první účinnější brzdy pro velocipedy. V roce 1878 vzniká v Anglii první vícerychlostní náboj pro pohon předního kola velocipedu. Angličan Henry J. Lawson získal v roce 1879 patent na bicykl s řetězem poháněným zadním kolem. Objevují se první kola pro ženy - tříkolky s vysokými koly. Roku 1884 uskutečnil Thomas Stevens první transkontinentální přejezd na velocipedu, přešel ze San Francisca do Bostonu. Irský veterinář John Boyd Dunlop v roce 1888 vytvořil první vzduchem plněnou pneumatiku pro šlapací tříkolku svého syna. Zvýšil se tak komfort a snížila hlučnost jízdy. Tyto inovace, masové produkce a snížení cen tak umožnily jízdě kolu proniknout mezi široké vrstvy.

Roku 1885 angličan John Kemp Starley vyrobil první moderní kolo – Rover Safety Cycle – tzv. bezpečné kolo (obrázek 2.5). Oproti vysokému kolu byla pozice jezdce a jízda samotná skutečně bezpečná. Chybějící sedlová rámová trubka byla doplněna později. V 90. letech 19. století tak vzniká kolo, které známe dodnes. Kolo je lehčí než jeho předchůdci, má dvě stejně velká kola. Přenos síly na zadní kolo je řešen řetězem, díky ozubeným kolům je převod stejný jako u vysokého kola. Těžiště se snížilo, čímž se kolo stalo stabilnějším. Objevují se první cyklistické závody. Vznikají nová technická řešení, která usnadňují jízdu a kolo se dále rozvíjí až do dnešní podoby. V roce 1903 anglická firma Sturmey Archer vyrobila první třírychlostní zadní náboj (planetová převodovka), toto řešení ve světě dominovalo až do 50. let, kdy Tullio Campagnolo představil lankem ovládanou přehazovačku s paralelogramem. Kola přebírají moderní technická řešení i z jiných oblastí. Postupně vznikají nové typy kol pro specifická použití. Dnes známe kola silniční, horská, krosová, treková, dětská, městská, skládací a mnohé další. Všechny moderní konstrukce však vychází z návrhu více než 100 let starého. Veškerý vývoj se tak týká především materiálů rámu a zlepšováním komponent, avšak poloha jezdce se nemění. Objevily se i odlišné stroje, nicméně k jejich velkému rozšíření vinou několika faktorů ale nedošlo. Právě těmito vozidly se budeme zabývat dále.



Obr. 2.5 Rover, Safety Bicycle, [13]

Mezinárodní cyklistická unie UCI (Union Cycliste Internationale) byla založena roku 1900, sídlí ve švýcarském městě Aigle. Řídí cyklistický sport na světové úrovni, organizuje závody a zabývá se rozvojem cyklistiky.

Moderní jízdní kolo bylo zpočátku relativně levným, dostupným dopravním prostředkem, proto se rychle rozšířilo. S rozvojem motorismu však svou pozici ztrácí. Lidskou sílu v dopravě ve vyspělých zemích postupně vytlačily stroje. V dnešní době je tak jízdní kolo bráno spíše jako jeden z nejoblíbenějších prostředků relaxace, sportovního vyžití a turistiky. I nadále ale existuje velké množství lidí, kteří kolo používají pro každodenní dopravu do zaměstnání, škol, nákupy apod. Masové používání jízdních kol, rikšů a podobných strojů můžeme ještě vidět v rozvojových zemích, i tady jsou ale postupně nahrazovány mopedy a malými motocykly. Z rozvinutých zemí, ve kterých se bicykl těší stále velké oblibě jako dopravní prostředek každodenního použití, bychom mohli jmenovat například Holandsko.

2.3 Historie lehokol

2.3.1 První lehokola

I když lehokola (recumbent bikes) nejsou tak rozšířena a všeobecně známa jako běžná, vzpřímená kola, je jejich historie podobně bohatá a přibližně stejně dlouhá. Lehocipedy byly známé již v první polovině 19. století, např. Macmillanův Velociped. První lehokola podobná těm dnešním vznikají s příchodem řetězového převodu. Okolo roku 1896 bylo v Belgii postaveno lehokolo M. Challandem, obrázek 2.6. Stroj se podobá některým z dnešních konstrukcí. Sedí se nad zadním kolem v sedadle, které podpírá i část zad.



Obr. 2.6 *The Horizontal Bicyclette normale*, obrázek z „*La Nature*“, říjen 1896, [16]

V roce 1896 bylo ve Spojených Státech patentováno lehokolo poháněné rukama i nohama zároveň. Po první světové válce vyrobil švýcarský inženýr Paul Jaray (známý svou prací na Zeppelinech) lehokolo J-Rad se zvláštním lineárním pohonem, obrázek 2.7. Síla je na zadní kolo přenášena z pák pomocí lanek, změna převodu se děje změnou páky

šlapání, tzn. šlapáním do pedálů s jinou vzdáleností od středu otáčení páky (k dispozici jsou tři páry pedálů).

Později ve 20. letech minulého století se velmi oblíbenými stávají kapotovaná vozidla poháněná šlapáním. Příkladné kapotáže se objevily i u vzpřímených závodních kol. Po závodě kapotovaných kol v Berlíně v roce 1914, kde měl jeden závodník smrtelnou nehodu, změnila UCI pravidla a výslovně zakázala veškerá přídatná aerodynamická zařízení.



Obr. 2.7 J-Rad, 1921, [18]

2.3.2 Charles Mochet a Velocar

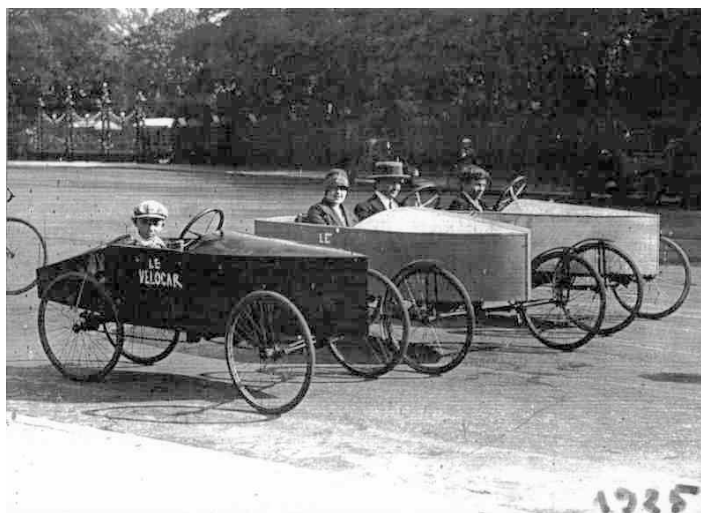
Tato část popisuje jednu z nejvýznamnějších osobností světa lehokol a události, které uvrhly lehokola na dlouhou dobu v zapomnění.



Obr. 2.8 Charles Mochet, [19]

Charles Mochet vyráběl ve Francii před 1. světovou válkou malé, velice lehké automobily. Pro svého syna se rozhodl postavit (z důvodu „nebezpečnosti“ klasického

kola) šlapací čtyřkolku. Ta snížila nebezpečí pádu, navíc byla velmi rychlá. Malý George s ní dokázal předjet všechny ostatní děti na běžných kolech. To brzy vedlo k prvním poptávkám po těchto vozidlech. Charles Mochet se tak rozhodl zanechat výroby automobilů a začal se věnovat naplno konstrukci vozidel se šlapacím pohonem, nazval je Velocar. Vozidla byla čtyřkolová, dvousedadlová a měla i zavazadlový prostor. Byla kapotovaná materiálem Triplex, vybavena diferencíálem a třemi rychlostmi. Finanční situace v poválečné francii napomohla prodeji těchto vozů, klasický automobil byl pro většinu lidí nedostupným. Velocary byly velmi rychlé a užívaly se dokonce i jako vodící vozy při cyklistických závodech. V parku Borely v Marseille dnes mají k dispozici 30 Velocarů, které půjčují na ekologickou projížďku parkem. I po tolika letech jsou tato vozidla stále použitelná.

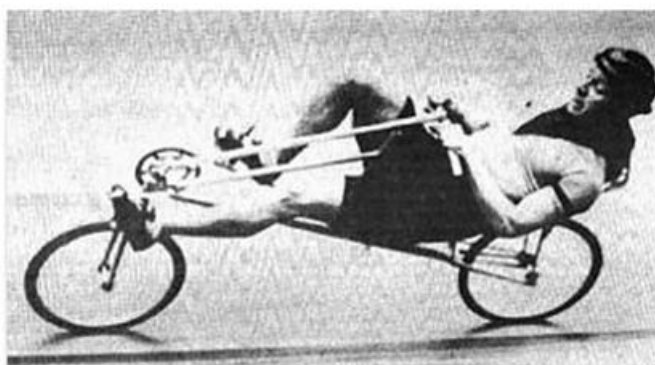


Obr. 2.9 Velocary, [20]

Nutnost pomalého projíždění zatáček čtyřkolého vozidla přiměla Mocheta Velocar rozdělit na dvě části. Vzniklo tak jednostopé vozidlo – lehokolo Velocar, se kterým se dalo závodit. Zpočátku byl pro něj ale problém získat jezdce, málokomu se totiž chtělo závodit na lehokole. Francis Faure rozhodně nepatřil k závodnické špičce, ale byl první, kdo projevil zájem o závodění na lehokole. Faure využil výhod lehokola a postupně se stal na klopené dráze na trati 5000 m neporazitelným. Mochetovy stroje byly ale úspěšné i na silnicích, v roce 1933 vyhrál Paul Morand závod Paris-Limoges.

Po těchto úspěších se Mochet spolu s Faurem pokusili uspět v hodinovce. V roce 1932 vnesl dotaz k UCI, zda případný rekord ustanovený na Velocarů bude platný. UCI odpověděla, že Velocar nemá žádná přídatná aerodynamická zařízení a není tedy důvod ho zakázat (podle platných pravidel z roku 1914). Platný rekord byl starý téměř 20 let, ustanovil ho Švýcar Oscar Egg, který za 60 minut ujel vzdálenost 44,247 km. Historickým dnem se stal 7. červenec 1933, kdy Francis Faure ujel na Velocarů za hodinu 45,055 km. Jeho úspěch na sebe upoutal spoustu pozornosti, vyvolal však také mnoho pochybností, zda je Velocar skutečně kolem, je-li rekord platný a podobně. Bylo třeba zaujmout stanovisko, zvláště když v srpnu téhož roku Maurice Richard na vzpřímeném kole překonal rekord Egga, za Faurem však zaostal. Rozhodnout se mělo na 58. kongresu UCI v únoru 1934. Delegáti byli nejednotní, někomu se Velocar líbil, jiní ho však zatracovali. Probíraly se různé otázky, mnohdy netechnického charakteru. Ptali se,

jak je možné, aby druhořadý cyklista držel nejvyšší rekord. Je možné, že konečné rozhodnutí ovlivnila lobby výrobců a profesionálních cyklistů. Pokusy o nové rekordy by se dále uskutečňovaly na lehokolech, všechny závody by vyhrávala lehokola a bylo by jen otázkou času, kdy by nahradila kola vzpřímená. 1. dubna 1934 technická komise sestavená UCI předefinovala, co lze považovat za kolo a co ne. Faureho rekord byl zařazen do kategorie – zvláštní rekordy na strojích poháněných lidskou silou bez
přídavných aerodynamických zařízení.
Charles Mochet zemřel na konci roku 1934, k jeho smrti pravděpodobně přispělo také rozhodnutí UCI.



Obr. 2.10 Francis Faure při překonání rekordu, 1933, [21]

Platná pravidla UCI v roce 1914:

"Jakékoliv stroje jsou legální, ať jsou nebo nejsou vybaveny přehazovačkou, volnými koly, za předpokladu, že jsou poháněny pouze lidskou silou, že nejsou opatřeny zařízeními, které by bylo určeno ke snížení odporu vzduchu a že nepřesahují délku 2 metrů a šířku 75 cm. Týká se to strojů pro jednoho jezdce, který zabírá jeden jízdní pruh." Zdroj [17]

Pravidla UCI vydaná v roce 1934:

Vzdálenost předního konce sedla může být maximálně 5 cm za osou kliky. Vzdálenost mezi osou kliky a zemí může být minimálně 24 cm a maximálně 30 cm. Vzdálenost vertikální osy procházející středem předního kola a osy kliky může být mezi 54 - 65 cm.

Vzdálenost vertikální osy procházející středem zadního kola a osy kliky může být mezi 35 - 50 cm.

Jakýkoliv pohon využívající síly rukou je zakázán. Používání krytů nebo jiných prostředků určených ke snížení odporu vzduchu je zakázáno. Podle [17]

Tyto podmínky nedokáže žádné z lehokol splnit. Rozhodnutí UCI tak „zakonzervovalo“ podobu bicyklu neměnnou až do dnešní doby. Jiné konstrukce se nikdy významně nerozšířily. Proto jezdíme na kolech, které jako první zkonstruoval Angličan J. K. Starley v roce 1885. Kdyby UCI v roce 1934 rozhodla jinak, možná bychom jezdily na zcela odlišných kolech a na vzpřímená kola se dívali tak, jako se dnes pohlíží na lehokola.

2.3.3 Znovuobjevení lehokola

Aby lehokolo bylo použitelné na běžných silnicích, je důležité mít k dispozici široký rozsah převodů. Začátky moderního HPV spadají do počátku 70. let minulého století, kdy

byly systémy řazení už běžnou záležitostí, jsou spojovány s profesorem Davidem Gordonem Wilsonem, působícím v USA. Známý jsou především jeho modely Avatar. V 70. letech vzniká IHPVA a následně se pořádají se první závody. Objevují se nové konstrukce pro každodenní použití i pro co nejlepší výsledky na závodních tratích. Dnešní stav na poli lehokol ukazuje podrobněji kapitola 4.

2.3.4 Historie lehokola u nás

Lehokolo na našem území není nic nového. V roce 1943 vyrobil Alois Sedláček několik lehokol. Byla vybavena řazením, autor je používal pro cesty z Prahy do Jihlavy.



Obr. 2.11 Lehokola Aloise Sedláčka, [17]

V 80. a 90. letech se výrobou lehokol zabýval pan Nakládal z Brna, zasloužil se tak o rozšíření lehokol v ČR. Na jeho HPV začínal i Aleš Zemánek, jediný současný výrobce lehocipedů v ČR. Mezi dalšími se výrobou lehokol zabývala například firma Benecykl. Další firmy staví upravená kola a vozidla pro handicapované.

3 ZNAKY JÍZDY NA VOZIDLECH POHÁNĚNÝCH LIDSKOU SILOU

Ač se jízda na lehokole od jízdy na běžném kole značně liší, mají mnoho společného. Tato kapitola popisuje právě typické znaky jízdy na vozidlech poháněných lidskou silou. Jejich přínos pro člověka, srovnání s automobilovou dopravou a podobně.

Cílem není prosazovat cyklistiku (a jízdu na HPV všeobecně) za každou cenu, ale upozornit na možnost řešení spousty dnešních dopravních problémů právě pomocí jízdy na vozidlech poháněných vlastní silou. V žádném případě není odsuzována automobilová doprava. Dokonce i v životě nejzarytějších cyklistů občas nastanou situace, kdy jsou nuceni využít automobil, MHD či vlak. Nemluvě o lidech zdravotně postižených, přepravě nákladů apod. Doprava na kole tak nemůže zcela nahradit dopravu automobilovou, může ale být a někde dokonce je skutečně rovnocennou alternativou. Ve vyspělých západoevropských městech se někdy i více jak 30 % lidí přepravuje na kolech.

3.1 Zdravotní přínos

Na rozdíl od motorizovaných dopravních prostředků člověk používá k pohonu vlastní energii, což má kladný vliv na celkovou fyzickou kondici jezdce. Pravidelný rytmus šlapání příznivě ovlivňuje krevní oběh, jízda je tak vhodná jako prevence kardiovaskulárních onemocnění, kterých u dnešní populace z důvodu nedostatku pohybu neustále přibývá. Podobně je možné bojovat jízdou na kole proti obezitě, která je též čím dál častější. Může být také vhodným prostředkem rekonvalescence po určitých zraněních. Při pohybu se navíc v těle uvolňují endogenní hormony – enkefaliny a endorfiny, které zlepšují celkovou náladu. Čas strávený na kole není v žádném případě ztracený, což se nedá říct o čase, který miliony lidí stráví čekáním v přeplněných ulicích měst. Je také třeba zmínit, že jízda na HPV neprodukuje žádné škodlivé látky. Hlavně ve městech ale jezdec dochází do styku se škodlivinami produkovanými automobily. Cyklista se však, na rozdíl od lidí uzavřených v autech, pohybuje v otevřeném a větraném prostředí

3.2 Ohleduplnost k životnímu prostředí a srovnání s automobilovou dopravou

Jízda na HPV je ohleduplná k životnímu prostředí. Neprodukuje žádné plynné emise a kapalně odpady. Pevné odpady jsou oproti jiným druhům dopravy vzhledem k životnosti kol zanedbatelné, navíc jsou většinou recyklovatelné.

Znečištění ovzduší je dnes problémem osídlených oblastí – měst, kam je často sdružován i průmysl. Znečištění však způsobují kromě průmyslu i jiní činitelé, mezi nimi i doprava. Ve městech je tento problém umocněn tím, že nebezpečné látky, obsažené například ve výfukových plynech spalovacích motorů, přichází do přímého styku s lidmi a působí na ně. Stáváme se tak svědky vzniku smogu. Řešením by bylo omezení automobilové dopravy, redukce zbytečných jízd, stejně jako obsazování automobilů více osobami, než jen řidičem. Vybudování spádových parkovišť na okrajích měst. Řešením může být také zvýhodňování a upřednostňování ekologicky šetrných automobilů a vozidel.

Dalším z problémů moderních měst je prostor. Auta zabírají velký prostor a v přeplněných ulicích nejsou schopna splnit svůj prvotní úkol: rychle a pohodlně přepravit osoby. Dalšími průtahy je pak parkování automobilu. Úlohu automobilové dopravy tak může převzít městská hromadná doprava, nebo zde probíraná doprava vozidly poháněnými lidskou silou. Vždyť jízda na kole je v přeplněných ulicích jedním z nejrychlejších druhů dopravy. A to cyklista musí mezi ostatními účastníky provozu doslova kličkovat. Pokud by existovala síť cest vyhrazených jen cyklistům, byla by tato doprava bez konkurence a přivedlo by to k ní jistě spoustu nových příznivců.

Dopravní prostředky poháněné lidskou silou mají velké předpoklady pro ozdravení našich měst, jsou vhodnou alternativou k motorizované dopravě, zvláště na krátké vzdálenosti a pro každodenní použití. V našich podmínkách sice není možné celoroční použití, ale není mnoho dní, kdy by se na kole nedalo vyjet, což mohu potvrdit z vlastní zkušenosti. Pro HPV navíc existují možnosti namontování čelních krytů a částečného oplachtování, díky kterým je jízda i v horším počasí bezproblémová.

Pro rozšíření prostředků poháněných lidskou silou je však potřeba vstřícnosti ze strany vedení měst. Je třeba budovat cyklostezky a části komunikací vyhrazené cyklistům, kde by cyklista nebyl ohrožován a omezován ani motorovými vozidly ani ostatními účastníky silničního provozu (chodci, bruslaři apod.). Je třeba také vybudovat síť stojanů s možností zabezpečení kola proti krádeži, která ve většině našich měst zcela chybí.

3.3 Cenová výhodnost

Hodně lidí tvrdí, že jízda na kole nic nestojí. Není tomu tak, i když v porovnání s ostatními typy dopravy je mnohem výhodnější, porovnáváme-li cenu jednoho ujetého kilometru (tzn. všechny vynaložené náklady podělené počtem najetých kilometrů například během jednoho roku).

Již za několik tisíc korun se dá pořídit nové jízdní kolo, které je použitelné pro každodenní jízdu. Tato pořizovací cena se nám vrátí např. v podobě ušetřených peněz za MHD nebo pohonné hmoty během relativně krátké doby. K tomu navíc člověk dělá něco užitečného pro své zdraví a pro okolní prostředí. Dříve či později si pak většina lidí pořídí další výbavu v podobě speciálního oblečení apod. Nesmíme také zapomenout na povinnou a bezpečnostní výbavu – osvětlení, přilba, ... Při tom všem je pak zbytečné utratit za kolo (i když kvalitní) desítky tisíc a ujet na něm za rok jen stovky nebo desítky kilometrů (nejedná-li se o čistě sportovní či závodní použití kola). V tomto případě cenová kalkulace vynaložených prostředků na jeden ujetý kilometr překoná i některé automobily. Cena (tím myšleno také kvalita) kola a jeho komponentů by měla odpovídat očekávanému ročnímu nájezdu kilometrů. V neposlední řadě je třeba zahrnout do nákladů cenu náhradních dílů a servisu. Jízdní kola, která bez jediného zásahu sloužila dlouhá léta, jsou s příchodem moderních řadících systémů již minulostí.

3.4 Cykloturistika a cestovní ruch

Jízdní kolo je dnes považováno většinou lidí spíše za sportovní náčiní a prostředek relaxace než za dopravní prostředek (každodenní doprava do práce, škol apod.). Je ale hodně lidí, kteří se s naloženými koly vydávají i na několikátýdenní cesty po celé

republiky. Pro celkový rozvoj a rozšíření cyklistiky je tak potřebná podpora i mimo města. Od 90. let minulého století vzniká na našem území síť cyklostezek, na které jsou vynakládány dotace z různých zdrojů, např. EU. Je třeba, aby na budování cyklostezek a cyklotras bylo nahlíženo komplexně. Aby na sebe jednotlivé trasy navazovaly a bylo tak možné po těchto pro cyklisty bezpečných cestách cestovat i na větší vzdálenosti. Je třeba také vhodné napojení na trasy sousedních států a celoevropské sítě cyklostezek.

