



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO INŽENÝRSTVÍ

INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

NÁVRH JÍZDNÍHO KOLA PRO MĚSTSKÝ PROVOZ

CITY HPV

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Ondřej Sunek

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Zdeněk Kaplan, CSc.

BRNO 2019

Zadání diplomové práce

Ústav: Ústav automobilního a dopravního inženýrství
Student: Bc. Ondřej Sunek
Studijní program: Strojní inženýrství
Studijní obor: Automobilní a dopravní inženýrství
Vedoucí práce: doc. Ing. Zdeněk Kaplan, CSc.
Akademický rok: 2018/19

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

Návrh jízdního kola pro městský provoz

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Úkolem diplomové práce je komplexní studium problematiky silničního vozidla poháněného lidskou silou, určeného do městského provozu a konstrukční návrh rámu.

Cíle diplomové práce:

Diplomová práce bude obsahovat konstrukční návrh rámu silničního vozidla poháněného lidskou silou určeného pro každodenní městský provoz. Zpracuje zejména tato témata.

Úvod do problematiky včetně historického vývoje HPV, zhodnocení současných konstrukcí s ohledem na nedostatky a přednosti pro uvedený účel, konstrukční návrh rámu, pevnostní kontrolu rámu, výkres sestavy a vybraných dílů. Závěr bude obsahovat kritické zhodnocení výsledků práce.

Seznam doporučené literatury:

ABBOTT, A. V., WILSON, D. G. Human-Powered Vehicles, Human Kinetics Publishers, 1995, ISBN 0873228278 / 9780873228275, 279 s.

BALLANTINE, R., GRANT, R. Velká kniha o bicyklech, Gemini, sro. 1993, ISBN 80-7161-011-9, 192 s.

WINKLER, F., RAUCH, S. Fahrradtechnik-Konstruktion, Fertigung, Instandsetzung, Klingenberg Buchkunst Leipzig, 1999, ISBN 3-87073-131-1, 505 s.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2018/19

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Josef Štětina, Ph.D.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Tato diplomová práce se zabývá vozidly, která jsou poháněná lidskou silou, konkrétně návrhem rámu cyklistického kola určeného pro městský provoz. Součástí práce je část, která popisuje historický vývoj cyklistických kol, a dále přehled jednotlivých koncepcí kol se zaměřením na jejich výhody a nevýhody.

KLÍČOVÁ SLOVA

HPV, vozidla poháněná lidskou silou, cyklistika, rám, městské kolo

ABSTRACT

This diploma thesis deals with vehicles that are driven by human power, namely the design of a bicycle frame intended for city traffic. Part of the work is a section that describes the historical development of cycling bikes, as well as an overview of individual bicycle conceptions, focusing on their advantages and disadvantages

KEYWORDS

HPV, human powered vehicles, cycling, frame, city bike

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

SUNEK, O. *Návrh jízdního kola pro městský provoz*. Brno, 2019. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav automobilního a dopravního inženýrství. 69 s. Vedoucí diplomové práce Zdeněk Kaplan.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením doc. Ing. Zdeňka Kaplana a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 24. května 2019

.....

Ondřej Sunek

PODĚKOVÁNÍ

Chtěl bych poděkovat svému vedoucímu diplomové práce doc. Ing. Zdeňku Kaplanovi Csc., za odborné vedení, za pomoc a rady při zpracování této práce.

OBSAH

Úvod.....	11
1 Historie jízdních kol.....	12
1.1 Kolo leonarda da vinciho	12
1.2 Celerifere.....	12
1.3 Draisina	13
1.4 Velocipede.....	14
1.5 Velocipede 2.....	15
1.6 Vysoké kolo.....	15
1.7 Bezpečné kolo	16
1.8 Městské kolo.....	16
2 Využití kola v dopravě	18
2.1 Zdravotní hledisko	18
2.2 Časové hledisko	21
2.3 Ekonomické hledisko	21
3 Prostředky vedoucí ke zvýšení cyklistické dopravy ve městech	22
3.1 Rezidenční parkování.....	22
3.2 Nízkoemisní zóny	22
3.3 Kombinace cyklistické a veřejné dopravy	23
3.4 Rozšiřování infrastruktury.....	26
4 Základní popis kola	29
4.1 Rám kola	29
4.2 Vidlice	31
4.3 Brzdy.....	32
4.4 Pohon	33
4.5 Ostatní výbava	35
5 Zhodnocení druhů kol	36
5.1 Horské kolo	36
5.2 Městské kolo.....	36
5.3 Skládací kolo	37
5.4 Lehokolo	38
6 Návrh rámu kola.....	40
6.1 Návrh rozměrů	41
6.2 Volba ráfku a pláště	44
6.3 Normalizované rozměry.....	46
6.4 Volba převodu	48

7	Konstrukční řešení	49
8	Deformačně-napjatostní analýza rámu	51
8.1	Výběr prostředí	51
8.2	Převod modelu do Ansys	51
8.3	Síťování modelu	51
8.4	zadání okrajových podmínek	52
8.5	zátěžné stavy	54
8.6	Zhodnocení rámu	62
	Závěr	63
	Seznam použitých zkratk a symbolů	68
	Seznam příloh	69

ÚVOD

Jízdní kolo patří mezi nejdůležitější vynálezy lidstva a již od svého vzniku se stalo skutečně vzrušujícím strojem, který prodělal obrovský technický vývoj. S více než miliardou vyrobených kusů se řadí mezi nejpočetnější dopravní prostředky na světě. Kolo bylo ve svých počátcích považováno pouze za módní výstřelek, u kterého se nepředpokládala žádná velká naděje na budoucí rozvoj a využití. S postupným společenským a technickým pokrokem se jízda na kole a jeho vlastnictví změnila od nutnosti využít ho jako jediný možný dopravní prostředek pro cestu do a z práce, po volnočasovou a odpočinkovou aktivitu, v mnohých případech se stala částečně i módní záležitostí a jeho vlastnictví je v dnešní době v porovnání s dobou v jeho začátcích dostupná a naprosto běžná věc.

Za svou existenci zaznamenalo kolo několik útlumů ve svém využití, a to především díky rozmachu osobní automobilové dopravy. Na druhou stranu však došlo i k několika nárůstům v jeho používání, zvláště pak v obdobích ekonomické krize, války nebo krize ropné - tedy v dobách, kdy byly pohonné hmoty drahé nebo byl jejich nedostatek. V poslední době vzrostl o kolo zájem především proto, že ho stále více lidí používá k rekreaci nebo jako každodenní dopravní prostředek. V mnoha městech se počet cyklistů zdvojnásobil až ztrojnásobil, neboť je plně podporován budováním infrastruktury pro ně přímo určené. Je více než přirozené, že se vzrůstajícím počtem cyklistů roste snaha zkonstruovat také co nejlepší bicykl. Právě u kola můžeme pozorovat obrovský technický pokrok, od konstrukce brzd, převodů, přes pneumatiky, až po celkové odlehčení. Vývoj s sebou přinesl rozlišení kol podle způsobu použití, a přestože se základní tvar kola od svých počátků téměř nezměnil, dnešní typy představují naprostý vrchol v jeho vývoji.

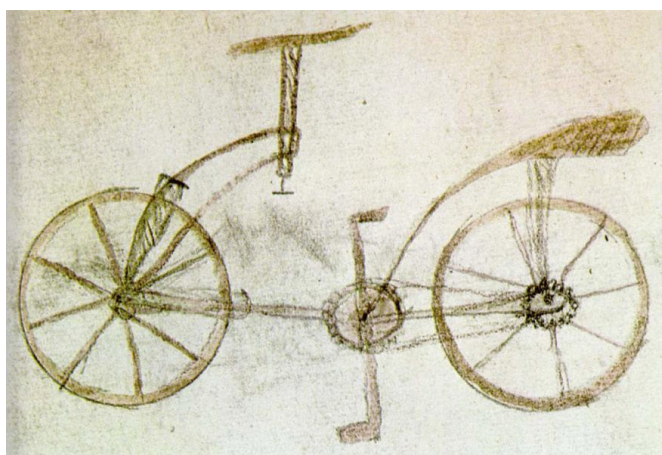
V této práci představím a zmapuji historii kola, popíšu jeho komponenty a jeho druhy, které se liší podle účelu, ke kterému jsou určeny, a zvláště se zaměřím na městské kolo. Dále se pokusím ozřejmit důvody, proč ho v městské dopravě používat, a představím možnosti kombinace s ostatní veřejnou dopravou. Cílem mé práce je pak takové kolo do města navrhnout, na rámu provést pevnostní analýzu, která prověří jeho celkovou funkčnost, a na závěr provést kritické zhodnocení výsledků.

1 HISTORIE JÍZDNÍCH KOL

Kolo nebo spíše jednostopé vozidlo poháněné lidskou silou, které zároveň vyžaduje od jezdce udržování rovnováhy, se datuje do počátku 19. století. Za 200 let vývoje vzniklo několik zlomových návrhů, které měly na budoucí vývoj velký vliv, a mnoho návrhů naopak velmi pravděpodobně nikdy nevzniklo, nebo snad mělo vzniknout několik stovek let před tímto časovým údajem. Zvláště u velmi raných návrhů je obtížné ověřit jejich pravost.

1.1 KOLO LEONARDA DA VINCIHO

Prvním z návrhů je kolo Leonaarda da Vinciho. Plánek tohoto jízdního kola byl nalezen při restaurování da Vinciho manuskriptu a měl by pocházet z roku 1490 [3]. Na náčrtku lze vidět na svou dobu jistě nadčasovou konstrukci. Dvě kola osazené na jednoduchém rámu, přičemž zadní kolo je poháněno něčím, co silně připomíná řetězový převod. Podobně jako mnohé další da Vinciho vizionářské vynálezy se ani toto nedočkalo realizace. Jak se ale v posledních letech ukazuje, onen na svou dobu tak revoluční návrh může být padělek. Kresba by mohla být dílem jednoho z mnichů, který se v šedesátých letech podílel na obnově da Vinciho manuskriptů. Historici se shodují, že vzhledem k velmi špatné kvalitě nebyl tento náčrt Leonardem vůbec nakreslen. Podle historika Carla Pedrettiho, který stejný manuskript studoval, v manuskriptu žádné kolo načrtnuto nebylo, pouze dva kruhy s několika zakřivenými čarami, které později patrně posloužily jako základ pro kresbu onoho mnicha.



Obr. 1 Náčrt kola Leonarda da Vinciho [1]

1.2 CELERIFERE

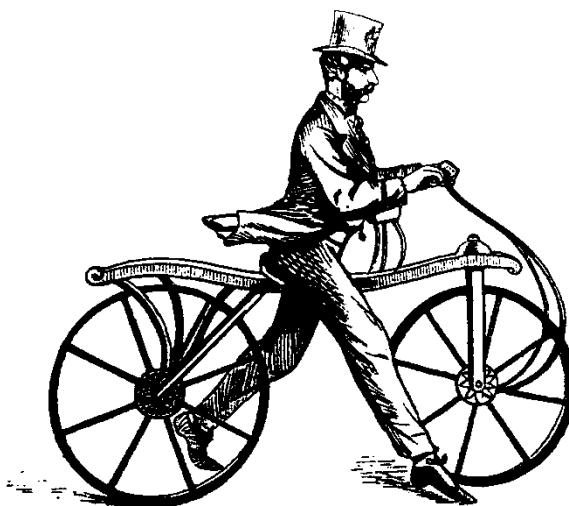
Mělo by jít o první kolo, které poznalo světlo světa kolem roku 1791 a sestrojil jej měl vynálezce Comte de Sivrac [5]. Dvě stejná kola byla spojená dřevěným rámem. Jezdec na tomto stroji seděl obkročmo a poháněl ho střídavým odstrkováním od země. Stroj ještě neměl říditelnou nápravu, změna směru se měla provádět nakláněním celého kola. Jak se později ukázalo, stejně jako u vynálezu Leonarda da Vinciho i tento vůbec nevznikl, francouzský novinář pravděpodobně špatně interpretoval roku 1891 jiný čtyřkolový návrh [2]. Pravda vyšla najevo až v polovině dvacátého století. Bez ohledu na velmi hrubý design Sivracova Celerifere mohla sloužit jako inspirace pro následující kola.



Obr. 2 Replika kola Celerifere [6]

1.3 DRAISINA

Tohoto předchůdce kola navrhl a zkonstruoval německý lesník a vynálezce Karl Drais. Draisina (česky „Drezína“) měla být jakousi odpovědí na problémy v dopravě první polovině 19. století zapříčiněné výbuchem indonéské sopky. Díky tomuto výbuchu došlo ke změně klimatu, jež následující rok vedl v Evropě a Severní Africe k tak velkému ovlivnění úrody, že zde roku 1816 vypukl největší hladomor 19. století. Aby lidé přežili, museli mnohdy porazit koně, kteří byli do té doby hlavním dopravním prostředkem. Karl Drais na tento problém reagoval roku 1817 vynalezením Drezíny [7]. Tato drezína se skládala ze dvou stejných kol spojených centrálním dřevěným nosníkem, přičemž pohon zajišťoval jezdec sám odražením či běžením po cestě. Tato drezína byla schopna urazit 16 kilometrů za hodinu a stala se tak rychlejší než klasický kočár tažený koňmi [8].



Obr. 3 Náskres Drezíny [1]

Jednou z nevýhod byly bezpochyby chybějící brzdy, Drezína neměla možnost nastavení výšky sedla, pro každého uživatele se tak musela vyrobit přímo na míru. Rám nebyl taky nijak odpružen, což společně s velmi hrbolatými cestami působilo jízdu velmi nepohodlnou. Pro hladší povrch proto začali uživatelé Drezín upřednostňovat chodníky, díky častým střetům s chodci se však začalo používání Drezín zakazovat, čímž postupně upadaly v zapomnění. Drezína nikdy nebyla nijak výrazně rozšířena, částečně i díky lepší úrodě a tím i návratu koní v následujících letech, a stala se módou pouze ve vyšších společenských vrstvách ve Francii, Německu, Británii a v Americe. Největší z nevýhod Drezíny je patrně její pohon, odrážení či běžení značně limitovalo její rychlost. V době, kdy Drezína vznikla, však byla tato rychlost vzhledem ke kvalitě cest naprosto dostačující. Se zlepšující se kvalitou cest bylo možné dosahovat větší rychlosti, ne však odrážením či běžením – i proto je Drezína posledním odrážecím vozidlem. Následující vozidla již měla převod lidské síly na pohyb přes pedály a tento způsob přenosu síly se ukázal být více energeticky účinný.

1.4 VELOCIPEDE

Dalším krokem ve vývoji kola byla změna pohonu z odrážení na pedály. Tento krok jako první roku 1842 učinil Kirkpatric Macmillan, přidáním dvou klik na kolo, vycházející z konstrukce Drezíny, které si sám vyrobil. Velocipede, česky Velocipéd, se skládal ze dvou kol, z nichž zadní bylo větší, a rámu, který tato kola spojoval. Kliky přenášely sílu z pohybu jezdce na zadní kolo. Tento způsob přenosu síly se ukázal být účinný, ačkoliv pro jeho ovládnutí byla nutná značná fyzická síla a cvik. Nicméně i s tímto primitivním pohonem se bylo možné dopravit na větší dálky, jak sám Kirkpatric dokázal při své stokilometrové cestě do Glasgow, která mu trvala dva dny. Při kratší jízdě dosahovala jeho průměrná rychlost až 20 km/h v závislosti na terénu [2]. Kirkpatric Macmillan si ovšem svůj vynález nikdy nepatentoval, a tak nebyl dlouhá léta za vynálezce jakéhosi předchůdce kola považován. Již podle obrázku mohou být zřejmé nevýhody, a to celkově velká váha, nemožnost nastavení sedla podle výšky, chybějící brzdy a v neposlední řadě pokovovaná dřevěná kola, která nijak netlumila jízdu přes nerovnosti. Velocipéd, stejně jako mnoho dalších návrhů, nebyl nikdy více rozšířen.



Obr. 4 Nákres Velocipédu [2]

1.5 VELOCIPEDE 2

Za opravdový počátek výroby kol můžeme považovat rok 1861, kdy Pierre Michaux připojil k přednímu kolu Drezíny pedály [2]. Tento vynález se stal za krátko velkým hitem na mezinárodní výstavě v Paříži, která se odehrála téhož roku, a odstartoval další rozvoj cyklistiky. Velocipede již neměl na rozdíl od svých předchůdců kovovou dřevěnou konstrukci, nýbrž byl celý kovový, a byl též již opatřen zadní brzdou. Připojením pohonu k přednímu kolu byla ovšem značně limitována maximální rychlost, kterou Pierre Michaux částečně kompenzoval zvětšením průměru předního kola.



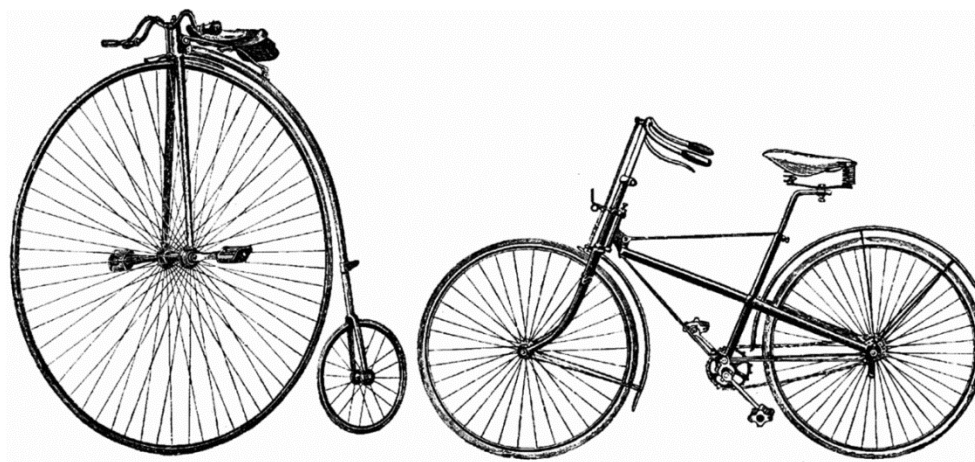
Obr. 5 Replika Velocipédu Pierra Michauxe [9]

1.6 VYSOKÉ KOLO

Maximální rychlost kola (při přímém převodu) je limitována pouze velikostí, čím větší kolo je, tím jezdec dosáhne vyšší rychlosti. Toto postupné zvětšování trvalo až do roku 1867, kdy bylo uvedeno takzvané „Vysoké kolo“, které mělo velké přední kolo a malé zadní kolo [2]. Pro nejúčinnější přenos šlapací síly seděl jezdec lehce za těžištěm kola. Kolo se tímto stalo obtížně ovladatelné zvláště při brždění či přejíždění různých nerovností a při neopatrné jízdě či brždění hrozilo přepadení přes přední kolo, což v kombinaci s výškou, ze které jezdec padal, mohlo způsobit vážná zranění. Problematická byla též ovladatelnost při nižších rychlostech, samotné nasedání při rozjezdu a sesedání při zastavení vyžadovalo zkušenosti, cvik. I přes své značné nedostatky bylo oblíbené v mnoha zemích. Pro každodenní provoz bylo obtížně použitelné a díky vysoké ceně bylo rozšířeno pouze ve vyšších vrstvách, zvláště pro rekreační použití. V následujících letech se i díky tomuto kolu objevilo pro cyklistiku několik důležitých vynálezů, jako jsou náboj s kuličkovým ložiskem, volnoběžka, měnič převodů či vypletená kola s gumovými obručemi.

1.7 BEZPEČNÉ KOLO

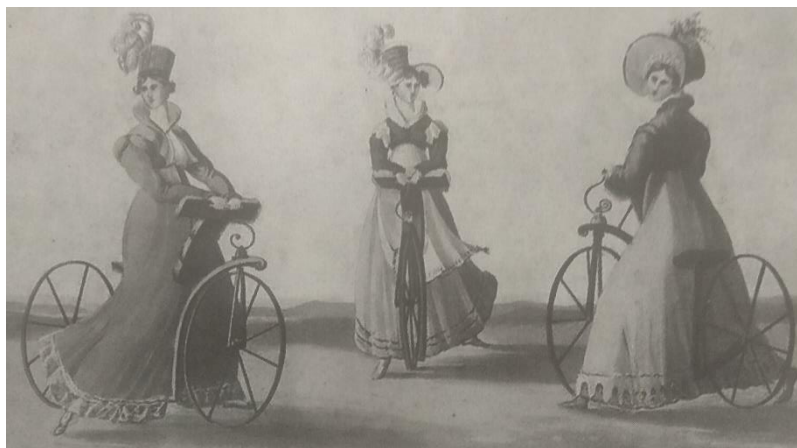
Teprve až tímto kolem se cyklistika rozšířila i mezi prostý lid, a lze ho proto považovat za naprostou revoluci pro cestování, koneckonců kola podobných tvarů se používají dodnes. Toto kolo začal na konci sedmdesátých let 18. století vyrábět Harry John Lawson [2]. Oproti vysokému kolu mělo přes řetěz poháněnou zadní nápravu, použitím dvou stejných kol se značně zvýšila stabilita při přejíždění větších výmolů, použití vzduchem plněných pneumatik znamenalo zvýšení celkového komfortu jízdy a snížení valivého odporu, čímž se zvětšila maximální rychlost. Neposlední velkou výhodou byla jeho relativně nízká cena, takže si kolo mohl dovolit téměř každý. To všechno spolu s jednoduchým ovládáním vedlo k velkému rozmachu cyklistiky a cestování. Toto kolo tak tedy můžeme považovat za naprostý zlom ve zvýšení mobility pro všechny vrstvy obyvatel. Již podle obrázku je zřejmé, že od té doby nepřišel nikdo s lepší konstrukcí kola a po více než sto letech zůstává základní konstrukce prakticky nezměněna.



Obr. 6 Srovnání konstrukce Vysokého a Bezpečného kola [10]

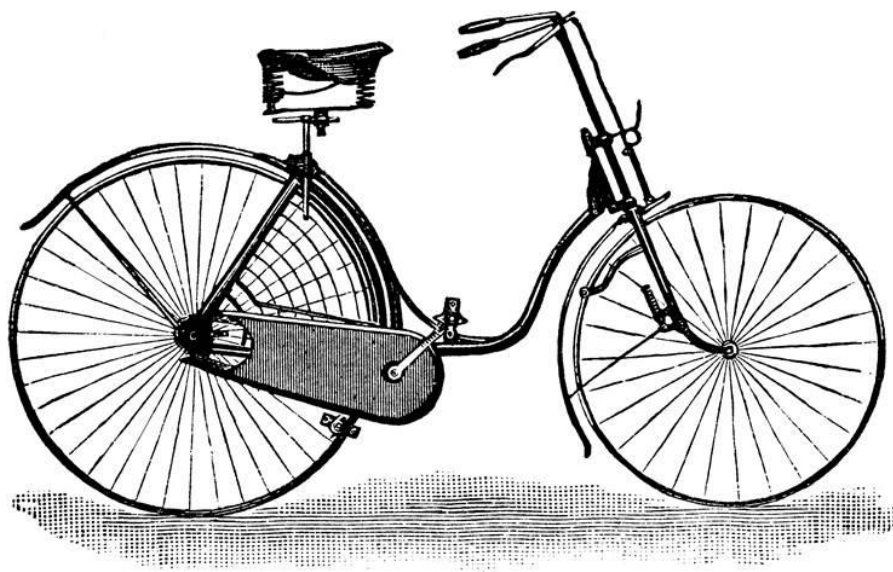
1.8 MĚSTSKÉ KOLO

Kolo do města vzniklo odvozením z dámského kola. Dámy měly totiž se svým oblečením problém nasedat přes horní rámovou trubku. Prapočátek městského kola tedy musíme hledat mezi dámskými koly. Je velmi obtížné určit, kdy vzniklo kolo určené primárně čistě pro městský provoz. Podle mého názoru to bylo až v druhé polovině minulého století. Hlavním znakem městského kola je chybějící horní rámová trubka, která usnadňuje nasedání na –a sesedání z kola. Prapočátek městského kola pravděpodobně můžeme najít v Anglii, kde ho kolem roku 1837 zkonstruoval Denis Johnson [8]. Tento Angličan vyráběl kola přibližně od roku 1818. Jak se ovšem může zdát, nemusí se tak úplně jednat o Johnsonův výtvar. Denis Johnson pravděpodobně využil neprovázanost patentů mezi Evropskými státy a pouhou mírnou úpravou Drezíny mu byl připsán patent na tzv. kočár pro chodce. Ten tvarem zcela vycházel zcela z Drezíny. I jako Drezína byla odrážecí a chyběly jí jakékoliv brzdy. Jako už všechna předešlá kola byl i tento kočár různých modifikací dostupný pouze pro vyšší vrstvy. Toto kolo bylo používáno jen pro rekreaci a pouze u vyšších vrstev. Vzhledem k pohonu odrážením ho lze spíše považovat za předchůdce koloběžky.



Obr. 7 Johnsova varianta Drezíny pro dámy [1]

Dohledat, kdy bylo vyrobeno městské kolo dnešní konstrukce, je velice obtížné a snad i nemožné. Podle dostupných zdrojů však lze s velkou pravděpodobností říci, že se kola s hlubokým nástupem začala vyskytovat nedlouho po vynalezení Bezpečného kola, tedy v druhé polovině 18. století. Kolo určené pouze do města můžeme zaznamenat pak od konce 20. století.



Obr. 8 Bezpečné kolo pro dámy z roku 1889 [7]

2 VYUŽITÍ KOLA V DOPRAVĚ

Kolo je v dnešní době jediný životaschopný osobní dopravní prostředek a s více než miliardou vyrobených kol se jedná bezkonkurenčně o nejrozšířenější dopravní prostředek v historii lidstva (celkový počet aut převyšuje v poměru 2:1, výroba kol přesahuje výrobu aut dokonce v poměru 3:1 [2]). K bydlení ve větším městě neodmyslitelně patří i nutnost pravidelně se po městě přepravovat a poslední dobou čím dál více lidí používá pro dopravu v něm místo automobilu kolo. Kolo na rozdíl od automobilu nezabírá tolik místa a nevyčerpává zásoby energie. Využití kola jako dopravního prostředku s sebou přináší řadu benefitů. K největším můžeme zařadit benefity zdravotní, ekonomické a časové, které si v následující kapitole přiblížíme.

2.1 ZDRAVOTNÍ HLEDISKO

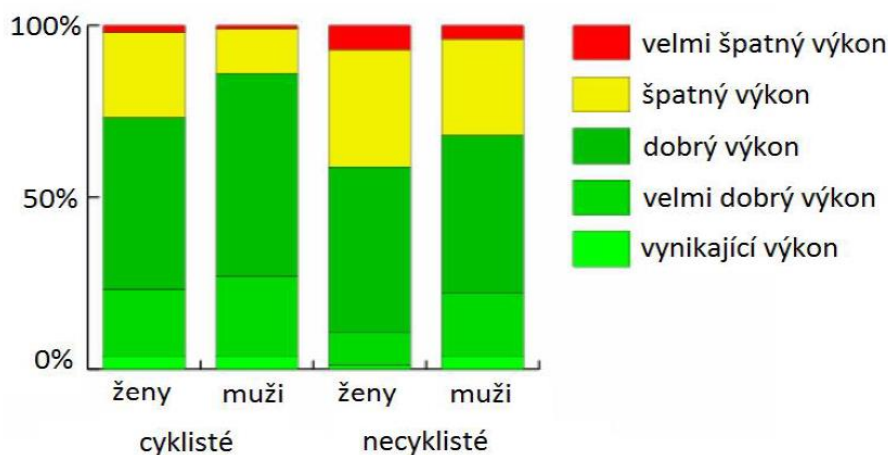
Cyklistika je známa jako velmi energeticky účinný způsob přepravy. Pokud do jízdy započítáme zastávky a jízdu do kopce, je cyklistika tak energeticky náročná jako svižná chůze. Tento údaj se samozřejmě může lišit podle oblasti, kde kolo používáme.

S rapidním nárůstem mechanizace, automatizace a sedavých zaměstnání v posledních sto letech přišel běžný člověk o každodenní fyzické aktivity, což se ještě umocnilo rozmachem osobní automobilové dopravy, která nahradila chůzi a cyklistiku v mnoha vyspělých státech. Toto chybějící fyzické vypětí vedlo k celkovému nárůstu kardiovaskulárních onemocnění, nadváhy nebo cukrovky. Tento problém je jasně vidět z různých průzkumů, kdy například v roce 2005 z 58 milionů zemřelých lidí jich 60 % skonalo díky chronickým nemocem jako jsou obezita a nemoci kardiovaskulárního systému [11]. Jízda na kole je ideální možností, jak výrazně omezit negativní účinky těchto chorob. Pravidelná středně náročná fyzická aktivita je důležitým přispěvatelem ke zdraví obyvatelstva. Epidemiologické důkazy naznačují, že zařazení každodenní středně těžké fyzické aktivity o délce alespoň třiceti minut může mít celou řadu přínosů pro zdraví působících jako prevence proti chronickým chorobám (jako např. právě vysoký krevní tlak a obezita). Kromě toho se fyzická aktivita projevuje i zlepšením celkového duševního zdraví a může s sebou nést určité sociální výhody. Pro některé jedince však dosažení denní půlhodinové fyzické aktivity bude vyžadovat zapojení ostatních fyzických aktivit do volného času, například využití kola při přepravě z místa na místo. Právě pro tento způsob je kolo více než vhodné. Vlastnictví kola v dnešní době není problémem a téměř každý na kole jezdit umí. Při každodenní dopravě do práce, což obecně nejsou ve městě velké vzdálenosti, nedělá dosažení půlhodiny fyzické aktivity problém.

2.1.1 DRUHY CYKLISTIKY KE ZLEPŠOVÁNÍ ZDRAVÍ

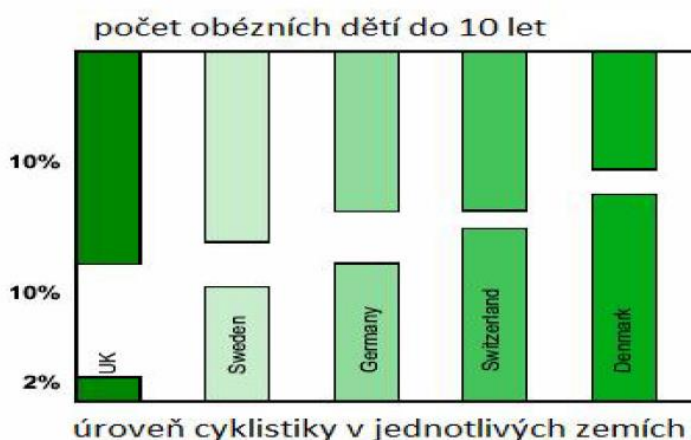
Samotnou jízdu na kole můžeme podle podmínek použití rozdělit na tři skupiny. První je tzv. „cyklistika pod střechou“ neboli ve vnitřních prostorách, posilovnách – užívající statických trenažérů. Tento druh cyklistiky však vyžaduje využití dalších finančních prostředků a též i jistou osobní angažovanost a výdrž. Druhým je rekreační cyklistika – nejčastěji provozována jako víkendová aktivita. Třetím a poslední druhem s pravděpodobně největším zdravotním přínosem je cyklistika pro dopravu z místa na místo nebo též „užitná cyklistika“ (do práce, do obchodu). Například v Nizozemsku je cyklistika nejčastější forma fyzické aktivity u dospělé populace. Podle The Danish Ecological Council, který se tímto problémem dlouhodobě zabýval, přináší každodenní cyklistika spoustu zdravotních pozitiv. Zároveň tito každodenní

cyklisté jsou fyzicky zdatnější než lidé, kteří jsou také pravidelně aktivní, ale navštěvují třeba jen posilovnu, jak můžeme vidět na grafu 1.



Graf 1 Srovnání fyzické zdatnosti cyklistů a necyklistů [12]

Podle dalšího grafu je jasná spojitost mezi (ne)používáním kola a obezitou u dětí, kdy ve státech s rozšířenějším využitím cyklistiky se nachází daleko méně obézních dětí než u států, kde není cyklistika vůbec rozvinutá.



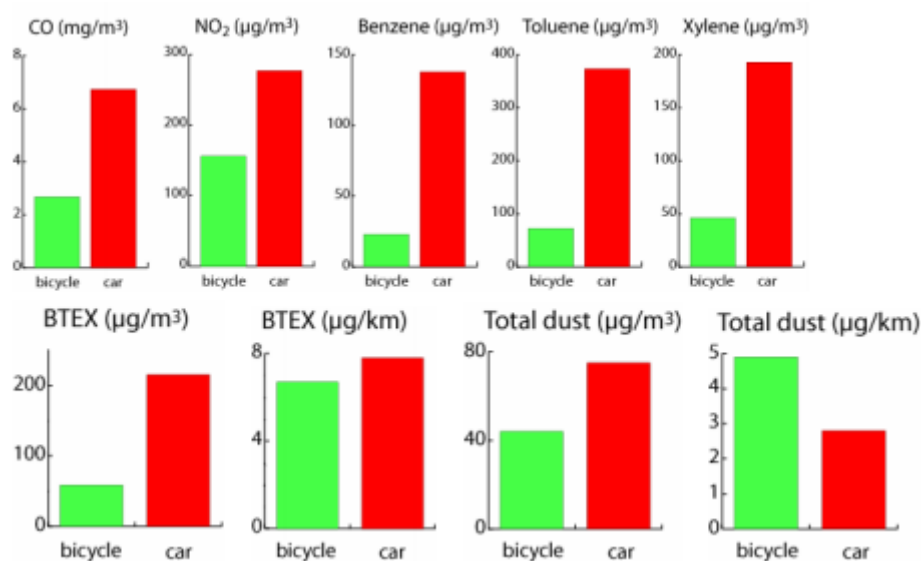
Graf 2 Srovnání dětské obezity v závislosti s použitím kola [1]

2.1.2 VLIV ZNEČIŠTĚNÉHO PROSTŘEDÍ

Motorová vozidla jsou hlavním zdrojem znečištění ovzduší vůbec a obzvláště ve většině velkých měst. V Austrálii s populací kolem 20 milionů obyvatel nastává ročně mezi 900 až 4500 případů kardiovaskulárních a respiračních onemocnění v důsledku znečištění ovzduší motorovými vozidly. Ročně jsou motorová vozidla zodpovědná za předčasnou smrt 900 až 2000 lidí, pro příklad počet zabíjených lidí v důsledku dopravní nehody byl v roce 2008 v Austrálii roven 1464 lidí [16]. Tyto počty však velmi závisí podle místního znečištění ovzduší, podle World Health Organization až 91 % světové populace žije v prostředí, které přesahuje limity pro znečištění ovzduší [15]. Toto znečištění má pak na svědomí ročně 4,2 milionu lidí [15].

Je zřejmé, že je méně zdravé provozovat cyklistiku ve znečištěném prostředí než na čistém vzduchu. Ze zdravotního hlediska by tedy měl zvláště ve městě vyhledávat člověk tu nejčistší alternativu pro přepravu. Pokud je ovšem alternativou autobus, kolo v tomto případě není ani výrazně horší ani výrazně lepší variantou.

Tím, že se cyklista pohybuje, dýchá více, a je tak více vystaven účinkům znečišťujících látek v ovzduší. Podle některých studií je však tato koncentrace v dopravní špičce podstatně větší v autech než mimo ně, jak můžeme vidět na grafu 2.3. Jedním z těchto důvodů je, že přívod vzduchu do automobilu je mnohem blíže k výfukovému potrubí ostatních aut než nos cyklisty. I díky tomu prostředí, ve kterém se pohybuje cyklista, obsahuje několikanásobně méně nečistot než v porovnání s vnitřním prostorem v autě.



Graf 3 Srovnání množství škodlivin, kterému je vystaven cyklista a řidič auta [1]

Nakolik je cyklista těmito negativním vlivům vystaven závisí na dráze, zda se cyklista pohybuje vedle aut či zda jede po cyklostezce zcela oddělené od automobilového provozu. Mezi další vlivy můžeme zařadit počasí, intenzitu dopravy, jízdní styl a v neposlední řadě také druh paliva, které používají okolní automobily. I přes to všechno můžeme říci, že jízda na kole ve městě není pro zdraví horší než jiné způsoby dopravy, které na rozdíl od jízdy na kole nepřinášejí žádné pozitivní efekty. I přes všechny negativní vlivy ty pozitivní značně převyšují, a podle různých průzkumů dopravovat se do práce na kole snižuje riziko předčasné smrti o 40 %, šanci, že se u člověka rozvine rakovinné bujení snižuje až o 45 % a riziko srdečních onemocnění až o polovinu [14].

Omezení vlivu znečištěného ovzduší lze dosáhnout mnoha způsoby. V praxi je nejjednodušší řešení dýchat přes nos místo ústy. Nosní sliznice je vybavena hlenem a malými chloupky, které zachycují částice nečistot. Další velmi účinnou obranou je snaha vyhnout se jízdě v husté dopravě. Studie prokázaly, že v bočních ulicích je až o 50 % menší znečištění. Pokud cyklista musí jet mezi auty, měl by se vyhýbat stání v prostoru za vozidly - právě za nimi je největší koncentrace toxických plynů. V křižovatkách by se pak měl řadit před všechna auta. Pokud cyklista musí v provozu jezdit pravidelně, měl by uvažovat o použití ochranné masky. Ta filtruje až 95 % [2] škodlivých látek ze znečištěného vzduchu a na rozdíl od sliznic v nosu si

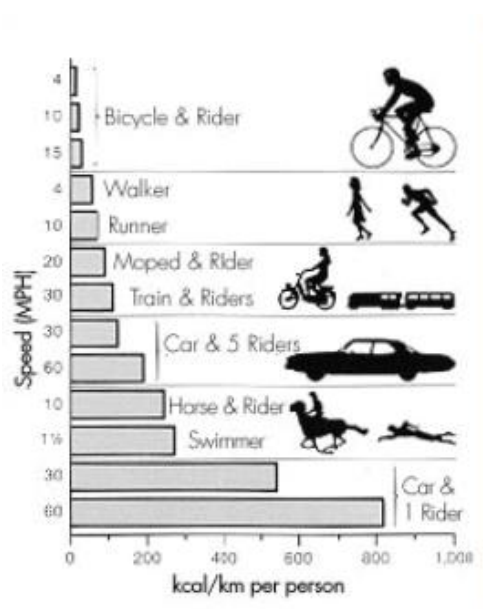
umí poradit i s toxickým ozonem. Při energické jízdě je však její použití namáhavější a jízda je pak daleko těžší.

2.2 ČASOVÉ HLEDISKO

Ujet jeden kilometr na kole může být až 5x rychlejší než stejnou vzdálenost ujít. Se snahou zjistit časově nejlepší způsob dopravy v Berlíně na trase dlouhé přibližně 4 kilometry přišel German Traffic Club. Tuto cestu ode dveří ke dveřím zvládlo nejrychleji kolo za 14 minut, autem tato cesta zabrala 23 minut, použitím hromadné dopravy bychom strávili cestou 26 minut [17]. Při použití kola můžeme téměř vždy použít nejkratší vzdálenost, což u ostatních způsobů dopravy nelze. Při použití automobilu musíme také počítat s časem, který strávíme hledáním volného parkovacího místa, při použití hromadné dopravy jsme pak kromě provozu značně závislí také na jízdním řádu, síti zastávek, a tudíž i vzdálenosti, kterou musíme navíc ujít pěšky.

2.3 EKONOMICKÉ HLEDISKO

Jak jsme již řekli, jízda na kole je nejen časově výhodná, ale pokud srovnáme jednotlivé způsoby dopravy s kaloriemi, které se při daném druhu přepravy spálí, zjistíme, že jízda na kole všechny ostatní prostředky značně převyšuje a je tedy nejúčinnější formou přepravy alespoň co se spotřebovaných kalorií týče. Pro srovnání: počet kalorií, které spálí cyklista během necelých pěti kilometrů, stačí automobilu k ujetí pouze 85 metrů. Podle výzkumu mobility Copenhágské univerzity je jízda automobilem dokonce až 6x dražší než jízda na kole. [18].



Graf 4 Srovnání energetické náročnosti dopravních prostředků [18]

3 PROSTŘEDKY VEDOUcí KE ZVÝŠENí CYKLISTICKÉ DOPRAVY VE MĚSTECH

Jedním ze způsobů zvyšování podílu cyklistické dopravy ve městech je omezení provozu automobilů. Primárním účelem omezení automobilového provozu není zvýšení počtu cyklistů, ale zajištění parkovacích míst pro rezidenty, a také zlepšení kvality ovzduší. Díky těmto omezením se však celkový podíl cyklistů ve městech může zvýšit. Omezení automobilového provozu ve městech lze dosáhnout mnoha způsoby.

3.1 REZIDENČNí PARKOVÁNí

Prvním z nich je zavedení rezidenčního parkování. S tímto systémem se v Brně můžeme potkat již několik let. Jedním z důvodů zavedení je uvolnění parkovacích kapacit ve prospěch trvale bydlících (tzv. rezidentů), a to omezením parkování turistů a krátkodobých návštěvníků v centru města a v jeho okolí. Ve většině částí, kde je rezidenční parkování zavedeno, je parkování možné, ale už ne zadarmo, jak tomu bylo doposud. Mnoho lidí, kteří tak do Brna dojíždějí nebo po Brně přejíždějí za prací, proto buď musí parkovat dál od centra či zvolit úplně jiný způsob dopravy. Sám v takové lokalitě bydlím a můžu tedy objektivně posoudit, že se zavedením těchto zón parkoviště značně vyprázdnila. Dalším důsledkem takzvaných „modrých zón“ je velmi výrazný odliv automobilů do okrajových částí Brna samotných rezidentů, kteří zde sice bydlí, ale nemají zde trvalé bydliště – nemají tedy nárok na užití bezplatného parkování. V konečném důsledku to tedy znamená, že přes centrum projíždí méně automobilů, a to samozřejmě vede ke snížení hluku, zlepšení a zkvalitnění životního prostředí.