Cyklistické cesty by hlavně měli být pro cyklisty bezpečné. To znamená, že by na nich měl být nějakým způsobem omezen pohyb chodců, bruslařů. Tím není myšleno, že by měli být všichni kromě cyklistů vyhnáni, ale měli by se například pohybovat po pro ně vyznačených částech komunikace. Pro cyklistu není problémem jet po takové cyklostezce rychlostí 40 km/h i více a srážka v takové rychlosti je potom pro všechny velmi nebezpečná. Zákaz pohybu automobilů je na cyklostezkách samozřejmostí. Samozřejmě, že by se i samotní cyklisté měli chovat na těchto komunikacích bezpečně a dodržovat daná pravidla.

Síť cyklostezek by měla spojovat jak nejbližší sídla a umožnit tak každodenní dojíždění, tak by měla obsahovat trasy vhodné pro víkendové projížďky vedoucí zajímavými přírodními oblastmi, kolem historických a technických památek a měly by být k dispozici také odpovídající služby.

Cyklostezky by měly mít pevný povrch, sjízdný i za deště nebo po dešti, cesty nejvyšší kategorie (páteřové) asfaltový, stejně jako trasy důležité pro každodenní dojíždění do spádových sídel. Ostatní potom alespoň nějakým způsobem zpevněný, rovný, upravený povrch. Samostatnou kapitolou jsou chráněné oblasti a rezervace, kde musí cyklostezky odpovídat právě umístění v takové oblasti, je-li vůbec možné cyklostezku zde vybudovat. Tratěmi pro horské cyklisty se zde nezabýváme, mají totiž zcela jiné požadavky.

3.5 Zranitelnost cyklistů a chování v provozu

Doposud se tady psalo většinou o výhodách dopravy na HPV, existují samozřejmě také nevýhody. Hlavní hrozbou pro cyklisty jsou dopravní nehody. Cyklista je v silničním provozu velmi zranitelný. Při nehodách ve kterých kromě cyklisty figuruje automobil, je cyklista téměř vždy tím, který utrpí nejhorší zranění. Nezáleží na tom, zapříčinil-li, či nezapříčinil nehodu. Velmi časté jsou nehody způsobené přehlédnutím a nedáním přednosti. Ve většině případů nejsou viníky cyklisté. Cyklista má vzhledem ke své pozici v silničním provozu vyvinutější pud sebezáchovy a dá se říci, že se v provozu chová obezřetněji. Samozřejmě i cyklisté samotní zaviní mnoho nehod, často jsou ale také jen oni samotní oběťmi těchto nehod. Asi každý zažil nějaký pád z kola, když přecenil své schopnosti. Velmi často je vidět jízda po špatné straně silnice, jízda po chodníku, kde jsou ohroženi chodci. A také jízda pod vlivem alkoholu, při které se cyklisté, na rozdíl od jízdy v autě, cítí beztrestní. Řidič automobilu také snadno přehlédne cyklistu v tmavém oblečení na neosvětleném kole, v takovém případě můžeme řidiči těžko přiřknout vinu.

Z důvodů zranitelnosti je třeba udělat pro bezpečnost na kole co nejvíc, to znamená nosit přilbu, vhodné výrazné oblečení s reflexními doplňky. Kolo by mělo být vybaveno světly, reflexními plochami a samozřejmě by mělo být v perfektním technickém stavu.

O vztazích mezi motoristy a cyklisty toho bylo prodiskutováno hodně, nechci tady obhajovat cyklisty, ale právě oni jsou na silnici těmi slabšími a podle toho bychom se měli všichni chovat. Cyklista si musí být vědom své zranitelnosti a zbytečně neriskovat, měl by udělat maximum pro svou bezpečnost. Řidič automobilu by měl nechat cyklistovi prostor a neohrožovat ho například příliš těsným předjížděním.

Mezi jednotlivými motoristy stejně jako mezi cyklisty jsou velké rozdíly. Cyklista, který najezdil na silnicích desítky tisíc kilometrů, se bude chovat jinak než člověk, který sedí na kole jednou za rok. Má více zkušeností a většinou také jede bezpečněji. Zatímco u motoristů se velmi často setkáváme s bezohledností i u profesionálních řidičů. Cyklista má ale právo pohybovat se po veřejné komunikaci stejně jako automobil. Bohužel, ale není schopen dosáhnout takové rychlosti jako automobil a v nepřehledných a zúžených úsecích tak může řidiče automobilu omezovat. Automobilisté si často stěžují, že cyklisté nejezdí u kraje a schválně jim tak brání v předjetí. Mohou sice existovat výjimky, které tak skutečně činí, ale ve většině případů prostě kvalita vozovky neumožňuje jet cyklistovy po samém kraji. Někdy je opravdu pro cyklistu bezpečnější jet prostředkem, a to jen proto, aby se ho v nepřehledném úseku nikdo nesnažil předjet. A pokud by se o to přeci jen snažil, má pak cyklista dostatečnou rezervu pro uhnutí na stranu. To je ale jen krajní případ, ke kterému však cyklisty nutí svým chováním řidiči automobilů. Už teď motoristé argumentují tím, že silnice je pro ně a cyklisté mají cyklostezky. Jejich síť je ale pořád velmi řídká a často jde o cyklostezky výletní, nevhodné pro rychlou dopravu například do zaměstnání. Pokud nebude nějakým způsobem vyřešena síť komunikací vyhrazených cyklistům, bude tato nesnášenlivost mezi cyklisty a motoristy asi dále přetrvávat.

4 TYPY LEHOKOL

Tato kapitola přináší ukázkou nejrozšířenějších konstrukcí pozemních HPV, se kterými se dnes můžeme setkat.

4.1 Jednostopá HPV

Jednostopá – jednomístná vozidla jsou nejrozšířenějšími HPV. Můžeme je dále rozdělit podle některých typických znaků.

4.1.1 Rozdělení podle výšky sezení

High-Racer, výška sezení je okolo 600÷650 mm, obě kola mají průměr 26“ někdy i větší

Semi Low-Racer, výška sezení 400÷450 mm, kola 20/26“ nebo 26/26“ (přední/zadní)

Low-Racer, výška sezení je jen 150÷200 mm nad zemí, díky malé čelní ploše a poloze jezdce dosahují vyšších rychlostí a jsou vhodná pro závodění, obrázek 4.1. Těžiště soustavy vozidlo-jezdec je umístěno velmi nízko.

Přednosti vozidla s nízko položeným těžištěm:

- Velmi malá čelní plocha a nízký vzdušný odpor
- Dosahování vysokých rychlostí
- Dobrá stabilita
- Rychlý průjezd zatáček

Zápory vozidla s nízko položeným těžištěm:

- Omezeno jen na nejkvalitnější povrch
- Horší nastupování



Obr. 4.1 Low-Racer Optima Baron, [22]

4.1.2 Rozdělení podle polohy středu šlapání

SWB – Short Wheel Base, tzv. vozidla s krátkým rozvorem, obrázek 4.2. Rozvor těchto vozidel se pohybuje okolo 1050 mm. Šlapací střed je umístěn před předním kolem. Šlapací střed bývá většinou výše než je výška sezení (spodní část sedačky). Nemělo by docházet ke kolizi předního kola a nohou (případně klik a pedálů) při zatáčení.

Výhody SWB lehokola (oproti ostatním typům lehokol):

- Nižší hmotnost
- Sportovní jízdní vlastnosti
- Rychlejší reakce na řízení, snadná ovladatelnost
- Transport zavazadel na zadním nosiči
- Rozměry srovnatelné s běžným kolem
- Dobré rozložení hmotnosti
- Menší čelní plocha a lepší obtékání vzduchem

Nevýhody:

- Složitější vedení řetězu
- Delší návyk na tento typ vozidla
- Složitější upevnění částečného opláštění
- Horší dosah nohou na zem (u velkých kol)



Obr. 4.2 SWB Azub Hardcore, [23]

LWB – Long Wheel Base, HPV s dlouhým rozvorem, obrázek 4.3. Rozvor se většinou pohybuje v rozmezí 1650÷1800 mm. Šlapací ložisko je umístěno až za předním kolem, níž než spodní část sedadla.

Přednosti LWB lehkola:

- Snazší jízda a rychlejší návyk na tento typ vozidla
- Lepší dosah chodidly na zem
- Snadné namontování čelního krytu a částečného opláštění
- Dobrá směrová stabilita a tlumení rámem z důvodu velkého rozvoru
- Umístění zavazadel zezadu na sedadlo (např. v batohu)

Zápory:

- Vyšší hmotnost
- Horší rozložení hmotnosti (hlavně při zatížení zavazadly)
- Sklon předního kola ke smyku z důvodu horšího rozložení hmotnosti
- Horší možnost namontování běžného nosiče zavazadel
- Větší rozměry, špatná skladnost
- Pomalejší reakce na řízení



Obr. 4.3 LWB Easyracers EZ Sport, [24]

CLWB – Compact Long Wheel Base, vzhledem i jízdními vlastnostmi se podobají LWB, šlapací střed je ale umístěn co nejbližší hlavové trubce, obrázek 4.4. Jedná se o velmi pohodlné stroje, vhodné na kratší vzdálenosti.



Obr. 4.4 CLWB Azub Cé, [23]

4.2 Tříkolky

Spojují v sobě výhodu vysoké stability a nevšedního zážitku z jízdy s nevýhodou vyšších rozměrů, hmotnosti a jízdních odporů. Větší počet kol a jejich malé průměry zvyšují valivý odpor. Odpor zrychlení je vyšší z důvodu vyšší setrvačnosti rotujících částí (kolo navíc).

Tříkolová HPV vozidla můžeme rozdělit na 2 hlavní skupiny podle rozmístění kol:

Typ **Delta**, má vpředu 1 říditelné kolo, podobně jako běžné kolo. Nejčastější je přímé horní řízení. Vzadu jsou kola dvě, často je jenom jedno z nich poháněno. Řešením je diferenciál, problémy však nastanou při prokluzu jednoho z hnaných kol, také samotný diferenciál představuje na kole složité řešení. Setkáváme se tak i s poháněnou celou nápravou, kde jsou obě kola pevně spojena hřídelí. Při průjezdech zatáčkou tak dochází ke smýkání kol a nadměrnému opotřebení pneumatik. Jako nejschůdnější řešení se tak jeví použití volnoběžek pro obě zadní kola. Tento typ kol vychází jednostopých LWB lohokol, obrázek 4.5. Obvyklé je použití 16“ kola vpředu a 20“ kol vzadu.



Obr. 4.5 Azub T, [23]

Typ **Tadpole**, má oproti deltě obrácené uspořádání. Vzadu je jedno poháněné kolo velikosti 20“ nebo 26“. Vpředu jsou dvě řízená kola. Z důvodu prostoru pro nohy jezdce při zatáčení bývají tato kola 20“. Setkáváme se tu i s odpružením zadního, někdy dokonce i předních kol. Spodní řízení je řešeno pomocí táhel a pák nebo je použito přímého řízení. Ukázkou tříkolového HPV typu tadpole přináší obrázek 4.6.



Obr. 4.6 Optima Rider, [22]

4.2.1 Porovnání tříkolek

Přednosti tříkolek typu delta:

- Stabilita
- Pohodlná jízda
- Snazší nasedání, vhodné pro starší a handicapované osoby
- Převoz zavazadel v batohu zavěšeném zezadu na sedadle

Zápory tříkolek typu delta:

- Vyšší jízdní odpory, větší čelní plocha
- Vysoká hmotnost
- Větší rozměry
- Horší rozložení hmotnosti

Výhody tříkolek typu tadpole:

- Stabilita
- Nízko umístěné těžiště
- Sportovní zážitek z jízdy
- Malá čelní plocha, nižší vzdušný odpor
- Nižší hmotnost
- Menší rozměry
- Možnost upevnění běžného nosiče zavazadel

Nevýhody tříkolek typu tadpole:

- Horší nastupování
- Nízká celková stavba

4.3 Ostatní

V této části bych se rád zmínil o méně rozšířených a speciálních strojích. Jsou to různé kapotované stroje blížící se svým vzhledem automobilům, tandemy a vícemístná vozidla. Nesmíme ale také zapomínat na rikše a podobná vozidla, která zvláště v rozvojových zemích slouží ve velké míře k převozu jak nákladů, tak i lidí.

Velomobily jsou kapotovaná HPV, většinou tříkolové. Mají asi nejbližší k dokonalé, člověkem poháněné alternativě automobilu, obrázek 4.7. Mají sice vyšší váhu než běžná kola a lehokola, ale aerodynamické výhody převládají, proto jsou tyto stroje velmi rychlé. Jezdec je dokonale chráněn před nepříznivými okolními vlivy. Tyto stroje se tak dají využívat každý den, i v zimním období. Není problém s nimi jezdit i na dlouhé vzdálenosti.



Obr. 4.7 Flevobike Versatile, [25]



Obr. 4.8 Prototyp tandemového lehokola Azub, [26]

Tandemy jsou vozidla určená pro dva jezdce, většinou sedících v uspořádání za sebou. U tří či čtyřkolových vozidel se můžeme setkat také s uspořádáním vedle sebe. U těchto strojů není neobvyklé i vícemístné provedení (až 4 jezdci). Výhodou uspořádání za sebou je nízký aerodynamický odpor druhého jezdce, který je v zákrytu za prvním jezdce, a také váhově výhodnější v porovnání se dvěma jezdci na dvou kolech. Vícemístná vozidla poháněná lidskou silou mají příznivější poměr hnací síly a jízdnicích odporů. Již na přelomu 19. a 20. století se využívala až šestimístná kola pro rekordní jízdy nebo jako vodící vozidla při dráhových závodech.

Závodní HPV

Závodní stroje současnosti dokážou snadno pokořit rychlost 100 km/h. Mají lehké kapotáže z kompozitních materiálů. Na obrázku 4.9 je HPV Varna Diablo II, se kterým Sam Whittingham 5. 10. 2002 dosáhl na 200 m trati s letným startem rychlosti 81 mph (130,36 km/h), což je současná nejvyšší rychlost dosažená na stroji poháněném lidskou silou.



Obr. 4.9 Varna Diablo II, [27]

Odlišné materiály

Nejčastějším materiálem rámu lehokol jsou ocel a hliníkové slitiny. Objevují se však také rámy vyrobené z kompozitních materiálů, podobně jako u moderních závodních kol, nebo dokonce dřevo, obrázek [32]. Dřevěné rámy se vyrábí slepováním vrstev překližky, jsou do něj vsazeny kovové části pro uchycení standardních cyklistických komponentů.



Obr. 4.10 Dřevěné lehokolo, [32]

5 JÍZDA NA LEHOKOLE

Lehokolo se od tradičního jízdního kola odlišuje celkovým provedením rámu, ale hlavně odlišnou polohou jezdce při jízdě na něm. Používá stejné komponenty jako vzpřímená kola, marně bychom je ale hledali na „správném“ místě. Hlavní odlišností je však poloha jezdce při jízdě. Jezdec sedí v pohodlné sedačce, která zároveň podpírá část jeho zad, obrázek 5.1.



Obr. 5.1 Pozice na lehokole, [23]

Není přitom vůbec složité naučit se na lehokole jezdit. Rozjezd zvládne téměř každý během několika minut. A po několika desítkách kilometrů nečiní ani samotná jízda větší obtíže. Problém může nastat snad jen u konstrukcí, které nemají řízené přední kolo tak, jak to známe z běžných jízdních kol. Příkladem může být provedení Flevobike. Kloub řízení je umístěn pod sedadlem a kolo se tak při zatáčení „láme“ na poloviny. Několik konstruktérů se také zabývalo řízením pomocí zadního kola. Žádné z takových řešení však nedosáhlo výrazné obliby. Řízení zadním kolem či pomocí kloubu uprostřed vozidla je pro normální jízdu nevhodné. Jinak platí, čím položenější je sedačka a čím výše je střed šlapání, tím je obtížnější naučit se na lehokole jezdit.

4.1 Pozice na lehokole

Pozici jezdce vidíme na obrázku 5.1. Sedací partie a celá záda jsou podpírána pohodlnou sedačkou. Sedačky lehokol se vyrábí z různých materiálů. Rozšířené jsou kompozity, plechy z lehkých slitin, či dokonce dřevo. Dalším typem jsou pak sedačky připomínající svou konstrukcí rybářské skládací křeslo. Základem takové sedačky je trubkový rám, kolem něj je vypnuta síťovina, která umožňuje ventilaci vzduchu okol zad jezdce a omezuje tak pocení. U pevných sedaček je pak důležité polstrování, které zvyšuje komfort. Přínosem je také možnost nastavení nevhodnější polohy a možnost zvolit si z více velikostí tu, která je pro jezdce nejlepší. Výška sedačky od země pak musí zaručit, aby jezdce pohodlně dosáhl nohama na zem. Úhel sklonu opěradla (svíraný

s vodorovnou vozovkou) se pak pohybuje od zhruba 20 ° u závodních strojů po téměř kolmé u pohodlných turistických HPV.

Sedačka bývá k rámu upevněna ve dvou místech – pod zadkem jezdce a v oblasti zad. Musí být dostatečně pevná, protože na rozdíl od běžného kola je jezdec zády zapřen o sedadlo a to tak musí zachytit reakce od šlapání. Proto také jezdec na lehokole může lépe využít svou sílu pro šlapání. U běžného kola začne docházet ke zvedání jezdce ze sedla, ten se pak musí přitahovat rukama od řídítek zpět do sedla – tzv. kolébavá jízda. Lidé se často domnívají, že je zde s výhodou ke šlapání využívána hmotnost jezdce, pravdou ale je, že váha jezdce je jen protisilou k síle na pedál. Výhodou je zapojení čerstvých svalů rukou a horní poloviny těla, které při jízdě na kole jinak nejsou zapojeny. Tohoto stylu bývá využíváno při takzvaném spurtu a jízdě do kopce. Je tak ale velmi namáhán krevní oběh jezdce. Na HPV nelze tento styl jízdy využít, je nutné vždy včas zařadit vhodný převod a jezdit tzv. frekvenčně a kruhově.

Vhodné je pak odpružení lehokola, zvláště jeho zadní části, omezí se tak přenášení rázů od nerovností na silnici do sedačky o kterou je opřena velká část jezdcových zad.

Pozice jezdce se na lehokolech dá upravovat, aby se dosáhlo co nejvyššího pohodlí jezdce a lehokolo se upravilo proporcím jezdce. Základem je úprava vzdálenosti mezi šlapacím středem a sedačkou – to odpovídá posouvání sedlové trubky u běžného kola. Na mnoha lehokolech jde dále upravit poloha sedadla. Úprava spočívá v nastavení výšky a sklonu sedadla a polohy sedadla v podélném směru.

5.2 Řízení

Rozlišujeme dva hlavní typy řízení – přímé a nepřímé řízení. Přímé řízení má řídítka upevněna přímo na představci vidlice řízeného kola. Nepřímé řízení je realizováno nejčastěji prostřednictvím táhel spojujících vidlici řízeného kola a samotná řídítka upevněna na samostatném hlavovém uchycení. Můžeme se také setkat s realizací nepřímého řízení pomocí lanek nebo hřebenové převodky u čtyřkolek či tříkolek.

Oba uvedené typy řízení mohou být uspořádány jako horní řízení (OSS – Over Seat Steering), kde jsou řídítka nad sedadlem, nebo jako spodní řízení (USS – Under Seat Steering), u kterého jsou řídítka umístěna pod sedadlem.

5.2.1 Horní řízení

Přednosti horního řízení:

- Menší vzdušný odpor při použití úzkých řídítek a vodorovného držení paží
- Jednodušší realizace
- Jednodušší ovládání odpovídající běžnému kolu
- Tachometr, světlo apod. jsou v zorném poli a dosahu jezdce

Zápory horního řízení:

- Možnost kolize končetin a těla jezdce s řídítky
- Horší nasedání, částečným řešením prvních dvou záporů je umístění řídítek na kloubu v oblasti představce.
- Dlouhá lanka řazení a brzd

5.2.2 Spodní řízení

Přednosti spodního řízení:

- Ruce jsou v podpěrné pozici v případě nárazu
- Neomezují pozici jezdce
- Pohodlnější pozice rukou, volně podél těla

Zápory spodního řízení:

- Potřeba návyku na tento typ řízení
- Omezené natočení řídicích

5.2.3 Přímé řízení

Přednosti přímého řízení:

- Jednodušší realizace řízení
- Nižší váha
- Obvyklé umístění brzdových a řadicích pák
- Bez nutnosti návyku na tento typ řízení
- Vyšší tuhost řízení
- Méně náchylné k poruše

Zápory přímého řízení:

- Omezené natočení řídicích
- Řízení je omezeno konstrukcí rámu

5.2.4 Nepřímé řízení

Přednosti nepřímého řízení:

- Lépe nastavitelné a přizpůsobitelné jezdci
- Nižší hrozba zranění
- Méně omezeno konstrukcí rámu
- Možná změna převodu a tím změna natočení řídicích

Zápory nepřímého řízení:

- Vyšší hmotnost
- Složitější
- Potřeba návyku

5.3 Pohon a převody

Široký rozsah převodů je pro lehokola nutností. Jak už bylo napsáno, nemůžeme si do kopce pomoci jízdou ze sedla, je nutné mít k dispozici dostatečný počet lehkých převodů. Z napřímené pozice jezdce pak dále plynou aerodynamické výhody a jezdec tak může na lehokole snadno dosahovat vyšších rychlostí při stejném podávaném výkonu. Je tedy nutné mít k dispozici také dostatek vyšších převodů. Rozsah převodů musí korespondovat s prostředím, ve kterém se jezdí. V našich podmínkách by tak neuspěla kola pouze s třemi rychlostmi, tak jako například v rovinatém Holandsku. Lehokola používají stejné komponenty jako kola vzpřímená. Nejlehčí převod lehokola odpovídá

nejlehčímu převodu horského kola, zatímco nejtěžší převod odpovídá zhruba nejtěžšímu převodu kola silničního.

5.3.1 Pohon zadního kola

RWD – Rear Wheel Drive, tj. pohaněné zadní kolo. Toto řešení používá dlouhý řetěz, který musí vést od vpředu umístěného převodníku až po pohaněné zadní kolo. U některých provedení je řetěz až 3x delší než u běžného kola. Linie řetězu bývá upravena vedením řetězu přes kladky a vedením řetězu v plastových trubkách (polyamidové – z důvodu nízkého tření). Viz obrázek 4.2. Problémem tohoto řešení je vyšší tření a vyšší setrvačné hmoty. Toto řešení je však jednodušší a rozšířenější.

5.3.2 Poháněné přední kolo

FWD – Front Wheel Drive, pohaněné přední kolo. Tato koncepce je méně rozšířená. Výhodou je hnací ústrojí provedené podobně jako u běžného kola, odpadá dlouhé a někdy problémové vedení řetězu. Přináší ale ostatní problémy, je třeba pohanět řetězem kolo, kterým se zároveň řídí. Toto provedení je časté u závodních strojů.

5.4 Aerodynamika

Velikost aerodynamického odporu je určována velikostí čelní plochy a součinitele odporu vzduchu. U běžného kola musí jezdec pro zvýšení rychlosti a tedy pro snížení odporu zaujmout sportovní pozici, kdy se musí více předklonit, tím ale trpí jeho záda, zvyšuje se zátěž na ruku a také tlak na rozkrok. Dále zatěžuje krční svalstvo, protože musí nepříjemně zaklánět hlavu, obrázek 4.2. U lehokola toto vše odpadá, člověk neustále pohodlně sedí v sedačce a jeho čelní plocha je i tak menší než u závodního kola. Vpřed natažené nohy rozráží vzduch a horizontální poloha těla je pro následné plynulé obtékání vzduchem vhodnější než u kola klasického, součinitel odporu vzduchu je nižší. Samotné rozměry kola jsou vůči rozměrům jezdce zanedbatelné, proto je pro co nejlepší výkony vhodné také správné oblečení. HPV je také možné vybavit čelním krytem (Windshield) nebo částečnou či úplnou kapotáží. Více k tomuto tématu je uvedeno v kapitole 7 Jízdní odpory.



Obr. 5.2 Srovnání pozice jezdce na lehokole s různými pozicemi na kole závodním, [28]

5.5 Srovnání s běžným kolem

Výhody, ale samozřejmě také nevýhody lehokola pramení právě z odlišné pozice jezdce.

5.5.1 Přednosti lehokol

Komfort

Jezdec sedí v pohodlné sedačce, oproti relativně malému sedlu běžného kola. Hmotnost jezdce je rovnoměrně rozložena na velké ploše. Sedačka bývá navíc polstrována, takže se podílí na tlumení rázů. Jezdec je tak po jízdě méně unavený a dokáže za den ujet větší vzdálenost.

Zdravotní výhody

Pozice jezdce zajišťuje lepší prokrvení organismu. Nevyvolává žádný tlak na zápěstí. Hlava není nepřírozně zakloněna a odpadá tak bolest za krkem. Jízda na lehokole zaměstnává i jiné svaly než jízda na běžném kole. Celkově je poloha na lehokole mnohem uvolněnější.

Bezpečnost

Natažené nohy jezdce působí jako deformační zóna v případě havárie. Člověk padá z nižší výšky. Na běžném kole v případě nárazu letí člověk na překážku hlavou napřed.

Ostatní

Rozhled po okolí je na lehokole mnohem lepší než na kole vzpřímeném (netýká se low-racerů a jiných nízkých koncepcí). Pro dosažení stejné rychlosti jako na běžném kole postačuje z důvodů lepší aerodynamiky vyvíjet na lehokole nižší výkon. Lehokola dosahují celkově vyšších cestovních rychlostí. Výhodou je možnost umístění aerodynamických krytů, kapotáží apod. Při délce řetězů lehokol téměř nedochází ke „křížení řetězu“, proto jsou využitelné všechny převody. U tříkolových a dvoustopých vozidel je výhodou vysoká stabilita, připočteme-li další zmiňované výhody lehokol, jsou tato vozidla vhodná pro starší osoby nebo handicapované osoby.

5.5.2 Zápory lehokol

Hmotnost

Lehokola jsou většinou těžší, než běžná kola. Existují však i konstrukce vážící méně jak 10 kg.

Terén a jízda do kopce

Lehokola jsou vhodná spíše na kvalitní povrchy. Díky odpružení sice zvládnou polní cesty a podobně, ale horským a krosovým kolům konkurovat nemohou. Lehokolo je pomalejší do kopce, není zde možnost jízdy ze sedla, je třeba jezdit frekvenčně. Lehokolo se hůře ovládá v nižších rychlostech.

Rozhled a viditelnost

V sedačce lehokola je velmi obtížné se otáčet a kontrolovat tak situaci za sebou, tento nedostatek však vyřeší vhodně umístěné zpětné zrcátko. Mnoho lidí se domnívá, že zvláště některá nižší lehokola mohou být snadno přehlédnuta. I to nejnižší lehokolo je však tak veliké, že řidič, který ho přehlédne, by na silnici vůbec neměl vyjíždět. Mnoho jezdců navíc na svých strojích vozí na laminátových prutech umístěné reflexní praporky, které jsou viditelné i z velké vzdálenosti.

Při jíždění do nepřehledné křižovatky může u některých velmi dlouhých lehokol dojít k situaci, kdy musí jezdec přední částí vozidla vjet hodně do křižovatky, než se může pořádně rozhlédnout.

Vedení řetězu

Největší technickou nevýhodou lehokol je většinou dlouhé vedení řetězu až k zadnímu kolu. Řetěz se musí vyhnout řízení a sedadlu, řetěz bývá veden v kladkách. Toto přináší ztráty třením a navýšení setrvačných hmot.

Neobvyklost HPV a přitahování pozornosti

Jako nevýhodu lze brát také fakt, že lehokole je na našich silnicích neobvyklé a jezdec na něm tak přitahuje velkou pozornost. U někoho naopak tato skutečnost může být výhodou.

6 VOLBA KONCEPCE

6.1 Výběr z existujících koncepčních řešení

Cílem práce je navrhnout rám HPV. Rozhodl jsem se pro vozidlo široce využitelné pro každodenní jízdu a pro zábavu, ale hlavně pro cykloturistiku. S tím souvisí také možnost namontování nosiče a schopnost převozu zavazadel. Rám vozidla by měl být přitom co nejjednodušší. Při výběru jsem vycházel z široké analýzy a studia problematiky HPV.

Zvolena byla koncepce tříkolového vozidla. Nejedná se však o dobře známou dětskou šlapací tříkolku, ale o plnohodnotné vozidlo určené pro běžný provoz. K této volbě vedla také v poslední době vzrůstající obliba těchto vozidel v naší zemi. Tříkolky (anglicky Trikes) však nejsou příliš rozšířené, většímu rozšíření brání zejména relativně vysoká cena.

6.1.1 Popis existujících řešení

Jak bylo napsáno v kapitole 4.2, existují dvě hlavní skupiny tříkolových vozidel.

Delta

Tříkolky typu delta, které mají vpředu jedno řízené kolo, řízení je stejné jako u běžného bicyklu. Vzadu potom dvě kola poháněná silou lidských svalů. S podobnými stroji se můžeme často setkat. Většinou se jedná o přestavby městských kol s jednoduchým rámem, osazené 24" koly. Mají ovšem klasické cyklistické sedlo a poloha jezdce tedy neodpovídá lehokolu. Jsou určeny především starším, či nějakým způsobem handicapovaným osobám, které využijí stabilitu, kterou přináší použití dvojice kol vzadu. Lehokola tohoto typu vycházejí z jednostopých lohokol postavených na dlouhém rozvoru, viz obrázek 4.5.

Tato koncepce přináší dobrou směrovou stabilitu. Poloha je pro jezdce velmi pohodlná. Střed šlapání je umístěn níže než spodní část sedadla, proto je snazší se s těmito stroji sžít. Pohodlnější je nasedání, je to dáno vyšší výškou sedadla (od země). Nevýhodou jsou větší rozměry a hmotnost. Převoz zavazadel je možný, nelze však použít klasický cyklistický nosič a brašny. Je možné například zavěsit batoh ze zadu na sedadlo. Nebo použít nosiče v podobě nejrůznějších košů. Tím se zhorší rozložení hmotnosti na přední kolo a zadní nápravu. Při dané délce a umístění jezdce je více zatížena zadní náprava. Při dalším zatížení zavazadly, může dojít k velkému odlehčení předního kola a zejména na nepevném povrchu k zablokování kola při brzdění a tím špatné ovladatelnosti, která může dále vést až k havárii.

Pohon bývá nejčastěji řešen jednoduše pohonem jen jednoho z kol s využitím běžných cyklistických komponentů. Složitějším řešením je použití diferenciálu, u kterého však nastává problém při prokluzu jednoho z kol (například na krajnici vozovky). Optimálním řešením se tak jeví použití 2 volnoběžek pro každé kolo, které umožní snadné projíždění zatáček bez smýkání některého z kol.

Tadpole

Typ tadpole se vyznačuje jedním poháněným kolem vzadu a dvojicí řízených kol vpředu, obrázek 4.6. Tyto tříkolky můžeme označit za sportovní stroje. Těžiště soustavy vozidlo-jezdec je umístěno relativně nízko. Nízká poloha sedadla však znesnadňuje nasedání. Rozměry a váha jsou oproti předchozímu typu menší. Zadní stavba rámu se podobá běžnému kolu, je tedy možné použít běžný cyklistický nosič a brašny. Rozložení hmotnosti se u těchto strojů pohybuje okolo 60:40 ve prospěch předních kol. Proto zatížení zadního kola nákladem nezhorší jízdní vlastnosti. Součásti pohonu a ostatní díly jsou běžně dostupné a používané na běžných kolech. Výjimkou jsou přední náboje a brzdy. Náboje jsou většinou letmo uloženy, je možné předělat klasické náboje na letmé uchycení. Je vhodné použít náboje pro diskové brzdy, použití ráfkových brzd je složitější. Existují náboje s integrovanou bubnovou brzdou, které jsou již uzpůsobené pro letmé uchycení. Tyto náboje jsou speciálně určeny pro tento druh vozidel.

Nevýhody obou řešení spočívají v použití třech kol, většinou menšího průměru, a tedy ve větším valivém odporu. Vezmeme-li v úvahu odpor stoupání, je vzhledem k hmotnosti stroje vhodnější typ tadpole. Největší vliv na celkové jízdní odpory má však vzdušný odpor. V tomto ohledu je výhodnější také provedení tadpole, u kterého je čelní plocha menší a obtékání jezdce vzduchem je vzhledem k jeho pozici vhodnější.

Šířka tříkolek značně omezuje jejich použití. Lehokola obecně jsou však vhodná pro jízdu na asfaltu a zpevněném povrchu, nejsou určena pro jízdu v terénu. Proto není nevýhoda větší šířky tak podstatnou, jak by se na první pohled mohlo zdát. Nevýhodu třech stop a tedy složitějšího objíždění nerovností částečně (i když ne zcela) řeší odpružení zadního kola a pohodlné sedadlo, které zamezují přenosu rázů od nerovností vozovky na záda jezdce. Největší výhoda tříkolek – stabilita smazává největší nevýhodu lehokol, kterou je obtížnější jízda do kopce (nelze využít jízdu ze sedla jako u běžného kola). Jak už bylo napsáno, na lehokole je nutné zařadit vhodný lehký převod a kopec vyjet frekvenčně. S postupným snižováním frekvence šlapání a tedy i zpomalováním jízdy jezdec ztrácí stabilitu a může dokonce i spadnout, hlavně než si na lehokolo přivykne a naučí se na něm dobře jezdit.

6.2 Zvolená koncepce

Z těchto koncepčních řešení bylo zvoleno vozidlo typu tadpole, obrázek 6.1. Je vhodné pro turistiku, kde dokáže snadno převézt náklad s použitím běžného nosiče a brašen. Díky vysokému komfortu a ostatním výhodám dokáže člověk ujet i delší vzdálenosti. Ovšem pouze na vhodném povrchu. Hodí se také pro dálkovou cykloturistiku po cyklotrasách, pro kterou může být snadno doplněn přívěsným nákladním vozíkem. Tyto vozíky jsou často ke kolu uchycovány za osu zadního kola, proto u tohoto řešení není problém s uchycením. Na druhou stranu je toto řešení určeno i pro zábavu a relaxaci. Jízda na těchto tříkolkách se velmi liší od jízdy na běžném kole. Je velmi obtížné přirovnat pocit z jízdy na tříkolce tohoto typu k jízdě na nějakém jiném vozidle. Přitom ale není nutné, z důvodu stability, se jízdu dlouho učit. Naskýtá se tedy možnost použití těchto vozidla v půjčovnách nebo jako atrakci při různých zábavných akcích.



Obr. 6.1 Tříkolka Greenspeed, [23]

6.3 Legislativa

Aby bylo vozidlo možné provozovat na pozemních komunikacích, musí splňovat náležité právní normy. Tento typ vozidla se řídí stanovami článku 9, přílohy 13, vyhlášky 341/2002 Sb. Ministerstva dopravy a spojů ze dne 11. července 2002 o schvalování technické způsobilosti a o technických podmínkách provozu vozidel na pozemních komunikacích [36]: „Pro účely této vyhlášky se jízdám kolem rozumí i tříkolky a vícekolky, stejně jako vícesedadlová jízdni kola (např. tandemy) a jim podobná vozidla poháněná lidskou silou a určená i k provozu na pozemních komunikacích, jako např. koloběžky.“ Podle článku 71, informačního dokumentu Ministerstva dopravy a spojů, pro schvalování technické způsobilosti vozidel provozovaných na pozemních komunikacích se technická způsobilost tohoto typu vozidel (jízdni kola, potahová vozidla a ruční vozíky) neschvaluje. Podmínkou pro jejich užití v provozu na pozemních komunikacích je splnění technických požadavků dle přílohy 13, vyhlášky 341/2002 Sb. Tento dokument je přiložen jako Příloha 1.

6.4 Ergonomie

Vozidlo je navrženo tak, aby poloha jezdce byla maximálně komfortní a veškeré ovládací prvky byly v dosahu jezdce. Pohodlná pozice, vycházející již z koncepce lehokol, umožňuje jezdcovi dlouhodobě a efektivně pohánět vozidlo.

Důležitým faktorem je výhled jezdce. Sklon sedadla je volen tak, aby hlava jezdce byla v optimální poloze a jezdec měl dobrý výhled dopředu a do stran a zbytečně nezatěžoval krční svalstvo. Je možné také vozidlo doplnit hlavovou opěrkou. Výhled je u této koncepce značně ztížen nízkou polohou sezení. Nízká poloha také ztěžuje nastupování. Pro sledování situace za vozidlem budou na řídkách upevněna zpětná zrcátka.

Přizpůsobení se vozidla osobám různé výšky umožňuje posouvání středu šlapání. Upravuje se tak vzdálenost sedadla a středu šlapání. Tato vzdálenost se anglicky označuje x-seem a je pro každého člověka odlišná. Měření probíhá takto: člověk si sedne těsně ke kolmé zdi a natáhne vpřed nohy. Určující je vzdálenost od konce nohou po zed'.

Pro dobrý dosah ovládacích prvků je vozidlo vybaveno ve všech směrech nastavitelnými řídky.

Určování optimální pozice jezdce a návrh samotný vychází z měření rozměrů vlastního těla a také členů rodiny. Zjištěné rozměry jsou zpracovány podle literatury [4].

7 JÍZDNÍ ODPORY

Jízdní odpory jsou síly působící proti pohybu vozidla, člověk je při jízdě na kole překonává silou svých svalů. Výkon lidských svalů je v porovnání s motory ostatních dopravních prostředků relativně malý. Je tedy nutné, aby síly působící proti pohybu soustavy jezdec-vozidlo byly co nejmenší. Podobně je také nutná volba vhodných převodů, aby byl tento výkon co nejlépe využitelný. Odpory se při jízdě mění podle okamžitých jízdních podmínek. Odpor valivý a odpor vzdušný působí proti pohybu vozidla vždy. Odpor zrychlení se projevuje při zrychlování vozidla. Při jízdě do svahu musí jezdec překonávat odpor stoupání. Dle literatury [2]. Celkové jízdní vlastnosti lehokola, jako vlastnosti řízení, změny rychlostí stojí na stejných fyzikálních zákonech jako u kola tradičního. Existují však rozdíly v jízdních vlastnostech, které budou dále vysvětleny.

Setrvačnost

Podle Newtona, zakladatele moderní fyziky, těleso setrvává v klidu nebo přímočarém rovnoměrném pohybu, dokud ho vnější síly nepřinutí tento stav změnit (zákon setrvačnosti). To znamená, že si těleso za teoretických (ideálních) podmínek zachovává svou rychlost a směr pohybu a teprve vnější vlivy zapříčiňují každou změnu jeho rychlosti a směru.

Jízda na kole z hlediska fyziky

Běžná jízda na kole je komplexním fyzikálním dějem, při kterém se projevuje síla vynakládaná jezdcem pro pohyb a zrychlování, pokyny pro řízení a změna směru samotná, brzdění a vnější vlivy (kvalita povrchu, sklon, proudění ...). Při rozjezdu musí být překonána setrvačnost systému jezdec-vozidlo. Dochází k přeměně ze stavu stání v energeticky vyšší stav pohybu soustavy. Musíme si uvědomit, že při přeměně energie vynakládané jezdcem na pohyb vpřed, dochází také k překonání setrvačnosti rotačních částí – kol a součástí pohonu. Proto se výrobci snaží dosáhnout co nejnižší váhy jednotlivých komponent a celého kola. Přitom je ale nutné zachovat dostatečnou tuhost komponent a rámu, aby se co nejvíce omezily ztráty energie při přenosu a přeměně energie. U lehokol vyvstává problém s délkou řetězu, pomíneme-li řešení s pohonem předního kola, kde je délka řetězu srovnatelná s délkou řetězu u kola běžného. Při dlouhém vedení řetězu je často nutné upravit jeho linii použitím kladek nebo vedením samotného řetězu v plastových (polyamidových) trubkách. To sebou přináší zvýšení tření a nutnost překonávání dalších odporů setrvačných sil. Při rozjezdu na lehokole není možné využít jízdu z pedálů a pomoci si tak váhou těla jezdce. Veškeré odpory a setrvačnost tak musí být překonána jen silou svalů jezdce. Rozjezd je tedy obtížnějším než na klasickém kole. Projevuje se to zejména při rozjezdu do kopce a se zavazadly.

Podobné problémy se projevují i při zrychlování. Vyrovnaná rychlost jízdy je tedy u HPV důležitější než u běžného kola. Ve značné výhodě jsou zde vícestopá vozidla. Jezdec se může plně soustředit na vyvinutí potřebné síly, nemusí udržovat rovnováhu tak, jako u jednostopého stroje.

Stabilita

Kromě vyrovnané rychlosti jízdy je však důležitá i velikost této rychlosti vzhledem k existenci stabilizujících setrvačnickových sil kol. V malých rychlostech se tyto síly

neprojeví a kolo je tak málo stabilní. Pro dosažení stability a jistoty při jízdě musí těžiště soustavy ležet kolmo nad teoretickou spojnicí opěrných bodů předního a zadního kola, tzv. opěrnou linií. Pokud se těžiště přikloní na jednu stranu, musí řízení směřovat na stejnou stranu, aby se těžiště zpět přiblížilo správné poloze. Toto je ovlivněno geometrií řízení (přední vidlice). Ve výhodě je také krátké SWB lehokolo oproti dlouhému LWB. Jeho těžiště leží blíže přednímu kolu a při řídicím manévru se tak těžiště rychleji přibližuje opěrné linii. U tříkolového vozidla provedení tadpole je průmět těžiště na vozovku umístěn v pomyslném trojúhelníku s vrcholy v opěrných bodech všech tří kol. Zároveň je těžiště relativně nízko nad vozovkou. Proto je toto provedení velmi stabilní a nehrozí u něj převrácení. U verze delta je tomu podobně, ale těžiště leží výše nad vozovkou a při větším vyklonění jezdce může být toto vozidlo nestabilním.

7.1 Přehled jízdních odporů HPV

Při jízdě na HPV se projeví tyto odpory, podle [2]:

- O_f – odpor valivý
- O_v – odpor vzdušný
- O_s – odpor stoupání
- O_z – odpor zrychlení
- mechanické ztráty

Aby jel jezdec dopředu, musí vynakládat určitý výkon. Tento výkon P_k se skládá ze součiny všech jízdních odporů soustavy jezdec-vozidlo a rychlosti vozidla, podle [2]. Pro korektnost vztahu by bylo třeba přičíst mechanické ztráty.

$$P_k = v \cdot \sum O \quad (7.1)$$

$$\sum O = O_f + O_v + O_s + O_z \quad (7.2)$$

7.2 Valivý odpor

Vzniká deformací pneumatiky a vozovky. Je-li vozovka tuhá, dochází pouze k deformování pneumatiky, což je také případ lehokola, které je určeno pro jízdu na pevném povrchu, nejčastěji asfaltu. Velikost valivého odporu závisí na tzv. součiniteli valivého odporu kola f_k . Ten závisí na povrchu vozovky, vliv má také deformace pneumatiky a rychlost kola. Deformace pneumatiky závisí na huštění, při menším tlaku dochází k větší deformaci, vzrůstá deformační a tlumící práce a zvětšuje se valivý odpor. Velikost valivého odporu kola je dán součinem součinitele valivého odporu a zatížení kola (reakce vozovky). Celkový valivý odpor je pak dán součtem valivých odporů jednotlivých kol. Mají-li součinitele valivého odporu jednotlivých kol stejnou hodnotu $f_{ki}=f$, můžeme psát, [2]:

$$O_f = f \cdot G \cdot \cos \alpha \quad (7.3)$$

$G \cdot \cos \alpha$ - složka tíhy vozidla kolmá k rovině vozovky

f - součinitel valivého odporu

Hodnoty součinitelů valivých odporů některých pneumatik uvádí tabulka 7.1, platí pro maximální tlak v pneumatikách udávaný výrobcem, literatura [29].