3.2 NÍZKOEMISNí ZÓNY

Dalším způsobem, jak omezit automobilovou dopravu, je zavedení takzvaných nízkoemisních zón. Tento systém zakazuje vjezd vozidlům s určitým typem spalovacího motoru. Podle země, kde se tyto zóny nachází, se liší dopravní značení a způsob označování vozidel. Například v Německu musí být každý osobní i nákladní automobil označen známkou, která mu pak omezuje vjezd do nízkoemisních zón podle míry znečištění, které automobil způsobuje. První zóna byla zavedena v Berlíně 1.1.2008, od té doby se tyto zóny rozrostly do mnoha evropských zemí jako jsou Belgie, Francie, Rakousku, Dánsko, Itálii, Velká Británie [19]. Obdobu nízkoemisních zón můžeme najít ještě v Číně. V České republice se zatím žádné podobné zóny nenacházejí. Nejbližší k zavedení je Praha, která plánuje omezit vjezd do centra města a širšího okolí dieselovým automobilům vyrobených před rokem 2001 a benzínovým automobilům vyrobených před rokem 1993, výjimky by se mohly vztahovat na místní obyvatele, městskou hromadnou dopravu a záchranáře [19]. Dalším městem, které uvažuje o zavedení zón je Brno, které má kvalitu ovzduší horší než Berlín, který tyto zóny zavedl. Z dalších měst můžeme uvést Ostravu, Tábor a Modřice u Brna.



Obr. 9 Příklad značení nízko emisních zón v Praze [20]

3.3 KOMBINACE CYKLISTICKÉ A VEŘEJNÉ DOPRAVY

Sladění cyklistiky s veřejnou dopravou je oboustranně přínosné, což zvyšuje výhody obou druhů dopravy a zároveň podporuje jak větší využívání hromadné dopravy, tak jízdu na kole. Jízda na kole prodlužuje vzdálenost k zastávce, která by pro chůzi mohla být příliš daleko, a to za celkově mnohem nižší náklady než při využití příměstské nebo regionální dopravy nebo dopravy autem. Přístup do hromadné dopravy umožní cyklistům přepravovat se na mnohem delší vzdálenosti než bez ní. Použití hromadné dopravy může být pro cyklistu vhodnou alternativou, pokud se zhorší počasí, či při mechanické závadě na kole. Dalšími možnostmi mohou být: použití hromadné dopravy v místech, kde je jízda na kole zakázána (mosty, tunely), zkrácení části cesty, která by pro kolo byla moc dlouhá nebo použití takzvaného jednosměrného cestování (např. překonání kopcovitého terénu). Většina dopravců tuto možnost přepravy běžně poskytuje a nabízí se spousta možností, kde všude ji můžeme využít.

V rámci veřejné dopravy se lze s tímto způsobem kombinované dopravy setkat u autobusů, vlaků, tramvají, metra a lodní dopravy. U většiny uvedených způsobů dopravy však ztrácíme část přepravní kapacity ve prospěch kol. Z toho důvodu většina dopravců omezuje hodiny, kdy je možné kola přepravovat, či zavádí určité priority, podle kterých pak může být přeprava kol zabráněna. Obecně platí, že snížení kapacity závisí nejen na druhu zařízení nebo na místě, které je ve vlaku, autobusu či tramvaji pro kola vyhrazené, ale také na množství cyklistů, kteří se v jeden okamžik přepravují. Obecně lze odhadnout, že každý jeden cyklista s jízdním kolem zabere místo třem až šesti ostatním cestujícím. Přepravování kol uvnitř s sebou nese i rizika poranění či bránění při úniku z vozidla v případě nehody, z toho důvodu musí být v každém dopravním prostředku jasně definované zóny, které mohou cyklisté pro přepravu využít.

3.3.1 KOMBINACE KOLA A AUTOBUSU

Prvním způsobem pro přepravu kola je autobus, který je buď v přední nebo v zadní části osazen nosičem pro několik kol. Přední nosiče se používají pouze v určitých částech světa (Severní Amerika, Rusko). V Evropě jsou díky bezpečnostním předpisům, které se zaměřují zvláště na bezpečnost chodců, povoleny pouze zadní nosiče. Americké výzkumy však ukázaly, že přední nosiče nevedly ke zvýšení srážek autobusů a chodců. Přední nosiče navzdory negativnímu vnímání na bezpečnost s sebou nesou i spoustu pozitiv. Jedním z nich je velmi snadné a rychlé

(20 sekund) nakládání a vykládání kola, dalším pozitivem je, že řidič má o manipulaci s koly velmi dobrý přehled [20].



Obr. 10 Ukázka autobusu s předním nosičem pro kola [2]

Druhým místem, kde je možné na autobus umístit stojan, je v jeho zadní části. Tady lze na rozdíl od předních (horizontálních) nosičů použít i vertikální nosiče. Tyto autobusy také většinou bývají vybavené kamerou, která přenáší obraz dovnitř autobusu, aby řidič i cestující měli kola pod dohledem. Na rozdíl od předních nosičů trvá naložení i vyložení kola podstatně déle (80 sekund) [20] a zpravidla tak bývá povolena pouze na některých zastávkách. S touto možností přepravy kol se můžeme setkat i v Brně, kde DPBM má nosiči momentálně osazeno kolem devadesáti autobusů [21].



Obr. 11 Ukázka autobusu se zadním nosičem pro kola [20]

Poslední možností, jak přepravovat kola v hromadné dopravě, je vytvoření sdíleného prostoru pro vozíčkáře, kočárky a kola uvnitř vozu. Tato přeprava však někdy může být značně problematická. Často kvůli celkové obsazenosti autobusu nebo tramvaje se uvnitř nenachází dostatek místa pro přepravu, jiným důvodem bývá, že kočárky i vozíčkáři mají před koly samozřejmě přednost. Ve vlacích pak pro kola bývá vyhrazeno několik háků, kam je kola možno umístit.



Obr. 12 Ukázka sdíleného prostoru v tramvaji [20]

Zajímavou kombinaci tramvaje a přípojně vlečky, kterou tramvaj tlačí před sebou, můžeme najít v Německém Stuttgartu na následujícím Obr. 13.



Obr. 13 Kombinace tramvaje a vlečky pro kola [20]

Dopravní podnik města Brna dopravu pro cyklisty nijak neomezuje, a kola je tak možné převést vždy, pokud to momentální kapacita autobusu nebo tramvaje dovolí. Brno, přestože je druhým největším městem v České republice, rozhodně nepatří mezi velká města - alespoň co se rozlohy týče. Není proto nepřekonatelným problémem dostat se i na kole z jednoho konce na druhý. Využití kombinované dopravy se může uplatnit při náhlé změně počasí anebo, což bude jeden z nejčastějších důvodů, pro použití kombinované dopravy, pro překonání kopcovitého terénu. I proto tvoří cyklisté jen zlomek ze všech cestujících, kteří každodenně hromadnou dopravu používají, a to je pravděpodobně jeden z hlavních důvodů, proč v Brně nosiče kol mají jen vybrané autobusy, a proč v Brně nepotkáme tramvaj s vlečkou pro kola - nebylo by pro ně využití.

3.3.2 KOMBINACE VEŘEJNÉ DOPRAVY A BIKE-SHARINGU

Bike-sharing (česky sdílení kol) představuje další možnost, jak skloubit veřejnou dopravu spolu s jízdou na kole. Toto skloubení je možné hned několika způsoby. Prvním z nich je využití kol k cestě od cílové stanice veřejné dopravy a zpět do ní. Valná většina cyklistů totiž má své kolo k dopravě z domu na zastávku a zpět, a ne všichni pak mají přichystané kolo na cílové stanici (pokud si ho samozřejmě nepřeváží s sebou). Většina společností zabývajících se půjčováním kol cílí právě na tyto cyklisty a své půjčovací stanice soustřeďuje u hlavních nádraží nebo v centru města. Nejčastěji se můžeme setkat s touto možností pronájmu kol: půjčení kola s platbou za každou započatou časovou jednotku

Princip sdílení kol je jednoduchý. Uživatelé použijí tato kola pouze podle potřeby a umožňují okamžitý přístup ke kolu na velmi krátký čas, jež svým uživatelům poskytuje udržitelnou a ekologickou formu veřejné dopravy. Tento systém se flexibilně zaměřuje především na každodenní mobilitu a umožňuje přístup ke kolům zcela veřejně v bezobslužných stanicích. Nájem těchto kol z velké většiny pokrývají náklady na obměnu kolového parku, jakož i náklady za skladování a servisní úkony. I přes všechny pozitivní vlastnosti spojené s vlastněním kola podporují tyto služby cyklistiku poskytnutím kola bez nutnosti řešit jakoukoliv údržbu a jiné komplikace, které při časté jízdě na kole vznikají. Turisté a lidé, kteří kolo nevlastní, nebo nemají prostor kde kolo skladovat, jsou schopni využít všech pozitiv cyklistiky bez možnosti kolo vlastnit. Rozrůstání sítě výpůjčních míst pak může vést k nárůstu cyklistů, kteří kolo používají k uspokojení každodenních potřeb mobility, a celkově tuto službu můžeme považovat za skvělý a nenáročný způsob, jak s cyklistikou ve městě začít. Mnoho výzkumů prokázalo, že zavedením služeb, která propůjčují kola, se snižuje počet aut ve městech a s tím i přímo souvisí snížení hluku a skleníkových plynů. Pro město je také mnohem levnější budovat infrastrukturu pro kola než pro automobily a ve vlastním zájmu by ji tak mělo vytvářet a rozšiřovat. V Brně jsou momentálně od roku 2017 dvě společnosti, které se touto prospěšnou službou zabývají. Jsou to Velonet a Rekola.

Celkově vzato zavádění služeb na sdílení kol přináší mnoho pozitiv. Pokud se ale zaměříme na situaci v Brně, má tato služba jak velký potenciál, tak zároveň i velké limity. Největším nedostatkem je především dosah, respektive chybějící zóny/stanice, kam je možné kola odstavit v okrajových částech Brna. Pokud člověk denně potřebuje dojíždět do okrajových částí, nemá momentálně kolo pak kde odstavit, aniž by mu hrozil postih. Můžeme ale očekávat, že se postupně tyto služby, vhodné k propůjčování kol, rozšíří i do okrajových částí, a tím se rapidně může zvýšit jejich užívání. Tento progres městské cyklistiky bohužel může trvat několik let a dosah bike-sharingové sítě na to bude mít pouze malý vliv.

3.4 ROZŠÍŘOVÁNÍ INFRASTRUKTURY

Pro užitečné, a zvláště pro bezpečné použití kola potřebují cyklisté odpovídající infrastrukturu cyklostezek, pruhů pro cyklisty a vůbec prostoru, kde se mohou bezpečně pohybovat a v ideálním případě být zcela odděleni od okolní dopravy, ideálně i od chodníku pro chodce. Cílem každého města by proto mělo být, vybudovat ucelenou síť tras, které zajistí rychlé, ale především bezpečné propojení důležitých cílů cest, a to nejenom těch rekreačních, a tím podpořit rozvoj cyklistiky. Tento způsob přepravy se tak stane konkurenceschopným při volbě dopravního prostředku, což v konečném důsledku povede ke snížení automobilové dopravy a

k odlehčení přetížené dopravní situace, která je znatelná zvláště v ranní a odpolední špičce. Například v Portlandu v Oregonu vedlo vybudování infrastruktury k nárůstu cyklistiky, a to i u dětí. Vybudování cyklostezky je také daleko levnější než vybudování cesty pro automobily. Celková infrastruktura se liší především v závislosti na velikosti města. Jiná situace bude v malém městě, jiná ve velkém městě, a jiná ve velkoměstě. Vše se také v daném městě odvíjí od toho, jaké má možnosti v jejím rozšiřování. Obecně můžeme cyklisty oddělit od jiných druhů přepravy několika způsoby.

3.4.1 VYHRAZENÉ PRUHY

Prvním a nejjednodušším z nich je pouze vytvoření vyhrazeného pruhu pro cyklisty, který zpravidla bývá na krajnici cesty. Toto oddělení dopravy není pro cyklisty úplně ideální, zvláště co se bezpečnosti týče. Na tyto pruhy mají řidiči vjezd zakázaný, mnozí řidiči však zákaz plně nerespektují, např. při dočasném odstavení vozidla. Při nepozornosti (odbočování, či vyjíždění z parkoviště) mohou řidiči způsobit i dopravní nehodu. Daná komunikace musí mít pro umístění cyklistických pruhů dostatečnou šířku, proto je nelze použít na všech cestách. Tento způsob je také vhodný jen pro středně zatížené silnice a silnice, kde není povolena vyšší maximální rychlost. V místech, kde není silnice dostatečně široká, mohou vzniknout určité variace na klasické cyklistické pruhy. Ty se zobrazují pouze vodorovným značením a řidiče vozidel upozorňují na výskyt cyklistů a napomáhají jim předvídat jejich pravděpodobný pohyb.



Obr. 14 Příklad vodorovného piktogramového značení [22]

3.4.2 CYKLOSTEZKY

Druhým způsobem je vytvoření zcela oddělené cyklostezky, která je určena pouze pro cyklisty. V drtivé většině případů ji však cyklisté sdílí spolu s chodci či ostatními uživateli, při pohybu na ní proto musí dbát zvýšené obezřetnosti. Odpadá nám však zde riziko střetu s automobily nebo jinými dopravními prostředky a pro cyklisty se tak jedná o nejvhodnější komunikace. Budování cyklostezek je ale velice náročné jak na umístění, tak na celkové náklady.

Pokud se zaměříme na situaci v Brně, zjistíme, že infrastruktura pro cyklisty není vůbec rozvinutá, cyklostezky nebo pruhy pro cyklisty netvoří ucelený systém. Při jízdě tak cyklista musí využívat vedlejších ulic, pokud se chce vyhnout automobilovému provozu. V mnohých případech však ani nemá jinou možnost. Pokud by se měl výrazně zvýšit počet cyklistů, musela by se zlepšit cyklistická infrastruktura. Tyto dvě věci spolu velmi úzce souvisí. Celkem se v Brně nachází zhruba 44 kilometrů cyklostezek a dalších 13 kilometrů cyklistických pruhů, což je naprosto zanedbatelný počet vzhledem k celkové délce komunikační sítě (1000 kilometrů) [23]. I z toho důvodu je poměr cyklistů oproti uživatelům aut či hromadné dopravy zanedbatelný. Brno je město bez cyklistické historie, a to je jeden z hlavních důvodů málo rozvinuté infrastruktury. Zlepšení tohoto nedostatku by nepochybně vedlo ke snížení počtu nehod, kterých se za rok stane přes sto [24], a mnoho z nich skončí těžkým zraněním či dokonce úmrtím. Nejčastějšími nehodovými místy jsou komunikace (s nevhodným křížením kolejí nebo s výrazným sklonem), velké okružní křižovatky, rozlehlé průsečné křižovatky s mnoha řadícími pruhy a nedořešená křížení cyklostezek. Značnou část těchto nehod mají na svědomí řidiči motorových vozidel, kteří nedají cyklistům přednost. Z výše uvedeného vyplývá, že především tento typ nehod by se při dostatečně rozvinuté síti cyklostezek vůbec nestal nebo by takových nehod nebylo tolik.

4 ZÁKLADNÍ POPIS KOLA

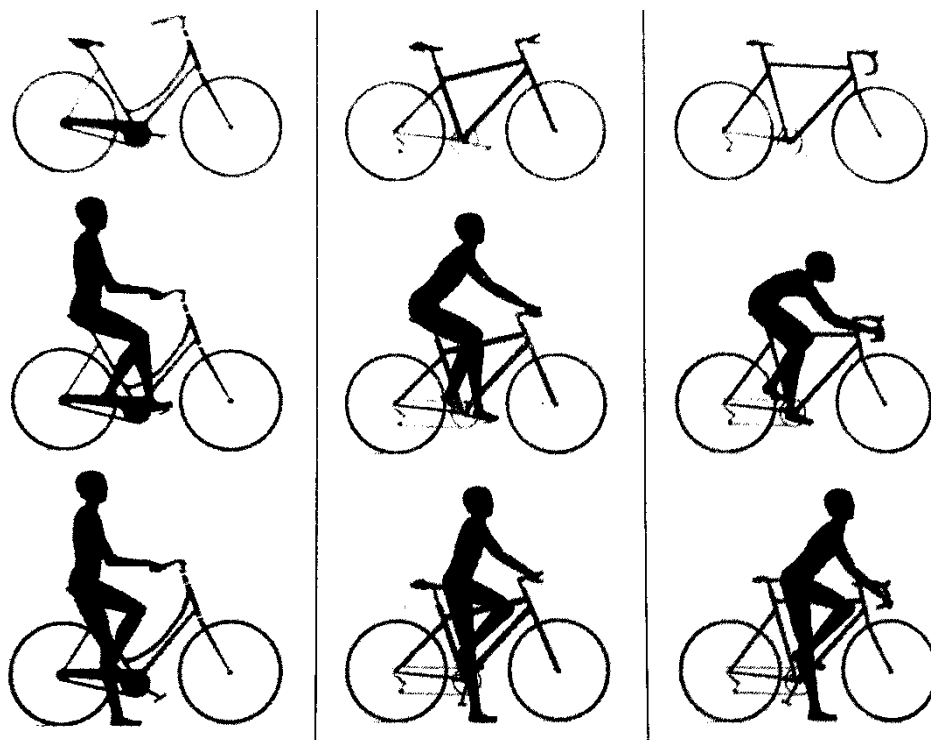
Specializace postupně vedla k rozvoji různých typů bicyklů. Všechny mají v zásadě velmi mnoho společného. Přesto je mezi nimi spousta odlišností počínaje konstrukcí, hmotností či použitými materiály. Obecně můžeme říci, že se každé kolo skládá z rámu, kol, brzd, převodů, sedla, řídítek a představce. Sladění vhodných komponentů dohromady zaručí dobré jízdní vlastnosti a pohodlnou jízdu, proto je jednotlivé komponenty velmi důležité správně vybrat. Základní části kola můžeme vidět na následujícím obrázku 15.



Obr. 15 Popis základních částí kola. [26]

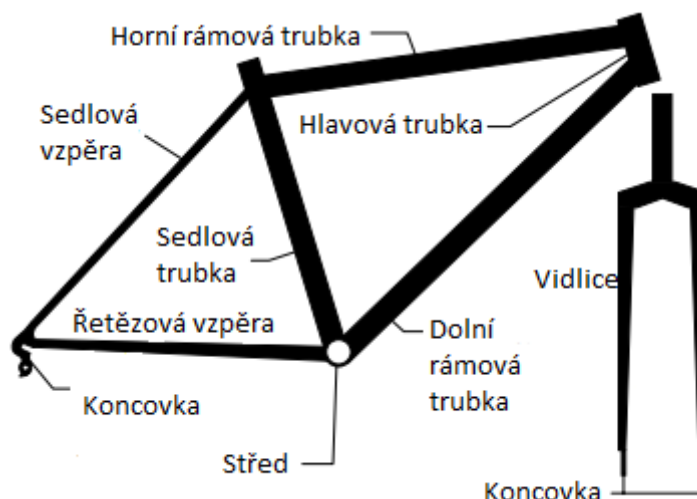
4.1 RÁM KOLA

Rám kola spojuje všechny části kola v jeden celek a to kola, sedlo řídítka a je tedy nejdůležitější součástí kola. Tvar rámu ovlivňuje pozici cyklisty, dosažitelnost země během zastavení a rozjezdu a spoustu dalších aspektů. Měl by mít největší váhu při výběru nového kola. Čím strmější je úhel sedlové trubky, když jsou pedály více pod sedlem, než před sedlem tím více je váha přenesena na paže cyklisty což umožňuje shrbený, a tedy i aerodynamičtější posed typický pro silniční kola. Když jsou zas naproti tomu pedály spíše před sedlem, je váha cyklisty spíše na sedle to spolu s vhodným tvarovanými řídítky způsobí vzpřímený posed. Podle tvaru konstrukce rámu můžeme rozlišit tři základní typy kol: kolo holandského stylu, horské kolo a silniční kolo. Všechny se vzájemně liší polohou řídítek vůči poloze sedla, vzdáleností mezi sedlem a pedály či možností dosáhnouti země bez nutnosti sesedání ze sedla.