Pro jízdu po rovině platí:

$$O_f = f \cdot G \quad (7.4)$$

Hlavním vliv na velikost valivého odporu ze strany vozidla má tlak v pneumatikách, menší potom velikost kola. Nejmenší vliv mají šířka pneumatiky a její profil.

Tab. 7.1 Součinitel valivého odporu některých pneumatik

Pneumatika	Součinitel valivého odporu f [-]
Běžná pneumatika pro treková nebo horská kola	> 0,0075
Sportovní pneumatiky	0,0060
Závodní silniční pneumatiky	0,0050
Schwalbe Stelvio (ISO 406 mm)	0,0045
Rinkowsky	0,0030
Michelin Ecorun	0,0028

Příklad:

Jezdec (75 kg) na kole (11,5 kg) jedoucí po rovině, pneumatiky se součinitelem valivého odporu $f=0,005$:

Podle (7.4) $O_f = f \cdot G = 0,005 \cdot (75 + 11,5)kg \cdot 9,81ms^{-1} = 4,24 N$

7.3 Vzdušný odpor

Při jízdě jsou vozidlo a jezdec obtékány vzduchem. Proudnice se za vozidlem neuzavírají, ale dochází k víření, tím vzniká odpor, který označujeme jako vzdušný. Ten závisí na koeficientu odporu vzduchu (hodnota c_x), čelní ploše, rychlosti jízdy a hustotě vzduchu, [2].

$$O_v = c_x \cdot \frac{\rho}{2} \cdot S_x \cdot v^2 \quad (7.5)$$

c_x - koeficient odporu vzduchu

ρ - hustota vzduchu

S_x - čelní plocha

v - rychlost proudění, složka ve směru pohybu vozidla

Chceme-li získat výkon potřebný na překonání tohoto odporu, musíme počítat dle vztahu:

$$P_v = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot S_x \cdot c_x \cdot v^3 \quad (7.6)$$

Zatímco vzdušný odpor závisí na kvadrátu rychlosti jízdy (resp. proudění), výkon na jeho překonání závisí již na třetí mocnině rychlosti. Tento odpor je velmi významným, zvláště při vyšších rychlostech. Jezdec svou plochou tvoří při jízdě významnou část, samotné vozidlo je svou čelní plochou méně významné. Je tedy vhodné nosit speciální cyklistické oblečení, které zlepšuje obtékání jezdce a je pro něj komfortnější. Výhodné je také použití aerodynamických krytů nebo dokonce částečného či úplného kapotování.

Samotná hodnota součinitele c_x nám o jízdních potenciálech mnoho nenapoví. Důležitá je až multiplikace součinitele odporu vzduchu c_x s velikostí čelní plochy S_x , tzv. efektivní čelní plocha, která nám dává hodnoty, které můžeme porovnávat. Přehled hodnot c_x , S_x a efektivní čelní plochy některých vozidel poháněných lidskou silou uvádí tabulka 7.2, [29].

Ke zjištění efektivní čelní plochy ($c_x \cdot S_x$) můžeme využít možnosti:

Metoda projekce na rovnou plochu. Touto metodou zjistíme velikost čelní plochy. Jedná se o jednoduchou a levnou metodu.

Aerodynamický tunel, ve kterém měříme na skutečném vozidle nebo na jeho modelu. Zjišťujeme hodnotu c_x , měření je velmi precizní a velmi drahé. Do teorie lehkol je těžce přenositelné.

Tab. 7.2 Hodnoty S_x , c_x a efektivní čelní plochy některých vozidel, podle [29]

Vozidlo	S_x [m ²]	c_x [-]	$(c_x \cdot S_x)$
Trekové/cestovní kolo	0,62	1,10	0,680
Horské kolo	0,58	0,95	0,550
Silniční kolo – horní úchop	0,57	0,90	0,510
Silniční kolo – dolní úchop	0,45	0,85	0,380
Závodní kolo – disková kola	0,44	0,55	0,240
Lehokolo LWB	0,35	0,77	0,270
Lehokolo Low-Racer	0,33	0,55	0,180
Barracuda	0,39	0,14	0,055
Cheetah	0,31	0,09	0,028
Varna Diablo	0,29	0,07	0,020

Poznámka: V tabulce zvýrazněná vozidla jsou závodní celokapotované speciály



Obr. 7.1 Srovnání pozice na lehokole a různých typech běžných kol, [23]

Příklad:

Jezdec na horském kole při rychlosti 30 km/h:

$$\text{Podle (7.5)} \quad O_v = c_x \cdot \frac{\rho}{2} \cdot S_x \cdot v^2 = 0,95 \cdot \frac{1,25 \text{kgm}^{-3}}{2} \cdot 0,58 \text{m}^2 \cdot \left(\frac{30}{3,6} \text{ms}^{-1}\right)^2 = 23,9 \text{ N}$$

$$\text{Podle (7.6)} \quad P_v = c_x \cdot \frac{\rho}{2} \cdot S_x \cdot v^3 = 0,95 \cdot \frac{1,25 \text{kgm}^{-3}}{2} \cdot 0,58 \text{m}^2 \cdot \left(\frac{30}{3,6} \text{ms}^{-1}\right)^3 = 199 \text{ W}$$

Pro srovnání jezdec na lehokole typu LWB při stejné rychlosti 30 km/h:

$$\text{Podle (7.5)} \quad O_v = c_x \cdot \frac{\rho}{2} \cdot S_x \cdot v^2 = 0,77 \cdot \frac{1,25 \text{kgm}^{-3}}{2} \cdot 0,35 \text{m}^2 \cdot \left(\frac{30}{3,6} \text{ms}^{-1}\right)^2 = 11,7 \text{ N}$$

$$\text{Podle (7.6)} \quad P_v = c_x \cdot \frac{\rho}{2} \cdot S_x \cdot v^3 = 0,77 \cdot \frac{1,25 \text{kgm}^{-3}}{2} \cdot 0,35 \text{m}^2 \cdot \left(\frac{30}{3,6} \text{ms}^{-1}\right)^3 = 97,5 \text{ W}$$

Problematika aerodynamiky je velmi obsáhlá a složitá. Teoretický ideální stav se v praxi nevyskytuje. Praxe je ovlivněna mnoha faktory:

7.3.1 Šikmé proudění

V praxi se nevyskytuje tzv. „nula stupňové náběhové proudění“. V automobilovém odvětví se vychází z 5-10 ° šikmého proudění. Tato okolnost ztěžuje konstruování aerodynamických dílů vozidla. V přírodě se navíc jen velmi zřídka vyskytuje skutečné laminární proudění. Díky překážkám (stromy, domy,...) a pohybujícím se tělesům (auta apod.) vznikají v oblastech v blízkosti země turbulence.

7.3.2 Kompromis tvarování

Vozidlo bez kapotáže zvýhodňuje jednoduchost konstrukce v neprospěch aerodynamiky. Optimalizace tvarování rámu a komponent z hlediska snižování vzdušného odporu má velmi malý význam. Je to dáno jejich velmi malou čelní plochou. Rozhodující je čelní plocha jezdce. Na lehokole je poloha jezdce z hlediska obtékání vzduchem mnohem výhodnější než u kola běžného. Tuto výhodu lze ještě dále zlepšit užitím krytů před jezdce. Často se také můžeme setkat s aerodynamickými prvky na zádi vozidla, využívanými pro přepravu zavazadel. Tyto prvky upravují proudění vzduchu za jezdce a vozidlem. Nejlepším řešením se pak jeví částečně nebo zcela opláštěvaná vozidla. Nevýhodné jsou jen při převládajících pomalých rychlostech nebo převládající jízdě do kopce, kdy se mnohem více než odpor vzdušný projevují odpory ostatní.

7.3.3 Drsnost povrchu

U kapotovaných vozidel odpovídá drsnost povrchu kvalitě povrchu dané karoserie. U neopláštěvaného vozidla se týká jednotlivých obtékaných částí vozidla, ale hlavně jezdce, jehož plocha je nejvýznamější. Z toho důvodu je vhodné volit oblečení určené na cyklistiku.

7.3.4 Systémové vibrace

Z hlediska aerodynamiky mají systémové vibrace velký vliv. Jemné nerovnosti vozovky (tzv. Micro Hills) nejsou zcela absorbovány pneumatikami a rámem. Proto jsou do systému vozidlo-jezdec přenášeny vibrace. Tyto vibrace předčasně strhávají proudění z mezní vrstvy obtékaného tělesa. Tento efekt je významný pouze u opláštěvaní. Pohlcování vibrací napomáhá odpružení, které je nejčastěji propagováno z důvodu komfortu a kontaktu kol s povrchem vozovky. Systémové vibrace však vznikají také nepravidelným šlapáním a pohyby jezdce.

7.4 Odpor stoupání

Je určen složkou tíhy vozidla a jezdce rovnoběžnou s povrchem vozovky, dle literatury [2]:

$$O_s = \pm G \cdot \sin\alpha \quad (7.7)$$

G – celková tíha soustavy vozidlo-jezdec

α – úhel, který svírá rovina vozovky s vodorovnou rovinou

Při praktických výpočtech se místo úhlu stoupání ve stupních používá sklon svahu (stoupání) s , pro který platí, [2]:

$$s = \frac{h}{l} = \operatorname{tg}\alpha \quad (7.8)$$

h – průmět dráhy do svislého směru, tzv. převýšení

l – průmět dráhy do vodorovného směru

Pro malé úhly platí $\sin\alpha \approx \operatorname{tg}$ a vztah tedy můžeme zapsat ve tvaru, [2]:

$$O_s = \pm G \cdot s \quad (7.9)$$

Tento vztah lze použít až do hodnoty $\alpha = 17^\circ$, tedy $s = 0,3 = 30\%$, kdy rozdíl mezi $\sin \alpha$ a $\operatorname{tg} \alpha$ je asi 5 %. Maximální stoupání silnic, pro které jsou lehokola určena především, je asi 12 %. Jen při ojedinělých stoupáních v horách je nutno vycházet z rovnice (7.7). Místo úhlu α se v praxi užívá svah stoupání s . Úhel tedy získáme ze vztahu $\alpha = \operatorname{arctg}(s)$ a dosadíme do rovnice (7.7).

Příklad:

Jezdec jede do kopce se stoupáním 2%, které je sotva znatelné. Uvažujeme celkovou hmotnost jezdce a kola 95 kg:

$$\text{Podle (7.9) } O_s = G \cdot s = 95 \text{ kg} \cdot 9,81 \text{ ms}^{-2} \cdot 0,02 = 18,6 \text{ N}$$

7.5 Odpor zrychlení

Při zrychlování vozidla působí proti směru zrychlení setrvačná síla, kterou nazýváme odporem zrychlení. Je dán vztahem, [2]:

$$O_z = \left(m + \sum_i \frac{J_{Ki}}{r_{di} \cdot r_{Ki}} \right) \cdot \ddot{x} = O_{zp} + O_{zr} \quad (7.10)$$

Skládá se z odporu zrychlení posuvných O_{zp} částí hmoty a odporu zrychlení rotačních částí O_{zr} (kola, součásti pohonu).

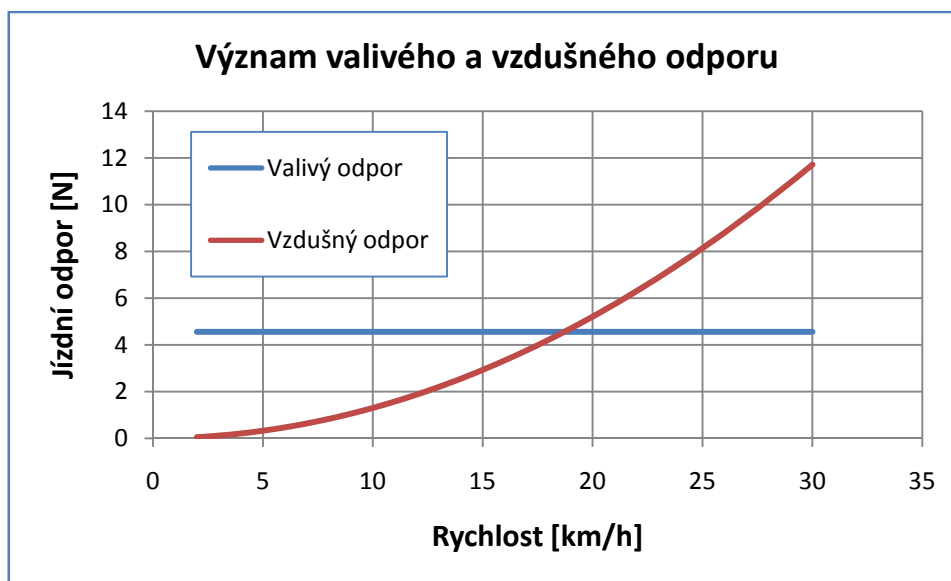
7.6 Mechanické ztráty

V porovnání s ostatními jízdními odpory jsou mnohem menší. Závisí na třecích ztrátách jednotlivých částí vozidla a na rychlosti pohybu těchto částí. V případě lehokol se jedná hlavně o ztráty v jednotlivých ložiscích a ztráty při přenosu výkonu jezdce (momentu) řetězovým převodem.

7.7 Grafické porovnání jízdních odporů

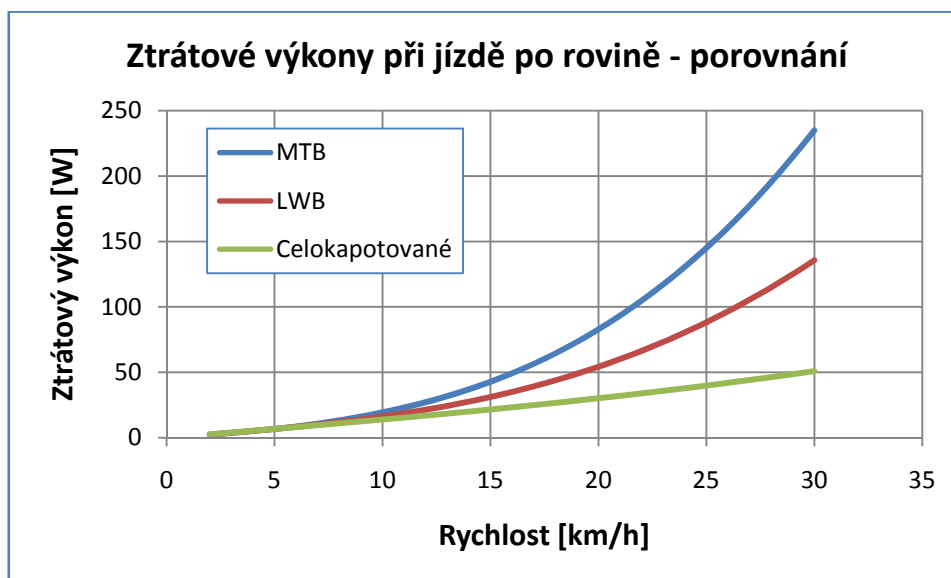
Praktický význam jízdních odporů je nejlépe vidět z jejich grafického znázornění. Byly vytvořeny grafy porovnávající význam valivého a vzdušného odporu a také grafy porovnávající jednotlivé typy vozidel z hlediska jízdních odporů. Uvažován byl ideální stav. Nejsou uvažovány mechanické ztráty. Jezdec se pohybuje ustálenou rychlostí, není tedy počítáno s odporem zrychlení. Pro porovnání jednotlivých odporů a vozidel z hlediska odporů je však tento stav postačující.

Graf 7.1 zobrazuje význam valivého a vzdušného v závislosti na rychlosti u lehokola typu LWB jedoucího po rovině ustálenou rychlostí. Valivý odpor je určován podle vztahu (7.4), nezávisí tedy na rychlosti. Ve skutečnosti závisí na vlastnostech pneumatiky, které jsou ovlivňovány také rychlostí kola. Tato závislost je však zanedbatelná v porovnání se závislostí na kvadrátu rychlosti u odporu vzdušného. Z grafu vidíme, že asi od 18 km/h začíná mít vzdušný odpor převládající význam. U běžného kola by vzdušný odpor převládal mnohem více. Vše je ovšem ovlivněno hmotností jezdce a volbou pneumatik.



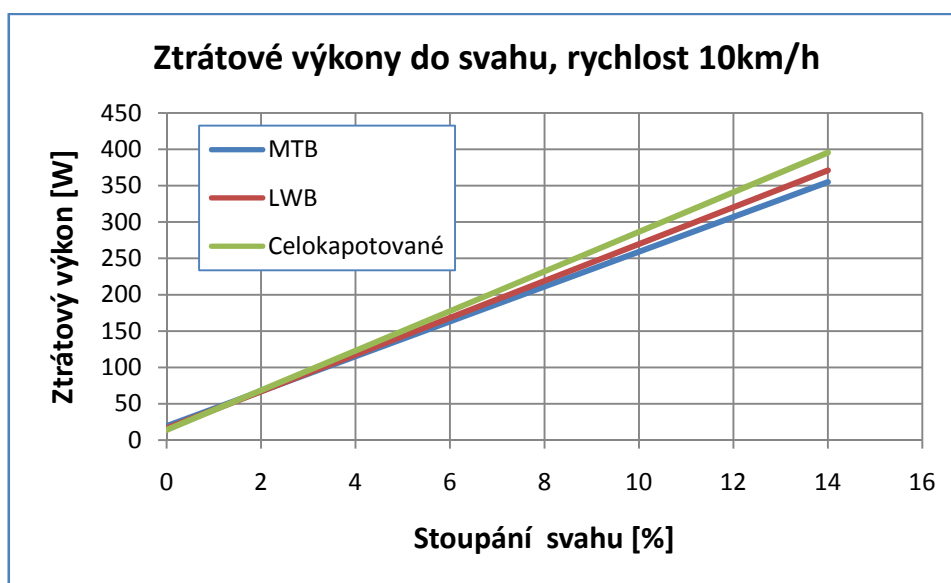
Graf 7.1 Význam valivého a vzdušného odporu

Graf (7.2) porovnává jednotlivá vozidla z hlediska odporů. Porovnává se celkový ztrátový výkon, který musí jezdec překonávat. Je uvažována jízda po rovině ustálenou rychlostí. Na shodných pneumatikách při hmotnosti jezdce 75 kg. Hmotnost horského kola (MTB) je 13 kg, lehkého kola LWB 18 kg a celokapotovaného 25 kg. Tyto hmotnosti odpovídají skutečnosti. Koeficienty jsou voleny podle tabulek uvedených v této kapitole. Z grafu vidíme, že již od relativně nízkých rychlostí (okolo 10 km/h) je zvýhodněno lehké kolo oproti kolu horskému (výhodnější pozice jezdce). U celokapotovaného závodního stroje je výhoda ještě výraznější, a to i přes navýšení hmotnosti. Hodnoty ztrátového výkonu při rychlosti 30 km/h jsou: MTB – 235 W, lehké kolo LWB – 136 W, závodní celokapotované – 51 W.

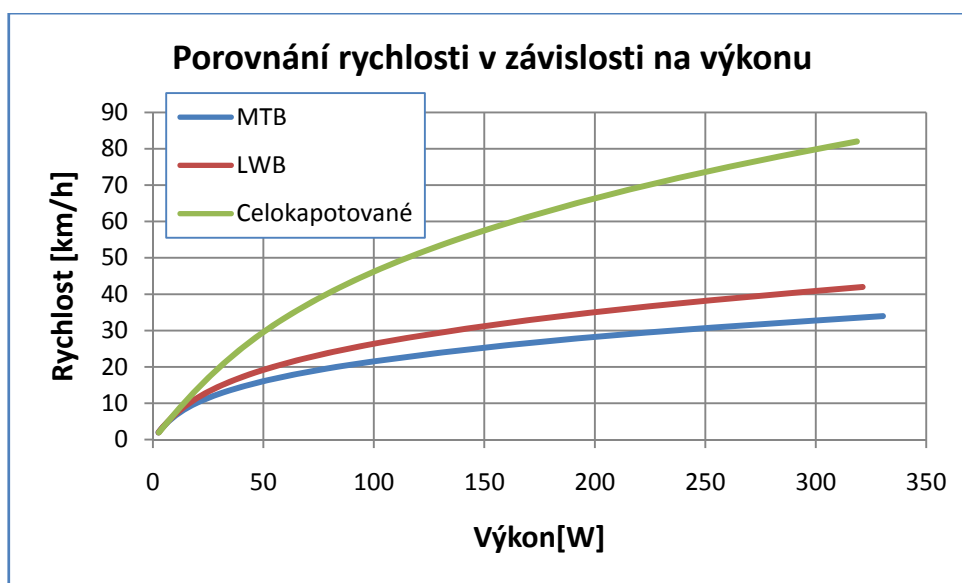


Graf 7.2 Ztrátové výkony při jízdě po rovině - porovnání

Na grafu 7.3 vidíme porovnání těchto vozidel z hlediska ztrátového výkonu do svahu. Je uvažována jízda ustálenou rychlostí 10 km/h. Při nízkých rychlostech (jízda do kopce) ztrácí na významu vzdušný odpor. Naopak převládá vliv hmotnosti. Celokapotované vozidlo s nejvyšší hmotností je na tom nejhůř. Tyto stroje jsou však určeny pro dosahování nejvyšších rychlostí na rovině a v praxi se s nimi do kopce nejezdí. Ztrátové výkony do svahu 14 % jsou: MTB – 355 W, LWB – 371 W, kapotované – 396 W. Tyto hodnoty odpovídají spíše trénovaným jezdcům. Rozdíly nejsou tak patrné, jako při porovnávání ztrátových výkonů při vyšších rychlostech po rovině, je však patrné, že při převládající jízdě pomalou rychlostí a do kopce se ztrácí výhody kapotáže.