Obr. 16 Pozice jezdců při sezení a zastavení podle typu kola: kolo holandského typu, horského typu, silničního typu [16]

Rámy kola jsou vyrobeny z kovů (ocel, hliník a titan) nebo mohou být vyrobeny z různých uhlíkových skelných aramidových nebo spectrových vláken. Kovové rámy jsou isotropní, tedy mají ve všech směrech stejné vlastnosti. V závislosti na druhu kovu patří k nejpevnějším a nejlehčím. Spojení rámu se provádí zpravidla svařováním, i u kovových rámu však na určité části můžeme použít lepidlo. Kompozitní materiály jsou oproti tomu anizotropní – jsou pevné a tuhé ve směru vláken, které můžeme formovat do libovolného tvaru. Kompozitní materiály jsou vhodné pro stavbu monolitických skořepinových rámu. Oproti kovovým materiálům jsou daleko dražší. Použité materiály, celková konstrukce rámu a jeho velikost samozřejmě určuje, na jakou činnost a pro koho je kolo primárně určeno. Rámy se vyrábí v širokém spektru kvality i hmotností, tedy jako jakási stavebnice podle druhu bicyklu. Stavitelé rámu jednotlivé trubky z různých sad často míchají, aby rám co nejvíce přizpůsobili hmotnosti a jízdnímu stylu cyklisty, pro kterého kolo staví. Cena takových vysoce individualizovaných rámu je velmi vysoká. Momentálním trendem je výroba co nejlehčího rámu kola s co největší pevností a nejdelší životností. Všechny tyto vlastnosti závisí na druhu použitého materiálu.



Obr. 17 Popis základních částí rámu [25]

4.2 VIDLICE

Jde o další část kola, která se velkou měrou podílí na celkovém jízdním komfortu. V zásadě můžeme vidlice rozdělit do dvou skupin, a to na odpružené a pevné. Odpružené zlepšují celkový jízdní komfort zejména při překonávání výmolů či při jízdě na površích mimo hladký asfalt a posouvají možnost průchodu terénem o hodně dál. Hlavním cílem je přizpůsobení se terénu, vyrovnaní rázů a snaha celkově na řídítka a následně do rukou cyklisty přenášet možná co nejméně nárazů a vibrací. Poprvé bylo použito pro závody horských kol a velmi brzy se rozšířilo do dalších kategorií jako jsou krosová a trekingová kola. Obecně lze systém tlumení rozdělit do tří druhů podle média, které tlumí případné rázy. Nejčastější zdvihy jsou mezi 80 a 100 mm [2]. Vše záleží na druhu kola - u horských, celoodpružených, či sjezdových kol jsou zdvihy vidlice daleko větší. Podle konstrukce a způsobu tlumení můžeme rozlišit několik základních typů a to: elastomer nebo olej v kombinaci s pružinou nebo olej v kombinaci se vzduchem.

4.2.1 ELASTOMER V KOMBINACI S PRUŽINOU

V dolní části vidlice se nachází elastomer, který slouží k absorpci vibrací, nad ní je pružina která slouží jako tlumící element. Jde o nejjednodušší variantu, vhodnou pouze pro rekreační ježdění.

4.2.2 OLEJ V KOMBINACI S PRUŽINOU

V jedné části ramene se nachází olej, který slouží k tlumení. V druhé části ramene je pružina, určená k pružení. Určitá nevýhoda je tuhost pružiny, v případě potřeby nižší tuhosti je nutné vyměnit celou pružinu.

4.2.3 OLEJ V KOMBINACI SE VZDUCHEM

V zásadě se jedná o stejnou konstrukci jako vidlice s olejem a pružinou, s tím rozdílem že místo pružiny je zde vzduch. Díky této kombinaci lze s použitím speciální pumpy nastavit jakoukoliv tuhost.

4.2.4 NEODPRUŽENÉ VIDLICE

Nejčastěji se používají na silničních či cyklokrosových kolech. V poslední době stále více pronikají i do skupiny horských a trekingových kol. Hlavní výhodou proti odpruženým je podstatně nižší váha. Často použitým materiálem pro tento typ vidlic je karbon.

4.3 BRZDY

Dalším velmi důležitým systémem jsou brzdy. 98 % brzd můžeme zařadit do dvou kategorií: ráfkové nebo kotoučové. Ráfkové brzdy pracují na principu tření mezi brzdou plochou ráfku a gumového brzdového špalíku. Tyto brzdy můžeme rozdělit podle konstrukce na tři druhy: U-brake, Cantilever a V-brake. Posledně jmenované jsou v dnešní době standardem od střední třídy kol, a to buď s mechanickým nebo hydraulickým ovládáním.



Obr. 18 Brzdy U-brake, V-brake, Cantilever [38]

4.3.1 BRZDY U-BRAKE

Jsou nejčastěji používány u silničních kol a u kol bmx. Jednou z jejich hlavních nevýhod je nízká brzdná účinnost. Vzhledem ke svojí uzavřené konstrukci ramen se mohou rychle zanáset bahnem, proto se u horských či trekových kol prakticky nepoužívají.

4.3.2 BRZDY CANTILEVER

Vznikly společně s vývojem horských kol. Tyto brzdy měly odstranit nedostatky brzd U-brake - především zvýšit jejich účinnost a odolnost proti zanesení bahnem.

4.3.3 BRZDY V-BRAKE

Posledním vývojem ve špalíkových brzdách jsou tzv. V-brake. Ty díky svému tvaru zlepšují brzdovou účinnost a jedná se o nejvýkonnější brzdový ráfkový systém.

Obecně můžeme říci, že špalíkové brzdy jsou kromě silniční cyklistiky vhodné především pro rekreační ježdění a pro levnější nebo dětská kola.

4.3.4 KOTOUČOVÉ

V dnešní době nejpoužívanější typ brzd zejména u horských kol. Skládají se z brzdného kotouče připevněného k náboji kola a třmenu, který je uchycený na vidlici. Hlavní výhodou oproti ráfkovým brzdám je jejich velmi vysoký brzdný výkon, zaručený i za špatných povětrnostních podmínek. Jejich nevýhodou je vyšší pořizovací cena a horší seřiditelnost.

4.3.5 PROTIŠLAPNÁ

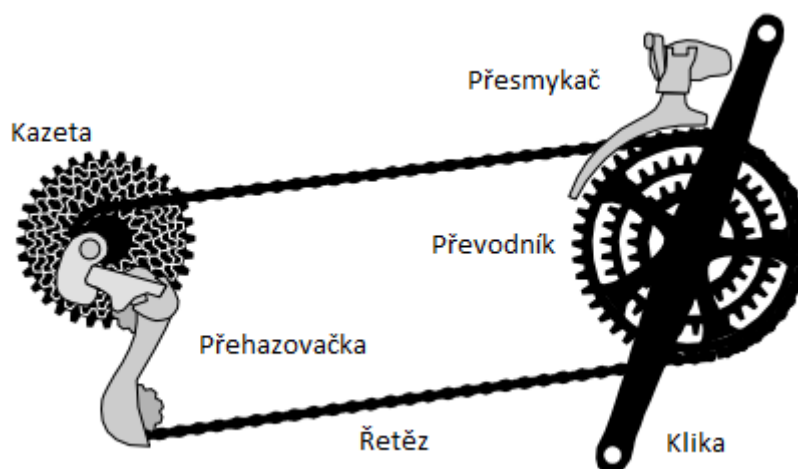
Tento druh je zvláště populární pro užitkovou cyklistiku, hlavně pro svou konstrukci a z toho i plynoucí výhody. Na rozdíl od všech jiných brzd mají plně uzavřenou konstrukci, díky tomu jsou spolehlivé za každého počasí. Ovládání těchto brzd se provádí zpětným pohybem pedálů, což umožňuje mít volné ruce například pro držení deštníku, nebo páčkou na řídítkách. Protišlapné brzdy jsou nicméně těžké a někdy mají daleko nižší brzdný účinek než jiné brzdy, zvláště při dlouhých sjezdech, jsou tedy vhodné jen pro určité aplikace.

4.4 POHON

Převod šlapací síly na zadní kolo lze zprostředkovat několika způsoby. Nejpoužívanější je spojení pomocí řetěze nebo řemene, případně přes hřídel.

4.4.1 ŘETĚZOVÝ PŘEVOD

Téměř všechna kola jsou od konce 19. století poháněna řetězem [2]. Hlavní rozdíl v převodech kol je tedy v typu ozubených kol, jejich počtu a počtu jejich zubů. Kola s jedním převodem jsou nejjednodušším způsobem převodu, díky tomu jsou lehké a po dlouhá léta byla standardem zvláště v místech, kde je užitková cyklistika běžná (například Nizozemsko, Dánsko, Čína), a v rovinnatých oblastech. Spousta cyklistů upřednostňuje více převodů, ať už pro rychlejší akceleraci při rozjezdu či lepší využití v kopcovitém terénu. S postupným vývojem víceštrupňové získávaly převodovky větší a větší oblibu. Od 80. let minulého století jsou naprosto běžné a v dnešní době bez nich kolo koupit skoro nelze [2]. Převod řetězem je za ideálních podmínek velmi účinný, nevyžaduje žádné velké předpětí, a neprokluzuje ani za mokra. Vzhledem k velkému počtu pohyblivých částí je třeba jej pravidelně mazat.



Obr. 19 Popis řetězového převodu [25]

4.4.2 ŘEMENOVÝ PŘEVOD

Jde o jednu z alternativ pro pohon kola. V historickém vývoji kola se jich pár vyskytlo, ještě menší počet našel uplatnění v dnešní době. Tento velmi netypický způsob převodu můžeme nalézt od prémiových horských kol až po kola určená do města. Řemen na rozdíl od řetězu nepotřebuje žádné mazivo a má tedy tomu je čistý převod. Mezi další vlastnosti můžeme zařadit jeho pevný, tichý a lehký chod. Není vhodný pro všechny kola, ale má velký potenciál například při použití elektrického pohonu, nebo v kombinaci s planetovou převodovkou ukrytou v náboji zadního kola.



Obr. 20 Příklad použití řemenového převodu [27]

4.4.3 KARDAN

Jednu z posledních možností, jak přenášet sílu ze šlapání na zadní kolo, představuje použití kardanu. Řetězová sada je v tomto případě nahrazena ozubenými koly a pastorkem. První použití tohoto typu pohonu se datuje do roku 1897, kdy ho bylo pro pohon poprvé použito u kola. Tento systém převodu má daleko méně pohyblivých částí než například řetězový převod, na rozdíl od něj však vyžaduje velmi přesně vyrobené ozubení (pro omezení ztrát) a ani přes své relativně malé rozměry nepřináší oproti řetězovému převodu váhovou úsporu. Naopak přenos točivého momentu mnohem menšími koly vyžaduje tužší, pevnější a díky tomu i těžší rám. Jejich značnou výhodou je provoz, který nevyžaduje téměř žádnou údržbu. Pokud jej použijeme v rámu bez horní rámové trubky, nasedání a vysedání z takového kola je mnohem jednodušší (cyklista nemusí překračovat přes převodník) Jejich použití je velmi omezené a v dnešní době jej můžeme nalézt u kol pro městské nebo rekreační použití.

4.5 OSTATNÍ VÝBAVA

Na žádném kole se v dnešní době neobejdeme bez řádné výbavy. Jejím účelem je zvýšení komfortu, ale hlavně bezpečnosti cyklisty. Velká část z ní je obsažena ve znění zákona č. 56/2001 Sb. a je tedy povinná [28]. Vymezuje především technický stav kola jako jsou dvě brzdy, uzavřená trubka řídítek, uzavřené matice kol a další. K prvkům zajišťujícím bezpečnost řadíme čelní odrazku bílé barvy, zadní odrazku červené barvy, oranžové odrazky na šlapkách a ve výpletu předního nebo zadního kola. Za snížené viditelnosti přední světlomet a zadní svítilnu červené barvy. Většina výbavy je zaměřena na bezpečnost, zvláště na to, aby byl cyklista v provozu vidět. Vyhláška však dovoluje tyto odrazky nahradit reflexními prvky na oblečení pro co největší bezpečnost. Zvláště za snížené viditelnosti a v provozu ve městě by měl ideálně cyklista použít jak reflexní prvky na oblečení, tak i odrazky na kole. Přilba je povinná pro všechny cyklisty do 18 let. Život dokáže zachránit v každém věku, proto by ji měli všichni používat bez ohledu na stáří. K doporučené výbavě patří ještě zámek, sada pro lepení a základní nářadí. Žádný cyklista by také neměl vyjíždět bez brýlí.

5 ZHODNOCENÍ DRUHŮ KOL

Různorodost typů jízdních kol odráží různé způsoby, jakým je můžeme použít. Ač je kolo více než 120 let staré, jeho design se za tu dobu nijak zásadně nezměnil. Předchůdci dnešního kola se objevovali v mnoha formách, od vysokých kol, Drezín až po kostitřasy. Kolo, jak ho známe dnes, vstoupilo do „mainstreamového“ proudu až po technické inovace především v oblastech bezpečnosti, pohodlí a příslušenství. V dnešní době můžeme rozlišit několik skupin kol, které se liší především podle toho, k čemu jsou určeny. Většinu kol samozřejmě můžeme využít různými způsoby a každé kolo má v sobě namíchané vlastnosti různých druhů kol. Zaměnitelnost účelu je běžná zejména ve Spojených státech amerických, kde užitková cyklistika nebyla v minulosti tak běžná a kola zaměřující se pouze na dopravu (městská, užitková) bylo velmi těžké najít. Výzkum z roku 2006 ukázal, že ve městě Davis v Kalifornii (kde je užitká cyklistika v rámci USA nejrozvinutější, a kde jednotlivé jízdy nepřesahují 15 minut a většinou jsou v rovinném terénu) 43 % studentů používá horská kola, 24 % silniční kola, 18 % hybridní kola, 10 % kol typu Cruiser a 5 % jiné druhy kol [16]. Někteří cyklisté mají jen jedno kolo, které využívají různými způsoby, oproti tomu jiní vlastní „stáj“ s různými druhy kol pro různé druhy jízd či výletů. Vše také záleží na místě, kde cyklista jezdí, na účelu jeho jízd a jejich četnosti. Cyklistovi, který kolo používá pouze ve městě a pouze pro dopravu do práce a nenajede moc kilometrů, bohatě stačí městské kolo, naopak cyklista, který vyráží často za vyjíždkami do přírody, do kopcovitého terénu a s větším nájezdem kilometrů za jednu jízdu, využije spíše horské kolo.

5.1 HORSKÉ KOLO

Horské kolo znamenalo v cyklistice naprostý průlom a velmi se zasloužilo o urychlení a posunutí cyklistického vývoje. Díky tomuto kolu se mohou cyklisté dostat do míst, kam to předtím šlo jen pěšky. A stejně jako spousta dalších vynálezů i tento vznikl čistě náhodou – z touhy cyklistů projíždět se v Kalifornské přírodě. První prototypy oproti silničním závodním speciálům nijak nezažily a většina tehdejších výrobců jeho výrobu odmítla. Horské kolo se i přes jejich odpor velmi dobře uchytilo zvláště pro svou stabilitu, silné brzdy a dostatek převodů, se kterými i naprostý začátečník vyjede téměř každý kopec. Horské kolo je designováno především pro jízdu mimo cesty, mimo provoz to může být pro mnohé nepřitažlivější důvod. V současnosti se horské kolo podílí na 80 % [2] z celkového prodeje kol. Charakterizuje ho pevný, ale zároveň i lehký rám, odpružení přední vidlice nebo celého kola, velká kola, široké pneumatiky s hlubokým vzorkem, vyšší počet převodových stupňů, výkonné brzdy a diamantový tvar rámu.

5.2 MĚSTSKÉ KOLO

Může se zdát, že oproti jiným kolům nezaznamenala tato kola, zaměřená pouze na přepravu, za svou existenci žádný větší vývoj. Po designové stránce žádný radikální vývoj nenastal, nové modely jsou ale v porovnání s těmi staršími lehčí a s vylepšenými komponenty jako jsou kotoučové brzdy, planetové převodovky ve středu kola, ledková světla. Tato a mnohá další vylepšení se stala za poslední dekádu naprosto běžnými a zasloužila se o zvýšení podílu užitkových či městských kol na celkovém prodeji kol. Hlavním rozdílem oproti všem jiným kolům je v rámu chybějící vrchní rámovou trubkou, a tedy i možností nasedat na kolo takzvané „hlubokým nástupem“. Díky tomu má rám daleko nižší tuhost a je tedy nutné jej vyztužit

v místech kolem středového převodníku. Dalšími, už jen doprovodnými, znaky jsou řídítka umístěná výše než sedlo, přehazovačky s malým stupněm převodových stupňů, částečně nebo zcela zakrytovaný řetěz, hladké pneumatiky s rozměry okolo 40 mm, blatníky (velmi často napevno osazené), nosiče a stojan. Městské kolo je maximálně uzpůsobeno pro pohodlí cyklisty, pro každodenní kratší jízdy s důrazem na jejich jednoduchost, a tedy i snadnou, nenáročnou, a ne příliš častou údržbu.



Obr. 21 Příklad městského kola [30]

5.3 SKLÁDACÍ KOLO

Kolo se skládacím rámem poskytuje svému uživateli naprosto odlišné možnosti použití. Hlavní výhodou tohoto rámu je, jak už název napovídá, možnost složit ho. Tímto složením do kompaktních rozměrů běžného zavazadla ho lze snadno přepravovat ať už v kufru auta, hromadnou dopravou, dálkovými autobusy nebo vlakem. Lze jej uskladnit v bytě ať už mimo sezonu, či pouze na noc (a vyhnout se tak odstavení kola na ulici a možností jeho odcizení). Svému majiteli tak výrazně rozšiřuje celkovou mobilitu, a to především využitím tohoto kola v kombinaci s jiným dopravním prostředkem. Konstrukce rámu je velmi jednoduchá, většinou se skládá jen z jedné trubky, celé kolo pak doplňují dvě malá kola. Skládací kolo není určeno pro zdolávání dlouhých vzdáleností, jeho jízdní vlastnosti nejsou nijak valné, poskytuje ovšem vhodnou alternativu ať už cyklistům, kteří nemají kolo kde uskladnit, či cyklistům, kteří část trasy musí absolvovat veřejnou dopravou, a to bez obav, že se do ní kvůli plným stojanům nevejdou a budou vykázáni. Své největší využití nalezne pro použití ve městě. V poslední době lze v nabídce prodejců nalézt skládací kola vhodná i do lehkého terénu, ta jsou vhodná především pro turisty a pro cestovatele pro zvětšení akčního rádiu při cestování.



Obr. 22 Příklad rozloženého a složeného skládacího kola [29]

5.4 LEHOKOLO

Jak už název napovídá, jezdec se na tomto kole pohybuje vleže nebo pololeže. Oproti klasickým kolům je jízda na tomto kole mnohem pohodlnější, především díky rozložení váhy cyklisty do velké plochy anatomicky tvarované sedačky. Podstatnou výhodou lehokol je jejich snížený aerodynamický odpor díky menšímu čelnímu průřezu. Díky tomu lze na těchto kolech dosáhnout daleko většího výkonu, než jsou oficiální rekordy registrované Mezinárodní cyklistickou unií, a pokud je kolo osazené kapotou, jsou tato kola nejvýkonnější a nejrychlejší na světě. Hlavně díky těmto výhodám jsou lehokola vyloučena z oficiálních závodů. Lehokola lze nalézt v nespočetných modifikacích, obecně je můžeme rozdělit na tři druhy podle konstrukce: lowracer, highracer, tandemy a tříkolky.



Obr. 23 Srovnání čelního průřezu u silničního kola a lehokola [31]

5.4.1 LOW-RACER

Závodní lehokolo. Konstrukce je optimalizována pro co nejnižší čelní odpor, jezdec díky tomu leží téměř na zemi. Díky této konstrukci je kolo velmi rychlé, ale pro použití v provozu není příliš vhodné - při nižší rychlosti má omezenou ovladatelnost a lze ho také lehce přehlédnout.

5.4.2 HIGH-RACER

Jde o variantu lehokola, která je velmi podobná a vychází z konstrukce low-raceru. Hlavním rozdílem je poloha jezdce, který sedí podstatně výše. Toto kolo je již lépe ovladatelné i při nižších rychlostech a lze ho použít i v běžném provozu.

5.4.3 TŘÍKOLKY

Jedná se o další variantu lehokol. Konstrukčně se velmi podobá low-raceru s tím rozdílem, že má buď dvě kola vpředu a vzadu jedno, nebo naopak. Hlavní výhodou je, že jezdec nemusí udržovat stabilitu při jízdě (zvláště při prudkém stoupání a tedy i menší rychlosti) a při zastavení nemusí sundávat nohy z pedálů. Tříkolová lehokola lze poměrně snadno upravit pro ruční ovládání, mohou je tak řídit i osoby, které pro různá postižení nemohou šlapat nohama. Jistou nevýhodou tříkolek je jejich větší váha při použití konvenčních materiálů.

Jízda na lehokole v sobě ukrývá velký potenciál, samotná jízda pak sebou přináší spoustu výhod, ale i nevýhod v porovnání s klasickým konvekčním kolem. Obecně můžeme říci, že jízda na lehokole je vhodná na delší cesty v nepřiliš kopcovitém terénu. Mezi výhody můžeme zařadit pasivní bezpečnost, protože v případě nárazu se jezdec pohybuje nohama dopředu a nepřepadne hlavou přes řídítka, pád z kola tak nastává z daleko menší výšky. Další výhodou je nepochybně pohodlí při cestování a celkový rozhled z kola (cyklista není za řídítky shrbený) a dále také rychlost, kterou lze na kole dosáhnout. K nevýhodám patří rovnováha a manévrovací schopnosti, zvláště při nižších rychlostech. Mezi další nevýhody patří náročnější zastavování a rozjezdy, větší rozměry, vyšší cena a nižší viditelnost pro ostatní účastníky provozu.

6 NÁVRH RÁMU KOLA

Vývoj nového kola je v určitých měřítkách srovnatelný s vývojem automobilu. U kol je samozřejmě mnohem jednodušší, ale určité postupy a principy, které se při něm uplatňují, jsou stejné. Oproti automobilovému průmyslu, kde trvá vývoj nového automobilu několik let, je rychlost vývoje kol nesrovnatelně rychlejší. Vývoj se provádí ve velmi krátkých časových úsecích – aby pro každou sezonu byl na trhu nový model kola. Většina výrobců se snaží s každým novým modelem zaujmout více a více cyklistů, ať už různými inovacemi či příznivou cenou.

Výsledkem této práce by měl být funkční rám městského kola pro každodenní použití. Na rozdíl od výrobců kol nevycházím z žádného již odzkoušeného rámu. Pro úspěšné dosažení cíle je nutné v první řadě charakterizovat jeho velikost a všechny další rozměry částí rámu které ať už přímo souvisejí s velikostí rámu, nebo jsou specifické podle druhu kola je jeho využitím. Velikost rámu závisí především na velikosti jezdce, který ho bude používat. Tato velikost bude pak bude základem pro volbu dalších rozměrů. U částí rámu, které se spojují s dalšími komponenty kola, je nutné dodržet jejich normalizované rozměry, hlavně proto, aby byla zaručena zaměnitelnost či kompatibilita za díly, které jsou na trhu běžně dostupné.

Po zvolení všech rozměrů vyhotovím model rámu, který následně zatížím ve vhodném výpočtovém programu. Mým cílem je navrhnout takový rám, který bude pro jezdce při jízdě bezpečný, bude mu zajišťovat komfortní přepravu a bude mít dostatečně velkou životnost.

Během vývoje kola u komerčních výrobců je naprosto běžné zhotovování prototypů, na kterých se ověřuje, zda nasimulované zatížení odpovídá reálným podmínkám, případně probíhá optimalizace zatížení nebo míst na rámu, která jsou kriticky zatížená, a přestože v simulaci vyhovovala, při reálných podmínkách se ukázala poddimenzovaná. Nebo naopak probíhá odlehčování míst, která jsou předdimenzovaná, v místech, kde není rám tolik namáhán. Toto odlehčování, nebo zesilování materiálů se pak v konečném důsledku neprojevuje jen na celkové váze kola, ale i na jeho tuhosti a v neposlední řadě na ceně. Výroba různostěnných trubek je cenově náročnější, kolo tak sice váží méně, ale má větší cenu. Po zhotovení finální verze musí ještě kolo před začátkem sériové výroby prokázat, že splňuje různé bezpečnostní předpisy; toto finální testování předsériových modelů zpravidla provádí nezávislí odborníci. Pouze pokud kolo vyhoví všem předpisům, je umožněna jeho sériová výroba. Tento proces od začátku konstrukce po schválení kola je velmi zdoluhavý a nákladný. Z toho důvodu bude můj vývoj rámu kola a jeho probíhat pouze ve virtuálním prostředí výpočtového systému.

6.1 NÁVRH ROZMĚRŮ

Rozměry rámu a jeho částí závisí především na rozměrech cyklisty, který bude kolo využívat. Dokonalý přenos šlapací síly závisí především na poloze jezdce při jízdě - na poloze řídítek, šlapek a dalších. Proto je nutné si v první řadě definovat a určit základní rozměry těla, které mají na rozměry rámu velký vliv. Při návrhu rámu lze jít dvěma směry: Prvním z nich je individuální přístup, tedy změření osoby, pro kterou je rám určen, a rám potom zkonstruovat přesně podle ní. Tento rám bude tedy pro tuto osobu ideální, ale pro jiného jezdce, který nemá stejné nebo velmi podobné rozměry těla, tento rám nebude příliš vhodný. Existuje mnoho přístupů, jak lidské tělo změřit. Jedním z nich je somatometrie. Tato výzkumná antropologická metoda se zabývá měřením proporcí a rozměrů na živém jedinci a lze ji rozdělit do tří skupin: základní rozměry lidského těla, obvodové rozměry a šířkové a délkové rozměry. Mezi hlavní rozměry pro konstrukci rámu potřebujeme znát délku končetin, trupu a výšku postavy. Tento vysoce individuální přístup je možný pouze u kusové výroby kol. Výroba takového rámu bude velmi nákladná.

Druhá možnost je využít jakési normalizované zprůměrované rozměry. Jedna velikost rámu je potom vhodná pro osoby v určitém rozsahu výšky. Takovéto rámy jsou jakýmsi kompromisem. Tento způsob je používán pro sériovou výrobu kol. Pro můj případ návrhu kola budu vycházet z průměrných hodnot lidského těla. Vzniklý rám pak bude univerzálně použitelný pro osoby s výškou od cca 165 do 180 cm [45].

6.1.1 VELIKOST RÁMU

Jako první věc je nutné určit rozměry rámu, drtivá většina kol se vyrábí v různých velikostech. Velikostí je myšlena délka sedlové trubky a je jakýmsi určujícím a srovnávacím parametrem. Od tohoto rozměru se pak dále odvozují ostatní rozměry rámu. Obecně se délka volí tak, aby cyklista stojící obkročmo nad kolem měl horní rámovou trubku zhruba 5 cm od rozkroku [35]. Tato velikost a od ní odvozené rozměry závisí především na to, za jakým účelem bude kolo používáno. U rekreačního použití je kladen velký důraz na celkový komfort jízdy, u sportovního použití naopak na jízdní vlastnosti, celkovou tuhost a co nejlepší a nejúčinnější přenos šlapací síly. Pro můj návrh kola volím rám v závislosti na předem zvolené výšce jezdce o velikosti 45 cm [44].

6.1.2 ÚHEL SEDLOVÉ TRUBKY

Podle náklonu sedlové trubky se nám mění efektivita šlapání. Čím strmější úhel je tím je, účinnost šlapání větší, cyklista šlape tzv. „pod sebe“. Vysoká hodnota úhlu ale v konečném důsledku vede k méně komfortnímu posedu. Velké úhly se používají u horských a silničních kol, které nejsou primárně zaměřeny na komfortní jízdu. Snižováním úhlu se nám efektivita šlapání zmenšuje, zároveň se nám snižuje těžiště a snižuje se vzdálenost mezi zemí a sedlem, jezdce potom při zastavení dosáhne nohou na zem a nemusí sesedat z kola, což je u městského provozu velká výhoda. Volbu úhlu sedlové trubky je nutné velmi dobře zvážit, zvláště si určit, na co bude kolo primárně používáno a zda nám jde hlavně o komfort a praktičnost nebo o efektivní šlapání. U městských kol se běžné hodnoty úhlů pohybují mezi 69° a 72° stupni. Pro rám byl zvolen úhel o velikosti 71°.

6.1.3 VÝŠKA SEDLA

Správný posed umožňuje maximálně zužitkovat energii, kterou vynaložíme při šlapání. Správným posedem se můžeme vyvarovat i různých zdravotních problémů jako jsou bolesti zad, přes bolest spojenou s přetěžováním stehenních svalů či problémy s bederní páteří. Způsobů, jak nastavit sedlo, je několik. Postup jednoho z nich je následovný: nasednout na kolo a zapřít ho o stěnu, aby bylo ve vodorovné poloze, jeden pedál pootočit úplně dolů a postavit se na něj patou, a výšku sedla upravit tak, aby byla noha propnutá. Pokud je noha pokrčená, je sedlo moc nízko, pokud je nutné sjet ze sedla na stranu, je naopak sedlo moc vysoko. U městského kola není primárním účelem co nejefektivnější přenos šlapací síly ale jízdní komfort. Výška sedla u městského kola by měla být nastavena tak aby jezdec v první i ze sedla dosáhl lehce na zem.

6.1.4 EFEKTIVNÍ DÉLKA RÁMOVÉ TRUBKY

Horní rámová trubka je často různě zalomená či pod úhlem, z toho důvodu je nutné zavést takzvanou efektivní hodnotu rámové trubky. Efektivní délka rámové trubky je vodorovná vzdálenost od průsečíku osy hlavové trubky a sedlové trubky. Tento parametr má vliv na délku posedu a délku celého kola. Kratší rámová trubka znamená i kratší kolo, to znamená i větší tuhost rámu a nižší hmotnost, zároveň i lepší ovladatelnost. Při návrhu je nutné neudělat tuto vzdálenost příliš velkou - vedla by k předkloněnému posedu. Tak se nám sice zmenšuje aerodynamický odpor, ale jízda na delší vzdálenosti by byla velmi nepohodlná a únavná. Pro městské kolo by efektivní délka měla být taková, aby jízda byla co nejkomfortnější.

6.1.5 PŘEDOZADNÍ UMÍSTĚNÍ SEDLA A SKLON

Jde o další nutné nastavení pro co nejlepší posed a co nejefektivnější přenos šlapací síly. Nastavování se provádí s chodily na pedálech. Při jejich pootočení do vodorovné polohy by svislice spuštěná z vrcholu kolenního kloubu měla procházet osou pedálu. Pro rychlostní jízdu posuňte sedlo o 1 cm dopředu, pro silovou jízdu o 1 cm dozadu [2]. Nastavení sklonu sedla je velmi individuální záležitost; jezdcům by se v první řadě mělo na kole sedět pohodlně. Výchozím bodem při nastavování by mělo být sedlo, které je ve vodorovné pozici. Při příliš velkém sklonu se více namáhají ruce a záda.

6.1.6 DÉLKA PŘEDSTAVCE

Na předklon cyklisty mají vliv celkem tři faktory: poloha sedla, délka rámu a délka představce. Poloha sedla jde nastavit velmi omezeně, délka rámu je jasně daná a nelze ji měnit. Délka představce tak poskytuje jedinou možnost, jak nastavit polohu jezdce na kole. Určení její délky se provádí následovně. Jezdec se posadí na kolo, předpaží ruce, aby byly kolmé na tělo. V této poloze se začne předklánět, je důležité, aby pohyb probíhal pouze v kyčelních kloubech. Ruce by pak tímto pohybem měly projít osou řídítek. Příliš dlouhý představec pokládá horní polovinu těla do horizontální polohy, což vede k nepřírozenému napínání paží a přetěžování pánve, kvůli čemuž musí jezdec zvedat hlavu, aby viděl, a tím přetěžuje krční páteř. Příliš krátký představec naopak polohu vertikalizuje a tento posed je velmi komfortní, při jízdě v terénu však všechny rány a rázy od nerovností zasahují páteř napřímo. Stejně jako u každého nastavení polohy, i

toto je velmi individuální a každému vyhovuje něco jiného. Pro návrh městského kola zvolím podstavec kratší.

6.1.7 NASTAVENÍ ŘÍDÍTEK

Jde o další z mnoha faktorů, které velmi ovlivňují celkový posed cyklisty. Obecně je nejjednodušší způsob změny v nastavení řídítek použití představce jiného sklonu, další možností je změna počtu podložek ve hlavovém složení. Obecně jsou řídítka a sedlo ve stejné výšce. Při potřebě sportovnější jízdy se řídítka nastavují níže, pro komfortní jízdu zase naopak výše. Při nižší výšce řídítek se váha jezdce přesouvá více nad přední kolo, a to zlepšuje jeho kontrolu. Toto nastavení se provádí v závislosti na výšce jezdce a má své doporučené rozsahy, záporný rozdíl by neměl být větší než několik centimetrů [32]. Pro návrh městského kola zvolím kvůli komfortní jízdě řídítka výše, než bude poloha sedla.

6.1.8 TVAR A ŠÍŘKA ŘÍDÍTEK

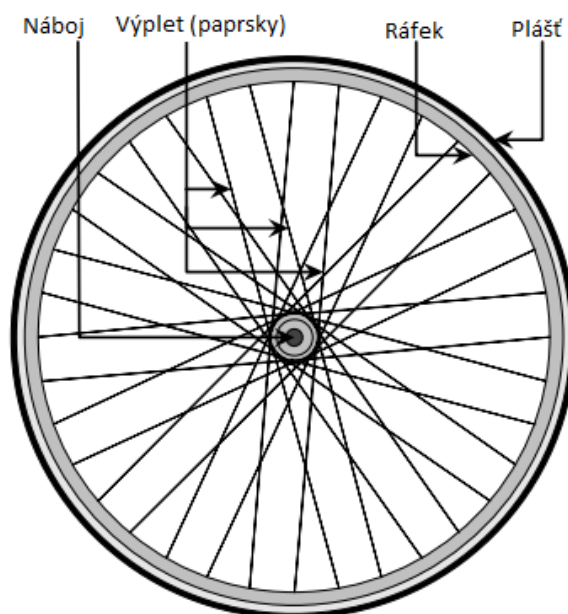
Liší se podle typu kola, sjezdové mívají řídítka širší, silniční užší. Obecně se šířka řídítek odvíjí od šířky ramen, tyto rozměry by pro ideální jízdu měly být stejné. Pro lepší a rychlejší ovladatelnost, lepší tlumení a kontrolu v terénu je lepší mít řídítka širší. Nevýhodou širších řídítek je větší aerodynamický odpor a horší průchodnost ve zúženích nebo ve městské dopravě. Pro návrh městského kola zvolím kompromis, tedy řídítka, která jsou dostatečně široká pro komfortní jízdu, ale natolik úzká, aby v městské dopravě nevadila v různých zúženích.

6.1.9 DÉLKA KLIKY

Délka kliky záleží, stejně jako mnoho dalších faktorů, na samotném jezdci, jeho tělesných proporcích a stylu ježdění. Pro těžší kadenci šlapání se používají delší kliky, kratší poskytují možnost šlapání při vysokých frekvencích. U městského kola závisí především na tom, jak je dané město kopcovité. Pro možnost využít kolo i do mírných kopců zvolím střední délku kliky 175 mm. Délka kliky musí být také volena v závislosti na geometrii rámu, při vodorovné poloze nesmí kliky omezovat pohyblivost předního kola při zatáčení. Při poloze klik kolmo k zemi by měla být vzdálenost mezi koncem kliky a vozovkou natolik velká, aby při přejíždění nerovností nebo při naklápění kola do zatáček neohrožil kontakt mezi vozovkou a klikou.

6.2 VOLBA RÁFKU A PLÁŠTĚ

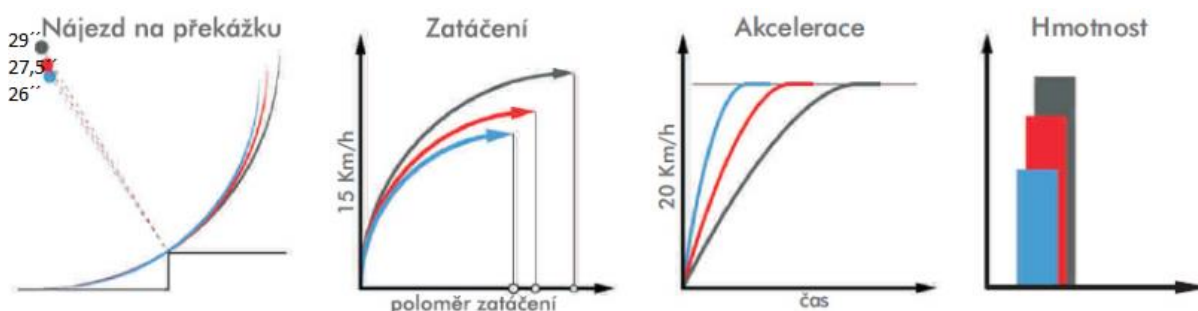
S rozměrem ráfku a pneumatiky se musí počítat již při konstrukci rámu kola a vidlice. Ráfky výrazně ovlivňují celkové jízdní vlastnosti a jízdní komfort. Větší kola na jedno šlápnutí ujedou delší vzdálenost, lépe překonávají překážky a nerovnosti. Mají horší manévrovatelnost při nižších rychlostech a větší váhu. Větší kola vyžadují pevnější výplet. Jejich střed je oproti menším kolům výše, proto může mít jezdec s menší výškou problém došlápnout na zem bez větších problémů.



Obr. 24 Popis kola [25]

6.2.1 VOLBA VELIKOSTI RÁFKU

Městská doprava kombinuje všechny tyto problémy: časté zastavování a rozjíždění, kličkování mezi auty při nízkých rychlostech, překonávání tramvajových kolejí, rozdílná kvalita a „hladkost“ komunikací. Většina městských kol má rozměr ráfků 28'' s pneumatikami bez hlubokého drážkování (městské kolo se nepohybuje v terénu). Volba velikosti ráfku a pneumatiky by měla být určitým kompromisem, proto zvolím pro své kolo ráfky s průměrem 26'', a to pro jejich ovladatelnost a nízkou hmotnost, která je při jízdě ve městě zcela zásadní.

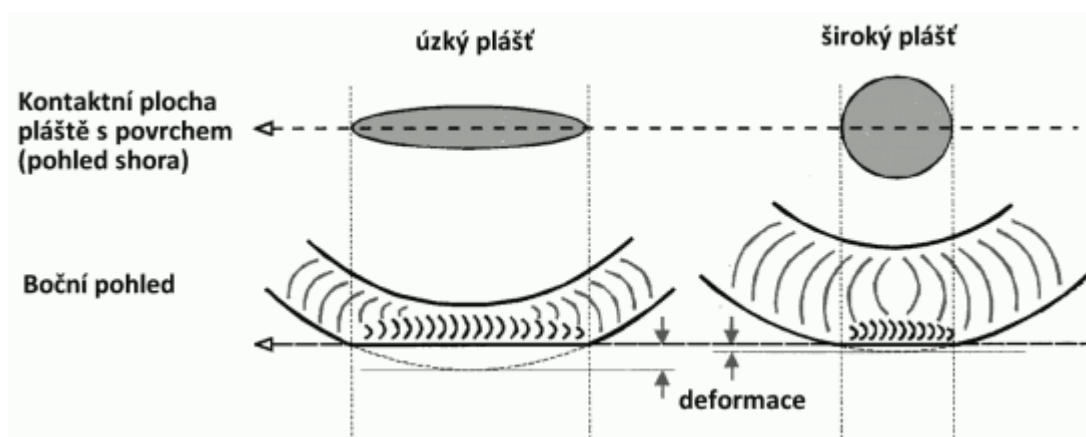


Obr. 25 Srovnání ráfků o velikosti 26,27.5 a 29'' [32]

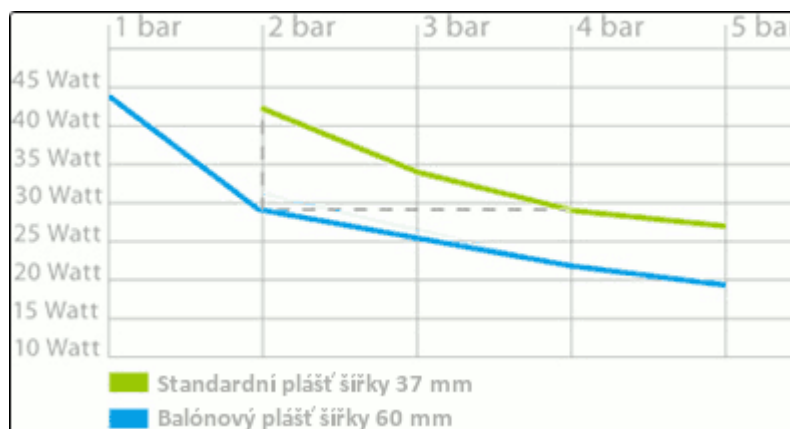
6.2.2 VOLBA PLÁŠTĚ

Označování jízdních kol, pneumatik a ráfků se řídí podle mezinárodního standardu ISO 5775. Tento systém sjednocuje a nahrazuje mnoho starších značení. Tento systém značení nám udává vnitřní průměr pláště a jeho šířku. Volba pláště závisí hlavně od toho, na jakém povrchu bude kolo používáno. Užší pláště jsou vhodné pro hladké vozovky, mají nižší kontaktní plochu, hůře překonávají nerovnosti, a jízda mimo hladký povrch není tak pohodlná. Určitou alternativou pro pneumatiky do města je použití tzv. „Balónových plášťů“. Jejich hlavním znakem je možnost huštění na nižší tlaky oproti úzkým plášťům, zároveň mají jemnější vzorek drážkování oproti plášťům pro horská kola.