Graf 7.3 Ztrátové výkony do svahu – porovnání při rychlosti 10 km/h



Graf 7.4 Porovnání rychlosti v závislosti na podávaném výkonu

Graf 7.4 porovnává jednotlivá vozidla z hlediska rychlosti jízdy (po rovině) při daném výkonu jezdce. Patrný je velký rozdíl mezi závodním kapotovaným vozidlem a běžnými nekapotovanými vozidly. Rychlostní rekord kapotovaných vozidel je až 130 km/h. I netrénovaní jezdci však díky výhodám lehokol dokážou vyvinout vyšší rychlost než na běžném kole. Porovnejme rychlost horského kola a lehokola při výkonu 150 W: zatímco na horském kole jede jezdec rychlostí 25 km/h, na lehokole je to téměř 32 km/h, což je pro běžného jezdce podstatný rozdíl. Do kopce sice na rychlosti ztratí, v porovnání průměrných cestovních rychlostí v praxi však lehokolo vychází jako lepší volba.

8 VLASTNÍ KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ

8.1 Realizace vlastní koncepce

Realizace návrhu probíhala následovně:

- Proměření lidského těla a následného určení přirozené a pohodlné polohy
- Náčrt a prvotní návrh rámu s ohledem na umístění jednotlivých skupin vozidla (kola, řízení, pohon) a polohu jezdce, určení hlavních rozměrů
- Tvorba digitálního objemového modelu rámu
- Návrh a modelování některých konstrukčních celků vozidla a úprava modelu rámu podle jejich rozměrů a polohy
- Pevnostní kontrola rámu
- Optimalizace rámu s ohledem na pevnostní kontrolu
- Tvorba výkresů

Pro/ENGINEER

Model rámu a ostatních součástí vozidla byl vytvořen pomocí programu Pro ENGINEER Wildfire 3.0. Ten umožňuje maximálně využít výhod objemového modelování s následujícími vlastnostmi:

3D modelování

Model vytvořený v tomto programu existuje jako prostorové těleso. To umožňuje vytváření realistické geometrie a umožňuje také přesné výpočty, např. určování hmotnostních charakteristik.

Parametrický návrh

Geometrie modelu se řídí kótami, např. vzdálenost, úhel, průměr. Je možné vytvářet vztahy umožňující automatický výpočet parametrů pomocí hodnot parametrů jiných. Změna kóty se okamžitě projeví změnou geometrie modelu.

Prvky

Modely jsou v programu tvořeny konstrukčními prvky. Každý prvek vyžaduje od uživatele informace specifické typu daného prvku. Např. osa je definována polohou osy, průměrem a hloubkou. Zaoblení vyžaduje výběr hrany a zadání poloměru zaoblení.

Asociativita

Program je plně asociativní, jakákoliv změna modelu v libovolném okamžiku se šíří celým návrhem a automaticky proběhne úprava provázaných objektů včetně sestav, výkresů a obráběcích dat.

Kolize

Pracujeme s postupným modelováním součástí a jejich následným sestavováním do sestav. Při sestavování zadáváme podmínky polohy jednotlivých součástí a můžeme sledovat kolizní situace jednotlivých součástí.

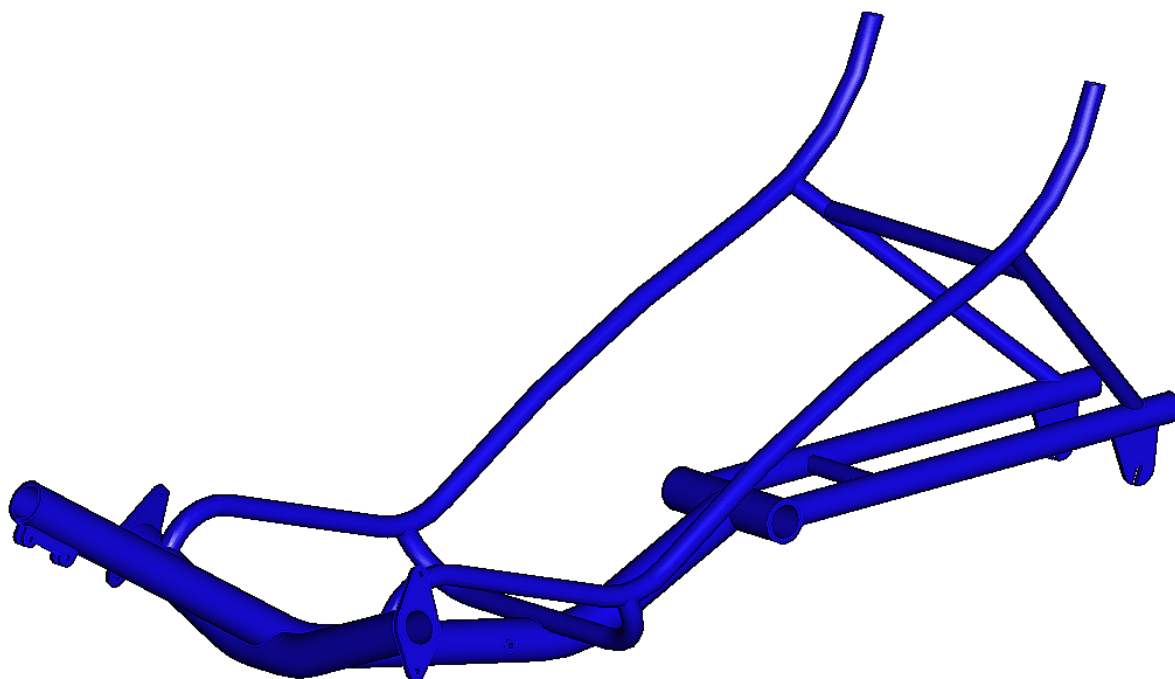
Pomocí tohoto programu byly vytvořeny modely rámu a některých konstrukčních celků vozidla, které byly spojeny v sestavu vozidla a upraveny podle rozměrů a polohy lidského těla tak, aby všechny ovládací prvky byly v dosahu jezdce a poloha jezdce samotná byla dostatečně pohodlná.

8.2 Rám

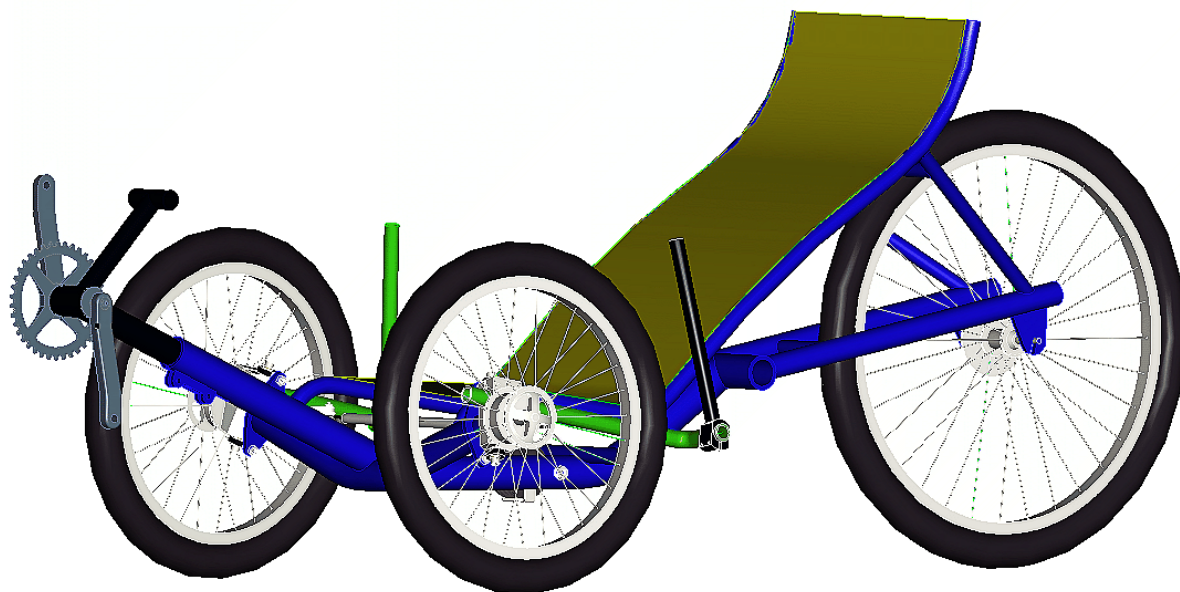
Rám je navržen jako prostorový svařenec zhotovený z profilů – trubek z hliníkové slitiny. Základem rámu je dvakrát prohnutá trubka. V přední části je k ní příčně přivařena trubka, ke které se uchycují přední kola. V zadní části je k hlavní trubce připojena zadní vidlice. Konstrukce sedadla propojuje přední část rámu se zadní stavbou pomocí vzpěr vidlice. Rám sedadla je tak nedílnou součástí rámu a zvyšuje pevnost základního rámu. Svařování probíhá metodou TIG.

Z důvodu jednoduchosti a nízkých výrobních nákladů je rám neodpružený. O pohodlí jezdce a tlumení rázů se stará pružný výplet sedadla.

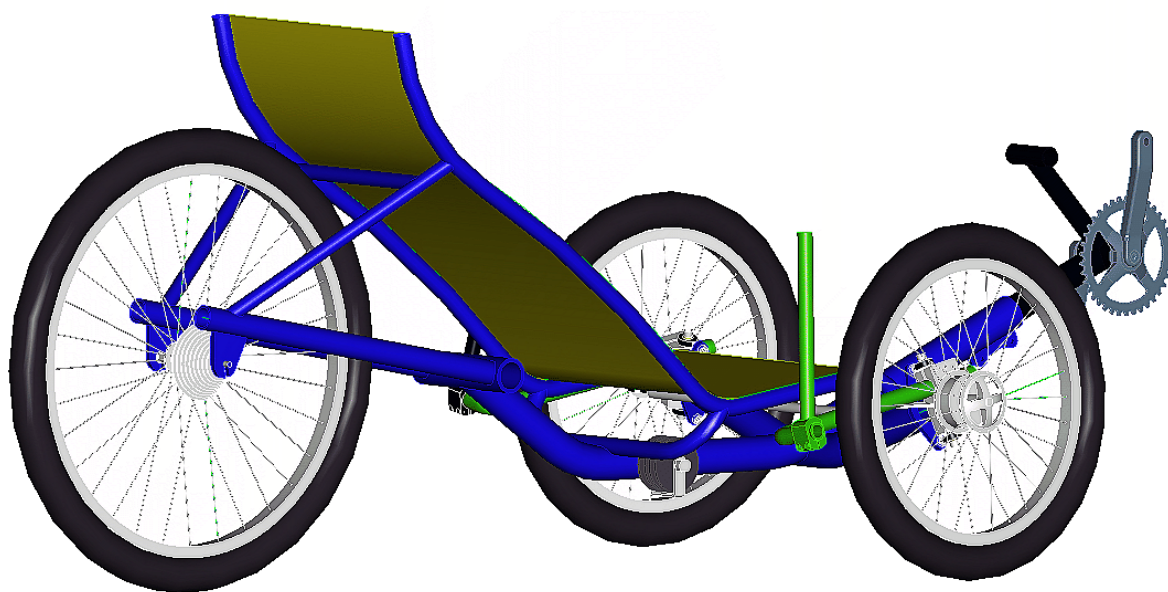
Rozvor kol je 1150 mm, rozchod předních kol je 740 mm. Rozchod kol je dán legislativou. Maximální šířka vozidla nesmí přesáhnout 800 mm.



Obr. 8.1 Rám HPV



Obr. 8.2 Pohled na vozidlo



Obr. 8.3 Zadní pohled

8.3 Sedadlo a nastavitelnost

Konstrukce sedadla je pevnou součástí rámu. Rám sedadla je vyroben z trubek přivařených k základnímu rámu. Toto řešení zpevňuje celou konstrukci rámu, není však možné upravovat polohu sedadla. Samotná plocha sedadla je tvořena látkovým výpletem, který zachycuje rázy přenášené na jezdceva záda. Vhodný je výplet ze síťoviny nebo popruhů, který umožňuje ventilaci vzduchu a zamezuje tak pocení jezdceových zad,

viz obrázek 6.1. Sedadlo je ergonomicky navrženo tak, aby bylo pohodlné pro většinu populace. Návrh tvaru sedadla kromě literatury vychází také z měření na lidech. Cílem bylo nalézt optimální a nejpohodlnější polohu.

Nastavitelnost a přizpůsobení vozidla lidem různého vzrůstu je řešena vysouváním konzole nesoucí středové složení (anglicky boom). Toto je nejobvyklejší možnost nastavení lehokol. Nastavitelnost sedadla ani zdaleka není standardem, zvláště v kategorii tříkolek.

Navrhované provedení umožňuje nastavení pro délku natažených nohou v rozmezí 250 mm (940 ÷ 1190 mm, tzv. x-seem podle kapitoly 6.4). Což podle srovnání s normou VDI 2780 a SAE J833a, [4], odpovídá většině dospělé populace. Normy uvádí hodnoty hlavních tělesných rozměrů pro 5 % ženu (výška 1500 mm), 50 % člověka (1650 mm) a 95 % (1890 mm). Vysvětlení: 5 % žen je menších, 5 % mužů je větších, 50 % člověk uvádí průměrné hodnoty. Pro vyšší osoby je třeba použít delší konzolu šlapacího středu. Malé úpravy rozměrů docílíme také výměnou klik. Pro osoby menšího vzrůstu se hodí kliky kratší (až 152 mm), pro osoby vyšší naopak kliky délky až 175 mm.

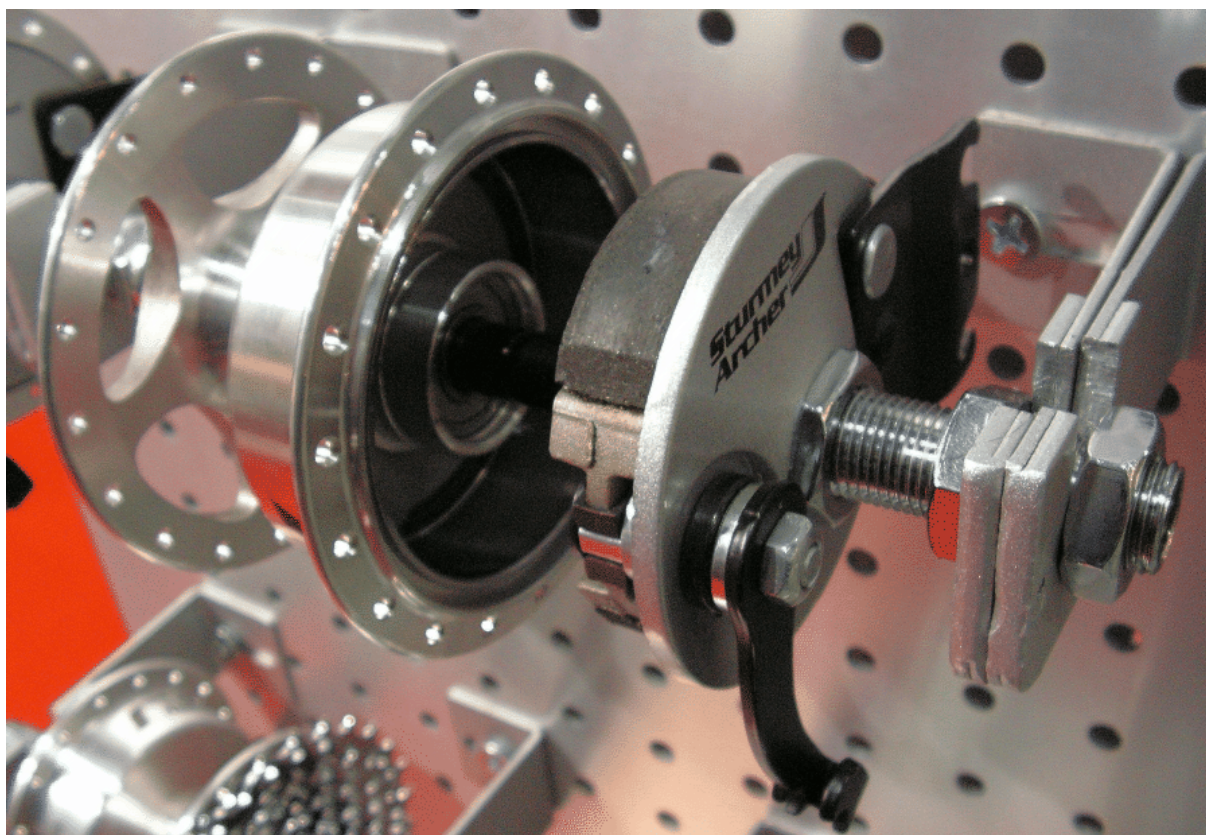
8.4 Kola

Přední kola jsou 20" (ISO 406 mm). Průměr kol je omezen prostorem pro nohy jezdce při maximálním natočení kol. Nesmí dojít ke kolizi kola a nohou jezdce. Průměr zadního kola je volen 26" (ISO 559 mm). Většina vozidel této koncepce má všechna tři kola o průměru 20". Použití většího kola přináší vyšší hmotnost a větší moment setrvačnosti kola. Výhody však převládají. Lze použít nejrozšířenější standardní díly používané u horských a trekových kol. Není třeba upravovat převod (vyšší počet zubů na převodnicích) pro kolo o malém průměru. Kolo většího průměru má menší valivý odpor, méně se opotřebovává pneumatika. Snazší je přejezd nerovností, důvodem je menší poměr velikosti překážky/průměr kola. To je také hlavním důvodem použití 26" kola. Rám je totiž neodpružený a nevýhodou třístopého vozidla je horší objíždění překážek. Výplet, ráfky kol a zadní náboj je standardní. Šířka pneumatik je volena v rozmezí 1,5" ÷ 2,0". Použití 26" kola ovlivnilo velikost rozvoru. Běžná vozidla osazená 20" koly mají rozvor okolo 1050 mm, při použití většího zadního kola je pro zachování geometrie sedadla a polohy jezdce nutné zvolit rozvor 1150 mm.

8.5 Brzdy

Vozidlo musí být vybaveno dvěma na sobě nezávislými provozními brzdami s odstupňovatelným ovládním brzdného účinku. Brzdy jsou umístěny na předních kolech. Při návrhu je počítáno s užitím bubnových brzd integrovaných do předních nábojů, obrázek 8.4. Tyto náboje jsou určeny pro letmé uložení, průměr bubnů brzd je 70 mm. Brzdy mají mechanické ovládní, využívají běžné brzdové páky určené pro „V-brzdy“ nebo mechanické diskové brzdy a běžná lanka a bowdeny.

Vozidlo musí být vybaveno také parkovací brzdou. Tato brzda neslouží k zastavení nebo zpomalení vozidla, má zamezit samovolnému rozjetí vozidla. Je řešena užitím běžné čelistové brzdy na zadním kole. Ovládána je brzdovou pákou vybavenou zajišťovacím kolíkem, který udržuje brzdu sevřenou.



Obr. 8.4 Přední náboj od firmy Sturmey Archer

8.5 Převody a řazení

Vozidlo je osazeno klasickými komponenty používanými u běžných kol. Je vybaveno třemi převodníky s počtem zubů 48-38-26 a 8 nebo 9 pastorky s počtem zubů v rozsahu $11 \div 32$ nebo $11 \div 34$. Kliky volím v délce 165 mm.

Převody různých kol a lehokol se porovnávají podle tzv. „gear inches“, jde o porovnání vzdálenosti ujeté na jedno otočení klik na daný převod. Toto porovnávání pochází z doby vysokých kol, kde jedna otáčka klik znamenala jedno otočení kola (přímý převod). Jednalo se tedy o porovnávání obvodu kola v palcích (anglicky inches). I z dnešního pohledu je však toto porovnávání zajímavé, zejména při srovnávání vozidel s různým poloměrem kol nebo při použití převodovek v nábojích.

Následující tabulky ukazují vzdálenosti ujeté na jednu otáčku klik při daném převodu. Tabulka 8.1 zobrazuje nejčastěji užívanou kombinaci převodníků a pastorků běžného horského kola. Z tabulky je vidět, že z celkového počtu 27 převodů je využitelná zhruba polovina. Ostatní převody nejsou použitelné z důvodu tzv. křížení řetězu. Tabulka 8.2 zobrazuje kombinaci uvažovanou pro navrhované vozidlo. Díky dlouhému vedení řetězu nedochází ke křížení a teoreticky jsou použitelné všechny převody. Jezdec tak má širší možnost využití převodů. V praxi se všech kombinací nevyužívá, mnoho převodů je duplicitních, odpadá však nutnost řazení jen určitých kombinací a snížení životnosti řetězu a dílů řazení jejich nedodržením. Rozložení všech převodů ukazuje graf 8.1.

Vzdálenost ujetá na jednu otáčku klik na nejvyšší převod navrhovaného vozidla je o něco vyšší než u kola horského: 9,05 m oproti 8,30 m, na silničním kole při nejtěžším převodu 52z/13z (odpovídá 44z/11z, je ale zohledněn průměr kola) je tato vzdálenost 8,8 m.

Navrhovaná kombinace převodníků a pastorků odpovídá předpokládanému užití vozidla.