Úzký plášť by měl mít za stejných podmínek daleko nižší valivý odpor než plášť široký, jak můžeme vidět na obr. č.27. Úzký plášť má delší kontaktní plochu s povrchem. Při stejném hustícím tlaku tak má větší stykovou plochu, a tedy i větší valivý odpor než širší plášť. V praxi se užší pláště hustí na větší tlaky, širší pláště na nižší tlaky. Valivé odpory, které musíme překonat jsou potom srovnatelné, jak můžeme vidět na grafu 6.4. Pro návrh městského kola byly zvoleny široké balónové pláště o velikosti 26''. Díky tomu bude v kombinaci s 26'' ráfkem zaručena dobrá ovladatelnost, nízká váha, a zároveň i komfortní jízdní vlastnosti bez nutnosti mít odpruženou přední nebo zadní vidlici. Širší plášť si mnohem lépe poradí s různými spárami ve vozovce nebo kolejkách.



Obr. 26 Srovnání styčné plochy úzkého a širokého pláště [33]



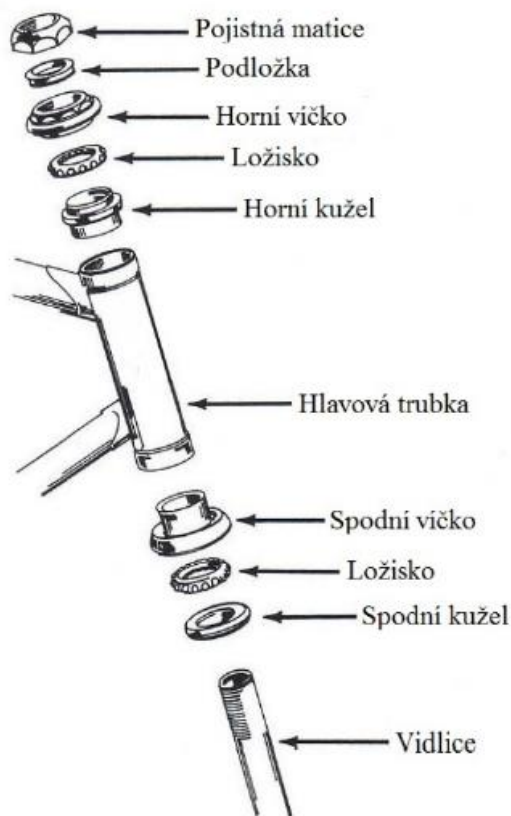
Obr. 27 Srovnání valivých odporů [33]

6.3 NORMALIZOVANÉ ROZMĚRY

Rám kola jako takový může mít téměř jakékoliv rozměry. Důležité je, aby na něj bylo možno přimontovat další komponenty a doplňkovou výbavu, zaručit zaměnitelnost normalizovaných dílů - proto je nutné mít určité rozměry normalizované. Díky této zaměnitelnosti pak bude možné kolo vhodně individualizovat až už podle jezdce nebo podle oblasti kde se bude kolo používat.

6.3.1 HLAVOVÉ SLOŽENÍ

Tato část upevňuje představec a vidlici k rámu. Tato část je extrémně namáhaná a přenáší všechny rázy od ráfku na rám. Hlavové složení se skládá z mnoha částí popsanych v následujícím obrázku. Může být provedeno v několika variantách: klasické, integrované a semiintegrované. Integrované a semiintegrované lépe odolávají nečistotám, oproti klasické variantě však mají vyšší pořizovací cenu. Pro návrh městského kola použijí klasické uložení. Složení hlavového složení je popsáno v následujícím obrázku:



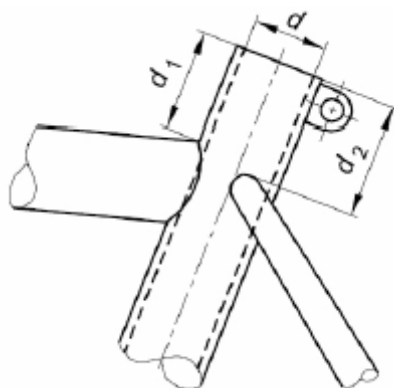
Obr. 28 Schéma hlavového složení [36]

6.3.2 STŘEDOVÉ ULOŽENÍ

Jak již název napovídá, nachází se ve středu rámu. Z každé strany je opatřeno dvěma ložisky, díky nimž jde o pohyblivé uložení. Na každé straně jsou pak umístěné kliky. Aby byla zaručena správná funkčnost náboje, je doporučeno jej každý rok vyjmout, vyčistit a promazat. Při této prohlídce se zároveň prohlíží i opotřebení součástek. Po následné montáži je nutné jeho seřízení, respektive je třeba ložiska utáhnout na správnou úroveň. V poslední době se můžeme setkat s tzv. zapouzdřeným středovým nábojem. Tento náboj nevyžaduje žádnou údržbu a do kola se nasazuje jako celek. Z tohoto důvodu pro svůj návrh použiji zapouzdřené středové uložení.

6.3.3 SEDLOVÁ TRUBKA

Jde o jednu z dalších komponent, jejíž normalizace nám umožňuje bezproblémovou zaměnitelnost s ostatními sedlovými sadami. Sedlové trubky se pohybují od průměru 21,15 mm do 31,6 mm. V současné době se můžeme nejčastěji setkat s průměry 31,6 a 27,2 mm. [37] Tento rozměr je společný pro silniční, městská a horská kola. Mnoho výrobců kol vyrábí sedlové trubky netypických průměrů - mají tak zajištěnou nezaměnitelnost s ostatními běžnými díly a pokud jezdec potřebuje delší sedlovou trubku, musí investovat do originálního dílu, který může být díky své exkluzivitě nadceněn. Pro návrh městského kola použiji velmi často používaný průměr trubky 27,2 mm. Norma EN 4210 dále předepisuje připojovací rozměry, které je nutné dodržet $d_1, d_2 \leq 2d$ [43].



Obr. 29 Připojovací rozměry sedlové trubky [43]

6.3.4 ZADNÍ STAVBA

Někdy též uváděná jako „délka řetězové vzpěry“ [35], je vzdálenost mezi středem náboje zadního kola a středového náboje. Čím delší rozměr je, tím je větší rozvor a kolo je při jízdě stabilnější. Delší zadní stavba nám umožňuje větší zapření při šlapání (např. do kopce), aniž by se riskovalo odlehčování předního kola, či v krajním případě postavení kola na „zadní“. Rozměr zadní stavby je nutný volit podle šířky a průměru zadního převodníku. Pro návrh mého městského kola použiji převodovku v zadním náboji s celkovou délkou 130 mm a s průměrem osy 10,5 mm.

6.3.5 VIDLICE

Jde o další z důležitých komponent, jehož celková stavba má zásadní vliv na jízdní vlastnosti kola. Jejími hlavními rozměry jsou průměr krku, závlek a délka nohou. První a základní dělení je podle délky nohou, tento rozměr se liší v závislosti na tom, pro jak velké kolo je daná vidlice určena. Druhým důležitým parametrem je průměr krku udávaný v palcích (1'', 1 1/8'', 1 1/4''): nejběžnější a nejpoužívanější rozměr je 1 1/8'' [39], ostatní průměry se používají u méně obvyklých kol (sjezdová, tandemová). Posledním z určujících parametrů je závlek kola, ten pomáhá udržovat přední (řízené) kolo v přímém směru a jeho mezní hodnoty jsou doporučeny normou EN 4210. Pro návrh rámu volím průměr krku 1 1/8''. Rám tak bude možné osadit širokým spektrem běžně dostupných vidlic. Pro svůj návrh volím pevnou vidlici výrobce Force MTB, která splňuje jak komfortní, tak cenové požadavky [40].

6.4 VOLBA PŘEVODU

V dnešní době je prakticky nemožné koupit kolo bez více převodů. Použití více převodů má jasný cíl - zefektivnit šlapací frekvenci a umožnit tím dosažení vyšší rychlosti, nebo naopak při jízdě do kopce „ulehčit“ jeho vyjetí. Na trhu je spousta možností, já jsem se po širší analýze rozhodl pro městské kolo použít třírychlostní přehazovačku Shimano nexus. Tato bezúdržbová převodovka je umístěna v náboji zadního kola a nezabírá tak moc místa. Na rozdíl od spousty jiných převodovek lze řadit i v klidu, proto je pro městský provoz zcela ideální. Tuto převodovku je možné koupit i ve verzi s protišlapnou brzdou. Ta je sice při delším brzděním náchylná k přehřátí, ale jelikož je kolo navrhováno pro provoz v Brně, kde žádné větší kopce nejsou, bude tato brzda dostatečná. Třírychlostní převodovka se skládá ze třech stupňů: první je určen na rozjezd, druhý pro jízdu po rovině, třetí pro rychlejší jízdu z kopce. Vzhledem k předpokladu nízkého denního nájezdu bude tato převodovka dostačující.

Volba vhodné převodovky nutně nemusí znamenat dobrou jízdu, vše závisí především na tom, jaký se použije převodník a pastorek. Vyladit tento systém bývá velmi problematické. Výměna jedné části za jinou může mít za následek zhoršení výkonu. Po zhodnocení možností, které Shimano pro převodovku Nexus nabízí, jsem se rozhodl použít převodník s 38 zuby a pastorek s 21 zuby.

7 KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ

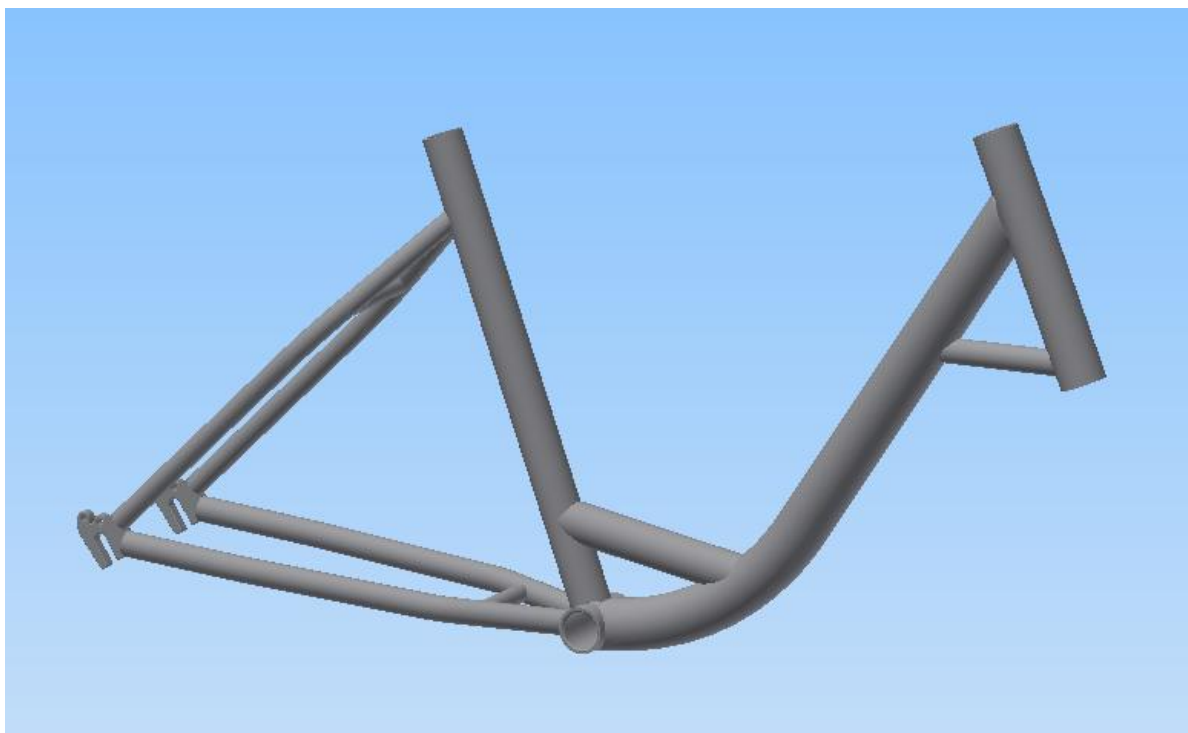
Cílem mé diplomové práce je navrhnout rám kola vhodný do města. Rám by měl být zkonstruován zejména tak, aby vyhověl několika požadavkům. Tím prvním je konstrukce rámu pro hluboký nástup, a tedy pro snadné nasedání a sesedání, dalším je jednoduchá a kompaktní konstrukce, díky níž by následná výroba nebyla tolik nákladná, dalším kritériem je dobrá ovladatelnost. Mezi další hlediska pro posouzení můžeme zařadit: zaručení komfortní jízdy při použití na různých površích a v neposlední řadě přijatelná váha, která usnadní případnou manipulaci. Konstrukce modelu musí být navržena tak, aby byla zaručena její dostatečná tuhost, která je snížena díky chybějící vrchní rámové trubce.

Prvním krokem k vypočtení pevnostní analýzy je vytvoření rámu. Pro návrh modelu jsem se rozhodl využít program Autodesk Inventor. Model lze vytvořit dvěma způsoby - buď jako skořepinové těleso nebo objemový model. Při použití skořepinového modelu jsou výpočetní časy v porovnání s objemovým modelem kratší, skořepinový model obsahuje méně prvků a uzlů, nicméně tato rychlost výpočtu je vynahrazena obtížnými přechody mezi jednotlivými komponenty. Při použití objemového modelu dosahuje model daleko větší velikosti, má víc uzlů a prvků, čas výpočtu bude mnohem delší. Pro můj případ diplomové práce využiji objemový model, zvláště kvůli velkému množství přechodů, které v modelu budou. Model rámu kola také nebude s využitím objemového modelu tak náročný na pevnostní analýzu.

Pro první návrh byla použita konstrukce bez jakýchkoliv podpůrných vzpěr, tato koncepce se však ukázala, při pevnostní analýze jako naprosto nepoužitelná, po přidání podpůrných vzpěr a použití trubek o větší tloušťce na kritických místech, získal rám dostatečnou tuhost a pevnost.

Tab. 1 Rozměry trubek po optimalizaci

Sedlová trubka	TR Ø 35x3
Hlavová trubka	TR Ø 40x3
Rámová trubka	TR Ø45x5
Středová trubka	TR Ø 40x4
Řetězová vzpěra	TR Ø 22x2
Sedlová vzpěra	TR Ø 18x2
Rámová vzpěra	TR Ø 35x3
Hlavová vzpěra	TR Ø 22x3



Obr. 30. Model rámu – druhá verze

Tato verze rámu je oproti té předchozí opatřena dvěma vzpěrami. Konstrukce rámu je navržena co nejjednodušeji, obsahuje minimum ohybů. Rám je vyroben z trubek běžných rozměrů. Tyto kroky by měly vést ke snadné výrobě a v konečném důsledku ke snížení výrobních nákladů. Dolní vzpěra je umístěna ve výšce převodníku, díky tomu není nasedání a sesedání z kola nijak více omezeno, samotná vzpěra pak navíc brání kontaktu nohy a převodníku.

8 DEFORMAČNĚ-NAPJATOSTNÍ ANALÝZA RÁMU

Deformačně-napjatostní analýza rámu slouží k odhalení kritických míst na rámu, která jsou nejvíce namáhána. Díky tomu je pak možné vhodnou optimalizací rámu tato místa upravit a zvýšit tak celkovou únosnost. Optimalizace je pro komerční výrobce rámu vzhledem k velkému tlaku od konkurenčních výrobců či různých trendů, které se na tvaru rámu mohou také promítnout, naprosto klíčová. Nejvhodnějším způsobem je výpočet pomocí metody konečných prvků, tedy nahrazení objemů prvky, které jsou navzájem spojeny, následné sestavení rovnic a jejich řešení pro každý prvek. Tento způsob výpočtu deformačně-napjatostní analýzy je v dnešní době jedním z nejpoužívanějších, zvláště ve strojírenských oborech.

8.1 VÝBĚR PROSTŘEDÍ

Po vytvoření modelu v Autodesk Inventor je nutné model převést, neboli diskretizovat, do výpočetního programu, ve kterém se bude provádět deformačně napjatostní analýza. Pro můj případ jsem se rozhodl využít program ANSYS Workbench. Tento program na rozdíl od jiných nevyžaduje rozsáhlé znalosti konkrétních výpočtových metod, které uživatel musí získat předchozí praxí. ANSYS Workbench je uživatelsky jednoduché a jasné prostředí, které nabízí spoustu předpřipravených algoritmů a postupů pro různé inženýrské úlohy. Z těchto důvodů, společně s menší časovou náročností přípravy pro řešení daného problému, volím výše zmíněný výpočetní program.

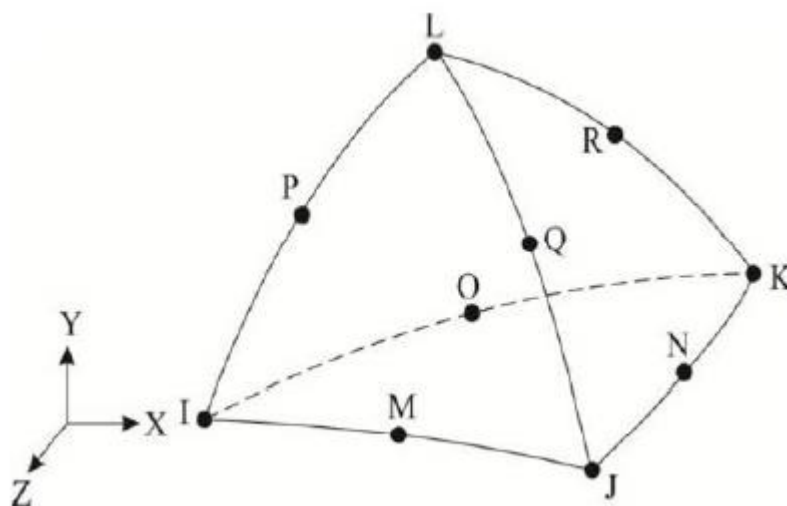
8.2 PŘEVOD MODELU DO ANSYS

Dalším krokem je převedení modelu vytvořeného v programu Autodesk Inventor do programu ANSYS. Existuje mnoho způsobů, jak daný model převést, mezi nejznámější jsou formáty STEP a IGES. Při převodu přes formát IGES nelze přenést celý objemový model. Přenáší se pouze povrch, složený z jednotlivých ploch. Tím se ztrácí veškeré vnitřní návaznosti mezi jednotlivými plochami. Takovým převodem se mohou ztratit spojitosti ploch nebo jejich vzájemná návaznost. Tyto nespojitosti je nutné potom dodatečně opravit. Formát STEP je v podstatě novější, vylepšená verze formátu IGES. Na rozdíl od formátu IGES dokáže formát STEP přenést uzavřený povrch tělesa složený z objemů. Tím odpadají problémy s nespojitými plochami modelu. Pro převod modelu mé diplomové práce využiji přenos přes formát STEP. Hlavním důvodem je, že model je vytvořený jako objemové těleso, a ne jako skořepina.

8.3 SÍŤOVÁNÍ MODELU

Po převodu modelu do programu ANSYS je dalším krokem vysíťování celého modelu. Pro vytvoření sítě jsem zvolil tetraedrový prvek velikosti 3 mm. Pracuje s deseti uzly volnosti a třemi stupni volnosti na každém uzlu. Tetraedry jsou nejjednodušším prvkem, které dokonale vyplňují tvar celého modelu. Jistou nevýhodou je nižší přesnost výpočtu či velký počet prvků a uzlů – to však vzhledem k velikosti modelu nebude problém. Problém s velikostí prvků nastává při síťování trubek, které mají tloušťku menší než 3 mm. V takových místech by bylo vytvoření sítě o velikosti 3 mm nemožné. Z toho důvodu bylo nutné zvolit velikost prvků v závislosti na tloušťce stěn trubek. Pro zlepšení výpočetní přesnosti jsem provedl v kritických

místech a jejich bezprostředním okolí zjemnění sítě na velikost 1 mm, pomocí funkce Refinement. Nejjednodušším řešením by bylo vysítovat celý model prvky s malou velikostí, tímto způsobem by ovšem neúměrně vzrostl čas výpočtu a dosažené výsledky by byly totožné v porovnání se způsobem, kdy se zjemní jen určité části modelu.