Tab. 8.1 Vzdálenost ujetá na jednu otáčku klik při daném převodu horského kola [m]

Převodník [z]	Pastorky [z]								
	11	12	14	16	18	20	24	28	32
44	8,30	7,61	6,52	5,71	5,07	4,56	3,80	3,26	2,85
32	6,04	5,53	4,74	4,15	3,69	3,32	2,77	2,37	2,07
22	4,15	3,80	3,26	2,85	2,54	2,28	1,90	1,63	1,43

Poznámka: Tabulka zobrazuje nejčastější kombinaci převodníků a pastorků horského kola. Zvýrazněny jsou použitelné převody. [z]-počet zubů

Tab. 8.2 Vzdálenost ujetá na jednu otáčku klik při daném převodu lehokola [m]

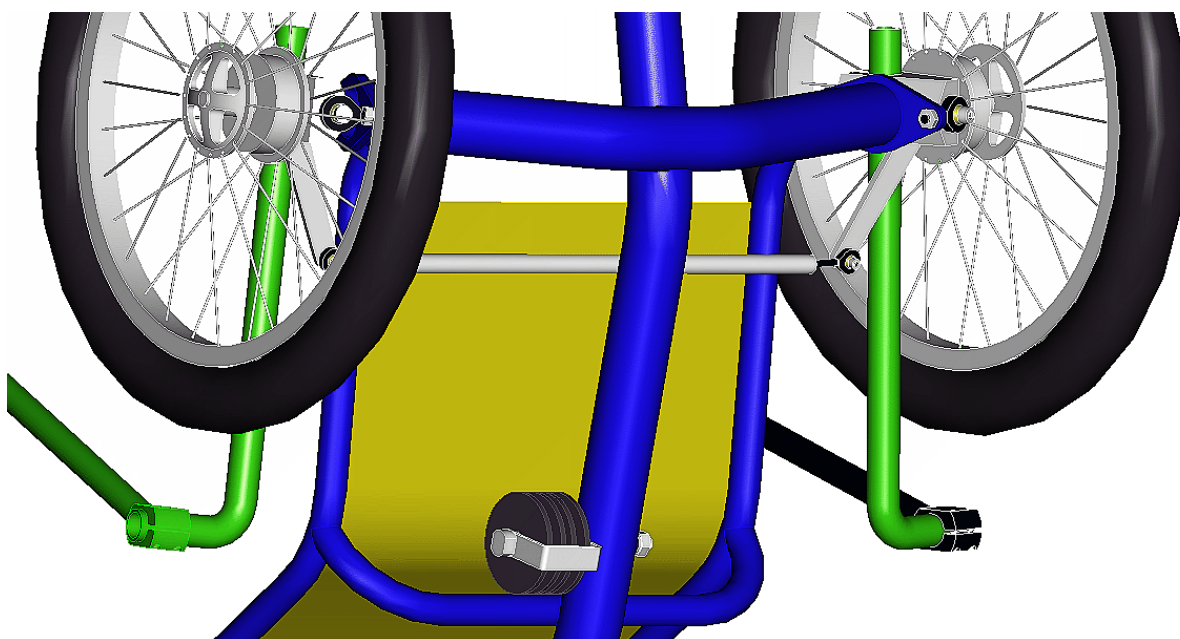
Převodník [z]	Pastorky [z]								
	11	12	14	16	18	20	24	28	34
48	9,05	8,30	7,11	6,22	5,53	4,98	4,15	3,56	2,93
38	7,17	6,57	5,63	4,93	4,38	3,94	3,28	2,82	2,32
26	4,90	4,50	3,85	3,37	3,00	2,70	2,25	1,93	1,59

Poznámka: Tabulka představuje uvažovanou kombinaci převodů tříkolky. [z]-počet zubů



Graf 8.1 Rozložení převodů navrhovaného vozidla

Bude použit běžný řetěz určený pro daný počet pastorků. Z důvodu dlouhého vedení řetězu je nutné řetěz spojit (snýtovat nebo použít spojky) ze tří kusů běžného řetězu. Délka řetězu je $2,3 \div 2,5$ x délka běžného řetězu, podle nastavení vzdálenosti šlapacího středu od sedadla. Řetěz je na tahové i vratné části veden přes kladky, aby se vyhnul nízko umístěnému sedadlu. Kladky jsou uloženy na valivých ložiscích na společné ose. Kolem kladek je klec zabraňující spadnutí řetězu na zem při jeho „spadnutí“ z převodníků. Umístěny jsou tak, aby se na nich řetěz vychyloval o co možná nejmenší úhel od původního směru. Úhel opásání je tak co nejmenší a omezuje ztráty třením na kladce.



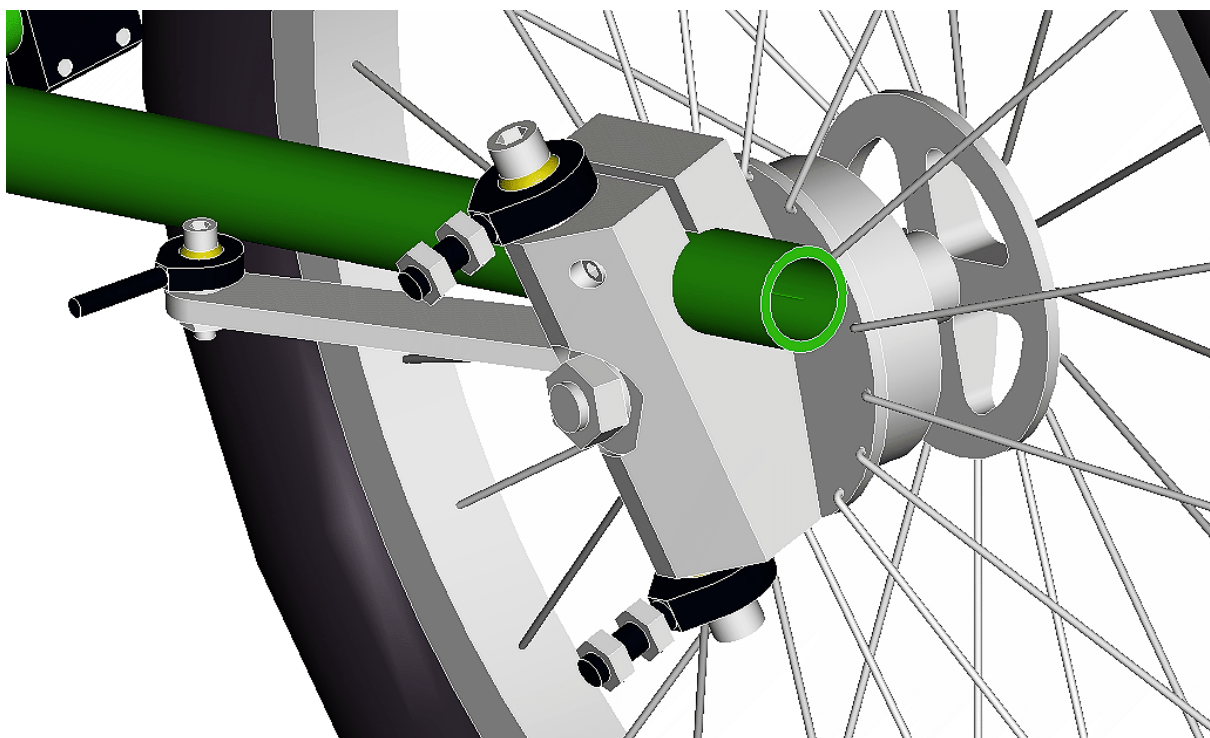
Obr. 8.5 Spodní pohled, kladky vedení řetězu

Je možné vést řetěz v přední části (mezi převodníky a kladkami) v polyamidových trubkách. Polyamid je nejvhodnější z hlediska tření. Trubky jsou na řetězu volně nasunuty a zajištěny jen proti axiálnímu posunu po řetězu, aby nesklouzly směrem ke kladkám. Použití trubek chrání jezdce před znečištěním od řetězu, částečně však zhoršuje údržbu řetězu. Pro omezení znečištění řetězu lze trubky použít obdobně i na částech řetězu mezi kladkami a pastorky/přehazovačkou. Bylo by možné použít také speciálně vyrobené kryty řetězu (například z kompozitních materiálů), výroba takových krytů by však byla složitější a nákladnější. Kryty by měli vyšší hmotnost a vzhledem k jejich umístění blízko vozovky by byly, (na rozdíl od polyamidových trubek) velmi zranitelné.

8.7 Řízení

Z důvodu jednoduchosti a spolehlivosti je použito přímé řízení, proto není třeba zasahovat do konstrukce rámu. Náboje předních kol jsou letmo uloženy v jednoduchých těhlicích, které jsou k rámu upevněny pomocí 2 kulových čepů (ložiskové hlavice). Toto řešení umožňuje malou korekci geometrie nápravy. V případě změny geometrie ve větším rozsahu, je možná výměna těhlice bez zásahu do samotného rámu.

V tělese těhlice jsou upevněna řídítká a v zadní části potom páka lichoběžníku řízení. Řídítká jsou nastavitelná ve všech směrech.



Obr. 8.6 Detail uložení předního kola a upevnění řídítek

8.6.1 Ackermannova geometrie řízení

Natočení řízených kol musí splňovat určité geometrické podmínky, aby se kola odvalovala a nedocházelo ke smýkání a tím opotřebení pneumatik. Střed otáčení vozidla leží na prodloužené ose zadního kola, jedná se o teoretickou geometrii řízení, [3].

l ... rozvor

R ... teoretický poloměr zatáčení

t_0 ... vzdálenost os rejdových čepů

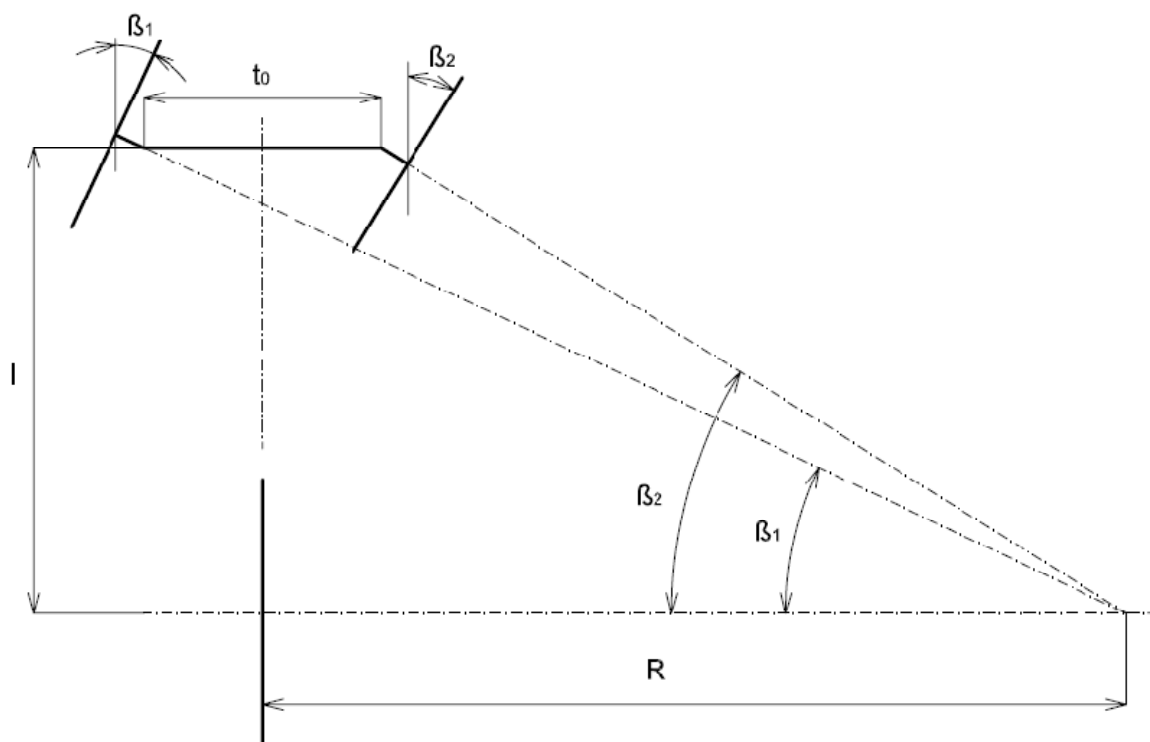
β_1 ... úhel natočení vnějšího kola

β_2 ... úhel natočení vnitřního kola

Vztahy:

$$\cotg \beta_1 = \frac{R + \frac{t_0}{2}}{l} \quad \cotg \beta_2 = \frac{R - \frac{t_0}{2}}{l} \quad (8.1)$$

Z těchto vztahů byla vytvořena tabulka 8.1 uvádějící natočení jednotlivých kol při daném poloměru zatáčení. Minimální poloměr zatáčení vozidla je 2,13 m při maximálním natočení vnitřního kola 32 °.



Obr.8.7 Ackermannova geometrie řízení

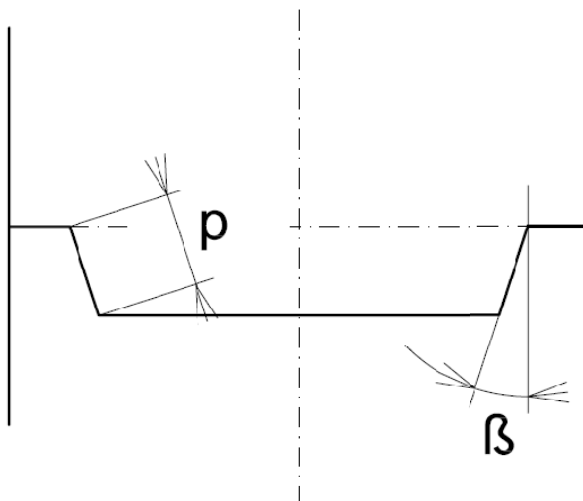
Minimální poloměr zatáčení vozidla je 2,13 m. Tato hodnota je pro běžnou jízdu dostačující.

Tab. 8.1 Úhly natočení předních kol a teoretický poloměr zatáčení

β_1	β_2	R
[°]	[°]	[mm]
32	25,36	2133
30	24,04	2285
28	22,70	2456
26	21,34	2651
24	19,95	2876
22	18,52	3139
20	17,07	3453
18	15,58	3832
16	14,05	4304
14	12,47	4905
12	10,86	5703
10	9,19	6815
8	7,47	8476
6	5,70	11235
4	3,86	16739
2	1,97	33225

8.6.2 Lichoběžník řízení

Na základě ackermannovi geometrie řízení, podle [3], byly určeny geometrické rozměry lichoběžníku řízení.



Obr. 8.8 Lichoběžník řízení

p ... délka páky řízení, $p = 120 \text{ mm}$

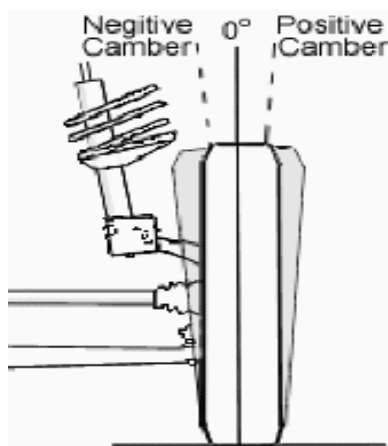
β ... úhel páky řízení, $\beta = 18^\circ$

8.6.3 Geometrie řízených kol

Geometrie řízených kol vychází z geometrie sériově vyráběných vozidel této koncepce. Význam jednotlivých úhlů a doporučené úhly (pro automobily) uvádí literatura [3].

Úhel odklonu kola

Úhel odklonu kola je volen -3° . Uložení kola umožňuje korekci v rozsahu $\pm 3^\circ$, současně se o stejnou hodnotu mění úhel příklonu rejdové osy.

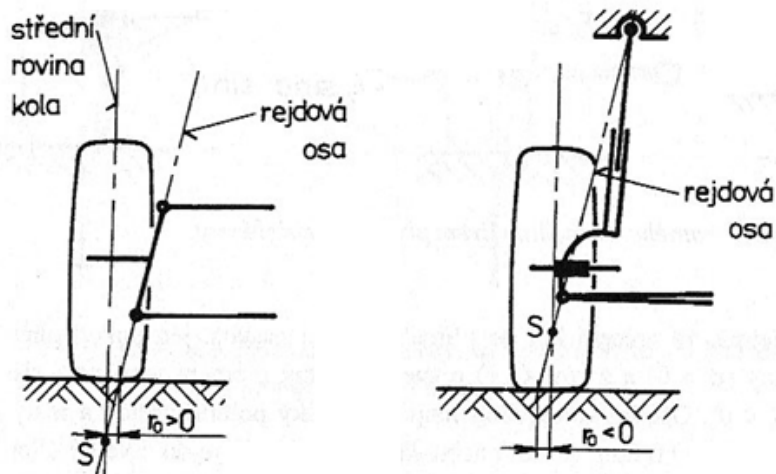


Obr. 8.9 Úhel odklonu kola

Úhel příklonu rejdové osy

Zvoleno: 20°

Poloměr rejdu je záporný, $r_0 = -10$ mm

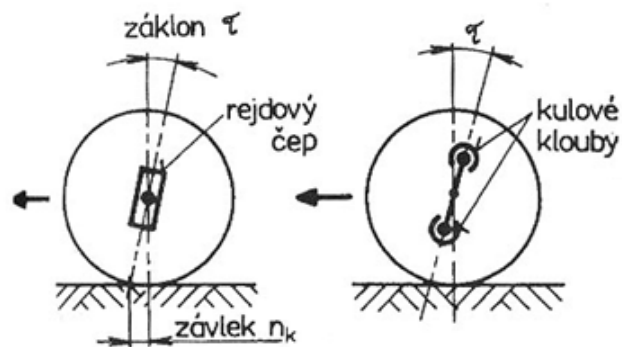


Obr. 8.10 Příklon rejdové osy

Záklon rejdové osy

Záklon rejdové osy $\tau = 11^\circ$

Závlek $n_k = 50$ mm



Obr. 8.11 Záklon rejdové osy

Sbíhavost

Přední kola jsou sbíhavá, sbíhavost 3 mm

8.7 Ostatní doplňky vozidla

Vozidlo musí být vybaveno v souladu se zákonem 341/2002 Sb. odrazkami a pro jízdu za snížené viditelnosti vhodným osvětlením. Přední světlo bude umístěno na konzole šlapacího středu. Zadní světlo bude upevněno na horní části rámu sedadla nebo na zadních vzpěrách. Lze použít běžná cyklistická světla, jejichž zdrojem energie jsou baterie. Vzhledem k použití speciálních nábojů předních kol totiž nelze použít předního dynamonáboje. Odrazky budou nahrazeny reflexními nálepkami na rámu vozidla a bocích kol.

Vozidlo je vhodné vybavit blatníky, které ochrání jezdce před odstříkujícími nečistotami v případě jízdy za deště. Zadní blatník je možno upevnit na výztuhy vidlice a vzpěr tak, jako je tomu u běžného vzpřímeného kola. V případě předních blatníků se naskýtá možnost uchycení blatníků k těhlicím či řídítkům.

Dalšími možnostmi dovybavení vozidla je namontování standardního cyklistického nosiče, tachometru, držáku láhve na pití apod. Pro zvýšení komfortu jezdce se dá v přední části namontovat čelní kryt (tzv. Windshield) zlepšující obtékání jezdce a vozidla vzduchem. Důležitá jsou zpětná zrcátka, která umožní kontrolovat situaci za vozidlem.

Při výběru pedálů je vhodné použít nášlapný systém (tj. pedály v kombinaci s odpovídající obuví, které umožní pevné spojení obuvi s pedálem). Bota je potom pevně spojena s pedálem a jezdec nemusí vynakládat žádnou sílu na udržení chodidel v optimální poloze na pedálu (vzhledem k převýšení středu šlapání a sedadla). Výhodou je, že díky stabilitě tříkolového vozidla nehrozí pády, které jsou časté při zvykání si na tento systém u běžného kola.

9 JEDNODUCHÝ VÝPOČET JÍZDNÍCH MEZÍ

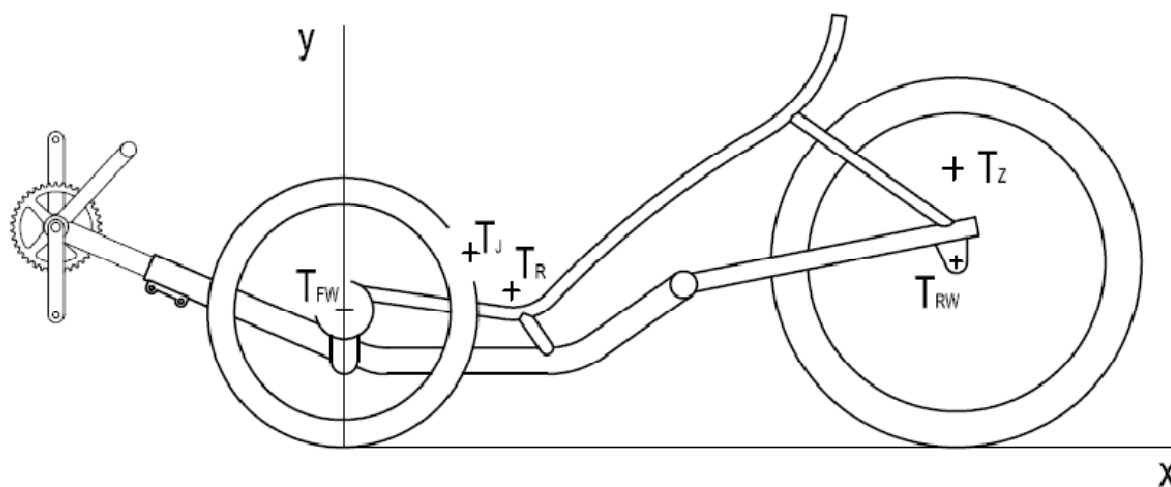
9.1 Určení těžiště soustavy

Soustava se skládá ze dvou hlavních celků – jezdec a vozidlo. Vozidlo je možné rozdělit na další podskupiny. Z hlediska určení těžiště jsem rozdělil vozidlo na několik částí podle tabulky 9.1. Hmotnost a poloha těžiště samotného rámu se dá zjistit přímo v programu, ve kterém vznikl model. K hmotnosti rámu jsou přičteny také další části, jejichž hmotnost a poloha určení těžiště příliš nezkreslí. Skupina předního kola zahrnuje náboje, ráfky, výplet, pláště, duše a uchycení kol. Hmotnost je zahrnuta dvakrát, součásti jsou stejné na pravé i levé straně. Těžiště této skupiny je ve středu kola. Celý rám je symetrický, těžiště tedy leží v podélné rovině symetrie rámu. Zadní skupina kola zahrnuje náboj, výplet, ráfek, pneumatiku, duši a pastorky s přehazovačkou. Těžiště je ve středu kola. Zavazadla jsou umístěna v brašnách na zadním nosiči. Jejich těžiště leží nad zadním kolem. Největší hmotnost představuje v soustavě jezdec. Jeho těžiště je umístěno do oblasti kyčelního kloubu, tzv. bod H. Záleží však na každém jedinci. V praxi se tak hodnoty budou mírně odlišovat od výpočtu.