Obr. 31 Prvek Solid 187 [41]

8.4 ZADÁNÍ OKRAJOVÝCH PODMÍNEK

Pro co nejpřesnější výsledky analýzy je velmi důležitá příprava modelu a jeho síťování. Pokud chceme výsledky využít v praxi, je nutné přesné zadání okrajových podmínek. Tedy podmínky, které co nejvíce přiblíží výsledky reálnému zatížení součásti. Rám kola je konfrontován s celou řadou způsobů namáhání. Svou vlastní vahou sice minimálně, daleko větší namáhání ale působí jezdec – ať už jde o namáhání jeho vahou, šlapáním, brzděním, či namáhání při průjezdu zatáčkou. Podklady k takovým zatížením není v podstatě možné nikde na internetu dohledat, v reálných podmínkách je jedinou možností ke změření sil použití různých snímačů a tenzometrů na rám, nejčastěji prototyp. Tento způsob zjišťování reálného zatížení je nicméně hodně zdoluhavý a časově náročný a využití najde pouze u některých kol prémiových značek. Jedinou možností, jak získat podklady pro tyto okrajové podmínky, je využít normu ČSN EN ISO 4210, která ukládá výrobcům městských a trekingových kol dodržení zkušebních metod.



Obr. 32 Příklad zjišťování reálného zatížení [42]

8.4.1 VÝBĚR MATERIÁLU

Materiál, ze kterého bude rám vyrobený, má největší vliv na to, jaká bude jeho konečná hmotnost a z jak silných trubek ho bude nutné vyrobit, aby vyhověl všem zátěžným stavům. Po důkladné rešerši možných materiálů jsem se rozhodl použít hliníkovou slitinu. Hliník je velmi měkký, z toho důvodu není pro výrobu rámu úplně vhodný. Proto se používají různé hliníkové slitiny, čímž se výrazně zvýší jeho pevnost. Pro dosažení stejné pevnosti jako mají ocelové rámy pak tedy neplatí, že je nutné použít trubky hliníkové slitiny třikrát silnější. Na trhu se objevuje celá řada různých hliníkových slitin. Pro svou odolnost proti korozi a velmi dobré svařitelnosti jsem se rozhodl využít slitinu typu Al-Mg-Si, konkrétně slitinu pod označením EN AW-6063 [46].

Tab. 2 Materiálové charakteristiky EN AW-6063 [46]

Hustota	2700	kg/m ³
E	69,5	Gpa
G	26,1	Gpa
μ	0,33	
R _{m min}	215	MPa
R _{p0,2 min}	170	Mpa

8.5 ZÁTĚŽNÉ STAVY

Po nastavení modelu a všech jeho okrajových podmínek je možné rám podrobit statické pevnostní analýze. Před touto analýzou je potřeba nastavit správně všechny vazby tak, aby co nejvíce odpovídaly realitě, dále je potřeba co nejpřesněji definovat zátěžné stavy, které budou na rám kola působit. Tyto stavy je velice obtížné definovat, proto využijí zátěžné stavy, které jsou definovány normou EN ISO 4210. Ta definuje bezpečnostní požadavky, které musí bicykl splňovat, aby mohl být prodáván na evropském trhu. Norma definuje zatěžování pro brzdění, šlapání, zatížení sedlové trubky, vahou jezdce. Veškerá použitá data pro definování těchto zátěžných stavů a při výpočtech jsou čerpána z této normy.

Tyto stavy by měly co nejvíce korespondovat s reálným zatížením. V reálných podmínkách nastávají situace, kdy na rám působí kombinace různých zatížení. Pro získání co nejpřesnějších výsledků by bylo vhodné počítat je podle toho. Takové výpočty by však byly neúměrně dlouhé. Takto získané výsledky by se však s mými příliš nerozházely. Kritická místa zjištěná těmito výpočty by se nacházela ve stejných místech jako při postupném zatěžování stavy definované normou EN ISO 4210. Při vývoji kol se můžeme setkat se zkušebními, které ověřují pevnostní vlastnosti skutečného rámu. Tyto zkušebny můžeme nalézt jen prémiových kol prémiových značek.

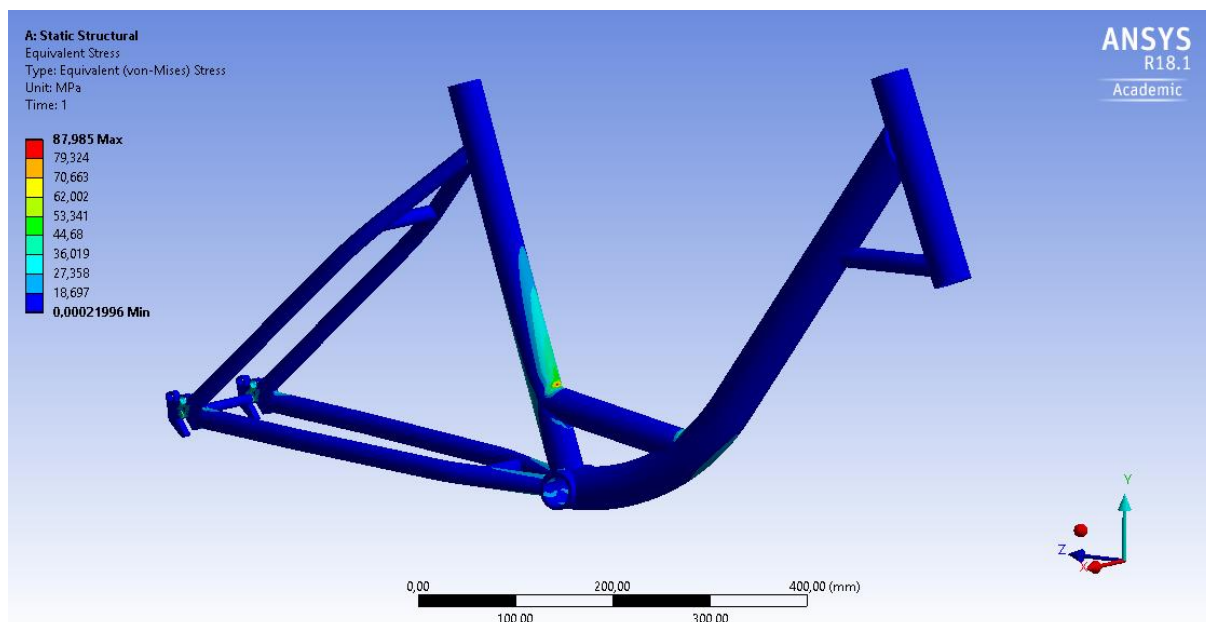


Obr. 33 Testovací zařízení pro kola [42]

8.5.1 ZATÍŽENÍ VAHOU JEZDCE

Jde o první zátěžný stav, který odhalí kritická místa v rámu. Pokud by rám kola nevyhověl tomuto zátěžnému cyklu, nevyhověl by ani v dalších zátěžných cyklech, provádím ho tedy jako první. Jde o klidové statické zatížení. Váha jezdce je rovnoměrně rozložena přes pedály na středovou osu rámu. Vazby na rámu jsou zvoleny tak, aby se co nejvíce přiblížily skutečnosti. Zadní stavba je připojena na zadní osu vazbou bonded, u osy je umožněna rotace kolem vlastní osy, takovéto spojení odpovídá skutečnému spojení zadní stavby a náboje kola. Pro zjednodušení výpočtu je zanedbán vliv ložisek v zadním náboji kola - vzhledem ke své velikosti by výsledek ovlivnily jen nepatrně. Přední vidlice je nahrazena vazbou, která nahrazuje její umístění v hlavovém uložení. U vnitřních ploch je zamezen pohyb ve vodorovném směru. Tímto přístupem nám odpadá vliv tuhosti vidlice. Síly od jezdce jsou v ose klik, jejich poloha odpovídá vodorovnému postavení pedálů. Hmotnost rámu zanedbávám, hmotnost jezdce je stanovena na 80 kg.

Výpočtem byla odhalena kritická místa, z nichž nejkritičtější má hodnotu 88 MPa a nachází se u vyztužení rámové trubky a sedlové trubky. Toto redukované napětí je menší než mez kluzu zvoleného materiálu. Optimalizace tvaru rámu tedy není nutná.



Obr. 34 Vykreslení redukovaného napětí při zatížení váhou jezdce

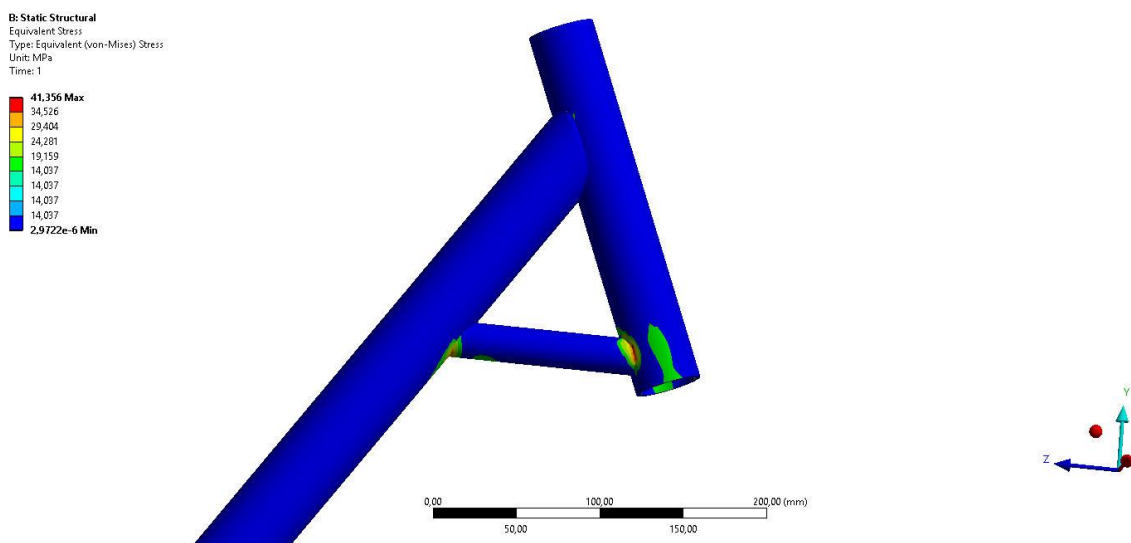
8.5.2 ZATÍŽENÍ VIDLICE

Dalším zátěžným stavem je zatížení vidlice. Tento stav má za cíl odhalit případná kritická místa v napojení hlavové a dolní trubky. Toto místo je nejvíce zatěžovaným v celém rámu a k porušení dochází nejčastěji právě zde. Vidlice je zatěžována podle normy [43], kde je přední kolo nahrazeno volně otáčející se vazbou, u které je omezený posun ve vertikálním směru (předpokládá se neustálý kontakt předního kola s vozovkou), zadní kolo je nahrazeno cylindrickou vazbou.



Obr. 35 Schéma testovacího zařízení pro testování vidlice. [43]

Síla působí v ose předního kola, v mém případě je vidlice nahrazena funkcí remote force a vztažena na vnitřní plochy hlavové trubky, tedy v místě, kde je vidlice uložena v hlavovém uložení. Zatížení vidlice je v obou směrech, tedy jak je namáhána i při normálním provozu. Vidlice se pohybuje v přímém směru nejen při zatížení od jezdce, ale hlavně při sjíždění z překážek (v městském prostředí to bude nejčastěji obrubník), při brzdění a při nájezdu přes překážku se naopak vidlice pohybuje v opačném směru. Velikost sil by proto měla co nejlépe odpovídat skutečným zatížením, která při reálném provozu vznikají.



Obr. 36 Vykreslení redukovaného napětí na spojení výztuhy s rámovou a hlavovou trubicí při zatížení vidlice

Největšího napětí je dosaženo v místě, kde se napojuje výztuha na rámovou a hlavovou trubku, její maximální hodnota pak dosahuje 42 MPa. Takto malá hodnota ukazuje na dobře umístěnou výztuhu. Případná optimalizace, bez nepoužití výztuhy, by se dala provést změnou úhlu napojení rámové a hlavové trubky, to by ovšem vedlo ke zvýšení nákladů při ohýbání tlusté rámové trubky a ani to by nezaručovalo vyšší pevnost. Použití výztuhy je tedy ideální způsob, jak zaručit vysokou pevnost bez nutnosti měnit celou geometrii rámu.

8.5.1 ZATÍŽENÍ BRZDĚNÍM

Další zátěžný stav způsobují brzdící síly, které vznikají od brzdícího účinku. Přední kolo bude osazeno čelistovými brzdami, zadní kolo má brzdu protišlapnou. Pro dosažení správné funkce brzd je zvláště nutné pevné spojení s rámem. Touto zkouškou se mají odhalit případné nedostatky v konstrukci zadních vzpěr. Veškeré údaje na zatížení jsou převzaty z normy ČSN EN ISO 4210. Pro zkoušku jsou známy rychlosti a délka brzdící dráhy, pro provedení pevnostní analýzy je nutné dopočítat hodnoty brzdící síly.

Tab 3 hodnoty rychlosti a brzdící dráhy [43]

Podmínky	Rychlost [km/h]	Brzdění	Brzdící dráha [m]
Sucho	25	Oběma brzdami	7
		Zadní brzdou	15
Mokro	16	Oběma brzdami	5
		zadní brzdou	10

Hodnotu celkové brzdné síly lze vyjádřit vhodnou úpravou následujících rovnic. První je potřeba vyjádřit si hodnotu zpomalení pro suchou a mokrou variantu z rovnice pro výpočet brzdné dráhy pro výpočet brzdné dráhy [45]:

$$s = \frac{v_o^2}{2 \cdot a} \quad (1)$$

Kde s je celková brzdná dráha, v je rychlost, a je zrychlení, v tomto případě zpomalení. Z této rovnice je nutné vyjádřit zpomalení, úpravou rovnice získáme pro výpočet zrychlení následující tvar:

$$a = \frac{v_0^2}{2 \cdot b} = \frac{(25 \cdot \frac{1000}{3600})^2}{2 \cdot 15} = 1,61 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2} \quad (2)$$

Výpočet zpomalení pro variantu za mokra:

$$a = \frac{v_0^2}{2 \cdot b} = \frac{(16 \cdot \frac{1000}{3600})^2}{2 \cdot 15} = 0,99 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2} \quad (3)$$

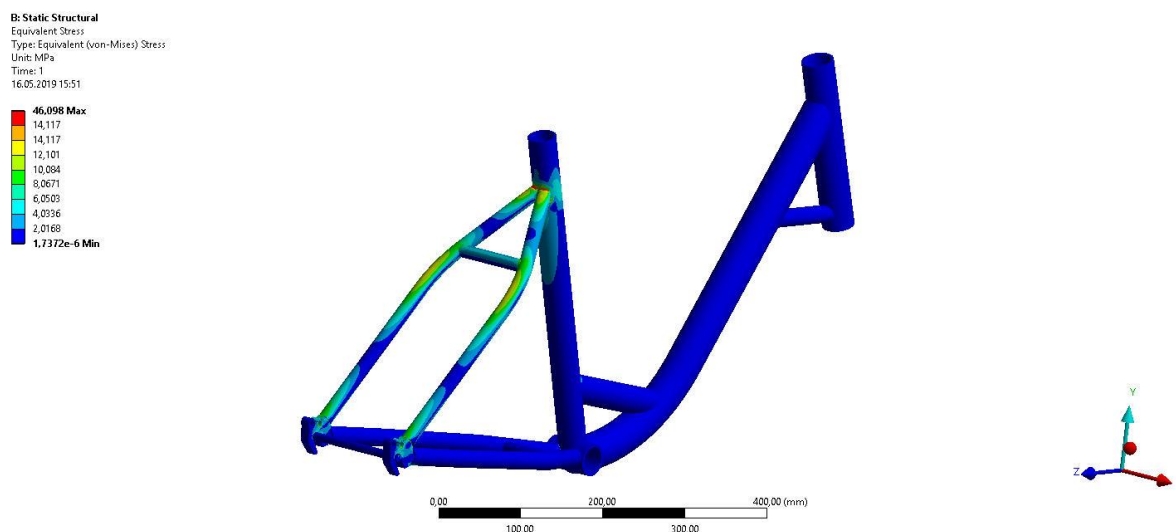
Z takto vypočtených hodnot zpomalení pak lze dopočítat jednotlivé brzdné síly, kde F_B je brzdná síla a m je hmotnost [45].

$$F_B = m \cdot a = 100 \cdot 1,61 = 161 \text{ N} \quad (4)$$

Při použití protišlapné brzdy je nutné vypočítat celkový brzdný moment, ten bude přenášen přes rameno brzdy na řetězovou vzpěru, kde M_B je brzdý moment, r je vzdálenost ramene [45].

$$M_B = F_B \cdot r = 161 \cdot 0,33 = 53,15 \text{ N} \cdot \text{m} \quad (5)$$

Vyšší hodnota zpomalení nastává při brzdění za sucha, pro analýzu budu počítat pouze s touto vyšší brzdou silou, a to pouze při brzdění zadní brzdou. Silové účinky přední brzdy jsou zahrnuty v kapitole 8.5.2.

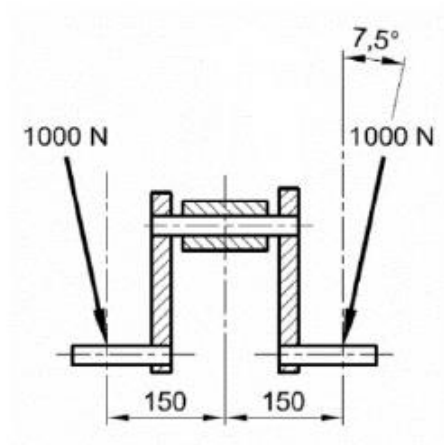


Obr. 37 Vykreslení redukovaného napětí od brzdných účinků.

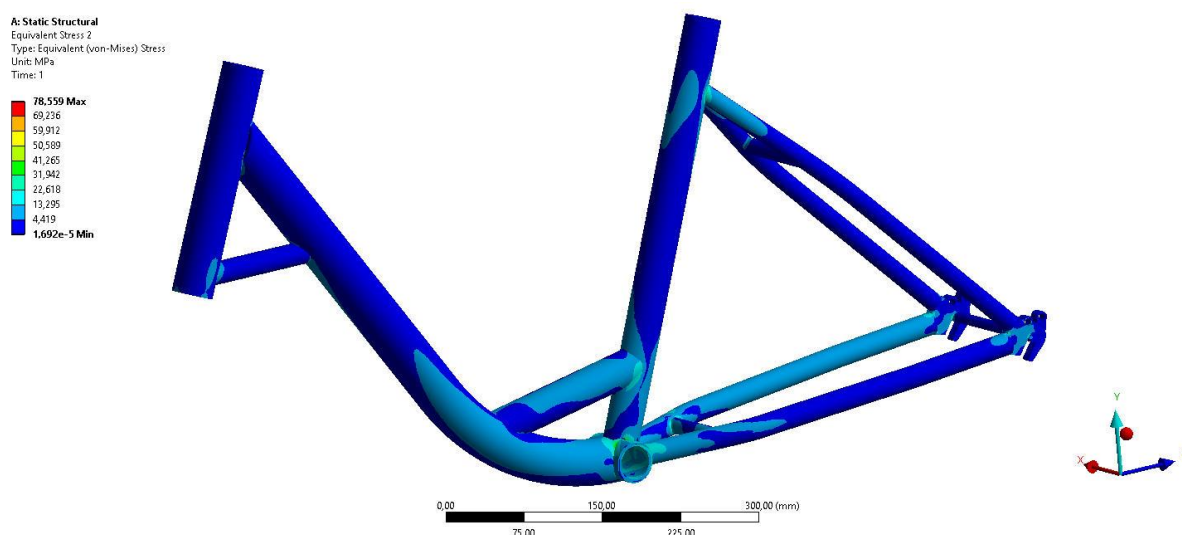
Výsledkem zkoušky je redukované napětí o velikosti 46 MPa, které nastává v blízkosti místa napojení zadních vzpěr a sedlové trubky. Norma udává, že brzdný účinek nesmí vyvolat větší deformaci rámu. Díky tomu je zajištěna stejná pozice brzd a jejich brzdících elementů vzhledem k ráfku kola. Celková deformace během zkoušky dosáhla hodnoty 0,22 mm, zadní uložení tak můžeme uvažovat za vyhovující. Zadní stavba je natolik pevná, že umožňuje případné umístění nosiče.

8.5.2 ZATÍŽENÍ ŠLAPÁNÍM

Další ze stavů je zatížení šlapáním. Vazby zůstávají totožné jako u zatížení vahou jezdce. Tento zátěžný stav má simulovat stav, kdy cyklista celou vahou působí na jeden pedál, druhý je zcela odlehčený. Jediný rozdíl je ve vstupním zatížení, tedy ve šlapací síle. Toto zatížení nám definuje norma ČSN ISO 4210. Ta udává, že maximální síla 1000 N působí na kliky v pozici 45° od horizontální roviny, směrem vpřed [43]. K přesnému zadání zátěžné síly byla využita funkce remote force. K jejímu přesnému zadání je nutné dopočítat její horizontální a vertikální složky a přesné působíště síly.