Tab. 9.1 Poloha těžiště

Část	Označení	Hmotnost	Poloha těžiště [m]	
i		m [kg]	x	y
Rám	T_R	10,5	0,400	0,280
Skupina předního kola (obě kola)	T_{FW}	5	0,000	0,254
Skupina záního kola	T_{FR}	3	1,150	0,330
Jezdec	T_J	85	0,360	0,345
Zavazadla	T_Z	25	1,150	0,580
Celkem bez zavazadel	T	103,5	0,370	0,334
Celkem se zavazadly	T_{ZAV}	128,5	0,521	0,382

Poznámka: Poloha těžiště je vztahována k bodu dotyku předního kola s vozovkou



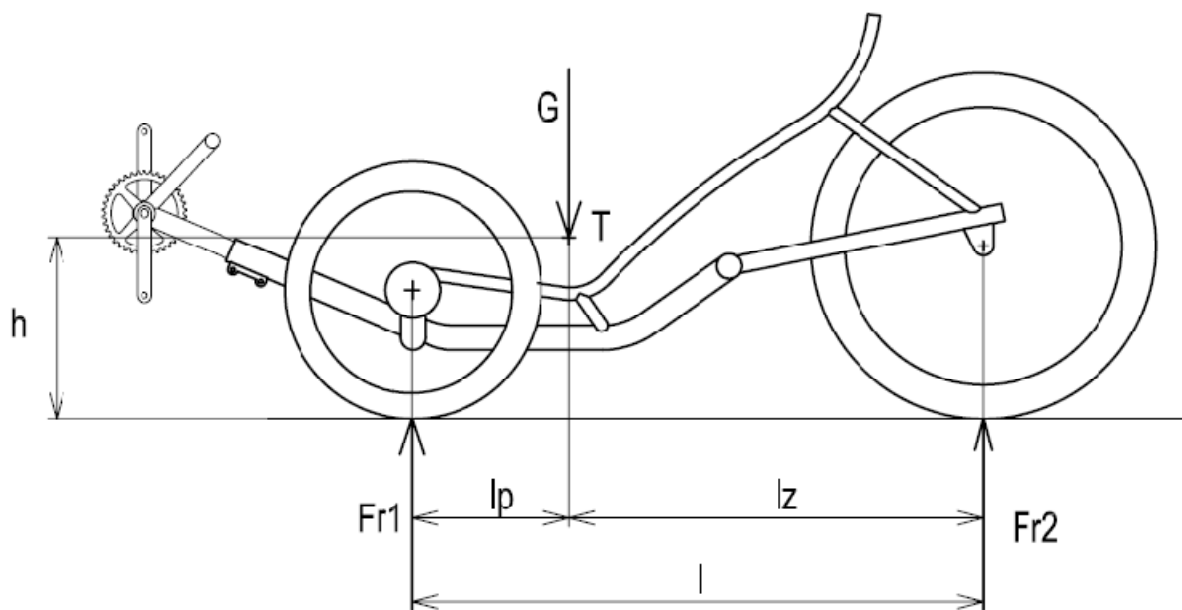
Obr. 9.1 Poloha těžiště jednotlivých částí soustavy

Poloha těžiště je určována podle vztahů:

$$x_T = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^n m_i \cdot x_i \quad (9.1)$$

$$y_T = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^n m_i \cdot y_i \quad (9.2)$$

9.2 Silový rozbor na rovině



Obr. 9.2 Silový rozbor – rovina

9.2.1 Se zavazadly

$$m = 128,5 \text{ kg}$$

$$G = 1260 \text{ N}$$

$$l = 1,15 \text{ m}$$

$$h = 0,382 \text{ m}$$

$$l_p = 0,521 \text{ m}$$

$$l_z = 0,629 \text{ m}$$

$$\sum M_1 = 0: F_{r2} \cdot l - G \cdot l_p = 0$$

$$\sum F_y = 0: -F_{r2} - F_{r1} + G = 0$$

$$F_{r2} = \frac{G \cdot l_p}{l} = \frac{1260 \text{ N} \cdot 0,521 \text{ m}}{1,15 \text{ m}} = 570,8 \text{ N}$$

$$F_{r1} = -F_{r2} + G = -570,8 \text{ N} + 1260 \text{ N} = 689,2 \text{ N}$$

Zatížení předních kol je 689,2 N, na jedno kolo tedy připadá 344,6 N

Zatížení zadního kola je 570,8 N

Rozložení hmotnosti (přední/zadní) je přibližně 54 % / 46 %

9.2.2 Bez zavazadel

$$m = 103,5 \text{ kg}$$

$$G = 1015 \text{ N}$$

$$l = 1,15 \text{ m}$$

$$h = 0,334 \text{ m}$$

$$l_p = 0,370 \text{ m}$$

$$l_z = 0,78 \text{ m}$$

$$\sum M_1 = 0: F_{r2} \cdot l - G \cdot l_p = 0$$

$$\sum F_y = 0: -F_{r2} - F_{r1} + G = 0$$

$$F_{r2} = \frac{G \cdot l_p}{l} = \frac{1015 \text{ N} \cdot 0,37 \text{ m}}{1,15 \text{ m}} = 326,6 \text{ N}$$

$$F_{r1} = -F_{r2} + G = -326,6 \text{ N} + 1015 \text{ N} = 688,4 \text{ N}$$

Zatížení předních kol je 688,4 N, na jedno kolo tedy připadá 344,2 N

Zatížení zadního kola je 326,6 N

Rozložení hmotnosti (přední/zadní) je přibližně 65 % / 35 %

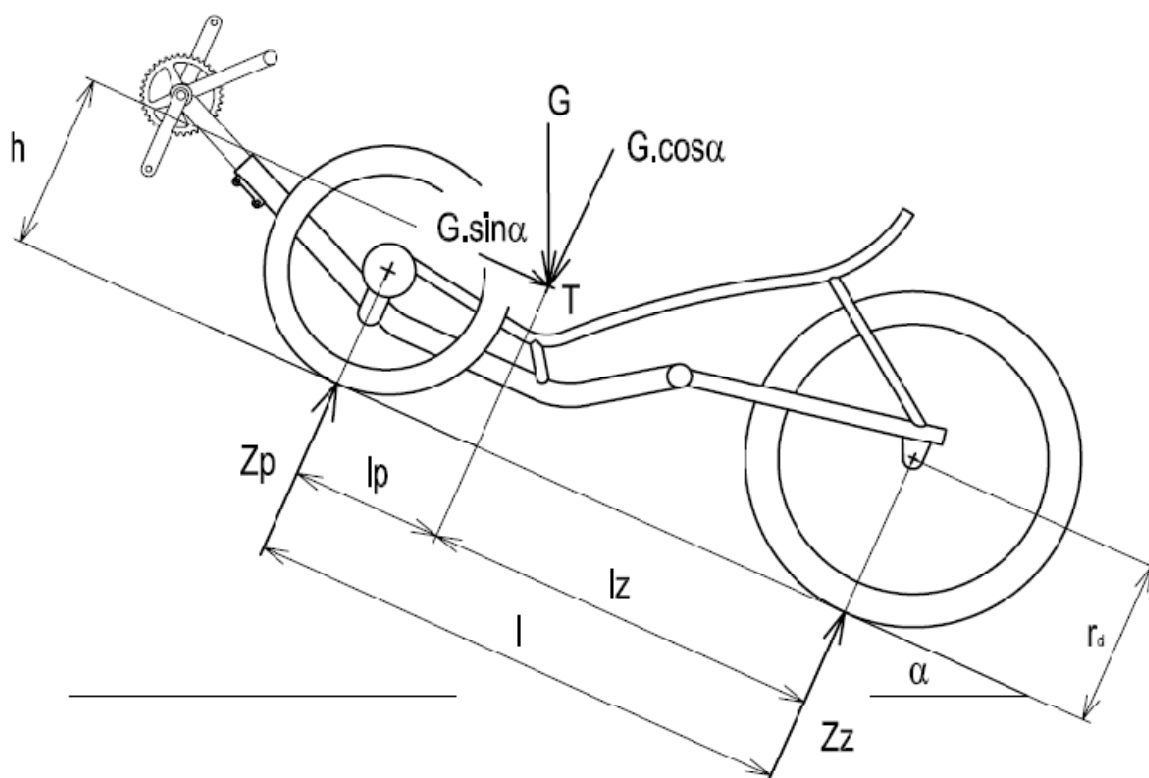
Rozložení hmotnosti se zavazadly je výhodnější, což odpovídá předpokládanému užití – cestování, dálková cykloturistika. Zároveň odpovídá rozložení hmotností sériově vyráběných vozidel této koncepce.

9.3 Výpočet maximální stoupavosti

Řeším staticky pro jízdu se zavazadly, podle literatury [2]. Vozidlo má pohon zadního kola, na obvodě zadního kola tedy působí hnací síla. Pohybuje-li se vozidlo malou konstantní rychlostí, překonává hnací síla jen odpor stoupání a odpor valivý.

$$\text{Hnací síla na obvodě zadního kola: } F_{KZ} = \frac{M_Z}{r_d} \quad (9.3)$$

$$\text{Hnací síla na obvodě předního kola: } F_{KP} = \frac{M_P}{r_d} = 0 \quad (9.4)$$



Obr. 9.3 Silový rozbor – nakloněná rovina

Zatížení zadního kola:

$$Z_z \cdot l - G \cdot l_p \cdot \cos \alpha + G \cdot f \cdot r_d \cdot \cos \alpha + G \cdot h \cdot \sin \alpha = 0$$

$$Z_z = \frac{G}{l} \cdot [(l_p - f \cdot r_d) \cdot \cos \alpha - h \cdot \sin \alpha] \quad (9.5)$$

Maximální stoupavost:

$$F_{KZ} \leq \mu_V \cdot Z_z \quad (9.6)$$

$$\operatorname{tg} \alpha \leq \frac{\mu_V \cdot \frac{l_p}{l} - f \cdot (1 + \mu_V \cdot \frac{r_d}{l})}{1 + \mu_V \cdot \frac{h}{l}} \quad (9.7)$$

Dosazení:

$\mu_V = 0,7$... součinitel přilnavosti

$f = 0,006$... součinitel valivého odporu

Maximální stoupavost se zavazadly:

$$\operatorname{tg} \alpha \leq \frac{0,7 \cdot \frac{0,521 \text{ m}}{1,15 \text{ m}} - 0,006 \cdot \left(1 + 0,7 \cdot \frac{0,33 \text{ m}}{1,15 \text{ m}}\right)}{1 + 0,7 \cdot \frac{0,382}{1,15}} \Rightarrow \alpha = 14^\circ$$

Maximální stoupavost bez zavazadel:

$$\operatorname{tg} \alpha \leq \frac{0,7 \cdot \frac{0,37 \text{ m}}{1,15 \text{ m}} - 0,006 \cdot \left(1 + 0,7 \cdot \frac{0,33 \text{ m}}{1,15 \text{ m}}\right)}{1 + 0,7 \cdot \frac{0,334}{1,15}} \Rightarrow \alpha = 10^\circ 16''$$

Maximální stoupavost vozidla je 25 % (18 %)

Vzhledem k tomu, že takové stoupání se v našich podmínkách téměř nevyskytuje, můžeme vozidlo v běžném provozu použít.

10 PEVNOSTNÍ KONTROLA RÁMU

Pro kontrolu rámu byl použit program Ansys. Výpočet vychází z dříve vytvořeného digitálního modelu rámu. Tento model je rozdělen na konečný počet prvků, u kterých jsou definována posunutí, omezení posuvů a napětí na hranicích prvků. Prvky jsou generovány volně, díky numerické metodě zvyšování stupně polynomu přesně kopírují hranice dané součásti. Zadávané zatěžující síly jsou přiřazovány plochám, rovinám nebo osám modelu. Proto je nutné u některých součástí provést přeložení známých silových účinků do pozic vyhovujících výpočetnímu programu. Výstupem výpočtu je trojrozměrný model rozložení statických napětí na součásti a posunutí. Rozsah napětí a posunutí je barevně odlišen a popsán spektrem barev, kde každá barva odpovídá danému rozsahu napětí či posunutí.

Kontrolu rámu provádím staticky s dvojnásobným zatížením, tedy s požadovanou bezpečností. Tento charakter zatěžovacího cyklu je však pouze přibližný. Rám je ve skutečnosti zatěžován nerovnostmi vozovky, které lze statisticky vyjádřit pomocí koherenční funkce nerovnosti. Navrhované vozidlo však nebude dosahovat takových rychlostí, aby bylo nutné korigovat zvolené zatížení.

10.1 Materiál rámu

Pro rám je zvolen materiál EN AW 7020 T6 (Al, Zn 4,5%, Mg 1%). Tento materiál patří mezi nejpoužívanější hliníkové slitiny pro výrobu cyklistických rámu. Vybrané vlastnosti materiálu jsou [35]:

- Mez pevnosti - $R_m = 350\text{MPa}$
- Smluvní mez kluzu - $R_{p0,2} = 280\text{MPa}$
- Svařitelnost - dobrá
- Třísková obrobiteľnosť - dobrá / uspokojivá
- Korozivzdornost - dobrá / uspokojivá
- Elexovatelnost - podmínečná / špatná

Povrchově je rám upraven práškovým lakováním (polyesterová prášková barva).

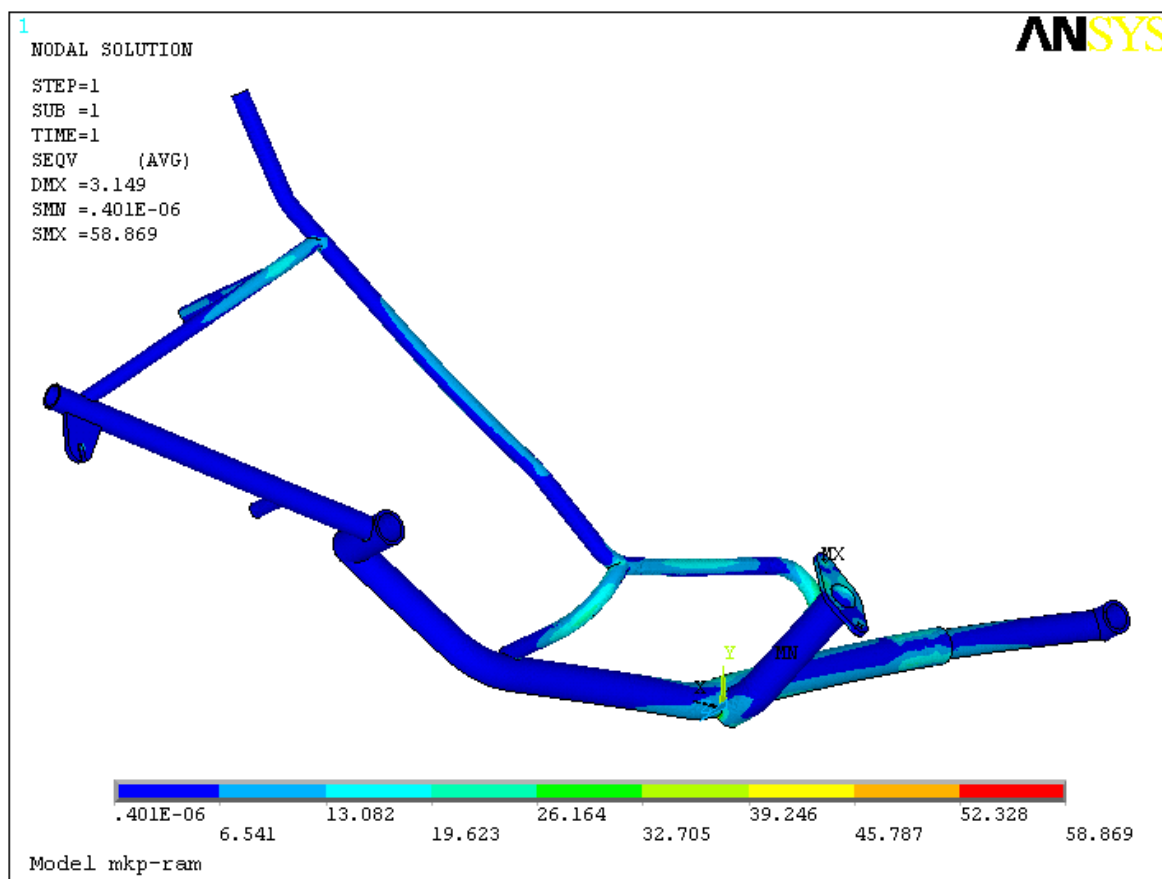
10.2 Kontrola rámu

Rám vozidla je svařenec tvořený hlavní trubkou, na kterou je v přední části kolmo přivařena trubka přední nápravy. Hlavní část rámu je zhotovena z trubek průměru 50x5 mm. Rám sedadla tvoří trubky průměru 25x2,5 mm. Profil zadní vidlice má rozměry 35x2,5 mm. Patky pro upevnění kol jsou z plechu tloušťky 8 mm. Trubka konzoly středu šlapání má průměr 40x4 mm.

Rám kontroluji jako celek staticky s dvojnásobným zatížením. Pro kontrolu je model rámu zjednodušen o části nepodílející se na pevnosti. Jelikož je celý rám symetrický, je prováděna kontrola pouze poloviny rámu s polovičním zatížením. Zatížení je dáno hmotností jezdce a samotného rámu.

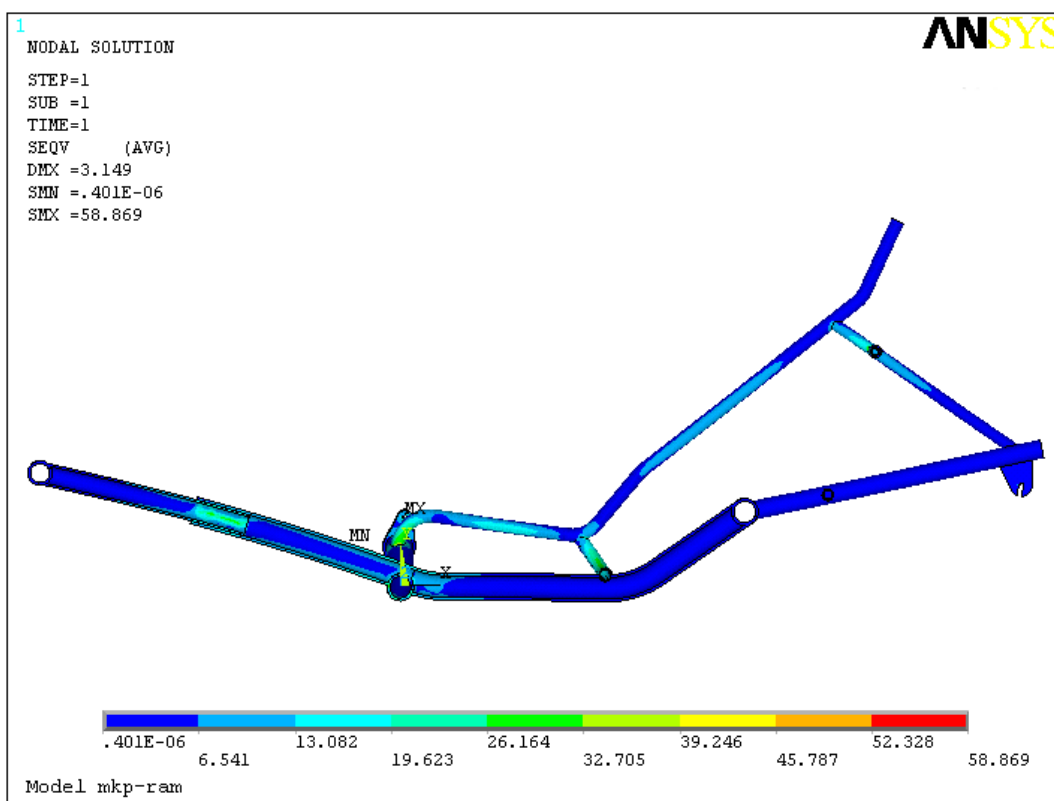
Hmotnost jezdce zvolená pro kontrolu rámu je 100 kg, což odpovídá hmotnosti horních 95 % mužů, tíha jezdce působící na rám v daných místech je tedy 981 N. Podle měření je tíha jezdce rozdělena přibližně takto: 10 % nohy na pedálech, 58 % sedák a 32 % opěradlo. Zatížení je přenášeno z výpletu sedadla na trubky rámu.

Rám je zavazben v místech uchycení kol. V místě uchycení zadního kola je omezen pohyb ve směru os x, y, z. V místě uchycení předního kola je omezen pohyb ve směru os y, z. S ohledem na symetrii rámu a kontrolu pouze jeho poloviny je plochám v rovině symetrie zamezen pohyb ve směru osy z.