Obr. 38 Schématické zobrazení polohy zatěžující síly z předního pohledu [43]

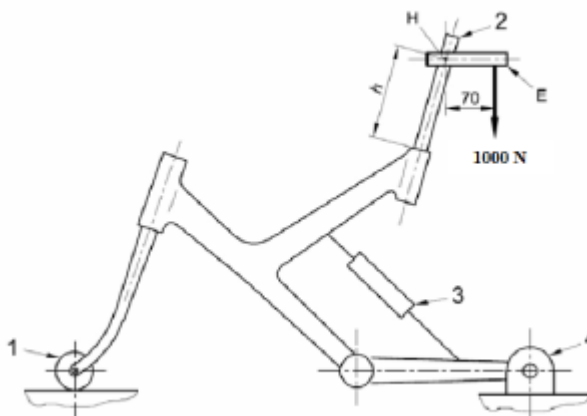


Obr. 39 Vykreslení redukovaného napětí od šlapací síly

Díky souměrnosti rámu jsou výsledky maximálního napětí takřka totožné. Maximální napětí nastává v místě spojení středového náboje se sedlovou a rámovou trubkou a má velikost 78 MPa, což je hodnota naprosto vyhovující. Případné snížení by bylo možné změnou umístění rámové vzpěry, tato změna by však mohla v konečném důsledku vést ke snížení celkové tuhosti kola, a proto nebyla tato změna provedena. Rámová vzpěra je ve výšce převodníku, její umístění níže by tedy neznamenal snadnější nasedání a sesedání.

8.5.3 ZATÍŽENÍ SEDLOVÉ TRUBKY

Jde o zátěžný stav, který simuluje situaci, kdy jezdec sedí na sedle celou vahou. Stejně jako všechny předchozí stavy, i tento je jasně definován normou ČSN ISO 4210. V první řadě je nutné model uložit do vhodných vazeb definovaných podle obr. 40. Číslo 1 představuje volně otáčející se kolo, číslo 2 sedlovku, číslo 3 případný tlumič, pokud je rám odpružený, číslo 4 pevnou vazbu s možností rotace kolem vlastní osy. Dalším krokem je definice síly o velikosti 1200 N, jejíž působíště je popsáno ve stejném obrázku. Síla je vztažena na vnitřní plochu sedlové trubky. Norma také udává nutnost mít zasunutou sedlovku minimálně 75 mm do sedlové trubky, kóta h udává výšku sedla a je rovna 250 mm [43]. Pro správné zatížení bylo nutné rozdělit vnitřní plochu sedlové trubky a zatížení přes funkci remote force uplatňovat pouze na ni. Dalším krokem bylo zjemnění síťování v oblasti, kde lze předpokládat vysoké napětí, tedy v místě spojení sedlové trubky a zadní stavby.

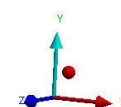
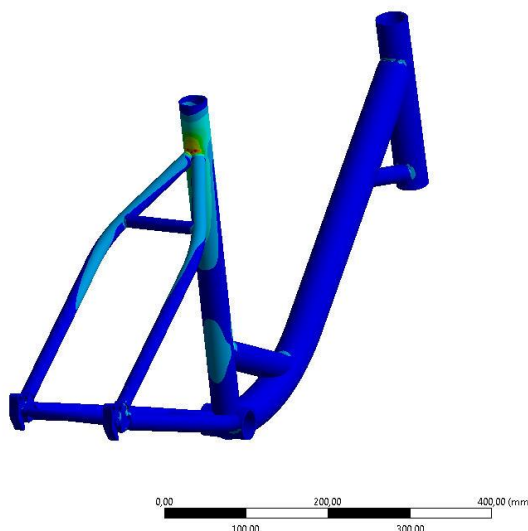


Obr. 40 Schématické znázornění zatížení sedla s uložením rámu [43]

Maximální hodnota napětí má hodnotu 58 MPa, což je vzhledem k materiálovým charakteristikám přijatelná volba. Maximum nastává dle očekávání v oblasti napojení sedlové trubky a zadní stavby. Případná optimalizace není nutná.

B: Static Structural
Equivalent Stress
Type: Equivalent (von-Mises) Stress
Unit: MPa
Time: 1
16.05.2019 13:18

58,304 Max
51,826
45,348
38,869
32,391
25,913
19,435
12,956
6,4782
1,7337e-6 Min



Obr.41 Vykreslení redukovaného napětí při zatížení sedlové trubky

8.6 ZHODNOCENÍ RÁMU

Po zatížení první konstrukce rámu bylo nutné rám upravit a optimalizovat. Především posílit kritická místa, a to buď přidáním výztuh či použitím silnějších trubek. Výsledkem zatěžovacích cyklů je zřejmé, že kritická místa jsou spjata především s hlavní rámovou trubkou, která je kvůli chybějící vrchní rámové trubce daleko více zatěžována samotným jezdce. Díky chybějící vrchní rámové trubce je velmi snížena celková tuhost rámu. Celková optimalizace je limitována materiály a průměry trubek, které by byl dodavatel schopen doručit. Z těchto důvodů bylo nutné konstrukci optimalizovat přidáním výztuh. Středová výztuha rámu byla zvolena tak, aby výrazně nenarušovala koncepci rámu s hlubokým nástupem. Její umístění v rámu koresponduje s velikostí použitého převodníku, tedy jeho průměru.

Rám byl navrhnout co nejjednodušeji za použití kruhových trubek běžných průměrů a s minimem nutností ohybů během výroby, proto je na mnoha místech značně předimenzovaný. Případná budoucí optimalizace by pak mohla být provedena použitím trubek různé tloušťky stěn, nebo trubek s jiným než kruhovým tvarem - to by však vedlo ke značnému nárůstu ceny, což by bylo proti koncepci kola levného na výrobu.

Konstrukce rámu byla vytvořena pro co nejnárodnější používání ve městě, hlavně pro snadné a rychlé nasedání a sesedání, dobrou ovladatelnost, pohodlnou jízdu a relativně kompaktní rozměry které umožňují přepravit kolo hromadnou dopravou. Výsledná konstrukce rámu splnila kladené pevnostní požadavky. Je zřejmé, že rám kola není zatěžován staticky. Vzhledem k předpokladu velmi malých kilometrových nájezdů se můžeme domnívat, že rám za dobu jeho aktivního používání, neprodělá tolik zátěžných cyklů, které by vedly k únavovému poškození.

ZÁVĚR

Cyklistika, zvláště ta ve městech, zažívá v poslední době celosvětový rozmach. Podíl lidí žijících ve městech se rok od roku zvětšuje (v roce 2014 žilo ve městech 54 % celosvětové populace [47]), a to s sebou přináší určité dopravní komplikace, přičemž možnosti, jak rozšířit dopravní síť, jsou mnohdy omezené. Během ranní a odpolední špičky tak lze velmi často na dlouhou dobu uváznout v dopravní zácpě. Cyklistika je způsob, jak se těmto problémům zcela nebo částečně vyhnout. Jízda na kole ve městě s sebou přináší spoustu specifických požadavků, které postupně vykrystalizovaly do vzniku nového druhu kola, jehož primárním účelem je právě provoz ve městě. Výstupem mé práce je rám kola, který je navržen s ohledem na městský provoz.

První kapitola práce mapuje vznik a historický vývoj kola až do jeho dnešní podoby, s posouzením jejich konstrukce. Další část je zaměřena na benefity, které používáním kola ve městě vznikají. Ve třetí kapitole jsou shrnuty prostředky, kterým se snaží města zvýšit podíl cyklistické dopravy, ať už omezením provozu automobilů, možnostmi kombinace cyklistické a veřejné dopravy či budováním infrastruktury pro cyklisty. Pro zvýšení podílu cyklistů v dopravě je zavádění těchto prostředků nutné a v civilizovaném světě se uplatňují v různé míře od konce 20. století. Další kapitola je zaměřena na popis a zhodnocení částí kola a druhů jednotlivých částí, ze kterých se skládá. V páté kapitole jsou zhodnoceny základní druhy kol se zaměřením na jejich výhody a nevýhody v konstrukci nebo při použití. Díky této rešerši byla zvolena nejvhodnější koncepce kola pro provoz ve městě, a to rám s hlubokým nástupem.

Druhá polovina práce je zaměřena na samotný výstup práce, a tedy na návrh geometrie rámu kola a jeho pevnostní analýzu. Geometrie rámu a komponenty kola jsou zvoleny tak, aby co nejvíce odpovídaly požadavkům, které od provozu ve městě plynou. Mezi hlavní požadavky můžeme zařadit snadné nasedání a sesedání, snadnou a rychlou ovladatelnost, přijatelnou váhu, zaručení komfortní jízdy a v neposlední řadě použití normalizovaných rozměrů pro možnost osazení kola běžně dostupnými komponenty, které umožňují případnou individualizaci dle potřeb cyklisty. Geometrie rámu je navržena co nejjednodušeji z trubek běžných rozměrů a z běžně dostupného materiálu, který bude mít dostatečnou pevnost a bude snadno obrobitelný a svařitelný. Tím vším bude zaručena jednoduchá a tedy i nepřilíživě nákladná výroba. Takto vytvořený rám byl podroben pevnostní analýze dle normy ČSN EN ISO 4210, která ukládá výrobcům kol zátěžné stavy, jejichž splnění je nutné pro možnost prodeje kol v Evropě. Pevnostní analýzou byla odhalena kritická místa v rámu. Ta byla odstraněna přidáním výztuh a použitím trubek o větších rozměrech. Takto optimalizovaný rám splnil všechny kladené pevnostní požadavky.

Jak jsem již zmínil, vývoj nových kol je v určitých mezích srovnatelný s automobilovým. Na rozdíl od aut má cyklista řádově nižší výkon (maximálně stovky wattů [48]). Pro co nejvýhodnější přenos síly je nutné mít co nejlehčí rám s komponenty, které z energie jezdce využijí co největší procento. Kola za tímto účelem vznikají, převážně u prémiových značek a jsou to především silniční nebo horská s velmi vysokou cenou. Městská kola zůstávají trochu v ústranném zájmu. Spousta výrobců kol u běžně dostupných modelů pevnostní analýzu a případnou optimalizaci neprovádí a celkovou konstrukci volí podle předešlých zkušeností, takto vzniklá kola jsou bezesporu funkční, nicméně v mnoha místech jsou značně předimenzované. Vývoj kol pro každodenní použití v sobě skrývá velký potenciál, který momentálně není u výrobců příliš využit.

POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE

- [1] ABBOTT, A. V., WILSON, D. G. Human-Powered Vehicles, Human Kinetics Publishers, 1995, ISBN 0873228278 / 9780873228275, 279 s.
- [2] BALLANTINE, R., GRANT, R. Velká kniha o bicyklech, Gemini, sro. 1993, ISBN 80-7161-011-9, 192 s.
- [3] Bicycle not da Vinci's invention: academic Hans-Erhard Lessing]. Toronto Star (Index-Only) [online]. Oct 17, . 1997 ProQuest Central. ISSN 03190781.
- [4] Cycling myths busted: Da Vinci, dead frames, skinny tyres, rotating weight and more [online], [cit. 2019-04-03]. Dostupné z: <https://road.cc/content/feature/194441-cycling-myths-busted-da-vinci-dead-frames-skinny-tyres-rotating-weight-and>
- [5] History of the bicycle [online], [cit. 2019-04-08]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/History_of_the_bicycle
- [6] Bicycle facts [online], [cit. 2019-04-07]. Dostupné z: <https://didyouknow.org/bicycles/>
- [7] History of the Bicycle [online], [cit. 2019-04-07]. Dostupné z: <http://www.bicyclehistory.net/bicycle-history/history-of-bicycle/>
- [8] HADLAND, Tony a Hans-Erhard LESSING. Bicycle design: an illustrated history. Cambridge: MIT Press, c2014. ISBN 978-0-262-02675-8.
- [9] Pierre Michaux - Inventor of First Working Prototype of Bicycle [online], [cit. 2019-05-08]. Dostupné z: <http://www.bicyclehistory.net/bicycle-inventor/pierre-michaux/>
- [10] Safety bicycle [online], [cit. 2019-02-08]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Safety_bicycle
- [11] BONHAM, Jennifer and Marilyn JOHNSON, eds., 2015. Cycling Futures. B.m.: The University of Adelaide Press.
- [12] CYCLING WILL IMPROVE ENVIRONMENT AND HEALTH [online], [cit. 2019-03-08]. Dostupné z: <http://www.cycle-helmets.com/denmark.pdf>
- [13] Health benefits of cycling. Cycling Futures. South Australia: University of Adelaide Press, 2015, s. 43. ISBN 9781925261165
- [14] Cycling to work could help you live longer and greatly reduces the chance of developing cancer, study reveals [online], [cit. 2019-05-08]. Dostupné z: <https://www.telegraph.co.uk/science/2017/04/19/cycling-work-could-help-live-longer-greatly-reduces-chance-developing/?platform=hootsuite>
- [15] Air pollution [online], [cit. 2019-03-09]. Dostupné z: <https://www.who.int/airpollution/en/>

- [16] PUCHER, John R. a Ralph BUEHLER. City cycling. Ilustrované vydání. Cambridge, Mass.: MIT Press, 2012. ISBN 978-026-2517-812. Air pollution [online], [cit. 2019-04-02]. Dostupné z: <https://www.bikecitizens.net/efficiency-master-for-modes-of-transportation/>
- [17] Human power [online], [cit. 2019-02-08]. Dostupné z: <https://www.exploratorium.edu/cycling/humanpower1.html>
- [18] Ekologické zóny [online], [cit. 2019-05-08]. Dostupné z: <http://www.ekologickezony.cz/>
- [19] Studie proveditelnosti nízkoemisních zón v podmínkách hlavního města Prahy [online], [cit. 2019-04-18]. Dostupné z: http://www.praha.eu/public/30/29/3/1848591_484598_Studie_proveditelnosti_nizkoemisnich_zon_v_podminkach_hlavniho_mesta_Prahy.pdf
- [20] ČERNÝ, Jiří a Ton DAGGERS. Study Bicycles on Board: Bicycle transport [online]. Utrecht- Stuttgart, 2016 [cit. 2019-04-20]. Dostupné z: https://civitas.eu/sites/default/files/bikes_on_board_2move2_di7.02.03.pdf?fbclid=IwAR0nLNWF8waO2Dc9xSYwN61sjlU-DpggsECDpQUe1-JVBigZ4I_gtMyUekg. Akademická práce. Stuttgart.
- [21] Cestování s jízdním kolem [online], s. 1-43 [cit. 2019-03-15]. Dostupné z: <https://www.idsjmek.cz/cyklo.aspx>
- [22] PIKTOGRAMOVÝ KORIDOR PRO CYKLISTY [online], s. 1-43 [cit. 2019-03-16]. Dostupné z: <http://www.cyklozlin.cz/piktogramovy-koridor-pro-cyklisty/>
- [23] Délka cyklistických stezek a cyklopruhů [online], s. 1-43 [cit. 2019-05-02]. Dostupné z: <https://data.brno.cz/graf/delka-cyklistickych-stezek-a-cyklopruhu/>
- [24] Nehodová místa v Brně [online], [cit. 2019-03-20]. Dostupné z: <https://brnonakole.cz/nehodova-mista-brne/>
- [25] BARNETT, John. Barnnet's manual: Analysis and procedures for bicycle mechanics. 4.vyd. Colorado: VeloPress, 2000. 684 s. ISBN 1-884737-86-2.
- [26] Popis kola - slovníček pojmů [online], [cit. 2019-04-21]. Dostupné z: <http://www.arcore.cz/poradna/popis-kola/>
- [27] Jízda jako řemen [online], [cit. 2019-04-25]. Dostupné z: <http://www.horska-silnicni-kola.cz/show-free.htm?fid=46>
- [28] Povinná výbava jízdního kola [online], [cit. 2019-03-28]. Dostupné z: <https://www.ibesip.cz/Tematicke-stranky/Aktivni-pohyb-v-silnicnim-provozu/Nakole/Povinna-vybava-jizdniho-kola>
- [29] Skládací kolo DHS City Line 2024 - model 2012 [online], [cit. 2019-01-20]. Dostupné z: <https://www.insportline.cz/4936/skladaci-kolo-dhs-city-line-2024-model-2012>

- [30] Městská kola [online], [cit. 2019-04-13]. Dostupné z: <https://www.citybikes.cz/mestska-kola>
- [31] Frontal Area and Aerodynamics of Bicycles [online], [cit. 2019-03-25]. Dostupné z: <http://kentsbike.blogspot.com/2007/05/frontal-area-and-aerodynamics-of.html>
- [32] JAK NASTAVIT VÝŠKU ŘIDÍTEK MTB KOLA [online], [cit. 2019-05-01]. Dostupné z: <https://www.kolopro.cz/clanek/vse-o-kole/jak-nastavit-spravny-posed-na-kole/>
- [33] JAKÝ ROZMĚR KOLA ZVOLIT? 26", 27,5" NEBO 29" [online], [cit. 2019-05-01]. Dostupné z: <https://www.moolbike.cz/poradna/jaky-rozmer-kola-zvolit--26-27-5--nebo-29/>
- [34] Balónové pláště: jak (vyzrát) na pražské povrchy? [online], [cit. 2019-05-08]. Dostupné z: <https://prahounakole.cz/2015/05/balonove-plaste-jak-vyzrat-na-prazske-povrchy/>
- [35] Geometrie rámu kola: co byste měli vědět [online], [cit. 2019-05-10]. Dostupné z: <https://www.trailhunter.cz/geometrie-ramu-kola/>
- [36] Headset Tightening? [online]. [cit. 2019-05-10]. Dostupné z: <http://www.bikeforums.net/bicycle-mechanics/430032-headset-tightening.html>
- [37] Jak zjistit průměr sedlovky [online], [cit. 2019-05-11]. Dostupné z: <http://www.ato-m.com/cs/blog/jak-zjistit-prumer-sedlovky-n5>
- [38] Jak vybrat brzdy na kolo [online], [cit. 2019-05-05]. Dostupné z: <https://www.bike-eshop.cz/jak-vybrat-brzdy-na-kolo>
- [39] Servicing Bicycle Headsets [online], [cit. 2019-04-19]. Dostupné z: <https://www.sheldonbrown.com/headsets.html>
- [40] FORCE vidlice mtb 26" al 1 1/8" ahead d+v, černá [online], [cit. 2019-05-11]. Dostupné z: <https://www.hupnakolo.cz/force-vidlice-mtb-26-al-1-1-8-ahead-d-v-cerna>
- [41] 3-D 10-Node Tetrahedral Structural Solid [online]. [cit. 2019-05-11]. Dostupné z: https://www.sharcnet.ca/Software/Ansys/17.0/en-us/help/ans_elem/Hlp_E_SOLID187.html#d-v-erna
- [42] CHAMPOUX, Y. - VITTECOQ, P. - MALTAIS, P. - AUGER, E. - GAUTHIER, B. Measuring the dynamic structural load of an off-road bicycle frame. Journal: Experimental Techniques. 2006, vol. 23, no. 3, s. 33-36. ISSN 0732-8818.
- [43] ČSN EN ISO 4210 (309000). Jízdní kola - Bezpečnostní požadavky na jízdní kola - 2015.
- [44] Tabulka velikosti kola k postavě [online], [cit. 2019-05-13]. Dostupné z: <https://www.bike-eshop.cz/tabulka-velikosti-kola-k-postave>
- [45] Pure City Step Through Bike - 3 Speed [online], [cit. 2019-05-12]. Dostupné z: <https://www.purecycles.com/products/pure-city-bike>

- [46] Aluminium alloy EN-AW 6063 [online], [cit. 2019-05-02]. Dostupné z:
https://www.aluminco.com/media/155967/ALUMINIUM-ALLOY-EN-AW-6063_MATERIAL-DATA-SHEET_ALUMINCO.pdf
- [47] Urbanizace [online], [cit. 2019-05-19]. Dostupné z:
<https://cs.wikipedia.org/wiki/Urbanizace>
- [48] Městský cyklista a výdej energie 2 – kopce [online], [cit. 2019-05-18]. Dostupné z:
<https://prahounakole.cz/2017/07/mestsky-cyklista-vydej-energie-2-kopce/>

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

a	$[\text{m}\cdot\text{s}^{-2}]$	Zrychlení
b	$[\text{m}]$	Brzdná dráha
E	$[\text{MPa}]$	Modul pružnosti v tahu
F	$[\text{N}]$	Brzdná síla
G	$[\text{MPa}]$	Modul pružnosti ve smyku
M	$[\text{N}\cdot\text{m}]$	Brzdný moment
m	$[\text{kg}]$	Hmotnost
$R_{m_{min}}$	$[\text{MPa}]$	Mez pevnosti v tahu
$R_{p0,2}$	$[\text{MPa}]$	Smluvní mez kluzu
v_0	$[\text{m}\cdot\text{s}^{-1}]$	Počáteční rychlost

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1: Výkresová dokumentace

- Výrobní výkres rámu (DP-1-1-01)
- Výkres sestavy (DP-1-1-02)