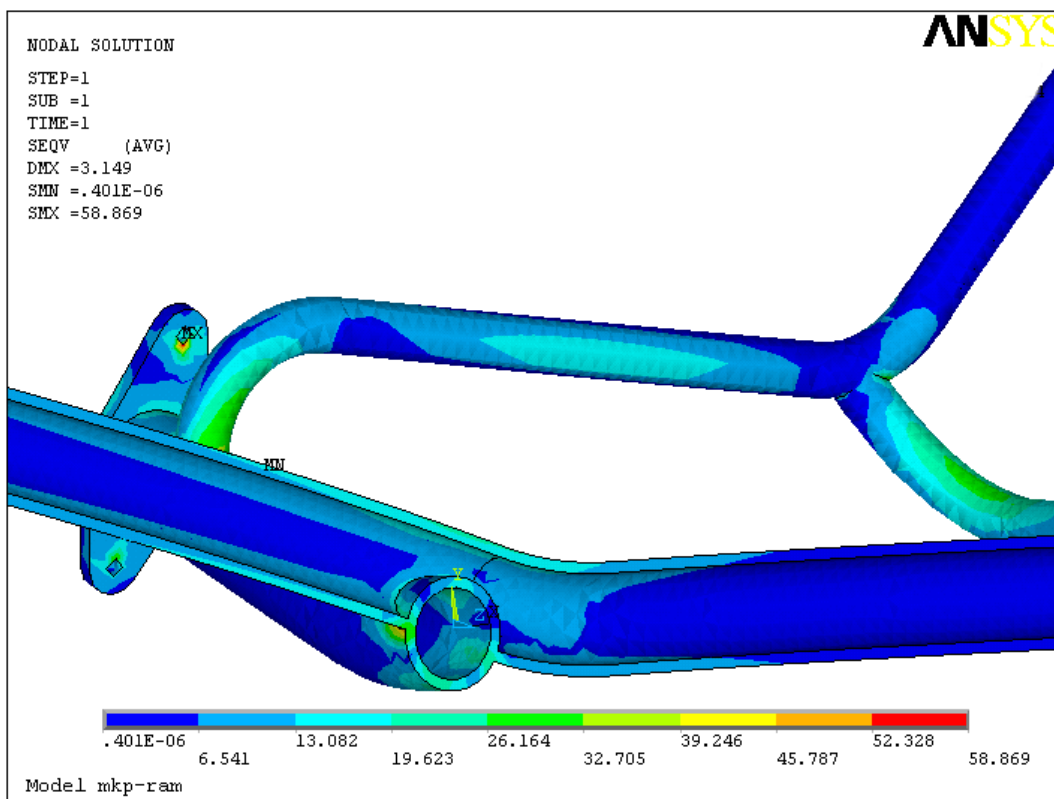


Obr. 10.1 Redukované napětí Von Mises

Maximální hodnota napětí je v místě uložení předního kola do rámu. Další místa s vysokou hodnotou napětí jsou v místech napojení jednotlivých trubek rámu. V těchto místech však z důvodu zjednodušení výpočtu nejsou zaobleny ostré hrany a tak bude skutečné napětí v těchto místech menší.



Obr. 10.2 Redukované napětí Von Mises



Obr. 10.3 Redukované napětí Von Mises – spodní část rámu

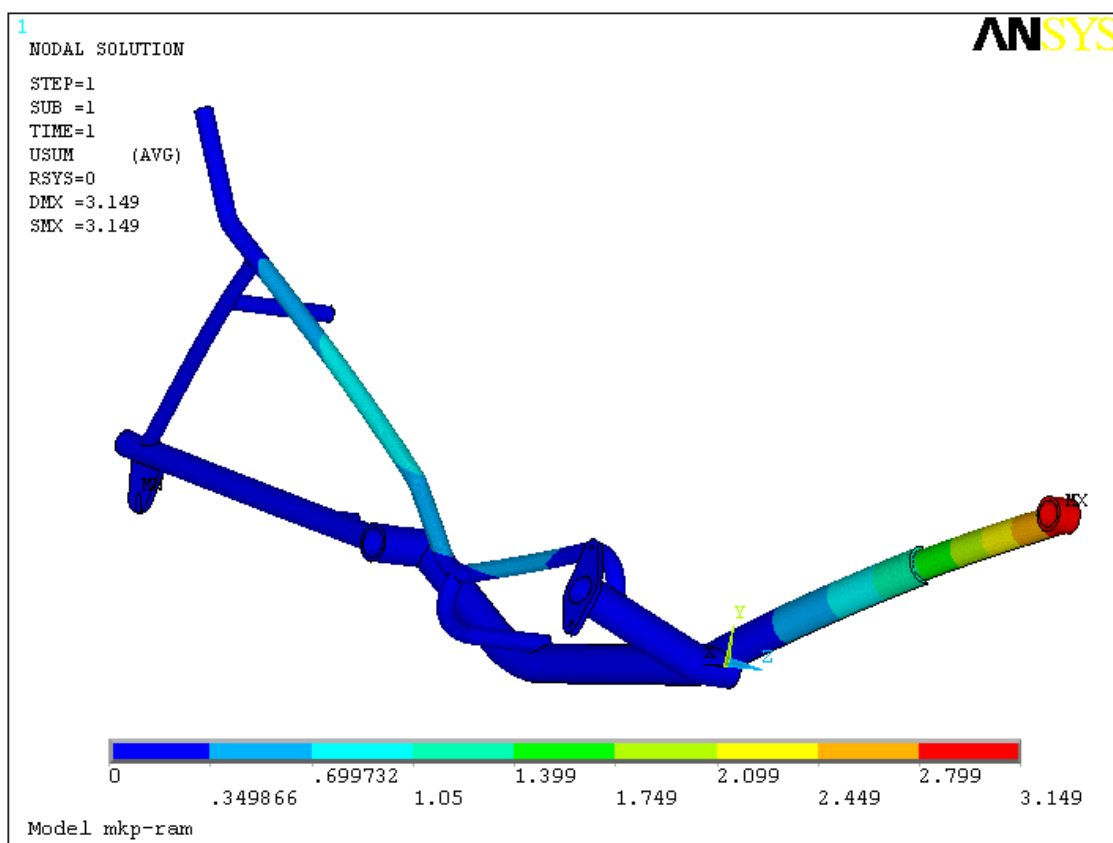
Bezpečnost:

Maximální hodnota napětí $\sigma_{MAX} = 58.9 \text{ MPa}$, $R_{p0,2} = 280 \text{ MPa}$

Hodnota bezpečnosti vzhledem ke smluvní mezi kluzu je $k = 4,7$. Tato hodnota je vyhovující a měla by dostačovat i při skutečných jízdních podmínkách, přináší také možnost další optimalizace pro minimalizování hmotnosti.

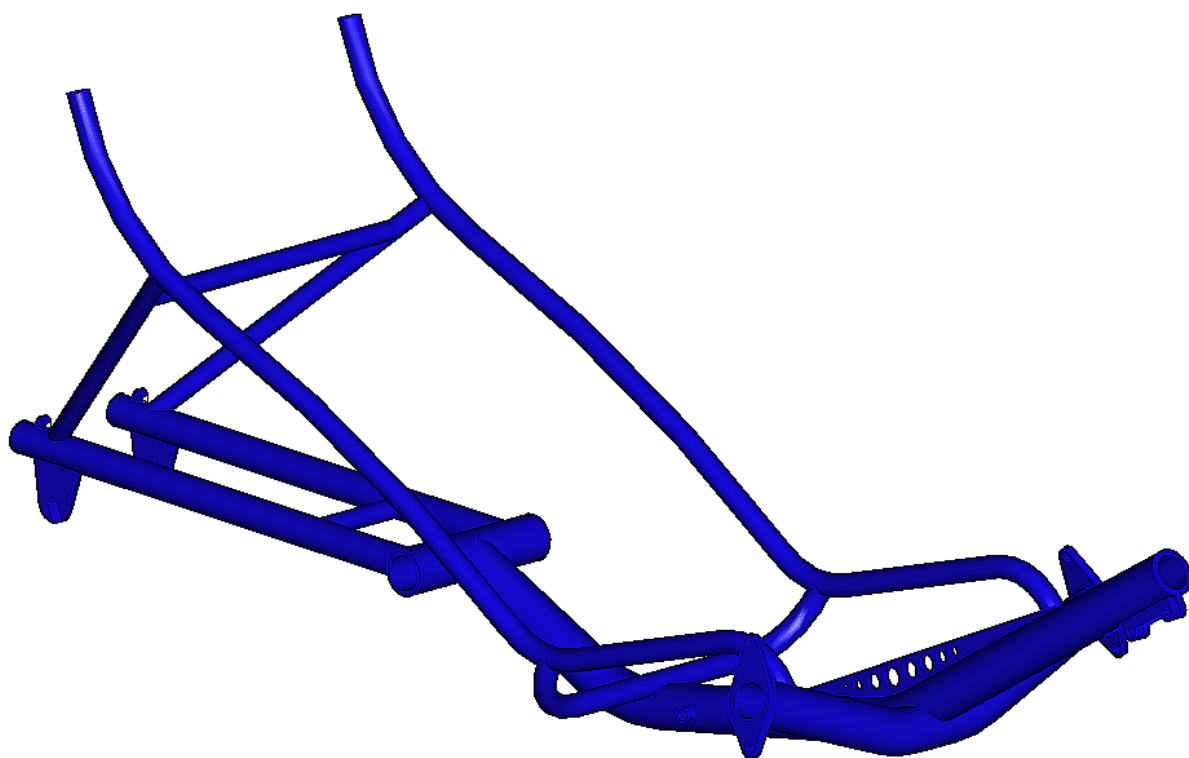
Bezpečnost rámu je vyhovující.

Pro kvalitativní kontrolu byly provedeny i další výpočty s rozdílným počtem prvků i metodou generování sítě. Výsledky těchto výpočtů se lišily minimálně a můžeme tedy prezentované výsledky považovat za dostatečně reprezentativní.



Obr. 10.4 Průběh posunutí rámu

Hodnota maximálního posunutí 3,1 mm se nachází v přední části konzoly středu šlapání. Aby k tomuto průhybu nedocházelo při šlapání, bude upravena tloušťka stěny trubky konzoly z 4 mm na 5 mm a rám bude v místě ohybu doplněn výtuhou.



Obr. 10.5 Rám po úpravě

ZÁVĚR

Cílem této práce byl návrh rámu vozidla poháněného lidskou silou. Při vlastním konstrukčním návrhu byl z důvodu usnadnění stavby prototypu a hospodárnosti následné výroby kladen důraz na co nejvyšší využití sériově vyráběných dílů.

Práce je rozdělena do několika částí. První části slouží k seznámení čtenáře s málo známou problematikou vozidel HPV, jejich zajímavou historií a přínosem pro člověka. Další oddíl přináší přehled nejrozšířenějších koncepcí lehokol, srovnání předností a záporů jednotlivých koncepčních řešení a v neposlední řadě také srovnání lehokola s běžným jízdním kolem. Z této analýzy dané problematiky vzešla také volba koncepce, kterou se zabývá další oddíl práce.

Pro řešení byla zvolena koncepce tříkolového jednomístného vozidla s uspořádáním: Dvě přední řízená kola a jedno zadní poháněné kolo. Toto řešení přináší vysokou stabilitu a pohodlí při jízdě. Nevýhodou jsou potom větší rozměry a vyšší hmotnost v porovnání s ostatními řešeními lehokol. Vozidlo je určeno pro jízdu na kvalitním zpevněném povrchu, kde se dá využít jak pro relaxaci a zábavu, tak pro cestování se zavazadly. Vzhledem k nevšednímu zážitku z jízdy bez nutnosti dlouhého návyku na tento typ vozidla (oproti jiným HPV) se naskýtá možnost využití v půjčovnách nebo při nejrůznějších zábavných akcích.

Návrh samotný vychází z fyziognomie lidského těla a bere ohled na ergonomická hlediska propojení vozidla a lidského těla. Z těchto úvah vzešly základní konstrukční rozměry rámu a vozidla, podle kterých byly následně zpracovány jednotlivé konstrukční celky vozidla. V objemovém modelovacím programu Pro/ENGINEER byly vytvořeny trojrozměrné modely rámu a dalších částí vozidla, které umožnily vygenerovat výkresovou dokumentaci. Následně byl rám zkontrolován metodou konečných prvků v programu ANSYS. Uvažovaná studie nezohledňuje přesně těžiště celé soustavy vozidlo-jezdec, protože, s ohledem na rozdílné proporce a hmotnosti jednotlivých osob, nelze jeho polohu přesně určit. Dalším zjednodušením spočívá v neuvažování konkrétních povrchů vozovky. Po vyrobení prototypu by proto měly následovat systematické jízdní zkoušky, které umožní zpřesnění výpočtů a odstraní uvedené nedostatky. Při jízdních zkouškách je také vhodné osadit kritická místa rámu tenzometry a určit tak skutečné hodnoty napětí. Metodou konečných prvků je pak možné rám dále optimalizovat s cílem dosáhnout jeho minimální hmotnosti.

Další možnosti vývoje tohoto koncepčního řešení vidím v možnosti osazení vozidla čelním krytem či částečnou kapotáží, která by snížila vzdušný odpor vozidla a zvýšila komfort jezdce. Tato koncepce je také vhodná pro řešení pomocného pohonu elektromotorem s možností rekuperace energie. Takové vozidlo by bylo jistě zajímavým dopravním prostředkem vhodným pro každodenní jízdu například ve městech.

Přínosem této práce pro mne bylo zejména zdokonalení a osvojení ovládání použitých programů. Téma diplomové práce mi pak umožnilo seznámit se s velmi zajímavou oblastí ekologických vozidel poháněných lidskou silou, jejich historií, přínosem a jednotlivými koncepčními přístupy.

POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE

- [1] ABBOTT, Allan,V., WILSON, David, Gordon. Human-Powered Vehicles. 1. vydání. 1995. ISBN 0-87322-827-8
- [2] VLK, František. Dynamika motorových vozidel. 2. vydání. 2003. ISBN 80-239-0024-2
- [3] VLK, František. Podvozky motorových vozidel. 2. vydání. 2003. ISBN 80-239-0026-9
- [4] VLK, František. Stavba motorových vozidel. 1. vydání. 2003. ISBN 80-238-8757-2
- [5] VLK, František. Teorie a konstrukce motocyklů 1. 1. vydání. 2004. ISBN 80-239-1601-7
- [6] RAUSCHER, Jaroslav. Vozidlové motory. [online]. Poslední revize 2. 5. 2008 [cit. 2008-20-03]. Dostupné z <<http://www.iae.fme.vutbr.cz> >
- [7] Buckminster Fuller Institute[online]. Poslední revize 2. 5. 2008 [cit. 2008-20-03]. Dostupné z <http://www.bfi.org/images/content/frontpage_events/gossamer.jpg>
- [8] History World. History Of Transport And Travel. [online]. Poslední revize 2. 5. 2008 [cit. 2008-20-03]. Dostupné z <<http://www.historyworld.net>>
- [9] IBIKE. Bicycle History. [online]. Poslední revize 2.5.2008 [cit. 2008-20-03]. Dostupné z <<http://www.ibike.org/library/history-timeline.htm>>
- [10] IHPVA. [online]. Poslední revize 2.5.2008 [cit. 2008-22-03]. Dostupné z <<http://www.ihpva.org>>
- [11] Institute And Museum Of The History Of Science. [online]. Poslední revize 2.5.2008 [cit. 2008-22-03]. Dostupné z <<http://brunelleschi.imss.fi.it/biciclette/leonardo.html>>
- [12] Deutsches Museum. [online]. Poslední revize 2.5.2008 [cit. 2008-22-03]. Dostupné z <<http://www.deutsches-museum.de>>
- [13] URI. Physics [online]. Poslední revize 2.5.2008 [cit. 2008-23-03]. Dostupné z <<http://www.phys.uri.edu/~tony/bicycle/velocipe.gif>>
- [14] Digital Media. [online]. Poslední revize 2.5.2008 [cit. 2008-23-03]. Dostupné z <http://redakce.digitalmedia.cz/upload/images_clanky/514/keram_kolo.jpg>
- [15] BICYCLE MUSEUM. Pedaling History. [online]. Poslední revize 2.5.2008 [cit. 2008-23-03]. Dostupné z <<http://www.pedalinghistory.com> >

- [16] BICYCLEMAN. Recumbent History. [online]. Poslední revize 2.5.2008 [cit. 2008-23-03]. Dostupné z <<http://www.bicycleman.com>>
- [17] KEMPE, Turija. Historie lehocipedu. [online]. Poslední revize 2.5.2008 [cit. 2008-24-03]. Dostupné z <<http://www.lehociped.cz>>
- [18] MORAVIA VELOCIPED. Historie lehocipedu. [online]. Poslední revize 2.5.2008 [cit. 2008-28-03]. Dostupné z <http://www.velociped.cz/_images/85-jrad.jpg>
- [19] Vélorizontal. [online]. Poslední revize 2.5.2008 [cit. 2008-28-03]. Dostupné z <<http://www.velorizontal.com/images/mochet/charlesmochet1.jpg>>
- [20] Old Woodies. [online]. Poslední revize 2.5.2008 [cit. 2008-28-03]. Dostupné z <http://www.oldwoodies.com/img/cyclecars/mochet_velocar_longchamps.jpg>
- [21] BIKEFIX. Recumbents. [online]. Poslední revize 2.5.2008 [cit. 2008-28-03]. Dostupné z <<http://www.bikefix.co.uk/i/faure.jpg>>
- [22] OPTIMA CYCLES. Výrobce lehokol. [online]. Poslední revize 10.5.2008 [cit. 2008-20-03]. Dostupné z <<http://www.optima-cycles.nl>>
- [23] AZUB. Výrobce lehokol. [online]. Poslední revize 10.5.2008 [cit. 2008-20-03]. Dostupné z <<http://www.azub.cz>>
- [24] EASY RACERS. Výrobce lehokol. [online]. Poslední revize 10.5.2008 [cit. 2008-10-04]. Dostupné z <<http://www.easyracers.com>>
- [25] FLEVOBIKE. Výrobce lehokol. [online]. Poslední revize 10.5.2008 [cit. 2008-10-04]. Dostupné z <<http://www.flevobike.nl>>
- [26] HONZA A ELIŠKA. Stránky o cestách. [online]. Poslední revize 10.5.2008 [cit. 2008-10-04]. Dostupné z <<http://www.eh-adventures.com>>
- [27] HAKIKI, Vepa. Blog. [online]. Poslední revize 12.5.2008 [cit. 2008-15-04]. Dostupné z <<http://vepa.bloggum.com/resim/varna-diablo.html>>
- [28] VOLAE RECUMBENTS. Výrobce lehokol. [online]. Poslední revize 12.5.2008 [cit. 2008-15-04]. Dostupné z <<http://www.volaerecumbents.com>>
- [29] WISIL HPVERS. Stránky o lehokolech. [online]. Poslední revize 12.5.2008 [cit. 2008-15-04]. Dostupné z <<http://www.wisil.recumbents.com>>
- [30] NAKOLE. Diskuse o lhocipedch. [online]. Poslední revize 12.5.2008 [cit. 2008-15-04]. Dostupné z <<http://www.nakole.cz/diskuze>>
- [31] BLÁHA, LADISLAV. Lehokolo. [online]. Poslední revize 20.5.2008 [cit. 2008-18-04]. Dostupné z <<http://www.lehokolo.com>>

- [32] NAVRÁTILOVÁ, EVA. O 106 recumbents. [online]. Poslední revize 20.5.2008 [cit. 2008-18-04]. Dostupné z <<http://www.blids.nl/o106>>
- [33] CATRIKE. Výrobce tříkolek. [online]. Poslední revize 20.5.2008 [cit. 2008-18-04]. Dostupné z <<http://www.catrike.com>>
- [34] GREENSPEED. Výrobce tříkolek. [online]. Poslední revize 20.5.2008 [cit. 2008-18-04]. Dostupné z <<http://www.greenspeed.com.au>>
- [35] ALCAN DĚČÍN EXTRUSIONS S.R.O. Profily. [online]. Poslední revize 20.5.2008 [cit. 2008-25-04]. Dostupné z <<http://www.alcan.cz>>
- [36] MINISTERSTVO DOPRAVY ČR. Legislativa. [online]. Poslední revize 20.5.2008 [cit. 2008-25-04]. Dostupné z <<http://www.mdcr.cz>>
- [37] ALUNET. Hliníkové profily na míru. [online]. Poslední revize 20.5.2008 [cit. 2008-25-04]. Dostupné z <<http://www.alunet.cz/normy-tvrdosti.html>>

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

Označení	Jednotka	Název
O_f	N	Valivý odpor
O_v	N	Vzdušný odpor
O_s	N	Odpor stoupání
O_z	N	Odpor zrychlení
F_{r1}	N	Reakce na předním kole
F_{r2}	N	Reakce na zadním kole
F_{kp}	N	Hnací síla na obvodu předního kola
F_{kz}	N	Hnací síla na obvodu zadního kola
G	N	Tíha soustavy vozidlo-jezdec
M	Nm	Moment síly k bodu
P	W	Výkon
m	kg	Hmotnost
g	m/s^2	Tíhové zrychlení
v	m/s	Rychlost vozidla
ρ	kg/m^3	Hustota
S_x	m^2	Velikost čelní plochy
c_x	-	Koeficient odporu vzduchu
μ_v	-	Součinitel přilnavosti
f	-	Součinitel valivého odporu
h,x,y	m	Poloha těžiště
r_d	m	Dynamický poloměr kola
l	m	Rozvor kol
l_p	m	Vzdálenost osy předního kola od těžiště
l_z	m	Vzdálenost osy zadního kola od těžiště
z	m	Rozchod předních kol
R	m	Poloměr zatačení
p	m	Délka páky řízení
t_0	m	Vzdálenost os rejdových čepů
n_k	m	Závlek
s	%	Stoupání
α	°	Úhel sklonu vozovky
β	°	Úhel páky řízení
β_1	°	Úhel natočení vnějšího kola
β_2	°	Úhel natočení vnitřního kola
τ	°	Záklon rejdové osy

Označení	Jednotka	Název
R_m	Mpa	Mez pevnosti
$R_{p0,2}$	Mpa	Smluvní mez kluzu
σ_{DO}	Mpa	Dovolené napětí
σ_{MAX}	Mpa	Maximální napětí
k	-	Bezpečnost

HPV	Human Powered Vehicle
IHPV	International Human Powered Vehicle Association
EPV	Ecological Powered Vehicle
UCI	Union Cycliste Internationale
MHD	Městská hromadná doprava
SWB	Short Wheel Base
LWB	Long Wheel Base
CLWB	Compact Long Wheel Base
OSS	Over Seat Steering
USS	Under Seat Steering
RWD	Rear Wheel Drive
FWD	Front Wheel Drive
FEM	Finite Element Method
HMH	Podmínka Plasticity (Von-Miseses)
MKP	Metoda konečných prvků
TIG	Tungsten Inert Gaz

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1: Technické požadavky na jízdní kola, potahová vozidla a ruční vozíky

Výňatek z 341/2002 Sb.

Příloha 2: Výkresová dokumentace

Výkres rámu HPV

0-S31-01

Výkres sestavy HPV

0-S31-HPV-01

Příloha 3: CD